

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**



**ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ:  
ΟΔΗΓΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ**

---

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΟΝΟΜΑ:**

**ΚΑΤΤΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**Δρ. ΧΑΤΖΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΧΑΝΙΑ 2010**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ πολύ τον κ. Γιάννη Χατζάκη για τις γνώσεις που μου έχει μεταδώσει και επίσης για τον χρόνο που διέθεσε για εμένα παρόλο που στον χρόνο αυτό θα μπορούσε να κάνει εργασίες πιο υψηλού επιπέδου.

Ευχαριστώ τους υπεύθυνους της βιβλιοθήκης του ιδρύματος που ήταν πάντα εξυπηρετικοί. Ευχαριστώ τους καθηγητές και συναδέλφους για όλες τις χρήσιμες πληροφορίες που μου πρόσφεραν.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην υβριδική τεχνολογία και τρόπους παραγωγής ενέργειας στα υβριδικά οχήματα. Επίσης αναλύει τα χαρακτηριστικά του κάθε ηλεκτρικού κινητήρα και επιλογή του καταλληλότερου για χρήση σε ηλεκτρικά υβριδικά οχήματα. Τέλος η κατασκευή ενός κυκλώματος οδήγησης ηλεκτρικού κινητήρα με μικροεπεξεργαστή.



## ABSTRACT

This thesis informs about Hybrid Technology and shows some ways to regenerate energy on Hybrid Electric Vehicles. Also analyze all electric motors characteristics and choose the optimal one for use on hybrid electric vehicles. At the end, shows the produce of our electric motor driver controlled by a microprocessor.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	05
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	
1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ .....	06
1.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ .....	07
1.3 ΚΥΡΙΑΡΧΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΥΒΡΙΔΙΣΜΟΥ .....	12
1.4 ΑΠΟ ΤΙ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ .....	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	
2.0 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ .....	13
2.0.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ .....	13
2.0.2 ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ .....	14
2.0.3 ΒΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ .....	14
2.1 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (DC) .....	15
2.1.1 ΒΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ .....	15
2.1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ .....	16
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ .....	16
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ .....	17
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΜΟΝΙΜΟΥΣ ΜΑΓΝΗΤΕΣ .....	17
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ .....	18
ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ .....	19
2.2 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (AC) .....	19
2.2.1 ΒΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΝΑΛΛ/ΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ .....	20
2.2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ .....	21
ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ .....	21
ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ .....	22
2.2.4 ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ .....	24
2.2.5 ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ) .....	26
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	
3.0 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ .....	29
3.1 ΠΗΓΕΣ ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ .....	30
3.1.1 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕΣΩ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ .....	30
3.1.2 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕΣΩ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	30
3.1.3 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕΣΩ ΦΡΕΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ .....	31
3.1.4 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ .....	32
3.1.5 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕΣΩ ΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΜΕΡΩΝ .....	33
3.1.6 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕΣΩ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ .....	34
3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ .....	35
3.3 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	36
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	
4.0 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ (INVERTERS) .....	38
4.1 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΥΡΟΥΣ ΠΑΛΜΟΥ (PWM) .....	40
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	
5.0 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ .....	41
5.1 ΠΡΩΤΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ .....	41
5.1 ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ .....	42
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	
6.0 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ .....	50
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	51

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αυτοκίνητο σήμερα είναι μέρος της καθημερινής μας ζωής. Έχει γίνει αναγκαίο μεταφορικό μέσο και είναι πολύ δύσκολο να το αποχωριστούμε. Όλες οι οικογένειες έχουν τουλάχιστον ένα αυτοκίνητο στο γκαράζ τους για άνετες μετακινήσεις. Αυτή η άνεση όμως είναι καταστροφική για την τσέπη μας αλλά κυριότερα για τον πλανήτη που ζούμε. Η ρύπανση του περιβάλλοντος από τα καυσαέρια των οχημάτων είναι το κυριότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης και εμείς ως κάτοικοι σε αυτόν.

Γι'αυτο το λόγο και άρχισαν οι προσπάθειες βελτίωσης των οχημάτων έτσι ώστε να πετυχαίνεται εξοικονόμηση καυσίμου και λιγότερη ρύπανση του περιβάλλοντος. Οι βελτιώσεις συνεχίζονται μέχρι σήμερα και ειδικά τα τελευταία χρόνια με πολύ γοργούς ρυθμούς.

Μια από τις πολύτιμες βελτιώσεις ήταν η χρήση υβριδικής τεχνολογίας. Τι είναι η υβριδική τεχνολογία; Πως επιτυγχάνεται εξοικονόμηση με αυτήν; Πώς μπορούμε να την βελτιώσουμε; Αυτές είναι μερικές από τις ερωτήσεις που θα απαντήσουμε στην πορεία.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

## 1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ:

Μιλώντας για οχήματα, υβριδική τεχνολογία ονομάζεται η τεχνολογία του οχήματος όταν χρησιμοποιεί δυο ή περισσότερα είδη κινητήριας δύναμης. Τα περισσότερα οχήματα σήμερα λειτουργούν με τον συνδυασμό υγρού καυσίμου – ηλεκτρισμού. Με αυτή την τεχνολογία το όχημα καταναλώνει το καύσιμο που θα είναι πιο οικονομικό ανάλογα με την κίνηση που κάνει (εκκίνηση, επιτάχυνση, επιβράδυνση, σταμάτημα). Αν για παράδειγμα ο οδηγός θέλει να κινείται σε χαμηλές ταχύτητες καλύτερα θα ήταν αν χρησιμοποιούσε καύσιμο το οποίο δεν παράγει μεγάλη ροπή το οποίο είναι πιο φτηνό και με λιγότερους ρύπους (πιεσμένος αέρας, υδρογόνο, υγραέριο, ηλεκτρισμό κτλ.). Αντιθέτως όταν ο οδηγός χρειάζεται ροπή το σύστημα αυτόματα θα επέλεγε το καύσιμο που παράγει την μεγαλύτερη ροπή ή συνδυασμό των δυο και περισσότερων καυσίμων που χρησιμοποιούνται από το σύστημα του οχήματος.

Παρόλο που εδώ θα ασχοληθούμε με υβριδικά αυτοκίνητα πρέπει να αναφερθεί ότι η υβριδική τεχνολογία δεν εφαρμόζεται μόνο σε αυτοκίνητα αλλά βρίσκει εφαρμογή και σε μεγάλα οχήματα όπως λεωφορεία και τρένα. Στο κοντινό μέλλον αναμένονται και πλοία τα οποία θα μπορούν να παράγουν ενέργεια από τα κύματα της θάλασσας, καθώς επίσης αεροπλάνα με ηλιακή ενέργεια.



*Orion VII*



*Nova RTS*



*Castrosua Tempus*



*Hino Blue Ribbon*



*Volvo 7700*



### *Hybrid AGC*

*Συνδυάζει κινητήρα πετρελαίου και ένα ηλεκτρικό κινητήρα υψηλών τάσεων (1500V και 25000V)*

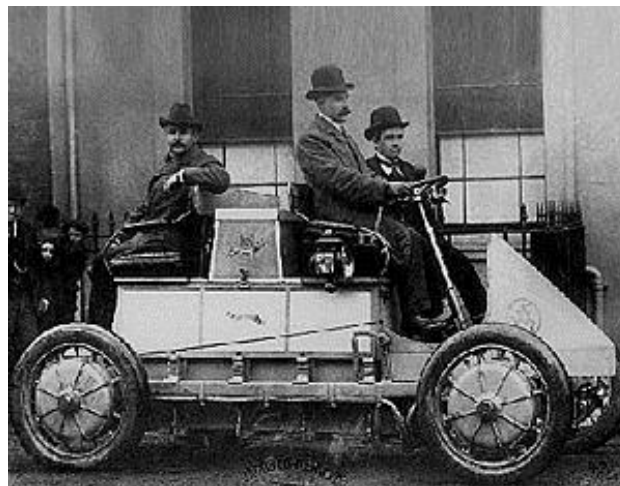


### *Kiha E200*

*Φέρει δύο ηλεκτρικούς κινητήρες και ένα κινητήρα πετρελαίου τον οποίο χρησιμοποιεί μόνο όταν υπάρχουν δύσκολες αναβάσεις ή όταν οι μπαταρίες χρειάζονται φόρτιση.*

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

• **1899:** Ο Ferdinand Porsche, τότε νέος μηχανικός της Jacob Lohner & Co. κατασκεύασε το πρώτο ηλεκτρικό υβριδικό αυτοκίνητο βενζίνης - ηλεκτρισμού. Ένα αυτοκίνητο από τις πρώτες εκδόσεις του Lohner Porsche χρησιμοποιούσε τέσσερις ηλεκτρικούς κινητήρες, εφαρμοσμένοι ένας σε κάθε τροχό. Αυτή την τεχνική ακολουθούν σήμερα κάποιες βιομηχανίες όπως η Volvo, η Chevrolet, Opel και Cadillac για τα καινούργια μοντέλα που αναμένεται να κυκλοφορήσουν μέχρι το 2012.



*1899 μία από τις πρώτες εκδόσεις του Lohner Porsche*

• **1900:** Ο κατασκευαστής αυτοκινήτων Henri Pieper από το Βέλγιο παρουσίασε ένα όχημα με ένα ηλεκτρικό κινητήρα κάτω από το κάθισμα και ένα βενζινοκινητήρα. Χρησιμοποιούσε ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης για να φορτίζει τις μπαταρίες του με σταθερή ταχύτητα και χρησιμοποιούσε και τους δύο κινητήρες για επιτάχυνση και για αναβάσεις σε λόφους.



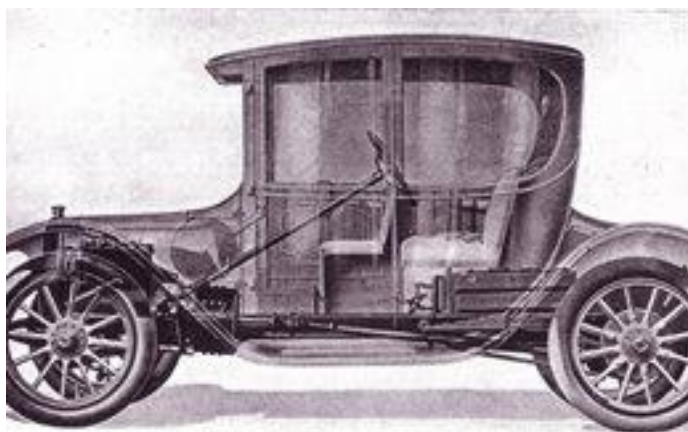
- **1901:** Η εταιρία Jacob Lohner & Co. κατασκεύασε ένα παρόμοιο όχημα όπως το Lohner Porsche, μια σειρά που χρησιμοποιούσε βενζίνη – ηλεκτρισμό βασισμένο στο όχημα του υπαλλήλου τους Ferdinand Porsche. Το όχημα αυτό μπορούσε να χρησιμοποιήσει ή βενζίνη ή ηλεκτρισμό αλλά όχι συνδυασμό των δυο.



*1903:Lohner Porsche στο τεχνικό μουσείο της Νορβηγίας*

- **1907:** το AL ήταν ένα από τα πρώτα υβριδικά οχήματα όπως και το Lohner Porsche

- **1917:** Η εταιρία Woods Motor Vehicle κατασκεύασε ένα αυτοκίνητο διπλής τροφοδοσίας (Woods Dual Power Car) το οποίο φέρει ένα κινητήρα αερίου και ένα ηλεκτρικό κινητήρα. Παρόμοια τεχνολογία χρησιμοποιεί το Chevrolet Silverado Hybrid και GMC Sierra Hybrid μοντέλα του 2009.



RIGHT VIEW OF WOODS DUAL-POWER CAR, SHOWING LOCATION OF SOURCES OF POWER  
Courtesy of Woods Motor Vehicle Company, Chicago, Illinois

*1917: Woods Dual Power car*

- **1969:** Η General Motors παρουσίασε το XP-883 το οποίο ήταν ένα πολύ μικρό αυτοκίνητο που ήταν κατασκευασμένο από fiberglass. Έφερε ένα μικρό δικύλινδρο βενζινοκινητήρα, ένα DC ηλεκτρικό κινητήρα και έξι δωδεκάβολτες μπαταρίες ή οποίες ήταν τοποθετημένες μεταξύ των δυο πίσω τροχών. Όταν

λειτουργούσε σαν υβριδικό, μπορούσε να φτάσει τα 97km/h σε 28 δευτερόλεπτα. Ξεκινούσε μόνο με τον ηλεκτρικό κινητήρα μέχρι να φτάσει τα 16km/h και στην συνέχεια το κινούσε ο βενζινοκινητήρας.

- **1969:** Επίσης την ίδια χρονιά εμφανίστηκε το λεγόμενο Stir-Lec και πάλι από την General motors το οποίο χρησιμοποιούσε στο πίσω μέρος ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης ο οποίος χρησιμοποιούσε για πρώτη φορά μηχανή τύπου Stirling Engine η οποία εκμεταλλευόμενη την θερμότητα του κινητήρα εσωτερικής καύσης παρήγαγε ενέργεια με την οποία φόρτιζε τις μπαταρίες του. Την ενέργεια χρησιμοποιούσε ένας τριφασικό κινητήρα τον οποίο τροφοδοτούσε ένας DC to AC inverter. Στο μπροστά μέρος του οχήματος ήταν τοποθετημένες οι μπαταρίες καθώς επίσης και ο inverter.

- **1972:** Ο William Towns σχεδίασε το Microdot ένα μικρό υβριδικό αυτοκίνητο πετρελαίου – ηλεκτρισμού κατάλληλο για μικρές πόλεις. Ήταν βασισμένο σε όλα τα προηγούμενα υβριδικά αυτοκίνητα.

- **1986:** Το Twike HEHV σχεδιάστηκε από μια ομάδα Σουηδών φοιτητών. Πρόκειται για ένα υβριδικό αυτοκίνητο το οποίο χρησιμοποιεί την ανθρώπινη δύναμη και ηλεκτρισμό. Διαθέτει δυο πετάλια ποδηλάτου σε οδηγό και συνοδηγό τα οποία συνδέονται με μια γεννήτρια.



1972: Microdot



1986: Twike HEHV

- **1989:** Το Audi 100 Avant Duo ήταν ένα πειραματικό όχημα, το οποίο χρησιμοποιούσε ένα εξακύλινδρο βενζινοκινητήρα 2.3 λίτρα για τον μπροστινό άξονα και ένα ηλεκτρικό κινητήρα από την Siemens 12.5 hp για τον πίσω άξονα. Υπήρχε η δυνατότητα φόρτισης τοποθετώντας το στην πρίζα. Δεν κατασκευάστηκαν περισσότερα απο δέκα.

- **1991:** Η δεύτερη έκδοση του Audi 100 Avant Duo διέφερε απο τον πρώτο στον ηλεκτροκινητήρα και στον βενζινοκινητήρα. Σε αυτό το δοκιμαστικό μοντέλο η Audi είχε αντικαταστήσει τον ηλεκτροκινητήρα με ένα πιο ισχυρό τριφασικό κινητήρα 28.6 hp και τον βενζινοκινητήρα με ένα τετρακύλινδρο δυο λίτρων.

• **1996:** Το AC Propulsion tzero είναι ένα χειροποίητο εξ ολοκλήρου ηλεκτρικό όχημα. Μετά απο μερικά χρόνια δουλειάς το 2003 έγιναν βελτιώσεις στις μπαταρίες του και κατασκευάστηκε και μια ηλεκτρογεννήτρια η οποία ήταν τοποθετημένη σε ένα τρόλεϊ το οποίο μπορούσε να γαντζωθεί στο πίσω μέρος του οχήματος και έτσι θεωρητικά το όχημα έγινε ηλεκτρικό υβριδικό.

• **1997:** Η Audi μετά από αρκετά χρόνια απουσίας από τον χώρο του υβριδισμού παρουσίασε το Audi A4 Duo III το οποίο έβγαλε και σε γραμμή παραγωγής. Το όχημα έφερε ένα 1,9 λίτρων κινητήρα εσωτερικής καύσης πετρελαίου ο οποίος χρησιμοποιούσε τεχνολογία TSI (Turbocharged Direct Injection) σε συνδυασμό με ένα ηλεκτρικό κινητήρα 21 kWatt. Ένα ηλεκτρονικό σύστημα συνδύαζε τους δυο κινητήρες έτσι ώστε να δουλεύουν διαδοχικά ανάλογα με τις ανάγκες. Η Audi αν και το έβαλε σε γραμμή παραγωγής, δεν κατασκεύασε πολλά, παρά μόνο 60 αφού μετά την έναρξη της παραγωγής παρατηρήθηκε ότι το όχημα δεν εξοικονομούσε περισσότερο καύσιμο απο ότι το ίδιο όχημα χωρίς τα ηλεκτρικά μέρη αφού το περιττό βάρος απο τις μπαταρίες ήταν αρκετά μεγάλο. Επίσης το κόστος του υβριδικού μοντέλου ήταν κατά πολύ μεγαλύτερο από αυτό με τον απλό κινητήρα.

• **1999:** Η Honda για πρώτη φορά στην ιστορία της παρουσίασε υβριδικό αυτοκίνητο το οποίο ήταν και το πρώτο που πουλήθηκε στην Αμερική. Το Honda Insight ήταν αεροδυναμικό και καινοτόμο. Χρησιμοποιούσε για πρώτη φορά στην ιστορία του υβριδικού αυτοκινήτου ηλεκτρικό κινητήρα ο οποίος ήταν ενσωματωμένος στο καλούπι του κινητήρα εσωτερικής καύσης και έτσι όλες οι λειτουργίες γίνονταν στο εσωτερικό του κινητήρα. Οι δυο κινητήρες δούλευαν σαν ένας αφού όταν δούλευε ο κινητήρας εσωτερικής καύσης, ο ηλεκτρικός κινητήρας δούλευε ταυτόχρονα είτε σαν κινητήρας για να αυξήσει την ιπποδύναμη είτε σαν γεννήτρια για να φορτίζει τις μπαταρίες του.

• **2000:** Η Toyota κάνει ακόμα ένα μεγάλο βήμα στην ιστορία του υβριδικού αυτοκινήτου βγάζοντας για πρώτη φορά σε μαζική παραγωγή το Toyota Prius αφού ήδη τρία χρόνια πριν το ίδιο μοντέλο είχε παραχθεί και πουληθεί με επιτυχία στην Ιαπωνία. Χρησιμοποιούσε μια εξελιγμένη τεχνολογία την Hybrid Synergy Drive (HSD) η οποία συνδύαζε πολύ αποδοτικά τους κινητήρες ηλεκτρικό και εσωτερικής καύσης λειτουργώντας τους ανάλογα με τις απαιτήσεις και αλλάζοντας αυτόματα και πολύ αποδοτικά τις ταχύτητες στο κιβώτιο ταχυτήτων.

• **2002:** Το Honda Civic Hybrid πρώτης γενιάς παρουσίασε η Honda, κάνοντας πιο ανταγωνιστική την παραγωγή και αγορά υβριδικών αυτοκινήτων. Η Honda στο Civic Hybrid βελτίωσε την ίδια τεχνολογία που είχε χρησιμοποιήσει για πρώτη φορά το 1999 στο Honda insight ενσωματώνοντας τους δυο κινητήρες έτσι ώστε να λειτουργούν σαν ένας ενιαίος. Χρησιμοποιούσε ένα 1,3 λίτρων κινητήρα εσωτερικής καύσης και έναν 15kW ηλεκτρικό κινητήρα DC με μόνιμους μαγνήτες τον οποίο τροφοδοτούσε μια μπαταρία ειδικά κατασκευασμένη στα 120V 6Ah. Όταν το αυτοκίνητο βρισκόταν σε πλήρη ακινησία τότε τα συστήματα του απενεργοποιούνταν καθώς επίσης και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης εξοικονομώντας πολλή ενέργεια και καύσιμο. Το όχημα μπορούσε να εκκινήσει μόνο με τον ηλεκτρικό κινητήρα και στην συνέχεια ο κινητήρας εσωτερικής καύσης έπαιρνε μπρός πάλι με την βοήθεια του ηλεκτρικού κινητήρα έτσι ώστε ο οδηγός και

οι επιβαίνοντες να μην αντιλαμβάνονται την εκκίνηση του. Μπορούσε επίσης να εκκινήσει απευθείας με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης άλλα πάλι με την βοήθεια του ηλεκτρικού κινητήρα.

### 2003:

- Το Renault Kangoo κατασκευάστηκε έτσι ώστε να μπορεί να συνδέεται απευθείας στην πρίζα για να φορτίσει τις μπαταρίες του. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιήσει τον κινητήρα εσωτερικής καύσης του σε συνδυασμό με ένα ηλεκτρικό κινητήρα για να φορτίσει τις μπαταρίες με σταθερές στροφές όταν το όχημα βρίσκεται σε στάση.

- Suzuki Twin: Πρόκειται για ένα μικρό δίπορτο υβριδικό αυτοκίνητο το οποίο διαθέτει ένα δικύλινδρο κινητήρα εσωτερικής καύσης σε συνδυασμό με έναν 5kW ηλεκτρικό κινητήρα.

- Toyota Alphard Hybrid: Παράχθηκε και πουλήθηκε μόνο στην Ιαπωνική αγορά. Χρησιμοποιούσε βενζινοκινητήρα σε συνδυασμό με ηλεκτρικό κινητήρα τον οποίο μπορούσε να μεταδώσει και στους τέσσερις τροχούς.

- Toyota Prius II: ακόμα μια μεγάλη επιτυχία από την Toyota με το Prius δεύτερης γενιάς ξεπερνώντας το 1,000,000 πωλήσεις μέχρι το 2008. Στο καινούριο Prius εξέλιξε την τεχνολογία HSD που είχε χρησιμοποιήσει στο προηγούμενο μοντέλο της το 2000. Επίσης ενσωμάτωσε τον κινητήρα εσωτερικής καύσης με δύο ηλεκτρικούς κινητήρες τους οποίους χρησιμοποιούσε με πολύπλοκους συνδυασμούς έτσι ώστε να ανεβάζει την απόδοση του όλου συστήματος.

### 2004:

- Honda Accord Hybrid: πρόκειται για ένα αυτοκίνητο με ένα V6 βενζινοκινητήρα και ένα 177kW ηλεκτροκινητήρα συνδυάζοντας τα με τα ίδια χρησιμοποιημένα χαρακτηριστικά με τα προηγούμενα μοντέλα της Honda.

