



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Έλεγχος και διαχείριση ενεργειακών φορτίων
μέσω βάσης δοκιμών για ηλεκτρικό όχημα**

Σαπούνης Ιωάννης

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2017

Επιβλέπων καθηγητής:
Νικόλαος Τσουρβελούδης

Μέλη επιτροπής:
Σπυρίδων Παπαευθυμίου
Σάββας Πιπερίδης

Διαμόρφωση κειμένου με χρήση του **L^AT_EX**

Σχηματική αναπαράσταση Βάσης Δοκιμών-Οχήματος, Διαγραμμάτων Ροής και
Διαγράμματος Μηχανής Πεπερασμένων Καταστάσεων με χρήση του **LibreOffice Draw**

Τριδιάστατη κατασκευή Βάσης Δοκιμών με χρήση του **PTC Creo Parametrics 3.0 M110**
Academic and Student Edition



Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην εξέλιξη της ήδη υπάρχουσας βάσης δοκιμών, πρωτότυπων ηλεκτρικών οχημάτων, της φοιτητικής ομάδας TUCER του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εξελιγμένη βάση δοκιμών θα έχει τη δυνατότητα:

- μέτρησης των επιδόσεων των οχημάτων για βελτίωση του εξοπλισμού
- μέτρησης της κατανάλωσης των οχημάτων
- μέτρησης της ανακτωμένης ενέργειας των οχημάτων
- αυτοματοποίησης της διαδικασίας δοκιμών

Λόγο έλλειψης ειδικού χώρου για τη διεξαγωγή δοκιμών, με ότι προβλήματα συνεπάγονται από αυτό, η TUCER χρειάζεται μια σύγχρονη βάση δοκιμών, για να είναι ευκολότερος και λιγότερο χρονοβόρος ο έλεγχος και ο πειραματισμός των οχημάτων που σχεδιάζει και κατασκευάζει.

This bachelor's thesis aims at the development of the existing prototype electric cars' testing bed of the TUCER student team, of Technical University of Crete. This developed testing bed will have the ability to:

- measure the performances of the electric cars in order to improve their equipment
- measure the energy consumption of the electric cars
- measure the recovered energy of the electric cars
- automate the test procedure

Due to lack of special runway, TUCER needs a modern testing bed, to make it easier and less time-consuming to control and experiment the vehicles she designs and manufactures.

Περιεχόμενα

| | |
|--|-----------|
| Κατάλογος σχημάτων | 9 |
| Κατάλογος πινάκων | 11 |
| 1 Εισαγωγή | 12 |
| 1.1 Ομάδα TUCER | 12 |
| 1.2 Υπάρχον σύστημα | 12 |
| 1.3 Ηλεκτρικός κινητήρας-γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος | 13 |
| 1.4 Αντικείμενο Διπλωματικής εργασίας | 15 |
| 2 Σχεδίαση | 18 |
| 2.1 Προσθήκη ηλεκτρικού κινητήρα στη βάση | 18 |
| 2.1.1 Μέτρηση κατανάλωσης ενέργειας | 19 |
| 2.1.2 Μέτρηση ανακτωμένης ενέργειας | 22 |
| 2.1.3 Πηγή ενέργειας και φορτίο ηλεκτρικού στοιχείου βάσης | 23 |
| 2.1.4 Οδηγός ηλεκτροκινητήρα | 25 |
| 2.2 Ελεγκτής PD | 27 |
| 2.3 Κιβώτιο βάσης | 27 |
| 2.4 Ταχύμετρο | 28 |
| 2.5 Βάση δοκιμών σχεδιασμένη σε πρόγραμμα CAD | 29 |
| 3 Σύνταξη προγράμματος | 35 |
| 3.1 Πρωτόκολλο Επικοινωνίας-Εισαγωγή Δεδομένων Προσομοίωσης | 35 |
| 3.2 Πρόγραμμα εκτέλεσης σεναρίου προσομοίωσης | 37 |
| 3.2.1 Διάγραμμα μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων προγράμματος σεναρίου προσομοίωσης | 37 |
| 3.2.2 Διάγραμμα ροής προγράμματος σεναρίου προσομοίωσης | 38 |
| 3.2.3 Πρόγραμμα ελέγχου και μεταβολής της ταχύτητας στρέψης των ηλεκτροκινητήρων | 39 |
| 3.3 Πρόγραμμα ταχυμέτρου | 40 |
| 3.4 Πρόγραμμα Αποθήκευσης και Εκτύπωσης Αποτελεσμάτων Δοκιμών | 42 |
| 4 Επίλογος | 43 |
| Παραρτήματα | 44 |
| Α΄ Διάγραμμα μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων του προγράμματος υλοποίησης του σεναρίου προσομοίωσης | 44 |
| Α΄.1 Πίνακας καταστάσεων | 45 |
| Α΄.2 Πίνακας μεταβάσεων | 46 |

| | |
|---|-----------|
| Β΄ Διάγραμμα ροής του προγράμματος εκτέλεσης του σεναρίου προσομοίωσης | 47 |
| B΄.1 Διάγραμμα ροής μεταβολής ταχύτητας στρέψης των ηλεκτροκινητήρων . . . | 48 |
| Γ΄ Διάγραμμα ροής προγράμματος ταχυμέτρου | 49 |
| Δ΄ Διάγραμμα ροής προγράμματος αποθήκευσης και εκτύπωσης αποτελεσμάτων δοκιμών | 50 |
| Βιβλιογραφία | 51 |

Κατάλογος σχημάτων

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Logo ομάδας TUCER | 12 |
| 2 | Πρωτότυπο ηλεκτρικό όχημα «Σπύρος Λούης» της ομάδας TUCER 2017 | 13 |
| 3 | Υπάρχουσα βάση δοκιμών | 14 |
| 4 | Τροχός ολίσθησης βάσης δοκιμών | 15 |
| 5 | Εργόμετρο ποδηλάτων με 10 επίπεδα πέδησης | 15 |
| 6 | Κάτοψη της βάσης όπου φαίνεται η τοποθέτηση του εργομέτρου ποδηλάτων | 16 |
| 7 | Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας ηλεκτρικού κινητήρα. Ανασύρθηκε από http://photodentro.edu.gr/lor/r/8521/8581 | 17 |
| 8 | Προσθήκη ηλεκτρικού στοιχείου στη βάση δοκιμών 1 | 18 |
| 9 | ΗΣ M12500-3 750W, 48V | 19 |
| 10 | Προσθήκη ηλεκτρικού στοιχείου στη βάση δοκιμών 2 | 20 |
| 11 | Όχημα επί της βάσης δοκιμών κατά τη μέτρηση της κατανάλωσης | 21 |
| 12 | Όχημα επί της βάσης δοκιμών κατά τη μέτρηση ανακτωμένης ενέργειας | 22 |
| 13 | Ο οδηγός του ηλεκτροκινητήρα που θα χρησιμοποιηθεί | 26 |
| 14 | Προσθήκη Κιβωτίου στη βάση | 28 |
| 15 | Σχηματικό του αισθητήρα ταχυμέτρου | 29 |
| 17 | Τρισδιάστατη αναπαράσταση βάσης δοκιμών | 29 |
| 16 | Προσθήκη ταχυμέτρου στη βάση | 30 |
| 18 | Τρισδιάστατη αναπαράσταση βάσης δοκιμών | 31 |
| 19 | Τρισδιάστατη αναπαράσταση βάσης δοκιμών και κινητήριου τροχού του οχήματος | 31 |
| 20 | Τρισδιάστατη αναπαράσταση βάσης δοκιμών και κινητήριου τροχού του οχήματος | 32 |
| 21 | Τρισδιάστατη αναπαράσταση εξοπλισμού βάσης δοκιμών | 32 |
| 22 | Τρισδιάστατη αναπαράσταση κιβωτίου βάσης | 33 |
| 23 | Τρισδιάστατη αναπαράσταση εξοπλισμού βάσης δοκιμών | 33 |
| 24 | Τρισδιάστατη αναπαράσταση εξοπλισμού βάσης δοκιμών με ταχύμετρο | 34 |
| 25 | Σενάριο προσομοίωσης με μορφή διαγράμματος ταχύτητας-χρόνου | 36 |

Κατάλογος πινάκων

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Τιμές πέδησης υπάρχοντος εργομέτρου | 16 |
| 2 | Πίνακας τάσης-ποσοστού αναγεννητικής πέδησης | 26 |
| 3 | Πίνακας χρόνου-ταχύτητας του παραδείγματος σεναρίου προσομοίωσης | 37 |

1 Εισαγωγή

1.1 Ομάδα TUCER

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τις δραστηριότητες της ομάδας TUCER. Η ομάδα TUCER είναι μια φοιτητική ομάδα του Πολυτεχνείου Κρήτης, που συμμετέχει από το 2008 στον διεθνή Μαραθώνιο Οικονομίας της Shell. Σχεδιάζει και κατασκευάζει πρωτότυπα ηλεκτρικά οχήματα πόλης, μικρής κατανάλωσης και μηδενικών ρύπων. Υποστηρίζεται από το Διατμηματικό Εργαστήριο Εργαλειομηχανών και το Εργαστήριο Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Σχήμα 1: Logo ομάδας TUCER

Ο διεθνής Μαραθώνιος Οικονομίας της Shell είναι ένας διαγωνισμός στον οποίο συμμετέχουν εκπαιδευτικά και ερευνητικά ιδρύματα από όλο τον κόσμο. Οι ομάδες διαγωνίζονται στην κατασκευή πρωτότυπων οχημάτων ή οχημάτων πόλης, με καινοτόμες τεχνολογίες που αποσκοπούν στη μείωση κατανάλωσης καυσίμου και την ελαχιστοποίηση εκπομπής ρύπων. Τα οχήματα των διαγωνιζομένων πρέπει να διανύσουν μια απόσταση σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Σε κάθε κατηγορία κερδίζει το όχημα με τη μικρότερη κατανάλωση.



Σχήμα 2: Πρωτότυπο ηλεκτρικό όχημα «Σπύρος Λούης» της ομάδας TUCER 2017

Στο Εργαστήριο Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής σχεδιάζονται τα ηλεκτρικά-ηλεκτρονικά μέρη του οχήματος. Οι φοιτητές σε συνεργασία με τον υπεύθυνο του εργαστηρίου μελετούν και βελτιώνουν τον ηλεκτρικό-ηλεκτρονικό εξοπλισμό του οχήματος. Στην συνέχεια αυτός ο

εξοπλισμός μεταφέρεται στο Διατμηματικό Εργαστήριο Εργαλειομηχανών για τοποθέτηση. Τα μηχανολογικά μέρη του πρωτότυπου ηλεκτρικού οχήματος σχεδιάζονται και κατασκευάζονται στο Διατμηματικό Εργαστήριο Εργαλειομηχανών από τους φοιτητές υπό την επιτήρηση των υπευθύνων του εργαστηρίου.

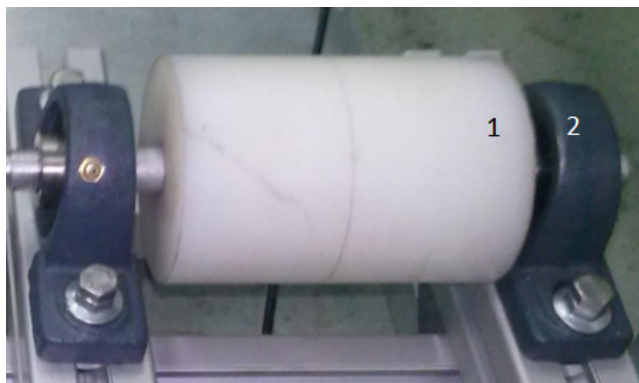
1.2 Υπάρχον σύστημα

Η ομάδα TUCER διαθέτει μια βάση δοκιμών, Σχήμα 3, την οποία χρησιμοποιεί για πειραματισμό και εξέλιξη των ηλεκτρικών οχημάτων που κατασκευάζει. Ο σκοπός της βάσης δοκιμών, είναι η πραγματοποίηση δοκιμών σε εσωτερικό χώρο ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών, ελλιπή φωτισμού, έλλειψη χώρου δοκιμών και άλλων δυσκολιών που παρουσιάζουν οι δοκιμές σε εξωτερικό χώρο. Η υπάρχουσα βάση δοκιμών έχει τη δυνατότητα ελέγχου κατανάλωσης των οχημάτων εφαρμόζοντας στον κινητήριο τροχό τους, διάφορες τιμές πέδησης - φορτίων.



Σχήμα 3: Υπάρχουσα βάση δοκιμών

Το κύριο μέρος του σκελετού της βάσης είναι φτιαγμένος από προφίλ αλουμινίου ορθογωνικής διατομής με διαστάσεις 4 cm μήκος, 2 cm πλάτος και 0.2 cm πάχος. Ολόκληρος ο σκελετός έχει μήκος 230 cm, πλάτος 130 cm και ύψος 37,5 cm. Για τη μεταφορά της βάσης έχουν τοποθετηθεί ρόδες με ελεύθερο φορέα κίνησης, οι οποίες διαθέτουν σύστημα πέδησης για αποφυγή μετακινήσεων κατά τη χρήση της [7].



Σχήμα 4: Τοποθέτηση τροχού ολίσθησης στη βάση δοκιμών. 1: Τροχός ολίσθησης, 2: Ένσφαιρα ρουλεμάν τύπου ωμέγα

Ο κινητήριος τροχός του οχήματος είναι ο πίσω δεξιά. Οπότε στη βάση είναι τοποθετημένος, σε αντίστοιχο σημείο, ένας τροχός ολίσθησης όπου έρχεται σε επαφή με τον κινητήριο τροχό. Ο τροχός ολίσθησης είναι φτιαγμένος από τεφλόν και ο άξονάς του είναι αλουμινένιος κυλινδρικού προφίλ. Για την απαλοιφή, όσο είναι δυνατόν, τριβών το ράουλο είναι συνδεδεμένο με τη βάση μέσω ένσφαιρων ρουλεμάν τύπου ωμέγα, Σχήμα 4.



Σχήμα 5: Εργόμετρο ποδηλάτων με 10 επίπεδα πέδησης

Για τη εφαρμογή διαφόρων τιμών πέδησης-φορτίων στον κινητήριο τροχό των οχημάτων επί της βάσης δοκιμών έχει τοποθετηθεί ένα εργόμετρο ποδηλάτων, Σχήμα 5. Η θέση του είναι τέτοια ώστε να εφαρμόζει ο κινητήριος τροχός του οχήματος ανάμεσα σε αυτό και τον τροχό ολίσθησης, Σχήμα 6. Οι τιμές κατανάλωσης 5 τιμών πέδησης του εργομέτρου φαίνονται στον Πίνακα 1[7].

| Τιμή πέδησης | Ισχύ στον τροχό (Watt) |
|--------------|------------------------|
| 1 | 181.4 |
| 4 | 244.6 |
| 6 | 289.26 |
| 8 | 320.35 |
| 10 | 336.71 |

Πίνακας 1: Πίνακας τιμών πέδησης και κατανάλωσης ισχύος στον κινητήριο τροχό των οχημάτων του υπάρχοντος εργομέτρου ποδηλάτων

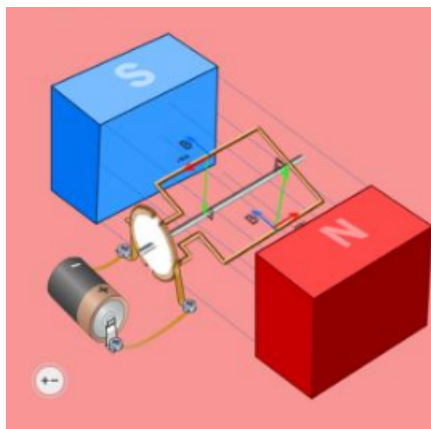


Σχήμα 6: Κάτοψη της βάσης όπου φαίνεται η τοποθέτηση του εργομέτρου ποδηλάτων

1.3 Ηλεκτρικός κινητήρας-γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος

Στην παρούσα εργασία θα γίνει λόγος για ηλεκτρικούς κινητήρες και γεννήτριες. Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι μια μηχανή που δημιουργεί περιστροφική κίνηση καταναλώνοντας ηλεκτρισμό. Σε ένα ηλεκτροκινητήρα, το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει μια μεταλλική περιέλιξη, η οποία βρίσκεται εντός μαγνητικού πεδίου ενός μόνιμου μαγνήτη ή ενός ηλεκτρομαγνήτη. Κάθε ρευματοφόρος αγωγός, που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, λόγω του φαινομένου της επαγωγής δέχεται κάποια δύναμη. Στην περίπτωση αυτή οι δυνάμεις που ασκούνται στην περιέλιξη, σπρώχνουν τη μία πλευρά της προς τα πάνω και την άλλη προς τα κάτω, με αποτέλεσμα αυτή να περιστρέφεται, Σχήμα 7[1]. Με άλλα λόγια ένας ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Οι γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος είναι μηχανήματα αντίστοιχης δομής με τους ηλεκτροκινητήρες και αντίστροφης λειτουργίας. Σε μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική και αυτό εκφράζεται με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης έχει μόνο τη δυνατότητα στρέψης των κινητήριων



Σχήμα 7: Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας ηλεκτρικού κινητήρα. Ανασύρθηκε από <http://photodentro.edu.gr/lor/r/8521/8581>

τροχών ενός οχήματος. Το ηλεκτρικό στοιχείο ενός ηλεκτρικού οχήματος όμως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως ηλεκτρικός κινητήρας είτε ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι ένα ηλεκτρικό όχημα, κάνοντας χρήση της αναγεννητικής πέδησης [2], έχει και τη δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας, που οδηγεί σε ακόμη μικρότερη κατανάλωση.

