Chargeurs solaires pour batteries lithium-ion

Par Karthik Kadirvel, Umar Lyles et John Carpenter, Texas Instruments

Ces dernières années, nous avons constaté une nette croissance du nombre de petits appareils à batterie, tels que les tablettes, les consoles de jeux vidéo portables, les lecteurs vidéo autonomes, les cadres photo numériques, etc. Généralement, ces appareils tirent leur puissance de batteries lithium-ion (Li-Ion) rechargeables. Parmi les solutions de charge classiques, on trouve des chargeurs à adaptateur secteur et USB (Universal Serial Bus). Bien que ces chargeurs représentent une solution à bas coût pour la recharge de batteries Li-Ion, ils souffrent d'un inconvénient courant, puisqu'ils dépendent d'une alimentation secteur pour fonctionner. Cette dépendance à une alimentation secteur suppose une augmentation de la facture d'électricité ainsi qu'une hausse des émissions de gaz à effet de serre. De plus, ces chargeurs ne sont pas portables, puisqu'ils dépendent d'une alimentation secteur. Pour prolonger la durée de vie d'une batterie de manière plus écologique, des chargeurs pouvant recueillir l'énergie de la lumière ambiante à l'aide de panneaux solaires seraient idéaux. Les chargeurs solaires présentent aussi l'avantage de fournir une solution de recharge mobile.

Dans cet article, nous décrivons quelques réflexions singulières relatives au développement d'une solution de recharge solaire. La principale motivation pour ces observations vient du fait que les panneaux solaires se comportent comme une alimentation électrique à haute impédance de sortie avec une tension variable au cours du temps et un courant électrique dépendant des conditions ambiantes. Cela entre en contraste avec l'adaptateur secteur ou une alimentation USB, qui constituent des alimentations électriques à basse impédance de sortie, avec une tension de sortie et un courant prédéterminés. Parmi les réflexions clés que nous avons formulées vis-à-vis des solutions de charge solaire, on trouve la recherche du point de puissance maximale (MPPT), la protection contre les fuites inverses, des techniques de fin de charge et la prévention de l'effondrement du panneau solaire.

Recherche du point de puissance maximale

Le point de puissance maximale (MPP) est la fenêtre de fonctionnement d'une cellule solaire à partir de laquelle la puissance maximale peut être extraite [1]. Cette fenêtre est définie par le schéma sur la **Figure 1**, qui montre le courant de sortie typique et compare la puissance de sortie à la courbe de tension du panneau pour un panneau solaire à deux cellules, ainsi que le MPP. Le MPP sur la courbe est considérable, car il s'agit là de la tension et du courant correspondant à la puissance de sortie maximale du panneau solaire. Le MPP est fonction de la température et de la lumière ambiantes et il varie donc en fonction du temps. Cela suppose que les chargeurs dépendant de l'énergie solaire doivent disposer de circuits adaptés pour trouver le MPP lorsque les conditions ambiantes changent. Les systèmes MPPT vont des simples techniques de boucle ouverte, où la tension du panneau est maintenue à une fraction fixe de la tension du circuit ouvert, à des techniques complexes sur base de microcontrôleurs, pour lesquelles les puissances d'entrée et de sortie sont mesurées et la tension du panneau est ajustée en conséquence.