- Ford Escape Hybrid: η Ford χρησιμοποίησε την ίδια τεχνολογία με το Toyota Prius μαζί με μία έξτρα τεχνολογία του regenerative braking η οποία παρήγαγε ενέργεια από την επιβράδυνση του οχήματος.

### 2005:

- Honda Civic Hybrid: εξέλιξαν την τεχνολογία εσωτερικών λειτουργιών του κινητήρα όπως χρησιμοποιήθηκε στα παλαιότερα μοντέλα της εξελίσσοντας παράλληλα και την παραγωγή ενέργειας μέσω φρεναρίσματος. Επίσης άλλαξαν τον παλιό κινητήρα με ένα μεγαλύτερο 69kW 6000rpm και πρόσθεσαν ένα σύστημα το οποίο απενεργοποιούσε τους δύο από τους τέσσερις κυλίνδρους του όταν δεν τους χρειαζόταν για περισσότερη εξοικονόμηση.

- Lexus RX 400h: διαθέτει έναν βενζινοκινητήρα 3,3 λίτρων και δύο ηλεκτροκινητήρες. Ένα στο μπροστά μέρος του οχήματος 123kW και ένα στο πίσω μέρος 50kW και συνολικά έχει ιπποδύναμη που φτάνει τους 272 ίππους. Η κατανάλωσή του είναι μόλις 8,1 λίτρα ανα 100km. Συνδυάζει τους κινητήρες έτσι ώστε να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ή ακόμα και για μεγαλύτερη πρόσφυση.

- Mercury Mariner: το συγκεκριμένο αυτοκίνητο βγαίνει σε δύο εκδόσεις. Το ένα φέρει έναν 2.3 λίτρων κινητήρα σε συνδυασμό με ένα ηλεκτροκινητήρα 114kW και το δεύτερο 3.0 λίτρων V6 με έναν 150kW ηλεκτροκινητήρα.

- Toyota Kluger: έφερε ένα 3.5 λίτρων dual VVT-i V6 κινητήρα και ένα 201kW ηλεκτροκινητήρα.

## 2006 – 2009

Οι εξελίξεις από το 2006 μέχρι και σήμερα δυστυχώς δεν έχουν κάτι ξεχωριστό από τα υπόλοιπα χρόνια εξέλιξης. Μόνο το 10% από τα υβριδικά οχήματα που έχουν κυκλοφορήσει έχουν σημειώσει κάποια επιτυχία σε πωλήσεις στο παγκόσμιο εμπόριο. Πολλές από τις βιομηχανίες έχουν ανακοινώσει την παραγωγή κάποιων οχημάτων αλλά στην συνέχεια να ακυρώνουν ή να αναβάλλουν τις προθέσεις τους και ποτέ μέχρι σήμερα να μην έχουν παράξει τις συγκεκριμένες εκδόσεις των οχημάτων. Οι εταιρείες που μπορούν να ξεχωρίσουν για τις προσπάθειες τους είναι η Honda και Toyota που όχι μόνο έχουν εξελίξει και έχουν βγάλει αρκετά οχήματα στην αγορά αλλά σημειώνουν αυξημένες πωλήσεις. Επίσης μερικές εταιρείες κλέβουν τις ιδέες από τα οχήματα των συγκεκριμένων εταιρειών για να μπορέσουν να γίνουν ανταγωνιστικότερες. Το αποτέλεσμα είναι μια μονότονη εξέλιξη υβριδικών οχημάτων.

### **1.3 ΚΥΡΙΑΡΧΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΥΒΡΙΔΙΣΜΟΥ**

Τα τελευταία χρόνια οι περισσότερες βιομηχανίες που ασχολούνται με τον υβριδισμό χρησιμοποιούν τον συνδυασμό υγρού ή αερίου καυσίμου – ηλεκτρισμού και τα ονομάζουν ηλεκτρικά υβριδικά (hybrid electric). Αυτό γίνεται γιατί ο ηλεκτρισμός είναι η πιο συμφέρουσα και αποδοτική λύση, τόσο που θα μπορούσε και να αντικαταστήσει τον κινητήρα εσωτερικής καύσης και να γίνει το όχημα εξολοκλήρου ηλεκτρικό. Παρόλα αυτά οι βιομηχανίες δεν βρήκαν ακόμη την πιο συμφέρουσα και αποδοτική λύση ή δεν θέλουν να την προωθήσουν στην αγορά λόγω συμφερόντων.

### **1.4 ΑΠΟ ΤΙ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ**

- Κινητήρα εσωτερικής καύσης χαμηλής κατανάλωσης
- Μπαταρίες
- Σύστημα φόρτισης μπαταριών
- Συστήματα διαχείρισης ενέργειας
- Ένας ή περισσότεροι ηλεκτρικοί κινητήρες/γεννήτριες (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2)
- Σύστημα οδήγησης κινητήρα ή κινητήρων ανάλογα με το σύστημα που θέλει να χρησιμοποιήσει ο κατασκευαστής. (ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

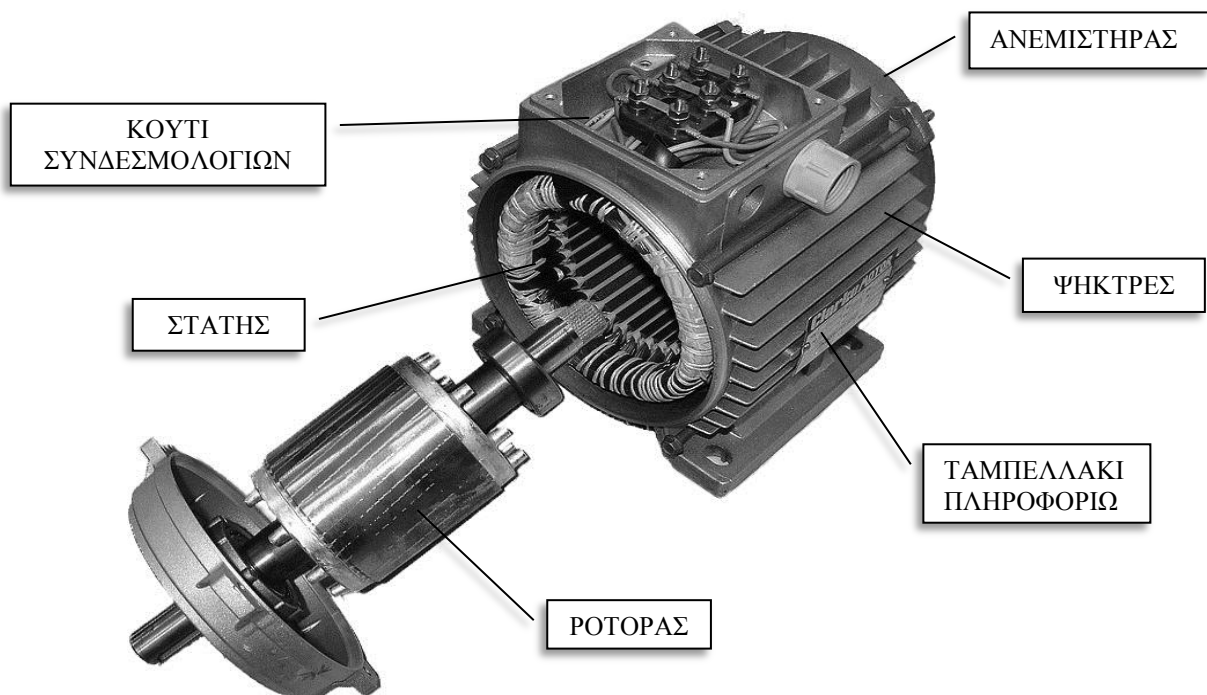
### 2.0 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Οι ηλεκτρικές μηχανές χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες σύμφωνα με την τάση τροφοδοσίας τους. Μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) και μηχανές συνεχούς ρεύματος (DC). Οι μηχανές αυτές χωρίζονται επίσης σε ηλεκτρικούς κινητήρες και γεννήτριες.

#### 2.0.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Ηλεκτρικός κινητήρας είναι η μηχανή η οποία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Αποτελείται από τον ρότορα που εφαρμόζονται πάνω τα εσωτερικά πηνία ή μόνιμοι μαγνήτες και τον στάτη όπου εφαρμόζονται τα εξωτερικά πηνία, Εικόνα 2.1. Αυτά τα πηνία δημιουργούν δύο ή περισσότερα μαγνητικά πεδία τα οποία όταν αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους σωστά περιστρέφουν τον κεντρικό άξονα (ρότορα). Τα πηνία του ρότορα στους περισσότερους κινητήρες είναι σχεδόν τα ίδια, αυτά που αλλάζουν είναι τα πηνία του στατί.

Το περίβλημα του κάθε κινητήρα είναι καλυμμένο με ψήκτρες για να αποβάλλει την θερμότητα και επίσης ένα ανεμιστήρα στο πίσω μέρος για τον ίδιο λόγο. Όλοι οι κινητήρες έχουν στερεωμένο στο περίβλημα τους ένα καπελάκι με όλες τις πληροφορίες που αφορούν τον κινητήρα καθώς και ένα κουτί μέσα στο οποίο γίνονται όλες οι ηλεκτρικές συνδεσμολογίες τροφοδότησης του.



Εικόνα 2.1: βασικά μέρη ηλεκτρικού κινητήρα

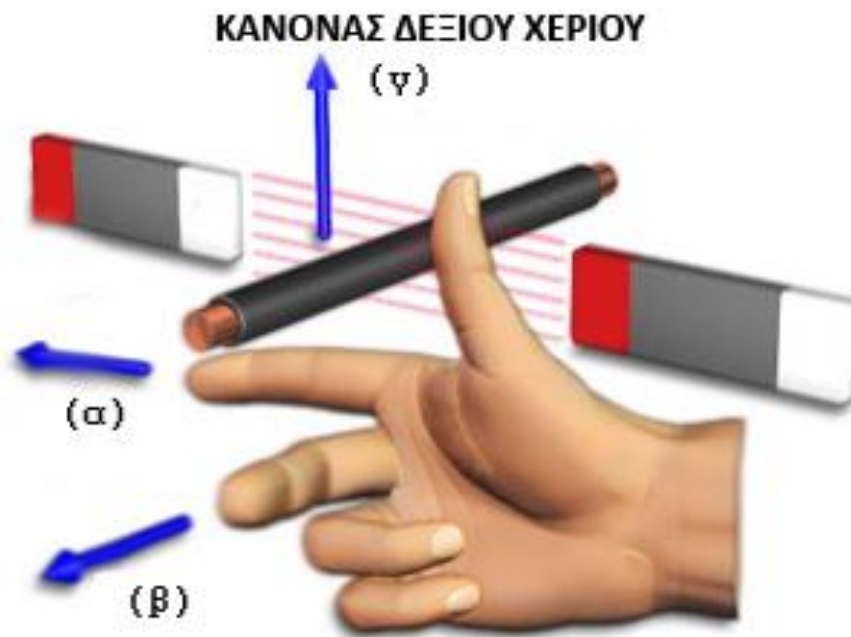
### 2.0.2 ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Γεννήτρια είναι η μηχανή η οποία μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Εμφανισιακά οι γεννήτριες είναι ίδιες με τους ηλεκτρικούς κινητήρες, διαφέρουν όμως στις συνδεσμολογίες. Οι γεννήτριες για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να υπάρχει κάποιο μαγνητικό πεδίο που το δημιουργούμε τροφοδοτώντας τα πηνία του ρότορα ή του στάτη, ή αφαιρώντας τα πηνία χρησιμοποιούν δυνατούς μόνιμους μαγνήτες για να μην υπάρχει καθόλου κατανάλωση ενέργειας σε έξτρα τυλίγματα. Ο τελευταίος παράγοντας που χρειάζεται για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια είναι η μηχανική ενέργεια η οποία θα περιστρέψει τον ρότορα μέσα στο μαγνητικό πεδίο.

### 2.0.3 ΒΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ

Για να αναλύσουμε το πώς λειτουργούν οι μηχανές θα πρέπει πρώτα να δούμε τι συμβαίνει όταν αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα βρεθεί σε μαγνητικό πεδίο.

Όταν ένα ρεύμα περνά κάθετα από ένα μαγνητικό πεδίο ισχύει ο κανόνας του δεξιού χεριού που βασίζεται στο φαινόμενο Laplace: στη πιο κάτω εικόνα το (β) μας δείχνει την φορά του ρεύματος μέσα από τον αγωγό, το (α) την φορά του μαγνητικού πεδίου και το (γ) τη φορά της δύναμης που ασκεί το μαγνητικό πεδίο στον αγωγό όταν περνά ρεύμα με φορά (β). Πιο απλά, όταν τοποθετήσουμε αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα μέσα σε μαγνητικό πεδίο, τότε στον αγωγό ασκείται μια δύναμη κάθετη στον αγωγό και στο μαγνητικό πεδίο η οποία προσπαθεί να τον αποβάλει από το πεδίο.



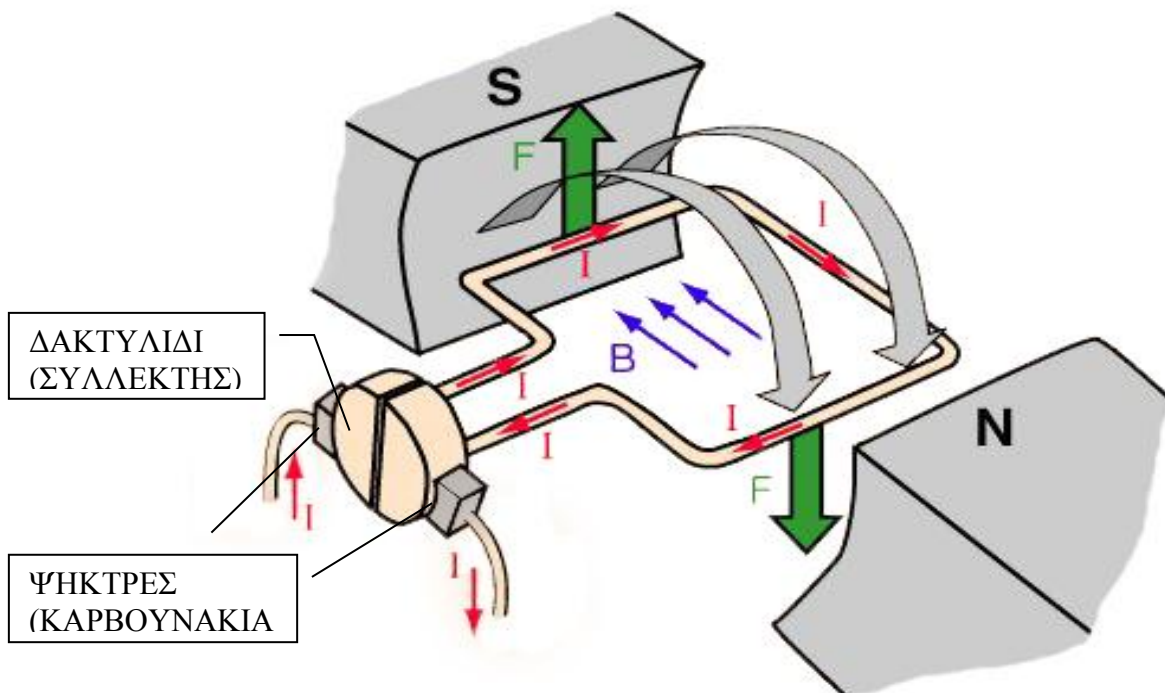
Εικόνα 2.2: κανόνας δεξιού χεριού

Η δύναμη αυτή περιστρέφει τους κινητήρες. Το αντίθετο συμβαίνει με τις γεννήτριες. Αν λοιπόν αγωγός που δεν διαρρέεται από ρεύμα κινηθεί κάθετα μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, τότε στα άκρα του αγωγού εμφανίζεται ένα ρεύμα με φορά κάθετη στο μαγνητικό πεδίο και κάθετη στην φορά κίνησης του μέσα στο πεδίο.

## 2.1 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (DC)

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε μικρές και μεγάλες συσκευές και σε συστήματα που δεν χρειάζονται μεγάλη ακρίβεια στην ταχύτητα και θέση περιστροφής του κινητήρα. Οι κύριες χρήσεις τους βασίζονται στην μεγάλη ροπή που μπορούν να αποδώσουν κάποιοι από αυτούς όπως ανελκυστήρες, κυλιόμενες σκάλες, και γενικά όπου υπάρχουν βαριές εργασίες. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος όμως δεν χρησιμοποιούνται μόνο για βαριές εργασίες αλλά βρίσκουν εφαρμογή και σε μικρές καθημερινές συσκευές, για παράδειγμα ένα κινητό τηλέφωνο ή ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή. Βρίσκουν εφαρμογή σε αυτές τις μικρές συσκευές λόγω του ότι οι περισσότερες από αυτές χρησιμοποιούν dc ρεύμα.

### 2.1.1 ΒΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ



Εικόνα 2.3

Για την εικόνα 2.3 ισχύουν τα παρακάτω:

- $I$  = ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό



- **B** = ομογενές μαγνητικό πεδίο
- **F** = δύναμη Laplace
- **S,N** = πόλοι που δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο

Όπως αναφέραμε πιο πάνω όταν ένας αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα (**I**) βρεθεί σε ομογενές μαγνητικό πεδίο (**B**) τότε ο αγωγός αποκτά μια δύναμη (**F**) η οποία προσπαθεί να τον αποβάλει από το μαγνητικό πεδίο. Στο σχήμα το ρεύμα διαρρέει τον αγωγό με την ίδια διεύθυνση αλλά ο αγωγός αναγκάζει το ρεύμα να περάσει από το μαγνητικό πεδίο με δυο διευθύνσεις, έτσι δημιουργούνται δυο ίσες αλλά αντίθετες δυνάμεις. Αφού οι δυνάμεις (**F**) είναι ίσες τότε θα προκληθεί περιστροφή όπως φαίνεται στο σχήμα.

Για την τροφοδότηση του ρότορα που σε αυτήν την περίπτωση είναι ο αγωγός, χρειάζεται ένα μέσο το οποίο θα μπορεί να αλλάζει την πολικότητα τις πηγής έτσι ώστε το ρεύμα να περνά πάντα με την ίδια φορά μέσα από το μαγνητικό πεδίο και με αυτό τον τρόπο να πετυχαίνεται σταθερή περιστροφή. Το μέσο αυτό στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι ένα μοιρασμένο δακτυλίδι πάνω στο οποίο ακουμπούν οι επαφές που τροφοδοτούν τον αγωγό. Για τις επαφές χρειάζεται ένα υλικό το οποίο κατ'αρχάς να είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος, να είναι μαλακό έτσι ώστε να μην καταστρέφει το δακτυλίδι αλλά αρκετά ανθεκτικό για να αντηχεί το ίδιο στην τριβή. Το υλικό που ικανοποιεί αυτές τις απαιτήσεις είναι ο ειδικά κατασκευασμένος ηλεκτραγώγιμος άνθρακας τον οποίο σπρώχνουν δυο ελατήρια για καλύτερη επαφή με το δακτυλίδι. Το δακτυλίδι σε πραγματικές συνθήκες είναι κατασκευασμένο από χάλυβα και είναι χωρισμένο σε πολλά κομμάτια που όλα μεταξύ τους είναι μονωμένα.

### **2.1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ**

Γενικά στην κατασκευή τους, όλοι οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος λειτουργούν με τις ίδιες αρχές. Με κάποιες αλλαγές στην τροφοδοσία των τυλίγμάτων διέγερσης τους όμως, αλλάζουν τα δεδομένα ροπής και ταχύτητας τους.

#### ***ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ***

Οι κινητήρες ξένης διέγερσης ονομάζονται οι κινητήρες τους οποίους τα τυλίγματα διέγερσης τους τροφοδοτούνται από εξωτερική ηλεκτρική πηγή.

Θεωρώντας ότι η τάση τροφοδοσίας στα τυλίγματα τους μένει σταθερή, η ροπή του κινητήρα ξένης διέγερσης αυξάνεται η μειώνεται γραμμικά ανάλογα με την ένταση στα τυλίγματα τους και η ταχύτητα περιστροφής του μένει περίπου η ίδια από μηδενική μέχρι την μέγιστη ένταση στα τυλίγματα.

Ένας τρόπος αλλαγής της ταχύτητας περιστροφής είναι με μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας. Όσο αυξάνεται η τάση τροφοδοσίας τους τόσο αυξάνει

και η ταχύτητα περιστροφής τους. Οι κινητήρες αυτοί, όπως και της παράλληλης διέγερσης έχουν το πλεονέκτημα της μικρής μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής, έτσι θεωρείται ότι η ταχύτητα τους είναι σταθερή σε σχέση με την τάση τροφοδοσίας τους. Σε περίπτωση αλλαγής στην τάση τροφοδοσίας χρειάζεται προσοχή έτσι ώστε η τάση να μην υπερβεί τα όρια αντοχής των τυλιγμάτων γιατί υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της μόνωσης στα τυλίγματα.

Άλλος τρόπος αλλαγής της ταχύτητας περιστροφής είναι με μεταβολή της αντίστασης του τυλίγματος διέγερσης. Όσο αυξάνεται η αντίσταση τόσο αυξάνει η ταχύτητα περιστροφής. Ένα πρόβλημα που μπορεί να παρουσιαστεί απρόοπτα και παίζει μεγάλο ρόλο στην λειτουργία του κινητήρα είναι το εξής. Αν το τύλιγμα διέγερσης αποκτήσει άπειρη αντίσταση η ταχύτητα του θα τείνει στο άπειρο με αποτέλεσμα ο κινητήρας να αυτοκαταστραφεί από τις μεγάλες φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να προκληθεί απρόοπτα με διακοπή του τυλίγματος διέγερσης από την τροφοδοσία. Γι' αυτό τον λόγο στα τυλίγματα εφαρμόζεται μηχανισμός προστασίας για αποφυγή της καταστροφής των τυλιγμάτων. Ο μηχανισμός μπορεί να είναι ένα απλό relay (ηλεκτρικός διακόπτης) το οποίο απλά αποσυνδέει το σταθερό τύλιγμα σε περίπτωση αποσύνδεσης του τυλίγματος διέγερσης.

Η αλλαγή στη φορά περιστροφής του κινητήρα επιτυγχάνεται με αλλαγή της πολικότητας ενός από τα δυο τυλίγματα του.

#### ***ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ***

Οι κινητήρες παράλληλης διέγερσης έχουν περίπου τα ίδια χαρακτηριστικά με τους κινητήρες ξένης διέγερσης. Αν στα τυλίγματα τους εφαρμοστεί ίδια τάση τότε έχουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά. Στους κινητήρες παράλληλης διέγερσης τα τυλίγματα διέγερσης συνδέονται παράλληλα, έτσι τα δυο τυλίγματα διέγερσης τροφοδοτούνται από ίδια πηγή.