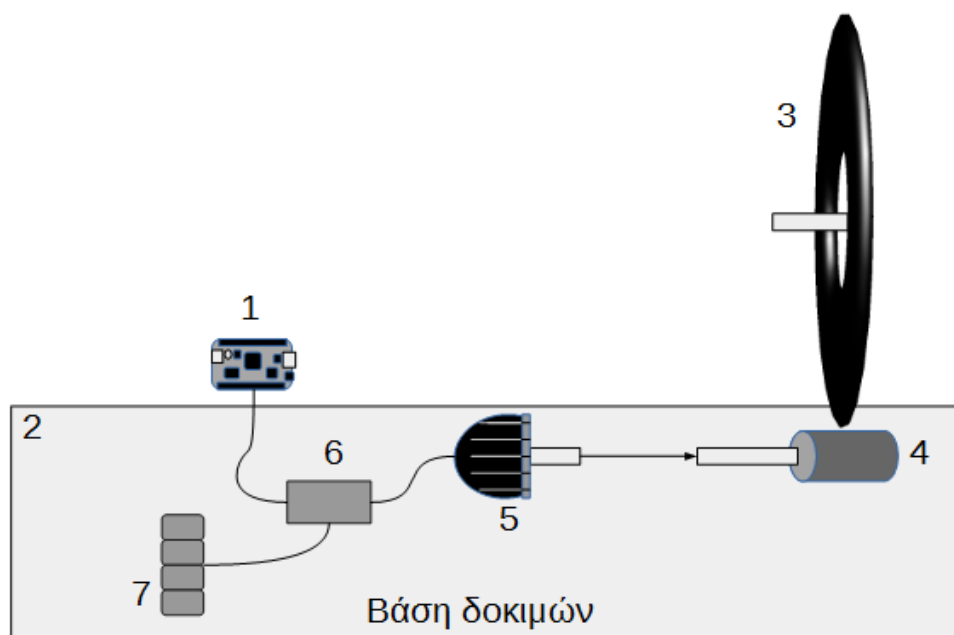
Ένα ηλεκτρικό στοιχείο το οποίο χρησιμοποιείται ως γεννήτρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα μέσο πέδησης-φορτίου. Αυτό είναι δυνατό να συμβεί χρησιμοποιώντας μια συσκευή, η οποία θα καταναλώνει μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται μέσω της γεννήτριας. Τέτοιες συσκευές μπορεί να είναι όχι πλήρως φορτισμένοι συσσωρευτές, όχι πλήρως φορτισμένοι υπερπυκνωτές ή κάποια συσκευή που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε άλλη μορφή ενέργειας. Εφόσον καταναλώνεται η ενέργεια στην έξοδο της γεννήτριας απαιτείται μεγαλύτερη μηχανική ενέργεια για τη στρέψη της. Όσο μεγαλύτερη η ενέργεια που καταναλώνει η συσκευή τόσο μεγαλύτερη η πέδηση που ασκεί η γεννήτρια.

1.4 Αντικείμενο Διπλωματικής εργασίας

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η εξέλιξη της ήδη υπάρχουσας βάσης δοκιμών της ομάδας TUCER, με σκοπό τη συλλογή δεδομένων και πειραματισμό, για τη βελτίωση του μηχανολογικού, ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού του οχήματος. Η ομάδα TUCER δεν διαθέτει εξειδικευμένο χώρο δοκιμών οχημάτων. Για να γίνουν οι δοκιμές, θα πρέπει να ενοικιάσει ιδιωτικές πίστες οχημάτων αναψυχής ή να δεσμεύσει χώρο του Πολυτεχνείου Κρήτης. Οι ιδιωτικές πίστες πρώτα απ' όλα κοστίζουν και επίσης βρίσκονται αρκετά μακριά από το Πολυτεχνείο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρειάζεται ειδική πλατφόρμα για τη μετακίνηση των οχημάτων με όλο τους τον εξοπλισμό. Από την άλλη η δέσμευση χώρου του Πολυτεχνείου δεν είναι εύκολη γιατί οι χώροι είναι κοινόχρηστοι, άρα οι δοκιμές πρέπει να γίνουν σαββατοκύριακο αν όχι μόνο Κυριακή, όπου η κίνηση των οχημάτων και η διέλευση πεζών είναι περιορισμένη. Εκτός του χώρου στην εξίσωση μπαίνουν και οι καιρικές συνθήκες. Κυρίως η βροχή, αλλά αρκετά υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες δυσκολεύουν τις δοκιμές. Ένα επίσης μεγάλο πλεονέκτημα της βάσης είναι η δυνατότητα διεξαγωγής δοκιμών από ένα

άτομο, σε αντίθεση με τις δοκιμές σε εξωτερικό χώρο που απαιτούν να είναι παρούσα όλη η ομάδα. Στη βάση δοκιμών, εφόσον το όχημα είναι τοποθετημένο πάνω της, για την έναρξη των δοκιμών απαιτείται μόνο η εισαγωγή των δεδομένων που γίνεται εύκολα από ένα χρήστη. Ενώ για να γίνουν δοκιμές σε εξωτερικό χώρο, χρειάζονται άτομα για τη μεταφορά εξοπλισμού, τη δέσμευση χώρου, παρουσία οδηγού και ατόμων που θα ασχολούνται καθαρά με της μετρήσεις, με άλλα λόγια όλη η ομάδα. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η ομάδα χρειάζεται μια βάση δοκιμών που να μπορεί να προσομοιώσει όσο είναι δυνατόν καλύτερα τις δοκιμές που γίνονται σε εξωτερικό χώρο.

Στην εξελιγμένη βάση δοκιμών, θα παρακολουθείται η κατανάλωση και η ανάκτηση ενέργειας με ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα. Αυτό θα γίνεται με την προσθήκη ενός ηλεκτρικού στοιχείου στον τροχό ολίσθησης της βάσης, ίδιο με αυτό του οχήματος, και τον έλεγχο του από ένα μικροελεγκτή, Σχήμα 8. Το ηλεκτρικό στοιχείο θα χρησιμοποιείται ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος όταν μετράται η κατανάλωση του οχήματος και ως ηλεκτρικός κινητήρας, όταν μετράται η ανακτώμενη ενέργεια του οχήματος.



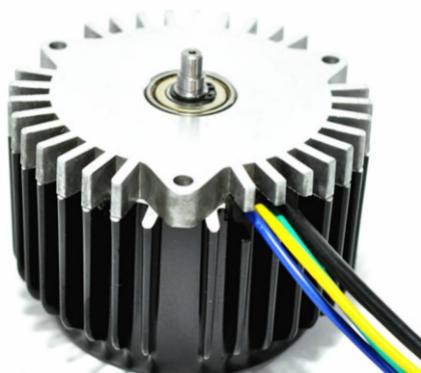
Σχήμα 8: Προσθήκη ηλεκτρικού στοιχείου στη βάση δοκιμών. 1: Μικροελεγκτής, 2: Κινητήριος τροχός οχήματος, 3: Τροχός ολίσθησης, 4: ηλεκτρικό στοιχείο βάσης, 5: Οδηγός ηλεκτρικού στοιχείου βάσης, 6: Τροφοδοσία/φορτίο ηλεκτρικού στοιχείου βάσης.

Οι τιμές της κατανάλωσης και της ανακτώμενης ενέργειας θα συλλέγονται σε ηλεκτρονική μορφή για σύγκριση και εν τέλει βελτίωση της κατανάλωσης καυσίμου, επιλέγοντας τον κατάλληλο συνδυασμό μηχανολογικού εξοπλισμού (σχέσεις μετάδοσης-κιβώτιο ταχυτήτων) και ηλεκτρικού-ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ελεγκτής του ηλεκτροκινητήρα, κυψέλες υδρογόνου, πολιτική διαχείρισης της ενέργειας). Αν και οι δοκιμές αυτές δεν είναι εντελώς αντιπροσωπευτικές, είναι αρκετές για να βγουν χρήσιμα συμπεράσματα που μπορεί η ομάδα TUCER να τα αξιοποιήσει για την κατασκευή οχημάτων με ακόμη λιγότερη κατανάλωση ενέργειας.

2 Σχεδίαση

2.1 Προσθήκη ηλεκτρικού κινητήρα στη βάση

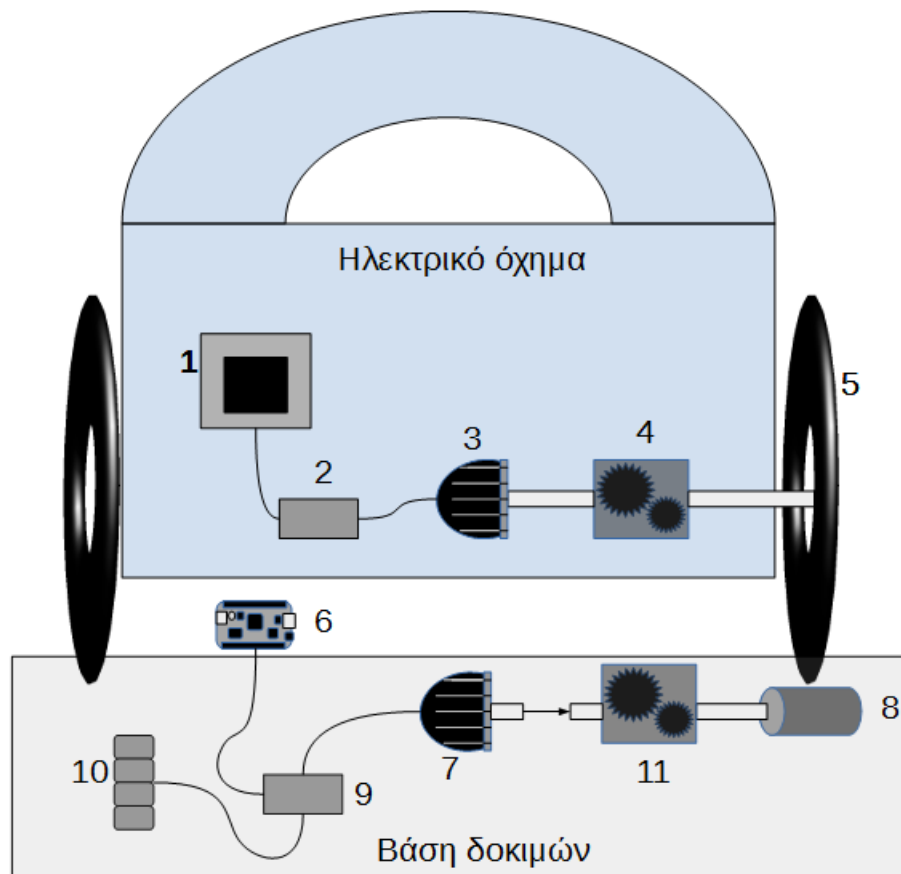
Στην υπάρχουσα βάση δοκιμών οι δυναμομετρήσεις γινόταν με ένα εργόμετρο ποδηλάτων. Οι δυνατότητες του εργομέτρου όμως είναι περιορισμένες, γιατί τα φορτία που ασκεί στον κινητήριο τροχό του οχήματος είναι δέκα διακριτές αύξουσες τιμές. Η ομάδα TUCER όμως θέλει να έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει πολλαπλά σενάρια, οπότε οι δέκα διακριτές περιπτώσεις δεν είναι ικανοποιητικές. Επίσης με το υπάρχον εργόμετρο δεν είναι δυνατή η μέτρηση ανακτωμένης ενέργειας. Για τους παραπάνω λόγους το εργόμετρο ποδηλάτων θα αφαιρεθεί από τη βάση και θα τοποθετηθεί το ηλεκτρικό στοιχείο (ΗΣ) M12500-3 με ισχύ 750W και τάση 48V, Σχήμα 9.



Σχήμα 9: ΗΣ M12500-3 750W, 48V

Επιλέχθηκε το συγκεκριμένο ΗΣ γιατί ένα ίδιο είναι τοποθετημένο στο όχημα Σπύρος Λούης που κατασκεύασε η ομάδα TUCER το 2017, με σκοπό να αποφευχθούν πιθανές ασυμβατότητες σε ότι αφορά τις μέγιστες στροφές τους και την ισχύ λειτουργίας τους. Το ΗΣ θα συνδέεται με τον αλουμινένιο άξονα του ράουλου με αποτέλεσμα την ταυτόχρονη στρέψη τους, Σχήμα 10. Ο τροχός ολίσθησης της βάσης θα αναφέρεται στο εξής ως ράουλο. Το ράουλο θα πρέπει να είναι κατασκευασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε η τιμή της στροφορμής του να έχει αμελητέα επίδραση στη στρέψη του ΗΣ. Αυτό επιτυγχάνεται, είτε με τη χρήση υλικού κατασκευής σχετικά μικρής πυκνότητας, είτε με τη χρήση ενός κούφιου ράουλου. Επίσης, η τιμή της τριβής που θα δημιουργείται μεταξύ του ράουλου και του κινητήριου τροχού του οχήματος, θα πρέπει να είναι μεγάλη, έτσι ώστε να επιτρέπεται η ταυτόχρονη και συνεχής στρέψη τους χωρίς ολισθήσεις. Το υπάρχον ράουλο τηρεί τις προϋποθέσεις, οπότε θα παραμείνει στη βάση. Είναι φτιαγμένο από τεφλόν με ακτίνα 4.94 cm.

Στο σύστημα βάση δοκιμών – ηλεκτρικό όχημα, θα υπάρχουν δύο ίδια ΗΣ. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών τα ΗΣ θα στρέφονται ταυτόχρονα. Όταν το ΗΣ του οχήματος θα χρησιμοποιείται ως ηλεκτρικός κινητήρας, το ΗΣ της βάσης θα χρησιμοποιείται ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος και αντίστροφα. Ο τρόπος χρήσης των ΗΣ θα εξαρτάται από το εκάστοτε σενάριο πειραματισμού.



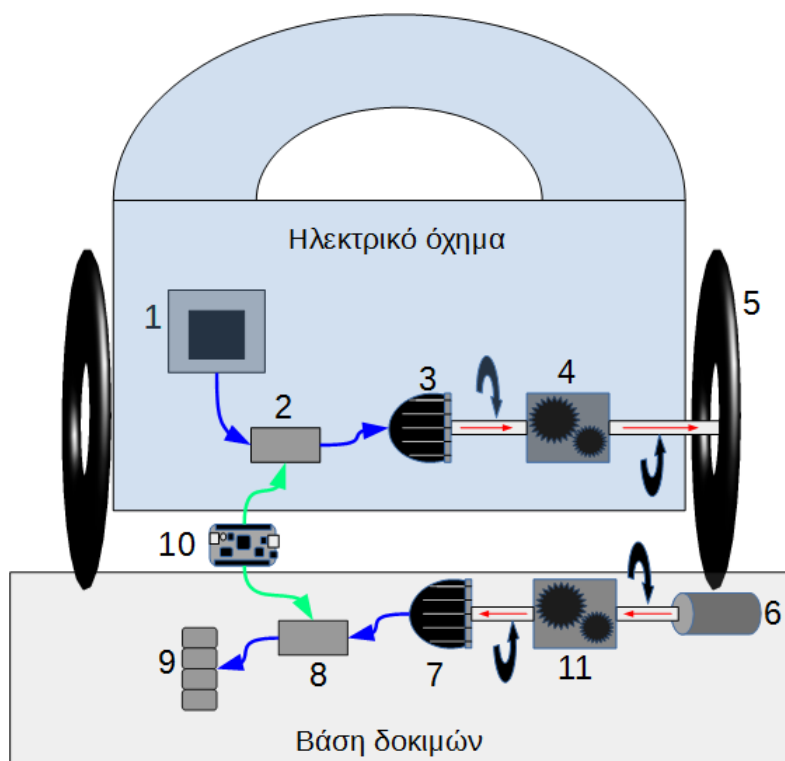
Σχήμα 10: Προσθήκη ΗΣ στη βάση δοκιμών. 1: Τροφοδοσία/υπερπυκνωτές ΗΣ οχήματος, 2, 9: Οδηγός ΗΣ οχήματος και βάσης αντίστοιχα, 3, 7: ΗΣ οχήματος και βάσης αντίστοιχα, 4, 11: Κιβώτιο οχήματος και βάσης αντίστοιχα, 5: Κινητήριος τροχός οχήματος, 6: Μικροελεγκτής, 8: Ράουλο, 10: Τροφοδοσία/φορτίο ΗΣ βάσης.

