



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**Σχεδίαση και κατασκευή ηλεκτρονικών
πλακετών για ηλεκτρικά οχήματα**

Διπλωματική Εργασία
Σταύρος Γεωργακόπουλος

Επιβλέπων καθηγητής: Νικόλαος Τσουρβελούδης
Μέλη Επιτροπής: Σάββας Πιπερίδης
Ελευθέριος Δοϊτσιδης

22 Σεπτεμβρίου 2021

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει διαδικασίες και τεχνικά μέσα τύπωσης ηλεκτρονικών κυκλωμάτων σε πλακέτες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τμήματα του συστήματος ελέγχου ενός πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος. Περιγράφεται η αρχική φάση σχεδίασης μέσω λογισμικού και εν συνεχεία η δημιουργία μίας πρωτότυπης συσκευής έκθεσης πλακετών σε υπεριώδη ακτινοβολία, ώστε να επιτευχθεί η τύπωση κυκλωμάτων σε πλακέτες με τη χρήση της φωτογραφικής μεθόδου. Τα αποτελέσματα εφαρμόζονται σε όχημα της ομάδας Technical University of Crete economy racing (TUCer) και συγκρίνονται με αντίστοιχες παρελθοντικές εφαρμογές.

Abstract

This bachelor's thesis presents all the technical means and procedures used for the creation of PCBs. These electronic boards are being utilised as part of an energy control system of a prototype Electric Vehicle (EV). The initial phase of the board design via computer software is described thoroughly, as well as the creation of a prototype Ultra Violet (UV) board exposure unit. Resulted Printed Circuit Boards (PCBs) are evaluated based on their functionality and reliability compared to the boards produced by TUCer team in the past.

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας μου με κάποια άτομα, τα οποία νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σάββα Πιπερίδη, μέλος της κατηγορίας Ε.ΔΙ.Π της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης και ιδρυτικό μέλος της ομάδας TUC-er, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ενταχθώ στην ομάδα, για το χρόνο που αφιέρωσε στην εκπαίδευση μου σε ό,τι αφορά τα ηλεκτρονικά και γενικότερα για την άψογη συνεργασία μας καθ' όλη την διάρκεια της πορείας μου στην ομάδα.

Τον επιβλέποντα μου κ. Νικόλαο Τσουρβελούδη, καθηγητή της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, για την συμμετοχή μου στην ομάδα και την βοήθεια του στην συγγραφή της εργασίας.

Τον κ. Ελευθέριο Δοϊτσίδη, επίκουρο καθηγητή της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, για την συμμετοχή του στην επιτροπή αξιολόγησης της παρούσας εργασίας.

Τον κ. Νικόλαο Γκιώνη και κ. Ιάσων Χρυσομάλλη, συμφοιτητές και μέλη της ομάδας, για την υπομονή τους και την πολύτιμη βοήθεια τους στην κάλυψη των κενών μου σε βασικές γνώσεις που αφορούν τα ηλεκτρονικά.

Τον κ. Χρήστο Ρώσσο, υποψήφιο διδάκτορα της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, για την παροχή τεχνογνωσίας όσον αφορά την κατασκευή πλακετών και τις συσκευές έκθεσης πλακετών.

Τέλος, την οικογένεια μου, Μαρία, Ηλία και Άρτεμις για την ψυχολογική και υλική στήριξη καθ' όλης της διάρκειας σπουδών μου.

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή	4
1.1 Ομάδα TUCer	4
1.2 Διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας στο όχημα	5
1.3 Προηγούμενη σχεδίαση και κατασκευές	6
1.4 Εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα	7
2 Ηλεκτρονικές πλακέτες	8
2.1 Στάδια κατασκευής	8
2.1.1 Σχεδίαση ηλεκτρονικού κυκλώματος	8
2.1.2 Μεταφορά σχεδίου πάνω στην πλακέτα	9
2.1.3 Αποχάλκωση	9
2.1.4 Διάτρηση πλακέτας	10
2.1.5 Επικάλυψη προστασίας ή επικασσιτέρωση	11
2.1.6 Τοποθέτηση και συγκόλληση ηλεκτρικών εξαρτημάτων	12
2.2 Μέθοδοι τύπωσης σχεδίου	12
2.2.1 Μέθοδος του μαρκadόρου	13
2.2.2 Μέθοδος θερμομεταφοράς τόνερ	13
2.2.3 Φωτογραφική Μέθοδος	14
2.2.4 Μέθοδος της μεταξοτυπίας	16
2.2.5 Επιλογή μεθόδου	16
3 Λογισμικά αυτόματης ηλεκτρονικής σχεδίασης	18
3.1 Λογισμικό KiCad	18
3.2 Σχεδίαση σχηματικού	19
3.3 Επιλογή εξαρτημάτων	20
3.4 Τοποθέτηση και διασύνδεση εξαρτημάτων στην πλακέτα	20
4 Συσσκευή έκθεσης πλακετών σε υπεριώδη ακτινοβολία	24
4.1 Υλικά κατασκευής	25
4.2 Συναρμολόγηση	25
4.3 Λογισμικό συσκευής	28
5 Πλακέτες πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος "Σπύρος Λούης"	29
5.1 Πλακέτα ελεγκτή του οχήματος	30
5.2 Πλακέτα συστημάτων ασφαλείας	31
5.3 Πλακέτα επιτάχυνσης του οχήματος	32
5.4 Πλακέτα ηλεκτρικών σημάτων υποστήριξης	34
5.5 Πλακέτα τροφοδοσίας	35
5.6 Πλακέτα ταχυμέτρου	36
5.7 Πλακέτα μέτρησης τάσης και ρεύματος	37
6 Επίλογος	39

Κατάλογος σχημάτων	40
Α΄ Ακρωνύμια και συντομογραφίες	41
Β΄ Κώδικας μικροελεγκτή συσκευής έκθεσης	42

1 Εισαγωγή

1.1 Ομάδα TUCer

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί μια αναφορά των αποτελεσμάτων που συγκεντρώθηκαν κατά την διάρκεια δραστηριοτήτων και έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της ομάδας TUCer. Η ομάδα TUCer είναι μια φοιτητική ομάδα, η οποία σχεδιάζει και κατασκευάζει πρωτότυπα ηλεκτρικά οχήματα χαμηλής κατανάλωσης και μηδενικών ρύπων χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το υδρογόνο. Από το 2008 η ομάδα συμμετέχει στο διεθνή διαγωνισμό Shell Eco-marathon Europe (SEM) [1] στην κατηγορία των πρωτότυπων οχημάτων πόλης με καύσιμο το υδρογόνο.



Σχήμα 1.1: Πρωτότυπο όχημα “Σπύρος Λούης” της ομάδας TUCer 2019.

Στα 14 χρόνια συμμετοχής η ομάδα έχει κερδίσει σημαντικές διακρίσεις πράγμα το οποίο φανερώνει το υψηλό επιστημονικό επίπεδο και την άρτια τεχνική κατάρτιση των μελών της σε θέματα που αφορούν καινοτομίες στον τομέα της υδρογονοκίνησης. Η συγκρότηση της ομάδας είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας του Διατμηματικού Εργαστηρίου Εργαλειομηχανών και του Εργαστηρίου Ευφυών Συστημάτων και Ρομποτικής του Πολυτεχνείου Κρήτης. Οι υπεύθυνοι καθηγητές των εργαστηρίων αυτών μοιράζονται ένα κοινό όραμα: αυτοκίνηση απαλλαγμένη από ορυκτά καύσιμα. Στόχος των καθηγη-

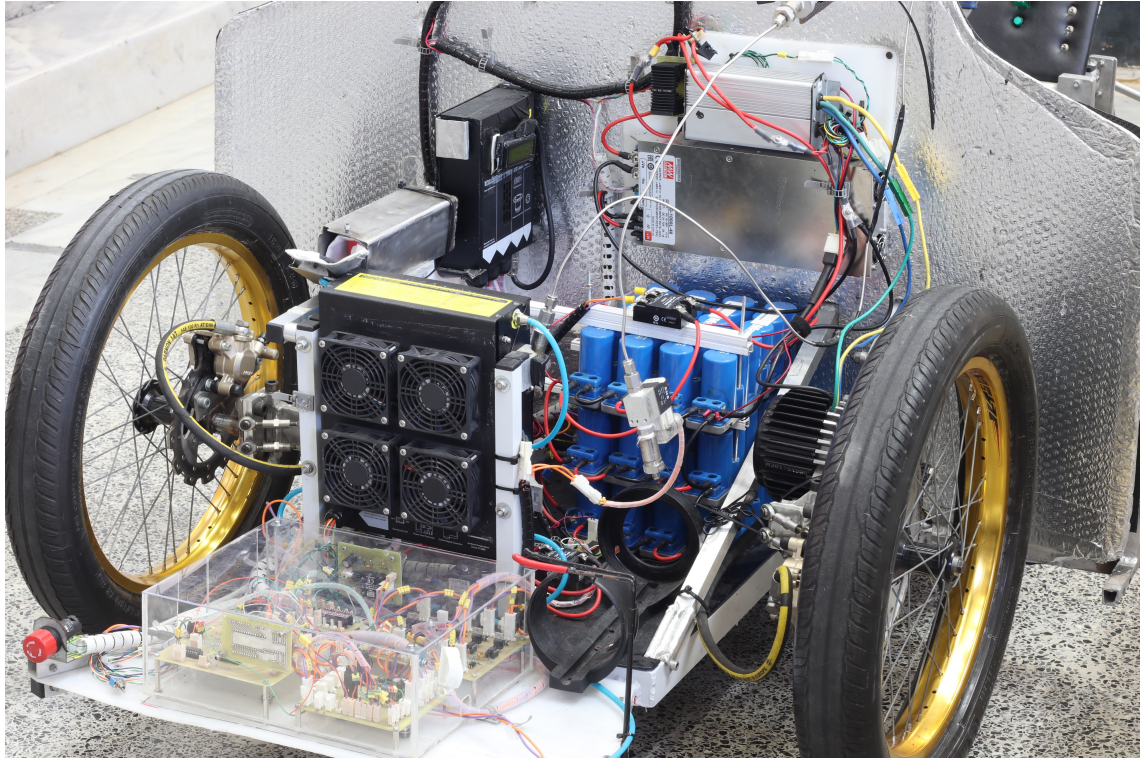
τών είναι να μεταδώσουν στους φοιτητές της ομάδας αυτό το όραμα προσφέροντας τους υψηλής ποιότητας εκπαίδευση, επαγγελματική και διεθνή αγωνιστική εμπειρία.

1.2 Διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας στο όχημα

Το όχημα “Σπύρος Λούης” [2] της ομάδας TUCer όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1 είναι ένα υδρογονοκίνητο όχημα. Το όχημα τίθεται σε κίνηση από έναν τριφασικό ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος καταναλώνει την ενέργεια που παράγεται από την κυψέλη προκειμένου να κινήσει το όχημα είτε με επιτάχυνση είτε με σταθερή ταχύτητα. Στα διαστήματα κατά τα οποία το όχημα επιβραδύνει ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί σαν γεννήτρια και παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η ενέργεια αποθηκεύεται σε μια συστοιχία υπερπυκνωτών, προς μελλοντική χρήση, όταν για παράδειγμα θα απαιτηθούν έντονες ή μακροχρόνιες επιταχύνσεις [3, 4]. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται βέλτιστη κατανάλωση καυσίμου. Η τοπολογία του ηλεκτρικού συστήματος του οχήματος καθώς και λεπτομέρειες που αφορούν το σύστημα διαχείρισης ενέργειας αναλύονται σε επιστημονικά άρθρα που έχουν δημοσιευθεί από την ομάδα [5, 6].

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι για να επιτευχθεί η βέλτιστη διαχείριση ενέργειας στο όχημα πρέπει τα ηλεκτρικά στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω να υποστηριχτούν από ένα σύνολο επιμέρους ηλεκτρικών εξαρτημάτων. Αυτά τα εξαρτήματα τοποθετούνται πάνω σε ηλεκτρονικές πλακέτες οι οποίες:

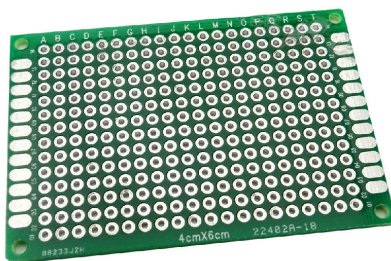
- Ελέγχουν τη ροή ενέργειας στο όχημα.
- Μετρούν την ισχύ που καταναλώνει ή παράγει το όχημα.
- Ενσωματώνουν μικροελεγκτές για προγραμματισμό διεργασιών σε πραγματικό χρόνο.



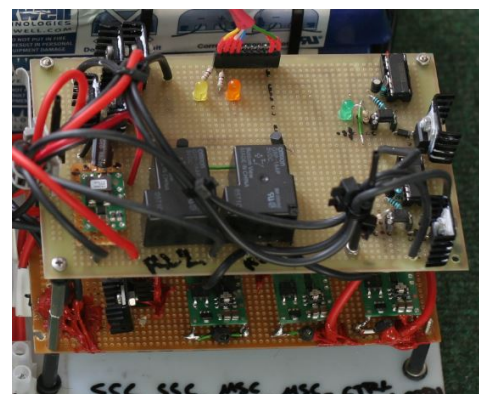
Σχήμα 1.2: Το μηχανοστάσιο του οχήματος “Σπύρος Λούης”

1.3 Προηγούμενη σχεδίαση και κατασκευές

Η κατασκευή ενός πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος επιτάσσει την χρήση πολύπλοκων ηλεκτρικών κυκλωμάτων συνεπώς χρήση ηλεκτρονικών πλακετών. Από τα αρχικά στάδια της πορείας της ομάδας μέχρι και το έτος 2018 η συνδεσμολογία των μικροηλεκτρικών εξαρτημάτων στο όχημα γινόταν πάνω σε διάτρητες πλακέτες. Η διάτρητη πλακέτα είναι μια πλακέτα με μεταλλικές οπές, στις οποίες μπορούν να συγκολληθούν ηλεκτρονικά στοιχεία [7].



Σχήμα 1.3: Κενή διάτρητη πλακέτα.



Σχήμα 1.4: Ηλεκτρονικές πλακέτες πρωτότυπου οχήματος της ομάδας, σχεδιασμένες και κατασκευασμένες το 2014.

Οι διάτρητες πλακέτες όπως αυτή στο Σχήμα 1.3 χρησιμοποιούνται στα πρώτα στάδια της σχεδίασης ενός ηλεκτρικού συστήματος, ώστε να γίνουν οι απαραίτητες δοκιμές και να ελεγχθεί η λειτουργία του. Όταν πρόκειται να κατασκευαστεί ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα με ελάχιστα εξαρτήματα οι διάτρητες πλακέτες αποτελούν την ιδανική επιλογή. Στην περίπτωση όμως κατασκευής ενός πολύπλοκου ηλεκτρικού συστήματος όπως αυτό στο Σχήμα 1.4, οι διάτρητες πλακέτες μειονεκτούν σημαντικά. Τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι η:

- ◇ Δυσκολία μεταφοράς του κυκλώματος από το σχέδιο στην πλακέτα.
- ◇ Υπερβολική κατανάλωση χρόνου στην συγκόλληση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.
- ◇ Μειωμένη στιβαρότητα κατασκευής.
- ◇ Μειωμένη αξιοπιστία στο τελικό προϊόν λόγω οξείδωσης των ηλεκτρικών ενώσεων με την πάροδο του χρόνου.

Επί σειρά ετών η ομάδα TUCer χρησιμοποιούσε τις διάτρητες πλακέτες για την κατασκευή απλών αλλά και σύνθετων κυκλωμάτων. Η τάση όμως για βελτίωση και η δημιουργία ενός πολύπλοκου συστήματος διαχείρισης ενέργειας ανέδειξε την ανάγκη υιοθέτησης μιας διαφορετικής προσέγγισης.

1.4 Εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα

Η έλλειψη τεχνογνωσίας της ομάδας στην κατασκευή τυπωμένων κυκλωμάτων οδήγησε στην αναζήτηση έτοιμων λύσεων από εταιρείες με πολυετή γνώση και εμπειρία στο αντικείμενο. Η αρχική προσπάθεια αναζήτησης έγινε στην τοπική αγορά της πόλης των Χανίων, όπου διαπιστώθηκε ότι η μοναδική επιχείρηση η οποία ειδικευόταν στην τύπωση κυκλωμάτων σε πλακέτες είχε κλείσει. Η επόμενη κίνηση της ομάδας ήταν να ζητήσει προσφορές από εταιρείες, οι οποίες δραστηριοποιούνταν στην Ελλάδα. Οι απαντήσεις δεν ήταν ικανοποιητικές καθώς τα κόστη για την παραγγελία ενός μικρού αριθμού πλακετών ήταν ιδιαίτερα μεγάλα. Οι εταιρίες ήταν πρόθυμες να ρίξουν το κόστος για μεγάλες παραγγελίες όμως αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον τρόπο λειτουργίας μιας ερευνητικής ομάδας. Η ανάγκη για την δημιουργία ενός αξιόπιστου ηλεκτρικού συστήματος προϋποθέτει τον συνεχή πειραματισμό με κυκλώματα ώστε να υπάρξει το θεμιτό αποτέλεσμα. Συνεπώς, η παραγγελία ενός μεγάλου αριθμού πλακετών ήταν μη συμφέρουσα επιλογή. Η λύση για το υψηλό κόστος ήρθε από το εξωτερικό. Εταιρίες με έδρα την Ασία προσέφεραν ιδιαίτερα φθηνά τις υπηρεσίες τους ακόμα και για παραγγελίες μικρού αριθμού πλακετών. Παρ' όλα αυτά η επιλογή για αγορά από το εξωτερικό απορρίφθηκε, καθώς δεν μπορούσε να υπερνικηθεί το εμπόδιο της χρονοβόρας αποστολής των πλακετών στο εργαστήριο της ομάδας. Μια ομάδα που αναπτύσσει οχήματα σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα έχει ανάγκη από ταχεία πρωτοτυποποίηση ηλεκτρονικών πλακετών. Συνεπώς, οποιαδήποτε αργοπορία στον τομέα της ανάπτυξης των ηλεκτρονικών συστημάτων θέτει την ομάδα εκτός στόχων. Για όλους τους παραπάνω λόγους η ομάδα αποφάσισε να αναπτύξει την δική της τεχνογνωσία στον τομέα των ηλεκτρονικών πλακετών ώστε να τυπώνει κυκλώματα ελαχιστοποιώντας το χρηματικό αλλά και το χρονικό κόστος κατασκευής.

