

SUJET DE THESE

Investigation de méthodes acoustiques pour la détection du vieillissement des modules de puissances

Lieu : Université de Cergy-Pontoise, site de Neuville sur Oise / Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay

Début de thèse : 1^{er} septembre ou 1^{er} octobre 2018

Candidature souhaitée avant le 22 juin 2018

1. Contexte & problématique :

Les modules de puissance à semi-conducteurs constituent les éléments clés des systèmes de l'électronique de puissance dont la fonction générale est la conversion de l'énergie électrique. Leur fiabilité est donc un enjeu essentiel. Des travaux sont menés à la fois pour rendre plus robuste ces technologies mais aussi pour mettre en œuvre des éléments de diagnostic et de suivi de leur état de santé dans les applications. C'est dans ce deuxième volet général que se situe ce sujet de thèse.

Le vieillissement de ces dispositifs est lié principalement à des dégradations dues à la fatigue thermomécanique, combinée ou pas à des ambiances sévères. Les détections de dégradations pendant les tests de vieillissement de ces composants de puissance sont traditionnellement réalisées sur la base de mesures électriques. La dégradation des métallisations en Aluminium est par exemple révélée par la mesure de la résistance à l'état passant du composant [1].

Dans cette thèse, nous investiguerons des méthodes basées sur des mesures acoustiques qui pourront apporter des indications plus fines de débuts de dégradations qui parfois seraient détectées plus tardivement par des voies électriques dans le processus de vieillissement. Cela reste cependant à vérifier : à l'heure actuelle, ces méthodes ne sont pas explorées dans le domaine des composants et des tests préliminaires concluants, nous incitent à pousser plus loin l'investigation.

En effet, en cours de fonctionnement, des ondes acoustiques sont émises et transmises par voies mécaniques et sont probablement issues d'interaction électromagnétiques dans la structure du module lors des forts di/dt produits pendant les transitoires de commutations. Ce sont ces ondes qui devront être détectées et analysées. Des travaux antérieurs ont permis de les mettre en évidence [2,3], et des résultats expérimentaux préliminaires au sein du SATIE ont permis de confirmer leur existence. Comme il est attendu que des dégradations éventuellement liées à un phénomène de vieillissement matériel mènent insensiblement à une dégradation ou à une dérive des vitesses de commutations, cette technique est potentiellement utilisable pour la détection du vieillissement. Une investigation sur la capacité et la sensibilité à réaliser le diagnostic par cette voie pour la surveillance de l'état de santé des modules de puissance pourrait s'avérer être une alternative forte et en rupture aux techniques actuellement investiguées. L'extraction du comportement vibratoire de la structure se fera par une analyse basée sur une méthode multi-dimensionnelle développée au sein du Groupe II - Instrumentation et Imagerie du pôle SIAME [4,5].

Il s'agira dans un premier temps de mettre en évidence expérimentalement le phénomène et de le caractériser sur des composants de type IGBT. Un premier travail sera de caractériser les signatures acoustiques en fonctions de la température et des conditions électriques d'expérimentations (di/dt, dv/dt,...). Une phase de modélisation physique sera abordée afin de comprendre et de prédire les phénomènes. Dans un second temps, des expérimentations seront menées sur banc de vieillissement par cyclage de puissance où un monitoring sera réalisé à la fois sur des grandeurs électriques, thermiques et acoustiques. L'objectif sera de vérifier l'impact du vieillissement sur les signatures acoustiques et, en cas de succès, de proposer des protocoles intégrant ce type de méthodes pour du suivi de l'état de santé.

Ce travail exploratoire sera réalisé dans une collaboration entre les groupes TEMA (Technologies pour une Electro-Mobilité Avancée), EPI (Electronique de Puissance et Intégration) du pôle CSEE (Composants et Systèmes pour l'Energie Electrique) et II (Instrumentation et Imagerie) du Pôle SIAME (Systèmes d'Information et d'Analyse Multi-Environnements).

