



HAL
open science

Banc de test dédié au vieillissement accéléré de modules IGBT en cyclage thermique : Méthode, instrumentation, résultats

Amgad Rashed, François Forest, Jean-Jacques Huselstein, Thierry Martiré,
Philippe Enrici

► To cite this version:

Amgad Rashed, François Forest, Jean-Jacques Huselstein, Thierry Martiré, Philippe Enrici. Banc de test dédié au vieillissement accéléré de modules IGBT en cyclage thermique : Méthode, instrumentation, résultats. SGE (Symposium de Génie Électrique SGE 2014), Jul 2014, Cachan, France. hal-01065227

HAL Id: hal-01065227

<https://hal.science/hal-01065227>

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.

Banc de test dédié au vieillissement accéléré de modules IGBT en cyclage thermique : Méthode, instrumentation, résultats

Amgad RASHED*, François FOREST*, Jean-Jacques HUSELSTEIN*,

Thierry MARTIRÉ*, Philippe ENRICI*

* IES/Université Montpellier 2

RÉSUMÉ : Dans les applications de transports, les composants de puissance sont fréquemment placés en régime de cyclage thermique actif et subissent de forts stress thermomécaniques. Les conséquences en sont maintenant bien connues et, dans le cas des modules de puissance IGBT, différentes dégradations peuvent survenir (wire bonds, métallisations d'émetteur,...). Une difficulté demeure qui est l'établissement de modèles de durée de vie utilisables dans des conditions d'usage variables. Des retours d'expérience et des tests sont nécessaires pour progresser dans ce sens. Le papier proposé présente une évolution majeure d'un banc de test développé depuis plusieurs années, évolution qui permet de mener des tests de cyclage actifs dans des gammes basses d'amplitudes thermiques, inaccessibles aux méthodes classiques et beaucoup plus représentatives des applications. Il décrira le principe du banc de test et de la méthode utilisée, l'instrumentation qui a été spécialement développée pour automatiser complètement les tests et les résultats obtenus sur près de trente échantillons.

MOTS-CLES : Fiabilité, Durée de vie, Modules de puissance IGBT, Cyclage thermique, Mesure indirecte de température de jonction, Wire Bonds.

1. Introduction

Afin d'étudier les mécanismes de vieillissement associés au cyclage actif et d'élaborer des modèles de durée de vie, un banc de vieillissement composé de plusieurs blocs de test a été mis en place depuis plusieurs années. Il a permis d'obtenir de nombreux résultats mais il utilisait, jusqu'à un passé récent, des protocoles de cyclage classiques à des fréquences de quelques dixièmes de Hertz, impliquant de longues durées de test, de surcroît dans des conditions de cyclage beaucoup plus sévères que celles imposées par les applications. L'objectif du papier est de présenter un nouveau mode de pilotage des blocs qui permet de réduire considérablement la durée des tests et donne accès à des amplitudes de cyclage beaucoup plus réalistes et que l'on ne trouve pas dans la littérature. A ce nouveau mode est associé un système de caractérisation automatique capable de suivre l'évolution de la chute de tension V_{CE} durant les tests de vieillissement. Il permet de réaliser un monitoring en temps réel pour arrêter les tests de vieillissement des modules IGBT avant défaillance. Basé sur le principe de la mesure indirecte de température, ce système permet également de mesurer l'évolution périodique de la température de jonction des échantillons et donc de maîtriser les conditions de contraintes pour garantir des tests correctement calibrés.

Dans un premier temps, cet article rappellera le principe de fonctionnement du banc de vieillissement et introduira le mode de cyclage retenu. La deuxième partie présentera le système de monitoring original développé pour l'occasion et qui pourrait préfigurer des dispositifs de supervision placés sur les composants de convertisseurs en opération. Enfin, les résultats expérimentaux obtenus grâce à cette ensemble seront décrits et analysés.

2. Banc de vieillissement

Le banc de vieillissement a déjà largement été présenté dans des publications précédentes (Figure 1). Il regroupe plusieurs blocs identiques dont le principe de fonctionnement est basé sur la mise en opposition de deux bras d'onduleur PWM. Chaque bras est un module IGBT constituant un échantillon à deux puces IGBT. Les principaux aspects de son mode de fonctionnement seront brièvement rappelés.



Vue du banc de test



Module IGBT Testé

Figure 1 : Banc de test et modules IGBT

3. Méthode de cyclage rapide

Dans cette partie, il sera montré comment l'exploitation de la modulation PWM utilisée dans les blocs du banc de test permet de générer un cyclage thermique rapide (exemple de la Figure 2) conduisant à des durées de test dix à cinquante fois plus faibles que les méthodes classiques.

