

Sujet de thèse :

Conception optimisée de convertisseur d'énergie très haute fréquence

Établissement d'inscription : Université Lyon 1 / Ecole Centrale Lyon / INSA LYON

École doctorale : ED 160 EEA de Lyon

Unité de recherche : Laboratoire Ampère, UMR CNRS 5500

Financement : Contrat doctoral établissement

Directeur de thèse : BREARD Arnaud

Domaine et contexte scientifiques :

L'augmentation constante de la consommation d'énergie électrique imposent des besoins toujours plus importants de miniaturisation, et par conséquent d'augmentation de densité de puissance, pour les convertisseurs d'électronique de puissance (CEP).

Durant ces dernières décennies, l'émergence de nouvelles technologies de composants a permis la montée en fréquence des CEP. Ce gain en fréquence de fonctionnement se traduit par un gain en termes de compacité des convertisseurs, du fait de la réduction du poids et du volume des composants passifs nécessaires aux fonctions de stockage d'énergie et de filtrage. Alors que les convertisseurs haute fréquence (autour du MHz) semblent limités en densité de puissance par les pertes dans les matériaux magnétiques et diélectriques, les convertisseurs fonctionnant aux très hautes fréquences (VHF: 30 MHz – 300 MHz) ouvrent une nouvelle voie pour l'électronique de puissance en combinant des topologies à commutations douces et des technologies de composants magnétiques et diélectriques avancées, efficaces et compactes. Les principales applications actuelles se limitent à des puissances inférieures au kW et concernent la transmission d'énergie sans fil, les chargeurs, alimentation LED [5,8,10].

Mots-clefs : Electronique de puissance, Radiofréquences, densité de puissance, CEM, Eco-conception;

Objectifs de la thèse :

Les travaux de thèse ont pour objectifs de contribuer à l'amélioration des performances et l'élargissement du champ d'application des convertisseurs VHF dans le domaine de l'électronique de puissance.

L'objectif majeur de la thèse consiste à développer une méthode de dimensionnement de convertisseurs VHF permettant à ces structures d'atteindre les enjeux actuels en électronique de puissance [1] en visant des rendements minimums de 90% et de densité de puissance supérieures à 15 kW/L. Les éléments parasites des circuits d'électronique de puissance tels que les inductances liées aux interconnexions des composants ou les capacités inter-électrodes des semi-conducteurs ainsi que les phénomènes de couplage (diaphonie inductive et capacitive), ainsi que les phénomènes de désadaptations dégradent les performances énergétiques des convertisseurs. Les pertes ainsi générées induisent l'usage de systèmes de refroidissement plus complexes dégradant alors le gain de compacité. Développer une méthode de conception basée sur les réseaux d'impédances en régime non linéaire prenant en compte les éléments parasites [6, 7] et les couplages intra et inter se révèle alors nécessaire afin d'atteindre les objectifs fixés.

Par la suite, dans l'optique d'étendre la gamme d'application des convertisseurs VHF à des puissances plus importantes, un travail de recherche devra être mené sur les topologies et l'association multicellulaires de convertisseurs.

Un travail expérimental devra être mené afin d'évaluer l'impact des émissions conduites et rayonnées des prototypes réalisés. En fonction des résultats, des solutions devront être proposées afin de respecter les normes de compatibilité électromagnétique

Dans un contexte de développement durable, la prise en compte de l'impact environnemental des activités énergétiques et électriques dès la phase de conception des systèmes est de plus en plus d'actualité. Des études devront permettre de mettre en avant les avantages et inconvénients des convertisseurs VHF par rapport aux structures classiques d'électronique de puissance en termes d'impact environnemental. Des pistes seront alors identifiées pour développer des méthodes d'éco-conception de systèmes de conversion d'énergie très haute fréquence.

Verrous scientifiques :

La conversion d'énergie très haute fréquence étant une thématique émergente [2,3,9], aujourd'hui peu de travaux ne proposent de méthodes de conception permettant à ces structures d'atteindre les enjeux actuels de l'électronique de puissance. Afin de réaliser des convertisseurs VHF à haut rendement et à forte densité de puissance, la thèse vise lever les verrous suivants :

- Méthode de conception basée sur les réseaux d'impédances non linéaires, intégrant les problématiques de désadaptation.
- Prise en compte les éléments parasites et phénomènes de couplages des circuits dès la phase de conception.
- Réalisation de modèle dans la gamme VHF permettant d'évaluer les émissions conduites et rayonnées.

Pour ce faire des méthodes de caractérisation et de modélisation de ces éléments sur une large plage de fréquence devront être développées. Les modèles développés devront permettre d'évaluer les émissions conduites et rayonnées des structures. Des bancs de caractérisation de ces émissions devront

être mis en œuvre en prenant grand soin de fixer au maximum les conditions expérimentales pour valider les modèles.

Un dernier verrou porte sur la prise en compte des enjeux environnementaux dans la conception des systèmes d'électronique de puissance est une thématique émergente et peu de littérature est actuellement disponible.

