

Comparaison entre solutions standards et innovantes pour échanger de l'énergie entre systèmes de forte capacité de stockage

Laurent GARNIER ; Daniel CHATROUX ; Sébastien CARCOUET ; Julien DAUCHY

Univ. Grenoble Alpes, F-38000 Grenoble, France
CEA, LITEN, DEHT, SIGE, LAE F-38054 Grenoble, France

L'électrification de systèmes toujours plus puissants est habituellement corrélée à de plus grands besoins de fiabilité, continuité de service et échanges d'énergie entre sources. Dans le domaine des systèmes de stockage d'énergie, ces besoins sont souvent satisfaits en parallélisant des batteries. La déconnexion de deux batteries en parallèle est un processus simple et bien maîtrisé. En revanche, la connexion est un processus bien plus long et compliqué qui requiert de l'électronique de puissance adaptée car cela revient à connecter en parallèle deux sources de tension. Basé sur un cas concret d'application et grâce à des simulations, cet article propose une comparaison entre des solutions classiques d'électronique de puissance et des solutions innovantes pour échanger de l'énergie entre systèmes batterie lithium-ion et maîtriser la connexion en parallèle de ceux-ci.

Mots-clés : batterie ; module ; convertisseur ; échange d'énergie

1. INTRODUCTION

Le projet « Easily diStributed Personal RapId Transit » (ESPRIT) H2020 a pour but de développer un véhicule spécifique de type quadricycle lourd (catégorie L) destiné principalement aux systèmes d'auto-partage. Ces véhicules légers ont la particularité de pouvoir s'accoupler les uns aux autres de manière à former un train routier allant jusqu'à huit voitures. Cette configuration permet un gain de place en stockage ainsi qu'en station de recharge et elle permet une redistribution des véhicules bien plus efficace que les systèmes existants car un seul opérateur est nécessaire pour redistribuer huit voitures à la fois. De plus les voitures pourraient être redistribuées par l'utilisateur lui-même dans une limite d'un train de deux véhicules.

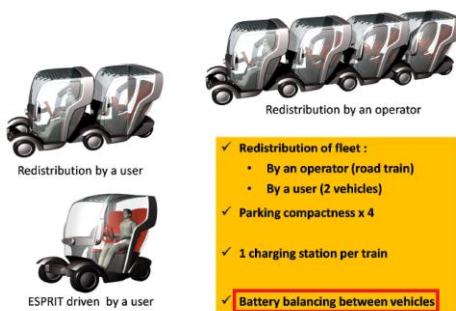


Fig. 1 Illustration des configurations véhicule du projet ESPRIT

Ce système de type « First In First Out » intègre une gestion d'énergie entre véhicules connectés (en stockage, lors des recharges ou encore en roulage lors d'une redistribution) assurant un état de charge optimal sur le premier véhicule lui permettant ainsi d'être toujours prêt à l'usage.

2. DESCRIPTION DE LA PROBLEMATIQUE

Chaque véhicule embarque une batterie de stockage ainsi qu'une solution de transfert qui permet d'échanger de l'énergie d'une voiture à une autre. L'objectif est de maximiser et de sécuriser autant que possible l'état de charge du premier véhicule du train, car il sera le premier à être utilisé. L'architecture haut niveau des véhicules est la suivante :

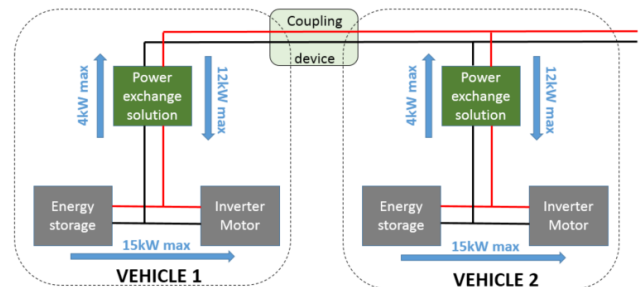


Fig. 2 Architecture électrique de deux véhicules accouplés

Les principales caractéristiques des systèmes de stockage d'énergie du projet ESPRIT sont :

- Chimie : LiFePO4
- Format de cellule : 2.3 Ah 26650 typée puissance
- Batterie de 320 V nominal et 3.5 kWh
- Puissance maximum de charge : 12 kW
- Puissance maximum échangée entre batterie : 4 kW

La question à laquelle l'article final répondra est la suivante : à partir de critères tels que l'efficacité, le volume, le coût, la masse, la complexité et la sécurité, quelle est la meilleure solution de puissance pour échanger de l'énergie entre batteries en parallèle ?

