



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΤΗΣ
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΤΥΠΟΥ
ΛΙΘΙΟΥ, Ni-Cd ΚΑΙ Ni-MH**

Σαλούστρος Βασίλειος

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής, Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος (Επιβλέπων)

Αναπλ. Καθηγητής, Ευύχιος Κουτρούλης

Αναπλ. Καθηγητής, Φώτιος Κανέλλος

Χανιά Σεπτέμβριος 2020

Περίληψη

Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην καθημερινότητα. Ανάγκη για αυτόνομη πηγή ενέργειας αναζητούν σχεδόν όλες οι νέες εφαρμογές, οι οποίες αναπτύσσονται. Για λόγους οικονομίας, λοιπόν, η χρήση επαναφορτιζόμενων μπαταριών είναι αυξανόμενη. Στη διπλωματική αυτή περιγράφεται η σχεδίαση και ανάπτυξη ενός ψηφιακού συστήματος, το οποίο θα μετράει και θα εμφανίζει την χωρητικότητα της εξεταζόμενης μπαταρίας και θα επιτρέπει στο χρήστη να γνωρίζει την αντοχή και την ποιότητα της συγκεκριμένης μπαταρίας με σκοπό την αντικατάστασή της. Στην εργασία παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των τύπων των μπαταριών, οι οποίοι απασχολούν την παρούσα εργασία. Γίνεται περιγραφή της λειτουργίας των μπαταριών, μια σύγκριση για κάθε τύπο και πώς συμπεριφέρεται η κάθε μπαταρία, όταν χρησιμοποιείται. Παρουσιάζονται επίσης και τα προβλήματα που προκύπτουν, από την χρήση αυτή. Έπειτα ακολουθεί τεχνική περιγραφή της διάταξης που υλοποιήθηκε, για τη βελτίωση της χρήσης των μπαταριών καθώς και η σύγκρισή της με άλλες μεθόδους. Μετά από δοκιμές με 3 διαφορετικούς τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που χρειάζονται για τη λήψη σωστής απόφασης όσον αφορά στην καλή κατάσταση της μπαταρίας.

Abstract

Batteries are increasingly used in everyday life. Almost all new applications, which are being developed, are looking for a stand-alone energy source. For economic reasons, therefore, the use of rechargeable batteries is increasing. This thesis describes the design and development of a digital system, which will measure and display the capacity of the tested battery and allow the user to know the strength and quality of that battery in order to replace it. The work presents the main characteristics of the types of batteries, which employ the present work. A description of the operation of the batteries is made, a comparison for each type and how each battery behaves when used. The problems arising from this use are also presented. This is followed by a technical description of the device implemented to improve the use of batteries and to compare it with other methods. After testing with 3 different types of rechargeable batteries, the results needed to make the right decision regarding the good condition of the battery are presented.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1. Γενικά	8
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΗΘΕΣΤΕΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	11
1. Βασική λειτουργία και γενικά χαρακτηριστικά	12
1.1 Άνοδος (-).....	12
1.2 Κάθοδος (+).....	12
1.3 Ηλεκτρολύτης	13
2. Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.....	16
3. ΤΥΠΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	20
4. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥΣ	23
4.1 Απώλεια ηλεκτρολύτη	24
4.2 Αντιστοίχιση κυψελών.....	24
4.3 Βραχυκυκλωμένες μπαταρίες.....	25
4.4 Αυτοεκφόρτιση	25
5. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	28
5.1 Η βασική ιδέα	29
5.2 Επιλογή των κατάλληλων ηλεκτρονικών	30

5.3 Υλοποίηση και τεχνικές δυσκολίες.....	31
5.4 Ο κώδικας	33
5.5 Ο τρόπος λειτουργίας.....	35
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ	37
6.1 Τα Αποτελέσματα	36
6.2 Μέτρηση πλήρους κύκλου.....	422
6.3 Μέτρηση «Rapid-test».....	422
6.4 Μέτρηση κατά την φόρτιση	432
6.5 Δείκτης κατάστασης ζωής.....	433
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ	44
7.1 Συμπεράσματα.....	44
7.2 Μελλοντικές εξελίξεις	45
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	47

Κατάλογος Σχημάτων – Πινάκων

1.1 Ενδεικτικά ποσά ζήτησης επαναφορτιζόμενων μπαταριών στις Ηνωμένες Πολιτείες κατά την χρονική περίοδο 1997-2012.....	9
2.1 Αναπαράσταση των κύριων τμημάτων της μπαταρίας.....	13
2.2 Διαδικασία εκφόρτισης μιας κοινής μπαταρίας.....	15
2.3 Διαδικασία φόρτισης επαναφορτιζόμενης μπαταρίας.....	16
2.4 Καμπύλες εκφόρτισης.....	19
4.1 Ρυθμοί εκφόρτισης επαναφορτιζόμενων μπαταριών.....	28
5.1 Λειτουργία PWM του Arduino.....	35
5.2 Διάγραμμα κλάσης του συστήματος.....	36
6.1 Διάγραμμα κατεστραμμένης μπαταρίας Li-Ion.....	40
6.1 Πίνακας αποτελεσμάτων για την μπαταρία Li-Ion.....	41
6.2 Διάγραμμα μέτρησης μπαταρίας Ni-Cd.....	41
6.2 Πίνακας αποτελεσμάτων του τελευταίου ενός λεπτού της μέτρησης της μπαταρίας Ni-d.....	43
6.3 Διάγραμμα μέτρησης μπαταρίας Ni-MH.....	43
6.3 Πίνακας αποτελεσμάτων των τελευταίων λεπτών της μέτρησης μπαταρίας Ni-MH.....	44

1.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

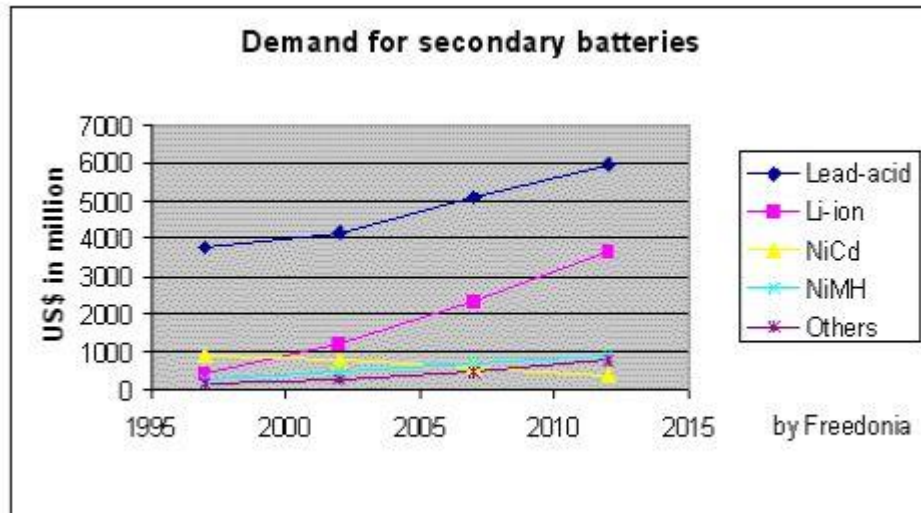
1. Γενικά

Η ενέργεια κάθε μορφής ανέκαθεν αποτελούσε αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας. Για καθεμιά εξέλιξη που συμβαίνει, απαιτείται από μία μέχρι πολλές μορφές ενέργειας. Όσον αφορά στην τεχνολογία όλο και περισσότερες εφαρμογές υλοποιούνται, οι οποίες χρειάζονται και αυτές ενέργεια, για να λειτουργήσουν αυτόνομα. Την ανάγκη αυτή για ενέργεια έρχονται να καλύψουν οι μπαταρίες.

Η μπαταρία είναι μία φορητή πηγή ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιείται με σκοπό να τροφοδοτεί το κύκλωμα στο οποίο εφαρμόζεται. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια λεπτομερής περιγραφή της λειτουργίας και των χαρακτηριστικών των συνηθέστερων τύπων μπαταριών. Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα όμως των κοινών μπαταριών είναι ότι περιέχουν συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας και έτσι κάποια χρονική στιγμή σταματούν να προσφέρουν στο κύκλωμα. Σε μια τέτοια περίπτωση θα πρέπει η μπαταρία αυτή να αντικαθίσταται από μία νέα ίδιου τύπου, με συνέπεια να αυξάνεται το κόστος. Για την εξάλειψη, λοιπόν, του κόστους αυτού χρησιμοποιούνται μπαταρίες επαναφορτιζόμενες, οι οποίες, όταν στερέψουν από ενέργεια παρέχουν τη δυνατότητα επαναφόρτισης έτσι ώστε να είναι σε θέση ξανά να προσφέρουν στο κύκλωμα. Παρόλα αυτά και οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες έχουν και αυτές τα δικά τους μειονεκτήματα. Το μεγαλύτερο μειονέκτημά τους είναι ότι με την χρήση τους, κυρίως την κακή, αυξάνεται η πιθανότητα να μειωθεί η απόδοσή τους.

Στο Κεφάλαιο 4 αναλύονται τα συγκεκριμένα προβλήματα. Για την αγορά ή την αντικατάσταση λοιπόν μιας τέτοιας μπαταρίας πρέπει να είναι σε θέση ο αγοραστής/κάτοχος να εκτιμήσει την υφιστάμενη κατάσταση της μπαταρίας. Σύμφωνα με έρευνες περίπου το 8% των μπαταριών που αποσύρονται ετησίως μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι επαναφορτιζόμενες και ισούται με 14,000

τόνους μπαταριών[1]. Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζεται η αυξανόμενη ζήτηση των επαναφορτιζόμενων μπαταριών πάλι στις Ηνωμένες Πολιτείες.



Σχήμα 1.1: Ενδεικτικά ποσά ζήτησης επαναφορτιζόμενων μπαταριών στις Ηνωμένες Πολιτείες κατά την χρονική περίοδο 1997-2012

Βάσει των παραπάνω και δεδομένου του επιπέδου που έχει φτάσει η τεχνολογία, η ανάγκη για ένα ευνόητο και φορητό σύστημα διάγνωσης της μπαταρίας είναι επιτακτική.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα τέτοιο σύστημα διάγνωσης της κατάστασης στην οποία βρίσκεται η εξεταζόμενη μπαταρία, αλλά πολύ χαμηλού κόστους και με την χρήση μικροεπεξεργαστή (Arduino Uno), που αποτελεί και πρωτοτυπία, σε σχέση με τις λύσεις που υπάρχουν στη βιβλιογραφία μέχρι τώρα. Στο Κεφάλαιο 5 αναλύεται περισσότερο η υλοποίηση και το τεχνικό κομμάτι της διάταξης που παρουσιάζεται.

Για την χρήση της εφαρμογής απαιτείται η εξεταζόμενη μπαταρία να είναι συμβατή με τους τύπους που περιγράφονται στο επόμενο Κεφάλαιο και στον τίτλο της εργασίας και να είναι πλήρως φορτισμένη, πριν τεθεί υπό εξέταση. Στο τέλος

του ελέγχου εμφανίζεται το αποτέλεσμα στην οθόνη και αξιολογείται πλέον η κατάσταση της μπαταρίας .

