

Titre de la thèse : Diagnostic embarqué d'une source hybride à pile à combustible pour applications mobiles de forte puissance

Laboratoires d'accueil : Institut de Recherche FEMTO-ST / Laboratoire AMPERE

Spécialité du doctorat préparé : Génie électrique

Mots-clefs : PEMFC, Batteries, Supercondensateurs, EIS, Diagnostic, Intelligence artificielle

Descriptif détaillé de la thèse

Contexte scientifique :

Cette thèse contribue au projet HYSySPEM (Optimization of HYbrid energy SyStem with multi-stack PEM fuel cells for heavy duty transportation applications) qui ambitionne l'amélioration des systèmes hybrides piles à combustible PEMFC pour les applications de mobilité de forte puissance (camion, maritime, train, avion) avec une approche systémique. L'optimisation des architectures électriques et fluidiques dans une approche multi-stack modulaire sera réalisée à plusieurs échelles (système pile et système hybride) et sur les composants clefs (compresseur, topologies de convertisseur de puissance à des niveaux de tension de 800V à 1500V). Les améliorations du contrôle/commande au niveau local et les gestions d'énergie et de puissance au niveau de l'hybridation seront couplées à une approche de contrôle tolérant aux défauts au niveau des convertisseurs de puissance et de l'hybridation, afin d'assurer un niveau de fiabilité très élevé. Le projet HYSySPEM permettra aux convertisseurs de puissance de gagner en performance, durabilité et continuité de service.

L'objectif de cette thèse est de développer et de valider dans un contexte applicatif des méthodes de diagnostic des piles à combustible et des composants de stockage électrochimique du système hybride, basées sur la spectroscopie d'impédance électrochimique. L'exploitation des piles à combustible et des systèmes de stockage d'énergie dans des conditions optimales de contrôle et de disponibilité nécessite un suivi continu des quantités d'énergie disponibles et une bonne évaluation de l'état de santé et de l'aptitude à répondre aux performances requises. Les méthodes développées devront exploiter les propriétés liées au couplage des sources hybridées entre elles et s'intégrer au contrôle des flux de puissance par les convertisseurs statiques. Elles devront faire appel aux techniques de l'intelligence artificielle dont les algorithmes seront intégrés sur des calculateurs embarqués et exécutés en ligne et en temps réel.

Descriptif de la thèse :

Objectifs :

- Etudier et proposer différentes méthodes de stimulation des piles à combustibles et composants de stockage du système hybride basées sur le principe de spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS) en vue de leur diagnostic.
- Etudier les avantages et contraintes sur l'EIS de l'architecture multi-stack et hybride du système en termes de précision du contrôle, stabilité des points de fonctionnement, perturbations électriques et qualité des mesures.
- Proposer des méthodes de diagnostic des piles à combustibles et des composants de stockage du système hybride exploitant les mesures d'EIS et s'appuyant sur des algorithmes d'intelligence artificielle.
- Valider expérimentalement les méthodes de diagnostic sur un prototype à échelle réduite en proposant une déclinaison des outils compatible avec les contraintes des applications mobiles.

Description des travaux :

- Etat de l'art des techniques d'EIS et benchmarking des solutions existantes.
- EIS embarquée surimposée au contrôle du convertisseur de puissance pour pile unique et multi-stack en un point de fonctionnement en régime permanent pour différentes conditions d'utilisation (saines ou défectueuses).
- EIS embarquée surimposée au contrôle du convertisseur de puissance pour système de stockage (batterie ou supercondensateur) en un point de fonctionnement en régime permanent pour différentes conditions d'utilisation (saines ou défectueuses).
- Mise en œuvre d'algorithmes d'intelligence artificielle pour l'analyse du spectre d'impédance afin d'obtenir l'état de santé de la pile à combustible ou du système de stockage.
- Mise en œuvre de stratégies de gestion de l'énergie et de la puissance en fonction des indicateurs clés de performance attendus (KPI).
- Validation sur la plateforme MiL/SiL (jumeau numérique développé dans le cadre du projet)
- Validation sur un banc d'essai expérimental à petite échelle basé sur le prototype construit dans le cadre du projet.

Présentation des laboratoires d'accueil :

FEMTO-ST :

L'institut FEMTO-ST (Franche-Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique – Sciences et Technologies, UMR 6174), est une unité mixte de recherche, qui bénéficie de la quadruple tutelle de l'Université de Franche-Comté (UFC), du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques (ENSM) et de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM). Il compte aujourd'hui *plus de 700 membres*, départements scientifiques, services communs et direction confondus et est divisé en sept départements répartis sur les sites de Besançon, Belfort et Montbéliard. Le département **Energie** apporte une contribution dans les domaines de l'énergie électrique et thermique et des systèmes piles à combustible. Il est aussi engagé sur des programmes nationaux et internationaux liés à l'hydrogène-énergie et les systèmes pile à combustible, la micro-cogénération, les systèmes hybridés électriquement, les véhicules électriques et hybrides, les actionneurs électriques et leur commande, le stockage d'énergie électrique par batteries, les pompes à chaleur, l'instrumentation thermique et optique dans les fluides et les systèmes énergétiques.