Contributions originales attendues :

Une méthode de caractérisation et d'intégration des éléments parasites dans la conception des convertisseurs VHF constitue un des objectifs phares de la thèse. Aujourd'hui, l'impact des émissions rayonnées de tels convertisseurs reste peu documenté, ainsi la mise en place d'essai de compatibilité électromagnétique pour ces structures serait une contribution originale pour cette thématique de recherche. La prise en compte d'une démarche d'éco-conception présente également une originalité de ces travaux dans le domaine de l'électronique de puissance.

Programme de recherche et démarche scientifique proposée :

Les travaux de recherche démarrent par une étude bibliographique orientée sur la conversion d'énergie très haute fréquence, les méthodes de dimensionnement de convertisseurs ainsi que les techniques d'adaptation et le dimensionnement de circuits radiofréquences. Une première méthode de conception de convertisseurs VHF optimisant l'efficacité énergétique et la densité de puissance fera l'objet de la première année. Lors de la seconde année, les émissions rayonnées des prototypes seront caractérisées et les contraintes de compatibilité électromagnétique devront être prises en compte dans la conception. Ensuite un travail sera mené sur l'étude de topologie innovante uni- ou multicellulaire pour la montée en puissance. La dernière année sera consacrée à la valorisation des travaux et à la mise en lumière des avantages et inconvénients de la conversion d'énergie VHF pour l'éco-conception en électronique de puissance : étude du cycle de vie des matériaux utilisés, homogénéité et modularité des circuits, ...

	Année 1	Année 2	Année 3
Etude bibliographique			
Développement d'outils de conception			
Méthode de conception			
CEM			
Démonstrateur VHF			
Veille bibliographique			
Valorisation des travaux			
Eco-conception			
Manuscrit de thèse			

Références bibliographiques sur le sujet de thèse :

- [1] J. W. Kolar, J. Biela, S. Waffler, T. Friedli and U. Badstuebner, "Performance trends and limitations of power electronic systems," 2010 6th International Conference on Integrated Power Electronics Systems, Nuremberg, 2010, pp. 1-20.
- [2] Wang, Y., Lucia, O., Zhang, Z., Guan, Y. and Xu, D. (2020), Review of very high frequency power converters and related technologies. IET Power Electronics, 13: 1711-1721

- [3] D. J. Perreault et al., "Opportunities and Challenges in Very High Frequency Power Conversion," 2009 Twenty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, Washington, DC, 2009, pp. 1-14
- [4] J. M. Rivas, Y. Han, O. Leitermann, A. D. Sagneri and D. J. Perreault, "A High-Frequency Resonant Inverter Topology With Low-Voltage Stress," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 23, no. 4, pp. 1759-1771, July 2008
- [5] H. Mahdi, A. M. Ammar, Y. Nour and M. A. E. Andersen, "A Class-E-Based Resonant AC-DC Converter With Inherent PFC Capability," in IEEE Access, vol. 9, pp. 46664-46673, 2021
- [6] L. Pace, N. Defrance, A. Videt, N. Idir, J. -. De Jaeger and V. Avramovic, "Extraction of Packaged GaN Power Transistors Parasitics Using S-Parameters," in IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 66, no. 6, pp. 2583-2588, June 2019
- [7] L. Pace, N. Idir, T. Duquesne, and J.-C. De Jaeger, "Parasitic Loop Inductances Reduction in the PCB Layout in GaN-Based Power Converters Using S-Parameters and EM Simulations," Energies, vol. 14, no. 5, p. 1495, Mar. 2021.
- [8] J. Choi, J. Xu, R. Makhoul and J. Rivas, "Design of a 13.56 MHz dc-to-dc resonant converter using an impedance compression network to mitigate misalignments in a wireless power transfer system," 2018 IEEE 19th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), Padua, 2018, pp. 1-7
- [9] Rawad Makhoul. Convertisseurs VHF à Transistor GaN: Défis, Réalisations et Perspectives. Thèse de doctorat. Université Grenoble-Alpes, 2020
- [10] Zhu, W, Ikari, T, Lovison, G, Inoue, K, Yamagami, S, Sekiya, H. High-frequency single-switch PFC with frequency-modulation controlled class-E2 converter. IET Power Electron. 2021; 14: 1806– 1819

Profil du candidat recherché (prérequis) :

Formation en génie électrique, électronique de puissance et/ou électronique radiofréquence.

Goût prononcé pour l'expérimentation et la simulation.

Compétences qui seront développées au cours du doctorat :

Conception de convertisseur, prototypage, caractérisation et modélisation haute fréquence, simulation multiphysique, mesures CEM conduites et rayonnées, éco-conception, techniques micro-ondes.

Candidature :

Envoyer CV, lettre de motivation et relevé de note (licence, Master 1 et premier semestre de Master 2) à Loris PACE loris.pace@ec-lyon.fr et Arnaud BREARD arnaud.breard@ec-lyon.fr. Une lettre de recommandation dans le dossier sera appréciée.