



Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μετατροπή συμβατικού συστήματος διεύθυνσης οχημάτων σε αυτόνομο: Σχεδίαση και μελέτη υποσυστημάτων

ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΥΛΟΣ

Χανιά, 2023

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται ανάλυση των συστημάτων διεύθυνσης οχημάτων. Περιγράφονται οι επενεργητές για τον έλεγχο του κάθε συστήματος διεύθυνσης. Μελετώνται οι τρόποι μετατροπής του υδραυλικού συστήματος διεύθυνσης του ηλεκτρικού οχήματος ECO-CAR σε αυτόνομο σύστημα διεύθυνσης. Σχεδιάζεται το σύστημα διεύθυνσης του οχήματος και προσεγγίζεται η απαιτούμενη ροπή/δύναμη στρόφης, μέσω θεωρητικών υπολογισμών και πραγματικών μετρήσεων. Επιλέγεται ο επενεργητής και γίνεται η τοποθέτηση του στο σύστημα διεύθυνσης του οχήματος. Παρουσιάζεται η δομή του συστήματος ελέγχου διεύθυνσης και προσομοιωμένη λειτουργία του.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	7
2	Κεφάλαιο Σύστημα διεύθυνσης.....	8
2.1	Μέθοδοι διεύθυνσης	8
2.2	Αρθρωτός μηχανισμός συστήματος διεύθυνσης με κρεμαγιέρα.....	9
2.2.1	Κρεμαγιέρα (οδοντωτός τροχός και οδοντωτός κανόνας).	10
2.3	Συστήματα υποβοήθησης για τη διεύθυνση του οχήματος.....	11
2.3.1	Σύστημα υδραυλικής υποβοήθησης.....	12
2.3.2	Σύστημα υδραυλικής υποβοήθησης με ηλεκτρονικό έλεγχο	13
2.3.3	Ηλεκτρικά συστήματα υποβοήθησης	14
2.3.4	Σύστημα Drive-by-Wire	15
2.4	Διεύθυνση Ackerman	16
2.4.1	Εξισώσεις γεωμετρίας Ackerman.....	18
3	Αυτόνομη οδήγηση	21
3.1	Επίπεδα αυτονομίας	21
3.2	Εκπαιδευτική προσέγγιση στην Αυτόνομη Οδήγηση	22
4	Κεφάλαιο	24
	Σχεδίαση, μελέτη και μετατροπή	24
4.1	Διάγραμμα ροής.....	25
4.2	Ackerman στο EcoCar	26
4.3	Αφαίρεση εσωτερικού	28
4.4	Σύστημα διεύθυνσης EcoCar.....	29
4.5	Επιλογή σημείου τοποθέτησης κινητήρα υποβοήθησης	30
4.6	Διαδικασία τοποθέτησης	32
4.6.1	Μέτρηση δύναμης κινητήρα	33
4.6.2	Συνδεσμολογία.....	34
4.6.3	Κατασκευή.....	36
5	Προγραμματισμός	41
6	Συμπεράσματα	43
7	Βιβλιογραφία.....	44

Εικόνες

ΕΙΚΟΝΑ 1:ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΚΟΛΟΝΑ ΤΙΜΟΝΙΟΥ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	10
ΕΙΚΟΝΑ 2:ΒΑΣΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΚΟΛΟΝΑΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΙΜΟΝΙΟΥ	10
ΕΙΚΟΝΑ 3:ΚΡΕΜΑΓΙΕΡΑ.....	11
ΕΙΚΟΝΑ 4:ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ	12
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΚΡΕΜΑΓΙΕΡΑ ΜΕ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΒΑΛΒΙΔΑ	12
ΕΙΚΟΝΑ 6:ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΫΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (SERVOTRONIC).....	13
ΕΙΚΟΝΑ 7:ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΡΟΠΗΣ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗΣ).....	14
ΕΙΚΟΝΑ 8:ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΒΟΗΘΗΣΗΣ ΤΙΜΟΝΙΟΥ	15
ΕΙΚΟΝΑ 9:ΣΕΡΒΟΜΟΝΑΔΑ ΣΕ ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΙΝΙΟΝ	15
ΕΙΚΟΝΑ 10:ΣΧΕΔΙΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ	16
ΕΙΚΟΝΑ 11:ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ASKERMAN	17
ΕΙΚΟΝΑ 12:ΤΕΤΡΑΠΛΕΥΡΟ ΤΟΥ ASKERMAN.....	17
ΕΙΚΟΝΑ 13:ΤΟΜΗ ΤΩΝ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΨΑΛΙΔΙΩΝ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΟΥ ΠΙΣΩ ΑΞΟΝΑ	17
ΕΙΚΟΝΑ 14:ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΆΚΚΕΡΜΑΝ ΣΕ ΟΧΗΜΑ ΜΕ ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΤΡΟΧΟΥΣ ΠΗΓΗ:(JAZAR, 2009).....	18
ΕΙΚΟΝΑ 15:ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	ΣΦΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.1
ΕΙΚΟΝΑ 16: ECO CAR	24
ΕΙΚΟΝΑ 17:ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΆΚΚΕΡΜΑΝ	27
ΕΙΚΟΝΑ 18:ΤΑΜΠΛΟ ECOCAR.....	28
ΕΙΚΟΝΑ 19:ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΡΗ	29
ΕΙΚΟΝΑ 20:ΚΟΛΩΝΑ ΤΙΜΟΝΙΟΥ	29
ΕΙΚΟΝΑ 21 ΠΛΑΙΣΙΟ Eco Car.....	308
ΕΙΚΟΝΑ 22 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ EcoCar	308
ΕΙΚΟΝΑ 23:BALLSCREW.....	29
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΣ ΣΤΗΝ ΚΡΕΜΑΓΙΕΡΑ	30
ΕΙΚΟΝΑ 25 ΒΑΣΗ-ΓΡΑΝΑΖΙΑ-ΚΟΛΩΝΑ-ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	331
ΕΙΚΟΝΑ 26 ΒΑΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ	375
ΕΙΚΟΝΑ 27 ΒΑΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	3735
ΕΙΚΟΝΑ 28 ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ-ΓΡΑΝΑΖΙΑ-ΚΟΛΩΝΑ	3836
ΕΙΚΟΝΑ 29 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΒΑΣΗΣ-ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ ΣΤΟ ECOCAR	3937
ΕΙΚΟΝΑ 30 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΤΟ ECOCAR.....	4038

Πίνακες

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ECO CAR	26
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΚΩΔΙΚΑΣ.....	42

Διαγράμματα

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	25
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2 DATASHEETDRIVER	35
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3 ΣΥΝΔΕΣΗ JOYSTICK-ARDUINO & ARDUINO-DRIVER	36
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4	36

1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώκει την ανάλυση και την ανάπτυξη των συστημάτων διεύθυνσης οχημάτων, με έμφαση στον έλεγχο και τη μετατροπή του υδραυλικού συστήματος διεύθυνσης του ηλεκτρικού οχήματος Eco Car σε ένα αυτόνομο σύστημα διεύθυνσης. Ο κύριος στόχος είναι ο σχεδιασμός, η ανάλυση και η κατασκευή ενός αυτόνομου συστήματος διεύθυνσης για το όχημα Eco Car, λαμβάνοντας υπόψη τις επιστημονικές αρχές και τις πρακτικές απαιτήσεις του πεδίου.

Αρχικά, γίνεται μια εκτενής ανάλυση των διαφόρων μεθόδων διεύθυνσης που χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα, καθώς και μια λεπτομερής παρουσίαση των κυρίων συστατικών του συστήματος διεύθυνσης. Εξετάζονται επίσης οι διάφοροι επενεργητές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του συστήματος διεύθυνσης, καθώς και οι αρθρωτοί μηχανισμοί και τα συστήματα υποβοήθησης που συμβάλλουν στη διεύθυνση του οχήματος. Επιπλέον, αναλύεται η γεωμετρία Ackerman και οι εξισώσεις που τη διέπουν.

Στη συνέχεια, προτείνεται η υλοποίηση ενός αυτόνομου συστήματος διεύθυνσης για το Eco Car, με βάση τις αρχές της επιστήμης και της τεχνολογίας. Αναλύονται οι απαιτήσεις του συστήματος, όπως η ακρίβεια, η απόδοση και η αξιοπιστία, και γίνεται επιλογή του κατάλληλου επενεργητή για το σύστημα. Στο τμήμα που αφορά την αυτόνομη οδήγηση, παρουσιάζονται τα επίπεδα αυτονομίας και η εκπαιδευτική προσέγγιση που ακολουθείται σε αυτόν τον τομέα.

Στη μεθοδολογία της εργασίας περιγράφεται η διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής του αυτόνομου συστήματος διεύθυνσης για το Eco Car, λαμβάνοντας υπόψη τις επιστημονικές αρχές και τις βέλτιστες πρακτικές. Αναλύονται οι αλγόριθμοι ελέγχου και οι μέθοδοι επεξεργασίας σήματος που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και την απόκριση του συστήματος διεύθυνσης σε πραγματικό χρόνο.

Τέλος, γίνεται αναλυτική παρουσίαση του προγραμματισμού που απαιτείται για την επίτευξη λειτουργίας του αυτόνομου συστήματος διεύθυνσης.

2 Κεφάλαιο Σύστημα διεύθυνσης

Το σύστημα διεύθυνσης αντιπροσωπεύει ένα σύνολο μηχανικών, ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών στοιχείων που επιτρέπει στον οδηγό να κατευθύνει το όχημα σύμφωνα με τις επιθυμητές κατευθύνσεις, λαμβάνοντας υπόψη τις παρούσες συνθήκες. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της περιστροφής του τιμονιού, που, μέσω μηχανισμού διεύθυνσης και άξονα, προσανατολίζει τους διεθυντήριους τροχούς. Ως ένα από τα κυριότερα συστήματα του οχήματος, η αξιόπιστη λειτουργία του το κάνει να περνά απαρατήρητο από τους χρήστες.

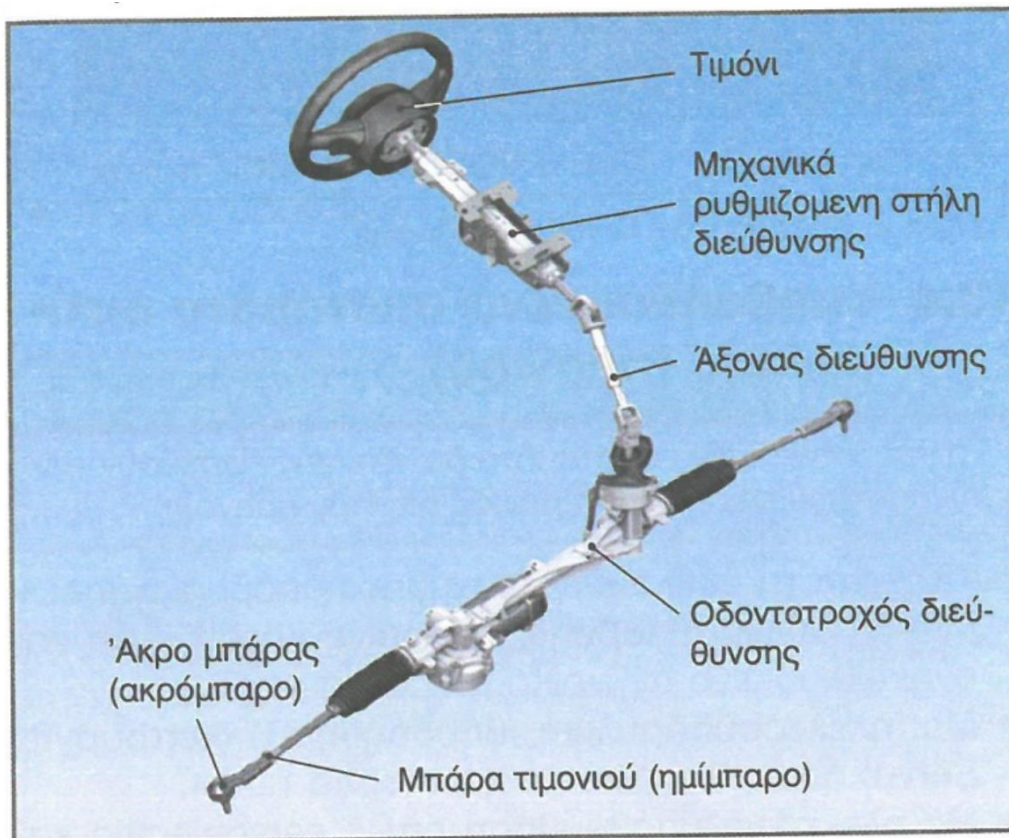
2.1 Μέθοδοι διεύθυνσης

Το σύστημα διεύθυνσης των οχημάτων μπορεί να κατηγοριοποιηθεί βάσει του μηχανισμού με τον οποίο μεταδίδεται η δύναμη διεύθυνσης, [1] . Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες συστημάτων διεύθυνσης :

- **Σύστημα διεύθυνσης με οδοντωτό κανόνα (μηχανική κρεμαγιέρα):** Σε αυτό το σύστημα, ο οδηγός μεταφέρει τη δύναμη για την κίνηση των τροχών με την περιστροφή του τιμονιού. Μια μπάρα και μοχλοί μεταδίδουν την κίνηση από ένα πινιόν σε έναν οδοντωτό κανόνα, ο οποίος ευθυγραμμίζει τους τροχούς.
- **Σύστημα διεύθυνσης με υποβοήθηση:** Σε αυτήν την περίπτωση, εκτός από τη δύναμη που ασκεί ο οδηγός, χρησιμοποιείται μια επιπλέον δύναμη που βοηθά στην κίνηση του κανόνα. Αυτή η δύναμη μπορεί να προέρχεται από μηχανικούς, υδραυλικούς, ηλεκτρικούς, πνευματικούς ή συνδυασμό αυτών των μηχανισμών.
- **Σύστημα διεύθυνσης με ανεξάρτητη ενέργεια:** Σε αυτά τα συστήματα, η δύναμη παρέχεται από μια ανεξάρτητη πηγή, όπως μηχανική, υδραυλική, ηλεκτρική, πνευματική ή συνδυασμός αυτών των πηγών.
- **Σύστημα διεύθυνσης των ρυμουλκούμενων:** Σε αυτό το σύστημα, η αλλαγή κατεύθυνσης επιτυγχάνεται μέσω της έλξης του ρυμουλκούμενου οχήματος.

