



HAL
open science

Caractérisation de modules MOSFET-SiC en vue de leur utilisation future dans des convertisseurs ferroviaires

Joseph Fabre

► To cite this version:

Joseph Fabre. Caractérisation de modules MOSFET-SiC en vue de leur utilisation future dans des convertisseurs ferroviaires. Congrès annuel de l'école doctorale GEET, Toulouse, Apr 2013, Toulouse, France. hal-02938790

HAL Id: hal-02938790

<https://hal.science/hal-02938790>

Submitted on 17 Sep 2020

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.

Caractérisation de modules MOSFET-SiC en vue de leur utilisation future dans des convertisseurs ferroviaires

Joseph FABRE ^{1,2}

¹*ALSTOM Transport - Power Electronic Technologies - Traction System Engineering
Rue du Docteur Guinier - BP4 - 65601 Séméac*

²*Université de Toulouse - LAPLACE (Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie)
ENSEEIH, 2, rue Charles Camichel - BP7122 - F - 31071 Toulouse Cedex 7*

Le Carbure de Silicium (SiC) va permettre de repousser les limites des convertisseurs dans trois directions : haute tenue en tension, haute température de fonctionnement, et haute vitesse de commutation. Aujourd'hui, les premiers modules MOSFET SiC sont disponibles sur le marché et semblent prometteurs. Pour évaluer leurs intérêts un banc de tests a permis de caractériser en conduction et commutation ces composants. Puis, un banc d'essai utilisant la « méthode d'opposition » a permis de comparer les modules IGBT-Si et les MOSFET-SiC en fonctionnement onduleur grâce à des mesures électriques et thermiques.

I. INTRODUCTION

Depuis un demi-siècle l'électronique utilise des composants au Silicium. Dans la traction ferroviaire, l'IGBT-Si est arrivé en 1992 [1] et a rapidement supplanté les thyristors blocables (GTO). Bien que des améliorations continuent à être effectuées, la technologie Silicium atteint aujourd'hui une asymptote et les progrès sur la tenue en tension et les performances en commutation sont limités.

Actuellement, certains fabricants de semi-conducteurs ont lancés à une échelle industrielle la production de transistors en Carbure de Silicium (SiC) avec une tenue en tension de 1200 V. Ces composants sont disponibles soit sous forme de puces, soit sous forme de modules de puissance. Ces dix dernières années de nombreux travaux de recherche ont montré que le SiC est attrayant en termes de tenue en tension, de température et de vitesse de commutation. C'est pourquoi les fabricants de chaînes de traction doivent sérieusement envisager cette nouvelle technologie. À l'heure actuelle, certains fournisseurs proposent des MOSFET-SiC qui semblent très prometteurs pour améliorer les performances en traction. Les premiers modules commerciaux sont des Dual MOSFET SiC 1200V-100A qui repoussent essentiellement les limites de vitesses de commutation et permettent d'accroître l'efficacité des convertisseurs. Pour évaluer l'intérêt de ces nouveaux dispositifs une première batterie de mesures, basé sur un banc d'essai simple et double-pulse (hacheur sur charge inductive) a été réalisé [2], [3]. Ces

essais ont mis en avant la difficulté d'obtenir des mesures précises des énergies en commutation à partir des mesures des tensions et courant sans appareils de large bande passante [2]. Pour aller plus loin dans la caractérisation de ces modules, la mise en place d'un banc d'essai basé sur la méthode de l'opposition permet de comparer les modules IGBT-Si et les MOSFET-SiC dans un onduleur de tension en fonctionnement MLI.

Dans cet article, l'auteur présente la mise en œuvre du banc d'essai et proposent différentes méthodes pour estimer les pertes de semi-conducteurs. Les résultats expérimentaux avec les IGBT-Si et les MOSFET-SiC sont présentés et comparés. Dans l'ensemble, ils montrent clairement l'intérêt d'utiliser les MOSFET-SiC en vue d'accroître l'efficacité et/ou de réduire le poids et le volume des chaînes de traction.

II. CARACTERISATION DE SEMI-CONDUCTEURS MOSFET-SiC ET IGBT-Si PAR METHODE D'OPPOSITION

Le banc d'essai est basé sur un pont en H sur charge inductive. Dans ce circuit, un bras impose la tension tandis que l'autre assure le contrôle du courant [4]. Ce banc permet de tester tous les points de fonctionnement onduleur souhaités et des tests d'endurance peuvent être effectués. Ainsi les semi-conducteurs sont testés dans des conditions réelles de travail depuis la conception mécanique avec les Busbarres jusqu'à l'environnement thermique avec le système de

refroidissement. Il permet aussi l'étude de la mise en parallèle de modules de puissance afin d'atteindre des niveaux de courant élevé requis par les convertisseurs ferroviaires. Les pertes totales dans les modules sont évaluées dans un fonctionnement onduleur MLI en utilisant deux méthodes : la mesure de puissance électrique et la mesure calorimétrique sur les plaques à eau de refroidissement [4]. Les résultats de ces deux méthodes sont comparés aux calculs des pertes obtenue à partir des essais en conduction et commutation du composant et présentés dans [2].

