

Systèmes de supervision de batterie Li-Ion

Augmentation des performances, Amélioration de la sécurité.

Alors que les batteries au Lithium-Ion (Li-ion) promettent des améliorations spectaculaires dans le domaine des véhicules électriques et hybrides-électriques, il est désormais nécessaire de disposer d'une nouvelle génération de semi-conducteurs. Ces circuits doivent d'une part surveiller, mais aussi savoir gérer intelligemment les cellules Li-ion pour obtenir les performances promises des batteries. Par ailleurs, ces nouveaux circuits de supervision doivent également détecter de manière fiable, les éventuels défauts de la batterie. Cela implique aussi bien la supervision de chaque élément de batterie Li-ion, que la supervision du système lui même.

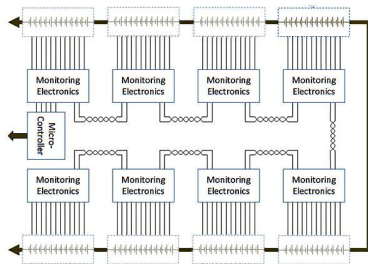


Figure 1

Ces différentes considérations sont désormais courantes dans l'industrie automobile, l'électronique y jouant un rôle sans cesse croissant. Les batteries Li-ion ont amené des préoccupations de sécurité entièrement nouvelles de part leur chimie et ont fait naître des systèmes à forte intensité et à grand nombre de cellules. Le système nécessite alors l'utilisation de multiples électroniques de supervisions pour mesurer en permanence l'état de chaque cellule. Afin de réaliser cette tâche, tous les dispositifs de supervision doivent communiquer entre eux avec une fiabilité absolue - un défi de taille dans un environnement tel que celui des véhicules, où l'on rencontre de forts niveaux d'interférence électromagnétique (EMI).

Les quatre critères les plus importants pour un système de supervision Li-ion performant, sont :

- **La précision** – Le système de supervision doit pouvoir déterminer l'état de charge de chaque cellule Li-ion avec une précision suffisante pour obtenir les meilleures performances du pack de batterie. Comment définir ce niveau de précision ? La réponse dépendra du type de cellules utilisées dans l'application finale.
- **Le diagnostic approfondi** – En plus de surveiller l'état de chaque cellule, le système doit constamment vérifier sa propre fonctionnalité à assurer la précision voulue sur chaque élément de batterie.
- **Une communication durcie** – Toutes les parties du système de supervision doivent coordonner leurs actions ; ils doivent donc communiquer de manière fiable - un défi pour la plupart des méthodes de communication classiques dans cet environnement bruyé.

- **La sécurité** – En gérant les cellules Li-ion de façon appropriée, le système supprime tout dysfonctionnement et problème de sécurité. Lorsque des erreurs se produisent, le système doit prendre les mesures appropriées, tout en évitant les éventuelles fausses alarmes.

Bien que les fournisseurs de semi-conducteurs savent concevoir des systèmes de gestion de batteries Li-ion depuis de nombreuses années, ce n'est que récemment qu'ont été mis au point des composants répondant aux exigences particulières des batteries automobiles. Cet article donne un aperçu des exigences de la nouvelle génération de superviseur Li-ion et leur rôle vital dans l'évolution des véhicules électriques et hybrides-électriques.

Comment éviter d'endommager le système de supervision

La figure 1 montre le schéma de base d'un ensemble de batteries Li-ion pour véhicule hybride. Dans cet exemple, le réseau de batteries se compose de huit packs de 12 cellules pour un total de 96 cellules Li-ion. Les cellules dans un pack sont connectées en série ; chaque cellule dans le pack est reliée à un système de supervision.

Un microcontrôleur pourrait être utilisé pour la gestion globale du système, mais ces packs de batteries constitués d'éléments en série peuvent avoir des tensions supérieures à 50V - trop élevées pour qu'un microcontrôleur puisse les gérer en direct. De plus, le système de batteries peut générer des tensions transitoires pouvant aller jusqu'à plusieurs fois la tension nominale du pack. Les circuits de supervision de cellules doivent donc résister à ces surtensions et fonctionner parfois dans des environnements sévères.