Θεωρώντας ότι η τάση τροφοδοσίας στα τυλίγματα μένει σταθερή, όπως και στην ξένη διέγερση η ροπή και η ταχύτητα του κινητήρα μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο και αντιμετωπίζει τα ίδια προβλήματα.

Αλλαγή στην φορά περιστροφής μπορεί να επιτευχθεί επίσης με αλλαγή τις πολικότητας ενός από τα δυο τυλίγματα.

#### ***ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΜΕ ΜΟΝΙΜΟΥΣ ΜΑΓΝΗΤΕΣ***

Οι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες λειτουργούν σαν κινητήρες παράλληλης και ξένης διέγερσης με την διαφορά στο ότι δεν διαθέτουν τύλιγμα διέγερσης αλλά πόλους κατασκευασμένους από μόνιμους μαγνήτες. Λόγω της απουσίας του τυλίγματος διέγερσης ο κινητήρας μπορεί να κατασκευάζεται σε μικρότερο μέγεθος από τους κινητήρες παράλληλης

διέγερσης. Χωρίς ρεύμα διέγερσης έχουν λιγότερες απώλειες και επίσης λόγω των μόνιμων μαγνητών έχουν σταθερή μαγνητική ροή.

Παρόλα αυτά οι κινητήρες μόνιμων μαγνητών παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα. Σημαντικό μειονέκτημα είναι ο κίνδυνος απομαγνητισμού των μαγνητών λόγω μεγάλης αύξησης της θερμοκρασίας στο εσωτερικό τους ή σε περίπτωση που το ρεύμα οπλισμού γίνει πολύ μεγάλο. Άλλο μειονέκτημα είναι η περιορισμένη ροπή που μπορούν να παράγουν αυτοί οι κινητήρες αφού οι μόνιμοι μαγνήτες μπορούν να μαγνητιστούν μέχρι ένα απαράβατο επίπεδο. Γι' αυτό δεν μπορούν να έχουν μεγαλύτερη μαγνητική απόδοση ή τουλάχιστον όση μπορούν να παράγουν τα τυλίγματα διέγερσης.

Στους κινητήρες παράλληλης και ξένης διέγερσης σημειώθηκαν κάποιες μέθοδοι ελέγχου της ταχύτητας περιστροφής. Λόγω της απουσίας του τυλίγματος διέγερσης η αλλαγή των στροφών δεν είναι δυνατή με την μεταβολή της αντίστασης του τυλίγματος διέγερσης. Έτσι για αλλαγή των στροφών χρησιμοποιείται η μέθοδος μεταβολής της τάσης τροφοδοσίας ή με μεταβολή της αντίστασης του σταθερού τυλίγματος.

Αλλαγή στην φορά περιστροφής μπορεί να επιτευχθεί με αλλαγή της πολικότητας του τυλίγματος.

#### ***ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ ΣΕΙΡΑΣ***

Οι κινητήρες διέγερσης σειράς είναι οι κινητήρες στους οποίους τα τυλίγματα διέγερσης και στάτη συνδέονται σε σειρά με αποτέλεσμα να διαρρέονται πάντα από το ίδιο ρεύμα. Είναι κατασκευασμένοι από λίγες σπείρες και απο χοντρά καλώδια σε σχέση με τους άλλους κινητήρες αφού το ρεύμα που διαρρέει και τα δυο τυλίγματα είναι μεγαλύτερο.

Διαφέρουν επίσης κατά πολύ από τους κινητήρες παράλληλης διέγερσης όσο αφορά την χαρακτηριστική ροπής και ταχύτητας. Έχουν ως μεγάλο πλεονέκτημα την μεγάλη ροπή εκκίνησης και διατήρησης της, αλλά με κόστος την πώση των στροφών τους για να το επιτύχουν. Όσο αυξάνεται η ροπή τους η ταχύτητα τους μειώνεται και αντίθετα όσο μειώνεται η ροπή τους τόσο αυξάνεται η ταχύτητα τους.

Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ένα πρόβλημα που αν δεν γίνει ελεγχόμενο μπορεί να καταστρέψει τον κινητήρα. Αν η ροπή ενός κινητήρα με διέγερση σειράς γίνει μηδενική τότε η ταχύτητα του τείνει στο άπειρο. Για τον λόγο αυτό οι κινητήρες δεν χρησιμοποιούνται ποτέ χωρίς φορτίο και ποτέ δεν συνδέονται σε φορτίο που ενδέχεται να αποσυνδεθεί απρόοπτα όπως για παράδειγμα μια καδένα που μπορεί να σπάσει.

Λόγω του ότι αλλάζει συνεχώς στροφές για να διατηρήσει την ροπή του ο έλεγχος στροφών δεν είναι εύκολος. Για έλεγχο των στροφών του χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές έτσι ώστε η ταχύτητα να ελέγχεται με το

φορτίο συνδεδεμένο. Μια από αυτές είναι η χρήση μεταβλητών αντιστάσεων σε πολύπλοκους συνδυασμούς έτσι ώστε να περιορίζεται η ένταση του ρεύματος. Μετά την ρύθμιση αν για οποιοδήποτε λόγο το φορτίο του αλλάξει, τότε η ταχύτητα του θα αλλάξει και αυτή.

Στις μέρες μας ο έλεγχος γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια με χρήση θυρίστορ ή με PWM το οποίο θα αναλυθεί σε άλλο κεφάλαιο.

#### ***KINHTHRES SYNΘETHS ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ***

Οι κινητήρες σύνθετης διέγερσης χρησιμοποιούν συνδυασμούς παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς. Χωρίζονται σε δυο τύπους διέγερσης οι οποίες διαφέρουν στην σειρά με την οποία συνδέονται οι συνδεσμολογίες παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς. Η μία ονομάζεται *Διαφορικής Σύνθετης Διέγερσης* και η άλλη *Αθροιστικής Σύνθετης Διέγερσης*.

Η **Διαφορική Σύνθετη Διέγερση** δεν βρίσκει σχεδόν καθόλου εφαρμογή παρά μόνο σε σπάνιες περιπτώσεις. Ο λόγος βρίσκεται στο ότι αυτή η διέγερση είναι πολύ ασταθής, τόσο που ο κινητήρας συνεχώς αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής του χωρίς περιορισμούς προκαλώντας ζημιές στον ίδιο ή πολλές φορές σε ότι είναι συνδεδεμένο σε αυτόν. Επίσης ο κινητήρας με αυτή τη διέγερση έχει το μειονέκτημα ότι δεν μπορεί να εκκινήσει από μόνος του. Σπάνια υπάρχει πιθανότητα να εκκινήσει από μόνος του αλλά θα κινείται πολύ αργά προς την αντίθετη της αναμενόμενης κατεύθυνση. Έτσι τα τυλίγματα του υπερθερμαίνονται και καταστρέφονται. Ένας τρόπος εκκίνησης του είναι η βραχυκύκλωση του τυλίγματος σειράς έτσι ο κινητήρας εκκινεί ως παράλληλης διέγερσης.

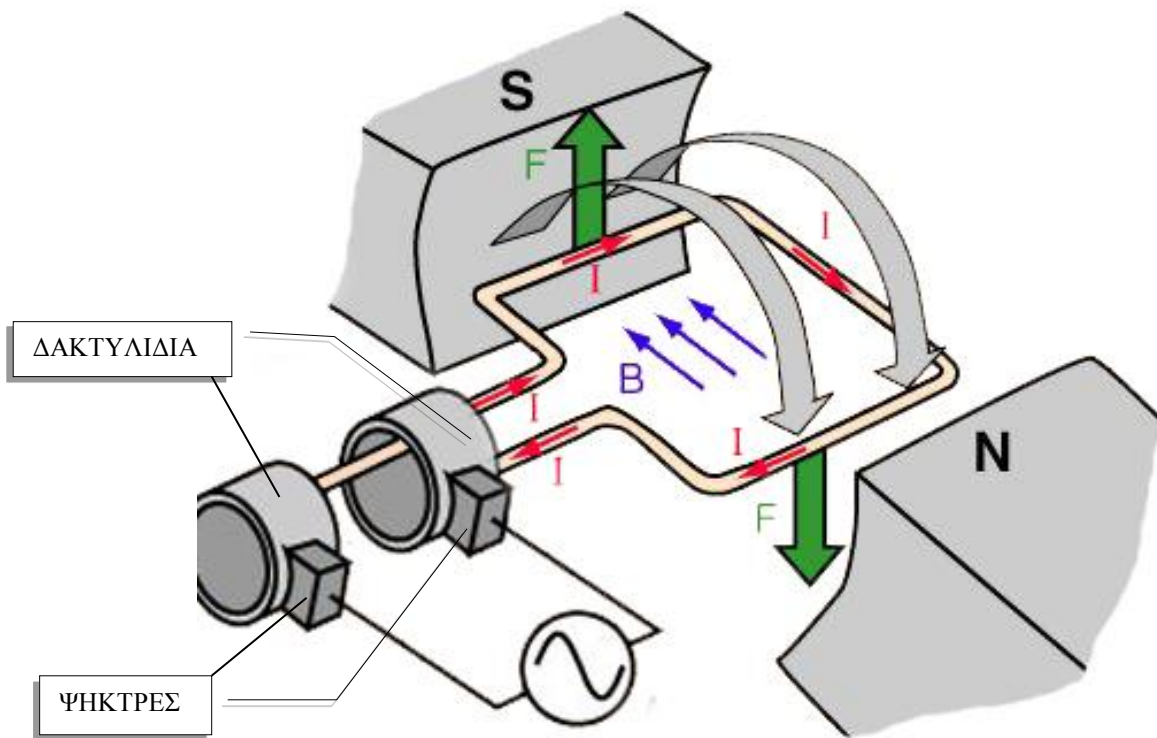
Η **Αθροιστική Σύνθετη Διέγερση** έχει πολλούς λόγους να βρίσκει εύκολα εφαρμογή αφού συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των κινητήρων παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς. Ο κινητήρας έχει μεγάλη ροπή εκκίνησης όπως και ο κινητήρας διέγερσης σειράς. Επίσης ο κινητήρας χωρίς φορτίο δεν επιταχύνει ανεξέλεγκτα μέχρι να καταστραφεί (χαρακτηριστικό του κινητήρα διεγέρτης σειράς) γιατί αν το φορτίο του κινητήρα είναι μικρό και ο κινητήρας δεν χρειάζεται μεγάλη ροπή τότε αλλάζει τρόπο διέγερσης και συμπεριφέρεται περισσότερο ως παράλληλης διέγερσης. Αντίθετα όταν υπάρχει μεγαλύτερο φορτίο και ο κινητήρας χρειάζεται ροπή, τότε ο κινητήρας συμπεριφέρεται ως διέγερσης σειράς.

#### **2.2 ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (AC)**

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος βρίσκουν ευρεία εφαρμογή και βρίσκονται σχεδόν παντού, στα σπίτια, στη δουλειά, στις βιομηχανίες. Είναι μηχανές οι οποίες μπορούν να προσφέρουν σταθερή ροπή, ακρίβεια και ταχύτητα οι οποίες χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες για τις βαριές και

μεγάλης διάρκειας εργασίες. Επίσης μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς μεγάλες απαιτήσεις, σε συσκευές που βρίσκονται στον οικιακό εξοπλισμό όπως ένας ανεμιστήρας, κλιματισμός, ηλεκτρική σκούπα, ψυγείο, και πολλά άλλα.

### 2.2.1 ΒΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ



Εικόνα 2.4

Για την Εικόνα 2.4 ισχύουν τα παρακάτω:

- $I$  = ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό
- $B$  = ομογενές μαγνητικό πεδίο
- $F$  = δύναμη Laplace
- $S, N$  = πόλοι που δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο

Οι AC κινητήρες έχουν την ίδια βάση λειτουργίας όπως οι DC κινητήρες. Βασισμένοι και αυτοί στο φαινόμενο Laplace, περιστρέφονται με την δύναμη που εξασκείται στους αγωγούς που βρίσκονται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο οι οποίοι διαρρέονται από ρεύμα. Σε αυτή την περίπτωση το ρεύμα είναι εναλλασσόμενο, έτσι υπάρχει φυσική εναλλαγή τις πολικότητας του ρεύματος, γι'αυτο δεν χρειάζεται μοιρασμένο δακτυλίδι που ήταν και ο μηχανισμός εναλλαγής τις πολικότητας του ρεύματος για τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Εδώ χρησιμοποιούνται 2 δακτυλίδια τα οποία είναι συνδεδεμένα στα άκρα του αγωγού τα οποία αναλαμβάνουν μόνο την

τροφοδότηση του ρότορα σε συνδυασμό με τις ψήκτρες όπως φαίνεται στην *Εικόνα 2.4*. Το ρεύμα περνά μέσα από τον αγωγό έτσι αφού βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο αποκτά δυο ίσες και αντίθετες δυνάμεις ( $F$ ) κάθετες στις μαγνητικές γραμμές. Οι δυνάμεις αυτές σπρώχνουν τον αγωγό περιστρέφοντας τον.

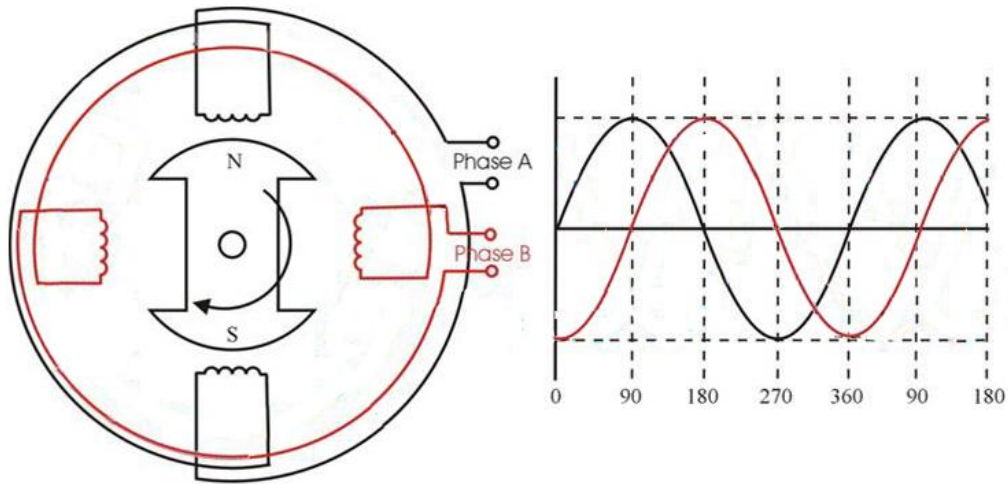
Στην πραγματικότητα οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος δημιουργούν στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο το οποίο δημιουργείται από δυο ή περισσότερα διαφορετικά τυλίγματα στο σταθερό μέρος (στάτης) του κινητήρα. Τα τυλίγματα αυτά είναι τοποθετημένα σε διαφορά φάσης ανάλογα με τα πόσα τυλίγματα χρησιμοποιούν. Όταν χρησιμοποιούνται δύο τυλίγματα, αυτά εφαρμόζονται σε διαφορά φάσης  $90^\circ$  μεταξύ τους. Όταν χρησιμοποιούνται τρία τυλίγματα, τα τυλίγματα εφαρμόζονται σε διαφορά φάσης  $120^\circ$  μεταξύ τους. Οι κινητήρες με δύο τυλίγματα ονομάζονται μονοφασικοί κινητήρες, και οι κινητήρες με 3 τυλίγματα ονομάζονται τριφασικοί κινητήρες. Κινητήρες οι οποίοι έχουν περισσότερα τυλίγματα από 3 ονομάζονται πολυφασικοί.

### **2.2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ**

Οι δυο μεγαλύτερες κατηγορίες κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος ανάλογα με το δίκτυο που χρησιμοποιούν είναι οι *μονοφασικοί κινητήρες* και *τριφασικοί κινητήρες*.

#### **ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ**

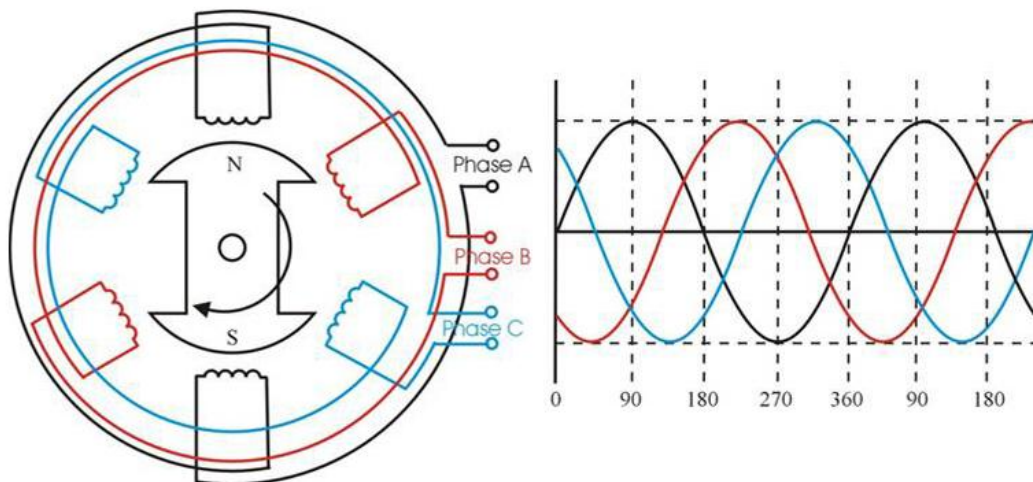
Οι μονοφασικοί κινητήρες όπως ειπώθηκε και παραπάνω χρησιμοποιούν δυο τυλίγματα τα οποία είναι τοποθετημένα στον στάτη με διαφορά  $90^\circ$  μεταξύ τους. Έτσι ο κινητήρας χρειάζεται δυο πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος, μια για κάθε τύλιγμα, οι οποίες να έχουν μεταξύ τους επίσης  $90^\circ$  διαφορά φάσης. Επειδή δεν θα ήταν σωστό να χρησιμοποιούνται δυο διαφορετικές πηγές, η λύση έρχεται με την προσθήκη ενός πυκνωτή ο οποίος αλλάζει την φάση τις πηγής κατά  $90^\circ$ . Έτσι τα δυο τυλίγματα τροφοδοτούνται το ένα από τη πηγή και το άλλο από την ίδια πηγή μέσω του πυκνωτή. Με αυτή την διαφορά φάσης δημιουργείται στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, δηλαδή η πολικότητα των τυλιγμάτων του στάτη αλλάζει περιστροφικά γύρω από τον ρότορα. Ο ρότορας προσπαθώντας να ευθυγραμμιστεί με τα μαγνητικά πεδία του στάτη αρχίζει να περιστρέφεται και αυτός με την ίδια ταχύτητα.



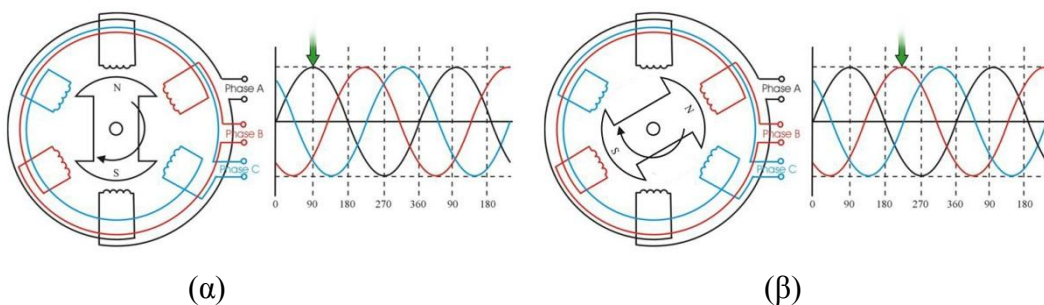
Εικόνα 2.5: μονοφασική λειτουργία κινητήρα

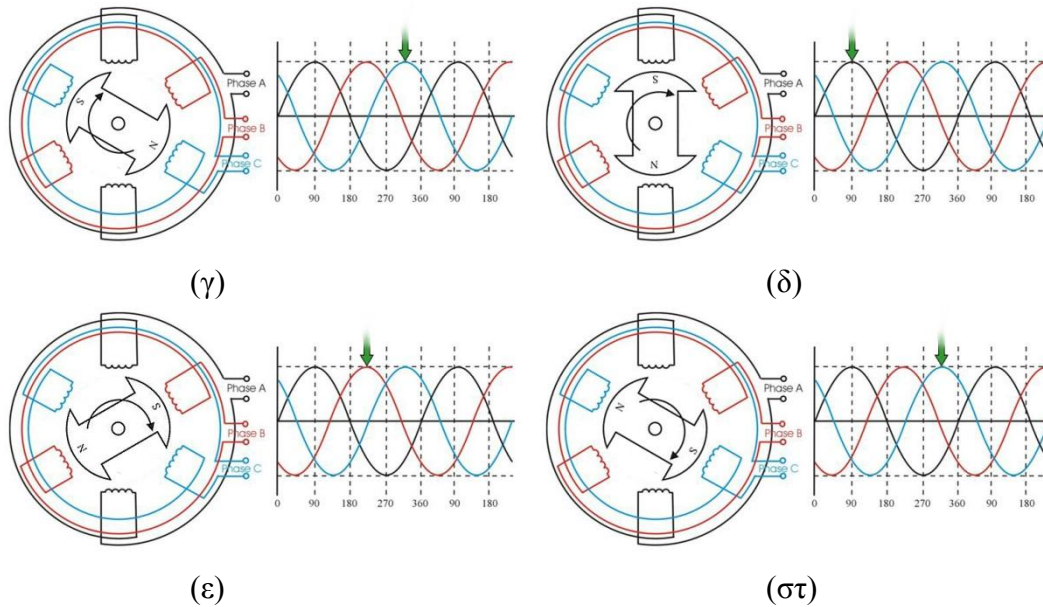
### ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι τριφασικοί κινητήρες αποτελούνται από 3 τυλίγματα τοποθετημένα στον στάτη τους σε γωνιακή διαφορά  $120^\circ$  μεταξύ τους. Για να λειτουργήσει ένας τέτοιου είδους κινητήρας θα πρέπει να τροφοδοτηθεί αναγκαστικά από 3 πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος οι οποίες να έχουν χρονική διαφορά φάσης  $120^\circ$  μεταξύ τους, δηλαδή μια πηγή τριφασικού ρεύματος.



