

Augmenter la fiabilité, accroître la sécurité et allonger de 30 % la durée de vie des batteries utilisées dans le domaine de la santé avec des circuits intégrés à la pointe de l'innovation

Par Stefano Gallinaro, responsable du marketing stratégique des activités liées à l'énergie solaire, la charge des véhicules électriques et au stockage de l'énergie, Analog Devices

Synthèse

Les systèmes de supervision de batterie occupent une place fondamentale dans différents marchés et les batteries jouent un rôle clé dans un large éventail d'applications, de l'autonomie des véhicules électriques au stockage d'énergie renouvelable dans les réseaux intelligents. Des technologies similaires sont employées dans les appareils médicaux pour accroître le degré de sécurité opérationnelle, ainsi que pour faciliter leur utilisation aux quatre coins des hôpitaux. Toutes ces applications sont alimentées par des batteries qui nécessitent des circuits intégrés précis et efficaces pour surveiller, équilibrer, protéger et communiquer. Cet article explique comment un système de supervision de batterie de haute technologie doté d'une fonction d'équilibrage des éléments et de réseaux de communications isolés peut bénéficier des avantages inhérents aux nouvelles chimies de batteries à base de lithium. L'emploi de circuits intégrés innovants assure en effet une fiabilité accrue et une durée de vie allongée de 30 %, notamment pour les systèmes de stockage d'énergie (SSE) de grande capacité.

Les batteries utilisées dans le secteur médical doivent être conformes à des normes très exigeantes en termes de fiabilité, d'efficacité et de sécurité, sans distinction d'applications : appareils portables pour patients (systèmes de compression thoracique), équipements dans les services d'urgence des hôpitaux, chariots et lits médicaux motorisés, appareils à ultrasons portables et autres systèmes de télésurveillance, sans oublier les systèmes de stockage de l'énergie (SSE) qui ont récemment fait leur apparition sur le marché.

Ces systèmes de stockage d'énergie ne sont pas directement reliés aux patients ni utilisés par le corps médical. Ils marquent la prochaine avancée dans le domaine des alimentations sans interruption (ASI) traditionnellement employées comme source d'énergie de secours pour les applications hautement critiques, telles que les équipements installés dans les salles d'intervention d'urgence ou les réseaux informatiques. Les SSE utilisés dans les hôpitaux prennent en charge un éventail de fonctions de plus en plus large, et ce, grâce aux nouvelles batteries à base de lithium. Leur intégration à part entière au réseau électrique des hôpitaux apporte de multiples avantages :

- ▶ alimentation de secours complète couvrant des installations entières, et non plus un sous-ensemble limité d'installations critiques ; protection contre les pannes, la mauvaise qualité du réseau électrique et de la tension délivrée et réduction de l'utilisation de groupes électrogènes au diesel en cas d'urgence. En se dotant de systèmes de stockage d'énergie à l'échelle du mégawatt-heure (MWh), les hôpitaux restent opérationnels, même lors de pannes prolongées, et peuvent participer à la stabilisation du réseau ;
- ▶ avantages économiques au niveau de la facture d'électricité. Grâce à un ESS, les hôpitaux peuvent gérer directement les profils d'utilisation de l'électricité et réduire les pics de demande d'énergie, abaissant ainsi le montant de la note.

Par ailleurs, les hôpitaux disposent généralement d'une vaste surface en toiture pouvant accueillir des systèmes photovoltaïques (PV) pour produire de l'électricité. Combiné à un SSE, un système photovoltaïque permet de stocker et d'auto-utiliser l'électricité générée, tout en conjuguant des avantages économiques et une empreinte carbone réduite.



