

Συστοιχία δυο μπαταριών ιόντων λιθίου συνδεδεμένες σε σειρά (2S1P)
με ενσωματωμένο σύστημα διαχείρισης μπαταριών

Στάθης Κατσίρης

Εισαγωγή

Ένα σύστημα διαχείρισης μπαταριών (battery management system – BMS) είναι μια συσκευή που συνδυάζει υλικό και λογισμικό για την εποπτεία μιας συστοιχίας μπαταριών δηλαδή για την εποπτεία ενός συνόλου από ηλεκτρικά συνδεδεμένα κελιά μπαταριών με στόχο την διατήρηση της τάσης αλλά και του ρεύματος που παρέχει η συστοιχία στο φορτίο που τροφοδοτεί εντός των προκαθορισμένων ορίων τάσης και ρεύματος αντίστοιχα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Έτσι με ένα σύστημα διαχείρισης μπαταριών επιτυγχάνεται η σωστή λειτουργία της συστοιχίας και η βελτιστοποίηση της απόδοσής της καθώς και η ασφάλεια της συστοιχίας και συνεπώς η αύξηση της διάρκειας ζωής της. Όλα τα παραπάνω είναι εφικτά μέσω της μέτρησης σημαντικών παραμέτρων της συστοιχίας και των κελιών από τα οποία αποτελείται που αναλαμβάνει ένα σύστημα διαχείρισης μπαταριών όπως η συνολική τάση της συστοιχίας και η τάση των κάθε κελιών της, η μέση θερμοκρασία της συστοιχίας και η θερμοκρασία όλων των επιμέρους κελιών της και το ρεύμα εισόδου και εξόδου της συστοιχίας.

Η μέτρηση της τάσης του κάθε κελιού της συστοιχίας από το σύστημα διαχείρισης μπαταριών μπορεί να υλοποιηθεί τόσο με διακριτά στοιχεία όσο και με ολοκληρωμένα κυκλώματα. Στην περίπτωση της μέτρησης της τάσης του κάθε κελιού της συστοιχίας με διακριτά στοιχεία χρησιμοποιούνται είτε διαφορικοί μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακού σήματος (Differential Analog to Digital Converters – Differential ADC) είτε διαφορικοί μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακού σήματος σε συνδυασμό με πολυπλέκτες (Multiplexers). Χρησιμοποιώντας διαφορικούς μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακού σήματος επιτυγχάνεται η απόρριψη του σήματος που εμφανίζεται και στις δυο εισόδους του κάθε μετατροπέα με αποτέλεσμα οι μετρήσεις της τάσης να μην επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Έτσι η συγκεκριμένη τοπολογία μπορεί με την επιλογή των κατάλληλων μετατροπέων να προσφέρει ακριβείς μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο. Επίσης ο χρόνος που απαιτείται για τη μέτρηση της τάσης ενός κελιού της συστοιχίας χρησιμοποιώντας έναν διαφορικό μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακού σήματος είναι ίσος με τον χρόνο t_{conv} που απαιτεί αυτός ο μετατροπέας για τη μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και έτσι ο χρόνος που απαιτείται για τη μέτρηση της τάσης όλων των κελιών μιας ενότητας της συστοιχίας προκύπτει από τον παρακάτω τύπο.

