

Est-ce que les batteries au lithium-ion alimenteront le nouveau millénaire?

Isidor Buchmann
Cadex Electronics Inc.
isidor.buchmann@cadex.com
www.buchmann.ca
Avril 2001

Pendant plusieurs années, les batteries au nickel-cadmium (NiCd) furent les seules batteries utilisables dans les appareils portatifs tels que les appareils de communication sans fil et les ordinateurs portatifs. En 1990, les batteries au nickel-métal-hydrure (NiMH) et les batteries au lithium-ion (Li-ion) ont été mises sur le marché, offrant ainsi une plus grande capacité. Les batteries des deux compositions chimiques ont été en concurrence féroce, chacune prétendant offrir un meilleur rendement et de plus petites dimensions.

Quelle composition chimique gagnera, et quel système pavera le chemin du nouveau millénaire? Le gagnant est la Li-ion, surtout pour les portatifs de petites dimensions.

La batterie Li-ion nécessite peu d'entretien, ce qui constitue un avantage qu'aucune autre composition chimique ne peut égaler. Il n'y a pas de mémoire et aucun cyclage périodique n'est requis pour prolonger la durée de vie de la batterie. En plus de sa densité d'énergie élevée et de son poids léger, le degré d'autodécharge de la Li-ion est deux fois moins élevé que celui de la NiCd et de la NiMH, ce qui fait de la Li-ion un produit qui convient très bien aux applications modernes utilisant des jauges à essence.

Par contre, la Li-ion est fragile et requiert un circuit de protection pour assurer un fonctionnement sécuritaire. Le courant de charge est modéré, et la charge de la batterie doit être effectuée en respectant des normes rigoureuses. En outre, la Li-ion est sujette au vieillissement, qu'elle soit utilisée ou non.

Historique

Le travail avant-gardiste sur la batterie au lithium débuta en 1912 avec G. N. Lewis, cependant il a fallu attendre jusqu'au début des années 1970 avant la mise sur le marché des premières batteries non-rechargeable au lithium. Les tentatives pour développer les batteries rechargeables au lithium ont suivi pendant les années 1980, cependant celles-ci échouèrent à cause des problèmes reliés à la sécurité.

Le lithium est le plus léger des métaux, il offre le plus grand potentiel électrochimique et il génère la plus grande quantité d'énergie. Les batteries rechargeables qui utilisent du métal lithium comme électrodes négatives (anodes) peuvent fournir une tension élevée et une excellente capacité énergétique, résultant ainsi en une densité énergétique extraordinairement élevée.

Après de nombreuses recherches sur les batteries rechargeables au lithium pendant les années 1980, on a découvert que le cyclage altère les électrodes au lithium, ce qui réduit sa stabilité thermique, et ce qui cause une perte de potentiel thermique. Si ça se produit, la température de l'élément s'approche rapidement du point de fusion du lithium, ce qui résulte en une violente réaction. Une grande quantité de batteries rechargeables au lithium qui avaient été expédiées au Japon ont dû être rappelées en 1991 après qu'une batterie utilisée dans un téléphone cellulaire eut généré des gaz brûlants, ce qui infligea des brûlures à la figure d'un homme.

À cause de l'instabilité inhérente du métal lithium, surtout pendant la charge, les recherches ont été réorientées vers une batterie au lithium non-métallique utilisant le lithium-ion. Bien que sa densité énergétique soit légèrement plus faible que celle du métal lithium, la Li-ion est sécuritaire pourvu que certaines précautions soient prises pendant la charge et la décharge. En 1991, Sony Corporation a commercialisé la première batterie Li-ion. Les autres fabricants ont suivi par la suite. Aujourd'hui, la batterie de composition chimique Li-ion est la batterie qui connaît l'expansion la plus rapide et qui est la plus prometteuse.

Les types de Li-ion

Il y a plusieurs types de batteries Li-ion qui ont émergé. La version originale de Sony utilisait le coke comme électrode négative (anode). Depuis 1997, la plupart des batteries Li-ion y compris Sony utilisent le graphite. Cette électrode génère une courbe de tension de décharge plus à l'horizontale que le coke et elle offre une courbe prononcée, suivie d'une chute de tension rapide avant d'atteindre la limite inférieure de décharge (référer à la Figure 1). Conséquemment, l'énergie utile du système au graphite peut être récupérée en déchargeant chaque élément à 3,0 volts seulement, alors que la version de Sony utilisant du coke doit être déchargée à 2,5 volts pour obtenir le même rendement.

