



HAL
open science

Estimation des pertes dans les transistors bipolaires SiC

Cheng Chen, Denis Labrousse, Stéphane Lefebvre, Cyril Buttay, Hervé Morel

► **To cite this version:**

Cheng Chen, Denis Labrousse, Stéphane Lefebvre, Cyril Buttay, Hervé Morel. Estimation des pertes dans les transistors bipolaires SiC. Symposium de Génie Electrique (SGE'14), Jul 2014, Cachan, France. hal-01065220

HAL Id: hal-01065220

<https://hal.science/hal-01065220>

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.

Estimation des pertes dans les transistors bipolaires SiC

Cheng CHEN^{1,2}, Denis LABROUSSE¹, Stéphane Lefebvre¹, Cyril Buttay², Hervé Morel²,
 J.André³, M. Domeij³

¹SATIE, ENS-Cachan, 61 Avenue du Président Wilson, 94230 Cachan, France

²Ampère, INSA-Lyon, 20 Avenue Albert Einstein, 69621 Villeurbanne, France

³Fairchild Semiconductor, Immeuble Ontario 3 Avenue du Quebec Villebon Sur Yvette 91140 France & Fairchild Semiconductor AB Isafjordsgatan 32C 6th Floor 16440 Kista Sweden

RESUME – Cet article traite de l'estimation des pertes dans les transistors bipolaires SiC. Deux méthodes sont présentées ici. La première, qualifiée d'électrique, consiste à mesurer la tension et le courant commutés par le composant puis de calculer les pertes par conduction, par commutation (à l'amorçage et au blocage). Cette méthode, très sensible aux moyens de mesures, est ensuite comparée à la deuxième méthode dite méthode thermique. Cette dernière consiste à mesurer l'élévation de température d'un bloc d'aluminium sur lequel le transistor est monté. Connaissant la capacité thermique du bloc d'aluminium, il est ensuite possible de calculer les pertes totales dans le transistor.

MOTS-CLES – Composants SiC - Transistor bipolaire – Pertes

1. Introduction

Les composants semi-conducteurs de puissance à base de carbure de silicium (SiC) sont capables de commuter des tensions importantes et permettent de travailler à des fréquences [1] et des températures plus élevées que les composants à base de silicium, jusqu'à présent utilisés [2]. De nombreux domaines d'application (photovoltaïque, transports terrestre ou aérien...) sont demandeurs de tels composants [3] parmi lesquels on retrouve les transistors bipolaires, MOSFET et JFET SiC [4]. Une étude comparative sur les performances de chaque type de composant est nécessaire afin de choisir au mieux le composant adapté à une application donnée. Dans ce papier, nous proposons donc

2. Banc de test

Cette partie décrit le banc de test développé pour caractériser un transistor SiC 1200V, 20A. Pour ce faire, un circuit de commande classique a été mis en œuvre (Figure 1). Celui-ci est constitué d'un driver isolé rapide et d'un circuit push-pull MOSFET permettant d'atteindre une fréquence de commutation de 6 MHz.

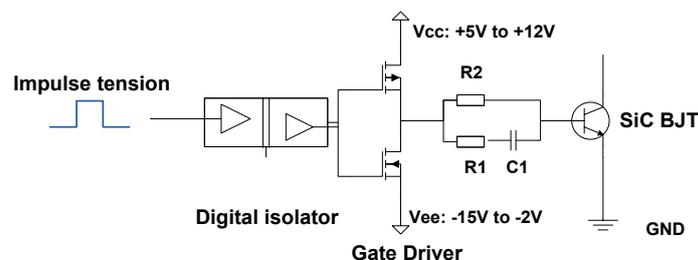


Figure 1 : Schéma électrique du driver pour transistor bipolaire SiC

Le circuit de commande est utilisé pour imposer un courant de maintien de base nécessaire pour maintenir le transistor à l'état passant en assurant un minimum de tension collecteur-émetteur sans pour autant sursaturer ce dernier (rôle de R2). Afin d'obtenir des commutations le plus rapide possible, il est nécessaire de charger ou décharger la capacité de jonction base-émetteur. Pour cela, une impulsion de courant est superposée au courant de maintien (rôle de R1 et C1). La figure 2 représente le courant injecté dans la base du transistor.

