



Université Lille Nord de France
Pôle de Recherche
et d'Enseignement Supérieur

Ecole doctorale régionale Sciences Pour l'Ingénieur Lille Nord-de-France - 072



Titre : Conception d'un convertisseur haute fréquence à forte densité de puissance et faible impact électromagnétique

Design of a highly integrated high frequency power converter with low electromagnetic impact

Financement prévu : Université de Lille

Cofinancement éventuel : Région Hauts-de-France

(Co)-Directeur de thèse : Pr. Nadir IDIR

E-mail : nadir.idir@univ-lille.fr

Co-directeur de thèse : Dr. Arnaud VIDET et Dr. Florian CHEVALIER

E-mail : arnaud.videt@univ-lille.fr, florian.chevalier@univ-lille.fr

Laboratoire : Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique de Puissance (L2EP)

Equipe : Électronique de puissance

Contexte :

La gestion de l'énergie électrique passe par des convertisseurs électroniques qui assurent les transferts de puissance électrique dans de très nombreuses applications, incluant notamment la production d'énergie par les panneaux solaires, les chargeurs de batteries (appareils mobiles, véhicules électriques), les alimentations sans interruption (data centers), le contrôle d'actionneurs et l'alimentation des moteurs électriques (aéronautique, transport électrique, industrie). Ces convertisseurs de puissance répondent aussi à des besoins de plus en plus forts de miniaturisation, en particulier dans les applications embarquées (automobile, avionique) dans lesquelles la puissance électrique installée tend à augmenter tandis que la masse et l'encombrement doivent être réduits.

La densité de puissance des convertisseurs est alors un objectif clé dès le début de la conception. Récemment, des avancées technologiques dans les composants semi-conducteurs de puissance ont permis d'augmenter, à la fois, le rendement énergétique des convertisseurs (autorisant des systèmes de refroidissement plus compacts), et leur fréquence interne de fonctionnement (permettant l'emploi de composants de lissage des tensions et courants plus petits). Néanmoins, le fonctionnement à haute fréquence (HF) et les faibles temps de commutation associés sont inévitablement liés à la génération de perturbations électromagnétiques, notamment sous la forme de courants HF indésirables se propageant dans l'ensemble de l'installation. Des dispositifs additionnels de filtrage des perturbations sont alors nécessaires, au prix d'un volume accru pouvant nuire à l'amélioration de densité de puissance attendue.

Objectifs :

Les travaux de recherche de l'équipe électronique de puissance du L2EP visent notamment à développer des convertisseurs statiques fonctionnant à haute fréquence (de l'ordre du mégahertz), afin de réduire le poids et le volume des systèmes de conversion d'énergie, tout en maîtrisant les perturbations HF générées par les commutations des interrupteurs de puissance afin de respecter les normes de compatibilité électromagnétique (CEM). Dans ce contexte, divers travaux ont déjà été menés sur la modélisation et le dimensionnement des composants actifs et passifs. Une méthodologie a été récemment développée afin de déterminer les caractéristiques électriques HF des nouveaux transistors GaN de puissance, permettant de modéliser finement ces composants afin de prédire, à l'aide de logiciels de simulation, leur comportement au cours des



commutations [1]. L'importance des différentes interconnexions sur circuit imprimé a ainsi été mise en évidence sur les performances électriques de la cellule de commutation [2]. Parallèlement, une méthode de conception par optimisation de bobines de lissage fortement intégrées a été développée [3]. Enfin, un outil de dimensionnement a été élaboré pour minimiser le volume des composants nécessaires au filtrage HF pour la CEM [4].

Dans la continuité de ces travaux, le principal objectif de ce sujet de thèse est l'élaboration de règles de conception des convertisseurs HF, permettant d'atteindre un optimal en termes de performances énergétiques et de compatibilité électromagnétique, en fonction de la puissance à délivrer et de la stratégie de commande adoptée. Le volume global incluant l'ensemble des composants actifs et passifs sera alors optimisé en fonction des caractéristiques électriques du convertisseur, et la densité de puissance ainsi obtenue permettra d'envisager une intégration au plus près des actionneurs dans une chaîne de conversion électromécanique. Cette intégration à forte densité de puissance s'inscrit dans les objectifs du projet **CPER CE2I** [5].

