

Modélisation et Implémentation de la SSTDR pour la détection des dégradations dans un module de puissance

Lieu du stage : Laboratoire SATIE, Université Gustave Eiffel, Campus de Versailles.

Encadrants : Ali IBRAHIM (ali.ibrahim@univ-eiffel.fr, 01.30.84.39.90)
Nadia MADAOUI (nadia.madaoui@esiee.fr, 01.45.92.65.71)

1. Contexte scientifique et problématique

Les modules électroniques de puissance (IGBT, MOSFET,...) jouent un rôle crucial dans de nombreux systèmes, de l'électronique de puissance industrielle aux véhicules électriques. La fiabilité et les performances de ces modules sont essentielles pour assurer le bon fonctionnement des systèmes dans lesquels ils sont intégrés. Lors de leur fonctionnement, ces derniers sont exposés à différentes contraintes environnementales et fonctionnelles (température ambiante, cyclage thermique, vibrations, choc, altitude, humidité...). Or, tous ces facteurs impactent la durée de vie des composants et par conséquent des équipements. Dans les modules de puissance utilisant les puces à base de silicium (IGBT et MOSFET), la technologie est considérée mature et les modes de défaillance sont connus. Les principaux concernent principalement le packaging. Les deux types de dégradations récurrentes sont les fils d'interconnexions internes (fils de bondings) et les brasures (Figure 1). La détection de ces dégradations et le suivi de leur évolution se fait habituellement à travers la mesure des paramètres électriques thermosensibles en utilisant des méthodes directes, très intrusives, ou indirectes, complexe et ne permettent pas un suivi on-line. L'utilisation de techniques avancées et innovantes semble possible. Parmi ces méthodes, la réflectométrie se révèle prometteuse.

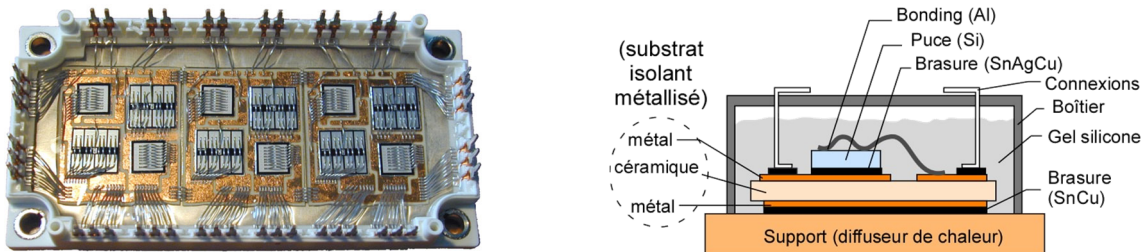


Figure 1: Module semi-conducteur typique et structure schématique d'assemblage

L'objectif de stage est de proposer une méthodologie complète pour utiliser la réflectométrie aux fins de diagnostic de l'état de santé des modules électronique de puissance, avec un accent sur le développement d'algorithmes avancés et la validation expérimentale.

2. Principes de base de la réflectométrie

La réflectométrie repose sur le principe de la réflexion des signaux électriques à travers un système électromagnétique. En envoyant un signal électrique le long d'un câble ou d'une ligne de transmission et en mesurant les signaux réfléchis, il est possible de caractériser les propriétés électriques du système, telles que les impédances et les discontinuités, qui aident éventuellement à trouver les défaillances potentielles dans un circuit ou un composant électronique. Il existe plusieurs techniques parmi lesquels on se focalisera sur la SSTDR (*Spread Spectrum Time Domain Reflectometry*) qui utilise des techniques de spectre étalé pour améliorer les performances de la TDR traditionnelle. Elle étale le spectre du signal de test sur une large bande de fréquences, ce qui le rend moins sensible aux interférences et aux bruits. La SSTDR offre une meilleure résolution temporelle et peut détecter des défauts avec une plus grande précision que la TDR traditionnelle.

3. Travail à accomplir

1. Etat de l'art – étude bibliographique :

Dans le cadre de cette étude, nous nous pencherons tout d'abord sur les principes fondamentaux de la réflectométrie afin de comprendre pleinement son application dans les circuits électroniques de puissance. Ensuite, nous approfondirons notre analyse en examinant en détail la méthode SSTDR, incluant les outils, les techniques et les instruments employés à cet effet.

2. Caractérisation et modélisation des Modules Electroniques de Puissance :

Le protocole de caractérisation basé sur la réflectométrie devra être adapté aux spécificités des modules. L'objectif étant d'intégrer des procédures de calibration assurant la fiabilité des résultats et de fournir les éléments d'entrée nécessaires à la modélisation de la technique SSTDR via des outils de simulation comme Matlab/Simulink. Cette approche renforce la capacité de diagnostiquer rapidement des problèmes potentiels comme la rupture d'un fils ou un changement dans l'impédance au niveau de l'interrupteur de puissance.

3. Développement d'un protocole expérimental :

Cela implique la sélection appropriée des composants, des câblages et des configurations qui reflètent avec précision l'environnement opérationnel visé. Une fois le dispositif conçu, sa mise en œuvre nécessite une attention particulière à la calibration et à la validation. Il est essentiel d'assurer la cohérence et la précision des mesures réalisées par la réflectométrie, en s'assurant que le dispositif expérimental reproduit de manière fiable les conditions d'exploitation des modules électroniques de puissance.

4. Analyse des résultats et diagnostic :

L'analyse des résultats de la réflectométrie nécessite des algorithmes d'interprétation avancés. Ces algorithmes doivent être adaptés à la variabilité des signaux réfléchis en fonction des conditions opérationnelles. Ils peuvent inclure des techniques de traitement du signal et d'apprentissage machine. Pour le diagnostic des défaillances, des méthodes robustes doivent être développées, telles que la comparaison avec des seuils prédéfinis, la détection de tendances anormales, ou l'utilisation d'algorithmes de classification.

Profil recherché

Etudiant(e) en Ecole d'Ingénieurs ou Master 2 avec un fort intérêt pour l'interdisciplinarité et les interfaces entre l'électronique, la physique et les sciences pour l'ingénieur. Les compétences en traitement du signal est un atout fort. Le stage se déroulera au sein du laboratoire SATIE à Versailles (25 allée des Marronniers, 78000 Versailles), dans un environnement de recherche stimulant et bienveillant, et co-encadré par Mme Nadia MADAOUJ.

Références bibliographiques

J. Zhu, J. Yu, K. Chang, D. Ji and F. Liu, "An Electrical Wire Fault Detection Method with Spread Spectrum Time Domain Reflectometry," *2022 9th International Forum on Electrical Engineering and Automation (IFEEA)*, Zhuhai, China, 2022, pp. 829-832, doi: 10.1109/IFEEA57288.2022.10037901.

S. Cheng *et al.*, "Research on IGBT Chip Bond Wire Lift-Off Fault Detection Method Based on Decoupling of Time Domain Reflective Signal Feature," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 40, no. 4, pp. 6055-6068, April 2025, doi: 10.1109/TPEL.2024.3520136.