



HAL
open science

Plateforme de caractérisation pour composants grand-gap et modèle EBEM-CE associé

Bertrand Revol, Richard Lopez-Bancalari, Slim Hrigua, Francois Costa

► **To cite this version:**

Bertrand Revol, Richard Lopez-Bancalari, Slim Hrigua, Francois Costa. Plateforme de caractérisation pour composants grand-gap et modèle EBEM-CE associé. Symposium de Génie Électrique 2014, Jul 2014, Cachan, France. hal-01065200

HAL Id: hal-01065200

<https://hal.science/hal-01065200>

Submitted on 18 Sep 2014

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.

Plateforme de caractérisation pour composants grand-gap et modèle EBEM-CE associé

Bertrand Revol, Richard Lopez-Bancalari, Slim Hrigua, François Costa

SATIE UMR 8029, ENS Cachan, CNRS, 61 avenue du président Wilson, 94230 Cachan

RESUME – Les composants à grand gap sont aujourd’hui présentés comme la nouvelle génération de composants de puissance dont les performances annoncées ou du moins espérées sont plus que prometteuses. Leur vitesse de commutation élevée associée à leur tenue en tension importante et une augmentation possible des fréquences de découpage représentent une combinaison redoutable sur le plan de la compatibilité électromagnétique imposant ainsi une vigilance toute particulière. A l’instar des travaux menés sur l’estimation des émissions conduites des structures utilisant des composants en Silicium, ces technologies (ex : GaN, SiC) demandent un effort supplémentaire quant à la modélisation des sources de perturbation autrement dit des phases de commutation. Cet article présente une plateforme de caractérisation dédiée aux composants en commutation ainsi qu’un modèle haute fréquence permettant au travers des émissions conduites générées la discrimination des effets des différentes technologies de semi-conducteurs.

MOTS-CLES – Banc de caractérisation, MOSFET et Diodes SiC, modélisation des émissions conduites.

1. Introduction

L’arrivée progressive des composants de puissance à large bande interdite (ie. grand gap) remet en question un certain nombre de paramètres et de contraintes de dimensionnement des structures électroniques de puissance. L’augmentation importante de la fréquence de découpage (100kHz à 1MHz) pour des niveaux de tension élevés et il faut l’espérer pour des niveaux de courant croissants aura naturellement l’impact espéré sur la valeur des composants passifs de filtrage ou de stockage. Le deuxième point prometteur correspond à la diminution des pertes en commutation facilitant ainsi la gestion thermique des composants [1]. Si cette contrainte thermique se veut moins problématique, la compatibilité électromagnétique représente quant à elle, celle qui non seulement ne pourra absolument pas être relâchée mais qui devra sans aucun doute durcir du fait des vitesses de commutation élevées. Autrement dit, si nous voulons exploiter pleinement les propriétés de ces composants à grand gap, il sera impératif de maîtriser les émissions électromagnétiques qu’ils vont générer. Cette maîtrise demande de connaître le comportement de ces éléments quelle que soit leur utilisation (topologie de la structure, point de fonctionnement...). L’élaboration de modèles permettant par simulation de prédéterminer les niveaux de perturbation est indispensable. Toute la difficulté, connue des électroniciens de puissance, est de créer des modèles de composants de puissance d’une part viable pour la simulation temporelle (compatible avec les solveurs de circuits) et d’autre part facile à renseigner soit directement à partir des données du fabricant soit par extraction via des mesures spécifiques. De surcroît, il faut que ces modèles soient robustes en retranscrivant le comportement réel du composant en commutation quel que soit le point de fonctionnement. Pour assurer cette dernière condition, il faut que les paramètres du modèle s’adaptent ou du moins qu’ils soient prévus pour couvrir une plage de fonctionnement pertinente. Des travaux récents ont permis de développer de tels modèles [2] [3] et de montrer leur efficacité en termes de réalisme et de rapidité. Ils nécessitent d’une part des données standards directement proposées par les fiches des constructeurs et d’autre part des éléments accessibles par la mesure au travers d’essais simples des composants en commutation. Pour ce dernier point, il est nécessaire que les éléments sous test fonctionnent sur une plage (tension, courant) cohérente vis-à-vis de leurs calibres (ex : MOSFET CREE CMF20120D – 1200V, 42A). Assurer une telle puissance commutable uniquement pour caractériser ces composants nécessite une structure particulière capable d’imposer les niveaux nominaux des couples « tension-courant » des interrupteurs sans imposer d’appeler et de dissiper une puissance importante. La première partie de cet article présente le banc de caractérisation développé pour tester ces composants de puissance en commutation. Seules quelques caractéristiques particulières de cette plateforme de test sont présentées dans ce résumé. La deuxième partie présente comment l’impact direct des technologies (Si, SiC, GaN) peut être étudiée à travers un modèle haute fréquence dédié à l’étude des émissions conduites des cartes électroniques EBEM-CE (Electronic Board Emission Model – Conducted Emission).