Le stress subi par l'électronique apparaît dès les premières mises en service du système, au moment où l'on connecte la batterie. Pour des questions de coût, le design des connecteurs utilisés n'est pas conçu pour assurer un séquençage des différents signaux et des alimentations lors du branchement ; le premier événement que le système de supervision subit, est donc un phénomène de connexion aléatoire. Dans ce cas, l'électronique peut facilement résister aux tensions générées par cette connexion « à chaud », mais les courants mis en jeu sont d'une tout autre conséquence.

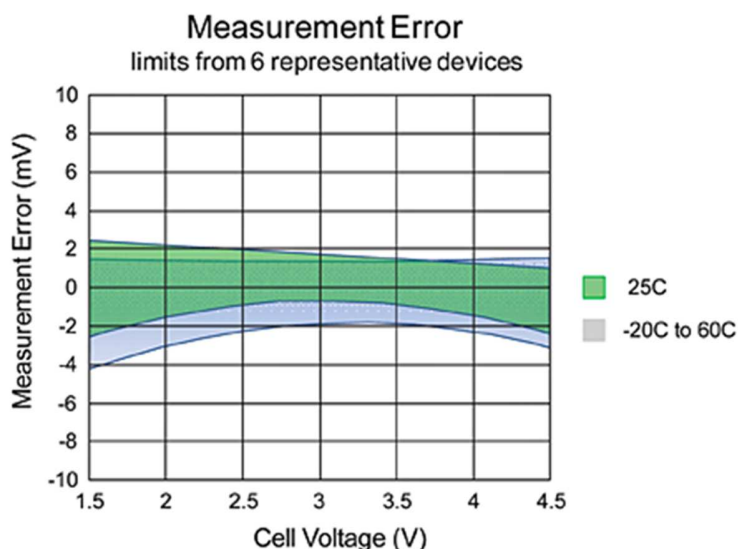


Figure 2

Afin de charger tout élément capacitif externe aux batteries, les courants dans un système non protégé peuvent monter à plusieurs ampères. Ces courants traversent inévitablement une partie

de l'électronique, notamment les protections mises en place contre les décharges électrostatiques (ESD) des circuits intégrés. Le résultat peut être une désintégration spectaculaire du circuit intégré. Dans la plupart des cas, le seul moyen de limiter ces courants serait de placer des résistances en série avec les bornes de la batterie.

Malheureusement, l'utilisation de ces résistances limite traditionnellement la précision des systèmes de supervision en raison du courant de fuite les traversant, créant ainsi de l'incertitude dans les mesures de tension. Pour assurer une plus grande précision, les courants de fuite doivent être conservés à de faibles niveaux et à des valeurs prévisibles – une tâche difficile à réaliser avec des circuits classiques utilisant des entrées à transistors bipolaires. La dernière génération de systèmes de supervision utilise, quant à elle, une nouvelle architecture à transfert de charges. Celle-ci permet d'obtenir des courants de fuite plus prévisibles et améliore donc considérablement la précision de mesure.

Jusqu'à quel niveau de précision ?

En fonctionnement, les systèmes de supervision doivent mesurer la tension de chaque cellule jusqu'à 100 fois par seconde. Le système de charge du véhicule peut alors déterminer pour chaque cellule le cycle précis de décharge (connaissant sa tension la plus élevée et sa courbe de décharge). Cette caractéristique connue, alliée aux mesures de température et de courant, il est ensuite possible de calculer le niveau de charge des batteries et par conséquent l'autonomie du véhicule.

La décharge d'une cellule dépend essentiellement de sa chimie. La chimie Li-ion a grandement progressée ces dernières années, offrant aujourd'hui des cellules à plus faible impédance et des durées de vie étendues. Mais ces améliorations ont également comme conséquence un aplanissement du gabarit de la courbe de décharge. Ce qui implique pour la dernière génération de systèmes de supervision, d'avoir une meilleure précision afin de mesurer de plus faibles variations dans la pente de décharge.

