

Sujet de thèse résumé - Cifre THALES-CNES 2020/2023

Laboratoires LAPLACE – LAAS-CNRS

Fiabilité fonctionnelle du HEMT GaN moyenne tension en régime de stress électriques ciblés et aggravés

L'interrupteur HEMT GaN émerge comme un composant grand-gap prometteur pour obtenir des convertisseurs de puissance ultra compacts (>30kW/litre) et à très haut rendement (>98%), très prisés en aéronautique, spatial et dans les systèmes embarqués. Son fonctionnement, basé sur le contrôle d'un gaz 2D au sein d'une structure latérale à très faibles capacités parasites, permet de comprendre qu'il s'agit d'un composant en rupture au regard des générations antérieures de composants électroniques de puissance. Néanmoins, son comportement vis-à-vis des surcharges électriques reste méconnu et son endurance à des régimes répétitifs aggravés l'est encore moins. Les contraintes au sein des composants GaN sont exacerbées de par la robustesse intrinsèque du matériau semi-conducteur (champ électrique critique, température de dégradation élevées) reportant notamment des contraintes électro-thermiques décuplées sur les matériaux avoisinant (diélectriques...), en comparaison de technologie silicium. En conséquence, les mécanismes physiques de dégradations propres au HEMT GaN ainsi que les signatures électriques associées doivent être aujourd'hui établies et comprises.

D'une manière générale les études de fiabilité de composants de puissance reposent sur des essais d'endurance en (très) grand nombre et en régime de surcharge modérée, couvrant des temps (très) longs d'observation et font appel à une modélisation statistique des défaillances. Ce type d'essais est généralement pris en charge par les fabricants sur la base de protocoles normalisés. D'autre part, les études de robustesse électriques en régime extrême de court-circuit ou de surtension, permettent d'obtenir assez rapidement et avec peu de composants, les modes de défaillance ultimes et les signatures électriques associées à des stress de (très) fortes puissances impulsives. Cependant, il s'agit de stress intenses particuliers (régimes accidentels) qui permettent de cartographier les comportements uniquement aux limites du composant, sans pour autant être sûr d'activer les mêmes mécanismes d'endommagement cumulatifs, tels que le composant peut en présenter en situation d'utilisation normale.

Sans exclure les deux grandes approches précédentes, le présent sujet propose d'aborder aussi et préférentiellement la problématique d'une manière plus originale par l'application de stress électriques uniquement fonctionnels mais "fortement amplifiés", ciblés et calibrés entre le régime de surcharge modéré et le régime extrême décrits précédemment. Pour atteindre cet objectif, des cellules de commutation test devront être conçues et instrumentées pour amplifier de manière totalement maîtrisée les contraintes applicatives présentes au sein d'applications standards de type "onduleur – synchronus buck", pour lesquelles le HEMT GaN présente un intérêt et doit être évalué. Après une cartographie électrique initiale de l'ensemble des composants et en tenant compte de leurs éventuelles dispersions, la démarche consiste à identifier les dérives et les altérations de caractéristiques électriques dans les principaux régimes fonctionnels pour ensuite pouvoir y associer des signatures de dégradation par la localisation et l'analyse optiques et physiques des régions « dégradées » des composants. Par cette démarche, il s'agit de révéler les zones de fragilité du composant en relation avec ses conditions d'usage pour en établir des recommandations d'emploi et des règles de dimensionnement. Cette thèse vise aussi la contribution à l'élaboration d'une base de connaissances multi-critères reliant "stress fonctionnel - signature électrique - mode d'endommagement physique" (selon différents niveaux de relations, dans l'idéal ... univoque voire bijectif ...), permettant à l'expert d'identifier par rétro-analyse la ou les causes racines les plus probables ayant amené une dégradation majeure ou une défaillance particulière sur un composant.

Sur le plan pratique, les travaux pourront cibler les principales structures HEMT p-GaN et MIS-GaN moyenne tension (latérale 600V, 650V et si possible verticale haut-tension 1200V) en commutation dure comme en commutations douce (principalement ZVS).

La thèse se déroulera en totalité à Toulouse sur trois sites : Laplace (adaptation/développement des bancs de test pour stress fonctionnels), LAAS-CNRS (caractérisations électriques fines), Thales-CNES (tests spécifiques et caractérisations intrusives physiques-optiques).

Profil du doctorant recherché : de formation master recherche ou école d'ingénieur, spécialité génie-électrique (une option électronique de puissance sera appréciée) ou électronique – microélectronique (option composants de puissance appréciée). Goût (très) prononcé pour l'expérimentation en puissance et le maniement d'instruments spécialisés en environnement laboratoire ou plate-forme, la physique et la technologie fine des composants de puissance.

Modalités de candidature : CV complet et détaillé, coordonnées des référents pédagogiques et recherche, lettres de recommandation, lettre de motivation, relevés de notes certifiés L3, M1 et M2.

Equipe encadrante et contacts :

Contact	Mail	Affiliation	
Frédéric Richardeau	frederic.richardeau@laplace.univ-tlse.fr	LAPLACE - CNRS	Encadrants Recherche
David Trémouilles	david.tremouilles@laas.fr	LAAS - CNRS	
Gérald Guibaud	gerald.guibaud@thalesgroup.com	Thales	Resp. Industriel / Cifre et co-encadrant
Guillaume Bascoul	Guillaume.Bascoul@cnes.fr	CNES	Référent spatial et co-encadrant

Ver. 29 juillet 2020