



HAL
open science

Les convertisseurs à résonateurs piézoélectriques : un tour d'horizon

Emile Bigot, François Costa, Ghislain Despesse

► **To cite this version:**

Emile Bigot, François Costa, Ghislain Despesse. Les convertisseurs à résonateurs piézoélectriques : un tour d'horizon. SGE 2025 - Symposium de Génie Électrique, CNRS; UPS, Jul 2025, Toulouse, France. <hal-05506612>

HAL Id: hal-05506612

<https://hal.science/hal-05506612v1>

Submitted on 12 Feb 2026

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.



HAL Authorization

Les convertisseurs à résonateurs piézoélectriques : un tour d’horizon.

Emile BIGOT¹, François COSTA² et Ghislain DESPESSE¹

¹ Univ. Grenoble Alpes, CEA, Leti, F-38000 Grenoble, France ; ² University Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CNRS, SATIE University Paris-Est Créteil, 94010, Créteil, France

RESUME - En vue de la miniaturisation des convertisseurs de puissance, la montée en fréquence semble un axe de travail intéressant. Cependant, cette montée en fréquence est aujourd’hui limitée en raison de la difficulté d’obtenir des matériaux magnétiques en haute fréquence (>4MHz). Cet article propose une revue de l’état de l’art sur le remplacement des composants magnétiques par des résonateurs piézoélectriques. Trois axes illustrant le travail réalisé sont présentés : les topologies de conversion, les méthodes de régulation et les matériaux piézoélectriques pour la conversion.

Mots-clés—*Convertisseur, résonateur, piézoélectrique, commutation douce*

1. INTRODUCTION

Les nouveaux semi-conducteurs de puissance grand gap (SiC et GaN) permettent d’envisager des fonctionnements au-delà du mégahertz. Néanmoins, en raison des pertes fer et cuivre, la montée en fréquence des matériaux magnétiques est limitée, ce qui constitue un réel frein à la miniaturisation. Une alternative à ces composants consiste à employer des matériaux piézoélectriques qui, proche de leur résonance mécanique, possèdent un comportement inductif. On connaît alors les transformateurs piézoélectriques développés dès les années 50 et qui ont été massivement employés pour le rétroéclairage des premiers écrans plat [1]. Ces quadripôles se sont révélés très intéressants en raison d’un facteur de forme plat et d’un gain d’élévation de tension très important (jusqu’à un facteur 100). Néanmoins, leur densité de puissance s’est révélée limitée à 40W/cm³ pour des puissances inférieures à 100W. Avec l’arrivée des LEDs, l’intérêt pour ces convertisseurs a fortement diminué. En 2010, un premier article [2] propose l’emploi d’un résonateur piézoélectrique pour la réalisation d’un convertisseur de puissance. On passe alors d’un quadripôle à un dipôle, le comportement souhaité est celui d’une inductance. Le modèle équivalent du résonateur piézoélectrique est alors celui de Van-Dyke (cf. Fig. 1). On retrouve une branche électrique C_p en parallèle d’une branche mécanique $\{L_m; C_m; R_m\}$.

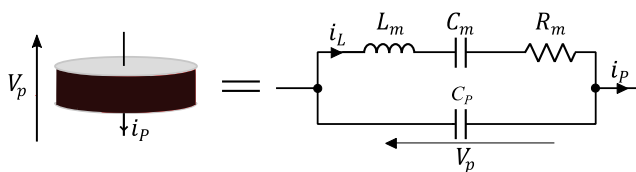


Fig. 1. Modèle de Van-Dyke du résonateur piézoélectrique proche d’une résonance mécanique

Juste après la résonance de la branche mécanique f_r et avant l’antirésonance du système f_{ar} , le résonateur ainsi décrit possède une impédance similaire à celle d’une inductance (cf. Fig. 2), avec une phase proche de 90° gage d’un fonctionnement à faibles pertes.

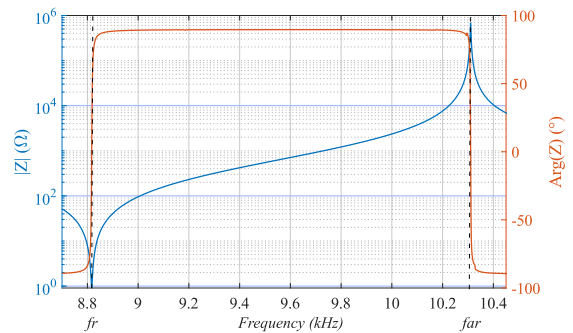


Fig. 2. Mesure de l’impédance d’un résonateur piézoélectrique (25Dx2T C213) entre sa fréquence de résonance et d’antirésonance.