La méthode électrique nécessite une caractérisation préalable des éléments passifs (en particulier de l'inductance d'opposition). La mesure de la puissance fournie sur le bus continu donne les pertes totales du montage et un bilan de puissance permet d'obtenir les pertes dans les semi-conducteurs. Les pertes dans les deux bras étant identiques lorsque les conditions de symétrie sont respectées ($\varphi = \pi/2$) [4]. Enfin, des tests sont effectués à des fréquences de commutation différentes afin de séparer les pertes en conduction et les pertes en commutation.

Comme le montre la Figure 1, la méthode thermique consiste à mesurer le débit de l'eau de refroidissement (Q_v) et les températures d'entrée (T_{i1} , T_{i2}) et de sortie (T_{o1} , T_{o2}). Afin de garantir des conditions adiabatiques, les refroidisseurs sont isolés avec de la mousse. La précision sur la mesure des pertes dépend de la différence de température. C'est pour cela qu'une réduction du débit d'eau est nécessaire pour obtenir une mesure précise pour les points de fonctionnement à faibles pertes (dans notre cas, le débit minimum est de 1 Litre/min).

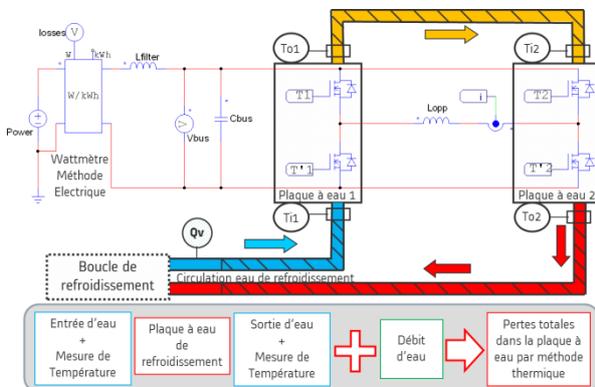


FIG. 1. Méthode thermique (ou calorimétrique) appliquée au banc d'essai en opposition.

De plus, des thermocouples sont placés sous la semelle des modules afin d'estimer la température de jonction des puces.

La Figure 2 donne un exemple de mesures enregistrées durant deux heures avec un échantillonnage d'une seconde. Elles concernent la plaque de refroidissement 1 équipé de module de puissance MOSFET-SiC.

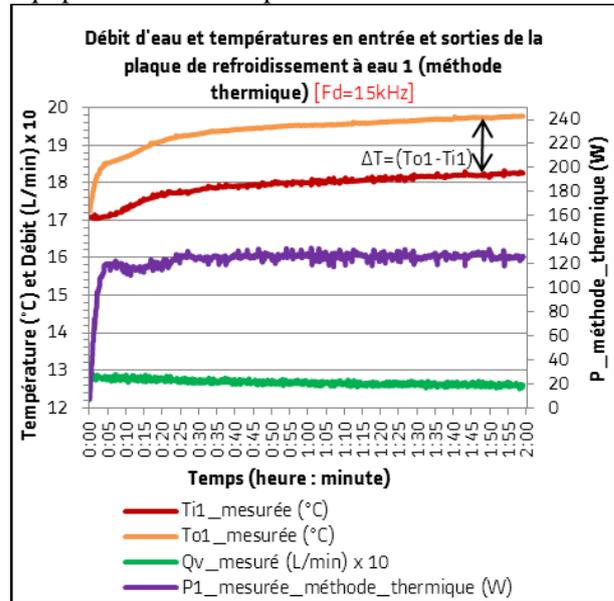


FIG. 2. Débit et températures entrée/sortie sur la plaque de refroidissement 1 pour un module de puissance MOSFET-SiC.

La figure 3 montre une comparaison entre un module IGBT-Si et un module MOSFET-SiC dans les conditions suivantes :

- Tension de Bus = 600V,
- Courant de sortie sinusoïdal = 100A_{pic},
- Fréquence modulante = 20Hz,
- Déphasage du courant : $\varphi = \pi/2$,
- Fréquence de découpage = [1 à 18]kHz,
- Taux de modulation = 0,5,
- Temps mort = 3 μ s.

Les résultats de mesures prouvent que l'estimation des pertes par calculs est correcte. Pour le MOSFET-SiC, cela confirme la bonne précision des mesures de courant et de tension lors des essais en commutation et valide la modélisation à l'état passant du composant en tenant compte de ces propriétés de bidirectionnalité en courant.