Το σύστημα διεύθυνσης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μέρη του οχήματος, παρόλο που συχνά παραμελείται λόγω της αξιόπιστης του λειτουργίας. Ένα τυπικό σύστημα διεύθυνσης για μπροστινούς διεθυντήριους τροχούς αποτελείται από:

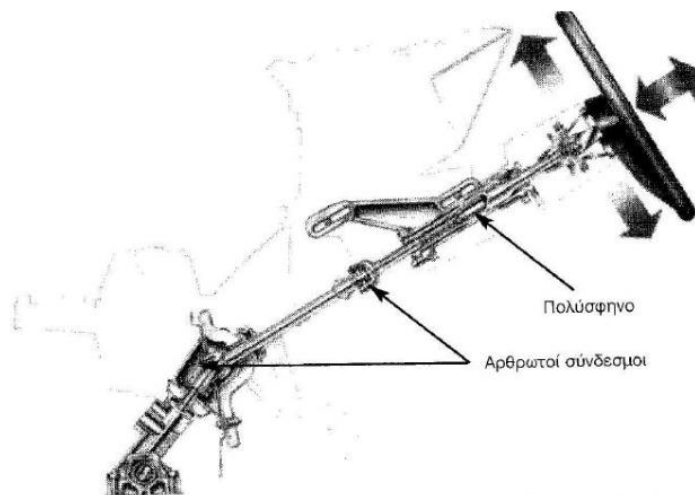
- Τιμόνι
- Άξονας τιμονιού
- Γρανάζι διεύθυνσης (πινιόν)
- Οδοντοτροχός διεύθυνσης (κανόνας)
- Μπράτσο αντιστρεπτικής ράβδου



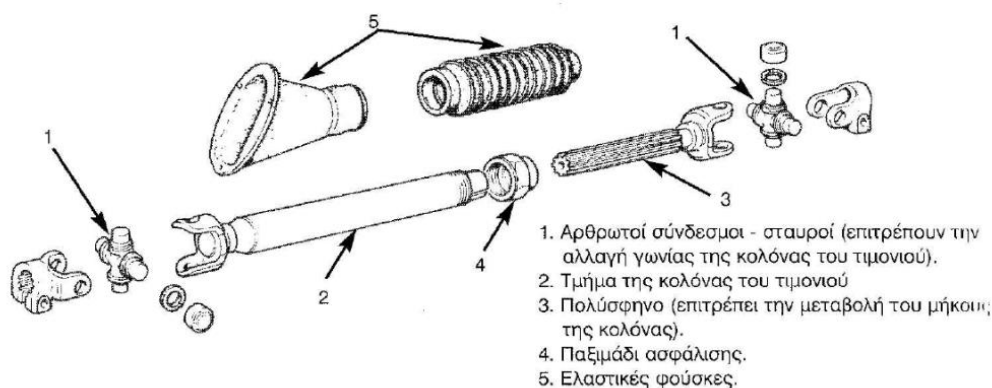
Εικόνα 1Κύρια εξαρτήματα συστήματος διεύθυνσης [2]

2.2 Αρθρωτός μηχανισμός συστήματος διεύθυνσης με κρεμαγιέρα

Ο αρθρωτός μηχανισμός του συστήματος διεύθυνσης αποτελεί ένα σύνολο εξαρτημάτων που συνεργάζονται για να μεταφέρουν τη δύναμη που ασκεί ο οδηγός μέσω του τιμονιού στους τροχούς του οχήματος. Το τιμόνι αποτελεί το κύριο εργαλείο του οδηγού, που επιτρέπει τον έλεγχο της κατεύθυνσης. Η κολόνα διεύθυνσης αποτελεί τον σύνδεσμο μεταξύ του τιμονιού και του μηχανισμού διεύθυνσης, μεταφέροντας τη ροπή στρέψης από τον οδηγό στην πυξίδα. Ο μηχανισμός διεύθυνσης μεταφέρει την κίνηση από το τιμόνι στους τροχούς μέσω των συνδέσμων, εξασφαλίζοντας έτσι την αλλαγή της κατεύθυνσης του οχήματος. Με αυτόν τον τρόπο, ο οδηγός μπορεί να ελέγχει την κατεύθυνση του οχήματος μέσω του τιμονιού.



Εικόνα 1: Ρυθμιζόμενη κολόνα τιμονιού ασφαλείας [1]



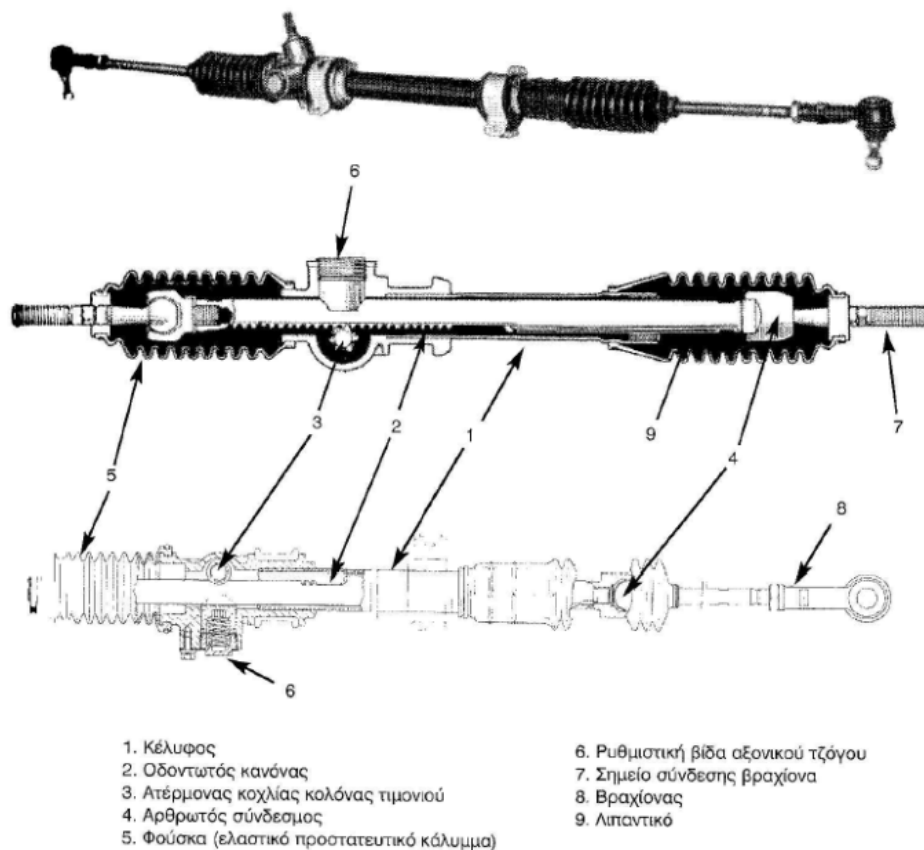
Εικόνα 2: Βασικά τμήματα κολόνας ασφαλείας τιμονιού [1]

Ο μηχανισμός διεύθυνσης λειτουργεί ως μεταβιβαστής της ροπής στρέψης από το τιμόνι στους τροχούς, επιτυγχάνοντας την απαραίτητη ροπή για την αλλαγή της κλίσης των τροχών ως προς τον κατακόρυφο άξονά τους. Η κινηματική αλυσίδα περιλαμβάνει τους βραχίονες-ράβδους που μεταφέρουν την κίνηση από την κρεμαγιέρα στους τροχούς. Στα συστήματα διεύθυνσης με κρεμαγιέρα, η κίνηση μεταδίδεται απευθείας από τους βραχίονες της κρεμαγιέρας στους τροχούς, χωρίς ενδιάμεσους συνδέσμους. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητα στη μεταφορά της κίνησης στο σύστημα διεύθυνσης.

2.2.1 Κρεμαγιέρα (οδοντωτός τροχός και οδοντωτός κανόνας).

Αυτός ο τύπος μηχανισμού διεύθυνσης είναι ευρέως χρησιμοποιούμενος σε επιβατικά οχήματα. Η κολόνα διεύθυνσης καταλήγει σε έναν οδοντωτό τροχό, γνωστό και ως πινιόν. Ο οδοντωτός τροχός αλληλοεπιδρά με έναν οδοντωτό κανόνα μέσω σφαιρικών συνδέσμων, μεταφέροντας έτσι την κίνηση στους βραχίονες των τροχών. Στα πλευρικά, τοποθετούνται ελαστικά καλύμματα με αυξομείωση του μήκους για την προστασία του

οδοντωτού κανόνα από λάσπες, σκόνες και άλλα αποτυπώματα. Ως μειονέκτημα αναφέρεται η μικρή σχέση μετάδοσης, που δεν επιτρέπει την εφαρμογή του σε βαρέως τύπου οχήματα [1].



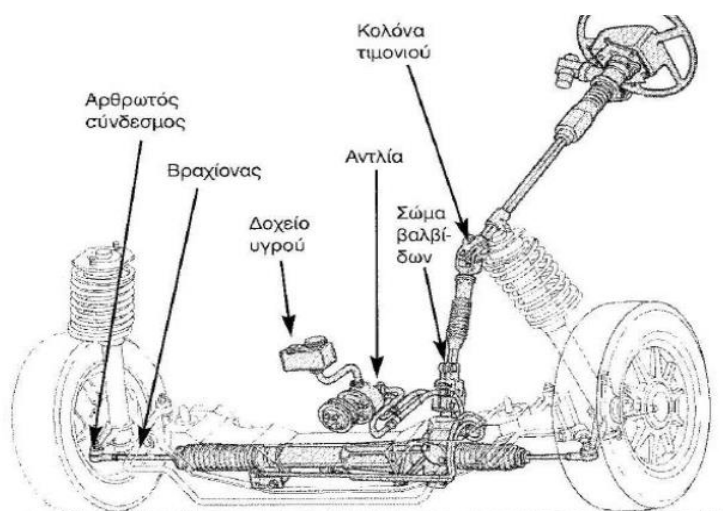
Εικόνα 3:Κρεμαγιέρα[1]

2.3 Συστήματα υποβοήθησης για τη διεύθυνση του οχήματος

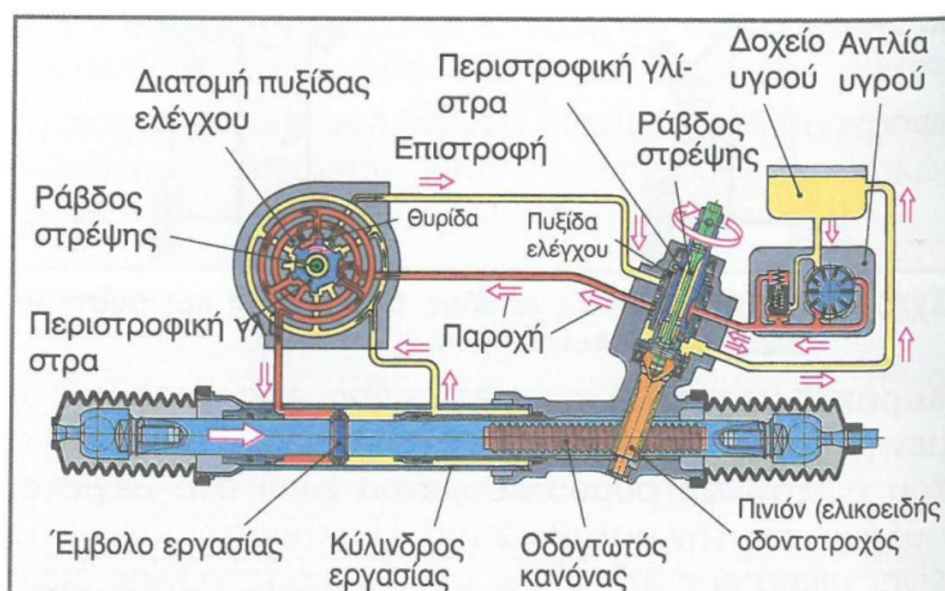
Για να ανταποκριθούν στις αυξημένες απαιτήσεις ασφάλειας και άνεσης, έχουν δημιουργηθεί συστήματα υποβοήθησης για τη διεύθυνση των οχημάτων, καθώς η οδήγησή τους απαιτεί σημαντική μυϊκή προσπάθεια από τον οδηγό. Οι κατασκευαστές οχημάτων εφαρμόζουν ειδικούς μηχανισμούς, γνωστούς ως σερβομηχανισμούς, που βοηθούν τον οδηγό να οδηγεί με μεγαλύτερη άνεση. Οι σερβομηχανισμοί αυτοί αποκτούν κίνηση από τον κινητήρα του οχήματος και χρησιμοποιούν την πίεση του λαδιού για να υποβοηθήσουν το σύστημα διεύθυνσης. Σε περίπτωση προβλήματος με τους σερβομηχανισμούς, το σύστημα διεύθυνσης του οχήματος εξακολουθεί να λειτουργεί με τη μυϊκή δύναμη του οδηγού, απαιτώντας μεγαλύτερη προσπάθεια. Η χρήση αυτών των μηχανισμών προσφέρει πλεονεκτήματα όπως ελαφρύ τιμόνι, μικρότερη ακτίνα στροφής και αμεσότερη αντίδραση σε καταστάσεις πανικού ή γρήγορης οδήγησης.

