

# ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ

Σ.Ηλ. Ξέπαπας Υ.Δ. Ε.Μ.Π., Σ. Ν. Μανιάς Καθ. Ε.Μ.Π., Α. Κλαδάς Επ. Καθ. Ε.Μ.Π.

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Τ.Κ. 15773 Ζωγράφου, Αθήνα

Τηλ.: 772-3503, Fax: 772-3593

Email: sxepapas@central.ntua.gr, manias@central.ntua.gr, kladasel@central.ntua.gr

**Περίληψη-** Σε ένα ηλεκτρικό υβριδικό αυτοκίνητο, υπάρχουν οι εξής βασικές ηλεκτρικές μονάδες: οι συσσωρευτές, ο ηλεκτρικός κινητήρας, ο ηλεκτρονικός ελεγκτής στροφών καθώς και ο φορτιστής των συσσωρευτών. Στην παρούσα εισήγηση γίνεται αναφορά στον τρόπο επιλογής των παραπάνω ηλεκτρικών μονάδων έτσι ώστε να επιτευχθεί ένα σύστημα ηλεκτρικής κίνησης το οποίο να παρουσιάζει μεγάλη αξιοπιστία, καλή απόδοση λειτουργίας, μεγάλη πυκνότητα ισχύος και να έχει όσο το δυνατό μικρότερο κόστος.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

□λοι γνωρίζουμε το μεγάλο πρόβλημα που αντιμετωπίζει η Αθήνα η Θεσσαλονίκη και το Ηράκλειο της Κρήτης εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς και της ηχορύπανσης, που στο μεγαλύτερο ποσοστό τους, οφείλονται στα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Τα τελευταία χρόνια καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια για την εξεύρεση λύσης στο πρόβλημα αυτό, το οποίο απασχολεί και άλλες μεγαλουπόλεις της Ευρώπης και των Ηνωμένων Πολιτειών (π.χ. Παρίσι, Ρώμη, Τορίνο, Μόναχο, Λος Άντζελες κ.λπ.) Η περιβαλλοντική πολιτική των Ευρωπαϊκών κρατών και των Η.Π.Α. έχει στραφεί με εντατικούς ρυθμούς στην αναζήτηση εναλλακτικών μορφών στα μέσα μεταφοράς. □δη, όπως είναι γνωστό, στις Η.Π.Α. έχουν εκδοθεί οδηγίες που αναφέρονται στην υποχρεωτική κυκλοφορία στο κέντρο ορισμένων μεγαλουπόλεων ενός ποσοστού οχημάτων με μηδενικές εκπομπές ρύπων.

Η κύρια εναλλακτική πρόταση για τα μέσα μεταφοράς στο κέντρο της πόλης, με σκοπό των περιορισμών των εκπεμπόμενων ρύπων, είναι η ηλεκτροκίνηση (π.χ. μετρό, τρόλεϊ). □μως, αυτά τα μέσα μαζικής μεταφοράς μπορούν να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένες μόνο ανάγκες. Δεν μπορούν για παράδειγμα να καλύψουν όσους είναι αναγκασμένοι να μετακινούνται αρκετά στο κέντρο της πόλης, όπως και όσους επιθυμούν να μεταφέρουν προϊόντα. Για το λόγο αυτό έκαναν την εμφάνισή τους (ή καλύτερα την επανεμφάνισή τους) τα **Ηλεκτρικά** και τα **Ηλεκτρικά Υβριδικά Αυτοκίνητα**. □δη οι αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους στην παραγωγή εμπορικών μοντέλων ηλεκτρικών και ηλεκτρικών υβριδικών αυτοκινήτων, τα οποία αποβλέπουν στην εξυπηρέτηση ιδιωτών και εταιριών για κυκλοφορία στο κέντρο των μεγαλουπόλεων.

Αν και σήμερα το ηλεκτρικό αυτοκίνητο έχει κάνει μεγάλη πρόοδο από πλευράς επιδόσεων παρουσιάζει ακόμα τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