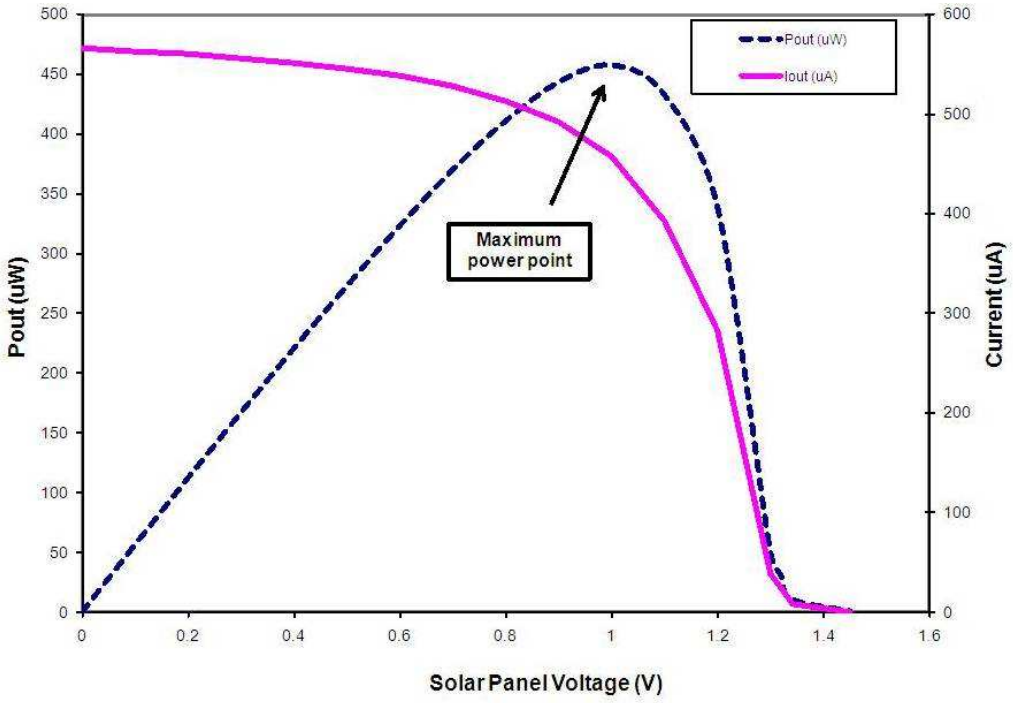

Figure 1. Schéma du courant de sortie et de la puissance de sortie comme fonction de la tension pour un panneau solaire à deux cellules

Le choix d'un système MPPT pour des solutions de charge est un compromis entre coûts et efficacité et est très spécifique à l'application.

Protection contre les fuites inverses

Les fuites inverses sont un phénomène lors duquel l'énergie stockée dans la batterie est perdue face à la source d'alimentation [2]. Les fuites inverses ont lieu lorsque la tension de la batterie est supérieure à celle de l'alimentation. Lorsque cela arrive, l'alimentation devient un poids de charge sur la batterie, au lieu de la recharger. Cette situation ne survient pas lors de l'utilisation d'un adaptateur secteur ou d'une alimentation USB, car la tension de sortie de ces deux sources est toujours assurée d'être supérieure à la tension de la batterie Li-Ion. Dans le cas d'un panneau solaire, la tension parcourant le panneau peut passer sous la tension de la batterie lorsque le panneau ne capte pas assez de lumière. La **Figure 2a** présente un schéma du chargeur à alimentation USB branché à la batterie. Lorsque l'interrupteur S1 est éteint, l'alimentation est déconnectée de la batterie et celle-ci ne délivre pas de courant. Dans le cas d'un panneau solaire, si la même disposition est adoptée, la diode de corps de l'interrupteur peut s'allumer si la tension du panneau solaire passe sous la tension de la batterie. Une méthode courante pour résoudre ce problème réside dans l'utilisation d'interrupteurs en série et en opposition, comme le montre la **Figure 2b**.

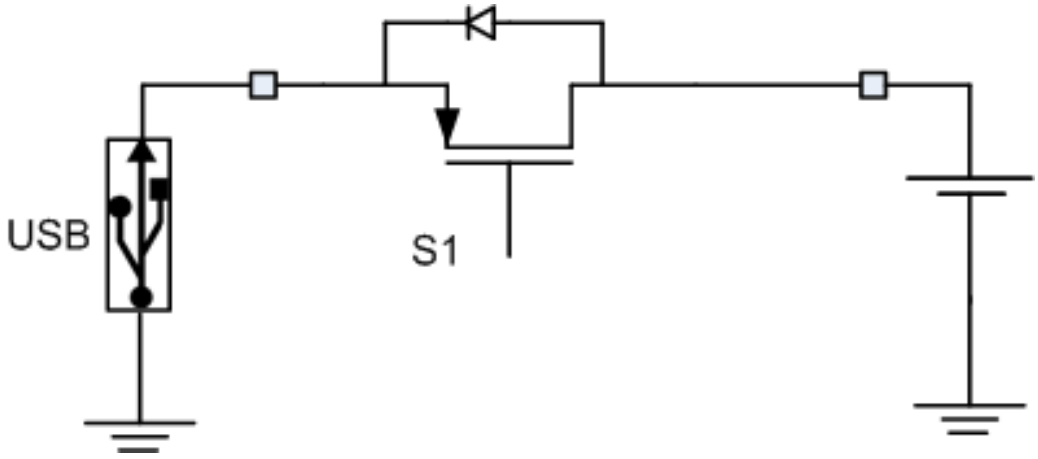

Figure 2a. Schéma du chargeur à alimentation USB montrant l'interrupteur d'alimentation

