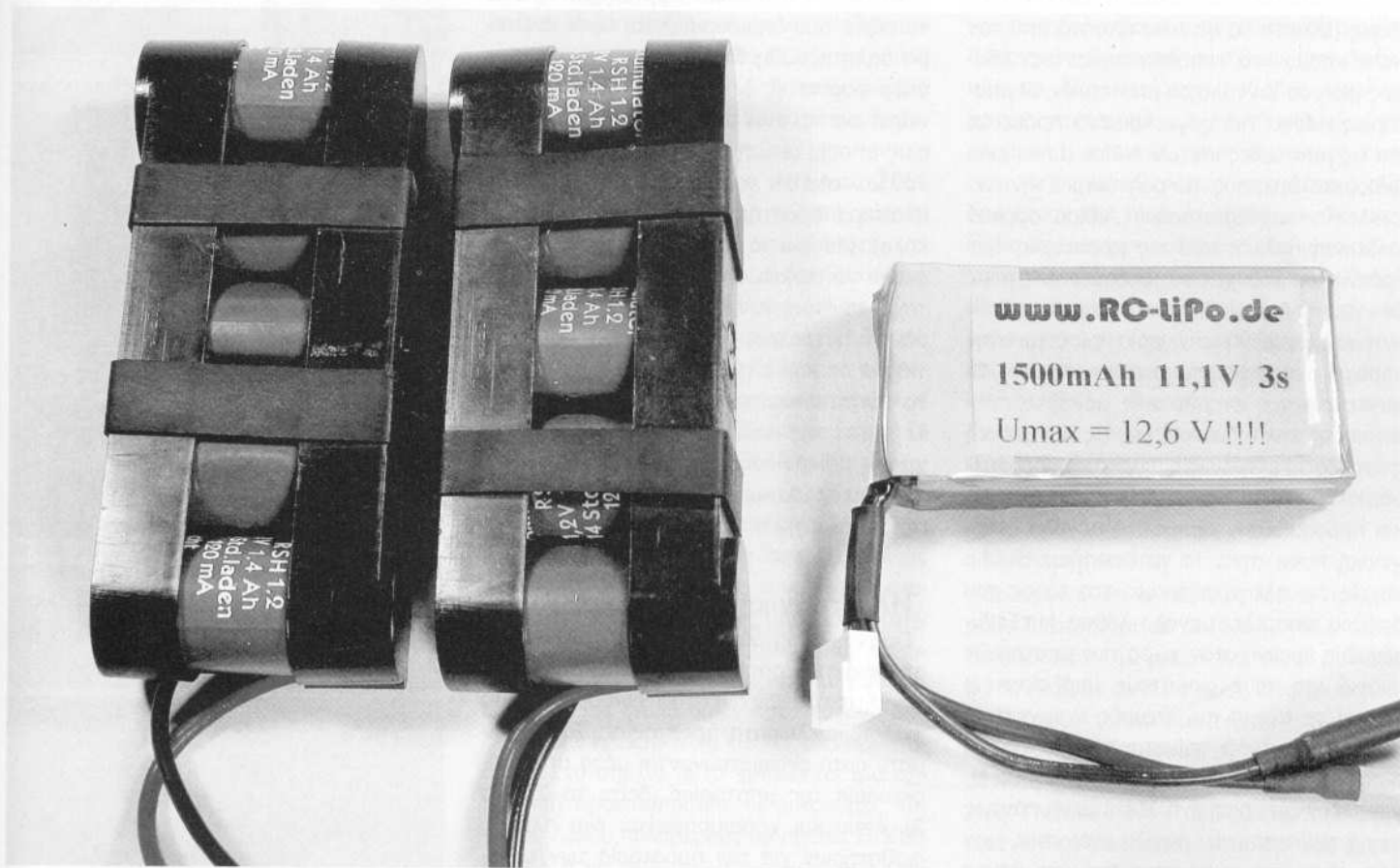


Υπερ-μπαταρίες Λιθίου

Όλα όσα θα θέλατε να μάθετε σχετικά με τις μπαταρίες Λιθίου

Από τον Ulrich Passern



Η σύγχρονη τεχνολογία με τα πάσης φύσεως ηλεκτρονικά, έχει πλέον εισέλθει σε μία αέναη απαίτηση μίας όσο το δυνατόν μεγαλύτερης σε (απόλυτα μεγέθη) αλλά την ίδια στιγμή όσο το δυνατόν περισσότερο φορητής (άρα και μικρότερου όγκου) ισχύος. Η σχετική έρευνα από τους κατασκευαστές μπαταριών προχωράει με ταχύτατους ρυθμούς: νέες εξελίξεις εκτοπίζουν τις παλιές τεχνολογίες, ενώ στην συνέχεια οι ίδιες εκτοπίζονται από κάποιες άλλες ακόμη νεότερες. Ο συγκεκριμένος χώρος βρίσκεται σε μία κατάσταση συνεχών εναλλαγών, όπου καθημερινά εμφανίζονται καινούργιες εκπλήξεις.

Αυτή την στιγμή, οι τεχνολογίες μπαταρίας που επικρατούν στην αγορά είναι τρεις. Η μακροβιότερη και πλέον απαρχαιωμένη τεχνολογικά, είναι αυτή των μπαταριών μολύβδου. Παρ' όλη όμως την παλαιότητα της, η μνημειώδης αξιοπιστία της και η χαμηλή της τιμή της εξασφαλίζουν μία σίγουρη θέση σε εφαρμογές εκκίνησης οχημάτων ή τροφοδοτικών έκτακτης ανάγκης.

Ακολουθεί η οικογένεια Νικελίου, η οποία αποτελείται από δύο αρκετά γνωστά προϊόντα: τις μπαταρίες Νικελίου Καδμίου (NiCd) και τις μπαταρίες υδριδίου Νικελίου - Μετάλλου (NiMH). Η κατάσταση αυτή αναμένεται να αλλάξει σύντομα, δεδομένου ότι οι μπαταρίες NiCd είναι επιβαρυντικές για το περιβάλλον και σύμφωνα με ένα νόμο της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα πρέπει μέχρι

το 2008 να έχουν αποσυρθεί από την αγορά. Η βιομηχανία έχει προετοιμαστεί κατάλληλα και η εξέλιξη των μπαταριών NiMH είναι τέτοια που οι συγκεκριμένου τύπου μπαταρίες είναι πλέον σε θέση να καλύψουν από κάθε άποψη τις απερχόμενες μπαταρίες NiCd. Οι μπαταρίες τύπου NiCd και NiMH διαθέτουν μία ενσωματωμένη χημική 'αποθήκη φορτίου', η οποία τις κα-

θιστά κατά κάποιο τρόπο αναισθητες σε υπερ-φορτίσεις ή βαθιές εκφορτίσεις.

Για μία μεγάλη χρονική περίοδο, η τεχνολογία δεν ήταν σε θέση να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις των σύγχρονων κινητών τηλεφώνων, φορητών υπολογιστών ή υπολογιστών παλάμης (PDA) με μπαταρίες βασισμένες στην κατηγορία των μπαταριών Νικελίου. Αποτέλεσμα αυτού ήταν - χωρίς μάλιστα να γίνει αντιληπτό από τον πολύ κόσμο - να κερδίσει σημαντικό έδαφος μία νέα τεχνολογία μπαταριών, οι μπαταρίες Λιθίου. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για τις μπαταρίες ιόντων Λιθίου (Li-ion) και Λιθίου-πολυμερούς (Li-polymer). Στην τεχνολογία των μπαταριών Λιθίου βρήκαν απόκριση πολλές από τις προσευχές των ερευνητών του χώρου, δεδομένου ότι με ένα τυπικό δυναμικό ηλεκτροδίων στα 3,04 V, η συγκεκριμένη κατηγορία βρίσκεται στην κορυφή των ηλεκτροχημικών στοιχείων. Οι συγκεκριμένες ενεργειακές μονάδες αποθήκευσης είναι ιδανικές για τις σύγχρονες φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, δεδομένου ότι διαθέτουν μικρό βάρος, μικρό όγκο και παρουσιάζουν εξαιρετικά μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα. Το να θεωρήσει βέβαια κανείς ότι πλέον φθάσαμε στο τέλος του δρόμου, αποτελεί μεγάλο λάθος. Η εξειδικευμένη έρευνα στον χώρο των μπαταριών (ειδικά για τους φορητούς υπολογιστές) οδηγεί σε ακόμη πιο ισχυρές ενεργειακές πηγές, και απ' ό,τι φαίνεται σε λίγα χρόνια η τεχνολογία των μπαταριών Λιθίου θα είναι πλέον ξεπερασμένη. Η επόμενη πάντως γενιά των φορητών πηγών ενέργειας έχει ήδη κάνει την εμφάνισή της στο βάθος του ορίζοντα: μιλάμε για τις κυψέλες καυσίμου (για τις οποίες θα πούμε περισσότερα στην συνέχεια).