Les travaux réalisés dans cette thèse permettront de mettre au point une méthode et un outil de conception et d'optimisation des convertisseurs HF intégrant des composants GaN et respectant les contraintes CEM. Ils permettront de synthétiser rapidement la topologie d'un convertisseur pour une application donnée, du point de vue de ses performances électriques et électromagnétiques. Il sera alors plus simple, par la suite, de prendre en compte les aspects thermiques. En effet, l'échauffement des composants peut contraindre la conception. À l'aide de l'outil de conception ainsi développé, il sera possible de trouver rapidement les compromis les plus intéressants.

Design of a highly integrated high frequency power converter with low electromagnetic impact

Context:

Power electronics converters for energy management meet many applications as solar cell production, battery chargers and embedded power management, uninterrupted power supplies (data centers), actuator control and electric motor power supply (aircraft applications, electrical transportation, industry). The embedded electrical power tends to increase in many applications (electrical actuation on aircraft, electrical vehicular traction) while there are increasing constraints on the converter size.

The power density is then the key bottleneck of the design. Recent developments on power semi-conductors leads to an increase of both converter efficiency (thereby allowing smaller cooling systems) and switching frequency (requiring smaller devices for voltage and current filter). But the high frequency (HF) switching combined with low turn-on and turn-off delays inevitably generates electromagnetic disturbances. It appears as unexpected HF current that spread through the whole installation. Filtering devices are thus required, resulting in a larger volume and a degradation of power density.

Goal:

The L2EP power electronics team works on the development of static converters with high frequency switching (i.e. MegaHertz), in the aim of the weight and volume reduction. In order to comply with the EMC (electromagnetic compatibility) standards it's necessary to reduce the HF disturbances induced by the power switches. In this context, the modeling of active and passive devices has been studied so far. A methodology has recently been developed and applied for the GaN transistors electrical characterization [1]. The transistors are accurately modeled and then used in simulation to determine the conducted emission level induced. The influence of the PCB interconnections has been determined regarding the switching cell efficiency [2]. In addition



a methodology for optimal EMI filter coil design in the aim of high integration degree is developed [3]. A generic tool has been developed for the HF filter devices design considering EMC constraints [4].

The goal of this thesis is the emergence of HF converters design rules, trading off the highest conversion efficiency and the lowest electromagnetic disturbance. The output power variation and the control strategy have to be considered. The objective is the optimization of the global converter volume, including active and passive devices. Increasing the power density will then lead to the close integration of converter in the electric machine. Such a high integration level is the flagship of CE2I project (European Regional Development Fund) [5].

The thesis expected results are a design method and an optimization tool for the GaN transistors integration in power converters, complying the EMC constraints. The converter synthesis will then rapidly reach a specific application requirement in terms of electrical and electromagnetic performances. As the device heating influences the converter behavior, the tool and method should guide the design taking into account the thermal effects. Trade off at each design step will be highlighted thanks to this work results.

Références :

- [1] L. Pace, N. Defrance, A. Videt, N. Idir and J. Dejaeger, "S-Parameter Characterization of GaN HEMT Power Transistors for High Frequency Modeling," *PCIM Europe 2018; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*, Nuremberg, Germany, 2018
- [2] S. Vienot, H. Hoffmann, A. Videt, T. Duquesne, and N. Idir: "Modeling and experimental analysis of a single leg towards the design of an integrated GaN converter", *Twenty-fifth Symposium on Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits (EPNC)*, 06/2018
- [3] A. Chafi, N. Idir, A. Videt, T. Duquesne and H. Maher, "Design and Optimization Method of PCB-Integrated Inductors for High-Frequency Converters," *PCIM Europe 2018; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*, Nuremberg, Germany, 2018
- [4] B. Zaidi, A. Videt and N. Idir, "Optimization method of CM inductor volume taking into account the magnetic core saturation issues," *IEEE Transactions on Power Electronics*, in press, 2019. DOI: 10.1109/TPEL.2018.2861620
- [5] Convertisseur d'Énergie Intégré Intelligent. URL: <http://ce2i.pole-medee.com/>