



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Σχεδίαση και Κατασκευή Ηλεκτρονικού Συστήματος
Υποστήριξης Λειτουργίας και
Καταγραφής Επιδόσεων για το Πρωτότυπο Όχημα Tucser
ER13”



Αμαργιανός Αλέξανδρος

Επιβλέπων: Νικόλαος Τσουρβελούδης, Καθηγητής Σχολής
ΜΠΔ, Πολυτεχνείο Κρήτης

Ευχαριστίες

Κατά τη διάρκεια όλων των σταδίων της διπλωματικής μου συνεργάστηκα με αρκετούς ανθρώπους οι οποίοι με βοήθησαν να ολοκληρώσω αυτή την εργασία και γι' αυτό το λόγο θέλω να τους ευχαριστήσω.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου, Καθηγητή κ. Νικόλαο Τσουρβελούδη, για τη στήριξη και πάνω από όλα την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τον εξοπλισμό που μου παρείχε σε κάθε φάση υλοποίησης της εργασίας.

Τον κ. Πιπερίδη Σάββα, ΕΤΕΠ του εργαστηρίου Ευφυών Συστημάτων & Ρομποτικής για την καθοδήγηση, το χρόνο και γενικότερα την άψογη συνεργασία μας από την πρώτη στιγμή και σε όλα τα επίπεδα.

Τον κ. Σπανουδάκη Πολυχρόνη, διδάκτορα της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης και επικεφαλή της ερευνητικής ομάδας TUCER, για τη συμμετοχή μου στην ομάδα όπως επίσης και κάθε ένα μέλος της ομάδας για την άψογη συνεργασία μας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και την οικογένεια μου για τη στήριξη που μου παρείχαν όλο αυτό τον καιρό.

Αφιερώνεται στην οικογένειά μου

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	9
Πρόλογος.....	9
Δομή εργασίας.....	9
Κεφάλαιο 1: Ηλεκτρονικό σύστημα του Tucser 13.....	10
1.1 Προδιαγραφές ηλεκτρονικού συστήματος.....	10
1.2 Συνοπτική περιγραφή ηλεκτρονικού συστήματος, έκδοσης 2012....	12
1.3 Σχεδίαση νέου ηλεκτρονικού συστήματος, έκδοση 2013.....	14
1.3.1 Σχεδίαση κυκλώματος τροφοδοσίας, ασφαλείας, ΚΛ1.....	14
1.3.2 Σχεδίαση κυκλώματος λειτουργίας κυψέλης, ΚΛ2	17
1.3.3 Σχεδίαση κυκλώματος Φωτισμού, Arduino.....	20
1.4 Κατασκευή του ηλεκτρονικού συστήματος.....	24
1.5 Σύγκριση.....	26
Κεφάλαιο 2: Σύστημα καταγραφής επιδόσεων του Tucser.....	28
2.1 Περιγραφή συστήματος καταγραφής, έκδοση 2012.....	28
2.2 Σύγκριση συστημάτων καταγραφής έκδοσης 2012,2013.....	29
2.3 Σχεδίαση νέου συστήματος καταγραφής, έκδοση 2013.....	30
2.3.1 Μέτρηση Ταχύτητας.....	32
2.3.2 Μέτρηση τάσης.....	33
2.3.3 Μέτρηση έντασης.....	35
2.4 Υλοποίηση συστήματος καταγραφής, έκδοση 2013.....	37
2.5 Προγραμματισμός συστήματος καταγραφής, έκδοση 2013.....	40
Κεφάλαιο 3: Δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος (GUI).....	45
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα συστήματος καταγραφής.....	48
ΕΠΙΛΟΓΟΣ: Παρατηρήσεις και μελλοντικές προτάσεις.....	52
Παρατηρήσεις.....	52
Μελλοντικές προτάσεις.....	52
Βιβλιογραφία.....	53
Παράρτημα Ι.....	55

Ευρετήριο Σχημάτων

Εικόνα 1: Διάταξη ηλεκτρικών συστημάτων, έκδοση 2012.....	12
Εικόνα 2: Διάγραμμα Ηλεκτρικής Διεπαφής κυψέλης Nexa 1.2.....	18
Εικόνα 3: Διάγραμμα Ροής λειτουργίας φλας.....	22
Εικόνα 4: Πλακέτα διαχείρισης ΠΔ1, έκδοση 2013.....	24
Εικόνα 5: Βάση Ηλεκτρολογικής Πλακέτας.....	25
Εικόνα 6: Ηλεκτρονόμος Panasonic ST και βάση.....	25
Εικόνα 7: Κεντρική πλακέτα τροφοδοσίας, έκδοση 2012.....	26
Εικόνα 8: Σύγκριση καλωδίων.....	27
Εικόνα 9: Περιβάλλον Διεπαφής, έκδοση 2012.....	28
Εικόνα 10: Πειραματική διάταξη για τη μέτρηση χαρακτηριστικών του κινητήρα.....	30
Εικόνα 11: Διάγραμμα ροής συστήματος καταγραφής.....	32
Εικόνα 12: Σχέδιο μέτρησης ταχύτητας.....	33
Εικόνα 13: Σχέδιο μέτρησης τάσης.....	34
Εικόνα 14: Διάγραμμα ροής τάσης.....	35
Εικόνα 15: Σχέδιο μέτρησης έντασης.....	36
Εικόνα 16: Σύστημα καταγραφής, έκδοση 2013.....	37
Εικόνα 17: Μαγνητικός διακόπτης/μαγνήτης.....	38
Εικόνα 18: Αντίσταση Διακλάδωσης.....	39
Εικόνα 19: Διάγραμμα Ροής Arduino.....	40
Εικόνα 20: Διάγραμμα Ροής C++.....	42
Εικόνα 21: Περιβάλλον Διεπαφής, έκδοση 2013.....	45
Εικόνα 22: Διάγραμμα Ροής GUI.....	46
Εικόνα 23: Διαγράμματα Τάσης, Έντασης- Χρόνου.....	49
Εικόνα 24: Διάγραμμα Ισχύος-Χρόνου.....	50
Εικόνα 25: Διάγραμμα Ταχύτητας-Χρόνου.....	51

Παράρτημα Σχεδίων

Σχέδιο 1: Συνοπτικό Ηλεκτρολογικό σχέδιο, έκδοση 2012.....	55
Σχέδιο 2: Κύκλωμα τροφοδοσίας, ασφαλείας, ΚΛ1.....	56
Σχέδιο 3: Κύκλωμα λειτουργίας κυψέλης, ΚΛ2.....	57
Σχέδιο 4: Κύκλωμα φωτισμού, Arduino, ΚΛ3.....	58
Σχέδιο 5: Σύστημα καταγραφής, έκδοση 2013.....	59

Παράρτημα Πινάκων

Πίνακας 1: Πίνακας συσκευών σχεδίου ΚΛ1.....	15
Πίνακας 2: Πίνακας συσκευών σχεδίου ΚΛ2.....	17
Πίνακας 3: Πίνακας συσκευών σχεδίου ΚΛ3.....	21
Πίνακας 4: Πίνακας συσκευών καταγραφικού, έκδοση 2013.....	31
Πίνακας 5: Αρχείο καταγραφής, τυχαίο δείγμα.....	48

Παράρτημα Κώδικα

Κώδικας 1: Υπολογισμός Τάσης-Έντασης.....	41
Κώδικας 2: Αποκρυπτογράφηση συμβολογραμμής & εγγραφή σε αρχείο..	43
Κώδικας 3: Υπολογισμός ταχύτητας.....	44

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη σχεδίαση και υλοποίηση του ηλεκτρονικού συστήματος υποστήριξης λειτουργίας του αστικού οχήματος “ER13”, καθώς και ενός συστήματος καταγραφής και εμφάνισης των επιδόσεων. Τα συστήματα αυτά κατασκευάστηκαν εξ ολοκλήρου στο Εργαστήριο Ευφών Συστημάτων & Ρομποτικής του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Εισαγωγή

Πρόλογος

Η ομάδα TUCer, δραστηριοποιείται από το 2007 στην ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων πόλης ενώ παράλληλα λαμβάνει μέρος στο διεθνή μαραθώνιο οικονομίας της Shell. Συνεπώς, με κύριο γνώμονα την οικονομία ηλεκτρικής ενέργειας, έγινε μελέτη, επανασχεδίαση και κατασκευή όλου του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού συστήματος υποστήριξης λειτουργίας του αυτοκινήτου ER13, καθώς επίσης και ενός συστήματος καταγραφής επιδόσεων. Το σύστημα καταγραφής χρησιμοποιείται για τη μελέτη και βελτίωση των χαρακτηριστικών του οχήματος και είναι ανεξάρτητο της πηγής ενέργειας που αυτό διαθέτει.

Το καταγραφικό σύστημα έχει τη δυνατότητα να προβάλλει σε πραγματικό χρόνο δεδομένα, όπως ταχύτητα και κατανάλωση ισχύος μέσω ενός εύχρηστου γραφικού περιβάλλοντος. Επίσης μπορεί να αρχειοθετεί τις επιδόσεις κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής για πρόσθετη, μελλοντική στατιστική επεξεργασία.

Δομή εργασίας

Η εργασία είναι δομημένη με τον ακόλουθο τρόπο:

Στο *Κεφάλαιο 1* περιγράφονται οι προδιαγραφές του ηλεκτρονικού συστήματος όπως αυτές καθορίζονται από τους κανονισμούς της Shell για το μαραθώνιο του 2013. Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή του προηγούμενου ηλεκτρονικού συστήματος, λεπτομερής περιγραφή του νέου και τέλος γίνεται μια σύγκριση των δυο αυτών συστημάτων.

Στο *Κεφάλαιο 2* γίνεται η παρουσίαση της σχεδίασης, προγραμματισμού και κατασκευής του συστήματος καταγραφής επιδόσεων. Περιγράφεται συνοπτικά το προηγούμενο σύστημα που χρησιμοποιήθηκε μέχρι το 2012 καθώς και οι λόγοι που οδήγησαν στην αντικατάστασή του.

Στο *Κεφάλαιο 3* περιγράφεται η δημιουργία του γραφικού περιβάλλοντος (Graphical User Interface, GUI) του συστήματος καταγραφής επιδόσεων.

Στο *Κεφάλαιο 4* αναλύονται οι επιδόσεις του οχήματος ER13 στην πίστα Ahoj στο Ρότερνταμ της Ολλανδίας.

Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία και προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις.

Κεφάλαιο 1: Ηλεκτρονικό σύστημα του Tucer 13

1.1 Προδιαγραφές ηλεκτρονικού συστήματος

Η Shell διοργανώνει κάθε χρόνο μαραθώνιο οικονομίας έχοντας ως κύριο μέλημα της την ασφάλεια. Οι προδιαγραφές λειτουργίας των οχημάτων διασφαλίζουν ότι έχει εξαλειφθεί κάθε κίνδυνος για τον οδηγό, τους συμμετέχοντες και τους θεατές. Επίσης, στην κατηγορία αστικών οχημάτων που συμμετέχει η ομάδα TUCer, τα αυτοκίνητα πρέπει να πληρούν όλες τις προϋποθέσεις για να μπορούν να κινηθούν με ασφάλεια σε μια πόλη. Οι κανονισμοί που θέτει η Shell είναι αυστηροί και πλήρεις, θέτοντας δικλίδες ασφαλείας παντού στο όχημα. Για το λόγο αυτό αποτέλεσαν τις προδιαγραφές του ηλεκτρικού συστήματος.

Προδιαγραφές φωτισμού-κόρνας: (άρθρο 50, Shell Eco-Marathon official rules 2013, Chapter I, [1])

- 2 μπροστά φώτα.
- 2 φλας αλλαγής κατεύθυνσης μπροστά-πίσω.
- 2 κόκκινα φώτα φρεναρίσματος πίσω.
- 2 πίσω φώτα πορείας.
- 1 ηλεκτρική κόρνα τουλάχιστον 420Hz,110dBa.

Προδιαγραφές λειτουργίας σε υγρές καιρικές συνθήκες: (άρθρο 52)

- Το όχημα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με ηλεκτρικούς υαλοκαθαριστήρες οι οποίοι πρέπει να είναι πλήρως λειτουργικοί αφού υπάρχει μεγάλη πιθανότητα το όχημα να αγωνίζεται υπό βροχή.

Προδιαγραφές ασφαλείας (άρθρο 65, άρθρο 37): Σε περίπτωση που ενεργοποιηθεί κάποιος μηχανισμός ασφαλείας πρέπει να κόβεται ταυτόχρονα η παροχή ρεύματος στον ηλεκτροκινητήρα και η παροχή υδρογόνου στην κυψέλη καυσίμου. Γι αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται οι παρακάτω συσκευές:

- Σωληνοειδής, ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα στην έξοδο του ρυθμιστή πίεσης του υδρογόνου η οποία είναι κανονικά κλειστή στην απουσία ηλεκτρικού ρεύματος. Όσο το όχημα λειτουργεί κανονικά, η ηλεκτροβαλβίδα επιτρέπει στο υδρογόνο να περάσει από τη δεξαμενή αποθήκευσης προς τις κυψέλες καυσίμου. Αν για οποιοδήποτε λόγο ασφαλείας κοπεί η παροχή ρεύματος προς την βαλβίδα, τότε άμεσα κόβεται και η παροχή υδρογόνου στην κυψέλη.

- Αισθητήρας υδρογόνου, ο οποίος ανιχνεύει οποιαδήποτε διαρροή υδρογόνου και εάν η συγκέντρωση είναι μεγαλύτερη από 25% του Ελάχιστου Ορίου Έκρηξης (Lower Explosive Limit) ενεργοποιεί το σύστημα ασφαλείας. Το ελάχιστο όριο έκρηξης του υδρογόνου είναι 4% συγκέντρωση κατ όγκο στον αέρα [2] οπότε ο αισθητήρας ενεργοποιεί τον έκτακτο τερματισμό στο 1%.
- Διακόπτες(2) εκτάκτου τερματισμού λειτουργίας του οχήματος. Ο ένας διακόπτης πρέπει να είναι τοποθετημένος στο χώρο του οδηγού και να είναι εύκολα προσβάσιμος από αυτόν. Ο δεύτερος διακόπτης πρέπει να είναι τοποθετημένος στην εξωτερική μεριά του αυτοκινήτου, στερεωμένος στο αμάξωμα. Ένα κόκκινο βέλος με άσπρο φόντο διαστάσεων τουλάχιστον 10x3 εκατοστά πρέπει να δείχνει τη θέση του εξωτερικού διακόπτη εκτάκτου τερματισμού λειτουργίας. Οι διακόπτες αυτοί είναι τύπου “μανιτάρι” που είναι κατάλληλοι για περιπτώσεις απότομης/έκτακτης διακοπής λειτουργίας. Όταν ενεργοποιηθούν, παραμένουν στην “ανοικτή” θέση μέχρι να τους απενεργοποιήσει ο χειριστής γυρνώντας τους 45 μοίρες δεξιόστροφα.

