

Master project, 2021-2022

— Design of a high efficiency power converter with PCB embedded GaN transistors —

Supervisors: florian.chevalier@univ-lille.fr, L2EP – Univ. Lille
loris.pace@centralelille.fr, L2EP – Centrale Lille

Context

Increasing the switching frequency of electronic switches is a well-known solution to provide compact and well integrated power converters. Gallium nitride (GaN) transistors are attractive technologies for efficient power conversion for frequencies higher than megahertz. But the switching speed of these transistors also have drawbacks in terms of electromagnetic interferences, higher energy losses, and a reduced surface for thermal exchange. Moreover the converter design is constrained by the small size of the transistor packaging.

Based on the current research, the L2EP (electrical engineering and power electronics lab) has decided to design a new optimal printed circuit board (PCB) routing. More specifically, our aim is to design and create a multilayer PCB with transistors placed in between the layers of the boards. This technique shows a new thermal and electromagnetic phenomenon, where currently there is no ongoing research or development. The cooling of the active devices can be done by the rear side of the board, while control electronics and power management are still on the front side, or could be alternatively positioned in the intermediate layers. Overall, this design could create loops in the PCB thickness where an electromagnetic interference may appear.

Objective

The goal of this internship is to develop the most efficient PCB design for maximal thermal management and minimal electromagnetic disruption. Multiphysics simulation tools will be used in the development process. These simulations will use a simple structure like a buck converter or an inverter leg. The allowed degrees of freedom may be managed by a design of experiments. A synthesis of the results will lead to the fabrication for the best solution, following an experimental validation of the electrical, thermal and electromagnetic aspects due to the use of the lab facilities equipment such as, devices and systems characterization, instrumentation, IR camera, electromagnetic field analyzer, and a 10 kW power source.



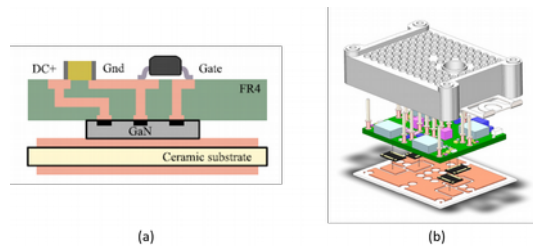


Fig. 1: Example of substrate-embedded GaN transistor [3]: (a) cross-sectional view (b) assembly

Work steps

The research begins with the design of the PCB for a standard structure (buck converter or inverter leg) and its analysis in terms of electrical, thermal and electromagnetic parameters, derived from the use of Multiphysics simulation tools. Based upon the results, the simulations aim to improve the three parameters outlined above. Additionally, mathematical methods will help find the best accord between these three parameters. Finally, this solution will be fabricated and tested in the lab or in a national partnership, according to the needs of the research project.

Keywords

Power electronics, high frequency converter, high efficiency conversion, thermal modelling, electromagnetic modelling, experimental validation, GaN transistor

References

- [1] 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.
- [2] B. Sun, K. L. Jørgensen, Z. Zhang and M. A. E. Andersen, "Research of Power Loop Layout and Parasitic Inductance in GaN Transistor Implementation," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 57, no. 2, pp. 1677-1687, March-April 2021.
- [3] Jørgensen, A. B., Beczkowski, S., Uhrenfeldt, C., Høgholt Petersen, N., Jørgensen, S., & Munk-Nielsen, S. (2019). A Fast-Switching Integrated Full-Bridge Power Module Based on GaN eHEMT Devices. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(3), 2494-2504. [8375808].