2.3.1 Σύστημα υδραυλικής υποβοήθησης

Σε ένα σύστημα υδραυλικής υποβοήθησης τύπου "κρεμαγιέρας" με πινιόν και οδοντωτό κανόνα (Εικόνα 5), η χειροκίνητη περιστροφή του τιμονιού μεταφέρει τη δύναμη μέσω της κολόνας προς το πινιόν. Αυτή η περιστροφή της κολόνας προκαλεί την αντίστοιχη περιστροφή της περιστροφικής βαλβίδας που περιβάλλει τον αποσβεστήρα ελέγχου. Η πίεση του υδραυλικού υγρού επηρεάζει την πλευρά του εμβόλου (αριστερή ή δεξιά) και δημιουργεί μια επιπλέον υποβοηθητική δύναμη. Αυτή η δύναμη μεταφέρεται μηχανικά από το πινιόν στον οδοντωτό κανόνα και επηρεάζει επίσης τη δύναμη που ασκείται στο τιμόνι(Εικόνα 4).



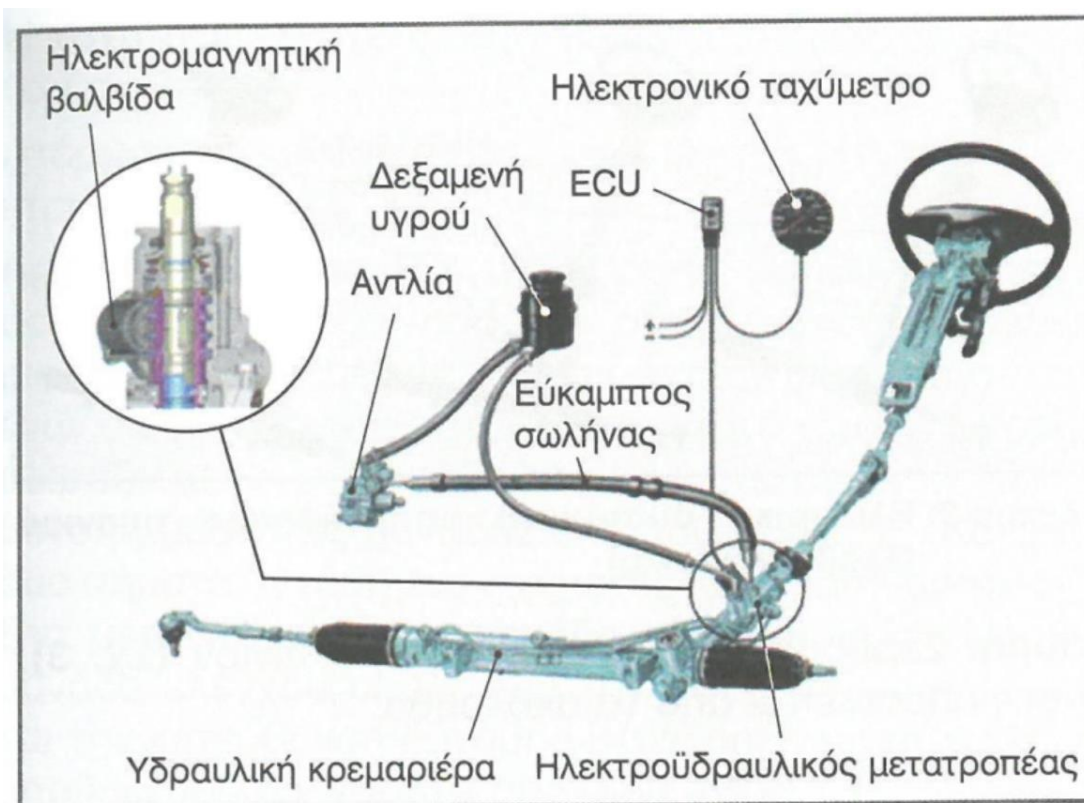
Εικόνα 4:Υδραυλικό σύστημα διεύθυνση [1]



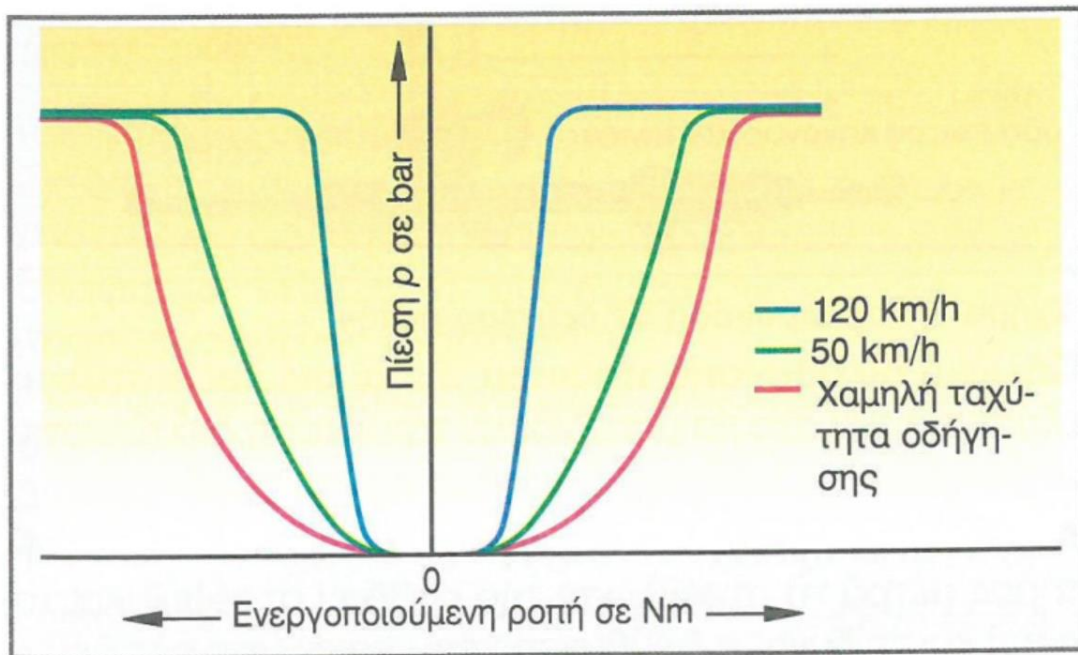
Εικόνα 5:Υδραυλική κρεμαγιέρα με περιστροφική βαλβίδα [2]

2.3.2 Σύστημα υδραυλικής υποβοήθησης με ηλεκτρονικό έλεγχο

Το σύστημα υδραυλικής υποβοήθησης με ηλεκτρονικό έλεγχο (servotronic Εικόνα 6) λειτουργεί με βάση την ταχύτητα κίνησης του οχήματος για την ρύθμιση της υποβοηθούμενης δύναμης. Κατά την χαμηλή ταχύτητα, η υποβοήθηση παρέχεται με την μέγιστη δύναμη. Καθώς η ταχύτητα αυξάνεται, η δύναμη υποβοήθησης μειώνεται, επιτρέποντας μια πιο απευθείας και αμεσότερη απόκριση του τιμονιού. Το σύστημα αποτελείται από έναν ηλεκτρονικό μετρητή ταχύτητας (ταχύμετρο), μια συσκευή ελέγχου, έναν ηλεκτροϋδραυλικό μετατροπέα, το υδραυλικό σύστημα υποβοήθησης, μια αντλία λαδιού και μια δεξαμενή λαδιού.



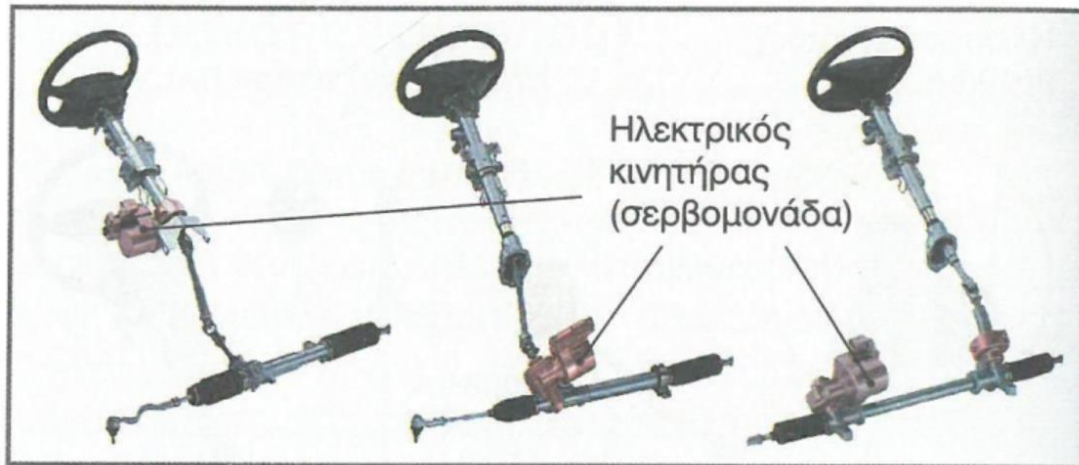
Εικόνα 6: Το ηλεκτροϋδραυλικό σύστημα (Servotronic) [2]



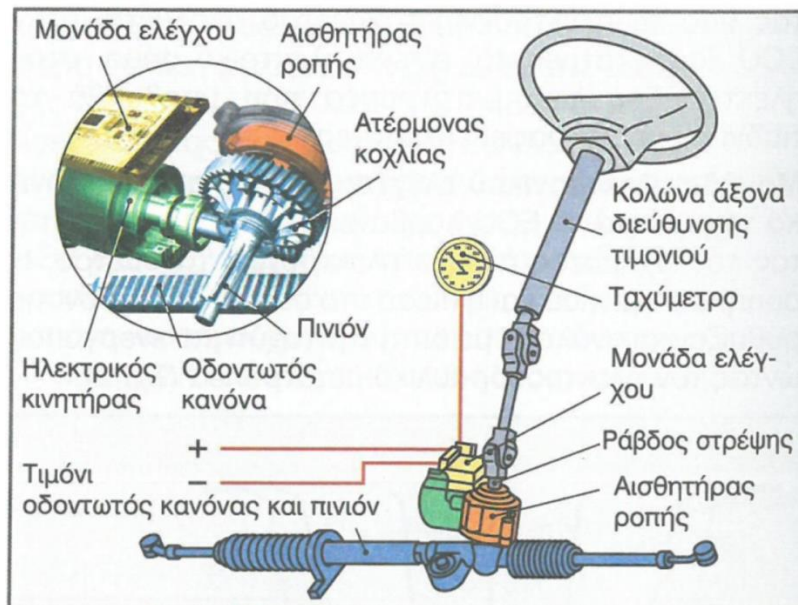
Εικόνα 7: Καμπύλη διεύθυνσης ροπής και πίεσης [2]

2.3.3 Ηλεκτρικά συστήματα υποβοήθησης

Τα ηλεκτρικά συστήματα υποβοήθησης EPS (electrical power steering Εικόνα 8) λειτουργούν με τον ακόλουθο τρόπο: Η αναγκαία υποβοηθούμενη δύναμη παράγεται από έναν ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος λειτουργεί με την τροφοδοσία ρεύματος από έναν συσσωρευτή. Η ροπή στρέψης που ασκεί ο οδηγός στο τιμόνι μετριέται από έναν αισθητήρα ροπής στρέψης και μεταδίδεται ως είσοδος στη συσκευή ελέγχου EPS. Ο αισθητήρας διανυόμενων αποστάσεων παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα του οχήματος. Η συσκευή EPS χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για να υπολογίσει την απαιτούμενη ροπή στρέψης και την κατεύθυνση της ενέργειας, και στέλνει αντίστοιχα σήματα εξόδου στον ηλεκτροκινητήρα. Με βάση τις αποθηκευμένες τιμές στη μνήμη της συσκευής ελέγχου, ο ηλεκτροκινητήρας παράγει μια ροπή υποβοήθησης. Αυτή η ροπή μετατρέπεται μέσω ενός μηχανισμού ατέρμονα-κορώνας και μεταφέρεται στον μηχανισμό διεύθυνσης, όπως για παράδειγμα ένας οδοντωτός κανόνας-πινίον.