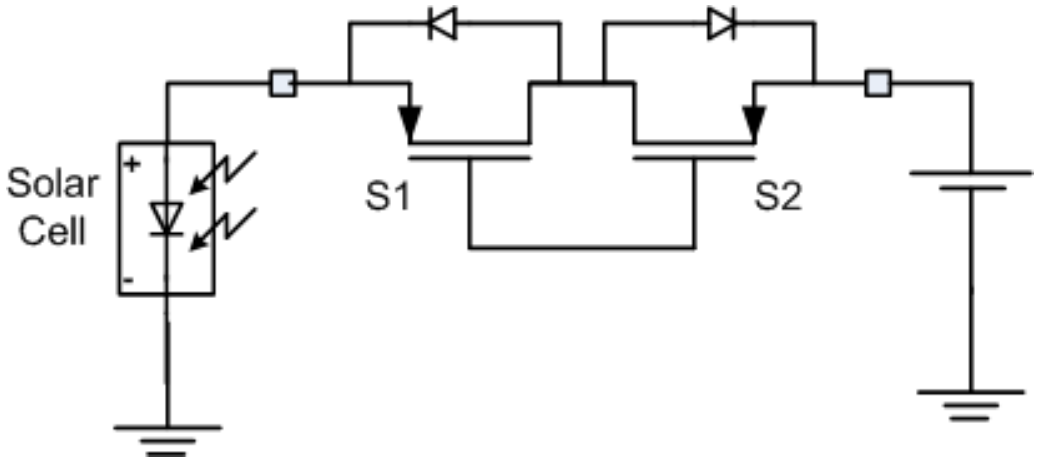

Figure 2b. Schéma du chargeur sur panneau solaire montrant les interrupteurs d'alimentation en série et en opposition

Fin de charge

La charge de batteries Li-Ion nécessite un contrôle précis du courant et de la tension appliqués à la batterie, pour garantir une charge de la batterie au maximum de sa capacité, afin d'empêcher la baisse de sa durée de vie et pour éviter les risques lors de la charge [3]. La procédure classique de charge de batteries Li-Ion (**Figure 3)** est composée de trois phases: préconditionnement, charge à courant constant et charge à tension constante.