2.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΗΘΕΣΤΕΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

1. Βασική λειτουργία και γενικά χαρακτηριστικά

Η βασική ιδέα για τη λειτουργία μίας μπαταρίας είναι ίδια για όλους τους τύπους μπαταριών. Αυτά που διαφοροποιούνται είναι τα χημικά που χρησιμοποιούνται, οι αγωγοί, οι ηλεκτρολύτες και το μέγεθος, όπως αναλύονται παρακάτω. Μία μπαταρία, λοιπόν, αποτελείται από 3 κύρια μέρη:

- την **άνοδο (-)**,
- την **κάθοδο (+)** και
- έναν **ηλεκτρολύτη**.

Για να προφυλάξουν τα 3 αυτά μέρη οι περισσότερες μπαταρίες φέρουν ένα είδος εξωτερικής προστασίας σε μορφή θήκης. Και η άνοδος, όπως και η κάθοδος, λειτουργούν ως ηλεκτρόδια, δηλαδή ως αγωγοί του ηλεκτρισμού.

1.1 Άνοδος (-)

Οι χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό της μπαταρίας ανάμεσα στην άνοδο και στον ηλεκτρολύτη παράγουν ηλεκτρόνια στην άνοδο. Έτσι δημιουργείται μια ηλεκτρική διαφορά μεταξύ της ανόδου και της καθόδου με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια να θέλουν να μεταβούν από την άνοδο στην κάθοδο, ώστε να επανέλθουν σε κατάσταση ισορροπίας. Όμως τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να περάσουν μέσα από τον ηλεκτρολύτη και παραμένουν «εγκλωβισμένα» στην άνοδο.

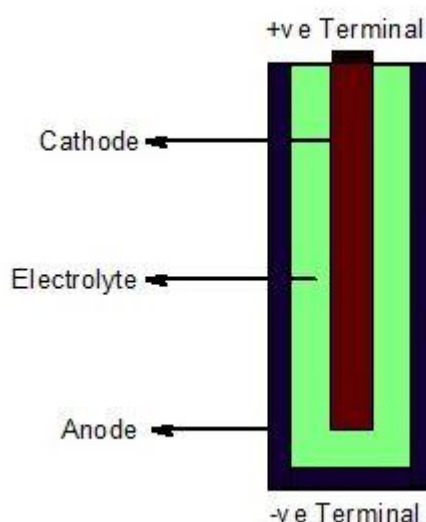
1.2 Κάθοδος (+)

Αντιθέτως, η δημιουργία ηλεκτρονίων στην άνοδο λόγω των χημικών αντιδράσεων προκαλεί τη ζήτηση μίας ποσότητας ηλεκτρονίων στην κάθοδο για την επαναφορά της ισορροπίας, όπως προαναφέρθηκε. Η μόνη διέξοδος των ηλεκτρονίων αυτών, για να μεταβούν από την άνοδο στην κάθοδο, είναι μια εξωτερική σύνδεση, η οποία ονομάζεται (κλειστό) κύκλωμα.

1.3 Ηλεκτρολύτης

Ο ηλεκτρολύτης είναι η ουσία - συνήθως σε υγρή μορφή ή σε μορφή κάποιου gel - η οποία είναι υπεύθυνη για τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην άνοδο και στην κάθοδο. Επίσης, ο ηλεκτρολύτης είναι αυτός που δυσκολεύει την μετάβαση των ηλεκτρονίων από την άνοδο στην κάθοδο στο εσωτερικό της μπαταρίας, και έτσι χρειάζεται κάποιο εξωτερικό κύκλωμα για να διαρρεύσει το ρεύμα. Λόγω της λειτουργίας του, λοιπόν, ο ηλεκτρολύτης είναι ένα σημαντικό στοιχείο της μπαταρίας

Στο σχήμα 2.1 απεικονίζεται η διάταξη της μπαταρίας που παρουσιάστηκε.

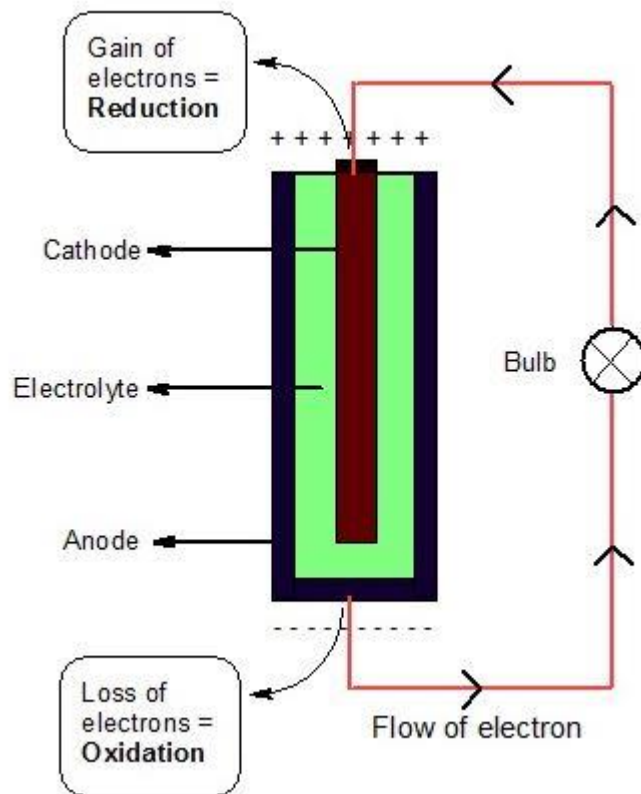


Σχήμα 2.1 Αναπαράσταση των κύριων τμημάτων της μπαταρίας.

Γενικά, όσον αφορά στη βασική λειτουργία, οι μπαταρίες απαιτούν πολλές χημικές αντιδράσεις, για να λειτουργήσουν. Τουλάχιστον μια τέτοια αντίδραση λαμβάνει χώρα γύρω από την άνοδο και τουλάχιστον άλλη μια αντίστοιχη αντίδραση γύρω από την κάθοδο. Κατά την αντίδραση στην άνοδο παράγονται ηλεκτρόνια και η διαδικασία αυτή ονομάζεται **οξείδωση (Oxidation)**. Αντίστοιχα,

στην κάθοδο η διαδικασία κατανάλωσης των ηλεκτρονίων ονομάζεται **αναγωγή (Reduction)**.

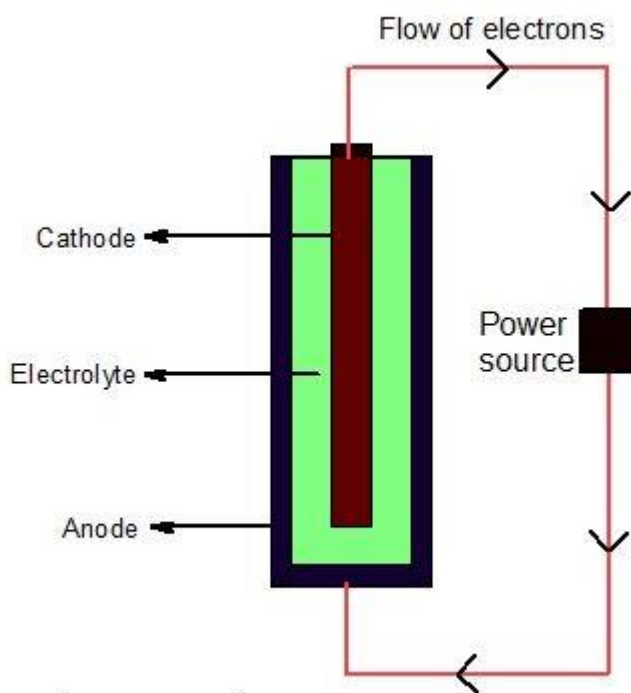
Κατά τη διαδικασία της οξείδωσης τα ιόντα που βρίσκονται στον ηλεκτρολύτη αντιδρούν με τα άτομα που βρίσκονται στην άνοδο και έτσι δημιουργούνται τα ηλεκτρόνια τα οποία φορτίζουν πλέον αρνητικά την άνοδο. Αντίστοιχα μέσω της αναγωγής δημιουργείται ανάγκη για ηλεκτρόνια στην κάθοδο και κατά συνέπεια αυτή φορτίζεται θετικά. Συνδέοντας ένα ηλεκτρικά αγώγιμο εξωτερικό κύκλωμα - το οποίο μπορεί να περιέχει και κάποιο ηλεκτρικό εξάρτημα, γνωστό και ως «φορτίο» (συνήθως απεικονίζεται με ένα λαμπτήρα) - ανάμεσα στην άνοδο και στην κάθοδο δημιουργείται μια ροή ηλεκτρονίων από την περιοχή οξείδωσης προς την περιοχή αναγωγής. Η ροή αυτή είναι γνωστή και ως «Ρεύμα». Υπάρχει και άλλη μια μετάβαση αρνητικών ιόντων από την περιοχή της αναγωγής προς την περιοχή της οξείδωσης μέσα από τον ηλεκτρολύτη. Όλη αυτή η διαδικασία περιγράφει την εκφόρτιση μιας κοινής μπαταρίας, όπως φαίνεται και από το σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Διαδικασία εκφόρτισης μίας κοινής μπαταρίας

2. Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες

Στην περίπτωση των επαναφορτιζόμενων μπαταριών, οι οποίες απασχολούν την παρούσα εργασία, επιτελείται και η διαδικασία της φόρτισης. Σε αυτή τη διαδικασία η οξείδωση και η αναγωγή αντιστρέφονται, σε σύγκριση με την περίπτωση της εκφόρτισης, με αποτέλεσμα η ηλεκτρική ενέργεια να μετατρέπεται ξανά σε χημική. Αυτό επιτυγχάνεται συνδέοντας στα άκρα της μπαταρίας μια εξωτερική πηγή ενέργειας η οποία αναγκάζει τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην κάθοδο, να επανέλθουν στην άνοδο. Έτσι δημιουργείται μία κίνηση ηλεκτρονίων από την εξωτερική πηγή ενέργειας προς την άνοδο και αντίστοιχα ηλεκτρόνια από την κάθοδο αρχίζουν να αφαιρούνται, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3. Μετά την ολοκλήρωση της φόρτισης τα ηλεκτρόνια βρίσκονται στην αρχική τους θέση και η μπαταρία στην αρχική της κατάσταση πλήρως φορτισμένη.



Σχήμα 2.3 Διαδικασία φόρτισης επαναφορτιζόμενης μπαταρίας

Πιο ειδικά, οι συνηθέστεροι τύποι των επαναφορτιζόμενων μπαταριών που απασχολούν την παρούσα εργασία είναι 3:

1. Μπαταρίες ιόντων λιθίου (Lithium-Ion ή Li-Ion)
2. Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd)
3. Μπαταρίες Νικελίου-Υδριδίου μετάλλου (Ni-MH).