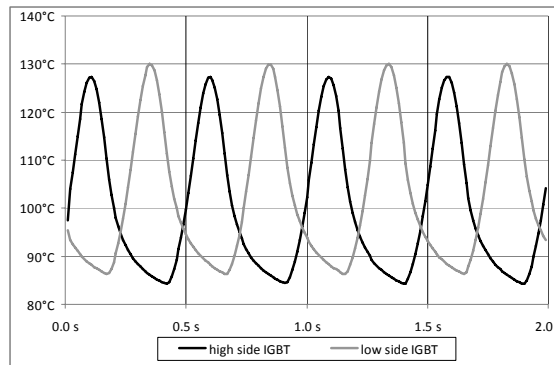


Figure 2 : Cyclage thermique rapide des jonctions rapide mesuré à la caméra thermique

4. Monitoring en temps réel

4.1 Mesure de V_{CE}

Le suivi d'un module IGBT soumis à des tests de vieillissement par cyclage thermique implique la mesure de sa chute tension V_{CE} à température et courant de collecteur imposés (ici 125°C, 100A). Le principe retenu utilise tout d'abord une mesure indirecte de la température de jonction par l'intermédiaire d'une mesure de V_{CE} à faible courant d'injection calibré (ici 100mA). Une difficulté majeure est d'effectuer cette opération dans le contexte du convertisseur en fonctionnement et aussitôt après un état de conduction du composant dans la configuration 125°C/100A. En réalité, ce résultat ne peut être obtenu qu'avec plusieurs "tirs" successifs encadrant le point recherché (Figure 3), tout en modifiant brièvement le fonctionnement de l'onduleur de test. Le papier final décrira la partie matérielle et la séquence de pilotage qui permettent d'atteindre cet objectif.

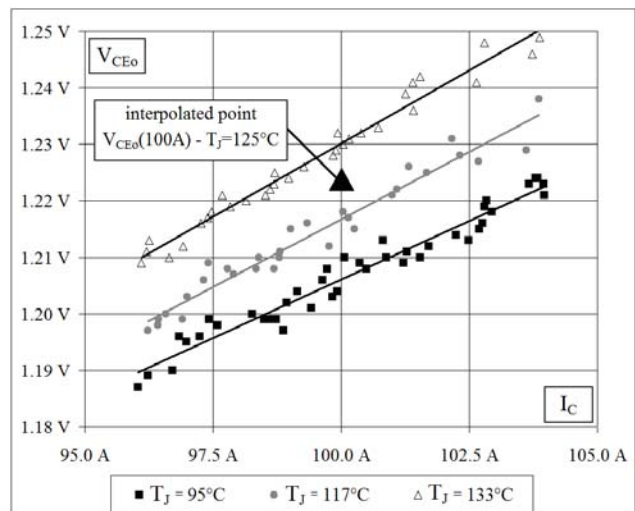


Figure 3 : Mesure de V_{CE} (125°C/100A)

4.2 Mesure des évolutions de la température de jonction

Cette fonctionnalité permet de connaître à tout moment le profil thermique d'une puce IGBT. Pour ce faire, plusieurs mesures indirectes de température par $V_{CE}(100mA)$, utilisant la même partie matérielle que précédemment, sont effectuées. Espacées de quelques dizaines de millisecondes, elles permettent de reproduire correctement le profil thermique (Figure 4). Chaque mesure nécessite l'interruption de la modulation PWM. Ceci est suffisamment bref (quelques centaines de microsecondes) pour ne pas influencer le comportement thermique. Avant la mise en place de cette technique, les protocoles de vieillissement étaient calibrés à l'aide d'une caméra IR, avec ses limitations (préparation du module, bande passante < 20Hz). Désormais, chaque température de jonction peut être contrôlée en temps réel. Le papier final développera ces aspects et décrira les différentes stratégies qui peuvent être mise en place pour cette mesure.