Εικόνα 2.6: τριφασική λειτουργία κινητήρα

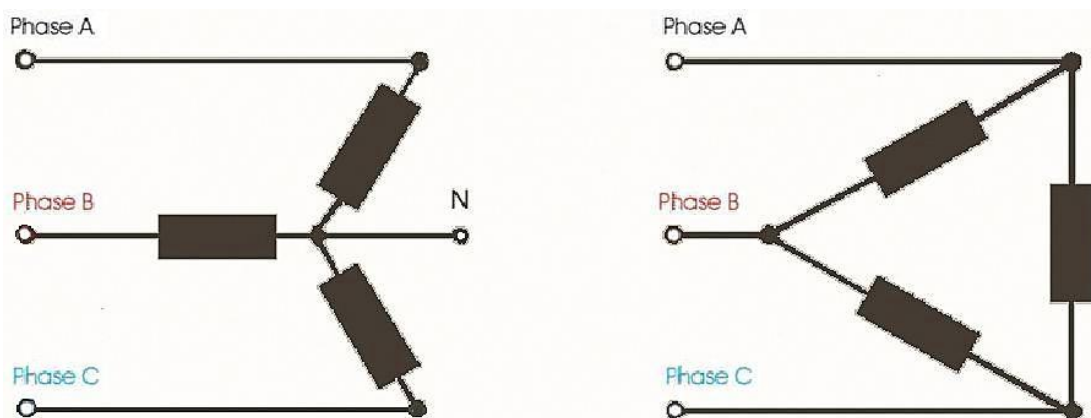




Εικόνα 2.7: Λειτουργία Τριφασικού Κινητήρα

Κατά την λειτουργία αυτών των κινητήρων ο στάτης δημιουργεί στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο όπως και στους μονοφασικούς κινητήρες. Το στρεφόμενο τους μαγνητικό πεδίο δημιουργείται με την διαδοχική εναλλαγή της πολικότητας των τυλιγμάτων του στάτη ο ρυθμός της οποίας είναι ίδιος με την συχνότητα τροφοδοσίας τους. Έτσι και εδώ ο ρότορας προσπαθεί να ευθυγραμμίσει τα μαγνητικά πεδία με αποτέλεσμα να περιστρέφεται κι αυτός ανάλογα με την συχνότητα τροφοδοσίας.

Η τριφασική πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να λειτουργήσει στους τριφασικούς κινητήρες με δύο διαφορετικές συνδεσμολογίες. Σε συνδεσμολογία αστέρα ή τριγώνου οι οποίες έχουν ξεχωριστά χαρακτηριστικά που αφορούν την τάση και το ρεύμα τροφοδοσίας των τυλιγμάτων τους επηρεάζοντας έτσι τη ροπή και την μέγιστη ταχύτητα περιστροφής του. Και στις δύο συνδεσμολογίες ο κινητήρας απορροφά από την πηγή την ίδια ποσότητα ισχύος.



Εικόνα 2.8: Συνδεσμολογίας Αστέρα και Συνδεσμολογίας Τριγώνου αντίστοιχα



Σε συνδεσμολογία αστέρα ο κινητήρας χρησιμοποιεί μεγαλύτερες τάσεις και το ρεύμα που χρειάζεται για την λειτουργία του είναι λιγότερο. Λόγω της μεγαλύτερης τάσης που χρησιμοποιεί, η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα αυξάνεται.

Αντίθετα σε συνδεσμολογία τριγώνου ο κινητήρας λειτουργεί με μικρότερη τάση αλλά μεγαλύτερα ρεύματα. Σε αυτή την περίπτωση ο κινητήρας αποδίδει καλύτερα σε ροπή αλλά η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής του είναι χαμηλή.

#### **2.2.4 ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ**

Οι σύγχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται για εργασίες οι οποίες απαιτούν μεγάλη ροπή και σταθερότητα.

Είναι εφοδιασμένοι με τριφασικό ή με μονοφασικό στάτη και ρότορα ο οποίος τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα μέσω δακτυλιδιών και ψηκτρών αλλά επίσης μπορεί να λειτουργήσει και με μόνιμους μαγνήτες.



Εικόνα 2.9: Ρότορας με τυλίγμα συνεχούς ρεύματος



Εικόνα 2.10: Ρότορας με μόνιμους μαγνήτες

Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο στάτης αλληλεπιδρά με το μαγνητικό πεδίο του ρότορα και προσπαθεί να ευθυγραμμίσει τα μαγνητικά πεδία έτσι το μόνο που μπορεί να κάνει είναι να αποκτήσει κινητική ενέργεια και να αρχίσει να περιστρέφεται με την συχνότητα περιστροφής των μαγνητικών πεδίων του στάτη. Η τελική ταχύτητα που θα αποκτήσει ο ρότορας θα φτάσει στην σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής η οποία βασίζεται στην συχνότητα τροφοδοσίας του στάτη και από τον αριθμό των πόλων που σχηματίζονται από τα τυλίγματα του. Παρουσιάζουν σταθερότητα στις στροφές τους όσο η συχνότητα του ρεύματος τροφοδοσίας παραμένει σταθερή. Όταν ο κινητήρας φτάσει στην μέγιστη ταχύτητα περιστροφής δηλαδή την σύγχρονη ταχύτητα, αυτός την διατηρεί ανεξάρτητα από μεταβολές της τάση τροφοδοσίας του. Οι τριφασικοί κινητήρες έχουν περισσότερες δυνατότητες όσον αφορά την ρύθμιση στροφών σε σχέση με τους μονοφασικούς αφού το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη

δημιουργείται από περισσότερες διαδοχικές εναλλαγές της πολικότητας παρά στους μονοφασικούς.

Η ροπή τους είναι αρκετά μεγάλη και σταθερή αλλά υπάρχει ένα όριο που ορίζουν οι προδιαγραφές του κάθε κινητήρα. Ανάλογα με τις προδιαγραφές του όσο πιο μεγάλο είναι το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα διέγερσης του τόσο μεγαλύτερη είναι η ροπή του, επομένως από αυτό καθορίζεται και η ευστάθεια του κινητήρα. Όταν η ροπή που χρειάζεται ο κινητήρας είναι μεγαλύτερη αυτής που προσφέρουν οι προδιαγραφές του, δηλαδή φτάσει στη ροπή ανατροπής του, ο ρότορας δεν μπορεί να ακολουθήσει τον ρυθμό του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου του στάτη με αποτέλεσμα να προκληθούν δονήσεις στον κινητήρα και μικρή μείωση των στροφών του. Αν η ταχύτητα του απομακρυνθεί από την σύγχρονη ταχύτητα τότε υπάρχει μεγάλος κίνδυνος οι μαγνητικές γραμμές που συνδέουν το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη με το μαγνητικό πεδίο του ρότορα, να χάσουν επαφή με αποτέλεσμα ο ρότορας να σταματήσει ενώ το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο να συνεχίσει να περιστρέφεται. Αυτό σίγουρα θα προκαλούσε θόρυβο και δονήσεις στον κινητήρα καθώς επίσης και αύξηση της θερμοκρασίας στα τυλίγματα του με αποτέλεσμα την καταστροφή τους.

Το ότι ο ρότορας σταματά και δεν κάνει επανεκκίνηση φανερώνει πως οι σύγχρονοι κινητήρες έχουν προβλήματα αυτόνομης εκκίνησης. Οι κινητήρες αυτοί δεν εκκινούν από μόνοι τους χωρίς κάποια βοηθητική τεχνική εκκίνησης.

Τεχνική που μπορεί να εκκινήσει ένα σύγχρονο κινητήρα είναι η μείωση της συχνότητας περιστροφής του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου, δηλαδή μείωση της συχνότητας τροφοδοσία του, έτσι ώστε ο ρότορας να μπορεί να ακολουθήσει το μαγνητικό πεδίο του στάτη. Αυτή είναι και η πιο αποτελεσματική τεχνική αφού ο κινητήρας δεν θυσιάζει την ροπή του.

Άλλη τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η χρήση άλλου κινητήρα ο οποίος να περιστρέψει τον σύγχρονο κινητήρα μέχρι την σύγχρονη ταχύτητα του. Αφού φτάσει στην σύγχρονη ταχύτητα αποσυνδέεται ο βοηθητικός κινητήρας και έτσι ο σύγχρονος κινητήρας έχει μπει σε λειτουργία.

Πιο ανεξάρτητη μέθοδος είναι η προσθήκη στα τυλίγματα του σύγχρονου κινητήρα τυλίγματα απόσβεσης. Το τύλιγμα απόσβεσης δίνει την δυνατότητα στους σύγχρονους κινητήρες να εκκινούν ως ασύγχρονοι χωρίς επιπρόσθετες τεχνικές εκκίνησης. Ο κινητήρας εκκινεί μόνο με το τύλιγμα απόσβεσης και αφού ο κινητήρας εκκινήσει τότε το τύλιγμα του σύγχρονου κινητήρα συνδέεται και αυτό. Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνετε ευστάθεια στην ταχύτητα περιστροφής του, αφού αν η ταχύτητα του ρότορα γίνει άλλη από την σύγχρονη, το τύλιγμα απόσβεσης μειώνει ή αυξάνει τις στροφές ανάλογα και έτσι την επαναφέρει στην σύγχρονη ταχύτητα.

Αλλαγή στη φορά περιστροφής του τριφασικού ή μονοφασικού κινητήρα επιτυγχάνετε με αλλαγή της φοράς του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Με άλλα λόγια με αλλαγή της σειράς διαδοχής των φάσεων του στάτη.

### **2.2.5 ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ)**

Αφού τα τυλίγματα απόσβεσης που χρησιμοποιήθηκαν για την εκκίνηση των σύγχρονων κινητήρων είχαν τόσο καλή απόδοση, τελικά κατασκευάστηκαν κινητήρες οι οποίοι λειτουργούν αποκλειστικά και μόνο από τυλίγματα απόσβεσης. Οι κινητήρες αυτοί ονομάστηκαν επαγωγικοί αφού βασίζονται στο φαινόμενο της επαγωγής. Λέγεται επίσης ότι οι επαγωγικοί κινητήρες είναι σαν μεγάλοι στρεφόμενοι μετασχηματιστές αφού και οι μετασχηματιστές χρησιμοποιούν επίσης το φαινόμενο της επαγωγής. Ασύγχρονοι κινητήρες είναι η δεύτερη ονομασία που χαρακτηρίζει αυτούς τους κινητήρες η οποία πηγάζει από την ταχύτητα περιστροφής τους που ονομάζεται ασύγχρονη ταχύτητα η οποία είναι πάντα μικρότερη της σύγχρονης.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες είναι εφοδιασμένοι με μονοφασικό ή τριφασικό τύλιγμα στον στάτη τους και με ρότορα ο οποίος είναι ειδικά κατασκευασμένος έτσι ώστε το ρεύμα στο τύλιγμα του να μεταφέρεται μέσω του φαινομένου της επαγωγής.

Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες που βασίζονται στην κατασκευή του ρότορα τους. Ο ένας ονομάζεται δακτυλιοφόρος δρομέα και ο άλλος βραχυκυκλωμένου δρομέα.



Εικόνα 2.11: Δρακτυλιοφόρος Δρομέας



Εικόνα 2.12: Βραχυκυκλωμένος Δρομέας

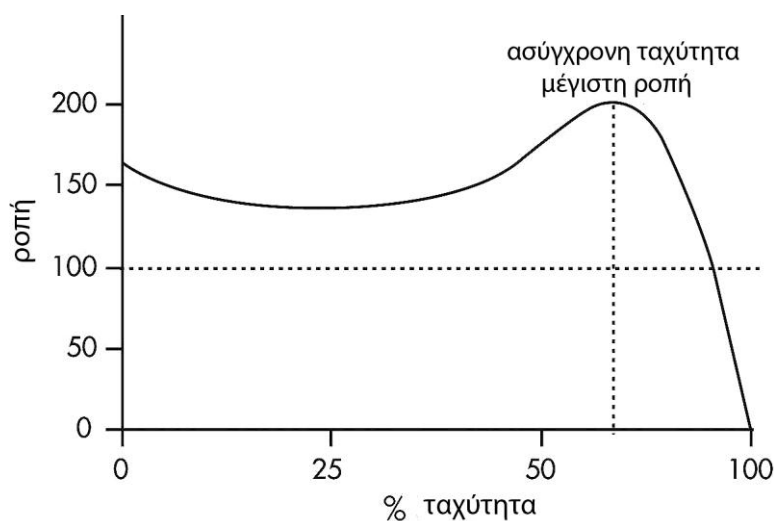
Οι δρομείς αποτελούνται από λεπτά φύλλα σιδηρομαγνητικού υλικού τα οποία είναι μονωμένα μεταξύ τους, τεχνική που εφαρμόζεται με σκοπό την μείωση των μαγνητικών απωλειών που προκαλούνται από δινορεύματα. Στην

επιφάνεια του ρότορα χαράζονται αυλάκια μέσα από τα οποία περνούν τα τυλίγματα τους. Τα καλώδια των τυλιγμάτων συνήθως είναι χοντρά λόγω των μεγάλων επαγόμενων ρευμάτων που τα διαρρέουν.

Κατά την εκκίνηση αυτών των κινητήρων τα τυλίγματα στον στάτη τους απορροφούν αρκετή ένταση από την πηγή μέχρι ο ρότορας να φτάσει στην ασύγχρονη ταχύτητα περιστροφής όπου παράγει και την μεγαλύτερη ποσότητα ροπής. Αν στον άξονα του τοποθετηθεί φορτίο προτού φτάσει στην ασύγχρονη ταχύτητα τα τυλίγματα στον στάτη του θα απορροφήσουν μεγαλύτερη ένταση από την πηγή από ότι συνήθως για να διατηρήσουν την αύξηση των στροφών. Εδώ παρουσιάζεται ένα πρόβλημα για αυτούς τους κινητήρες αφού τα τυλίγματα του θερμαίνονται από την αύξηση της έντασης με αποτέλεσμα την καταστροφή των τυλιγμάτων του.

Το πρόβλημα μπορεί να περιοριστεί με αλλαγή της τιμής της μέγιστης ταχύτητας περιστροφής δηλαδή μειώνοντας τον χρόνο μέχρι το σημείο που εμφανίζεται η ασύγχρονη ταχύτητα και η μέγιστη ροπή του. Η ταχύτητα περιστροφής σε αυτούς τους κινητήρες όπως και στους σύγχρονους βασίζεται στην συχνότητα τροφοδοσίας τους. Αφού η μέγιστη ροπή τους παρουσιάζεται στην μέγιστη ταχύτητα τότε μειώνοντας την συχνότητα τροφοδοσίας στο ελάχιστο η μέγιστη ταχύτητα θα είναι κοντά στην ταχύτητα εκκίνησης. Άρα ο κινητήρας θα εκκινήσει με την μέγιστη ροπή χωρίς να απορροφήσει μεγάλη ένταση. Αυτό όμως δεν σώζει τον κινητήρα αν το φορτίο που τοποθετήθηκε στον άξονα είναι μεγαλύτερο από αυτό που ορίζουν οι προδιαγραφές του κινητήρα.

Εδώ παρουσιάζεται ο λόγος κατασκευής του δακτυλιοφόρου δρομέα ο οποίος φτιάχτηκε με βάση τον βραχυκυκλωμένο δρομέα με επιπρόσθετα τρία δακτυλίδια που δίνουν την δυνατότητα πρόσβαση στα τυλίγματα του.



Εικόνα 2.13: γραφική παράσταση Ροπής – Ταχύτητας

Η πρόσβαση στα τυλίγματα του δακτυλιοφόρου δρομέα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ροπής εκκίνησης του κινητήρα και βελτίωσης της απόδοσης του. Προσθέτοντας κάποιες αντιστάσεις στα τυλίγματα του μέσω των δακτυλιδιών αλλάζει και η σχέση ροπής ταχύτητας βελτιώνοντας ανάλογα την λειτουργία του. Αυξάνοντας την αντίσταση η ταχύτητα του μειώνεται και έτσι η ροπή εκκίνησης του αυξάνεται.

Ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό των ασύγχρονων κινητήρων παρουσιάζεται όταν ο κινητήρας για κάποιο λόγο ξεπεράσει την ασύγχρονη ταχύτητα του. Όταν συμβεί αυτό τότε η ροπή του πέφτει σταδιακά στο μηδέν με αποτέλεσμα ο κινητήρας να φρενάρει από μόνος του μέχρι να επανέλθει στην ασύγχρονη ταχύτητα. Αυτό εξασφαλίζει μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την λειτουργία του στην ασύγχρονη ταχύτητα.

Παρόλα αυτά οι επαγωγικοί κινητήρες έχουν το μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να μετατραπούν σε γεννήτριες αφού υπολείπεται ένα συστατικό. Για την παραγωγή ενέργειας όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου χρειάζονται τρία συστατικά. Χρειάζεται ένα μαγνητικό πεδίο που μπορεί να είναι από μαγνήτες ή από πηνία. Ένα δεύτερο πηνίο στο οποίο θα παραχθεί η ενέργεια και τελευταίο η μηχανική ενέργεια που θα περιστρέψει την γεννήτρια. Οι επαγωγικοί κινητήρες έχουν λιγότερα πηνία από αυτά που χρειάζονται οι γεννήτριες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### 3.0 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Ιδανικό σύστημα θα ήταν αυτό όπου κατά την λειτουργία του σε κάποιο όχημα θα εξοικονομούσε περισσότερη ποσότητα καύσιμου από άλλα συμβατικά οχήματα της ίδια κατηγορίας, ίδιου βάρους, διανύοντας την ίδια απόσταση και υπό τις ίδιες συνθήκες. Μπορεί να ακούγεται απλό αλλά υπάρχουν πράγματα που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη από τον σχεδιαστή του συστήματος έτσι ώστε το σύστημα να εξοικονομεί πραγματικά καύσιμο και όχι το υβριδικό όχημα να έχει την ίδια κατανάλωση με άλλα συμβατικά οχήματα.

Το σοβαρότερο πρόβλημα που θα πρέπει να αντιμετωπίσει ο σχεδιαστής είναι το βάρος του οχήματος καθώς επίσης και το βάρος του συστήματος που θα σχεδιάσει για το συγκεκριμένο όχημα.

Αρχικά για να επιτευχθεί εξοικονόμηση θα πρέπει το ηλεκτρικό σύστημα που θα εφαρμοστεί στο όχημα να μπορεί να μεταφέρει τουλάχιστον το βάρος του σε απόσταση η οποία να ξεπερνά την αρχική αυτονομία του οχήματος χωρίς την ηλεκτρική εγκατάσταση. Με άλλα λόγια αν το σύστημα μπορεί να μεταφέρει μόνο τον εαυτό του για απόσταση ίση με την μέγιστη απόσταση που μπορεί να καλύψει το όχημα χωρίς το βάρος της ηλεκτρικής εγκατάστασης τότε το όχημα με την ηλεκτρική εγκατάσταση θα είχε την ίδια κατανάλωση με το ίδιο όχημα χωρίς την ηλεκτρική εγκατάσταση.

Άρα θα πρέπει αρχικά να σχεδιαστεί ένα σύστημα το οποίο να μπορεί να μεταφέρει το βάρος του στην ίδια απόσταση όση είναι και η αυτονομία του οχήματος στο οποίο πρόκειται να γίνει η εγκατάσταση. Για να γίνει αυτό θα πρέπει το σύστημα να διαθέτει χώρο αποθήκευσης ενέργειας για όση ενέργεια θα καταναλώνει ο ηλεκτρικός κινητήρας για να μεταφέρει το βάρος του ηλεκτρικού συστήματος στην ζητούμενη απόσταση. Αυτό είναι και το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι σχεδιαστές τέτοιων συστημάτων. Ο αποθηκευτικός χώρος ηλεκτρικής ενέργειας σε τέτοια συστήματα είναι κυρίως μπαταρίες και μεγάλης χωρητικότητας πυκνωτές. Το βάρος των μπαταριών είναι μεγάλο σε σχέση με την ενέργεια που μπορούν να αποθηκεύσουν. Έτσι αν προσθέταμε μπαταρίες για να αυξήσουμε την συνολική αποθηκευμένη ενέργεια, πάντα το βάρος τους θα αύξανε το συνολικό βάρος του συστήματος με αποτέλεσμα η αυτονομία του συστήματος να μένει στάσιμη ή χειρότερα να μειωθεί.

Το πρόβλημα μπορεί εύκολα να λυθεί αν κατασκευαστούν μπαταρίες οι οποίες να διαθέτουν πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα από αυτές που χρησιμοποιούνται αλλά επίσης να έχουν πολύ μικρό βάρος και όγκο. Αφού αυτή η τεχνολογία δεν έχει ακόμα ανακαλυφθεί ή τουλάχιστον το κόστος

κατασκευής ή το κόστος ως προς το περιβάλλον για την κατασκευή της είναι τόσο μεγάλο που διαγράφει την ιδέα κατασκευής της, τότε ο μόνος τρόπος να λυθεί το πρόβλημα είναι η συνεχής επαναφόρτιση μπαταριών κατά την διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος και αύξηση με αυτόν τον τρόπο της αυτονομίας του.

### **3.1 ΠΗΓΕΣ ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΦΟΡΤΙΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ**

Οι τρόποι επαναφόρτισης των μπαταριών είναι αρκετοί αλλά δεν είναι όλοι αποδοτικοί και επίσης πολλοί από αυτούς δεν έχουν ακόμα χρησιμοποιηθεί ή δεν έχουν συνδυαστεί κατάλληλα έτσι ώστε το σύστημα να γίνει πιο αυτόνομο.

