



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
Τ. Ε. Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**

**ΣΧΟΛΗ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**Επιβλέπων: ΕΡΙΕΤΤΑ Ι. ΖΟΥΝΤΟΥΡΙΔΟΥ, Εργ. Συνεργάτης**

***Ανάλυση δομής και λειτουργίας ηλεκτρικού οχήματος***

**Analysis of structure and function of the electric vehicle**

**Πτυχιακή Εργασία:**

**Νομικός Ν. Σπυρίδων (Α.Μ. 35006)**

**Janocha Piotr Ian (Α.Μ. 37841)**

**ΑΙΓΑΛΕΩ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2014**



## *Ευχαριστίες*

*Αφιερώνουμε αυτήν την εργασία στις οικογένειες μας και στους ανθρώπους που είναι δίπλα μας.*



## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η ενεργειακή κρίση και η περιβαλλοντολογική επιβάρυνση των τελευταίων ετών έχει οδηγήσει στην αναζήτηση νέων τρόπων μετακίνησης. Η λύση έχει δοθεί εδώ και αρκετά χρόνια αλλά για τεχνολογικούς και εμπορικούς λόγους δεν ήταν εφικτή η εισαγωγή του σε βιομηχανική παραγωγή καθώς επίσης και η γενική του χρήση λόγω προβλημάτων τροφοδοσίας.

Έτσι κάτω από αυτές τις συνθήκες το θέμα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι μια θετικά υποσχόμενη μετάβαση, που στην σημερινή εποχή με την βοήθεια των ηλεκτρονικών ισχύος, τις νέες γενιές κινητήρων καθώς και με τις καινούργιες μεθόδους τροφοδοσίας μπορεί να φέρει το μέλλον στις μετακίνησης με τεράστια ενεργειακά και περιβαλλοντολογικά οφέλη, καθώς έχει μηδενικούς ρύπους, τουλάχιστον κατά την λειτουργία του οχήματος και αποδεσμεύει τον χρήστη από την χρήση υγρών καυσίμων.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και η ανάλυση των βασικών τμημάτων ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου, έτσι θα γίνει μια αναφορά σε κάποια βασικά τμήματα του και ανάλυση των ποιων σημαντικών.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια ιστορική αναδρομή στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο από τα πρώτα του βήματα και την κυριαρχία του στον τότε κόσμο, έπειτα στην μέση περίοδο σηματοδοτεί την παρακμή των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και την καθολική επικράτηση των βενζινοκίνητων οχημάτων. Ακολουθεί η σύγχρονη μορφή του και οι λόγοι αναζωπύρωσης του ενδιαφέροντος καθώς και η προσπάθεια και η πρόοδος του στην Ελλάδα.

Στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται τα βασικά τμήματα από τα οποία αποτελείται ένα αυτοκίνητο, ηλεκτρικό και μη, με σκοπό να έχουμε μια γενική εικόνα της δομής του και των γενικών τμημάτων του.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια ανάλυση στα βασικά τμήματα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου ξεκινώντας από τους πιθανούς τρόπους τροφοδοσία που μπορεί να έχει, μπαταρίες, σφόνδυλοι, κυψέλες καυσίμων και υπερπυκνωτές καθώς και του τρόπους φόρτισης αυτών.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται μια αναφορά σε κάποια είδη κινητήρων, εναλλασσόμενου ρεύματος, συνεχούς ρεύματος και ασύγχρονους κινητήρες καθώς και περιγραφή των τμημάτων τους. Ακολουθεί μια σύγκριση για την επιλογή του σωστού κινητήρα, ανάλογα την χρήση του.

Καταλήγοντας στο κεφάλαιο 5 γίνεται εισαγωγική αναφορά στα ηλεκτρονικά ισχύος και τα είδη των ελεγκτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα ηλεκτρικά οχήματα με σκοπό την καλύτερη λειτουργία τους ,καθώς και ανάλυση των ελεγκτών αυτών.

Έπειτα θέτονται τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας.

## ***ABSTRACT***

The energy crisis and the charges of the environment in recent years have led to new ways of movement. The solution has been given for many years but for technical and commercial reasons it was not possible to introduce into an industrial production as well as the general use due to supply problems.

Thereby under these conditions the issue of the electric car is a promising positive transition, which in current times with the help of power electronics, new engine generations and with the new methods of supply may bring the future to move with enormous calorific and environmentally benefits, as it has zero emissions, at least during operation of the vehicle and release the user from the use of liquid fuels.

The purpose of this work is the study and analysis of the key parts of an electric car, these will be referring to some key parts and analysing the most important of it.

In Chapter 1 Becoming a throwback to the electric car from first steps and sovereignty in the world, then the average period signaled the decline of electric vehicles and the universal prevalence of petrol cars, followed the modern form of the reasons revitalizing interest and then the effort and progress in Greece.

In chapter 2 are reported the keys of elements that make up an automobile, electric or not, in order to have an overview of the structure and general parts.

In Chapter 3 Becoming an analysis to major parts of the electric car starting from the possible ways that power can have, batteries, flywheels, fuel cells and super capacitors, and the ways they charge.

Chapter 4 is a reference to some types of engines, AC, DC and asynchronous motors and a description of sections. Follows a comparison for choosing the right motor, depending on use.

In conclusion in Chapter 5 is an introductory reference to the power electronics and the types of controllers that can be used in electric vehicles for better operation and analysis of these controllers.

After of all, we set the conclusions of this work.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Σύντομη ιστορική αναδρομή

1.1	Η πρώτη περίοδος.....	9
1.2	Η μεσαία περίοδος.....	12
1.3	Το ηλεκτρικό όχημα σήμερα.....	14
1.4	Το ηλεκτρικό όχημα στην Ελλάδα.....	15
1.5	Το σύγχρονο ηλεκτρικό αυτοκίνητο.....	17

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΑΣΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ.....18

2.1.	Αμάξωμα.....	18
2.2.	Πλαίσιο.....	18
2.3.	Ανάρτηση.....	19
2.4.	Σύστημα διεύθυνσης.....	20
2.5.	Φρένα.....	20

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τροφοδοσία .....21

3.1	Μπαταρίες.....	21
3.1.1	Βασικά τμήματα μπαταριών.....	22
3.1.2	Είδη μπαταριών.....	23
3.2	Σύστημα φόρτισης μπαταριών .....	34
3.3	Κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells).....	38
3.4	Σφόνδυλοι.....	39
3.5	Υπερπυκνωτές.....	40

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Κινητήρες.....41

4.1	Μηχανές συνεχούς ρεύματος.....	42
4.2	Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.....	48
4.3	Ασύγχρονες Μηχανές.....	51
4.4	Επιλογή τύπου κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος – Συγκρίσεις.....	56

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Ηλεκτρονικά Ισχύος για ηλεκτρικά αυτοκίνητα.....57

5.1	Βασικά στοιχεία ηλεκτρονικών .....	57
5.2	Μετατροπέας ισχύος .....	62
5.2.1	Κατανεμητής συνεχούς ρεύματος DC-DC chopper.....	62
5.2.2	Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο DC-AC.....	65

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....69

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....70



## Σύντομη ιστορική αναδρομή

### 1.1 Η πρώτη περίοδος

Αν και τα τελευταία χρόνια γίνεται ιδιαίτερος λόγος για τα ηλεκτρικά οχήματα και τη χρήση τους στη σημερινή εποχή εν τούτοις η εμφάνισή τους τοποθετείται αρκετά πίσω στο χρόνο. Έτσι τα ηλεκτροκίνητα οχήματα έχουν μια μακρόχρονη ιστορία που ξεκινά περίπου 170 χρόνια πιο πίσω, στα μέσα του 19ου αιώνα. Μέσα σε αυτά τα χρόνια τα ηλεκτροκίνητα οχήματα πέρασαν από πολλά στάδια ακμής και αφάνειας μέχρι να φτάσουμε στη σημερινή εποχή που το ενδιαφέρον γι' αυτά αναζωπυρώθηκε. Η εξέλιξή τους έγινε παράλληλα με την εξέλιξη δύο άλλων ανταγωνιστικών τύπων οχημάτων, τα ατμοκίνητα οχήματα και τα οχήματα με Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ). Οι πρώτες προσπάθειες για δημιουργία ενός μηχανοκίνητου οχήματος το οποίο να κινείται με ηλεκτρισμό χρονολογείται τη δεκαετία του 1830. Κάπου μεταξύ του 1832 και 1839, χωρίς ιδιαίτερη βεβαιότητα, ο σκωτσέζος Robert Anderson εφηύρε ένα πρώτο αρκετά πρόχειρο αυτοκίνητο όχημα που κινούταν με ηλεκτρισμό. Την ίδια εποχή (1835) ο ολλανδός καθηγητής Stratingh του Groningen έφτιαξε ένα μικρού μεγέθους όχημα. Αυτές οι πρώτες εφευρέσεις είχαν καθαρά δοκιμαστικό χαρακτήρα καθώς και οι ηλεκτρικοί κινητήρες που υπήρχαν ήταν πειραματικοί και μη εφαρμόσιμοι στην πράξη μέχρι το 1837 όπου ο Thomas Davenport κατασκεύασε τον κινητήρα του.