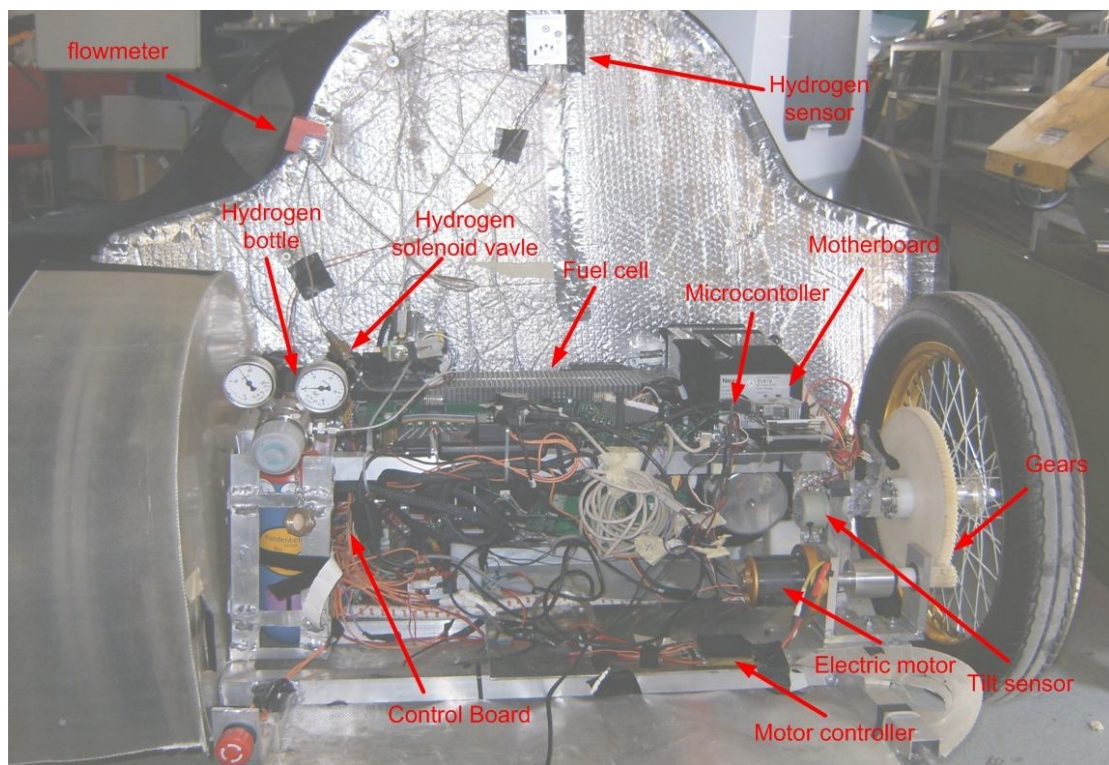
Πρόσθετες λειτουργικές προδιαγραφές:

- Κύριος διακόπτης λειτουργίας που βρίσκεται στο χώρο του οδηγού και να δίνει ρεύμα σε όλες τις ηλεκτρονικές συσκευές.
- Διακόπτης εκκίνησης/τερματισμού λειτουργίας της κυψέλης καυσίμου που βρίσκεται στο χώρο του οδηγού. Η διαδικασία εκκίνησης/τερματισμού της κυψέλης καυσίμου απαιτεί ένα χρονικό διάστημα από 10 δευτερόλεπτα έως ένα λεπτό κατά το οποίο ο κύριος διακόπτης λειτουργίας πρέπει να είναι στη θέση λειτουργίας.

1.2 Συνοπτική περιγραφή ηλεκτρονικού συστήματος, έκδοσης 2012

Οι προδιαγραφές του προηγούμενου ηλεκτρονικού συστήματος ήταν σε γενικές γραμμές οι ίδιες με του νέου αφού οι προδιαγραφές της Shell παρέμειναν κατά μεγάλο ποσοστό οι ίδιες.

Στην εικόνα 1 φαίνεται το ηλεκτρονικό σύστημα που είχε το μοντέλο ER12. Αυτό αποτελούταν από την κεντρική πλακέτα τροφοδοσίας (Control Board), τις κυψέλες καυσίμου (Fuel cell) που παρήγαγαν το ρεύμα το οποίο πήγαινε μέσω του ελεγκτή (Motor controller) στον ηλεκτρικό κινητήρα (Electric Motor)



Εικόνα 1: Διάταξη ηλεκτρικών συστημάτων, έκδοσης 2012

Στο σχέδιο 1 του παραρτήματος Ι, περιλαμβάνεται το αντίστοιχο ηλεκτρολογικό σχέδιο.

Το ηλεκτρολογικό σχέδιο πληρεί τις προϋποθέσεις που θέτει η Shell για τη συμμετοχή στο μαραθώνιο. Πιο αναλυτικά, περιλαμβάνει:

- 1) Το κύκλωμα της Κυψέλης Καυσίμου στο οποίο
 - Τα 24 Volt έρχονται από τη μπαταρία για την τροφοδοσία της μητρικής πλακέτας των κυψελών.
 - Ο διακόπτης ON/OFF FC μόλις κλείσει δίνει σήμα στη μητρική πλακέτα των κυψελών να παράξουν ρεύμα που στη συνέχεια μέσω ενός ηλεκτρονόμου υψηλής ισχύος (contactor) [3] πηγαίνει στον ηλεκτροκινητήρα.
- 2) Το κύκλωμα ασφαλείας στο οποίο τα 24 Volt περνούν από τα εν σειρά συνδεδεμένα εξαρτήματα
 - PILOT EMERGENCY: Ο διακόπτης έκτακτου τερματισμού λειτουργίας που είναι τοποθετημένος στη θέση του οδηγού.
 - EMERGENCY: Ο διακόπτης έκτακτου τερματισμού λειτουργίας που είναι τοποθετημένος στο εξωτερικό του αυτοκινήτου.
 - HYDROGEN SENSOR: Ο αισθητήρας υδρογόνου που κόβει την τροφοδοσία ρεύματος όταν ανιχνεύσει συγκέντρωση υδρογόνου πάνω απ τα επιτρεπτά όρια.
 - SOLENOID VALVE: Η ηλεκτροβαλβίδα που κόβει την παροχή υδρογόνου σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.
- 3) Το κύκλωμα κύριας παροχής 24 Volt ρεύματος που αποτελείται από τις παρακάτω συσκευές:
 - LIGHTS: Διακόπτης για τη λειτουργία εμπρός και πίσω φώτων.
 - FLASH: Διακόπτης τριών θέσεων για τη λειτουργία των φλας.
 - HORN: Διακόπτης λειτουργίας της κόρνας.
 - ON/OFF FAN: Διακόπτης λειτουργίας ψύκτρας ψύξης της μητρικής πλακέτας του καταγραφικού.
 - ON/OFF WINDSCREEN WIPER: Διακόπτης λειτουργίας του υαλοκαθαριστήρα.

1.3 Σχεδίαση νέου ηλεκτρονικού συστήματος, έκδοση 2013

Το νέο ηλεκτρολογικό σχέδιο αποτελείται από τρία υπό-σχέδια.

Το “κύκλωμα τροφοδοσίας, ασφαλείας” ΚΛ1 που περιλαμβάνει το κύκλωμα τροφοδοσίας 12 και 24 Volt και τους διακόπτες ασφαλείας.

Το “κύκλωμα κυψέλης” ΚΛ2 στο οποίο φαίνεται η συνδεσμολογία που απαιτήθηκε για τη λειτουργία της κυψέλης καυσίμου και την επικοινωνία με τη μητρική της πλακέτα όπως επίσης και η σύνδεση του ελεγκτή του κινητήρα με τον επιταχυντή και τον ηλεκτροκινητήρα.

Τέλος, το κύκλωμα “φωτισμού - Arduino” ΚΛ3 που δείχνει τη σύνδεση του μικροεπεξεργαστή Arduino με τον επιταχυντή, τα φλάς και τον υαλοκαθαριστήρα και τη μεταξύ τους συνδεσμολογία.

Ο σχεδιασμός του νέου ηλεκτρονικού συστήματος έγινε με τη χρήση του λογισμικού gEDA [4] . Το λογισμικό gEDA προτιμήθηκε από τα υπόλοιπα γιατί είναι ένα πρόγραμμα Ελεύθερου Λογισμικού/Λογισμικού Ανοιχτού Κώδικα το οποίο είναι πλήρως παραμετροποιήσιμο στις ανάγκες του χρήστη, δωρεάν και υποστηρίζεται από όλα τα λειτουργικά συστήματα (cross-platform). Εκτός από αυτό, έχει τη δυνατότητα καταγραφής των χαρακτηριστικών των αντικειμένων που χρησιμοποιούνται και αυτοματοποιημένη εξαγωγή αυτών σε λίστα.

1.3.1 Σχεδίαση κυκλώματος τροφοδοσίας, ασφαλείας, ΚΛ1

Η λίστα των αντικειμένων που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του κυκλώματος τροφοδοσίας, ασφαλείας ΚΛ1 έτσι όπως εξάχθηκε από το σχέδιο, με τη χρήση του προγράμματος Gattrib, gEDA Attribute Editor [5], φαίνεται στον πίνακα 1. Η πρώτη στήλη του πίνακα περιλαμβάνει την κωδική ονομασία της κάθε συσκευής που χρησιμοποιήθηκε και είναι μοναδική για κάθε ξεχωριστή συσκευή. Η δεύτερη περιγράφει το είδος της συσκευής, η τρίτη την τιμή της σε μεγέθη ανάλογα του είδους της συσκευής και όπου αυτά είναι δυνατά. Η τρίτη στήλη περιέχει μια συνοπτική περιγραφή της λειτουργίας της κάθε συσκευής ενώ η τέταρτη το μοντέλο της, όπου αυτό είναι διαθέσιμο.

Πίνακας 1: Πίνακας συσκευών σχεδίου ΚΛ1

Κωδική Ονομασία	Συσκευή	Τιμή	Περιγραφή	Μοντέλο
CON1_1.	Ακροδέκτης		12V μέσω Ασφάλειας	
CON1_2.	Ακροδέκτης		On/Off/Σήμα ασφαλείας	
CON1_3.	Ακροδέκτης		Ηλεκτρονόμος υψηλής τάσεως +	
CON1_4.	Ακροδέκτης		Ηλεκτρονόμος υψηλής τάσεως +	
CON1_5.	Ακροδέκτης		Σωληνοειδής βαλβίδα +	
CON1_6.	Ακροδέκτης		Έξοδος διακόπτη S1	
CON1_7.	Ακροδέκτης		Αριστερό φλάς	
CON1_8.	Ακροδέκτης		Δεξιό φλάς	
D1	Δίοδος			SBR40U60CT
D2	Δίοδος			SBR40U60CT
D3	Δίοδος			SBR40U60CT
D4	Δίοδος			SBR40U60CT
F1.	Ασφάλεια	5A		
F2.	Ασφάλεια	4A		
F3.	Ασφάλεια	40A	Έξοδος κυψέλης καυσίμου	
FC_J4B7.	Ακροδέκτης		Ηλεκτρονόμος υψηλής τάσεως -	
FC_J4B8.	Ακροδέκτης		Ηλεκτρονόμος υψηλής τάσεως +	
FC_P1_1.	Ακροδέκτης		Παραγόμενη Ενέργεια κυψελών +	
FC_P1_2.	Ακροδέκτης		Παραγόμενη Ενέργεια κυψελών -	
K_FC	Ηλεκτρονόμος		Ηλεκτρονόμος υψηλής τάσεως	Panasonic AEV 18012
T12_1.	Ακροδέκτης		Παραγόμενη Ενέργεια κυψελών +	
T12_2.	Ακροδέκτης		Παραγόμενη Ενέργεια κυψελών -	
T12_3.	Ακροδέκτης		Έξοδος διακόπτη S1	
T13_1.	Ακροδέκτης		On/Off/Σήμα ασφαλείας	
T13_2.	Ακροδέκτης		Ρεύμα λειτουργίας αισθητήρα H2	
H2SENSOR1	αισθητήρας		Αισθητήρας υδρογόνου	PowerKnowz
K1	Ηλεκτρονόμος		Ηλεκτρονόμος συστήματος ασφαλείας	Panasonic ST212F
V1	Ηλεκτροβαλβίδα		Σωληνοειδής ηλεκτροβαλβίδα	Burkert 6011

Το ηλεκτρολογικό σχέδιο φαίνεται στην εικόνα 2 του παραρτήματος Ι.

Το σχέδιο ΚΛ1 περιλαμβάνει:

- 1) Τροφοδοσία 12 Volt μέσω της ασφάλειας F1 και της διόδου D1
 - 1.1) Τα 12 Volt διανομέονται στον κύριο διακόπτη S1 και από εκεί στον ηλεκτρονόμο που δίνει ρεύμα στη μητρική πλακέτα της κυψέλης καυσίμου και στον αισθητήρα υδρογόνου.
 - 1.2) Ενεργοποιούν το σύστημα ασφαλείας μέσω των:
 - Κανονικά-κλειστού εσωτερικού διακόπτη εκτάκτου τερματισμού λειτουργίας οδηγού, S2.
 - Κανονικά-κλειστού εξωτερικού διακόπτη εκτάκτου τερματισμού λειτουργίας του οχήματος, S3.
 - Αισθητήρα υδρογόνου H2SENSOR1 που όταν εντοπίσει μη επιτρεπτή συγκέντρωση υδρογόνου ο κανονικά-κλειστός εσωτερικός του ηλεκτρονόμος αποσυνδέει το κύκλωμα.
- 2) Τροφοδοσία 24 Volt μέσω της ασφάλειας F2 και της διόδου D2 στην ηλεκτροβαλβίδα
- 3) Ηλεκτρονόμο (relay) συστήματος ασφαλείας K1 ο οποίος:
 - Λαμβάνει το σήμα ασφαλείας On/Off Safety Signal, δηλαδή παίρνει ρεύμα αν δεν είναι ενεργοποιημένοι οι διακόπτες εκτάκτου τερματισμού λειτουργίας ή ο αισθητήρας υδρογόνου.
 - Ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο υψηλής ισχύος K_FC.
 - Δίνει ρεύμα στην ηλεκτροβαλβίδα V1.
- 4) Ηλεκτρονόμο υψηλής ισχύος K_FC ο οποίος:
 - Παίρνει ρεύμα από τον ηλεκτρονόμο K1 του συστήματος ασφαλείας.
 - Παρέχει το παραγόμενο ρεύμα των κυψελών καυσίμου στον ελεγκτή του ηλεκτροκινητήρα.
- 5) Σύστημα διαχείρισης ενέργειας κυψελών καυσίμου:
 - Η έξοδος FC_P1_1 παρέχει το παραγόμενο ρεύμα από τις κυψέλες καυσίμου στον ηλεκτρονόμο υψηλής τάσης μέσω της ασφάλειας F3 και των εν σειρά τοποθετημένων διόδων D3, D4.
 - Η έξοδος FC_P1_2 είναι ο αρνητικός πόλος των κυψελών καυσίμου που συνδέεται στον αρνητικό πόλο του ελεγκτή του ηλεκτροκινητήρα.
 - Η έξοδος FC_J4B8 είναι συνδεδεμένη στον ηλεκτρονόμο υψηλής ισχύος όπως υποδεικνύει ο κατασκευαστής της κυψέλης καυσίμου.
 - Η έξοδος FC_J4B7 είναι συνδεδεμένη στον ηλεκτρονόμο υψηλής ισχύος όπως υποδεικνύει ο κατασκευαστής της κυψέλης καυσίμου.

1.3.2 Σχεδίαση κυκλώματος λειτουργίας κυψέλης, ΚΛ2

Η λίστα με τα αντικείμενα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη σχεδίαση του δεύτερου από τα τρία συνολικά ηλεκτρολογικά σχέδια φαίνεται στον Πίνακα 2 ενώ η σχεδίαση του δείχνεται στο Σχέδιο 3.