2. Travaux à réaliser :

2.1 Etude bibliographique

Un état de l'art devra être réalisé sur les techniques de détection du vieillissement des composants de puissance ainsi que sur l'utilisation des méthodes acoustiques pour le diagnostic de l'état de santé de systèmes (machines électriques, ...) dans l'optique d'alimenter la réflexion sur les points de vue méthodologiques et outils.

Un état de l'art devra également faire le point sur les modèles multi-domaine d'analyse acoustique et électromagnétique. Ce travail devra permettre de comprendre et proposer un modèle capable de prédire ces interactions.

2.2 Mise en évidence expérimentales et caractérisations des phénomènes

Des expérimentations seront menées pour mettre en évidence les phénomènes recherchés. Cette partie du travail doit permettre de déterminer une méthodologie d'expérimentation et de mesure correcte, afin par exemple de s'assurer que les ondes acoustiques qui seraient détectées proviennent bien du composant sous test et non d'une autre origine. Les aspects méthodologiques prennent ici une très grande importance.

Dès lors que ces aspects méthodologiques auront été traités, il s'agira de caractériser les signatures acoustiques en fonctions de différents paramètres : la température, les vitesses de variations des courants et de tensions lors de commutations (di/dt , dv/dt , ...), voire les variations des courants et tensions au plus proche des grilles des composants (dI_g/dt , dV_g/dt). Afin d'investiguer les effets du type de technologie de composants, ces travaux se feront sur des IGBT en silicium et sur des Mosfets SiC.

2.3 Modélisations physiques des phénomènes

D'un point de vue fondamental, il sera important de comprendre l'origine physique des sources et des causes d'émissions acoustiques dans les modules de puissance. Cela est nécessaire pour appréhender le rôle des paramètres et grandeurs physiques en jeu et éventuellement d'identifier ceux qui sont les plus influents afin de s'en servir le plus efficacement possible pour du diagnostic. Enfin, la compréhension des mécanismes physiques de générations d'ondes acoustiques au sein du module doit permettre de les modéliser et de les prédire. A cette fin, des outils de modélisations multi-domaine pourront être utilisés.

2.4 Estimation de la capacité d'indication de l'état de santé sur banc de vieillissement

Dans le cas où les travaux précédents mèneraient à des résultats positifs quant à la capacité de cette technique à être utilisée pour du suivi d'indicateur de vieillissement (ou de santé), celle-ci serait mise en œuvre pour vérification dans un banc de cyclage actif. Ainsi, des cycles de puissance seront ainsi appliqués au composant qui aura montré le plus de sensibilité à ces phénomènes (Mosfets-SiC ou IGBT) afin de valider expérimentalement la démarche..

3. Contacts :

- Directeurs de thèse : Nicolas WILKIE-CHANCELLIER (nicolas.wilkie-chancellor@u-cergy.fr)
- Encadrants: Mounira Berkani (mounira.berkani@satie.ens-cachan.fr),
Loïc Martinez (loic.martinez@u-cergy.fr)
- Ecole doctorale d'inscription : ED Sciences et Ingénierie, Université de Cergy-Pontoise

4. Références :

- [1] S. Pietranico et al., "A study of the effect of degradation of the aluminium metallization layer in the case of power semiconductor devices", *Microelectronics Reliability* 51 (2011) 1824–1829
- [2] T. J. Karkkainen et al., "Acoustic Emission in Power Semiconductor Modules – First Observations", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol.29, N°11, (2014) pp.6081– 6085.
- [3] T. J. Karkkainen et al., "Acoustic Emission Caused by the Failure of a Power Transistor", *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2015 IEEE, March 2015, pp. 2481–2484.
- [4] N. Wilkie-Chancellor, Y. Wang, L. Martinez, B. Roucaries, S. Serfaty, « Laser experimental study of the surface vibrations of EMUS sensor », *Physics. Proc.* 70 (2015), 961-964.
- [5] Loïc Martinez, Nicolas Wilkie-Chancellor, Christ Glorieux, Bart Sarens, Emmanuel Caplain, « Transient space-time waves characterization using 3D Gabor analysis », *Journal of Physics : Conference Series*, 2009, Vol. 195, pp.1-8.