Παρ' όλ' αυτά αποτέλεσαν το έναυσμα για μια εις βάθος έρευνα πάνω στο αντικείμενο. Περισσότερο πρακτικά και επιτυχή οχήματα ήταν αυτά που φτιάχτηκαν από τον αμερικανό Thomas Davenport (1834) και από τον σκωτσέζο Robert Davidson περί το 1842. Το 1847 ο Moses Farmer από τη Μασαχουσέτη, κατασκεύασε ένα όχημα που τροφοδοτούνταν από 48 ηλεκτρικά στοιχεία και μπορούσε να μεταφέρει δύο άτομα.

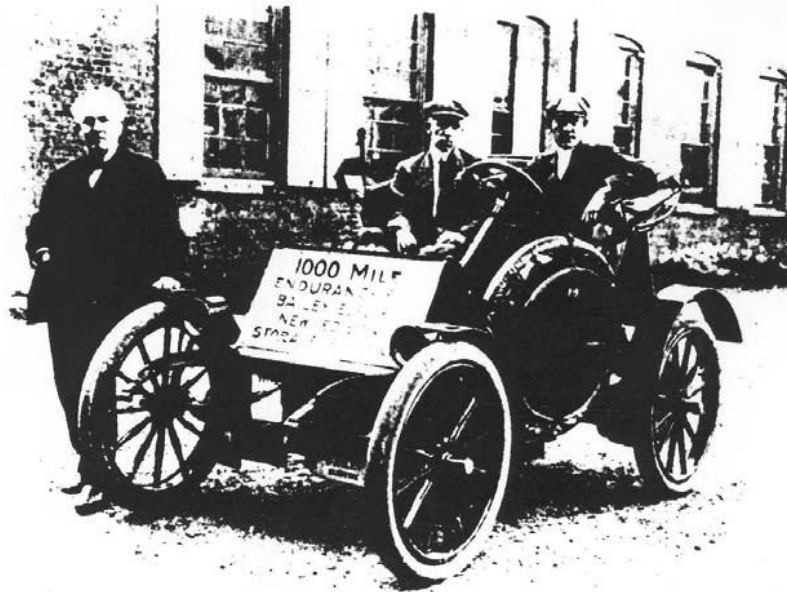
Την ίδια εποχή ο καθηγητής Charles Page έφτιαξε ένα όχημα με 100 συσσωρευτές και κινητήρα 16 ίππων που μετέφερε 12 άτομα με ταχύτητα μέχρι και 19 μίλια/ώρα. Το 1847 οι Lilly και Colton από το Pittsburg έφτιαξαν ένα ηλεκτρικό όχημα που τροφοδοτούνταν από τον κεντρικό σταθμό χάρη σε ηλεκτροφόρες ράγες. Αν και τα προβλήματα των ηλεκτρικών κινητήρων είχαν πλέον ξεπεραστεί με τις σημαντικές βελτιώσεις που είχαν γίνει στην κατασκευή τους, εν τούτοις το σημαντικότερο πρόβλημα που εξακολουθούσε να υπάρχει ήταν οι συσσωρευτές.

Συγκεκριμένα, εκτός από το χαμηλό λόγο ενέργειας προς όγκο και βάρος, ένα επιπρόσθετο σημαντικό μειονέκτημα ήταν η μη δυνατότητα επαναφόρτισης.

Το πρόβλημα αυτό με τους λεγόμενους “πρωτογενείς” συσσωρευτές επιλύθηκε το 1859, όταν ο Γάλλος Gaston Plante ανακάλυψε για πρώτη φορά το στοιχείο Μολύβδου-Οξέως (Pb-Acid) που έχει δυνατότητα επαναφόρτισης. Με τον τρόπο αυτό έπαψε να είναι απαραίτητη η συνεχής αντικατάσταση των ηλεκτρικών στοιχείων μετά την εκφόρτισή τους. Βέβαια χρειάστηκαν 22 χρόνια από την ανακάλυψη του Plante μέχρις ότου οι συσσωρευτές Μολύβδου γίνουν ικανοί να χρησιμοποιηθούν στην πράξη. Αυτό συνέβη το 1881 χάρη στον Camille Faure.

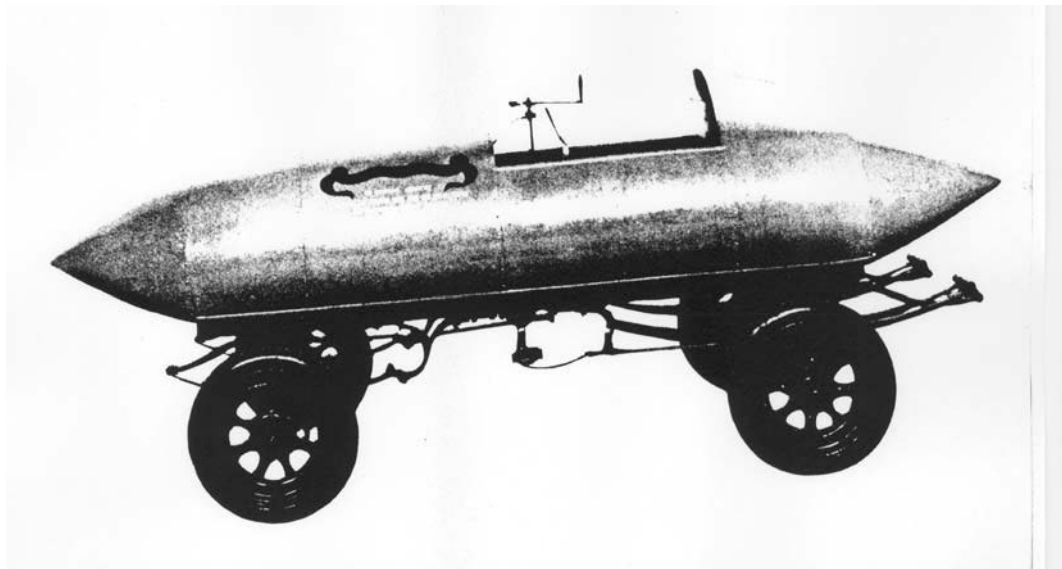
Στη συνέχεια έκαναν την εμφάνισή τους διάφοροι βελτιωμένοι τύποι συσσωρευτών μεταξύ των οποίων ξεχώρισε το στοιχείο Έντισον (Edison cell), που ήταν ένας συσσωρευτής Νικελίου-Σιδήρου (Ni-Fe). Η κατασκευή του έγινε το 1910 και ήταν το πιο προηγμένο στοιχείο τεχνολογικά την εποχή εκείνη.

Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιήθηκε σε ένα όχημα που κατασκεύασε ο ίδιος ο Edison το οποίο απεικονίζεται στο σχήμα 1.1 .



