



Avis de Soutenance

Monsieur Shengrong ZHUO

Présentera ses travaux en soutenance

Soutenance prévue le **jeudi 05 novembre 2020** à 10h00

Lieu : UTBM, Rue de Leupe, 90400 SEVENANS

Salle : P228

Titre des travaux : Control of Interleaved DC-DC Converter with Switch Fault Consideration for Fuel Cell Application.

Ecole doctorale : SPIM - Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques

Section CNU : 63

Unité de recherche : FEMTO-ST Franche Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies

Directeur de thèse : Fei GAO

Codirecteurs de thèse : Arnaud GAILLARD HDR NON HDR

Damien PAIRE HDR NON HDR

Soutenance : Publique A huis clos

Membres du jury :

<u>Nom</u>	<u>Qualité</u>	<u>Etablissement</u>	<u>Rôle</u>
M. Fei GAO	Professeur des Universités	Université Bourgogne - Franche-Comté	Directeur de thèse
M. Alexandre DE BERNARDINIS	Directeur de recherche	Université Gustave-Eiffel, IFSTTAR, Paris	Rapporteur
M. Antonio João MARQUES CARDOSO	Professeur des Universités	University of Beira Interior	Rapporteur
M. Yongheng YANG	Associate Professor	Aalborg University	Examineur
M. Marek JASINSKI	Professeur des Universités	Warsaw University of Technology	Examineur
M. Arnaud GAILLARD	Maître de conférences	Université Bourgogne - Franche-Comté	Co-directeur de thèse
M. Damien PAIRE	Maître de conférences	Université Bourgogne - Franche-Comté	Co-directeur de thèse
M. Carlo CECATI	Professeur des Universités	University of L'Aquila	Examineur

Mots-clés : Convertisseur parallèle entrelacé, défaut d'interrupteur de puissance, commande robuste, diagnostic de défaut, optimisation de l'ondulation de courant,

Résumé de la thèse (en français) :

La pile à combustible, en raison de son faible niveau de tension de fonctionnement et de sa caractéristique volt-ampèremétrique non linéaire, nécessite la présence d'un convertisseur statique de type DC-DC pour la relier à la charge dans le but d'augmenter le niveau de tension et de réguler cette dernière à une valeur constante. Le convertisseur DC-DC du type hacheur élévateur à phases parallèles et à commandes entrelacées est un choix intéressant de part une conception assez simple, une bonne fiabilité, une faible ondulation du courant d'entrée, ce qui est bénéfique pour le fonctionnement à long terme de la pile à combustible. Cependant, le contrôle de cette topologie de convertisseur doit prendre en compte certains critères comme les incertitudes de valeurs au niveau des composants passifs (résistance parasite et tolérance d'inductance / capacité) et des perturbations de l'association pile à combustible – convertisseur – charge (variations du courant de charge et de la tension de la pile à combustible selon le point de fonctionnement envisagé et prise en compte des défauts électriques internes au convertisseur). Dans le but d'améliorer les performances statique et dynamique du système pile à combustible en modes de fonctionnement sain et défaillant, la commande du convertisseur à phases parallèles et à commandes entrelacées avec prise en compte de la robustesse face aux perturbations internes et externes est étudiée dans cette thèse. Pour mieux gérer les incertitudes liées aux paramètres électriques du convertisseur et les perturbations externes (pile à combustible ou charge), un contrôleur de tension robuste basé sur un observateur d'état étendu (ESO) dans le cadre de l'algorithme de contrôle actif du rejet de perturbation (ADRC) est proposé et appliqué à la topologie de convertisseur envisagée pour une application pile à combustible. La comparaison avec le contrôleur du type PI montre que la méthode proposée peut obtenir une meilleure capacité de rejet des perturbations sans dépassement de la réponse à la suite d'un échelon du courant de charge ou à une variation du niveau de tension d'entrée. Le contrôleur proposé est également validé sur une seconde topologie de convertisseur qui est une variante de la première et permettant un gain d'élévation en tension plus élevé. L'apparition d'un défaut électrique sur les interrupteurs de puissance du convertisseur entraîne généralement la perte d'une phase de celui-ci. Ceci occasionne des effets néfastes considérables sur les performances du contrôleur. Par conséquent, un contrôleur adaptatif amélioré, avec la prise en compte des défauts électriques sur les interrupteurs est proposé sur la base du contrôleur développé précédemment. Le contrôleur proposé peut maintenir un fonctionnement continu et obtenir de bonnes performances en cas de défauts. De plus, une méthode de diagnostic basé-modèle de défauts d'interrupteurs de puissance en s'appuyant sur un observateur de mode glissant est proposée et appliquée au système pile à combustible étudié. L'approche proposée dans ce manuscrit permet de diagnostiquer efficacement un défaut d'interrupteur de puissance et de montrer une forte robustesse à l'incertitude des paramètres du convertisseur et aux perturbations externes. Enfin, pour optimiser l'ondulation du courant d'entrée élevée à la suite de la perte d'une phase du convertisseur provoquée par un défaut sur l'un des interrupteurs, une nouvelle méthode de reconfiguration de la commande en appliquant une adaptation du déphasage entre les phases restantes est proposée. En comparaison avec une reconfiguration classique par un déphasage uniforme entre les phases, celle proposée permet une réduction significative de l'ondulation du courant d'entrée après l'apparition, la détection et la reconfiguration d'un défaut. Les différentes méthodes proposées sont toutes validées par des résultats de simulation et expérimentaux.

Abstract (in English):

The relatively low voltage and the nonlinear volt-ampere curve of the fuel cell (FC) stack necessitate the interface with the DC-DC power converter, in order to boost and regulate a constant DC bus voltage to satisfy the load requirement. The multi-phase interleaved converter by associating basic converter units via parallel structure is an attractive choice. It features high reliability, and it enables a low input current ripple via phase interleaving, which is beneficial for the long-time operation of the FC stack. The converter for FC application suffers from the converter uncertainties (parasitic resistance and inductance / capacitance tolerance), the external disturbances (dynamic load demand on the output side and variable source voltage on the input side), and the device fault (e.g., switch fault) uncertainty. Aiming to improve the steady-state and dynamic performance under healthy and switch fault mode of the system, the control of the interleaved converter with switch fault consideration for FC application is studied in this thesis. To better deal with the converter uncertainty and external disturbance, a robust voltage controller based on extended state observer (ESO) within the framework of active disturbance rejection control (ADRC) algorithm is proposed and applied to an interleaved boost converter for FC application. The comparison with PI control shows that the proposed method can achieve better disturbance rejection ability without overshoot in step response. The application of the proposed method to another interleaved converter (i.e., floating interleaved boost converter, FIBC) validates again its feasibility. The switch fault generally leads to the loss of the phase of the interleaved converter, which has considerable adverse effects on the controller performance. Therefore, an improved adaptive controller is proposed and applied to a FIBC with switch fault consideration, based on the previously developed controller. The proposed controller adapts the parameter in real-time. It can maintain continuous operation and achieve good

performance in both healthy and switch fault mode. Furthermore, a switch fault diagnosis method based on sliding mode observer is proposed and applied to the FIBC for FC application. The proposed approach can diagnose the switch fault effectively, and it shows strong robustness to the converter uncertainties and external disturbances. Finally, to optimize the undesired high input current ripple of the FIBC caused by the switch fault, a novel post-fault control method by applying uneven phase shift reconfiguration is proposed. In comparison with the even phase shift reconfiguration, the proposed one can achieve significant improvement in reducing the post-fault current ripple. The effectiveness of the proposed methods is validated by the simulation and experimental results.