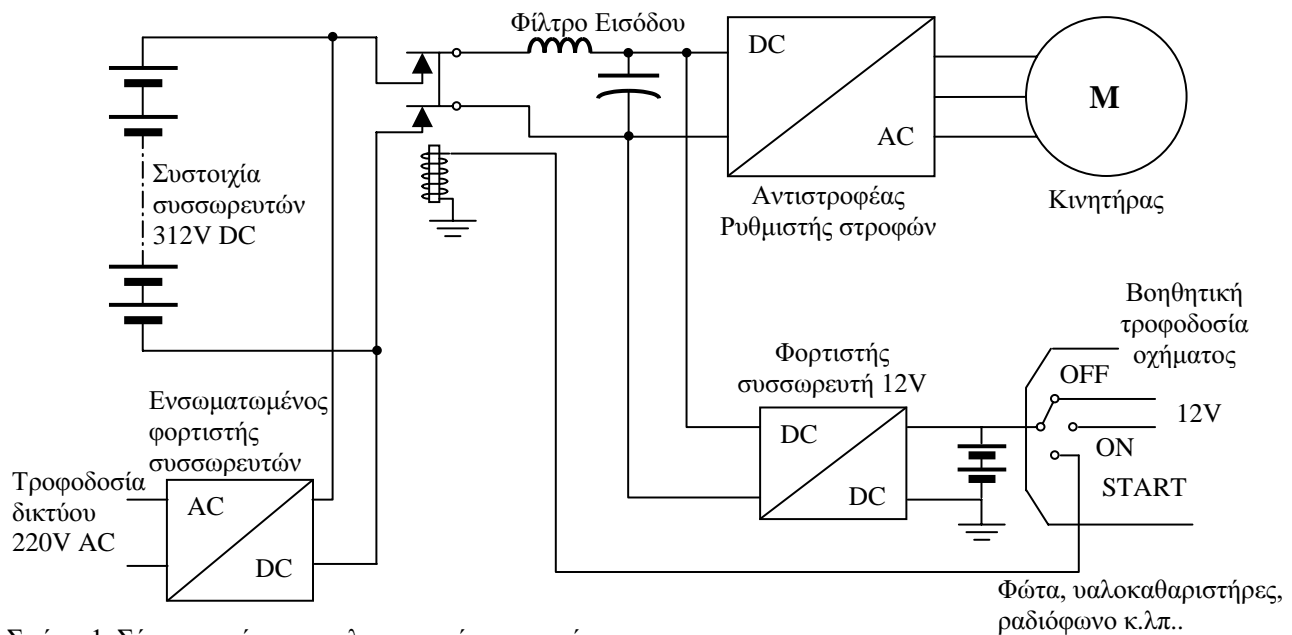
- i) Περιορισμένη εμβέλεια (κάτω από 150 km).
- ii) Μεγάλο χρόνο φόρτισης (περισσότερο από 6 ώρες).
- iii) Το κόστος του, λόγω του μικρού αριθμού παραγωγής, είναι δύο φορές μεγαλύτερο από αυτό του συμβατικού.

Εκτός όμως από τα μειονεκτήματα το ηλεκτρικό αυτοκίνητο παρουσιάζει τα ακόλουθα σοβαρά πλεονεκτήματα έναντι του αυτοκινήτου με μηχανή εσωτερικής καύσης:

- i) Εκπέμπει μηδενικούς ρύπους καυσαερίων.
- ii) Παρουσιάζει πάρα πολύ μικρή ηχορύπανση (<60db).
- iii) Ο ηλεκτρικός κινητήρας καθώς και τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου του δεν απαιτούν συχνή συντήρηση.
- iv) Παρουσιάζει μεγαλύτερη αξιοπιστία του αυτοκινήτου εσωτερικής καύσης.
- v) Είναι περισσότερο φιλικό στον οδηγό.
- vi) Παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση έναντι του αυτοκινήτου εσωτερικής καύσεως.

Στα αμέσως επόμενα κεφάλαια θα παρουσιασθεί η μεθοδολογία επιλογής των ηλεκτρικών στοιχείων ενός ηλεκτρικού ή ενός υβριδικού αυτοκινήτου. Το σύστημα ηλεκτρικής κίνησης ενός τέτοιου αυτοκινήτου παρουσιάζεται στο σχήμα 1. □πως βλέπουμε και από το σχήμα 1 το ηλεκτρικό σύστημα αποτελείται από τη

συστοιχία των συσσωρευτών, τον αντιστροφέα - ελεγκτή στροφών κινητήρα (μετατροπέας ισχύος), τον ηλεκτρονικό ελεγκτή που μπορεί να είναι κάποιος μικροελεγκτής ή κάποιο DSP, τον ηλεκτρικό κινητήρα, τον ενσωματωμένο φορτιστή τον βοηθητικό φορτιστή ή τον ηλιακό φορτιστή και το σύστημα μετάδοσης.



Σχήμα 1. Σύστημα κίνησης ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Τέλος αναφέρουμε ότι ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο πρέπει να διαθέτει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- i) Ασφάλεια αμαξώματος.
- ii) Αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος κίνησης και φόρτισης των συσσωρευτών.
- iii) Μεγάλη απόδοση.
- iv) Συσσωρευτές φιλικούς προς το περιβάλλον και μεγάλης πυκνότητας ισχύος.
- v) Χαμηλό κόστος.
- vi) Εύκολη συντήρηση του ηλεκτροκίνητου και ηλεκτρονικού συστήματος.

## 2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Το βασικότερο εξάρτημα, ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου, είναι ο Ηλεκτρικός Κινητήρας. Αυτή τη στιγμή υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών τύπων κινητήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Καθένας από αυτούς παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η επιλογή του καταλληλότερου εξαρτάται από τη βαρύτητα που θα δοθεί στις διάφορες παραμέτρους, όπως κόστος κατασκευής, απόδοση, απλότητα ηλεκτρονικού ελέγχου, αξιοπιστία, πυκνότητα ισχύος, ευκολία συντήρησης κ.λπ.. □τσι, αυτή τη στιγμή κυκλοφορούν στην αγορά εμπορικά μοντέλα ηλεκτρικών αυτοκινήτων τα οποία χρησιμοποιούν ένα πλήθος διαφορετικών κινητήρων, καταδεικνύοντας τη δυσπιστία στο να χαρακτηριστεί ένας και μόνο κινητήρας ως ο καταλληλότερος για το ηλεκτρικό όχημα. Για παράδειγμα αναφέρονται τα μοντέλα GM Impact 4, Nissan FEV και Toyota Prius, τα οποία χρησιμοποιούν τριφασικό εναλασσόμενο κινητήρα επαγωγής, τα BMW E1/E2, που χρησιμοποιούν κινητήρα συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες (brushless DC motor), το Ford GF ETX-II, με σύγχρονο κινητήρα μόνιμου μαγνήτη, καθώς και τα Mazda Bongo, Daihatsu Hiject και Fiat 900E/E2, που χρησιμοποιούν κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