En 2018, avec l’émergence des composants grand gap et la difficulté de travailler haut en fréquence avec les magnétiques, l’intérêt pour les résonateurs piézoélectriques revient. L’étude [3] examine de nouveaux composants pour l’électronique de puissance. Elle conclut sur une densité de puissance théoriquement plus intéressante pour un fonctionnement haute fréquence. En parallèle, [4] remet au goût du jour la conversion piézoélectrique en formalisant un premier cycle de conversion en six phases adapté à ces composants. Ce cycle alterne des phases dites à tension constante et des phases dites à charge constante où la tension du résonateur évolue librement (cf. Fig. 3).

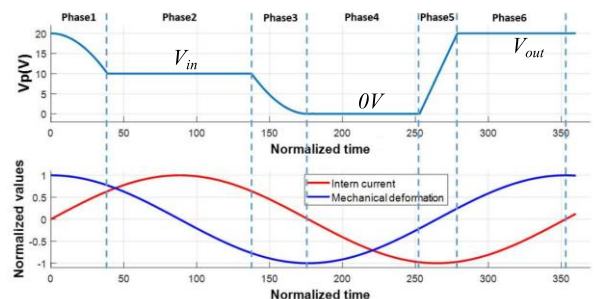


Fig. 3. Cycle de conversion de [4] en six-phases.

Pour assurer l'équilibre en énergie et en charge du résonateur en régime établi, il est nécessaire d'avoir au moins trois paliers de tension différents sur le cycle de conversion, ce qui impose une topologie avec au moins trois interrupteurs tel qu'illustré à la Fig. 4.

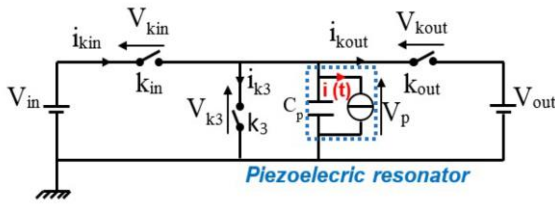


Fig. 4. Topologie de conversion de [4]

Dans cet article nous proposons tout d'abord de décrire l'évolution des topologies de conversion en partant de celle vue en Fig. 4. Dans une seconde partie, nous décrivons les différentes méthodes de contrôle développées pour opérer les cycles en six phases qui peuvent apparaître comme complexes. Enfin, une dernière partie traitera des performances des matériaux piézoélectriques pour la conversion de puissance.

2. EVOLUTION DES TOPOLOGIES DE CONVERSION

Depuis 2018, de nombreux acteurs sont entrés dans le domaine de la conversion de puissance avec résonateurs piézoélectriques, ce qui a conduit à une multitude de propositions topologiques. Ainsi, en augmentant le nombre d'interrupteurs, les résonateurs peuvent être employé de manière plus optimale, ce que nous verrons au travers des structures [5] et [6]. Ensuite, en symétrisant la structure de conversion et en employant deux résonateurs il est possible d'obtenir un convertisseur dit isolé. C'est le cas de la structure [7]. Enfin, en combinant les résonateurs de puissance avec des capacités commutées, les performances des convertisseurs sont drastiquement augmentées, c'est une proposition étudiée dans [8]. Cette partie décrit donc les différentes structures de conversion envisagée au regard de ces nouveaux composants piézoélectriques.

3. EVOLUTION SUR LES METHODES DE REGULATION

Dans cette partie nous verrons comment la communauté a évolué d'un problème de régulation complexe à 7 variables, vers un problème simple où une seule boucle de régulation suffit [9].

4. MATERIAUX ET PERFORMANCES

Un des attraits pour la conversion piézoélectrique réside dans les gains potentiels sur les performances de conversion.

