

(French version below)

Liquid-based isolation for high-voltage power modules

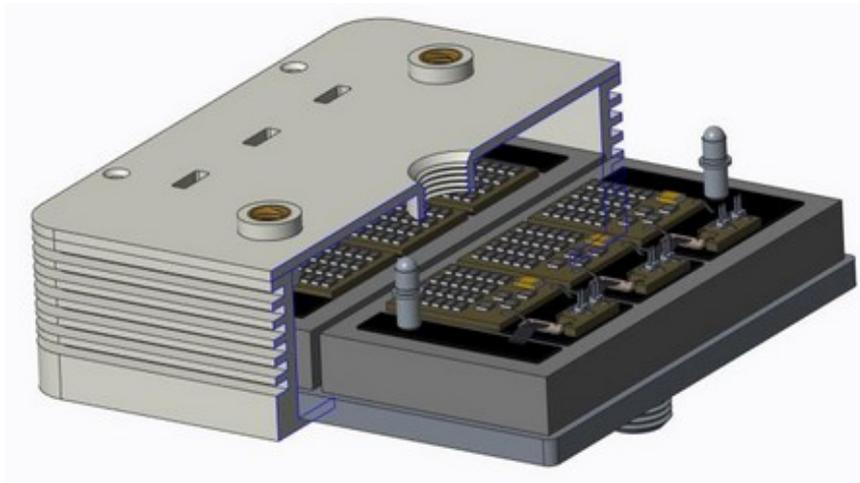


Figure 1: Module with integrated cooling (ceramic heatsink) developed previously. This constitutes a starting point for this PhD topic.

In classical, 2D power modules, the electrical insulation is often based on silicone gel encapsulation for the top side and a solid (ceramic) layer for the backside. Therefore, the voltage management on the top side is driven by surface distances between copper tracks or distances between the different wires or leads used for the electrical connections. For the backside, the isolation voltage is dictated by the thickness of the solid layer.

It has previously been demonstrated in our group that the integration of a ceramic, liquid-cooled heatsink is an efficient solution for the thermal management of high power modules¹. By using dielectric cooling fluids, it is even possible to increase the backside isolation beyond the capability of the ceramic heatsink alone.

In this project, we want to investigate the use of a dielectric fluid to cool the module at the backside, but also to encapsulate the semiconductor switches (topside), to overcome the limitations of silicone gels.

¹ « Towards a Common Mode Current Free Packaging Solution for High Voltage Series Connected SiC MOSFET Switches », Cédric Mathieu de Vienne et al., PCI Europe, May 2023, Nuremberg, Germany, « An Advanced Integrated Cooling Solution for High Voltage and Power Density Modules », Amin Salim Obaid Al-Hinaai, et al., Therminic 2023 - 29th International Workshop Thermal Investigations on ICs and Systems, Sep 2023, Budapest, Hungary



Thereby, the objectives of this study are :

- To find an eco-friendly liquid able to ensure both an efficient cooling and electrical insulation.
- To verify the chemical compatibility between the chosen liquid and the power module materials.
- To perform an electrical characterization of the liquid insulation : partial discharge measurement and voltage breakdown measurement under AC sinus wave and high dv/dt unipolar square voltage. Dedicated sub-parts of the power module illustrating some constraints will be designed and realized for this purpose.
- To define electrical design rules with liquid insulation for both sides of the power module
- To participate to the design and manufacturing of a complete power module, which will include several power semiconductor devices, but also some auxiliary electronics (sensing elements, gate drivers, balancing circuits...)
- To test the power modules in realistic conditions to demonstrate the relevance of the design.

This topic is part of FLAGCHIP, a European project involving several companies and universities across Europe, and aimed at developing new power electronic solutions for the energy sector. In practice, the PhD candidate will be hosted mostly by Ampère Lab (Lyon, France), with some stays with the University of Kempten (Germany), and travels for meetings with the partners of the project (Norway, UK, Switzerland, Germany, Spain, Cyprus), as well as for conferences.

The candidate should have a master's degree in electrical engineering, with some experience or interest in related topics such as materials for electrical engineering or thermal management. They should have the desire to undertake practical work. A good level in English is required.

The position is fully funded for 3 years. The topic is suited in pursuing a career in academia or in the industry.

To apply/enquire : cyril.buttay@insa-lyon.fr

Isolation à base de liquide pour les modules de puissance haute tension

Dans les modules de puissance classiques en 2D, l'isolation électrique repose typiquement sur une encapsulation en gel silicone pour la face supérieure et sur une couche solide (céramique) pour la face inférieure. Par conséquent, la gestion de la tension sur la face supérieure est déterminée par les distances entre les pistes en cuivre ou par les distances entre les différents conducteurs utilisés pour les connexions électriques. Pour la face inférieure, la tension d'isolation est dictée par l'épaisseur de la couche solide.

Nous avons démontré par le passé (voir figure plus haut) que l'intégration d'un dissipateur thermique en céramique refroidi par liquide est une solution efficace pour la gestion thermique des modules de puissance haute tension. En utilisant des fluides de refroidissement diélectriques, il est même possible d'augmenter l'isolation de la face inférieure au-delà des capacités du dissipateur céramique seul.

Dans ce projet, nous souhaitons étudier l'utilisation d'un fluide diélectrique pour refroidir le module par la face inférieure, mais aussi pour encapsuler les interrupteurs à semi-conducteurs (face supérieure), afin de surmonter les limitations des gels silicone.



Ainsi, les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Trouver un liquide écologique capable d'assurer à la fois un refroidissement efficace et une isolation électrique.
- Vérifier la compatibilité chimique entre le liquide choisi et les matériaux du module de puissance.
- Réaliser une caractérisation électrique de l'isolation liquide : mesure de décharge partielle et mesure de claquage sous onde sinusoïdale AC et sous tension carrée unipolaire à haut dv/dt. Des sous-parties dédiées du module de puissance illustrant certaines contraintes seront conçues et réalisées à cet effet.
- Définir des règles de conception électrique avec isolation liquide pour les deux faces du module de puissance.
- Participer à la conception et à la fabrication d'un module de puissance complet, qui inclura plusieurs dispositifs semi-conducteurs de puissance, ainsi que de l'électronique auxiliaire (éléments de détection, drivers de grille, circuits d'équilibrage...).
- Tester les modules de puissance dans des conditions réalistes pour démontrer la pertinence de la conception.

Ce sujet fait partie de FLAGCHIP, un projet européen impliquant plusieurs entreprises et universités à travers l'Europe, et visant à développer de nouvelles solutions électroniques de puissance pour le secteur de l'énergie. En pratique, le doctorant ou la doctorante sera principalement hébergé(e) par le Laboratoire Ampère (Lyon, France), avec des séjours à l'Université de Kempten (Allemagne), et des déplacements pour des réunions avec les partenaires du projet (Norvège, Royaume-Uni, Suisse, Allemagne, Espagne, Chypre), ainsi que pour des conférences.

La candidate ou le candidat doit avoir un master en génie électrique, avec une expérience ou un intérêt pour des sujets connexes tels que les matériaux pour le génie électrique ou la gestion thermique. Elle ou il doit avoir le désir d'entreprendre des travaux pratiques. Un bon niveau d'anglais est requis.

Le sujet est entièrement financé pour 3 ans, et est adapté à une poursuite une carrière dans le milieu académique ou dans l'industrie.

Contact : cyril.buttay@insa-lyon.fr