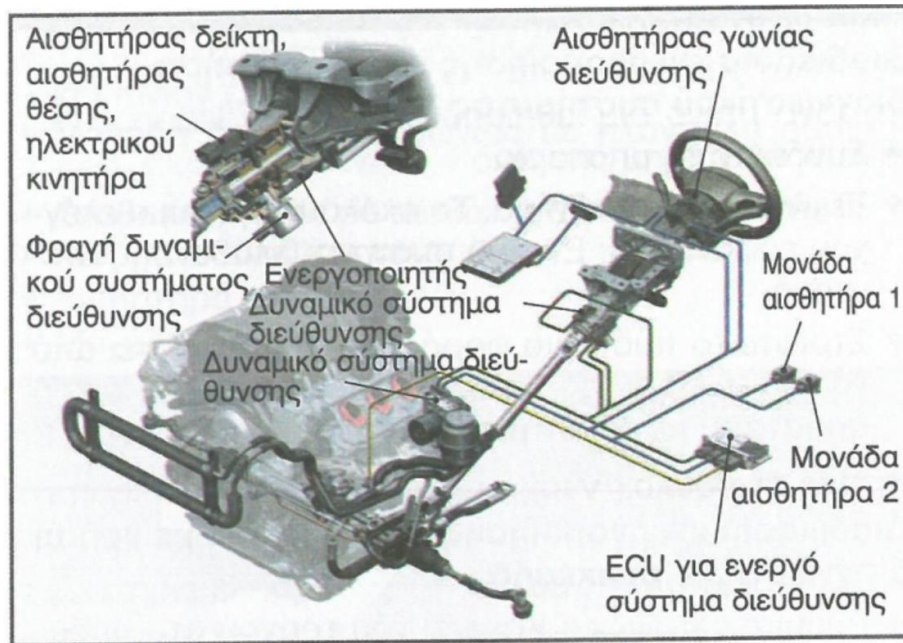
Εικόνα 8: Ηλεκτρικά συστήματα υποβοήθησης τιμονιού [2]



Εικόνα 9: Σερβομονάδα σε δεύτερο πινιόν [2]

2.3.4 Σύστημα Drive-by-Wire

Το σύστημα Drive-by-Wire αναφέρεται σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα διεύθυνσης, όπου η μηχανική σύνδεση ανάμεσα στα χειριστήρια ή το joystick και τους τροχούς ελαχιστοποιείται. Αντί για μηχανικές συνδέσεις, χρησιμοποιούνται καλώδια για τη μεταφορά της επιθυμίας του οδηγού. Ένας ελεγκτής αναλύει την εισερχόμενη πρόθεση του οδηγού, αξιολογεί την τρέχουσα κατάσταση και ενεργοποιεί ανάλογα ηλεκτροκινητήρες που απευθύνουν τους τροχούς.

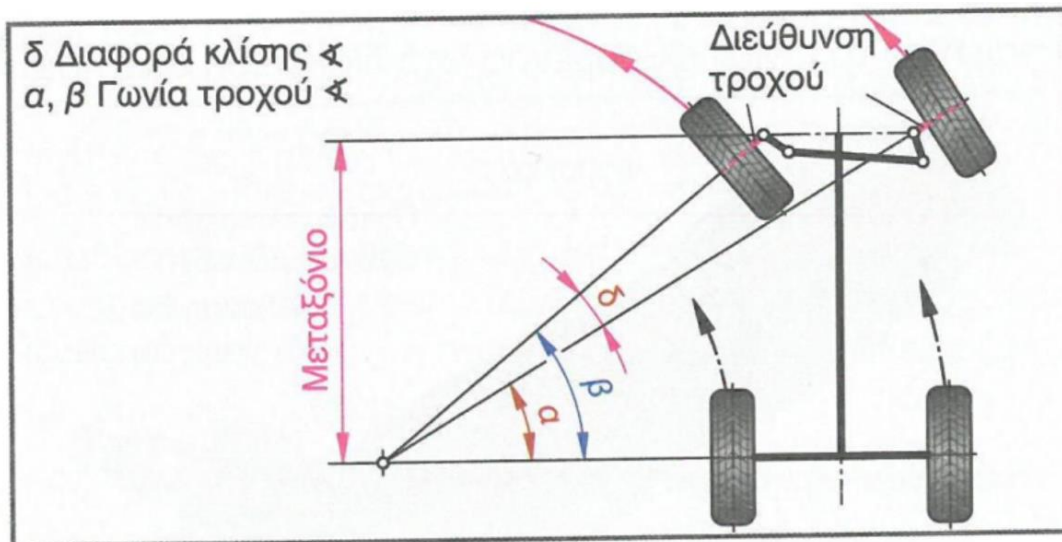


Εικόνα 10: Σχέδιο δυναμικού συστήματος διεύθυνσης [2]

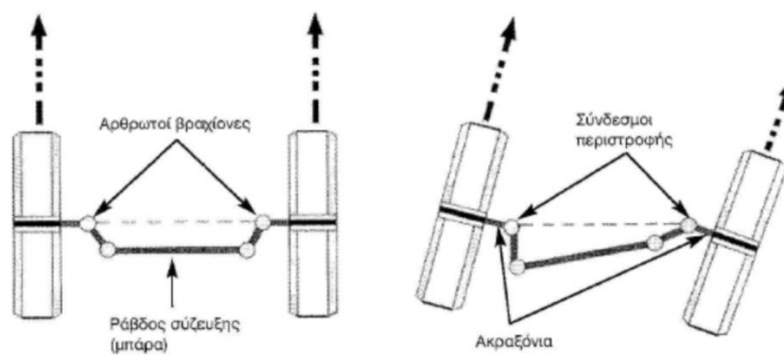
2.4 Διεύθυνση Ackerman

Η γεωμετρία του Ackerman[3] αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο σχήμα συνδέσμων στο σύστημα διεύθυνσης ενός οχήματος, το οποίο επιτρέπει ακριβή και αποτελεσματική στρέψη των τροχών κατά την αλλαγή κατεύθυνσης. Αυτή η γεωμετρική διάταξη είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε οι προβαλλόμενες κεντρικές γραμμές των συνδέσμων διεύθυνσης των τροχών να συναντούν την προβαλλόμενη κεντρική γραμμή του πίσω άξονα.

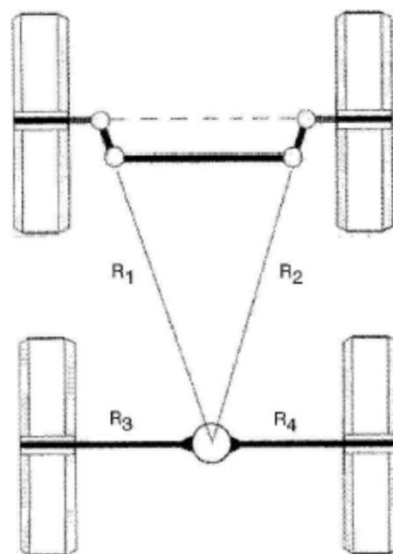
Για να επιτευχθεί αυτή η γεωμετρία, οι σύνδεσμοι διεύθυνσης των τροχών τοποθετούνται με έναν ιδιαίτερο τρόπο. Κατά τη στρέψη, η εσωτερική τροχοειδής καμπύλη περιορίζεται περισσότερο από την εξωτερική τροχοειδή καμπύλη, λόγω της διαφορετικής ακτίνας στρέψης. Αυτό εξασφαλίζει ότι οι τροχοί ακολουθούν διαφορετικές τροχοειδείς τροχιές κατά τη στρέψη.



Εικόνα 11: Σύστημα διεύθυνσης Ackerman, διαφορά γωνίας κλίσης [2]



Εικόνα 12: Τετράπλευρο του Ackerman [1]



Εικόνα 13: Τομή των προεκτάσεων των ψαλιδιών στο κέντρο του πίσω άξονα [1]

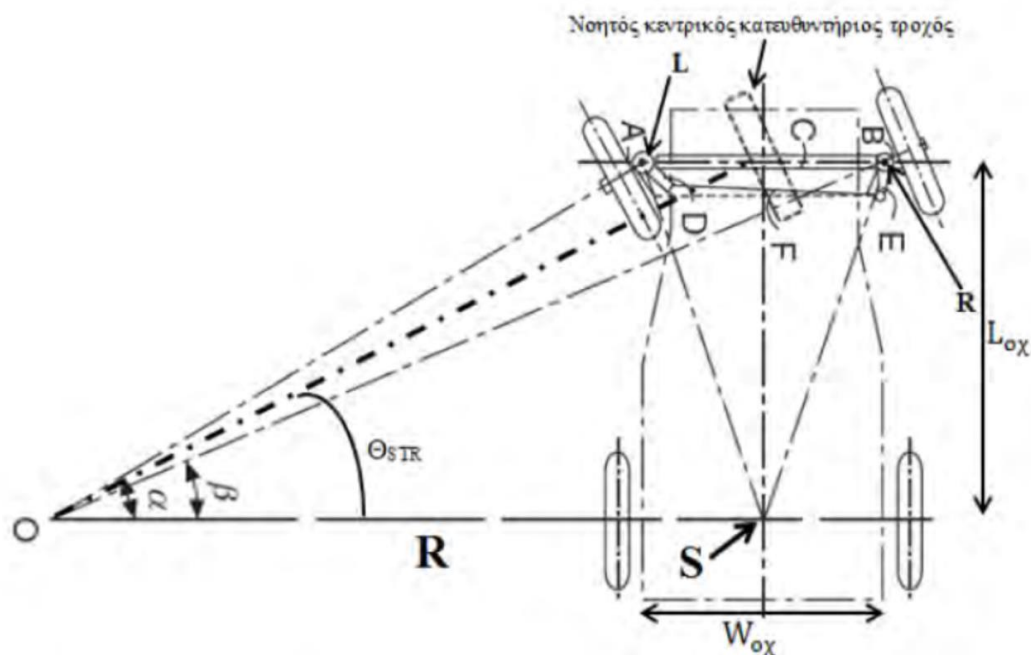
Το σημείο όπου οι προβαλλόμενες γραμμές των συνδέσμων διεύθυνσης συναντούνται στην προβαλλόμενη γραμμή του πίσω άξονα ονομάζεται "κέντρο περιφερειών". Αυτό το σημείο αποτελεί το κέντρο των περιφερειών που διαγράφουν οι τροχοί κατά τη στρέψη, και εξαρτάται από τη γεωμετρία του Ackerman.

Η σωστή εφαρμογή της γεωμετρίας Ackerman είναι σημαντική για την ακρίβεια και την ομαλότητα της διεύθυνσης του οχήματος. Με τον σωστό σχεδιασμό του Ackerman, επιτυγχάνεται η μείωση της τριβής και της φθοράς των ελαστικών, καθώς και η βελτίωση της ευστάθειας και της απόδοσης του οχήματος κατά τις στροφές.

2.4.1 Εξισώσεις γεωμετρίας Ackerman

Ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος διεύθυνσης Ackerman βασίζεται στη γεωμετρία και την αρχή των τροχοειδών τροχιών. Συγκεκριμένα, οι τροχοί ενός οχήματος στρίβουν σε διαφορετικές τροχιές κατά την αλλαγή κατεύθυνσης, με τον εσωτερικό τροχό να ακολουθεί μια πιο στενή τροχιά από τον εξωτερικό τροχό.

Για να επιτευχθεί αυτή η γεωμετρία, οι σύνδεσμοι διεύθυνσης των τροχών τοποθετούνται με έναν ιδιαίτερο τρόπο. Ο εσωτερικός τροχός στρίβει υπό μεγαλύτερη γωνία στρέψης από τον εξωτερικό τροχό, λόγω της διαφοράς στην απόσταση που διανύουν κατά τη στροφή. Η γωνιακή ταχύτητα των τροχών σχετίζεται με τη γραμμική ταχύτητα του οχήματος και τη γωνία στροφής.



Εικόνα 14: Γεωμετρία Ackerman σε όχημα με τέσσερις τροχούς [3]

Γίνεται μελέτη ως προς το σημείο S που είναι το μέσο του οχήματος, το οποίο εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση γύρω από το σημείο O . Έστω ω η γωνιακή ταχύτητα των κυκλικών κινήσεων των τροχών γύρω από το O , L_{ox} το μήκος του οχήματος, W_{ox} το πλάτος του οχήματος, V_{ox} η γραμμική ταχύτητα του οχήματος, θ η γωνία στροφής και $v_{εμπ,εξ}$, $v_{εμπ,εσ}$, $v_{οπ,εξ}$, $v_{οπ,εσ}$ οι γραμμικές ταχύτητες του εμπρόσθιου εξωτερικού, εμπρόσθιου εσωτερικού, οπίσθιου

εξωτερικού και οπίσθιου εσωτερικού τροχούαντίστοιχα. Επίσης, θέτονται ως $\omega_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi}, \omega_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma}, \omega_{\sigma\pi,\varepsilon\xi}, \omega_{\sigma\pi,\varepsilon\sigma}$ οι γωνιακές ταχύτητες του εμπρόσθιου εξωτερικού, εμπρόσθιου εσωτερικού, οπίσθιου εξωτερικού και οπίσθιου εσωτερικού τροχού αντίστοιχα [3].

Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής γύρω από το σημείο O :

$$\omega = \frac{V_{o\chi}}{R} \quad (2.4.1.1)$$

Η γραμμική ταχύτητα των πίσω τροχών, λαμβάνοντας υπόψη την ακτίνα του κύκλου που διαγράφει το όχημα, υπολογίζεται ως:

$$v_{\sigma\pi,\varepsilon\sigma} = \omega * \left(R - \frac{W_{o\chi}}{2}\right) = \frac{V_{o\chi}}{R} * \left(R - \frac{W_{o\chi}}{2}\right) = V_{o\chi} * \left(1 - \frac{W_{o\chi}}{2R}\right) = V_{o\chi} * \left(1 - \frac{W_{o\chi}}{2L_{o\chi}} \tan\theta\right) \quad (2.4.1.2)$$

$$v_{\sigma\pi,\varepsilon\xi} = \omega * \left(R + \frac{W_{o\chi}}{2}\right) = \frac{V_{o\chi}}{R} * \left(R + \frac{W_{o\chi}}{2}\right) = V_{o\chi} * \left(1 + \frac{W_{o\chi}}{2R}\right) = V_{o\chi} * \left(1 + \frac{W_{o\chi}}{2L_{o\chi}} \tan\theta\right) \quad (2.4.1.3)$$

Αντικαθιστώντας στο R τον αριθμό της ακτίνας, της στροφής που θα διανύσει το όχημα, προκύπτει:

$$\tan\theta = \frac{L_{o\chi}}{R} \Leftrightarrow R = \frac{L_{o\chi}}{\tan\theta} \quad (2.4.1.4)$$

Όπου θ είναι η γωνία που διαγράφει το όχημα στη στροφή.