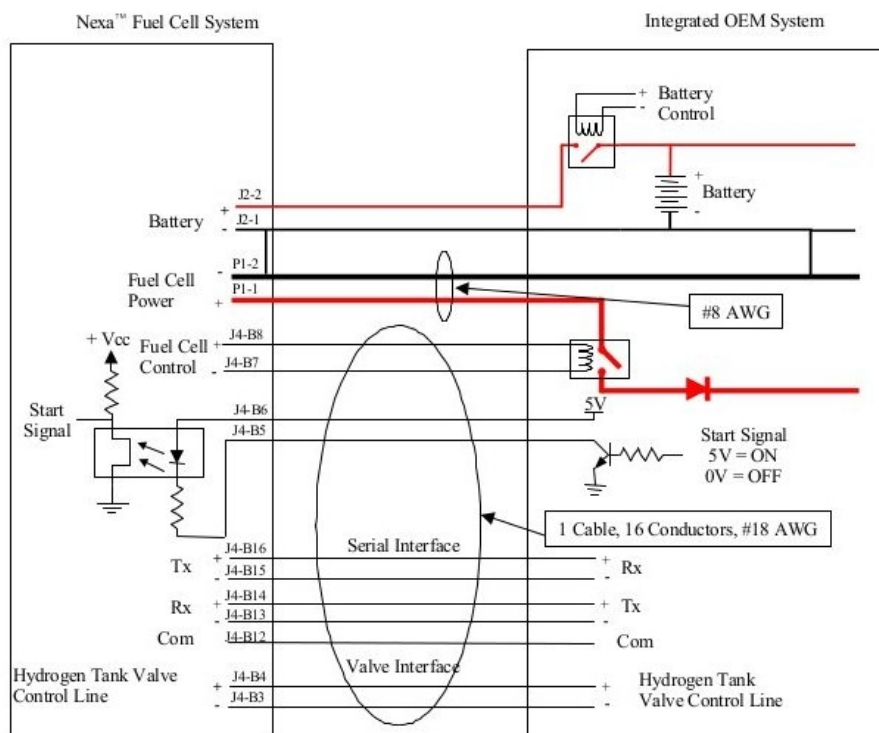
Πίνακας 2: Πίνακας συσκευών σχεδίου ΚΛ2

Κωδική Ονομασία	Συσκευή	Τιμή	Περιγραφή	Μοντέλο
B1.	Μπαταρία	12 V	12V Συμπληρωματική Μπαταρία	
B2.	Μπαταρία	12 V	12V Συμπληρωματική Μπαταρία	
CON1_1.	Ακροδέκτης		12V Από ασφάλεια	
CON1_2.	Ακροδέκτης		On/Off/Σήμα Ασφαλείας	
CON1_3.	Ακροδέκτης		Ρελέ υψηλής τάσης +	
CON1_4.	Ακροδέκτης		Ρελέ υψηλής τάσεως +	
CON1_5.	Ακροδέκτης		Σωληνοειδής βαλβίδα +	
CON1_6.	Ακροδέκτης		Έξοδος διακόπτη S1	
CON1_7.	Ακροδέκτης		Αριστερό φλάς	
CON1_8.	Ακροδέκτης		Δεξί φλάς	
CON4_1.	Ακροδέκτης		Τροφοδοσία κυψέλης Απο μπαταρία +	
CON4_2.	Ακροδέκτης		Τροφοδοσία κυψέλης Από μπαταρία -	
D2	Δίοδος		Δίοδος	SBR40U60CT
F2.	Ασφάλεια	4A	Ασφάλεια	
J2_1.	Ακροδέκτης		Τροφοδοσία κυψέλης Από μπαταρία -	
J2_2.	Ακροδέκτης		Τροφοδοσία κυψέλης Απο μπαταρία +	
J4B4.	Ακροδέκτης		Σωληνοειδής Ηλεκτροβαλβίδα +	
J4B5.	Ακροδέκτης		Σήμα On/Off -	
J4B6.	Ακροδέκτης		Σήμα On/Off +	
J4B11.	Ακροδέκτης		Γείωση κυψέλης καυσίμου	
K2.	Ηλεκτρονόμος		Ηλεκτρονόμος On\Off Κυψέλης καυσίμου	Panasonic ST212F
M1.	Κινητήρας		Τριφασικός Ηλεκτροκινητήρας	AXI 5360
MotorController.	Ελεγκτής		Ηλεκτροκινητήρα	JetiSpin99
R1	Αντίσταση	1KΩ	Αντίσταση	
S_FC	Διακόπτης		On/Off Κυψέλης καυσίμου	
T5.	Ακροδέκτης		Σήμα ελέγχου Ελεγκτή κινητήρα	

Πίνακας 2: Πίνακας συσκευών σχεδίου ΚΛ2

Κωδική Ονομασία	Συσκευή	Τιμή	Περιγραφή	Μοντέλο
T12_1.	Ακροδέκτης		Έξοδος ρεύματος Κυψέλης καυσίμου +	
T12_2.	Ακροδέκτης		Έξοδος ρεύματος Κυψέλης καυσίμου -	
T12_3.	Ακροδέκτης		Έξοδος σήματος Σ από διακόπτη S1	
T32_1.	Ακροδέκτης		Ρεύμα λειτουργίας Αισθητήρα H2	

Η κυψέλη καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε στο όχημα είναι η Nexa 1.2 από την εταιρία Ballard. Η συνδεσμολογία που χρησιμοποιήθηκε έγινε με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή στο εγχειρίδιο χρήσης [6], εικόνα 2.



Εικόνα 2: Διάγραμμα Ηλεκτρικής Διεπαφής κυψέλης Nexa 1.2

Το σχέδιο ΚΛ2 περιλαμβάνει:

- 1) Τη συνδεσμολογία κυψέλης καυσίμου FC που περιλαμβάνει τους παρακάτω ακροδέκτες:
 - J4B4, J4B6: ελέγχουν το σήμα της ηλεκτροβαλβίδας V1.
 - J4B5, J4B11: χρησιμοποιούνται μαζί με το διακόπτη S_FC για την εκκίνηση/τερματισμό της κυψέλης καυσίμου.
 - J2_2: παίρνει το ρεύμα τροφοδοσίας της μητρικής πλακέτας της κυψέλης καυσίμου από τις εξωτερικές μπαταρίες των 24 Volt.
 - J2_1: πηγαίνει στην κοινή γείωση των εξωτερικών μπαταριών και της κυψέλης καυσίμου που είναι το αμάξωμα του οχήματος.
- 2) Τη συνδεσμολογία του ελεγκτή του κινητήρα που περιλαμβάνει:
 - Τροφοδοσία του ελεγκτή του ηλεκτροκινητήρα από την κυψέλη καυσίμου.
 - Τη σύνδεση του καλωδίου της κάθε φάσης του ηλεκτροκινητήρα (Phase 1, Phase 2, Phase 3) στην αντίστοιχη υποδοχή του ελεγκτή.
 - Το σήμα ελέγχου MC_controlSignal το οποίο παρέχεται στον ελεγκτή από τον μικροεπεξεργαστή Arduino [6] και ελέγχει την ταχύτητα περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα.
- 3) Τον ηλεκτρονόμο K2 ο οποίος:
 - Ενεργοποιείται από τον κύριο διακόπτη παροχής ρεύματος S1.
 - Παρέχει ρεύμα 24 Volt από την εξωτερική μπαταρία στη μητρική πλακέτα της κυψέλης καυσίμου.

1.3.3 Σχεδίαση κυκλώματος Φωτισμού, Arduino

Στο κεφάλαιο αυτό εξηγείται το τρίτο και πιο μεγάλο ηλεκτρολογικό σχέδιο του οποίου η λίστα με τα αντικείμενα φαίνεται στον Πίνακα 3 και το ηλεκτρολογικό σχέδιο στο Σχέδιο 4 του παραρτήματος Ι

Πίνακας 3: Πίνακας συσκευών σχεδίου ΚΛ3

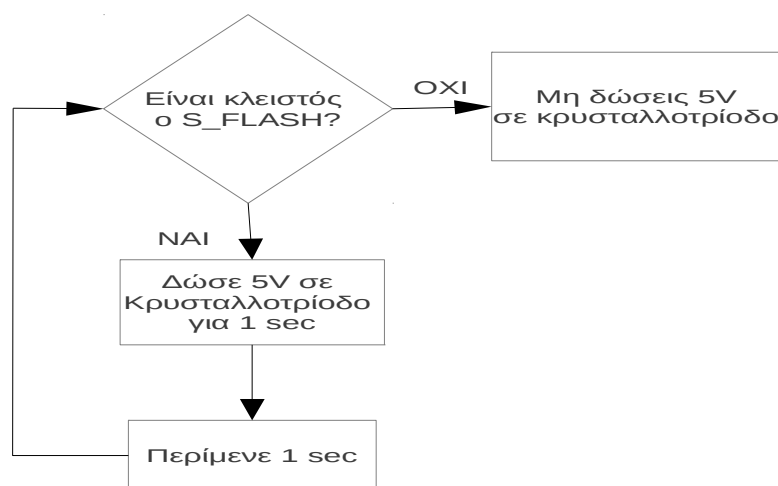
Κωδική Ονομασία	Συσκευή	Τιμή	Περιγραφή	Μοντέλο
CON2_6.	Ακροδέκτης		Κενή	
CON2_7.	Ακροδέκτης		Κενή	
CON2_8.	Ακροδέκτης		Κενή	
CON3_1.	Ακροδέκτης		12V από K3	
CON3_2.	Ακροδέκτης		12V από K3	
CON3_3.	Ακροδέκτης		Παροχή 5V προς υαλοκαθιστήρα	
CON3_4.	Ακροδέκτης		Ρεύμα λειτουργίας αισθητήρα H2	
D_FRONT_LEFT_FLASHER	Φωτοδίοδος		Εμπρός αριστερά φλας	
D_FRONT_RIGHT_FLASHER	Φωτοδίοδος		Εμπρός δεξιά φλας	
D_FRONTL	Φωτοδίοδος		Εμπρός φώτα	
D_REAR_BRAKEL	Φωτοδίοδος		Πίσω φώτα φρένων	
D_REAR_LEFT_FLASHER	Φωτοδίοδος		Πίσω αριστερά φλας	
D_REAR_RIGHT_FLASHER	Φωτοδίοδος		Πίσω δεξιά φλας	
D_REARL	Φωτοδίοδος		Πίσω φώτα	
F1.	Ασφάλεια	5A		
K3	Ηλεκτρονόμος		Ηλεκτρονόμος παροχής ρεύματος Arduino/φώτα	Panasonic ST212F
M2	Κινητήρας Servo		Κινητήρας Servo Υαλοκαθιστήρα	Hype IQ400 DMG
Q1	NPN_κρυσταλλοτρίοδος		Κρυσταλλοτρίοδος Αριστερού φλας	
Q2	NPN_κρυσταλλοτρίοδος		Κρυσταλλοτρίοδος Δεξιού φλας	
R2	Αντίσταση	10 KOhm	Αντίσταση	
S_BRAKE_LIGHTS	Διακόπτης		Αυτόματος διακόπτης φώτων φρένου	
S_FLASHER	Διακόπτης		Διακόπτης φλας	
S_HORN	Διακόπτης		Διακόπτης κόρνας	
S_LIGHTS	Διακόπτης		Διακόπτης φώτων	
S_WIPER	Διακόπτης		Διακόπτης Υαλοκαθιστήρα	
SPK1	Κόρνα		Κόρνα	
T5.	Ακροδέκτης		Σήμα ελέγχου ελεγκτή Κινητήρα	
T13_1.	Ακροδέκτης		On/Off/σήμα ασφαλείας	
T13_2.	Ακροδέκτης		Παροχή ρεύματος λειτουρ γίας Αισθητήρα H2	

Πίνακας 3: Πίνακας συσκευών σχεδίου ΚΛ3

Κωδική Ονομασία	Συσκευή	Τιμή	Περιγραφή	Μοντέλο
ACC1	Επιταχυντής		Επιταχυντής οχήματος	Curtis PB6
ARD_5V.	Ακροδέκτης		Έξοδος 5V από Arduino	
ARD_A0.	Ακροδέκτης		Αναλογική είσοδος επιταχυντή	
ARD_D22.	Ακροδέκτης		Ψηφιακή έξοδος Αριστερού φλας	
ARD_D23.	Ακροδέκτης		Ψηφιακή είσοδος διακόπτη Αριστερού φλας	
ARD_D24.	Ακροδέκτης		Ψηφιακή έξοδος δεξιού φλας	
ARD_D25.	Ακροδέκτης		Ψηφιακή είσοδος διακόπτη Δεξιού φλας	
ARD_D26.	Ακροδέκτης		Κενή	
ARD_D27.	Ακροδέκτης		Είσοδος διακόπτη Υαλοκαθαριστήρα	
ARD_D28.	Ακροδέκτης		Κενή	
ARD_D29.	Ακροδέκτης		Διακόπτης επιταχυντή (κανονικά ανοιχτός)	
ARD_GND.	Ακροδέκτης		Γείωση πλακέτας Arduino	
ARD_PWM2.	Ακροδέκτης		PWM έξοδος επιταχυντή	
ARD_PWM3.	Ακροδέκτης		PWM έξοδος υαλοκαθαριστήρα	
ARD_VIN.	Ακροδέκτης		Παροχή ρεύματος Arduino	
B1.	Μπαταρία	12V	Μπαταρία 12V	
C1.	Πυκνωτής	0.1uF	Πυκνωτής στην είσοδο του Μετατροπέα τάσης	
C2.	Πυκνωτής	22uF	Πυκνωτής στην έξοδο του Μετατροπέα τάσης	
CON1_1.	Ακροδέκτης		12V Από ασφάλεια	
CON1_2.	Ακροδέκτης		On/Off/Σήμα Ασφαλείας	
CON1_3.	Ακροδέκτης		Ρελέ υψηλής τάσης +	
CON1_4.	Ακροδέκτης		Ρελέ υψηλής τάσεως +	
CON1_5.	Ακροδέκτης		Σωληνοειδής βαλβίδα +	
CON1_6.	Ακροδέκτης		Έξοδος διακόπτη S1	
CON1_7.	Ακροδέκτης		Αριστερό φλάς	
CON1_8.	Ακροδέκτης		Δεξί φλάς	
CON2_1.	Ακροδέκτης		Ψηφιακή θύρα Arduino D22	
CON2_2.	Ακροδέκτης		Ψηφιακή θύρα Arduino D24	
CON2_3.	Ακροδέκτης		Παροχή Arduino 12V	
CON2_4.	Ακροδέκτης		Arduino GND	

Το σχέδιο αποτελείται από:

- 1) Το κύκλωμα φωτισμού το οποίο διαχειρίζεται τα:
 - 1.1) Εμπρός και πίσω φώτα. Όταν ο κανονικά-ανοιχτός διακόπτης ενεργοποίησης φωτισμού κλείσει, τότε κλείνει το κύκλωμα των εν σειρά τοποθετημένων διόδων εκπομπής φωτός (LED lights) που είναι τοποθετημένες στο μπροστινό και πίσω μέρος του αυτοκινήτου.
 - 1.2) Φώτα φρένων. Όταν ο οδηγός πατήσει το φρένο, τότε ένας κανονικά-ανοιχτός ενσωματωμένος στο πεντάλ διακόπτης κλείνει το κύκλωμα 12 Volt και ενεργοποιούνται τα πίσω φώτα φρεναρίσματος.
- 2) Το κύκλωμα των φλας. Για τον έλεγχο του χρονισμού του αναβοσβησίματος (blinking) των φλας χρησιμοποιήθηκε ο μικροεπεξεργαστής Arduino. Όταν ο κανονικά-ανοιχτός διακόπτης τριών θέσεων S_FLASHER κλείσει, τότε μια ψηφιακή είσοδος του Arduino αλλάζει κατάσταση και ο μικροεπεξεργαστής δίνει εντολή σε μια θύρα εξόδου να δίνει ρεύμα ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Το μέγιστο ρεύμα όμως που μπορεί να παρέχει ο Arduino είναι πολύ μικρής έντασης για να ενεργοποιήσει τις φωτοδιόδους των φλας, γι αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν κρυσταλλοτρίοδοι [8] (transistors). Η βάση της κρυσταλλοτρίοδου είναι συνδεδεμένη με την ψηφιακή έξοδο του Arduino, ο συλλέκτης της κρυσταλλοτρίοδου είναι συνδεδεμένος με τα φλας ενώ ο εκπομπός της είναι γειωμένος. Έτσι, όταν αλλάζει η κατάσταση της βάσης, τα φλας ανοίγουν ή κλείνουν αντίστοιχα. Το διάγραμμα ροής φαίνεται στην Εικόνα 3.