Μια ευαίσθητη ψυχή

Για αρκετό διάστημα θεωρείτο δεδομένο ότι οι μηχανικοί του χώρου δεν θα μπορούσαν να τιθασεύσουν τις σύνθετες χημικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό μίας κυψέλης Λιθίου. Παρ' όλα αυτά όμως, η τεράστια επένδυση σε έρευνα και προσπάθεια φαίνεται ότι απέδωσε καρπούς και οι μπαταρίες Λιθίου έχουν πλέον αρχίσει να αντικαθιστούν τις μπαταρίες Νικελίου σε όλες τις βασικές εφαρμογές. Όπως θα έχουν ενδεχομένως όμως παρατηρήσει αρκετοί αναγνώστες, δεν υπάρχει ακόμη η δυνατότητα να προμηθευτεί κανείς μεμονωμένα μπαταρίες ιόντων Λιθίου ή Λιθίου πολυμερούς. Ο λόγος είναι ότι οι μηχανικοί δεν έχουν ακόμη καταφέρει να εξοπλί-

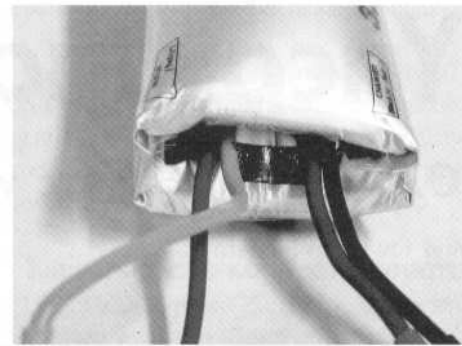
σουν τις κυψέλες Λιθίου με την 'αποθήκη φορτίου' που αναφέραμε ενωρίτερα, με αποτέλεσμα να είναι εξαιρετικά ευαίσθητες και να κινδυνεύουν να καταστραφούν πολύ εύκολα. Εάν για παράδειγμα μία μπαταρία ιόντων Λιθίου ή Λιθίου πολυμερούς υπερφορτιστεί έστω και ελαφρά, αρχίζει να παράγει αέρια και κινδυνεύει να εμφανίσει ρωγμή στο σώμα της (Σχήμα 1), ενώ τα αέρια που δημιουργούνται είναι ιδιαίτερα δηλητηριώδη. Εάν μία μπαταρία Λιθίου υπερφορτιστεί έντονα είναι δυνατόν να πάρει φωτιά, ενώ σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί ακόμη και να εκραγεί. Δεδομένου μάλιστα ότι το Λίθιο σαν στοιχείο είναι ιδιαίτερα δραστήριο (δηλαδή αντιδρά εύκολα), μία φωτιά με Λίθιο είναι πολύ δύσκολο να σβήσει. Στην φωτιά όπου συμμετέχει το στοιχείο Λίθιο, το νερό λειτουργεί σαν το πετρέλαιο επιδεινώνοντας την φωτιά και σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται σαν μέσο πυρόσβεσης. Σε μία τέτοια περίπτωση συνιστάται είτε η χρήση ειδικής κουβέρτας πυρόσβεσης, είτε κάποιου άλλου κατάλληλου μέσου πυρόσβεσης, ή ακόμη και άμμου.

Ηλεκτρονική προστασία

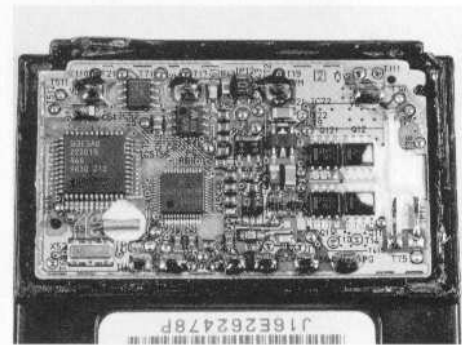
Για να ξεπεράσει την προαναφερθείσα απουσία της 'αποθήκης φορτίου', η βιομηχανία μπαταριών ανέπτυξε ένα σύνολο από 'ευφυή' κυκλώματα προστασίας. Τα κυκλώματα αυτά ενσωματώνονται μέσα στην συσκευασία της μπαταρίας (δείτε το Σχήμα 2), όπου και χρησιμοποιείται ένα πλήθος αισθητήρων για την προστασία των κυψελών από υπερ-φόρτιση ή βραχυκύκλωμα (Σχήμα 3). Σε δοκιμές που έχουν πραγματοποιηθεί από διάφορους οργανισμούς προστασίας καταναλωτών, απεδείχθη ότι οι συγκεκριμένες συσκευασίες μπαταριών παρέχουν ικανοποιητική ασφάλεια. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονίσουμε ότι η κατάργηση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ασφαλείας από την συσκευασία αποτελεί εγκληματική αμέλεια και ανευθυνότητα. Πολλοί θα θυμούνται παλαιότερες αναφορές στον τύπο σχετικά με κινητά τηλέφωνα της Nokia που εξερράγησαν. Στην ουσία επρόκειτο για φτηνές μπαταρίες τρίτων κατασκευαστών, οι οποίες δεν ήταν εξοπλισμένες με τα κατάλληλα κυκλώματα προστασίας.

Τα Λιθίου-πολυμερούς στην κορυφή

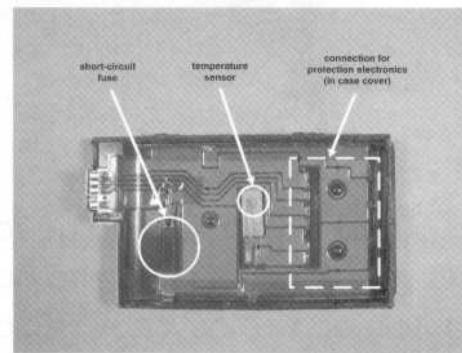
Εντός της οικογενείας των μπαταριών Λιθίου, υπάρχουν δύο τύποι οι οποίοι τα



Σχήμα 1. Όταν μία μπαταρία Λιθίου πολυμερούς 'ανοίξει', είναι πλέον άχρηστη. Σε εξαιρετικές μάλιστα περιπτώσεις η μπαταρία είναι πιθανόν να εκραγεί.

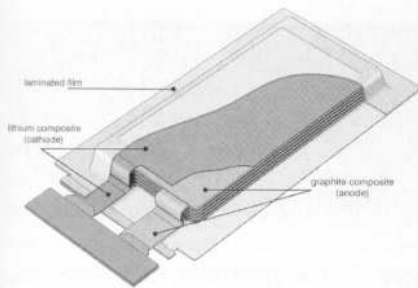


Σχήμα 2. Τα ενσωματωμένα κυκλώματα παρακολούθησης σε βιομηχανικές συσκευασίες μπαταριών Λιθίου, ελέγχονται πάντοτε από μικροελεγκτή.



Σχήμα 3. Η παρακολούθηση με την βοήθεια πολλαπλών αισθητήρων προστατεύει την μπαταρία από υπερφόρτιση.