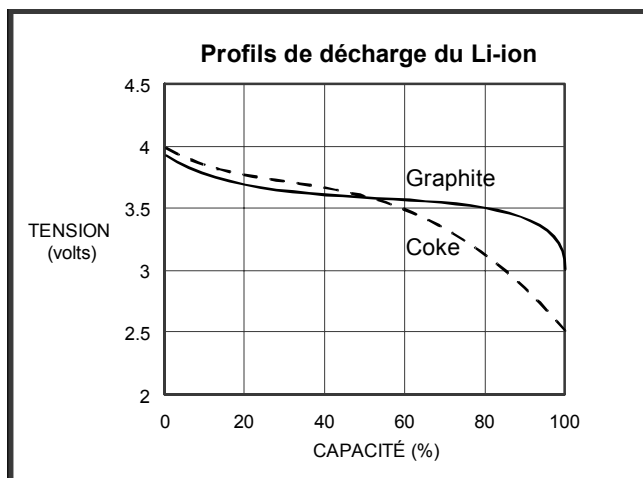


Figure 1 : Caractéristiques de décharge de la Li-ion

La batterie Li-ion au graphite doit être déchargée seulement à 3,0V/élément, alors que celle qui utilise du coke doit être déchargée à 2,5V/élément pour obtenir le même rendement.

En ce qui concerne l'électrode positive (cathode), deux compositions chimiques différentes ont émergé. Ce sont le cobalt et le manganèse, également connu sous le nom de spinelle. Bien que le cobalt ait été utilisé pendant une période de temps plus longue, le spinelle est par nature plus sécuritaire et moins dangereux, même lorsqu'on ne l'utilise pas de la bonne façon. Les circuits de protection peuvent être simplifiés ou voire même éliminés. Les petits ensembles prismatiques de

spinelle utilisés pour les téléphones mobiles peuvent inclure seulement un fusible thermique et un capteur thermique. En plus du niveau de sécurité amélioré, le coût de la matière première du manganèse est inférieur à celui du cobalt.

Par contre, le spinelle offre une densité d'énergie légèrement plus faible, il affiche une perte de capacité aux températures supérieures à 40 °C et il vieillit plus rapidement que le cobalt. La Figure 2 compare les avantages et les désavantages des deux compositions chimiques.

	Cobalt	Manganèse (Spinelle)
Densité d'énergie (Wh/kg)	140 ¹	120 ¹
Sécurité	Lors d'une surcharge, l'électrode en cobalt fournit un surplus de lithium qui peut se transformer en lithium métallique, occasionnant ainsi un risque potentiel pour la sécurité si celle-ci n'est pas protégée par un circuit de sécurité.	Lors d'une surcharge, l'électrode en manganèse manque de lithium ce qui fait chauffer seulement l'élément. Les circuits de sécurité peuvent être éliminés pour les petits ensembles de 1 et 2 éléments.
Température	Vaste plage de température. Mieux adapté pour fonctionner aux températures élevées.	Perte de capacité au-dessus de 40 °C. Pas aussi résistant aux températures plus élevées.
Viellissement	Un stockage de courte durée est possible. L'impédance augmente avec le vieillissement. Les nouvelles versions permettent un stockage de plus longue durée.	Légèrement moins que le cobalt. L'impédance change peu pendant la vie de l'élément. Suite aux améliorations continues, la durée de stockage est difficile à prédire.
Espérance de vie	300 cycles, capacité de 50 % au 500e cycle.	Peut être plus courte que celle du cobalt.
Coût	Le coût des matières premières est élevé; un circuit de protection augmente les coûts.	Le coût des matières premières est 30 % moins élevé que pour le cobalt. Un circuit de protection simplifié constitue un avantage au niveau des coûts.

¹ En se basant sur la génération actuelle des éléments 18650. La densité d'énergie a tendance à être inférieure pour les éléments prismatiques.

Figure 2 : Comparaison entre les électrodes positives en cobalt et en manganèse.

Le manganèse est par nature plus sécuritaire et il est moins dangereux lorsqu'on ne l'utilise pas de la bonne façon, cependant il offre une densité d'énergie légèrement inférieure. Le manganèse affiche une perte de capacité aux températures supérieures à 40 °C et il vieillit plus rapidement que le cobalt.