$$t_{means} = n \cdot t_{conv}$$

Στον παραπάνω τύπο το n είναι το πλήθος των κελιών της ενότητας της συστοιχίας. Σε μια συστοιχία μπαταριών τα κελιά της συστοιχίας συνδέονται είτε σε σειρά είτε παράλληλα μεταξύ τους δημιουργώντας έτσι τις ενότητες της συστοιχίας. Με παρόμοιο τρόπο οι ενότητες της συστοιχίας συνδέονται και αυτές είτε σε σειρά είτε πιο σπάνια παράλληλα μεταξύ τους δημιουργώντας έτσι την συστοιχία. Συνδέοντας ενότητες κελιών και κατ' επέκταση κελιά σε σειρά επιτυγχάνεται το απαιτούμενο επίπεδο τάσης του εκάστοτε συστήματος μπαταριών ενώ η παράλληλη σύνδεσή τους βελτιώνει την διαθέσιμη ενέργεια και ισχύ του συστήματος μπαταριών καθώς το ρεύμα σε αυτήν την περίπτωση αυξάνεται. Εκτός όμως από τα πλεονεκτήματα της χρήσης μόνο διαφορικών μετατροπέων αναλογικού σε ψηφιακού σήματος για τη μέτρηση της τάσης του κάθε κελιού της συστοιχίας η συγκεκριμένη τοπολογία έχει και αρκετά μειονεκτήματα τα οποία και αποτρέπουν την χρήση αυτής της τοπολογίας στην περίπτωση που η συστοιχία αποτελείται από πολλά κελιά. Συγκεκριμένα στην περίπτωση πολλών κελιών που διαθέτουν τα μεγάλα συστήματα μπαταριών είναι απαραίτητη η αγορά και η αξιοποίηση πολλών διαφορικών μετατροπέων αναλογικού σε ψηφιακού σήματος με αποτέλεσμα να αυξάνεται τόσο το κόστος παραγωγής όσο και η πολυπλοκότητα στην σχεδίαση του υλικού. Αυτό το πρόβλημα έρχεται να αντιμετωπίσει η δεύτερη τοπολογία δηλαδή η τοπολογία στην οποία εκτός από τους διαφορικούς μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακού σήματος χρησιμοποιούνται και

πολυπλέκτες. Σε αυτήν βέβαια την τοπολογία ο χρόνος μέτρησης όλων των τάσεων των κελιών μιας ενότητας της συστοιχίας περιλαμβάνει τόσο το χρόνο μετατροπής του διαφορικού μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακού σήματος (t_{conv}) όσο και το χρόνο εναλλαγής των εισόδων του πολυπλέκτη σε κάθε ένα κελί της ενότητας της συστοιχίας ο οποίος και αντιστοιχεί στον χρόνο t_{mult} . Ο χρόνος μέτρησης όλων των τάσεων των κελιών μιας ενότητας της συστοιχίας στην περίπτωση της δεύτερης τοπολογίας προκύπτει από τον παρακάτω τύπο

