

Cahier de Réalisation

Système de protection et de gestion de batterie Li-ion

Par

Daigneault-St-Arnaud, Christian, DAIC30099006

Gagnon-Bourassa, Julien, GAGJ23108601

Cusson-Larocque, Olivier, CUSO09048905

ELE791 - Projets spéciaux

Deslandes, Dominic

27 août 2017

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

1 Introduction

Dans le cadre du cours ELE791, les étudiants réalisent un projet destiné à un club étudiant participant aux diverses compétitions d'ingénierie. Les auteurs ont fait la conception d'un système de protection et de gestion de batterie Li-Ion pour le véhicule solaire Éclipse.

Avant de réaliser ce projet, l'équipe a rédigé un cahier des charges, résumant les besoins du client, les objectifs du projet, les spécifications à atteindre, les ressources disponibles et l'échéancier. Par la suite, le cahier de conception faisait état des choix technologiques sélectionnés par les membres de l'équipe pour répondre aux différents besoins du projet. De plus, l'équipe s'est donnée comme objectif de faire un prototype fonctionnel aux termes du cours. Un cahier de réalisation est donc nécessaire et celui-ci a donc été rédigé durant la réalisation du projet.

Le contenu du cahier de réalisation inclut le rappel des objectifs et les étapes de réalisation du module esclave, du module maître et du module de lecture de courant. De plus, il est question des résultats obtenus en termes d'objectifs accomplis et d'un tableau comparant les performances et caractéristiques du BMS. Puis, l'équipe présente les améliorations futures à apporter au projet qui seront implantées par les prochains étudiants voulant continuer le système de protection et de gestion de batterie Li-Ion.

2 Rappel des objectifs

L'équipe s'est fixé des objectifs au début du projet qui étaient réalisables dans le cadre du cours d'ELE791. Les objectifs sont les suivants :

2.1 Protection des modules

La protection des modules inclut la détection de surtension, de sous-tension, de surintensité et de surchauffe. À la suite d'une détection d'erreur, les contacteurs doivent s'ouvrir dans un délai de moins de deux secondes et un témoin lumineux doit avertir l'utilisateur. Le système de protection et de gestion de batterie doit être redémarré par l'utilisateur, s'il n'y a plus d'erreur.

2.2 Balancement des modules

Comme les modules n'ont pas tous la même capacité, des débalancements peuvent survenir lorsque la batterie est presque pleine ou presque vide. Pour éliminer ces débalancements, il faut saigner (bleeder) les modules, c'est-à-dire décharger les modules déséquilibrés pour les amener au même niveau de charge.

2.3 Compatibilité avec le BMS Lithium Balance

Éclipse utilise présentement le BMS de Lithium Balance. Celui-ci est fonctionnel, mais il n'offre pas la possibilité de faire des modifications. Éventuellement, il sera remplacé par le projet actuel lorsqu'il sera jugé terminé. Par contre, si jamais un problème survient en compétition, les connexions doivent être les mêmes pour facilement remplacer le nouveau BMS par l'ancien. Ce faisant, le projet doit inclure les fonctionnalités offertes par le BMS de Lithium Balance.

2.4 Facilitation des manipulations lors des vérifications techniques

Une des raisons de fabriquer le système de protection et de gestion de batterie est de faciliter les manipulations durant la vérification technique des compétitions du club Éclipse. Avec le BMS actuel, les manipulations sont assez difficiles à effectuer. Il faut donc, avec le moins de manipulations possible, aisément passer les tests de la vérification technique du BMS.

3 Étapes de réalisation

Cette partie résume les différentes étapes durant la réalisation du système de protection et de gestion de batterie. La partie matérielle et la partie logicielle sont séparées en deux sections distinctes. De plus, chaque module sera traité individuellement pour faciliter la compréhension même si les trois modules ont été réalisés de façon simultanée.