Οι δοκιμές που θα γίνονται στη βάση θα είναι αυτοματοποιημένες. Γι' αυτό το λόγο και τα δύο ΗΣ θα ελέγχονται από ένα μικροελεγκτή με δυνατότητα υποστήριξης λογισμικού πραγματικού χρόνου, δηλαδή με δυνατότητα χρονοπρογραμματισμού των ενεργειών ελέγχου. Τέτοιοι μικροελεγκτές είναι οι BeagleBoard [3] και Raspberry Pi [4]. Αυτό σημαίνει ότι το ΗΣ του οχήματος κατά τις δοκιμές στη βάση, δεν θα ελέγχεται από το πετάλι επιτάχυνσης, αλλά από τον μικροελεγκτή. Με τον ίδιο τρόπο θα ελέγχεται και το ΗΣ της βάσης.

2.1.1 Μέτρηση κατανάλωσης ενέργειας

Σε ένα σενάριο μέτρησης της κατανάλωσης του οχήματος στη βάση, το ΗΣ της βάσης θα χρησιμοποιείται ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος και το ΗΣ του οχήματος ως ηλεκτρικός κινητήρας.

Σκοπός του ηλεκτρικού στοιχείου της βάσης όταν ελέγχεται η κατανάλωση, θα είναι να λειτουργεί ως εργόμετρο, εκμεταλλευόμενο την αναγεννητική του πέδηση [?]. Αν ο κινητή-



Σχήμα 11: Όχημα επί της βάσης δοκιμών κατά τη διαδικασία **μέτρησης της κατανάλωσης**. Το ΗΣ βάσης χρησιμοποιείται ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος και το ΗΣ του οχήματος ως ηλεκτρικός κινητήρας. Τα μπλε βέλη δείχνουν τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κόκκινα βέλη δείχνουν τη ροή της μηχανικής ενέργειας. Τα πράσινα βέλη δείχνουν τη ροή δεδομένων μεταξύ μικροελεγκτή και οδηγών. 1: Πηγή ενέργειας ΗΣ οχήματος, 2, 8: Οδηγός ΗΣ οχήματος και βάσης αντίστοιχα, 3, 7: ΗΣ οχήματος και βάσης αντίστοιχα, 4, 11: Κιβώτιο οχήματος και βάσης αντίστοιχα, 5: Κινητήριος τροχός οχήματος, 6: Ράουλο, 9: Φορτίο, 10: Μικροελεγκτής

ριος τροχός του οχήματος έστρεφε το ράουλο χωρίς τη χρήση εργομέτρου, η κατανάλωση θα ήταν εκτός πραγματικότητας. Σε πραγματικές συνθήκες ο ηλεκτροκινητήρας του οχήματος, για να κινήσει το όχημα καταναλώνει πολύ περισσότερη ενέργεια απ' ότι όταν στρέφεται ελεύθερα. Σε αυτό συμβάλουν οι αδράνεις που προκαλούνται λόγω αλλαγής ταχύτητας του οχήματος, καθώς και κλίσεις του οδοστρώματος που μπορούν να αυξήσουν ακόμη περισσότερο την κατανάλωση. Στη βάση υπάρχουν μόνο οι τριβές από τη στρέψη του ράουλου, οι οποίες είναι πάρα πολύ μικρές λόγω της χρήσης ρουλεμάν. Οι πραγματικές συνθήκες κατανάλωσης προσομοιώνονται στη βάση δοκιμών, μέσω της πέδησης που ασκεί το ΗΣ της βάσης ως γεννήτρια.

Το ΗΣ της βάσης, χρησιμοποιούμενο ως γεννήτρια, από μόνο του δεν είναι εργόμετρο. Για να γίνει, πρέπει η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει να καταναλώνεται ελεγχόμενα. Γι' αυτό το λόγο στην έξοδο της γεννήτριας, κατά τον έλεγχο της κατανάλωσης, θα συνδέεται ένα φορτίο. Η ισχύς που θα καταναλώνει το φορτίο θα ελέγχεται και αυτή από τον μικροελεγκτή. Αυτό είναι και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της χρήσης της γεννήτριας με φορτίο ως εργόμετρο, σε

σχέση με το εργόμετρο ποδηλάτων.

Η διαδικασία μέτρησης της κατανάλωσης στη βάση θα γίνεται ως εξής, Σχήμα 11:

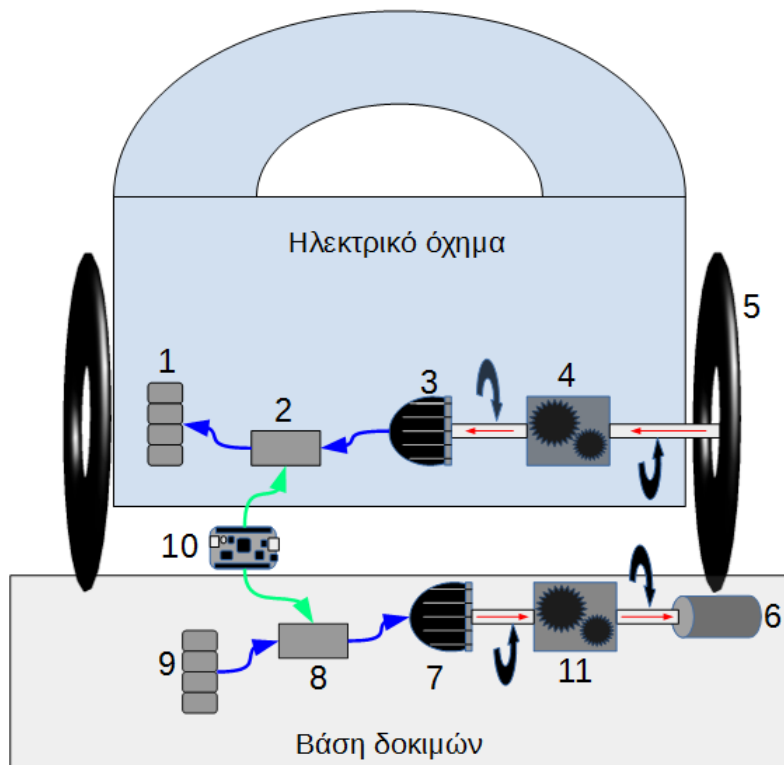
1. Ο μικροελεγκτής οδηγεί το ΗΣ του οχήματος ως ηλεκτρικό κινητήρα και το ΗΣ της βάσης ως γεννήτρια
2. Ο ηλεκτρικός κινητήρας στρέφει το κιβώτιο του οχήματος
3. Μέσω του κιβωτίου του οχήματος στρέφεται ο κινητήριος τροχός του οχήματος
4. Ο κινητήριος τροχός στρέφει το ράουλο
5. Το ράουλο στρέφει το κιβώτιο βάσης
6. Μέσω του κιβωτίου της βάσης στρέφεται η γεννήτρια
7. Μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη στρέψη της γεννήτριας καταναλώνεται από το φορτίο, με αποτέλεσμα μέσω της γεννήτριας να ασκείται πέδηση στον κινητήριο τροχό

Η ενέργεια που θα καταναλώνει ο ηλεκτρικός κινητήρας κατά τη διάρκεια της παραπάνω διαδικασίας, θα είναι η ενέργεια που θα μετράται κατά τις δοκιμές μέτρησης κατανάλωσης.

2.1.2 Μέτρηση ανακτωμένης ενέργειας

Όταν το όχημα κινείται στο δρόμο, ανάκτηση ενέργειας κάνει όταν ο οδηγός σταματάει να πιέζει το πετάλι επιτάχυνσης, αλλά το όχημα συνεχίζει τη πορεία του. Εφόσον συνεχίζει να κινείται το όχημα, λόγω της αναγεννητικής πέδησης, η μηχανική ενέργεια του κινητήριου τροχού μετατρέπεται σε ηλεκτρική και αποθηκεύεται από το όχημα. Η ενέργεια που αποθηκεύεται χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του ηλεκτρικού εξοπλισμού του οχήματος, με αποτέλεσμα τη μικρότερη κατανάλωση υδρογόνου.

Όταν γίνονται δοκιμές στη βάση το όχημα δεν κινείται πραγματικά. Στρέφεται μόνο ο κινητήριος τροχός του. Έτσι όταν ο μικροελεγκτής οδηγήσει το ΗΣ του οχήματος από ηλεκτρικό κινητήρα σε γεννήτρια, ο κινητήριος τροχός σταματά σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτό γιατί, ο τροχός συνεχίζει να στρέφεται μόνο λόγω της στροφορμής του, σε αντίθεση με την πραγματικότητα στο δρόμο που συμβάλει στη στρέψη και η αδράνεια του οχήματος.



Σχήμα 12: Όχημα επί της βάσης δοκιμών κατά τη διαδικασία **μέτρησης ανακτωμένης ενέργειας**. Το ΗΣ της βάσης χρησιμοποιείται ως ηλεκτρικός κινητήρας και το ΗΣ του οχήματος ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Τα μπλε βέλη δείχνουν τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κόκκινα βέλη δείχνουν τη ροή της μηχανικής ενέργειας. Τα πράσινα βέλη δείχνουν τη ροή δεδομένων μεταξύ μικροελεγκτή και οδηγών. 1: Υπετυκνωτές οχήματος, 2, 8: Οδηγός ΗΣ οχήματος και βάσης αντίστοιχα, 3, 7: ΗΣ οχήματος και βάσης αντίστοιχα, 4, 11: Κιβώτιο οχήματος και βάσης αντίστοιχα, 5: Κινητήριος τροχός οχήματος, 6: Ράουλο, 9: Πηγή ενέργειας ΗΣ βάσης, 10: Μικροελεγκτής

Για να είναι ρεαλιστικές οι μετρήσεις της ανακτωμένης ενέργειας των δοκιμών στη βάση, το ΗΣ της βάσης θα χρησιμοποιείται ως ηλεκτρικός κινητήρας, με σκοπό τη στρέψη του κινητήριου τροχού του οχήματος, με την ταχύτητα που θα στρεφόταν αν κινούταν στο δρόμο. Οι ταχύτητες που θα πρέπει να στρέφεται ο ηλεκτρικός κινητήρας για να προσομοιώσει την επιβράδυνση που θα είχε ο κινητήριος τροχός στο δρόμο, προκύπτουν από προσομοιώσεις σε ηλεκτρονικό υπολογιστή που θα γίνονται από μέλη της ομάδας TUCER, με τη χρήση του προγράμματος προσομοίωσης "CarMaker: Virtual testing of automobiles and light-duty vehicles".

Οπότε, σε ένα σενάριο μέτρησης της ανακτωμένης ενέργειας του οχήματος στη βάση, το ΗΣ του οχήματος θα χρησιμοποιείται ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος και το ΗΣ της βάσης ως ηλεκτρικός κινητήρας. Η διαδικασία μέτρησης της ανακτωμένης ενέργειας στη βάση γίνεται ως εξής, Σχήμα 12:

1. Ο μικροελεγκτής οδηγεί το ΗΣ της βάσης ως ηλεκτρικό κινητήρα και το ΗΣ του οχή-

ματος ως γεννήτρια

2. Ο ηλεκτρικός κινητήρας στρέφει το κιβώτιο της βάσης
3. Μέσω του κιβωτίου της βάσης στρέφεται το ράουλο
4. Το ράουλο στρέφει τον κινητήριο τροχό του οχήματος
5. Ο κινητήριος τροχός στρέφει το κιβώτιο του οχήματος
6. Μέσω του κιβωτίου του οχήματος στρέφεται η γεννήτρια
7. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη στρέψη της γεννήτριας αποθηκεύεται στους υπερπυκνωτές του οχήματος. Η ενέργεια που αποθηκεύεται στους υπερπυκνωτές θα είναι η ενέργεια που θα μετράται κατά τις δοκιμές μέτρησης της ανακτωμένης ενέργειας του οχήματος.

2.1.3 Πηγή ενέργειας και φορτίο ηλεκτρικού στοιχείου βάσης

Το ΗΣ της βάσης χρησιμοποιείται ως ηλεκτρικός κινητήρας όταν μετράται η ανακτώμενη ενέργεια και ως γεννήτρια όταν μετράται η κατανάλωση. Οπότε όταν χρησιμοποιείται ως ηλεκτρικός κινητήρας, πρέπει να είναι συνδεδεμένο με μια πηγή ενέργειας και όταν χρησιμοποιείται ως γεννήτρια, με ένα φορτίο.

Το ΗΣ της βάσης όταν χρησιμοποιείται ως ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί στα 48V. Άρα η πηγή ενέργειάς του πρέπει να είναι τουλάχιστον 48V. Οπότε πηγή ενέργειας μπορεί να είναι:

- 4 συσσωρευτές μολύβδου των 12V και 7Ah ο καθένας, σύνολο 48V. Το πρόβλημα που μπορεί να προκύψει από τη χρήση των συσσωρευτών ως πηγή ενέργειας, είναι η αποφόρτισή τους κατά τη διαδικασία δοκιμών, λόγω στρέψης του ηλεκτρικού κινητήρα. Όταν συμβεί αυτό η διαδικασία πρέπει να σταματήσει για να φορτιστούν. Οι συσσωρευτές στα πλαίσια των δοκιμών θα αποφορτίζονται σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτό σημαίνει ότι δεν θα χρειάζονται φόρτιση.
- 4 υπερπυκνωτές σε σειρά των 15V και 52F ο καθένας, σύνολο 60V και 17.13F. Το πρόβλημα που μπορεί να προκύψει από τη χρήση των υπερπυκνωτών ως πηγή ενέργειας, είναι η αποφόρτισή τους κατά τη διαδικασία δοκιμών, λόγω στρέψης του ηλεκτρικού

κινητήρα. Όταν συμβεί αυτό η διαδικασία πρέπει να σταματήσει για να φορτιστούν. Οι υπερπυκνωτές αποφορτίζονται σχετικά γρήγορα, εξίσωση 1, οπότε η διαδικασία των δοκιμών θα πρέπει να διακόπτεται συχνά.

$$E = \frac{C * V^2}{2} \quad (1)$$

E: Ενέργεια, C: Χωρητικότητα πυκνωτή, V: Τάση στα άκρα του πυκνωτή

- Τροφοδοσία μέσω του δημοσίου δικτύου ηλεκτρικού ρεύματος, μέσω συμβατού με τον εξοπλισμό τροφοδοτικού.

Το φορτίο του ΗΣ της βάσης, μπορεί να είναι:

- 4 συσσωρευτές μολύβδου των 12V και 7Ah ο καθένας, σύνολο 48V. Το πρόβλημα που μπορεί να προκύψει από τη χρήση των συσσωρευτών ως φορτίο, είναι η πλήρης φόρτισή τους κατά τη διαδικασία δοκιμών, λόγω στρέψης της γεννήτριας. Όταν συμβεί αυτό η διαδικασία πρέπει να σταματήσει για να αποφορτιστούν. Πρωταρχικά πρέπει να αποφορτιστούν για να αποφευχθεί η καταστροφή τους και δεύτερον, με τη πλήρη φόρτισή τους, η γεννήτρια σταματά να ασκεί πέδηση. Επίσης, οι συσσωρευτές δεν μπορούν να καταναλώσουν μεγάλες τιμές έντασης ρεύματος φόρτισης, λόγω εσωτερικής αντίστασης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία άσκησης μεγάλων τιμών πέδησης στον κινητήριο τροχό.
- 4 υπερχωρητικοί σε σειρά των 15V και 52F ο καθένας, σύνολο 60V και 17.13F. Το πρόβλημα που μπορεί να προκύψει από τη χρήση των υπερχωρητικών ως φορτίο, είναι η πλήρης φόρτισή τους κατά τη διαδικασία δοκιμών, λόγω στρέψης της γεννήτριας. Όταν συμβεί αυτό η διαδικασία πρέπει να σταματήσει για να αποφορτιστούν. Πρωταρχικά πρέπει να αποφορτιστούν για να αποφευχθεί η καταστροφή τους και δεύτερον, με τη πλήρη φόρτισή τους, η γεννήτρια σταματά να ασκεί πέδηση. Οι υπερχωρητικοί λόγω έλλειψης εσωτερικής αντίστασης αποθηκεύουν στιγμιαία οποιαδήποτε τιμή ρεύματος που μπορεί να προκύψει από τις δοκιμές, άρα μπορεί να ασκηθεί στον κινητήριο τροχό οποιαδήποτε τιμή πέδησης απαιτεί το σενάριο.
- Χρήση ηλεκτρονικού φορτίου που έχει κατασκευαστεί από τη ομάδα TUCER. Η ενέργεια που θα καταναλώνεται από το ηλεκτρονικό φορτίο θα ελέγχεται από τον μικροελεγκτή.