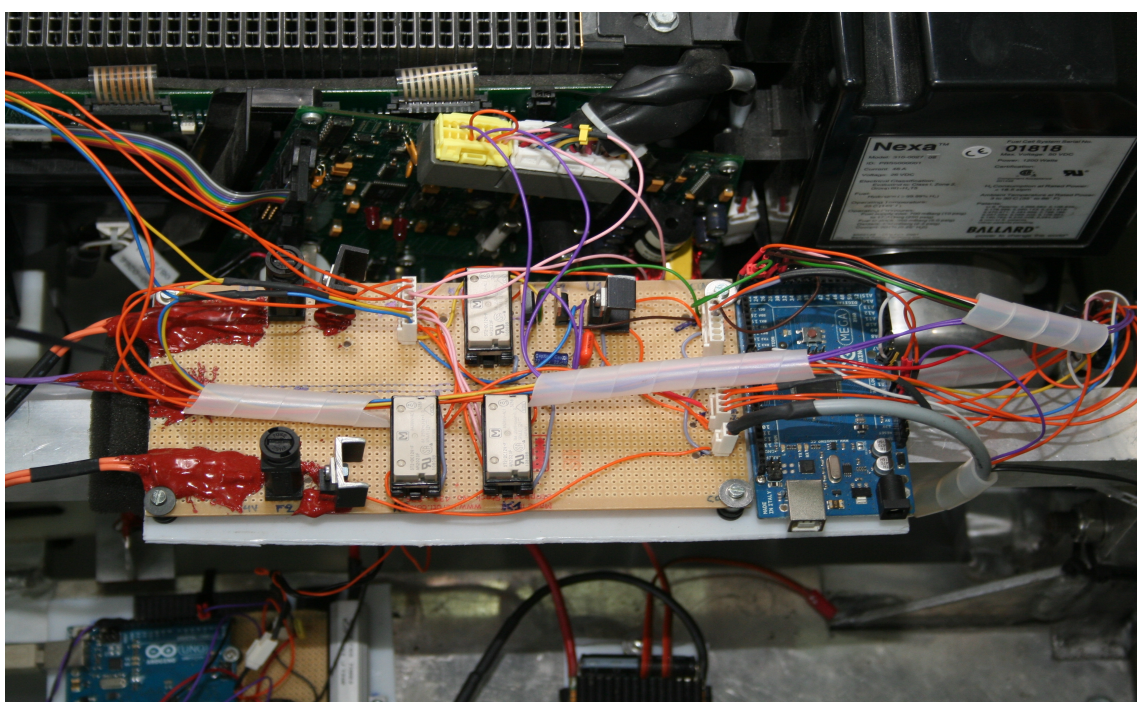


Εικόνα 3: Διάγραμμα Ροής λειτουργίας φλας

- 3) Το κύκλωμα του υαλοκαθαριστήρα: Ο υαλοκαθαριστήρας αποτελείται από ένα RC-σέρβο [9] το οποίο λειτουργεί στα 5 Volt. Για την τροφοδοσία του χρησιμοποιήθηκε το τροφοδοτικό L4940V5 και ελέγχεται μέσω του ARD_PWM3 σήματος που παράγεται στη θύρα εξόδου των PWM σημάτων [10] του Arduino.
- 4) Το κύκλωμα του επιταχυντή: Ο επιταχυντής είναι μια μεταβαλλόμενη αντίσταση η οποία παίρνει ρεύμα τάσης 5 Volt από την τροφοδοσία ρεύματος ARD_5V του Arduino. Η τιμή της μεταβαλλόμενης αντίστασης αλλάζει ανάλογα με το πόσο “πατάει” ο οδηγός τον επιταχυντή. Η εκάστοτε τιμή της τάσης του ρεύματος μετράται από μια αναλογική θύρα εισόδου του Arduino και ανάλογα με την τιμή αυτή, στέλνεται το κατάλληλο PWM σήμα ελέγχου από το Arduino προς τον ελεγκτή του ηλεκτροκινητήρα. Εκτός από αυτό, για λόγους ασφαλείας του οδηγού, στον επιταχυντή ACC1 υπάρχει ένας κανονικά-κλειστός διακόπτης ο οποίος ενεργοποιείται όταν ο οδηγός πατήσει τον επιταχυντή. Ο διακόπτης αυτός δίνει σήμα σε μια ψηφιακή θύρα εισόδου του Arduino και μόνο εάν αυτή η θύρα ενεργοποιηθεί, επιτρέπεται η λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα. Έτσι ακόμα και σε περίπτωση που η μεταβλητή αντίσταση του επιταχυντή χαλάσει, με το που ο οδηγός πάρει το πόδι του από τον επιταχυντή, ο ηλεκτροκινητήρας παύει τη λειτουργία του.
- 5) Το κύκλωμα της κόρνας: όταν ο κανονικά-ανοιχτός διακόπτης της κόρνας S_HORN κλείσει, τότε τα 12 Volt που έρχονται από τη μπαταρία B1 μέσω του ηλεκτρονόμου K3, κλείνουν κύκλωμα με τη γείωση και ενεργοποιούν την κόρνα SPK1.
- 6) Τον ηλεκτρονόμο K3 ο οποίος δίνει ρεύμα σε όλα τα παραπάνω κυκλώματα και ελέγχεται από το κύκλωμα ασφαλείας.

1.4 Κατασκευή του ηλεκτρονικού συστήματος.

Για την υλοποίηση των κυκλωμάτων των σχεδίων που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους κατασκευάστηκε η πλακέτα διαχείρισης ΠΔ1 που φαίνεται στην Εικόνα 4. Επίσης, έγινε εξ' ολοκλήρου καινούρια καλωδίωση που διαπερνά όλο το όχημα με καλώδια μικρότερης διαμέτρου άρα και συνολικού μικρότερου βάρους από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στο όχημα ER12.



Εικόνα 4: Πλακέτα διαχείρισης ΠΔ1, έκδοση 2013

Η πλακέτα ΠΔ1 διαστάσεων 26 x 11 cm κατασκευάστηκε με κύριο γνώμονα την οικονομία ρεύματος και την εύκολη και γρήγορη αντικατάστασή των επιμέρους εξαρτημάτων τους σε περίπτωση βλάβης.

Σα βάση της πλακέτας προτιμήθηκε η διάτρητη βάση χαλκού Verostrip της εταιρίας Vero, Εικόνα 5. Η βάση αυτή είναι βραχυκυκλωμένη ανά γραμμή οπότε η κόλληση σε αυτή γίνεται πιο εύκολα και η αντικατάσταση των κολλημένων σε αυτή εξαρτημάτων πιο γρήγορα. Χωρίζεται στη μέση από μια κεντρική μονωμένη γραμμή η οποία βοήθησε στην υλοποίηση του ηλεκτρολογικού σχεδίου. Η αριστερή πλευρά της πλακέτας χρησιμοποιήθηκε για τα ρεύματα των 12 Volt ενώ η δεξιά για αυτά των 24 Volt.



Εικόνα 5: Βάση Ηλεκτρολογικής Πλακέτας

Οι ηλεκτρονόμοι που επιλέχθηκαν για την κατασκευή της ΠΔ1 είναι της εταιρίας Panasonic και σειράς ST Relays [11] οι οποίοι στην κανονική τους λειτουργία καταναλώνουν μόλις 240mW. Οι ηλεκτρονόμοι αυτοί δεν τοποθετούνται απευθείας στην πλακέτα αλλά τοποθετούνται σε βάση ασφαλείας πράγμα που κάνει την πιθανή αντικατάστασή τους γρήγορη και χωρίς να απαιτείται η χρήση θερμοκολλητικού μηχανήματος. Στην Εικόνα 6 φαίνονται οι ηλεκτρονόμοι μαζί με τη βάσης τους.

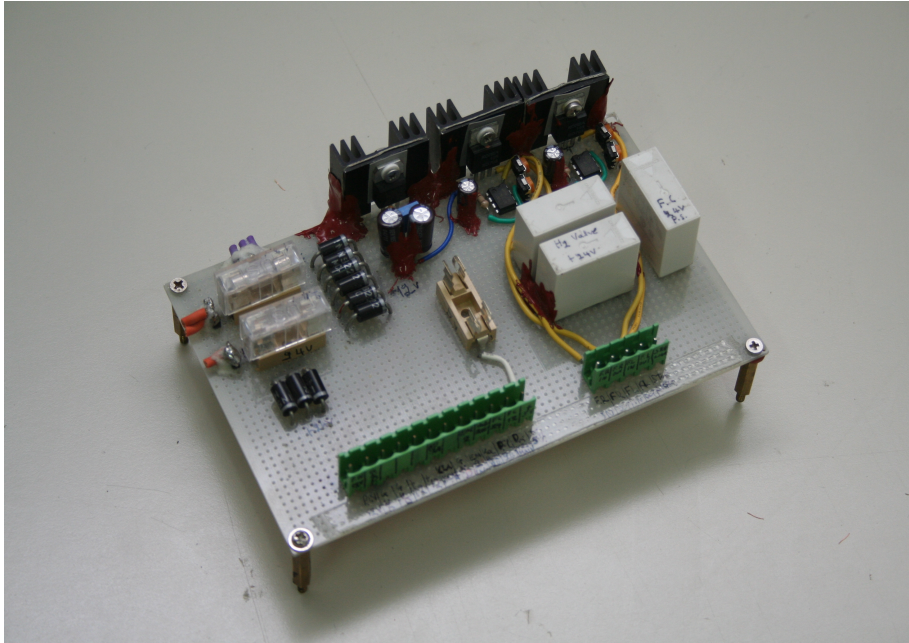


*Εικόνα 6:
Ηλεκτρονόμος Panasonic
ST και βάση*

Τέλος, οι θήκες των ασφαλειών και οι ακροδέκτες/σύνδεσμοι καλωδιώσεων είναι κατάλληλοι για οχήματα ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος αποσύνδεσης τους λόγω κραδασμών.

1.5 Σύγκριση

Η κεντρική πλακέτα τροφοδοσίας, έκδοσης 2012 φαίνεται στην Εικόνα 7.



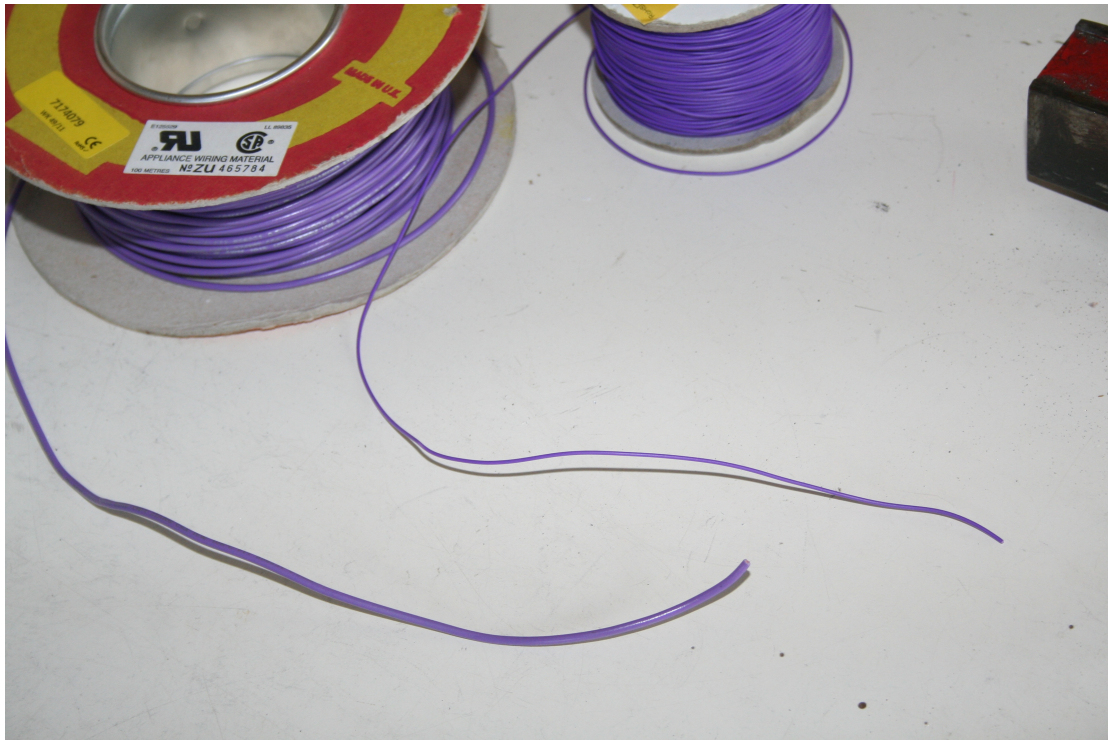
Εικόνα 7: Κεντρική πλακέτα τροφοδοσίας, έκδοση 2012

Η κεντρική πλακέτα τροφοδοσίας του οχήματος ER12 περιέχει ηλεκτρονικούς απευθείας τοποθετημένους στην πλακέτα, πράγμα που κάνει δύσκολη την αντικατάστασή τους σε περίπτωση βλάβης. Επίσης, η θήκες των ασφαλειών είναι μη αξιόπιστες σε κάθετους κραδασμούς που συμβαίνουν συχνά στο όχημα. Τέλος, για τα φλας, χρησιμοποιήθηκαν ολοκληρωμένα κυκλώματα τύπου 555 [12] που κάνει τη λειτουργία τους μη παραμετροποιήσιμη και και την αντικατάστασή τους σε περίπτωση βλάβης δύσκολη.

Εκτός από αυτό, στην έκδοση 2012, χρησιμοποιήθηκαν μόνο καλώδια δυο χρωμάτων: πορτοκαλί για όσα διαρρέονται από ρεύμα ισχύος και μοβ για όσα κατευθύνονται στη γείωση. Στην κατασκευή του νέου ηλεκτρικού συστήματος χρησιμοποιήθηκαν καλώδια ποικίλων χρωμάτων έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη και γρήγορη η επισκευή σε περίπτωση αστοχίας.

Τέλος, στο ηλεκτρονικό σύστημα έκδοσης 2013, για εξοικονόμηση βάρους, στα κυκλώματα υψηλής εντάσεως μέχρι 10 A χρησιμοποιήθηκε ειδική καλωδίωση [13] 24awg, διαμέτρου 1,12mm και στα κυκλώματα που διαχειρίζονται σήματα απλή καλωδίωση κασσίτερου-χαλκού διαμέτρου 1,2 mm. Ενδεικτικά, στην έκδοση 2012, όλα τα καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν και για παροχή ρεύματος και για παροχή σήματος ήταν χαλκού και διαμέτρου 2,5 mm.

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 120 μέτρα καλωδίου και στην Εικόνα 8 φαίνεται μια σύγκριση μεγέθους των καλωδίων των δύο εκδόσεων.



Εικόνα 8: Σύγκριση καλωδίων

Κεφάλαιο 2: Σύστημα καταγραφής επιδόσεων του Tucer

2.1 Περιγραφή συστήματος καταγραφής, έκδοση 2012

Το σύστημα καταγραφής, έκδοσης 2012 είχε ως σκοπό την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο του συστήματος διαχείρισης ενέργειας των κυψελών καυσίμου υδρογόνου με μικροελεγκτή και αισθητήρες για την απόκτηση πληροφοριών όπως:

- 1) Θερμοκρασία κυψελών υδρογόνου και θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- 2) Τάση και ένταση ρεύματος που παράγει το σύστημα κυψελών.
- 3) Πίεση, συγκέντρωση υδρογόνου και αέρα στις κυψέλες και κατανάλωση καυσίμου υδρογόνου.
- 4) Συγκέντρωση οξυγόνου.
- 5) Στιγμιαία ταχύτητα και επιτάχυνση του οχήματος.
- 6) Κλίση του οδοστρώματος.