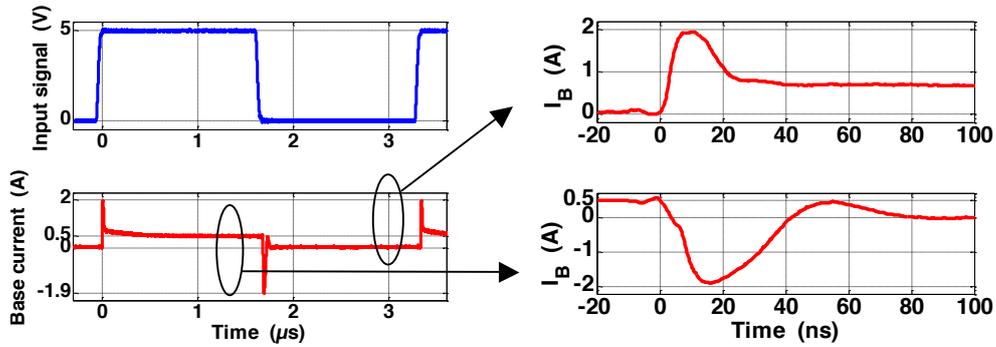


Figure 2 : Formes d'onde du courant de base pour une fréquence de commutation de 300kHz

La structure de conversion choisie pour évaluer les pertes des composants semi-conducteurs est un hacheur série (Figure 3a). Deux condensateurs céramiques (5.6 μF , 600V) sont connectés en série sur le bus continu pour minimiser l'inductance de la maille de commutation ce qui permet de limiter au maximum les résonnances avec les capacités parasites des semi-conducteurs lors des commutations. La charge est constituée par une inductance de 75 μH en série avec une résistance variable.

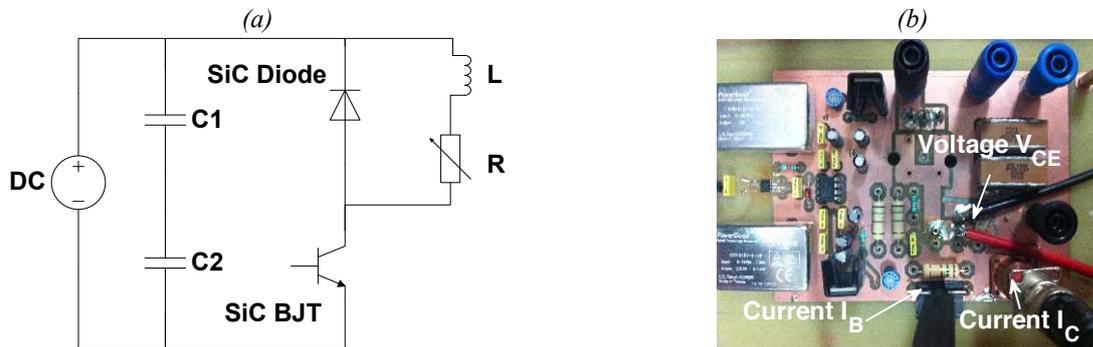


Figure 3 : (a) schéma de principe du hacheur série (b) Photo du banc de test (circuit de commande et hacheur série)

Afin d'estimer les pertes dans le transistor bipolaire (P_{BJT}), deux méthodes ont été utilisées.

La première est sur la mesure des grandeurs électriques du transistor : tension collecteur-émetteur (V_{CE}) et courant de collecteur (I_{C}). Cette mesure permet également de dissocier les pertes par conduction (P_{COND}) des pertes par commutations (P_{SW}) (1).

$$P_{\text{BJT}} = P_{\text{COND}} + P_{\text{SW}} \quad (1)$$

Plus la fréquence de commutation est élevée et plus les pertes par commutation deviennent prépondérantes. Ces pertes par commutations sont calculées par l'intégration du produit $V_{\text{CE}} \cdot I_{\text{C}}$ à chaque commutation. De ce fait, la différence de retard apportée par les sondes de courant et tension engendre directement une erreur sur la mesure de pertes. Ainsi, la bande passante des sondes utilisées doit être suffisamment élevée pour négliger ce retard. Dans notre banc de test, la mesure de courant est réalisée à l'aide d'un shunt (400 MHz) et la mesure de tension à l'aide d'une sonde 1/10 (100 MHz).

La deuxième méthode consiste en une mesure thermique. Cette méthode consiste à placer le composant sur un dissipateur dont la capacité thermique est connue (C_{th}). Sous certaines conditions, l'élévation de température du composant ($\Delta\theta$) est proportionnelle aux pertes au sein du transistor (2).

$$P_{\text{BJT}} = C_{\text{th}} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (2)$$

Dans notre banc de test, le transistor est placé sur un bloc d'aluminium sur lequel un thermocouple est utilisé pour mesurer la température (Figure 4.a). La capacité thermique du bloc d'aluminium est déterminée expérimentalement en réalisant le montage de la Figure 4.b. Ce montage permet d'appliquer un échelon de puissance thermique connue ($V_z \cdot 1\text{A} = 20\text{ W}$) sur le bloc d'aluminium. La capacité thermique est alors obtenue sur la zone linéaire d'évolution de la

température en fonction du temps (Figure 4.c). Cette expérience a été menée quatre fois. La moyenne de la capacité thermique du bloc est d'environ 58.4 J/K.