#### ***3.1.1 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕΣΩ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΗΣ***

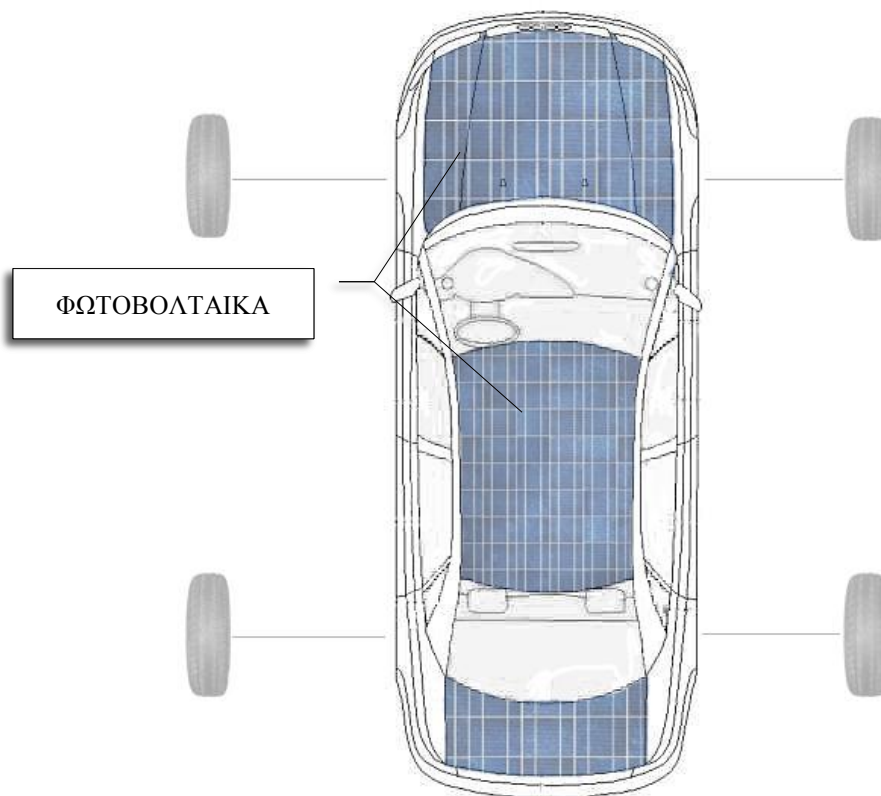
Ο πιο γνωστός τρόπος επαναφόρτισης των μπαταριών σε ένα υβριδικό όχημα είναι η φόρτιση μέσω του κινητήρα εσωτερικής καύσης όταν είναι σε λειτουργία. Όπως αναφέρθηκε και σε άλλο κεφάλαιο ανάλογα με την χρήση του οχήματος αυτό είναι προγραμματισμένο να αντιδρά ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ιπποδύναμη. Δηλαδή για παράδειγμα σε μια ανηφόρα αν ο ηλεκτρικός κινητήρας δεν μπορεί να αποδώσει από μόνος του τότε ο κινητήρας εσωτερικής καύσης μπαίνει σε λειτουργία και κινεί αυτός το όχημα. Τότε το σύστημα εκμεταλλεύεται την λειτουργία του κινητήρα εσωτερικής καύσης και φορτίζει τις μπαταρίες του. Αυτός ο τρόπος όμως δεν είναι και ο πιο αποδοτικός. Για να φορτίσει τις μπαταρίες ο κινητήρας καταναλώνει περισσότερο καύσιμο και θυσιάζει κάποιο μέρος από την συνολική ιπποδύναμη του για να περιστρέψει τον ηλεκτρικό κινητήρα έτσι ώστε να λειτουργήσει ως ηλεκτρογεννήτρια.

Ένας άλλος τρόπος φόρτισης είναι πάλι μέσω κινητήρα εσωτερικής καύσης αλλά στη συγκεκριμένη περίπτωση ο κινητήρας δεν χρησιμοποιείται καθόλου για να κινήσει το όχημα. Μιλάμε για ένα μικρού κυβισμού κινητήρα εσωτερικής καύσης ο οποίος ξεκινά να δουλεύει με σταθερές στροφές, μόνο όταν οι μπαταρίες χρειάζονται φόρτιση ή όταν ο ηλεκτρικός κινητήρας χρειάζεται περισσότερο ρεύμα. Με τον μικρό κινητήρα το όχημα κουβαλά λιγότερο βάρος έτσι με αυτό τον τρόπο εξοικονομείται περισσότερο καύσιμο και ταυτόχρονα εκπέμπονται λιγότεροι ρίποι στο περιβάλλον. Το βάρος που κερδίζεται από το μέγεθος του κινητήρα εσωτερικής καύσης μπορεί να συμπληρωθεί με έξτρα μπαταρίες και μεγαλύτερο ηλεκτροκινητήρα αν χρειάζεται.

#### ***3.1.2 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕΣΩ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ***

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να παίξει μεγάλο ρόλο στο μέλλον των υβριδικών οχημάτων. Είναι μια ραγδαία εξελισσόμενη τεχνολογία η οποία

σίγουρα στο κοντινό μέλλον θα εφαρμοστεί σε μόνιμη βάση σε υβριδικά οχήματα. Ήδη κάποιες εταιρείες όπως η Toyota έχει προσφέρει στο κοινό την δυνατότητα προσθήκης φωτοβολταϊκών κυττάρων στα οχήματα κατά παραγγελία. Ο αγοραστής επιβαρύνεται με το κόστος αυτής της εγκατάστασης αφού λόγω κόστους η Toyota δεν το εφαρμόζει σε όλα τα υβριδικά οχήματα που παράγει. Με την προσθήκη φωτοβολταϊκών κυττάρων στο όχημα η αυτονομία του κατά την διάρκεια της ηλιοφάνειας μπορεί να γίνει πολύ μεγάλη ή ακόμα και ανεξάντλητη. Με την εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας θα μπορούμε πολύ εύκολα να λύσουμε όλα τα προβλήματα ενέργειας όχι μόνο για τα οχήματα αλλά και για ολόκληρες πόλεις. Προς το παρόν όμως η απόδοση ως προς το μέγεθος της επιφάνειας τους και το κόστος τους είναι σχεδόν απαγορευτικά σε όλους τους τομείς.



### 3.1.3 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕΣΩ ΦΡΕΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ

Άλλος γνωστός τρόπος παραγωγής ενέργειας σε οχήματα είναι μέσω του φρεναρίσματος. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται σήμερα στα αγωνιστικά αυτοκίνητα Formula 1. Το σύστημα αποθηκεύει σε πολύ μικρό χρόνο αρκετή ενέργεια την οποία μπορεί να χρησιμοποιήσει αργότερα όπου το αυτοκίνητο χρειάζεται περισσότερη ιπποδύναμη.

Την παραγωγή ενέργειας αναλαμβάνει ο ηλεκτρικός κινητήρας αλλάζοντας ακαριαία την ηλεκτρική του κατάσταση από κινητήρας σε

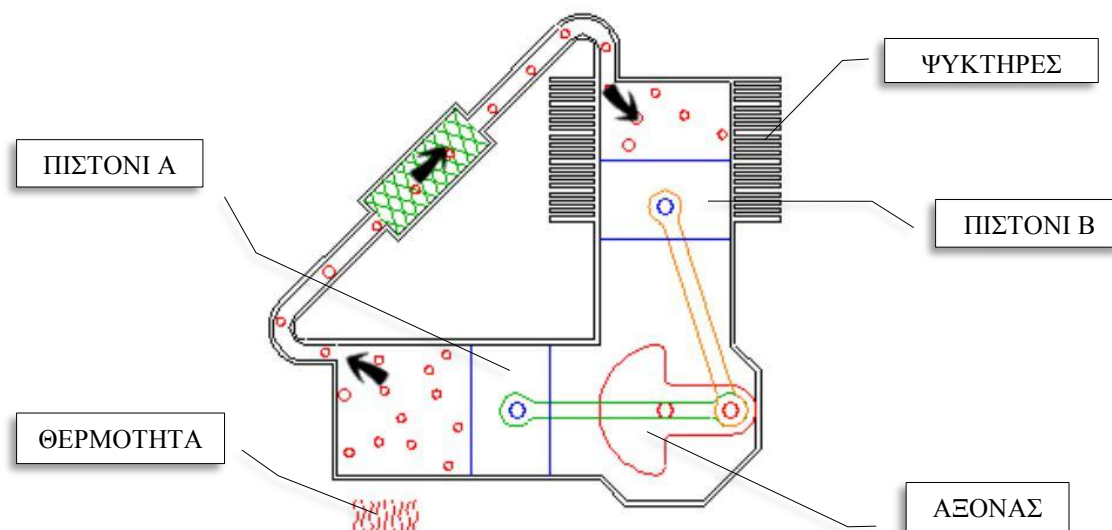


γεννήτρια καθώς το όχημα επιβραδύνει. Με αυτό τον τρόπο το όχημα δεν επιβαρύνεται με έξτρα βάρος αλλά δεν μπορεί ούτε να απαλλαγεί από το βάρος των συμβατικών φρένων. Ο λόγος βρίσκεται στο ότι το όχημα σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης δεν μπορεί να επιβραδύνει τόσο γρήγορα και ελεγχόμενα μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα. Έτσι για λόγους ασφάλειας τα συμβατικά φρένα δεν αφαιρούνται από τα οχήματα.

Σε νέα οχήματα αναμένεται να εφαρμοστεί η στρατηγική της ενσωμάτωσης ηλεκτρικών κινητήρων σε κάθε ένα από τους τροχούς του οχήματος. Αυτό θα δώσει μεγάλα πλεονεκτήματα στο όχημα όχι μόνο όσο αφορά το σταμάτημα και παραγωγή ενέργειας από αυτό αλλά και καλύτερο έλεγχο στρωφών στον κάθε τροχό του οχήματος αποδίδοντας καλύτερο κράτημα ενώ το όχημα κινείται.

### 3.1.4 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ένα σημαντικό στοιχείο που δεν έχει γίνει μαζικά εκμεταλλεύσιμο ακόμα είναι η θερμότητα την οποία εκπέμπει ο κινητήρας εσωτερικής καύσης. Η θερμότητα κάνει κακό στην μηχανή έτσι εμείς την αποβάλλουμε από αυτήν με υδρόψυξη και έτσι η θερμότητα χάνεται ανεκμετάλλευτη στην ατμόσφαιρα. Γιατί να μην χρησιμοποιήσουμε ένα μέρος αυτής της θερμότητας και να την μετατρέψουμε σε ηλεκτρική; Η καλύτερα να αντικαταστήσουμε την μηχανή εσωτερικής καύσης με ένα stirling engine. Μια μηχανή που ονομάζεται Stirling Engine η οποία κατασκευάστηκε από τους Robert Stirling (1790-1878) και τον αδελφό James μετέτρεπε την θερμική ενέργεια σε μηχανική. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας της.



Η θερμότητα ανεβάζει την πίεση του αερίου στο εσωτερικό της μηχανής με αποτέλεσμα να σπρώχνει ένα πιστόνι μέχρι το τέρμα. Αν η θερμότητα

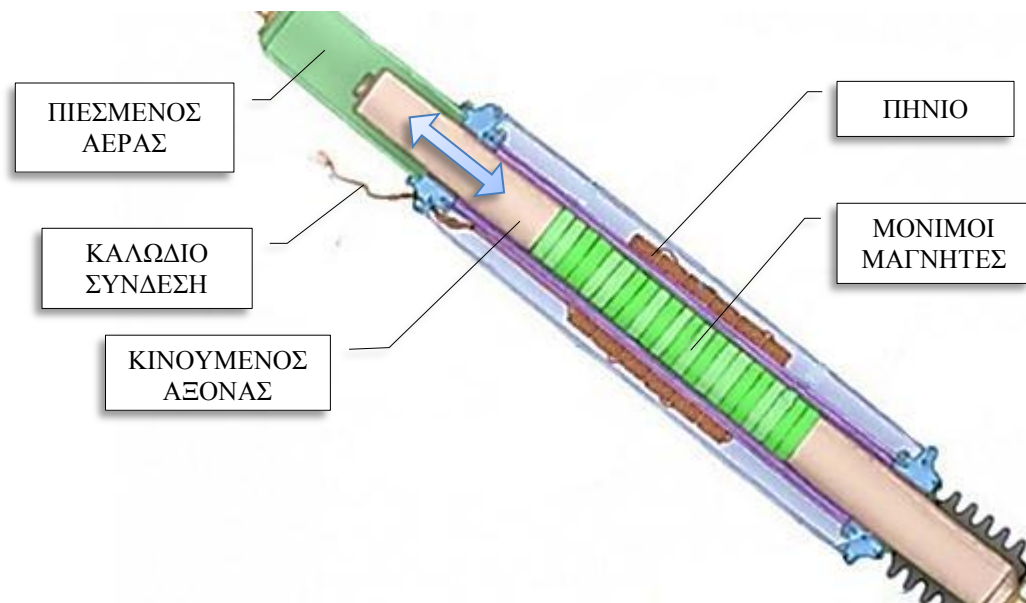
εξακολουθεί να αυξάνει την πίεση, μια βαλβίδα απελευθερώνει το ζεστό αέριο σε ένα πανομοιότυπο χώρο με ένα ίδιο πιστόνι το οποίο είναι καλυμμένο από ψυκτήρες. Το Β πιστόνι σπρώχνεται από την πίεση του ζεστού αερίου με αποτέλεσμα το Α πιστόνι να κινηθεί κι αυτό σπρώχνοντας το αέριο ακόμη περισσότερο. Το αέριο που μεταφέρθηκε στο χώρο που είναι καλυμμένος από ψυκτήρες αρχίζει να κρυώνει με αποτέλεσμα η πίεση του αερίου σε εκείνο τον χώρο να μειώνεται. Έτσι αφού η πίεση μειωθεί αρκετά το Α πιστόνι επιστρέφει πίσω στην προέκταση του και το Β πιστόνι έχει πλέον χώρο να επιστρέψει. Επιστρέφοντας το Β πιστόνι στην προέκταση του στέλνει πίσω στον χώρο του Α πιστονιού το αέριο κρύο. Το αέριο που επιστρέφει σπρώχνει με την σειρά του και πάλι το Α πιστόνι και η θερμότητα το αναγκάζει να επιστρέψει πίσω σπρώχνοντας και πάλι το Β πιστόνι. Με αυτή την επαναλαμβανόμενη διαδικασία επιτυγχάνεται συνεχής περιστροφή του άξονα αφού το αέριο αλλάζοντας συνεχώς θερμοκρασία συσπάται ασταμάτητα για όσο υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δυο χώρων .

Η θερμότητα μπορεί να δημιουργηθεί με πολλούς τρόπους. Είτε από την μηχανή εσωτερικής καύσης ή ακόμα από μεγάλο εύρος καυσίμων επιτυγχάνοντας μικρότερη κατανάλωση. Τα εναλλακτικά καύσιμα μπορούν να είναι οτιδήποτε καίγεται. Το πιο οικολογικό θα ήταν το υδρογόνο που μπορεί να παραχθεί με ηλεκτρόλυση του νερού το οποίο αφού καεί ένα μέρος του μετατρέπεται σε νερό.

Στον άξονα αυτής της μηχανής μπορεί πολύ εύκολα να ενσωματωθεί μια γεννήτρια η οποία θα παράγει ασταμάτητα ενέργεια χωρίς να αυξάνει την κατανάλωση του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το μόνο που επιβαρύνει την κατάσταση είναι το επιπρόσθετο βάρος που ενδέχεται να προσθέσει αυτή η έξτρα εγκατάσταση το οποίο στις μέρες μας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί. Το 1969 η General Motor χρησιμοποίησε σε ένα δοκιμαστικό υβριδικό αυτοκίνητο αυτή την μηχανή αλλά για κάποιο λόγο το αυτοκίνητο δεν βγήκε στην παραγωγή.

### **3.1.5 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕΣΩ ΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΜΕΡΩΝ**

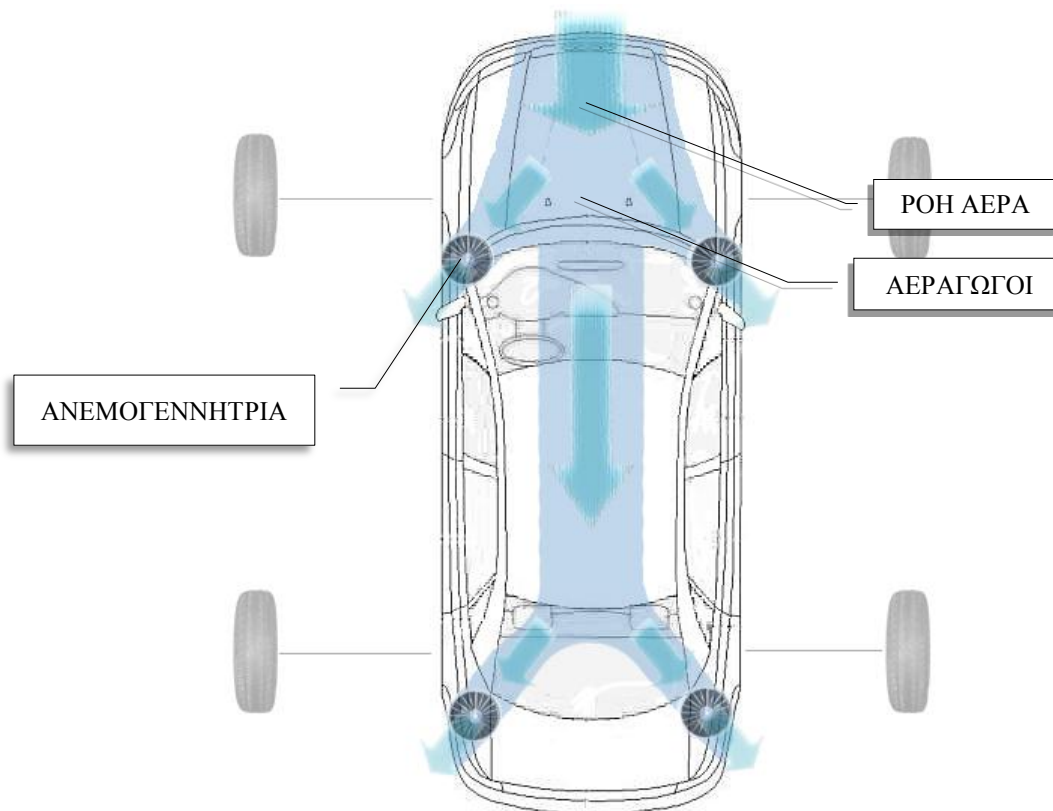
Μια καινούρια τεχνολογία που μπορεί να βοηθήσει κατά πολύ την παραγωγή ενέργειας στα οχήματα είναι η εκμετάλλευση των ελάχιστων κινούμενων μερών που βρίσκονται στο όχημα και μένουν μέχρι τώρα ανεκμετάλλευτα. Οι αναρτήσεις τοποθετούνται σε όλα τα οχήματα μεταξύ των τροχών και του σασί με σκοπό την απορρόφηση των συνεχών κραδασμών που προκαλούνται από το οδόστρωμα. Λόγω των συνεχών κραδασμών οι αναρτήσεις είναι ένα από τα πιο χρησιμοποιημένα κινούμενα μέρη που βρίσκονται στο όχημα. Στην παρακάτω εικόνα μπορείτε να δείτε την δομή μιας βελτιωμένης ανάρτησης έτσι ώστε με κάθε κίνηση που κάνει να παράγει ενέργεια.



Η κοινή ανάρτηση έχοντας πιεσμένο αέρα στο εσωτερικό της, σπρώχνει τον κινούμενο άξονα ο οποίος σπρώχνεται επίσης προς την αντίθετη κατεύθυνση από το βάρος του οχήματος. Όταν το όχημα συναντήσει ανωμαλία στο οδόστρωμα τότε ο κινούμενος άξονας ταλαντεύεται πάνω στον πιεσμένο αέρα. Το ίδιο συμβαίνει και στην βελτιωμένη έκδοση της ανάρτησης με την μόνη διαφορά ότι στον κινούμενο άξονα της έχουν τοποθετηθεί δυνατοί μόνιμοι μαγνήτες, καθώς επίσης και πηνία γύρω από αυτούς. Κατά την διάρκεια της ταλάντωσης του κινούμενου άξονα οι μόνιμοι μαγνήτες περνούν μέσα από τα πηνία. Όπως αναφέρθηκε σε άλλο κεφάλαιο όταν αγωγός περάσει μέσα από μαγνητικό πεδίο κάθετα στις μαγνητικές γραμμές τότε στον αγωγό παράγεται ένα ρεύμα ανάλογο της έντασης του μαγνητικού πεδίου και της ταχύτητας με την οποία ο αγωγός κινήθηκε μέσα στο πεδίο. Η διαφορά εδώ είναι ότι αυτό που κινείται είναι το μαγνητικό πεδίο και όχι ο αγωγός, όμως το αποτέλεσμα παραμένει το ίδιο. Άρα με την ταλάντωση των μαγνητών μέσα στα πηνία παράγεται ένα ρεύμα το οποίο μέσω του καλωδίου σύνδεσης μεταφέρεται και φυλάσσεται στις μπαταρίες ή σε μεγάλης χωρητικότητας πυκνωτές όπου με την σειρά τους να τροφοδοτούν ανάλογα με τις ανάγκες σε ιπποδύναμη τον ηλεκτρικό κινητήρα.

### 3.1.6 ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕΣΩ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Το όχημα καθώς κινείται συναντά αντίσταση από τον αέρα ανάλογα με τον όγκο, το σχήμα του και την ταχύτητα που κινείται μέσα σε αυτόν. Όσο πιο αεροδυναμικό είναι το όχημα τόσο λιγότερη είναι και η αντίσταση που βρίσκει στο δρόμο του και τόσο λιγότερη κατανάλωση έχει. Αν λοιπόν προσθέτονταν αεραγωγοί στο όχημα όπως φαίνεται στη πιο κάτω εικόνα το όχημα κερδίζει αεροδυναμικότητα.



Έτσι στο εσωτερικό των αεραγωγών μπορούν να εφαρμοστούν ειδικά κατασκευασμένες ανεμογεννήτριες οι οποίες θα έχουν μικρό βάρος έτσι ώστε να παράγουν περισσότερο ρεύμα από αυτό που θα χρειαζόταν ο ηλεκτροκινητήρας για να τις μεταφέρει. Με καλή μελέτη και σωστά υλικά αυτό θα μπορούσε να γίνει πολύ χρήσιμο και αποδοτικό για μεγάλα ταξίδια όπου δεν θα υπάρχουν πολλές στάσεις και εκκινήσεις.

### **3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ**

Ο κάθε κινητήρας κατασκευάζεται ειδικά για την χρήση για την οποία προορίζεται. Άλλοι προορίζονται για βαριές εργασίες, άλλοι για μεγάλες ταχύτητες, άλλοι για σταθερότητα και άλλοι για μεγάλη ακρίβεια.

Ένα υβριδικό αυτοκίνητο χρειάζεται μεγάλη ροπή αφού το βάρος του είναι μεγάλο. Χρειάζεται επίσης ανάλογα με τις απαιτήσεις του σχεδιαστή του συστήματος, ταχύτητα, ακρίβεια, και έλεγχο στροφών για την σωστή λειτουργία και συμπεριφορά του στον δρόμο. Με λίγα λόγια ο κινητήρας πρέπει να πληροί πάνω κάτω όλα τα χαρακτηριστικά που μπορεί να έχει ένας κινητήρας. Στο Κεφάλαιο 2 αναλύθηκαν εν τάχη τα χαρακτηριστικά των κινητήρων έτσι ώστε να μπορεί να γίνει επιλογή του καταλληλότερου.