Η λογική πίσω από τη χρήση συσσωρευτών ή υπερχωρητικών ως πηγή και φορτίο ταυτόχρονα είναι η εξής:

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, όταν το ΗΣ θα χρησιμοποιείται ως γεννήτρια, θα γίνεται η φόρτιση των συσσωρευτών ή των υπερπυκνωτών και όταν χρησιμοποιείται ως ηλεκτρικός κινητήρας, θα γίνεται η αποφόρτισή τους. Οπότε κατά τη διάρκεια του σεναρίου δοκιμών, όταν οι συσσωρευτές ή οι υπερπυκνωτές φορτιστούν πλήρως, το όχημα θα υπόκειται σε δοκιμές μέτρησης της ανακτωμένης ενέργειας, όπου το ΗΣ χρησιμοποιείται ως ηλεκτρικός κινητήρας για να τους αποφορτίσει. Όταν οι συσσωρευτές ή οι υπερπυκνωτές αποφορτιστούν, το όχημα θα υπόκειται σε δοκιμές μέτρησης της κατανάλωσης, όπου το ΗΣ χρησιμοποιείται ως γεννήτρια για να τους φορτίσει.

Τέλος, προτείνεται και η χρήση του ηλεκτρονικού φορτίου και του δημοσίου δικτύου ηλεκτρικού ρεύματος ως πηγή, όπου με χρήση ενός διακόπτη θα συνδέονται εναλλάξ με τον οδηγό, ανάλογα με τη χρήση του ΗΣ. Σε αυτή την περίπτωση, δεν συναντώνται προβλήματα φόρτισης και αποφόρτισης.

Δεν έχουν πραγματοποιηθεί δοκιμές από την ομάδα TUCER, για να αποφασιστεί ποιον εξοπλισμό θα χρησιμοποιήσει ως πηγή/φορτίο για το ΗΣ της βάσης.

2.1.4 Οδηγός ηλεκτροκινητήρα

Ο οδηγός του ηλεκτροκινητήρα (motor controller) είναι μια συσκευή που ελέγχει με προκαθορισμένο τρόπο την λειτουργία του. Ο οδηγός του ηλεκτροκινητήρα μπορεί να ξεκινά ή να σταματά τον ηλεκτροκινητήρα, να ρυθμίσει τη φορά περιστροφής του, δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα, και να ρυθμίσει την ταχύτητα περιστροφής του. Στη βάση δοκιμών οι μεταβολές στη λειτουργία του κάθε ηλεκτροκινητήρα γίνονται με αυτοματοποιημένο τρόπο μέσω του μικροελεγκτή. Ενώ όταν το όχημα κινείται στο δρόμο οι μεταβολές στη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα του οχήματος γίνονται πιέζοντας το πετάλι επιτάχυνσης. Τέλος, ο οδηγός δίνει τη δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας με χρήση της αναγεννητικής πέδησης.



Σχήμα 13: Ο οδηγός του ηλεκτροκινητήρα που θα χρησιμοποιηθεί

Ο οδηγός είναι ο συνδετικός κρίκος του ηλεκτροκινητήρα με τις άλλες συσκευές. Τον συνδέει με:

- Την πηγή ενέργειας/φορτίο
- Τον μικροελεγκτή για τις δοκιμές στη βάση, το πετάλι επιτάχυνσης για κίνηση στο δρόμο
Το όχημα, όταν κινείται στο δρόμο, η ταχύτητα ορίζεται από το πετάλι επιτάχυνσης, αλλά όταν βρίσκεται επί της βάσης, το πετάλι επιτάχυνσης αφαιρείται. Η ταχύτητα

| Τάση V | Ποσοστό αναγεννητικής πέδησης (επί τοις εκατό) |
|--------|---|
| 0.0 | 100 |
| 0.2 | 72 |
| 0.4 | 46 |
| 0.6 | 19 |
| 0.8 | 0 |

Πίνακας 2: Πίνακας τάσεων από τον μικροελεγκτή προς τον οδηγό και ποσοστών αναγεννητικής πέδησης της γεννήτριας

στρέψης του ηλεκτροκινητήρα του οχήματος στη βάση θα οδηγείται από τον μικροελεγκτή. Το ίδιο ισχύει και για τον ηλεκτροκινητήρα της βάσης. Έτσι η ταχύτητα θα μεταβάλλεται ηλεκτρονικά, με ακρίβεια και αυτόματα από τον μικροελεγκτή με τη βοήθεια του λογισμικού ενός ελεγκτή PD.

Όταν ο οδηγός λαμβάνει, από τον μικροελεγκτή, τιμές τάσης από 0.0V έως 0.8V, κάνει χρήση της αναγεννητικής πέδησης, δηλαδή οδηγεί το ΗΣ ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Στα 0.0V το ΗΣ ασκεί τη μέγιστη πέδηση και στα 0.8V την ελάχιστη. Τα ποσοστά αναγεννητικής πέδησης, σε σχέση με την τάση που στέλνει ο μικροελεγκτής στον οδηγό, φαίνονται στον Πίνακα 2.

Αν χρησιμοποιηθούν ως πέδηση για το ΗΣ της βάσης οι συσσωρευτές ή οι υπερπυκνωτές, η ενέργεια που θα αποθηκεύουν θα εξαρτάται από την τιμή τάσης (0.0V-0.8V) που στέλνεται από τον μικροελεγκτή στον οδηγό. Αν επιλεγθεί ως πέδηση το ηλεκτρονικό φορτίο, τότε θα στέλνεται στον οδηγό τιμή τάσης 0.0V και η τιμή της πέδησης θα στέλνεται απ' ευθείας στο ηλεκτρονικό φορτίο.

Όταν ο μικροελεγκτής στέλνει στον οδηγό, τάσεις μεγαλύτερες των 0.8V έως και 5V, τότε το ΗΣ του οδηγείται ως ηλεκτρικός κινητήρας. Προφανώς, για τιμή τάσης 5V ο ηλεκτρικός κινητήρας στρέφεται με τη μέγιστη ταχύτητα.

2.2 Ελεγκτής PD

Η διαδικασία των δοκιμών είναι αυτοματοποιημένη. Αυτό σημαίνει ότι ο μικροελεγκτής μεταβάλει τη ταχύτητα περιστροφής των ηλεκτροκινητήρων. Αν η ταχύτητα περιστροφής ενός ηλεκτροκινητήρα δεν είναι η επιθυμητή, ο μικροελεγκτής πρέπει να είναι σε θέση να την διορθώνει. Η διόρθωση των σφαλμάτων, σε ότι αφορά την ταχύτητα περιστροφής των ηλεκτροκινητήρων από τον μικροελεγκτή, γίνεται με τη χρήση του λογισμικού ενός ελεγκτή PD [9].

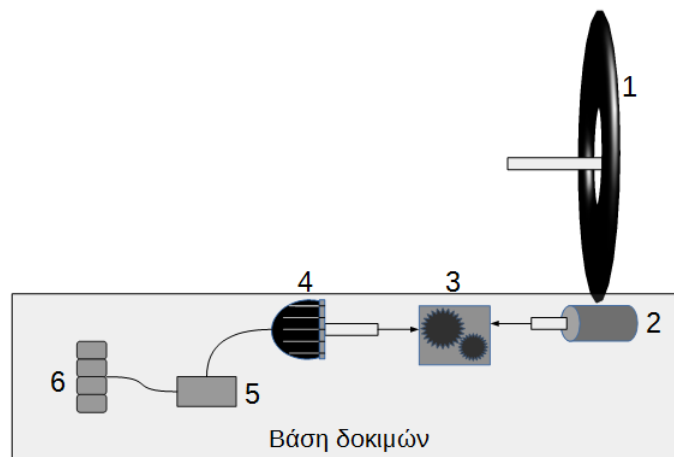
Ο ελεγκτής PD (Proportional-Derivative Controller) είναι ένας μηχανισμός ανάδρασης βρόγχου ελέγχου που χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτούν συνεχή διαμορφωμένο

έλεγχο. Ο ελεγκτής PD υπολογίζει συνεχώς μια τιμή σφάλματος ως τη διαφορά μιας επιθυμητής τιμής, στη παρούσα περίπτωση επιθυμητή ταχύτητα, και μιας μεταβλητής διαδικασίας, στη παρούσα περίπτωση τρέχουσα ταχύτητα, και εφαρμόζει μια αναλογική (Proportional) και διαφορική (Derivative) διόρθωση.

- **P:** Αναλογικός ελεγκτής. Το P αντιπροσωπεύει τις τρέχουσες τιμές του σφάλματος. Εάν το σφάλμα είναι μεγάλο και θετικό, η έξοδος ελέγχου θα είναι **αναλογικά** μεγάλη και θετική. Ο αναλογικός έλεγχος δεν χρησιμοποιείται ποτέ μόνος του, λόγω της αδυναμίας του να οδηγήσει το σφάλμα στο μηδέν.
- **D:** Διαφορικός ελεγκτής. Το D υπολογίζει πιθανές μελλοντικές τάσεις του σφάλματος, με βάση τον τρέχοντα ρυθμό μεταβολής. Ονομάζεται προληπτικός έλεγχος, καθώς προσπαθεί αποτελεσματικά να μειώσει την επίδραση του σφάλματος. Όσο ταχύτερη είναι η αλλαγή, τόσο μεγαλύτερο είναι το ελεγκτικό ή το επιβραδυντικό αποτέλεσμα.

2.3 Κιβώτιο βάσης

Επιλέχθηκε να προστεθεί στη βάση δοκιμών ένα κιβώτιο, Σχήμα 14. Σκοπός του κιβωτίου της βάσης είναι τα δύο ΗΣ, του οχήματος και της βάσης, εκτός από ταυτόχρονη στρέψη να έχουν και τον ίδιο αριθμό στροφών ανά μονάδα χρόνου. Αυτό εξαλείφει οποιεσδήποτε ασυμβατότητες μπορεί να προκύψουν λόγω διαφορετικών στροφών των ΗΣ.



Σχήμα 14: Προσθήκη Κιβωτίου στη βάση με σχέση μετάδοσης 1,829 προς 1. 1: Κινητήριος τροχός οχήματος, 2: Ράουλο, 3: Κιβώτιο βάσης, 4: Ηλεκτρικός κινητήρας βάσης, 5: Οδηγός ηλεκτρικού κινητήρα βάσης, 6: Πηγή ενέργειας/φορτίο ηλεκτρικού στοιχείου βάσης

Υπολογίστηκε ότι για να έχουν ίδιο αριθμό στροφών ανά μονάδα χρόνου τα ΗΣ, λαμβάνοντας υπόψη τις ακτίνες του κινητήριου τροχού του οχήματος και του ράουλου, η σχέση μετάδοσης του κιβωτίου πρέπει να είναι 1.829 προς 1. Η συγκεκριμένη σχέση μετάδοσης

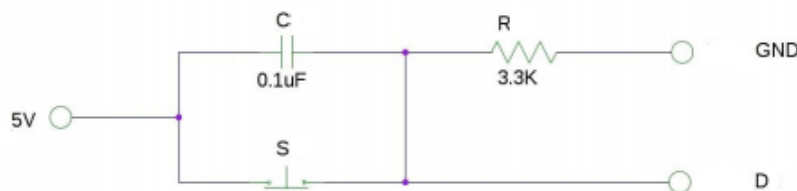
επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο οδοντωτών τροχών, Σχήμα 22. Οι οδοντωτοί τροχοί σχεδιάστηκαν με τυποποίηση module 1 [8]. Ο κινητήριος οδοντωτός τροχός έχει αρχική διάμετρο 35mm και διαθέτει 35 δόντια. Ο κινούμενος οδοντωτός τροχός έχει αρχική διάμετρο 64mm και διαθέτει 64 δόντια.

2.4 Ταχύμετρο

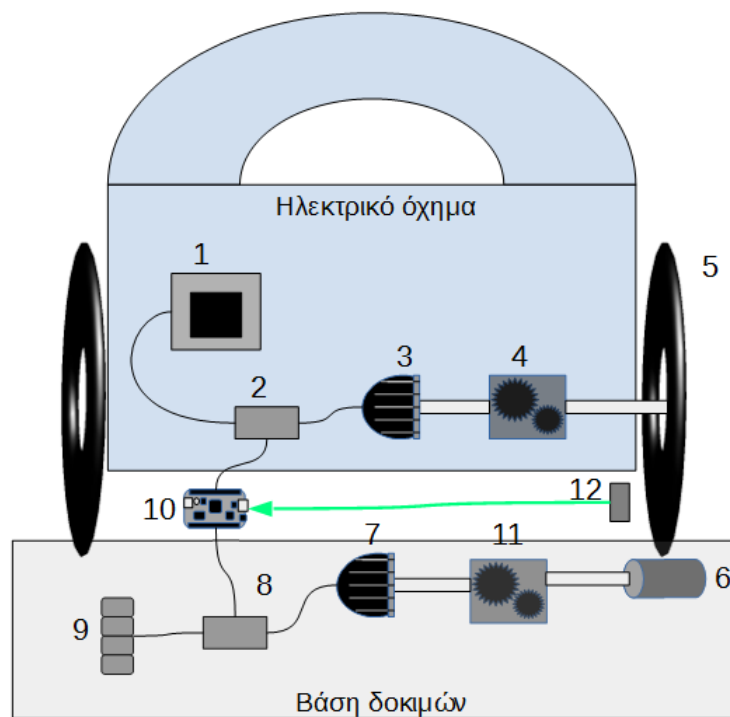
Για να ρυθμίζει ο μικροελεγκτής την ταχύτητα περιστροφής των ηλεκτροκινητήρων, θα πρέπει να γνωρίζει την τρέχουσα ταχύτητα περιστροφής τους, έτσι ώστε να προβαίνει σε μεταβολές, εφόσον αυτές χρειάζονται. Στη βάση δοκιμών δεν θα ελέγχεται ο αριθμός στροφών των ηλεκτροκινητήρων ανά μονάδα χρόνου, αλλά ο αριθμός στροφών του κινητήριου τροχού του οχήματος. Με βάση τη ταχύτητα περιστροφής του κινητήριου τροχού του οχήματος θα γίνονται οι μεταβολές στη στρέψη των ηλεκτροκινητήρων. Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήριου τροχού, θα μετράται με τη χρήση ταχυμέτρου.

Το ταχύμετρο θα αποτελείται από ένα μόνιμο μαγνήτη, ο οποίος θα είναι τοποθετημένος στο κινητήριο τροχό του οχήματος και από ένα αισθητήρα. Ο αισθητήρας είναι ένα ανοιχτό κύκλωμα το οποίο θα κλείνει με μαγνητικό διακόπτη [5], Σχήμα 15. Ο μαγνητικός διακόπτης τοποθετείται σε μικρή απόσταση, 0.3-0.5 cm, και στο ίδιο ύψος με τον μαγνήτη. Ενώ ο μαγνητικός διακόπτης μένει σταθερός στη θέση του, ο μαγνήτης κάνει περιστροφική κίνηση μαζί με το τροχό. Κάθε φορά που ο μαγνήτης και ο μαγνητικός διακόπτης ευθυγραμμίζονται, το κύκλωμα κλείνει, Σχήμα 24.

Το κύκλωμα είναι συνδεδεμένο με μία ψηφιακή θύρα του μικροελεγκτή, Σχήμα 15. Κάθε φορά που κλείνει το κύκλωμα ο μικροελεγκτής παίρνει από την ψηφιακή του θύρα την ένδειξη “ON”, ενώ όταν είναι ανοιχτό “OFF”. Ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο ενδείξεις “ON” είναι ο χρόνος μιας πλήρους περιστροφής του μαγνήτη και κατ’ επέκταση του τροχού. Ο ελάχιστος χρόνος πλήρους περιστροφής που μπορεί να ανιχνεύσει το ταχύμετρο με ακρίβεια, είναι 150 χιλιοστά του δευτερολέπτου.