Το γραφικό περιβάλλον διεπαφής του συστήματος φαίνεται στην εικόνα 9.



Εικόνα 9: Περιβάλλον Διεπαφής, έκδοση 2012

Η απόκτηση όλων των δεδομένων του συστήματος καταγραφής, εκτός από τη μέτρηση κλίσης, την ταχύτητα και την επιτάχυνση γίνονται μέσω της ασύγχρονης άμεσης επικοινωνίας με το σύστημα διαχείρισης της κυψέλης καυσίμου υδρογόνου αποκωδικοποιώντας τον κώδικα SLIP (Serial Line Internet Protocol, Internet RFC 1055)[14].Ο κώδικας SLIP είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας σειριακής θύρας που προτιμάται στους μικροεπεξεργαστές λόγω της μικρής επεξεργαστικής του επιβάρυνσης. Η μέτρηση της κλίσης και της επιτάχυνσης έγινε με τη χρήση αισθητήρα κλίσης και επιτάχυνσης αντίστοιχα. Για την ταχύτητα χρησιμοποιήθηκε οδόμετρο τύπου ποδηλάτου.

2.2 Σύγκριση συστημάτων καταγραφής έκδοσης 2012,2013

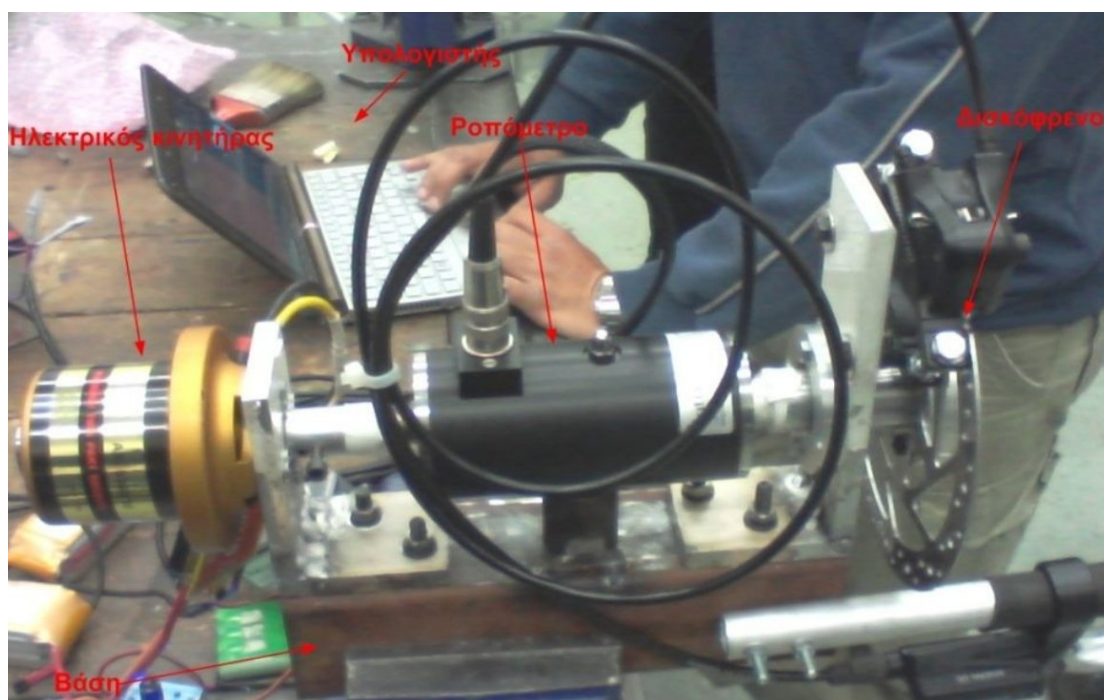
Το πλεονέκτημα συλλογής δεδομένων με τον τρόπο που λαμβάνει το σύστημα καταγραφής της έκδοσης 2012 είναι ότι με το που αποκρυπτογραφηθεί το μήνυμα που στέλνει το σύστημα διαχείρισης της κυψέλης καυσίμου, ο χρήστης έχει όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την παροχή ισχύος. Το μειονέκτημα είναι ότι το καταγραφικό αυτό είναι περιορισμένο να λειτουργεί μόνο με το συγκεκριμένο μοντέλο κυψέλης καυσίμου και στο συγκεκριμένο όχημα. Επίσης, εάν δε συνδεθούν όλα τα επιμέρους εξαρτήματα όπως το επιταχυνσιόμετρο και το κλισιόμετρο, το σύστημα καταγραφής και εμφάνισης δεδομένων δε μπορεί καν να λειτουργήσει για να δείξει τα υπόλοιπα στοιχεία.

Από την άλλη, το σύστημα καταγραφής έκδοσης 2013 μπορεί να λειτουργήσει και εκτός οχήματος, με μπαταρίες αντί για κυψέλες καυσίμου σαν πηγή ισχύος και χωρίς να είναι επιτακτικό να μετρούνται όλα τα μεγέθη που είναι κατασκευασμένο να μετράει.

2.3 Σχεδίαση νέου συστήματος καταγραφής, έκδοση 2013

Σκοπός του νέου συστήματος καταγραφής είναι να είναι ανεξάρτητο της πηγής ενέργειας που χρησιμοποιείται στο όχημα και να μπορεί να λειτουργεί ακόμα και όταν κάποια πηγή δεδομένων δεν είναι διαθέσιμη.

Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη δοκιμαστική διάταξη μέτρησης των χαρακτηριστικών του κινητήρα που φαίνεται στην εικόνα 10.



Εικόνα 10: Πειραματική διάταξη για τη μέτρηση χαρακτηριστικών του κινητήρα

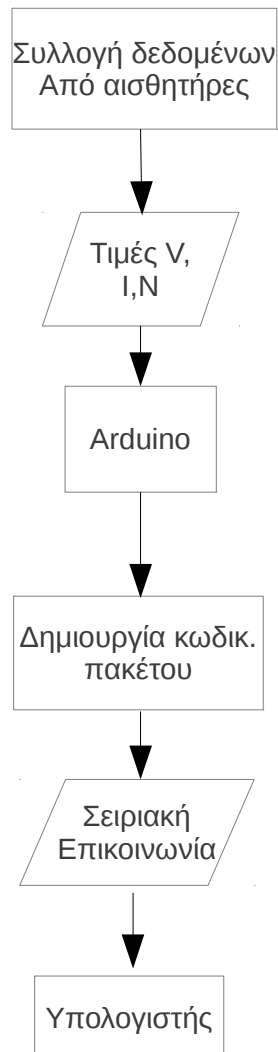
Η λίστα των αντικειμένων που χρησιμοποιήθηκαν για τη σχεδίαση του συστήματος καταγραφής έκδοσης 2013 φαίνεται στον πίνακα 4 και το ηλεκτρολογικό του σχέδιο στο Σχέδιο 5 του παραρτήματος Ι.

Πίνακας 4: Πίνακας συσκευών καταγραφικού, έκδοση 2013

Κωδική Ονομασία	Συσκευή	Τιμή	Περιγραφή	Μοντέλο
AD623.	Πολλαπλασιαστής		Πολλαπλασιαστής τάσης	AD623ARMZ
ARD_5V.	Ακροδέκτης		Έξοδος ρεύματος Arduino, 5V	
ARD_A0.	Ακροδέκτης		Αναλογική είσοδος Τάσης πηγής	
ARD_A1.	Ακροδέκτης		Αναλογική είσοδος Έντασης πηγής	
ARD_D2.	Ακροδέκτης		Ψηφιακή είσοδος μέτρησης Ταχύτητας	
ARD_GND.	Ακροδέκτης		Γείωση	
C1.	Πυκνωτής	10uF	Πυκνωτής	
C2.	Πυκνωτής	0.1uF	Πυκνωτής	
C3.	Πυκνωτής	0.1uF	Πυκνωτής	
FC_P1_1.	Ακροδέκτης		Ρεύμα πηγής +	
FC_P1_2.	Ακροδέκτης		Ρεύμα πηγής -	
M1	Κινητήρας		Τριφασικός Ηλεκτροκινητήρας	AXI 5360
MotorController.	Ελεγκτής		Ελεγκτής Ηλεκτροκινητήρα	JetiSpin99
R1	Αντίσταση	8.2KΩ	Αντίσταση	
R2	Αντίσταση	1KΩ	Αντίσταση	
R3	Αντίσταση	3.3KΩ	Αντίσταση	
RG	Αντίσταση	11 KΩ	Αντίσταση	
S1	Διακόπτης		Κανονικά-κλειστός διακόπτης	

Το σύστημα καταγράφει την τάση (V) και ένταση (I) του ρεύματος που παρέχει η εκάστοτε πηγή ισχύος και τον αριθμό των περιστροφών (N) των τροχών. Μέσω του αριθμού περιστροφών υπολογίζεται η απόσταση που έχει διανύσει το όχημα. Στη συνέχεια με χρονομέτρηση υπολογίζεται η ταχύτητα.

Για την καταγραφή των μεγεθών χρησιμοποιήθηκε μικροεπεξεργαστής Arduino ο οποίος λαμβάνει τα δεδομένα από τις θύρες εισόδου και μετά από επεξεργασία παράγει ένα κωδικοποιημένο πακέτο δεδομένων. Το πακέτο αυτό αποστέλλεται μέσω σειριακής θύρας σε έναν υπολογιστή για την εμφάνιση των τελικών αποτελεσμάτων. Το διάγραμμα ροής φαίνεται στην εικόνα 11.

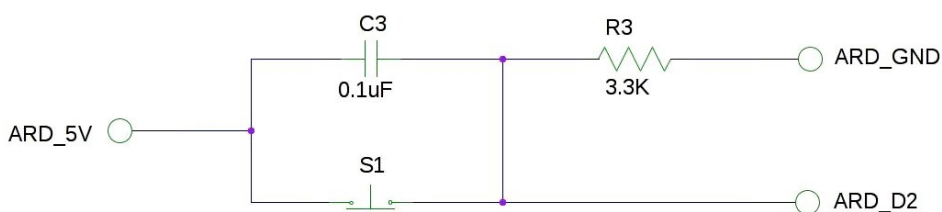


Εικόνα 11: Διάγραμμα ροής συστήματος καταγραφής

2.3.1 Μέτρηση Ταχύτητας

Η μέτρηση των περιστροφών των τροχών γίνεται με βάση τη λειτουργία των ταχύμετρων ποδηλάτων. Ένας μαγνητικός διακόπτης (reed switch [15]) κλείνει κάθε φορά που περνάει δίπλα του ένας μαγνήτης ο οποίος είναι τοποθετημένος στον τροχό σε γνωστή απόσταση από το κέντρο του.

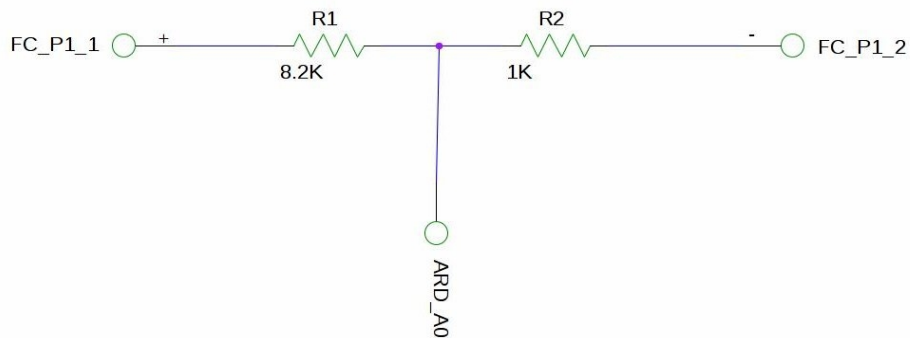
Έτσι, σε κάθε πλήρη περιστροφή του τροχού κλείνει για ελάχιστο χρόνο το κύκλωμα, πράγμα που δημιουργεί το σήμα που χρειάζεται για τη μέτρηση της ταχύτητας. Το κύκλωμα έχει ως εξής: Τα 5 Volt από την έξοδο τροφοδοσίας του Arduino, περνούν από τον μαγνητικό διακόπτη που είναι συνδεδεμένος με μια αντίσταση για να μην καεί η ψηφιακή θύρα του Arduino. Επίσης υπάρχει και ένας πυκνωτής για να “καθαρίζει” το σήμα. Η συνδεσμολογία φαίνεται στην Εικόνα 12.



Εικόνα 12: Σχέδιο μέτρησης ταχύτητας

2.3.2 Μέτρηση τάσης

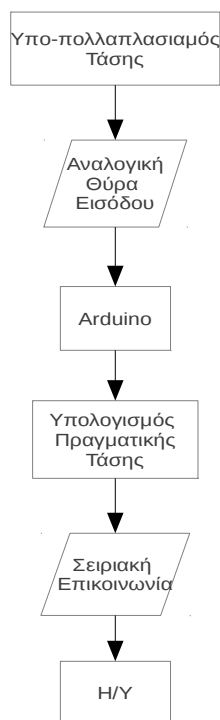
Για τη μέτρηση της τάσης της πηγής, κατασκευάστηκε ένας διαιρέτης τάσης [16] του οποίου η σχεδίαση φαίνεται στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13: Σχέδιο μέτρησης τάσης

Η τάση του FC_P1_1 δε μπορεί να κατευθυνθεί απευθείας στην αναλογική θύρα εισόδου του Arduino γιατί είναι πολύ υψηλή και θα την κάψει. Γι αυτό το λόγο παρεμβάλλονται δυο αντιστάσεις σε σειρά και μετράται η τάση της μίας. Έτσι η τάση υπό- πολλαπλασιάζεται στα επιθυμητά όρια αντοχής της θύρας εισόδου.

Το διάγραμμα ροής για τη μέτρηση της τάσης φαίνεται στην εικόνα 14.



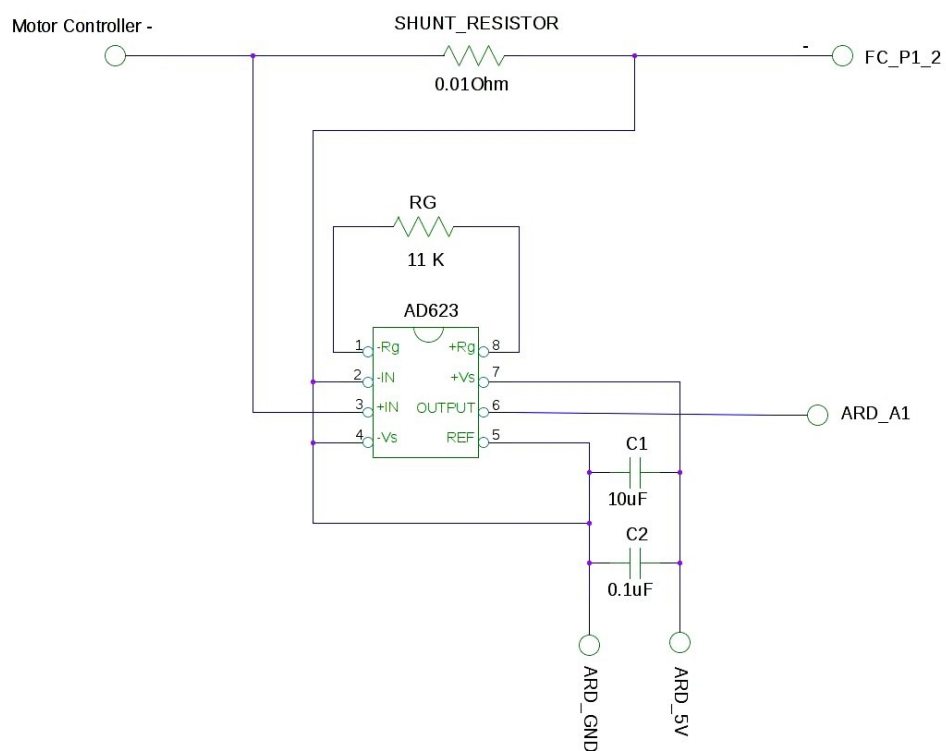
Εικόνα 14: Διάγραμμα ροής τάσης

2.3.3 Μέτρηση έντασης

Για τη μέτρηση της έντασης του ρεύματος χρησιμοποιείται μια αντίσταση διακλάδωσης (Shunt resistor [17]) σε σειρά μεταξύ του αρνητικού πόλου του ελεγκτή του ηλεκτροκινητήρα και του αρνητικού πόλου της πηγής ενέργειας. Η αντίσταση αυτή έχει πολύ μικρή τιμή, αντοχή σε υψηλές εντάσεις ρεύματος και μηδαμινή μεταβολή της τιμής της σε σχέση με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

Αυτό που μετράει η αναλογική είσοδος του μικροεπεξεργαστή είναι η διαφορά τάσης του ρεύματος στα άκρα της αντίστασης η οποία με τη χρήση του τύπου $I=V/R$ μας δίνει την ένταση.

