

PRES LUNAM
École Doctorale STIM
Sciences et Technologies de l'In-
formation et Mathématiques

Spécialité : Systèmes Électroniques et de Télécommunications
Laboratoire : IETR
Equipe : Systèmes de Communication Numériques

Intégration de la technologie lithium-ion dans un système photovoltaïque autonome

JOUSSE Jérémie
Mél : jeremie.jousse@cea.fr

Résumé : Les batteries plomb/acide qui équipent aujourd'hui la grande majorité des applications photovoltaïques autonomes ont une durée de vie inférieure aux autres composants de ces systèmes. Afin de répondre à cette problématique et supprimer le besoin de maintenance qui en découle, une nouvelle architecture modulaire de batterie lithium-ion est présentée devant permettre d'atteindre une durée de vie du système de stockage de 20 ans. L'électronique de gestion indispensable au plus près des cellules Li-ion est réduite au minimum afin de limiter le coût global du système, ce qui nécessite une communication entre les batteries et l'électronique de gestion de l'application. Le protocole CAN (Controller Area Network) est retenu pour assurer une communication fiable, bidirectionnelle et pouvant être initiée par n'importe quel nœud du bus. Plutôt qu'un raccordement filaire traditionnel, l'utilisation d'un canal CPL (Courant Porteur en Ligne) sur le bus de puissance continu est préférée afin d'assurer la robustesse mécanique de la liaison.

Mots clés : Photovoltaïque, autonome, batterie, LiFePO_4 , modulaire, durée de vie, éclairage, CPL.

Collaborations : Laboratoire IETR, Novéa Énergies, CEA INES.

1 Introduction

Aujourd'hui les batteries plomb/acide représentent la technologie de stockage la plus utilisée dans les applications autonomes photovoltaïques. Le faible coût et la facilité de déploiement de cette technologie sont des arguments qui aujourd'hui encore assurent son hégémonie. Cependant, dans des applications autonomes où les contraintes de volume et de durée de vie du système de stockage sont importantes, d'autres technologies telles que le lithium-ion ou le NiMH s'avèrent pertinentes en dépit d'un prix et d'une complexité de mise en œuvre plus élevés.

L'application photovoltaïque autonome autour de laquelle s'articule le présent projet de recherche consiste en un système d'éclairage public autonome développé par la société Novéa Énergies. L'énergie est collectée par un générateur photovoltaïque et stockée dans des batteries plomb/acide pendant la journée avant d'être restituée la nuit pour assurer l'éclairage de la zone. Le système de stockage est dimensionné afin de compenser le manque d'apports solaires pendant l'hiver ce qui permet d'assurer une qualité de service constante tout au long de l'année. Les contraintes thermiques et de cyclage de ce type de système ont été décrites dès 1997 [1], auxquelles s'ajoutent des contraintes de volume et de maintenance qui ne permettent pas d'espérer une durée de vie supérieure à 10 ans pour une solution de stockage plomb/acide. Ceci ne représente que la moitié de la durée de vie de tous les autres composants du système, ce qui justifie le développement d'une nouvelle solution de stockage à longue durée de vie permettant de proposer un produit totalement autonome.

2 Caractéristiques du système de stockage

De nombreuses et très diverses solutions sont utilisées aujourd'hui pour stocker l'énergie électrique sous de multiples formes. Cependant, les contraintes de volume et de coût propres au type de système autonome étudié restreignent les possibilités aux technologies de stockage électrochimiques à température ambiante :

- plomb/acide;
- NiCd;
- NiMH;
- Li-ion.

La technologie NiCd est une alternative au plomb/acide pertinente mais elle utilise d'importantes quantités de cadmium toxique. Les batteries NiMH présentent quant à elles une résistance intéressante aux fortes températures mais souffrent d'une auto-décharge importante qui les rend incompatibles avec un stockage d'énergie à l'échelle de plusieurs mois [2, 3].

Les recherches se sont donc focalisées sur la technologie de stockage Li-ion qui recouvre aujourd'hui une large gamme de systèmes utilisant la diffusion d'ions lithium au sein d'électrolytes et de matériaux d'électrodes variés [4]. Chacun possède ses forces et ses faiblesses en termes de coût, d'énergie et de puissance spécifique (Wh/kg et W/kg), de sécurité, de performance et de durée de vie. Tous sont cependant caractérisés par une densité énergétique et une durée de vie bien supérieures à celles de la technologie plomb/acide [5]. Portées par le développement de la mobilité électrique, les batteries Li-ion LFP utilisant le matériau de cathode LiFePO_4 sont aujourd'hui matures sur le marché et présentent une robustesse et une sécurité d'utilisation accrues tout en étant proposées à des prix compétitifs [6]. Des tests de stress thermique et de vieillissement accéléré ont permis de valider l'adéquation de cette technologie avec l'application autonome considérée.