3. MODELE BATTERIE

Pour étayer la comparaison entre les solutions, un modèle simple de batterie a été conçu en se basant sur les paramètres suivants :

- capacité
- résistance interne
- courbe de tension en fonction de l'état de charge
- propriétés spécifiques sous impulsions de courant

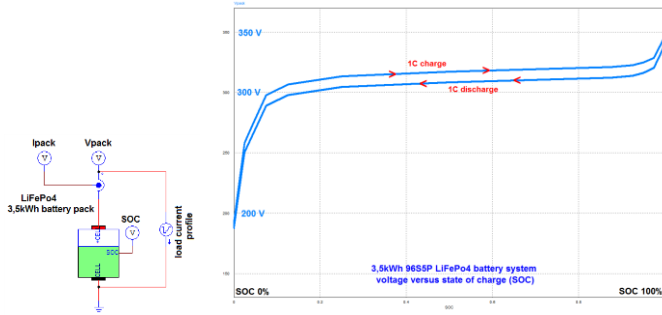


Fig. 3 Symbole et courbe de modélisation d'une batterie

4. COMPARAISON DE CINQ SOLUTIONS DE CONVERSION DE PUISSANCE ET D'ÉCHANGE D'ÉNERGIE

Dans cette partie, après avoir détaillé les phénomènes posant problèmes en cas de connexion de deux batteries en parallèles, l'article final comparera cinq solutions. Le principal objectif de ces solutions consiste à compenser la différence de tension entre les batteries à connecter tout en contrôlant le courant qui va transiter entre elles et en garantissant la sécurité.

4.1. Solution 1 : Convertisseur DC/DC bidirectionnel

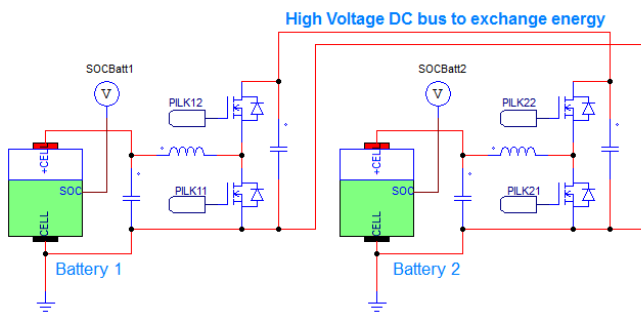


Fig. 4 Schéma électrique de deux batteries connectées avec la solution 1

Dans cette configuration bien connue de l'état de l'art, chaque convertisseur bidirectionnel peut être utilisé en abaisseur ou en élévateur. Par exemple si la batterie 1 est plus haute que celle de la batterie 2, l'interrupteur K12 est maintenu fermé et K11 et K21 sont ouverts. L'interrupteurs K22 est piloté en configuration abaisseur.

4.2. Solution 2 : « basse puissance » - module régulé

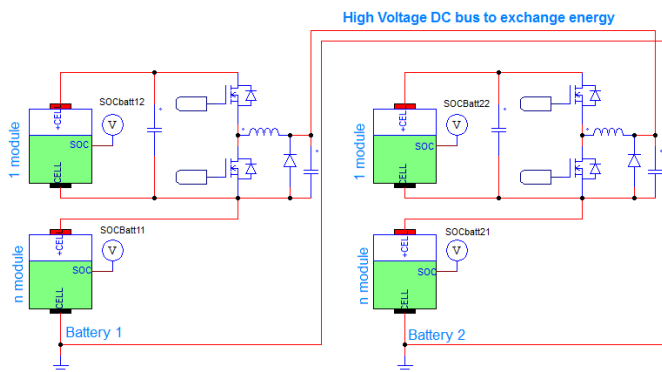


Fig. 5 Schéma électrique de deux batteries connectées avec la solution 2

Dans cette configuration, chaque batterie est divisée en deux parties. Une première partie composée de n modules en série (n = 11 dans notre cas) et une seconde partie composée de 1