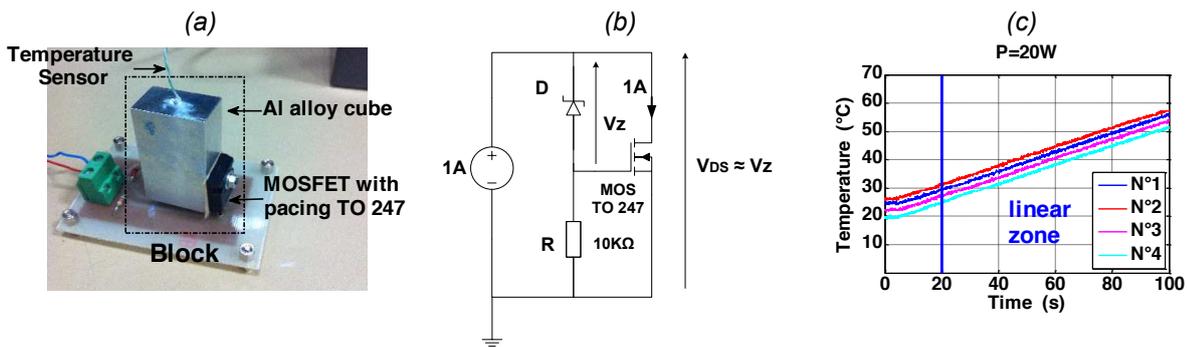


Figure 4 : (a) Photo du bloc d'aluminium (b) Montage électrique permettant d'appliquer un échelon de puissance (c) Evolution de la température du bloc d'aluminium en fonction du temps.

3. Résultats expérimentaux

L'impact de la température du transistor sur les pertes n'est pas pris en compte dans ce résumé mais sera détaillée dans l'article final. Les résultats présentés ont été réalisés avec une température ambiante de 25°C.

3.1 Mesures électriques

La figure 5 montre l'évolution des grandeurs électriques (V_{CE} et I_C) à la fermeture et à l'ouverture du transistor ainsi que le calcul de la puissance instantanée ($V_{CE} \cdot I_C$) pour une fréquence de découpage de 100 kHz. La puissance moyenne à la fermeture est de 3.39 W alors qu'elle n'est que de 0.79 W à l'ouverture. Ces mesures de pertes sont indépendantes de la fréquence de découpage.

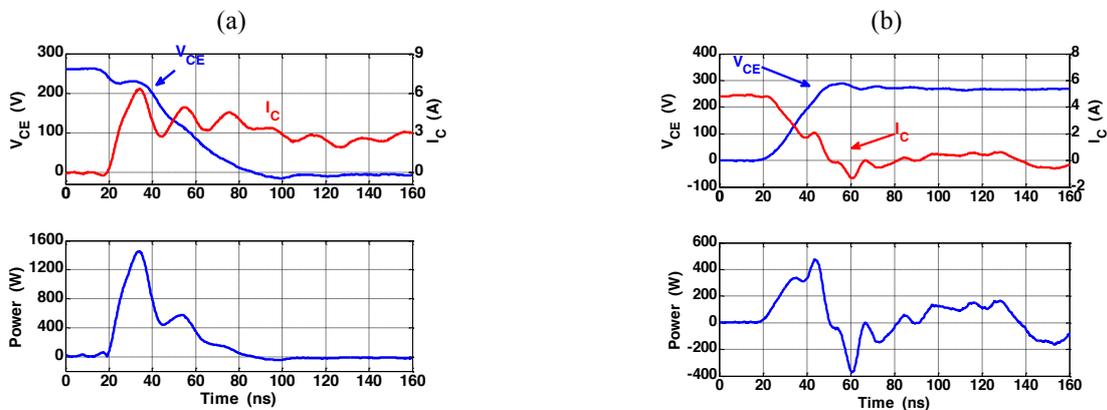


Figure 5 : Mesure des grandeurs électriques et calcul de la puissance instantanée à la fermeture (a) et à l'ouverture (b) du transistor (300V, 3A commutés)

Dans le papier final, les mesures des pertes par conduction et pertes par commutation seront réalisées pour une tension commutées de 600V et pour différentes valeurs de courant. Un exemple de commutation sous 600V, 10A est représenté sur la figure 6.