3.1 Module esclave

3.1.1 Partie matérielle

Tout d'abord, un prototype du circuit de lecture de tension des modules esclaves avait été fabriqué pour valider ce concept avant la réalisation. Le circuit complet a ensuite été schématisé puis la carte électronique (PCB) a été réalisée. Après avoir soudé toutes les composantes, des tests préliminaires ont été effectués pour s'assurer que le circuit électrique était fonctionnel.

Par la suite, les circuits de lecture de tension ont été calibrés à l'aide d'un multimètre. Deux des modules de lectures de tension n'affichaient pas les bonnes données. Un déverminage a permis de trouver un fusible ouvert ainsi qu'une patte d'un des circuits intégrés de tension de référence mal soudée.

Presque aucune correction n'a été nécessaire pour ce module. Cependant, un son audible peut être entendu du convertisseur courant continu à courant continu sur certaines plages de tension. Ce problème n'impacte en aucun cas la réussite de ce projet. De plus, les modules de lecture de tension ne sont pas identifiés sur la carte, il faudra donc apposer des collants sur la carte pour les identifier. Il manque également l'identification de la carte, qui sera ajoutée dans la prochaine version du module.

3.1.2 Partie logicielle

Le logiciel du module esclave a été le premier développé étant donné qu'il est le plus complexe. Le développement a commencé sur une carte STM32 Nucleo pour ensuite se continuer sur le matériel conçu par l'équipe une fois fabriqué.

La première étape a été de créer le projet basé sur la plate-forme logicielle utilisée par le club étudiant Éclipse. Par la suite, le développement des pilotes de périphérique internes et externes a été réalisé, suivi du code qui gère la communication CAN. Pour terminer, le code applicatif a été réalisé et la calibration effectuée.

Les pilotes ont été testés manuellement à l'aide d'instruments tels qu'une source d'alimentation, un analyseur logique ainsi qu'un oscilloscope. La communication CAN a été testée à l'aide d'un CANalyzer, qui est un instrument qui se connecte au bus CAN et qui peut voir et décoder les messages qui y circulent. Le code applicatif a aussi été testé manuellement.

Toutes les fonctions relatives à la protection de la batterie ont été implémentées ainsi que les fonctions de communication reliées à celles-ci.

3.2 Module maître

3.2.1 Partie matérielle

À la réception de la carte électronique, toutes les composantes ont été soudées par section, testant chaque section pour y déceler des erreurs probables. De cette façon, il a été découvert qu'une des masses communes n'était pas reliée électriquement avec le reste du circuit. Il a été déterminé que cette erreur venait d'un problème du logiciel utilisé pour la schématisation du circuit. Un petit correctif sur la carte a permis de régler ce problème.

De plus, la partie de lecture de tension à haute tension n'était pas fonctionnelle. Effectivement, l'entrée positive et négative sur l'amplificateur opérationnel ont été inversées lors de la schématisation. Cette partie amplifiait le signal de tension de 2 V à 3.3 V. Cette tension est ensuite lue par le microcontrôleur. Le correctif a été de contourner l'amplificateur opérationnel et de changer le seuil de 3.3 V à 2 V. Comme la lecture de ces tensions n'est pas critique, une tension de 2 V est acceptable. Un correctif permanent sera apporté à la deuxième version du module maître.

3.2.2 Partie logicielle

La programmation du module a débuté avant la réception de la carte électronique. Grâce à la carte de développement STM32 Nucleo, toutes les fonctions du module maître ont pu être testées sur une platine de prototypage. Donc, toutes les fonctions logicielles de la carte sont implémentées. Par contre, le code applicatif n'est qu'à son strict minimum pour atteindre les objectifs du cours d'ELE791. Plusieurs fonctionnalités ne seront qu'utilisées plus tard dans le développement du BMS.

3.3 Module lecture de courant

3.3.1 Partie matérielle

Ce module a été le dernier à être assemblé. Comme les fonctionnalités avaient déjà été testées au préalable, il n'y a pas eu de problème majeur. Le seul fait à noter est que le convertisseur courant continu à courant continu chauffe légèrement. Cela est peut-être dû à la fréquence de fonctionnement, mais cela ne semble pas affecter le circuit. Un autre convertisseur a été acheté, pouvant accepter de plus hautes fréquences, si jamais celui-ci venait à faillir.