**Σχήμα 1.1:** Ο T. Edison και το ηλεκτροκίνητο όχημά του [8]

Στη διάρκεια αυτών των δεκαετιών η ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι αρκετά μεγάλη τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική. Οι τεχνικές επιδόσεις των ηλεκτροκίνητων οχημάτων ήταν την εποχή εκείνη αρκετά υψηλές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το όχημα του Βέλγου μηχανικού Camille Jenatton το οποίο πέτυχε σημαντικές επιδόσεις ταχύτητας κατά τη δεκαετία του 1890. Το όχημα αυτό που φαίνεται στο σχήμα 1.2 κατάφερε στην τρίτη δοκιμή του να σπάσει το φράγμα των 100 χλμ/ώρα, αγγίζοντας την ταχύτητα των 105,8 χλμ/ώρα. Αυτή η ταχύτητα ήταν ένα εξωπραγματικό νούμερο για τα δεδομένα της εποχής εκείνης .



**Σχήμα 1.2**

Μέχρι τη δεκαετία του 1920 η ανάπτυξη της εμπορικότητας που παρουσίασαν τα ηλεκτρικά οχήματα ήταν αρκετά μεγάλη. Για παράδειγμα το 1890 ο αριθμός των αυτοκινήτων που πουλήθηκαν στην Αμερική ήταν περίπου 4200 εκ των οποίων το 38% ήταν ηλεκτροκίνητα, το 22% βενζινοκίνητα και το 40 % ατμοκίνητα. Το βασικό πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων σε σχέση με τα βενζινοκίνητα και τα ατμοκίνητα ήταν ότι είχαν πολύ πιο εύκολη εκκίνηση, αφού αρκούσε το “κλείσιμο”

ενός διακόπτη για να ξεκινήσει απ' ευθείας. Αντίθετα, τα βενζινοκίνητα οχήματα απαιτούσαν χειροκίνητη εκκίνηση, ενώ τα ατμοκίνητα απαιτούσαν μια προθέρμανση που διαρκούσε περίπου 3 τέταρτα της ώρας. Συνεπώς τα ηλεκτρικά οχήματα είχαν ευρεία απήχηση στις υψηλά κοινωνικές τάξεις και αποτελούσαν οχήματα πολυτελείας.

Στα 1900 οι ηλεκτρικές άμαξες Brougham και Victoria ήταν ο αγαπημένος τρόπος μετακίνησης της αριστοκρατίας της Νέας Υόρκης .

Ανάμεσα στις διάφορες χρονολογίες ξεχωρίζει το έτος 1912 το οποίο στις Η.Π.Α. ήταν η πιο γόνιμη χρονιά των ηλεκτρικών οχημάτων, αφού 34000 ηλεκτρικά αυτοκίνητα βρίσκονταν σε κυκλοφορία. Οι επιδόσεις ταχύτητας που κυμαίνονταν 32 έως 48 χλμ./ώρα ήταν αρκετά ικανοποιητικές αφού η κατάσταση των οδικών δικτύων και γενικότερα των πόλεων δεν επέτρεπαν μεγαλύτερες ταχύτητες. Επιπλέον το οδικό δίκτυο διασύνδεσης των πόλεων δεν ήταν κατάλληλο για υπεραστικές μετακινήσεις.

Όντας λοιπόν περιορισμένα για αστική χρήση και μόνο, τα ηλεκτρικά οχήματα επικρατούσαν έναντι των άλλων τύπων μέχρι τη δεκαετία του 1920.

Η δεκαετία του 1920 σηματοδότησε στις Η. Π. Α. μια μεταστροφή στη χρήση των βενζινοκίνητων οχημάτων. Σε αυτό συντέλεσαν διάφοροι λόγοι με σπουδαιότερους τους ακόλουθους:

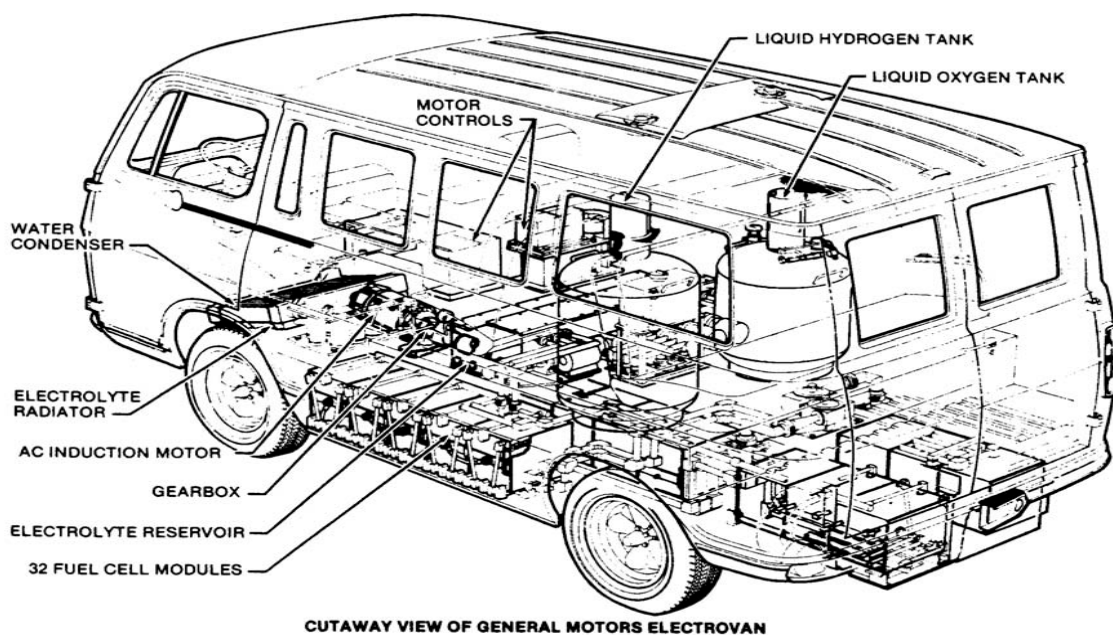
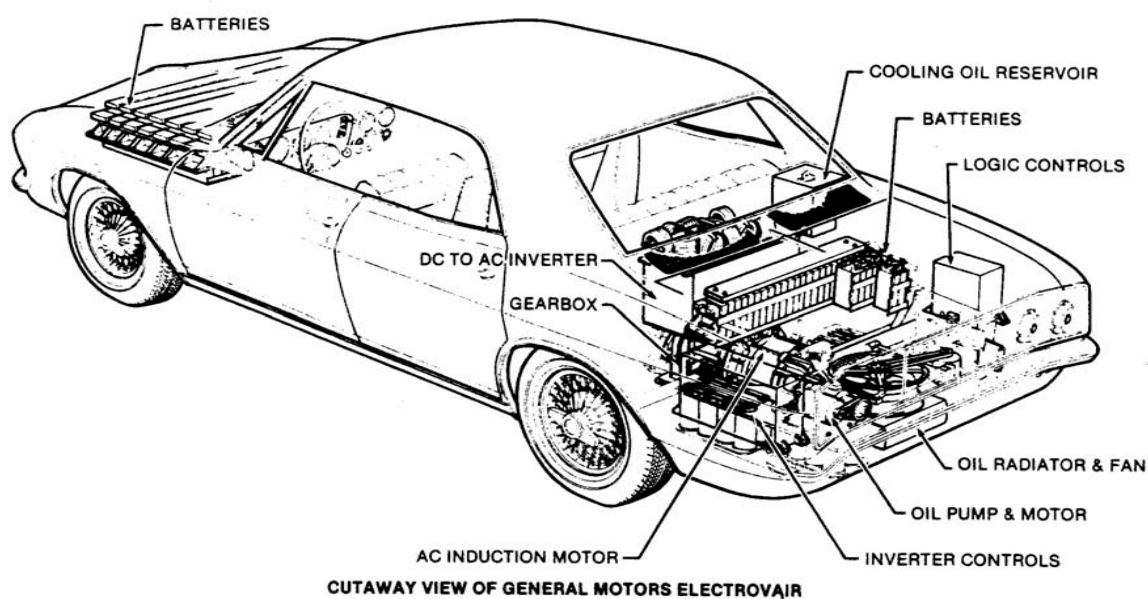
- Την εποχή εκείνη το υπεραστικό οδικό δίκτυο της Αμερικής είχε βελτιωθεί σημαντικά με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της ανάγκης για οχήματα μεγάλης αυτονομίας τα οποία θα παρείχαν τη δυνατότητα για υπεραστικές μετακινήσεις σε μεγάλες αποστάσεις.
- Η ανακάλυψη μεγάλων αποθεμάτων πετρελαίου στο Τέξας κατέστησε ιδιαίτερα χαμηλό το κόστος των καυσίμων για τους καταναλωτές.
- Η εφεύρεση του ηλεκτρικού εκκινήτη (στάρτερ) από τον Charles Kettering το 1911 έδωσε τη δυνατότητα στα βενζινοκίνητα οχήματα για εύκολη εκκίνηση χωρίς χειροκίνητη παρέμβαση.
- Η μαζική παραγωγή των βενζινοκίνητων οχημάτων από τον Henry Ford που έκανε τα οχήματα αυτά διαθέσιμα σε αρκετά χαμηλές τιμές μεταξύ 500 και 1000\$. Σε αντίθεση οι τιμές των ηλεκτρικών οχημάτων συνεχώς αυξάνονταν.