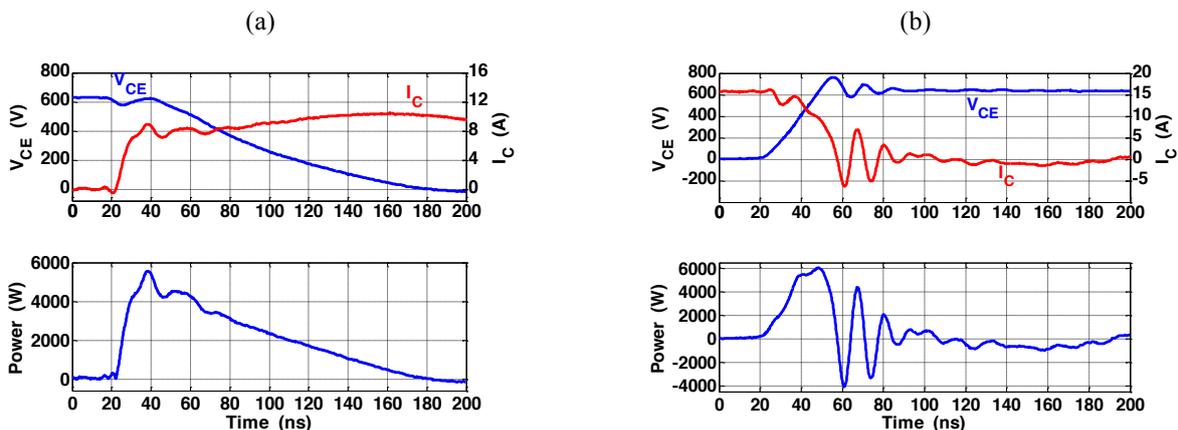


Figure 5 : Mesure des grandeurs électriques et calcul de la puissance instantanée à la fermeture (a) et à l'ouverture (b) du transistor (600V, 10A commutés)

3.2 Mesures thermiques

La mesure thermique des pertes n'a pas été réalisée à une température donnée du transistor. Néanmoins, nous avons veillé à ce que l'élévation de température durant les tests soit limitée.

La mesure des pertes par la méthode thermique a été effectuée pour différentes fréquences de découpage (de 100 kHz à 600 kHz). Les résultats de ces expériences sont reportés dans le tableau 1. L'évolution de la température a été enregistrée 20 secondes après la mise en fonctionnement du banc de test. La durée de mesure est réduite à mesure que la fréquence de découpage augmente afin de limiter la température du transistor.

Tableau 1. Résultats des mesures thermiques (de 100 kHz à 600 kHz)

Fréquence de découpage (kHz)	100	200	300	400	500	600
Temps (s)	0-60	0-60	0-60	0-50	0-40	0-30
Température initiale (°C)	30.7	31.7	31.2	31.0	31.0	31.9
Température Finale (°C)	36.3	43.6	48.7	50.1	50.7	49.5
Pertes totales (W)	5.45	11.58	17.03	22.31	28.76	34.26

3.3 Comparaison des deux méthodes

Les mesures de pertes totales à différentes fréquences sont représentées sur la figure 7 pour les deux méthodes utilisées. Une différence de quelques watts apparaît entre les deux méthodes. Cette différence sera discutée dans le papier final.

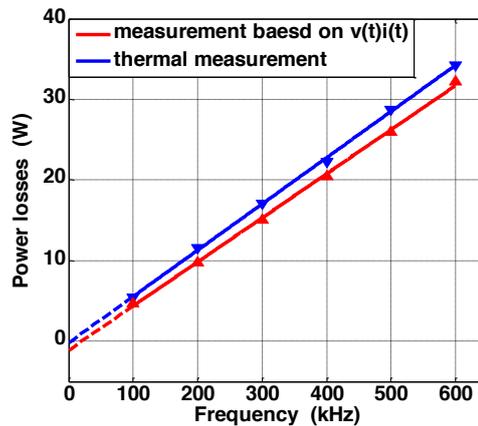


Figure 7 : Comparaison des deux méthodes sur l'estimation des pertes totales.

4. Conclusion

Dans l'article final nous détaillerons les résultats obtenus pour différents courants de base et nous comparerons plus précisément les résultats obtenus par les deux méthodes. De plus, une étude sur l'influence de la température de jonction du transistor sera menée.

5. Références

- [1] B. Ozpineci, L. M. Tolbert, S. K. Islam, and M. Hasanuzzaman, "Effects of silicon carbide (SiC) power devices on HEV PWM inverter losses," *IECON'01. 27th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc. (Cat. No.37243)*, vol. 2, 2001.
- [2] a. M. Abou-Alfotouh, a. V. Radun, H.-R. Chang, and C. Winterhalter, "A 1-MHz Hard-Switched Silicon Carbide DC-DC Converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 21, no. 4, pp. 880-889, Jul. 2006.
- [3] A. Hensel, C. Wilhelm, and D. Kranzer, "Development of a boost converter for PV systems based on SiC BJTs," *power Electron. Appl. (EPE 2011), Proc. 2011-14th Eur. Conf.*, 2011.
- [4] A. Elasser and T. Chow, "Silicon carbide benefits and advantages for power electronics circuits and systems," *Proc. IEEE*, vol. 90, no. 6, pp. 969-986, 2002.