



HAL
open science

Analyse des pertes du flyback pour la récupération d'énergie à partir de piles microbiennes sédimentaires

Armande Capitaine, Gaël Pillonnet, Adrien Morel, Olivier Ondel, Bruno Allard

► To cite this version:

Armande Capitaine, Gaël Pillonnet, Adrien Morel, Olivier Ondel, Bruno Allard. Analyse des pertes du flyback pour la récupération d'énergie à partir de piles microbiennes sédimentaires. 7ème Journées Nationales sur la Récupération et le Stockage d'Énergie (JNRSE), May 2017, Lyon, France. hal-01630684

HAL Id: hal-01630684

<https://hal.science/hal-01630684>

Submitted on 8 Nov 2017

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.

Analyse des pertes du *flyback* pour la récupération d'énergie à partir de piles microbiennes sédimentaires

A. Capitaine^{1,2*}, G. Pillonnet¹, A. Morel¹, O. Ondel² and B. Allard²

¹ Univ. Grenoble Alpes, F-38000 Grenoble, France CEA, LETI, MINATEC Campus, F-38054 Grenoble, France

² Laboratoire Ampère, UMR CNRS Université de Lyon, INSA de Lyon, Lyon, France

*corresponding author: armande.capitaine@cea.fr

Abstract— Les piles microbiennes sédimentaires (SMFCs) sont des systèmes récupérant l'énergie directement de la biomasse, ce qui en fait des candidates prometteuses pour l'alimentation autonome de capteurs marins. Au regard des puissances et des tensions générées par les SMFCs (100 μW à 0,3 V pour des électrodes de quelques cm^2), une interface de récupération reste indispensable pour à la fois travailler au point de puissance maximum (MPP) de la pile et élever la tension à celle requise par le capteur à alimenter. Dans ce papier nous cherchons à optimiser un convertisseur *flyback* en mode de conduction discontinue pour une SMFC délivrant une puissance de 90 μW sous 0,3 V. En prenant appui sur d'anciens travaux dans lesquels un modèle du convertisseur avait été validé expérimentalement, nous proposons d'étudier l'influence du rapport cyclique sur les pertes du *flyback*. Le rendement maximal obtenu est de 68% pour un rapport cyclique de 0,5 en considérant une tension de sortie de 2 V.

I. INTRODUCTION

La surveillance des paramètres environnementaux en mer sur de longues périodes est une nécessité croissante des océanographes pour mieux appréhender les changements climatiques. Face au déploiement grandissant des capteurs marins, récupérer l'énergie ambiante dans l'environnement proche s'inscrit comme une option avantageuse permettant de s'affranchir des batteries coûteuses, potentiellement polluantes et à durée de vie limitée. Découvertes dans les années 2000, les piles microbiennes sédimentaires, en anglais *Sedimentary Microbial Fuel Cells* (SMFCs), sont des systèmes prometteurs récupérant l'énergie de la biomasse sédimentaire à l'aide du métabolisme électro-actif des bactéries présentes naturellement dans le milieu [1]. Pour des électrodes de 20 cm^2 , elles génèrent des puissances de l'ordre de 100 μW sous des tensions de polarisation d'environ 0,3 V [2], d'où la nécessité d'une interface de récupération, *i.e.* un convertisseur DC-DC. Cette interface a deux objectifs : i) extraire le maximum d'énergie délivrée par la SMFC en fixant le point de fonctionnement au point de puissance maximum (MPP) et ii) élever la tension à une valeur requise par le capteur à alimenter.

Cet article fait suite à un travail préliminaire [3] qui propose de travailler avec le convertisseur *flyback* en mode de conduction discontinue (DCM) et de faire une étude de ses pertes afin de maximiser son rendement, notamment en optimisant le choix des inductances couplées. Cette étude fait l'hypothèse qu'un rapport cyclique fixé à 0,5 permet une répartition optimale des pertes dans le *flyback* et permet donc d'atteindre un rendement maximal.

Dans ce papier, après une brève description du modèle électrique de la SMFC et une définition des rendements considérés dans l'étude, nous proposons de vérifier cette hypothèse en étudiant l'influence du rapport cyclique sur le

rendement du *flyback*.

II. RECUPERATION DE L'ENERGIE D'UNE SMFC AVEC UN CONVERTISSEUR FLYBACK

A. Modèle électrique de la SMFC et extraction du maximum d'énergie

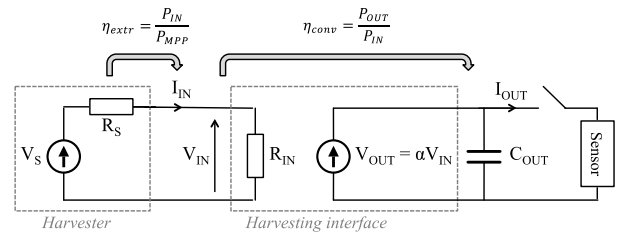


Fig. 1. Modèle électrique de la SMFC et schéma de l'interface de récupération.