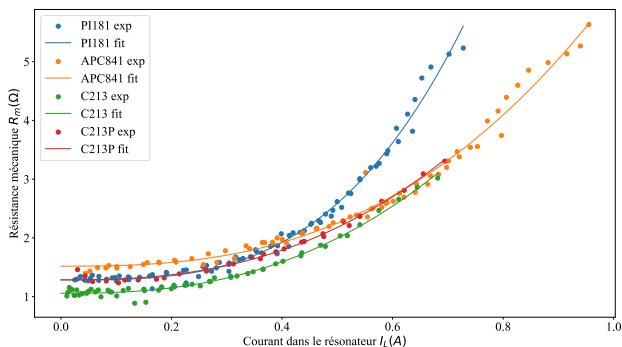


Fig. 5. Caractérisation de résonateurs piézoélectrique en PZT en mode radial autour de 100 kHz

Néanmoins comme le montre la Fig. 5 qui montre l'évolution de la résistance mécanique du résonateur en fonction du courant en son sein, les performances attendues de ces matériaux ne sont pas nécessairement au rendez-vous. Nous développerons donc la migration qui s'est opérée de matériaux piézoélectriques polycristallins type PZT vers des matériaux piézoélectriques monocristallins type LNO. Nous concluons sur les difficultés d'implémentation de ces derniers avec tout de même un attrait certain au vu des résultats de [10] qui a réussi à transférer 1 kW avec un seul résonateur pour une densité de puissance de 5.7 kW/cm³.

5. CONCLUSIONS

Dans ce papier nous décrivons les avancés et points de blocage observés sur les convertisseurs employant des résonateurs piézoélectriques en remplacement des inductances de puissance.

6. REFERENCES

- [1] F. COSTA and D. VASIC, 'Transformateurs piézoélectriques en électronique de puissance', *Techniques de l'ingénieur Conversion de l'énergie électrique*, vol. base documentaire: TIP301WEB., no. ref. article: d3015. Editions T.I., 2024. doi: 10.51257/a-v2-d3015.
- [2] G.-S. Seo, J.-W. Shin, and B. Cho, 'A magnetic component-less series resonant converter using a piezoelectric transducer for low profile application', Jul. 2010, pp. 2810–2814. doi: 10.1109/IPEC.2010.5543773.
- [3] P. A. Kyaw, A. L. F. Stein, and C. R. Sullivan, 'Fundamental Examination of Multiple Potential Passive Component Technologies for Future Power Electronics', *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 12, pp. 10708–10722, Dec. 2018, doi: 10.1109/TPEL.2017.2776609.
- [4] B. Pollet, F. Costa, and G. Despesse, 'A new inductorless DC-DC piezoelectric flyback converter', in *2018 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, Feb. 2018, pp. 585–590. doi: 10.1109/ICIT.2018.8352243.
- [5] J. D. Boles, J. J. Piel, and D. J. Perreault, 'Enumeration and Analysis of DC-DC Converter Implementations Based on Piezoelectric Resonators', *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 36, no. 1, pp. 129–145, Jan. 2021, doi: 10.1109/TPEL.2020.3004147.
- [6] M. TOUHAMI, G. DESPESE, and F. COSTA, 'A New Topology of DC-DC Converter Based On Piezoelectric Resonator', in *2020 IEEE 21st Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*, Nov. 2020, pp. 1–7. doi: 10.1109/COMPEL49091.2020.9265767.
- [7] V. Breton, E. Bigot, G. Despesse, and F. Costa, 'A New Isolated Topology of DC-DC Converter Based on Piezoelectric Resonators', *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 38, no. 8, pp. 10012–10025, Aug. 2023, doi: 10.1109/TPEL.2023.3276478.
- [8] Q. Li, Y. Hou, and K. K. Afridi, 'Merged Switched-Capacitor Piezoelectric-Resonator Based DC-DC Converter with High Voltage Conversion Ratio', *2023 IEEE 24th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*, pp. 1–8, Jun. 2023, doi: 10.1109/COMPEL52896.2023.10221132.
- [9] E. Bigot, G. Despesse, V. Breton, and F. Costa, 'A new closed-loop regulation method dedicated to piezoelectric resonators based isolated DC-DC converter', in *13th International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2024)*, Jun. 2024, pp. 146–153. doi: 10.1049/icp.2024.2150.
- [10] E. Stolt, W. Braun, K. Nguyen, V. Chulukhadze, R. Lu, and J. Rivas-Davila, 'A Spurious-Free Piezoelectric Resonator Based 3.2 kW DC-DC Converter for EV On-Board Chargers', *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 39, no. 2, pp. 2478–2488, Feb. 2024, doi: 10.1109/TPEL.2023.3334211.