2. Développement d'un banc instrumenté de caractérisation

2.1 Spécifications de la plateforme de caractérisation

Les composants « grand-gap » étant encore émergents, il est nécessaire d'en faire une caractérisation détaillée afin d'optimiser leur usage. Pour cela différents aspects sont à considérer :

- 1) Les mécanismes de commutations et les formes d'onde dans une cellule de commutation classique non isolée.
- 2) Le comportement du point de vue de la CEM, les courants de mode commun, et les interactions avec les circuits environnants notamment de commande rapprochée.
- 3) Le comportement thermique, et la caractérisation des pertes, ainsi que la robustesse et la fiabilité des puces.

La plateforme expérimentale développée permet d'évaluer ces différents points. Il faut toutefois noter que le troisième proposé n'a pas encore fait l'objet d'une étude complète. La structure proposée (Figure 1) intègre deux cellules de commutation qui travaillent en opposition de sorte que l'alimentation du banc ne fournisse que les pertes. La charge purement inductive permet de générer n'importe quel type de forme d'onde de courant sans dissiper la puissance transitée. Plusieurs stratégies de contrôle peuvent être intégrées. Les deux bras de puissance peuvent fonctionner de façon synchrone purement en opposition en utilisant la même technologie d'interrupteur ou peuvent travailler de façon indépendante avec des fréquences et des lois commande différentes si l'on souhaite tester des technologies différentes. Les spécifications désirées sont données dans le tableau 1.

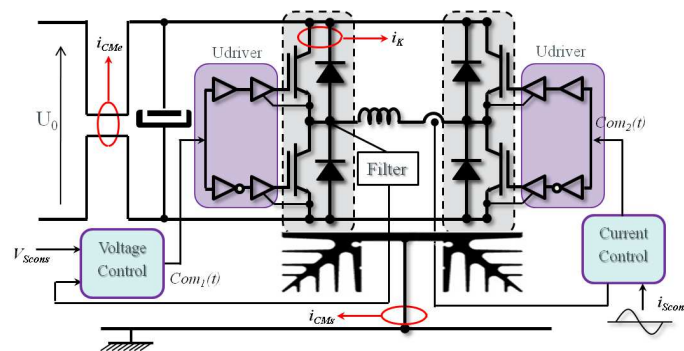


Figure 1 : schéma de la structure en opposition

Tableau 1. Spécifications de la structure

	min	max
Tension d'entrée U_0 (V)	50	1200
Courant de test (A)	0	60
Fréquence de découpage (kHz)	50	1000
Point de mesures	- Tension et courant de mode commun en entrée - courant de mode commun collecté au niveau du dissipateur - courants dans les interrupteurs de chaque cellule de commutation	

Un RSIL peut être implanté en vue de la caractérisation des perturbations électromagnétiques conduites. Le montage global se veut modulaire pour permettre son évolution notamment aux différents types de boîtier des composants sous test. La carte de puissance spécifique à une cellule de commutation (Figure 2) permet pour l'instant de s'adapter à des configurations et boîtiers des semi-conducteurs simples tels que des TO247 ou TO220. Elle intègre directement les mesures de courant au niveau des interrupteurs et des diodes. Ces mesures toujours délicates à réaliser sont faites à l'aide de shunts coaxiaux. Le choix de ce type de capteur est avant tout lié à leur très faibles inductances d'insertion et leur bande passante (ex : SDN 414-05, 50mΩ, 2GHz).