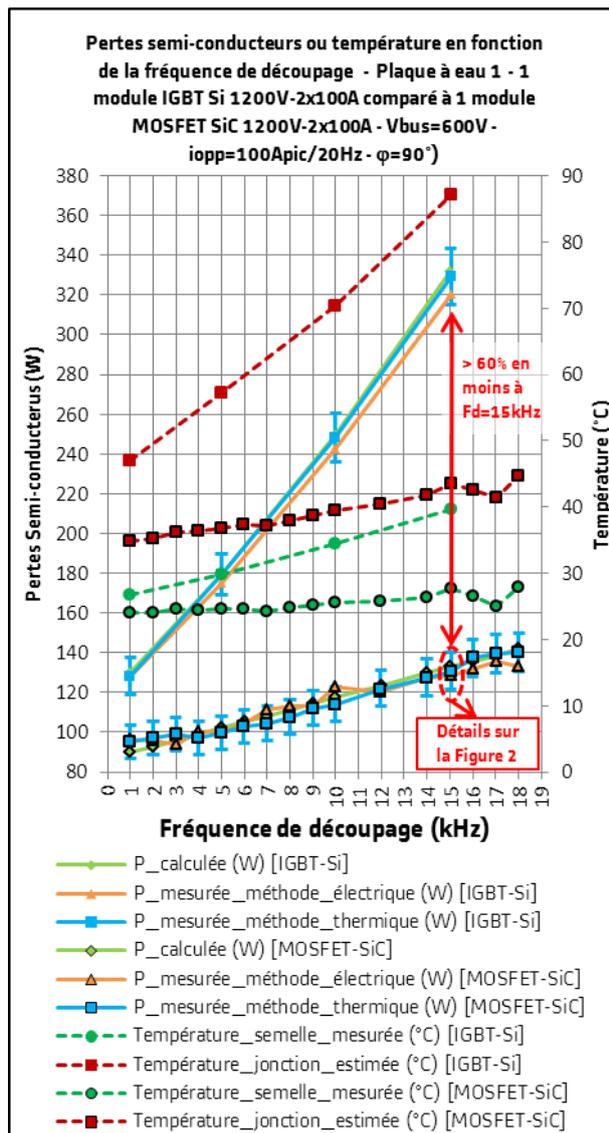


FIG. 3. Fonctionnement Onduleur, pertes totales (Transistor + Diode) en fonction de la fréquence de découpage. Comparaison entre un module MOSFET-SiC et un module IGBT-Si.

Au-delà de la validation du bon fonctionnement des modules MOSFET-SiC, ces résultats montrent une réduction d'un facteur 2,5 des pertes totales (Transistor + Diode) pour une fréquence de découpage de 15 kHz. A pertes identiques, le module IGBT-Si fonctionne à 1 kHz alors que le module MOSFET-SiC fonctionne à 15 kHz.

V. CONCLUSIONS

Dans ce papier, un banc d'essai basé sur la méthode d'opposition a été validé. Elle a été réalisée pour mesurer les pertes dans des MOSFET-SiC pour une utilisation future dans le domaine des convertisseurs ferroviaires. Les

résultats expérimentaux ont validés les méthodes électriques et thermiques.

Aujourd'hui, des centaines d'heures de fonctionnement onduleur avec les composants MOSFET-SiC ont été cumulées. Les résultats expérimentaux montrent une réduction significative des pertes dans les semi-conducteurs et la possibilité d'augmenter la fréquence de commutation. La combinaison de ces deux avantages a un impact au niveau du système. La réduction des pertes dans les convertisseurs statiques conduira à diminuer la taille du système de refroidissement ou même changer sa technologie. D'autant plus que les composants en SiC permettent de repousser la limite maximale de température de jonction. D'autre part, l'augmentation de la fréquence de commutation réduit la taille des filtres passifs ou permet de considérer différentes stratégies de contrôle de la machine. Dans l'ensemble, l'introduction de composants SiC nécessite de reconsidérer toute la conception de la chaîne de traction pour obtenir des gains significatifs en masse et le volume et faciliter l'intégration. Pour le moment, les applications cibles sont des convertisseurs auxiliaires, mais les dispositifs SiC 1700V à venir permettra la réalisation onduleurs de traction pour les métros et les tramways.

IV. REFERENCES

- [1] M. Debruyne, "High power IGBT traction drives", WCRR'01 (World Conference on Railway Research), Cologne, Germany, November 2001.
- [2] J. Fabre, P. Ladoux, M. Piton, "Characterization of SiC MOSFET dual modules for future use in railway traction chains", PCIM'12, Nuremberg (Germany), 7-9 May 2012.
- [3] P. Ladoux, M. Mermet-Guyennet, J. Casarin, J. Fabre, "Outlook for SiC devices in Traction Converters", ESARS'12, Bologna (Italy), IEEE International conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship propulsion, Bologna, Italy, 16-18 October 2012.
- [4] F. Forest, J.-J. Huselstein, S. Faucher, M. Elghazouani, P. Ladoux, T. A. Meynard, F. Richardeau, C. Turpin, "Use of Opposition Method in the Test of High-Power Electronic Converters", IEEE Trans. Indust. Elec., vol. 52, no. 2, pp. 530-541, April 2006.