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου αποτελούνται από μια ένωση λιθίου στο ένα τους ηλεκτρόδιο εμφανίζοντας, σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας ως προς το βάρος και τον όγκο τους σε σχέση με τους άλλους 2 τύπους [2]. Με βάση την ίδια έρευνα οι μπαταρίες ιόντων λιθίου διαθέτουν μεγαλύτερη τιμή μέγιστου ρεύματος ώστε μπορούν να αποδώσουν, ακόμη και διπλάσια σχεδόν πυκνότητα ενέργειας, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 2.1, καθώς και να εξασφαλίσουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, εάν η μπαταρία βρίσκεται σε αδράνεια αντίστοιχα στον πίνακα 2.2.

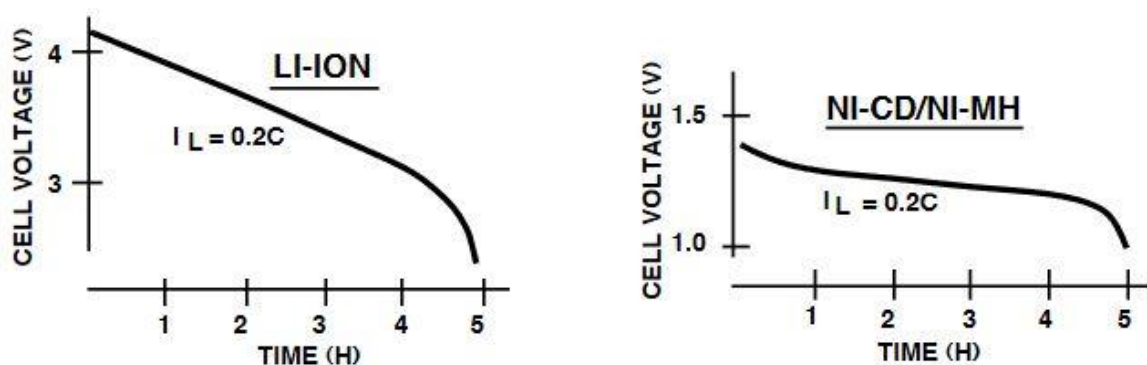
ΤΥΠΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	LI-ION	NI-CD	NI-MH
ΒΑΡΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (W-HR/KG)	90	50	55
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (W-HR/L)	210	140	180

Πίνακας 2.1 Σύγκριση πυκνότητας ενέργειας

ΤΥΠΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	LI-ION	NI-CD	NI-MH
ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ ΑΔΡΑΝΕΙΑ (20°C, % / ΜΗΝΑ)	5-10	15-20	20-30

Πίνακας 2.2 Ποσοστά αποφόρτισης σε κατάσταση αδράνειας

Όπως φαίνεται από τους πίνακες η υπεροχή των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι εμφανής. Ωστόσο και οι άλλοι 2 τύποι μπαταριών έχουν τα δικά τους θετικά στοιχεία. Οι μπαταρίες Ni-Cd χρησιμοποιούν υδροξείδιο του νικελίου για το ένα τους ηλεκτρόδιο και μεταλλικό κάδμιο για το άλλο ηλεκτρόδιο, ενώ οι Ni-MH αντί για κάδμιο χρησιμοποιούν κάποιο είδος κράματος απορρόφησης υδρογόνου για την άνοδό τους. Με βάση το παρακάτω σχήμα 2.4 διαπιστώνεται το πλεονέκτημα αυτών των τύπων μπαταριών, το οποίο φαίνεται από την καμπύλη εκφόρτισης. Παρόλο που χρειάζονται 3 μπαταρίες Ni-Cd ή Ni-MH συνδεδεμένες σε σειρά, για να φτάσουν τα βολτ μιας μπαταρίας Li-Ion, η καμπύλη των μπαταριών νικελίου είναι πιο κοντά στην καμπύλη της «ιδανικής» μπαταρίας την ίδια στιγμή που μια μπαταρία Li-Ion απαιτεί παραπάνω διατάξεις, ώστε να αποκτήσει αποδοτικότερη παροχή ενέργειας.



Σχήμα 2.4 Καμπύλες εκφόρτισης

Όσον αφορά στο κόστος, η μπαταρία Ni-Cd είναι η καλύτερη μπαταρία συσχετίζοντας κόστος προς επίδοση. Κατασκευάζεται από πολλές εταιρείες και σε

μεγάλες ποσότητες, με την απόδοσή της όλο να αυξάνεται σε σύγκριση με την Ni-MH μπαταρία, που είναι πιο ακριβή στην αγορά. Παρόλα αυτά μια Ni-MH μπαταρία είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον, διότι δεν περιέχει κάδμιο και διαθέτει τα ίδια βολτ αποφόρτισης με μια Ni-Cd, όμως το κόστος της είναι από 50% έως 100% παραπάνω. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι οι πιο ακριβές στην κατηγορία των επαναφορτιζόμενων μπαταριών.

3.

ΤΥΠΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Υπάρχει μεγάλο εύρος εφαρμογών που χρησιμοποιούν επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, το οποίο όλο και αυξάνεται. Από οικιακές συσκευές μέχρι κινητά τηλέφωνα, καρότσια των σούπερ μάρκετ και αυτοκίνητα το κόστος μειώνεται αρκετά συγκριτικά με την χρήση απλών μπαταριών στη θέση τους. Με τον καιρό, αυξάνεται η ζήτηση των συγκεκριμένων μπαταριών σε αναπτυσσόμενες εφαρμογές και κυρίως στη βιομηχανία αυτοκινήτων και οχημάτων γενικότερα.

Τεράστια είναι τόσο η κινητική όσο και η ηθική υποστήριξη στους ανάπηρους ανθρώπους καθώς και στους ηλικιωμένους. Η κατασκευή των μηχανοκίνητων αμαξιδίων για άτομα με ειδικές ανάγκες αποτελεί σπουδαίο επίτευγμα, εφόσον

διευκολύνεται η μετακίνησή τους και η καθημερινότητά τους απλά με μία φόρτιση τις ώρες που δεν χρησιμοποιούνται ή κατά την παραμονή τους στο σπίτι, μειώνοντας έτσι το κόστος σε σύγκριση με την χρήση κοινών μπαταριών. Με την ανάπτυξη τέτοιου είδους εφαρμογών οι άνθρωποι με κινητικά προβλήματα μπορούν να λειτουργήσουν και έξω από το σπίτι χωρίς βοήθεια κάποιου άλλου ατόμου για την μετακίνησή τους και εκεί διακρίνεται η σημασία της εφαρμογής.

Μία από τις σπουδαιότερες εφαρμογές που απαιτούν την χρήση επαναφορτιζόμενων μπαταριών προέρχεται από το χώρο της βιομηχανίας αυτοκινήτων. Τα λεγόμενα ως «υβριδικά» αυτοκίνητα μαζί με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αποτελούν την καινοτομία της εποχής, η οποία θα καταπολεμήσει το αυξανόμενο κόστος των καυσίμων και τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Οι δύο νέοι τύποι αυτοκινήτων πρόκειται να αλλάξουν το μέλλον της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Ένα υβριδικό αυτοκίνητο χρησιμοποιεί κανονικό κινητήρα με τη διαφορά ότι ο κινητήρας αυτός «μοιράζει» τον φόρτο εργασίας του. Κάτω από ένα όριο ταχύτητας το αυτοκίνητο αντλεί ενέργεια από την μπαταρία, για να κινηθεί, ενώ όταν φρενάρει μετατρέπει την θερμότητα σε κινητική ενέργεια και φορτίζει την μπαταρία. Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο αντιθέτως κινείται με την χρήση μόνο της μπαταρίας που διαθέτει. Όπως είναι κατανοητό οι απαιτήσεις, όσον αφορά στα χαρακτηριστικά της μπαταρίας, είναι μεγάλες και η απόδοση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου σαφώς μικρότερη από ένα βενζινοκίνητο αυτοκίνητο, πράγμα το οποίο είναι πολύ πιθανό να μεταβληθεί στο μέλλον.

Ειδικότερα, για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σε συνδυασμό με το σχετικά μικρό βάρος τους τις καθιστούν ιδανικές για φορητές συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, ηλεκτρονικά τσιγάρα και πολλές άλλες. Επίσης, χρησιμοποιούνται και σε ηλεκτρικά εργαλεία λόγω του μικρού τους βάρους καθώς και σε όλα σχεδόν τα ηλεκτρικά οχήματα αλλά και σε τηλεχειριζόμενα μοντέλα.

Οι μπαταρίες Ni-Cd μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως ατομικές μονάδες είτε ως τουλάχιστον 2 μπαταρίες συνδεδεμένες σε σειρά και αυτή η σύνδεση ονομάζεται «πακέτο». Ένα μικρό πακέτο από μπαταρίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να παρέχει ενέργεια σε φορητά ηλεκτρονικά παιχνίδια και μικρές ηλεκτρονικές διατάξεις. Επίσης είναι ιδανικές για τηλεκατευθυνόμενα ηλεκτρικά μοντέλα λόγω της παροχής τους υψηλών ρευμάτων υπέρτασης.

Στη συνέχεια, οι μπαταρίες Ni-MH έχουν αντικατασταθεί από τις νικελίου-καδμίου όσον αφορά τον τομέα των ηλεκτρονικών εφαρμογών, διότι οι πρώτες έχουν μεγάλο ρυθμό εκφόρτισης που αγγίζει τις 5 ώρες. Η τελευταία σημαντική εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιήσαν τέτοιου τύπου μπαταρίες, είναι το υβριδικό αυτοκίνητο της Toyota το μοντέλο Prius AWD-e, και αυτό γιατί οι μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου λειτουργούν αποδοτικότερα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου [3].

4.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥΣ

Η χρήση επαναφορτιζόμενων μπαταριών μειώνει το κόστος σε σχέση με τις απλές μπαταρίες χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι δε δημιουργεί προβλήματα. Μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία μπορεί να επιδιορθωθεί με μια πλήρη φόρτισή της, αλλά υπάρχουν όμως και κάποια μειονεκτήματα που δε διορθώνονται. Μερικά από

αυτά είναι οι διαβρωμένες πλάκες της ανόδου και της καθόδου, η ξηρασία, η βλάβη εσωτερικά στα χημικά, τα βραχυκυκλώματα, η υψηλή εσωτερική αντίσταση και το σημαντικότερο ο μεγάλος ρυθμός εκφόρτισης [4]. Τα προβλήματα αυτά είναι φυσικό αποτέλεσμα της χρήσης και της γήρανσης της μπαταρίας και γι' αυτό απαιτείται μια στοιχειώδης συντήρηση, η λειτουργία της μπαταρίας κάτω από κατάλληλες συνθήκες και πάνω από όλα η σωστή διαδικασία φόρτισης.