2 Ηλεκτρονικές πλακέτες

Ηλεκτρονική πλακέτα είναι μια πλακέτα η οποία στηρίζει και συνδέει τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα χρησιμοποιώντας αγωγίμα μονοπάτια (tracks) και νησίδες (pads) σε φύλλα χαλκού κολλημένα σε μη αγωγίμο υλικό [8]. Μια τέτοια πλακέτα μπορεί να είναι μονής όψης (μια στρώση χαλκού), διπλής όψης (δύο στρώσεις χαλκού) ή ακόμη και πολλαπλών επιπέδων με ενδιάμεσες στρώσεις χαλκού. Οι αγωγοί στα διάφορα επίπεδα συνδέονται μεταξύ τους με επιμεταλλωμένες οπές (vias). Κάποια προηγμένα κυκλώματα μπορεί να περιέχουν εξαρτήματα (πυκνωτές, αντιστάσεις ή ενεργές συσκευές) ενσωματωμένα στο υπόστρωμα της πλακέτας.

2.1 Στάδια κατασκευής

Τα βήματα για την δημιουργία μίας πλακέτας αναλύονται στις παρακάτω υποενότητες με σειρά προτεραιότητας.

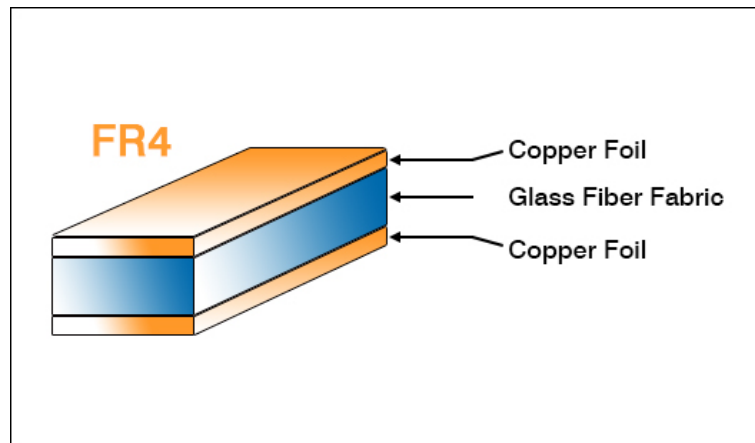
2.1.1 Σχεδίαση ηλεκτρονικού κυκλώματος

Η σχεδίαση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων περιλαμβάνει την διαδικασία επιλογής ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, καθώς και τον τρόπο διασύνδεσης τους, ώστε να λειτουργούν σύμφωνα με της ανάγκες επίλυσης ενός προβλήματος.

Παλαιότερα το σχέδιο όσο και οι υπολογισμοί ήταν μια διαδικασία εξ' ολοκλήρου χειρωνακτική (υπολογισμοί με το χέρι, σχέδιο με το χέρι κτλ). Σήμερα χρησιμοποιούνται προγράμματα Η/Υ (Electronic Design Automation, EDA) που έχουν αποθηκευμένα στις βάσεις τους όλα τα ηλεκτρονικά σύμβολα των εξαρτημάτων. Επίσης εκτελούν ελέγχους για σφάλματα, πραγματοποιούν προσομοίωση της λειτουργίας του κυκλώματος και εξαγάουν τα αρχεία που απαιτούνται από τους κατασκευαστές τυπωμένων κυκλωμάτων PCB.

Η σχεδίαση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων σε ηλεκτρονικές πλακέτες αλλά και σε ολοκληρωμένα κυκλώματα είναι μια διαδικασία που μπορεί να απαιτεί από μερικές ώρες μέχρι μήνες και χρόνια.

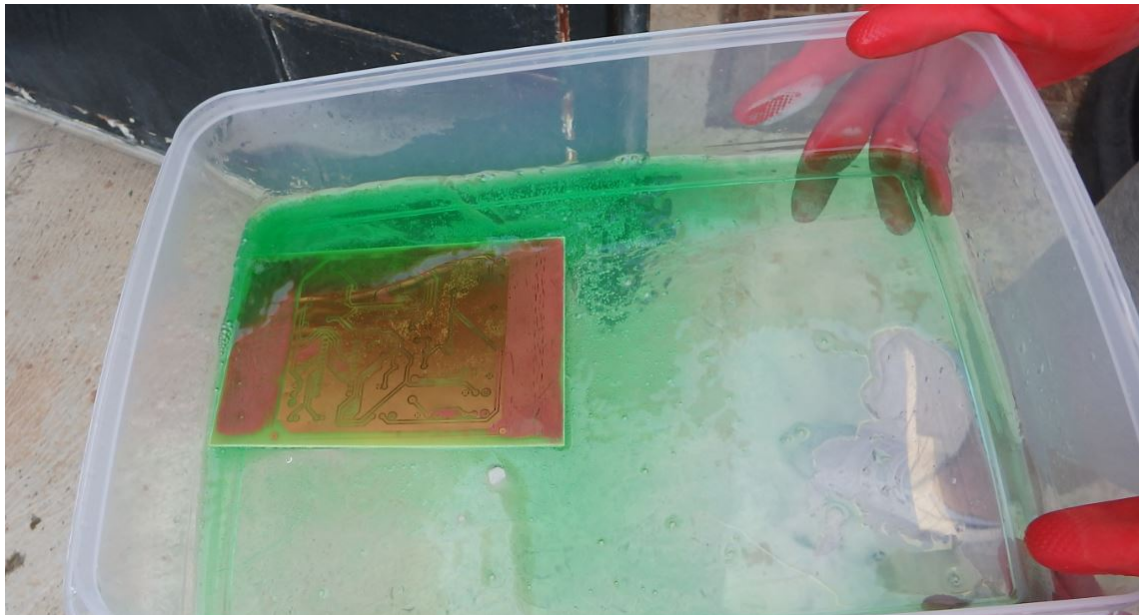
2.1.2 Μεταφορά σχεδίου πάνω στην πλακέτα



Σχήμα 2.1: Υλικά πλακέτας διπλής όψης

Αφού ολοκληρωθεί η σχεδίαση του ηλεκτρικού κυκλώματος έπεται η τύπωση του πάνω στην πλακέτα. Το υλικό κατασκευής της πλακέτας είναι οι ίνες υαλοβάμβακα FR4 [9], ένα στιβαρό μονωτικό υλικό με εξαιρετικές αντιπυρικές ιδιότητες. Πάνω από το υλικό αυτό είναι απλωμένη μια λεπτή στρώση φύλλου χαλκού όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Το σχέδιο τυπώνεται στην επιφάνεια του χαλκού με ποικίλες μεθόδους που περιγράφονται αναλυτικά στην ενότητα 2.2.

2.1.3 Αποχάλκωση



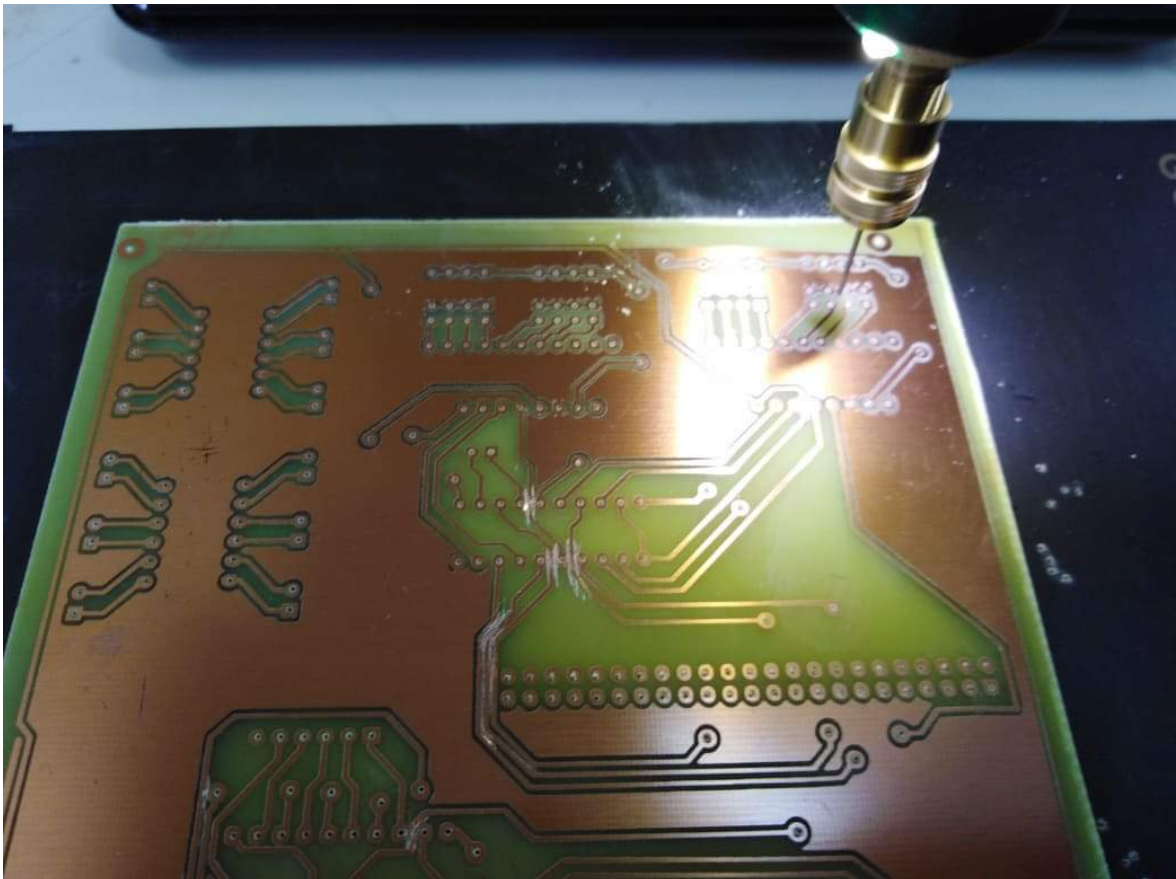
Σχήμα 2.2: Χημική αντίδραση αποχάλκωσης

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία μεταφοράς του κυκλώματος πάνω στην πλακέτα το επόμενο βήμα είναι η αφαίρεση του περισευόμενου χαλκού ώστε να εμφανιστεί το

επιθυμητό κύκλωμα με τη μορφή χαλκοδιαδρομών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από τη διαδικασία της αποχάλκωσης. Πρόκειται για μία χημική διαδικασία κατά την οποία η πλακέτα εμβαπτίζεται σε ένα υγρό όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2. Στη συνέχεια συντελείται μια εξώθερμη χημική αντίδραση κατά την οποία αντιδρώντα στοιχεία υδροχλωρικού οξέως (HCL) και υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) αλληλεπιδρούν με τα στοιχεία του χαλκού. Η συνολική διαδικασία διαρκεί πέντε λεπτά καθώς οι ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι ιδιαίτερα δραστικές. Λόγω των επικίνδυνων χημικών ουσιών η χημική αντίδραση είναι απαραίτητο να λαμβάνει χώρα στο εξωτερικό περιβάλλον ή σε επαρκώς αεριζόμενο εσωτερικό χώρο τηρώντας όλα τα μέτρα προστασίας για την αποφυγή εγκαυμάτων του δέρματος και εισπνοής βλαβερών αερίων. Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν την χρήση :

- Ελαστικών γαντιών,
- ολόσωμης φόρμας προστασίας,
- προστατευτικών γυαλιών,
- προστατευτικής μάσκας και
- δοχείου με νερό για επιβράδυνση της αντίδρασης.

2.1.4 Διάτρηση πλακέτας



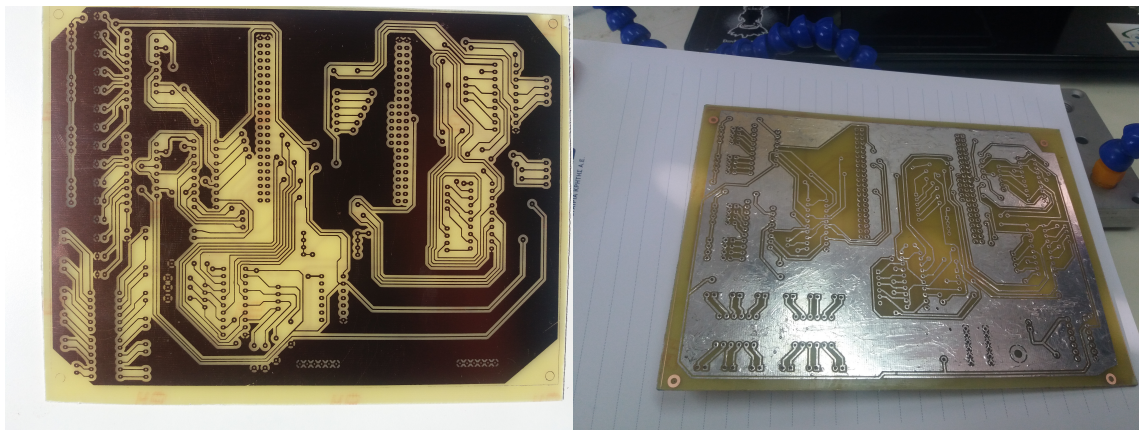
Σχήμα 2.3: Διάτρηση πλακέτας

Την διαδικασία της αποχάλκωσης διαδέχεται το στάδιο διάτρησης της πλακέτας δηλαδή της δημιουργίας οπών πάνω στις οποίες θα στηριχτούν τα ηλεκτρικά εξαρτήματα. Η διαδικασία της διάτρησης είναι ιδιαίτερα σημαντική για την τελική ποιότητα και την αξιοπιστία μίας ηλεκτρονικής πλακέτας. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την διάτρηση της πλακέτας είναι ένα μικρό δράπανο τύπου Dremel με μεγάλο εύρος λειτουργίας στροφών, μια κατακόρυφη βάση για την στήριξη του δραπάνου και ένα σετ τρυπανιών καρβιδίου μεγέθους $0.4 - 3\text{ mm}$. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται τρυπάνια καρβιδίου είναι η υψηλή σκληρότητα του υποστρώματος υαλοβάμβακα (FR4) της πλακέτας, η οποία φθείρει και σπάει πολύ γρήγορα τα συμβατικά τρυπάνια από ταχυχάλυβα.

2.1.5 Επικάλυψη προστασίας ή επικασσιτέρωση

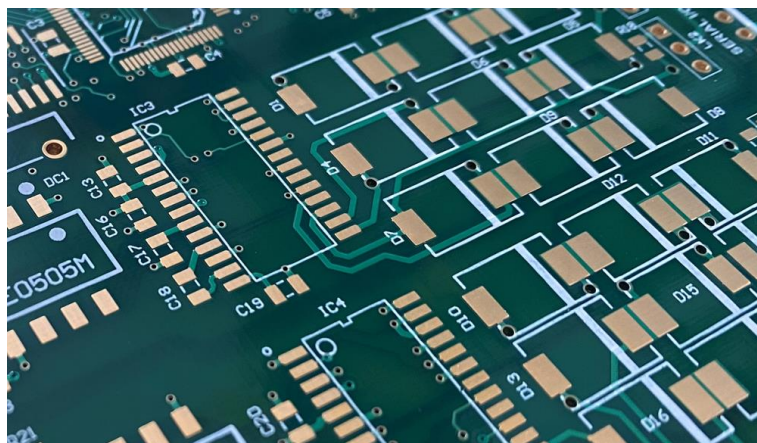
Όταν η πλακέτα περάσει το στάδιο της αποχάλκωσης τότε έχει μείνει μόνο το ηλεκτρικό κύκλωμα πάνω στην πλακέτα με τη μορφή καθαρού χαλκού. Ο χαλκός είναι ένα χημικό στοιχείο το οποίο όταν εκτίθεται σε περιβάλλον με υγρασία οξειδώνεται. Αυτή η οξείδωση μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση του μετάλλου με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν προβλήματα στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Υπάρχουν δύο τρόποι για να αποφευχθεί μία τέτοια κατάσταση.