$$t_{means} = n \cdot t_{conv} + (n - 1) \cdot t_{mult}$$

όπου n το πλήθος των κελιών της ενότητας της συστοιχίας. Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω τύπο ο χρόνος t_{means} στην περίπτωση της δεύτερης τοπολογίας είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο χρόνο στην περίπτωση της πρώτης τοπολογίας. Όσον αφορά την περίπτωση όπου αντί για διακριτά στοιχεία χρησιμοποιούνται ολοκληρωμένα κυκλώματα η μέτρηση της τάσης πραγματοποιείται σε κελιά που συνδέονται σε σειρά. Τα πιο γνωστά ολοκληρωμένα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται για αυτόν τον σκοπό είναι το BQ79656-Q1 της Texas Instruments και το ISL78714 της Renesas. Τα συγκεκριμένα ολοκληρωμένα κυκλώματα υποστηρίζουν έως και 16 κελιά σε σειρά με την ακρίβεια στην μέτρηση της τάσης να κυμαίνεται μεταξύ του 1mV και των 2mV ενώ παράλληλα τα ολοκληρωμένα αυτά κυκλώματα υποστηρίζουν και ψηφιακά πρωτόκολλα επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας για την επικοινωνία του συστήματος μπαταριών με την κεντρική μονάδα ελέγχου.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως εκτός από τη μέτρηση της τάσης του κάθε κελιού της συστοιχίας ένα σύστημα διαχείρισης μπαταριών είναι υπεύθυνο και για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του. Αυτό επιτυγχάνεται αξιοποιώντας τους κατάλληλους αισθητήρες θερμοκρασίας όπως είναι το θερμοζεύγος (thermocouple), το θερμίστορ (thermistor) και ο αναλογικός/ψηφιακός ολοκληρωμένος αισθητήρας θερμοκρασίας (analog/digital integrated temperature sensor). Το θερμοζεύγος αποτελείται από δυο ανόμοιους αγωγούς με τα άκρα της μιας τους πλευράς να ενώνονται μεταξύ τους και στα ελεύθερα άκρα της άλλης τους πλευράς να εμφανίζεται μετά από μεταβολή στην θερμοκρασία διαφορά δυναμικού (τάση). Όταν η θερμοκρασία των ελεύθερων άκρων των δυο αγωγών είναι σταθερή η τάση που αναπτύσσεται μεταξύ αυτών των άκρων μεταβάλλεται γραμμικά με την θερμοκρασία στο σημείο ένωσης των δεύτερων άκρων των δυο αγωγών δηλαδή στο σημείο της θερμοηλεκτρικής επαφής. Έτσι το θερμοζεύγος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στο σημείο ένωσης των δυο αγωγών οι οποίοι και κατασκευάζονται είτε από δυο διαφορετικά μέταλλα ή κράματα μετάλλων είτε από ημιαγωγούς. Αν και το θερμοζεύγος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση ενός μεγάλου εύρους θερμοκρασιών παρέχοντας ταυτόχρονα υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις το σήμα τάσης που παράγεται στα ελεύθερα άκρα των δυο αγωγών λόγω του φαινομένου Seebeck στο οποίο και στηρίζεται η λειτουργία του θερμοζεύγους είναι της τάξης των mV με αποτέλεσμα να απαιτείται ειδικό κύκλωμα ενίσχυσης του σήματος μετά το θερμοζεύγος. Το θερμίστορ από την άλλη είναι ένας ημιαγωγός η αντίσταση του οποίου μεταβάλλεται έντονα κάθε φορά που μεταβάλλεται η θερμοκρασία. Ανάλογα με το πως μεταβάλλεται η αντίσταση με την θερμοκρασία τα θερμίστορ διακρίνονται στα θερμίστορ με αρνητικό θερμοκρασιακό συντελεστή (Negative Temperature Coefficient Thermistor – NTC Thermistor) και στα θερμίστορ με θετικό θερμοκρασιακό συντελεστή (Positive Temperature Coefficient Thermistor – PTC Thermistor). Στα θερμίστορ με αρνητικό θερμοκρασιακό συντελεστή η αντίσταση μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία ενώ στα θερμίστορ με θετικό θερμοκρασιακό συντελεστή η αντίσταση αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Για να μπορέσει να μετρηθεί η θερμοκρασία με την βοήθεια ενός θερμίστορ αυτό θα πρέπει να συνδεθεί σε τοπολογία διαιρέτη τάσης ή σε τοπολογία γέφυρας Wheatstone. Αν και η ευαισθησία των θερμίστορ είναι συνήθως μικρότερη από αυτήν των θερμοζεύγων τα θερμίστορ ανταποκρίνονται πιο γρήγορα σε μεταβολές της θερμοκρασίας και παράλληλα χαρακτηρίζονται από μικρό κόστος και

από μικρό μέγεθος. Τέλος οι αναλογικοί/ψηφιακοί ολοκληρωμένοι αισθητήρες θερμοκρασίας είναι ειδικά ολοκληρωμένα κυκλώματα που ενσωματώνουν αισθητήρες θερμοκρασίας σε ένα μόνο στοιχείο. Τα ολοκληρωμένα αυτά κυκλώματα σε αντίθεση με τους προηγούμενους τύπους αισθητήρων θερμοκρασίας παρέχουν τόσο αναλογική όσο και ψηφιακή έξοδο. Οι αναλογικοί/ψηφιακοί ολοκληρωμένοι αισθητήρες θερμοκρασίας χαρακτηρίζονται από γρήγορη απόκριση και υψηλή ακρίβεια και είναι κατάλληλοι για μετρήσεις θερμοκρασίας ευρύτερου περιβάλλοντος και όχι ενός σημείου.