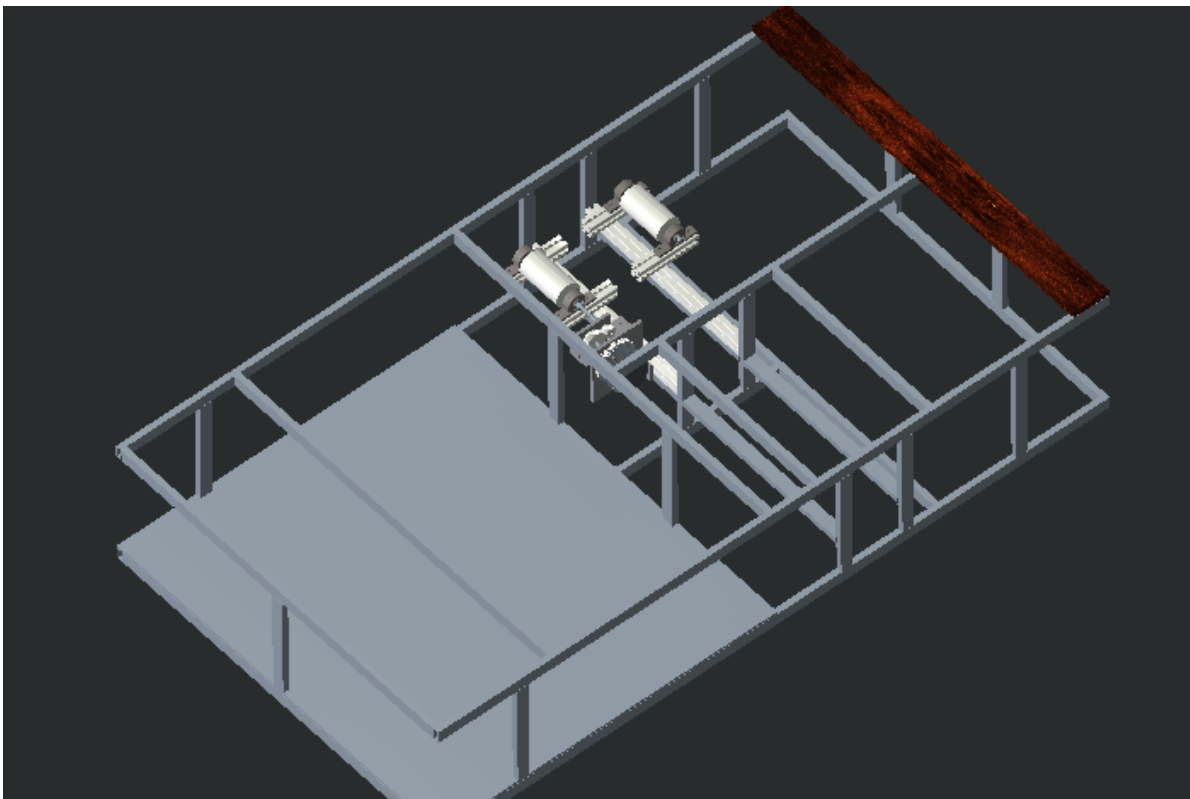
Σχήμα 15: Σχηματικό του ηλεκτρικού κυκλώματος του αισθητήρα του ταχυμέτρου. S:Μαγνητικός διακόπτης, C:πυκνωτής, R:Αντίσταση, GND:Γείωση, 5V:Τροφοδοσία-Μικροελεγκτής, D: Ψηφιακή θύρα.



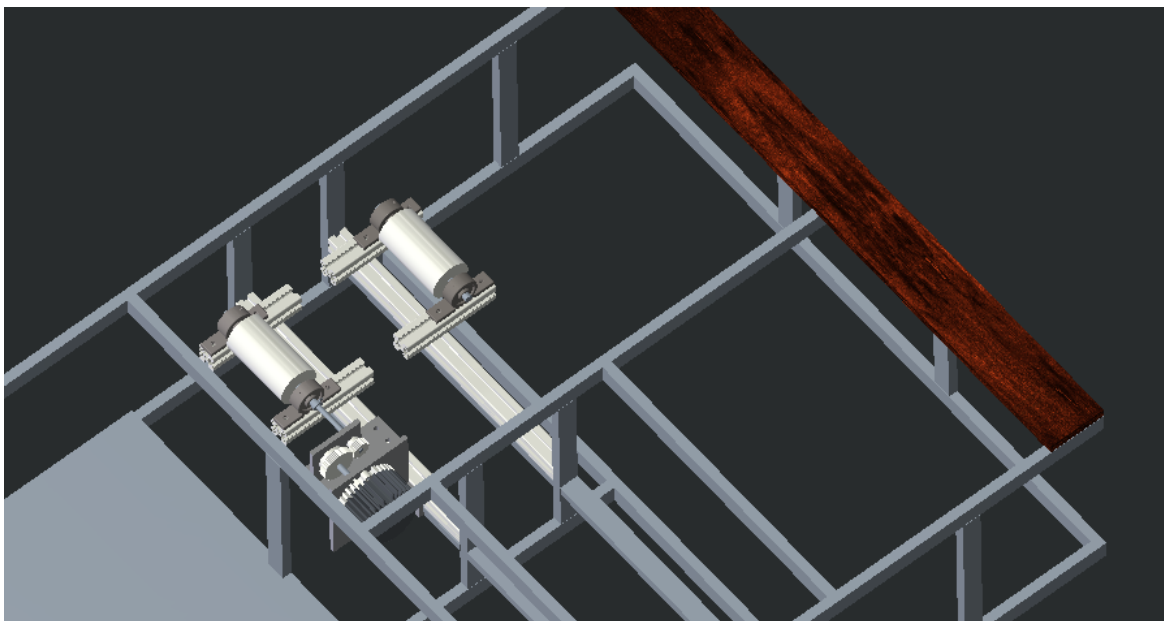
Σχήμα 16: Προσθήκη ταχυμέτρου στη βάση. Το πράσινο βέλος δείχνει τη ροή δεδομένων μεταξύ μικροελεγκτή και κυκλώματος ταχυμέτρου. 1: Πηγή ενέργειας/υπερπυκνωτές οχήματος, 2, 8: Οδηγός ΗΣ οχήματος και βάσης αντίστοιχα, 3, 7: ΗΣ οχήματος και βάσης αντίστοιχα 4, 11: Κιβώτιο οχήματος και βάσης αντίστοιχα, 5: Κινητήριος τροχός οχήματος, 6: Ράουλο, 10: μικροελεγκτής, 12: Κύκλωμα ταχυμέτρου, 9: Φορτίο/πηγή ενέργειας ΗΣ βάσης.

2.5 Βάση δοκιμών σχεδιασμένη σε πρόγραμμα CAD

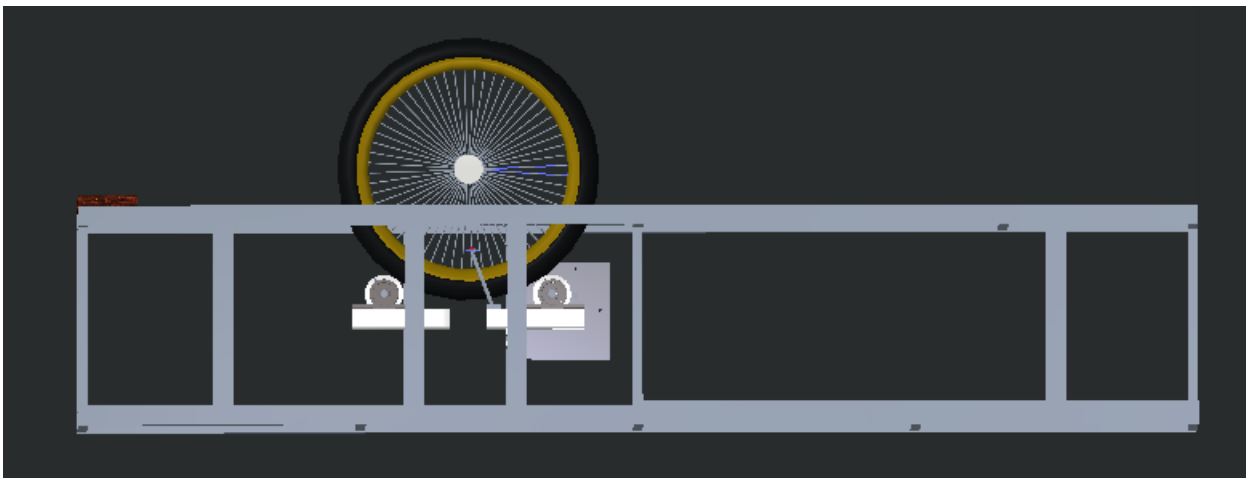
Οι αλλαγές που προτείνονται στην παρούσα εργασία για τη βάση δοκιμών, δεν έχουν υλοποιηθεί στην υπάρχουσα βάση. Γι' αυτό το λόγο, έχει σχεδιαστεί σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με χρήση του προγράμματος PTC Creo Parametrics 3.0 Academic and Student Edition, η βάση δοκιμών όπως θα είναι μετά τις αλλαγές, με πραγματικές διαστάσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται φωτογραφίες της βάσης όπως φαίνονται στο πρόγραμμα PTC Creo Parametrics 3.0.



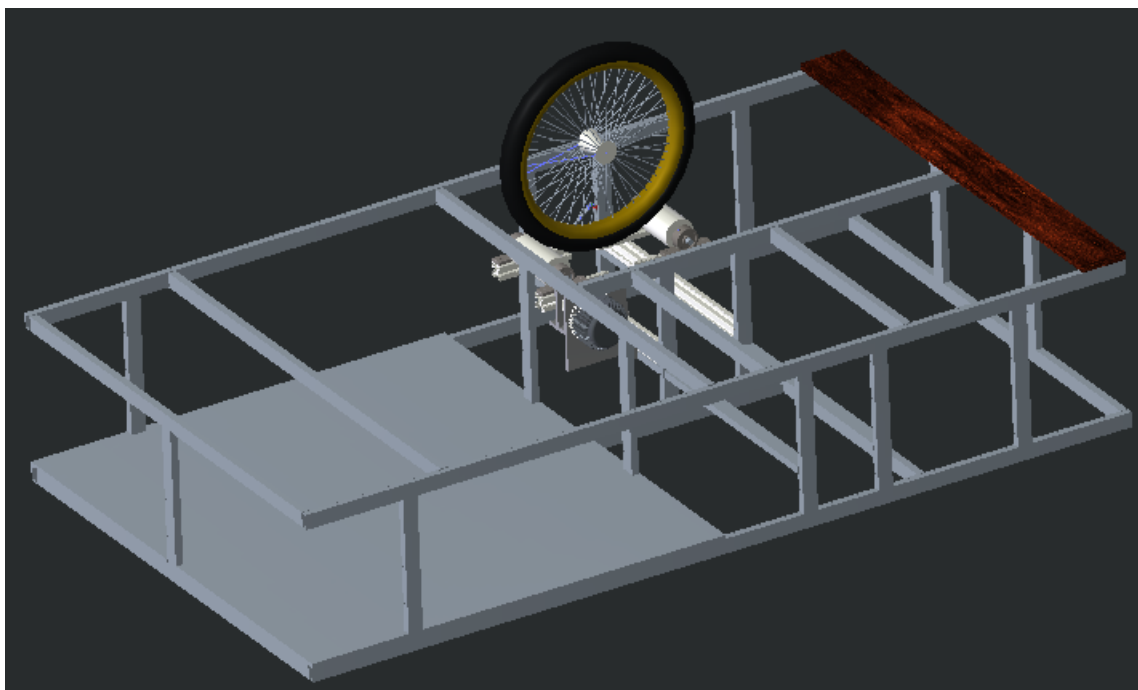
Σχήμα 17: Τρισδιάστατη αναπαράσταση βάσης δοκιμών



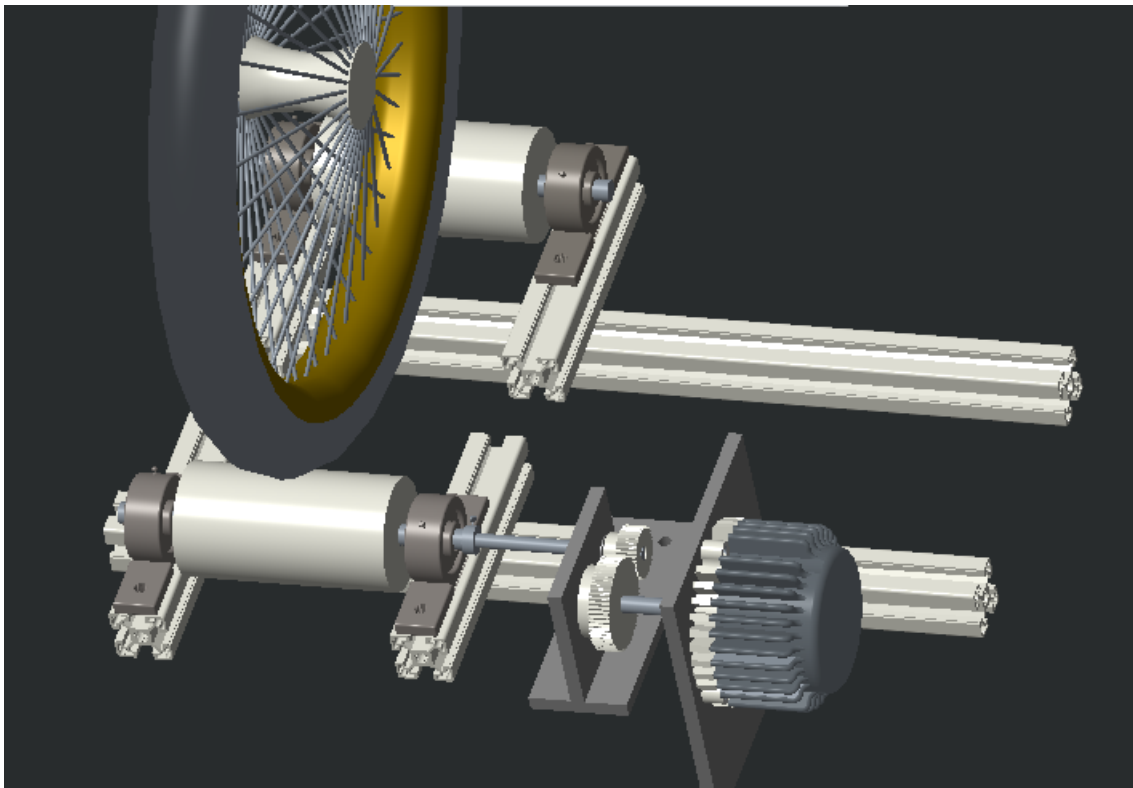
Σχήμα 18: Τρισδιάστατη αναπαράσταση βάσης δοκιμών



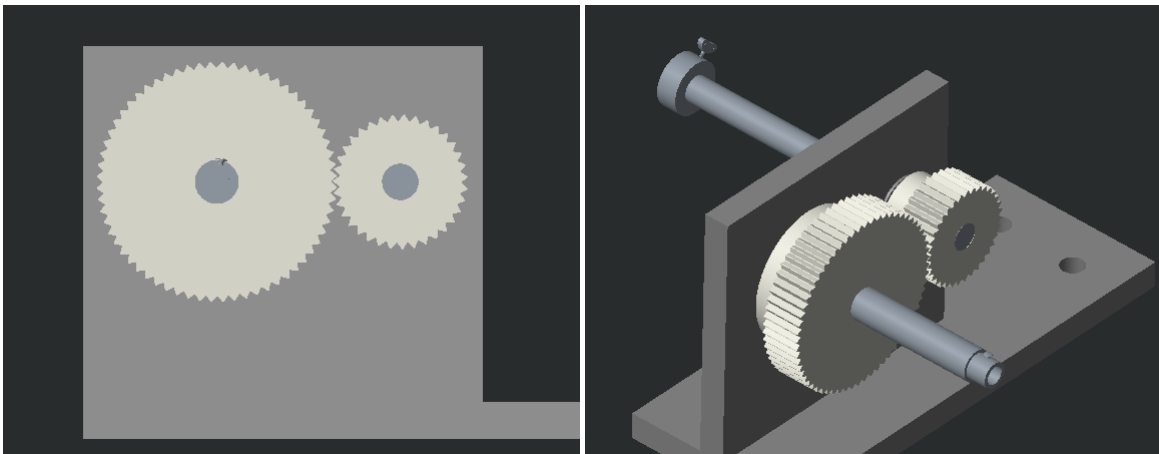
Σχήμα 19: Τρισδιάστατη αναπαράσταση βάσης δοκιμών και κινητήριου τροχού του οχήματος



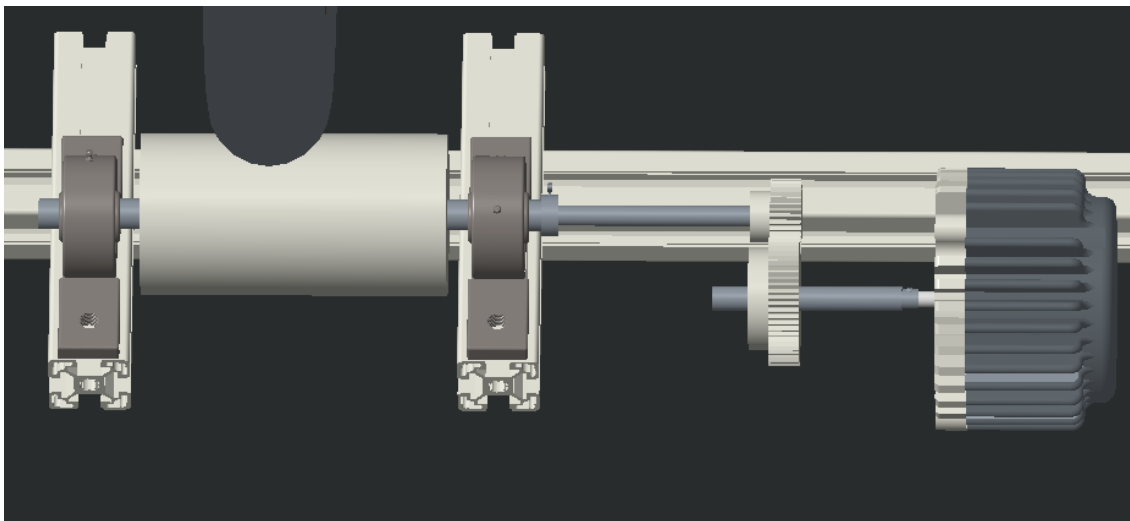
Σχήμα 20: Τρισδιάστατη αναπαράσταση βάσης δοκιμών και κινητήριου τροχού του οχήματος



