

PhD topic

Embedded integrated monitoring of the state of charge and health of storage batteries

Host laboratory: FEMTO-ST Research Institute

Thesis director (contact) : Dr. Daniel DEPERNET – daniel.depernet@utbm.fr

Co-advisors: Dr. Daniela CHRENKO, Dr. Salah LAGHROUCHE

Funding : Bourgogne Franche-Comté Region, EUR EIPHI, ANR

Doctoral School : SPIM (Engineering Sciences and Microtechnologies), speciality Engineering Sciences

Keywords : Battery SOC and SOH, Electrochemical impedance spectroscopy, Battery Management System, Nonlinear estimators and observers, Real time diagnosis, Deep learning.

Scientific context:

Recent developments mark the beginning of a technological era in which energy storage solutions using electrochemical batteries will develop considerably and become widespread. Indeed, the successful conversion of the thermal vehicle fleet to electric vehicles and the development of renewable energy storage solutions are largely based on the energy efficiency and technical and economic performance of electrochemical batteries.

The operation of batteries, in optimal conditions of control and availability, requires continuous monitoring of the quantities of stored and storable energy as well as a good assessment of the state of ageing and the ability to meet the performance required by the application. The current methods for measuring and estimating the states of charge and health of batteries in operation give limited results involving drifts leading to reductions in energy performance and difficulty in organising servicing and maintenance.

The aim of this PhD thesis is to study and validate in an applicative context the principle of integration of impedance spectroscopy measurement into the electronics control of electrochemical batteries, giving more accurate and reliable information for estimating the states of charge and health of the source. The methods to be developed in this PhD thesis should contribute to the democratization of reliable characterization principles for batteries during the operation.

Description of the thesis:

The PhD thesis is part of the ULYSSE regional project (Improving operations & dUrability of battery-fuel cell hYbrid SyStEm) and aims in particular at developing methods for estimating the state of charge (State of Charge: SOC) and state of health (State of Health: SOH) of electrochemical batteries in operation. The main interest of this goal is to open up the field of possibilities for the autonomous characterization of embedded or stationary storage systems and to enable significant improvement in their control, energy efficiency, monitoring throughout their life cycle and the organization of their servicing and maintenance.

Impedance spectroscopy of electrochemical batteries is a method that allows to collect relevant information to feed into mathematical estimators reconstructing SOC and SOH, but which until now can only be carried out in laboratory conditions using specific equipment. The integration of this method with battery controllers completely changes the perspectives of characterization and makes it possible to use new methods for estimating SOC and SOH based on new and more relevant measurements.

The Energy Department of the FEMTO-ST Institute has very good expertise in the field of electrochemical source control, in the characterization by impedance spectroscopy of lead-acid electrochemical batteries and PEMFC fuel cells, as well as in the integration of these methods in embedded controllers [1][2][3]. The first objective of the PhD thesis is to apply this expertise to the most widely used battery technologies such as Li-ion or to emerging technologies in energy transition.

The first part of the thesis (T0 to T0+3) will begin with a literature review of state-of-the-art models and estimators for determining the state of charge and the state of health of batteries from electrical measurements, including impedance spectroscopy measurements [4]. The study should list the methods for parameterizing the models as a function of the source polarization conditions and influence quantities such as temperature. A first analysis will then determine the extent of exploitable methods that can be used and transposed to an integrated use in embedded controllers.

The second part (T0+3 to T0+12) will be devoted to the design of the test bench and to the definition of the experimental protocol allowing to respect the specifications targeted during the first part. The control system will have to allow the programming of operating situation profiles representative of both embedded and stationary applications. It must also allow the superposition of impedance spectrum measurements on the load profiles. At this stage, a Master 2 trainee will be able to assist the PhD student in the implementation tasks of the test bench and in the choice of SOC and SOH estimators.

In a third part (T0+12 to T0+24), the PhD student will carry out tests on the different battery packs in order to build up a battery characterization database under operating conditions. Models for determining SOC and SOH will be developed and validated from the experimental measurements. A Master 2 trainee will be able, at this stage, to prepare the work of the fourth part by participating in the implementation tasks of the embedded controller and in the performance of the tests under operating conditions.

The fourth part of the thesis will be devoted to the transposition of impedance spectroscopy and SOC and SOH estimation methods on controllers intended to be used in operation. A comparison of the results given by the embedded controller and the test bench will be carried out in order to validate the concept.

Finally, the fifth and last part of the thesis will be devoted to the synthesis of the results, the conclusions, the definition of perspectives for the writing of the thesis and the preparation of the defence.

Presentation of the host laboratory:

The FEMTO-ST Institute (Franche-Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies, UMR 6174) is a joint research unit under the quadruple supervision of the University of Franche-Comté (UFC), the National Centre for Scientific Research (CNRS), the École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques (ENSMM) and the University of Technology of Belfort-Montbéliard (UTBM). Today, the FEMTO-ST Institute has 7 scientific departments and more than 700 members. The doctoral thesis will take place within the SHARPAC team of the Energy Department of the FEMTO-ST Institute in the premises of the FCLAB platform on the UTBM university site in Belfort. It will start in September 2020 for a period of 3 years.