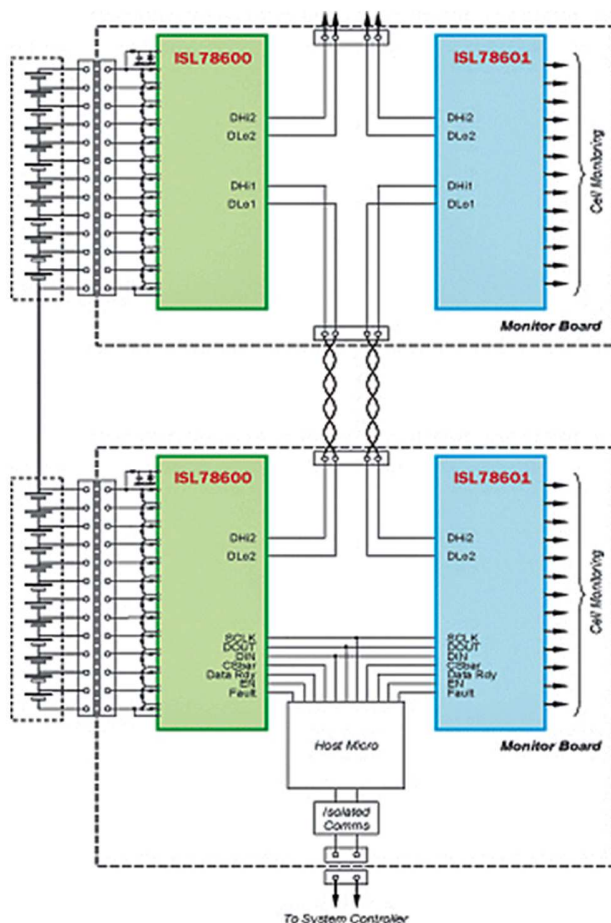


Figure 3

Cette courbe reflétant la charge restante d'une cellule, la précision de mesure a donc un impact direct sur l'exactitude des calculs. Prenons par exemple, une cellule au lithium de phosphate de fer (LiFePo), qui a comme caractéristique au milieu de sa courbe de décharge, une faible pente de l'ordre de un millivolt par pour cent de la charge totale. Dans la majorité des applications finales, une précision de mesure de ± 2 mV est acceptable pour ce type de chimie de batterie ; nous pouvons alors calculer la charge totale avec une précision de deux pour cent.

Par ailleurs, le déséquilibre entre chaque cellule complique encore la situation. Comme les cellules vieillissent, leur capacité diminue et certaines cellules peuvent se décharger plus vite que d'autres. Particulièrement lorsque des micros court-circuit peuvent apparaître (appelés « soft shorts », se traduisant par la variation de la résistance intrinsèque) pouvant provoquer une décharge à l'intérieur même d'une cellule et réduisant sa capacité au fil du temps. Utilisé dans un pack contenant un seul élément, une telle cellule serait rechargée de façon standard et ne montrerait pas de perte de capacité.

Dans un pack de plusieurs cellules, le déséquilibre conduit à une charge incomplète. Si une cellule dans le pack est à trente pour cent de sa capacité, tandis que les autres le sont à trente trois pour cent, lorsque l'on arrive en fin de cycle, cette première cellule n'aura pas effectuée sa charge complète. Au fil du temps et avec des charges répétées, cette disparité augmentera jusqu'à

ce que la capacité énergétique totale des batteries soit considérablement réduite. La plus faible des cellules dans le pack limite l'énergie globale disponible.

Pour obtenir la capacité maximum des batteries (et donc les performances annoncées du véhicule), il est nécessaire d'équilibrer les différents éléments, de sorte que toutes les cellules aient la même charge. L'équilibrage exige aux systèmes de supervision de communiquer les valeurs mesurées de chaque cellule à un microcontrôleur, qui à son tour exécute un algorithme de pondération pour déterminer la stratégie optimale d'équilibrage. Avant de charger les batteries, le microcontrôleur commande les systèmes de supervision afin d'interrompre les courants circulant dans les cellules les plus fortement chargées. Toutes les cellules peuvent alors être chargées à cent pour cent.