Les sources d'énergie solaires, thermiques ou encore les biopiles sont souvent modélisées par une source de tension V_S et une résistance série R_S (Fig. 1) lorsqu'elles fonctionnent à proximité de leur MPP [4]. Nous travaillerons avec le modèle de la SMFC déterminé à partir de caractérisations expérimentales dans [3] *i.e.* avec $V_S = 0,6 \text{ V}$ et $R_S = 1 \text{ k}\Omega$, correspondant à une puissance maximum P_{MPP} de 90 μW .

On définit le rendement d'extraction η_{extr} le rapport entre la puissance délivrée à l'entrée de l'interface de récupération P_{IN} et le maximum de puissance que la SMFC peut délivrer P_{MPP} (Fig. 1). Afin d'extraire le maximum d'énergie, il est crucial d'adapter l'impédance de l'interface de récupération R_{IN} à l'impédance de la pile R_S . Ainsi η_{extr} vaut 1 lorsque $R_{\text{IN}} = R_S$.

B. Le *flyback* comme interface de récupération

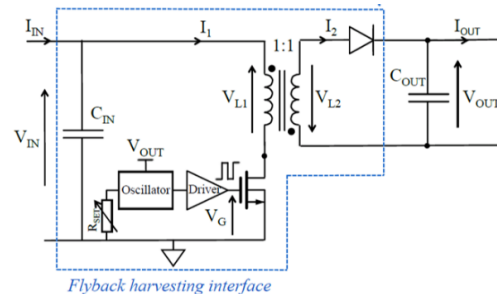


Fig. 2. Le *flyback* en DCM comme interface de récupération.

Une interface de récupération est nécessaire pour élever la tension de la SMFC à celle requise par le capteur à alimenter. Au vu des faibles puissances en jeu, cette interface doit présenter un rendement énergétique total η_{TOT} proche de 1 afin de maximiser la puissance en sortie du convertisseur P_{OUT} . Ainsi l'interface doit être dimensionnée de manière à travailler au MPP et également à réduire ses pertes en maximisant son rendement de conversion η_{CONV} (Fig. 2). Ces rendements sont

exprimés à l'équation (1).

$$\eta_{TOT} = \eta_{EXTR} \times \eta_{CONV} = \frac{P_{IN}}{P_{MPP}} \times \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{P_{OUT}}{P_{MPP}} \quad (1)$$

On choisit ici de faire fonctionner le *flyback* en DCM (Fig. 2) car d'après (2), en supposant l'inductance primaire L_1 et le rapport cyclique D fixés, son impédance d'entrée R_{IN} peut être adaptée dynamiquement à R_S en contrôlant sa fréquence de commutation f sans impacter sur son gain en tension α (Fig. 1). En conséquence, chacune des deux conditions *i.e.* le fonctionnement au MPP et la régulation de la tension de sortie V_{OUT} , peut être respectée simultanément.

$$R_{IN} = \frac{2L_1 f}{D^2} \quad (2)$$

Le fonctionnement du *flyback* ainsi que le choix des composants (MOSFET, diode, oscillateur) et des conditions expérimentales (*e.g.* $V_{OUT} = 2$ V) sont détaillés dans [3]. En accord avec les résultats obtenus dans cette dernière publication, on choisit de sélectionner les inductances couplées les plus élevées (18 mH) qui induisent le moins de pertes.

