

Optimisation des performances d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique sur un câble électrique alternatif 50 Hz*

Hatim BAKHTAOUI¹, Filippo NICORA^{2,3}, David VERNIER¹, Philippe ABBE¹, Ausrine BARTASYTE¹, Corrado BORANGNO², Orazio AIELLO³, Roberto LA ROSA⁴, Fabrice STHAL¹, Gaël CHEVALIER⁵ and Samuel MARGUERON^{1,*}

¹ Université Marie et Louis Pasteur, SUPMICROTECH, CNRS, UMR 6174, Institut FEMTO-ST, Besançon, France

² Department of Physics (DIFI), University of Genova, 16146 Genova, Italy

³ Dept. of Electrical, Electronics and Telecom. Engin. and Naval Architecture (DITEN), University of Genova, 16145 Genova, Italy

⁴ STMicroelectronics, Stradale Primosole 50, Catania 95121, Italy

⁵ Centre de recherche de l'Ecole de l'air et de l'espace, Ecole de l'air et de l'espace, Chemin de Saint-Jean, 13660 Salon-de-Provence, France

*Corresponding author e-mail: Samuel.margueron@femto-st.fr

Résumé—Cet article présente un système complet de récupération d'énergie piézoélectrique conçu pour alimenter un capteur sans fil basé sur la technologie LoRa. Le système intègre un bimorphe piézoélectrique en configuration parallèle, fabriqué en niobate de lithium (LiNbO₃), équipé d'un aimant en bout. A proximité d'une ligne à courant alternatif, le piézoélectrique convertit le mouvement induit par le champ magnétique oscillant à 50 Hz en tension électrique utilisable. La forme du piézoélectrique a été étudiée pour optimiser le positionnement relatif du piézoélectrique pour un câble à courant alternatif monophasé.

Mots clés—LiNbO₃, récupération d'énergie

I. INTRODUCTION

L'Internet des objets (IoT) révolutionne la surveillance en temps réel, le traitement des données et le contrôle via des capteurs et des dispositifs interconnectés. Les avancées dans la technologie des capteurs ont conduit au développement de capteurs compacts pour des défis liés à la sécurité, à la fiabilité et au coût [1]. L'expansion des dispositifs IoT pose un défi majeur pour garantir une alimentation fiable, en particulier pour les capteurs distants. La récupération d'énergie offre une solution durable. En particulier, les systèmes de récupération d'énergie piézoélectrique convertissent efficacement les vibrations mécaniques en énergie électrique, éliminant ainsi le besoin de sources d'énergie traditionnelles telles que les batteries. De nombreuses études sur la récupération d'énergie piézoélectrique se concentrent sur la récupération de l'énergie vibratoire provenant de sources ambiantes, telles que les vibrations structurelles [2], les vagues océaniques [3], le vent [4] et les mouvements humains [5].

Cette étude présente un système basé sur l'usage du champ magnétique rayonné par les lignes à courant alternatif. L'aspect innovant de ce travail réside dans l'étude des performances du dispositif piézoélectrique à proximité des câbles. Cette méthodologie permet une installation non invasive, car l'appareil peut être placé près de n'importe quelle ligne électrique CA standard sans nécessiter de modifications de l'infrastructure existante.

II. DESCRIPTION DES POUTRES PI2ZOELECTRIQUES

A. Fabrication des bimorphes piézoélectriques

L'empilement piézoélectrique bimorphe est fabriqué par thermocompression or-or de LiNbO₃ YZ-128° sur les deux faces de wafers de plaque de 100 µm d'acier inoxydable laminé à froid et poli. Le LiNbO₃ a ensuite été rodé à une épaisseur de 30 µm sur les faces, découpé au laser et recouvert d'électrodes Cr/Au. Les poutres ainsi fabriquées sont constituées de deux films de LiNbO₃ polarisées en parallèle tels que décrits dans la référence [6].

B. Optimisation de la géométrie du bimorphe

Une caractéristique structurelle notable de la conception a été de comparer les performances de poutres rectangulaire (R) et trapézoïdales (T1,T2) des poutres (figure 1). En effet, cette dernière géométrie offre une meilleure distribution de la contrainte le long de la poutre et donc une réduction de la contrainte en traction, ce qui contribue à améliorer la durée de vie du système. Comme souligné dans [7], ces caractéristiques font du design trapézoïdal un choix optimal pour les récupérateurs d'énergie piézoélectrique.

Les dimensions ont été simultanément optimisées par des simulations numériques utilisant le logiciel COMSOL Multiphysics pour obtenir le meilleur couplage électromécanique, maximiser la capacité et minimiser les contraintes en traction à la fréquence de fonctionnement de 50 Hz.

III. RESULTATS D'OPTIMISATION

Les deux géométries de poutres de la figure 1 ont été simulées avec divers rapports de largeur W , $W1$, $W2$ et L . Le tableau I donne les dimensions caractéristiques exprimées en mm pour avoir une fréquence de résonance à 50 Hz. Chacun des composants à une surface de 532 mm² donnant une capacité équivalente de 15.9 nF pour une meilleure comparaison.