La thèse de doctorat se déroulera au sein de l'équipe **SHARPAC** du département Energie de l'Institut FEMTO-ST dans les locaux de la **plateforme Hydrogène Energie** sur le site universitaire de l'UTBM à Belfort. Elle débutera à partir d'octobre 2023 pour une durée de 3 ans.

AMPERE :

Le laboratoire Ampère est spécialisé dans la gestion et l'utilisation rationnelle de l'énergie dans les systèmes en relation avec leur environnement. Il développe pour cela des activités disciplinaires et transdisciplinaires portées par ses trois départements et ses six priorités.

Les trois départements portent une vision disciplinaire, et constituent une structure pérenne du laboratoire : automatique pour l'ingénierie des systèmes (AIS), bio-ingénierie (BIO) et énergie électrique (EE). Les 6 priorités visent à favoriser la transdisciplinarité, et sont redéfinies régulièrement, en fonction de l'émergence de nouveaux sujets ou besoins sociétaux.

Le laboratoire est une unité mixte de recherche (UMR 5005) du CNRS, de l'École Centrale de Lyon, de l'INSA de Lyon, et de l'Université Claude Bernard Lyon 1. Il regroupe 185 personnes, dont 83 doctorants, 75 chercheurs et enseignants-chercheurs et 19 personnes pour le support à la recherche. La production scientifique du laboratoire, de l'ordre de 90 articles de revue et 120 communications en conférence par an, est accessible à l'adresse suivante : https://hal.archives-ouvertes.fr/AMPERE/search/index/?q=* . La thèse sera rattachée au département EE et plus particulièrement à la priorité SENS « systèmes et énergies sûrs ».

Références bibliographiques / Bibliography

[1] D. Depernet, O. Ba, A. Berthon, "Online impedance spectroscopy of lead acid batteries for storage management of a standalone power plant", Journal of Power Sources 219, 2012, pp. 65-74. doi:10.1016/j.jpowsour.2012.07.053

[2] D Depernet, A. Narjiss, F. Gustin, D. Hissel, M.-C. Péra, "Integration of electrochemical impedance spectroscopy functionality in proton exchange membrane fuel cell power converter", International Journal of Hydrogen Energy, Volume 41, Issue 11, mar 2016, Pages :5378 – 5388, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.02.010>

[3] Y. Ao, S. Laghrouche, D. Depernet, "Diagnosis of Proton Exchange Membrane Fuel Cell System Based on Adaptive Neural Fuzzy Inference System and Electrochemical Impedance Spectroscopy". Energy Conversion and Management, 2022, DOI: 10.1016/j.enconman.2022.115391

[4] A. Lievre, A. Sari, P. Venet, A. Hijazi, M. Ouattara-Brigaudet, S. Pelissier, "Practical Online Estimation of Lithium-Ion Battery Apparent Series Resistance for Mild Hybrid Vehicles", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 65, N°6, 4505-4511, 2016, DOI: 10.1109/TVT.2015.2446333. IF : 5.34

[5] S. Shili, A. Hijazi, A. Sari, P. X. Lin-Shi, P. Venet, "Balancing circuit new control for supercapacitor storage system lifetime maximization", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 32, N°6,4939-4948, 2017, DOI: 10.1109/TPEL.2016.2602393. IF : 7.15

[6] Elie RIVIERE, Ali SARI, Pascal VENET, Frédéric MENIERE, Yann BULTEL, "Innovative Incremental Capacity Analysis Implementation for C/LiFePO4 cell State-of-Health estimation in Electrical Vehicles", Journal Batteries, vol. 5(2), no. 37, 1 April 2019, DOI: 10.3390/batteries5020037

Profil demandé

Le candidat ou la candidate devra être titulaire d'un Master 2 ou équivalent et connaître les principales notions qui relèvent du génie électrique, de l'automatique et de l'informatique industrielle. Une solide connaissance dans les domaines des sources de puissance, des piles à combustible et du vecteur énergétique hydrogène, de l'électronique de puissance, du contrôle et de l'automatique avancée sera nécessaire. Le candidat ou la candidate devra attester d'une motivation importante pour la recherche scientifique et d'un bon niveau en langue anglaise. Il ou elle devra faire preuve d'une grande rigueur de travail, de méthode, d'autonomie, d'aisance dans l'expérimentation, l'analyse et la présentation des résultats.

Financement : MESRI Etablissement

Début du contrat : 1^{er} Octobre 2023

Salaire net mensuel : 1716€

Direction de la thèse

DEPERNET Daniel – Femto-st / daniel.depernet@utbm.fr

Encadrement de la thèse : co-directeur(s) et co-encadrant(s)

SARI Ali – Ampère – co-directeur / ali.sari@univ-lyon1.fr

GUSTIN Frédéric – Femto-st– co-encadrant

HELBLING Hugo – Ampère – co-encadrant

Candidature

Les candidats sont invités à envoyer leur dossier de candidature par mail aux adresses daniel.depernet@utbm.fr et ali.sari@univ-lyon1.fr avant le 14 mai 2023 – 23h00.

Documents à fournir :

- Curriculum Vitae
- Lettre de motivation
- Relevés de notes avec classement en M1 et M2
- Lettre de recommandation