Thesis funding:

This thesis will be funded by the Bourgogne Franche-Comté Region and the EUR EIPHI (Engineering and Innovation through Physical Sciences, High-technologies, and cross-disciplinary research). The doctoral student will be registered at the UBFC (University of Burgundy Franche-Comté) and at the SPIM doctoral school (Engineering Sciences and Microtechnologies) in the speciality Engineering Sciences.

Scientific, technical and industrial culture:

During the thesis, the PhD student will take part in actions to disseminate scientific, technical and industrial knowledge under the impetus of the Bourgogne-Franche-Comté Region.

Candidate profile:

The candidate will have to demonstrate a strong motivation for scientific research and very good level of English language skills. He or she will have to demonstrate a great rigour in work, method, autonomy, and ease in experimenting, analysing and presenting data. He or she will have to hold a Master 2 or equivalent degree and to know the main notions of electrical engineering, control and industrial computing.

List of documents to be provided:

- CV
- A letter of motivation
- Academic transcript and ranking of Master 1 and 2
- Recommendation letter

Bibliographie :

[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

[3] D Depernet, F. Gustin, D. Hissel, "High Efficiency DC/AC/DC Converter Based on Synchronous Rectifier for Proton Exchange Membrane Fuel Cells", *Fuel Cells*, 2016, Wiley Online Library, DOI: 10.1002/fuce.201600059

[4] Y. Zou, X. Hu, Hongmin Ma, S. E. Li, "Combined State of Charge and State of Health estimation over lithium-ion battery cell cycle lifespan for electric vehicles", *Journal of Power Sources* 273, 2015, pp. 793-803

Sujet de thèse

Monitoring intégré embarqué de l'état de charge et de santé des batteries de stockage

Laboratoire d'accueil : Institut de Recherche FEMTO-ST

Directeur de thèse (contact) : Daniel DEPERNET – daniel.depernet@utbm.fr

Equipe d'encadrement : Daniel DEPERNET, Daniela CHRENKO, Salah LAGHROUCHE

Financement : Région Bourgogne Franche-Comté, EUR EIPHI, ANR

Ecole doctorale : Sciences Pour l'ingénieur et Microtechnique, spécialité Sciences Pour l'Ingénieur

Mots clés : Etat de charge et de santé des batteries, Spectroscopie d'impédance électrochimique, Battery Management System, Estimateurs et observateurs non linéaires, Diagnostic temps réel, Apprentissage profond

Contexte scientifique :

Nous abordons aujourd'hui une période technologique dans laquelle les solutions de stockage énergétique par des batteries électrochimiques vont se développer considérablement et se généraliser. En effet, la réussite de la conversion du parc automobile thermique aux véhicules électriques et le développement des solutions de stockage des énergies renouvelables reposent en grande partie sur l'efficacité énergétique et la performance technico-économique des batteries électrochimiques.

L'exploitation des batteries dans des conditions optimales de contrôle et de disponibilité nécessite un suivi continu des quantités d'énergie stockée et stockable ainsi qu'une bonne évaluation de l'état de vieillissement et de l'aptitude à répondre aux performances requises par l'application. Les méthodes actuelles de mesure et d'estimation des états de charge et de santé des batteries en exploitation donnent des résultats limités impliquant des dérives conduisant à des réductions de performances énergétiques et à une difficulté d'organisation de l'entretien et de la maintenance.

L'objectif de ce doctorat est d'étudier et de valider dans un contexte applicatif le principe d'intégration à l'électronique de contrôle des batteries électrochimiques de la mesure de spectroscopie d'impédance donnant une information plus précise et fiable pour estimer les états de charge et de santé de la source. Les méthodes développées dans cette thèse de doctorat devront contribuer à la démocratisation de principes de caractérisation fiables des batteries en exploitation.

Descriptif de la thèse :

La thèse de doctorat s'inscrit dans le contexte du projet régional ULYSSE (Improving operations & dUrability of batterie-fuel cell hYbrid SyStEm) et vise en particulier au développement de méthodes d'estimation de l'état de charge (State of Charge : SOC) et de l'état de santé (State of Health : SOH) des batteries électrochimiques en exploitation. Cette finalité a pour principal intérêt d'ouvrir le champ des possibilités de caractérisation autonome des systèmes de stockage embarqués ou stationnaires et de permettre l'amélioration notable de leur contrôle, de leur efficacité énergétique, de leur suivi tout au long de leur cycle de vie et de l'organisation de leur entretien et de leur maintenance.

La spectroscopie d'impédance des batteries électrochimiques est une méthode qui permet de recueillir des informations pertinentes pour alimenter les estimateurs mathématiques reconstituant les SOC et SOH, mais qui ne peut jusqu'alors être réalisée qu'en laboratoire à l'aide d'équipements spécifiques. L'intégration de cette méthode aux contrôleurs des batteries change complètement les perspectives de caractérisation et rend possible l'utilisation de nouvelles méthodes d'estimation des SOC et SOH basées sur de nouvelles mesures plus pertinentes.