Η γωνιακή ταχύτητα των πίσω τροχών υπολογίζεται ως:

$$\omega_{\sigma\pi,\varepsilon\sigma} = \frac{v_{\sigma\pi,\varepsilon\sigma}}{r_W} = \frac{V_{o\chi}}{r_W} * \left(1 - \frac{W_{o\chi}}{2L_{o\chi}} \tan\theta\right) \quad (2.4.1.5)$$

$$\omega_{\sigma\pi,\varepsilon\xi} = \frac{v_{\sigma\pi,\varepsilon\xi}}{r_W} = \frac{V_{o\chi}}{r_W} * \left(1 + \frac{W_{o\chi}}{2L_{o\chi}} \tan\theta\right) \quad (2.4.1.6)$$

Με r_W την ακτίνα του κάθε τροχού.

Έστω, $R_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma}$ και $R_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi}$ οι ακτίνες των τροχιών που διαγράφουν οι εμπρόσθιοι τροχοί, οι οποίες, υπολογίζονται από το πυθαγόρειο θεώρημα ως εξής:

$$R_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma} = \sqrt{L_{o\chi}^2 + \left(R - \frac{W_{o\chi}}{2}\right)^2} \Leftrightarrow R_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma} = \sqrt{L_{o\chi}^2 + \left(\frac{L_{o\chi}}{\tan\theta} - \frac{W_{o\chi}}{2}\right)^2} \quad (2.4.1.7)$$

$$R_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi} = \sqrt{L_{o\chi}^2 + \left(R + \frac{W_{o\chi}}{2}\right)^2} \Leftrightarrow R_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi} = \sqrt{L_{o\chi}^2 + \left(\frac{L_{o\chi}}{\tan\theta} + \frac{W_{o\chi}}{2}\right)^2} \quad (2.4.1.8)$$

Άρα, προκύπτουν οι γραμμικές ταχύτητες ως:

$$v_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma} = \omega * R_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma} \Leftrightarrow v_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma} = \frac{V_{o\chi}}{R} * \sqrt{L_{o\chi}^2 + \left(\frac{L_{o\chi}}{\tan\theta} - \frac{W_{o\chi}}{2}\right)^2} \xLeftrightarrow^{R=\frac{L_{o\chi}}{\tan\theta}}$$

$$v_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma} = \frac{V_{ox}}{L_{ox}} * \tan\theta * \sqrt{L_{ox}^2 + \left(\frac{L_{ox}}{\tan\theta} - \frac{W_{ox}}{2}\right)^2} \Leftrightarrow$$

$$v_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma} = V_{ox} * \sqrt{\tan^2\theta + \left(1 - \frac{W_{ox}}{2L_{ox}} \tan\theta\right)^2} \quad (2.4.1.9)$$

$$v_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi} = \omega * R_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi} \Leftrightarrow v_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi} = V_{ox} * \sqrt{\tan^2\theta + \left(1 + \frac{W_{ox}}{2L_{ox}} \tan\theta\right)^2} \quad (2.4.1.10)$$

Και οι γωνιακές ταχύτητες:

$$\omega_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma} = \frac{v_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma}}{r_W} \quad (2.4.1.11)$$

$$\omega_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi} = \frac{v_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi}}{r_W} \quad (2.4.1.12)$$

Κεφάλαιο 3

3 Αυτόνομη οδήγηση

Η αυτόνομη οδήγηση έχει εκδηλωθεί ως μια σημαντική καινοτομία στον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας τα τελευταία χρόνια. Αποτελεί την εφαρμογή τεχνολογίας αυτοματισμού στα οχήματα, δηλαδή τη δυνατότητα ενός οχήματος εδάφους να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του και να κινείται με ασφάλεια χωρίς ή με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Τα αυτόνομα αυτοκίνητα είναι εφοδιασμένα με διάφορους αισθητήρες που τους επιτρέπουν να αντιληφθούν το περιβάλλον τους με ακρίβεια. Αυτοί οι αισθητήρες περιλαμβάνουν θερμογραφικές κάμερες, συστήματα LiDAR (LightDetection and Ranging), GPS (GlobalPositioningSystem) και ραντάρ[4].

Οι θερμογραφικές κάμερες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της θερμότητας που εκπέμπεται από τα αντικείμενα γύρω από το όχημα. Το LiDAR εκπέμπει και λαμβάνει φωτεινούς παλμούς για να μετρήσει την απόσταση από αντικείμενα και να δημιουργήσει ένα τρισδιάστατο μοντέλο του περιβάλλοντος. Το GPS χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της γεωγραφικής θέσης του οχήματος, ενώ τα ραντάρ ανιχνεύουν τα αντικείμενα με βάση την ανάκλαση των ραδιοκυμάτων.

Η συνδυασμένη χρήση αυτών των αισθητήρων επιτρέπει στα αυτόνομα αυτοκίνητα να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους με μεγάλη ακρίβεια και να λαμβάνουν αποφάσεις για την κίνησή τους με βάση αυτήν την πληροφορία. Αυτό οδηγεί σε αυξημένη ασφάλεια και αποδοτικότητα στην οδήγηση, ενώ ταυτόχρονα μειώνει την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση.

3.1 Επίπεδα αυτονομίας

Η αυτονομία στα οχήματα έχει κατηγοριοποιηθεί σε έξι επίπεδα σύμφωνα με το σύστημα που αναπτύχθηκε από την SAE International [4]:

Επίπεδο 0: Σε αυτό το επίπεδο, τα οχήματα δεν διαθέτουν κανέναν αυτοματισμό. Η οδήγηση εξαρτάται πλήρως από τον ανθρώπινο οδηγό.

Επίπεδο 1: Σε αυτό το επίπεδο, το αυτοκίνητο και ο οδηγός μοιράζονται τον έλεγχο του οχήματος. Ο οδηγός διατηρεί την αρχική ευθύνη για την οδήγηση, αλλά μπορεί να λάβει υποστηρικτικές λειτουργίες από το αυτοματοποιημένο σύστημα, όπως παρακολούθηση πορείας ή σύστημα προειδοποίησης.

Επίπεδο 2: Σε αυτό το επίπεδο, το όχημα μπορεί να αναλάβει ορισμένες λειτουργίες της οδήγησης και να ελαφρύνει τον οδηγό από αυτές. Ωστόσο, ο οδηγός πρέπει να παρακολουθεί στενά την οδήγηση και να είναι έτοιμος να παρέμβει αν απαιτηθεί.

Επίπεδο 3: Σε αυτό το επίπεδο, το όχημα μπορεί να αναλάβει ορισμένες προηγμένες λειτουργίες, όπως ενεργοποίηση δεικτών αλλαγής κατεύθυνσης, αλλαγή λωρίδας κυκλοφορίας και προσαρμογή της ταχύτητας σε σημείο που να ακολουθεί τη ροή της κυκλοφορίας. Ο οδηγός μπορεί να αποσπά την προσοχή του από την οδήγηση, αλλά πρέπει να είναι έτοιμος να αναλάβει τον έλεγχο κατά αίτηση του συστήματος.

Επίπεδο 4: Σε αυτό το επίπεδο, το όχημα μπορεί να λειτουργεί πλήρως αυτόνομα, χωρίς την ανάγκη συνεχούς παρακολούθησης από τον οδηγό. Ωστόσο, η λειτουργία αυτή περιορίζεται σε συγκεκριμένες συνθήκες ή περιοχές, όπως καθορίζονται από τον κατασκευαστή.

Επίπεδο 5: Σε αυτό το επίπεδο, δεν απαιτείται καθόλου ανθρώπινη παρέμβαση. Το όχημα είναι πλήρως αυτόνομο και ο οδηγός απλά θέτει τον προορισμό και εκκινεί την πορεία. Ωστόσο, αυτό το επίπεδο ακόμη είναι υπό ανάπτυξη και δεν έχει επιτευχθεί πλήρως στην πραγματικότητα.

Αυτές οι κατηγορίες επιπέδων αυτονομίας προσφέρουν μια κοινή γλώσσα και κατανόηση για την εξέλιξη της τεχνολογίας αυτοκινήτων. Παράλληλα, σημαίνει ότι οι οδηγοί πρέπει να παραμένουν προσεκτικοί και έτοιμοι να παρέμβουν, ακόμη και σε υψηλότερα επίπεδα αυτονομίας, για την ασφάλεια και την επίτευξη ενός ομαλού συστήματος οδικής κυκλοφορίας.

3.2 Εκπαιδευτική προσέγγιση στην Αυτόνομη Οδήγηση

Η αυτόνομη οδήγηση αντιπροσωπεύει μια σημαντική εξέλιξη στην τεχνολογία των οχημάτων, και οι τριτοβάθμιες εκπαιδευτικές ιδρύσεις προσπαθούν να ακολουθήσουν αυτήν την πρόοδο. Ωστόσο, λόγω του υψηλού κόστους που συνεπάγεται η ανάπτυξη και ο πειραματισμός με αυτόνομα οχήματα, ορισμένες σχολές επικεντρώνονται σε ερευνητικές δραστηριότητες πάνω σε μικρά αυτόνομα ρομποτικά οχήματα, ενώ άλλες ασχολούνται με την ανάπτυξη πρωτότυπων οχημάτων, είτε για διοργανώσεις όπως η FormulaStudent, είτε με εστίαση σε ηλεκτρικά ή υδρογονοκίνητα οχήματα. Επιπλέον, ορισμένες σχολές ερευνούν την αυτόνομη οδήγηση σε πλαίσιο καθημερινών οχημάτων.

Με αυτόν τον τρόπο, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα προσπαθούν να προετοιμάσουν τους φοιτητές τους για την ανάπτυξη και την αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνολογιών αυτόνομης οδήγησης. Αυτές οι δραστηριότητες επιτρέπουν στους φοιτητές να αποκτήσουν πρακτική εμπειρία και να αντιμετωπίσουν πραγματικά προβλήματα που σχετίζονται με την αυτόνομη οδήγηση. Ταυτόχρονα, η έρευνα αυτή συμβάλλει στην περαιτέρω εξέλιξη και βελτίωση της τεχνολογίας αυτονομίας στα οχήματα.



Εικόνα 15: Αυτόνομα οχήματα

4 Κεφάλαιο

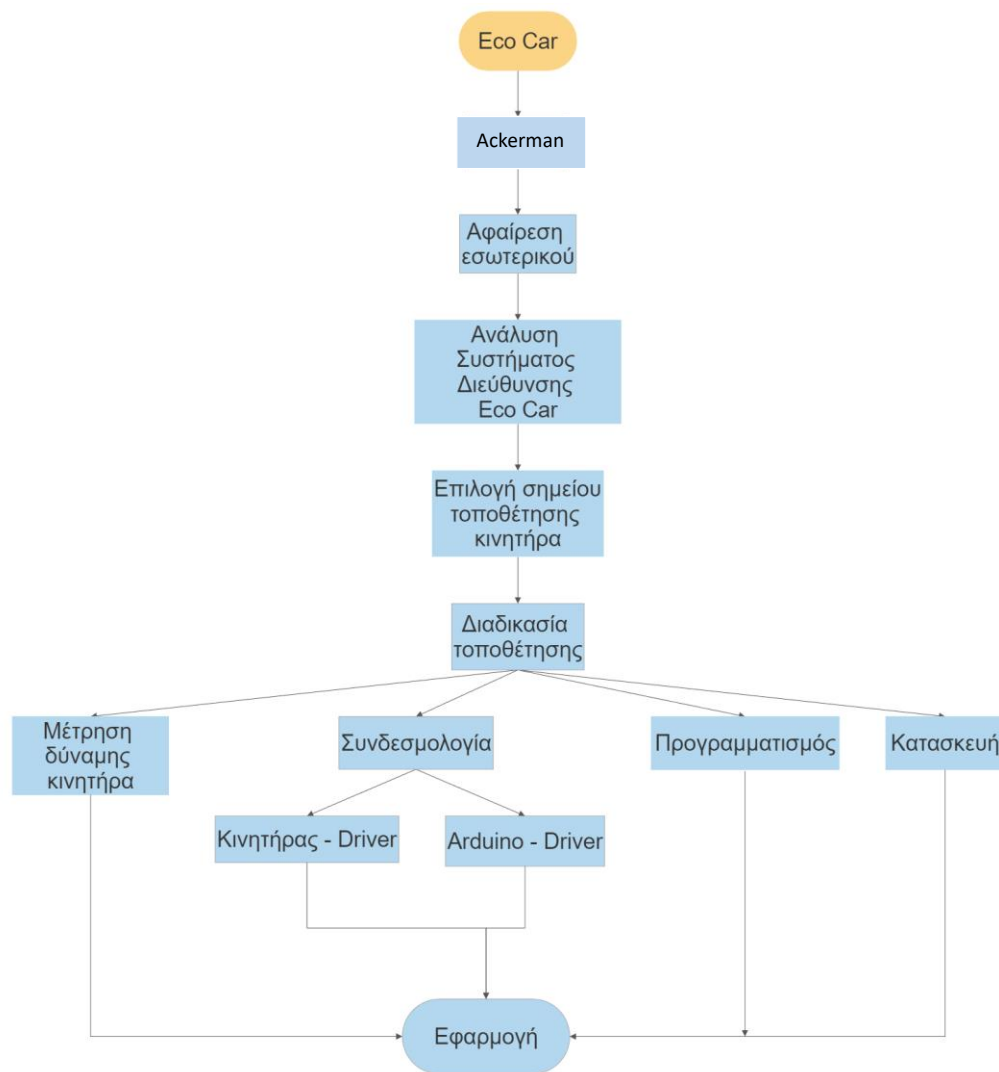
Σχεδίαση, μελέτη και μετατροπή

Το Πολυτεχνείο Κρήτης διαθέτει μια σειρά ηλεκτρικών οχημάτων, γνωστών ως Eco Car, τα οποία παράγονται από την εταιρεία Jiayuan. Τα Eco Car εξοπλίζονται με έναν ηλεκτροκινητήρα ισχύος 7,5 kW και λειτουργούν με έξι μπαταρίες στα 72V. Αυτά τα οχήματα παρουσιάζουν αυτονομία περίπου 100 έως 120 χιλιομέτρων και μπορούν να αποκτήσουν μέγιστη ταχύτητα έως 80 χλμ/ώρα. Ένα από αυτά τα οχήματα χρησιμοποιείται στο εργαστήριο ρομποτικής με σκοπό την πειραματική ανάπτυξη και την εξέλιξη της αυτόνομης οδήγησης, από τους φοιτητές του Πολυτεχνείου, υπό την επίβλεψη των εκπαιδευτικών στελεχών.