Diagnostic, communication, sûreté de fonctionnement

La construction même des cellules Li-ion d'aujourd'hui les rend beaucoup plus sûres que par le passé, mais il est toujours essentiel de les contrôler correctement et de détecter les éventuels défauts du système de batterie. Les systèmes de supervision doivent vérifier en continu les paramètres clefs des cellules, tels que les surtensions, les sous-tensions et les températures excessives. Ils doivent en outre surveiller l'intégrité du système, tels que les seuils d'alimentation et les ruptures de communication éventuelles concernant les informations de températures et de tensions mesurées.

Une détection d'erreur déclenche l'établissement d'une communication et active une alarme de type logique, en sortie du système de supervision. Ce dernier peut également être paramétré pour arrêter automatiquement le système d'une part, mais aussi de façon instantanée et sans intervention du microcontrôleur si des erreurs particulières se produisent. Une réponse spécifique à différents types de défauts peut être programmée ; les constructeurs automobiles peuvent ainsi paramétrer un comportement particulier à leur application, en fonction des différents marchés adressés à travers le monde.

Les systèmes de supervision doivent s'informer conjointement des détections d'erreurs (pour arrêter l'ensemble du système, si nécessaire) mais également envoyer ces informations vers un microcontrôleur. La communication devient alors un élément essentiel. Les interfaces de communications standards telles que le bus CAN ou SPI permettent des transmissions fiables avec le microcontrôleur, mais utiliser une telle interface pour relier tous les dispositifs de supervision ajouterait un surcoût inutile. Un isolateur, en plus d'une interface CAN, augmenterait également le coût de manière significative, alors qu'une interface spécialisée peut répondre au besoin de manière plus efficiente.

La solution la plus adaptée est une communication sur deux fils, pouvant être cascadée (daisy-chain), avec une transmission différentielle et étudiée afin d'être moins sensible aux transitoires subis par les traditionnelles interfaces du marché. Qu'arrive-t-il cependant, si un système de supervision développe lui-même une erreur ? La spécification ISO26262 vise à répondre à cette question en utilisant une analyse statistique, dans le but de réduire l'incidence de défauts résiduels (qui passent inaperçus) à un niveau acceptable.

Du point de vue de l'électronique de la batterie, la spécification exige de pouvoir détecter et signaler tout défaut pouvant compromettre le fonctionnement dans un environnement qui se doit d'être sûr et maîtrisé. Par exemple, les systèmes de supervision doivent veiller à ce que la mesure des tensions de cellules reste précise (dans les limites définies) mais aussi détecter les courts-circuits éventuels pouvant causer des dommages liés à une élévation de température excessive.

Les systèmes de supervision doivent donc pouvoir diagnostiquer leurs propres erreurs et prendre les mesures appropriées en cas de panne.

L'ISL78600 d'Intersil est le premier né d'une nouvelle génération de produits de supervision et d'équilibrage de cellules Li-ion qui satisfasse aux exigences des véhicules électriques et hybrides-électriques d'aujourd'hui. Avec une approche intégrée, doté d'un convertisseur analogique numérique 14-bit et d'une conception avancée de l'étage d'entrée, le dispositif fournit la précision voulue, répondant ainsi aux besoins de performances élevés et nécessaires aux dernières chimies de batteries Li-ion. Le composant intègre les systèmes de supervision et de diagnostic répondant aux contraintes de sécurité et adoptant un fonctionnement fiable tout en filtrant la remontée de fausses détections d'alarmes. Ces caractéristiques liées à l'aspect de sécurité permettent à l'ISL78600 de répondre, en tant que composant autonome, à un niveau C sur l'échelle de classement de l'ASIL (Automotive Safety Integrity Level).