Η επιλογή ενός ηλεκτρικού κινητήρα πρέπει να γίνεται βάση των ακόλουθων κριτηρίων:

- |              |                     |
|--------------|---------------------|
| i) Συντήρηση | iv) Αντοχή          |
| ii) Απόδοση  | v) Πυκνότητα Ισχύος |
| iii) Κόστος  |                     |

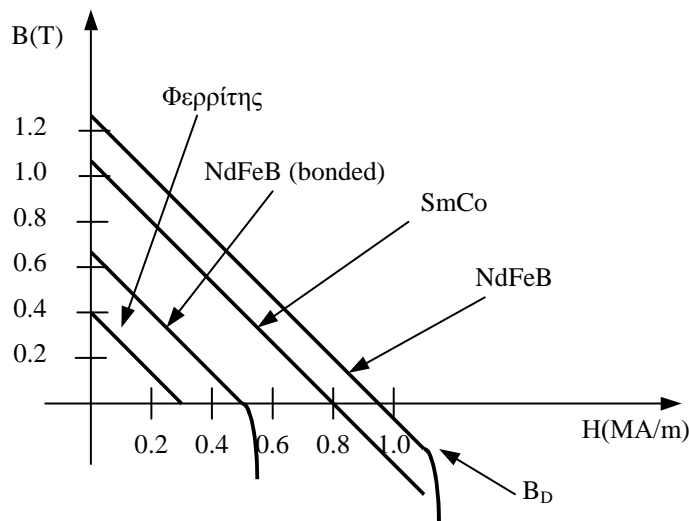
Στην εργασία αυτή, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, έγινε μία εκτενή μελέτη διαφόρων ηλεκτρικών κινητήρων με σκοπό να διαφανούν τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Ο πίνακας 2.1 παρουσιάζει συγκεντρωτικά μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά των κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος, Επαγωγής, και Σύγχρονου μόνιμου μαγνήτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1

Σύγκριση κινητήρων για εφαρμογές ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Τύπος κινητήρα	DC	Επαγωγής	Σύγχρονος μόνιμου μαγνήτη
Απόδοση σε μέγιστη ροπή	85-89	94-95	95-97
Απόδοση σε Ροπή 10%	80-87	93-94	73-82
Σχετικό κόστος ανά kW	20-30	2,75-5	5-20
Σχετικό κόστος	1	2,5-3	3,7-6
Αντοχή	Καλή	□ριστη	Μέτρια
Max στροφές/min	4000-6000	9000-15000	4000-10000

□πως βλέπουμε και από τον πίνακα 2.1 ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος δεν συνίσταται για την χρησιμοποίησή του στο ηλεκτρικό όχημα, λόγω του μεγάλου βάρους του, του μεγάλου κόστους του και της μικρής αντοχής του. Από την άλλη πλευρά, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κινητήρες μόνιμων μαγνητών, μετά την ανάπτυξη νέων μαγνητικών υλικών. Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές μαγνήτισης των συνηθέστερων υλικών μόνιμων μαγνητών για κινητήρες. Η γραμμική χαρακτηριστική που παρατηρείται στο σχήμα έχει τέτοια κλίση ώστε ο μαγνήτης να συμπεριφέρεται όπως μια σταθερή πηγή ρεύματος γύρω από υλικό με σχετική διαπερατότητα ελαφρός μεγαλύτερη από αυτή του αέρα. Ο μαγνήτης μπορεί να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε σημείο της γραμμικής περιοχής και να παραμείνει μόνιμος. Αν όμως η πυκνότητα ροής μειωθεί κάτω από το γόνατο της χαρακτηριστικής (σε τιμή  $B_D$ ), τότε ένα ποσοστό μαγνητισμού θα χαθεί μόνιμα. Στη συνέχεια, η νέα χαρακτηριστική θα είναι και πάλι μια ευθεία γραμμή, αλλά θα βρίσκεται χαμηλότερα από την προηγούμενη.



Σχήμα 2. Χαρακτηριστικές B-H για υλικά μόνιμων μαγνητών.

Ο **φερρίτης** είναι από τα από τα παλαιότερα υλικά που είναι διαθέσιμα για την κατασκευή μόνιμων μαγνητών. Το βασικό μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι η παραμένουσα πυκνότητα ροής είναι μικρότερη από την επιθυμητή και δεν ξεπερνά τα 0.3-0.4T. Εκτός αυτού, φερρίτες που κατασκευάζονται με μεγαλύτερες τιμές της  $B_r$  παρουσιάζουν και μεγάλη τιμή  $B_D$  με αποτέλεσμα να απομαγνητίζονται πολύ εύκολα.