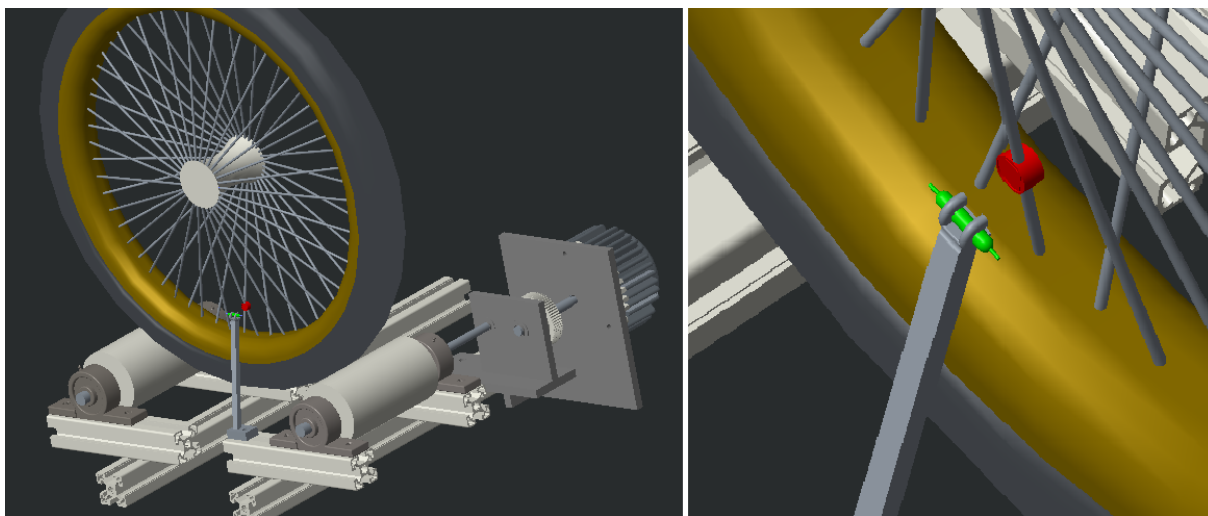
Σχήμα 21: Τρισδιάστατη αναπαράσταση εξοπλισμού βάσης δοκιμών. Στην εικόνα απεικονίζονται το ΗΣ της βάσης, το κιβώτιο της βάσης, το ράουλο και ο κινητήριος τροχός του οχήματος



Σχήμα 22: Τρισδιάστατη αναπαράσταση κιβωτίου βάσης.



Σχήμα 23: Τρισδιάστατη αναπαράσταση εξοπλισμού βάσης δοκιμών. Στην εικόνα απεικονίζονται το ΗΣ της βάσης, το κιβώτιο της βάσης, το ράουλο και ο κινητήριος τροχός του οχήματος



Σχήμα 24: Τρισδιάστατη αναπαράσταση εξοπλισμού βάσης δοκιμών με ταχύμετρο. Στην εικόνα απεικονίζονται το ΗΣ της βάσης, το κιβώτιο της βάσης, το ράουλο, ο κινητήριος τροχός του οχήματος, ο μαγνήτης του ταχυμέτρου με κόκκινο και ο μαγνητικός διακόπτης του ταχυμέτρου με πράσινο

3 Σύνταξη προγράμματος

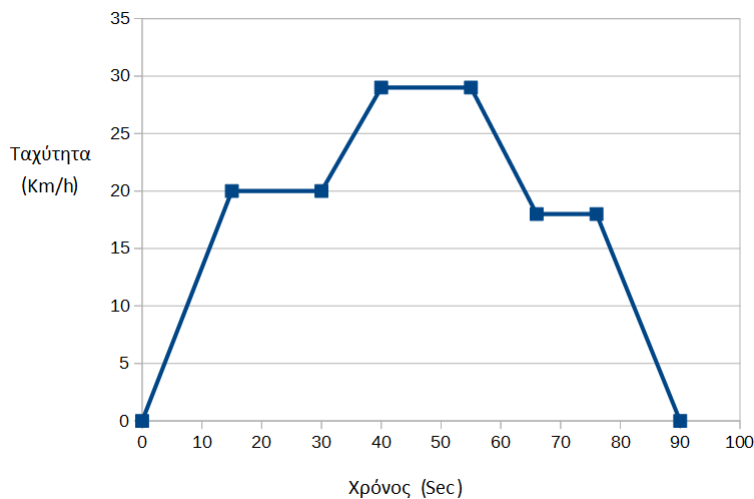
Στη βάση δοκιμών θα προσομοιώνονται τρία είδη κινήσεων. Επιταχυνόμενη κίνηση, κίνηση με σταθερή ταχύτητα και επιβραδυνόμενη κίνηση. Με την επιταχυνόμενη και την κίνηση με σταθερή ταχύτητα θα γίνεται η μέτρηση της κατανάλωσης. Ενώ με την επιβραδυνόμενη κίνηση θα γίνεται η μέτρηση της ανακτωμένης ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι η μόνη πέδηση που θα ασκείται στον κινητήριο τροχό του οχήματος θα είναι αυτή του εργομέτρου.

3.1 Πρωτόκολλο Επικοινωνίας-Εισαγωγή Δεδομένων Προσομοίωσης

Για να πραγματοποιηθεί στη βάση η οποιαδήποτε δοκιμή απαιτείται από το χρήστη να εισάγει τα δεδομένα που τη χαρακτηρίζουν. Με άλλα λόγια να εισάγει το σενάριο της προσομοίωσης. Το μέσω επικοινωνίας χρήστη - μικροελεγκτή θα είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Το σενάριο μπορεί να είναι είτε ένα αρχείο που δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια του διαγωνισμού του οχήματος στο μαραθώνιο της Shell είτε ένα αρχείο που δημιουργήθηκε από το χρήστη πριν την προσομοίωση και αποτελεί απλούστευση του πρώτου.

Το αρχείο που αποτελεί απλούστευση αυτού της πίστας είναι ιδανικό για τις περιπτώσεις όπου χρήστης θέλει να κάνει μια γρήγορη δοκιμή. Τα δεδομένα του θα έχουν ίδια μορφή με το αρχείο του διαγωνισμού. Θα αποτελείται από γραμμές με τρεις στήλες. Η κάθε γραμμή ονομάζεται γραμμή σεναρίου και το σύνολο των γραμμών, σενάριο προσομοίωσης. Οι στήλες εκφράζουν τα εξής:

- Στη πρώτη στήλη μπαίνει ο χρόνος. Για την ακρίβεια μπαίνουν οι χρονικές στιγμές οι οποίες λειτουργούν ως οδηγός του σεναρίου. Δύο διαδοχικές γραμμές σεναρίου ορίζουν ένα χρονικό διάστημα. Σε κάθε χρονικό διάστημα προσομοιώνεται ένα είδος κίνησης. Αυτό μπορεί να είναι επιτάχυνση, επιβράδυνση ή κίνηση με σταθερή ταχύτητα. Μόλις τελειώσει κάποιο χρονικό διάστημα, ανάλογα και με το σενάριο, το όχημα δοκιμάζεται σε διαφορετικό είδος κίνησης.
- Στη δεύτερη στήλη μπαίνει η ταχύτητα. Στα σενάρια προσομοίωσης ο ρυθμός αύξησης ή μείωσης της ταχύτητας είναι σταθερός. Επίσης όπως προαναφέρθηκε σε κάθε χρονικό διάστημα το όχημα θα δοκιμάζεται σε ένα από τα τρία είδη κίνησης. Οπότε συγκρίνοντας τις δεύτερες στήλες δύο διαδοχικών γραμμών, ο μικροελεγκτής καταλαβαίνει το είδος της κίνησης που πρέπει να προσομοιώσει.
- Στη τρίτη στήλη μπαίνει το φορτίο. Αυτή η στήλη αφορά την ενέργεια που θα καταναλώνει το φορτίο που είναι συνδεδεμένο στο ΗΣ της βάσης για μετρήσεις κατανάλωσης. Το φορτίο παραμένει σταθερό για κάθε χρονικό διάστημα. Οπότε, σε ένα χρονικό διάστημα, θα εφαρμόζεται το φορτίο στον κινητήριο τροχό του οχήματος που αναγράφεται στη τρίτη στήλη της γραμμής σεναρίου, που ορίζει την αρχή ενός χρονικού διαστήματος.



Σχήμα 25: Σενάριο προσομοίωσης με μορφή διαγράμματος ταχύτητας-χρόνου. Από 0 έως 15 sec το σενάριο απαιτεί επιτάχυνση. Από 15 sec έως 30 sec απαιτεί σταθερή ταχύτητα. Από 30 sec έως 40 sec απαιτεί επιτάχυνση. Από 40 sec έως 55 sec απαιτεί σταθερή ταχύτητα. Από 55 sec έως 66 sec απαιτεί επιβράδυνση. Από 66 sec έως 76 sec απαιτεί σταθερή ταχύτητα. Τέλος, από 76 sec έως 90 sec το σενάριο απαιτεί επιβράδυνση

Στο Σχήμα 25 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα σεναρίου προσομοίωσης που διαρκεί 90 δευτερόλεπτα (90 sec). Οι τιμές ταχύτητας και ο χρόνος μεταβολής της, δεν αντιστοιχούν στη πραγματικότητα και δημιουργήθηκαν με σκοπό μόνο την κατανόηση του τρόπου διαχείρισης των γραμμών σεναρίου, από τον μικροελεγκτή, για την υλοποίηση ενός σεναρίου. Οι πραγματικές τιμές θα προκύπτουν από προσομοιώσεις σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με το πρόγραμμα “CarMaker” όπως προαναφέρθηκε. Επίσης η τρίτη στήλη της γραμμής σεναρίου δεν παρουσιάζεται στο παράδειγμα.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα το σενάριο αποτελείται από 8 χρονικές στιγμές δηλαδή 8 γραμμές σεναρίου, Πίνακας 3.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία 7 χρονικών διαστημάτων. Το 1ο διάστημα είναι από 0 sec έως 15 sec. Το 2ο από 15 sec έως 30 sec, όμοια δημιουργούνται και τα άλλα 5 διαστήματα.

Ο μικροελεγκτής συγκρίνει τις δεύτερες στήλες δύο διαδοχικών γραμμών σεναρίου, δηλαδή συγκρίνει τις ταχύτητες των χρονικών στιγμών που ορίζουν την αρχή και το τέλος ενός χρονικού διαστήματος. Στο 1ο διάστημα συγκρίνει το 0km/h με το 20km/h. Στο τέλος του διαστήματος η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα στην αρχή. Οπότε σε αυτό το διάστημα το σενάριο απαιτεί επιτάχυνση. Με τον ίδιο τρόπο συγκρίνοντας τις ταχύτητες του 2ου διαστήματος, ο μικροελεγκτής τις βρίσκει ίσες (20km/h=20km/h). Οπότε σε αυτό το διάστημα το όχημα προσομοιώνει κίνηση με σταθερή ταχύτητα. Στο χρονικό διάστημα από 55 sec έως 66 sec, η ταχύτητα στο τέλος του διαστήματος, είναι μικρότερη απ’ ότι στην αρχή (29km/h>18km/h). Άρα στο διάστημα αυτό το σενάριο απαιτεί επιβράδυνση. Με τον ίδιο τρόπο ο μικροελεγκτής ελέγχει και υλοποιεί κάθε είδους κίνησης του σεναρίου.

| Χρονική στιγμή (sec) | Ταχύτητα (km/h) |
|----------------------|-----------------|
| 0 | 0 |
| 15 | 20 |
| 30 | 20 |
| 40 | 29 |
| 55 | 29 |
| 66 | 18 |
| 76 | 18 |
| 90 | 0 |

Πίνακας 3: Πίνακας χρόνου-ταχύτητας του παραδείγματος σεναρίου προσομοίωσης

Ο ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής του κινητήριου τροχού είναι σταθερός. Έτσι ο μικροελεγκτής μπορεί εύκολα να υπολογίσει την επιθυμητή ταχύτητα του κινητήριου τροχού κάθε χρονικής στιγμής του σεναρίου.

3.2 Πρόγραμμα εκτέλεσης σεναρίου προσομοίωσης

Το πρόγραμμα εκτέλεσης του σεναρίου προσομοίωσης παρουσιάζεται με δύο τρόπους:

- Διάγραμμα ροής
- Διάγραμμα μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων

3.2.1 Διάγραμμα μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων προγράμματος σεναρίου προσομοίωσης

Στο Παράρτημα Α' φαίνεται το διάγραμμα μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων του προγράμματος υλοποίησης σεναρίου προσομοίωσης. Στο Παράρτημα Α'.1 φαίνονται οι καταστάσεις της μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων του προγράμματος υλοποίησης σεναρίου προσομοίωσης και στο Παράρτημα Α'.2 οι μεταβάσεις του.

Παρατηρήσεις στο διάγραμμα:

- Τα δεδομένα που εισάγονται είναι ένα αρχείο. Όπως προαναφέρθηκε το αρχείο θα είναι είτε το αρχείο από διαγωνισμό του οχήματος στο μαραθώνιο της Shell είτε μια απλουστευμένη μορφή του. Αν δεν γίνει εισαγωγή δεδομένων δεν ξεκινούν οι δοκιμές.
- Η αποκωδικοποίηση του σεναρίου είναι η διαδικασία που ο μικροελεγκτής ελέγχει τις γραμμές σεναρίου για την προσομοίωση μιας εκ' των τριών κινήσεων, επιτάχυνση, επιβράδυνση ή κίνηση με σταθερή ταχύτητα.
- Αν το σενάριο απαιτεί επιτάχυνση ή κίνηση με σταθερή ταχύτητα γίνεται η μέτρηση της κατανάλωσης. Αν απαιτεί επιβράδυνση γίνεται η μέτρηση της ανακτωμένης ενέργειας.

- Κατά τη δοκιμή της δυναμομέτρησης το ΗΣ του οχήματος χρησιμοποιείται ως ηλεκτρικός κινητήρας και το ΗΣ της βάσης ως γεννήτρια. Κατά τη δοκιμή της ανακτωμένης ενέργειας συμβαίνει το αντίστροφο.
- Η διάρκεια των δοκιμών κατανάλωσης ή ανακτωμένης ενέργειας εξαρτάται από το χρόνο που επιβάλλει το σενάριο για την προσομοίωση μιας εκ' των τριών κινήσεων.
- Μετά το τέλος της χρονικής διάρκειας προσομοίωσης μιας κίνησης, ελέγχεται το σενάριο για να διαπιστωθεί αν πρέπει να προσομοιωθούν άλλες κινήσεις ή το σενάριο έχει τελειώσει.

3.2.2 Διάγραμμα ροής προγράμματος σεναρίου προσομοίωσης

Στο Παράρτημα Β' φαίνεται το διάγραμμα ροής του προγράμματος για την υλοποίηση του σεναρίου προσομοίωσης. Μετά την εισαγωγή των δεδομένων ξεκινά να υλοποιείται το εκάστοτε σενάριο και παράλληλα ξεκινά και η μέτρηση της ταχύτητας του τροχού του οχήματος. Η χρήση των ΗΣ, ως ηλεκτρικό κινητήρα ή γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος, εξαρτάται από το σενάριο και όχι από την ταχύτητα περιστροφής του τροχού του οχήματος.

Παρακάτω περιγράφεται η εκτέλεση του προγράμματος όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής, Παράρτημα Β'. Τα κουτιά του διαγράμματος παρουσιάζονται σε βήματα με τη σειρά που εκτελούνται.

1. Εισαγωγή αρχείου δεδομένων για την υλοποίηση της προσομοίωσης. Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.1 το αρχείο θα είναι είτε το αρχείο από διαγωνισμό του οχήματος στο μαραθώνιο της Shell είτε μια απλουστευμένη μορφή του.
2. Αρχή χρονομέτρησης του σεναρίου. Με βάση την τιμή του χρονομέτρου ελέγχεται η ταχύτητα στρέψης του κινητήριου τροχού του οχήματος.
3. Αποκωδικοποίηση σεναρίου. Έλεγχος των γραμμών του σεναρίου για τη επιλογή της κίνησης που θα προσομοιωθεί. Οι γραμμές που θα ελεγχθούν επιλέγονται με βάση την τιμή του χρονομέτρου. Ο τρόπος ελέγχου αναλύεται στο κεφάλαιο 3.1.
4. Κατά την αποκωδικοποίηση αν το σενάριο απαιτεί επιβράδυνση, που σημαίνει μέτρηση της ανακτωμένης ενέργειας, κεφάλαιο 2.1.2:
 - (α') Αν χρησιμοποιηθεί το ηλεκτρονικό φορτίο ως φορτίο του ΗΣ της βάσης, κεφάλαιο 2.3.1, πρέπει να αποσυνδεθεί και να συνδεθεί μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος.
 - (β') Οδήγηση του ΗΣ της βάσης ως ηλεκτρικό κινητήρα και του ΗΣ του οχήματος ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος.
 - (γ') Έλεγχος της ταχύτητας του κινητήριου τροχού του οχήματος. Αν η ταχύτητα στρέψης δεν είναι η επιθυμητή, μεταβάλλεται η ταχύτητα στρέψης του ΗΣ της βάσης.
 - (δ') Αν δεν έχει τελειώσει η χρονική διάρκεια της τρέχουσας γραμμής σεναρίου, σύμφωνα με το χρονόμετρο και το σενάριο, γίνεται επιστροφή στο βήμα 4.(γ').