Le principal avantage de la solution plomb/acide utilisée actuellement réside dans sa robustesse et sa simplicité d'utilisation qui permettent de déporter les fonctions de gestion des batteries sur l'électronique de gestion de l'application. Les travaux présentés en [7] transposent ce mode de fonctionnement à une batterie Li-ion LFP mais ne prennent pas en compte les phénomènes de déséquilibre susceptibles de surcharger dangereusement l'une des cellules. Contrairement à la technologie plomb/acide, les cellules Li-ion supportent en effet très mal la surcharge et la surveillance de la tension totale de la batterie n'est pas suffisante pour assurer un fonctionnement sûr du système. Cette problématique nécessite ainsi l'adjonction d'une électronique de gestion au plus proche des cellules de la batterie afin d'assurer son équilibrage.

Pour conserver la modularité de la technologie plomb/acide, une batterie Li-ion unitaire est dimensionnée dont plusieurs exemplaires pourront être connectés en parallèle afin de répondre aux besoins énergétiques des différentes applications. L'électronique de gestion implantée sur chaque batterie doit donc être minimisée pour que cette solution reste économiquement pertinente. La répartition des fonctions de gestion du parc de batteries entre la carte principale de l'application et les différentes batteries impose donc de mettre en place un bus de communication permettant de synchroniser le fonctionnement de ces différents éléments.

3 Communication CPL

Comparé à la simplicité d'utilisation de la technologie plomb/acide, l'ajout d'une liaison de données entre les batteries et la carte de gestion de l'application complexifie sensiblement le câblage et l'installation du système de stockage. Plutôt que d'utiliser une connectique et un câblage spécifiques pour assurer la robustesse mécanique d'une liaison filaire, l'utilisation d'un canal CPL via le bus de puissance continu est envisagée.

Le protocole CAN est retenu pour assurer la transmission des données sur le canal. Ce protocole CSMA/CD¹ permet en effet à chaque nœud du bus d'initier une communication et intègre des mécanismes de détection et de gestion de collision. Apparut dans les années 1980 pour fiabiliser les communications au sein des véhicules automobiles, il est maintenant implémenté de façon standard dans de nombreux microcontrôleurs du marché ce qui facilite son déploiement. Les travaux présentés en [8] et [9] démontrent l'implémentation du protocole CAN sur un médium CPL, notamment à travers les composants commercialisés par la société Yamar. Cependant, étant donné le faible débit d'information nécessaire, une modulation OOK² sera préférée. Les comportements du câblage et des cellules sont explorés sur la plage de fréquence 1 MHz - 100 MHz afin de déterminer la fréquence de porteuse la plus adaptée. Afin de limiter la complexité de l'électronique de gestion des batteries, la génération de la porteuse sera implémentée sur la carte de gestion de l'application. Un système de signalisation en l'absence de porteuse est envisagé afin de limiter la consommation d'énergie tout en permettant aux différentes batteries de se manifester pour prendre la parole sur le bus.

1. CSMA/CD : Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection.

2. OOK : On Off Keying.

4 Conclusion

L'analyse des caractéristiques du système photovoltaïque autonome développé par la société Novéa Énergies permet d'identifier la technologie de stockage Li-ion LFP comme une alternative pertinente à la solution plomb/acide utilisée actuellement, dans le but de proposer une solution de stockage d'énergie présentant une durée de vie de 20 ans équivalente aux autres composants du système. Les tests de vieillissement accéléré et de stress thermique permettent de valider l'adéquation de cette technologie avec les contraintes d'utilisation observées. Des tests complémentaires permettront de dimensionner l'électronique de gestion de la batterie et de caractériser le canal de communication CPL.

Références

- [1] D.U. Sauer, M. Bächler, G. Bopp, W. Höhe, J. Mittermeier, P. Sprau, B. Willer, and M. Wollny. Analysis of the performance parameters of lead/acid batteries in photovoltaic systems. *Journal of Power Sources*, 64(1-2) :197–201, January 1997.
- [2] P Kritzer. Separators for nickel metal hydride and nickel cadmium batteries designed to reduce self-discharge rates. *Journal of Power Sources*, 137(2) :317–321, October 2004.
- [3] Nirmal-Kumar C. Nair and Niraj Garimella. Battery energy storage systems : Assessment for small-scale renewable energy integration. *Energy and Buildings*, 42(11) :2124–2130, November 2010.
- [4] Andrew Ritchie and Wilmont Howard. Recent developments and likely advances in lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 162(2) :809–812, November 2006.
- [5] Andreas Jossen, Juergen Garche, and Dirk Uwe Sauer. Operation conditions of batteries in PV applications. *Solar Energy*, 76(6) :759–769, January 2004.
- [6] Andreas Dinger, Ripley Martin, Xavier Mosquet, Maximilian Rabl, Dimitrios Rizoulis, Massimo Russo, and Georg Sticher. Batteries for Electric Cars. *The Boston Consulting Group*, pages 1–18, 2010.
- [7] Thomas L. Gibson and Nelson A. Kelly. Solar photovoltaic charging of lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 195(12) :3928–3932, June 2010.
- [8] F Grassi, S. A. Pignari, and J. Wolf. Assessment of CAN performance for Powerline Communications in dc differential buses. In *2009 IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronics Systems*, pages 1–6. IEEE, November 2009.
- [9] Flavia Grassi, SA Pignari, and J. Wolf. Channel Characterization and EMC Assessment of a PLC System for Spacecraft DC Differential Power Buses. *Compatibility, IEEE Transactions*, 53(3) :664–675, 2011.