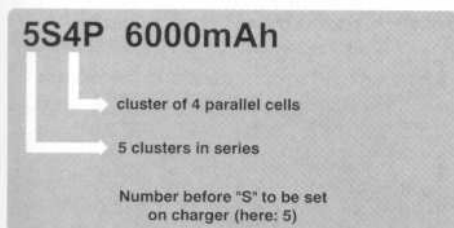
τελευταία χρόνια συναγωνίζονται για την πρωτοκαθεδρία. Γεγονός πάντως είναι ότι το μερίδιο αγοράς των κυψελών ιόντων Λιθίου περιορίζεται υπέρ των κυψελών Λιθίου πολυμερούς. Ο λόγος είναι σχετικά απλός: οι κυψέλες ιόντων λιθίου περιλαμβάνουν ένα υγρό ηλεκτρολύτη οπότε και θα πρέπει να προστατεύονται από ένα κάπως ισχυρό μεταλλικό περίβλημα. Από την άλλη, οι κυψέλες Λιθίου πολυμερούς χρησιμοποιούν ένα φιλμ πολυμερούς στο οποίο συγκρατείται ο ηλεκτρολύτης και κατά συ-



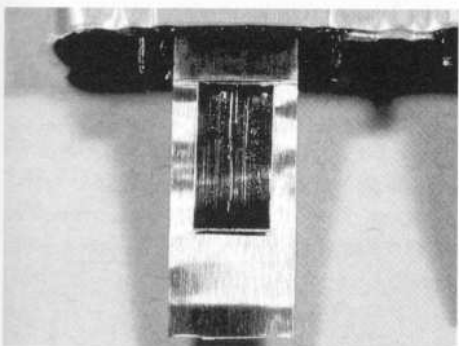
Σχήμα 4. Σχηματικό διάγραμμα κατασκευής μίας μπαταρίας Λιθίου πολυμερούς (πηγή Varta).



Σχήμα 5. Μπαταρία ιόντων Λιθίου σε συσκευασία 3S2P για φορητούς υπολογιστές (τάση ακροδεκτών 10,8 V)



Σχήμα 6. Μέθοδος σήμανσης για μπαταρίες ιόντων Λιθίου και Λιθίου πολυμερούς.



Σχήμα 7. Στους αλουμινένιους ακροδέκτες των μπαταριών Λιθίου πολυμερούς προσαρμόζεται συνήθως ένα μικρό φύλλο από κασίτερο.



Σχήμα 8. Ένα μεγάλο κομμάτι ταινίας λειτουργεί σαν διάταξη συγκράτησης των καλωδίων σύνδεσης.

νέπεια είναι δυνατόν να συσκευαστούν ακόμη και μέσα σε ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου (Σχήμα 4). Είναι λοιπόν προφανές ότι οι μπαταρίες Λιθίου πολυμερούς είναι σε θέση να παράσχουν περισσότερη ενέργεια σε μικρότερο όγκο αλλά και σε σημαντικά ελαφρύτερη συσκευασία, σε σχέση με τις μπαταρίες ιόντων Λιθίου. Σε κάθε πάντως περίπτωση οι μπαταρίες Λιθίου πολυμερούς πρέπει να μεταφέρονται και να αποθηκεύονται με προσοχή, δεδομένου ότι το λεπτό περίβλημα αλουμινίου είναι πολύ εύκολο να καταστραφεί. Η επίπεδη κατασκευή των κυψελών πολυμερούς Λιθίου την οποία περιγράψαμε στο τεύχος Απριλίου 2000 του περιοδικού *Ελεκτορ*, καθιστά εύκολη την προσαρμογή τους σε οποιαδήποτε σχεδόν εφαρμογή. Στην αγορά διατίθεται ένα μεγάλο εύρος από μπαταρίες Λιθίου πολυμερούς με χωρητικότητες από 250 mAh έως 6000 mAh. Οι τιμές βέβαια είναι ακόμη σχετικά υψηλές και κυμαίνονται από 4 ευρώ για μία μπαταρία 350 mAh μέχρι 45 ευρώ για μία μπαταρία 2100 mAh, ανάλογα με την ποιότητα, την χωρητικότητα και την απόδοση υπό φορτίο. Η υψηλή πάντως ζήτηση ειδικά από όσους ασχολούνται με τον μοντελισμό, οδήγησε τους κατασκευαστές και τους προμηθευτές μπαταριών στην διάθεση αυτόνομων κυψελών Λιθίου πολυμερούς ή και προ-συναρμολογημένων συστοιχιών (τα οποία όμως κατά κανόνα δεν διαθέτουν ηλεκτρονικά κυκλώματα προστασίας). Στο σημείο αυτό χρειάζεται μία σημαντική προειδοποίηση: οι αυτόνομες κυψέλες Λιθίου πολυμερούς θα πρέπει ΟΠΩΣΔΗΠΟΤΕ να φυλάσσονται μακριά από παιδιά, δεδομένου ότι μοιάζουν πολύ σημαντικά με τις γνωστές επίπεδες λωρίδες από τσίχλες που προκαλούν για 'γδύσιμο' και δάγκωμα.

Συναρμολόγηση συστοιχιών

Οι κυψέλες ιόντων Λιθίου ή Λιθίου πολυμερούς, είναι δυνατόν να συνδεθούν είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Στο Σχήμα 5 εικονίζεται μία βιομηχανική συστοιχία κυψελών ιόντων Λιθίου για φορητούς υπολογιστές, όπου οι κυψέλες συνδέονται ανά δύο παράλληλα ενώ στην συνέχεια τρία από αυτά τα ζευγάρια συνδέονται σε σειρά. Στο Σχήμα 6 περιγράφεται η τυπική μορφή σήμανσης που έχει αναπτυχθεί για συστοιχίες αυτής της μορφής.

Στην περίπτωση όπου κάποιος επιθυμεί να δημιουργήσει την δική του συστοιχία από κυψέλες Λιθίου πολυμερούς, θα βρεθεί υποχρεωτικά αντιμέτωπος με ορισμένα

βασικά προβλήματα. Μία σημαντική δυσκολία είναι ότι ο θετικός ακροδέκτης είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο, οπότε είναι αδύνατη η κόλληση του με κανονικό κολλητήρι. Για να ξεπεραστεί το συγκεκριμένο πρόβλημα, οι κατασκευαστές προσαρμόζουν μία μικρή μεταλλική λωρίδα η οποία είναι δυνατόν να κολληθεί, αλλά σύμφωνα με τον νόμο του Murphay, όταν έρθει η ώρα να συναρμολογήσουμε την συστοιχία ο ακροδέκτης θα βρίσκεται συνήθως στην λάθος πλευρά. Μία καλύτερη μέθοδος είναι να χρησιμοποιήσουμε μία ειδική κόλληση για αλουμίνιο, η οποία όμως δυστυχώς είναι αρκετά ακριβή. Οι λεπτοί ακροδέκτες εξόδου έχουν την τάση να σπάνε εύκολα, οπότε θα πρέπει να προβλεφθεί και κάποια διάταξη συγκράτησης των καλωδίων (Σχήμα 8). Για να απλοποιηθεί η διαδικασία συναρμολόγησης συστοιχιών από κυψέλες, πολλοί κατασκευαστές προσφέρουν σαν πρόσθετο ειδικές πλακέτες στις οποίες είναι δυνατόν να εφαρμόσουμε κανονικές κολλήσεις, ή διαθέτουν τις κυψέλες με τις συνδέσεις έτοιμες επάνω σε μία μικρή πλακέτα.

Καθαρή ισχύς

Δεδομένου ότι οι κυψέλες Λιθίου πολυμερούς διατίθενται σε ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών μεγεθών και είναι δυνατόν να συνδεθούν σε συστοιχίες διαφόρων μορφών, έχουν τελικά εμφανιστεί στην αγορά μονάδες με εξαιρετικά υψηλή ισχύ -με το αντίστοιχο βέβαια τίμημα. Οι δύο συστοιχίες 'Thunder Power' που εικονίζονται στην εισαγωγική φωτογραφία του άρθρου έχουν η κάθε μία χωρητικότητα 6 Ah, ονομαστική τάση 18,5 V, και είναι σε θέση να αντεπεξέλθουν σε συνεχές φορτίο μέχρι 8 C (48 A)! Και οι δύο μπαταρίες μαζί μπορούν να αποδώσουν ισχύ πάνω από 1600 W, παρά το γεγονός ότι το συνολικό τους βάρος είναι μόλις 1,2 kg. Το κόστος αγοράς και των δύο μπαταριών είναι περίπου 750 ευρώ.