Figure 1. Éléments de batterie pour le stockage d'énergie

Les chimies à base de lithium incarnent aujourd'hui l'état de l'art pour les batteries utilisées dans divers secteurs d'activité, de l'automobile à l'industrie en passant par la santé. Les différents types de batteries à base de lithium présentent de multiples avantages qui permettent de répondre idéalement aux besoins de nombreuses applications et conceptions de produits. Ainsi, les batteries à base d'oxyde de cobalt-lithium (LiCoO_2) se distinguent par une énergie spécifique très élevée qui convient aux produits portables, tandis que l'oxyde de manganèse-lithium (LiMn_2O_4) avec sa très basse résistance interne permet une charge rapide et une décharge à fort courant, ce qui en fait un choix pertinent pour les applications de stockage d'énergie avec lissage des pointes du réseau (« *peak shaving* »). Pour sa part, le phosphate de fer lithié (LiFePO_4) est plus tolérant aux conditions de pleine charge et peut supporter des tensions élevées pendant une période étendue. Cette chimie s'impose à ce titre comme la meilleure option pour les systèmes de stockage d'énergie de grande capacité qui doivent fonctionner en cas de coupure de courant. Son taux d'autodécharge plus important est un inconvénient qui n'entre pas en ligne de compte dans le cas des applications de stockage mentionnées ci-dessus.

En raison d'exigences qui lui sont propres, chaque application utilisera un type de batterie particulier. Par exemple, les applications automobiles nécessitent une fiabilité à toute épreuve et une bonne vitesse de charge et décharge, tandis que les applications de santé requièrent une grande durabilité à des courants de pointe élevés pour assurer une efficacité et une durée de vie maximales. Toutefois, ces solutions partagent un point commun : les différentes chimies à base de lithium se caractérisent par une courbe de décharge plane dans la plage de tension nominale. Alors que les batteries standard affichent une chute de tension comprise entre 500 mV et 1 V, la courbe de décharge des batteries au lithium avancées de type LiFePO_4 ou LiCoO_2 se caractérise par un plateau, suivi d'une chute de tension comprise entre seulement 50 et 200 mV.

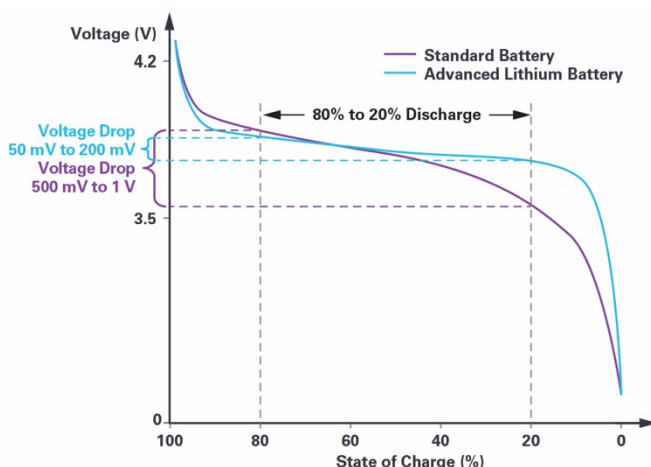


Figure 2. Profil de décharge des batteries standard et à base de lithium

La planéité de la courbe de tension offre des avantages exceptionnels dans la chaîne de gestion de l'énergie des circuits intégrés reliés au rail de tension de la batterie : les convertisseurs continu-continu peuvent être conçus pour fonctionner à un point de rendement maximum dans une plage de tension d'entrée réduite. En convertissant une tension d'entrée V_{IN} connue en une tension de sortie V_{OUT} très proche, la chaîne d'alimentation du système peut être conçue pour que le rapport cyclique des convertisseurs abaisseurs et élévateurs (*buck/boost*) atteigne idéalement une efficacité supérieure à 99 % dans toutes les conditions de fonctionnement. De plus, le chargeur de batterie peut parfaitement cibler la tension de charge, tandis que les charges sont dimensionnées en fonction d'une tension de fonctionnement stable en vue d'augmenter la précision des applications finales (télésurveillance ou implants électroniques). En ce qui concerne les chimies plus anciennes ou les courbes de décharge non planes, la conversion continu-continu exécutée à partir de la batterie aura un rendement moins élevé, ce qui raccourcit la durée de vie de la batterie (-20 %) ou, en cas d'utilisation avec des appareils médicaux portables, exigera de les charger plus souvent compte tenu de la dissipation de puissance supplémentaire.