Από τους DC κινητήρες αυτοί που ξεχωρίζουν είναι οι κινητήρες αθροιστικής συνθέτης διέγερσης και κινητήρες μόνιμων μαγνητών.

Οι κινητήρες αθροιστικής σύνθετης διέγερσης ξεχωρίζουν για τον λόγο ότι παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ροπή οπότε φυσικά την χρειάζονται χωρίς να

έχουν τα μεγάλα προβλήματα διατήρηση των στροφών που αντιμετωπίζουν οι κινητήρες με διέγερση σειράς.

Ο λόγος για τον οποίο ξεχωρίζουν οι *κινητήρες μόνιμων μαγνητών* παρόλο που υστερούν σε ροπή σε σχέση με τους υπόλοιπους DC κινητήρες, είναι το μικρότερο τους μέγεθος, μικρότερο βάρος και το σημαντικότερο δεν έχουν τυλίγματα διέγερσης έτσι δεν έχουν ούτε δακτυλίδια και ψήκτρες. Άρα λιγότερες φθορές.

Ο έλεγχος στροφών και για τους δυο αυτούς κινητήρες είναι σχετικά εύκολος. Με μεταβολή της τιμής της τάσης τροφοδοσίας τους αλλάζουν και οι στροφές τους ανάλογα. Με ένα dc to dc converter μπορεί απευθείας να τροφοδοτηθεί από την μπαταρία ο κάθε κινητήρας χωρίς άλλα πολύπλοκα κυκλώματα. Το μειονέκτημα τους είναι στο ότι μπορεί μεν να έχουν έλεγχο στροφών όμως δεν μπορούν να έχουν μεγάλη ακρίβεια.

Από τους AC κινητήρες οι κινητήρες που μπορούν να έχουν καλή απόδοση είναι οι σύγχρονοι. Οι επαγωγικοί κινητήρες δεν μπορούν να αποδώσουν καλά σε αυτόν τον τομέα αφού μπορούν να λειτουργήσουν μόνο ως κινητήρες και όχι ως γεννήτριες.

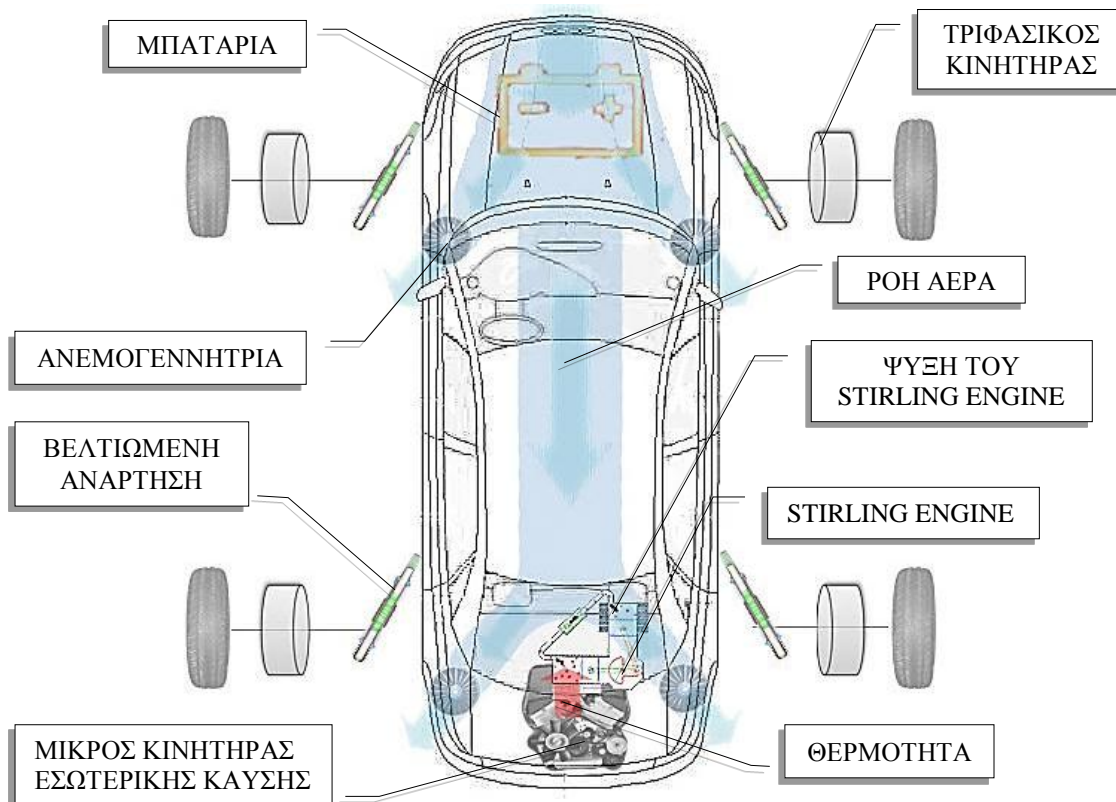
Οι σύγχρονοι κινητήρες διαθέτουν ροπή, ταχύτητα, έλεγχο στροφών και ακρίβεια. Πιο συγκεκριμένα οι τριφασικοί σύγχρονοι διαθέτουν μεγαλύτερη ροπή και μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι οι μονοφασικοί. Από πλευράς ταχύτητας παίζει ρόλο ο αριθμός των πόλων σε κάθε ένα από αυτούς τους κινητήρες αν η συχνότητα, που είναι και η μεταβλητή της ταχύτητας τους θεωρηθεί σταθερή. Έτσι ανάλογα με τις ανάγκες του οχήματος μπορεί να κατασκευαστεί ο κατάλληλος κινητήρας.

Το μειονέκτημα παρουσιάζεται στον τρόπο οδήγησης του κινητήρα σε ένα όχημα αφού η μόνη πηγή ενέργειας είναι οι μπαταρίες. Ο μόνος τρόπος που μπορεί να οδηγηθεί ο κινητήρας είναι μετατρέποντας το συνεχές ρεύμα της μπαταρίας σε εναλλασσόμενο και επίσης με ελεγχόμενη συχνότητα για τον έλεγχο ταχύτητας. Με λίγα λόγια χρειάζεται έναν DC to AC inverter.

### **3.3 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

Μετά από όλα αυτά που αναφέρθηκαν και με πολλή έξτρα μελέτη θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα υβριδικό σύστημα πολύ αποδοτικό. Το συγκεκριμένο στο μέλλον θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε ένα υβριδικό αυτοκίνητο δίνοντας του την δυνατότητα να αντεπεξέλθει σε όλες τις απαιτήσεις της οδήγησης.

Στην πιο κάτω εικόνα φαίνεται το προτεινόμενο σύστημα με όλα τα μέρη του.



Το προτεινόμενο όχημα είναι εφοδιασμένο με έναν μικρό κινητήρα εσωτερικής καύσης ο οποίος χρησιμοποιείται μόνο ως γεννήτρια σε συνδυασμό με ένα stirling engine το οποίο θα εκμεταλλεύεται την θερμότητα από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης. Βέβαια με καλή σχεδίαση ενός stirling engine θα μπορούσε να αποδώσει από μόνος του καλύτερα και από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης αφού το μόνο που χρειάζεται για να λειτουργήσει είναι η θερμότητα. Άρα θα μπορούσε να λειτουργήσει με όλες τις πηγές θερμότητας ακόμα και με πρωτόπορα καύσιμα όπως είναι το κάρβουνο αλλά και ένα κεριά ακόμα θα μπορούσε να παράγει κάποια θερμότητα. Επίσης για την παραγωγή έξτρα ενέργειας προτείνεται η χρήση ανεμογεννητριών καθώς και βελτιωμένων αναρτήσεων. Η παραγωγή ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών δεν έχει συμπεριληφθεί στο σύστημα γιατί μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά για λίγες και συγκεκριμένες μόνο ώρες κατά την ηλιοφάνεια. Τέλος το όχημα θα λειτουργούσε πιο οικονομικά αλλά και με καλύτερο κράτημα στον δρόμο αν χρησιμοποιούσε τέσσερις χαμηλής κατανάλωσης τριφασικούς σύγχρονους κινητήρες (με επιπρόσθετα τυλίγματα απόσβεσης για μεγαλύτερη ευστάθεια) οι οποίοι θα λειτουργούσαν είτε όλοι μαζί για μεγαλύτερη ροπή είτε μόνο οι δύο από αυτούς για διατήρηση της ταχύτητας του οχήματος όταν κινείται σε ευθεία. Επίσης με τους τέσσερις κινητήρες θα μπορεί να παράγει περισσότερη ενέργεια κατά την επιβράδυνση μέχρι το σταμάτημα του οχήματος αφού οι τριφασικοί σύγχρονοι κινητήρες λειτουργούν πολύ αποδοτικά και ως γεννήτριες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

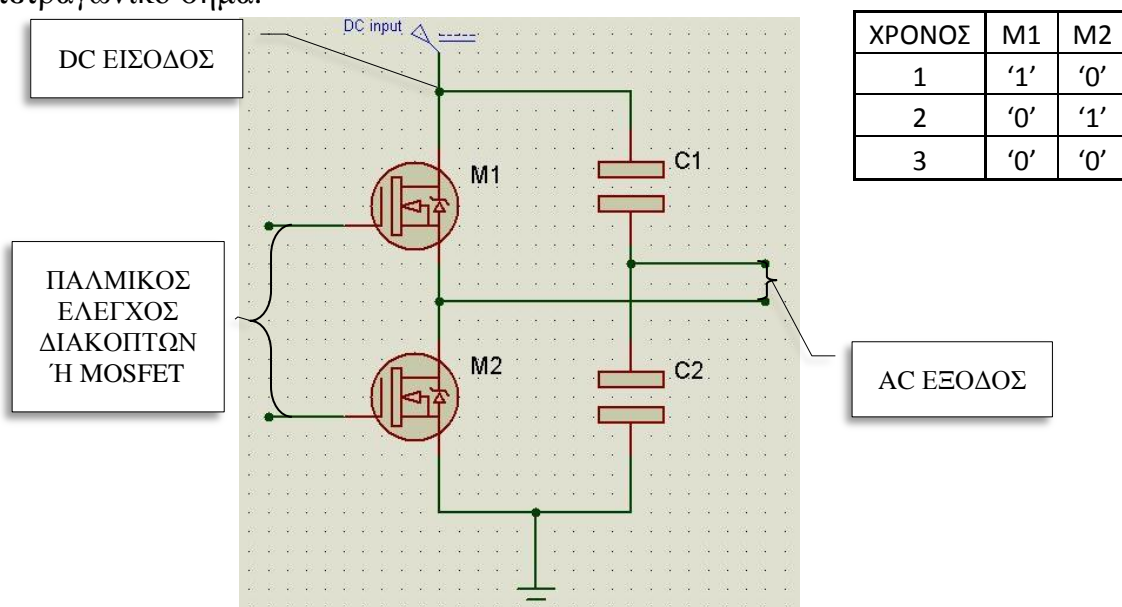
### 4.0 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ (INVERTERS)

Όπως είπαμε για την τροφοδότηση ενός τριφασικού κινητήρα χρειάζεται τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα αλλά σε ένα υβριδικό όχημα η μόνη πηγή που υπάρχει είναι συνεχές από της μπαταρίες του οχήματος. Έτσι για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο χρειάζεται ένας τριφασικός αντιστροφέας (inverter).

Αντιστροφείς ονομάζονται τα κυκλώματα που έχουν ως σκοπό να βγάλουν στην έξοδο τους AC κυματομορφή από DC πηγή. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αντιστροφέων οι οποίοι κατασκευάζονται για διάφορες χρήσεις οι οποίες δεν θα μας απασχολήσουν.

Εδώ θα ασχοληθούμε με τους *διακοπτικούς αντιστροφείς* που είναι και οι βασικοί αντιστροφείς για μεγάλο αριθμό εφαρμογών συμπεριλαμβανόμενης και της οδήγησης κινητήρων εναλλασσομένου ρεύματος. Αυτού του είδους αντιστροφείς εκμεταλλεύονται την τεχνική *διαμόρφωσης εύρους παλμού* (Pulse Width Modulation - PWM) για να βγάλουν στην έξοδο τους εναλλασσόμενη κυματομορφή ελεγχόμενης συχνότητας και φάσης. Οι δύο τύποι αντιστροφέων που θα δούμε στη συνέχεια είναι οι αντιστροφείς πλήρης γέφυρας διακοπών (full-bridge switches inverters) και αντιστροφείς μισής γεφύρας διακοπών (half-bridge switches inverters).

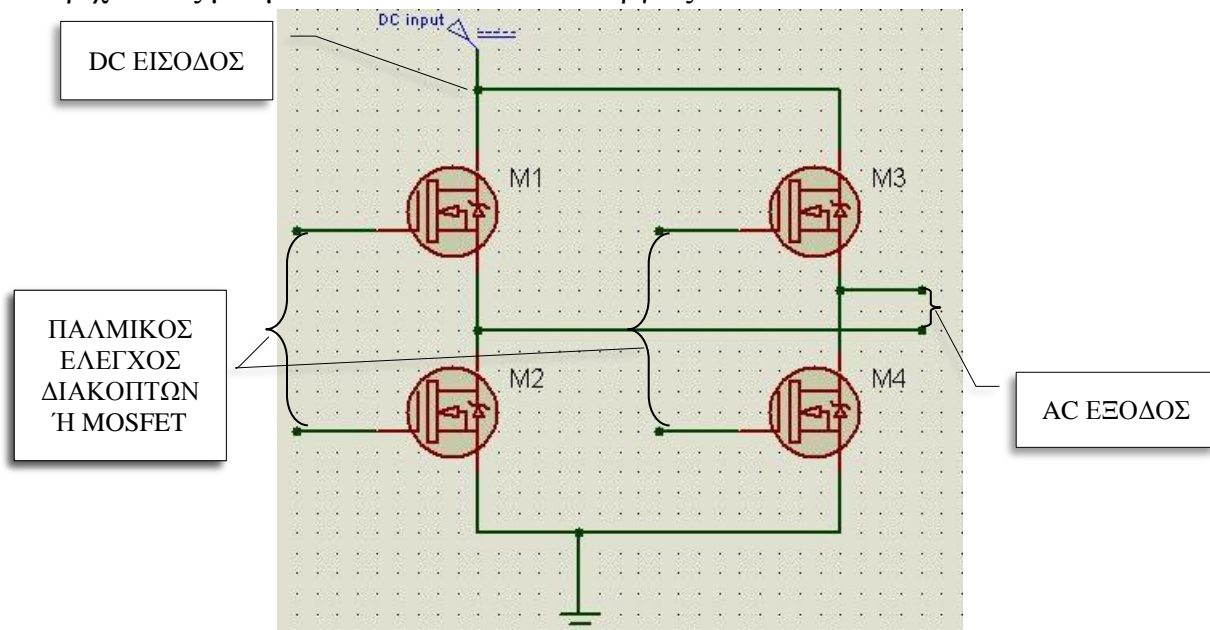
Ένα παράδειγμα μονοφασικού αντιστροφέα μισής γέφυρας βρίσκεται στην πιο κάτω εικόνα. Για να λειτουργήσει ο πιο κάτω αντιστροφέας θα πρέπει οι διακόπτες ή καλύτερα τα mosfet να ανοιγοκλείνουν με συγκεκριμένο τρόπο έτσι ώστε στην έξοδο να βλέπουμε εναλλασσόμενο τετραγωνικό σήμα.



Εικόνα 4.1: αντιστροφέας μισής γέφυρας (half-bridge inverter)

Οι διακόπτες θα πρέπει να αλλάζουν κατάσταση παράλληλα, δηλαδή όταν ο M1 είναι κλειστός ο M2 θα πρέπει να είναι ανοικτός και όταν ο M2 είναι κλειστός τότε ο M1 πρέπει να είναι ανοικτός. Ενδιάμεσα από κάθε εναλλαγή της κατάστασης των διακοπτών θα πρέπει να υπάρχει ένας πολύ μικρός χρόνος όπου η κατάσταση και των δύο διακοπτών να είναι "0" δηλαδή οι διακόπτες να είναι ανοικτοί έτσι ώστε να μην σημειώνεται βραχυκύκλωμα. Καθώς ανοιγοκλείνουν οι διακόπτες στην έξοδο εμφανίζεται τετραγωνική κυματομορφή ανάλογη της DC εισόδου. Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται για να καθορίζουν το σημείο μηδέν της εξόδου. Έτσι ανάλογα με την τιμή της DC εισόδου καθορίζεται και το μέγιστο πλάτος της εναλλασσόμενης εξόδου.

Οι αντιστροφείς πλήρης γέφυρας δουλεύουν με τον ίδιο τρόπο όπως και οι μισής γέφυρας. Η διαφορά τους βρίσκεται στο ότι στους αντιστροφείς πλήρης γέφυρας χρησιμοποιούν τέσσερις διακόπτες για να καθορίζουν την κατάσταση της εξόδου παρά δύο. Για αυτό τον λόγο το δεύτερο είδος αντιστροφέα δεν χρησιμοποιεί πυκνωτές που καθόριζαν το σημείο μηδέν στους αντιστροφείς μισής γέφυρας. Όμως η λειτουργία αυτού του αντιστροφέα είναι σαφώς πιο πολύπλοκη και αυτό θα το αντιληφθείτε ρίχνοντας μια ματιά στον πίνακα λειτουργίας του.



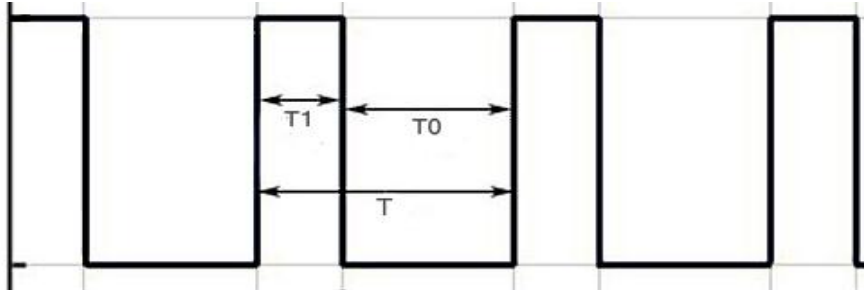
Εικόνα 4.2: αντιστροφέας πλήρης γέφυρας (full-bridge inverter)

ΧΡΟΝΟΣ	M1	M2	M3	M4
1	'1'	'0'	'0'	'1'
2	'0'	'1'	'1'	'0'
3	'1'	'0'	'1'	'0'
4	'0'	'1'	'0'	'1'
5	'0'	'0'	'0'	'0'



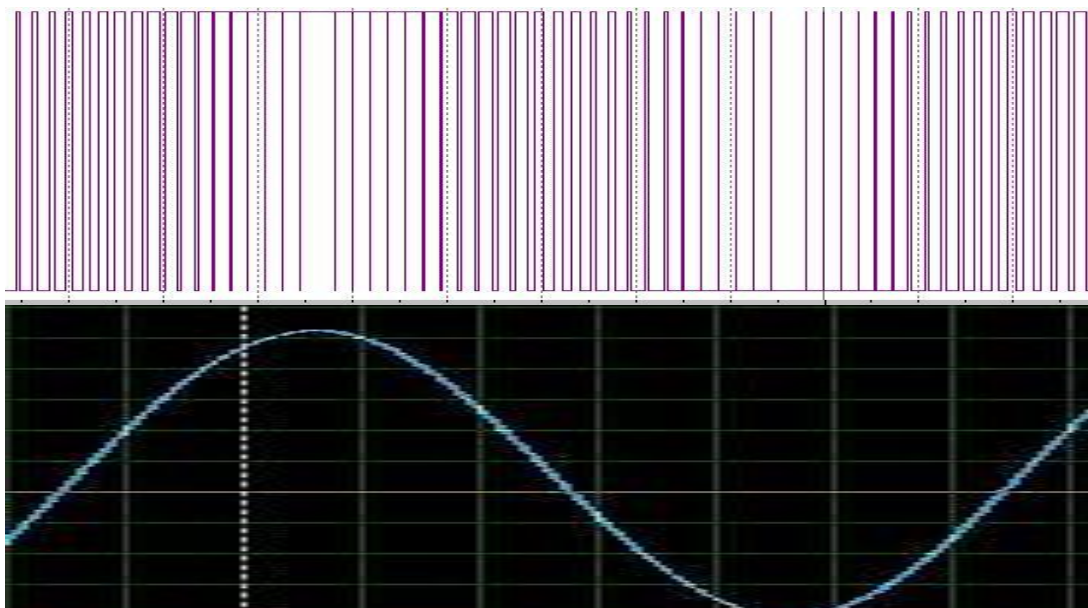
#### 4.1 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΥΡΟΥΣ ΠΑΛΜΟΥ (*PULSE WIDTH MODULATION - PWM*)

Το PWM είναι μια πολύ χρήσιμη τεχνική η οποία μπορεί να μεταβάλει τον χρόνο ( $T_1$ ) που μένει σε κατάσταση '1' ένας τετραγωνικός παλμός περιόδου  $T$ . Με άλλα λόγια η τεχνική αυτή μεταβάλλει το *duty cycle* ενός τετραγωνικού παλμού από 0% έως 100%.



Το τί πετυχαίνεται τώρα με την αλλαγή του duty cycle είναι το εξής. Ανάλογα με το πόσο τοις εκατό είναι το duty cycle του ψηφιακού σήματος μπορεί να αλλάξει την αναλογική τάση εξόδου του. Για παράδειγμα μετρώντας με ένα βολτόμετρο την τάση του σήματος όταν το duty cycle του είναι 100% και αν μετρούσατε και πάλι αλλάζοντας το στο 50% θα παρατηρούσατε ότι η συνεχής τάση του σήματος είναι ανάλογη του duty cycle και έτσι με 50% duty cycle η τάση πέφτει στο μισό της ολικής.

Αυτού του είδους οι παλμοί μπορούν να παραχθούν με διάφορους τρόπους όπως κυκλώματα με τελεστικούς ενισχυτές ή παραγωγή τους στην έξοδο ενός μικροεπεξεργαστή. Χρησιμοποιώντας μικροεπεξεργαστή τα πράγματα είναι πιο ελεγχόμενα αφού όλοι οι υπολογισμοί γίνονται προγραμματιζόμενα. Τα πράγματα γίνονται ακόμα πιο εύκολα αφού στους καινούριους μικροεπεξεργαστές ή επεξεργαστές ψηφιακών σημάτων (Digital Signal Processors – DSP) ενσωματώνεται μονάδα διαχείρισης PWM. Έτσι με ένα επεξεργαστή και προγραμματισμό μπορούμε μέσω PWM να παράγουμε ότι μορφή σήματος επιθυμούμε, όπως για παράδειγμα ημιτονοειδή σήματα.



