

Proposition de Contrat Doctoral

Sujet de thèse :

Convertisseurs statiques avancés à tolérance de pannes pour un véhicule électrique : modélisation multi-physique et simulation HIL-PHIL

Laboratoire :

FEMTO-ST (UMR 6174 CNRS-UBFC) – département Énergie – Équipe SHARPAC
UTBM, Rue Thierry Mieg, 90010 Belfort Cedex

Encadrement :

Mickaël Hilaiet (Directeur de Thèse), Professeur des Universités, Univ. Bourgogne Franche-Comté

Arnaud Gaillard (Co-encadrant), Maître de conférences, Univ. Bourgogne Franche-Comté, UTBM

Financement :

Projet de Recherche « Excellence » de la Région Bourgogne Franche-Comté

Durée :

36 mois (1^{er} octobre 2017 au 30 septembre 2020)

Contexte scientifique :

Cette thèse viendra renforcer le ressourcement scientifique des activités de recherche menées à la fois dans les pôles scientifiques Convertisseurs Statiques et PHIL (Power Hardware In the Loop) de l'équipe SHARPAC du département Énergie de l'Institut FEMTO-ST.

La continuité de service des véhicules hybrides à pile à combustible est indispensable quant à leur développement industriel à grande échelle. De ce fait, la fiabilité des architectures de chaîne de traction, de la source à la charge, est un point essentiel à étudier. Celle-ci dépend fortement des éventuels défauts pouvant apparaître sur un de ses éléments. En effet, un défaut sur un des convertisseurs de puissance, sur la pile à combustible, sur la source d'énergie auxiliaire ou des moteurs électriques peut provoquer de graves dommages conduisant ainsi à l'arrêt du véhicule quel que soit sa position. Ces défauts peuvent apparaître en raison de contraintes opérationnelles (courant, tension) ou environnementales (températures, vibrations) sévères. Parmi les éléments de puissance d'une chaîne de traction, les composants d'électronique de puissance sont les plus fragiles. Pour pallier à ce problème, les constructeurs automobiles cherchent actuellement une bonne fiabilité dû à une bonne conception sans se soucier du rendement ou du volume occupé par les éléments, tout cela couplé à une facilité de fabrication et de contrôle afin de réduire les coûts de développement. Outre la continuité de service à assurer en présence de défaut, l'amélioration de l'efficacité énergétique tout en réduisant le volume/poids occupé est un autre élément essentiel afin de gagner davantage en autonomie kilométrique. Cette amélioration réside par l'utilisation de nouveaux composants de puissance à base de semi-conducteurs de puissance à grands-gaps (notamment le carbure de silicium ou Silicon Carbide pour SiC) pour la réalisation des

convertisseurs permettant ainsi de simplifier dans un premier temps le système de refroidissement de ceux-ci et donc de faciliter leur intégration dans un véhicule. Ensuite, ces composants SiC permettent également de réduire le volume des composants passifs associés dû à leurs propriétés physiques leur permettant de fonctionner à des fréquences de commutation élevées. La fiabilité de ces composants dépend fortement des contraintes en courant, tension et température auxquels ils peuvent être soumis, notamment dans le cadre d'un véhicule hybride à pile à combustible. Enfin, ces composants peuvent fonctionner dans des environnements où la température ambiante est plus élevée contrairement au cas où des composants de puissance au silicium seraient utilisés, favorisant ainsi le rapprochement de ceux-ci au plus près de la pile à combustible/ de la source auxiliaire ou des moteurs électriques.

La validation par simulations HIL ou PHIL temps réel peut être considérée comme une étape indispensable quant au développement de chaînes de traction de véhicule électrique à pile à combustible afin d'envisager l'émulation de pannes et de prévoir des contrôles tolérants aux fautes sur des cycles d'essais standardisés du type WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure) ou sur des cycles d'essais réels issus des projets déjà menés au laboratoire. En effet, et plus particulièrement dans le cadre de scénarii de pannes liés à l'électronique de puissance, il est préférable de passer par un émulateur temps réel afin d'observer le comportement global de la chaîne de traction. L'impact d'un défaut sur les performances de la chaîne de traction pourrait alors être étudié. Des algorithmes de détection et d'identification de défauts ainsi que des stratégies d'isolation et de reconfiguration de défauts associés à des contrôles adaptés pourraient alors être testés sans risque d'endommager une chaîne de traction réelle.

Objectifs scientifiques et technologiques :

- Modélisation multi-physique des différents éléments formant les convertisseurs de puissance (cellule de commutation, filtres, inductances, condensateurs, ...) pour une émulation en temps réel ;
- Modélisation de topologies de convertisseurs à tolérance de pannes ;
- Diagnostic et contrôle tolérant aux fautes afin de garantir une continuité de service du véhicule électrique tout en limitant les contraintes fonctionnelles sur les interrupteurs pour garantir leur durée de vie ;
- Validation par simulation HIL temps réel afin de valider l'implantation matérielle du contrôle tolérant aux fautes d'une chaîne de traction sur un contrôleur réel ;

Le doctorant aura à cœur de remplir les objectifs scientifiques ci-dessous :

- Réaliser un état de l'art sur les différents modèles multi-physiques de composants de puissance présents dans les convertisseurs statiques à tolérance de pannes.
- Réaliser une modélisation multi-physique en vue d'une simulation HIL temps réel.
- Réaliser des simulations numériques en vue de la validation des modèles développés.

- Réaliser la plateforme de simulation HIL de la chaîne de traction du véhicule hybride électrique et réalisation des simulations avec et sans défaut d'interrupteurs de puissance sur un cycle d'essais standardisé.
- Réaliser la plateforme de simulation PHIL de la chaîne de traction du véhicule hybride électrique et réalisation des simulations avec et sans défaut d'interrupteurs de puissance sur un cycle d'essais standardisé.
- Analyser les différents résultats obtenus et comparaison avec des données réelles existantes.
- Diffuser ses travaux et résultats scientifiques via la publication d'articles dans des conférences et revues internationales à haut facteur d'impact.

Profil du candidat :

Le(La) candidat(e) sera titulaire d'un Master ou d'un diplôme d'ingénieur en génie électrique avec un parcours en électronique de puissance.

Rigoureux(se), motivé(e) et sérieux(se), le(la) candidat(e) aura de fortes compétences en électronique de puissance (modélisation, structures de convertisseurs, simulation numériques, dimensionnement, ...). Des connaissances en électronique numérique et au prototypage temps réel (dSPACE, FPGA) serait un plus. Il(Elle) devra avoir un goût prononcé pour la partie expérimentale en vue des validations HIL et PHIL.

Dossier de candidature :

Le(La) candidat(e) fournira un dossier comportant l'ensemble des notes obtenues lors de son cursus universitaire en Master ou en école d'ingénieur, un Curriculum-Vitae ainsi qu'une lettre de motivation. Une audition sera organisée pour les candidatures retenues.

Contact :

Arnaud Gaillard, FEMTO-ST, UTBM, Rue Ernest Thierry Mieg, 90000 Belfort

Tel : 03 84 58 35 23, email : arnaud.gaillard@utbm.fr