Principal inconvénient d'une courbe de décharge plane, il est nettement beaucoup plus difficile de déterminer l'état de charge (*State Of Charge* — SoC) et l'état de santé (*State of Health* — SoH) d'une batterie. L'état de charge doit être calculé avec une très grande précision afin de garantir que la batterie est correctement chargée et déchargée. Toute surcharge peut entraîner des problèmes de sécurité, des dégradations chimiques et des courts-circuits susceptibles de provoquer incendies et fuites de gaz. Une surcharge peut en outre endommager la batterie et réduire sa durée de vie de plus de 50 %. Le SoH fournit des informations concernant l'état de santé général, ce qui évite de remplacer des batteries en bon état et permet de surveiller celles qui donnent des signes de faiblesse avant qu'un problème n'apparaisse. Le microcontrôleur principal analyse les données SoC et SoH en temps réel, adapte les algorithmes de charge, informe l'utilisateur à propos du potentiel de la batterie (indiquant par exemple que la batterie est prête pour une décharge profonde en fort courant en cas de coupure) et, dans le cas des systèmes de stockage d'énergie de grande capacité, vérifie l'équilibre entre les batteries en bon et mauvais état afin d'augmenter la durée de vie globale de l'ensemble du système.

Imaginons une batterie d'ancienne génération dont la courbe de décharge est raide : il est plus facile de calculer son état de charge en mesurant le delta de chute de tension dans un bref laps de temps et en connaissant la valeur absolue de sa tension. Dans le cas d'une batterie moderne à base de lithium, la précision requise pour effectuer cette mesure est nettement plus élevée, étant donné que la chute de tension est plus faible au cours d'une période donnée.

Pour le SoH, les vieilles batteries se déchargent plus rapidement et avec une plus grande prévisibilité : leur courbe de décharge devient encore plus raide et la tension de charge cible ne peut être atteinte. Les nouvelles batteries à base de lithium affichent le même comportement plus longtemps, mais à terme, elles peuvent se dégrader avec un comportement plus exceptionnel, leurs courbes d'impédance et de décharge changeant rapidement à proximité de leur fin de leur vie, ou en cas d'endommagement. Il est en outre important de relever la température avec précision, idéalement au niveau de chaque élément, afin d'intégrer ces données dans les algorithmes SoC et SoH pour en maximaliser la précision.

Dans le meilleur des cas, la précision et la fiabilité des calculs SoC et SoH permettront d'allonger la durée de vie des batteries de 10 à 20 ans, assurant généralement une amélioration de 30 % de la durée de vie, ce qui réduit le coût total de possession du système de stockage d'énergie de plus de 30 % après intégration des coûts de maintenance. Cet avantage, auquel il convient d'ajouter la haute précision des informations SoC, évite les états de surcharge ou de décharge excessive qui peuvent rapidement drainer une batterie, minimise les risques de court-circuit, d'incendie et autres situations dangereuses, et permet d'utiliser intégralement l'énergie d'une batterie ainsi que de la recharger avec une efficacité optimale.

Le système de gestion de batterie (BMS) [LTC6813](#) proposé dans cet article peut être utilisé dans des équipements de santé tels que des appareils à ultrasons portables ou les systèmes de stockage d'énergie à l'échelle du MWh (hôpitaux et usines, stabilisation du réseau, infrastructure de charge pour véhicules électriques et unités résidentielles), mais également dans les véhicules et les robots industriels. La portabilité de la technologie d'ADI apporte des avantages significatifs en termes de fiabilité et de sécurité, car elle est conçue pour fonctionner dans des environnements

différents et extrêmement exigeants ; en outre, cette technologie est conforme à plusieurs normes de sécurité fonctionnelle, telles qu'ASIL dans le secteur automobile ou SIL dans l'industrie (par exemple, VDE AR 2510-2/-50, CEI EN 61508, etc.).