Οι μαγνήτες **σαμαρίου-κοβαλτίου** έχουν υψηλότερη τιμή παραμένουσας πυκνότητας ροής από ότι αυτοί από φερρίτη και είναι πιο ανθεκτικοί στην απομαγνήτιση. Το βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι παρουσιάζουν ευαισθησία στην απομαγνήτιση με την αύξηση της θερμοκρασίας και έχουν σχετικά υψηλό κόστος

Η εμφάνιση των υλικών **νεοδημίου-σιδήρου-βορίου (NdFeB)** το 1983, αποτέλεσε σημαντική ώθηση στη χρήση μόνιμων μαγνητών για την κατασκευή ηλεκτρικών κινητήρων. Σε θερμοκρασίες δωματίου επιτεύχθηκαν τιμές της  $B_r$  που κυμαίνονταν από 1.1-1.25T που ήταν αρκετές για παραγωγή πυκνότητας ροής 0.8-0.9T σε ένα σχετικά μεγάλο διάκενο. Το πρόβλημα με το υλικό αυτό είναι ότι παρουσιάζει αντίσταση 85 φορές μεγαλύτερη από αυτή του χαλκού και έχει αρκετά υψηλό κόστος.

Είναι πάντως βέβαιο πως οι κινητήρες με μόνιμο μαγνήτη θα αποτελέσουν την επόμενη γενιά κινητήρων για εφαρμογές σε συστήματα κίνησης. Προς το παρόν, το υψηλό κόστος κατασκευής τους και το γεγονός πως δεν είναι ευρέως διαδεδομένοι, καθιστούν τη χρήση τους σε εφαρμογές Ηλεκτρικού Αυτοκινήτου δυσκολότερη. Επομένως η λογικότερη επιλογή με τα σημερινά δεδομένα είναι ο τριφασικός ασύγχρονος κινητήρας επαγωγής. □νας τέτοιος ηλεκτρικός κινητήρας έχει χρησιμοποιηθεί στο Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο του Ε.Μ.Π. και παρουσιάζεται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3. Τριφασικός κινητήρας εναλλασσομένου ρεύματος τοποθετημένος στο Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο.

### 3. ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

□να βασικό μειονέκτημα, των ηλεκτρικά κινούμενων οχημάτων, αποτελεί η μειωμένη αυτονομία η οποία οφείλεται στην έλλειψη εμπορικά διαθέσιμης, αποτελεσματικής και οικονομικής ηλεκτροχημικής πηγής ισχύος. Για παράδειγμα ένα κιλό βενζίνης αντιπροσωπεύει πολύ περισσότερη ενέργεια από ότι ένα κιλό οποιουδήποτε τύπου συσσωρευτή. □νας τυπικός συσσωρευτής μολύβδου - οξέος έχει πυκνότητα ενέργειας 30-35 Wh/kg και ένας συσσωρευτής νατρίου - θείου έχει 80-85 Wh/kg ενώ η βενζίνη έχει το λιγότερο 12000 Wh/kg. □πως αντιλαμβάνεστε η αυτονομία ενός ηλεκτρικού οχήματος έναντι ενός συμβατικού είναι πολύ μικρή ενώ και ο χρόνος επανεφοδιασμού ενός συμβατικού οχήματος είναι κατά πολύ μικρότερος από ότι ενός ηλεκτρικού. Επειδή όμως ανά τον κόσμο είναι ιδιαίτερα αυξημένο το ενδιαφέρον για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο υπάρχει και ανάλογη κινητικότητα ως προς την κατασκευή αξιόπιστων και μεγάλων σε πυκνότητα ισχύος συσσωρευτών.

Από τα χαρακτηριστικά των συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται για κίνηση, τρία είναι τα σημαντικότερα: η πυκνότητα ενέργειας, η πυκνότητα ισχύος και οι κύκλοι λειτουργίας. Για τον ορισμό αυτών των χαρακτηριστικών χρειάζονται οι εξής ορισμοί:

1. Ρυθμός εκφόρτισης (C/x): το ρεύμα το οποίο θα εκφόρτιζε τελείως έναν πλήρως φορτισμένο συσσωρευτή σε x ώρες. Για παράδειγμα, ένας συσσωρευτής χωρητικότητας 100 Ah έχει ρυθμό C/4 τιμής 25 A.
2. Βαθμός εκφόρτωσης (DOD): το ποσοστό (επί των αμπερών πλήρους φόρτισης) που έχει ήδη καταναλωθεί.

Με βάση λοιπόν τους παραπάνω ορισμούς έχουμε τα ακόλουθα στοιχεία τα οποία χαρακτηρίζουν σήμερα τους διάφορους συσσωρευτές:

1. Πυκνότητα ενέργειας: η ενέργεια (σε Wh) που ο συσσωρευτής μπορεί να αποθηκεύσει ανά κύκλο μάζας του, για καθορισμένο ρυθμό εκφόρτισης. Ο θεωρητικός υπολογισμός γίνεται ως εξής:  

$$\text{Πυκνότητα Εέργειας} = \frac{vNeQ}{M}$$
 όπου v: το δυναμικό του στοιχείου, Ne: ο αριθμός των ηλεκτρονίων που λαμβάνουν μέρος στην αντίδραση, Q: είναι το ηλεκτρονικό φορτίο (σε Ah) και M: το σύνολο την μάζας (σε kg) των γραμμομορίων των αντιδρώντων μερών. Βέβαια λόγω κατασκευαστικών υλικών η θεωρητική πυκνότητα ενέργειας που προκύπτει είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που πραγματικά διαθέτει ένας συσσωρευτής.
2. Πυκνότητα ισχύος: ο μέγιστος αριθμός Watts ανά κιλό μάζας του συσσωρευτή, που μπορεί αυτός να αποδώσει σε καθορισμένη κατάσταση φόρτισης, συνήθως 80% βάθος εκφόρτισης.
3. Κύκλος λειτουργίας: ο αριθμός των δυνατών επαναφορτίσεων του συσσωρευτή.