Ο πρώτος τρόπος είναι η επικασσιτέρωση, όπου μία πάστα εμπλουτισμένη με κασσίτερο (Sn) απλώνεται πάνω στην πλακέτα και θερμαίνεται προκειμένου να λιώσει και να στεγανοποιήσει τον χαλκό. Στο Σχήμα 2.4 φαίνεται μια από τις πλακέτες του οχήματος TUCer πριν και μετά από την διαδικασία της επικασσιτέρωσης.



Σχήμα 2.4: Πλακέτα του οχήματος TUCer πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) από την διαδικασία της επικασσιτέρωσης.

Ο δεύτερος τρόπος προστασίας της πλακέτας από οξειδώσεις αλλά και από την δημιουργία αγωγίμων γεφυρών μεταξύ πολύ κοντινών νησίδων (pads), είναι η εφαρμογή ενός φωτοευαίσθητου φιλμ ή πάστας προστασίας (solder mask) [10]. Η πάστα ή το φιλμ τοποθετούνται πάνω στην πλακέτα και εκτίθενται σε υπεριώδη ακτινοβολία, ώστε να αφήσουν κενά μόνο τα μέρη του χαλκού πάνω στα οποία θα κολληθούν ηλεκτρικά εξαρτήματα. Αφού ολοκληρωθεί αυτό το στάδιο η πλακέτα αποκτά το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα της όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Ηλεκτρονική πλακέτα μετά την εφαρμογή του φιλμ προστασίας.

2.1.6 Τοποθέτηση και συγκόλληση ηλεκτρικών εξαρτημάτων

Τελευταίο στάδιο στην δημιουργία μίας πλακέτας είναι η τοποθέτηση των ηλεκτρικών εξαρτημάτων και έπειτα η συγκόλληση τους πάνω στην πλακέτα. Η εργοστασιακή μέθοδος τοποθέτησης των εξαρτημάτων γίνεται με αυτοματοποιημένες μηχανές τύπου pick and place, οι οποίες μέσω της οπτικής αναγνώρισης τοποθετούν με ακρίβεια ακόμα και τα πιο απαιτητικά εξαρτήματα. Στο εργαστήριο της ομάδας η τοποθέτηση των ηλεκτρικών εξαρτημάτων έγινε δια χειρός με την χρήση ειδικών λαβίδων.

Η συγκόλληση στα εργοστάσια παραγωγής πλακετών γίνεται με ψηφιακούς φούρνους ανάτηξης (reflow oven). Μετά το στάδιο της τοποθέτησης τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα συγκρατούνται στην πλακέτα προσωρινά από μια ρευστή πάστα σκόνης μετάλλων και κόλλας. Στη συνέχεια η πλακέτα περνάει από τον ψηφιακό φούρνο, όπου η πάστα θερμαίνεται συνεχίζοντας να είναι σε ρευστή κατάσταση με διαφορετική όμως σύσταση από την προηγούμενη. Οι ψηφιακοί φούρνοι εξασφαλίζουν την σωστή τήρηση του προφίλ ανάτηξης της πάστας κόλλησης σε κάθε τυπωμένο κύκλωμα με αποτέλεσμα τη σωστή συγκόλληση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων στα τυπωμένα κυκλώματα. Μετά την ολοκλήρωση της συγκόλλησης των εξαρτημάτων στα τυπωμένα κυκλώματα ακολουθεί καθαρισμός σε μπάνιο υπερήχων. Στο εργαστήριο της ομάδας τα εξαρτήματα δια μέσου οπών (Through Hole Technology, THT) και τα εξαρτήματα επιφανειακής στήριξης (Surface Mount Technology, SMT) στηρίχθηκαν μηχανικά και συνδέθηκαν ηλεκτρικά μέσω της λιωμένης μεταλλικής κόλλησης, η οποία απλώθηκε με το χέρι και τη βοήθεια του σταθμού κόλλησης.

2.2 Μέθοδοι τύπωσης σχεδίου

Στις παρακάτω υποενότητες περιγράφονται και συγκρίνονται διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να αποτυπωθεί το σχέδιο ενός ηλεκτρικού κυκλώματος πάνω σε μια πλακέτα [11], καθώς και οι λόγοι που συντέλεσαν στην καταλληλότερη επιλογή μεθόδου για την ομάδα TUCer.

2.2.1 Μέθοδος του μαρκαδόρου



Σχήμα 2.6: Αποτύπωση σχεδίου με τη μέθοδο μαρκαδόρου.

Χρησιμοποιώντας ειδικά διαμορφωμένους μαρκαδόρους είναι δυνατή η σχεδίαση με το χέρι του ηλεκτρικού κυκλώματος πάνω στην επιφάνεια του χαλκού όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.6. Το μελάνι αυτών των μαρκαδόρων έχει την ιδιαιτερότητα να αντιστέκεται στο διάλυμα της αποχάλκωσης με αποτέλεσμα να προστατεύει το χαλκό. Κατά τη διάρκεια της χημικής αντίδρασης αφαιρείται ο χαλκός της πλακέτας εκτός των σημείων που έχει περάσει από πάνω ο μαρκαδόρος. Στη συνέχεια με την χρήση οινόπνευματος αφαιρείται το μελάνι του μαρκαδόρου, σχηματίζοντας έτσι το τελικό κύκλωμα. Πρόκειται για μια μέθοδο που απαιτεί δεξιότητα όμως έχει περιορισμένες δυνατότητες καθώς δεν μπορεί να υπάρξει μεγάλη ακρίβεια στην αποτύπωση ενός πολύπλοκου και μεγάλου κυκλώματος. Επιπλέον, είναι αδύνατη η δημιουργία πλακέτας διπλής όψης με αυτήν την μέθοδο.

2.2.2 Μέθοδος θερμομεταφοράς τόνερ

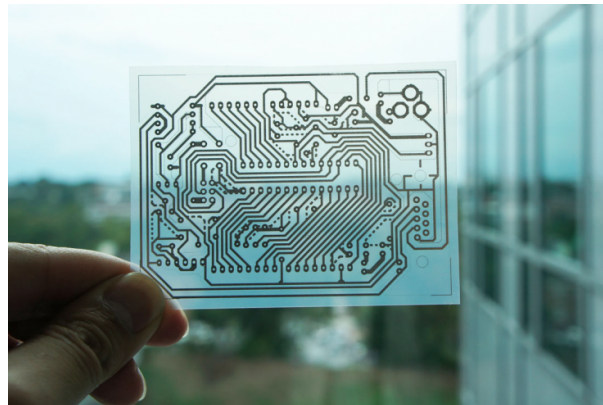
Μια απλή οικονομική μέθοδος με αρκετά καλά αποτελέσματα είναι αυτή της θερμομεταφοράς τόνερ. Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι ένα ειδικό χαρτί πάνω στο οποίο εκτυπώνεται το ηλεκτρικό σχέδιο όπως εμφανίζεται στο Σχήμα 2.7. Η εκτύπωση γίνεται σε laser εκτυπωτή. Αφού εκτυπωθεί το σχέδιο τοποθετείται το χαρτί πάνω στην πλακέτα. Έπειτα, θερμαίνεται και πρεσάρεται με ένα ηλεκτρικό σίδερο μέχρι να λιώσει το τόνερ και να κολλήσει πάνω στην πλακέτα. Στη συνέχεια τοποθετείται η πλακέτα για λίγη ώρα κάτω από κρύο νερό και αποκολλάται το χαρτί αφήνοντας πίσω του το ηλεκτρικό σχέδιο πάνω από τη στρώση του χαλκού. Τέλος, η πλακέτα είναι έτοιμη να περάσει από το στάδιο της αποχάλκωσης. Μειονέκτημα για την μέθοδο της θερμομεταφοράς τόνερ αποτελεί η αδυναμία δημιουργίας πλακετών διπλής όψης, αλλά και η διαχείριση πολύ λεπτών αγωγίων μονοπατιών.



Σχήμα 2.7: Αποτύπωση σχεδίου με τη μέθοδο της θερμομεταφοράς τόνερ.

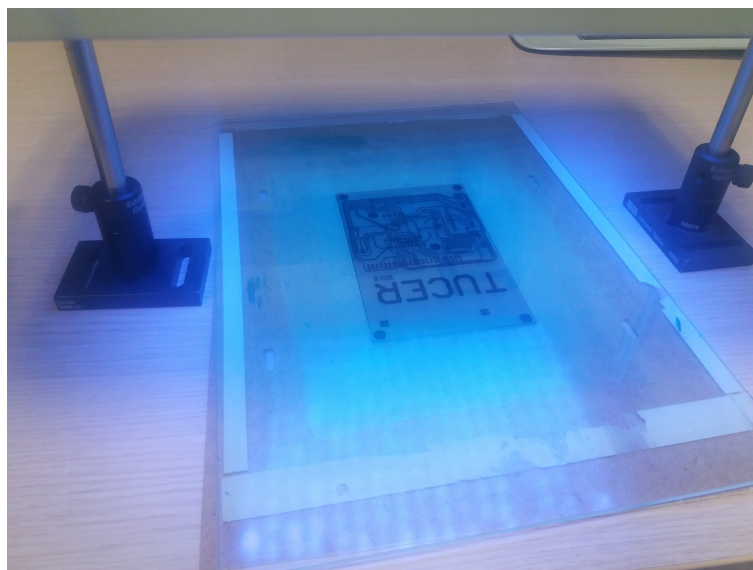
2.2.3 Φωτογραφική Μέθοδος

Η διαδικασία δημιουργίας τυπωμένων κυκλωμάτων με την φωτογραφική μέθοδο μπορεί να παράξει πολύ καλά αποτελέσματα για κυκλώματα με λεπτά αγωγίμα μονοπάτια και πολλές λεπτομέρειες. Πλακέτες μονής αλλά και διπλής όψης μπορούν να κατασκευαστούν βάσει αυτής της μεθόδου. Η μέθοδος της φωτογραφίας χρησιμοποιεί πλακέτες του εμπορίου, στις οποίες η στρώση του χαλκού έχει επικαλυφθεί με ένα φωτοευαίσθητο υλικό.



Σχήμα 2.8: Εκτυπωμένο ηλεκτρικό κύκλωμα σε διαφάνεια.

Αρχικά το σχέδιο του ηλεκτρικού κυκλώματος που έχει δημιουργηθεί σε λογισμικό Η/Υ εκτυπώνεται από laser εκτυπωτή σε ειδικές διαφάνειες όπως αυτήν του Σχήματος 2.8. Στη συνέχεια οι διαφάνειες τοποθετούνται πάνω στην φωτοευαίσθητη πλακέτα και εκτίθενται σε υπεριώδη ακτινοβολία UV όπως παρατηρείται στο Σχήμα 2.9. Η ισχύς της ακτινοβολίας UV αλλά και η απόσταση της πλακέτας από το φως αποτελούν παράγοντες που καθορίζουν το χρόνο έκθεσης της πλακέτας.



Σχήμα 2.9: Έκθεση πλακέτας ελέγχου ηλεκτρικού φορτίου ομάδας TUCer σε υπεριώδη ακτινοβολία.

Αφού ολοκληρωθεί ο φωτισμός της πλακέτας ακολουθεί η εμφάνιση της σε διάλυμα νερού και υδροξειδίου του νατρίου (NaOH), ώστε να απομακρυνθεί το υλικό που εκτέθηκε στο υπεριώδες φως. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι να απομείνει φωτοευαίσθητο υλικό κάτω από τα μελανά σημεία της διαφάνειας σχηματίζοντας έτσι το ηλεκτρικό σχέδιο πάνω στην επιφάνεια του χαλκού. Τέλος η πλακέτα είναι έτοιμη να περάσει από το στάδιο της αποχάλκωσης όπου αφαιρείται ο χαλκός εκτός από τα μέρη όπου υπάρχει ακόμα το φωτοευαίσθητο υλικό.

Είναι απαραίτητο να σημειωθεί πως για βέλτιστα αποτελέσματα οι διαφάνειες του κυκλώματος πρέπει να εκτυπώνονται τουλάχιστον τρεις φορές και να τοποθετούνται η μία πάνω από την άλλη ώστε να είναι έντονο το μαύρο χρώμα. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες να περάσει η ακτινοβολία σε ανεπιθύμητα σημεία. Επιπλέον, ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στο κεντράρισμα των διαφανειών όταν πρόκειται για τύπωση κυκλωμάτων σε πλακέτες διπλής όψης.

2.2.4 Μέθοδος της μεταξοτυπίας



Σχήμα 2.10: Κάδρο μεταξοτυπίας.

Η μέθοδος της μεταξοτυπίας ενδείκνυται για μαζική παραγωγή πλακετών. Βασικό εργαλείο αυτής της μεθόδου αποτελεί το κάδρο του Σχήματος 2.10, το οποίο είναι φτιαγμένο από ύφασμα μεταξιού.

Πρώτο βήμα της διαδικασίας είναι το άπλωμα ενός φωτοευαίσθητου γαλακτώματος με ειδική σπάτουλα όπως αυτή του Σχήματος 2.10. Έπειτα το κάδρο τοποθετείται σε ειδικό φούρνο ώστε να στερεοποιηθεί το γαλάκτωμα.

Δεύτερο βήμα στην διαδικασία αποτελεί η τοποθέτηση διαφανειών του ηλεκτρικού σχεδίου πάνω στο κάδρο, όπως στην φωτογραφική μέθοδο και η έκθεση τους σε υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Μετά την έκθεση στο φως ακολουθεί το πλύσιμο του κάδρου με νερό ώστε να απομακρυνθεί το περισσευούμενο φωτοευαίσθητο υλικό.

Σε αυτή την φάση πάνω στο κάδρο έχει σχηματιστεί το επιθυμητό ηλεκτρικό κύκλωμα. Πλέον, το κάδρο είναι έτοιμο να τοποθετηθεί πάνω από οποιαδήποτε πλακέτα χαλκού και με διαδοχικά περάσματα ειδικών γαλακτωμάτων, και έκθεσης σε υπεριώδες φως να σχηματίσει την τελική μορφή της πλακέτας όπως αυτή του Σχήματος 2.5.

2.2.5 Επιλογή μεθόδου

Έχοντας λάβει γνώση των τεχνικών δημιουργίας τυπωμένων κυκλωμάτων σε πλακέτες που περιγράφηκαν στις προηγούμενες υποενότητες, οι φοιτητές της ομάδας TUCer κλήθηκαν να αξιολογήσουν και να επιλέξουν την καταλληλότερη μέθοδο που εξυπηρετεί τις ανάγκες της ομάδας.

Παρά την ευκολία αποτύπωσης του ηλεκτρικού σχεδίου σε πλακέτα η μέθοδος του μαρκαδόρου και της θερμομεταφοράς τόνερ απορρίφθηκαν. Κύρια αιτία ήταν η αδυναμία δημιουργίας πλακετών διπλής όψης. Δευτερεύουσα αιτία ήταν τα μη αξιόπιστα αποτελέσματα για πλακέτες μονής όψης που φέρουν λεπτά αγωγίμα μονοπάτια.

Η μέθοδος της μεταξοτυπίας μπορεί να χαρακτηριστεί ως η πιο αξιόπιστη μέθοδος καθώς αποδίδει λεπτομέρειες σε πλακέτες μονής είτε διπλής όψης με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Παρά τα επαγγελματικά αποτελέσματα αυτή η μέθοδος δεν συνίσταται για δημιουργία λίγων τεμαχίων αλλά για μαζική παραγωγή. Επιπλέον, αυτή η μέθοδος απαιτεί ειδικές γνώσεις τις οποίες η ομάδα δεν μπορούσε να αποκτήσει την δεδομένη χρονική στιγμή συνεπώς την απέρριψε.

Η φωτογραφική μέθοδος ήταν αυτή που προτιμήθηκε τελικά διότι προσφέρει πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα για πλακέτες μονής και διπλής όψης. Αποδίδει ένα αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο λεπτομέρειας για πολύπλοκα ηλεκτρικά κυκλώματα με λεπτά αγωγίμα μονοπάτια. Επιπλέον, το κόστος κατασκευής μίας πλακέτας είναι μικρό καθώς τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ιδιαίτερα φθηνά. Έχοντας καταλήξει στην φωτογραφική μέθοδο επόμενη πρόκληση για τους φοιτητές της ομάδας ήταν η επιλογή του κατάλληλου λογισμικού για την σχεδίαση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων που θα τυπώνονταν πάνω στις πλακέτες.