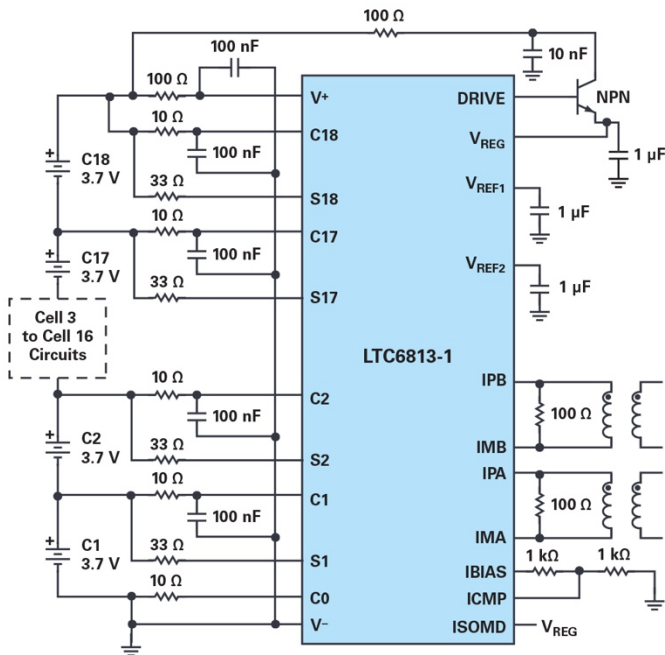


Figure 3. Synoptique du LTC6813.

Pour disposer du système de supervision de batterie le plus efficace et le plus fiable possible, une nouvelle solution unique consiste à associer un circuit intégré de supervision et d'équilibrage de 18 éléments et un microcontrôleur relié à une interface de communications esclave isolée SPI. Un moniteur de batterie multiéléments mesure jusqu'à 18 éléments montés en série avec une erreur de mesure totale inférieure à 2,2 mV. Comprise entre 0 et 5 V, la plage de mesure des éléments permet d'utiliser ce circuit avec la plupart des chimies de batterie. Les 18 éléments peuvent être mesurés en 290 μ s, des vitesses d'acquisition de données inférieures pouvant être sélectionnées afin de réduire le niveau de bruit. Il est en outre possible de connecter plusieurs circuits de supervision en série pour contrôler simultanément les éléments de longues chaînes de batteries en tensions élevées. Chaque moniteur dispose d'une interface *isoSPI*[™] qui gère des communications à haut débit immunisées contre les interférences RF sur de longues distances. Plusieurs unités sont montées en chaîne avec une unique connexion à un processeur hôte pour l'ensemble des circuits. Cette chaîne peut être exploitée de manière bidirectionnelle, ce qui préserve l'intégrité des communications, même en cas de panne sur le chemin de communications. Il est possible d'alimenter directement le circuit intégré à partir de la batterie ou d'une alimentation isolée. Le circuit intégré comprend un équilibreur passif pour chaque élément, le rapport cyclique PWM étant contrôlé individuellement. Parmi les autres caractéristiques figurent un régulateur 5 V embarqué, neuf lignes d'E/S polyvalentes et un mode veille où la consommation de courant est réduite à 6 μ A.

En raison de ses exigences de précision à court et long termes, le système de gestion de batterie BMS utilise une référence de conversion Zener enterrée en lieu et place d'une référence à bande interdite (*band gap*). Cette approche assure une référence de tension primaire stable qui conjugue une faible dérive (20 ppm/ $\sqrt{kHr}$), un faible coefficient de température (3 ppm/°C), une hystérésis réduite (20 ppm), ainsi qu'une excellente stabilité à long terme. De tels niveaux de précision et de stabilité sont essentiels, car ils constituent la base de toutes les mesures ultérieures des éléments de batterie et ces erreurs ont un impact cumulatif sur la crédibilité des données acquises, la cohérence des algorithmes et les performances globales du système.