Τα προαναφερθέντα αποτελούν τα βασικότερα στοιχεία που πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη για την επιλογή των συσσωρευτών. Δευτερεύοντα ρόλο τώρα διαδραματίζουν τόσο το κόστος των συσσωρευτών όσο

και το συνολικό τους βάρος αν θέλουμε το ηλεκτρικό αυτοκίνητο να μπορέσει να γίνει ανταγωνιστικό έναντι των συμβατικών.

Η έρευνα σήμερα εστιάζεται για τις μεν μεσοπρόθεσμες τεχνολογίες στους τύπους νικελίου -σιδήρου, ψευδαργύρου - βρωμίου, νικελίου - υδρογονούχου μετάλλου και λιθίου - μονοθειούχου σιδήρου, για τις δε μακροπρόθεσμες τεχνολογίες στους τύπους λιθίου - αλουμινίου - διθειούχου σιδήρου, λιθίου - αλουμινίου - πολυμερούς, λιθίου - διθειούχου σιδήρου και λιθίου - πολυμερούς.

Λίγα λόγια για ορισμένους τύπους συσσωρευτών

- Νατρίου - Θείου. Εδώ ο στερεός ηλεκτρολύτης είναι πολύ εύθραυστος, ενώ το νάτριο και το θείο είναι επικίνδυνα υλικά. Το νάτριο σε ενδεχόμενη επαφή με το νερό προκαλεί έκρηξη με αποτέλεσμα την καύση του θείου και την παραγωγή δηλητηριωδών αερίων. Επιπλέον έχουν θερμοκρασία λειτουργίας 300-350 °C οπότε και απαιτείται σύστημα διατήρησης της θερμοκρασίας σε αυτά τα επίπεδα.
- Ψευδαργύρου - Βρωμίου. Τέτοιου τύπου συσσωρευτές λειτουργούν σε θερμοκρασία δωματίου, το βρώμιο όμως είναι επιβλαβές και αντιδρά πολύ εύκολα.
- Νικελίου - Σιδήρου. Είναι ανθεκτικός σε ηλεκτρική και μηχανική καταπόνηση και τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Το βασικό τους μειονέκτημα όμως είναι ότι η πυκνότητα ενέργειας και ισχύος που παρέχουν σε σχέση με το κόστος τους είναι πολύ μικρή και τους καθιστούν σχεδόν μη ανταγωνιστικούς. Εκτός αυτού κατά την φόρτισή τους παράγονται υδρογονούχα αέρια και γι' αυτό επιβάλλεται η κατασκευή τους να μην είναι ερμητικά σφραγισμένη.
- Νικελίου - Υδρογονούχου μετάλλου. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον και μπορεί να δώσει πυκνότητα ενέργειας έως και 81 Wh/kg.
- Μολύβδου - Οξέος. Ο πλέον επικρατέστερος για αρκετά χρόνια ακόμα συσσωρευτής. Η αντοχή του συσσωρευτή αυτού μπορεί να φτάσει και μέχρι τα 48000 km με βαθιές εκφορτίσεις, δηλαδή περίπου 790 κύκλους ζωής. Η πυκνότητα ενέργειας και ισχύος είναι 33 Wh/kg και 93 Wh/kg αντίστοιχα. Τέλος είναι αρκετά διαδεδομένοι και έχει αποδειχθεί ότι δεν παρουσιάζουν προβλήματα λειτουργίας.

Στον πίνακα 3.1 παραθέτουμε μία σύγκριση διαφόρων τύπων συσσωρευτών.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1**  
**Συσσωρευτές ηλεκτρικών οχημάτων**

Τύπος	Pd-Acid	Ni-Cd	Ni MH	Ni Fe	Na-S	Li-Polymer
Κόστος (US\$/kWh)	70	600	600	200	600	200
Πυκν. Ενέργ. (Wh/kg)	34	55	55	50	100	85
Πυκν. Ισχύος (W/kg)	280	180	180	100	140	90
Κύκλοι Ζωής (80%DOD)	300	800	800	900	800	800
Απόδοση φόρτισης	80%	65%	65%	60%	88%	?
Διαθεσιμότητα	□ριστη	Καλή	Καθόλου	Μικρή	Μέτρια	Καθόλου
Ασφάλεια	□ριστη	□ριστη	□ριστη	?	Μέτρια	?
Περιβαλλοντική Συμπεριφορά	Μέτρια	Κακή	Καλή	Καλή	□ριστη	Καλή
Ανακυκλωσιμότητα	□ριστη	Κακή	Μέτρια	Καλή	?	Μέτρια
Διάρκεια	Καλή	□ριστη	□ριστη	Καλή	Καλή	□ριστη
Συντήρηση	□ριστη	Καλή	□ριστη	Κακή	Καλή	□ριστη

Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται μία συστοιχία συσσωρευτών οι οποίοι τροφοδοτούν τον αντιστροφέα σε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο.

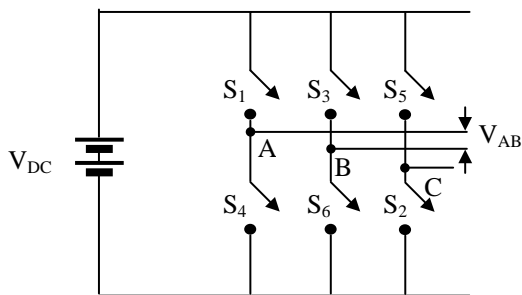


Σχήμα 4. Συστοιχία συσσωρευτών.