Une fois les composantes soudées sur la carte électronique, une source d'alimentation avec un diviseur de tension a permis de valider que la lecture de courant fût exacte et fonctionnelle. Le courant positif était très précis, cependant, le courant négatif affichait des valeurs erratiques. Avec l'aide d'un oscilloscope, il a été déterminé que c'était le potentiomètre, utilisé comme diviseur de tension, qui avait des défauts mécaniques. Un nouveau potentiomètre a donc réglé ce problème.

3.3.2 Partie logicielle

La façon de procéder pour le logiciel du module de lecture de courant a été de se baser sur le projet du module esclave et d'y faire des changements mineurs. Par exemple, l'ADC externe est

presque le même que celui du module esclave, donc seulement une ligne de code a dû être changée pour cette partie.

3.4 Test final

Une fois toutes les fonctionnalités validées, les trois modules ont été reliés par le réseau CAN, afin qu'ils puissent se communiquer entre eux. L'équipe a pu valider que la détection d'une faute ouvre les contacteurs et qu'ils restent ouverts tant qu'il y a une erreur. Les trois modules ont ensuite été disposés sur un chariot pour faciliter le déplacement du BMS et pour en faire la démonstration lors de la présentation du projet.

4 Résultats

4.1 Retour sur les objectifs

4.1.1 Protection des modules

Toutes les protections décrites dans le cahier des charges et le cahier de conception ont été implémentées et validées. La précision des différentes mesures répond aux spécifications de la compétition sans même être filtrée numériquement.

4.1.2 Balancement des modules

L'algorithme et le régulateur pour balancer les modules ont été simulés, mais il est impossible pour le moment de les tester. Étant donné que le BMS n'a pas encore passé une batterie de tests exhaustifs, l'équipe a jugé que ce n'était pas sécuritaire d'utiliser un module pour tester la fonctionnalité. Un circuit qui émule le comportement d'une cellule lithium-ion est en cours de fabrication et sera utilisé ultérieurement.

4.1.3 Compatibilité avec le BMS Lithium Balance

La carte maître possède le même connecteur que celui utilisé par Lithium Balance avec tous les mêmes périphériques. Les fonctionnalités qui ne sont pas utilisées dans Éclipse 9 n'ont pas été programmées.

4.1.4 Réduction des manipulations lors des vérifications techniques

Le nombre de manipulations a été réduit en utilisant des mesures différentielles isolées pour les lectures de modules et en utilisant un connecteur par module. Les thermistances peuvent être facilement remplacées pour la vérification technique. La même stratégie a été utilisée pour la lecture de courant. En ayant une carte séparée et le même connecteur que pour les autres mesures, il est possible de passer de la résistance de lecture à la composante de test en une manipulation. Les manipulations sont maintenant plus sécuritaires et moins restrictives dans le cas des vérifications pour la surtension et la sous-tension. Ces dernières peuvent maintenant être effectuées sur n'importe quelle cellule contrairement au dernier BMS qui demandait que ce soit testé sur les modules aux deux extrémités.

4.2 Tableau des résultats

Fonctionnalité	Paramètre	Spécification ciblée	Résultat obtenu	Unité
Lecture de tension des modules	Tension d'entrée	2 à 5	2 à 4.8	V
	Résolution	10	3	mV
Lecture de courant	Courant	-22 +130	± 136	A
	Résolution	± 2	± 0.6	%
Lecture de température	Région d'opération	-10 à 85	-40 à 125	°C
	Résolution	± 2	± 0.2	%
Faciliter les manipulations	Manipulation	12	6	
Détection d'une faute	Délai	200	100	ms
Sécuriser la batterie	Délai	200	100	ms
	Tension	0	0	V
	Courant	0	0	A
Précharge	Temps	10	Théorique : 5.5	s