Αυτή την στιγμή, ο καλύτερος λόγος τιμής προς απόδοση παρέχεται από τις κυψέλες HDHE με χωρητικότητα 850 mAh, οι οποίες παρουσιάζουν ένα συνολικό βάρος 18 g και παράγονται από την Kokam. Η εκφόρτιση των συγκεκριμένων μπαταριών είναι δυνατόν να φτάσει μέχρι τα 10 C (δηλ. μέχρι 8,5 A) με φορτία αιχμής μέχρι ακόμη και 15 C. Μία ιδιοκατασκευή κολλημένη στο χέρι και αποτελούμενη από τις παραπάνω κυψέλες εικονίζεται στο Σχήμα 9, όπου έξι κυψέλες συνδέονται παράλληλα για να σχηματίσουν μία ομάδα και πέντε τέτοιες ομάδες συνδέονται στην συνέχεια σε σειρά. Η

συστοιχία που προκύπτει (5,1 Ah, 18,5 V, 30 κυψέλες) είναι σε θέση να αποδώσει μέχρι 51 A συνεχές ρεύμα (οι αιχμές του οποίου είναι δυνατόν να φθάνουν μέχρι και τα 76 A), έχει συνολικό βάρος 850 g και συνολικό κόστος περίπου 300 ευρώ.

Ηλεκτρονικά μέρη προστασίας από βραχυκύκλωμα

Για να εξασφαλιστεί ότι δεν θα υποβληθούν σε υπερφόρτωση, οι μπαταρίες Λιθίου θα πρέπει να παρακολουθούνται τόσο κατά την φόρτιση όσο και κατά την εκφόρτιση. Οι διάφορες μετρήσεις έχουν δείξει ότι οι κυψέλες συμπεριφέρονται διαφορετικά μεταξύ τους, τόσο κατά την διαδικασία φόρτισης (Σχήμα 10) όσο και κατά την διαδικασία εκφόρτισης (Σχήμα 11) και για αυτόν ακριβώς τον λόγο είναι απαραίτητη η παρακολούθηση του κάθε στοιχείου χωριστά. Η μπαταρία σαν σύνολο είναι δυνατόν να παρακολουθείται από ένα κύκλωμα στα άκρα των γραμμών σαν αυτό που εικονίζεται στο Σχήμα 12. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε μία μπαταρία με έξι στοιχεία (κυψέλες) η οποία χρειάζεται μόλις δύο επί πλέον καλώδια για να είναι δυνατή η αυτόνομη παρακολούθηση της κάθε κυψέλης. Αυτή την στιγμή δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο σχετικά με το πως θα πρέπει να υλοποιείται η προσθήκη των επί πλέον συνδέσεων. Ορισμένοι κατασκευαστές χρησιμοποιούν πολλαπλούς συνδέσμους (Σχήμα 13), ενώ κάποιο άλλοι προτιμούν να χρησιμοποιήσουν απλώς έναν επί πλέον σύνδεσμο (Σχήμα 14).

Κατά την διάρκεια της φόρτισης, στις επιπρόσθετες εξόδους συνδέεται ένα κύκλωμα το οποίο καλείται 'ισοσταθμιστής λιθίου πολυμερούς' (Σχήμα 15) και σκοπός του είναι να παρακολουθεί την κάθε κυψέλη. Οι ισοσταθμιστές δρομολογούν το ρεύμα έξω από τα στοιχεία που έχουν φορτιστεί πλήρως, οπότε προστατεύουν τις κυψέλες (ή τις ομάδες κυψελών, εφ' όσον είναι συνδεδεμένες παράλληλα) από υπερφόρτιση. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να φορτίσουμε το σύνολο της μπαταρίας σε μεγαλύτερο βαθμό, εκτρέποντας το ρεύμα από τις κυψέλες που είναι φορτισμένες προς αυτές που έχουν περαιτέρω δυνατότητα αποθήκευσης φορτίου. Οι ίδιοι οι ισοσταθμιστές δεν παρέχουν προστασία από βραχυκύκλωμα, αυτό όμως που επιτυγχάνουν είναι η διατήρηση των κυψελών σε αρμονία φορτίου μεταξύ τους καταφέροντας τελικά να αποθηκεύσουν περισσότερη ενέργεια. Τα κυκλώματα παρα-

κολούθησης επί μέρους στοιχείων σε συστοιχίες μπαταριών είναι ακόμη σε εξέλιξη. Σε γενικές γραμμές, τα αντίστοιχα κυκλώματα διακόπτουν την εκφόρτιση της μπαταρίας σαν σύνολο όταν η τάση στα άκρα του κάθε στοιχείου φτάσει τα 3 V. Οι κυψέλες Λιθίου πολυμερούς είναι δυνατόν να υποστούν ανεπανόρθωτη βλάβη εάν κατά την εκφόρτιση η τάση πέσει κάτω από 2,5 V, οπότε το κατώφλι των 3 V εξασφαλίζει και ένα όριο ασφαλείας απέναντι σε τυχόν διακύμανση μεταξύ των διαφόρων κυψελών στην αντίστοιχη συστοιχία.

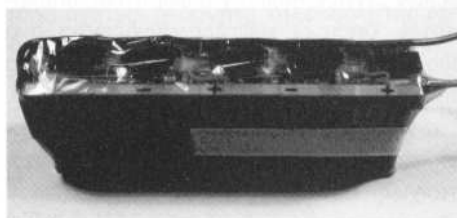
Τεχνικές φόρτισης

Οι μπαταρίες Λιθίου φορτίζονται όπως και οι μπαταρίες μολύβδου σε σταθερό ρεύμα. Ο φορτιστής θα πρέπει απλά να παράσχει μία σταθερή τάση 4,1 V ανά κυψέλη για μπαταρίες ιόντων Λιθίου με κάθοδο λιθίου οξειδίου του κοβαλτίου, ή 4,2 V ανά κυψέλη για μπαταρίες Λιθίου πολυμερούς, με μία ανοχή της τάξης των 0,05 V ανά κυψέλη. Το ρεύμα δίνεται από την σχέση

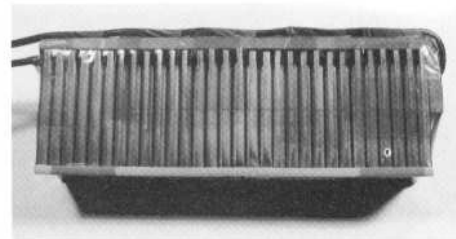
$$I = (U_{\text{charger}} - U_{\text{batt}}) / R_{\text{batt}}$$

και τείνει προς το μηδέν όταν η μπαταρία φορτίζει πλήρως. Η υπερφόρτιση είναι κατ' αρχάς αδύνατη, και η μπαταρία είναι δυνατόν να παραμείνει συνδεδεμένη με τον φορτιστή για όσο χρόνο θέλουμε. Παρ' όλα αυτά όμως και για λόγους ασφαλείας, μία μπαταρία Λιθίου δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να παραμείνει υπό φόρτιση χωρίς επίτηρηση.

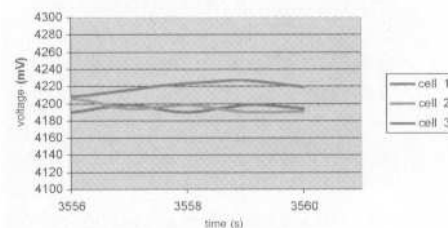
Για να μην είναι το ρεύμα φόρτισης ιδιαίτερα υψηλό κατά την εκκίνηση της φόρτισης (δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 1 C), οι φτηνοί φορτιστές απλώς ενσωματώνουν μία κατάλληλη εσωτερική αντίσταση. Σε πιο εξελιγμένους φορτιστές θα βρούμε ένα κανονικό κύκλωμα περιορισμού ρεύματος. Τελικά, η κατασκευή ενός φορτιστή για μπαταρίες Λιθίου δεν είναι τρομερά δύσκολη υπόθεση. Στο Σχήμα 16 έχουμε τον φορτιστή LiPo402 της Kokam, ο οποίος είναι τόσο μικρός που χωράει ακόμη και στην



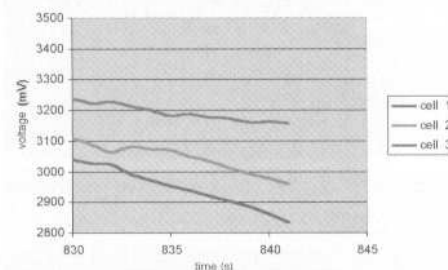
Σχήμα 13. Στην έξοδο εμφανίζονται επί πλέον συνδέσεις, οι οποίες επιτρέπουν την παρακολούθηση των κυψελών χωριστά.



