République Tunisienne
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Tunis El Manar
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis
Laboratoire des Systèmes Electriques

Tunis le 23 Mai 2021

Projet de Amine LAHYANI

Pour candidature à un Post-Doc pris en charge par l'ED-STI

Titre du projet :"Etude de l'intégration du stockage par batterie et supercondensateurs dans les réseaux électriques intelligents"

1. Problématique et contexte du travail

La répartition spatiale et temporelle des sources d'énergie renouvelable nécessite aujourd'hui l'exploitation de systèmes de stockage et la gestion adéquate de ceux-ci pour obtenir des réseaux intelligents et performants [1]. En fait, avec l'introduction de la révolution verte due à la croissance rapide de la consommation d'énergie, la technologie des batteries a évolué en même temps que cette transition énergétique, établissant son importance dans le secteur de l'énergie.

Les batteries sont des éléments critiques en termes de coût et de durée de vie mais qui ont prouvé leur apport dans la fiabilité des réseaux [2]-[3]. Il est donc important de connaitre leur état de santé en continu pour prévoir à l'avance leur défaillance et programmer leur remplacement. Les batteries lithium-ion sont des candidates intéressantes pour les applications stationnaires du fait de leur bonne fiabilité en comparaison aux batteries plomb-acide [4]. Il est donc intéressant dans ce travail d'étudier et de comparer la durée de vie de ces deux technologies pour le même profil d'utilisation dans le cas des réseaux communicants et intelligents (Smart Grid) afin d'établir la rentabilité de leurs utilisations dans leur fonction d'amélioration de la fiabilité du réseau [5]-[7].

L'étude portera aussi sur un système de stockage hybride constitué de batteries associées à des supercondensateurs qui permettent une sollicitation moindre des batteries [8]-[10]. Les supercondensateurs ont une capacité de stockage d'énergie 20 fois supérieure à celle des condensateurs électrolytiques classiques et, contrairement aux batteries, les supercondensateurs peuvent supporter des impulsions de puissance comparativement beaucoup plus élevées [11]-[12]. Cependant, leur capacité de stockage d'énergie est inférieure à celle des batteries. Ce système hybride sera aussi comparé aux batteries seules lors d'une utilisation en stockage stationnaire pour les réseaux électriques car un système de stockage hybride d'énergie mal optimisé pourrait être moins intéressant qu'un système de stockage d'énergie avec batteries seules. Donc, le choix de la configuration la plus appropriée est intéressant pour limiter les contraintes sur les batteries, et donc réduire son coût et améliorer sa durée de vie.

Etant donné que le comportement des dispositifs de stockage face à des fonctionnements normaux ou dégradés des réseaux sont mal connus, nous nous proposons de modéliser et de simuler ces dispositifs couplés au réseau électrique par un logiciel de simulation dynamique qui tient compte entre autres des pertes dans les convertisseurs et qui se base sur des modèles fiables qui seront développés pour les différents types de batteries étudiées [13-14].

L'application à un de cas réel de réseau intelligent intégrant des systèmes de stockages distribués sera visé pour consolider l'apport de ce projet. Le but est de disposer d'une réserve d'énergie à libération rapide qui permettrait d'éviter le délestage en apportant un soutien dynamique et un réglage de la charge du réseau.

2. Objectifs visés

Le développement des énergies renouvelables intermittentes détermine de nouveaux enjeux pour les réseaux, en particulier la nécessité des systèmes de stockage de grandes performances. Ce projet consiste donc à concevoir, produire et déployer des systèmes de stockage d'énergie hybrides ayant des caractéristiques techniques (ex : la durée de stockage, le nombre de cycles, la densité de puissance et d'énergie) leur permettant de s'adapter à plusieurs pistes de valorisation énergétique et économique. Ces systèmes de stockage permettent simultanément de contribuer au lissage de la pointe de consommation électrique, à l'optimisation du programme de production et à la résolution du problème de l'intermittence de certaines énergies renouvelables comme l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque. La combinaison batterie/supercondensateur peut s'avérer particulièrement efficace quant' à l'amélioration de la durée de vie de la batterie surtout avec son coût accru. Ce projet contribue forcément aux développements des énergies renouvelables dans l'objectif de renforcer l'indépendance énergétique du notre pays.

3. Approche méthodologique et premier plan de travail

Du 1er au 3ème mois :

Nous proposons de commencer par une étude bibliographique portant sur les divers types des systèmes de stockage qui sont introduits actuellement dans les réseaux électriques pour pallier les intermittences des sources renouvelables. Une attention particulière sera donnée aux batteries, aux supercondensateurs et aux systèmes de stockage d'énergie hybrides.