Η μεταστροφή αυτή εμφανίστηκε και στην Ευρώπη. Άμεσο αποτέλεσμα ήταν η σταδιακή απόσυρση των ηλεκτρικών οχημάτων από τη χρήση τους. Αυτή η περίοδος παρακμής των ηλεκτρικών οχημάτων κράτησε για περίπου 60 χρόνια (από 1930 έως 1990). Στο διάστημα αυτό ελάχιστες προσπάθειες έγιναν στην έρευνα των ηλεκτρικών οχημάτων.

## 1.2 Η μεσαία περίοδος

Αυτή η περίοδος σηματοδοτεί την παρακμή των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και την καθολική επικράτηση των βενζινοκίνητων οχημάτων. Οι λόγοι για τους οποίους συνέβη αυτό αναφέρθηκαν νωρίτερα. Η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων έπαψε εντελώς μέχρι το 1960 όπου άρχισε και πάλι να αναζωπυρώνεται το ενδιαφέρον.

Αυτό συνέβη διότι το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής μόλυνσης άρχισε να γίνεται ορατό, ενώ παράλληλα έπρεπε να αναζητηθούν εναλλακτικές ενεργειακές λύσεις. Έτσι διάφορες εταιρίες όπως η General Motors, η Ford και η American Motors, ανέπτυξαν ηλεκτροκίνητα μοντέλα, όπως το Electrovairst και το Electrovan (σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: Τα ηλεκτρικά οχήματα Electrovairst και Electrovan της General Motors [9]

Παράλληλα, στην Ευρώπη στην Ιαπωνία αλλά και στην Αυστραλία εταιρίες όπως η Fiat, η Mercedes, η Volkswagen, η Nissan, η Toyota κ.α. δημιούργησαν παρόμοια μοντέλα.

Ανάμεσα στα διάφορα οχήματα που παρουσιάστηκαν μέσα στην περίοδο αυτή αξίζει να αναφερθεί το όχημα GMC Handivan του 1966 (σχήμα 1.4).

Κύριο χαρακτηριστικό του οχήματος αυτού ήταν ότι το σύστημα τροφοδοσίας του αποτελούνταν από ενεργειακές κυψέλες (fuel cells). Το ογκώδες σύστημα τροφοδοσίας του οχήματος αυτού έπρεπε να ξαναγεμίζεται κάθε 200 χλμ. Η πολυπλοκότητά του αποτελούσε ένα μειονέκτημα του όλου συστήματος, ενώ το βάρος του οχήματος έφτανε τα 3219 κιλά. Το μεγάλο βάρος σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα, τη μικρή διάρκεια ζωής του συστήματος τροφοδοσίας, το μεγάλο κόστος των εξαρτημάτων, τις διαρροές υδρογόνου συνηγορούσαν στο να μην διεξάγεται εκείνη την εποχή μεγάλη έρευνα επάνω στον τομέα των ενεργειακών κυψελών, κάτι που γίνεται πολύ πιο εντατικά στη σημερινή εποχή.

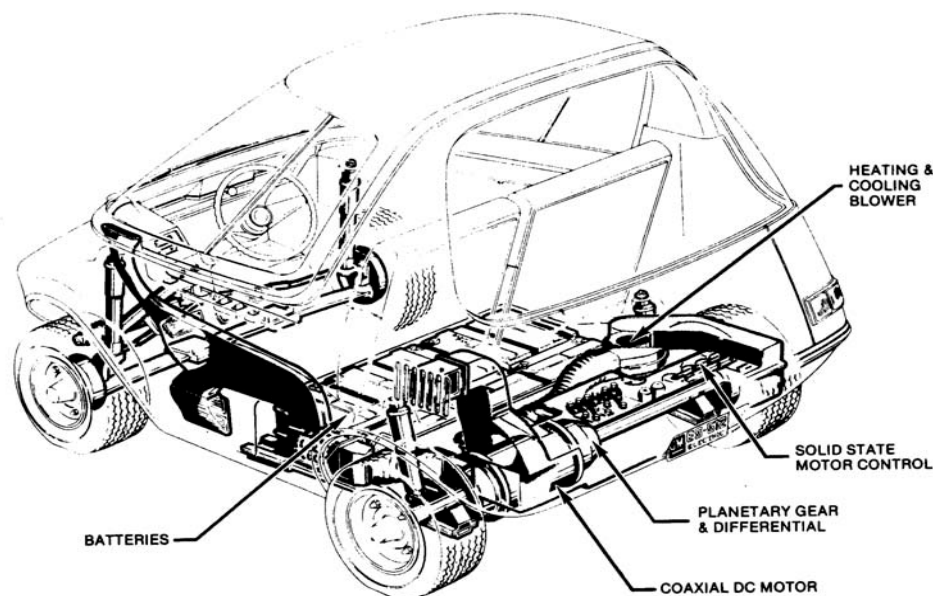


**Σχήμα 1.4:** GMC Handivan του 1966

Παράλληλα με τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα την εποχή εκείνη παρουσιάστηκαν από της βιομηχανίες και ορισμένα υβριδικά οχήματα. Τα οχήματα αυτά ως γνωστόν συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών και των συμβατικών οχημάτων.

Ένα τέτοιο όχημα ήταν το διαθέσιμο GM512 της General Motors που φαίνεται στο σχήμα 1.5 το οποίο κυκλοφόρησε και ως αμιγώς ηλεκτρικό. Τα χαρακτηριστικά του ως υβριδικό ήταν τα εξής: Μέγιστη ταχύτητα με χρήση μόνο του ηλεκτροκινητήρα 16χλμ./ώρα, ταχύτητα με συνδυασμένη χρήση ηλεκτροκινητήρα και βενζινοκινητήρα 16-21χλμ./ώρα, ενώ με χρήση μόνο του βενζινοκινητήρα η ταχύτητα έφτανε πάνω από 21 χλμ./ώρα. Ο βενζινοκινητήρας ήταν δικύλινδρος με 195 κ.ε. Το συνολικό του μήκος ήταν 2.2 μέτρα ενώ το πλάτος του έφτανε τα 1.45 μέτρα. Το αμιγώς ηλεκτρικό GM512 χρησιμοποιούσε κινητήρα Σ.Ρ. διέγερσης σειράς ισχύος 6.3 kW και για έλεγχο χρησιμοποιούσε μια διάταξη με θυρίστορ. Οι συσσωρευτές του ήταν συνολικής χωρητικότητας 85 Ah και βάρους 21 κιλά έκαστος.

Χρησιμοποιούσε συνολικά 7 συσσωρευτές. Συγκριτικά το ηλεκτροκίνητο είχε ανώτατη ταχύτητα 72 χλμ./ώρα ενώ το υβριδικό 64χλμ./ώρα.