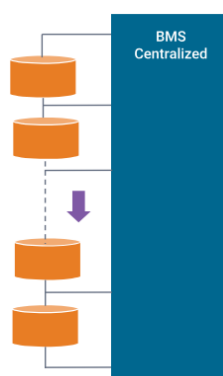
Η μέτρηση του ρεύματος που πραγματοποιεί ένα σύστημα διαχείρισης μπαταριών επιτυγχάνεται κυρίως είτε με μια αντίσταση Shunt είτε με κάποιον αισθητήρα που βασίζεται στο φαινόμενο Hall. Μια αντίσταση Shunt είναι μια αντίσταση χαμηλής τιμής και υψηλής ακρίβειας. Όπως είναι γνωστό όταν μια αντίσταση διαρρέεται από ρεύμα εμφανίζει στα άκρα της μια διαφορά δυναμικού η οποία και σύμφωνα με τον νόμο του Ohm είναι ανάλογη του ρεύματος. Έτσι μετρώντας την τάση στα άκρα της αντίστασης Shunt και γνωρίζοντας την τιμή της αντίστασης το σύστημα διαχείρισης μπαταριών μπορεί και μετράει το ρεύμα της συστοιχίας. Οι μετρήσεις του ρεύματος σε αυτήν την περίπτωση χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια ενώ παράλληλα δεν εμφανίζεται κάποιο offset σε μηδενικά ρεύματα. Στην περίπτωση χρήσης αισθητήρων που βασίζονται στο φαινόμενο Hall αυτοί οι αισθητήρες τοποθετούνται μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το ρεύμα που περνάει μέσα από τα καλώδια της συστοιχίας. Όταν το ρεύμα είναι μεγάλο χρησιμοποιούνται αισθητήρες σε σχήμα δακτυλίου προκειμένου το καλώδιο να περάσει μέσα από αυτούς ενώ όταν το ρεύμα είναι μικρό χρησιμοποιούνται αισθητήρες σε μορφή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων όπως είναι οι αισθητήρες Hall τριών ακροδεκτών. Αυτοί οι αισθητήρες χαρακτηρίζονται από καλή ακρίβεια ενώ η μέτρηση είναι εξ ορισμού απομονωμένη. Ωστόσο όταν αυτοί οι αισθητήρες προσπαθούν να μετρήσουν μηδενικό ρεύμα οι τιμές των μετρήσεων δεν είναι μηδέν και ταυτόχρονα οι μετρήσεις που προκύπτουν από αυτούς τους αισθητήρες επηρεάζονται από την θερμοκρασία.