4.3 Premiers prototypes

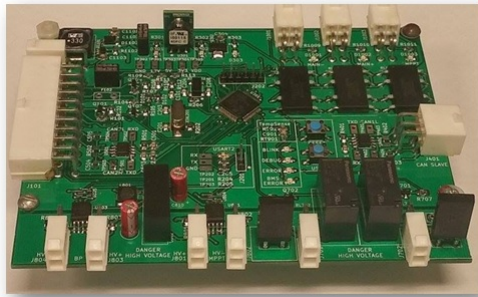


FIGURE 1 – Module maître

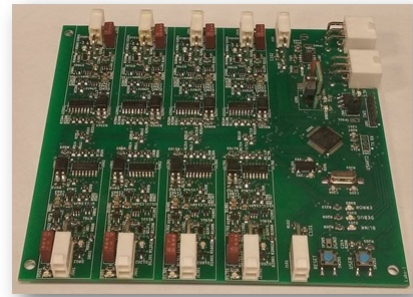


FIGURE 2 – Module esclave

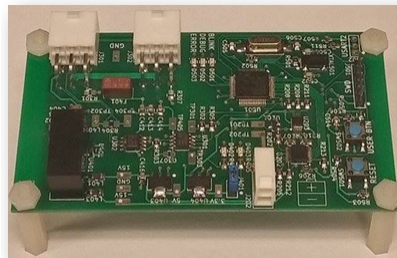


FIGURE 3 – Carte de lecture de courant

5 Améliorations futures

L'équipe s'est fixé des objectifs qu'elle jugeait atteignables dans le cadre du cours d'ELE791. Cependant, le projet de protection et de gestion de batterie Li-Ion est loin d'être terminé. Le projet est au stade de prototype puisque plusieurs fonctions n'ont pas encore été implémentées. Les auteurs, conscients que le projet sera repris par d'autres étudiants, tenaient à dresser la liste des éléments qui restent à être implémentés.

5.1 Filtre de détection

Bien que la détection de fautes est fonctionnelle pour la protection des modules de la batterie, elle est trop sensible. Une pointe momentanée de tension ou de courant peut rendre le système en erreur, stoppant du même coup le véhicule solaire. Lorsque la batterie est chargée ou lorsque la demande en énergie est élevée, des pointes de tension peuvent survenir. Pour éviter qu'une erreur non désirée survienne, il faut implémenter un filtre logiciel qui acceptera un délai d'une seconde avant de faire tomber le BMS en faute. Si le système retrouve son état normal durant ce délai, l'erreur n'ouvrira pas les contacteurs. Le délai d'une seconde est permis par la réglementation de la compétition.

5.2 Fonctions du module maître

Plusieurs fonctions du module maître sont fonctionnelles mais ne sont pas implémentées dans le code applicatif du projet.

La précharge est présentement désactivée dans le code applicatif. Pour qu'elle soit fonctionnelle, il faut pouvoir lire la tension du contacteur principal et du contacteur MPPT. On ferme ensuite les relais de précharge qui feront passer un petit courant pour remplir les condensateurs du système et qui fera baisser la différence de potentiel aux bornes des contacteurs. On enclenche ensuite les contacteurs une fois la précharge effectuée. Présentement, puisqu'aucune charge n'est présente, on ferme les trois contacteurs sans passer par la précharge.

Le module maître possède aussi des fonctions venant du BMS Lithium Balance. Ces fonctions sont toutes reliées avec le connecteur 22 broches, avec le même brochage que le BMS de Lithium Balance. Les circuits sont présents sur la carte électronique mais il ne sont pas pris en charge par le code applicatif. De plus, les trois circuits d'entrée/sortie à utilisation générale, qui serviront à contrôler des ventilateurs, sont à implémenter. Une communication série est aussi présente sur le connecteur 22 broches et pourra servir à programmer et déverminer le BMS à distance.