Une référence de haute précision est nécessaire pour garantir des performances élevées, mais ce n'est pas suffisant. L'architecture du convertisseur analogique-numérique et son fonctionnement doivent répondre aux spécifications des environnements électriquement bruyants, qui résultent des transitoires PWM (modulation de largeur d'impulsion) de l'onduleur forte tension/fort courant utilisé.

L'évaluation précise de l'état de charge (SoC) et de l'état général (SoH) des batteries implique également la corrélation des mesures de tension, de courant et de température.

Pour atténuer le bruit système avant qu'il n'affecte les performances du système BMS, le convertisseur de supervision BMS utilise une topologie sigma-delta $\Sigma\Delta$ complétée par six options de filtrage sélectionnables par l'utilisateur en fonction du niveau de bruit de l'environnement concerné. L'approche $\Sigma\Delta$ réduit l'impact des interférences électromagnétiques (EMI) et autres bruits transitoires grâce à l'utilisation de nombreux échantillons par conversion, avec une fonction de filtrage et moyennage.

L'équilibrage des éléments est inévitable dans tout système utilisant d'importants blocs d'accumulateurs disposés en groupes d'éléments ou modules — par exemple, les unités de stockage d'énergie de grande capacité chargées d'alimenter les microréseaux ou les sous-réseaux des établissements hospitaliers. Bien qu'elles soient correctement configurées au moment de leur acquisition, la plupart des batteries à base de lithium voient leur capacité diminuer au fil des années. Le processus de vieillissement peut différer d'un élément à l'autre en fonction de divers facteurs, tels que les gradients de température du pack d'accumulateurs. En exacerbant le processus dans son ensemble, un élément amené à fonctionner au-delà de ses limites de charge vieillira prématurément et perdra de sa capacité supplémentaire. Ces différences de capacité, alliées à des différences minimales en matière de courant d'autodécharge et de charge, provoquent un déséquilibre entre les différents éléments.

Pour remédier à ce déséquilibre, le circuit intégré de supervision des accumulateurs gère directement l'équilibrage passif à l'aide d'une horloge réglable par l'utilisateur. Cette méthode simple et peu onéreuse permet de normaliser l'état de charge de la totalité des éléments pendant le cycle de charge de la batterie. En éliminant la charge des éléments de faible capacité, l'équilibrage passif garantit qu'ils ne seront pas chargés de façon excessive. Le circuit peut également être utilisé pour contrôler l'équilibrage actif, une technique plus complexe utilisée pour transférer la charge entre éléments au cours du cycle de charge ou décharge.

Qu'il soit actif ou passif, l'équilibrage des éléments exige un très haut niveau de précision de mesure. Lorsque l'erreur de mesure augmente, la marge de garde opérationnelle établie par le système doit également augmenter, limitant l'efficacité de l'équilibrage. En outre, dans la mesure où la plage SoC est restreinte, la sensibilité à ces erreurs gagne en importance. Une erreur de mesure totale inférieure à 1,2 mV est pleinement conforme aux exigences des systèmes de supervision de batterie.

Dans les systèmes de stockage d'énergie, une boucle de communications est indispensable pour connecter les différents éléments. Cette boucle transmet les données entre la batterie du système et un algorithme de gestion de l'énergie accessible sur le cloud, qui suit les événements de charge et de décharge dans le but de déterminer la meilleure façon de maximiser l'utilisation de la batterie ou de veiller à ce que la batterie de capacité supérieure demeure entièrement chargée en cas de panne de courant.

Les familles LTC681x et LTC680x d'ADI représentent l'état de l'art sur le marché des circuits de supervision de batterie. La version à 18 éléments porte la référence LTC6813.

Le circuit de supervision doit communiquer avec l'unité maître qui comprend un microcontrôleur ou un processeur chargé de calculer les valeurs SoC et SoH, ainsi que de réguler les profils de charge et de décharge. Différentes formes d'interconnexion sont possibles, la communication isolée étant utilisée de préférence pour les applications avec des tensions élevées, telles que les systèmes de stockage d'énergie (400 à 1 500 V) ou les appareils portables alimentés par une batterie de grande capacité (40 à 200 V).