Διάφορες ανομοιομορφίες των κελιών της συστοιχίας μπορούν να οδηγήσουν δυνητικά σε διαφορές μεταξύ των τάσεων των κελιών της επηρεάζοντας έτσι τη συνολική χωρητικότητα της συστοιχίας. Για αυτόν τον λόγο είναι σημαντικό τα συστήματα διαχείρισης μπαταριών να μπορούν να εξισορροπούν την ενέργεια μεταξύ των εν σειρά κελιών. Ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισης της περίσσειας ενέργειας των κελιών για τα οποία απαιτείται προσαρμογή της τάσης τους διακρίνονται δυο βασικές μέθοδοι εξισορρόπησης ενέργειας κελιών: η παθητική εξισορρόπηση και η ενεργή εξισορρόπηση κελιών. Στην παθητική εξισορρόπηση κελιών τα κελιά που χρειάζονται εξισορρόπηση αποφορτίζονται για όσο χρόνο απαιτείται μέσω μιας αντίστασης που συνδέεται παράλληλα με αυτά προκειμένου το επίπεδο φόρτισης (State of Charge – SoC) αυτών των κελιών να γίνει ίσο με εκείνο του κελιού με το μικρότερο επίπεδο φόρτισης. Η σύνδεση του κάθε κελιού που χρειάζεται εξισορρόπηση με την αντίσταση εξισορρόπησης που αντιστοιχεί σε αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ενός διακόπτη. Έτσι μέσω της μέτρησης της τάσης του κάθε κελιού αλλά και μέσω αυτών των διακοπών το σύστημα διαχείρισης μπαταριών επιλέγει τόσο το ποια κελιά χρειάζονται εξισορρόπηση όσο και τον χρόνο εξισορρόπησης που απαιτείται για αυτά. Επίσης η χρήση διακοπών και συνεπώς η διέλευση ρεύματος μέσω των αντιστάσεων εξισορρόπησης για όσο χρόνο απαιτείται επιτρέπει την επιλογή αντιστάσεων με σκοπό την αύξηση του ρυθμού εξισορρόπησης. Σε αντίθεση με την παθητική εξισορρόπηση κελιών στην οποία και η περίσσεια ενέργεια χάνεται σε μορφή θερμότητας στην ενεργή εξισορρόπηση κελιών η περίσσεια ενέργεια αποθηκεύεται σε στοιχεία αποθήκευσης ενέργειας όπως είναι οι πυκνωτές. Επιπλέον σε αντίθεση με την παθητική εξισορρόπηση κελιών η οποία υλοποιείται μόνο κατά την φόρτιση η ενεργή εξισορρόπηση κελιών υλοποιείται και κατά την φόρτιση και κατά την εκφόρτιση. Βέβαια η υλοποίηση της ενεργής εξισορρόπησης κελιών κατά την εκφόρτιση έχει νόημα μόνο όταν το ρεύμα εξισορρόπησης είναι συγκρίσιμο με το ρεύμα εκφόρτισης. Πέραν αυτών των πλεονεκτημάτων που διαθέτει η ενεργή εξισορρόπηση κελιών έναντι της

παθητικής εξισορρόπησης κελιών, τα κυκλώματα της ενεργής εξισορρόπησης κελιών είναι πιο περίπλοκα τόσο στον σχεδιασμό όσο και στον έλεγχό τους από τα κυκλώματα της παθητικής εξισορρόπησης κελιών. Για την υλοποίηση της ενεργής εξισορρόπησης κελιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός από πυκνωτές που αναφέρθηκε προηγουμένως και μετασχηματιστές. Η διαφορά μεταξύ του κυκλώματος με έναν πυκνωτή και του κυκλώματος με έναν μετασχηματιστή είναι πως στην πρώτη περίπτωση η μεταφορά της ενέργειας πραγματοποιείται μεταξύ δυο οποιονδήποτε κελιών της ενότητας της συστοιχίας ενώ στην δεύτερη περίπτωση η μεταφορά της ενέργειας πραγματοποιείται μεταξύ της ίδιας της ενότητας και ενός οποιουδήποτε κελιού της.

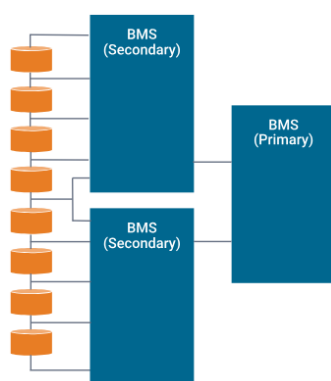
Μια ακόμα βασική λειτουργία ενός συστήματος διαχείρισης μπαταριών είναι και αυτή της ενεργοποίησης του συστήματος ψύξης/θέρμανσης για τον έλεγχο της θερμοκρασίας των κάθε κελιών της συστοιχίας. Σε αντίθεση με την λειτουργία της εξισορρόπησης όλων των κελιών σε παρόμοια επίπεδα φόρτισης η οποία αξιοποιεί τις μετρήσεις της τάσης του κάθε κελιού της συστοιχίας η λειτουργία της ενεργοποίησης του συστήματος της ενεργητικής ψύξης/θέρμανσης αξιοποιεί τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του κάθε κελιού της συστοιχίας.