4.1 Απώλεια ηλεκτρολύτη

Μία λανθασμένη φόρτιση μπορεί να συντελέσει στην αύξηση της πίεσης στο εσωτερικό της μπαταρίας, στην απελευθέρωση αερίων από τις χημικές αντιδράσεις και στην πρόκληση εξαέρωσης. Αυτό το φαινόμενο εγκυμονεί τον κίνδυνο ο μηχανισμός εξαέρωσης στις μπαταρίες νικελίου κυρίως (Ni-Cd και Ni-MH) να μην επανέλθει ποτέ στην πραγματική του θέση και να δημιουργηθεί κάποια οπή. Στη συνέχεια, γύρω από την οπή δημιουργείται μια άσπρη σκόνη και αυτό σηματοδοτεί την απώλεια ηλεκτρολύτη που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, εάν φορτίζονται με τις σωστές προδιαγραφές που δίνονται από τον κατασκευαστή, θεωρητικά δε δημιουργούν ποτέ αέρια και δε συμβαίνει ποτέ εξαέρωση. Κάποιες μπαταρίες Li-Ion προηγμένης τεχνολογίας περιέχουν έναν ηλεκτρικό διακόπτη που διακόπτει τη φόρτιση, αν η πίεση αυξηθεί πάνω από ένα προκαθορισμένο όριο.

4.2 Αντιστοίχιση κυψελών

Αρχικά, κυψέλη (battery cell) σε ένα πακέτο μπαταριών ονομάζεται η μία μπαταρία που περιέχεται μέσα στο πακέτο. Ακόμα και με τις μοντέρνες κατασκευαστικές τεχνικές, η πραγματική χωρητικότητα δεν μπορεί να είναι ακριβώς η ίδια σε κάθε cell και ειδικότερα στις μπαταρίες νικελίου. Οι κυψέλες σε ένα πακέτο θα πρέπει να είναι +/- 2.5% ταιριασμένες ειδικά σε πακέτα με μεγάλο πλήθος κυψελών και σε πακέτα που λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η

μακροζωία των μπαταριών συνδέεται άμεσα με τις καλά ισορροπημένες κυψέλες του πακέτου. Είναι, λοιπόν, πολύ σημαντική για την απόδοση ενός πακέτου το ταίριασμα των κυψελών ως προς τα βολτ και την χωρητικότητά τους. Αν υπάρχει ένα αδύναμο cell μέσα στο πακέτο μπορεί με τη φόρτιση να έχει τελειώσει πρώτο, να περάσει στην περίπτωση της υπερφόρτισης και να παράγει περιττή θερμότητα, ενώ το ισχυρότερο κελί φορτίζεται ακόμα. Από την άλλη πλευρά, αν το αδύναμο κελί εκφορτιστεί σε μεγαλύτερο βαθμό από όσο πρέπει, εγκυμονεί ο κίνδυνος αντιστροφής της πολικότητας. Και στις δύο περιπτώσεις το ασθενές κύτταρο γίνεται ακόμα πιο ασθενές με την χρήση της μπαταρίας, διευρύνοντας έτσι την αναντιστοιχία. Για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν αναπτυχθεί εσωτερικά προστατευτικά συστήματα και δεν υπάρχει σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα αυτό.

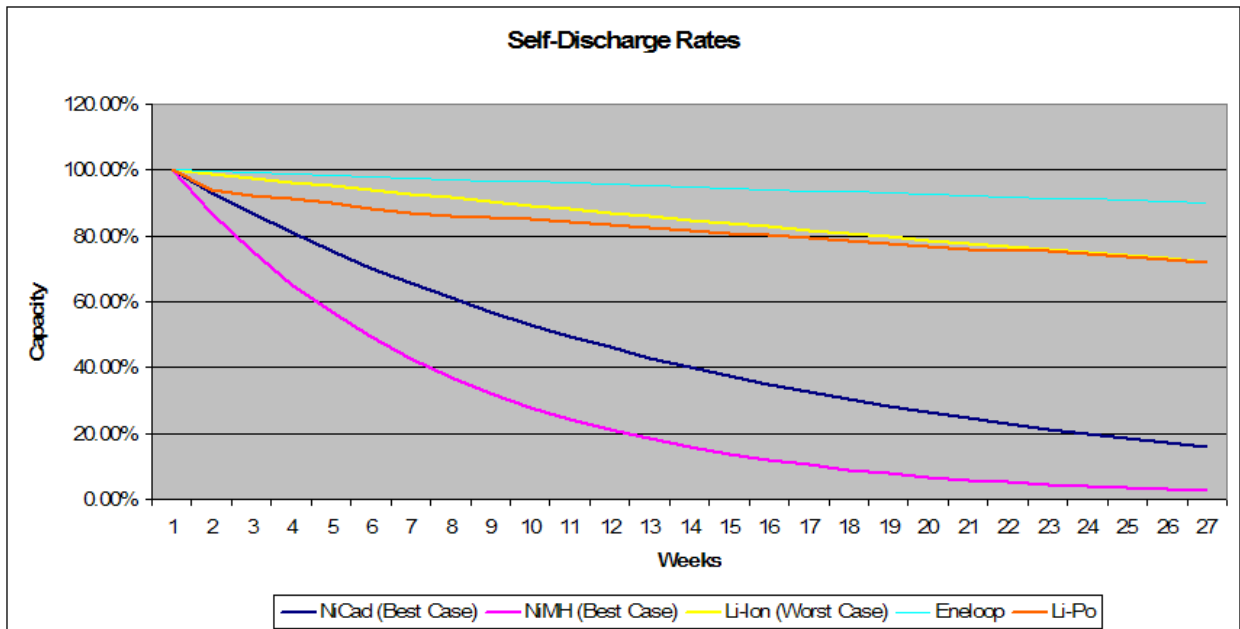
4.3 Βραχυκυκλωμένες μπαταρίες

Κάποιες μπαταρίες ακόμα και σχετικά καινούργιες να είναι, υπάρχει η πιθανότητα να βραχυκυκλώσουν. Μελετώντας αυτό το γεγονός οι κατασκευαστές κατέληξαν ότι αυτό εντοπίζεται από την φάση της παραγωγής και κατέφυγαν σε καλύτερες κατασκευαστικές μεθόδους, μειώνοντας έτσι τον ρυθμό εμφάνισης του προβλήματος. Και εδώ η αντιστροφή της πολικότητας συμβάλλει στη βραχυκύκλωση της μπαταρίας. Ένα ισχυρό αντίστροφο ρεύμα δημιουργεί, λοιπόν, ένα μόνιμο βραχυκύκλωμα. Εφαρμόζοντας στιγμιαία υψηλό ρεύμα διορθώνει το βραχυκύκλωμα αλλά όχι εντελώς, διότι η μπαταρία εμφανίζει υψηλό ρυθμό εκφόρτισης για το υπόλοιπο της χρήσης της. Αν πρόκειται για πακέτο μπαταριών μπορεί η κυψέλη αυτή να αντικατασταθεί, εφόσον ταιριάζει η καινούργια με τις υπόλοιπες ως προς τα βολτ και την χωρητικότητα.

4.4 Αυτοεκφόρτιση

Το συχνότερο πρόβλημα και αυτό με το οποίο ασχολείται η παρούσα εργασία των επαναφορτιζόμενων μπαταριών, είναι ο υψηλός ρυθμός εκφόρτισης, όταν

βρίσκονται σε κατάσταση αδρανείς. Όλες οι μπαταρίες επηρεάζονται από αυτήν την κατάσταση και η μεγαλύτερη τιμή του εμφανίζεται αμέσως μετά τη φόρτιση στην πορεία αποσβένει. Στο σχήμα 4.1 απεικονίζεται ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης για διάφορους τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών με την πάροδο του χρόνου.



Σχήμα 4.1 Ρυθμοί εκφόρτισης επαναφορτιζόμενων μπαταριών

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν διεξαχθεί [4], οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες νικελίου παρουσιάζουν υψηλή αυτοεκφόρτιση συγκριτικά με άλλους τύπους. Μία καινούργια μπαταρία Ni-Cd θα απωλέσει το 10% της χωρητικότητάς της τις πρώτες 24 ώρες μετά την φόρτισή της και στη συνέχεια το 10% ανά μήνα.

Ωστόσο, μια μπαταρία Ni-MH παρουσιάζει 30% μεγαλύτερη αυτοεκφόρτιση από μία Ni-Cd. Η υψηλή θερμοκρασία αυξάνει την τιμή της αυτοεκφόρτισης, όπως επίσης, όταν οι κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης υπερβούν μερικές εκατοντάδες.

Η τιμή της αυτοεκφόρτισης για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου ανέρχεται μόλις στο 5% στις πρώτες 24 ώρες μετά τη φόρτιση και μειώνεται στο 1% έως 2% ανά μήνα στο εξής. Το σύστημα ασφαλείας που περιέχουν, προσθέτει περίπου 3% στην αυτοεκφόρτιση των Li-Ion μπαταριών. Αντίθετα από τις μπαταρίες νικελίου, η

αύξηση του πλήθους των κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης στις Li-Ion μπαταρίες δεν επηρεάζει τόσο την αυτοεκφόρτισή τους.

Το ποσοστό αυτοεκφόρτισης των επαναφορτιζόμενων μπαταριών μπορεί να μετρηθεί με έναν αναλυτή κατάστασης της μπαταρίας. Αν η αυτοεκφόρτιση αγγίζει το 30% της χωρητικότητας της μπαταρίας, τότε η μπαταρία αυτή χρήζει αντικατάστασης. Με έναν τέτοιο αναλυτή ασχολείται η εργασία αυτή. Ένας εναλλακτικός τρόπος διάγνωσης της κατάστασης της μπαταρίας είναι η μέτρηση της εσωτερικής αντίστασης με έναν μετρητή σύνθετης αντίστασης, όμως αυτή η μέτρηση παρουσιάζει μεγάλη πολυπλοκότητα.

5.

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα σύστημα διάγνωσης κατάστασης των επαναφορτιζόμενων μπαταριών με σκοπό να παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να αξιοποιεί, είτε μια μπαταρία που χρησιμοποιεί και μπορεί να χρειάζεται αντικατάσταση, είτε μια μπαταρία που πρόκειται να αγοράσει. Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η βασική ιδέα, ο τρόπος με τον οποίο υλοποιήθηκε, καθώς

και οι τεχνικές δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν, ο προγραμματισμός του μικροεπεξεργαστή, τα ηλεκτρονικά μέρη της διάταξης και το πώς αυτή λειτουργεί.

5.1 Η βασική ιδέα

Οι κατασκευαστές επαναφορτιζόμενων μπαταριών δίνουν μια ονομαστική τιμή χωρητικότητας στις μπαταρίες που κατασκευάζουν. Η μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας αυτής είναι το αμπερώριο (Ah) ή συνηθέστερα μιλι-αμπερώριο (mAh). Έτσι, μια μπαταρία μπορεί να συνοδεύεται για παράδειγμα από την τιμή 2000 mAh. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι μια τέτοια μπαταρία μπορεί να παρέχει περίπου 2000 mA ανά 1 ώρα (h). Αυτήν την αναλογία mA και ώρας αντιπροσωπεύει η μονάδα μέτρησης mAh.