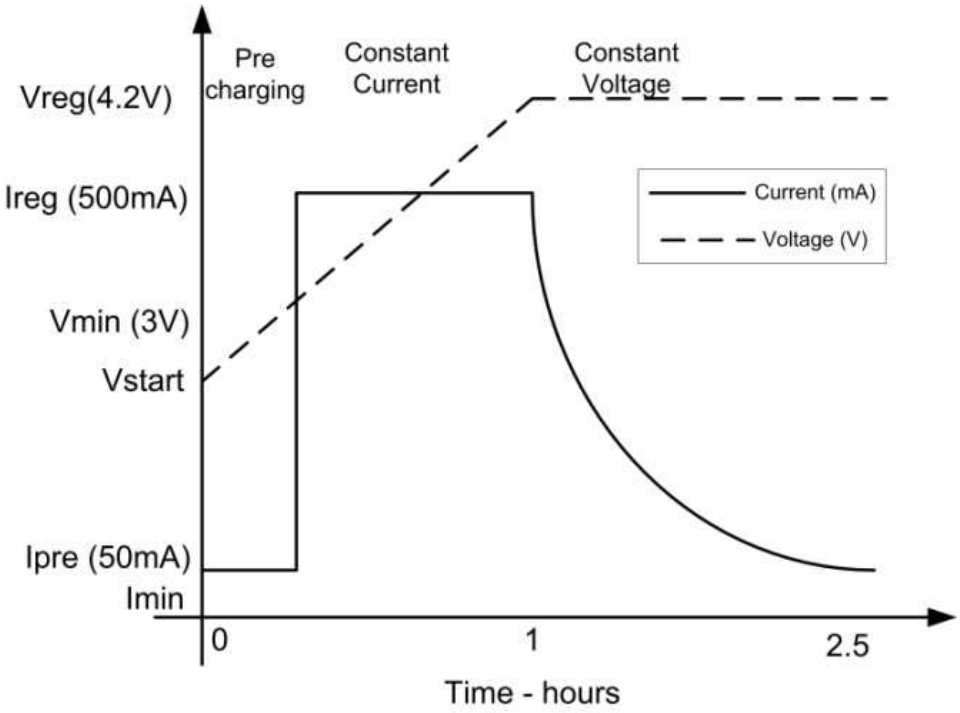

Figure 3. Schéma de la tension et du courant de la batterie au cours des différentes phases de charge d'une batterie Li-Ion

Lors de la phase de pré-conditionnement, la batterie est typiquement chargée avec un courant constant de 0,1C, pour augmenter lentement la tension de la batterie à environ 2,5 V. Cette phase est utilisée uniquement pour les batteries fortement déchargées. Une fois que la tension de la batterie dépasse 2,5V, une charge à courant constant est utilisée. Au cours de la phase de charge à courant constant, un courant constant de 1 C est généralement utilisé pour la charge de la batterie, jusqu'à ce que sa tension atteigne 4,2V. Une fois que la tension de la batterie a atteint 4,2V, une source de tension constante de 4,2V est utilisée pour charger la batterie. Au cours de cette phase, le courant dans la batterie est contrôlé. Quand le courant dans la batterie tombe à 0,1C, la charge est terminée. Lors de la phase de charge à tension constante, le courant dans la batterie diminue en raison d'une hausse de l'impédance de la cellule, lorsque celle-ci atteint sa capacité maximum. Une fois que le courant passe sous 0,1C, la source de la charge doit être complètement déconnectée de l'alimentation. À défaut de quoi la batterie peut devenir instable à cause de la formation d'une couche métallique sur le lithium, ce qui peut présenter des risques. La détection de la fin de la charge d'une batterie Li-Ion doit se fonder sur le courant dans la batterie pour garantir que la batterie sera chargée à sa capacité maximum.

Les chargeurs fonctionnant sur rayonnement solaire doivent maintenir le profil de charge décrit ci-dessus. Le problème survient principalement lors de la phase de charge à tension constante, lorsque le courant dans la batterie est contrôlé. Il est possible que le courant dans la batterie ait été réduit, non pas à cause de l'augmentation de la capacité de la cellule, mais en raison d'une réduction en sortie du panneau solaire due à une modification des conditions ambiantes. Il est ainsi possible que la batterie n'atteigne jamais sa capacité maximum et que le panneau solaire soit indéfiniment branché à

la batterie. Pour résoudre ce problème, un minuteur constant à longue durée peut être utilisé. Lorsque le minuteur expire, le panneau solaire est déconnecté du chargeur quelle que soit la capacité de la batterie, afin d'éviter d'endommager cette dernière.

Prévention de l'effondrement du panneau solaire

Sur les chargeurs traditionnels, la puissance et la tension de l'alimentation sont connues à l'avance. Les circuits du chargeur peuvent ainsi être conçus afin de fonctionner en-deçà des limites de l'alimentation. Dans le cas de la sortie d'un panneau solaire, la puissance et la tension du circuit ouvert sont dynamiques et dépendent des conditions ambiantes. C'est pourquoi la conception de la boucle de commande pour un chargeur sur panneau solaire est plus complexe que sur adaptateur secteur.

Un système mettant à profit des entrées solaires pour la charge de batteries Li-Ion ne doit pas faire s'effondrer le panneau solaire par inadvertance en essayant de maintenir le profil de charge nécessaire à la charge de la batterie Li-Ion. La raison est simple : si la tension du panneau s'effondre, il n'est plus possible d'en extraire d'énergie utile. Les éventualités d'effondrement du panneau interviennent principalement lors de la phase de courant constant. Au cours de cette phase, il est possible que le panneau solaire ne parvienne pas à fournir le courant consommé par la batterie. Lorsque cela arrive, la tension du panneau s'effondre rapidement. Le chargeur doit donc être capable de détecter la baisse rapide de tension au sein du panneau solaire et de réduire immédiatement la consommation de courant sortant du panneau afin d'empêcher un effondrement du panneau.