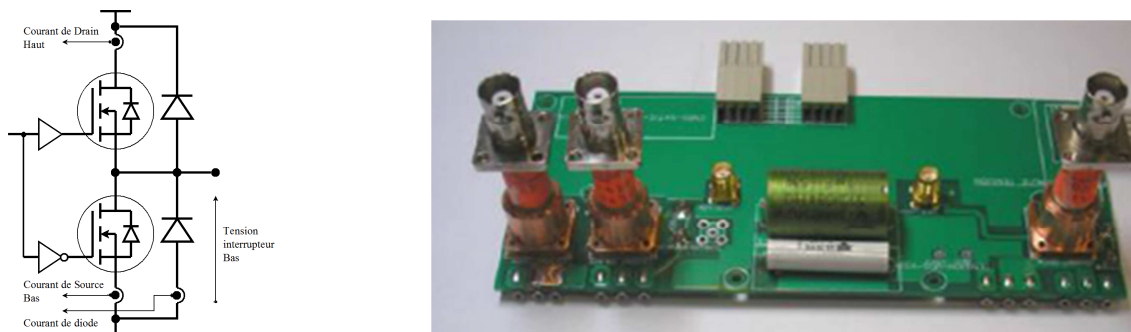


Figure 2 : Implantation des mesures en mode commun du courant et de la tension au niveau du bus continu

Pour les premiers tests effectués, les transistors retenus sont les MOSFET SiC CMF20120D (1200V, 42A) développés par CREE. Les diodes SiC associées sont les C2D20120 (1200V, 2x20A) produites par le même fabricant.

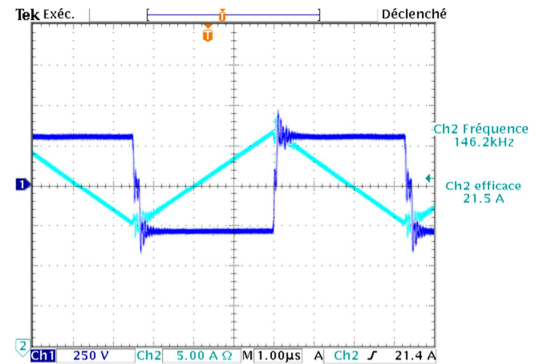
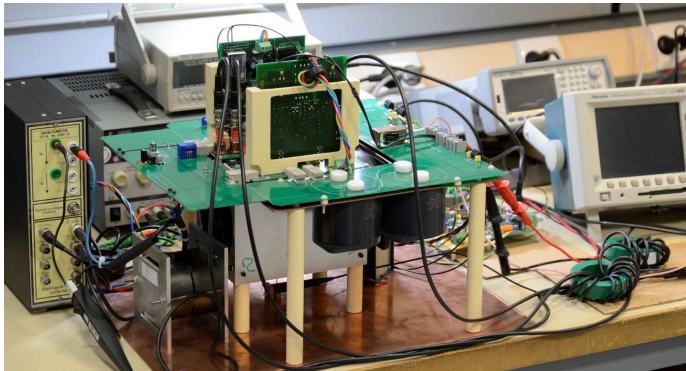


Figure 3 : Plateforme de caractérisation de composant grand-gap, essai $U_0 = 300V$, $I_{\text{cons}} = 20A$ @146kHz

2.2 Réalisation d'un driver universel

La versatilité de ce banc de mesure et de caractérisation suivants les technologies des interrupteurs impose que le circuit de pilotage de ces derniers puisse également s'adapter. Cette contrainte conduit au développement d'un « driver universel » capable par pré-programmation de s'adapter aux tensions de commande très spécifiques des transistors MOSFET JFET et IGBT en GaN SiC ou SI. Le travail dans un premier temps s'est focalisé sur le développement d'une carte de commande générique pour composants SiC. La raison est simple, les composants SiC disponibles actuellement peuvent être pilotés sous des tensions de commande très variables (0/-30V pour les JFET normally-off ; +25/-5V pour les MOSFET SiC). Les étages de commande rapprochée des composants silicium ne sont naturellement plus adaptés à ces nouvelles technologies. Le driver réalisé intègre ces différentes contraintes et assure des signaux de commande dont les temps de montée et de descente sont inférieurs à 10ns pour des variations de 27V (Figure 4). Ces performances sont obtenues grâce à un driver IXDD609YI spécialement développé pour les applications à très haute fréquence.