Η βασική ιδέα της προτεινόμενης μεθόδου είναι η μέτρηση αυτής της τιμής για την εξεταζόμενη μπαταρία και ανάλογα με το αποτέλεσμα θα εξάγεται το πόρισμα για την κατάστασή της. Η μπαταρία, λοιπόν, θα πρέπει να φορτιστεί πλήρως και στη συνέχεια να τεθεί υπό μέτρηση. Το θετικό άκρο της μπαταρίας (κάθοδος) συνδέεται με έναν αισθητήρα ρεύματος που μέσω μιας μικρής εσωτερικής αντίστασης της τάξης του 0.1 ohm και με διαφορά δυναμικού ± 320 mV μπορεί να μετρήσει μέχρι και ± 3.2 A [5]. Στη συνέχεια το ρεύμα περνάει μέσα από ένα MOSFET το οποίο λειτουργεί ως διακόπτης της ροής του ρεύματος. Το τρανζίστορ αυτό ελέγχει τη ροή ρεύματος αλλάζοντας τα βολτ του στην πύλη. Η αλλαγή γίνεται μέσω ενός μικροεπεξεργαστή Arduino Uno. Τέλος, το ρεύμα καταλήγει στη γείωση όπου και είναι συνδεδεμένο και το αρνητικό άκρο της μπαταρίας (άνοδος).

Η μπαταρία με αυτό τον τρόπο εκφορτίζεται και μετράται η χωρητικότητά της καθ' όλη τη διάρκεια. Αν αυτή φτάσει κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο, τότε το τρανζίστορ διακόπτει τη ροή μέσω του Arduino, σταματά η εκφόρτιση της μπαταρίας και εμφανίζονται τα αποτελέσματα στην LCD οθόνη του κυκλώματος.

5.2 Επιλογή των κατάλληλων ηλεκτρονικών

Η επιλογή των ηλεκτρονικών είναι ένα μεγάλο και σημαντικό κομμάτι στην κατασκευή ηλεκτρονικών διατάξεων. Πρέπει τα ηλεκτρονικά να εξυπηρετούν τις ανάγκες του συστήματος με βάση τις προδιαγραφές. Για να καλυφθούν οι ανάγκες της παρούσας εργασίας, έπρεπε πρώτα απ' όλα να αποφασιστεί ο τύπος του τρανζίστορ MOSFET. Η επιλογή αυτή ήταν εξαιρετικά κρίσιμη. Σημαντικό κριτήριο ήταν η χαμηλή τάση κατωφλίου στην πύλη του τρανζίστορ αλλά αυτό το κριτήριο χαρακτηρίζει μεγάλη γκάμα MOSFET τρανζίστορς, οπότε έπρεπε να επιλεγθεί με βάση άλλο ένα κριτήριο. Το IRL2203N το οποίο επιλέχθηκε καλύπτει αρκετά τις ανάγκες της εργασίας και από τη σκοπιά του ρεύματος που απαιτείται. Υπάρχει δυνατότητα για περαιτέρω πειραματισμό σε αυτό το σημείο, όπως θα αναλυθεί στο έβδομο κεφάλαιο.

Συνεχίζοντας, ο αισθητήρας ρεύματος της Adafruit INA219 είναι υπεύθυνος για τη μέτρηση του ρεύματος που παρέχει η μπαταρία κάθε στιγμή και μετράει ταυτόχρονα και την τάση καθώς και τη στιγμιαία χωρητικότητα [5].

Τον ρόλο του μικροελεγκτή έχει αναλάβει μια ευρέως γνωστή πλέον πλακέτα που λέγεται Arduino Uno. Λόγω της απλότητας, του εύκολου προγραμματισμού της και της εύκολης χρήσης ως προς τις διαστάσεις της κέρδισε εύκολα τη θέση αυτή. Και σε αυτήν την περίπτωση θα μπορούσαν να είχαν γίνει κάποιες αλλαγές.

Όσον αφορά στην απεικόνιση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε μια LCD οθόνη μικρή σε διαστάσεις, η οποία αποτελείται από 4 σειρές με 20 χαρακτήρες σε κάθε σειρά.

Για την τροφοδοσία του κυκλώματος χρειάστηκε μια πηγή η οποία θα έχει την δυνατότητα να παρέχει 5v στην είσοδο του Arduino και 5-6v στο υπόλοιπο κύκλωμα.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν και κάποια μικροηλεκτρονικά, όπως μικρά κουμπιά, διακόπτες, ένας μικρός λαμπτήρας led, ένα μικρό buzzer (κόρνα), κατάλληλες αντιστάσεις, ποτενσιόμετρα και πυκνωτές καθώς και μια θήκη για τις εξεταζόμενες μπαταρίες.

5.3 Υλοποίηση και τεχνικές δυσκολίες

Αρχικά, μετά την προμήθεια όλων των ηλεκτρονικών το κύκλωμα άρχισε να χτίζεται πάνω σε πλακέτα δοκιμών. Σύντομα πύκνωσαν τα καλώδια και οι συνδέσεις έγιναν πολυπληθείς με αποτέλεσμα τη δημιουργία δυσδιάκριτης συνδεσμολογίας. Αυτό σήμαινε ότι με την εμφάνιση του πρώτου προβλήματος στο κύκλωμα, ο εντοπισμός του ήταν πάρα πολύ χρονοβόρα και δύσκολη διαδικασία. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος σχεδιάστηκε λοιπόν και κατασκευάστηκε ένα σχέδιο το οποίο αποτυπώθηκε σε πλακέτα. Έπειτα, τοποθετήθηκαν όλα τα ηλεκτρονικά στη σωστή θέση, έγιναν οι απαραίτητες συγκολλήσεις και διάφορες συνδέσεις με καλώδια. Το κύκλωμα απλοποιήθηκε αρκετά και αντιμετωπίστηκε σε μεγάλο βαθμό η δυσκολία αυτή.

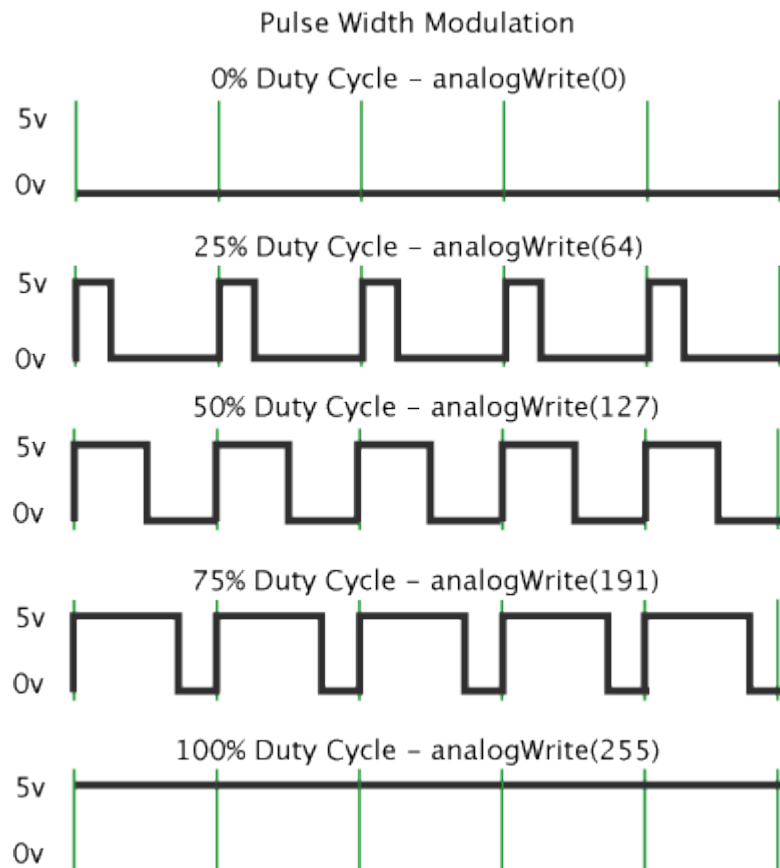
Άλλη μια δυσκολία που αντιμετωπίστηκε ήταν το πώς το κύκλωμα θα μπορούσε να εξετάσει διάφορους τύπους μπαταριών από την ίδια παροχή. Αυτό το πρόβλημα δημιουργήθηκε, διότι οι τύποι μπαταριών διαφέρουν και ως προς το μέγεθος. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου (συνήθως χρησιμοποιούνται οι 18650 στο εμπόριο) είναι πολύ μεγαλύτερες σε μέγεθος από τις κλασικές AA ή AAA Ni-Cd και Ni-MH αντίστοιχα. Η λύση ήταν σχετικά απλή καθώς με την τροποποίηση μιας βάσης ενός πολυ-φορτιστή του εμπορίου και την τοποθέτησή της στην είσοδο του κυκλώματος το πρόβλημα επιλύθηκε.

Ένα επίσης ασήμαντο πρόβλημα ήταν η τιμή του φορτίου που θα εφαρμόζεται σε κάθε μέτρηση πάνω στην εξεταζόμενη μπαταρία. Επειδή τα mAh διαφοροποιούνται από μπαταρία σε μπαταρία, έπρεπε το φορτίο να είναι

μεταβαλλόμενο έτσι ώστε το πείραμα να είναι προσαρμοσμένο πάνω στον τύπο της μπαταρίας. Τη λύση σε αυτή την περίπτωση την έδωσε ένα ποτενσιόμετρο μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τα mA του φορτίου που θα εφαρμοστεί στην μπαταρία.

Δυσκολίες προέκυψαν φυσικά και στον τομέα του προγραμματισμού του μικροεπεξεργαστή, οι οποίες δυσκόλεψαν σε ένα ποσοστό την υλοποίηση της διάταξης. Με την χρήση όμως κατάλληλων βιβλιοθηκών, όπως για παράδειγμα την LiquidCrystal που μας επιτρέπει να χρησιμοποιούμε πιο εύκολα την οθόνη LCD, ο προγραμματισμός έγινε ευκολότερος.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι χάρη στην ψηφιακή έξοδο 9 και 10 του Arduino, οι οποίες χρησιμοποιούν την τεχνική η οποία καλείται Pulse Width Modulation (PWM), έγινε εφικτή η λειτουργία του τρανζίστορ αναλογικά. Δηλαδή, με την τεχνική PWM ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να δώσει αναλογικό σήμα από ψηφιακή έξοδο και να ελέγξει έτσι το τρανζίστορ αναλογικά. Στο σχήμα 5.1 που ακολουθεί απεικονίζεται η λειτουργία αυτή.