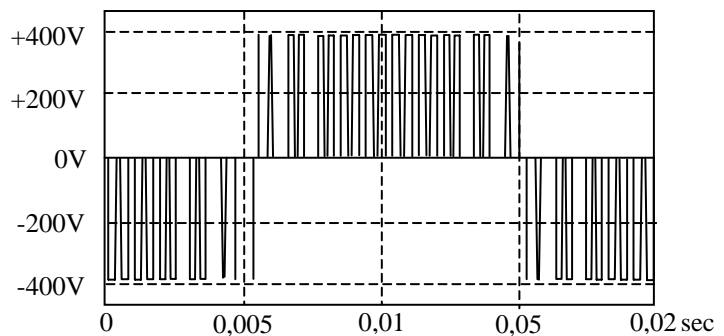
#### 4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Προκειμένου να ελεγχθεί η κίνηση του Ηλεκτρικού Αυτοκινήτου, πρέπει να παρέχεται στον οδηγό η δυνατότητα άμεσου ελέγχου της ροπής του κινητήρα, ώστε να μπορεί να καθοριστεί η επιτάχυνση του οχήματος.

□πως βλέπουμε και από το σχήμα 1, ο εναλλασσόμενος κινητήρας ελέγχεται μέσω μίας τριφασικής ηλεκτρονικής εναλλασσόμενης γεννήτριας, η οποία ονομάζεται αντιστροφέας και παρουσιάζεται στο σχήμα 5. Ο αντιστροφέας αυτός, ο οποίος ονομάζεται πολλές φορές και ελεγκτής του κινητήρα, αποτελείται από έξι βασικά διακοπτικά στοιχεία  $S_1-S_6$  τα οποία μπορεί να είναι τρανζίστορ, θυρίστορ, MOSFETS, IGBTs ή GTOS, ανάλογα με την ισχύ του κινητήρα. Με κατάλληλη παλμοδότηση των στοιχείων αυτών η συνεχής τάση της συστοιχίας των συσσωρευτών μετατρέπεται σε μία 3Φ εναλλασσόμενη μη ημιτονοειδή τάση όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 6.



Σχήμα 5. Κύκλωμα ισχύος αντιστροφέα



Σχήμα 6. Τάση εξόδου αντιστροφέα

Η μορφή της τάσης εξόδου ποικίλλει ανάλογα με την τεχνική του κυκλώματος παλμοδότησης. Με διάφορες δε χρησιμοποιούμενες μεθόδους εξάλειψης των αρμονικών, είναι δυνατόν, η κυματομορφή του ρεύματος να πλησιάσει την ιδανική ημιτονοειδή μορφή. Μέσω του αντιστροφέα, που όπως προαναφέρθηκε είναι μια ηλεκτρονική γεννήτρια παραγωγής τριφασικής εναλλασσόμενης τάσης, μπορούμε να ελέγχουμε τον εναλλασσόμενο κινητήρα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αυξομείωσης της τάσης (RMS τιμή και συχνότητα) εξόδου του αντιστροφέα.

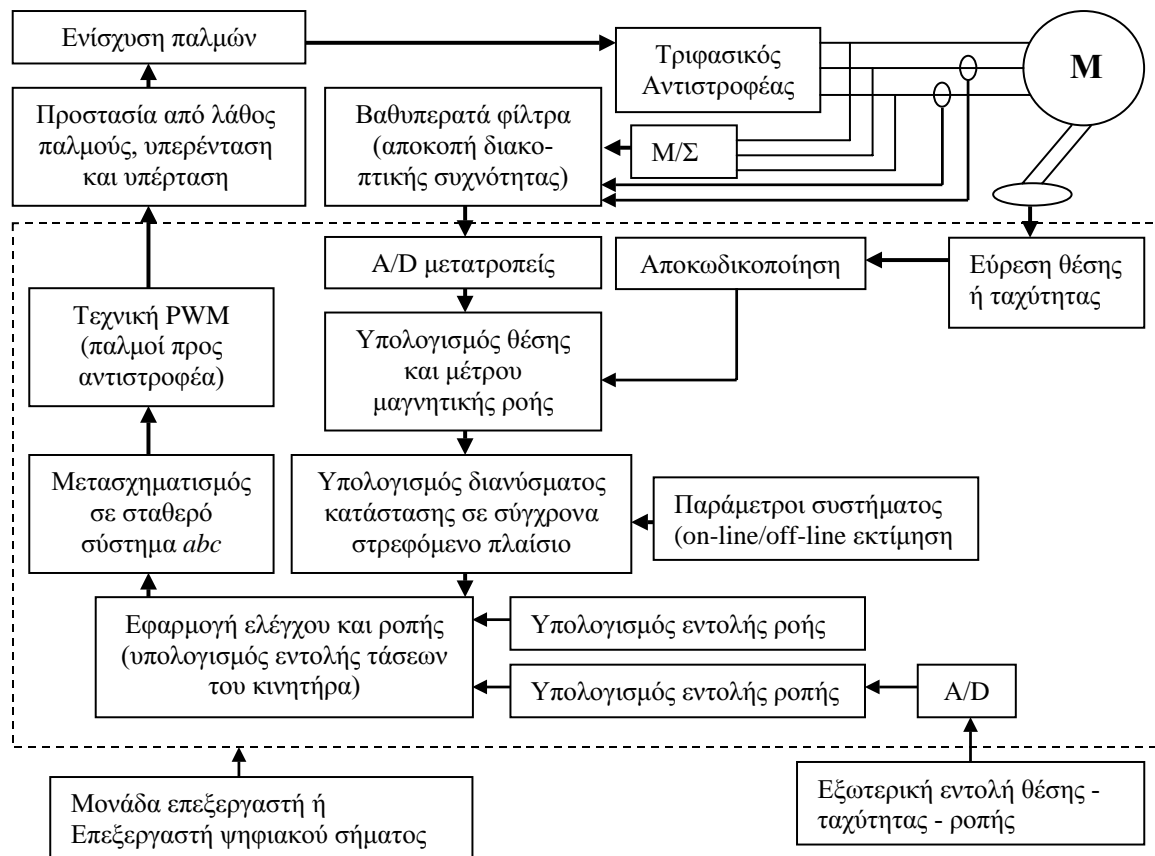
Σήμερα ουσιαστικά υπάρχουν δύο μέθοδοι ελέγχου ηλεκτρικών ασύγχρονων κινητήρων. Η μία μέθοδος χρησιμοποιεί **ρύθμιση του λόγου  $\frac{\text{Τάση στάτη}}{\text{Συχνότητα}}$** , η οποία είναι και η ευκολότερη για εφαρμογές ηλεκτρικών