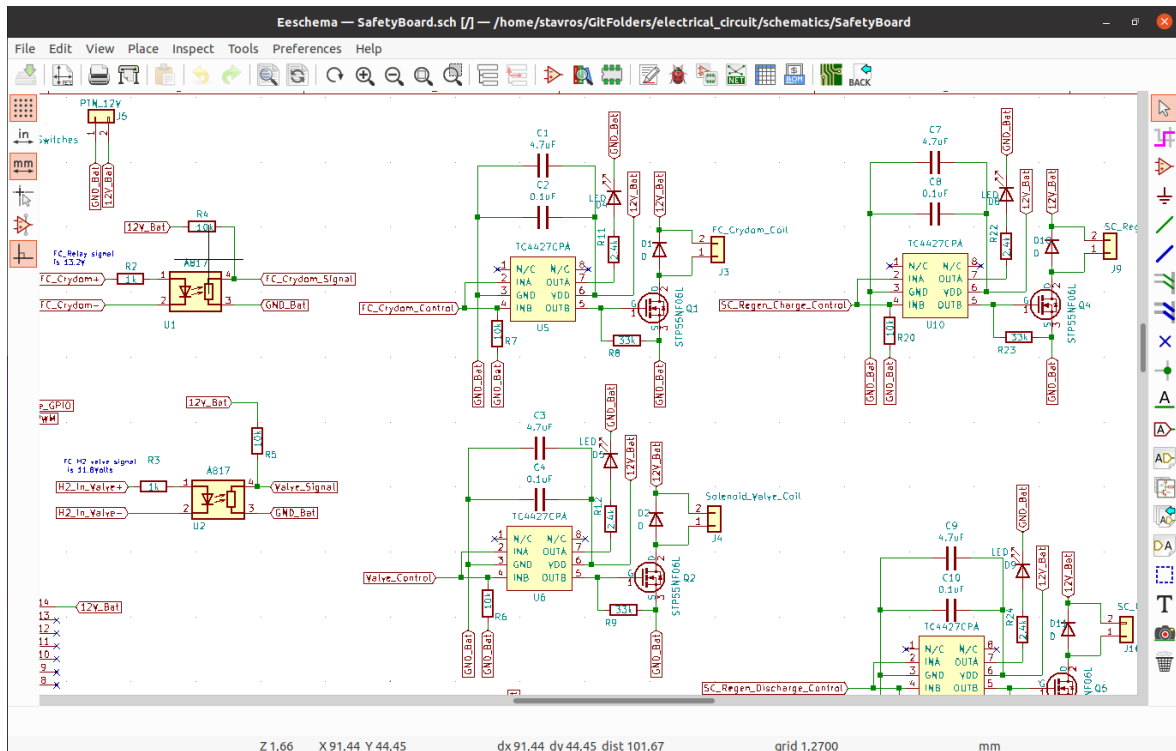
3 Λογισμικά αυτόματης ηλεκτρονικής σχεδίασης

Η δημιουργία μίας σύνθετης ηλεκτρονικής πλακέτας στη σύγχρονη εποχή απαιτεί την χρήση προγραμμάτων αυτόματης ηλεκτρονικής σχεδίασης EDA. Τα προγράμματα αυτά εκτελούνται στο στάδιο της σχεδίασης του ηλεκτρονικού κυκλώματος της πλακέτας και έχουν ως σκοπό την διευκόλυνση του χρήστη στην παραγωγή του τελικού σχεδίου. Κατά το παρελθόν τόσο οι υπολογισμοί όσο και το σχέδιο του ηλεκτρονικού κυκλώματος γίνονταν με το χέρι. Καταλαβαίνει κανείς το υψηλό επίπεδο πολυπλοκότητας, το μεγάλο περιθώριο λάθους καθώς και την τεράστια κατανάλωση χρόνου που απαιτούνταν για την δημιουργία μίας σύνθετης πλακέτας. Πλέον, οι σχεδιαστές με την βοήθεια των προγραμμάτων EDA έχουν την δυνατότητα να δημιουργούν ταχύτατα το θεωρητικό κύκλωμα της πλακέτας μέσα από την χρήση βιβλιοθηκών που περιέχουν όλα τα ηλεκτρονικά σύμβολα. Οι υπολογισμοί χειρός αντικαταστάθηκαν από εργαλεία προσομοίωσης της λειτουργίας του κυκλώματος, τα οποία επιτρέπουν στο χρήστη να πραγματοποιεί μετρήσεις αυτόματα σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος επιθυμεί. Άλλα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα λογισμικά EDA είναι τα εργαλεία αυτόματης διασύνδεσης των εξαρτημάτων (autorouting), αυτόματης αντιστοίχισης ηλεκτρονικών συμβόλων με πραγματικά εξαρτήματα και αυτόματης διεξαγωγής ελέγχου συνδέσεων στην πλακέτα. Η αναλυτική περιγραφή του κάθε εργαλείου γίνεται στις παρακάτω υποενότητες. Τέλος, πρέπει να τονιστεί πως η μεγάλη δύναμη των προγραμμάτων EDA είναι η παραγωγή έτοιμων αρχείων τύπου (Gerber), τα οποία είναι πλήρεις οδηγίες για τον κατασκευαστή του τυπωμένου κυκλώματος. Με αυτά τα αρχεία, είναι δυνατή η κατασκευή του τελικού κυκλώματος από οποιοδήποτε κατασκευαστή.

3.1 Λογισμικό KiCad

Ανάμεσα σε διάφορα προγράμματα αυτόματης ηλεκτρονικής σχεδίασης EDA αυτό που προτιμήθηκε από την ομάδα TUCer είναι το λογισμικό KiCad. Πρόκειται για μια εφαρμογή, η οποία διατίθεται δωρεάν στους χρήστες της μέσω του διαδικτύου [12]. Το πρόγραμμα KiCad είναι ένα λογισμικό ανοικτής αρχιτεκτονικής που παρέχει στους χρήστες του την άδεια να έχουν πρόσβαση, να αντιγράψουν και να τροποποιήσουν τον πηγαίο κώδικα του προγράμματος. Το KiCad είναι ιδιαίτερα εύχρηστο και περισσότερο φιλικό προς τον χρήστη σε σχέση με άλλα προγράμματα ηλεκτρονικής σχεδίασης τυπωμένων κυκλωμάτων. Αυτό το γεγονός το καθιστά το κατάλληλο εργαλείο σχεδίασης για τους αρχάριους φοιτητές της ομάδας. Η δομή και ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος παρουσιάζονται συνοπτικά στις παρακάτω ενότητες. Να αναφερθεί πως η εφαρμογή εγκαταστάθηκε και χρησιμοποιήθηκε στο περιβάλλον του λειτουργικού συστήματος Ubuntu [13].

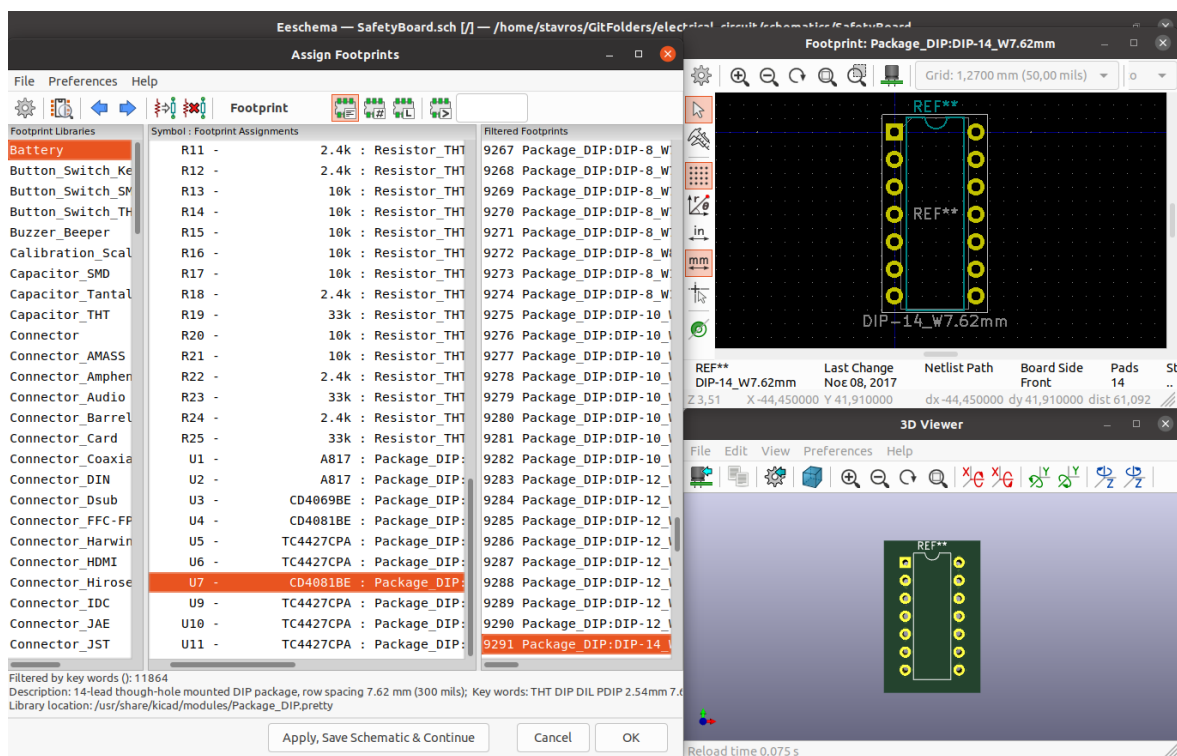
3.2 Σχεδίαση σχηματικού



Σχήμα 3.1: Σχέδιο θεωρητικού κυκλώματος πλακέτας συστημάτων ασφαλείας.

Με την εκτέλεση του προγράμματος εμφανίζεται ο διαχειριστής έργων (project manager). Πρώτο βήμα είναι η δημιουργία ενός project μέσα στο οποίο περιλαμβάνονται όλα τα αρχεία από τις βιβλιοθήκες και τα υποπρογράμματα του KiCad. Για κάθε ηλεκτρονική πλακέτα πρέπει να δημιουργηθεί ένα νέο project. Επόμενο βήμα είναι η σχεδίαση του σχηματικού χρησιμοποιώντας το υποπρόγραμμα EESchema. Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.1 πρώτα φορτώνονται στο σχηματικό όλα τα σύμβολα που αντιπροσωπεύουν κάποιο υπαρκτό εξάρτημα του κυκλώματος όπως είναι μια αντίσταση, ένας πυκνωτής, ένας μικροελεγκτής και άλλα. Για κάθε εξάρτημα αντιστοιχεί ένα σύμβολο, αν δεν υπάρχει το σύμβολο στις βιβλιοθήκες του KiCad τότε το δημιουργεί ο χρήστης από το υποπρόγραμμα Library editor. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η καλωδίωση του κυκλώματος, δηλαδή η διασύνδεση των ακροδεκτών μεταξύ των συμβόλων. Τα καλώδια φαίνονται στο σχήμα με πράσινο χρώμα. Ακολουθεί η αυτόματη αρίθμηση των συμβόλων και η δημιουργία μίας λίστας συνδέσεων που χρησιμεύει σε επόμενα στάδια του προγράμματος.

3.3 Επιλογή εξαρτημάτων



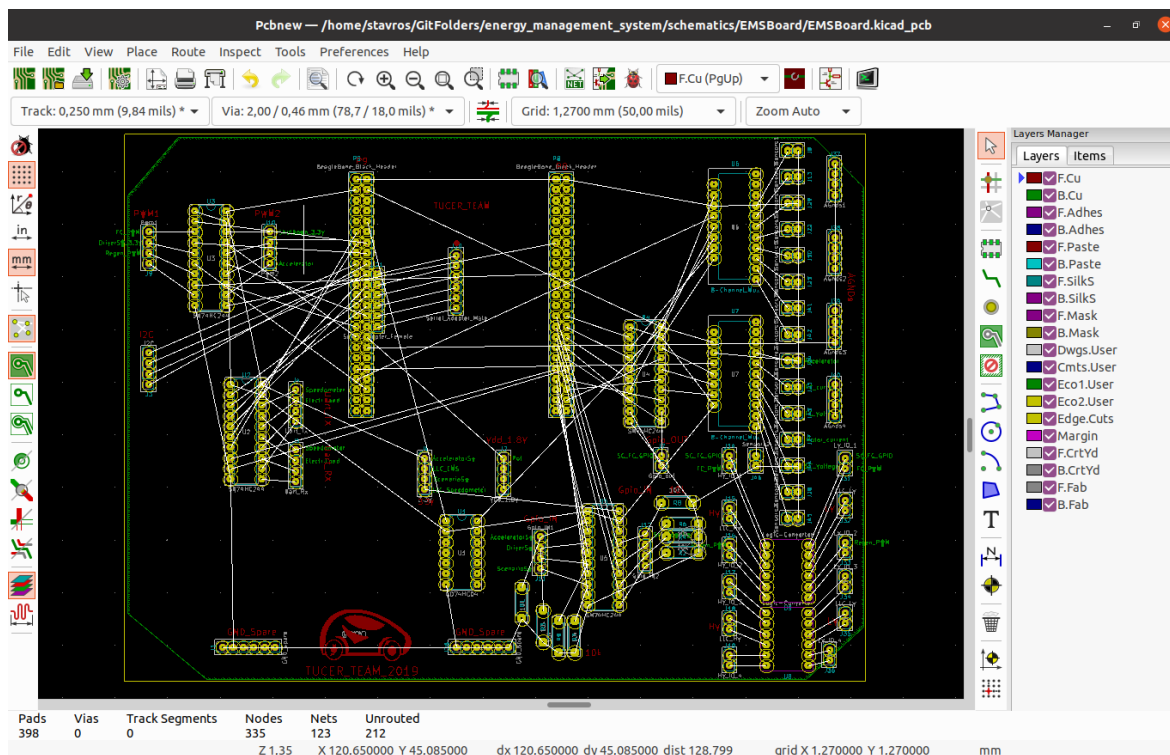
Σχήμα 3.2: Εργαλείο αντιστοίχισης συμβόλων CnPcb.

Αφού ολοκληρωθεί η σχεδίαση της σχηματικής αναπαράστασης του κυκλώματος το επόμενο στάδιο είναι η χρήση του εργαλείου CnPcb. Αυτό το εργαλείο παρέχεται από το πρόγραμμα, ώστε να βοηθήσει τον χρήστη στην αντιστοίχιση των συμβόλων του σχηματικού με τα ίχνη (footprints) των εξαρτημάτων στην πραγματική τους μορφή. Κάθε εξάρτημα το οποίο τοποθετείται σε μία πλακέτα έχει ένα ίχνος. Αυτό το ίχνος καθορίζει την διάσταση του εξαρτήματος, τις αποστάσεις μεταξύ των ακροδεκτών του, αν το εξάρτημα είναι επιφανειακής στήριξης (SMD) ή δια μέσου οπών (THT), σε ποία όψη της πλακέτας θα κολληθεί το εξάρτημα και άλλα. Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 3.2 το KiCad δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει μέσα από μια πληθώρα βιβλιοθηκών το κατάλληλο ίχνος για το εξάρτημα του. Προκειμένου να επιλέξει ο χρήστης το κατάλληλο ίχνος, το πρόγραμμα παρέχει την τρισδιάστατη απεικόνιση του εξαρτήματος για κάθε ίχνος όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.2. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως αν ο χρήστης δεν βρει το ίχνος που επιθυμεί τότε μπορεί να το δημιουργήσει ο ίδιος μέσα από το υποπρόγραμμα (Footprint editor).

3.4 Τοποθέτηση και διασύνδεση εξαρτημάτων στην πλακέτα

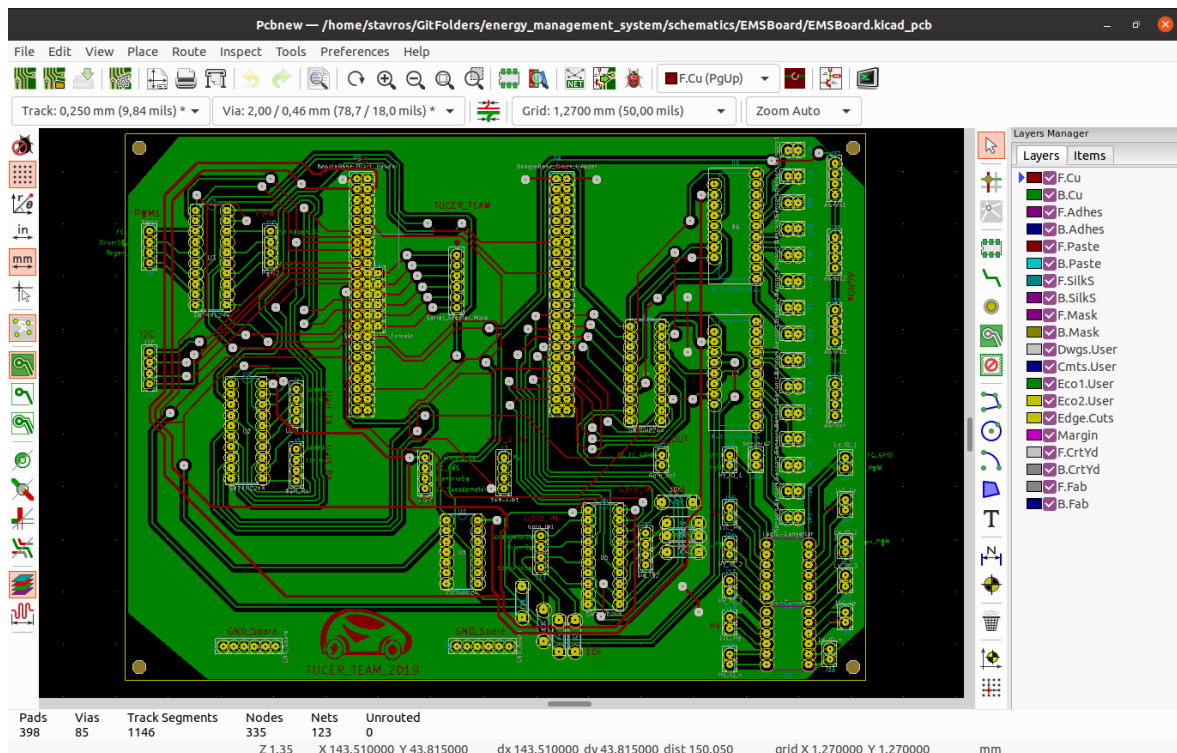
Τελικό στάδιο για την δημιουργία μίας ηλεκτρονικής πλακέτας στο πρόγραμμά KiCad είναι η εκτέλεση του υποπρογράμματος σχεδίασης Pcbnew. Αρχικά ο χρήστης φορτώνει στην εφαρμογή την λίστα των εξαρτημάτων με τα ίχνη (footprints) τους, καθώς και τις συνδέσεις μεταξύ αυτών. Έπειτα, θέτονται όλοι οι απαραίτητοι κανονισμοί για την

σχεδίαση της πλακέτας. Αυτοί οι κανόνες ορίζουν το μέγεθος των οπών, το πάχος και την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των γραμμών σύνδεσης. Στο Σχήμα 3.3 φαίνονται κάποιες άσπρες γραμμές μεταξύ των εξαρτημάτων. Αυτές οι γραμμές δείχνουν στον σχεδιαστή τις συνδέσεις που πρέπει να γίνουν. Ο χρήστης πρέπει να τοποθετήσει τα εξαρτήματα με τέτοιο τρόπο ώστε να διασταυρώνονται όσο το δυνατό λιγότερες άσπρες γραμμές.