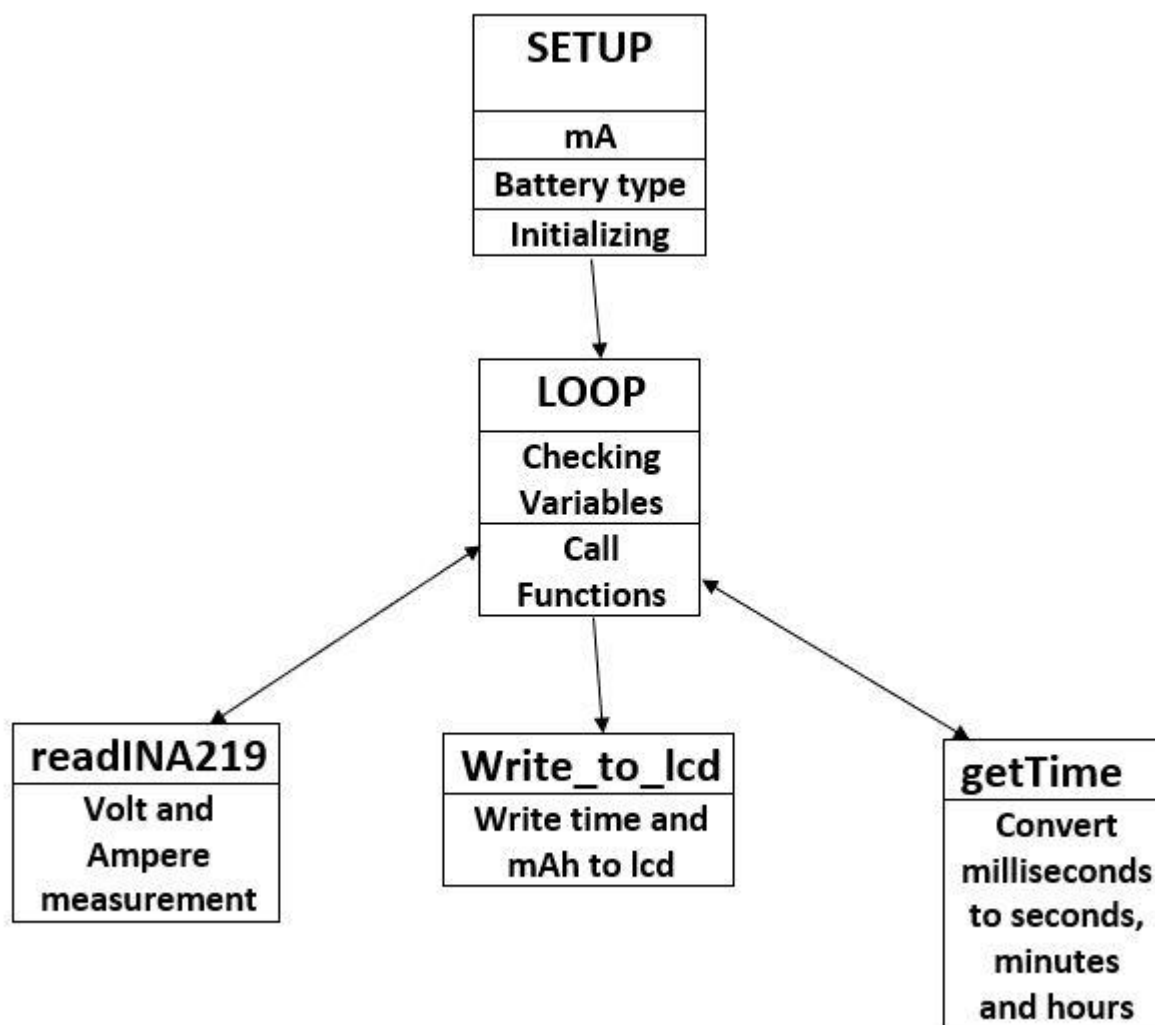


Σχήμα 5.1 Λειτουργία PWM του Arduino

Τη δυνατότητα να ελεγχθεί το πόσο θα παραμείνει το σήμα στην θέση των 5v, δηλαδή on, την παρέχει η εντολή `analogWrite()`.

5.4 Ο κώδικας

Ο κώδικας του μικροεπεξεργαστή γράφτηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C στην πλατφόρμα η οποία προσφέρεται δωρεάν και από την Microsoft, όπως και στην ιστοσελίδα της Arduino, Arduino software (IDE) [6]. Στο σχήμα 5.2 παρατίθεται ένα διάγραμμα κλάσεων της υλοποίησης.



Σχήμα 5.2 Διάγραμμα κλάσης του συστήματος

Setup: είναι η αρχική συνάρτηση που θα τρέξει ο κώδικας και όπως μαρτυρεί το όνομά της σε αυτήν θα αρχικοποιηθούν οι τιμές που θα ισχύουν σε όλη τη διάρκεια της μέτρησης της μπαταρίας. Πρώτα αφού αρχικοποιεί όλες τις αρχικές τιμές που χρειάζεται, περιμένει από τον χρήστη να δώσει αυτός τα απαραίτητα στοιχεία, για να συνεχίσει, όπως για παράδειγμα να δώσει τα mA φορτίου και τον τύπο της εξεταζόμενης μπαταρίας. Μόλις ο χρήστης είναι έτοιμος και έχει δώσει όποια στοιχεία ζητώνται από το πρόγραμμα, τότε ανεβάζει τον διακόπτη και ο αλγόριθμος προχωρά στην επόμενη κλάση.

Loop: σε αυτή τη συνάρτηση εισέρχεται ο αλγόριθμος μετά την αρχικοποίηση του συστήματος. Εδώ πραγματοποιούνται οι απαραίτητοι έλεγχοι, καλούνται οι συναρτήσεις, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, και στη συνέχεια η loop εκτελείται ξανά μέχρι να σταματήσει ο κύκλος αυτός από κάποιον έλεγχο. Έλεγχοι πραγματοποιούνται στην τιμή που έδωσε ο χρήστης, στην κατάσταση της μπαταρίας και στον χρόνο που τρέχει η μέτρηση.

readINA219: αυτή η συνάρτηση καλείται στην αρχή της loop και μετράει εκείνη τη στιγμή τη διαφορά δυναμικού στα άκρα του αισθητήρα ρεύματος. Ο αισθητήρας λοιπόν, όταν καλείται η συνάρτηση αυτή μετράει τα volt της μπαταρίας καθώς και το ρεύμα που διοχετεύεται από την μπαταρία. Ύστερα χρησιμοποιεί αυτές τις μετρήσεις η συνάρτηση loop.

write_to_lcd: κάθε φορά που τρέχει η loop καλεί αυτή τη συνάρτηση, για να γράψει στην οθόνη τα δεδομένα που ισχύουν, όπως τον χρόνο που έχει περάσει ως εκείνη τη στιγμή και τα mAh που έχουν καταγραφεί αθροιστικά για κάθε κύκλο

getTime: αυτή η συνάρτηση απλά μετατρέπει τα milliseconds σε δευτερόλεπτα, λεπτά και ώρες, ώστε να μπορούν να απεικονιστούν πάνω στην οθόνη και να γίνουν κάποιοι υπολογισμοί απλούστερα.

5.5 Ο τρόπος λειτουργίας

Σε συνέχεια της βασικής ιδέας θα αναλυθεί λίγο περισσότερο η λειτουργία του συστήματος και ο τρόπος της σωστής καταγραφής μιας μέτρησης. Ο χρήστης, λοιπόν, τοποθετεί την μπαταρία στο σημείο υποδοχής του κυκλώματος. Αφού τροφοδοτήσει το κύκλωμα με ρεύμα τάσης 5v (αρκεί και ένας κοινός μετασχηματιστής, όπως οι φορτιστές των σύγχρονων κινητών τηλεφώνων) θα ενεργοποιηθεί η οθόνη αναγράφοντας ότι το σύστημα αναμένει από τον χρήστη να δώσει τον τύπο της μπαταρίας και το μέγεθος του φορτίου που επιθυμεί να εφαρμόσει πάνω στην μπαταρία για τη μέτρηση. Καλό θα ήταν ο χρήστης να μην

χρησιμοποιήσει υπερβολικά μεγάλο φορτίο, για να είναι πιο αντιπροσωπευτική η μέτρηση. Στη συνέχεια, για να ξεκινήσει το τεστ θα πρέπει ο χρήστης να γυρίσει τον διακόπτη από την θέση manual στη θέση run και η μέτρηση ξεκινάει.

Λίγο πριν ξεκινήσει ο χρόνος στην οθόνη εμφανίζονται όλα τα δεδομένα τα οποία ισχύουν για τη μέτρηση αυτή. Μετά από 8 δευτερόλεπτα η PWM έξοδος 9 του Arduino αρχίζει να ανεβάζει την τάση της πύλης του τρανζίστορ μέχρι το ρεύμα, το οποίο μετράει ο αισθητήρας INA219, να φτάσει την τιμή που έδωσε ο χρήστης. Η ρύθμιση της εξόδου PWM συνεχίζεται, όσο η τάση της μπαταρίας είναι πάνω από ένα προκαθορισμένο όριο. Τελικά, η τάση της μπαταρίας θα πέφτει κάτω από αυτό το όριο, όσο περνά η ώρα, και, όταν συμβεί αυτό, το ρεύμα που διαπερνά το τρανζίστορ θα μηδενιστεί με αποτέλεσμα η μέτρηση να τελειώσει. Η τιμή του ρεύματος εμφανίζεται στην οθόνη καθ' όλη την διάρκεια της μέτρησης όπως και τα mAh που έχουν μετρηθεί μέχρι εκείνη τη στιγμή. Στο τέλος της εξέτασης της μπαταρίας εμφανίζονται τα τελικά αποτελέσματα.

Ωστόσο, το προκαθορισμένο όριο διαφέρει από μπαταρία σε μπαταρία και έχει οριστεί για κάθε τύπο μια προεπιλογή τέτοια ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος για την εξεταζόμενη μπαταρία. Για παράδειγμα, στην μπαταρία ιόντων λιθίου ένα ασφαλές όριο, ώστε να μην κινδυνέψει η μπαταρία, είναι στα 3.2 V, ενώ για τις μπαταρίες Ni-Cd και Ni-MH είναι 1.0 V. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει το όριο αυτό προγραμματίζοντας τον μικροεπεξεργαστή αλλά με δική του ευθύνη για τυχόν βλάβη που μπορεί να προκύψει στην μπαταρία.