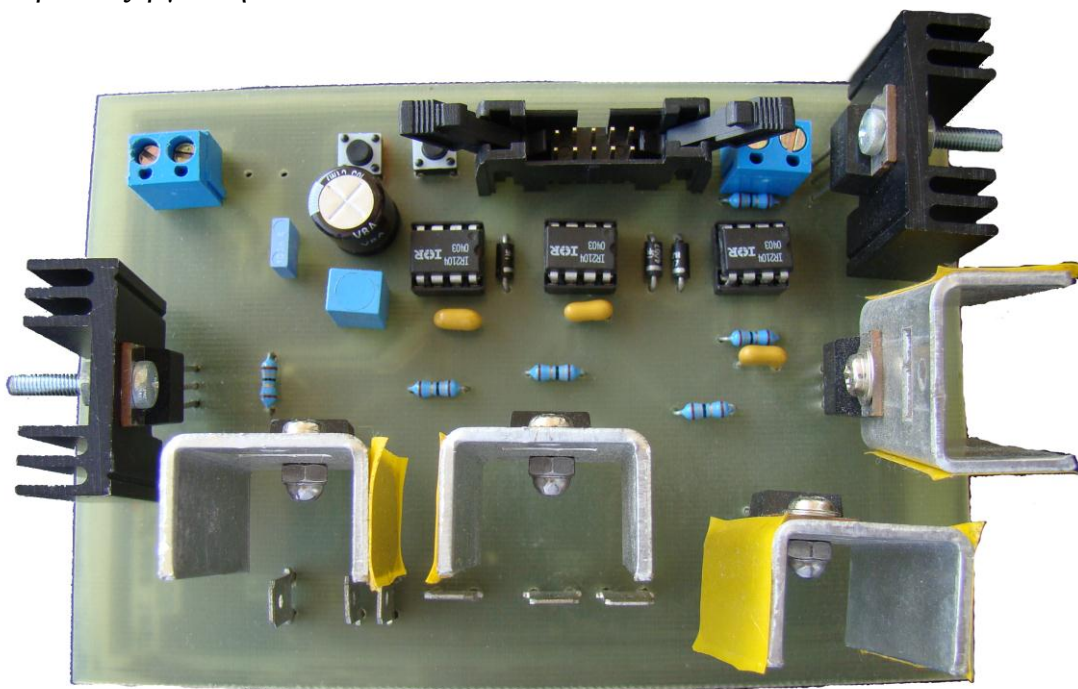
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

### 5.0 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

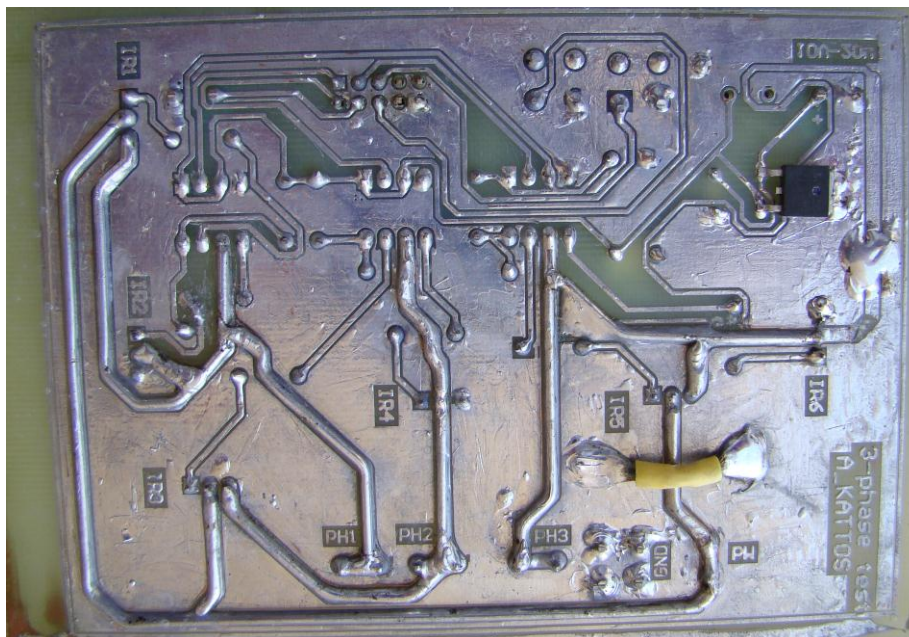
Στα προηγούμενα κεφάλαια έχουν αναφερθεί όλα όσα μας έχουν χρησιμεύσει στην κατασκευή του κυκλώματος το οποίο μπορεί να μετατρέπει το συνεχές ρεύμα μιας πηγής σε τριφασικό ημιτονοειδές. Πριν περιγραφεί η τελική κατασκευή αυτού του κυκλώματος θα πρέπει να αναφερθώ στις πρώτες δοκιμές που έγιναν με σκοπό την περαιτέρω κατανόηση της λειτουργίας των τριφασικών κινητήρων καθώς και διάφορα προβλήματα που συναντήσαμε.

### 5.1 ΠΡΩΤΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Αρχικά το πρώτο μας πρόβλημα ήταν η ανεύρεση τριφασικού κινητήρα πάνω στον οποίο θα γίνονταν τα πειράματα. Η λύση ήρθε με την μετατροπή ενός δυναμό αυτοκινήτου από γεννήτρια σε κινητήρα. Το συγκεκριμένο είχε ενσωματωμένα τριφασικά τυλίγματα στο σταθερό μέρος του πάνω στα οποία είχε τοποθετημένες διόδους για ανόρθωση του εναλλασσομένου ρεύματος καθώς επίσης και ένα μικρό κύκλωμα σταθεροποίησης. Αφαιρώντας τις διόδους και το κύκλωμα σταθεροποίησης το μόνο που μας απασχολούσε πλέον ήταν η κατασκευή ενός κυκλώματος όπου με αυτό θα τροφοδοτούσαμε τον κινητήρα μας. Κατασκευάσαμε λοιπόν ένα κύκλωμα το οποίο συνδύαζε τρεις αντιστροφείς μισής γέφυρας (Half-Bridge) το οποίο ελεγχόταν από ένα μικροεπεξεργαστή.



Εικόνα 5.1: πάνω όψη κυκλώματος με τρεις αντιστροφείς μισής γέφυρας



Εικόνα 5.2: κάτω όψη κυκλώματος με τρεις αντιστροφείς μισής γέφυρας

Έτσι με την βοήθεια ενός μικροεπεξεργαστή 8051 (DS89C450) και λίγο προγραμματισμό παράγαμε τρία τετραγωνικά σήματα με διαφορά φάσης  $120^\circ$  μεταξύ τους και δυνατότητα μεταβολής της συχνότητας τους για αλλαγή των στροφών του κινητήρα. Με τα τρία τετραγωνικά σήματα τροφοδοτήσαμε το κύκλωμα με τις γέφυρες διακοπών το οποίο αναλάμβανε την αύξηση του πλάτους του σήματος ανάλογα με τη τάση τροφοδοτούσαμε τους διακόπτες που σε αυτή την περίπτωση ήταν mosfet.

Μετά τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των κυκλωμάτων τροφοδοτήσαμε τον κινητήρα σε συνδεσμολογία αστέρα και αφού βρήκαμε την συχνότητα εκκίνησης του ο κινητήρας άρχισε να περιστρέφεται με χαμηλές στροφές. Αυξάνοντας την συχνότητα των παλμών ο κινητήρας αντιδρούσε φυσιολογικά αυξάνοντας κανονικά τις στροφές του μέχρι την μέγιστη αποδεκτή συχνότητα με την οποία μπορούσε να λειτουργήσει.

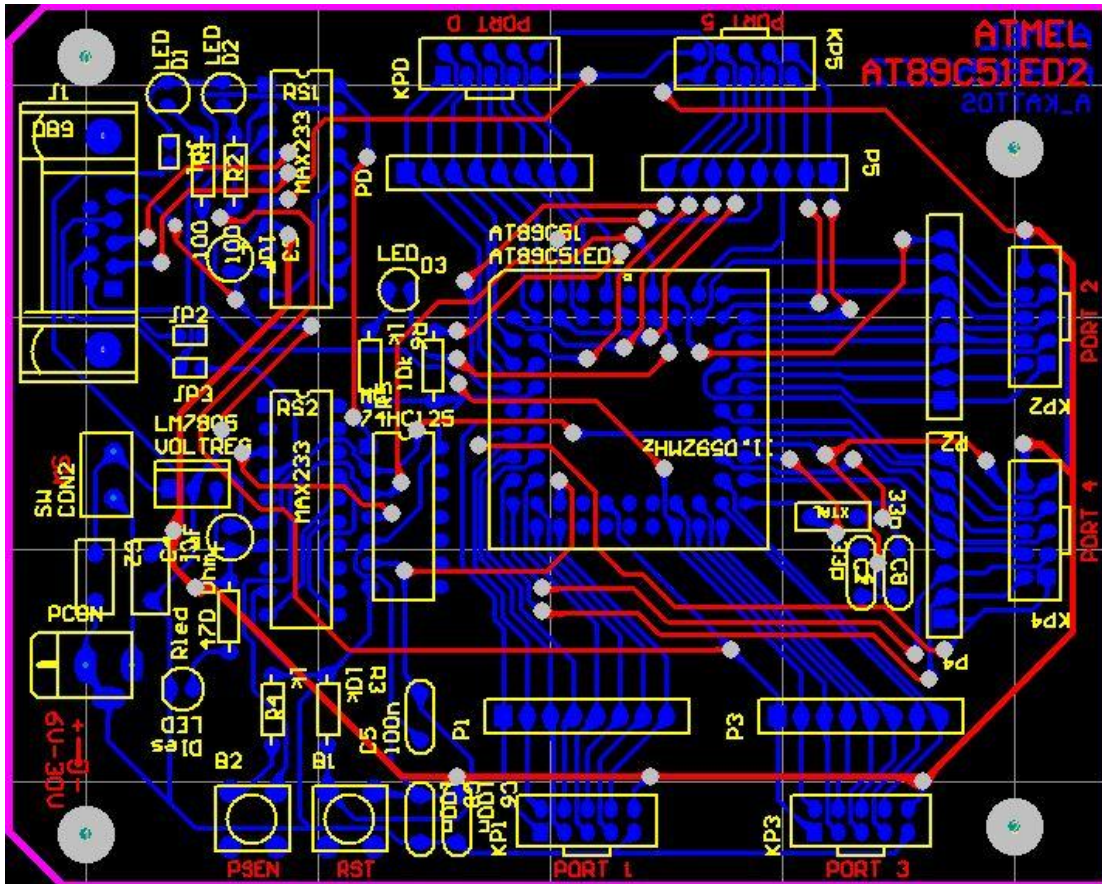
Λόγω του ότι το δυναμό είναι ειδικά κατασκευασμένο για να λειτουργεί αποδοτικά μόνο ως γεννήτρια το εύρος των συχνοτήτων που μπορούσε να λειτουργήσει ως κινητήρας ήταν μικρό. Επίσης για τον ίδιο λόγο η ροπή του ήταν πολύ χαμηλή, τόσο που μπορούσε κάποιος να τον σταματήσει με γυμνά χέρια.

Παρόλα αυτά για εμάς ήταν σαν επιτυχία αφού κανένας δεν είχε μεγάλες ελπίδες για το δυναμό, ότι δηλαδή θα μπορούσε να λειτουργήσει ως κινητήρας. Έτσι αποφασίσαμε να φτιάξουμε κάτι καλύτερο όπως ένα τριφασικό ημιτονοειδή σήμα χρησιμοποιώντας την τεχνική του PWM.

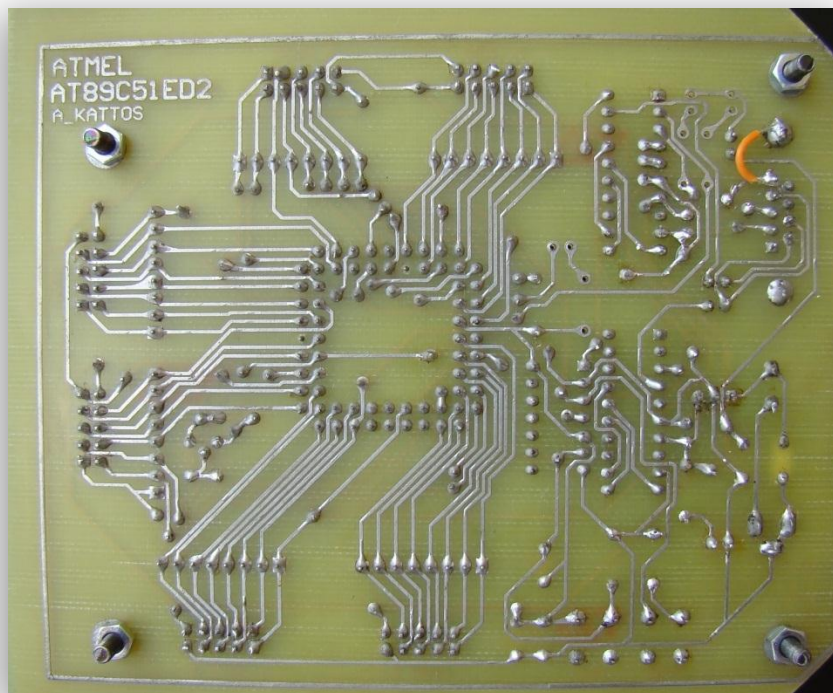
### 5.1 ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Αρχικά έγινε επιλογή κατάλληλου μικροεπεξεργαστή που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την διαμόρφωση εύρους παλμών. Χωρίς πολλή σκέψη κατέληξα στην επιλογή ενός μικροεπεξεργαστή κατασκευασμένος από την Atmel ο οποίος είχε ενσωματωμένη μονάδα διαχείρισης PWM 8 bit και βασισμένος σε 8051.

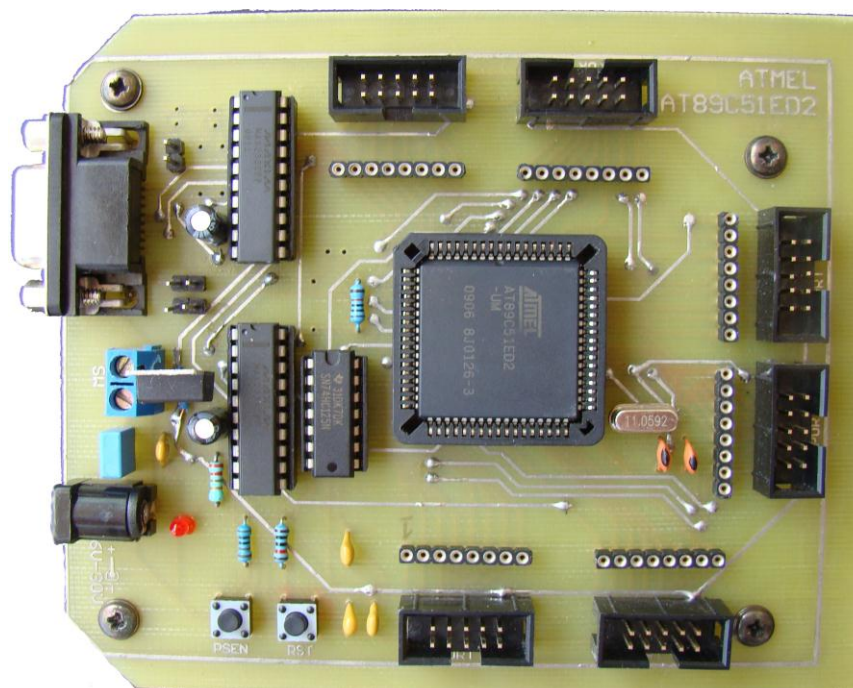
Έτσι σχεδιάσαμε και κατασκευάσαμε το αναπτυξιακό του συγκεκριμένου μικροεπεξεργαστή (Atmel AT89C51ED2).



Εικόνα 5.3: PCB αναπτυξιακού κυκλώματος μικροεπεξεργαστή Atmel AT89C51ED2

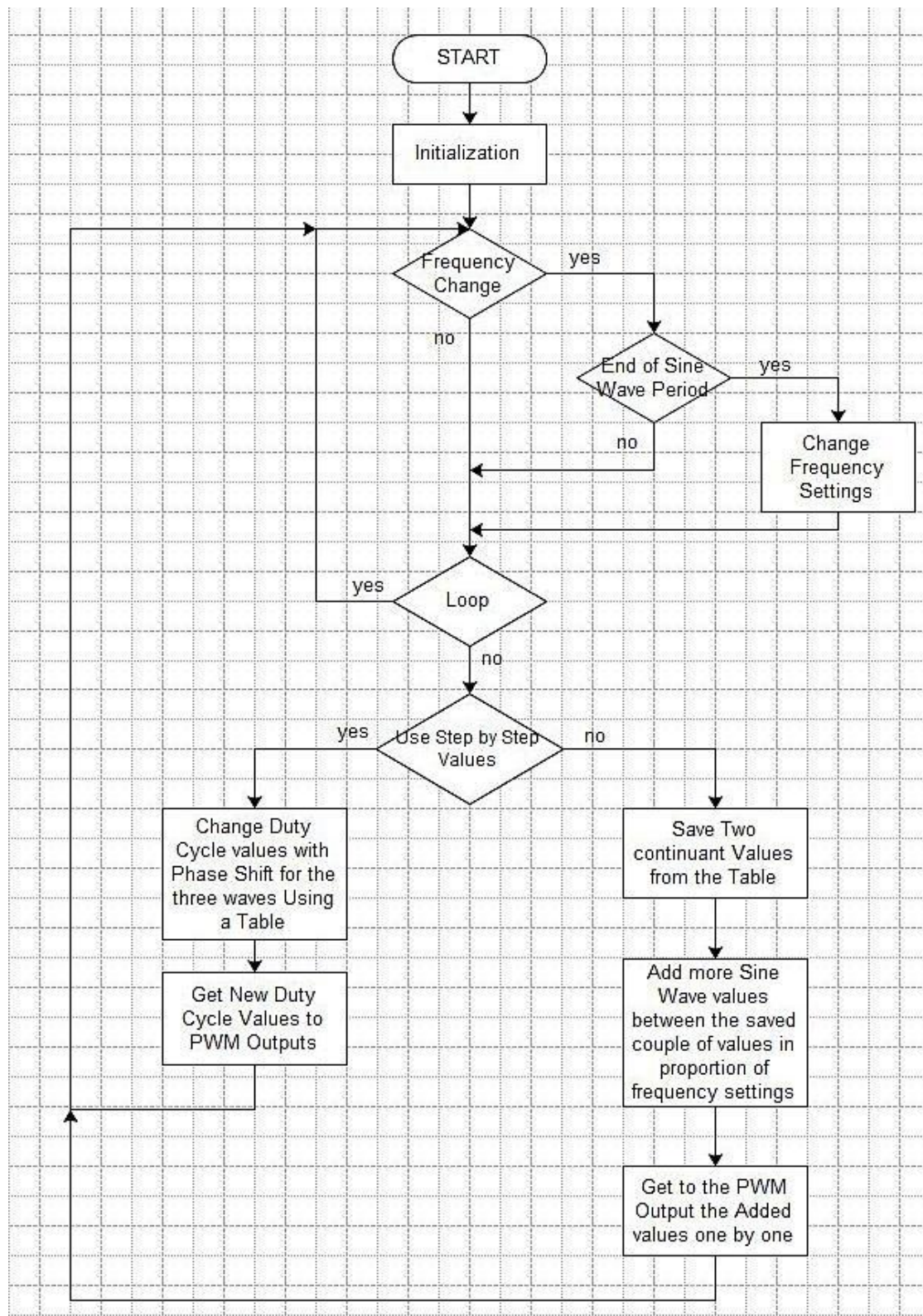


Εικόνα 5.4: κάτω όψη αναπτυξιακού κυκλώματος



Εικόνα 5.5: πάνω όψη αναπτυξιακού κυκλώματος

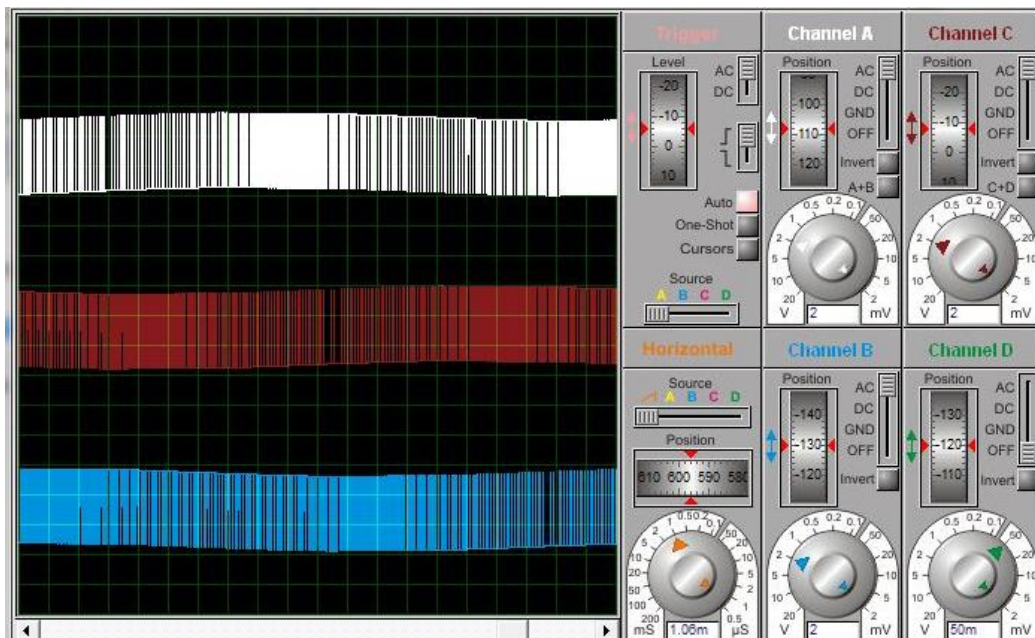
Έπειτα γράψαμε τον κώδικα επεξεργασίας ο οποίος έγινε σε γλώσσα Assembly (ASM). Το πρόγραμμα γράφτηκε έτσι ώστε στις εξόδους P1.3, P1.4 και P1.5 του μικροεπεξεργαστή να έχουμε τριφασικό ημιτονοειδές σήμα σε μορφή παλμών PWM.