Επειδή όμως η αντίσταση διακλάδωσης έχει πολύ μικρή τιμή, η πτώση τάσης σε αυτή είναι επίσης πολύ μικρή. Για να αυξηθεί το εύρος τιμών της μετρούμενης πτώσης τάσης χρησιμοποιήθηκε το κύκλωμα ενίσχυσης της Εικόνας 15. Στο κύκλωμα αυτό περιλαμβάνεται ο ενισχυτής AD623 [18] με την αντίστοιχη συνδεσμολογία.

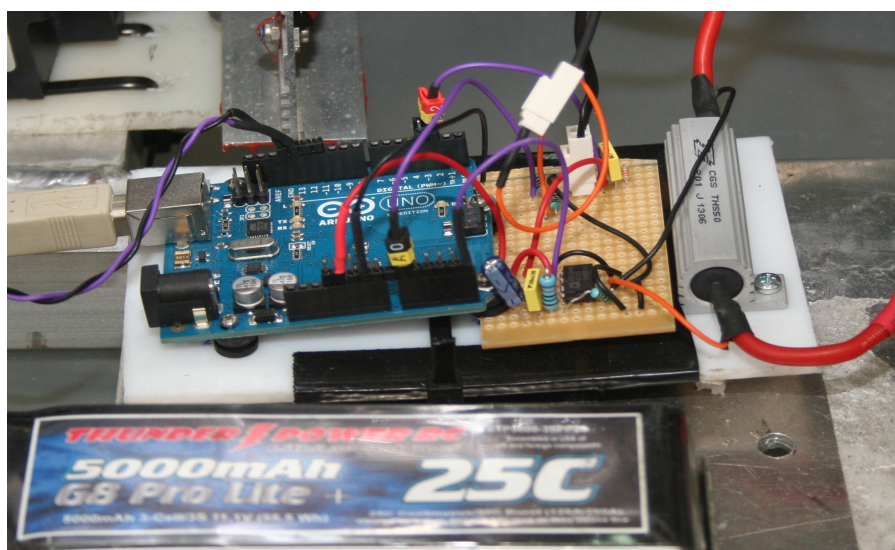


Εικόνα 15: Σχέδιο μέτρησης έντασης

2.4 Υλοποίηση συστήματος καταγραφής, έκδοση 2013

Το σύστημα καταγραφής, έκδοσης 2013 που φαίνεται στην Εικόνα 16 κατασκευάστηκε με σκοπό να είναι μικρό, φορητό, εύκολα επισκευάσιμο και λειτουργικό ακόμα και σε μεγάλης ισχύος ρεύματα. Οι διαστάσεις του συστήματος καταγραφής είναι 15 x 7 cm.

Σαν μικροεπεξεργαστής επιλέχθηκε ο Arduino Uno επειδή είναι μικρός σε μέγεθος, με αρκετή επεξεργαστική ισχύ και 14 θύρες εισόδου/εξόδου που μπορούν να διαχειριστούν με ευκολία τα δεδομένα.



Εικόνα 16: Σύστημα καταγραφής, έκδοση 2013

Για την κατασκευή διαιρέτη τάσης για τη μέτρηση τάσης της πηγής ισχύος επιλέχθηκαν αντιστάσεις με τιμή $R1=8,2k\Omega$ και $R2=1k\Omega$ αντίστοιχα. Η επιλογή αυτή έγινε για να μπορεί το σύστημα καταγραφής να διαχειρίζεται τάσεις μέχρι 46 Volt. Οι κυψέλες καυσίμου Nexa 1.2 δίνουν ρεύμα μέγιστης έντασης 44 Volt ενώ σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν μπαταρίες, η τάση δεν ξεπερνά τα 32 Volt. Η επιλογή των συγκεκριμένων τιμών των αντιστάσεων έγιναν με βάση τη μέγιστη τάση προς μέτρηση και τη μέγιστη τάση που μπορεί να λάβει η αναλογική θύρα εισόδου του μικροεπεξεργαστή που είναι 5 Volt. Η συνάρτηση μεταφοράς είναι της μορφής $V_{ard}/V_{max} = R2/(R1+R2) = 0,10869$. Οι συγκεκριμένες τιμές των αντιστάσεων επιλέχθηκαν γιατί είναι ο συνδυασμός τυποποιημένων αντιστάσεων [18] που μας δίνουν το επιθυμητό αποτέλεσμα και είναι σε $k\Omega$ επειδή πειραματικά αποδείχθηκε πιο αξιόπιστο.

Για την υλοποίηση της μέτρησης τη ταχύτητας χρησιμοποιήθηκε ο ενσύρματος μαγνητικός διακόπτης (2) και μαγνήτης (1) από ταχύμετρο ποδηλάτου που φαίνεται στην Εικόνα 17.



Εικόνα 17: Μαγνητικός διακόπτης/μαγνήτης

Για τη μέτρηση της έντασης χρησιμοποιήθηκε η ειδική αντίσταση διακλάδωση της Εικόνας 18, όπου έχει τιμή $0,01\Omega$ και εξωτερική επένδυση αλουμινίου για να αντέχει ρεύματα ισχύος μέχρι 20 Watt. Το μέγιστο ρεύμα που μπορούν να παράξουν οι κυψέλες καυσίμου είναι έντασης 45A [6] οπότε η τάση στα άκρα της αντίστασης είναι $V=I \cdot R=0,45 \text{ Volt}$. Η αναλογική θύρα εισόδου του μικροεπεξεργαστή μπορεί να δεχθεί μέχρι 5 Volt οπότε ο πολλαπλασιαστής ισχύος κατασκευάστηκε να πολλαπλασιάζει την τάση του ρεύματος κατά 10 φορές. Έτσι, στη συνδεσμολογία του πολλαπλασιαστή χρησιμοποιήθηκε αντίσταση $R_G=11K\Omega$ αφού σύμφωνα με τον κατασκευαστή $\text{Gain}=1+(100/R_G)$, όπου Gain ο επιθυμητός πολλαπλασιαστής.

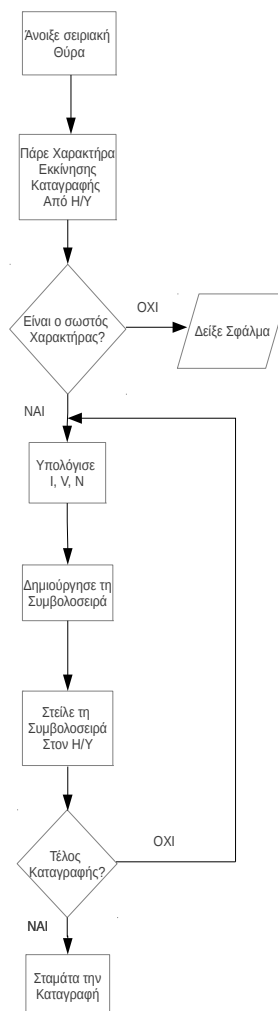


Εικόνα 18: Αντίσταση Διακλάδωσης

2.5 Προγραμματισμός συστήματος καταγραφής, έκδοση 2013

Ο προγραμματισμός του συστήματος καταγραφής, ξεκινά από τον προγραμματισμό του μικροεπεξεργαστή Arduino για τη δημιουργία μιας συμβολοσειράς (string) [19] η οποία στέλνεται στον υπολογιστή για περεταίρω επεξεργασία και αποθήκευση των δεδομένων σε ένα αρχείο.

Το διάγραμμα ροής λειτουργίας του μικροεπεξεργαστή φαίνεται στην Εικόνα 19.



Εικόνα 19: Διάγραμμα Ροής Arduino

Οι αναλογικές θύρες του μικροεπεξεργαστή Arduino Uno μπορούν να δεχθούν τάση από 0 έως 5 Volt και έχουν ανάλυση 10 bits. Αυτό σημαίνει πως ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να αντιστοιχίσει τη μεταβολή τάσης από 0 έως 5 Volt σε αριθμητικές τιμές από το 0 έως το 1023. Έτσι, σε κάθε εντολή που διαχειρίζεται δεδομένα από αναλογική θύρα εισόδου προστίθεται και ένας “όρος διαχείρισης ανάλυσης”. Η γλώσσα με την οποία είναι προγραμματισμένος ο μικροεπεξεργαστής είναι η Wiring [20], που είναι μορφής απλοποιημένης C++ και στον Κώδικα 1 φαίνεται ο κώδικας υπολογισμού της τάσης (voltage) και έντασης (intensity).

```
// voltage calculation
voltage=ardAnalogRatio*analogRead(voltageInMainPower)/resMainPower;
//
// current intensity calculation

intensity=ardAnalogRatio*(analogRead(intensityIn))/amplifierGain/resShunt;
```

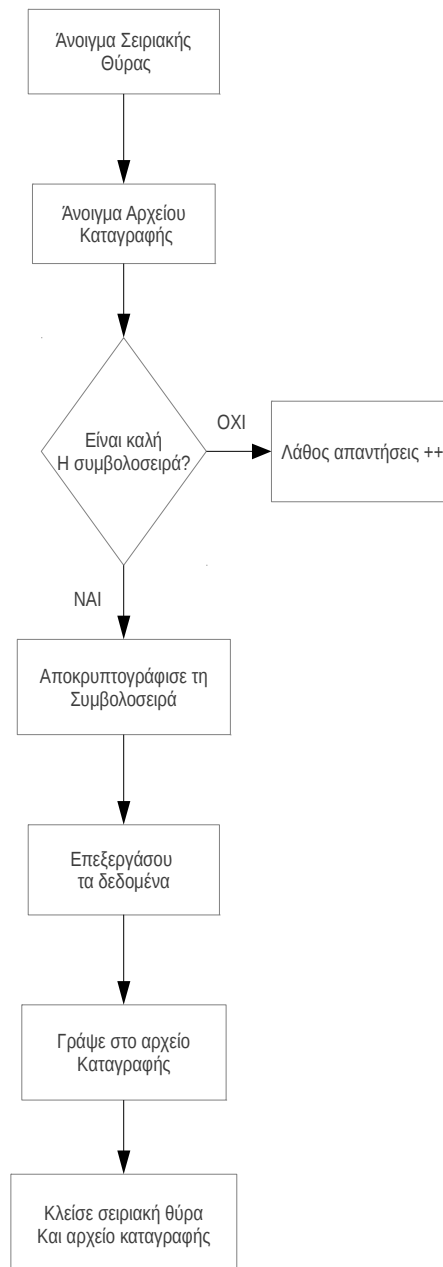
Κώδικας 1: Υπολογισμός Τάσης-Έντασης

- Για τον υπολογισμό της τάσης έγινε εφαρμογή του Νόμου του Ohm.
(1) Η τάση της πηγής είναι $V = I * R_{ολ}$, όπου $R_{ολ} = R1 + R2$
(2) Η τάση στην αναλογική είσοδο είναι $V_{ard} = I * R2$

Από (1), (2) βλέπουμε πως $V = V_{ard} / [(R2 / (R1 + R2))]$ που αντιστοιχεί στη δεύτερη γραμμή του Κώδικα 1 έχοντας ως ardAnalogRatio τον “όρο διαχείρισης ανάλυσης” που είναι σταθερά τιμής 0.00488 και resMainPower το πηλίκο $R2 / (R1 + R2) = 1 / (8,2 + 1) = 0,108691$

- Για τον υπολογισμό της έντασης έγινε πάλι εφαρμογή του Νόμου του Ohm στην πιο γενική του μορφή: $I = V / R$ και φαίνεται στην τελευταία γραμμή του Κώδικα 1. Η τάση είναι το σήμα που λαμβάνει η αναλογική θύρα εισόδου του μικροεπεξεργαστή από την έξοδο του κυκλώματος ενίσχυσης διαιρεμένη με τον πολλαπλασιαστή του κυκλώματος $amplifierGain = 1 / (100 + 11) = 0,108695$. Η αντίσταση διακλάδωσης resShunt έχει τιμή 0,01.
- Για υπολογισμό της ταχύτητας χρειάζεται χρονομέτρηση η οποία γίνεται στο πρόγραμμα της C++.

Ο μικροεπεξεργαστής Arduino επικοινωνεί με ένα πρόγραμμα C++ του οποίου το διάγραμμα ροής φαίνεται στην Εικόνα 20.



Εικόνα 20: Διάγραμμα Ροής C++

Ο Arduino στέλνει στο πρόγραμμα της C++ μια συμβολοσειρά της μορφής ["Τάση"_"Ένταση"_"Αριθμός Περιστροφών"_"@"] όπου @ το σύμβολο ελέγχου τερματισμού της συμβολοσειράς.

Στο πρόγραμμα αποκρυπτογραφείται η συμβολοσειρά, "καθαρίζει" από τις κάτω παύλες "_" και το σύμβολο τερματισμού "@", υπολογίζεται η ταχύτητα μέσω της συνάρτησης speedoMeter και εγγράφονται όλα τα δεδομένα σε ένα αρχείο καταγραφής. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στον Κώδικα 2.

```
while(arData!=stopString)
{
    if (arData[arData.size()-1]==terminationChar)
    {
        for(j=0; j<arData.size(); j++)
            if (arData[j]=='_')
                arData[j]=' ';
        arData.erase(arData.size()-1);
        totalTime=diffTime(timer1, startTime);
        if (i_writeToFile==writeToFileDelay)
        {
            dataLog << totalTime << " " << arData << " " << velocity << endl;
            i_writeToFile=0;
        }
        speedoMeter();
    }
    else if (arData==wrongString)
// wrong answers due to wrong input character
        wrongAnswers++;
}
```

Κώδικας 2: Αποκρυπτογράφηση συμβολοσειράς & εγγραφή σε αρχείο

Τέλος, ο υπολογισμός της ταχύτητας γίνεται με τη χρήση της συνάρτησης speedoMeter που δείχνεται στον Κώδικα 3.

```
speedoMeter
{
    while (arData[arData.size()-i]!=' ')
    {
        rotations+=pow(10.0, (float)(i-1))*(arData[arData.size()-i]-48);
        i++;
    }
    if (rotations>lastRotations+rotationLimit)
    {
        velocity=(rotations-lastRotations)*wheelDiameter*pi/difftime(timer1,
timer2)*msecToKmh;
        time(&timer2);
        lastRotations=rotations;
    }
}
```

Κώδικας 3: Υπολογισμός ταχύτητας

Ο μικροεπεξεργαστής Arduino κάθε φορά που επικοινωνεί με το πρόγραμμα της C++ παρέχει τον συνολικό αριθμό περιστροφών που έχει κάνει ο τροχός μέχρι εκείνη τη στιγμή. Για τον υπολογισμό της ταχύτητας, διαιρείται η απόσταση που έχει διανύσει το όχημα, ($\pi \cdot \text{διάμετρος τροχού} \cdot \text{αριθμός περιστροφών}$) σε ένα χρονικό διάστημα μεταξύ 2 χρονομετρήσεων.