Εικόνα 16: Eco car

4.1 Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα 1 Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας

Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία για την εκτέλεση της μελέτης και τη μετατροπή ενός υδραυλικού συστήματος διεύθυνσης σε αυτόνομο σύστημα.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

- Εφαρμογή γεωμετρίας Ackerman για να υπολογιστεί η γωνία που διαγράφει το όχημα
- Αφαίρεση εσωτερικού για να υπάρξει πρόσβαση στα μηχανικά μέρη
- Ανάλυση συστήματος διεύθυνσης του EcoCar
- Επιλογή σημείου τοποθέτησης του sterpmotoπάνω στο σύστημα διεύθυνσης
- Η διαδικασία τοποθέτησης που ακολουθήθηκε
 - Μέτρηση απαιτούμενης δύναμης κινητήρα, για την ορθή επιλογή κινητήρα
 - Διαδικασία συνδεσμολογίας:
 - Του κινητήρα με το Driver
 - Του driver με τον ελεγκτή (Arduino)

- Προγραμματισμός του ελεγκτή ώστε να ανταποκρίνεται σωστά στα δεδομένα του Joystick και να δίνει τις κατάλληλες εντολές στο σύστημα διεύθυνσης
- Πραγματοποιείται η κατασκευή του αυτόνομου συστήματος
- Πραγματοποιείται η εφαρμογή και οι δοκιμές

4.2 Ackerman στο EcoCar

Για να εφαρμοστεί η γεωμετρία του Ackerman στο EcoCar, ορίζονται οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν οι οποίες προκύπτουν από μετρήσεις στο όχημα, Πίνακας 1, (L μήκος, W πλάτος οχήματος, r_w ακτίνες τροχών). Θεωρώντας ότι το όχημα κινείται με $v=15\text{km/ώρα}$, θέλουμε να κάνει μια στροφή ακτίνας $R=4m$.

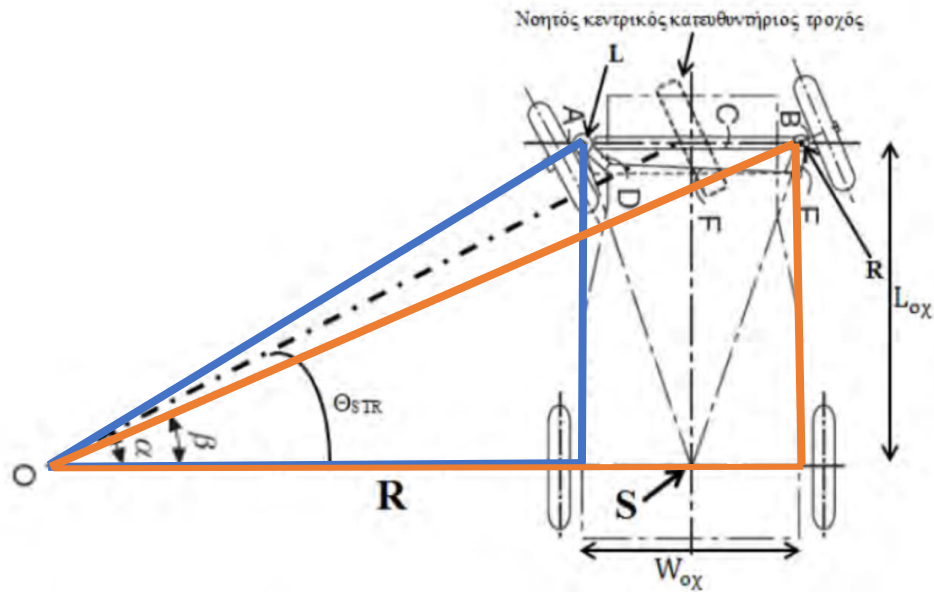
Πίνακας 1: Μεταβλητές Ecocar

L	1,5 m	
W	1,1 m	
R	4 m	
V_{ox}	4,17 m/s	$v=15\text{km/h}$
r_w	0,30 m	$r=12\text{inches}$
ω	1,04 rad/s	

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω εξισώσεις υπολογίζεται η γωνία που διαγράφει το όχημα.

$$\tan\theta = \frac{L_{ox}}{R} = 0,38 \Leftrightarrow \theta = 0,36\text{rad} \quad (4.2.1)$$

Από το κέντρο του αυτοκινήτου μέχρι το ακρόμπαρο η απόσταση είναι $C=0.48m$.



Εικόνα 1717:Γεωμετρία Ackerman

Με τη χρήση του Πυθαγόρειου θεωρήματος στα σχεδιασμένα τρίγωνα, εφαρμόζονται υπολογισμοί για τον προσδιορισμό των αποστάσεων OA και OB . Κατ' αυτόν τον τρόπο, αποκτούμε γνώση για τις γωνίες α (άλφα) και β (βήτα) με την ακόλουθη μέθοδο:

$$\tan \alpha = \frac{L_{ox}}{R-C} = 0.43 \Leftrightarrow \alpha = 0.40 \text{ rad} \quad (4.2.2)$$

$$\tan \beta = \frac{L_{ox}}{R+C} = 0.25 \Leftrightarrow \beta = 0.24 \text{ rad} \quad (4.2.3)$$

Η γωνιακή ταχύτητα είναι:

$$\omega = \frac{V_{ox}}{R} = 1,04 \text{ rad/s} \quad (4.2.4)$$

Η γραμμική ταχύτητα των πίσω τροχών, είναι:

$$v_{op, \varepsilon \sigma} = V_{ox} * \left(1 - \frac{W_{ox}}{2R}\right) = 3,59 \text{ m/s} \quad (4.2.5)$$

$$v_{op, \varepsilon \xi} = V_{ox} * \left(1 + \frac{W_{ox}}{2R}\right) = 4,74 \text{ m/s} \quad (4.2.6)$$

Η γωνιακή ταχύτητα των πίσω τροχών είναι:

$$\omega_{op, \varepsilon \sigma} = \frac{v_{op, \varepsilon \sigma}}{r_W} = 11,79 \text{ rad/s} \quad (4.2.7)$$

$$\omega_{op, \varepsilon \xi} = \frac{v_{op, \varepsilon \xi}}{r_W} = 15,55 \text{ rad/s} \quad (4.2.8)$$

$R_{\varepsilon \mu \pi, \varepsilon \sigma}$ και $R_{\varepsilon \mu \pi, \varepsilon \xi}$ οι ακτίνες των τροχιών που διαγράφουν οι εμπρόσθιοι τροχοί, είναι:

$$R_{\varepsilon \mu \pi, \varepsilon \sigma} = \sqrt{L_{ox}^2 + \left(R - \frac{W_{ox}}{2}\right)^2} = 3,76 \text{ m} \quad (4.2.9)$$

$$R_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi} = \sqrt{L_{o\chi}^2 + \left(R + \frac{W_{o\chi}}{2}\right)^2} = 4,79 \text{ m} \quad (4.2.10)$$

Άρα, προκύπτουν οι γραμμικές ταχύτητες ως:

$$v_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma} = \omega * R_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma} = 3,92 \text{ m/s} \quad (4.2.11)$$

$$v_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi} = \omega * R_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi} = 4,99 \text{ m/s} \quad (4.2.12)$$

Και οι γωνιακές ταχύτητες :

$$\omega_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma} = \frac{v_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\sigma}}{r_W} = 12,86 \text{ rad/s} \quad (4.2.13)$$

$$\omega_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi} = \frac{v_{\varepsilon\mu\pi,\varepsilon\xi}}{r_W} = 16,37 \text{ rad/s} \quad (4.2.14)$$

4.3 Αφαίρεση εσωτερικού

Στο εσωτερικό του οχήματος υπάρχει το ταμπλό, το τιμόνι και όλα τα ηλεκτρονικά όργανα.



Εικόνα18:Ταμπλό Ecocar

Για να γίνει η προσέγγιση τοποθέτησης του κινητήρα, χρειάζεται η αφαίρεση του εσωτερικού ώστε να υπάρχει πρόσβαση στα μηχανικά μέρη.



Εικόνα19:Μηχανικά μέρη



Εικόνα20:Κολώνα τιμονιού

4.4 Σύστημα διεύθυνσης EcoCar

Το σύστημα διεύθυνσης που διαθέτει το EcoCar(εικόνα 24), είναι μηχανικό με κρεμαγιέρα. Το οποίο αποτελείτε από:

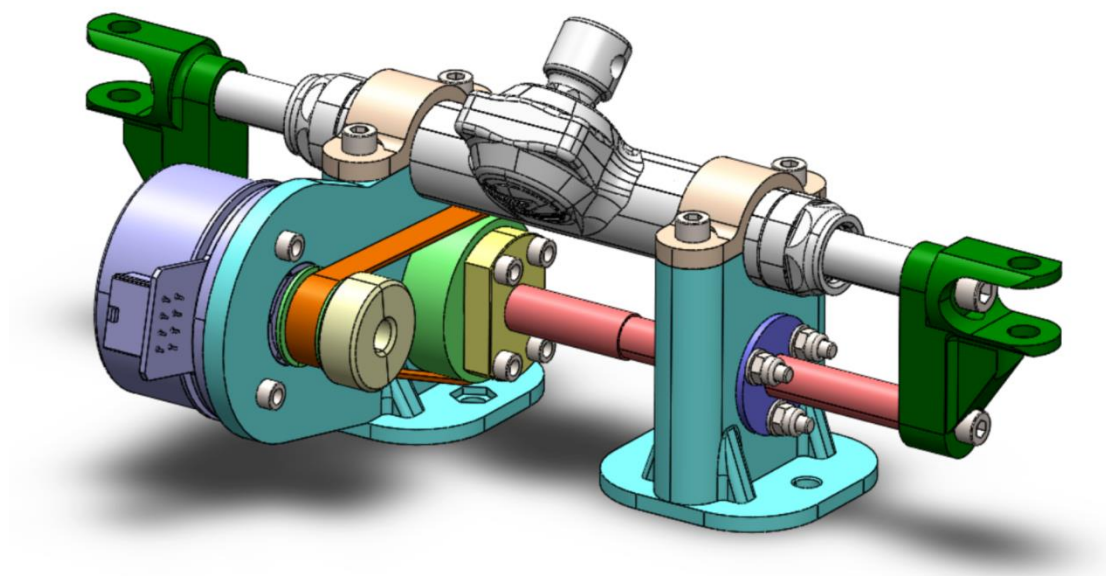
- το τιμόνι, που μεταφέρει την κίνηση μέσω της κολώνας στην κρεμαγιέρα
- την κρεμαγιέρα
- τα ημίμπαρα
- τα ακρόμπαρα μέσω των οποίων φτάνει η κίνηση από τον οδηγό στους τροχούς.

Δεν διαθέτει κάποια υποβοήθηση.

1. **Το τιμόνι:** Μια προσέγγιση είναι η τοποθέτηση ενός γραναζιού στη στεφάνη του τιμονιού και ενός κινητήρα επάνω στο ταμπλό ή μπροστά από την κόρνα. Ωστόσο, η τοποθέτηση του κινητήρα στο ταμπλό θα δυσκολέψει την οδήγηση, καθώς θα εμποδίζει το οπτικό πεδίο του οδηγού. Επίσης, η τοποθέτηση μπροστά από την κόρνα δεν θα είναι ασφαλής για τον οδηγό σε περίπτωση ατυχήματος
2. **Η κρεμαγιέρα:** Μια προσέγγιση είναι η τοποθέτηση μιας σφαιρικής βίδας (ballscrew) παράλληλα με την κρεμαγιέρα. Με τη σύνδεση των άκρων της βίδας με τα ημίμπαρα και τη χρήση ενός κινητήρα, οι τροχοί θα μπορούσαν να στρίβουν στην επιθυμητή κατεύθυνση. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση είναι δυσπρόσιτη λόγω του περιορισμένου χώρου στο μηχανοστάσιο και κάτω από αυτό.