Du 4ème au 6ème mois :

Les sollicitations de ces dispositifs de stockage (batteries, supercondensateurs) seront analysées et des

modèles fins des batteries seront développés afin de prévoir l'évolution de leur état de santé et conclure quant à la meilleure technologie qui sera adoptée.

Du 7ème au 9ème mois :

Une association des batteries avec des supercondensateurs sera explorée étant donné qu'elle a démontré son efficacité notamment dans le domaine du Véhicule Electrique. Nous nous intéresserons également aux diverses configurations des systèmes de stockage hybrides en comparant leurs coûts et leurs effets sur la durée de vie de batteries.

Du 10ème au 12ème mois :

La finalité de ce travail de post-doc est de décider de la technologie (Batterie + Supercondensateur) et de sa rentabilité sur la durée de vie dans sa fonction de soutien aux réseaux électriques intelligents en l'appliquant pour un cas réel de réseau intelligent.

4. Références bibliographiques

[1] G. Delille, "Contribution du Stockage à la Gestion Avancée des Systèmes électriques, Approches Organisationnelles et Technico-économiques dans les Réseaux de Distribution", Thèse de Doctorat de l'École Centrale de Lille (2007).

[2] T. Mesbahi, N. Rizoug, P. Bartholomeüs, R. Sadoun, F. Khenfri and P. Le Moigne, "Optimal Energy Management for a Li-Ion Battery/Supercapacitor Hybrid Energy Storage System Based on a Particle Swarm Optimization Incorporating Nelder–Mead Simplex Approach", IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, vol. 2, no. 2, pp. 99-110, June 2017.

[3] A. Buonomano, F. Calise, M. Dentice d'Accadia and M. Vicidomini, "A hybrid renewable system based on wind and solar energy coupled with an electrical storage: Dynamic simulation and economic assessment", Energy, vol. 155, pp. 174-189, 2018.

[4] H. Ibrahim, A. Ilinca and J. Perron, "Energy Storage Systems – Characteristics and Comparisons", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 12, pp. 1221-1250, 2008.

[5] G. Delille, "Le soutien dynamique au réglage de fréquence : une inertie virtuelle apportée par le stockage dans les réseaux insulaires", Tech. Rep. EDF R&D H-R12-2010-01968-FR and public.

[6] G. Dillenseger, "Caractérisation de nouveaux modes de maintien en charge pour les batteries stationnaires de secours", Thèse de Doctorat en Électronique, Optronique et Systèmes de l'Université Montpellier 2, 2004.

[7] G. Hawley, "Understanding Tesla's lithium-ion batteries, 06 August 2017", https://evannex.com/blogs/news/understanding-teslas-lithium-ion-batteries, consulted on May 2021.

[8] A. Lahyani, P. Venet, A. Guermazi and A. Troudi, "Battery/Supercapacitors Combination in Uninterruptible Power Supply (UPS)", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 28, no. 4, pp. 1509-1522, Apr. 2013.

[9] Z. Cabrane, M. Ouassaid, M. Maaroufi, S. Marhraoui and N. E. Hichami, "Two proposed Control Algorithm of the Management of Supercapacitors-Batteries combination in Photovoltaic Energy Storage", 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/IRSEC.2018.8702842.

[10] M. A. Khalid, "Review on the Selected Applications of Battery-Supercapacitor Hybrid Energy Storage Systems for Microgrids", Energies, 2019, 12, 4559. https://doi.org/10.3390/en12234559.

[11] A. Kuperman and I. Aharon, "Battery–ultracapacitor hybrids for pulsed current loads: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, Iss. 2, pp. 981-992, 2011.

[12] P. Svasta, R. Negroiu and A. Vasile, "Supercapacitors — An alternative electrical energy storage device", 5th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE), 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISEEE.2017.8170626.

[13] O. Tremblay and L. A. Dessaint, "Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications", World Electric Vehicle Journal, vol. 3, 2009.

[14] R. Stocker, A. M. Paramjeet, M. Braglia and N. Lophitis, "Universal Li-Ion Cell Electro-Thermal Model", IEEE Transactions on Transportation Electrification, Early Access, 8 Apr. 2020, doi: 10.1109/TTE.2020.2986606, 2020.

Amine LAHYANI (amine.lahyani@enit.utm.tn)

O.K.
Fehd Kaouda

مخبر الأنظمة الكهربائية
L E S Laboratoire des Systèmes Electriques