**Σχήμα 1.5:** Το ηλεκτρικό όχημα GM512 της General Motors (1969)

Επιγραμματικά, τα σπουδαιότερα μοντέλα που παρουσιάστηκαν κατά την περίοδο αυτή ήταν τα εξής: 1967-Ford Commuta της Ford, τέλη του 1960-Amitron της American Motors, 1974-Fiat X1/23, 1976-Fiat Enel 850T, Fiat 242 και Fiat 900T, 1978-IVECO Daily, 1983- IVECO Daily E3 της Fiat, 1980-PGE M8 της Progetti Gestioni Ecologiche, Eco της Pininfarina Company σε συνεργασία με την Fiat, 1969Elektro-Transporter της Volkswagen, 1979-Mercedes-Benz 307E, 1974-Datsun 200L, Nissan Laurel και EV-4 της Nissan, 1976- EV-2 της Toyota και πολλά άλλα.

Χάρη σε αυτές τις προσπάθειες υπήρξε μια σημαντική εξέλιξη στην τεχνολογική ανάπτυξη αυτών μέχρι να φτάσουμε στην τρίτη χρονολογική περίοδο της εξέλιξης των ηλεκτρικών οχημάτων που επεκτείνεται μέχρι και σήμερα και κατά τη διάρκεια της οποίας το ενδιαφέρον για τη χρήση τους έχει αλλάξει ριζικά εξ' αιτίας των προβλημάτων που προαναφέρθηκαν.

### **1.3 Το ηλεκτρικό όχημα σήμερα**

Με το ενδιαφέρον για τη χρήση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων να εντείνεται από τις κυβερνήσεις διαφόρων κρατών όλο και περισσότερες βιομηχανίες οχημάτων παρουσιάζουν τα μοντέλα τους μετά τη δεκαετία του 1980.

Επισταμένες μελέτες που παρουσιάστηκαν τη δεκαετία του 1990, δείχνουν μεγάλα ποσοστά ατμοσφαιρικής μόλυνσης εξ' αιτίας της χρήσης συμβατικών οχημάτων. Για την αντιμετώπιση του βασικού αυτού προβλήματος ξεκίνησαν προσπάθειες με θέσπιση μέτρων τόσο σε εθνικά επίπεδα όσο και σε διεθνή.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η διεθνής σύσκεψη η οποία έλαβε χώρα στο Rio de Janeiro της Βραζιλίας το 1992 στην οποία υπογράφηκε σύμβαση από 154 χώρες σχετική με τις κλιματικές αλλαγές.

Στο πλαίσιο της σύμβασης αποφασίσθηκε να πραγματοποιηθεί διεθνής προσπάθεια ώστε μέχρι το 2000 να σταθεροποιηθούν τα επίπεδα του CO στην ατμόσφαιρα στα ίδια επίπεδα με αυτά του 1990.

Αξίζει επίσης να αναφερθεί η νομοθεσία της California. Με βάση το νόμο της πολιτείας αυτής μέχρι το τέλος του 1998 2% και μέχρι το τέλος του 2003 10% των οχημάτων που θα κυκλοφορούν και που θα προέρχονται από τις τρεις μεγαλύτερες Αμερικανικές και τις τέσσερις μεγαλύτερες Ιαπωνικές αυτοκινητοβιομηχανίες θα έπρεπε να είναι Οχήματα Μηδενικών Εκπομπών (ZEV) [6].

Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι το ενδιαφέρον για τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων έχει αυξηθεί κατακόρυφα τα τελευταία χρόνια.

#### 1.4 Το ηλεκτρικό όχημα στην Ελλάδα

Η ύπαρξη ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου στην Ελλάδα δεν είναι κάτι πρόσφατο, όπως θα πιστεύουν οι περισσότεροι. Σαράντα χρόνια πριν, η τεχνολογία αυτή υπήρχε στην Ελλάδα και μάλιστα στη Σύρο, όπως αναφέρει αρχιτέκτονας και βιομηχανικός σχεδιαστής αυτοκινήτων που ασχολήθηκε με το σχεδιασμό του συγκεκριμένου οχήματος.

Σε μια χώρα εξαρτημένη πλήρως από το πετρέλαιο, δεν έχουν γίνει οι απαραίτητες προσπάθειες ώστε να απεξαρτηθεί από αυτό, αξιοποιώντας το ενεργειακό χρυσάφι που ο ήλιος προσφέρει δωρεάν. Με την ανάπτυξη του απλού και εύκολου κατασκευαστικά ηλεκτρικού αυτοκινήτου, τα οφέλη είναι πολλαπλά: μειώνονται τα έξοδα για την αγορά πετρελαίου, δημιουργούνται εργοστάσια κατασκευής φωτοβολταϊκών, μπαταριών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων ενώ μειώνονται και οι ρύποι, συμβάλλοντας αποφασιστικά και στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου.

Ο Γιώργος Μιχαήλ, αρχιτέκτονας και βιομηχανικός σχεδιαστής αυτοκινήτων, σε μια συνέντευξή του μίλησε για την κατασκευή του πρώτου ηλεκτρικού αυτοκινήτου στην Ελλάδα πριν από 40 περίπου χρόνια:

“Ο Γιάννης Γουλανδρής, της γνωστής οικογένειας εφοπλιστών, είχε δημιουργήσει μια μικρή παραγωγική μονάδα κατασκευής αυτοκινήτων που έγινε μέσα σε ένα παλιό νηματοουργείο, δίπλα στα ναυπηγεία του ΝΕΩΡΙΟΥ στην Ερμούπολη της Σύρου. Το Δεκέμβριο του 1973 ο Γουλανδρής με προσέλαβε να αναλάβω τη μετατροπή ενός ηλεκτρικού διθέσιου αυτοκινήτου από την Αγγλία, του ENFIELD ( E 465) στο μοντέλο E8000.



E8000

Εκείνη την περίοδο κατασκευάστηκαν περίπου 140 κομμάτια που έφυγαν όλα για την ΔΕΗ της Αγγλίας (περίοδος 1973-75). Το E8000 ήταν ένα διθέσιο όχημα, ουσιαστικά ίδιο με το αγγλικό, με ακριβώς τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά και το ίδιο ακριβώς σχήμα. Η μόνη τους διαφορά ήταν ότι αυτό που κατασκευάσαμε εμείς ήταν από αλουμίνιο και οι πόρτες του δεν ήταν συρόμενες αλλά άνοιγαν με το συμβατικό τρόπο. Την κίνηση έδινε ένας ηλεκτροκινητήρας συνεχούς ρεύματος 12 volt με χωρητικότητα 110 αμπερωρίων που ήταν τοποθετημένες οι 4 μπροστά και οι τέσσερις πίσω και απέδιδε 8,16 ίππους. Η μέγιστη ταχύτητα ήταν 64 km/h και η αυτονομία έφτανε τα 60 km/h αλλά μειωνόταν πολύ εάν το έδαφος είχε ανηφόρα.

Την ίδια περίοδο, εγώ ανέλαβα να σχεδιάσω πάνω στα μηχανικά μέρη του E8000 άλλους δυο τύπους ηλεκτρικών οχημάτων: Ένα τετραθέσιο αλουμινένιο τζιπάκι



(Μπικίνι) και ένα κλειστό βαν (Miner) τα οποία έφυγαν και αυτά σε μικρές ποσότητες για το εξωτερικό. Το τζιπάκι πήγε στην Αγγλία και το δεύτερο σε ορυχεία της Σουηδίας. Μετά από αυτό, η μικρή παραγωγική μονάδα που δουλεύαμε, έκλεισε το 1975 με το ξεκίνημα της μεταπολίτευσης. Δεν ξέρω το γιατί. Πάντως, ήταν μια μεγάλη ευκαιρία για την Ελλάδα αυτή η καινοτομία και κρίμα που δε συνεχίστηκε αυτή η προσπάθεια”.