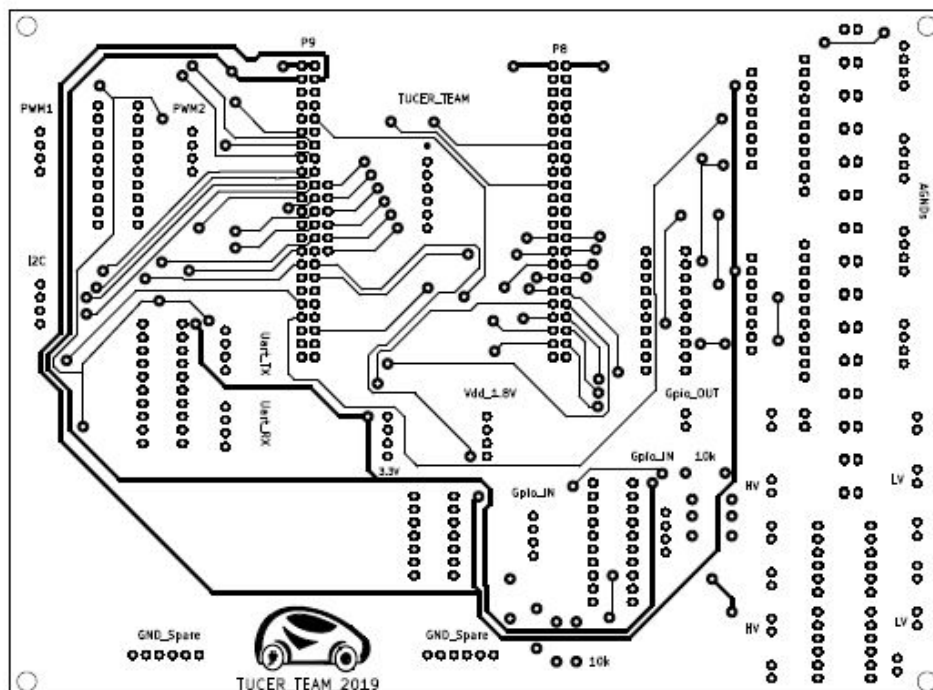


Σχήμα 3.3: Στάδιο σύνδεσης εξαρτημάτων πλακέτας ελεγκτή του οχήματος .

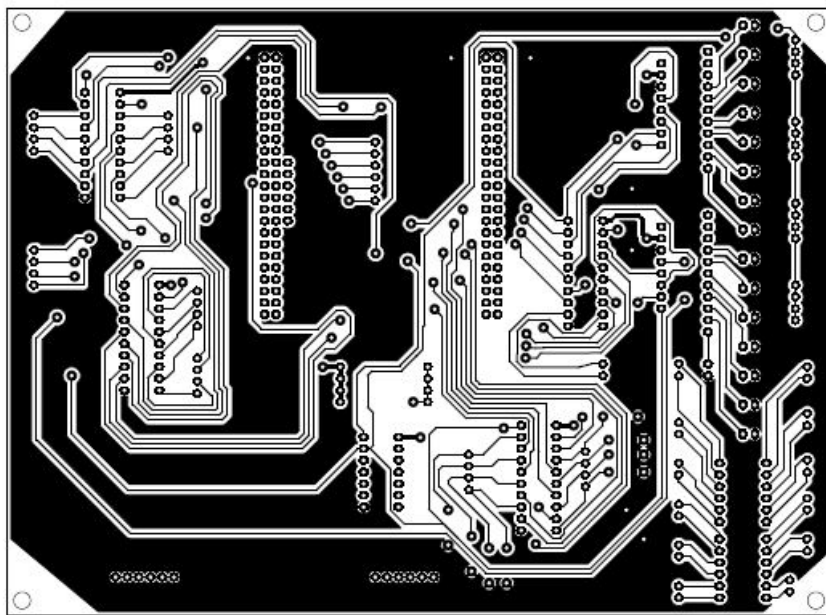
Το επόμενο βήμα είναι η σύνδεση των εξαρτημάτων είτε χειροκίνητα είτε αυτόματα μέσα από το εργαλείο Autorouting. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχήμα 3.4 . Στη συνέχεια, ο σχεδιαστής πραγματοποιεί έλεγχο για τυχόν λάθη που έχουν γίνει στις συνδέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων χρησιμοποιώντας το εργαλείο DRC (Design Rules Check). Τέλος, πραγματοποιείται η οριοθέτηση της πλακέτας, η δημιουργία των οπών μηχανικής στήριξης και η εξαγωγή των διαφανειών με τις όψεις της πλακέτας που θα χρησιμοποιηθούν αργότερα στη μεταφορά του σχεδίου στην πλακέτα με την φωτογραφική μέθοδο. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας φαίνονται στα Σχήματα 3.5 και 3.6.



Σχήμα 3.4: Τελική μορφή πλακέτας ελεγκτή του οχήματος .



Σχήμα 3.5: Διαφάνεια εμπρός όψης πλακέτας ελεγκτή του οχήματος .



Σχήμα 3.6: Διαφάνεια πίσω όψης πλακέτας ελεγκτή του οχήματος .

4 Συσκευή έκθεσης πλακετών σε υπεριώδη ακτινοβολία



Σχήμα 4.1: Πρωτότυπη συσκευή έκθεσης πλακετών ομάδας TUCer.

Η κατασκευή μίας ηλεκτρονικής πλακέτας με την φωτογραφική μέθοδο προϋποθέτει την έκθεση της σε υπεριώδες φως, ώστε να επιτευχθεί η ακριβής μεταφορά του κυκλώματος πάνω στην φωτοευαίσθητη πλακέτα. Η ομάδα TUCer έχοντας επιλέξει την φωτογραφική μέθοδο, όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 2.2.5, κλήθηκε να αναζητήσει τα κατάλληλα τεχνικά μέσα και εξοπλισμό προκειμένου να υλοποιήσει το εγχείρημα της. Η ανάγκη σε φωτοευαίσθητες πλακέτες δύο όψεων καλύφθηκε από εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα [14].

Αυτό το οποίο αποτέλεσε πρόβλημα για την ομάδα ήταν η απόκτηση μίας συσκευής έκθεσης πλακετών σε υπεριώδη ακτινοβολία. Έτοιμες λύσεις βρέθηκαν στο διεθνές εμπόριο, όμως τα διαθέσιμα μηχανήματα προορίζονταν για βιομηχανικές εφαρμογές μαζικής παραγωγής πλακετών. Ακόμα και μηχανήματα τα οποία προορίζονταν για πρωτοτυποποίηση πλακετών είχαν ιδιαίτερα αυξημένο κόστος αγοράς [15–17]. Συνεπώς, η ομάδα συγκέντρωσε τις προσπάθειες της στην ανάπτυξη μίας πρωτότυπης συσκευής έκθεσης πλακετών σε υπεριώδη ακτινοβολία. Η τεχνογνωσία για την επίτευξη αυτού του στόχου αποκτήθηκε έπειτα από αναζήτηση σε πηγές του διαδικτύου [18–20].

4.1 Υλικά κατασκευής

Έχοντας ως βασικό γνώμονα το χαμηλό κόστος κατασκευής αλλά και την πίεση χρόνου η ομάδα TUCer επέλεξε τα παρακάτω υλικά για την δημιουργία της πρωτότυπης συσκευής έκθεσης σε υπεριώδη ακτινοβολία:

1. Σαρωτής εγγράφων hp scanjet3670. διαστάσεων ($45 \times 27 \times 7$ cm)
2. Φύλλο αλουμινίου διαστάσεων ($35 \times 20 \times 1$ cm).
3. Γαλακτώδες γυαλί διαστάσεων ($40 \times 25 \times 1$ cm).
4. Ταινία UV Light Emitting Diode (LED) μήκους (5 m).
5. Διάτρητη πλακέτα διαστάσεων (10×5 cm).
6. Μικροελεγκτής Arduino Nano.
7. Ημιαγωγός Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, MOSFET STP55NF06L.
8. Διακόπτης τύπου ON/OFF.
9. Τρεις διακόπτες τύπου button.
10. Τροφοδοτικό φορητού υπολογιστή με τάση εξόδου στα 12 V.



Σχήμα 4.2: Συσκευή έκθεσης με ανοιχτό το καπάκι

4.2 Συναρμολόγηση

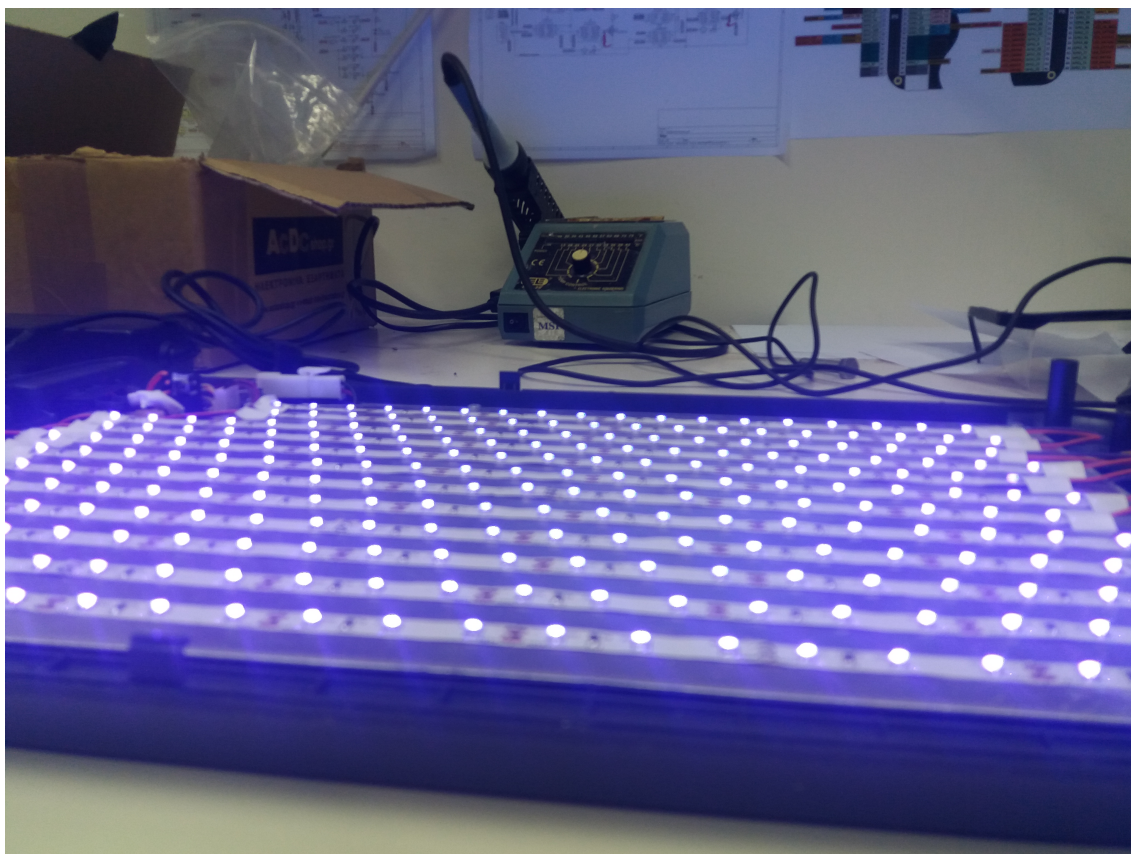
Ανατρέχοντας στις πηγές [18–20] παρατηρείται πως όλοι οι θάλαμοι έκθεσης έχουν τη μορφή “κουτιού”, μέσα στο οποίο τοποθετείται η πλακέτα με τις διαφάνειες ώστε να φωτιστεί. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένες αυτές οι μονάδες είναι είτε ξύλο είτε πλαστικό. Η ομάδα TUCer προτίμησε να μην καταναλώσει χρόνο και χρήματα για

την ανάπτυξη του εξωτερικού περιβλήματος του θαλάμου έκθεσης, αντί αυτού επέλεξε να χρησιμοποιήσει έναν παλιό σαρωτή εγγράφων του εργαστηρίου όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.3: Εσωτερικό μέρος συσκευής έκθεσης

Αρχικά αφαιρέθηκαν όλα τα μηχανικά και ηλεκτρικά εξαρτήματα που βρίσκονταν κάτω από την γυάλινη επιφάνεια του σαρωτή. Στην βάση της συσκευής τοποθετήθηκε το φύλλο αλουμινίου και πάνω σε αυτό κολλήθηκαν οι σειρές των LED όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Το φύλλο αλουμινίου εξασφαλίζει μεγαλύτερη ανακλαστικότητα του φωτός στο διάκενο μεταξύ της γαλακτώδους επιφάνειας γυαλιού και της βάσης, για αυτό και επιλέχτηκε έναντι κάποιου πλαστικού φύλλου. Οι φωτοдиодοι LED επιλέχθηκαν ώστε να εκπέμπουν ακτινοβολία μήκους κύματος (395 – 405 nm). Σε αυτό το εύρος του φάσματος φωτός βρίσκεται το υπεριώδες φως που έχει το χαρακτηριστικό βιολετί χρώμα όπως φαίνεται και από το Σχήμα 4.4. Ένα άλλο καθοριστικό κριτήριο που οδήγησε στην επιλογή των φωτοδιόδων LED είναι υπεροχή τους σε σχέση με τις λάμπες φθορισμού σε ζητήματα όπως είναι η κατανάλωση ενέργειας, η διάρκεια ζωής και η έκλυση θερμότητας. Οι σειρές των φωτοδιόδων LED τοποθετήθηκαν σε κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους ώστε οι κύκλοι των αποτυπωμάτων φωτός που δημιουργούν να αλληλοεπικαλύπτονται ελαχιστοποιώντας τα σκιερά σημεία στην επιφάνεια προβολής. Η χρήση της γαλακτώδους επιφάνειας γυαλιού κρίθηκε απαραίτητη καθώς εξασφαλίζει καλύτερη διάχυση του φωτός έναντι μίας απλής διαφανούς επιφάνειας γυαλιού.



Σχήμα 4.4: Εκπομπή υπεριώδους φωτός συσκευής έκθεσης

Τελικό στάδιο στην κατασκευή της συσκευής αποτέλεσε η υλοποίηση του ηλεκτρικού μέρους. Τα εξαρτήματα του κυκλώματος ισχύος και ελέγχου κολλήθηκαν πάνω σε μία διάτρητη πλακέτα. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.5 το ηλεκτρικό ρεύμα εισέρχεται στο σύστημα από ένα εξάρτημα διασύνδεσης καλωδίων τύπου (barrel) μέσω του τροφοδοτικού φορητού υπολογιστή. Η ροή του ρεύματος ελέγχεται από ένα μηχανικό διακόπτη τύπου ON/OFF και ένα ηλεκτρονικό διακόπτη τύπου MOSFET. Ο ημιαγωγός MOSFET ελέγχεται από ένα σήμα Pulse Width Modulation, PWM και δίνει την δυνατότητα ρύθμισης της φωτεινότητας των φωτοдиодων LED.