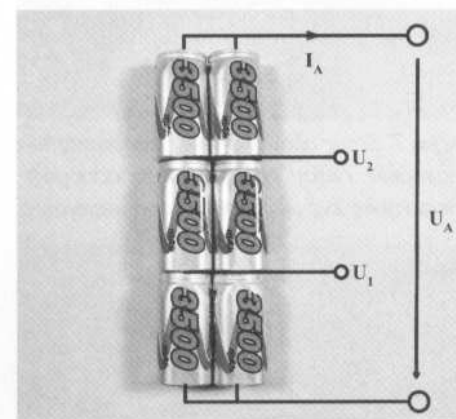
Σχήμα 9. Μία μπαταρία ιδιοκατασκευή, η οποία αποτελείται από τριάντα κυψέλες 850 mAh σε συνδεσμολογία 5S6P. Η συστοιχία των 5,1 Ah και 18,5 V είναι σε θέση να δώσει ρεύματα μέχρι 10 C (51 A).



Σχήμα 10. Οι κυψέλες σε μία μπαταρία Λιθίου πολυμερούς μπορούν να φτάσουν την ανώτατη τάση κατωφλίου ξεχωριστά.



Σχήμα 11. Οι κυψέλες συμπεριφέρονται επίσης διαφορετικά και κατά την εκφόρτιση, οπότε θα πρέπει να παρακολουθούνται ξεχωριστά.



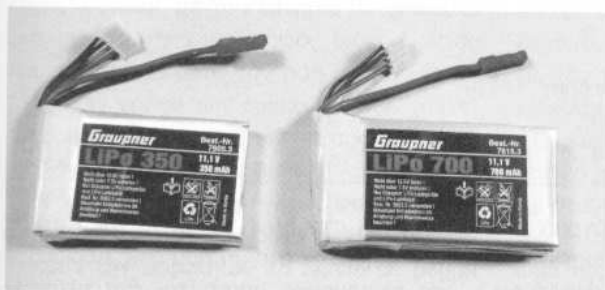
Σχήμα 12. Οι κυψέλες Λιθίου είναι δυνατόν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα. Στο διπλανό Σχήμα περιγράφεται η αρχή λειτουργίας με κυψέλες NiMH.

Λίγα λόγια για τον συντάκτη του άρθρου

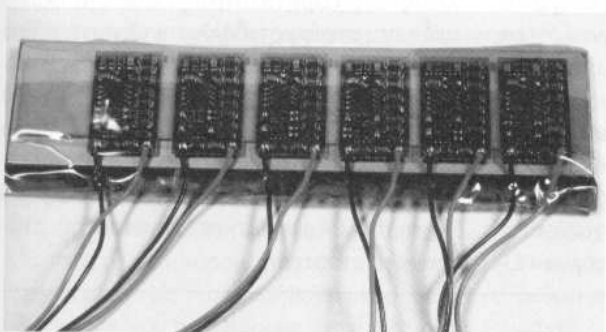
Ο Ulrich Passern γεννήθηκε 52 χρόνια μετά την πρώτη πτήση με κινητήρα των αδελφών Wright. Επηρεασμένος από τον πατέρα του ο οποίος ήταν αεροπόρος, ανέπτυξε σε μικρή ηλικία το πάθος για την κατασκευή και την πτήση μοντέλων αεροσκαφών. Στην επαγγελματική του ζωή ανακάλυψε το δεύτερο πάθος του: τα ηλεκτρονικά. Έπειτα από τις σπουδές του σαν Ηλεκτρολόγος Μηχανικός ξεκίνησε την καριέ-

ρα του σε μία μεγάλη εταιρεία υπολογιστών. Στην συνέχεια ίδρυσε την δική του εταιρεία συμβούλων για τεχνολογίες μετρήσεων και η κατασκευή μοντέλων συνδυάστηκε με το επάγγελμα για να αναπτύξει μία διάταξη ελέγχου για μπαταρίες, η οποία μάλιστα αργότερα εξελίχθηκε σε φορτιστή ελεγχόμενο από υπολογιστή και έτυχε μεγάλης αποδοχής τόσο στον τομέα της βιομηχανίας όσο και στον τομέα κατασκευής μοντέλων. Παράλ-

ληλα ο Ulrich εργάζεται στο πεδίο των υπολογιστών και σε τακτά χρονικά διαστήματα πραγματοποιεί δοκιμές σε μπαταρίες και φορτιστές, τα αποτελέσματα των οποίων δημοσιεύονται στο Γερμανικό περιοδικό μοντελισμού FMT.



Σχήμα 14. Οι μπαταρίες Λιθίου πολυμερούς της Graubner είναι εξοπλισμένες με ένα ειδικό σύνδεσμο ο οποίος επιτρέπει την παρακολούθηση των κυψελών χωριστά.



Σχήμα 15. Τα κυκλώματα ισοστάθμισης σε μία μπαταρία Λιθίου πολυμερούς προστατεύουν την μπαταρία από υπερφόρτιση και διατηρούν τις κυψέλες σε ισορροπία μεταξύ τους.



Σχήμα 16. Ο LiPo402 από την Kokam αποτελεί ένα μοντέρνο - συμπαγή φορτιστή για μπαταρίες Λιθίου πολυμερούς.

τσή μας. Πρόκειται για ένα φορτιστή ελεγχόμενο από μικροελεγκτή, ο οποίος έχει την δυνατότητα να προσαρμοστεί σε διαφορετικούς τύπους μπαταριών Λιθίου πολυμερούς και η τιμή του κυμαίνεται γύρω στα 75 ευρώ. Εννοείται βέβαια ότι ο οποιοσδήποτε μπορεί να κατασκευάσει τον δικό του φορτιστή, αρκεί να δώσει την απαραίτητη προσοχή ώστε να ελέγχει αποτελεσματικά τις τιμές κατωφλίου τάσης και ρεύματος.

Γήρανση

Οι μπαταρίες Λιθίου παρουσιάζουν σε γενικές γραμμές πολύ χαμηλή αυτο-εκφόρτιση και είναι δυνατόν να αποθηκευτούν για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να απαιτούν ιδιαίτερη φροντίδα.

Το αναπόφευκτο φαινόμενο της γήρανσης μπορεί να ελαττωποιηθεί εάν εκφορτιστούν στο 20 % του ονομαστικού τους φορτίου και αποθηκευτούν σε ένα χώρο δροσερό και χωρίς υγρασία (σε θερμοκρασία περίπου 10 °C). Το σύνολο των κύκλων φόρτισης των σύγχρονων μπαταριών Λιθίου είναι παρόμοιο με αυτό των παλαιότερων: ένα πλήθος από 300 έως 500 κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης αναμένεται να επιτευχθεί με σχετική ευκολία εφ' όσον η μπαταρία δεν υπόκειται σε κακή χρήση.

Πάντως το φαινόμενο 'μνήμης' ή 'αδράνειας' που παρατηρούμε σε μπαταρίες με βάση το Νικέλιο δεν εμφανίζεται σε μπαταρίες Λιθίου, οπότε και δεν είναι απαραίτητη η πλήρης εκφόρτιση τους πριν την κάθε φόρτιση.