- (ε΄) Αν έχει τελειώσει η χρονική διάρκεια της τρέχουσας γραμμής σεναρίου, σύμφωνα με το χρονόμετρο και το σενάριο:
 - i. Αν δεν έχει τελειώσει η χρονική διάρκεια ολόκληρου του σεναρίου, σύμφωνα με το χρονόμετρο και το σενάριο, γίνεται επιστροφή στο βήμα 3..
 - ii. Αν έχει τελειώσει η χρονική διάρκεια ολόκληρου του σεναρίου, σύμφωνα με το χρονόμετρο και το σενάριο, γίνεται τερματισμός του προγράμματος.
- 5. Κατά την αποκωδικοποίηση αν το σενάριο απαιτεί επιτάχυνση ή κίνηση με σταθερή ταχύτητα, που σημαίνει μέτρηση της κατανάλωσης, κεφάλαιο 2.1.1:
 - (α΄) Οδήγηση του ΗΣ της βάσης ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος και του ΗΣ του οχήματος ως ηλεκτρικό κινητήρα.
 - (β΄) Εφαρμογή του φορτίου της τρέχουσας γραμμής σεναρίου στο ΗΣ της βάσης.
 - (γ΄) Έλεγχος της ταχύτητας του κινητήριου τροχού του οχήματος. Αν η ταχύτητα στρέψης δεν είναι η επιθυμητή, μεταβάλλεται η ταχύτητα στρέψης του ΗΣ του οχήματος.
 - (δ΄) Αν δεν έχει τελειώσει η χρονική διάρκεια της τρέχουσας γραμμής σεναρίου, σύμφωνα με το χρονόμετρο και το σενάριο, γίνεται επιστροφή στο βήμα 5.(γ΄).
 - (ε΄) Αν έχει τελειώσει η χρονική διάρκεια της τρέχουσας γραμμής σεναρίου, σύμφωνα με το χρονόμετρο και το σενάριο:
 - i. Αν δεν έχει τελειώσει η χρονική διάρκεια ολόκληρου του σεναρίου, σύμφωνα με το χρονόμετρο και το σενάριο, γίνεται επιστροφή στο βήμα 3..
 - ii. Αν έχει τελειώσει η χρονική διάρκεια ολόκληρου του σεναρίου, σύμφωνα με το χρονόμετρο και το σενάριο, γίνεται τερματισμός του προγράμματος.

3.2.3 Πρόγραμμα ελέγχου και μεταβολής της ταχύτητας στρέψης των ηλεκτροκινητήρων

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά με χρήση διαγράμματος ροής, Παράρτημα Β΄.1, τα κίτρινα κουτιά του Παράρτημα Β΄. Τα κουτιά του διαγράμματος παρουσιάζονται σε βήματα με τη σειρά που εκτελούνται.

1. Εισαγωγή ταχύτητας του τροχού του οχήματος από το πρόγραμμα του ταχυμέτρου.
2. Σύγκριση ταχύτητας του τροχού με αυτή που απαιτεί το σενάριο τη χρονική στιγμή που γίνεται ο έλεγχος.
3. Αν η ταχύτητα περιστροφής του κινητήριου τροχού είναι διαφορετική από την επιθυμητή:
 - (α΄) Αποστολή της επιθυμητής ταχύτητας στον οδηγό του εκάστοτε ηλεκτροκινητήρα. Η επιθυμητή ταχύτητα υπολογίζεται με βάση την τιμή του χρονομέτρου και το σενάριο. Η διορθωμένη ταχύτητα που πρέπει να σταλεί στον οδηγό του εκάστοτε ηλεκτροκινητήρα υπολογίζεται με το λογισμικό του ελεγκτή PD.

(β') Τέλος τμήματος προγράμματος και συνέχιση του προγράμματος υλοποίησης σεναρίου προσομοίωσης

4. Αν η ταχύτητα περιστροφής του κινητήριου τροχού είναι ίδια με την επιθυμητή:

(α') Τέλος τμήματος προγράμματος και συνέχιση του προγράμματος υλοποίησης σεναρίου προσομοίωσης

3.3 Πρόγραμμα ταχυμέτρου

Το πρόγραμμα του ταχυμέτρου θα τρέχει ανεξάρτητα από το πρόγραμμα εκτέλεσης σεναρίου προσομοίωσης. Με τη χρήση ενός software interrupt [6] θα τρέχει το πρόγραμμα του ταχυμέτρου με συχνότητα 1kHz, δηλαδή κάθε ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου.

Αρχικά στο πρόγραμμα του ταχυμέτρου έχουν αρχικοποιηθεί οι τιμές 2 μετρητών. Ο πρώτος μετρητής έχει τιμή 150 και θα αναφέρεται στη συνέχεια ως μετρητής Α. Η τιμή αυτή εκφράζει χιλιοστά του δευτερολέπτου και δεν είναι τυχαία, καθώς τα 150 χιλιοστά του δευτερολέπτου είναι ο ελάχιστος χρόνος μιας στροφής του τροχού του οχήματος, όπου η ταχύτητα μετράται με ακρίβεια. Μια στροφή του κινητήριου τροχού σε 150 ms (milliseconds) αντιστοιχεί σε 40 χιλιόμετρα ανά ώρα (40 km/h). Το όχημα δεν έχει τη δυνατότητα να φτάσει αυτή την ταχύτητα οπότε όλες οι μετρήσεις θα είναι ακριβείς. Ο δεύτερος μετρητής έχει αρχική τιμή 0 (μηδέν) και θα αναφέρεται στη συνέχεια ως μετρητής Β. Όμοια με τον μετρητή Α και αυτός εκφράζει χιλιοστά του δευτερολέπτου και μετρά το χρόνο μιας πλήρους περιστροφής του τροχού του οχήματος. Οι μετρητές μόλις μεταβληθούν επανέρχονται στην αρχική τους τιμή μόνο με εντολή του προγράμματος. Στο Παράρτημα Γ' φαίνεται το διάγραμμα ροής του προγράμματος του ταχυμέτρου.

Παρακάτω περιγράφεται η εκτέλεση του προγράμματος όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής, Σχήμα Γ'. Τα κουτιά του διαγράμματος παρουσιάζονται σε βήματα με τη σειρά που εκτελούνται.

1. Το πρόγραμμα αναμένει εντολή έναρξης. Η εντολή έναρξης δίνεται κάθε 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου. Η έναρξη εκτέλεσης του προγράμματος για πρώτη φορά, συμπίπτει με την έναρξη εκτέλεσης του σεναρίου προσομοίωσης.

2. Γίνεται έλεγχος αν το κύκλωμα είναι κλειστό. Το κύκλωμα κλείνει κάθε φορά που μαγνητικός διακόπτης και ο μαγνήτης βρίσκονται στο ίδιο ύψος, κεφάλαιο 2.4.

3. Αν το κύκλωμα είναι κλειστό:

(α') Αν έχει περάσει ο ελάχιστος χρόνος πλήρους στροφής του τροχού του οχήματος, δηλαδή ο μετρητής Α είναι 0:

ι. Υπολογίζεται ο αριθμός στροφών του τροχού το δευτερόλεπτο. Υπολογίζεται διαιρώντας το 1000 με τη τιμή του μετρητή Β.

- ii. Μετατροπή των στροφών ανά δευτερόλεπτο σε km/h. Υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τις στροφές ανά δευτερόλεπτο με την περίμετρο του τροχού και το 3,6 ($=3600/1000$).
 - iii. Αποστολή της ταχύτητας και της τιμής του μετρητή B στον μικροελεγκτή για έλεγχο, προβολή και αποθήκευση.
 - iv. Επαναφορά των μετρητών στις αρχικές τους τιμές.
 - v. Αν έχει δοθεί εντολή τέλους, τέλος προγράμματος
 - vi. Αν δεν έχει δοθεί εντολή τέλους επιστροφή στο βήμα 1..
- (β') Αν δεν έχει περάσει ο ελάχιστος χρόνος πλήρους στροφής του τροχού του οχήματος, δηλαδή ο μετρητής A είναι θετικός:
- i. Μείωση του μετρητή A κατά 1 μονάδα. Δεν έχει νόημα ο υπολογισμός της ταχύτητας αν η πλήρη περιστροφή του τροχού είναι μικρότερη από 150 ms γιατί κατά πάσα πιθανότητα θα είναι λάθος.
 - ii. Αν έχει δοθεί εντολή τέλους, τέλος προγράμματος
 - iii. Αν δεν έχει δοθεί εντολή τέλους επιστροφή στο βήμα 1..

4. Αν το κύκλωμα είναι ανοιχτό:

- (α') Αν έχει περάσει ο ελάχιστος χρόνος πλήρους στροφής του τροχού του οχήματος, δηλαδή ο μετρητής A είναι 0:
- i. Αν ο χρόνος πλήρους στροφής της ρόδας έχει περάσει τα 2 δευτερόλεπτα, δηλαδή ο μετρητής B είναι μεγαλύτερος από 2000:
 - A'. Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήριου τροχού είναι μηδεν (0km/h)..
 - B'. Αν έχει δοθεί εντολή τέλους, τέλος προγράμματος
 - Γ'. Αν δεν έχει δοθεί εντολή τέλους επιστροφή στο βήμα 1..
 - ii. Ο χρόνος πλήρους στροφής της ρόδας δεν έχει περάσει τα 2 δευτερόλεπτα, δηλαδή ο μετρητής B είναι μικρότερος από 2000:
 - A'. Αύξηση του μετρητή B κατά 1 μονάδα
 - B'. Αν έχει δοθεί εντολή τέλους, τέλος προγράμματος
 - Γ'. Αν δεν έχει δοθεί εντολή τέλους επιστροφή στο βήμα 1..
- (β') Δεν έχει περάσει ο ελάχιστος χρόνος πλήρους στροφής του τροχού του οχήματος, δηλαδή ο μετρητής A είναι θετικός:
- i. Μείωση του μετρητή A κατά 1 μονάδα. Δεν έχει νόημα ο υπολογισμός της ταχύτητας αν η πλήρη περιστροφή του τροχού είναι μικρότερη από 150 ms γιατί κατά πάσα πιθανότητα θα είναι λάθος.
 - ii. Αν έχει δοθεί εντολή τέλους, τέλος προγράμματος
 - iii. Αν δεν έχει δοθεί εντολή τέλους επιστροφή στο βήμα 1..

3.4 Πρόγραμμα Αποθήκευσης και Εκτύπωσης Αποτελεσμάτων Δοκιμών

Στο Παράρτημα Δ' φαίνεται το διάγραμμα ροής του προγράμματος που εκτελείται από τον μικροελεγκτή για την αποθήκευση των δεδομένων των δοκιμών του οχήματος στη βάση, καθώς και την εκτύπωσή τους στην οθόνη για την παρακολούθησή τους από το χρήστη σε πραγματικό χρόνο. Το πρόγραμμα τερματίζεται μόνο με εισαγωγή εντολής τερματισμού από το χρήστη.

Παρακάτω περιγράφεται η εκτέλεση του προγράμματος όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής, Παράρτημα Δ'. Τα κουτιά του διαγράμματος παρουσιάζονται σε βήματα με τη σειρά που εκτελούνται.

1. Αναμονή επικοινωνίας του ηλεκτρονικού υπολογιστή με τον μικροελεγκτή
2. Δημιουργία αρχείου αποθήκευσης των δεδομένων των δοκιμών του οχήματος στη βάση. Το αρχείο που δημιουργείται έχει την ίδια δομή με το αρχείο δεδομένων του σεναρίου προσομοίωσης που εισάγεται στο μικροελεγκτή.
3. Αρχή χρονομέτρου. Το χρονόμετρο "τρέχει" παράλληλα με αυτό του προγράμματος υλοποίησης του σεναρίου προσομοίωσης.
4. Αναμονή εντολής τερματισμού προγράμματος.
5. Αν έχει δοθεί εντολή τέλους του προγράμματος, τερματισμός προγράμματος
6. Αν δεν έχει δοθεί εντολή τέλους του προγράμματος:
 - (α') Εντολή έναρξης προγράμματος ταχυμέτρου.
 - (β') Αποθήκευση ταχύτητας από το ταχύμετρο καθώς και το χρόνο που δείχνει το χρονόμετρο τη στιγμή εισαγωγής της ταχύτητας.
 - (γ') Εκτύπωση στην οθόνη της ταχύτητας και του χρόνου που αποθηκεύτηκαν στο αρχείο.
 - (δ') Επιστροφή στο βήμα 4

4 Επίλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία, έχει στόχο τη δημιουργία μιας βάσης δοκιμών η οποία θα προσομοιώνει όσο το δυνατόν καλύτερα τις δοκιμές των οχημάτων σε εξωτερικό χώρο. Η ομάδα TUCER θα είναι σε θέση να διεξάγει δοκιμές αρκετά συχνά, λόγω του μειωμένου χρόνου και της ευκολίας διεξαγωγής δοκιμών με τη χρήση της βάσης, με αποτέλεσμα την αυξημένη δυνατότητα πειραματισμού, για τη βελτίωση της κατανάλωσης ενέργειας των οχημάτων της.

Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας δοκιμών με χρήση μικροελεγκτή, θα δίνει τη δυνατότητα στην ομάδα να συγκρίνει και να επιλέγει τον εξοπλισμό και τις πολιτικές διαχείρισης ενέργειας που θα μειώνουν ακόμη περισσότερο την κατανάλωση του οχήματος. Αυτό γιατί ο μικροελεγκτής έχει τη δυνατότητα να εκτελεί ένα σενάριο δοκιμών επανειλημμένα και με ακρίβεια. Οπότε, κατά τον πειραματισμό, η παραμικρή μείωση της κατανάλωσης του οχήματος θα γίνεται αντιληπτή από την ομάδα. Επίσης, η αυτοματοποίηση των δοκιμών απλουστεύει τη διαδικασία, διότι εφόσον έχουν δημιουργηθεί τα σενάρια, όλη η διαδικασία θα υλοποιείται από τον μικροελεγκτή.

Στη βάση θα μετράται και η ανακτώμενη ενέργεια των οχημάτων με τη χρήση του ΗΣ της βάσης. Όπως ήταν δομημένη η προηγούμενη βάση αυτό δεν ήταν δυνατό. Η μείωση της κατανάλωσης λόγω της ανάκτησης ενέργειας δεν είναι καθόλου αμελητέα. Η βάση θα δώσει τη δυνατότητα περαιτέρω πειραματισμού, έτσι ώστε η ομάδα να μπορεί να εκμεταλλευτεί την ανάκτηση στο έπακρο.

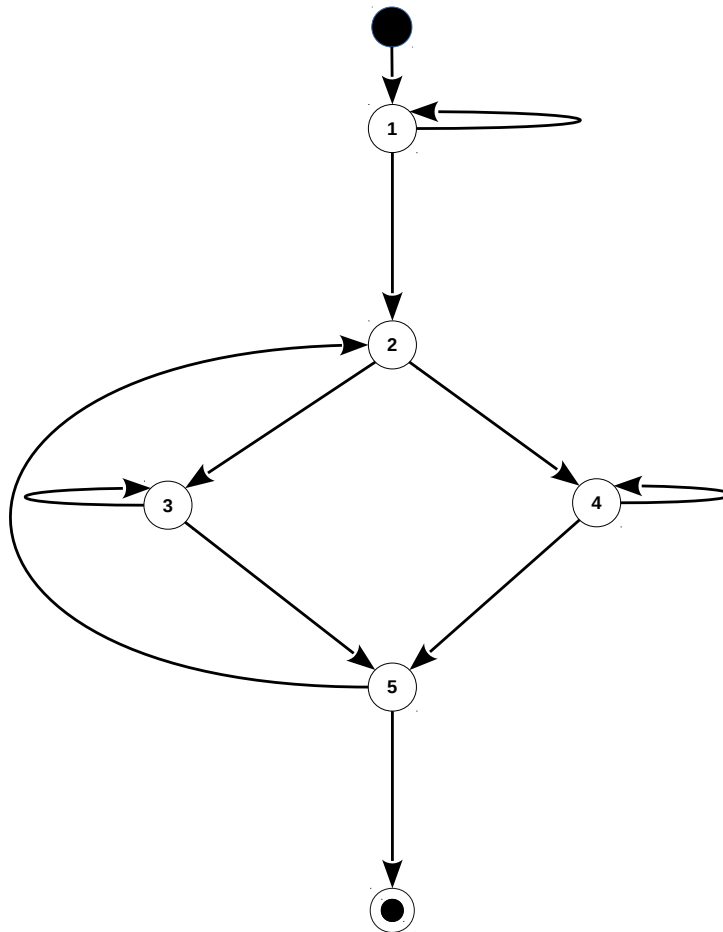
Με τη χρήση του ΗΣ της βάσης ως εργόμετρο, η ομάδα θα είναι σε θέση να μετρήσει την κατανάλωση με εφαρμογή πολλαπλών φορτίων στον κινητήριο τροχό του οχήματος, ενώ με το προηγούμενο εργόμετρο μπορούσε μόνο με εφαρμογή 10 διακριτών τιμών φορτίων. Έτσι, θα έχει τη δυνατότητα να κατασκευάσει πιο ρεαλιστικά σενάρια, μπορώντας να προσομοιώσει διάφορες κλίσεις του οδοστρώματος ή και να μετρήσει την κατανάλωση με διαφοροποιήσεις του βάρους του οχήματος. Οπότε η ομάδα θα έχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της κατανάλωσης των οχημάτων που κατασκευάζει.