Τα συστήματα διαχείρισης μπαταριών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται στην κάθε συστοιχία και συνεπώς ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν σε συγκεντρωτική αρχιτεκτονική BMS (centralized BMS architecture), σε αρθρωτή αρχιτεκτονική BMS (modular BMS architecture) και σε διανεμημένη αρχιτεκτονική BMS (distributed BMS architecture). Στην συγκεντρωτική αρχιτεκτονική BMS όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα

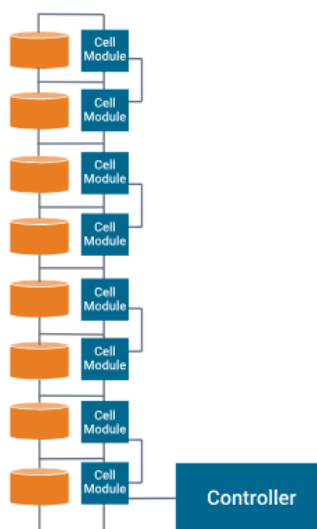


υπάρχει ένα μόνο σύστημα διαχείρισης μπαταριών και όλες οι μπαταρίες (κελιά) της συστοιχίας συνδέονται απευθείας σε αυτό με αποτέλεσμα το σύστημα διαχείρισης μπαταριών να πρέπει να διαθέτει πολλούς ακροδέκτες ιδιαίτερα στην περίπτωση που η συστοιχία αποτελείται από πολλές μπαταρίες. Ένα ακόμα μειονέκτημα της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής BMS είναι η δυσκολία τόσο στην επίλυση των προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν κατά την διάρκεια της λειτουργίας όλου του συστήματος όσο και η δυσκολία στην συντήρησή του. Από την άλλη λόγω του ότι στην συγκεκριμένη αρχιτεκτονική BMS χρησιμοποιείται ένα μόνο σύστημα διαχείρισης μπαταριών η αγορά και η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος δεν απαιτεί την καταβολή κάποιου μεγάλου χρηματικού ποσού. Στην αρθρωτή αρχιτεκτονική BMS υπάρχει η κεντρική μονάδα ελέγχου του συστήματος διαχείρισης μπαταριών και οι μονάδες εποπτείας ενότητας κελιών. Ο βασικός ρόλος της κάθε μονάδας εποπτείας είναι η μέτρηση της τάσης και της θερμοκρασίας του κάθε κελιού της ενότητας της συστοιχίας αλλά και η εξισορρόπηση του επιπέδου φόρτισης των κελιών της. Για την αποφυγή τυχόν προβλημάτων στην μέτρηση της τάσης και της θερμοκρασίας οι μονάδες εποπτείας είτε ενσωματώνονται στις ενότητες κελιών της συστοιχίας είτε τοποθετούνται πολύ κοντά σε αυτές. Από την άλλη η κεντρική μονάδα ελέγχου αναλαμβάνει τη συλλογή των μετρήσεων από τις μονάδες εποπτείας και την κατάλληλη

επεξεργασία τους ώστε η πρώτη να μπορέσει να εκτιμήσει σωστά την κατάσταση φόρτισης και την κατάσταση υγείας (State of Health – SoH) της συστοιχίας. Έτσι η κεντρική μονάδα ελέγχου μπορεί να συμβάλλει στην αποδοτικότερη φόρτιση και εκφόρτιση της συστοιχίας. Παράλληλα η κεντρική μονάδα ελέγχου είναι υπεύθυνη και για τη μέτρηση του ρεύματος της συστοιχίας, τη σύνδεση και αποσύνδεση της συστοιχίας από το υπόλοιπο σύστημα καθώς και για την επικοινωνία του συστήματος μπαταριών με εξωτερικά συστήματα. Η αρθρωτή αρχιτεκτονική BMS η οποία και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα προσφέρει μεγάλη ευελιξία και ακεραιότητα στις μετρήσεις.