Σχήμα 4.5: Διάτρητη πλακέτα συσκευής έκθεσης

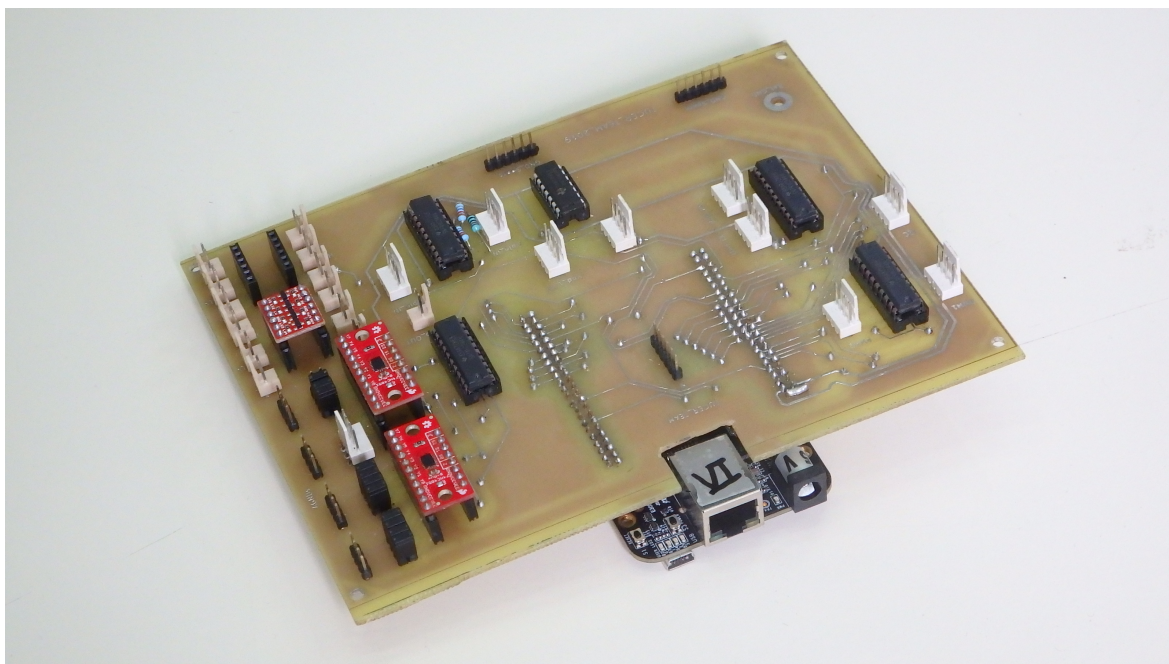
4.3 Λογισμικό συσκευής

Στο κύκλωμα ελέγχου της συσκευής έκθεσης συμπεριλήφθηκε ο μικροελεγκτής Arduino Nano [21]. Πρόκειται για μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα C/C++ και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες. Η επιλογή του μοντέλου Nano έγινε βάση των μικρών διαστάσεων του, ώστε να εξοικονομηθεί χώρος εντός του θαλάμου έκθεσης πλακετών. Ο μικροϋπολογιστής προγραμματίστηκε στο ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Integrated Development Environment (IDE), μια εφαρμογή γραμμένη σε Java η οποία προσφέρει ένα πρακτικό περιβάλλον για συγγραφή προγραμμάτων. Στο πρόγραμμα το οποίο δημιουργήθηκε για την συσκευή, όπως παρουσιάζεται στο Παράρτημα Β', ορίστηκαν τρεις θύρες ως εισόδοι και μία θύρα ως εξόδος σημάτων. Κάθε θύρα εισόδου συνδέεται με ένα διακόπτη τύπου (button) ενώ η θύρα εξόδου συνδέεται με την πύλη οδήγησης του ηλεκτρονικού διακόπτη MOSFET. Ο χρήστης της συσκευής έκθεσης πιέζοντας ένα από τα πλήκτρα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1, στέλνει σήμα στον μικροελεγκτή, εκείνος το διαβάζει στο πρόγραμμα και μέσα από μια συνθήκη αντιλαμβάνεται ποίο πλήκτρο πατήθηκε. Έπειτα ενεργοποιεί τη θύρα εξόδου στέλνοντας ένα σήμα PWM επιτρέποντας την κυκλοφορία του ρεύματος στο κύκλωμα συνεπώς και την ακτινοβολία των φωτοдиодων LED. Οι χρόνοι ακτινοβολίας για κάθε πλήκτρο ορίστηκαν μέσα στον κώδικα του προγράμματος. Μετά από πειραματικές δοκιμές έκθεσης αρκετών πλακετών η ομάδα κατέληξε σε έξι, οχτώ και δέκα λεπτά ως κατάλληλους χρόνους έκθεσης. Ο κώδικας διαμορφώθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε σε κάθε πλήκτρο να αντιστοιχεί ένας από τους παραπάνω χρόνους.

5 Πλακέτες πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος “Σπύρος Λούης”

Η εξοικείωση με τη χρήση του λογισμικού αυτόματης ηλεκτρονικής σχεδίασης Kicad σε συνδυασμό με την δημιουργία μιας πρωτότυπης μονάδας έκθεσης πλακετών σε υπεριώδη ακτινοβολία επέτρεψε στην ομάδα TUCer να είναι σε θέση να κατασκευάζει ηλεκτρονικές πλακέτες κατά βούληση. Έπειτα από συνεχή πειραματισμό και πολλές προσπάθειες η ομάδα κατάφερε να δημιουργήσει ένα σύνολο πλακετών, οι οποίες απαρτίζουν το ηλεκτρικό σύστημα του πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος “Σπύρος Λούης”. Αξίζει να αναφερθεί πως για την δημιουργία των πλακετών ακολουθήθηκαν κάποιοι γενικοί κανόνες, οι οποίοι αφορούν την αρχιτεκτονική των πλακετών. Όλες οι πλακέτες που δημιουργήθηκαν φέρουν αυτό που ονομάζεται στην επιστήμη των ηλεκτρονικών (GND plane). Το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της πλακέτας σε μια από τις δύο όψεις καλύπτεται με χαλκό. Αυτή η επιφάνεια γειώνεται και αποκτά μηδενικό δυναμικό. Όλες οι γειώσεις των εξαρτημάτων των πλακετών συνδέονται σε αυτήν την επιφάνεια με αποτέλεσμα να αποφεύγεται ο θόρυβος και οι ανεπιθύμητες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σημάτων στα διάφορα εξαρτήματα [22]. Ένας άλλος κανόνας που εφαρμόστηκε σε όλες τις πλακέτες είναι ο ορισμός του πλάτους των χαλκοδιαδρομών ανάλογα με το επίπεδο τάσης που φέρουν. Υψηλά επίπεδα τάσης εντοπίζονται στις χαλκοδιαδρομές τροφοδοσίας. Είναι ανάγκη αυτές οι διαδρομές να έχουν μεγάλο πλάτος διαφορετικά δημιουργείται βραχυκύκλωμα. Η λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος του οχήματος σε συνθήκες αγώνα δημιούργησε την ανάγκη για ταχεία αποσφαλμάτωση των μικροελεγκτών και μικροϋπολογιστών, αλλά και την αντικατάσταση ελαττωματικών εξαρτημάτων σε ελάχιστο χρόνο. Με γνώμονα αυτό σε όλες τις πλακέτες τα ολοκληρωμένα κυκλώματα τοποθετήθηκαν στο πάνω μέρος της πλακέτας για ευκολία πρόσβασης. Επίσης, οι ακροδέκτες των ολοκληρωμένων κύκλωμάτων δεν συγκολλήθηκαν πάνω στην πλακέτα, αντίθετα τοποθετήθηκαν πάνω σε ειδικές βάσεις. Έτσι, σε περίπτωση βλάβης η αφαίρεση και αντικατάσταση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων πραγματοποιείται ταχύτατα. Τελική οδηγία που αφορά τη διασύνδεση των πλακετών ήταν η τήρηση μιας ομοιομορφίας στον τρόπο που παρατάσσονται τα εξαρτήματα σύνδεσης καλωδίων-πλακέτας. Λόγω της πολυπλοκότητας του ηλεκτρικού συστήματος του οχήματος κάθε πλακέτα λαμβάνει και αποστέλλει πληθώρα σημάτων είτε σε άλλες πλακέτες είτε σε ηλεκτρικά εξαρτήματα. Προκειμένου, να τηρηθεί μια τάξη και για λόγους απλοποίησης του συστήματος τα εξαρτήματα σύνδεσης καλωδίων-πλακέτας των σημάτων εισόδου τοποθετήθηκαν στο αριστερό μέρος κάθε πλακέτας, όμοια τα σήματα εξόδου τοποθετήθηκαν στα δεξιά. Επιπλέον, κάθε καλώδιο φέρει διακριτική ταμπέλα όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2, που φανερώνει πληροφορίες για το σήμα που μεταφέρει. Ο σκοπός και η χρήση της κάθε πλακέτας στο όχημα περιγράφεται αναλυτικά στις παρακάτω ενότητες.

5.1 Πλακέτα ελεγκτή του οχήματος



Σχήμα 5.1: Ηλεκτρονική πλακέτα ελεγκτή του οχήματος

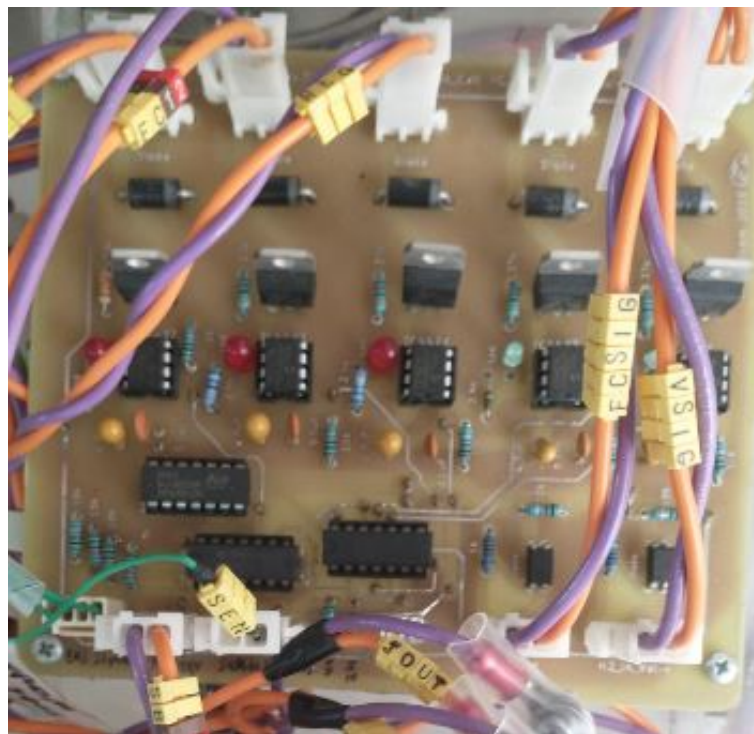
Η πλακέτα διπλής όψης του ελεγκτή του οχήματος αποτελεί την κεντρική μονάδα ελέγχου του οχήματος “Σπύρος Λούης”. Είναι ίσως η πιο σημαντική πλακέτα στο όχημα καθώς ενσωματώνει τον μικροϋπολογιστή Beaglebone Black. Πάνω στο υπολογιστικό σύστημα Beaglebone Black [23] βασίστηκε το σύστημα διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας στο όχημα [5]. Μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτού του μικροϋπολογιστή είναι:

- διαθέτει επεξεργαστή AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8,
- έχει μνήμη 512MB DDR3 RAM,
- ο αποθηκευτικός χώρος αποτελείται από 4GB 8-bit eMMC on-board flash storage,
- περιλαμβάνει δύο μικροελεγκτές 2x PRU 32-bit,
- χρησιμοποιεί θύρες επικοινωνίας USB client και USB host,
- επιτρέπει τη σύνδεση μέσω διαδικτύου με τη χρήση Ethernet,
- διαθέτει 2x46 θύρες εισόδου/εξόδου γενικής χρήσης και
- υποστηρίζει το λειτουργικό σύστημα Ubuntu.

Η πλακέτα ενσωματώνει τον μικροϋπολογιστή Beaglebone Black όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1 και αποτελεί ουσιαστικά μία βάση επέκτασης των δυνατοτήτων του. Πάνω στην πλακέτα τοποθετήθηκαν τέσσερα ολοκληρωμένα κυκλώματα προσωρινών θέσεων αποθήκευσης 8 θέσεων octal buffer [24] και ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα αντιστροφέα

inverter [25] τα οποία εξασφαλίζουν την σωστή και ασφαλή λειτουργία των θυρών εισόδου/εξόδου του μικροϋπολογιστή Beaglebone Black. Πρόκειται για δικλείδες ασφαλείας ώστε να αποφευχθούν βλάβες κατά την διαδικασία μετάδοσης ή λήψης σημάτων από και προς το υπολογιστικό σύστημα. Επιπλέον στην πλακέτα προστέθηκαν δυο ολοκληρωμένα κυκλώματα πολυπλέκτη 16 θέσεων multiplexer [26], τα οποία έχουν ως σκοπό την επέκταση των αναλογικών εισόδων του Beaglebone Black από 7 σε 16. Με αυτόν τον τρόπο το όχημα μπορεί να χρησιμοποιήσει 16 διαφορετικούς αισθητήρες αντί για 7 καθώς τα σήματα αυτών είναι αναλογικά. Τέλος, η πλακέτα ενσωματώνει δυο ολοκληρωμένα κυκλώματα μετατροπών τάσεων σημάτων converter [27] τα οποία βοηθούν στην εναλλαγή των επιπέδων τάσης στα οποία μεταδίδονται τα σήματα.

5.2 Πλακέτα συστημάτων ασφαλείας



Σχήμα 5.2: Ηλεκτρονική πλακέτα συστημάτων ασφαλείας

Η κατασκευή ενός πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος με τεχνολογία κυψέλης υδρογόνου θέτει μεγάλες προκλήσεις όσον αφορά τον τομέα της ασφάλειας. Το υδρογόνο είναι ένα εκρηκτικό αέριο πράγμα που το καθιστά ιδιαίτερα επικίνδυνο σε ένα περιβάλλον που διαχειρίζεται ένα πλήθος ηλεκτρικών συσκευών όπως το όχημα της ομάδας TUCer. Επιπλέον, το υδρογόνο είναι ένα άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο πράγμα που το καθιστά δύσκολο στον εντοπισμό του σε περίπτωση διαρροής.

Η δημιουργία της πλακέτας διπλής όψης συστημάτων ασφαλείας εξασφαλίζει την τήρηση όλων των κανονισμών ασφαλείας του διαγωνισμού SEM. Η ελαχιστοποίηση των κινδύνων που διατρέχει ο οδηγός σε περίπτωση ατυχήματος επιτεύχθηκε με την χρήση ενός αισθητήρα ανίχνευσης υδρογόνου και δυο διακοπών έκτακτης ανάγκης τύπου “μανιτάρι”. Ο ένας τοποθετήθηκε στο εσωτερικό της καμπίνας του οδηγού ενώ ο άλλος στο εξωτερικό μέρος του κελύφους του οχήματος. Επιπρόσθετο μέτρο προστασίας

στο σύστημα αποτέλεσαν τα σήματα εκπομπής της κυψέλης υδρογόνου, τα οποία φανερώνουν πότε η κυψέλη αλλά και η ηλεκτροβαλβίδα υδρογόνου είναι έτοιμες προς χρήση.

Όλα τα παραπάνω σήματα συλλέγονται από την πλακέτα συστημάτων ασφαλείας. Πάνω στην πλακέτα τοποθετήθηκαν δύο ολοκληρωμένα κυκλώματα οπτοσυζευκτών A817 [28]. Τα δυο αυτά ολοκληρωμένα κυκλώματα λαμβάνουν ως είσοδο τα σήματα της κυψέλης και της ηλεκτροβαλβίδας υδρογόνου που αντιστοιχούν στο κύκλωμα ισχύος και παράγουν σήματα ηλεκτρικά απομονωμένα για χρήση στο κύκλωμα ελέγχου του οχήματος. Η ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ των σημάτων είναι απαραίτητη έτσι ώστε μια βλάβη κάποιου ηλεκτρικού στοιχείου στο κύκλωμα ισχύος να μην επεκταθεί και επηρεάσει το κύκλωμα ελέγχου του οχήματος. Επιπλέον, στην πλακέτα ενσωματώθηκε το ολοκληρωμένο κύκλωμα της λογικής πύλης NOT [29] και της λογικής πύλης AND [30]. Είσοδος αυτών των συσκευών αποτέλεσαν τα απομονωμένα σήματα των οπτοσυζευκτών, σήματα από τους διακόπτες έκτακτης ανάγκης που αναφέρθηκαν παραπάνω και σήματα προερχόμενα από την κεντρική μονάδα ελέγχου της πλακέτας ελεγκτή του οχήματος. Η διαμόρφωση της κατάλληλης λογικής σχεδίασης έγινε λαμβάνοντας υπόψιν την αλληλουχία γεγονότων που συντελούνται στο ηλεκτρικό σύστημα του οχήματος. Τα σήματα εξόδου των λογικών πυλών χρησιμοποιήθηκαν για την οδήγηση πέντε όμοιων κυκλωμάτων πάνω στην πλακέτα.

Τα κυκλώματα αυτά περιλαμβάνουν 5 ολοκληρωμένα κυκλώματα οδηγών MOSFET [31], 5 ηλεκτρονικούς διακόπτες τύπου MOSFET [32], 5 κονέκτορες τύπου Molex, όπως απεικονίζονται στο πάνω μέρος του Σχήματος 5.2 και ένα σύνολο από ηλεκτρονικά εξαρτήματα αντιστάσεων, κεραμικών πυκνωτών, φωτοδιόδων και διόδων. Κάθε κύκλωμα είναι υπεύθυνο για την ορθή διακοπτική λειτουργία κάποιων εξαρτημάτων. Αυτά τα εξαρτήματα είναι:

- Ένας ηλεκτρομαγνητικός διακόπτης (ρελέ) που ελέγχει τη λειτουργία της ηλεκτροβαλβίδας, συνεπώς την ροή υδρογόνου προς την μονάδα της κυψέλης,
- ένας ηλεκτρομαγνητικός διακόπτης (ρελέ) που θέτει διαθέσιμη προς χρήση την ενέργεια της κυψέλης υδρογόνου,
- ένας ημιαγωγός (ρελέ) τύπου Solid State Relay (SSR), ο οποίος ελέγχει τη ροή της ενέργειας από τη μονάδα της κυψέλης υδρογόνου στο κύκλωμα ισχύος του οχήματος,
- ένας ημιαγωγός (ρελέ) τύπου SSR, ο οποίος ρυθμίζει το ποσό ενέργειας με το οποίο φορτίζεται η συστοιχία των υπερπυκνωτών και
- ένας ημιαγωγός (ρελέ) τύπου SSR, ο οποίος ρυθμίζει το ποσό ενέργειας με το οποίο αποφορτίζεται η συστοιχία των υπερπυκνωτών.