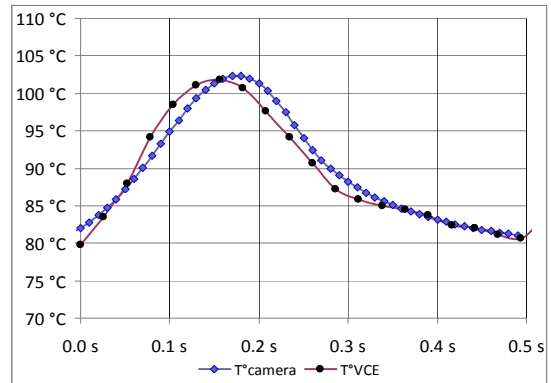


Figure 4 : Mesure indirecte de T_j

5. Résultats expérimentaux

Ce système de test, avec sa méthode accélérée et son environnement métrologique, a permis de vieillir un nombre très significatif d'échantillons (Figure 6) en un temps très court pour de tels essais. Des exemples de résultats sont donnés Figure 5, mesure de l'évolution des tensions V_{CE} dans un module au cours du test de vieillissement et dégradations des attaches de wire bonds vues au MEB.

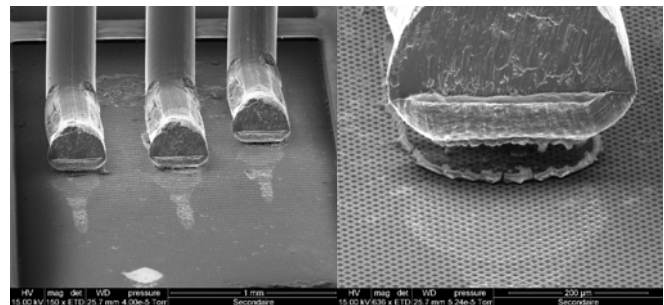
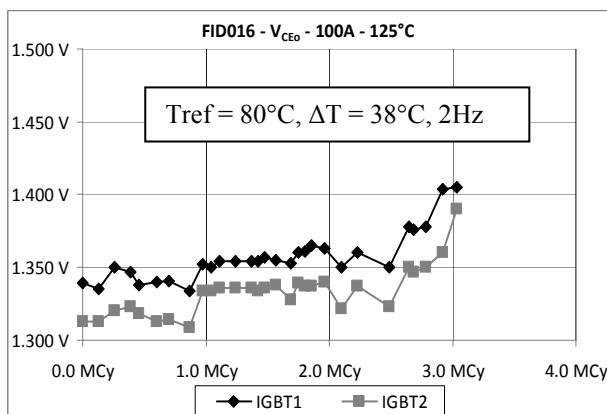


Figure 5 : Résultats expérimentaux, évolution de V_{CE} , dégradation des wire bonds

La figure 6 montre la liste des échantillons vieilliss ayant donné des résultats exploitables ainsi que des courbes de durée de vie basées sur le modèle empirique de Held et qui avaient été établies à partir de résultats antérieurs à fortes amplitudes de cyclage ($\Delta T_j \geq 60^\circ C$). Tous les points en deçà de $\Delta T_j = 60^\circ C$ ont été obtenus avec la nouvelle méthode de test et paraissent particulièrement cohérents avec les précédents. Il faut insister sur le fait qu'aucun résultat expérimental n'avait jamais été publié dans cette gamme de cyclage thermique avec des modules de ce calibre. Des données supplémentaires pour des températures plus basses devraient être obtenus pour la rédaction finale.

L'apparente cohérence des courbes de durée correspond en réalité à des mode de vieillissement dans cette nouvelle situation qui semblent différents de ceux obtenus dans les essais antérieurs. Des tests pratiqués avec les précédents protocoles et avec les mêmes paramètres que ceux des nouveaux essais, à l'exception de la fréquence de répétition des cycles, ont été lancés pour confronter les résultats. Tous ces élément seront développés et discutés dans le papier final.

	Echantillon	ΔT_J	Durée de vie	Raison de l'arrêt
1	SAMP004	50.0 °C	713,906	Augmentation V_{CE} , 4%
2	SAMP005	50.0 °C	797,198	Augmentation V_{CE} , 4%-2%
3	SAMP006	50.0 °C	746,942	Augmentation V_{CE} , 1.5%-2%
4	SAMP007	50.0 °C	663,650	Augmentation V_{CE} , 4%-2.5%
5	SAMP008	50.0 °C	621,128	Augmentation V_{CE} , 2.5%
6	SAMP009	50.0 °C	621,128	Augmentation V_{CE} , 4%
7	SAMP010	50.0 °C	598,516	Destruction de la puce
8	SAMP011	50.0 °C	570,000	Destruction de la puce
9	SAMP012	50.0 °C	620,000	Destruction de la puce
10	SAMP018	41.0 °C	1,548,000	Augmentation V_{CE} , 4%-2.5%
11	SAMP025	41.0 °C	1,402,000	Augmentation V_{CE} , 1%-6.5%
12	SAMP024	40.0 °C	1,752,971	Augmentation V_{CE} , 5.5%-2.5%
13	SAMP026	40.0 °C	1,634,589	Augmentation V_{CE} , 1%-4%
14	SAMP021	39.5 °C	1,646,231	Augmentation V_{CE} , 3.5%-5%
15	SAMP027	39.5 °C	1,816,490	Augmentation V_{CE} , 5%-1%
16	SAMP028	39.5 °C	1,917,049	Augmentation V_{CE} , 2.5%-3%
17	SAMP029	39.0 °C	2,467,261	Augmentation V_{CE} , 5%-10%
18	SAMP016	38.5 °C	3,033,662	Augmentation V_{CE} , 5%-5%
19	SAMP019	38.0 °C	3,455,658	Augmentation V_{CE} , 5%-2.5%