Κεφάλαιο 3: Δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος (GUI)

Το γραφικό περιβάλλον διεπαφής (Graphical User Interface) δημιουργήθηκε μέσω της, υψηλού επιπέδου, γλώσσας προγραμματισμού Python [21] και φαίνεται στην εικόνα 21 :



Εικόνα 21: Περιβάλλον Διεπαφής, έκδοση 2013

Το περιβάλλον διεπαφής επιλέχθηκε να είναι όσο το δυνατόν πιο απλό, δίνοντας στον οδηγό-χρήστη μόνο τα απαραίτητα για αυτόν δεδομένα την ώρα της οδήγησης χωρίς να του αποσπά την προσοχή, δίνοντας του τη δυνατότητα χρονομέτρησης του γύρου του εάν βρίσκεται σε μια κλειστή διαδρομή.

Η γλώσσα Python προτιμήθηκε από τις υπόλοιπες λόγω της απλότητας προγραμματισμού και της συμβατότητας της με τη βιβλιοθήκη γραφικού περιβάλλοντος Qt [22]. Η βιβλιοθήκη αυτή είναι ανεξάρτητη της πλατφόρμας υπολογιστικού συστήματος που χρησιμοποιείται και παρέχει ένα εύχρηστο σχεδιαστικό πρόγραμμα, το Qt designer καθώς και ρουτίνες δημιουργίας κώδικα από αυτό.

Το διάγραμμα ροής της ανάπτυξης του γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής φαίνεται στην εικόνα 22:



Εικόνα 22: Διάγραμμα Ροής GUI

Η εφαρμογή αποτελείται από τον κύριο κώδικα και τον κώδικα που εξάγεται από το σχεδιαστικό περιβάλλον. Αναλυτικότερα

- ➔ Το σχεδιαστικό περιβάλλον επιτρέπει
 - Δημιουργία ετικετών και “κουτιών” εμφάνισης αποτελεσμάτων.
 - Δημιουργία κουμπιών τύπου Push Button.
 - Εξαγωγή αυτών σε κώδικα Python.

- ➔ Στον κύριο κώδικα Python γίνεται
 - Εισαγωγή του κώδικα δημιουργίας γραφικού περιβάλλοντος.
 - Σύνδεση των κουμπιών σε συναρτήσεις ελέγχου των παραμέτρων και καταγραφής αποτελεσμάτων.
 - Εμφάνιση των αποτελεσμάτων στα “κουτιά” εμφάνισης.

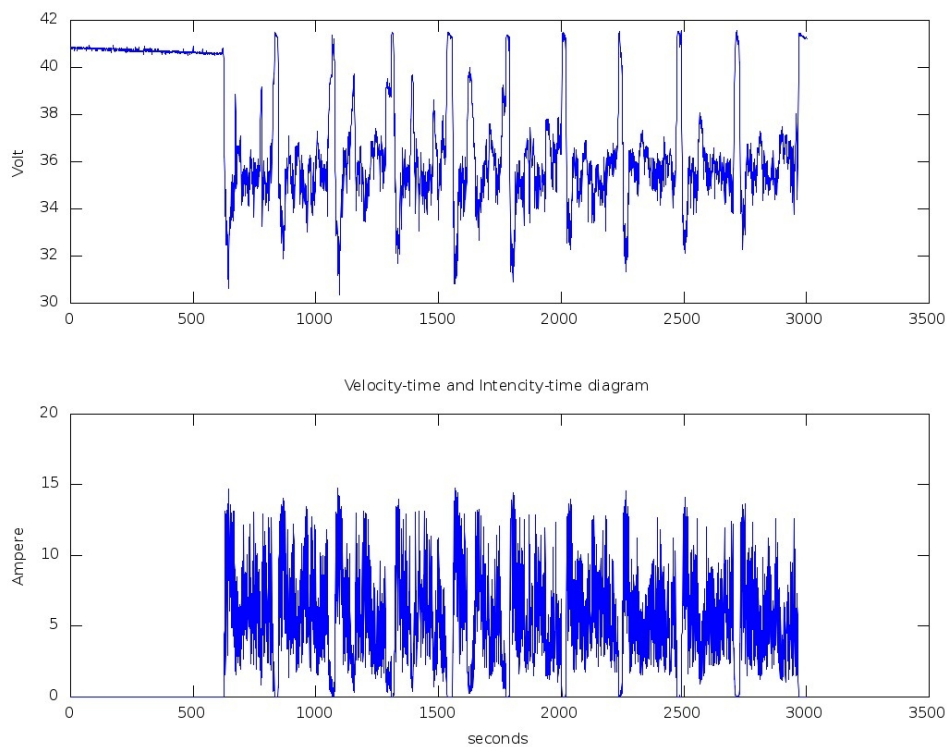
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα συστήματος καταγραφής

Το σύστημα καταγραφής λειτούργησε στην πίστα Ahoγ στο Ρότερνταμ όπου η ομάδα TUCer κατάφερε να επιτύχει την καλύτερη επίδοση της στην κατανάλωση, με 62,8 Km/KWh. Το σύστημα καταγραφής αποθήκευσε τα δεδομένα σε ένα csv [23] αρχείο της μορφής που φαίνεται στον Πίνακα 5. Όπου οι στήλες από αριστερά προς δεξιά περιέχουν τις τιμές Χρόνος (σε δευτερόλεπτα), Τάση, Ένταση, Αριθμός περιστροφών, Ταχύτητα.

1311	41.44	0.00	2853	18.661
1312	41.48	0.00	2855	18.661
1312	41.44	0.00	2856	18.661
1313	41.44	0.00	2858	18.661
1313	41.44	0.00	2859	18.661
1314	41.44	0.00	2861	18.661
1314	41.39	0.00	2862	18.661
1315	41.44	0.00	2864	18.661
1315	41.39	0.00	2865	18.661
1316	41.39	0.00	2866	18.661
1316	41.08	0.24	2867	18.661
1317	40.50	0.15	2868	12.4407
1317	39.24	1.35	2868	12.4407
1318	37.98	2.18	2868	12.4407
1319	38.16	1.89	2868	12.4407
1319	37.08	2.42	2868	12.4407
1320	37.17	2.08	2868	12.4407
1320	37.35	3.00	2868	12.4407
1321	37.35	3.43	2868	12.4407
1321	38.03	3.19	2868	12.4407
1322	36.23	5.32	2868	12.4407
1322	34.70	4.06	2868	12.4407
1323	34.84	9.29	2868	12.4407

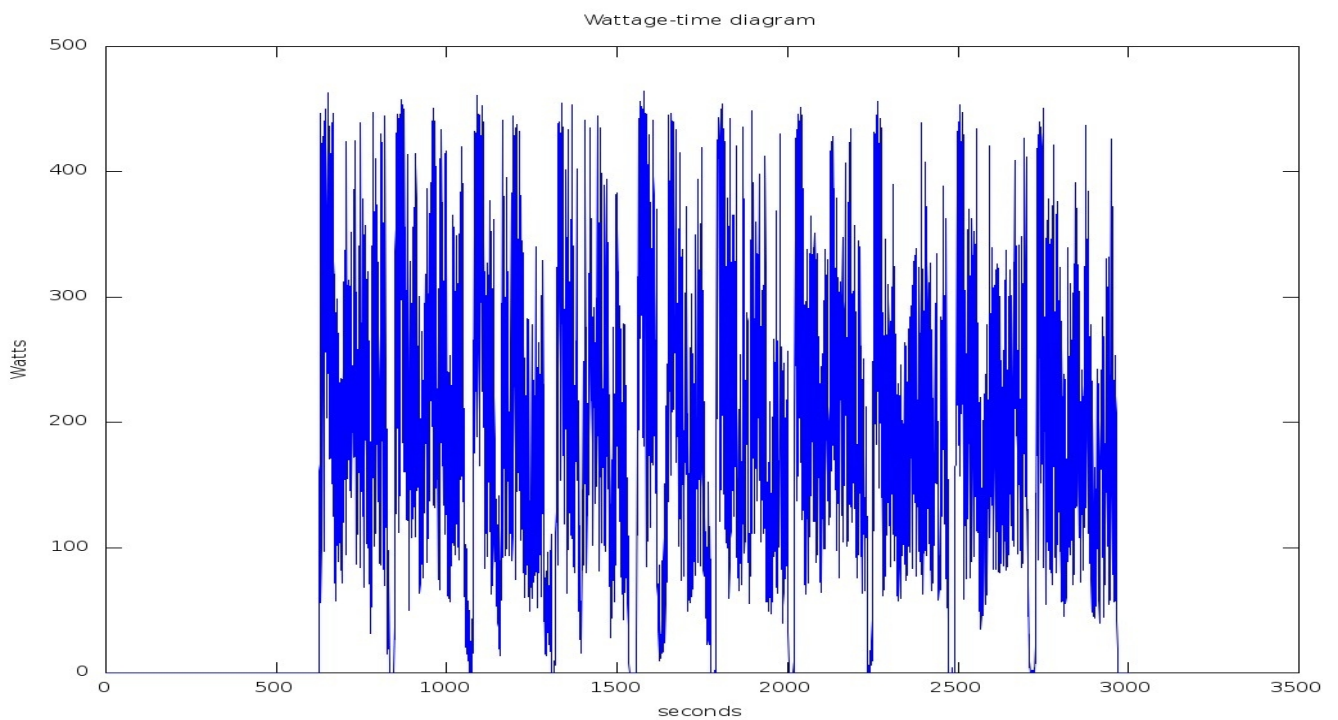
Πίνακας 5: Αρχείο καταγραφής, τυχαίο δείγμα

Στις Εικόνες 23, 24, 25 φαίνονται τα διαγράμματα Τάσης, Έντασης-Χρόνου, Ισχύος-Χρόνου και Ταχύτητας-Χρόνου αντίστοιχα.



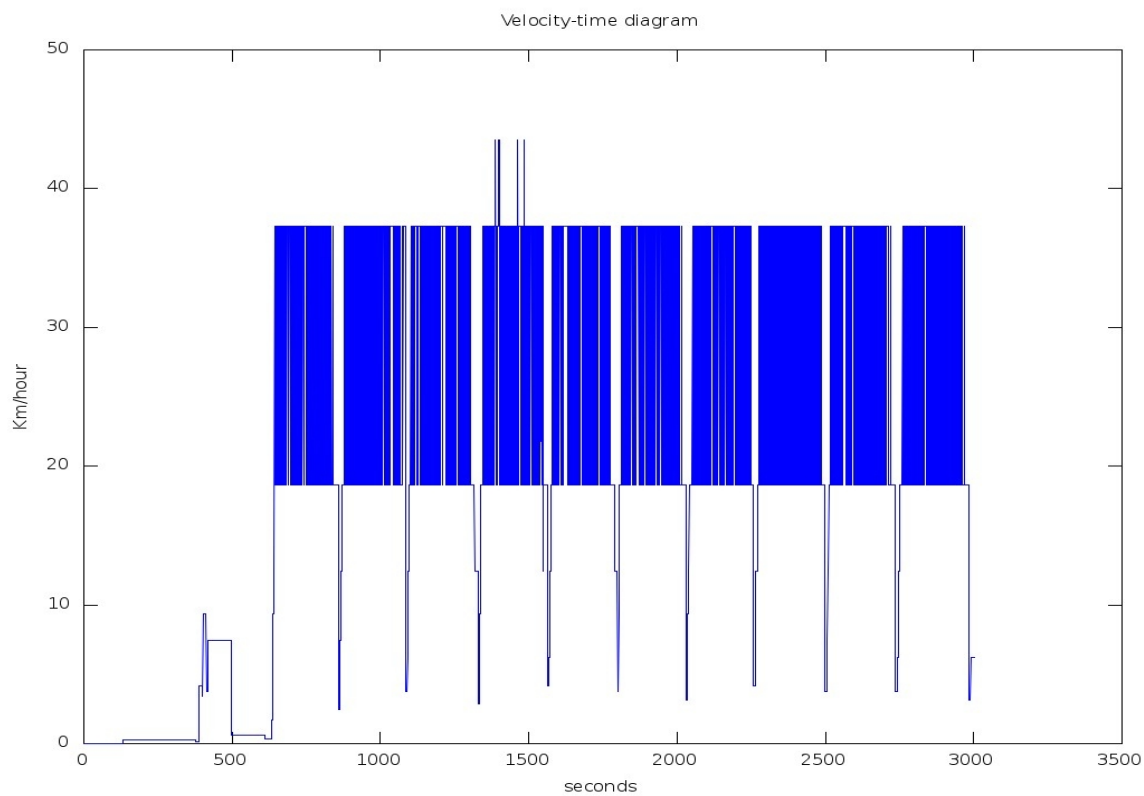
Εικόνα 23: Διαγράμματα Τάσης, Έντασης- Χρόνου

Στην Εικόνα 23 επαληθεύεται ότι το σύστημα καταγραφής τάσης και έντασης λειτουργεί όπως πρέπει αφού στις μέγιστες τιμές της τάσης, ελαχιστοποιείται η ένταση.



Εικόνα 24: Διάγραμμα Ισχύος-Χρόνου

Στο Διάγραμμα Ισχύος-Χρόνου της Εικόνας 24 φαίνεται πως η μέγιστη ισχύς που καταναλώθηκε δεν ξεπέρασε τα 500 Watt.



Εικόνα 25: Διάγραμμα Ταχύτητας-Χρόνου

Τέλος, στην Εικόνα 25 φαίνεται το διάγραμμα ταχύτητας-Χρόνου όπου φαίνεται καθαρά ότι η ταχύτητα σχεδόν μηδενίζεται 10 φορές σε όλο τον αγώνα, όπως προϋποθέτουν οι κανονισμοί της Shell για τον συγκεκριμένο αγώνα.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ: Παρατηρήσεις και μελλοντικές προτάσεις

Παρατηρήσεις

Το ηλεκτρονικό σύστημα υποστήριξης λειτουργίας που κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε στο όχημα ER13, που έλαβε την 4η θέση στον ετήσιο μαραθώνιο οικονομίας της Shell, αποδείχθηκε πλήρως λειτουργικό και αξιόπιστο και το όχημα δεν εγκατέλειψε ούτε μια φορά λόγω ηλεκτρολογικού προβλήματος.

Εκτός από αυτό, για πρώτη φορά υπάρχει σύστημα καταγραφής το οποίο είναι ανεξάρτητο της πηγής ενέργειας που χρησιμοποιείται, πράγμα που κάνει τις δοκιμές της ομάδας πιο ευέλικτες και οικονομικές. Για δοκιμές εντός οχήματος μπορεί να αντικατασταθεί η κυψέλη καυσίμου από απλές μπαταρίες μολύβδου που είναι πιο οικονομικές από την κατανάλωση υδρογόνου. Επίσης μπορεί να γίνει εκτός του οχήματος μελέτη συμπεριφοράς κατανάλωσης ισχύος και βελτιστοποίηση του τρόπου λειτουργίας ελεγκτή-ηλεκτροκινητήρα.

Μελλοντικές προτάσεις

Η ομάδα TUCer έχει φτάσει σε ένα άκρος ανταγωνιστικό επίπεδο με την εμπειρία τόσων ετών και έχει κατασκευάσει μακράν το πιο οικονομικό της όχημα από άποψη κατανάλωσης. Αυτό που έδειξε το νέο σύστημα καταγραφής είναι πως το όχημα χρειάζεται ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας το οποίο θα παράγει έως 500 Watt, σε αντίθεση με το υπάρχον μπορεί να παράξει έως 1,2 kW. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω η απόδοση του οχήματος.