5.3 Πλακέτα επιτάχυνσης του οχήματος

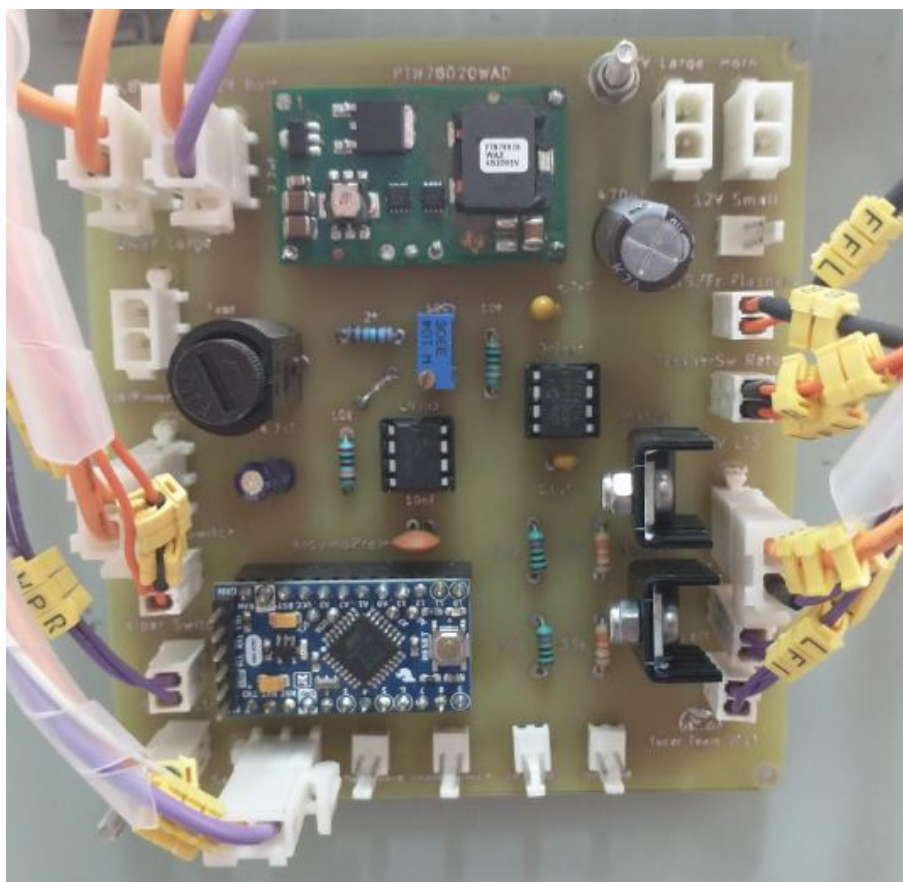
Η ανάπτυξη ενός πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος προϋποθέτει την ύπαρξη ενός ηλεκτρικού στοιχείου που να θέτει σε κίνηση το όχημα. Στην περίπτωση της ομάδας TUCer επιλέχθηκε ένας τριφασικός ηλεκτροκινητήρας [33] με δυνατότητα λειτουργίας και ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Για την οδήγηση του ηλεκτρικού στοιχείου

χρησιμοποιήθηκε μια συσκευή ελέγχου 12 Field Effect Transistor (FET) IRFB3077 Motor Driver [34].

Ο οδηγός του ηλεκτροκινητήρα (Motor Driver) είναι μια συσκευή που ελέγχει με προκαθορισμένο τρόπο την λειτουργία του. Μπορεί να ξεκινά ή να σταματά τον ηλεκτροκινητήρα, να ρυθμίζει τη φορά περιστροφής του δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα και να ρυθμίζει την ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται. Πρόκληση για την ομάδα TUCer αποτέλεσε ο έλεγχος της συσκευής οδήγησης του ηλεκτρικού στοιχείου καθώς απαιτεί ένα ψηφιακό παλμικό σήμα PWM στην είσοδο της. Η τάση του σήματος αυτού πρέπει να κυμαίνεται από $0.8 - 5\text{ V}$, όταν το ηλεκτρικό στοιχείο λειτουργεί ως ηλεκτροκινητήρας, ενώ όταν λειτουργεί ως γεννήτρια η τάση κυμαίνεται από $0 - 0.8\text{ V}$. Για τιμή 0 V έχουμε την μέγιστη αναγεννητική πέδηση στο όχημα ενώ για τιμή 0.8 V την ελάχιστη. Αντίστοιχα για τιμή 5 V έχουμε την μέγιστη ταχύτητα στο όχημα.

Η ομάδα προκειμένου να ελέγξει την συσκευή οδήγησης του ηλεκτρικού στοιχείου δημιούργησε την πλακέτα μονής όψης επιτάχυνσης του οχήματος. Η επιλογή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων της πλακέτας έγινε έχοντας ως βασική προϋπόθεση την τήρηση της ηλεκτρικής απομόνωσης του κυκλώματος ισχύος από το κύκλωμα ελέγχου του οχήματος. Πιο συγκεκριμένα πάνω στην πλακέτα τοποθετήθηκε ο οπτοσυζεύκτης (optocoupler FOD8012A [35], ένας απομονωμένος μετατροπέας DC/DC SKM10A-05 [36], ένας οδηγός ηλεκτρονικού διακόπτη MOSFET TC4427era [31] και διάφοροι κονέκτορες τύπου Molex. Η πλακέτα του ελεγκτή του οχήματος στέλνει ένα παλμικό σήμα PWM στην πλακέτα επιτάχυνσης του οχήματος. Το σήμα λαμβάνεται από τον οπτοσυζεύκτη και διαχωρίζεται ηλεκτρικά από το κύκλωμα ελέγχου. Έπειτα, το σήμα μεταφέρεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα οδήγησης MOSFET, όπου ανορθώνεται η τάση του από 3.3 V σε 5 V . Τέλος, το σήμα αποστέλλεται στην συσκευή οδήγησης του ηλεκτρικού στοιχείου αφού περάσει από ένα παθητικό φίλτρο αντίστασης και πυκνωτή. Ο λόγος της διέλευσης από το φίλτρο RC είναι η εξομάλυνση του παλμικού σήματος PWM ώστε να υπάρχει μια πιο ομαλή απόκριση στην επιτάχυνση του οχήματος.

5.4 Πλακέτα ηλεκτρικών σημάτων υποστήριξης



Σχήμα 5.3: Πλακέτα ηλεκτρικών σημάτων υποστήριξης

Η ομάδα TUCer κλήθηκε να αναπτύξει ένα πρωτότυπο ηλεκτρικό όχημα για κυκλοφορία σε συνθήκες πόλης. Τα συμβατικά εμπορικά αυτοκίνητα που κινούνται σε περιβάλλον πόλης πληρούν κάποιες προδιαγραφές. Αυτές οι προδιαγραφές περιλαμβάνουν την χρήση φώτων πορείας, φλας, φώτα φρένου και άλλα. Προκειμένου το όχημα “Σπύρος Λούης” να πληρεί αυτές τις προδιαγραφές δημιουργήθηκε η πλακέτα ηλεκτρικών σημάτων υποστήριξης.

Ο οδηγός του οχήματος πιέζοντας ένα διακόπτη τριών θέσεων προς τα αριστερά στέλνει σήμα στην πλακέτα ηλεκτρικών σημάτων υποστήριξης. Αυτό το σήμα μεταφέρεται στο υποκύκλωμα της πλακέτας που περιλαμβάνει το ολοκληρωμένο κύκλωμα (MOSFET Driver) [31], τον ηλεκτρονικό διακόπτη MOSFET [32] και ένα σύνολο αντιστάσεων και κεραμικών πυκνωτών. Αυτό το υποκύκλωμα είναι υπεύθυνο για την λειτουργία των αριστερών φώτων αλλαγής πορείας εμπρός και πίσω στο όχημα. Πιέζοντας τον διακόπτη προς τα δεξιά ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία σε ένα όμοιο υποκύκλωμα της πλακέτας ηλεκτρικών σημάτων υποστήριξης.

Για την λειτουργία των φώτων Hazard ενσωματώθηκε στην πλακέτα το ολοκληρωμένο κύκλωμα LM555 [37]. Με την κατάλληλη επιλογή ενός ηλεκτρολυτικού και ενός κεραμικού πυκνωτή το ολοκληρωμένο κύκλωμα παράγει ένα παλμικό σήμα ορισμένης συχνότητας. Ο οδηγός πιέζοντας έναν διακόπτη δυο θέσεων στο ταμπλό του οχήματος απελευθερώνει αυτό το σήμα. Έπειτα το σήμα αποστέλλεται σε όλα τα φώτα φλας του

οχήματος επιτυγχάνοντας έτσι την χαρακτηριστική περιοδικότητα με την οποία τα φώτα Hazard ανάβουν και σβήνουν.

Η λειτουργία του υαλοκαθαριστήρα του οχήματος έγινε με την ενσωμάτωση του μικροελεγκτή Arduino Mini Pro [38]. Ο οδηγός του οχήματος πιέζοντας ένα διακόπτη δυο θέσεων στέλνει ένα σήμα στο υπολογιστικό σύστημα του Arduino. Το σήμα αυτό επεξεργάζεται στο προγραμματιστικό περιβάλλον της συσκευής και παράγεται ένα νέο ψηφιακό σήμα το οποίο ελέγχει ένα κινητήρα Servo. Ο κινητήρας αυτός είναι συνδεδεμένος με τον βραχίονα του υαλοκαθαριστήρα οπότε τίθεται σε κίνηση παράγοντας το επιθυμητό αποτέλεσμα στον ανεμοθώρακα του οχήματος. Να αναφερθεί πως η τροφοδοσία του κινητήρα Servo και του μικροελεγκτή Arduino δόθηκε από την τοποθέτηση του ολοκληρωμένου κυκλώματος ρυθμιστή τάσης PTN78020WAD [39] πάνω στην πλακέτα. Η τάση της μπαταρίας Lithium polymer, Lipo δόθηκε ως είσοδος στο ρυθμιστή. Με την κατάλληλη επιλογή πυκνωτών και αντιστάσεων η τάση εξόδου του ρυθμιστή έπεσε από τα 14.8 V στα 6 V.

Τέλος, η πλακέτα ηλεκτρικών σημάτων υποστήριξης αποτέλεσε τον κόμβο τροφοδοσίας στα κυκλώματα του οχήματος που σχετίζονται με τους διακόπτες ενεργοποίησης των φώτων πορείας και φρένων.

5.5 Πλακέτα τροφοδοσίας

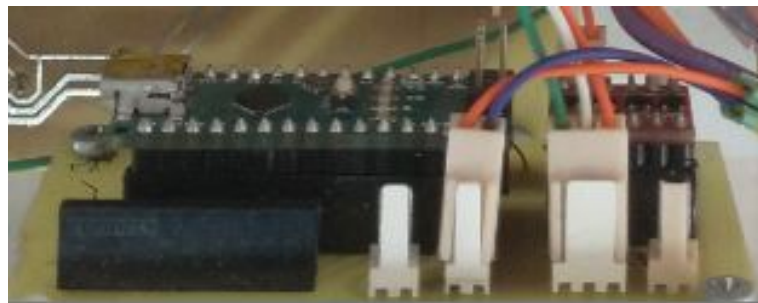


Σχήμα 5.4: Ηλεκτρονική πλακέτα τροφοδοσίας

Ο διεθνής διαγωνισμός οικονομίας SEM ορίζει στους κανονισμούς του η εκκίνηση του ηλεκτρικού συστήματος του οχήματος να γίνεται από έναν συσσωρευτή τύπου Lipo. Η ομάδα TUCer αναλογιζόμενη αυτόν τον κανονισμό επέλεξε να χρησιμοποιήσει έναν συσσωρευτή Lipo με επίπεδο τάσης τα 14.8 V. Όμως τα περισσότερα εξαρτήματα του ηλεκτρικού συστήματος λειτουργούσαν σε επίπεδα τάσεων 12 και 5 V.

Η λύση στο πρόβλημα δόθηκε με την κατασκευή της πλακέτας τροφοδοσίας, η οποία φαίνεται στο Σχήμα 5.4. Η πλακέτα αυτή ενσωματώνει δυο μικρότερες πλακέτες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων ρυθμιστών τάσης PTN78060WAH και PTN78060WAD [39]. Επιπρόσθετα στην πλακέτα τοποθετήθηκαν μεταβλητές αντιστάσεις, ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές και ασφάλειες ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή και ομαλή λειτουργία των ρυθμιστών τάσης. Κοινή τάση εισόδου των δυο συσκευών είναι τα 14.8 V. Η μια συσκευή παράγει ως τάση εξόδου τα 5 V ενώ η άλλη τα 12 V. Τέλος στην πλακέτα τοποθετήθηκε ένα πλήθος από εξαρτήματα σύνδεσης τύπου Molex ώστε να μεταφερθούν οι επιθυμητές τάσεις όπου είναι απαραίτητο στο ηλεκτρικό σύστημα του οχήματος.

5.6 Πλακέτα ταχυμέτρου



Σχήμα 5.5: Ηλεκτρονική πλακέτα ταχυμέτρου

Η πλακέτα ταχυμέτρου είναι μια πλακέτα μονής όψης η οποία ενσωματώνει τον μικροελεγκτή Arduino Nano για τον οποίο έχει γίνει λόγος στην ενότητα 4.3. Στόχος αυτής της πλακέτας είναι εκπληρώσει το έργο της μέτρησης της ταχύτητας του οχήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με έναν μαγνητικό αισθητήρα ο οποίος βρίσκεται στον τροχό του οχήματος και εκπέμπει αναλογικά σήματα. Αυτά τα σήματα συλλέγονται και επεξεργάζονται στο προγραμματιστικό περιβάλλον του μικροελεγκτή Arduino Nano. Με τη σειρά του ο μικροελεγκτής στέλνει την υπολογισμένη ταχύτητα σε χιλιόμετρα ανά ώρα. Το σήμα της ταχύτητας πριν σταλεί μετατρέπεται από το ολοκληρωμένο κύκλωμα του Logic Level Converter, το οποίο ρίχνει την τάση του από τα 5 V σε 3.3 V. Αυτό συμβαίνει καθώς ο αποδέκτης του σήματος είναι η κεντρική μονάδα ελέγχου ελεγκτής του οχήματος, η οποία λειτουργεί σε επίπεδο τάσης 3.3 V. Αξίζει να σημειωθεί πως η επικοινωνία μεταξύ των δυο πλακετών γίνεται με το πρωτόκολλο Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART) [40].

5.7 Πλακέτα μέτρησης τάσης και ρεύματος



Σχήμα 5.6: Ηλεκτρονική πλακέτα μέτρησης τάσης

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιλογή της βέλτιστης στρατηγικής διαχείρισης ενέργειας σε ένα ηλεκτρικό όχημα είναι η μέτρηση της τάσης και ρεύματος στα διάφορα τμήματα του κυκλώματος ισχύος όπως είναι η μονάδα της κυψέλης υδρογόνου, η συστοιχία υπερπυκνωτών και ο ηλεκτρικός κινητήρας. Κρίθηκε λοιπόν αναγκαίο από την ομάδα TUCer να δημιουργηθούν πλακέτες οι οποίες μετρούν την τάση και το ρεύμα στο κύκλωμα την κάθε χρονική στιγμή. Κατασκευάστηκαν δυο πλακέτες μονής όψης, οι οποίες μετρούν την τάση εξόδου της κυψέλης υδρογόνου και την τάση της συστοιχίας των υπερπυκνωτών. Επιπλέον, κατασκευάστηκαν δυο πλακέτες μονής όψης μέτρησης ρεύματος. Η πρώτη είναι υπεύθυνη για την μέτρηση του ρεύματος που παράγει η κυψέλη υδρογόνου. Η δεύτερη μετρά το ρεύμα που καταναλώνει ο ηλεκτροκινητήρας όταν λειτουργεί ως ενεργητικό στοιχείο, δηλαδή κατά την διάρκεια επιτάχυνσης ή σταθερής ταχύτητας του οχήματος. Κατά την διάρκεια της επιβράδυνσης του οχήματος ο ηλεκτροκινητήρας μετατρέπεται σε γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος συνεπώς η πλακέτα μετρά το ρεύμα που παράγεται.