Εικόνα 23: Ballscrew



Εικόνα 24: Ηλεκτροκινητήρας παράλληλα συνδεδεμένος στην κρεμαργιέρα

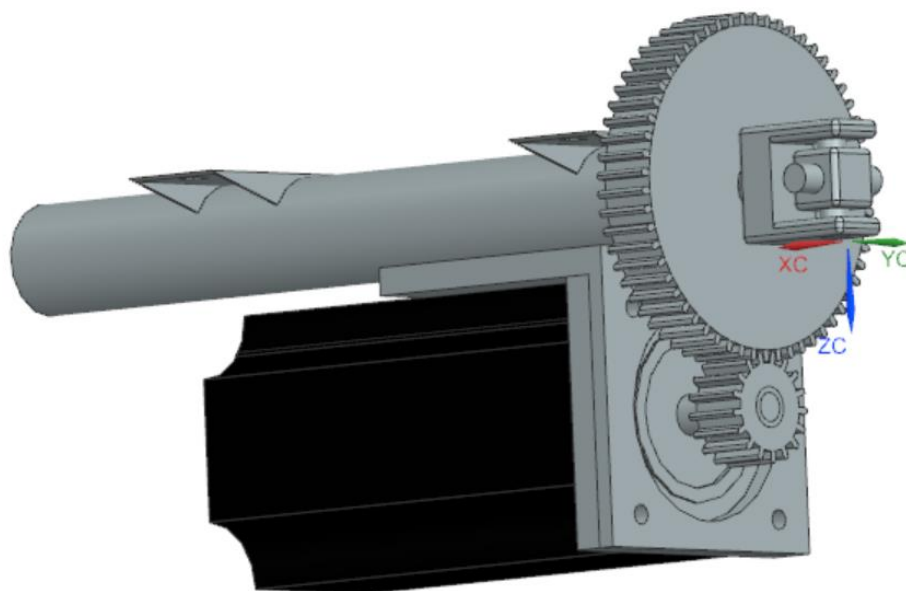
3. **Ηλεκτρικό τιμόνι:** Υπάρχει η επιλογή για ηλεκτρικό τιμόνι στον προαιρετικό εξοπλισμό του Eco Car. Ωστόσο, η αυτονομοποίηση του εργοστασιακού συστήματος ηλεκτρικού τιμονιού απαιτεί τη σύνδεση με το εργοστασιακό λογισμικό του, κάτι που καθιστά τον προγραμματισμό πιο πολύπλοκο.
4. **Κάθετα στην κολώνα:** Μια προσέγγιση είναι η τοποθέτηση ενός κινητήρα κάθετα στην κολώνα και δύο γραναζιών υπό γωνία, ένα στον κινητήρα και ένα στην κολώνα. Ωστόσο, παρατηρώντας το σασί, δεν υπάρχει κατάλληλο σημείο για να τοποθετηθεί η βάση στήριξης του κινητήρα.
5. **Οριζόντια στην κολώνα:** Μια προσέγγιση είναι η τοποθέτηση ενός κινητήρα παράλληλα με την κολώνα με δύο γρανάζια, ένα στον κινητήρα και ένα στην κολώνα. Αυτή η προσέγγιση επιλέχθηκε λόγω της εφικτότητας τοποθέτησης και στήριξης του κινητήρα στο σασί του οχήματος.

4.6 Διαδικασία τοποθέτησης

Για την ακριβή εγκατάσταση των γραναζιών και του κινητήρα στο αμάξωμα, απαιτούνται μετρήσεις και ακριβείς διαστάσεις για να διασφαλιστεί η ορθή τοποθέτησή τους.

Με βάση τις μετρήσεις αυτές, πρέπει να γίνει η κατανόηση της γεωμετρίας του αμαξώματος και των σημείων όπου οι συσκευές θα τοποθετηθούν. Η προετοιμασία ακριβών σχεδίων ή 3D μοντέλων του αμαξώματος μπορεί να βοηθήσει στην ανάλυση και τον προγραμματισμό της εγκατάστασης.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η σταθερότητα και η ασφάλεια των εξαρτημάτων. Πρέπει να εξασφαλιστεί ότι τα γρανάζια και ο κινητήρας είναι σωστά στερεωμένοι.



Εικόνα 185 Βάση-Γρανάζια-Κολώνα-Κινητήρας

4.6.1 Μέτρηση δύναμης κινητήρα

Για να γίνει η κατάλληλη επιλογή του κινητήρα, πραγματοποιήθηκε μέτρηση της δύναμης περιστροφής του τιμονιού χρησιμοποιώντας ένα δυναμόκλειδο. Η μέτρηση αυτή έδειξε μια ένδειξη 13 Nm , ενώ το αυτοκίνητο ήταν ακινητοποιημένο σε ένα λείο δάπεδο. Ο στόχος ήταν να επιλεγεί ένας κινητήρας που θα μπορεί να περιστρέφει το τιμόνι, ακόμα και όταν το αυτοκίνητο είναι ακινητοποιημένο, ακόμα και σε ένα έδαφος με μεγαλύτερη τριβή στα λάστιχα που απαιτεί περισσότερη δύναμη.

Με βάση αυτό, θεωρήθηκε ότι η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή είναι 30 Nm . Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις του κινητήρα για την εφαρμογή του στο διαθέσιμο χώρο, επιλέχθηκε ένας βηματικός κινητήρας με ροπή 12 Nm . Ο κινητήρας αυτός θα μεταφέρει την κίνηση μέσω γραναζιών κατάλληλης αναλογίας στην κολώνα του τιμονιού. Η γωνία περιστροφής του κινητήρα είναι $1,8^\circ$ ανά βήμα, παρέχοντας μια μέτρηση για τις μοίρες περιστροφής που απαιτούνται για να στραφεί το τιμόνι στην επιθυμητή θέση.

Ωστόσο, δεν επιλέχθηκε ένας συνεχής κινητήρας λόγω της ανάγκης για επιπλέον αισθητήρες για τον περιορισμό της κίνησης του τιμονιού, κάτι που θα καθιστούσε τον προγραμματισμό πιο περίπλοκο. Ο επιλεγμένος βηματικός κινητήρας (Nema 34) διαθέτει

επίσης έναν κωδικοποιητή (encoder), ο οποίος παρέχει ακριβή θέση του άξονα του κινητήρα, προστατεύει από σφάλματα και παρέχει ανατροφοδότηση για τις λειτουργίες του.

4.6.2 Συνδεσμολογία

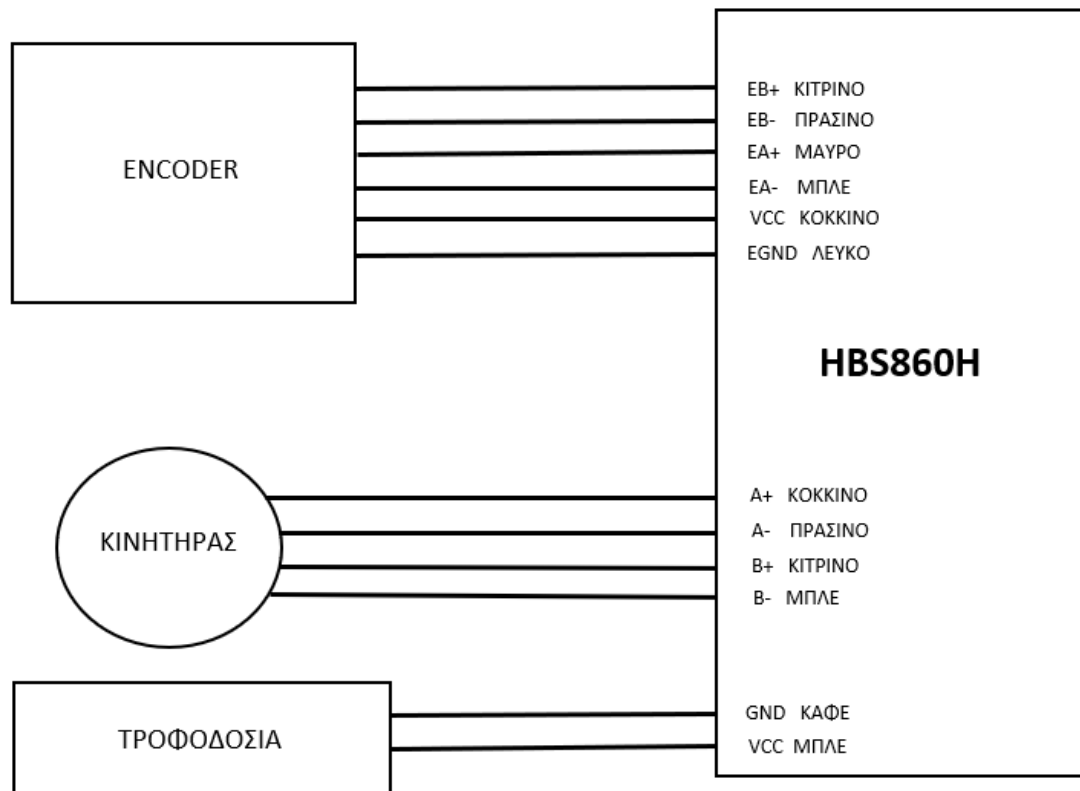
Ο κινητήρας συνδέεται με έναν υβριδικό οδηγό (hybridservodriver) με την ονομασία HBS860H, ο οποίος λειτουργεί ως διεπαφή μεταξύ του κινητήρα και του κύκλωματος ελέγχου (controller). Ο κινητήρας απαιτεί υψηλή τάση ρεύματος στο εύρος 30-80V, ενώ το κύκλωμα ελέγχου λειτουργεί με σήματα χαμηλής τάσης, συγκεκριμένα 5V ή 24V. Ο οδηγός (driver) αναλαμβάνει να λάβει το χαμηλής τάσης σήμα ελέγχου και να το μετατρέψει σε ένα σήμα υψηλότερης τάσης, που μπορεί να οδηγήσει τον κινητήρα με τις απαιτούμενες παραμέτρους. Επιπλέον, ο οδηγός λαμβάνει την ανατροφοδότηση από τον κωδικοποιητή (encoder) και την εμφανίζει για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση.

Το ρεύμα τροφοδοσίας του οδηγού προέρχεται από την μπαταρία του οικολογικού αυτοκινήτου (Ecocar) που βρίσκεται κάτω από τα καθίσματα. Η μπαταρία αυτή παρέχει τάση στο εύρος 56-83V και ρεύμα 143A, ανταποκρινόμενη στις απαιτήσεις του κινητήρα και του οδηγού.

Το κύκλωμα ελέγχου (controller) αποτελείται από ένα μικροελεγκτή Arduino Uno. Ο μικροελεγκτής αυτός εκδίδει εντολές για την επίτευξη συγκεκριμένης κίνησης του κινητήρα, ορίζοντας ταχύτητα και χρόνο εκτέλεσης για την κάθε κίνηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον έλεγχο της περιστροφικής κίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το προκαθορισμένο προφίλ κίνησης που έχει οριστεί στο πρόγραμμα, ανάλογα με τις ειδικές ανάγκες του συστήματος.

4.6.2.1 Συνδεσμολογία κινητήρα-driver

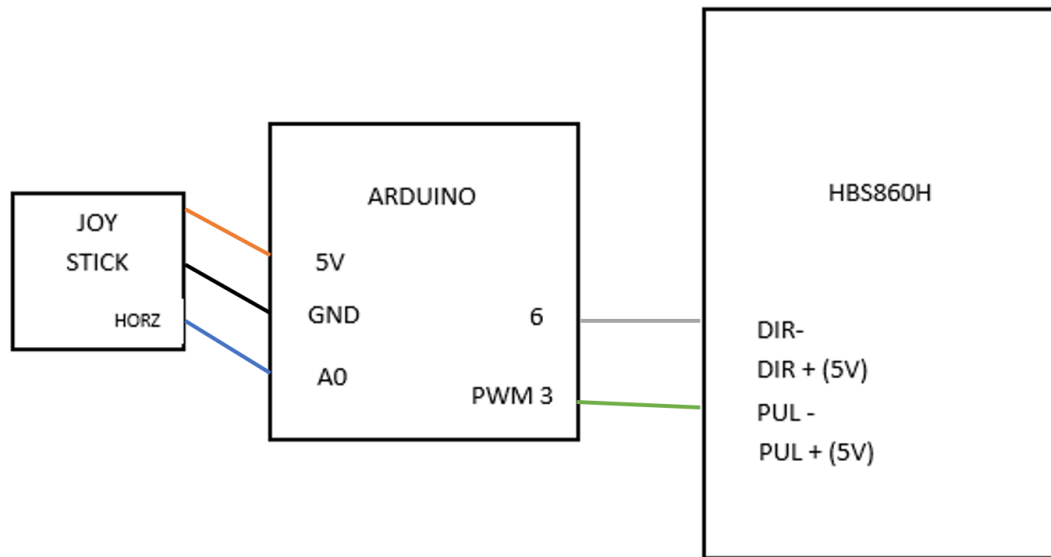
Ακολουθώντας τις οδηγίες που παρέχονται στο εγχειρίδιο (datasheet) του οδηγού (Driver), πραγματοποιείται η σύνδεση του κινητήρα με τον οδηγό μέσω της κατάλληλης συνδεσμολογίας.



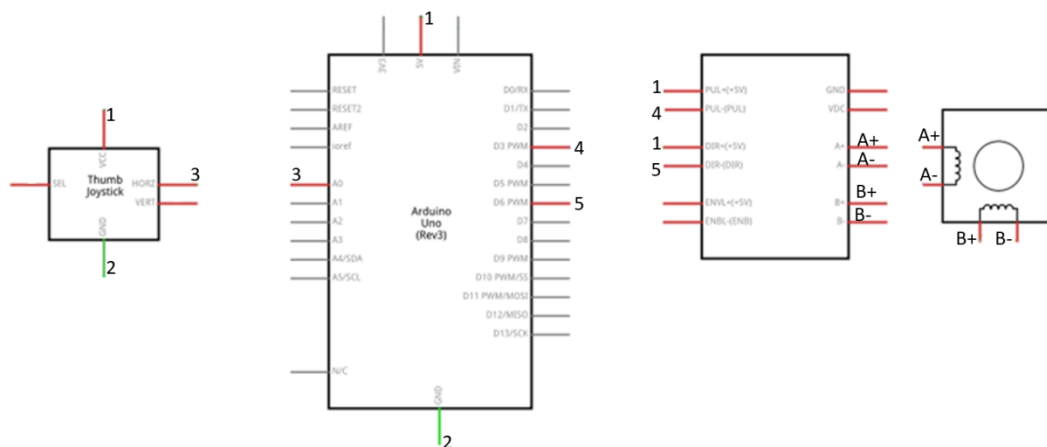
Διάγραμμα 2 Datasheet driver

4.6.2.2 Συνδεσμολογία joy stick-arduino-driver

Για την αποτελεσματική σύνδεση του joystick με το Arduino, χρησιμοποιούμε μια τάση 5V για την τροφοδοσία, μια γείωση για τη σύνδεση με τη γη και τον οριζόντιο άξονα (HORZ) συνδέεται με την αναλογική είσοδο A0 του Arduino. Όσον αφορά τον driver, απαιτεί τάση 5V και προσφέρει τη δυνατότητα άμεσης σύνδεσης με τον ελεγκτή (Arduino). Έτσι, οι ακροδέκτες DIR+ και PUL+ του driver συνδέονται με την τάση 5V που παρέχεται από το Arduino. Στη συνέχεια, γίνεται η κατάλληλη σύνδεση του ακροδέκτη DIR- με την έξοδο 6 του Arduino και του ακροδέκτη PUL- με την έξοδο PWM 3 του Arduino. Με αυτήν την προσαρμογή, επιτυγχάνεται η ανάλογη κίνηση του κινητήρα βάσει της κατεύθυνσης που αναφέρεται από το joystick στον οριζόντιο άξονα.