Το μέλλον

Οι απαιτήσεις των σύγχρονων φορητών συσκευών σε ισχύ αυξάνει αδιάκοπα, και οι ερευνητές σε όλο τον κόσμο συνεχίζουν με πυρετώδεις ρυθμούς την έρευνα κατευθυνόμενοι προς μία εντελώς νέας μορφής πηγή ενέργειας: πρόκειται για την μικροσκοπική κυψέλη καυσίμου.

Το 2003, η Ιαπωνία αξιολόγησε την κυψέλη καυσίμου ως μία από τις έξι πλέον σημαντικές τεχνολογίες για την οικονομία της χώρας. Σχεδόν ταυτόχρονα με την ανακοίνωση της συγκεκριμένης απόφασης τρεις Ιαπωνικές εταιρείες ανακοίνωναν τα σχέδια τους: οι NEC, Toshiba και Hitachi έχουν ήδη αναπτύξει στα εργαστήρια τους λειτουργικές κυψέλες καυσίμου και μελετούν ένα σχέδιο μαζικής παραγωγής. Ένα αντίστοιχο μάλιστα μοντέλο PDA της Hitachi (τροφοδοτούμενο από κυψέλη καυσίμου) αναμένεται να παρουσιαστεί στην αγορά μέσα στο 2005.

Η εταιρεία κατασκευής κινητών τηλεφώνων Nokia βρίσκεται ήδη σε διαδικασίες δοκιμών ακουστικών Bluetooth τα οποία τροφοδοτούνται από μία κυψέλη καυσίμου. Για να αποδειχθεί μάλιστα η καταλληλότητά τους για καθημερινή χρήση, οι συγκεκριμένες συσκευές χρησιμοποιούνται σε καθημερινή βάση από εκατό περίπου υπαλλήλους της εταιρείας.

Ο μακροπρόθεσμος στόχος των Ιαπώνων κατασκευαστών είναι να αντικαταστήσουν όλες τις σημερινές μπαταρίες με αντίστοιχες μπαταρίες από κυψέλες καυσίμου με το κατάλληλο μέγεθος. Το πιο πιθανό βέβαια είναι να δούμε τους διάφορους τύπους μπαταριών να συνυπάρχουν, όπως άλλωστε έχει αποδειχθεί με την -πάνω από εκατό χρόνια ιστορία- των μπαταριών μολύβδου-οξέος. Απ' ότι δείχνουν πάντως τα πράγματα, οι φορητές πηγές έχουν μπροστά τους ένα λαμπρό μέλλον. (040168-1)

Σύγκριση ενεργειακών χωρητικότητων

Κάτω από κανονικές συνθήκες, η χωρητικότητα μίας μπαταρίας αναφέρεται σε Αμπερ-ώρα (Ah). Χρησιμοποιώντας την συγκεκριμένη μονάδα μας δίνεται η δυνατότητα να προσδιορίσουμε σχεδόν άμεσα την χρονική διάρκεια για την οποία η μπαταρία θα μας τροφοδοτεί με ρεύμα πάνω σε ένα συγκεκριμένο φορτίο.

Για να υπολογίσουμε για παράδειγμα χω-

ντρικά την διάρκεια για την οποία θα λειτουργήσει ένας λαμπτήρας 21 W τροφοδοτούμενος από μία μπαταρία 44 Ah έχουμε:

$$I = P / U = 21 \text{ W} / 12 \text{ V} = 1,75 \text{ A}$$

και

$$44 \text{ Ah} / 1,75 \text{ A} = 25,1 \text{ h}$$

Για να μπορέσουμε όμως να συγκρίνουμε

μπαταρίες με διαφορετικές τάσεις ακροδεκτών είναι καλύτερα να δουλεύουμε με την ενεργειακή χωρητικότητα της κυψέλης εκφρασμένη σε Watt-second ή Watt-hour (Wh), και την ειδική ενέργεια εκφρασμένη σε Wh/kg. Η συχνά (λανθασμένα) χρησιμοποιούμενη 'ενεργειακή πυκνότητα', αναφέρεται μάλλον στην ενέργεια ανά όγκο μονάδας παρά ανά μάζα μονάδας.

Διευθύνσεις στο διαδίκτυο

Στις διευθύνσεις που ακολουθούν, αναφέρονται εκτενείς πληροφορίες σχετικά με τις μπαταρίες Λιθίου, όσον αφορά τα κυκλώματα προ-

στασίας και τους φορτιστές:

<http://www.PowerBox-Systems.com>

<http://www.graupner.de>

<http://www.ikarus-modellbau.de>

Μπαταρίες Λιθίου-Θείου

Μία διαφορετική εξέλιξη στον χώρο της τεχνολογίας μπαταριών, έχει να κάνει με την κατηγορία μπαταριών Λιθίου-Θείου (Li-S) στην οποία η τάση κυψέλης είναι 2,1 V. Η συγκεκριμένη κατηγορία δεν θα πρέπει να συγχέεται με την τεχνολογία λιθίου-διοξειδίου του θείου (LiSO₂).

Η εταιρεία Sion (www.sionpower.com) έχει αναπτύξει ένα πρωτότυπο το οποίο έχει ονομαστική ειδική ενέργεια 350 Wh/kg. Αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα εάν το συγκρίνουμε με τις τεχνολογίες που είναι αυτή την στιγμή διαθέσιμες στην αγορά. Οι κυψέλες NiMH για παράδειγμα που

χρησιμοποιούνται στο υβριδικό όχημα Prius της Toyota παρουσιάζουν ειδική ενέργεια μόλις 46 Wh/kg. Η σχετικά υψηλή ειδική ενέργεια δεν αποτελεί πάντως το μοναδικό πλεονέκτημα της εν λόγω τεχνολογίας. Οι μπαταρίες Li-S έχουν την δυνατότητα να παράσχουν πολύ υψηλά ρεύματα, λειτουργούν χωρίς πρόβλημα σε ακραίες θερμοκρασίες και -σημαντικότερο απ' όλα- έχει πλήρη ανοσία στην υπερφόρτιση.

Βέβαια είναι λογικό να παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα συγκρινόμενες με μπαταρίες άλλων τεχνολογιών: μετά από 350 με 400 κύκλους χρήσης, η χωρητικότητα των πλέον σύγχρονων μπαταριών Li-

S πέφτει στο 80 % περίπου της αρχικής της τιμής, την στιγμή που στις περισσότερες εφαρμογές απαιτείται ένα ελάχιστο πλήθος 350 κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης (ενώ ως ο επιθυμητός στόχος αντιμετωπίζονται οι 500 κύκλοι).

Ένας από τους λόγους της ταχείας απώλειας της χωρητικότητας είναι ένα φαινόμενο στο οποίο μεταβάλλεται με αργό ρυθμό η σύνθεση της υγρής καθόδου. Κατά την εκφόρτιση σχηματίζεται ένα λεπτό φιλμ επάνω στο σταθερό ηλεκτρόδιο το οποίο επηρεάζει τις χαρακτηριστικές της μπαταρίας. Τελικά, είναι πράγματι δύσκολο να διατηρηθεί η κυψέλη σε μία σταθερή, αποδοτική κατάσταση.

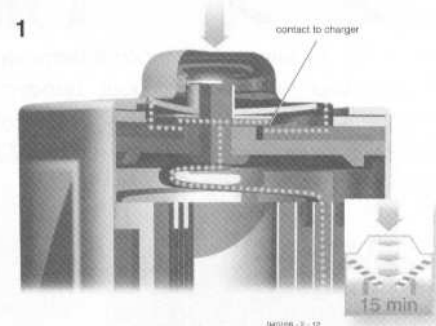
Κυψέλες NiMH με διακόπτη πίεσης

Οι επαναφορτιζόμενες κυψέλες που βασίζονται στο Νικέλιο είναι ιδανικές για την τροφοδοσία ηλεκτρονικών συσκευών όπως είναι οι φορητοί MP3, οι κινητές συσκευές επικοινωνίας και οι ψηφιακές κάμερες, οι οποίες απαιτούν από τις κυψέλες υψηλά ρεύματα για μικρές χρονικές περιόδους.