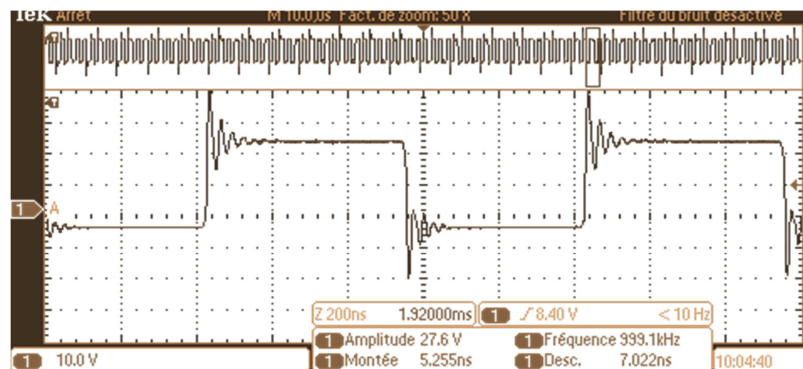


Figure 4 : Mesure de la tension en sortie de driver -5V +22V @1MHz

La stratégie de commande de la structure implantée dans un DSP est transmise par fibre optique. Ce découplage permet de limiter voire d'annuler les émissions conduites susceptibles de se reboucler vers les cartes sensibles. La circulation des courants de perturbation générée par les commutations de chaque bras doit se limiter à la partie puissance de la structure et être entièrement collectée par le RSIL. Nous détaillerons ce point dans le document final.

3. Modélisation EBEM-CE de la structure de test

L'un des objectifs indépendamment du fait de renseigner des modèles de composant de puissance pertinents pour l'estimation des émissions conduites en simulation, est de comparer à toutes choses égales (environnement électromagnétique, connectique, puissance, lois de commande...) la signature spectrale propre aux technologies étudiées. En intégrant, par exemple, les mesures caractéristiques en mode commun directement dans la structure, la reproductibilité de ces dernières est assurée quels que soit les interrupteurs testés dont les emplacements sont également figés. Ainsi, à partir d'un modèle permettant de retranscrire le comportement haute fréquence d'une carte électronique à l'aide d'un réseau d'impédance (PDN : Passive Distribution Network) et de sources localisées, nous pouvons comparer les émissions conduites produites [4]. Ce type de modèle communément appelé EBEM-CE (Electronic Board Emission Model – Conducted Emission) nécessite un protocole d'identification qui sera développé dans l'article complet.