— Conception d'un convertisseur de puissance haute performance avec transistors GaN enfouis dans le circuit imprimé —

Encadrants : florian.chevalier@univ-lille.fr, L2EP – Univ. Lille
loris.pace@centralelille.fr, L2EP – Centrale Lille

Contexte

L'électronique de puissance voit monter la fréquence de commutation de ses composants afin de réduire l'encombrement des convertisseurs. Les transistors en nitrure de gallium (GaN) sont de bons candidats à la montée en fréquence, mais ils présentent de très lourds désavantages avec des commutations entraînant des problèmes de compatibilité électromagnétique et des pertes supplémentaires, ou encore une surface d'échanges thermiques très réduite. Aujourd'hui la taille des composants a atteint un minimum faisant peser de fortes contraintes sur la réalisation des circuits imprimés. Afin d'optimiser le placement des composants actifs parmi les connexions, une solution envisagée au L2EP est l'enfouissement des composants dans l'épaisseur même du circuit imprimé. Cette technique fait apparaître des phénomènes thermiques et électromagnétiques jusqu'alors peu étudiés. En effet, le refroidissement des composants peut être imaginé par la face arrière du circuit imprimé quand toute l'électronique de commande et la circulation de puissance restent sur la face avant ou dans les couches intermédiaires. Il faut cependant s'assurer que les boucles de courant entre les différentes couches dans l'épaisseur du circuit imprimé ne créent pas d'interférences électromagnétiques.

Objectifs

L'objectif de ce projet de master sera de trouver la configuration optimale de fabrication du circuit imprimé permettant à la fois un bon échange de chaleur vers l'extérieur et une absence de perturbations électromagnétiques. Pour cela, des outils de simulation multi-physique seront utilisés. Une structure simple telle un Buck ou un bras d'onduleur servira de support à l'étude. De nombreuses configurations sont envisageables. Un plan d'expérimentation pourra être un outil de classification des différents cas étudiés et facilitera la synthèse des résultats. La ou les meilleures configurations mises en évidence par simulation sera (seront) réalisée(s) pour une validation expérimentale électrique, thermique et électromagnétique grâce aux moyens expérimentaux du laboratoire (caractérisation de composants et systèmes, techniques instrumentales, caméra thermique, analyseur de champ électromagnétique, mesure d'impédance, source de puissance 10 kW).



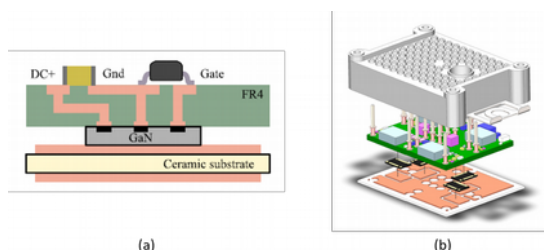


Fig. 2: Exemple d'intégration de transistors GaN [3] : (a) vue en coupe (b) assemblage

Étapes de travail

La mission commencera par la conception d'un circuit imprimé simple pour un convertisseur standard (hacheur série ou bras d'onduleur). Une analyse des paramètres électrique, thermique et électromagnétique sera opérée par un ou plusieurs logiciels de simulation multi-physique. À partir des résultats, d'autres simulations permettront de développer une amélioration de ces trois paramètres. Des outils mathématiques permettront de déterminer le meilleur compromis. Cette solution optimale sera alors réalisée et testée expérimentalement, au laboratoire ou éventuellement en collaboration avec un partenaire selon les moyens nécessaires.

Mots-clés

Électronique de puissance, conversion haute-fréquence, efficacité de conversion, modélisation thermique, modélisation électromagnétique, validation expérimentale, transistor GaN.

Références

- [1] 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.
- [2] B. Sun, K. L. Jørgensen, Z. Zhang and M. A. E. Andersen, "Research of Power Loop Layout and Parasitic Inductance in GaN Transistor Implementation," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 57, no. 2, pp. 1677-1687, March-April 2021.
- [3] Jørgensen, A. B., Beczkowski, S., Uhrenfeldt, C., Høgholt Petersen, N., Jørgensen, S., & Munk-Nielsen, S. (2019). A Fast-Switching Integrated Full-Bridge Power Module Based on GaN eHEMT Devices. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(3), 2494-2504. [8375808].