Τέλος, το σύστημα καταγραφής και εμφάνισης δεδομένων λειτουργεί μέσω ενός netbook το οποίο μπορεί είναι μη πρακτικό προς τον οδηγό. Προτείνεται η εφαρμογή του λογισμικού αυτού σε ένα ενσωματωμένο υπολογιστικό σύστημα (Embedded Board [24]) και η σύνδεση αυτού με μια οθόνη όχι μεγαλύτερη από 7 ίντσες.

Βιβλιογραφία

- [1] Shell. *Shell Eco-Marathon official rules* Online Article. Available at: <http://s04.static-shell.com/content/dam/shell/static/ecomarathon/downloads/pdf/sem-rules-chapter012013.pdf>.
- [2] M.G. Zambetakis, *Flammability characteristics of combustile gases and vapors*, U.S. Department of the Interior Bureau of Mines, 1965.
- [3] Wikipedia, “Contactor”, Online Article. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/Contactor>.
- [4] Geda Project, “What is Geda”, Online Article. Available at: <http://www.geda-project.org>.
- [5] Gattrib, “Gattrib: an attribute editor for gEDA”, Online Article. Available at: <http://www.brorson.com/gEDA/gattrib>.
- [6] Nexa (310-0027) *Power Module User's Manual 5,000,001 Series* PBS, Ballard Power Systems Inc., 2003.
- [7] Arduino, “What is Arduino?”, Online Article. Available at: <http://arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- [8] W. Kleitz, *Digital Electronics: a Practical Approach, Seventh Edition*, 7 ed, Prentice Hall, 2005.
- [9] Wikipedia, “Servo (Radio Control)”, Online Article. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Servo_28radio_control_29.
- [10] S. Gibilisco, *Teach Yourself Electricity and Electronics*, Third Edition, McGraw-Hill, 2002.
- [11] Panasonic. “ST-RELAYS”, Online Documentation. Available at: <http://pewa.panasonic.com/assets/pcsd/catalog/st-catalog.pdf>.
- [12] Wikipedia, “555 timer IC”, Online Article. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/555_timer_IC
- [13] Mark W. Lund, “Wire Gauge and Current Limits Including Skin Depth and Strength”, Online Documentation. Available at: http://ieee.ucsd.edu/wiki/_media/tutorials/standard_resistor_and_capaciter_values.pdf.

[14] A.Petrou, "Study and development of an interactive information platform for a prototype hybrid hydrogen-electric vehicle", Master of Science Thesis, Chania, 2012.

[15] Wikipedia, "Reed Switch", Online Article. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Reed_switch

[16] Wikipedia, "Shunt (Electrical)", Online Article. Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Shunt_\(electrical\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Shunt_(electrical)).

[17] Analog Devices Inc, "AD 623", Online Documentation. Available at: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD623.pdf.

[18] IEEE-UCSD, "Standard Resistor Values", Online Documentation. Available at: http://ieee.ucsd.edu/wiki/_media/tutorials/standard_resistor_and_capacitor_values.pdf.

[19] Bill Smyth, "Computing Pattern in Strings I: Specific, Generic, Intrinsic" Online Article. Available at: <http://www.cas.mcmaster.ca/~bill/cs722/intro1.pdf>.

[20] Hernando Barragan, "Wiring: Prototyping Physical Interaction Design", Thesis, Interaction Design Institute Ivrea, Ivrea, Italy, 2004.

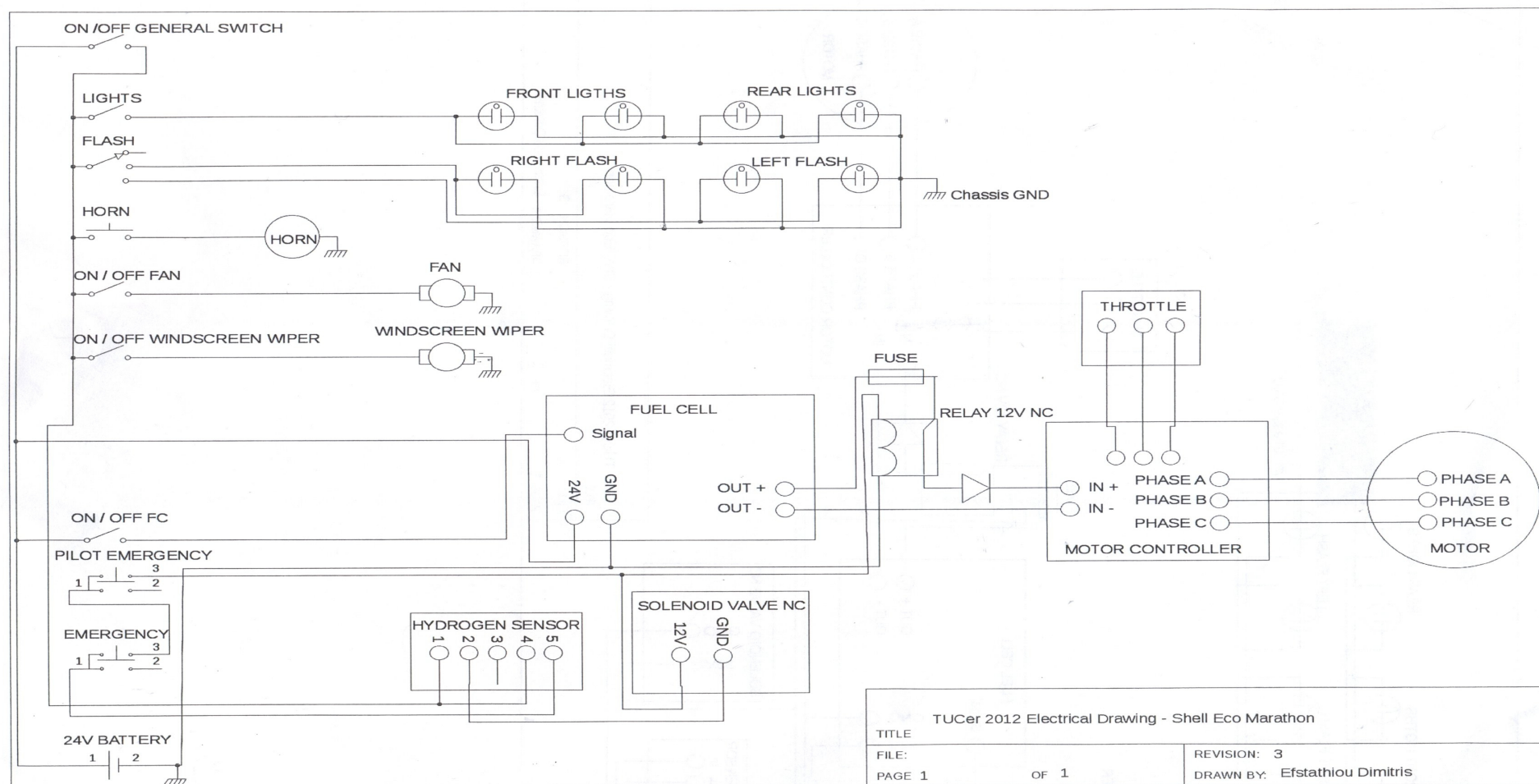
[21] John M. Zelle. "Python Programming an introduction to computer science", Oregon: Franklin, Beedle & Associates, Incorporated, 2004.

[22] Nokia, "Quick Introduction to QT Programming", Online Article. Available at: <http://classes.soe.ucsc.edu/cms160/Fall10/resources/qtexcerpt.pdf>.

[23] Wikipedia, "Comma-separated values", Online Article. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Comma-separated_values.

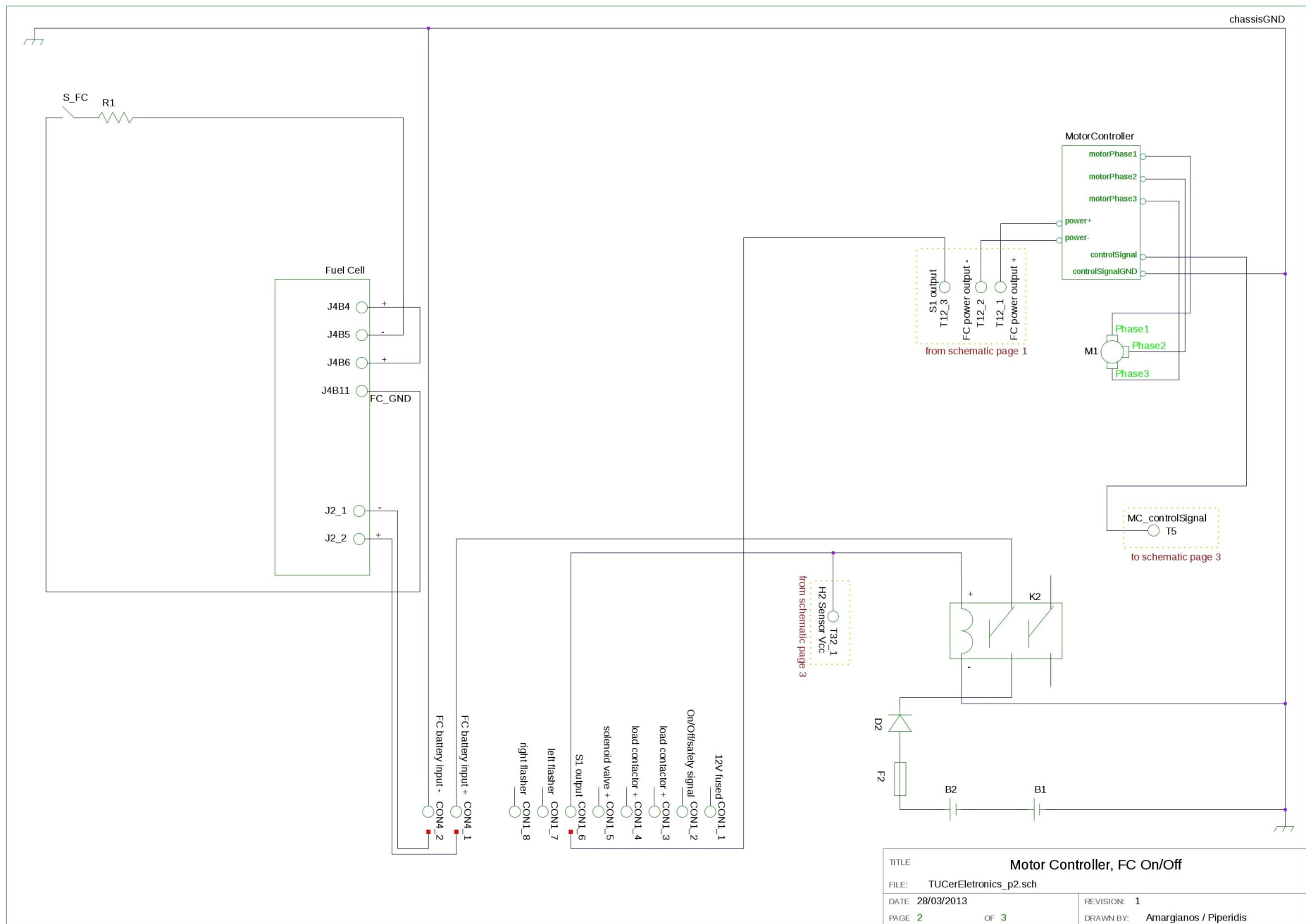
[24] Wikipedia, "Embedded system" Online Article. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system.

Παράρτημα Ι

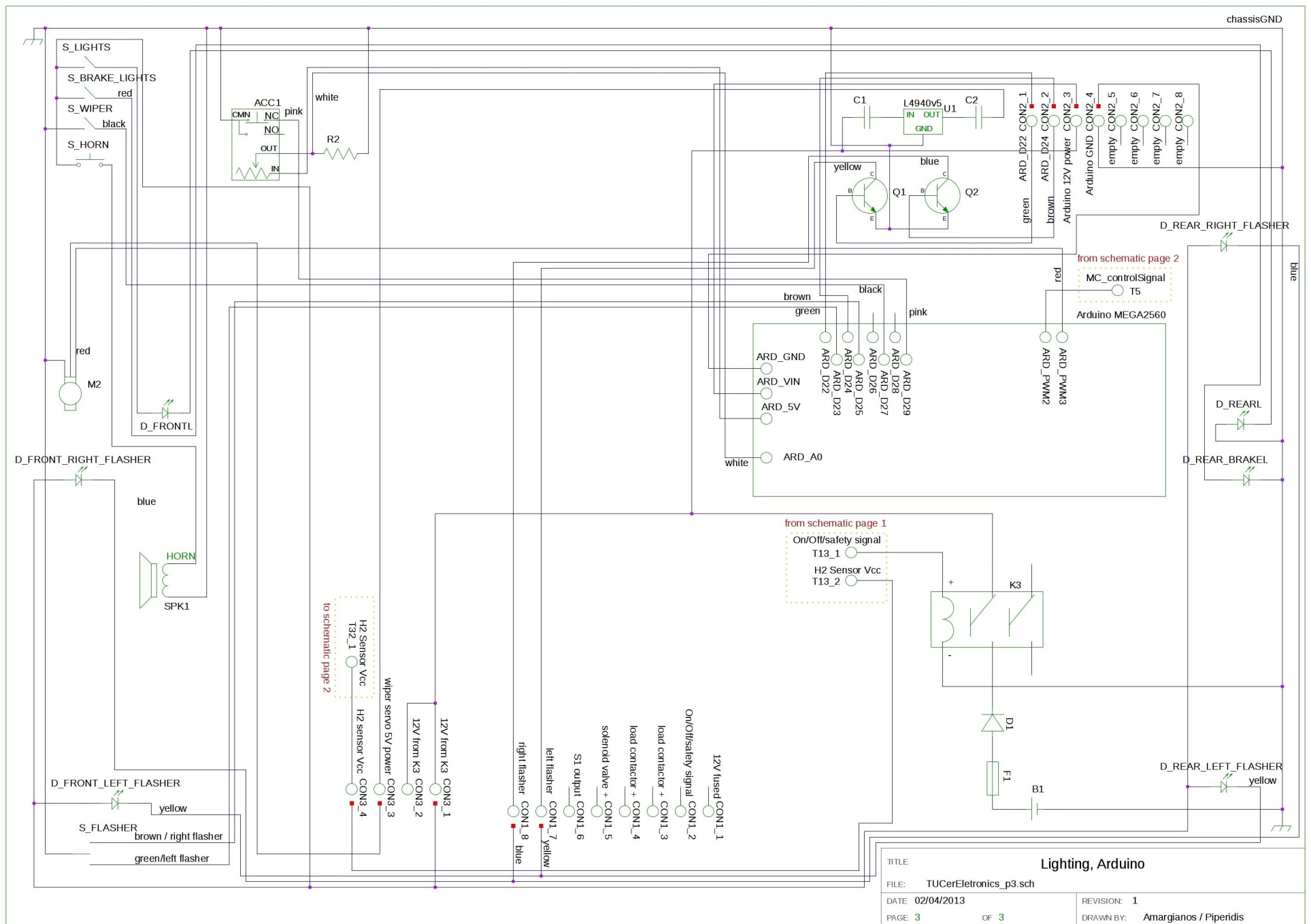


Σχέδιο 1: Συνοπτικό Ηλεκτρολογικό σχέδιο, έκδοση 2012

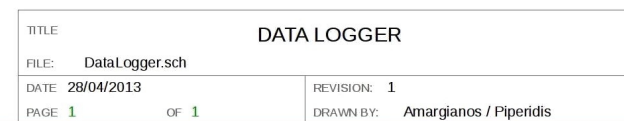




Σχέδιο 3: Κύκλωμα λειτουργίας κυψέλης, ΚΛ2



Σχέδιο 4: Κύκλωμα φωτισμού, Arduino, ΚΛ3



Σχέδιο 5: Σύστημα καταγραφής, έκδοση 2013