αυτοκινήτων, ενώ η άλλη χρησιμοποιεί την **τεχνική του διανυσματικού ελέγχου**. Με την πρώτη μέθοδο η μαγνητική ροή του διακένου του κινητήρα ελέγχεται έτσι ώστε ο ηλεκτρικός κινητήρας να παράγει την μέγιστη δυνατή ροπή. Η μέθοδος αυτή όμως, έχει ένα βασικό μειονέκτημα. Η ροπή και η μαγνητική ροή διακένου εξαρτώνται της τάσης και της συχνότητας. Αυτό το φαινόμενο αλληλεπίδρασης είναι και η αιτία που δημιουργεί την αργή απόκριση του επαγωγικού κινητήρα. Εάν για παράδειγμα η ροπή αυξηθεί αυξάνοντας την συχνότητα της τάσης τότε η μαγνητική ροή του κινητήρα θα μειωθεί. Μπορεί βέβαια να επανέλθει στην πρωταρχική της τιμή, αλλά αυτό γίνεται μέσω του αργού, από πλευράς απόκρισης, βρόχου της μαγνητικής ροής. Αυτή η μεταβατική μείωση της μαγνητικής ροής μειώνει την ευαισθησία της ροής και κατά συνέπεια αυξάνει τον χρόνο απόκρισης του ηλεκτρικού κινητήρα.

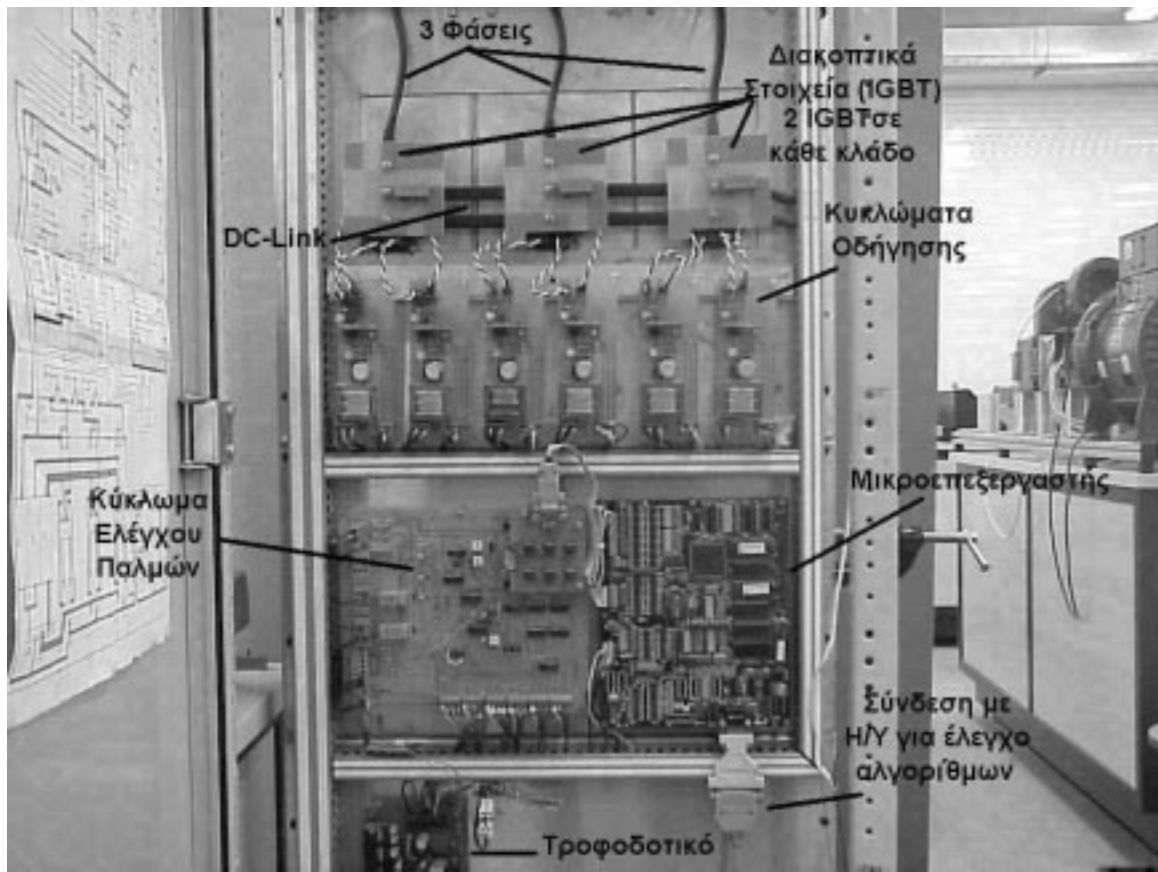
Το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να λυθεί με την χρησιμοποίηση της δεύτερης τεχνικής δηλαδή του διανυσματικού ελέγχου. Η τεχνική αυτή, η οποία και παρουσιάζεται στο σχήμα 7, είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος ελέγχου εναλλασσόμενων κινητήρων επαγωγής.