6.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

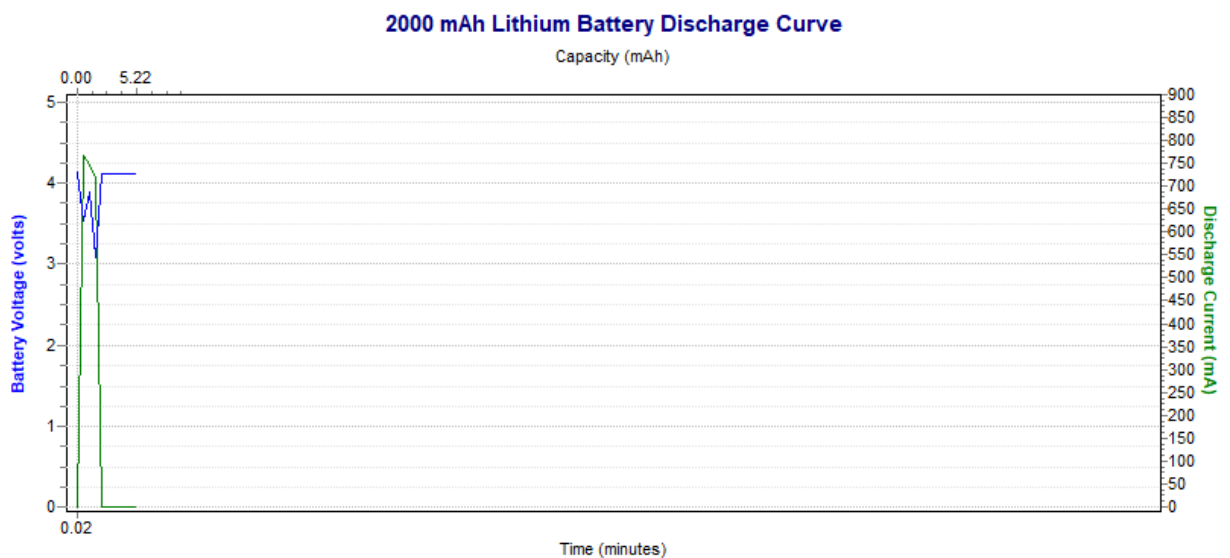
Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έλαβαν χώρα για την συγκεκριμένη εργασία και στη συνέχεια για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, θα πραγματοποιηθούν διάφορες συγκρίσεις με άλλες μεθόδους. Αρχικά, θα αναφερθούν οι διάφορες αυτές μέθοδοι με τις οποίες συγκρίθηκε το σύστημα της παρούσας εργασίας. Το εύρος των μεθόδων αυτών αποτελείται από μέτρηση των coulomb της μπαταρίας, φασματοσκοπία ηλεκτροχημικής αντίστασης, γρήγορη μέτρηση με παλμούς και μέτρηση σε πλήρη κύκλο[8]. Η μέτρηση των V και της εσωτερικής αντίστασης δεν συσχετίζονται με

την χωρητικότητα και δεν μπορούν να μετρήσουν την εκτιμώμενη «ζωή» της μπαταρίας.

6.1 Τα αποτελέσματα

Για να γίνουν πιο κατανοητά τα αποτελέσματα των μετρήσεων χρειάστηκε η βοήθεια μίας εφαρμογής από το διαδίκτυο [7] η οποία συγκεντρώνει τα δεδομένα που της παρέχει ο μικροεπεξεργαστής και τα αναπαριστά με τη μορφή διαγράμματος για κάθε μέτρηση. Οι άξονες x-y συμβολίζουν τα V (μπλε χρώμα) και τα mA (πράσινο χρώμα) στον άξονα x και στον άξονα y κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Η επικοινωνία του Arduino με την εφαρμογή πραγματοποιείται μέσω κάποιων παραπάνω γραμμών κώδικα.

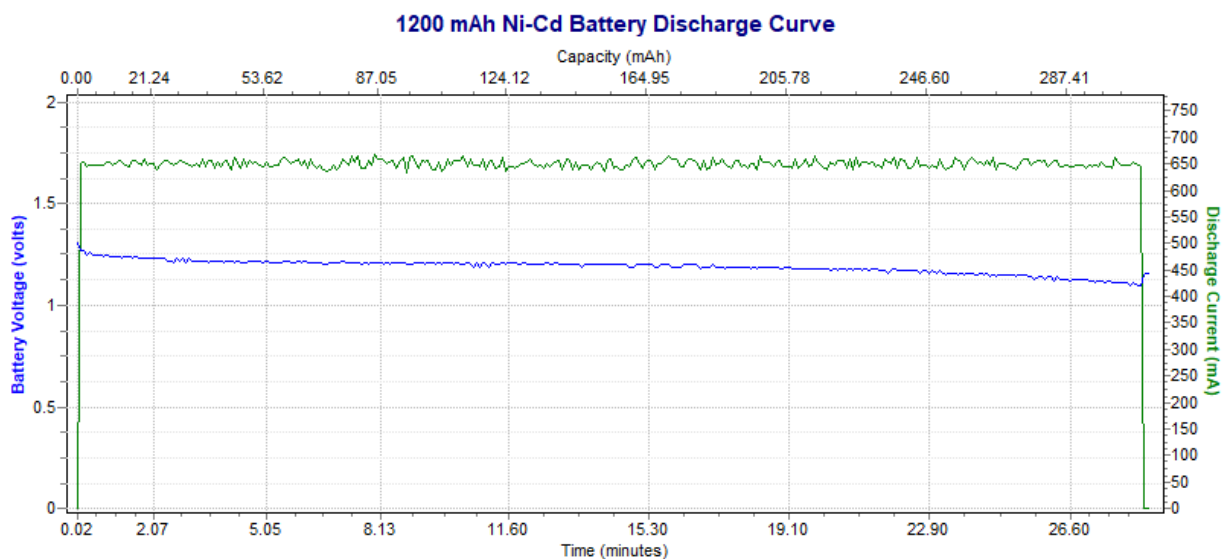
Παρακάτω παρατίθενται 3 σχήματα στα οποία απεικονίζεται η μέτρηση για μπαταρίες Li-Ion, Ni-Cd και Ni-MH καθώς και αντίστοιχοι πίνακες με τις τιμές που προέκυψαν.



Σχήμα 6.1 Διάγραμμα κατεστραμμένης μπαταρίας Li-Ion.

Time (mins)	Capacity (mAh)	Battery Voltage (V)	Discharge Current (mA)
0.02	0	4.14	0
0.12	1.28	3.53	767
0.23	2.89	3.89	746
0.37	4.53	3.09	716
0.47	5.22	4.11	0

Πίνακας 6.1 Πίνακας αποτελεσμάτων για την μπαταρία Li-Ion.

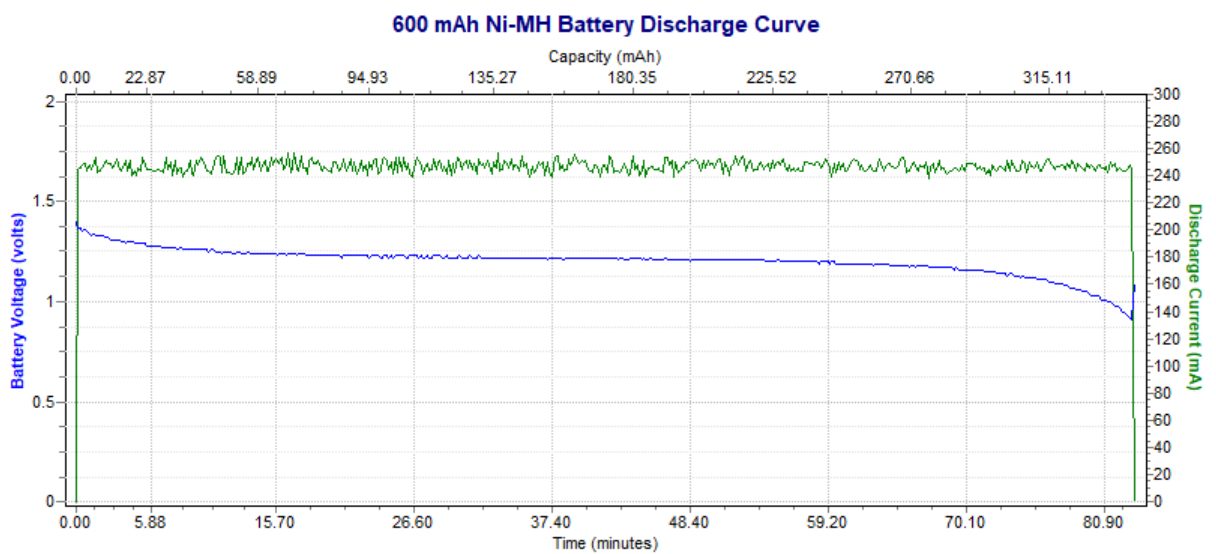


Σχήμα 6.2 Διάγραμμα μέτρησης μπαταρίας Ni-Cd.

Time (mins)	Capacity (mAh)	Battery Voltage (V)	Discharge Current (mA)
28.1	304.11	1.11	648
28.2	305.61	1.11	647
28.3	306.84	1.1	647
28.4	308.2	1.11	652

28.6	309.37	1.1	649
28.7	310.57	1.1	646
28.8	311.16	1.15	0
28.8	311.16	1.16	0
28.9	311.16	1.16	0
29	311.16	1.17	0
29.1	311.16	1.17	0
29.2	311.16	1.17	0
29.3	311.16	1.17	0

Πίνακας 6.2 Πίνακας αποτελεσμάτων του τελευταίου λεπτού της μέτρησης της μπαταρίας Ni-Cd.



Σχήμα 6.3 Διάγραμμα μέτρησης μπαταρίας Ni-MH.

Time (mins)	Capacity (mAh)	Battery Voltage (V)	Discharge Current (mA)
81.1	333.84	1.01	247
81.3	334.51	1	242
81.4	335.25	1	250
81.6	335.92	0.99	247
81.8	336.59	0.98	249
81.9	337.33	0.98	243
82.1	338	0.97	246
82.3	338.66	0.96	245
82.4	339.41	0.95	243
82.6	340.08	0.94	243
82.8	340.74	0.93	245
82.9	341.49	0.92	248
83.1	342.32	0.91	246
83.3	342.64	1.09	0
83.5	342.64	1.11	0
83.6	342.64	1.12	0

Πίνακας 6.3 Πίνακας αποτελεσμάτων των τελευταίων λεπτών της μέτρησης μπαταρίας Ni-MH.

Στους πίνακες 6.2 και 6.3 απεικονίζονται οι μετρήσεις των μπαταριών Ni-MH και Ni-Cd μόνο στα τελευταία λεπτά λόγω μεγάλου μεγέθους. Όπως είναι φανερό από το διάγραμμα και τον πίνακα, προκύπτει ότι απαιτείται υποχρεωτικά η αντικατάσταση της μπαταρίας ιόντων λιθίου ενώ οι άλλες 2 βρίσκονται σε αρκετά

καλή κατάσταση. Τα mA που χρησιμοποιήθηκαν για την κάθε μέτρηση ήταν περίπου ίσα με το μισό των ονομαστικών mAh που αναγράφονται σε κάθε μπαταρία. Για παράδειγμα, η ονομαστική χωρητικότητα της εξεταζόμενης Ni-Cd μπαταρίας ήταν 1200 mAh και υποβλήθηκε σε φορτίο 650 mA κατά μέσο όρο. Αντίστοιχα και στις άλλες 2 μπαταρίες.

