

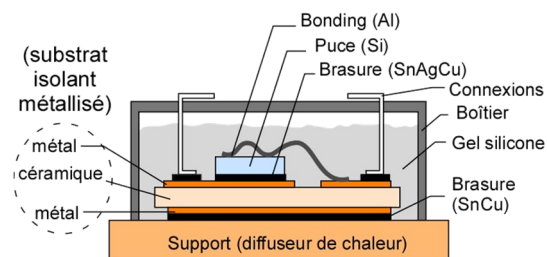
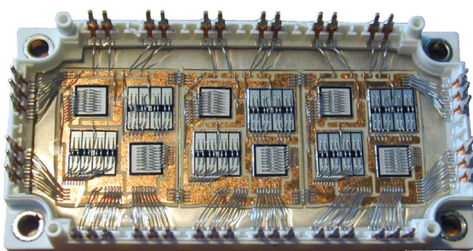
Proposition de thèse :

Diagnostic de l'État de Santé des Modules Électroniques de Puissance basé sur la réflectométrie

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 la performance 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 (voir la figure ci-dessous). 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.

La réflectométrie est une méthode de diagnostic qui repose sur le principe du radar. Un signal de sonde est envoyé dans le système ou le milieu à diagnostiquer, ce signal se propage selon les lois de propagation du milieu étudié et lorsqu'il rencontre une discontinuité (d'impédance), une partie de son énergie est renvoyée vers le point d'injection. L'analyse du signal réfléchi permet de déduire des informations sur le système ou le milieu considéré. La réflectométrie est donc un moyen de contrôle non destructif (Das, Khan, Alam, & Goli, 2017; GOPISHETTI, 2023; Hanif, Das, & Khan, 2018; Pascal et al., 2022).



Module semi-conducteur typique et structure schématique d'assemblage

Travaux à réaliser :

1. État de l'art – étude bibliographique :

L'étude approfondie de la réflectométrie implique une exploration minutieuse des principes fondamentaux qui sous-tendent son application aux circuits électroniques de puissance. Cette démarche vise à acquérir une compréhension approfondie des mécanismes et des concepts essentiels inhérents à cette technique de mesure. Il est essentiel de se pencher sur les aspects théoriques qui gouvernent la réflectométrie, notamment la manière dont les signaux sont réfléchis

et interagissent avec les composants électroniques.

Dans le cadre de cette thèse, il est tout aussi important d'explorer les diverses méthodes de mesure de la réflectance. Cela englobe l'examen attentif des outils, des techniques et des instruments utilisés pour évaluer la réflectance dans les circuits électroniques. Une étude bibliographique approfondie sur les différentes approches et technologies disponibles devra être réalisée afin de mettre en lumière leurs avantages, inconvénients et domaines d'application spécifiques. Une attention particulière doit être portée aux méthodes novatrices qui pourraient représenter des avancées significatives dans le domaine de la réflectométrie, permettant ainsi de rester à la pointe des développements technologiques.

2. Caractérisation des Modules Électroniques de Puissance :

La caractérisation des modules électroniques de puissance est cruciale en électronique de puissance, impliquant la définition précise des paramètres clés à surveiller. 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. Cette approche renforce la capacité de diagnostiquer rapidement des problèmes potentiels, anticiper des défaillances et maintenir la performance optimale des modules électroniques de puissance. En définitive, la caractérisation par réflectométrie offre une méthodologie robuste pour assurer la fiabilité des systèmes électroniques de puissance.

3. Développement d'un protocole expérimental :

Le développement d'un protocole expérimental destiné à l'application de la réflectométrie aux modules électroniques de puissance requiert une approche méthodique et précise. Tout d'abord, il est essentiel de concevoir le protocole de manière à ce qu'il puisse reproduire fidèlement les conditions réelles auxquelles les modules électroniques sont soumis. 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.

En fin de compte, le développement d'un dispositif expérimental complet pour l'application de la réflectométrie offre la possibilité d'explorer en profondeur les performances des modules électroniques de puissance dans des conditions contrôlées. Cette approche expérimentale permet de recueillir des données significatives et d'affiner les techniques de mesure, contribuant ainsi à l'amélioration continue de la fiabilité et de l'efficacité des systèmes électroniques de puissance.

4. Analyse des Résultats et Diagnostic :

L'analyse des résultats de la réflectométrie pour les modules électroniques de puissance 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. L'intégration de données provenant d'autres capteurs renforce la fiabilité des conclusions. En combinant des algorithmes d'analyse sophistiqués et des méthodes de diagnostic avancées, l'exploitation des données de réflectométrie offre des informations essentielles pour anticiper et remédier aux défaillances des

modules électroniques de puissance, contribuant ainsi à améliorer la fiabilité des systèmes électroniques.

5. Validation:

La phase de validation du projet implique la mise à l'épreuve du dispositif expérimental élaboré sur des modules électroniques de puissance concrets. Cette étape cruciale permet de confronter le dispositif aux conditions réelles d'utilisation, vérifiant ainsi sa fiabilité et son efficacité dans des situations pratiques. Parallèlement, une évaluation approfondie de la performance du système de diagnostic, basé sur les données obtenues par la réflectométrie, est entreprise. Cette évaluation vise à déterminer la capacité du système à identifier avec précision les défaillances potentielles, offrant ainsi une compréhension plus approfondie de sa robustesse et de sa sensibilité.

Procédure de candidature :

Les candidatures se font en ligne. La procédure est décrite sur le site web : <https://www.ifsttar.fr/offres-theses/index.php>

Contact :

Ali IBRAHIM, ali.ibrahim@univ-eiffel.fr

Zoubir KHATIR, zoubir.khatir@univ-eiffel.fr

Mounira BOUARROUDJ, mounira.bouarroudj@ens-paris-saclay.fr

Compétences Requises :

- Connaissances en électronique de puissance.
- Compréhension des principes de base de la réflectométrie.
- Compétences en conception de circuits électroniques.
- Programmation pour le traitement des données (Python, MATLAB, etc.).

Références :

Das, S., Khan, F., Alam, M. K., & Goli, P. 2017. Detection of aging related IGBT bond-wire lift-off using spread spectrum time domain reflectometry (SSTDR). *Conference Proceedings - IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC*, 789–794.

GOPISHETTI, A. 2023. *Non-Destructive Testing (NDT) method for reliability assessment of power electronic modules.*

Hanif, A., Das, S., & Khan, F. 2018. Active power cycling and condition monitoring of IGBT power modules using reflectometry. *Conference Proceedings - IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC*, 2018-March: 2827–2833.

Hanif, A., Devoto, D., & Khan, F. 2020. Bond Wire Damage Detection and SOH Estimation of a Dual-Pack IGBT Power Module Using Active Power Cycling and Reflectometry. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 35(7): 6761–6772.

Pascal, Y., Daschner, F., Liserre, M., & Höft, M. 2022. Condition monitoring of power module using S-parameters, TDR, and TDT. *Microelectronics Reliability*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2022.114615>.