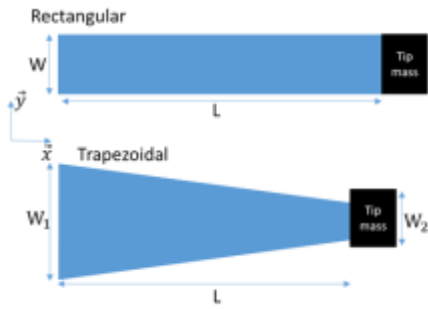


Fig. 1. Géométrie des poutres rectangulaire et trapézoïdales

La figure 2 montre la puissance électrique simulée à 1 g d'accélération pour les formes R, T1 et T2 de respectivement 14 mW, 11,1 mW et 8,6 mW.

TABLE I.

	W_1/W_2 (mm)	L (mm)	k_{eff}^2 (%)	$\sigma_{f,max}$ @ 1g (MPa)	$\sigma_{f,max}$ à puissance fixe
R	15.2/-	42.32	3.05	286.4	286.4
T 1	20/10	44.76	3.75	189.6	239.1
T 2	24/5	47.57	4.14	132.3	215.3

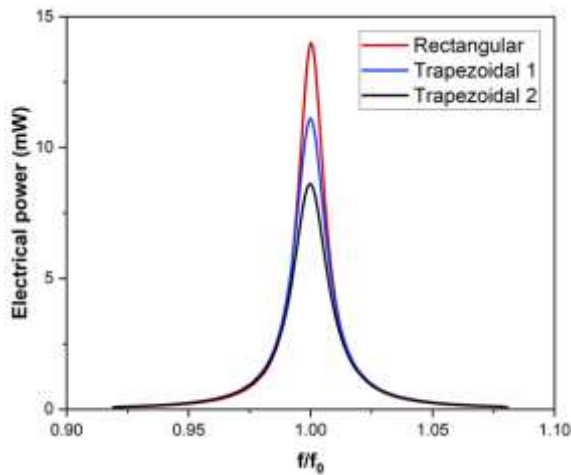


Fig. 2. Puissance à 1 g pour les poutres rectangulaire et trapézoïdales

Il est à noter que si la poutre rectangulaire R offre une puissance supérieure aux poutres trapézoïdales à accélération constante, elle montre une contrainte maximale en tension bien supérieure, car la flexion est concentrée au point d'ancrage. La poutre T2 avec un gradient de section plus important offre de meilleures caractéristiques mécaniques (plus faible contrainte maximum en flexion) que la poutre T1 au prix d'une plus grande longueur.

IV. CONCLUSION

L'étude a été poursuivie avec la géométrie T2 sur un câble à courant alternatif monophasé sous 50 Hz, 220 V et

10,4 A. Une puissance de 76 μ W en champ proche a été obtenue en optimisant la position de l'aimant par rapport au câble électrique. Cette valeur se situe proche des performances de piézoélectriques au plomb déjà utilisé [8]. Le dispositif a été utilisé pour alimenter une carte électronique LoRa (STM32WL5x). Cette approche ouvre de nouvelles possibilités pour alimenter divers capteurs, permettant la collecte de données environnementales en temps réel et la transmission sans fil sur des infrastructures sans avoir à sectionner les câbles électriques

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaiteraient remercier Dr. Merieme Ouhabaz, Dr. Gérard Michel et Ludovic Gauthier-Manuel pour la préparation des poutres piézoélectriques. Ce travail a été soutenu par le réseau français RENATECH et ses installations technologiques FEMTO-ST. Ce travail a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon Marie Skłodowska-Curie de l'Union européenne dans le cadre de l'accord No. 101086359 et No. 871163, ainsi que de l'ANR ETHICS No. ANR-23-CE51-0027.

REFERENCES

- [1] A. M. Rahmani, S. Bayramov, and B. K. Kalejahi, "Internet of things applications: opportunities and threats," *Wireless Personal Communications*, 2022, 122, pp. 451-476.
- [2] L. Shehu, J. H. Yeon, and Y. Song, "Piezoelectric energy harvesting for civil engineering applications." *Energies*, 2024, 17, 19.
- [3] S. F. Nabavi, A. Farshidianfar, and A. Afsharfard, "Novel piezoelectricbased ocean wave energy harvesting from offshore buoys," *Applied Ocean Research*, 2018, 76, pp. 174-183.
- [4] YL. Tang, L. Zhao, Y. Yang, and E. Lefevre, "Equivalent circuit representation and analysis of galloping-based wind energy harvesting," *IEEE/ASME transactions on mechatronics*, 2014, 20(2), pp. 834-844.
- [5] F. Ambia, N. Isac, A. Harouri, D. Bouville, and E. Lefevre, "Biomechanical MEMS electrostatic energy harvester for pacemaker application: a study of optimal interface circuit," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2023.
- [6] G. Clementi, M. Costanza, M. Ouhabaz, A. Bartaszyte, B. Dulmet, and S. Margueron, "2d+1 degree of freedom equivalent circuit model for LiNbO3/metal/LiNbO3 bimorph bending cantilever," *Sensors and Actuators A: Physical*, 2023, 362, 11.
- [7] F. Goldschmidtboeing and P. Woias, "Characterization of different beam shapes for piezoelectric energy harvesting," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 2008, 18, 10.
- [8] Y. Uzun and T. Kozo, "Energy harvesting from electric power line: a brief review," *International Journal of Scientific and Technological Research*, 2019, 12.