Les produits chimiques et les additifs aident à balancer le compromis critique entre une densité d'énergie élevée, une période prolongée de stockage, un cycle de vie de longue durée et la sécurité. On peut assez facilement atteindre des densités d'énergie élevées. Par exemple, en ajoutant plus de nickel au lieu du cobalt, on accroît la capacité en ampères-heures et on diminue le coût de fabrication, mais ceci rend l'élément moins sécuritaire. Alors qu'une nouvelle compagnie peut s'orienter vers une densité d'énergie élevée pour acquérir rapidement sa part du marché, cette approche peut compromettre la sécurité, le cycle de vie et le stockage. Les fabricants reconnus tels que Sony, Panasonic, Sanyo et Moli accordent une grande importance à la sécurité.

Lorsqu'ils sont usés, les éléments Li-ion causent moins de dommage en terme de déchets que les batteries au plomb ou au cadmium. Dans la famille des batteries Li-ion, le spinelle constitue le produit le moins dommageable.

Charge des batteries Li-ion

Le chargeur de batteries Li-ion est un appareil limiteur de tension et il est semblable au chargeur de batteries au plomb-acide. Les principales différences du chargeur Li-ion incluent une tension plus élevée par élément, une tolérance plus rigoureuse du niveau de tension, et l'absence de charge d'entretien ou de charge lente pour les batteries chargées.

Alors que les batteries au plomb-acide à régulateur à clapet (VRLA - Valve Regulated Lead-Acid) offrent une certaine flexibilité en termes de chute de tension, les fabricants d'éléments Li-ion sont très sévères concernant le choix de la tension. Lorsque le système au graphite a été lancé sur le marché pour la première fois, sa limite de tension de charge était de 4,10 volts par élément. Bien que les tensions plus élevées génèrent une densité d'énergie supérieure, l'oxydation des éléments limite énormément la durée de vie des premiers éléments au graphite s'ils sont chargés au-dessus du seuil de 4,10 V/élément. Cet effet a maintenant été résolu en utilisant des additifs chimiques, et la plupart des nouveaux éléments Li-ion sont maintenant ajustés à 4,20 V. La tolérance applicable à toutes les batteries Li-ion est exactement de +/- 0.05 volt par élément.

Le temps de charge de toutes les batteries Li-ion est d'environ 3 heures à un courant de charge initial de 1 C. La batterie reste froide pendant la charge. La pleine charge est obtenue lorsque la tension atteint le seuil supérieur de tension, et lorsque l'intensité du courant diminue et se stabilise à environ 3 % de sa capacité nominale, ou environ 0.03 C.

En augmentant l'intensité du courant de charge du chargeur Li-ion, on ne raccourcit pas beaucoup le temps de charge. Bien que la tension maximale soit atteinte plus rapidement en utilisant une plus grande intensité de courant, il faudra plus de temps pour atteindre la charge maximale. La Figure 3 illustre les signatures de tension et de courant d'un chargeur lorsque l'élément Li-ion passe de la première par la deuxième à la troisième étape.

En prétendant pouvoir charger une batterie Li-ion sur une période d'une heure ou moins, on obtient habituellement des niveaux de charge inférieurs. Un tel chargeur élimine simplement l'étape deux et passe directement à l'état « prêt » lorsqu'il atteint le seuil de tension à la fin de la première étape. Le niveau de charge à ce point est d'environ 70 %. On nécessite typiquement deux fois plus de temps pour obtenir la charge maximale comparativement à la charge initiale.

Aucune charge d'entretien n'est appliquée puisque la Li-ion ne peut pas absorber de surcharge. La charge d'entretien pourrait causer le placage du lithium métallique, une condition qui rend l'élément instable. Au lieu de cela, une brève charge maximale est appliquée pour compenser pour la petite quantité d'autodécharge occasionnée par la batterie et par son circuit de protection.

Selon le chargeur et l'autodécharge de la batterie, une charge maximale peut être appliquée à toutes les 500 heures ou à tous les 20 jours. Typiquement, la charge est amorcée lorsque la tension en circuit ouvert mesurée aux bornes diminue à 4,05 volts par élément et elle cesse lorsque la tension atteint 4,20 V/élément.