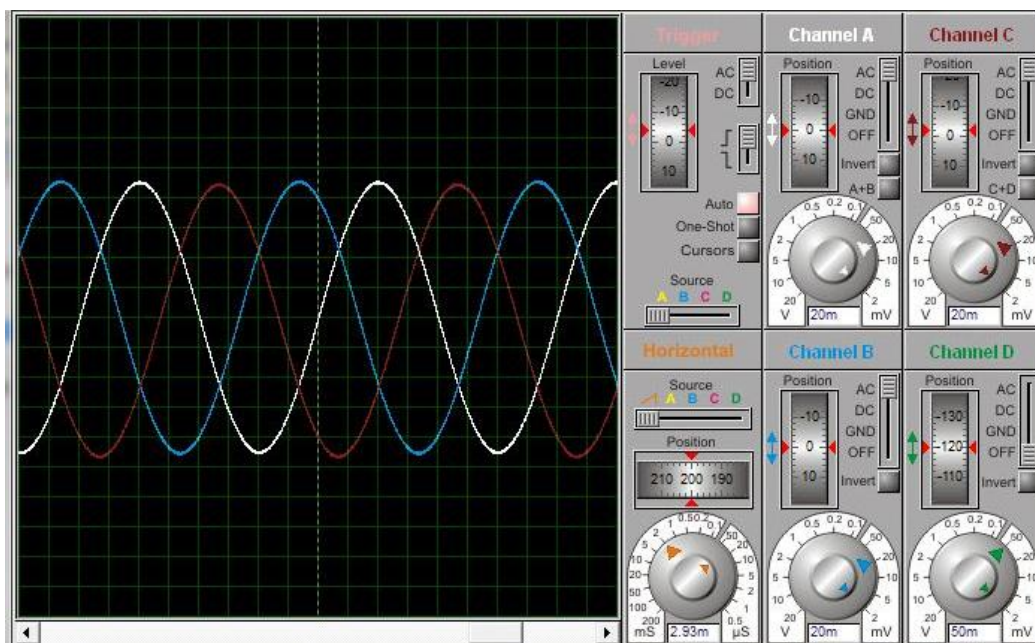
Οι παλμοί θέλαμε να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλης συχνότητας έτσι ώστε το ημιτονοειδές σήμα να μπορεί να έχει μεγάλη συχνότητα με όσο το δυνατόν περισσότερα δείγματα.

Το μέγιστο που μπορέσαμε να παράγουμε ήταν συχνότητα παλμού μέχρι 10kHz αφού οι πιο μεγάλες συχνότητες ξεπερνούσαν τις δυνατότητες του

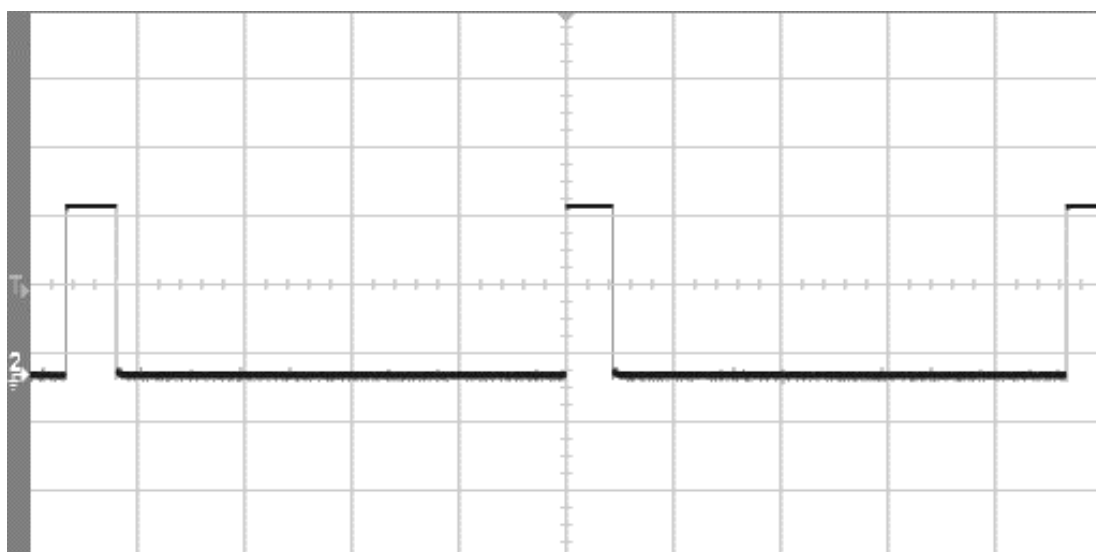
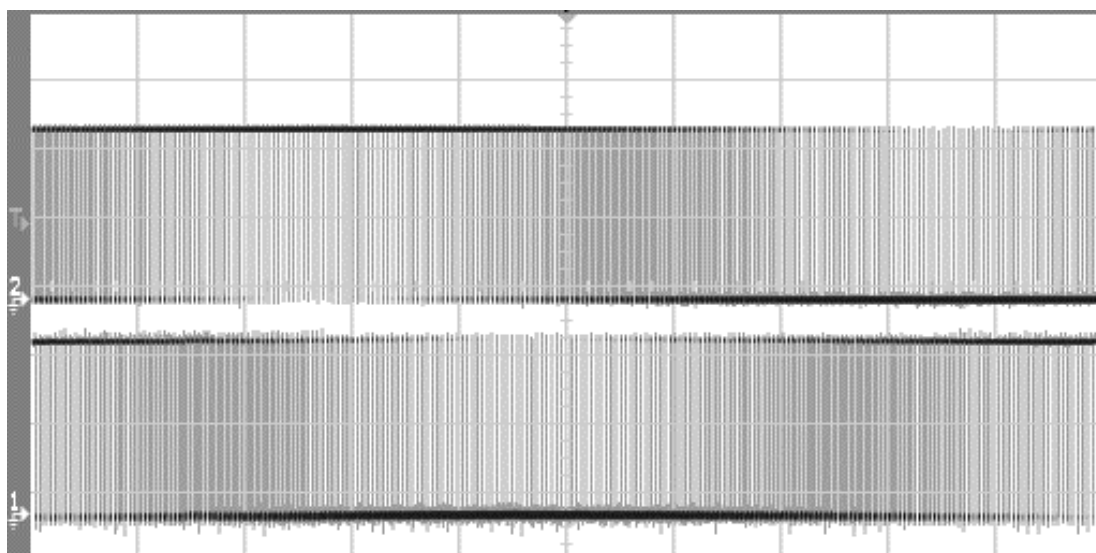
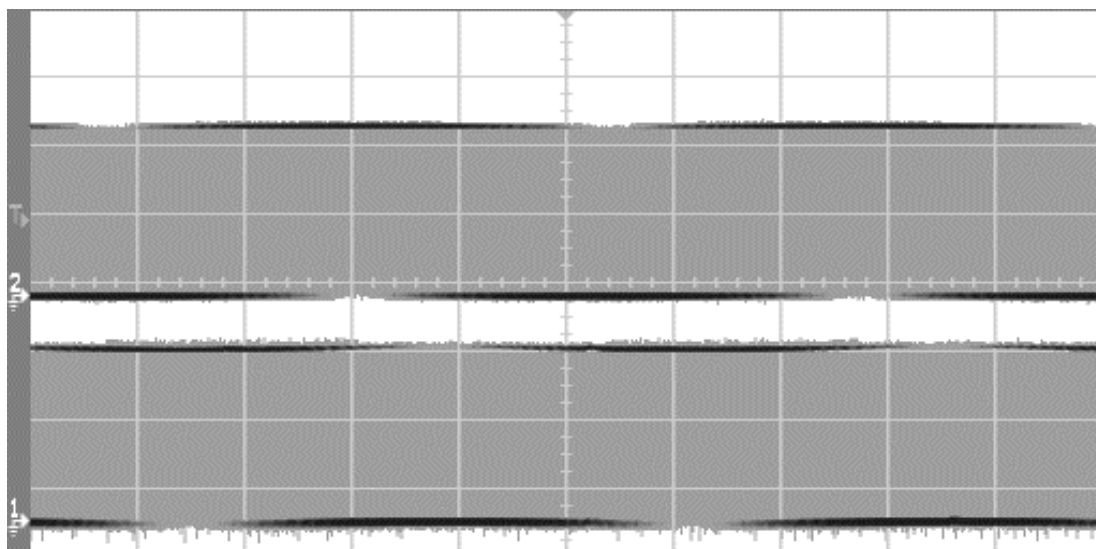
επεξεργαστή. Τα αποτελέσματα είδαμε αρχικά σε πρόγραμμα εξομοίωσης κυκλωμάτων στο οποίο ο προγραμματισμός δούλεψε σωστά. Στην έξοδο είχαμε τριφασικό ημιτονοειδές σήμα σε μορφή παλμών στο οποίο μπορούσαμε να μεταβάλουμε την συχνότητα του από 1.5Hz μέχρι 204Hz.



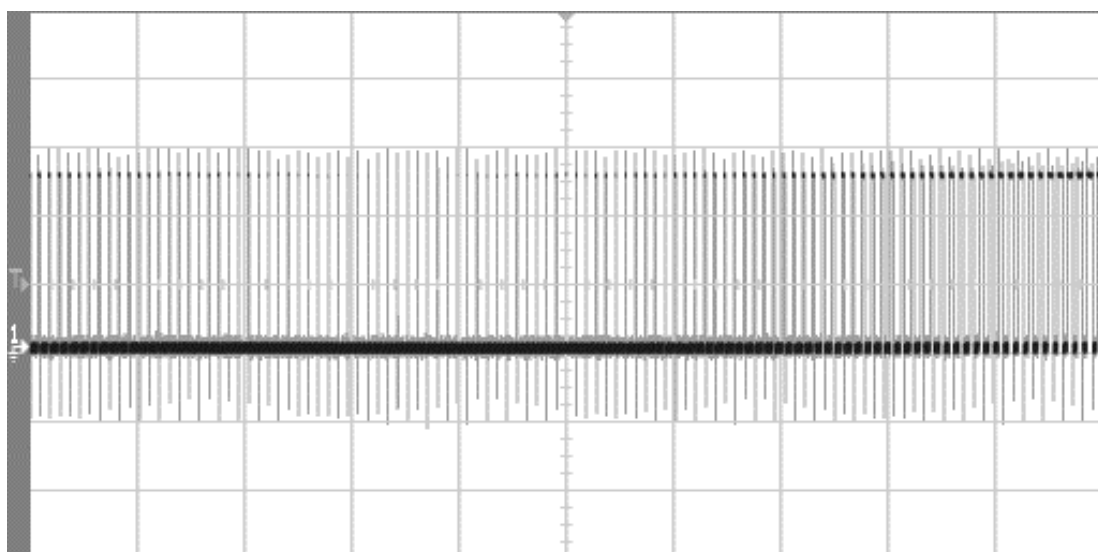
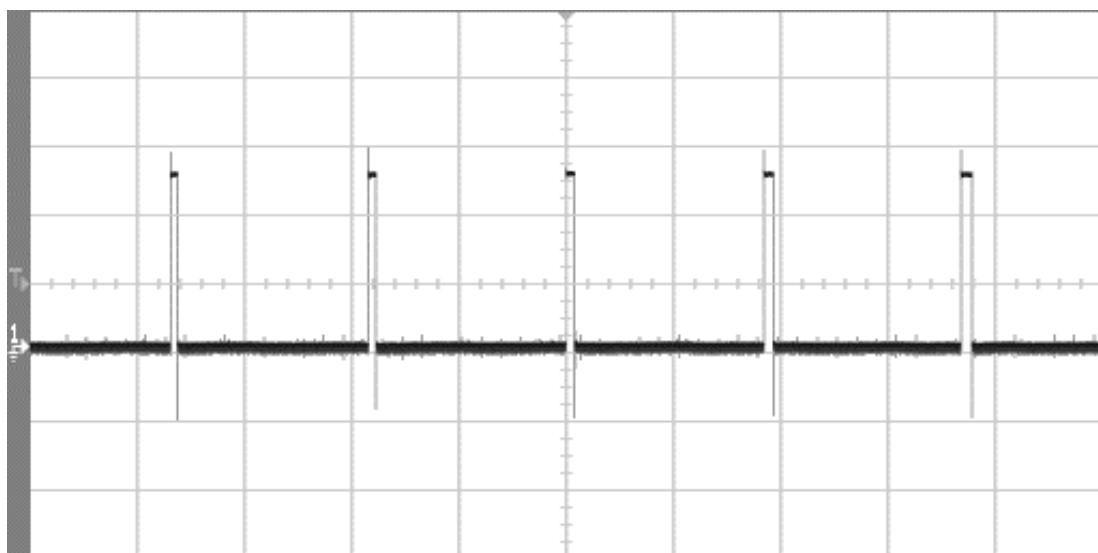
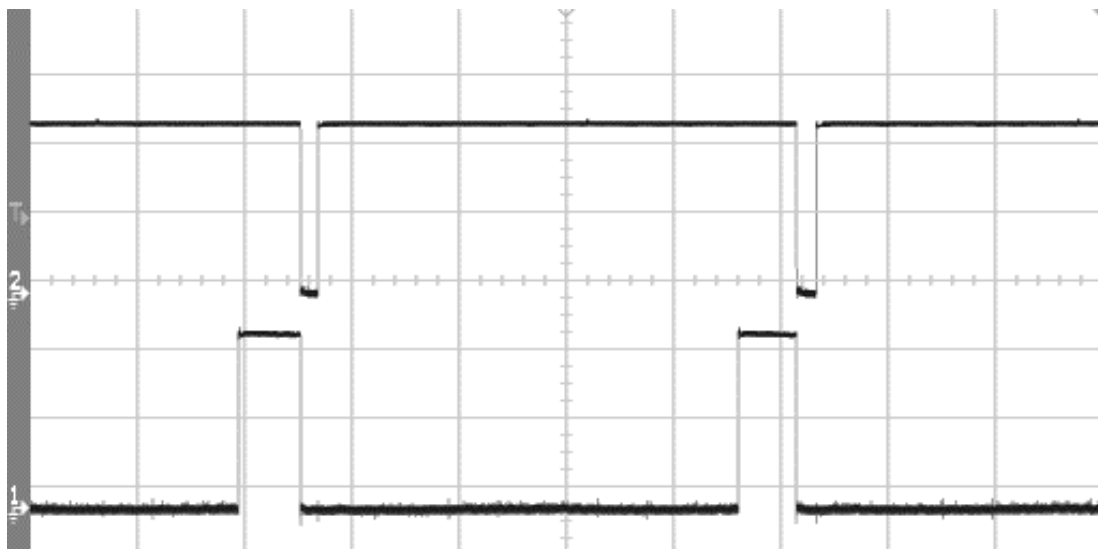
Προσθέτοντας τρία χαμηλοπερατά φίλτρα (low pass filters) στις εξόδους του κυκλώματος στο πρόγραμμα εξομοίωσης, μπορέσαμε να δούμε την έξοδο σε αναλογική μορφή όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

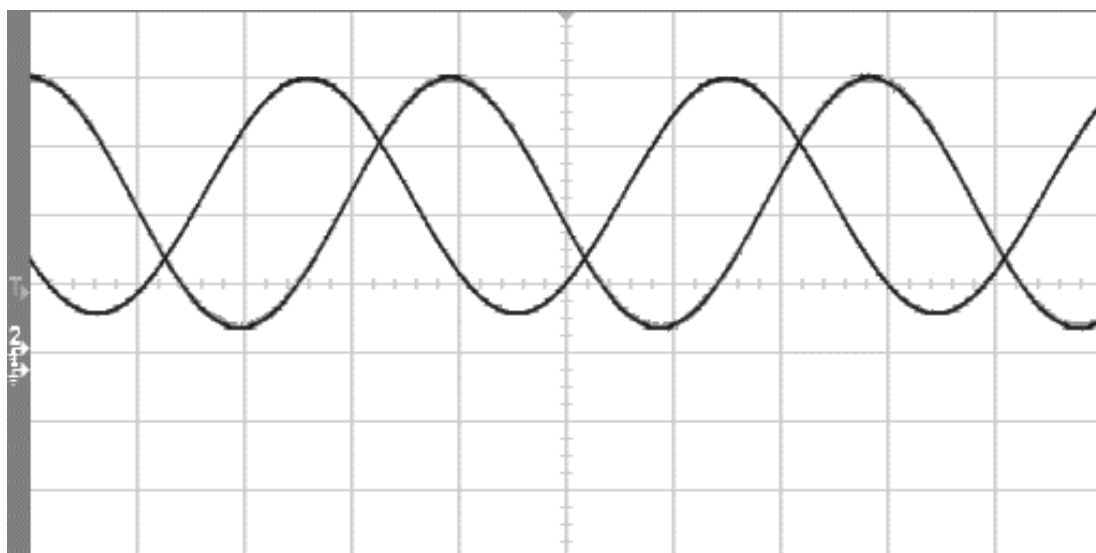
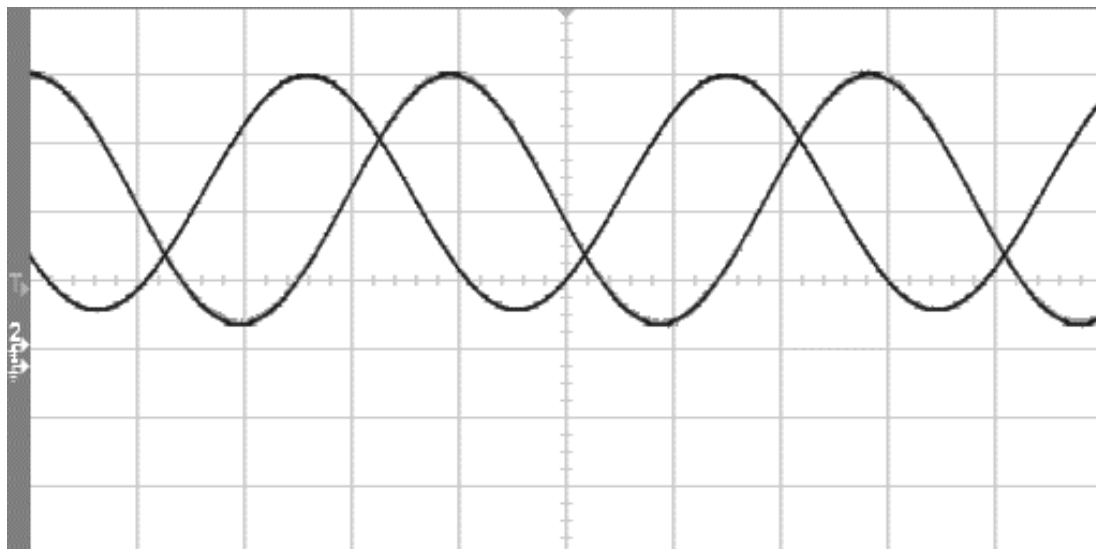


Στη συνέχεια προγραμματίσαμε τον επεξεργαστή μέσω συριακής θήρας και κάναμε μετρήσεις στον παλμογράφο για εξακρίβωση της σωστής λειτουργίας του. Τα αποτελέσματα ήταν ίδια με αυτά που είδαμε και στην εξομοίωση.









## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### **6.0 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ**

Παρόλα τα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε το κύκλωμα οδήγησης τριφασικού κινητήρα λειτούργησε μέσα στα πλαίσια του αναμενόμενου ξεπερνώντας σε κάποια σημεία τις προσδοκίες μας. Ο επεξεργαστής που επέλεξα ήταν κάτι που περιόρισε τις δυνατότητες του συστήματος αφού ήταν γρήγορος αλλά όχι αρκετά έτσι ώστε να μπορεί να κάνει όλες τις πράξεις τις οποίες θέλαμε να γίνονται σε αυτόν. Όλες οι πράξεις που θα έπρεπε να κάνει εσωτερικά έγιναν σε λογισμικό ηλεκτρονικού υπολογιστή και τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν από τον μικροεπεξεργαστή αφού τα τοποθετήσαμε σε πίνακα μέσα στο κυρίως πρόγραμμα. Αυτό στέρησε την ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια στην παραγωγή του ημιτόνου αφού θα μπορούσε να υπολογίζει το κάθε δείγμα ξεχωριστά και για τις τρεις φάσεις καθώς επίσης θα ήταν ευκολότερη και ακριβέστερη η μεταβολή της συχνότητας τους.

Ιδικά κατασκευασμένοι επεξεργαστές για επεξεργασία σημάτων που θα ήταν και οι πιο ιδανικοί για αυτό τον σκοπό είναι οι επεξεργαστές ψηφιακών σημάτων (digital signal processors – DSP). Ο προγραμματισμός τους είναι διαφορετικός από τους γνωστούς 8051 αλλά αξίζει κάποιος να ασχοληθεί με αυτούς αφού έχουν πολύ μεγάλες δυνατότητες στον χώρο των ηλεκτρονικών.

Οι τριφασικοί κινητήρες όπως φάνηκε και από την επιλογή κινητήρα, αναμένεται να γίνουν ένα από τα σημαντικότερα μέρη που θα χρησιμοποιούν τα υβριδικά οχήματα όπως και τα συστήματα οδήγησης τους με πολύ σύγχρονους επεξεργαστές. Αυτά θα βοηθήσουν στην εξάπλωση των υβριδικών οχημάτων και απόσυρση των συμβατικών αφού πρόκειται να έχουν μεγάλες δυνατότητες αυτονομίας, καλύτερη επιτάχυνση καθώς επίσης και καλύτερο κράτημα.

Σε κάποια χρόνια από τώρα θα ζούμε σε ένα πιο καθαρό περιβάλλον χωρίς τους ρύπους από τα συμβατικά οχήματα και χωρίς την ηχορύπανση που τα συνοδεύει. Τουλάχιστον αυτό θα προσπαθήσουμε να επιτύχουμε.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Stephen J. Chapman, Ηλεκτρικές Μηχανές AC – DC, 3<sup>η</sup> Έκδοση, Α. Τζιόλα
2. Bimal K. Bose, Modern Power Electronics And AC Drives
3. Muhammad H. Rashid, Power Electronics Handbook, Academic Press
4. A. J. Coker, Questions and Answers on Electric Motors
5. Γ. Πλοκαμάκης, Σημειώσεις μαθήματος Ηλεκτρικές Μηχανές, Χανιά 2004
6. Irving M. Gottlieb, Τεχνικές Ελέγχου Κινητήρων, 2<sup>η</sup> Έκδοση, Α. Τζιόλα