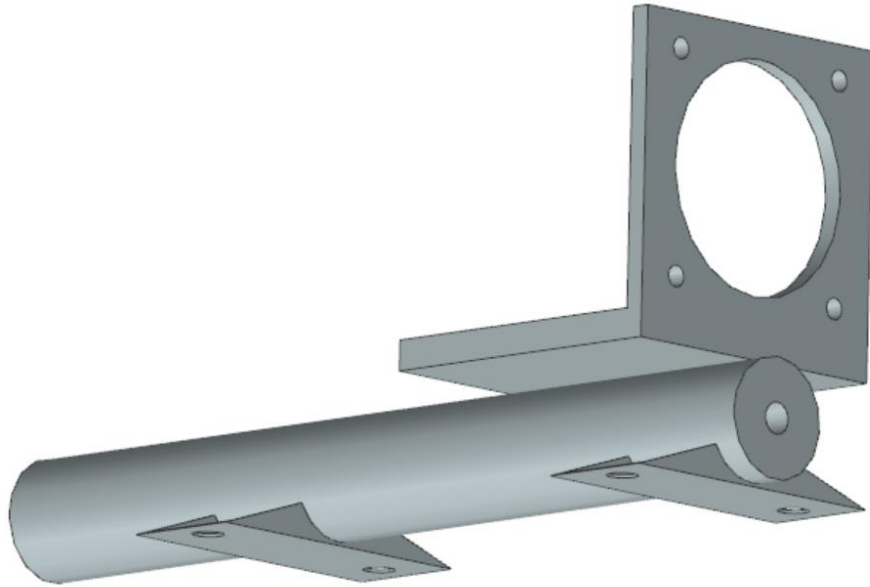
Διάγραμμα 3 Σύνδεση Joystick-Arduino & Arduino-Driver



Διάγραμμα 4

4.6.3 Κατασκευή

Στην αρχή της διαδικασίας κατασκευής, πραγματοποιήθηκε η συγκόλληση της βάσης του κινητήρα με το πάνω μέρος της κολώνας, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο συγκόλλησης MIG. Αυτό επιτρέπει την ασφαλή τοποθέτηση του κινητήρα στην κολώνα, εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη σταθερότητα και αντοχή.



Εικόνα 196 Βάση κινητήρα

Στη συνέχεια, τοποθετήθηκε ο κινητήρας προκειμένου να μετρηθεί η ακριβής απόσταση από το κέντρο του άξονα του κινητήρα μέχρι το κέντρο του άξονα της κολώνας. Μέσω αυτής της μέτρησης, καθορίστηκε ότι η απόσταση αυτή ανέρχεται σε $77mm$. Αυτή η μέτρηση είναι σημαντική για την επίτευξη της σωστής ευθυγράμμισης και λειτουργίας των μηχανικών συστατικών.



Εικόνα 207 Βάση κινητήρα με τον κινητήρα

Ακολουθώντας, λαμβάνοντας υπόψη τον διαθέσιμο χώρο στο όχημα, πραγματοποιήθηκε η σωστή επιλογή μεγέθους και τύπου γραναζιών. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν γρανάτζια με module 2, έχοντας 57 δόντια το μεγάλο γρανάτζι και 17 δόντια το μικρό γρανάτζι. Μέσω αυτής της επιλογής, προέκυψε μια αναλογία γραναζιών $1/3.1$. Αυτή η αναλογία θεωρείται αποδεκτή, καθώς έχει ληφθεί υπόψη η ροπή που θα ασκηθεί στην κολώνα που είναι:

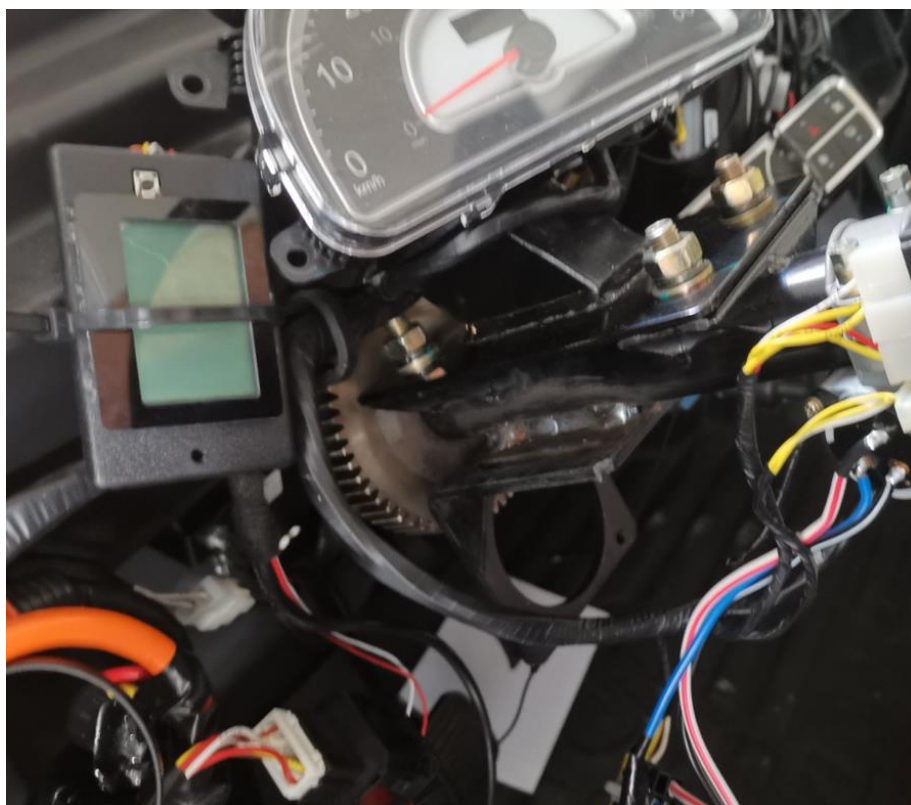
$$12 * 3,1 = 37,2Nm > 30Nm. \quad (4.6.3.1)$$

Τέλος, τα γρανάτζια τοποθετήθηκαν στους άξονες μετά την κατάλληλη επεξεργασία των κέντρων τους, προκειμένου να επιτευχθούν οι απαραίτητες διαστάσεις εφαρμογής και να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία τους.



Εικόνα 2821 Κινητήρας-Γρανάζια-Κολώνα

Ακολουθεί η εφαρμογή της κατασκευής στο όχημα, με προσεκτική τοποθέτηση και ευθυγράμμιση των συστατικών. Ο κινητήρας τοποθετείται πάνω στη βάση της κολώνας, επιτυγχάνοντας έτσι την απαιτούμενη σταθερότητα και αντοχή. Το γρανάζι μεγάλου μεγέθους και το γρανάζι μικρού μεγέθους τοποθετούνται στους άξονες, διασφαλίζοντας την σωστή μετάδοση της κίνησης και επιτυγχάνοντας την απαιτούμενη αναλογία γραναζιών. Τέλος, η επεξεργασία των κέντρων των γραναζιών διασφαλίζει την κατάλληλη εφαρμογή τους στους άξονες, εξασφαλίζοντας έτσι την ομαλή και αποτελεσματική λειτουργία του μηχανισμού.



Εικόνα 29 Τοποθέτηση Βάσης-Γραναζιών στο Escar



Εικόνα 220 Τοποθέτηση κινητήρα στο Ecocar

Κεφάλαιο 5

5 Προγραμματισμός

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση του κώδικα που χρησιμοποιείται για την αλληλεπίδραση μεταξύ του Arduino και του συστήματος διεύθυνσης του οχήματος. Ο κώδικας αυτός είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία των δύο συστημάτων, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη και αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων ανάμεσά τους. Μέσω αυτού του κώδικα, πραγματοποιείται η συγχρονισμένη επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών που είναι απαραίτητη για την ομαλή λειτουργία του συστήματος διεύθυνσης του οχήματος. Η κατανόηση και η βελτιστοποίηση αυτού του κώδικα είναι ζωτικής σημασίας για την αξιοπιστία και την απόδοση του αυτόνομου οχήματος.

- PUL:
Είναι η ταχύτητα περιστροφής του stepmotor
- DIR:
Η διεύθυνση κίνησης stepmotor
- JOY:
Δεδομένα που λαμβάνει το Arduino από το Joystick
- POS:
Θέση του Joystick

Πίνακας 2 Κώδικας

<pre> int PUL = 3; int DIR = 6; int JOY=A0; int POS=0; void setup() { Serial.begin(9600); pinMode(PUL, OUTPUT); pinMode(DIR, OUTPUT); pinMode(JOY, INPUT); } void loop() { POS = analogRead(JOY); if(POS>=430 && POS<=530) { analogWrite(PUL, 0); } delay(10); POS = analogRead(JOY); if(POS>=0 && POS<430) { digitalWrite(DIR, LOW); analogWrite(PUL, 10); } delay(10); POS = analogRead(JOY); if(POS> 530 && POS <1023) { digitalWrite(DIR, HIGH); analogWrite(PUL, 10); } delay(10); Serial.print(POS); } </pre>	Αρχικοποίηση τιμών στο Arduino (θέσεις συνδεδεμένων pin)
	Δήλωση σημάτων εισόδου και εξόδου στον ελεγκτή
	Έλεγχος θέσης του joystick αν είναι ανάμεσα από τις τιμές 430 και 530 τότε δεν γίνεται καμία κίνηση
	Έλεγχος θέσης του joystick αν είναι ανάμεσα από τις τιμές 0 και 430 τότε δίνεται σαν έξοδο η διεύθυνση να είναι αριστερά καθώς και η ταχύτητα περιστροφής
	Έλεγχος θέσης του joystick αν είναι ανάμεσα από τις τιμές 530 και 1023 τότε δίνεται σαν έξοδο η διεύθυνση να είναι δεξιά καθώς και η ταχύτητα περιστροφής
	Τέλος επαναληπτικού ελέγχου

6 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πτυχιακή εργασία υποδεικνύουν ότι η αυτόνομη οδήγηση είναι εφικτή και αποδοτική σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές και χρηστικές προϋποθέσεις. Το Ecocar κατάφερε να λειτουργήσει αυτόνομα και να ακολουθήσει τις ανάγκες κατεύθυνσης του οδηγού, όπως καθορίστηκε από τις προδιαγραφές και τις ρυθμίσεις του. Αυτό αποδεικνύει ότι οι τεχνολογίες αυτόνομης οδήγησης μπορούν να λειτουργήσουν με επιτυχία όταν πληρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις.

Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η αυτόνομη οδήγηση που παρουσιάστηκε στην πτυχιακή εργασία περιορίζεται στις ελεγχόμενες προδιαγραφές του Ecocar. Αυτό υποδεικνύει ότι η αυτόνομη οδήγηση ενδέχεται να απαιτεί περισσότερες προδιαγραφές και αποδοτικότητα για να είναι εφικτή σε κοινά αυτοκίνητα που κυκλοφορούν σήμερα. Οι προδιαγραφές και οι ρυθμίσεις του Ecocar πιθανόν να μην είναι απεικονίσιμες στη γενική πραγματικότητα, όπου υπάρχουν ποικίλες συνθήκες και προκλήσεις.

Ένα εμπόδιο που παρουσιάστηκε στην έρευνα είναι η περιορισμένη ισχύς των μπαταριών των κοινών αυτοκινήτων, η οποία είναι χαμηλή (<60W). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι προβληματικό να υποστηριχθούν πλήρως οι απαιτήσεις των συστημάτων αυτόνομης οδήγησης. Για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη πιο ισχυρών και αποδοτικών μπαταριών που θα μπορούν να ανταποκριθούν στις αυξημένες απαιτήσεις των συστημάτων αυτόνομης οδήγησης.

Συνολικά, τα παραπάνω συμπεράσματα αντλούν από τα παρουσιαζόμενα αποτελέσματα της έρευνας και αποτελούν επιστημονική ανάλυση του προβληματισμού και των πιθανών κατευθύνσεων για μελλοντική έρευνα και βελτίωση των συστημάτων αυτόνομης οδήγησης.

7 Βιβλιογραφία

- [1] Θ.Ζαχμάνογλου, Γ.Πατσιάβος, Π.Καραμπίλας, Γ.Καπετανάκης, Πέρα από το 2000,Εκδοτικός όμιλος ΙΔΕΕΑ,1998
- [2] Rolf Gscheidle, Τεχνολογία Αυτοκινήτων Οχημάτων, Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ, 2016
- [3] R. N. Jazar, *Vehicle dynamics: theory and applications*, Corrected at 3. printing. New York, NY: Springer, 2009.
- [4]"Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles," SAE, Tech. Rep., 2018.