

Méthodes de mesure d'impédance pour l'évaluation des performances des piles à combustible et des batteries au lithium dans les applications embarquées

Jules MILLET¹, Daniel DEPERNET¹, Ali SARI², Frédéric GUSTIN³, Hugo HELBLING²

¹*UTBM, Institut FEMTO-ST, FCLAB, CNRS, Belfort, France*

²*Université Claude Bernard Lyon 1, Ampère, UMR5005, INSA Lyon, Ecole Centrale de Lyon, CNRS, Villeurbanne, F-69100, France*

³*Université de Franche-Comté, Institut FEMTO-ST, FCLAB, CNRS, Belfort, France*

Dans le cadre du projet PEPR HYSYSPEM, l'objectif est d'optimiser les systèmes d'énergie hybrides avec des systèmes pile à combustible multi-stacks pour les applications de transport lourd. Ce type de système, combine une pile à combustible et une batterie, et peut être munis de convertisseurs de puissance pour optimiser la gestion d'énergie. Cette thèse se concentre sur l'évaluation de l'état de santé (SOH) de ces sources de puissance en développant des méthodes de diagnostic fiables. La spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS), couramment utilisée, est une solution pour caractériser ces sources en situation embarquée.

L'EIS repose sur l'application d'un signal d'excitation sinusoïdal, à une fréquence donnée, à un point de fonctionnement fixe, à travers la source afin d'analyser la réponse en tension et en courant. Grâce à la Transformée de Fourier Discrète (TFD), qui permet de passer du domaine temporel au domaine fréquentiel, il est possible d'obtenir l'impédance électrochimique du système. En répétant ce processus sur une large gamme de fréquences, il devient possible de déterminer le spectre d'impédance.

La précision et la qualité de la mesure d'impédance reposent sur la linéarité et la stationnarité, des conditions que les applications embarquées ne garantissent pas spécifiquement. De plus, dans ce contexte, le signal d'excitation est injecté par le biais du convertisseur de puissance [1], lequel n'est pas toujours présent entre la source de puissance et le bus continu. Si le convertisseur est présent, l'injection du signal d'excitation doit être la moins perturbatrice possible et durer le moins de temps possible. On parle dans ce cas d'EIS active. En l'absence de convertisseur, une analyse des perturbations fréquentielles peut être réalisée sur les signaux de courant et de tension. Ces perturbations peuvent être induites par des accélérations, des décélérations [2], l'environnement de conduite, d'autres convertisseurs de puissance ou bien même du moteur électrique. On parle alors d'EIS passive puisque l'on ne procède à aucune excitation électrique de la source.

Que l'on soit dans le cas de l'EIS active ou passive, un algorithme de traitement du signal robuste doit être mis en place pour calculer l'impédance en régime dynamique. La particularité de cet algorithme repose sur sa capacité à segmenter et à fenêtrer les signaux de courant et de tension en fonction de la fréquence recherchée. Il doit aussi vérifier que chaque segment respecte les notions de causalité, de linéarité, de stationnarité et de stabilité [3]. Pour ce faire, des méthodes de compensation de la dérive ou bien les relations de Kramers-Kronig sont mises en œuvre pour valider ou non chaque calcul d'impédance. Cet algorithme est donc testé avec différents cycles de conduite en simulation et sur banc pour valider son bon fonctionnement.

- [1] D. Depernet, A. Narjiss, F. Gustin, D. Hissel, et M.-C. Péra, « Integration of electrochemical impedance spectroscopy functionality in proton exchange membrane fuel cell power converter », *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 41, n° 11, p. 5378-5388, mars 2016, doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.02.010.
- [2] B. Liebhart, L. Komsiyaska, et C. Endisch, « Passive impedance spectroscopy for monitoring lithium-ion battery cells during vehicle operation », *J. Power Sources*, vol. 449, p. 227297, févr. 2020, doi: 10.1016/j.jpowsour.2019.227297.
- [3] C. A. Schiller, F. Richter, E. Gülzow, et N. Wagner, « Validation and evaluation of electrochemical impedance spectra of systems with states that change with time », *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 3, n° 3, p. 374-378, 2001, doi: 10.1039/b007678n.