Όσον αφορά το σενάριο που θα προσομοιώνεται στη βάση θα είναι είτε η διαδρομή της πίστας του διαγωνισμού της Shell είτε μια πλασματική διαδρομή. Η ομάδα θα μπορεί να κατασκευάσει τα σενάρια που θεωρεί ότι θα εξυπηρετούν τις ανάγκες της, θα τα αποθηκεύει και θα τα χρησιμοποιεί ανάλογα με τις δοκιμές. Αυτό σημαίνει ότι δεν θα χρειάζεται πριν από κάθε δοκιμή να δημιουργείται ένα νέο σενάριο. Θα τοποθετείται το όχημα στη βάση, θα επιλέγεται το σενάριο και θα πραγματοποιείται εκκίνηση των δοκιμών.

Τέλος, η βάση δοκιμών θα είναι σε θέση να δυναμομετρεί οποιοδήποτε ηλεκτρικό όχημα κατασκευάζει η ομάδα TUCER. Πιθανές ασυμβατότητες που μπορούν να προκύψουν λόγω της χρήσης διαφορετικών ΗΣ στα νέα οχήματα της ομάδας, θα μπορούν να περιοριστούν κατασκευάζοντας νέα κιβώτια βάσης.

Παραρτήματα

Α΄ Διάγραμμα μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων του προγράμματος υλοποίησης του σεναρίου προσομοίωσης



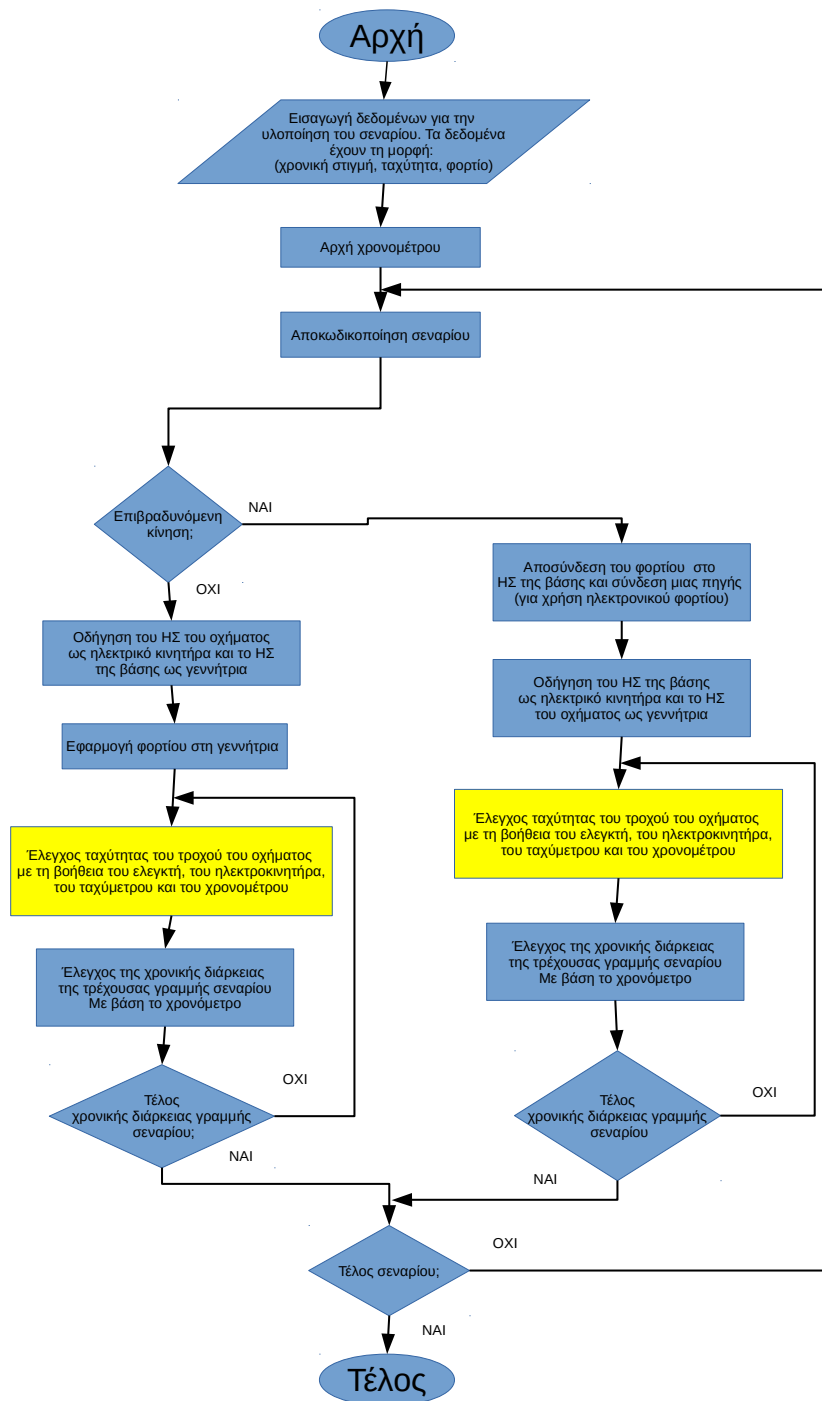
Α'.1 Πίνακας καταστάσεων

| Σύμβολο Κατάστασης | Ερμηνεία |
|---|-----------------------------------|
|  | Αρχή |
|  | Τέλος |
|  | Εισαγωγή δεδομένων |
|  | Αποκωδικοποίηση σεναρίου |
|  | Δοκιμή δυναμομέτρησης |
|  | Δοκιμή ανάκτησης ενέργειας |
|  | Έλεγχος περάτωσης χρόνου σεναρίου |

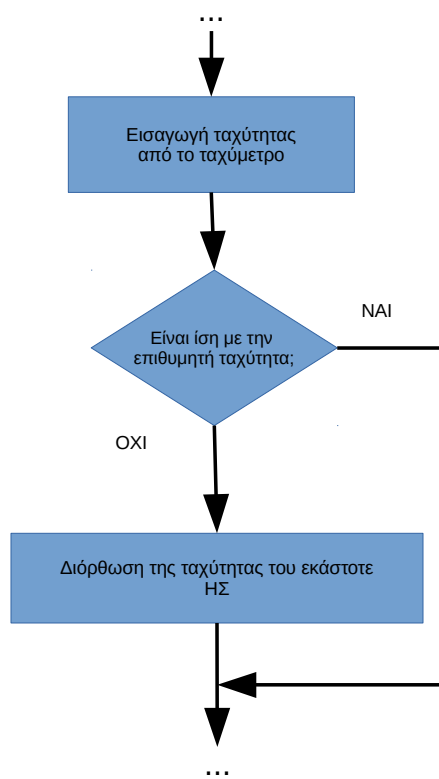
Α'.2 Πίνακας μεταβάσεων

| Κατάσταση | Συνθήκη | Κατάσταση |
|---|--|---|
|  | Αρχή προγράμματος | 1 |
| 1 | Ολοκλήρωση εισαγωγής δεδομένων | 2 |
| 1 | Δεν έχει ολοκληρωθεί η εισαγωγή δεδομένων | 1 |
| 2 | Μέτρηση κατανάλωσης | 3 |
| 2 | Μέτρηση ανακτωμένης ενέργειας | 4 |
| 3 | Δεν έχει ολοκληρωθεί η μέτρηση της κατανάλωσης | 3 |
| 4 | Δεν έχει ολοκληρωθεί η μέτρηση της ανακτωμένης ενέργειας | 4 |
| 3 | Ολοκλήρωση μέτρησης της κατανάλωσης | 5 |
| 4 | Ολοκλήρωση μέτρησης της ανακτωμένης ενέργειας | 5 |
| 5 | Δεν έχει ολοκληρωθεί το σενάριο | 2 |
| 5 | Ολοκλήρωση σεναρίου |  |

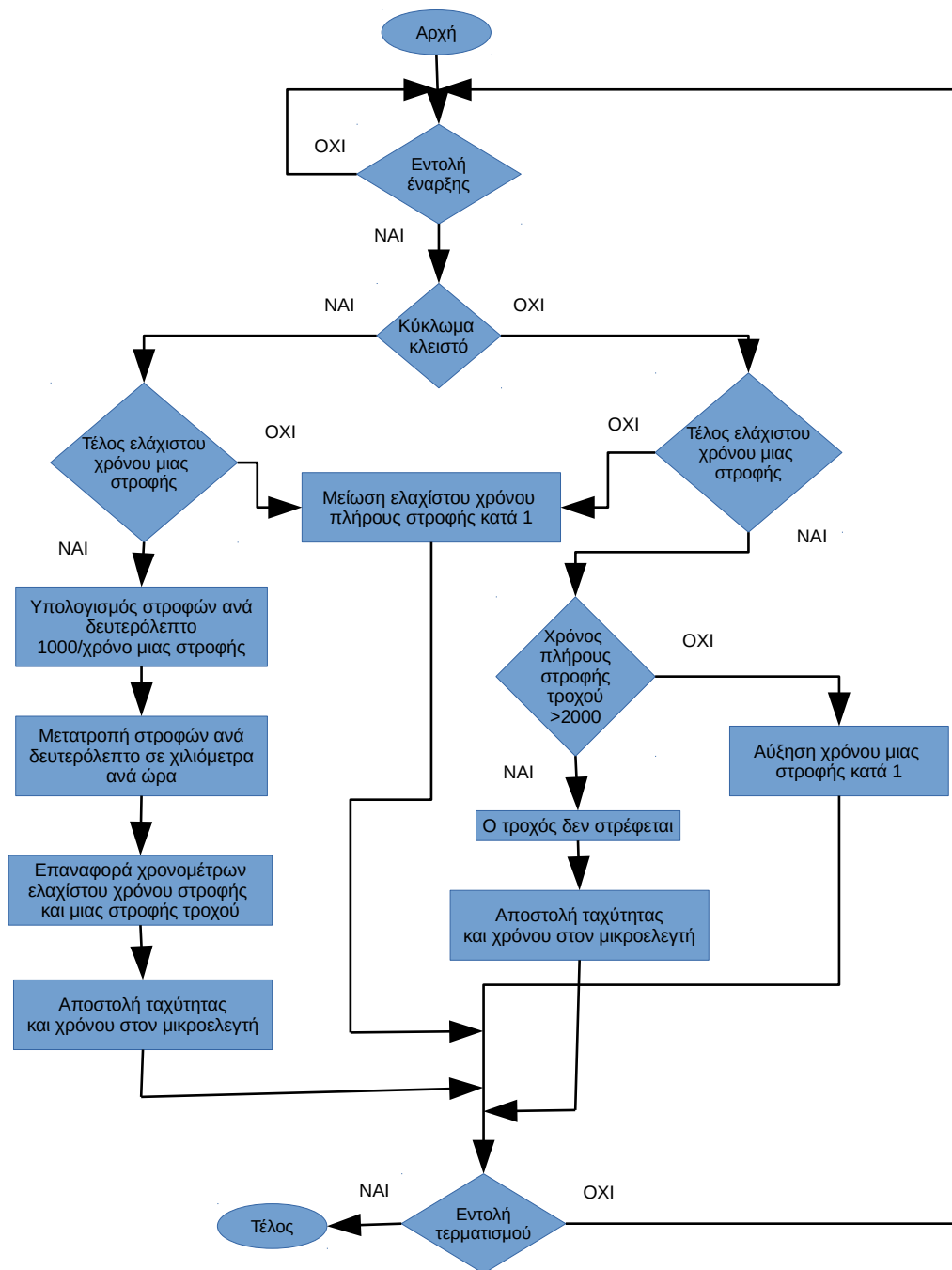
Β' Διάγραμμα ροής του προγράμματος εκτέλεσης του σεναρίου προσομοίωσης



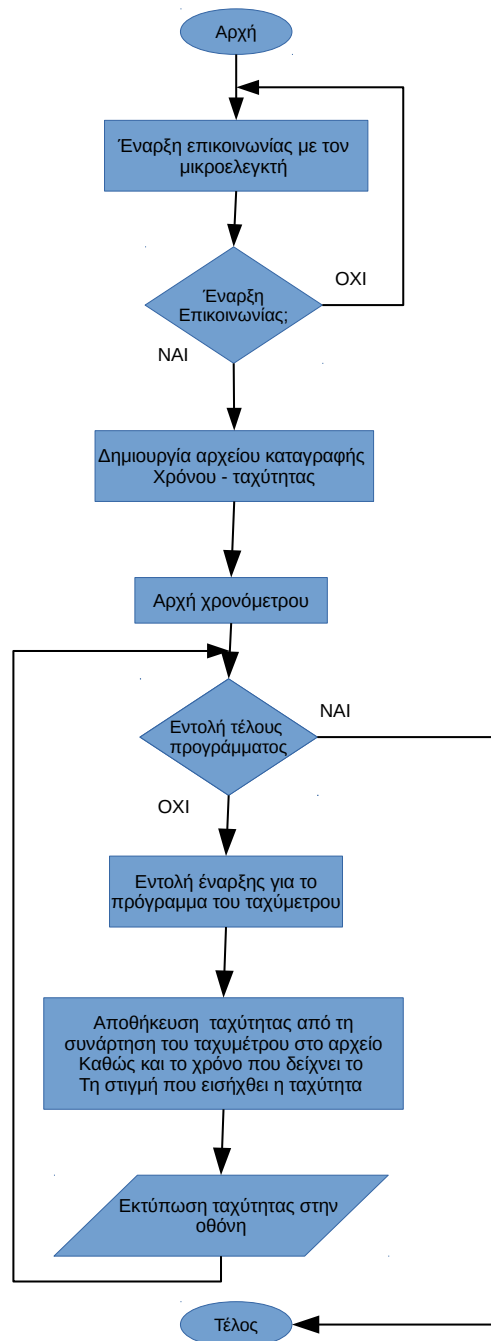
B'.1 Διάγραμμα ροής μεταβολής ταχύτητας στρέψης των ηλεκτροκινητήρων



Γ' Διάγραμμα ροής προγράμματος ταχυμέτρου



Δ' Διάγραμμα ροής προγράμματος αποθήκευσης και εκτύπωσης αποτελεσμάτων δοκιμών



Βιβλιογραφία

- [1] Woodford Chris, 2017, "Electric Motors", Online άρθρο, Διαθέσιμο στο <http://www.explainthatstuff.com/electricmotors.html>, Ανασύρθηκε 15/07/2017
- [2] Wikipedia, "Regenerative brake", Online άρθρο, Διαθέσιμο στο https://en.wikipedia.org/wiki/Regenerative_brake, Ανασύρθηκε 25/09/2017
- [3] Beagleboard, "What is BeagleBoard?", Online άρθρο, Διαθέσιμο στο <https://beagleboard.org>, Ανασύρθηκε 22/07/2017
- [4] Raspberry Pi, "About us", Online άρθρο, Διαθέσιμο στο <https://www.raspberrypi.org/about/>, Ανασύρθηκε 22/07/2017
- [5] Woodford Chris, 2017, "Reed switches", Online άρθρο, Διαθέσιμο στο <http://www.explainthatstuff.com/howreedswitcheswork.html>, Ανασύρθηκε 21/08/2017
- [6] techopedia, "Interrupt", Online άρθρο, Διαθέσιμο στο <https://www.techopedia.com/definition/22195/software-interrupt>, Ανασύρθηκε 03/09/2017
- [7] Αλέξανδρος Κραχτούδης, 2016, "Μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή βάσης δοκιμών και μετρήσεων πρωτότυπων ηλεκτρικών οχημάτων", Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ. 30, 64, Διαθέσιμη στο <http://dias.library.tuc.gr/view/66626>
- [8] Χρήστος Α. Παπαδόπουλος, "Στοιχεία Μηχανών", Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2014, 2η έκδοση, σελ. 784-793
- [9] Αναστάσιος Πολιέζος, "Περί Συστημάτων Ελέγχου Εισαγωγικό Εγχειρίδιο της Σύγχρονης Θεωρίας Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου", Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2014, σελ. 137-160