Τέλος στην διανεμημένη αρχιτεκτονική BMS υπάρχει μια μονάδα εποπτείας για κάθε κελί και η κάθε μια από αυτές τις μονάδες επιτελεί όλες τις λειτουργίες του συστήματος διαχείρισης μπαταριών. Η διανεμημένη αρχιτεκτονική BMS εμφανίζεται συνήθως σε μεγάλα συστήματα μπαταριών όπου οι ενότητες κελιών συνδέονται παράλληλα και μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα. Η διανεμημένη αρχιτεκτονική BMS η οποία και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα χαρακτηρίζεται από αυξημένη πολυπλοκότητα και από αυξημένο κόστος.



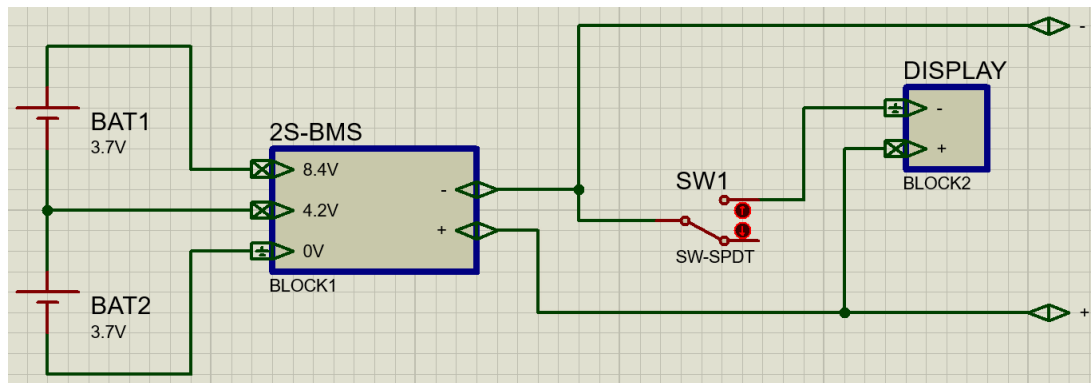
Εργασία

Εξαρτήματα

Για την κατασκευή της συστοιχίας των δυο μπαταριών ιόντων λιθίου 18650 χρησιμοποιήθηκε μια πλακέτα BMS με λειτουργία balance για τοπολογία 2S1P, ένας διακόπτης ON-ON SPDT τύπου toggle, ένα display ένδειξης της κατάστασης φόρτισης της συστοιχίας τύπου bar graph τεσσάρων λωρίδων και μια θήκη για δυο μπαταρίες

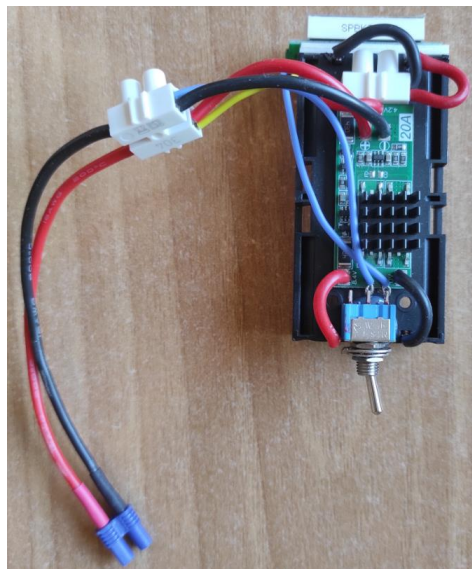
ιόντων λιθίου 18650. Εκτός από αυτά τα εξαρτήματα χρησιμοποιήθηκαν επίσης και μια ηλεκτρολογική κλέμα του ενός ακροδέκτη για καλώδιο διατομής $2,5\text{mm}^2$, μια ηλεκτρολογική κλέμα των δυο ακροδεκτών για καλώδιο διατομής $2,5\text{mm}^2$, μια ψήκτρα διαστάσεων $14\text{mm} \times 14\text{mm}$, ένα θηλυκό βύσμα τύπου EC2 με καλώδια και μεμονωμένα πολύκλωνα καλώδια διαφόρων διατομών.