Τέλος, να σημειωθεί ότι η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής. Το αποτέλεσμα της μέτρησης της Ni-MH, για παράδειγμα, μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες για μια εφαρμογή ενώ ταυτόχρονα μπορεί να μην είναι αρκετή, για να καλύψει μια διαφορετική εφαρμογή. Συνοψίζοντας, η απόφαση για την κατάσταση μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας λαμβάνεται με βάση τα αποτελέσματα αλλά και τις προδιαγραφές του κυκλώματος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

6.2 Μέτρηση πλήρους κύκλου

Μια μέτρηση πλήρους κύκλου αποτελείται από μέτρηση της χωρητικότητας των χημικών της μπαταρίας κατά τη διάρκεια της φόρτισης, της εκφόρτισης και ξανά της φόρτισης. Ο υπολογισμός της χωρητικότητας με αυτήν τη μέθοδο είναι αρκετά ακριβής, όμως είναι εύκολα αντιληπτό ότι καταναλώνει υπερβολικά αρκετό χρόνο.

6.3 Μέτρηση «Rapid-test»

Οι συνήθεις διαγνωστικές μέθοδοι περιλαμβάνουν το πεδίο του χρόνου ενεργοποιώντας την μπαταρία με παλμούς, για να παρατηρήσουν τη ροή των ιόντων σε μια Li-Ion μπαταρία για παράδειγμα, και το πεδίο της συχνότητας σαρώνοντας την μπαταρία με διάφορες συχνότητες. Προηγμένες «rapid-test» τεχνολογίες απαιτούν μεγάλη πολυπλοκότητα με συγκεκριμένες παραμέτρους ειδικές για τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες και πίνακες που θα χρησιμοποιούνται ως πίνακες αναζήτησης. Είναι μια εφαρμογή με μεγάλο κόστος τόσο οικονομικό όσο και υπολογιστικό.

6.4 Μέτρηση κατά την φόρτιση

Αυτή η δυνατότητα παρέχεται από φορτιστές καινούργιας τεχνολογίας που μπορούν να διαβάσουν μέσω αλγόριθμου φιλτραρίσματος την ποιότητα της φόρτισης της μπαταρίας και να μετρήσουν την χωρητικότητά της μέχρι να φορτίσει πλήρως. Λόγω της προηγμένης τεχνολογίας και αυτή η μέθοδος είναι αρκετά κοστοβόρα και πολύπλοκη.

6.5 Δείκτης κατάστασης ζωής

Είναι μία τεχνολογία που αναπτύχθηκε τελευταία[8] και υπολογίζει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας μετρώντας τα coulombs που θα μεταφέρει στη ζωή της. Η διαδικασία μέτρησης ξεκινάει μετρώντας τα coulombs που μετέφερε σε έναν (1) πλήρη κύκλο και μετά τα πολλαπλασιάζει με τους εκτιμώμενους κύκλους ζωής της, βασισμένη πάντα στα ονομαστικά στοιχεία που δίνονται από τους κατασκευαστές, όπως για παράδειγμα τα volt, Ah καθώς και στους εκτιμώμενους κύκλους ζωής. Επίσης σε αυτή την περίπτωση υπάρχει το πρόβλημα του οικονομικού κόστους και της πολυπλοκότητας, αλλά εδώ έρχεται να προστεθεί και η αξιοπιστία του κατασκευαστή, διότι η μέτρηση βασίζεται σε κύρια ονομαστικά χαρακτηριστικά τα οποία έχει αποδώσει η κατασκευαστική εταιρεία.

Τα αποτελέσματα είναι πιθανόν αξιόπιστα, όταν τα συμπτώματα είναι ισχυρά. Αυτό δεν επιτυγχάνεται πάντα, ειδικά σε περιπτώσεις των μπαταριών που ανήκουν σε κάποιο πακέτο. Μία μπαταρία η οποία χρήζει αντικατάστασης απαιτείται να εμφανίζει έντονα και ακριβή συμπτώματα, για να αντικατασταθεί. Αξιόπιστες μετρήσεις είναι σχεδόν απίθανες να καταγραφούν, όταν τα συμπτώματα είναι ασαφή, γιατί αυτό «ξεγελάει» τον μετρητή της μπαταρίας δίνοντας με τη σειρά του μια λανθασμένη μέτρηση.

7.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

7.1 Συμπεράσματα

Το κύκλωμα της παρούσας εργασίας δεν μπορεί να αντικαταστήσει τα σύγχρονα βιομηχανικά εργαλεία μέτρησης καθώς και τους έμπειρους χειριστές αυτών. Ένας τέτοιος χειριστής έχει αποκτήσει την εμπειρία και τη δυνατότητα να αξιολογεί καλύτερα και πιο αποδοτικά τα αποτελέσματα μιας μέτρησης.

Ο σκοπός του συστήματος της εργασίας αυτής είναι, ο οποιοσδήποτε χρήστης να είναι σε θέση να διαπιστώσει αν η εξεταζόμενη επαναφορτιζόμενη μπαταρία πρέπει να αντικατασταθεί και η διαπίστωση αυτή είναι σημαντικό να μπορεί να γίνει εύκολα και απλά χωρίς την χρήση κάποιας ειδικής γνώσης. Με βάση τα παραδείγματα και τις μετρήσεις που αναπτύχθηκαν παραπάνω, είναι φανερό ποια

ήταν η μπαταρία που χρειαζόταν αντικατάσταση χωρίς κάποιος να είναι ειδικός, για να το αντιληφθεί.

Ο μόνος παράγοντας ο οποίος είναι μη ελέγξιμος είναι η χρήση για την οποία προορίζεται η κάθε μπαταρία. Αυτό σημαίνει ότι κάθε χρήστης θα πρέπει να γνωρίζει τις απαιτήσεις του συστήματος που εφαρμόζεται η επαναφορτιζόμενη μπαταρία, έτσι ώστε να είναι σε θέση να κρίνει αν το αποτέλεσμα της μέτρησης καλύπτει τις ανάγκες του. Παραδείγματος χάριν, αν μια μπαταρία αποδώσει 500 mAh με φορτίο 750 mA, θα πρέπει ο χρήστης να είναι σε θέση να συγκρίνει τις τιμές αυτές με τις απαιτήσεις, ώστε να οδηγηθεί στο συμπέρασμα αν η μπαταρία εξυπηρετεί τις ανάγκες του συγκεκριμένου συστήματος.

7.2 Μελλοντικές εξελίξεις

Η εργασία αυτή έχει περιθώρια βελτίωσης και εξέλιξης σε μερικούς τομείς. Κατ' αρχάς, ένας τομέας που θα μπορούσε να επεκταθεί είναι ο αυτός της συμβατότητάς της. Με τις κατάλληλες μετατροπές και προσθήκες θα μπορούσε το κύκλωμα να εξετάζει και επαναφορτιζόμενες μπαταρίες μόλυβδου οξέος (Lead acid) οι οποίες χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον στα αυτοκίνητα. Έπειτα θα μπορούσε πάλι με τις κατάλληλες προσθήκες να είναι συμβατή η εργασία αυτή και με μπαταρίες πολυμερούς ιόντων λιθίου (Li-Po) οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως σε φορητούς υπολογιστές και σε τηλεκατευθυνόμενες εφαρμογές (ελικοπτεράκι, drone κλπ.).

Οι αλλαγές αυτές αφορούν κυρίως τον κώδικα στον οποίο πρέπει να προστεθούν κάποιες γραμμές, για να μπορεί να χειρίζεται περαιτέρω τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Πέρα από τον κώδικα, επέκταση πρέπει να γίνει και στο μέγεθος του ρεύματος που μπορεί να περάσει από το τρανζίστορ, ώστε να μπορεί να υποστηρίξει μεγαλύτερες μπαταρίες, όπως την Lead acid ενός

αυτοκινήτου, η οποία έχει ονομαστική τάση 12 V. Επίσης θα πρέπει να σχεδιαστεί και κατάλληλη είσοδο του κυκλώματος για τύπους μπαταριών μη κυλινδρικούς.

Ένας άλλος τομέας που είναι υποκειμενικός και θα μπορούσε να επεκταθεί, είναι η ταχύτητα του κυκλώματος. Η επέκταση θα μπορούσε να ξεκινήσει από το ηλεκτρονικό μέρος του κυκλώματος, αντικαθιστώντας το τρανζίστορ και τον αισθητήρα ρεύματος με αντίστοιχα ηλεκτρονικά μεγαλύτερης εμβέλειας. Αυτές οι επεκτάσεις βέβαια θα επηρεάσουν και άλλα κομμάτια τις εργασίας, όπως την θερμοκρασία που θα σηκώνει το κύκλωμα κατά τη διαδικασία της μέτρησης, καθώς επίσης και την τάση της τροφοδοσίας, που θα χρειάζεται για την ορθή λειτουργία του κυκλώματος. Ίσως και κάποιες μικρές αλλαγές στον κώδικα επιτάχυνε σε κάποιο βαθμό τη μέτρηση των επαναφορτιζόμενων μπαταριών.

Τέλος, η συνδεσμολογία του κυκλώματος θα μπορούσε να απλουστευθεί ακόμα περισσότερο μεταφέροντας όλες τις συνδέσεις σε μια πλακέτα χωρίς να απαιτείται κάποιο καλώδιο ή κάποιο δοκιμαστικό breadboard. Εκτός από τη βελτιστοποίηση της συνδεσμολογίας θα μπορούσε να κατασκευαστεί και κάποιο είδος κουτιού το οποίο θα περιέχει το κύκλωμα, και να εγκατασταθούν κάποια κομμάτια, όπως η οθόνη, τα ποτενσιόμετρα και οι διακόπτες του σε συγκεκριμένες βολικές για τον χρήστη θέσεις.

8.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] https://batteryuniversity.com/learn/archive/battery_statistics
- [2] www.ti.com/lit/an/snva533/snva533.pdf
- [3] https://www.greencarreports.com/news/1120320_lithium-ion-vs-nickel-metal-hydride-toyota-still-likes-both-for-its-hybrids
- [4] https://batteryuniversity.com/learn/archive/non_correctable_battery_problems
- [5] <https://learn.adafruit.com/adafruit-ina219-current-sensor-breakout>
- [6] <https://www.arduino.cc/en/main/software>
- [7] <http://www.vwlowen.co.uk/arduino/battery-tester/battery-tester.htm>
- [8] https://batteryuniversity.com/learn/article/battery_test_methods
- [9] <https://learn.adafruit.com/all-about-batteries/power-capacity-and-power-capability>

- [10] <https://coolweb.gr/mpataries-pos-leitourgoun/>
- [11] <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-a-battery/all>
- [12] https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries
- [13] https://batteryuniversity.com/learn/article/nickel_based_batteries
- [14] <https://study.com/academy/lesson/how-rechargeable-batteries-work.html>
- [15] <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/battery5.htm>
- [16] https://el.wikipedia.org/wiki/Μπαταρία_ιόντων_λιθίου
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93cadmium_battery#Applications
- [18] https://www.researchgate.net/publication/11640856_Issues_and_Challenges_Facing_Rechargeable_Lithium_Batteries
- [19] https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_measure_capacity
- [20] <https://sciencing.com/test-nicad-battery-6857292.html>
- [21] <https://www.ebme.co.uk/articles/maintenance/testing-nicd-and-nimh-batteries>