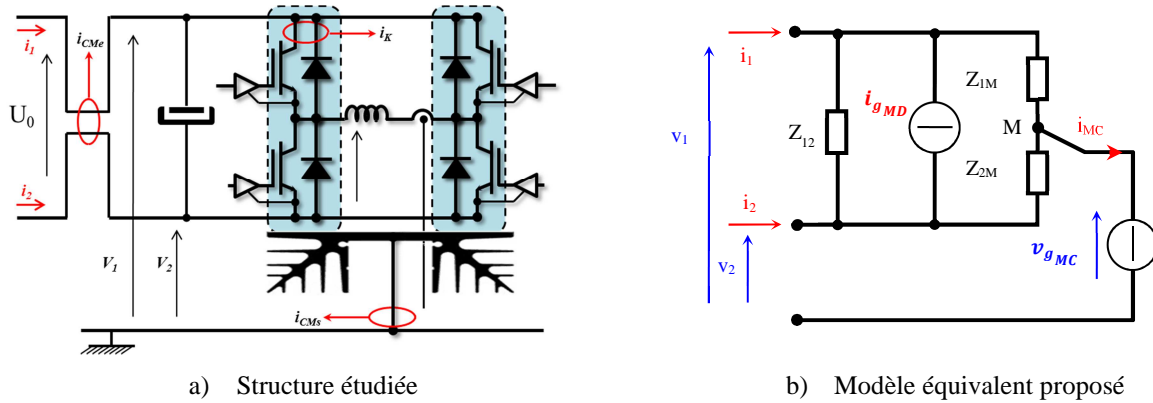


Figure 5 : Modèle équivalent CEM de la structure

Les mesures de mode commun en entrée de la structure sont directement implantées. En effet, une sonde de courant (Pearson 2877 : courant efficace 2,5A, plage de fréquences 300Hz-200MHz) permet la mesure directe du courant de mode commun au niveau du bus continu. La tension de mode commun est quant à elle faite par un diviseur de tension réalisée par des résistances à très faible inductance série (Type MS power film résistors).

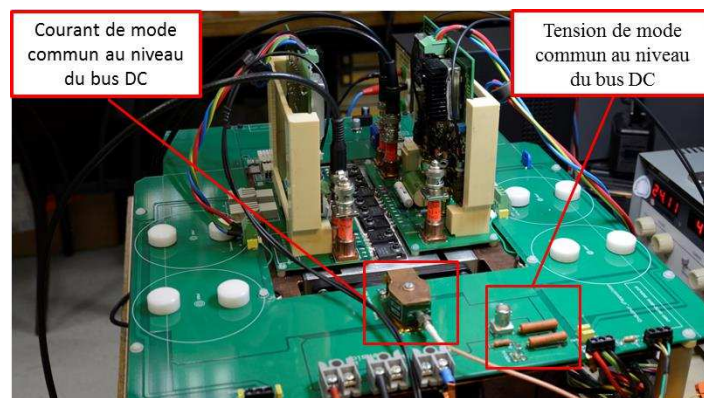


Figure 6 : Implantation des mesures en mode commun du courant et de la tension au niveau du bus continu

Les résultats de ces mesures seront présentés et étudiés dans l'article final.

4. Conclusion

Ce travail expérimental complète les études menées sur le développement de modèles de composants semi-conducteurs pour la simulation dédiée à l'estimation des émissions conduites des convertisseurs de puissance. Une plateforme versatile tant par les jeux de tension et de courant qu'elle permet d'assurer que par les différentes mesures qu'elle permet d'exploiter, a été réalisée. Cette plateforme permet une réelle complémentarité avec les études théoriques sur les composants. Elle permet de mieux renseigner des modèles récemment développés pour repousser la validité des simulations pour des fréquences élevées (100MHz). Grâce à un environnement électromagnétique parfaitement figé et caractérisé, des modèles génériques dédiés à la compatibilité électromagnétique peuvent être établis, testés et améliorés. Des techniques de séparation de sources peuvent être également testées pour différencier des émissions produites par différentes parties d'une structure.

5. Références

- [1] R. J. Callanan, A. Agarwal, A. Burk, M. Das, B. Hull, F. Husna, A. Powell, J. Richmond, S.-H. Ryu, et Q. Zhang, « Recent progress in SiC DMOSFETs and JBS diodes at Cree », in 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, 2008. IECON 2008, 2008, p. 2885-2890.
- [2] S. Hrigua, F. Costa, C. Gautier, et B. Revol, "New Method of EMI analysis in power electronics based on semiconductors transient models: Application to SiC MOSFET/Schottky diode," in IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 2012, pp. 590 –595.
- [3] S. Hrigua, F. Costa, C. Gautier, et B. Revol, "New modeling method based on transfer functions for EMI analysis in power electronic converters," in 2012 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE), 2012, pp. 1 –6.
- [4] M. Ali, F. Costa, B. Revol, et E. Labouré, "Caractérisation et modélisation EM d'une carte d'alimentation DC-DC pour concevoir le dimensionnement d'un filtre CEM hybride," CEM 2010, France, Limoge, 2010.