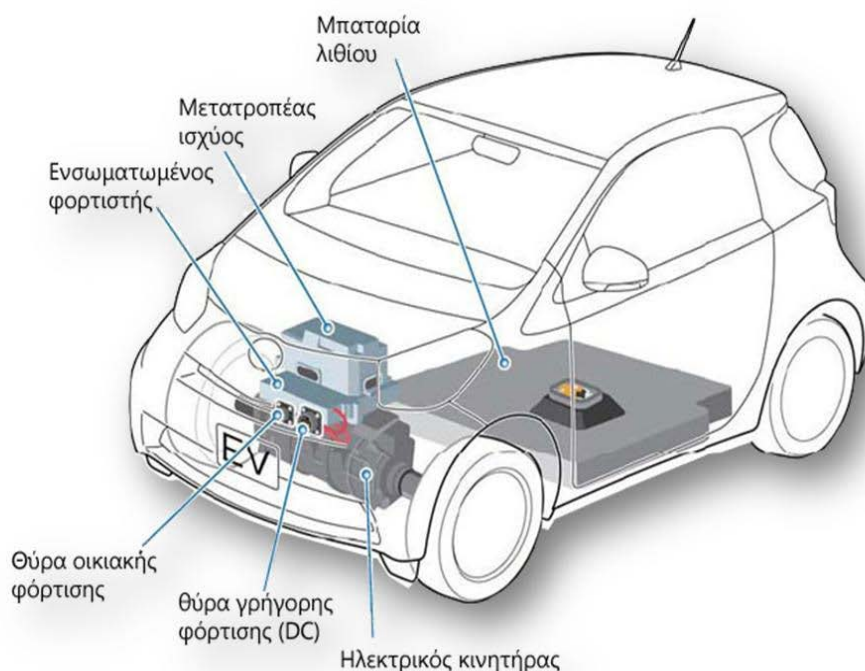


### 1.5 Το σύγχρονο ηλεκτρικό αυτοκίνητο

Το σύστημα κίνησης ενός σύγχρονου ηλεκτρικού αυτοκινήτου αποτελείται από τον κινητήρα, το μετατροπέα ισχύος (ελεγκτή), την πηγή ενέργειας (μπαταρία) και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης.

Στο σχήμα 1.6 απεικονίζεται η χωροδιάταξη των ανωτέρω υποσυστημάτων στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο.

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται συνήθως σε ηλεκτρικά οχήματα είναι κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC), ασύγχρονοι κινητήρες και κινητήρες μόνιμων μαγνητών.



**Σχήμα 1.5:** Το σύστημα κίνησης ενός σύγχρονου ηλεκτρικού

## 2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΒΑΣΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

### 2. Τα μέρη του αυτοκινήτου

Στην παράγραφο αυτή γίνεται μια αναφορά στα βασικά τμήματα ενός αυτοκινήτου, ηλεκτρικό και μη, για να μπορέσουμε να έχουμε μια πλήρη εικόνα του συνόλου της κατασκευής και στην συνέχεια θα αναφερθούμε αναλυτικά στα βασικά τμήματα ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου.

Τα βασικά τμήματα ενός αυτοκινήτου είναι:

**2.1 Αμάξωμα** Όλα τα εξωτερικά μέρη ενός αυτοκινήτου (πόρτες, παράθυρα, οροφή κ.λπ.) αποτελούν το αμάξωμά του. Ανάλογα με τον τύπο του αμαξώματος διαχωρίζουμε τα αυτοκίνητα σε διάφορες κατηγορίες όπως σεντάν, λίφτπακ, στέισον βάγκον, κουπέ κ.ά. Τα μέρη ενός αμαξώματος ενώνονται με το πλαίσιο είτε με βίδες, είτε με συγκολλήσεις οι οποίες σε όλα τα σύγχρονα εργοστάσια γίνονται αποκλειστικά από ρομπότ. Η συναρμολόγηση των μερών του αμαξώματος γίνεται και αυτή από ρομπότ ενώ μεγάλη προσοχή δίνεται στην ποιότητα συναρμογής τους. Μεγάλο ρόλο για την εμφάνιση ενός αμαξώματος πέρα από τη σχεδίαση και την ποιότητα συναρμογής του παίζει και η βαφή. Πριν όμως βαφεί για να στρώσει καλύτερα το χρώμα περνάει από έναν "κάδο" με υδατοδιαλυτές ρητίνες που κολλάνε στο αμάξωμα για να στρώσει καλύτερα το χρώμα. Όταν τελειώσει η διαδικασία της βαφής, περνάει από τον ποιοτικό τελικό έλεγχο όπου ελέγχεται προσεκτικά για πιθανές ατέλειες στο φινίρισμα.



Σχήμα 2.1 : Το αμάξωμα ενός αυτοκινήτου

**2.2 Πλαίσιο:** Βασική αρχή για την κατασκευή ενός αυτοκινήτου αποτελεί το πλαίσιο. Πάνω σε αυτό στηρίζονται όλα τα μηχανικά μέρη του αυτοκινήτου όπως ο κινητήρας και οι αναρτήσεις και γενικά όλο το αμάξωμα. Το μη αυτοφερόμενο πλαίσιο ή σασί ή τύπου σκάλας, όπως συνηθίζεται να λέγεται λόγω του σχήματός του, επικράτησε για πολλά χρόνια στα επιβατικά αυτοκίνητα μέχρι τη δεκαετία του 1970 ενώ σήμερα χρησιμοποιείται αποκλειστικά μόνο σε μερικά εκτός δρόμου οχήματα. Το πιο διαδεδομένο υλικό κατασκευής των πλαισίων είναι ο χάλυβας. Η χρήση "εξωτικών" υλικών όπως ανθρακονήματα, κέβλαρ και μαγνήσιο αποτελεί βασικό "συστατικό" κατασκευής των μονοθέσιων της F1. Το αλουμίνιο ξεκίνησε τα πρώτα του βήματα

στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή спор και πολυτελών αυτοκινήτων για να περάσει πλέον στις μέρες μας σε αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής.



**Σχήμα 2.2 :** Το πλαίσιο ενός αυτοκινήτου

**2.3 Ανάρτηση:** Η ανάρτηση ορίζει τη συμπεριφορά του αυτοκινήτου στο δρόμο, ενώ ένα σωστό ρυθμισμένο σύστημα οφείλει να αντιδρά σωστά στις δυνάμεις που ασκούνται επάνω του προσφέροντας άνεση και ασφάλεια. Πιο αναλυτικά χρειάζεται να επιτρέπει στους τροχούς τις κατακόρυφες κινήσεις ώστε να ακολουθούν τα εμπόδια που συναντάνε στο δρόμο τους χωρίς να μεταβάλλεται η γεωμετρία τους. Επίσης πρέπει να εξασφαλίζει τη συνεχή επαφή των τροχών με το δρόμο, να επιτρέπει στους κατευθυντήριους τροχούς να στρίβουν, να περιορίζει τις κινήσεις τους στο διαμήκη άξονα μεταδίδοντας στο πλαίσιο τις δυνάμεις επιτάχυνσης από τη ροπή στρέψης των κινητήριων τροχών και τις δυνάμεις επιβράδυνσης από τα φρένα και, τέλος, να απομονώνει την καμπίνα των επιβατών από τις αναταράξεις της κίνησης. Η λειτουργία της ανάρτησης ορίζεται από τη γεωμετρία τους, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο εφάπτονται οι τροχοί στο δρόμο, κάτι που καθορίζει και την απόκριση του συστήματος διεύθυνσης. Όταν οι τροχοί του ίδιου άξονα είναι στραμμένοι αντίθετα ο ένας με τον άλλο προς τα μέσα ως προς τη διεύθυνση κίνησης, δηλαδή συγκλίνουν, τότε μιλάμε για θετική σύγκλιση. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν αποκλίνουν, έχουμε αρνητική σύγκλιση, ενώ όταν είναι εντελώς παράλληλοι έχουμε μηδενική σύγκλιση.