Στην άλλη πλευρά του νομίσματος έχουμε τον απαιτούμενο χρόνο φόρτισης, ή για να το πούμε διαφορετικά, το υψηλό κόστος του 'έξυπνου' φορτιστή ο οποίος θα είναι σε θέση να φορτίσει τις μπαταρίες γρήγορα χωρίς -το ίδιο γρήγορα- να τις καταστρέψει. Ένας τέτοιος έξυπνος φορτιστής πρέπει οπωσδήποτε να περιλαμβάνει ένα μικροελεγκτή και αισθητήρες θερμοκρασίας. Η χρήση βέβαια μικροελεγκτών με ενσωματωμένους αισθητήρες καθιστούν την μονάδα σχετικά μικρότερη και φθηνό-

τερη, αλλά το επόμενο βήμα που έχει να κάνει με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας στις ίδιες τις κυψέλες δεν υλοποιήθηκε λόγω κόστους.

Η Rayovac (Varta) ανέπτυξε πρόσφατα μία κυψέλη την οποία καλεί 'κυψέλη I-C3' ('In-Cell Charge Control', έλεγχος φόρτισης εντός της κυψέλης), η οποία είναι δυνατόν να φορτιστεί εντός 15 λεπτών χωρίς να απαιτείται η χρήση έξυπνου φορτιστή, ενώ χάρη στην βελτιστοποιημένη κατασκευή της παρέχει επίσης μεγαλύτερους χρόνους εκφόρτισης. Μέσα στην κυψέλη δεν υπάρχουν καθόλου ηλεκτρονικά κυκλώματα αντ' αυτών υπάρχει ένας μηχανικός διακόπτης πίεσης. Η συγκεκριμένη λύση δεν είναι μόνον οικονομική, αλλά και πραγματικά κομψή. Η πίεση εντός της κυψέλης αποτελεί σε σύγκριση με την θερμοκρασία ή

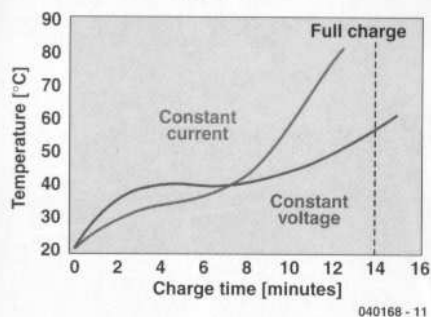


την τάση, καλύτερο μέτρο της κατάστασης της. Όταν λοιπόν η πίεση φθάσει μία προκαθορισμένη τιμή (στην περιοχή των 1000 kPa έως 3500 kPa), ένας δίσκος με ελατήριο που βρίσκεται στην άνοδο, διακόπτει την σύνδεση. Η κυψέλη θεωρείται ότι πλέον είναι πλήρως φορτισμένη.

Στο Σχήμα 1 περιγράφεται η συγκεκριμένη διάταξη με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, στην φάση που η κυψέλη φορτίζει. Την

2 Rapid charging

Consumer AA cell 1,700 mAh



040168 - 11

στιγμή που η κυψέλη έχει φορτίσει πλήρως, ο δίσκος με το ελατήριο μετακινείται και απομακρύνει τις επαφές, διακόπτοντας με τον τρόπο αυτό την ροή ρεύματος.

Με την χρήση των συγκεκριμένων (πατενταρισμένων) διακοπών πίεσης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν απλοί -και κατά συνέπεια φθινοί- γρήγοροι φορτιστές οι οποίοι θα έχουν την δυνατότητα να φορτίσουν την κυψέλη σε 15 λεπτά με ρεύμα φόρτισης μέχρι 7,5 A, χωρίς να προκαλείται οποιαδήποτε μόνιμη βλάβη ή μείωση στην διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Ακόμη και η επαναφόρτιση μισο-εκφορτισμένων

μπαταριών δεν αποτελεί πρόβλημα, δεδομένου ότι η διαδικασία της φόρτισης διακόπτεται με αξιοπιστία όταν η κυψέλη φορτιστεί πλήρως. Το κόστος του κυκλώματος φόρτισης είναι φθηνότερο κατά 30 % έως 50 % σε σχέση με τους συμβατικούς φορτιστές ταχείας φόρτισης. Οι μπαταρίες παρουσιάζουν επίσης υψηλότερη χωρητικότητα (μέγεθος AA 2,0 Ah, μέγεθος AAA 0,8 Ah), ενώ δεν είναι και σημαντικά ακριβότερες σε σχέση με τις 'κανονικές' μπαταρίες NiMH. Για την απορρόφηση των αερίων που αναπτύσσονται κατά την διαδικασία φόρτισης απαιτείται μόλις το μισό ποσό υλικού στην άνοδο, οπότε η κάθοδος είναι δυνατόν να γίνει μεγαλύτερη αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την χωρητικότητα της κυψέλης.

Οι κυψέλες I-C3 δεν φορτίζονται σε κανονικό φορτιστή με σταθερό ρεύμα αλλά με σταθερή τάση, διότι με τον τρόπο αυτό η αύξηση της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της φόρτισης είναι μικρότερη (Σχήμα 2). Για λόγους ασφαλείας ο φορτιστής I-C3 περιλαμβάνει επίσης ένα χρονόμετρο το οποίο μετά την παρέλευση 15 λεπτών, διακόπτει την φόρτιση. Το τελευταίο μέ-



τρο ασφαλείας είναι μία εξωτερική θυρίδα όπως αυτές που χρησιμοποιούνται στις κανονικές μπαταρίες τύπου NiMH, η οποία κάτω από εξαιρετικά υψηλή πίεση ανοίγει έτσι ώστε να αποτραπεί η καθ' οιονδήποτε τρόπο ρήξη της κυψέλης.

Μπαταρίες ψευδαργύρου πολυμερούς

Η Αμερικανική εταιρεία Zinc Matrix Power (www.zmp.com) διαθέτει μία νέα επαναφορτιζόμενη μπαταρία με ονομαστική τάση κυψέλης 1,5 V, η οποία βασίζεται στον ψευδάργυρο, ένα υλικό το οποίο στο παρελθόν έχει κατά κόρον χρησιμοποιηθεί στις μπαταρίες. Με την βοήθεια ενός ειδικά αναπτυγμένου πολυμερούς, επιτυγχάνονται χωρητικότητες μέχρι και 240 Wh/kg. Το πολυμερές είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτρέπει την συσσώρευση γύρω από την κυψέλη των οξειδίων

ψευδαργύρου που παράγονται κατά την εκφόρτιση. Χωρίς την παρουσία του πολυμερούς, την ώρα της εκφόρτισης ο ψευδάργυρος θα επικαθόταν τυχαία επάνω στην άνοδο, μειώνοντας την ενεργή της επιφάνεια και ως εκ τούτου μειώνοντας και το ρεύμα που η κυψέλη είναι σε θέση να παράγει.

Πέραν αυτού όμως, υπάρχει ένα ακόμη φαινόμενο το οποίο δυσχεραίνει την χρήση ψευδαργύρου σε μπαταρίες: η τάση φόρτισης υποχρεώνει το νερό του ηλεκτρολύ-

τη να διασπαστεί σε οξυγόνο και υδρογόνο, οπότε (και εφ' όσον δεν έχουν ληφθεί μέτρα προστασίας) η κυψέλη σιγά-σιγά στεγνώνει. Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι για να αποτραπεί η απελευθέρωση υδρογόνου θα πρέπει να προστίθενται βαρέα μέταλλα τα οποία είναι επιβαρυντικά για το περιβάλλον. Στην παρούσα φάση, γίνεται μία προσπάθεια χρήσης προσθέτων που να είναι περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον, τα οποία όμως προς το παρόν αποδεικνύονται κατάλληλα μόνον για 'κανονικές' κυψέλες και όχι για επαναφορτιζόμενες.