Με την εξέλιξη της ηλεκτρονικής και την κατασκευή μικροεπεξεργαστών (μP) και ψηφιακών επεξεργαστών σήματος (Digital Signal Processor, DSP) υψηλής ταχύτητας και ανάλυσης, έγινε δυνατή η εφαρμογή της τεχνικής του διανυσματικού ελέγχου, με την οποία έχουμε υψηλή απόδοση, ταχύτατη απόκριση και ουσιαστικά ο έλεγχος του επαγωγικού κινητήρα ανάγεται σε έλεγχο κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

Στο σχήμα 8 παρουσιάζεται ένα πραγματικό σύστημα ελέγχου τριφασικού εναλλασσόμενου κινητήρα το οποίο και χρησιμοποιείται για την εφαρμογή πειραματικών αλγορίθμων, εκτός των ευρέως διαδεδομένων όπως για παράδειγμα ο διανυσματικός έλεγχος και η ημιτονοειδής διαμόρφωση εύρους παλμών. Στο σχήμα διακρίνονται τα βασικά τμήματα ενός τέτοιου συστήματος που είναι η γέφυρα του αντιστροφέα, τα κυκλώματα οδήγησης των διακοπτικών στοιχείων, το κύκλωμα ελέγχου των παλμών οδήγησης και η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου η οποία βασίζεται στον γνωστό μικροεπεξεργαστή της INTEL 80C196.



Σχήμα 7. Διάγραμμα διανυσματικού ελέγχου



Σχήμα 8. Σύστημα ελέγχου τριφασικού εναλλασσόμενου κινητήρα σε πλήρη διάταξη.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή έγινε μία ανάλυση των βασικών επιμέρους ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών στοιχείων του ηλεκτρονικού και υβριδικού αυτοκινήτου. Εξετάζοντας τα όσα προαναφέρθηκαν μπορούμε να συμπεράνουμε τα ακόλουθα:

1. Αυτή τη στιγμή ο καταλληλότερος κινητήρας για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι ο τριφασικός εναλλασσόμενος κινητήρας επαγωγής.
2. Οι συσσωρευτές μολύβδου - οξέος είναι οι συσσωρευτές εκείνοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν λόγω του ότι είναι φιλικό προς το περιβάλλον και παρέχουν ικανοποιητική πυκνότητα ισχύος και ενέργειας.
3. Ο αντιστροφέας - ελεγκτής να είναι κατασκευασμένος από ημιαγωγικά στοιχεία τύπου IGBT και να χρησιμοποιεί τον διανυσματικό έλεγχο.
4. Ο ενσωματωμένος φορτιστής να έχει ταχεία φόρτιση, να παρουσιάζει πραγματικό συντελεστή ισχύος ίσο με τη μονάδα καθώς και να έχει ελάχιστη επαγόμενη και ακτινοβολούμενη Ηλεκτρομαγνητική Παρενόχληση (EMI).

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο θα μπορούσε σήμερα να χρησιμοποιηθεί στις μεγαλουπόλεις όπου υπάρχει μεγάλο πρόβλημα ρύπων, καυσαερίων και ηχορύπανσης αλλά και στα νησιά όπου το πρόβλημα της ηχορύπανσης είναι ιδιαίτερα αυξημένο. Σαν αρχικό βήμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το ηλεκτρικό αυτοκίνητο από τις κρατικές δημόσιες υπηρεσίες (δηλ. Ο.Τ.Ε., Δ.Ε.Η, Ε.Λ.ΤΑ κ.λπ.) για τις ανάγκες τους στο κέντρο των μεγάλων πόλεων.

**Τέλος, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι ο σεβασμός στο περιβάλλον είναι και πολιτισμός.**

## 6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Α. Καντιάνης, “Μοντελοποίηση επαγωγικού κινητήρα και νέες τεχνικές ελέγχου για εφαρμογές ηλεκτρικού αυτοκινήτου”, Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π. 1988
- [2] Σ. Ν. Μανιάς, “Ανώτερα κεφάλαια ηλεκτρονικών ισχύος”, Αθήνα, Παπασωτηρίου 1997



- [3] B. K Bose, "**Power electronics and Variable frequency drives**", New York, IEEE Press 1996
- [4] C. C. CHAN et all, "**Novell permanent magnet motor drives for electric vehicles**", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 43, No. 2, April 1996, pp. 331-339
- [5] IEEE Spectrum, "**Advanced lead/acid battery looms**", Vol. 30, No. 3, pp. 15 March 1993.