module associé à un convertisseur. L'idée de ce design est de compenser seulement la différence de tension entre les batteries à connecter. Le convertisseur peut alors être dimensionné pour une puissance correspondant à un seul module : ratio 1/12 par rapport à la solution 1 dans notre cas.

4.3. Solution 3 : « basse puissance » - convertisseur isolé bidirectionnel

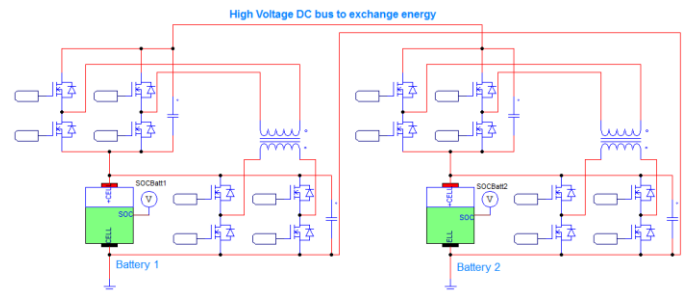


Fig. 6 Schéma électrique de deux batteries connectées avec la solution 3

Dans cette configuration, l'idée est la même que la solution 2, mais la différence de tension est compensée par un convertisseur isolé qui additionne une tension à celle de la batterie.

4.4. Solution 4 : régulateur linéaire

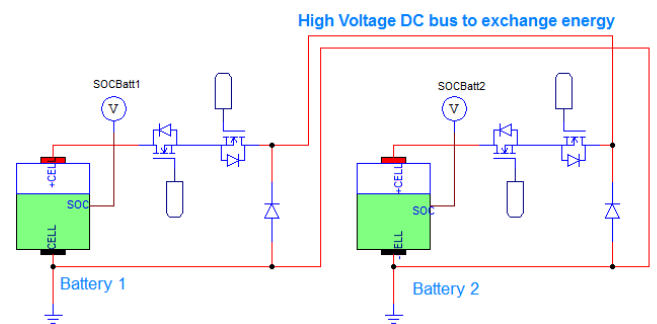


Fig. 7 Schéma électrique de deux batteries connectées avec la solution 4

Dans cette solution nous tirons parti du fait que la forme de la courbe de tension des accumulateurs LiFePO4 est relativement plate. L'article montrera s'il y a un intérêt ou non à utiliser un simple transistor fonctionnant en régime linéaire pour compenser la différence de tension.

4.5. Solution 5 : Convertisseur DC/DC unidirectionnel

Cette dernière solution consiste à « aligner » les états de charges des batteries les plus chargées sur la moins chargée en la rechargeant via des convertisseurs abaisseurs. Cette solution est identique d'un point de vue fonctionnel à la solution 4, mais elle utilise un convertisseur à découpage au lieu d'un interrupteur fonctionnant en linéaire.

5. CONCLUSIONS

Pour chacune des solutions l'article fera apparaître les avantages et les inconvénients en se basant sur des critères de volume, de coût, de masse et de sécurité système. Nous déterminerons quelle est la solution préférée pour notre cas d'usage précis lié au projet ESPRIT.

6. REFERENCES

- [1] L. Garnier, « Comparison between standard and innovative solutions to exchange energy in high energy storage systems », PCIM 2016
- [2] M. Desbois-Renaudin, D. Chatroux, S. Carcouet, "DC voltage source including electrochemical cells having an adaptive voltage level", Brevet n° WO2013072362