Κύκλωμα



Το κύκλωμα που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Proteus.

Κατασκευή



Τρόπος λειτουργίας

Ο διακόπτης που στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιείται ως ON-OFF διακόπτης τοποθετείται στην θέση ON μόνο κατά την εκφόρτιση και μόνο όταν ο χρήστης θέλει να ενημερωθεί για την κατάσταση φόρτισης της συστοιχίας. Αντίθετα ο διακόπτης τοποθετείται στην θέση OFF μόνο κατά την φόρτιση της συστοιχίας.

Η φόρτιση και η εκφόρτιση της συστοιχίας πραγματοποιείται μέσω του ίδιου βύσματος (βύσμα EC2). Όσον αφορά το display η πρώτη του λωρίδα αντιστοιχεί σε ποσοστό φόρτισης 25%, η δεύτερη σε ποσοστό φόρτισης 50%, η τρίτη σε ποσοστό φόρτισης 75% και η τέταρτη σε ποσοστό φόρτισης 100%. Όταν δεν ενεργοποιείται κανένα από τα LED που αντιστοιχούν στις λωρίδες του display τότε η συστοιχία

χρειάζεται φόρτιση ενώ όταν ενεργοποιούνται και τα τέσσερα LED που αντιστοιχούν στις λωρίδες του display τότε η συστοιχία δεν χρειάζεται φόρτιση.

Η φόρτιση της συστοιχίας μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα τροφοδοτικό πάγκου. Σε αυτήν την περίπτωση η τάση του τροφοδοτικού πρέπει να ρυθμιστεί στα 8,4V (για την επέκταση της “ζωής” της κάθε μπαταρίας η τάση μπορεί να ρυθμιστεί στα 8,2V) και το ρεύμα του τροφοδοτικού πρέπει να περιοριστεί έως τα 3A. Η τάση των 8,4V υποδηλώνει πως η τάση πλήρους φόρτισης της κάθε μπαταρίας είναι 4,2V ενώ το ρεύμα των 3A υποδηλώνει ρυθμό φόρτισης 0,5C. Η φόρτιση της συστοιχίας έχει ολοκληρωθεί μόλις από την στιγμή που συνδεθεί στο τροφοδοτικό περάσουν περίπου δυο ώρες ή μόλις η ένδειξη του ρεύματος του τροφοδοτικού γίνει μικρότερη από το 3% της συνολικής χωρητικότητας της συστοιχίας δηλαδή μόλις η ένδειξη του ρεύματος του τροφοδοτικού γίνει μικρότερη από 180mA. Οι παραπάνω ρυθμίσεις του τροφοδοτικού πάγκου ισχύουν στην περίπτωση που η συστοιχία αποτελείται από δυο μπαταρίες ιόντων λιθίου EFEST 3000mAh 35A 3,7V. Αν δεν χρησιμοποιηθούν οι συγκεκριμένες μπαταρίες και στην θέση τους χρησιμοποιηθούν άλλες μπαταρίες 18650 τότε η φόρτιση της συστοιχίας θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της κάθε μπαταρίας. Τα χαρακτηριστικά αυτά αναφέρονται στο datasheet της αντίστοιχης μπαταρίας.