Ηλεκτρικά αεροσκάφη

Είναι γεγονός ότι τα ηλεκτροκίνητα αεροσκάφη μοντελισμού δεν αποτελούν πλέον σπάνιο είδος. Αυτό που είναι όμως λιγότερο γνωστό είναι ότι έχουν πλέον αρχίσει να μπαίνουν σε μαζική παραγωγή ηλεκτροκίνητα αεροσκάφη για επανδρωμένες πτήσεις. Η πρώτη επανδρωμένη πτήση ηλεκτροκίνητου αεροσκάφους έγινε το 1973 από ένα Αυστριακό ανεμοπλάνο τύπου 'κοράκι' (Crow) HB-3, το οποίο εκινείτο από ένα κινητήρα συνεχούς 10 kW της Bosch και τροφοδοτείτο από ένα πακέτο μπατα-

ριών NiCd της Varta με συνολικό βάρος 125 kg. Ο κατασκευαστής το όνομα του οποίου ήταν Heino Brditschka οδήγησε ο ίδιος το αεροσκάφος σε μία πτήση εννέα λεπτών, και έφτασε σε ένα μέγιστο ύψος 300 μέτρων.

Στην κατηγορία των αεροσκαφών που παράγονται με διαδικασίες μαζικής παραγωγής είναι και τα ανεμοπλάνα με κινητήρα. Παρά τις σημαντικές εξελίξεις όμως στην τεχνολογία των μπαταριών, τα αεροσκάφη που κινούνται αποκλειστικά από ηλεκτρικούς κινητήρες περιορίζονται σε μικρές προκαθορισμένες πτήσεις και η αλήθεια

είναι ότι θα χρειαστεί να περάσει αρκετός καιρός μέχρι οι πελάτες τους να 'αυγατίσουν'. Τα πράγματα όμως διαφέρουν αρκετά σε μία άλλη κατηγορία σύγχρονων ανεμοπλάνων τα οποία διαθέτουν ένα μηχανισμό που επιτρέπει στον κινητήρα και την προπέλα να 'ενσωματωθούν' πλήρως μέσα στην άτρακτο και πίσω από το πιλοτήριο. Η ισχύς του κινητήρα χρειάζεται μόνον κατά την απογείωση για να αποκτήσει το ανεμοπλάνο το ύψος που απαιτείται για την ανεμοπορεία, ή για υποδομή στην περίπτωση απουσίας ρευμάτων αέρα, και στο τέλος της πτήσης για να αποφευχθεί η

προσγείωση μακριά από την βάση όταν τα θερμικά ανοδικά ρεύματα εξασθενήσουν.

Η συμβατική εναλλακτική λύση του προαναφερθέντος ηλεκτρικού κινητήρα είναι ένας βενζινοκίνητος δίχρονος κινητήρας σχετικά μικρής ισχύος με ένα μικρό δοχείο καυσίμου. Η λύση όμως αυτή παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα τα οποία δεν υφίστανται στα ηλεκτρικά συστήματα. Μεταξύ των μειονεκτημάτων αυτών περιλαμβάνεται ο θόρυβος, η μη αξιόπιστη λειτουργία (ειδικά κατά την εκκίνηση), η απαραίτητη παρουσία μίας ηλεκτρικής μίζας, ενός συστήματος φρένου για την προπέλα καθώς επίσης και κάποιας διάταξης που θα σταματάει την προπέλα στην κατάλληλη θέση, και όλα αυτά σε ένα πολύ μικρό χώρο. Αντίθετα, ο ηλεκτρικός κινητήρας αποτελεί μία πολύ

πιο κομψή και βολική λύση. Δυστυχώς βέβαια η μπαταρία δεν είναι τόσο μικρή και ελαφριά όσο ένα δοχείο καυσίμου, ενώ αποθηκεύει και λιγότερη ενέργεια. Από την άλλη όμως, εάν έχουμε ένα ηλεκτρικό σύστημα το οποίο είναι σε θέση να δώσει αρκετή ισχύ για τις συγκεκριμένες -και περιορισμένες- απαιτήσεις του ανεμοπλάνου, τότε η επιτυχία του στην αγορά είναι απλώς θέμα τιμής.

Το πρώτο ανεμοπλάνο με ηλεκτρικό αναδιπλούμενο κινητήρα ήταν το Silent AE-1 της Air Energy στο Άαχεν της Γερμανίας (www.airenergy.de), το οποίο πραγματοποιήσε την παρθενική του πτήση το 1997 και πιστοποιήθηκε από τον αντίστοιχο οργανισμό της Γερμανίας ως υπέρ-ελαφρύ αεροσκάφος (άνοιγμα πτερυγίων 12 m και καθαρό βάρος 200 kg) το 1998. Ο ηλεκτρικός κινητήρας έχει ονομαστική ισχύ 13 kW και το βάρος του είναι 8,5 kg, ενώ οι μπαταρίες NiMH που τον τροφοδοτούν ζυγίζουν 40 kg και είναι σε θέση να αποθηκεύσουν 1,4 kWh. Η εταιρεία Air Energy εργάζεται αυτήν στιγμή σε μία εξελιγμένη διάταξη η οποία χρησιμοποιεί μπαταρίες ιόντων Λιθίου με σημαντικά μεγαλύτερη χωρητικότητα.

Η μετάπτωση από τις μπαταρίες NiMH προς τις μπαταρίες Li-ion έχει ήδη υλοποιηθεί από την Lange Flugzeugbau στο Zweibrücken της Γερμανίας (www.lange-flugzeugbau.com) στο κινητήριο ανεμοπλάνο Antares της εταιρείας. Σ' αυτό εφαρμόζονται με βέλτιστο τρόπο όλες οι τελευταίες τεχνολογίες και αποτελεί σημείο αναφοράς στην συγκεκριμένη κατηγορία αε-



ροσκαφών. Το σύστημα προώθησης χρησιμοποιεί ένα κινητήρα συνεχούς με μόνιμους μαγνήτες και εξωτερικό στροφέα, η ονομαστική ισχύς του οποίου είναι 42 kW, η ροπή στρέψης είναι 250 Nm και η απόδοση φτάνει το 98,5 % (!) ενώ το βάρος περιορίζεται στα μόλις 28 kg. Ο συγκεκριμένος κινητήρας αναπτύχθηκε από την HTA στο Biel της Ελβετίας και για την τροφοδοσία του χρησιμοποιούνται 72 κυψέλες Li-ion της Saft (www.saft.fr), τύπου VL 41 M. Η κάθε κυψέλη έχει χωρητικότητα 39 Ah στα 3,6 V, και το σύνολο φτάνει τις 10,1 kWh στα 260 V με συνολικό βάρος περίπου 76 kg.

Το ανεμοπλάνο Antares είναι σε θέση να ανέλθει σε ύψος 1000 m σε μόλις τέσσερα λεπτά και στο μέγιστο ύψος των 3000 m σε 13 λεπτά.

Χωρίς θερμικά ρεύματα το συγκεκριμένο ύψος είναι αρκετό για 1,5 ώρες ανεμοπορείας με συνολική εμβέλεια πάνω από 150 km. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα αναλαμβάνουν το σύστημα προώθησης, το σύστημα ελέγχου την παρακολούθηση της μπαταρίας ενώ περιλαμβάνουν και ένα σύστημα φόρτισης (χρόνος φόρτισης 8 h στα 230 V). Οι κυψέλες VL της Saft που χρησιμοποιούνται εδώ αναμένονται να ξεπεράσουν τους 1000 κύκλους σε μία συνολική χρονική διάρκεια χρήσης 11 ετών. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις κυψέλες και ένα αντίστοιχο φυλλάδιο δεδομένων μπορεί κανείς να προμηθευτεί από την διεύθυνση www.saft.fr στο διαδίκτυο.

Το μυαλό βέβαια των ερευνητών δεν παύει να στρέφεται στο ενδεχόμενο ηλεκτρικών αεροσκαφών τροφοδοτούμενων από κυψέλες καυσίμου.

Μία Αμερικάνικη ομάδα η οποία εργάζεται με την υποστήριξη της Boeing, εξέδωσε μία ανακοίνωση στην οποία δήλωνε ότι μία πρώτη τέτοια δοκιμή θα υλοποιείτο στις 17 Δεκεμβρίου του 2003 (η εκατοστή επέτειος της πρώτης πτήσης αεροσκάφους με κινητήρα). Μέχρι στιγμής πάντως δεν έχουν υπάρξει ενδείξεις επιτυχούς πτήσης αυτής της μορφής.