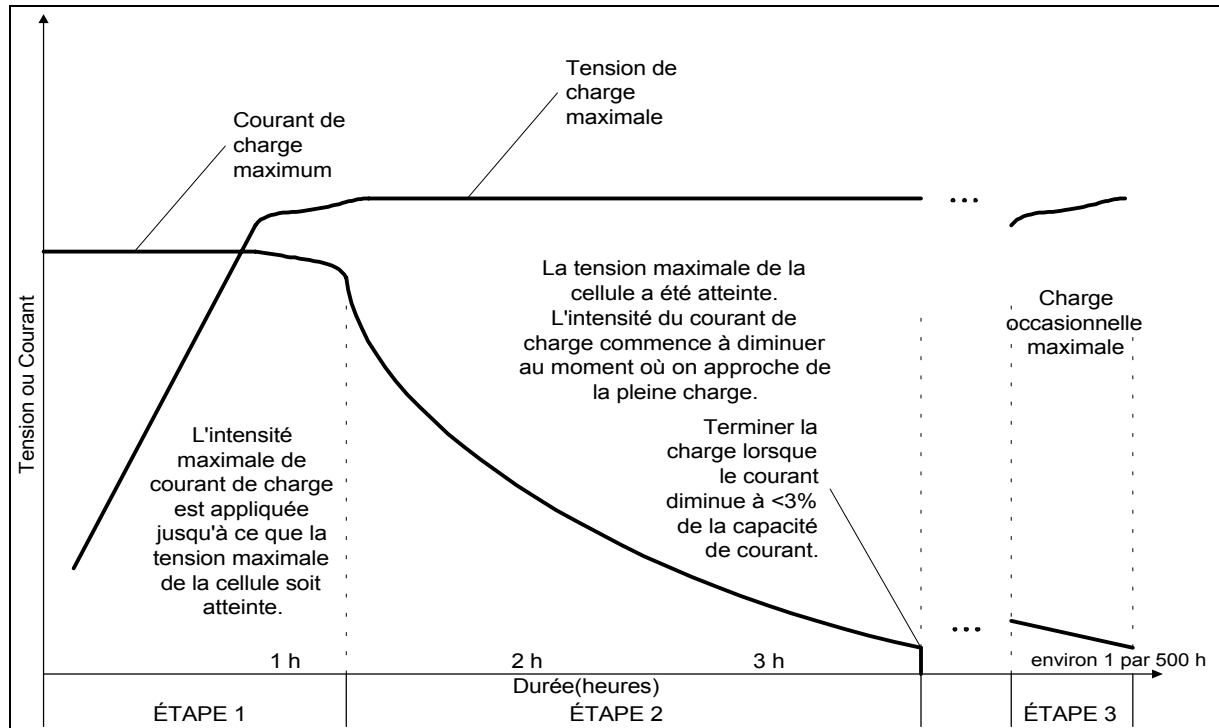


Figure 3 : Étapes de charge d'une batterie Li-ion.

En augmentant l'intensité du courant de charge du chargeur Li-ion, on ne raccourcit pas beaucoup le temps de charge. Bien que la tension maximale soit atteinte plus rapidement en utilisant une plus grande intensité de courant, il faudra plus de temps pour atteindre la charge maximale.

Circuit de protection

Les blocs-batteries Li-ion commerciaux contiennent des dispositifs de protection redondants pour assurer la sécurité en toutes circonstances. Typiquement, un TEC (transistor à effet de champ) ouvre si la tension de charge d'un élément quelconque atteint 4,30 V, et un fusible grille si la température des éléments approche 90 °C (194 °F). En outre, un interrupteur à pression dans chaque élément interrompt définitivement le courant de charge si on excède un niveau sécuritaire de pression, et les circuits de contrôle internes de niveau de tension isolent la batterie si les seuils inférieurs et supérieurs de tension sont atteints. Des exceptions sont faites pour les blocs-batteries spinelle prismatiques et cylindriques contenant seulement un ou deux éléments.

La Li-ion se décharge typiquement à 3 volts par élément. Le « niveau de tension » le plus bas d'interruption de l'alimentation est de 2,5 V/élément. Cependant, pendant une période de stockage prolongée, une décharge sous ce niveau de tension est possible. Les fabricants recommandent une charge « d'entretien » pour augmenter graduellement la tension d'une telle batterie à un niveau de tension « acceptable » conforme aux tolérances. Les chargeurs ne sont pas tous conçus pour appliquer une charge lorsque la tension d'une batterie Li-ion a diminué sous 2,5 V/élément.

Certaines batteries affichent un seuil de chute de tension extrêmement bas qui déconnecte définitivement le bloc-batterie lorsque la tension d'un élément diminue sous 1,5 volts. Cette précaution est prise pour empêcher la recharge lorsqu'une batterie a atteint un niveau intolérable de tension. Une décharge complète provoque le placage du cuivre, ce qui peut générer un court-circuit dans l'élément.