Associée à un circuit d'interface *isoSPI* [LTC6820](#), la fonction *isoSPI* du circuit de supervision LTC6813 permet de transférer les informations de manière fiable et sûre à travers une barrière d'isolation haute tension. L'interface *isoSPI* est particulièrement utile dans les systèmes de stockage d'énergie qui produisent des centaines de volts par l'intermédiaire d'éléments connectés en série nécessitant une isolation diélectrique complète pour minimiser les risques auxquels sont exposés les utilisateurs.

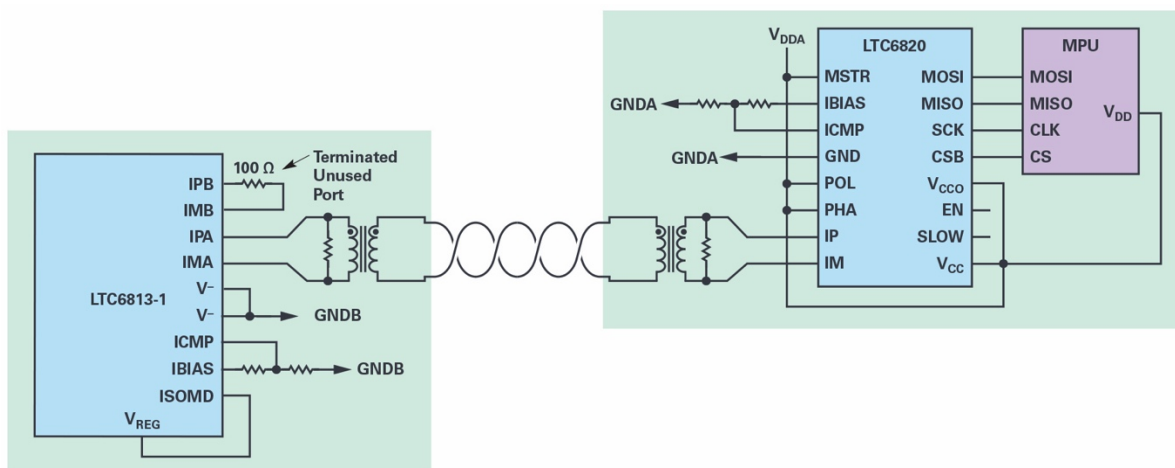


Figure 4. Connexion isolée entre un circuit LTC6813 et un circuit d'interface LTC6820.

Dans les systèmes de stockage comptant plus de 18 éléments, plusieurs cartes BMS LTC6813 doivent être interfacées. Plusieurs cartes identiques contenant chacune un LTC6813 sont configurées pour fonctionner en chaîne. Le microprocesseur est situé sur un circuit imprimé distinct. Pour obtenir une isolation bidirectionnelle (sur une liaison deux fils) entre le circuit imprimé du microprocesseur et la première carte LTC6813, on utilisera le circuit LTC6820. Lorsqu'un seul [LTC6813-1](#) est nécessaire, il peut être utilisé de façon autonome (non relié en chaîne), si le deuxième port *isoSPI* (port B) est correctement polarisé et connecté.

Le principal défi de conception de circuits de supervision intégrant des fonctions d'équilibrage et de communications réside dans la création d'un circuit imprimé non bruité, avec les pistes des signaux critiques éloignés des sources de bruit — alimentations à découpage, par exemple — pour envoyer des signaux propres au circuit de supervision. Avec les solutions proposées par ADI, le haut niveau de précision du circuit de supervision permet d'optimiser des designs déjà performants. Les batteries pourront alors être utilisées avec efficacité en bénéficiant d'une durée de vie prolongée de 30 % et d'un fonctionnement plus sûr.

Pour aider ses clients à concevoir leurs produits, ADI propose un ensemble complet de systèmes et de plateformes d'évaluation des circuits de supervision de batterie, ainsi qu'un choix complet de variantes permettant de répondre aux exigences de chaque application.