

Sujet de thèse CIFRE

Spectroscopie d'impédance électrochimique intégrée au convertisseur pour des stacks d'électrolyseurs AEM

Description synthétique

Cette thèse vise à développer une spectroscopie d'impédance électrochimique intégrée à l'architecture de conversion de puissance de stacks d'électrolyseurs AEM. L'objectif est de réaliser des mesures sur des stacks réels en fonctionnement, au plus près de la chaîne de puissance. Le travail portera sur la génération et l'injection des perturbations, la commande de l'étage de puissance, la mesure des réponses électriques, le calcul des impédances, l'identification de la plage fréquentielle exploitable, puis la validation expérimentale sur le banc d'essai industriel GEN-HY de 3 kW. La thèse comportera une forte composante expérimentale sur banc, avec intégration pratique de la fonction EIS, campagnes de mesure, validation sur système réel, ainsi que des études de dimensionnement et des simulations ciblées pour orienter le choix des architectures et préparer leur mise en œuvre.

L'ambition est de faire passer l'EIS d'un outil de caractérisation de laboratoire à un outil de mesure in situ en conditions opérationnelles. La thèse se situe à l'interface entre électrochimie, instrumentation, commande et électronique de puissance. Elle vise à établir une brique technologique permettant d'accéder, en fonctionnement, à des phénomènes internes du stack et d'ouvrir la voie à un suivi d'état plus riche.

Contexte scientifique et industriel

Les électrolyseurs à membrane échangeuse d'anions occupent une place croissante dans le développement de l'hydrogène bas-carbone. Leur intérêt tient notamment à l'usage potentiel de matériaux moins critiques que dans d'autres filières d'électrolyse. Leur déploiement reste toutefois conditionné par l'amélioration de leur durabilité, de leur fiabilité et de leur maîtrise en fonctionnement réel. Les mécanismes de vieillissement affectent l'ensemble du stack et dépendent fortement des conditions opératoires, en particulier du courant, de la température, de la pression, de l'alimentation en eau et des sollicitations dynamiques.

Dans ce contexte, la spectroscopie d'impédance électrochimique constitue un outil particulièrement pertinent. Elle permet d'accéder à des phénomènes internes difficilement observables à partir des seules grandeurs électriques globales. Si l'EIS est aujourd'hui bien établie comme outil de caractérisation électrochimique, son intégration directe dans un système réel alimenté par électronique de puissance reste beaucoup moins structurée. L'enjeu est désormais de rendre cette mesure compatible avec un usage in situ, au plus près de la chaîne de puissance, en maîtrisant les contraintes de stabilité, de bande fréquentielle et de qualité métrologique.

Du point de vue de l'électronique de puissance, les électrolyseurs reposent sur des architectures de conversion pouvant comporter des étages AC/DC et, selon les cas, des étages DC/DC. Le choix de la topologie, de la commande et de la qualité de l'alimentation devient alors déterminant. La littérature relative à l'EIS par électronique de puissance est aujourd'hui plus abondante pour les piles à combustible que pour les électrolyseurs. Elle met néanmoins déjà en évidence des verrous et des approches directement pertinents pour ce sujet : génération des perturbations, commande, plage fréquentielle exploitable, instrumentation à l'échelle du stack et intégration système.

Enjeux scientifiques et travail doctoral

La thèse vise à lever plusieurs verrous scientifiques et technologiques liés à l'intégration de l'EIS dans une chaîne de conversion de puissance pour électrolyseurs AEM : génération de perturbations de qualité, commande compatible avec le fonctionnement du stack, robustesse de la chaîne de mesure, identification de la plage fréquentielle exploitable, et maîtrise des interactions système en conditions réelles.

- Définir et comparer plusieurs architectures de conversion de puissance compatibles avec l'injection EIS, sans figer a priori une topologie unique.
- Développer les lois de commande permettant de générer des perturbations EIS de qualité, tout en préservant un point de fonctionnement compatible avec l'exploitation du stack.
- Concevoir et valider une chaîne de mesure EIS robuste, incluant le choix des grandeurs mesurées, le conditionnement analogique, la synchronisation excitation-acquisition et l'estimation fiable de l'amplitude, de la phase et de l'impédance.
- Déterminer la plage fréquentielle réellement exploitable et analyser, par des approches système et en petit signal, les interactions entre la fonction EIS, la chaîne de puissance et la stabilité du fonctionnement.
- Mettre en œuvre et valider expérimentalement la méthode sur le banc GEN-HY de 3 kW, afin d'établir la valeur ajoutée de cette EIS in situ pour l'accès aux phénomènes internes du stack.

Environnement de recherche

La thèse, d'une durée de 36 mois, avec un démarrage prévu le 1er octobre 2026, est proposée dans le cadre d'une convention CIFRE entre l'entreprise GEN-HY et le laboratoire FEMTO-ST. Le travail sera mené entre Belfort (FEMTO-ST) et le site industriel de GEN-HY à Brognard, dans l'agglomération de Montbéliard. La personne recrutée s'appuiera notamment sur le banc d'essai industriel GEN-HY de 3 kW et sur les moyens d'instrumentation associés pour conduire les campagnes expérimentales, étudier des architectures de conversion de puissance compatibles avec l'intégration de la fonction EIS, et valider les développements réalisés. Elle sera co-encadrée par un responsable industriel et des enseignants-chercheurs de FEMTO-ST, en lien étroit avec les équipes d'essais, d'ingénierie système et d'électronique de puissance.

Profil recherché

Formation d'ingénieur ou master recherche en génie électrique ou automatique, avec de bonnes bases en systèmes électriques, commande, électronique de puissance et traitement du signal. Une appétence pour l'expérimental, les essais sur banc et l'instrumentation est attendue. Des connaissances en EIS, en électrolyseurs ou en hydrogène constitueront un atout. Le profil recherché doit allier rigueur scientifique, autonomie et capacité à travailler à l'interface entre laboratoire et industrie.

Salaire : 40 k€ brut annuel

Documents à fournir

- CV
- Lettre de motivation
- Relevés de notes avec classements en M1 et M2
- Lettre(s) de recommandation d'enseignants ou d'encadrants de M1/M2.

Contacts

- Prof. Salah LAGHROUCHE, UTBM/FEMTO-ST, salah.laghrouche@utbm.fr
- Prof. Abdesslem Djerdir, UTBM/FEMTO-ST, abdesslem.djerdir@utbm.fr
- Dr. Mondher RTIMI, UTBM/GEN-HY, mondher.rtimi@utbm.fr