**Σχήμα 2.3 :** Η ανάρτηση ενός αυτοκινήτου

**2.4 Σύστημα διεύθυνσης:** Το σύστημα διεύθυνσης είναι ένας μηχανισμός ο οποίος μεταφέρει την εντολή που δίνει ο οδηγός από το τιμόνι στους τροχούς έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή πορεία. Η δύναμη που ασκεί ο οδηγός για να στρίψει το τιμόνι αλλά και η αίσθηση που φτάνει στα χέρια του εξαρτώνται τόσο από τον τύπο του μηχανισμού του συστήματος (μηχανικός, υδραυλικός, ηλεκτρικός, ηλεκτροϋδραυλικός), όσο και από άλλους παράγοντες, όπως η διάσταση των ελαστικών και οι γενικότερες ρυθμίσεις στην ανάρτηση.



**Σχήμα 2.4 :** Το Σύστημα διεύθυνσης ενός αυτοκινήτου

**2.5 Φρένα:** Τα φρένα, το σύστημα πέδησης, αποτελεί δομικό στοιχείο του αυτοκινήτου και βασικός παράγοντας οδικής ασφάλειας. Η απόσταση ακινητοποίησης ενός οχήματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το υλικό (χυτοσίδηρος, κεραμικά συνθετικά με ανθρακονήματα) και ο τύπος των φρένων (δισκόφρενα αεριζόμενα – διάτρητα – με ραβδώσεις – απλά, ταμπούρα), η κατάσταση, η ποιότητα και η πίεση των ελαστικών, οι εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος (βροχή, ζέστη, κρύο, πάγος) και η κατάσταση του οδοστρώματος. Επίσης ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας είναι η αντοχή στην έντονη και συνεχή καταπόνηση.



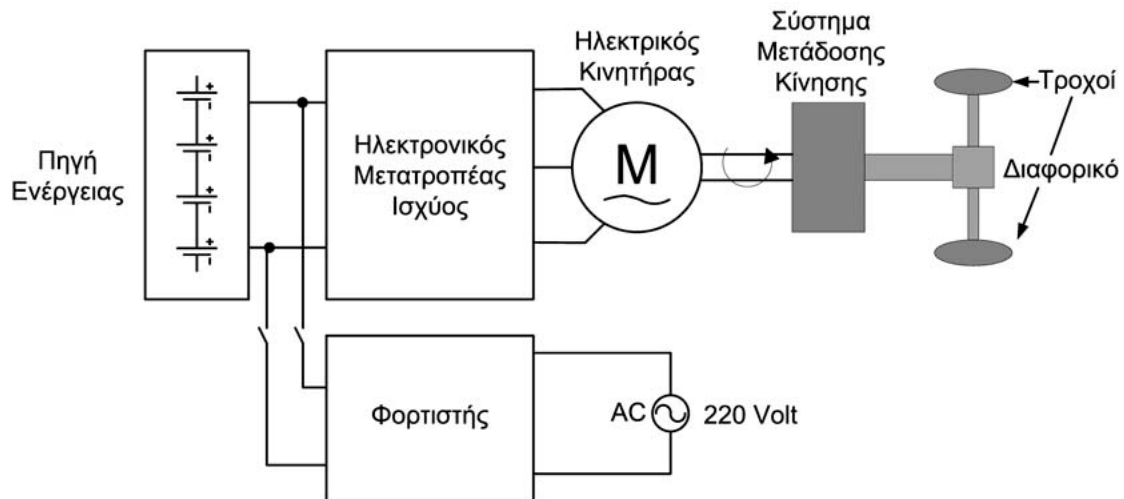
**Σχήμα 2.5 :** Τα φρένα ενός αυτοκινήτου

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

### *Περιγραφή τεχνολογίας ηλεκτρικών οχημάτων*

Ένα ηλεκτροκίνητο όχημα διαφέρει σημαντικά από ένα αντίστοιχο συμβατικό όσον αφορά τη δομή του κινητήριου συστήματος. Από τεχνικής απόψεως τα ηλεκτρικά οχήματα απαντώνται σε διάφορες παραλλαγές είτε όσον αφορά την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας είτε όσον αφορά τον τρόπο που παράγεται η κίνηση. Ωστόσο, όλα έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, που είναι η ύπαρξη ενός τουλάχιστον ηλεκτρικού κινητήρα για την προώθηση του οχήματος.

Ουσιαστικά υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων σε σχέση με τις εκπομπές ρύπων: τα οχήματα μηδενικών ρύπων (αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα) και τα οχήματα χαμηλών ρύπων στα οποία ανήκουν τα υβριδικά οχήματα. Το κύριο στοιχείο που διαφοροποιεί τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα από τα υβριδικά είναι η απουσία βενζινοκινητήρα.



Σχήμα 2.1. Χονδρικό διάγραμμα ηλεκτρικού οχήματος

Η ενέργεια στα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα προέρχεται από καθαρά ηλεκτρική πηγή και η κίνηση του οχήματος βασίζεται αποκλειστικά σε έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες. Στο παραπάνω σχήμα δίνεται ένα χονδρικό διάγραμμα των τμημάτων που συνήθως αποτελούν ένα ηλεκτρικό όχημα τα οποία είναι η πηγή ενέργειας (ή μονάδα αποθήκευσης ενέργειας με φορτιστή), ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος, ο ηλεκτρικός κινητήρας, το σύστημα μετάδοσης κίνησης, το διαφορικό και οι τροχοί του οχήματος.

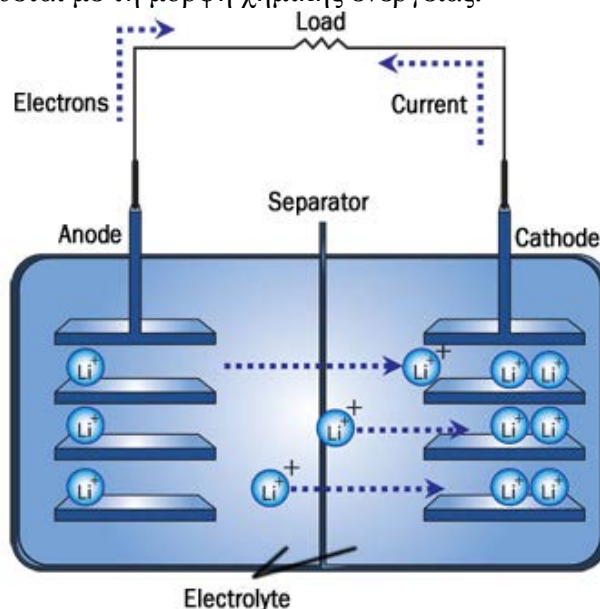
### *Τροφοδοσία*

Ένα από τα σημαντικότερα τμήματα από αυτό καθορίζεται η λειτουργία του και επομένως η αποδοτικότητα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Εδώ γίνεται αναφορά στους πιθανούς τρόπους αποθήκευσης και τροφοδοσίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

### *3.1 Μπαταρίες*

Οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές, ή κοινώς μπαταρίες, είναι το πλέον διαδεδομένο μέσο για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, την οποία για το σκοπό αυτό μετατρέπουν σε χημική. Συνήθως οι μπαταρίες αποτελούνται από πλήθος μικρότερων στοιχείων, τα λεγόμενα κελιά (cells). Κάθε κελί αποτελείται από δύο στοιχεία, την άνοδο και την κάθοδο, που χωρίζονται μεταξύ τους με κάποιον ηλεκτρολύτη, ο

οποίος διαφοροποιείται από εφαρμογή σε εφαρμογή. Όταν στην άνοδο και στην κάθοδο συνδεθεί ένα εξωτερικό κύκλωμα τότε υπάρχει ροή ηλεκτρονίων ανάμεσα στην άνοδο και στην κάθοδο του συσσωρευτή εξ' αιτίας ηλεκτροχημικής αντίδρασης που συμβαίνει μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη που εκφράζεται στο εξωτερικό κύκλωμα ως ηλεκτρικό ρεύμα. Σε περίπτωση που εφαρμοστεί εξωτερικό ρεύμα στην μπαταρία, τότε συμβαίνει η αντίστροφη διαδικασία και η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή χημικής ενέργειας.