Certains correctifs doivent être apportés sur la carte électronique de la deuxième version du module maître. Par exemple, les neutres communs devront tous être reliés et les broches de l'amplificateur opérationnel de la partie de lecture de tension des contacteurs doivent être inversées. Également, il a été décidé que les fonctionnalités non utilisées venant du BMS de Lithium Balance seront éliminées. Donc, les deux convertisseurs numérique à analogique, le signal à largeur d'impulsion variable et l'entrée analogique, avec le convertisseur analogique à numérique ne seront pas présents dans la prochaine itération de la carte électronique du module maître.

5.3 Fonctions du module esclave

Présentement, les modules esclaves ont un numéro d'identification (ID) prédéfini lors de la programmation de ceux-ci. Un algorithme doit être développé pour que les modules esclaves se négocient un ID automatiquement au démarrage du BMS. Idéalement, les modules se souviendraient de leur dernier ID et essaieraient de d'avoir le même à chaque démarrage.

5.4 Interface graphique

Une interface graphique pour le module maître servira à configurer différents paramètres comme les caractéristiques de la batterie ainsi que les limites utilisées par les fonctions de protection. Ceci évitera de devoir reprogrammer les cartes à chaque fois qu'un changement doit être effectué.

Au moment de l'écriture de ce rapport, une démarche est en cours avec le chargé de cours en génie logiciel et T.I. Alain Dion pour faire développer l'interface par ses étudiants dans le cadre du cours LOG410.

5.5 Balancement des modules

Le balancement sert à égaliser la tension des modules lors de la recharge. Comme les modules n'ont pas tous exactement la même capacité réelle, certains atteignent leur tension maximale avant les autres. Le courant de charge devra donc être détourné pour ceux-ci, le temps que les modules plus faibles rattrapent leur écart.

5.6 Contrôle du système de refroidissement

Le boîtier de la batterie sera refroidi par trois ventilateurs contrôlés par le BMS.

5.7 Calcul de l'état de charge

Le calcul de l'état de charge sert à connaître la capacité restante de la batterie. Cette information est essentielle pour une bonne stratégie de course. Le matériel a été prévu pour implémenter cette fonctionnalité en utilisant, entre autres, la méthode du "coulomb counter".

5.8 Utilisation de limites dynamiques

Les limites dynamiques servent à limiter le courant d'entrée et de sortie dans la batterie selon son état de charge. Si la batterie est presque pleine et que le véhicule entre en mode régénération, on voudra limiter dynamiquement le courant pour ne pas que la tension de la batterie dépasse le seuil de sécurité. Le même principe s'applique en décharge lorsque la batterie est presque vide.

5.9 Surveillance de la batterie

Il serait intéressant d'avoir un système qui puisse continuer de surveiller la batterie lorsque celle-ci est hors du véhicule. Lors de l'utilisation normale de la batterie dans le véhicule, c'est un humain, grâce à la carte de télémétrie qui peut faire la surveillance. Le système à développer remplacerait en quelque sorte la télémétrie du véhicule et pourrait envoyer des notifications par courriel en cas de problèmes. Une plateforme BeagleBone Black ou Raspberry Pie pourrait être utilisée à cette fin.

6 Conclusion

L'équipe a beaucoup appris durant le projet spécial. Elle est également satisfaite des objectifs accomplis puisque toutes les cartes électroniques sont fonctionnelles. Le budget ainsi que l'échéancier ont été respectés, même avec des contraintes très serrées. Il reste tout de même beaucoup de travail à accomplir pour que le système de protection et de gestion de batterie Li-Ion soit utilisé dans la voiture solaire. L'équipe et/ou d'autres membres du club Éclipse pourront mettre à terme ce projet.

Les auteurs espèrent que ce projet établira un standard dans la méthodologie et la réalisation des circuits électroniques faits par les membres du club étudiant. Il a été démontré avec le projet qu'il est possible d'atteindre les objectifs tout en prenant le temps de concevoir et de documenter les solutions aux différents problèmes techniques.

Il serait intéressant, au terme du projet, d'adapter le BMS pour d'autres types d'applications où un large bloc de batteries est utilisé, tel que dans le domaine des énergies renouvelables et de l'électrification des transports.