Le département Energie de l'Institut FEMTO-ST possède une très bonne expertise dans le domaine du contrôle des sources électrochimiques, dans la caractérisation par spectroscopie d'impédance des batteries électrochimiques acide-plomb et des piles à combustible de type PEMFC, ainsi que dans l'intégration de ces méthodes dans les contrôleurs embarqués [1][2][3]. Le premier objectif de la thèse de doctorat est d'appliquer cette expertise aux technologies de batteries les plus utilisées telles que Li-ion ou aux technologies émergentes dans la transition énergétique.

La première partie de la thèse (T0 à T0+3) commencera par une étude bibliographique faisant l'état de l'art sur les modèles et estimateurs permettant de déterminer l'état de charge et l'état de santé des batteries à partir de mesures électriques en y incluant les mesures de spectroscopie d'impédance [4]. L'étude devra répertorier les méthodes de paramétrage des modèles en fonction des conditions de polarisation de la source et des grandeurs d'influence telles que la température. Une première analyse déterminera alors l'étendue des méthodes exploitables et transposables à une utilisation intégrée aux contrôleurs embarqués.

La deuxième partie (T0+3 à T0+12) sera consacrée à la réalisation du banc d'essais et à la définition du protocole expérimental permettant de respecter les spécifications ciblées lors de la première partie. Le dispositif de contrôle devra permettre la programmation de profils de mise en situation d'exploitation représentatifs des applications embarquées d'une part et stationnaires d'autre part. Il devra également permettre la superposition de mesures du spectre d'impédance aux profils de charge. Un stagiaire de master 2 pourra à ce stade suppléer le doctorant dans les tâches de mise en œuvre du banc d'essais et dans le choix des estimateurs de SOC et de SOH.

Dans une troisième partie (T0+12 à T0+24), le doctorant effectuera les essais sur les différents packs de batteries afin de constituer une base de données de caractérisation des batteries dans des conditions d'exploitation. Les modèles de détermination des SOC et SOH seront développés et validés à partir des mesures expérimentales. Un stagiaire de master 2 pourra à ce stade préparer le travail de la quatrième partie en participant aux tâches de mise en œuvre du contrôleur embarqué et dans la réalisation des essais en condition d'exploitation.

La quatrième partie de la thèse sera consacrée à la transposition des méthodes de spectroscopie d'impédance et d'estimation des SOC et SOH sur des contrôleurs prévus pour être utilisés en

exploitation. Une confrontation des résultats donnés par le contrôleur embarqué et le banc d'essais sera réalisée afin de valider le concept.

Enfin, la cinquième et dernière partie de la thèse sera consacrée à la synthèse des résultats, aux conclusions, à la définition des perspectives, à la rédaction du mémoire et à la préparation de la soutenance.

Présentation du laboratoire d'accueil :

L'institut FEMTO-ST (Franche-Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique – Sciences et Technologies, UMR 6174), est une unité mixte de recherche, placée sous 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 (ENSMM) et de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM). Aujourd'hui, l'institut FEMTO-ST compte 7 départements scientifiques et plus de 700 membres. 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 FCLAB sur le site universitaire de l'UTBM à Belfort. Elle débutera à partir de septembre 2020 pour une durée de 3 ans.

Financement de la thèse :

Cette thèse sera financée par la Région Bourgogne-Franche-Comté et l'EUR EIPHI (Ecole Universitaire de Recherche ingénierie et Innovation au travers des sciences Physiques, des Hautes technologies, et de l'Interdisciplinarité). Le doctorant ou la doctorante sera inscrit à l'UBFC (Université de Bourgogne Franche-Comté) et à l'école doctorale SPIM (Sciences Pour l'Ingénieur et Microtechnique) dans la spécialité Sciences Pour l'Ingénieur.

Culture Scientifique, Technique et Industrielle :

Le doctorant participera au cours de la thèse à des actions de diffusion de la culture scientifique, technique et industrielle sous l'impulsion de la Région Bourgogne-Franche-Comté.

Profil du candidat :

Le candidat ou la candidate devra attester d'une motivation importante pour la recherche scientifique et d'un très 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 données. Il ou elle 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.

Documents à fournir :

- CV
- Lettre de motivation
- Relevés de notes avec classements en M1 et M2
- Lettre de recommandation

Bibliographie :

- [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
- [3] D Depernet, F. Gustin, D. Hissel, "High Efficiency DC/AC/DC Converter Based on Synchronous Rectifier for Proton Exchange Membrane Fuel Cells", *Fuel Cells*, 2016, Wiley Online Library, DOI: 10.1002/fuce.201600059
- [4] Y. Zou, X. Hu, Hongmin Ma, S. E. Li, "Combined State of Charge and State of Health estimation over lithium-ion battery cell cycle lifespan for electric vehicles", *Journal of Power Sources* 273, 2015, pp. 793-803