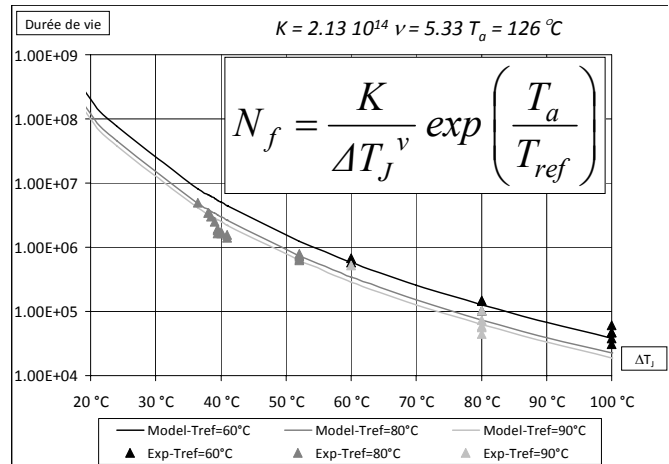


Figure 6 : Résultats expérimentaux, liste des échantillons significatifs, courbes de durée de vie

6. Références

Ces références seront mise à jour et complétées dans l'article final.

- [1] U. Scheuermann, "Reliability challenges of automotive power electronic", Microelectronics Reliability, vol. 49, No. 9-11, pp. 1319- 1325, 2009.
- [2] Z. Khatir, J.P. Ousten F. Badel L. Dupont b, S. Lefebvre, M. Bouarroud, "Degradation behavior of 600 V–200 A IGBT modules under power cycling and high temperature environment conditions", Microelectronics Reliability, Vol 47, pp 1719-1724, 2007
- [3] M. Ciappa, "Selected failure mechanisms of modern power modules", Microelectronics Reliability, Vol 42, No. 4-5, pp. 653–667, 2002
- [4] Z. Khatir, S. Lefebvre, "Boundary element analysis of thermal fatigue effects on high power IGBT modules", Microelectronics Reliability, vol. 44, pp. 929–938, 2004
- [5] M. Bouarroud, Z. Khatir, J.-P. Ousten, and S. Lefebvre, "Temperature-Level Effect on Solder Lifetime During Thermal Cycling of Power Modules", IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, Vol. 8, No. 3, pp 471-477, September 2008.
- [6] R. Bayerer, T. Licht, T. Herrmann, J. Lutz, M. Feller, "Model for Power Cycling lifetime of IGBT Modules – various factors influencing lifetime", Proceedings of 5th International Conference on Integrated Power Electronics Systems, pp 37-42, november 2008
- [7] M. Held, P. Jacob, G. Nicoletti, P. Scacco, M.-H Poech, "Fast Power Cycling Test for IGBT Modules in Traction Application", Proceedings of Conference on Power Electronics and Drive Systems confer, pp 425-430, Vol 1, may 1997
- [8] V. Smet, F. Forest, J.-J. Huselstein, F. Richardeau, Z. Khatir, S. Lefebvre, M. Berkani, "Ageing and Failure Modes of IGBT Modules in High Temperature Power Cycling", IEEE transactions on industrial electronics, Vol. 58, N°10, pp. 4931-4941, october 2011.
- [9] V. Smet, F. Forest, J.-J. Huselstein, A. Rashed, F. Richardeau, "2013 Evaluation of V_{ce} Monitoring as a Real-Time Method to Estimate Aging of Bond Wire-IGBT Modules Stressed by Power Cycling" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 60, No. 7, pp. 2760-2770, July 2013
- [10] F. Forest, J.-J. Huselstein, S. Faucher, M. Elghazouani, P. Ladoux, T. Meynard, C. Turpin, J. Vallon, "Use of the Opposition Method in the Test of High Power Electronics Converters", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, N°2, pp. 530-541, April 2006.