Όλα τα παραπάνω επιτεύχθηκαν με την τοποθέτηση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων πάνω στις πλακέτες. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην επιλογή των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων καθώς τα σήματα των αισθητήρων από τις μετρήσεις στο κύκλωμα ισχύος του οχήματος πρέπει να είναι πλήρως διαχωρισμένα από το κύκλωμα ελέγχου της πλακέτας του ελεγκτή του οχήματος. Στην πλακέτα μέτρησης τάσης τοποθετήθηκε ο αισθητήρας τάσης ACPL-C87A-000E [41], ο οποίος τροφοδοτείται από το απομονωμένο τροφοδοτικό SPAN02E-05 DC/DC converter [42]. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.6 η τάση από το κύκλωμα ισχύος εισέρχεται στην πλακέτα μέσω ενός εξαρτήματος σύνδεσης τύπου Molex. Έπειτα, περνάει από τον διαιρέτη τάσης δυο αντιστάσεων και λαμβάνεται ως είσοδος στο ολοκληρωμένο κύκλωμα. Η αναλογική τάση εξόδου του αισθητήρα στέλνεται ενσύρματα στην πλακέτα του ελεγκτή του οχήματος όπου εκεί λαμβάνεται και επεξεργάζεται από το υπολογιστικό σύστημα Beaglebone Black. Στην πλακέτα μέτρησης ρεύματος τοποθετήθηκε ο αισθητήρας ρεύματος ACS711EX [43], ο οποίος παρεμβάλλεται στο κύκλωμα ισχύος μετρώντας το ρεύμα επαγωγικά. Όταν το ολοκληρωμένο κύκλωμα του αισθητήρα τροφοδοτείται δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μαγνητικό πεδίο αλληλεπιδρά με το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από

το ρεύμα που διαρρέει το καλώδιο στο σημείο το οποίο τοποθετήθηκε ο αισθητήρας. Ως αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης είναι ο αισθητήρας να παράγει ένα αναλογικό σήμα. Αυτό το σήμα λαμβάνεται από την πλακέτα του ελεγκτή του οχήματος όπου και επεξεργάζεται στο προγραμματιστικό περιβάλλον του Beaglebone Black.

6 Επίλογος

Συνοψίζοντας, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε περιγραφή των βημάτων και μεθόδων κατασκευής τυπωμένων κυκλωμάτων πάνω σε πλακέτες, καθώς και η αναλυτική παρουσίαση μιας πρωτότυπης συσκευής έκθεσης πλακετών σε υπεριώδη ακτινοβολία.

Χρησιμοποιώντας την πρωτότυπη συσκευή έκθεσης πλακετών οι φοιτητές της ομάδας TUCer κατάφεραν να κατασκευάσουν δέκα ηλεκτρονικές πλακέτες, οι οποίες ενσωματώθηκαν στο ηλεκτρικό σύστημα του οχήματος “Σπύρος Λούης”. Το όχημα αυτό έτρεξε με επιτυχία σε συνθήκες αγώνα στο διεθνές διαγωνισμό οικονομίας SEM το έτος 2019. Το γεγονός αυτό απέδειξε την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος, συνεπώς και την άψογη και απροβλημάτιστη λειτουργία των κατασκευασμένων ηλεκτρονικών πλακετών.

Ωστόσο, η διαδικασία με την οποία η ομάδα TUCer κατασκευάζει τις ηλεκτρονικές πλακέτες επιδέχεται αρκετές βελτιώσεις. Αρχικά, το εργαστήριο Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής πρέπει να προβεί στην αγορά ενός νέου laser εκτυπωτή, ο οποίος θα μεταφέρει πάνω στην διαφάνεια το σχέδιο του ηλεκτρικού κυκλώματος χρησιμοποιώντας μια πολύ πυκνή στρώση μαύρου τόνερ. Με αυτόν τον τρόπο δεν θα χρειάζεται να εκτυπώνονται οι διαφάνειες του κυκλώματος πάνω από μια φορά ώστε να είναι έντονο το μαύρο χρώμα κατά την διάρκεια έκθεσης της πλακέτας σε υπεριώδη ακτινοβολία. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται και η χρονοβόρα διαδικασία του κεντραρίσματος των διαφανειών λόγω μικρο αποκλίσεων κατά την διαδικασία εκτύπωσης.

Μια άλλη προσθήκη που θα μειώσει σημαντικά τον χρόνο αλλά και το κόστος κατασκευής των ηλεκτρονικών πλακετών για την ομάδα TUCer είναι η αγορά τρυπανιών καρβιδίου. Η διαδικασία ανοίγματος των οπών στις πλακέτες γινόταν με την χρήση τρυπανιών από υλικό ταχυχάλυβα, όμως η υψηλή σκληρότητα του υλικού της πλακέτας έφθειρε πολύ γρήγορα τα τρυπάνια με αποτέλεσμα να σπάνε αρκετά συχνά.

Τέλος, όσον αφορά την πρωτότυπη μονάδα έκθεσης πλακετών μελλοντικά μέλη της ομάδας μπορούν να πραγματοποιήσουν σημαντικές προσθήκες ώστε να βελτιώσουν την λειτουργία της συσκευής. Η προσθήκη σειρών από φωτοδιόδους LED στο καπάκι της μονάδας, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 4.1, θα επιτρέψει την εκτύπωση πλακετών διπλής όψης σε ελάχιστο χρόνο καθώς θα ακυρωθεί η περιττή παύση για τον αναποδογυρισμό της πλακέτας για να φωτιστεί και από τις δυο μεριές. Μια επιπλέον βελτίωση που καθιστά την συσκευή πιο φιλική προς τον χρήστη είναι η προσθήκη είναι η προσθήκη ενός ροοστάτη και μιας οθόνης υγρών κρυστάλλων. Ο χρήστης της μονάδας έκθεσης δεν θα χρειάζεται κάθε φορά που θέλει να πραγματοποιήσει κάποια αλλαγή στους χρόνους φωτισμού να επαναπρογραμματίζει τον πηγαίο κώδικα της συσκευής. Θα το κάνει ρυθμίζοντας το ροοστάτη. Το αποτέλεσμα των ρυθμίσεων του χρήστη θα φαίνεται στην οθόνη υγρών κρυστάλλων όπως και ο μηδενισμός του χρόνου φωτισμού της πλακέτας.

Κατάλογος Σχημάτων

1.1	Πρωτότυπο όχημα “Σπύρος Λούης” της ομάδας TUCer 2019.	4
1.2	Το μηχανοστάσιο του οχήματος “Σπύρος Λούης”	6
1.3	Κενή διάτρητη πλακέτα.	6
1.4	Ηλεκτρονικές πλακέτες πρωτότυπου οχήματος της ομάδας, σχεδιασμένες και κατασκευασμένες το 2014.	6
2.1	Υλικά πλακέτας διπλής όψης	9
2.2	Χημική αντίδραση αποχάλκωσης	9
2.3	Διάτρηση πλακέτας	10
2.4	Πλακέτα του οχήματος TUCer πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) από την διαδικασία της επικασσιτέρωσης.	11
2.5	Ηλεκτρονική πλακέτα μετά την εφαρμογή του φιλμ προστασίας.	12
2.6	Αποτύπωση σχεδίου με τη μέθοδο μαρκαδόρου.	13
2.7	Αποτύπωση σχεδίου με τη μέθοδο της θερμομεταφοράς τόνερ.	14
2.8	Εκτυπωμένο ηλεκτρικό κύκλωμα σε διαφάνεια.	14
2.9	Έκθεση πλακέτας ελέγχου ηλεκτρικού φορτίου ομάδας TUCer σε υπεριώδη ακτινοβολία.	15
2.10	Κάδρο μεταξοτυπίας.	16
3.1	Σχέδιο θεωρητικού κυκλώματος πλακέτας συστημάτων ασφαλείας.	19
3.2	Εργαλείο αντιστοίχισης συμβόλων CnPcb.	20
3.3	Στάδιο σύνδεσης εξαρτημάτων πλακέτας ελεγκτή του οχήματος	21
3.4	Τελική μορφή πλακέτας ελεγκτή του οχήματος	22
3.5	Διαφάνεια εμπρός όψης πλακέτας ελεγκτή του οχήματος	22
3.6	Διαφάνεια πίσω όψης πλακέτας ελεγκτή του οχήματος	23
4.1	Πρωτότυπη συσκευή έκθεσης πλακετών ομάδας TUCer.	24
4.2	Συσκευή έκθεσης με ανοιχτό το καπάκι	25
4.3	Εσωτερικό μέρος συσκευής έκθεσης	26
4.4	Εκπομπή υπεριώδους φωτός συσκευής έκθεσης	27
4.5	Διάτρητη πλακέτα συσκευής έκθεσης	28
5.1	Ηλεκτρονική πλακέτα ελεγκτή του οχήματος	30
5.2	Ηλεκτρονική πλακέτα συστημάτων ασφαλείας	31
5.3	Πλακέτα ηλεκτρικών σημάτων υποστήριξης	34
5.4	Ηλεκτρονική πλακέτα τροφοδοσίας	35
5.5	Ηλεκτρονική πλακέτα ταχυμέτρου	36
5.6	Ηλεκτρονική πλακέτα μέτρησης τάσης	37

Α΄ Ακρωνύμια και συντομογραφίες

TUCer Technical University of Crete economy racing

PCB Printed Circuit Board

EV Electric Vehicle

UV Ultra Violet

SEM Shell Eco Marathon

EDA Electronic Design Automation

H/Y Ηλεκτρονικός Υπολογιστής

THT Through Hole Technology

SMT Surface Mount Technology

MOSFET Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

PWM Pulse Width Modulation

UART Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

FET Field Effect Transistor

SSR Solid State Relay

Lipo Lithium polymer

LED Light Emitting Diode

IDE Integrated Development Environment

Β' Κώδικας μικροελεγκτή συσκευής έκθεσης

```
int state = HIGH; // the current state of the output pin
int reading1;      // the current reading from the input pin1
int reading2;      // the current reading from the input pin2
int reading3;      // the current reading from the input pin3
int previous = LOW; // the previous reading from the input pin
// the follow variables are long's because the time, measured in
// milliseconds,
// will quickly become a bigger number than can be stored in an
// int.
long time = 0;      // the last time the output pin was toggled
long debounce = 200; // the debounce time, increase if the output
// flickers

int pwm_freq=240;
long lightime1=360000;
long lightime2=480000;
long lightime3=600000;

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    pinMode(6,OUTPUT); //LED
    pinMode(1,INPUT); //Button1
    pinMode(2,INPUT); //Button2
    pinMode(3,INPUT); //Button3
}

void loop() {
    reading1 = digitalRead(1);
    reading2 = digitalRead(2);
    reading3 = digitalRead(3);

    // if the input just went from LOW and HIGH and we've waited
    // long enough
    // to ignore any noise on the circuit, toggle the output pin and
    // remember
    // the time

    if (reading1 == HIGH && previous == LOW && millis() - time >
        debounce) {
        state = LOW;
        digitalWrite(6, pwm_freq);
        delay(lightime1);
```

```
    digitalWrite(6, 0);

    time = millis();
}
if (reading2 == HIGH && previous == LOW && millis() - time >
    debounce) {
    state = LOW;
    digitalWrite(6, pwm_freq);
    delay(lighttime2);
    digitalWrite(6, 0);

    time = millis();
}
if (reading3 == HIGH && previous == LOW && millis() - time >
    debounce) {
    state = LOW;
    digitalWrite(6, pwm_freq);
    delay(lighttime3);
    digitalWrite(6, 0);

    time = millis();
}

previous = LOW;
}
```

Bibliography

- [1] “Shell eco marathon.” [Online]. Available: <https://www.makethefuture.shell/en-gb/shell-eco-marathon>
- [2] J. P. Verinis, “Spiridon loues, the modern foustanela, and the symbolic power of pallikaria at the 1896 olympic games.” *Journal of Modern Greek Studies*, vol. 23, no. 1, pp. 139–175, 2005. [Online]. Available: <https://muse.jhu.edu/article/183458/pdf>
- [3] Αλέξανδρος Αμαργιανός, “Ανάκτηση και διαχείριση ενέργειας για πρωτότυπο ηλεκτρικό όχημα,” Μεταπτυχιακή διατριβή, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Χανία, 2015.
- [4] Ιωάννης Τζώρτζης, “Σχεδίαση συστήματος ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά την πέδηση ηλεκτρικών οχημάτων,” Διπλωματική εργασία, Σχολή Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, 2016.
- [5] S. Piperidis, I. Chrysomallis, S. Georgakopoulos, N. Ghionis, L. Doitsidis, and N. Tsourveloudis, “A ros-based energy management system for a prototype fuel cell hybrid vehicle,” *Energies*, vol. 14, no. 7, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/7/1964>
- [6] S. Piperidis, I. Chrysomallis, S. Georgakopoulos, T. Stefanoulis, N. Ghionis, V. Katsifas, and N. C. Tsourveloudis, “Development of a ros controlled chassis dynamometer for lightweight, single seater evs,” in *2020 28th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, 2020, pp. 393–398.
- [7] “How to use prototyping boards.” [Online]. Available: <https://www.circuitbasics.com/how-to-use-prototyping-boards/>
- [8] “ΠΛΑΚΕΤΕΣ ΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.” [Online]. Available: http://www.electronics.teipir.gr/personalpages/papageorgas/download/2/shmeiwseis/pcb_fuse_translation_3.pdf
- [9] S. P. Witting, “Pcb glass-fibre laminates: Thermal conductivity measurements and their effect on simulation,” *Journal of Electronic Materials*, vol. 19, no. 12, p. 1345–1350, 1990.
- [10] K. Mitzner, *Complete PCB design using OrCAD Capture and PCB editor*. Amsterdam: Elsevier, Inc., 2009.
- [11] Παναγιώτης Μουρατίδης, “Εγκατάσταση Μονάδας Κατασκευής Τυπωμένων Κυκλωμάτων-Σχεδίαση Πλακετών,” Διπλωματική εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, 2018.
- [12] [Online]. Available: <https://www.kicad.org/about/kicad/>
- [13] “Ubuntu.” [Online]. Available: <https://ubuntu.com>

- [14] [Online]. Available: <https://acdcshop.gr>
- [15] Conrad, “Proma 140 007, uv exposure unit 32w.” [Online]. Available: <https://www.conrad.com/p/proma-140-007-uv-exposure-unit-32w-530689?WT.srch>
- [16] —, “Proma 140 001c uv exposure unit with vacuum, 135w.” [Online]. Available: <https://www.conrad.com/p/proma-140-001c-uv-exposure-unit-with-vacuum-135w-551872>
- [17] RS, “Uv-az5239, double sided 520 x 390mm uv exposure unit with 12 x 20 w tubes, 625 x 605 x 140mm.” [Online]. Available: <https://gr.rsdelivers.com/product/fortex/uv-az5239/uv-az5239-double-sided-520-x-390mm-uv-exposure/1932019>
- [18] [Online]. Available: <https://www.electronics-lab.com/project/led-uv-exposure-box/>
- [19] [Online]. Available: <https://www.instructables.com/PCB-Exposure-Unit/>
- [20] [Online]. Available: <https://frztees.com/led-screen-printing-exposure-unit/>
- [21] Arduino, “Arduino nano,” September 2021. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>
- [22] E. C. Latorilla, *PRACTICAL ANTENNA DESIGN*, 2nd ed. LEDF Media, 1994.
- [23] Beagleboard, “Beaglebone black development platform,” July 2021. [Online]. Available: <https://beagleboard.org/black>
- [24] T. Instruments, “Snx4hc244 octal buffers and line drivers with 3-state outputs,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc244.pdf>
- [25] —, “Cdx4hc04 hex inverters,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc04.pdf>
- [26] Sparkfun, “Sparkfun multiplexer breakout - 8 channel (74hc4051),” July 2021. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/13906>
- [27] —, “Sparkfun logic level converter - bi-directional,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/12009>
- [28] M. Electronics, “H11a817 series 4-pin phototransistor optocouplers,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.mouser.com/datasheet/2/149/H11A817B-87085.pdf>
- [29] T. Instruments, “Cd4069ub cmos hex inverter,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4069ub.pdf>
- [30] —, “Cmos and gates cd4081be,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4081b.pdf>
- [31] Microchip, “1.5a dual high-speed power mosfet driver,” July 2021. [Online]. Available: <https://gr.mouser.com/datasheet/2/268/21422c-73495.pdf>
- [32] ST, “Power mosfet stp55nf06l,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stp55nf06l.pdf>

- [33] M. Motor, “M12500-3 motor/generator,” July 2021. [Online]. Available: <http://www.macmotortech.com/escooter-motor.html>
- [34] —, “12 fet irfb3077 controller,” July 2021. [Online]. Available: <http://www.macmotortech.com/accessories.html>
- [35] Fairchild, “High speed optocouplers bi-direct high speed logic gate optocoup,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.mouser.com/datasheet/2/149/FOD8012A-764989.pdf>
- [36] M. WELL, “Dc-dc regulated converter,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.meanwellusa.com/productPdf.aspx?i=799>
- [37] T. Instruments, “Lm555 timer,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm555.pdf>
- [38] Arduino, “Arduino pro mini,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardProMini>
- [39] T. Instruments, “3-a wide-input adjustable switching regulator ptn78060wah,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ptn78060w.pdf>
- [40] M. G. L. Eric Pena, “Uart: A hardware communication protocol understanding universal asynchronous receiver/transmitter,” *Analog Dialogue*, vol. 54, 2020. [Online]. Available: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/uart-a-hardware-communication-protocol.html#>
- [41] M. Electronics, “Precision optically isolated voltage sensor,” July 2021. [Online]. Available: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/Broadcom-Avago/ACPL-C87A-000E>
- [42] —, “Dc-dc regulated converter,” July 2021. [Online]. Available: <https://gr.mouser.com/ProductDetail/MEAN-WELL/SPAN02E-05>
- [43] P. Robotics and Electronics, “Acs711lex current sensor carrier -31a to +31a,” July 2021. [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2453>