III. RÉSULTATS

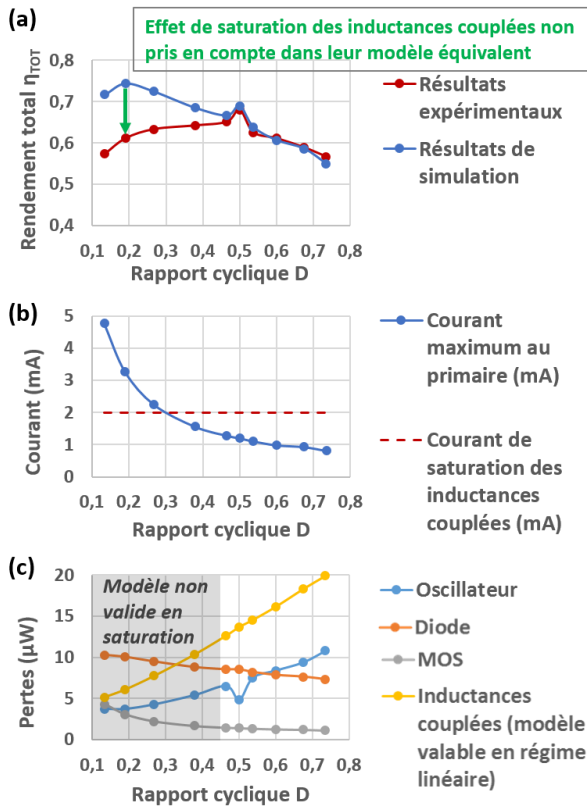


Fig. 3. Influence du rapport cyclique sur (a) η_{TOT} en simulation et en expérimental, (b) la valeur du courant maximal au primaire I_{MAX} , (c) la distribution des pertes dans le *flyback* obtenue en simulation.

On étudie l'influence du rapport cyclique D sur η_{TOT} . Dans la mesure où l'on cherche à fonctionner au MPP, l'équation (2) se doit d'être respectée à chaque point d'opération, *i.e.* lorsque D augmente f augmente également.

Le *flyback* est simulé en adoptant le modèle validé dans [3].

Ce modèle est valide uniquement lorsque les inductances couplées fonctionnent en régime linéaire. Fig. 1.a présente les performances simulées ainsi que celles acquises expérimentalement. Pour $D > 0,45$, les rendements obtenus en simulation et expérimentalement sont en adéquation, garantissant ainsi la fiabilité de notre modèle dans cette zone. La chute du rendement lorsque l'on accroît D s'explique par le fait que f augmente, engendrant ainsi des pertes par commutation plus importantes. D'après la Fig. 1.c, ces pertes sont essentiellement induites par l'oscillateur et les inductances couplées. Pour $D < 0,45$, on constate une divergence entre la simulation et l'expérimental, qui est d'autant plus importante lorsque D diminue. En effet, plus D diminue, plus le courant maximal I_{MAX} atteint au primaire du *flyback* est important (Fig. 3.b), entraînant les inductances couplées en régime de saturation ($I_{MAX} > I_{SAT}$ où I_{SAT} est le courant de saturation mesuré expérimentalement, pour lequel l'inductance réelle mesurée est réduite de moitié comparée à celle obtenue en régime linéaire, ici 18 mH). Cette saturation engendre des pertes par hystérésis importantes non prédites par la simulation et affecte l'extraction au MPP, d'où une chute de η_{TOT} observée expérimentalement. Bien qu'ils ne correspondent pas à l'expérimental, les résultats de simulation nous permettent cependant d'envisager des rendements potentiellement plus importants lorsqu'on avoisine un rapport cyclique à 0,2, si l'on suppose travailler avec des inductances couplées dont le I_{SAT} est plus élevé. En effet, une diminution de D implique une diminution de f et donc une réduction des pertes par commutation (Fig. 3.c).

Le rendement optimal obtenu est donc de 68% pour un rapport cyclique D de 0,5 comme supposé dans [3]. Le saut de rendement visible à la Fig. 1.a s'explique par une caractéristique intrinsèque de l'oscillateur qui présente une sortie optimisée pour $D = 0,5$. Travailler avec $D \neq 0,5$ implique l'utilisation d'une sortie annexe ainsi que l'ajout de capacités.

IV. CONCLUSION

En prenant appui sur [3], ce papier étudie l'influence du rapport cyclique D sur le rendement énergétique η_{TOT} du *flyback* en DCM. Pour une puissance d'entrée de 90 μ W, le rendement maximal 68% est atteint pour un D de 0,5, ce qui permet de compenser les pertes par commutations dues à une augmentation de f (lorsque D augmente) et celles dues à la saturation des inductances couplées (lorsque D diminue). En perspective, un travail sur l'augmentation du courant I_{SAT} des inductances couplées permettrait une augmentation de η_{TOT} en diminuant D .

REFERENCES

- [1] V. Kiran, B. Gaur, "Microbial Fuel Cell: technology for harvesting energy from biomass", *Reviews in Chemical Engineering*. Volume 29, Issue 4, Pages 189–203, Aug. 2013
- [2] T. Chailloux and al. "Autonomous sensor node powered by cm-scale benthic microbial fuel cell and low-cost and off-the-shelf components", *Energy Harvesting and Systems EHS*, vol. 3, pp. 205-212, 2016.
- [3] A. Capitaine and al. "Loss analysis of a flyback in Discontinuous Conduction Mode for sub-mW harvesting systems", *NEWCAS 2016*.
- [4] S. Bandyopadhyay and al. "Platform Architecture for Solar, Thermal, and Vibration Energy Combining With MPPT and Single Inductor," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 47, no. 9, pp. 2199–2215, Sep. 2012.