La plupart des fabricants ne vendent pas directement d'éléments Li-ion, mais ils les offrent plutôt sous forme de blocs-batteries complets avec circuit de protection. Cette protection est compréhensible lorsqu'on considère les dangers d'explosion et d'incendie qui existeraient si la batterie était chargée et déchargée au-delà de ses limites sécuritaires.

Une préoccupation majeure est soulevée lorsque l'électricité statique ou lorsqu'un chargeur défectueux provoquent la destruction du circuit de protection de la batterie. De tels dommages amènent souvent les interrupteurs à semi-conducteurs à griller en position permanente de MARCHE sans que l'utilisateur en soit conscient. Une batterie dont le circuit de protection est défectueux peut fonctionner normalement, cependant celle-ci n'est pas sécuritaire. Si elle est chargée au-delà des limites sécuritaires de tension en utilisant un chargeur de conception médiocre, la batterie peut chauffer, pour ensuite bomber, et s'enflammer dans certains cas. Il peut également être dangereux de court-circuiter une telle batterie.

Analyseurs de batteries au lithium-ion

Dans le passé, les analyseurs de batteries étaient utilisés pour restaurer les batteries affectées par la « mémoire ». Avec les batteries sans nickel d'aujourd'hui, la mémoire ne constitue pas un problème et l'emphase des analyseurs est orientée vers la vérification du rendement, le contrôle de la qualité et le test rapide des batteries.

La sagesse conventionnelle veut qu'une nouvelle batterie fonctionne toujours sans problème. Néanmoins, plusieurs usagers ont appris qu'une batterie fraîchement déballée ne respecte pas toujours les spécifications du fabricant. Avec un analyseur de batteries, toutes les batteries qui sont livrées peuvent être vérifiées dans le cadre d'une procédure de contrôle de la qualité. En outre, des réclamations au titre de la garantie peuvent être présentées si la capacité de la batterie baisse sous le niveau spécifié à la fin de la période de garantie.

La durée de vie typique d'une batterie Li-ion est de 300 – 500 cycles de décharge/charge, ou de deux ans après la date de fabrication. La perte de capacité d'une batterie survient graduellement et souvent sans que l'utilisateur en soit conscient. Même si elle est totalement chargée, la batterie régresse éventuellement à un point où elle peut contenir moins de la moitié de sa capacité originale. La fonction d'un analyseur de batteries est d'identifier ces batteries faibles afin de les « éliminer ».

Un analyseur de batteries peut également être utilisé pour déterminer la cause des courtes durées de fonctionnement. Le chargeur ne fournit peut-être pas la charge totale ou l'appareil portatif consomme peut-être plus de courant que prévu. Plusieurs des analyseurs de batteries d'aujourd'hui peuvent simuler la signature de charge d'un appareil numérique et vérifier la durée de fonctionnement en se basant sur la capacité disponible dans la batterie.

Une caractéristique importante des analyseurs de batteries modernes est leur capacité de lire la résistance interne d'une batterie, un test qui ne nécessite que quelques secondes à effectuer. Dans le cadre du vieillissement naturel, la résistance interne d'une batterie Li-ion augmente graduellement à cause de l'oxydation de l'élément. Plus la résistance est élevée, moins la batterie peut fournir de l'énergie.

Pour utiliser le *test de résistance* afin de valider la batterie, il est essentiel d'obtenir une lecture de référence d'une bonne batterie dont le rendement est connu. Puisque chaque type de batterie peut être différent, une lecture de référence sera requise pour chaque modèle.

Une méthode plus fiable de mesurer l'état de santé d'une batterie est d'utiliser une méthode de test rapide. Cadex a développé un système qui utilise un algorithme d'interférence pour vérifier la capacité des batteries. L'algorithme Quicktest est adapté à chaque batterie en utilisant un algorithme d'analyse des tendances qui ressemble au processus de développement de la pensée du cerveau humain.

Le Quicktest de Cadex peut être effectué avec un niveau de charge se situant entre 20 et 90 pour cent. Si la batterie n'est pas suffisamment chargée ou si son niveau de charge est trop élevé, l'analyseur applique automatiquement une charge ou une décharge pour ramener la batterie à l'intérieure des tolérances requises pour effectuer le test. À l'intérieure de ces tolérances, les différents niveaux de charge n'affectent pas les lectures. La durée du test est d'environ deux minutes et le celui-ci peut être effectué sur des batteries Li-ion/polymère, NiMH et NiCd.

Le test rapide de Cadex peut être effectué en utilisant les analyseurs de batteries Cadex 7200 et 7400. Ces plate-formes sont dotées d'adaptateurs interchangeables pour batterie qui contiennent les codes de configuration des batteries et les matrices permettant d'effectuer le test rapide.

Résumé

La Li-ion est bien cotée au niveau du rendement et de la fiabilité. Les approvisionnements en Li-ion se sont améliorés et les prix sont devenus compétitifs avec les équivalents à base de nickel. Par conséquent, plus d'équipements portatifs sont alimentés avec la batterie Li-ion.

La Li-ion s'est taillée une grande part du marché au niveau des appareils portatifs exigeant des éléments de petites dimensions. Les téléphones mobiles et les ordinateurs portatifs sont les plus grands utilisateurs de batteries. À cause de l'aspect du vieillissement, la Li-ion est le produit le plus approprié aux applications visant les utilisateurs hectiques. La Li-ion affiche cependant des faiblesses au niveau des applications nécessitant des intensités de courant élevées, tel que les outils électriques, les défibrillateurs cardiaques et les radios bi-directionnels utilisés pour la sécurité publique.

Les applications qui nécessitent seulement une utilisation occasionnelle des batteries représentent un autre domaine où la Li-ion s'est avéré moins efficace. Par exemple, sur un ordinateur portatif qui est principalement alimenté par CA, la batterie Li-ion vieillit avec le temps et on ne peut pas exploiter toute la capacité énergétique de la batterie. Les niveaux élevés de chaleur qu'on retrouve à l'intérieur de la plupart des ordinateurs portatifs provoquent également le vieillissement

prématuré de la Li-ion. Les essais pratiques ont cependant révélé que la Li-ion est moins affectée par la chaleur que la NiMH.

Les fabricants de systèmes à base de polymère de lithium-ion bataillent fermement afin d'égaliser et de dépasser le rendement de la batterie Li-ion. Le rapport coût/énergie élevé limite les systèmes à base de polymère de lithium-ion aux petits appareils portatifs, tel que les téléphones mobiles. Lorsque les systèmes à base de polymère de lithium-ion seront fabriqués en grande quantité, on prévoit que leur prix sera inférieur à la Li-ion puisqu'ils sont plus simples à emballer.

Le présent article contient des extraits de la deuxième édition du livre intitulé « Batteries in a Portable World », un manuel de référence concernant les batteries rechargeables pour monsieur tout le monde. Dans le livre, M. Buchmann évalue la batterie dans son utilisation de tous les jours, et il explique ses forces et ses faiblesses en utilisant un langage non spécialisé. Le livre de 300 pages est disponible chez Cadex Electronics Inc. via l'adresse de courrier électronique « book@cadex.com », ou par téléphone au 604-231-7777, ou dans la plupart des librairies. Pour obtenir de plus amples renseignements concernant la technologie des batteries, veuillez visiter le site « www.buchmann.ca ».

Au sujet de l'auteur

Isidor Buchmann est fondateur et chef de la direction de Cadex Electronics Inc., à Richmond (Vancouver) Colombie Britannique, Canada. M. Buchmann a reçu une formation en communications radio, et il a étudié le comportement des batteries rechargeables pendant deux décades, en pratique dans les applications de tous les jours. Auteur de plusieurs articles et de plusieurs livres concernant la technologie d'entretien des batteries, M. Buchmann est un conférencier bien connu qui a rédigé des rapports techniques et qui a effectué des présentations lors de séminaires et de conférences à travers le monde.

Au sujet de la compagnie

Cadex Electronics Inc. est un chef de file mondial dans le domaine du design et de la fabrication d'analyseurs et de chargeurs de batteries modernes. Ses produits à succès sont utilisés pour prolonger la vie des batteries dans les domaines des communications sans fil, des services d'urgence, des ordinateurs portatifs, de l'avionique, de la biochimie, de la radiodiffusion et de la défense. Les produits Cadex sont vendus dans plus de 100 pays.

Remerciements

L'auteur voudrait remercier M. Ulrich Von-Sacken, Ph.D., M. Mark Reid et M. Paul Craig de NEC Moli Energy (Canada) Ltd. pour leurs commentaires et pour leurs suggestions.