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα δομής ενός συσσωρευτή

Οι συσσωρευτές ποικίλλουν ως προς τα υλικά κατασκευής τους, και εμφανίζουν κάποια χαρακτηριστικά όσον αφορά τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες. Πέρα από την τάση και το ρεύμα που μπορούν να αποδώσουν στο συνδεδεμένο κύκλωμα, προσδιορίζονται οι παράμετροι της ειδικής ενέργειας (Wh/kg), της ειδικής ισχύος (W/kg), του αριθμού των μέγιστων κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης (life cycles) και του ρυθμού φόρτισης φόρτισης και εκφόρτισης.

### 3.1.1 Βασικά στοιχεία μπαταριών

- **Χωρητικότητα μπαταρίας-Αμπερώρια (Ampere-Hour)**

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά μιας μπαταρίας είναι η χωρητικότητα της, η οποία μετράται σε αμπερώρια. Τα αμπερώρια είναι η ποσότητα του σταθερού ρεύματος που μπορεί να παρέχει μία πλήρως φορτισμένη μπαταρία για 20 ώρες στους 26 °C χωρίς η τάση των κελιών να πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο κατώτατο όριο. Για παράδειγμα, εάν μία μπαταρία 12V εκφορτίζεται για 20 ώρες, με ρυθμό 4 ampere, πριν η τάση της πέσει στα 10.5V τότε αυτή η μπαταρία χαρακτηρίζεται με 80 αμπερώρια. Μία μπαταρία 100 AH μπορεί να παρέχει 1 ampere για 100 ώρες ή 10 ampere για 10 ώρες.

- **Αμπέρ κατά την κρύα εκκίνηση (cold-cranking amperes)**

Αυτό το χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται από τους κατασκευαστές για τις μπαταρίες εκκίνησης. Καθορίζεται από την ποσότητα σε ampere την οποία είναι ικανή να παρέχει η μπαταρία για 30 sec στους -17.7 °C, χωρίς η τάση να πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο κατώτατο όριο. Αυτό το όριο για μία μπαταρία 12 V είναι τα 7.2 V.

- **Ηλεκτρική τάση (battery voltage)**

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μπαταριών ως προς την ονομαστική τάση τους. Μπορούμε να συναντήσουμε στο εμπόριο μπαταρίες των 6V, 12V, 24V αλλά και μικρότερες οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή σε άλλους τομείς και όχι στα οχήματα.

- **Ηλεκτρική αντίσταση (resistance)**

Η τάση της μπαταρίας είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ροή του ρεύματος και με την αντίσταση που αυτή συναντάει. Αυτό εκφράζεται με τον νόμο του Ohm ως εξής:

$$V=IR$$

Όπου V η τάση σε volt, I το ρεύμα σε amperes και όπου R η αντίσταση σε ohms. Στην πραγματικότητα υπάρχουν δύο είδη αντίστασης: η εξωτερική αντίσταση από το φορτίο και η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας. Η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας είναι ζηραντική για την αποδοτικότητα της μπαταρίας, για την μεταφορά της ισχύος και για τα επίπεδα φόρτισης της.

### **3.1.2 Είδη μπαταριών**

Τα ακόλουθα είδη μπαταριών χρησιμοποιούνται σε ένα ηλεκτρικό όχημα:

- **Μπαταρία Lead-acid (μολύβδου)**

Οι μπαταρίες μολύβδου είναι οι πιο διαδεδομένες στην αυτοβιομηχανία για την εκκίνηση των οχημάτων. Αυτός ο τύπος μπαταριών είναι επαναφορτίσιμος. Αρκετές τέτοιες μπαταρίες μολύβδου είναι συνδεδεμένες σε σειρά για να αποδώσουν υψηλή τάση σε ηλεκτρικά οχήματα.. Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές τέτοιων μπαταριών, αλλά όλες έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας και κατασκευάζονται με τον ίδιο τρόπο. Τα κελιά αυτών των μπαταριών έχουν ηλεκτρόδια φτιαγμένα από μολύβδο και από οξείδιο του μολύβδου. Οι μπαταρίες μολύβδου είναι από τις παλιότερες σχεδιαστικά μπαταρίες στο εμπόριο.



**Σχήμα 3.2:** Μπαταρία Lead-acid.



▪ **Μπαταρία Nickel-cadmium (νικελίου-καδμίου)**

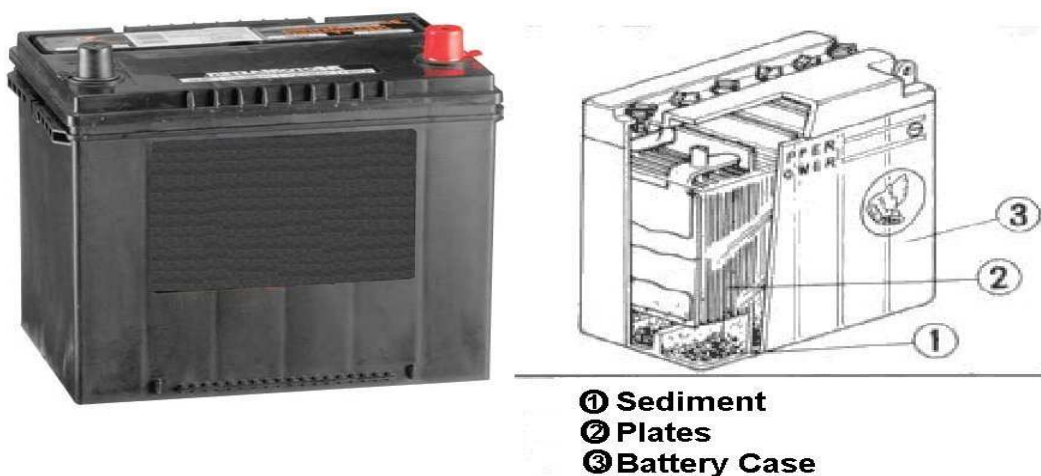
Οι μπαταρίες NiCad χρησιμοποιούνται σε φορητά ραδιόφωνα, σε ιατρικούς εξοπλισμούς και σε επαγγελματικές κάμερες. Τα ηλεκτρόδια στα κελιά σε μία τέτοια μπαταρία είναι από υδροξείδιο του νικελίου και από κάδμιο. Ο ηλεκτρολύτης είναι υδροξείδιο του καλίου. Αυτές οι μπαταρίες είναι οικονομικές και χαρακτηρίζονται από την μακροζωία. Ωστόσο το κάδμιο δεν είναι φιλικό προς το περιβάλλον και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο έχουν αντικατασταθεί από άλλους τύπους μπαταριών.



Σχήμα 3.3 :Μπαταρία Nickel-cadmium

▪ **Μπαταρία Sodium-Sulfur (θεικού νατρίου)**

Τα ηλεκτρόδια στα κελιά σε μία τέτοια μπαταρία είναι κατασκευασμένα από νάτριο (αρνητικό ηλεκτρόδιο) και από θειάφι (θετικό ηλεκτρόδιο). Αυτός ο τύπος μπαταρίας είναι πολύ αποδοτικός και χρησιμοποιείται στα ηλεκτρικά οχήματα. Στο σχήμα 3-3 φαίνεται ο συγκεκριμένος τύπος μπαταρίας.



Σχήμα 3.4: Μπαταρία Sodium-Sulfur.



- **Μπαταρία Sodium-Nickel-Chloride(χλωριούχο νικέλιο του νατρίου)**

Τα ηλεκτρόδια σε μία τέτοια μπαταρία είναι κατασκευασμένα από νικέλιο και από χλωριούχο νάτριο. Αυτές οι μπαταρίες έχουν περίπου 5 φορές μεγαλύτερη ενέργεια από αυτές του μολύβδου και είναι πλήρως ανακυκλώσιμες. Ωστόσο πρέπει να λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες και απαιτούν σύστημα διαχείρισης θερμοκρασίας, κάτι το οποίο αυξάνει το κόστος τους σημαντικά. Οι μπαταρίες αυτές είναι σχεδιασμένες για ηλεκτρικά οχήματα συμπεριλαμβανομένων και των τρένων.



Σχήμα. 3-4 Μπαταρία Sodium- Nickel-Chloride.  
-Chloride

- **Μπαταρία Lithium-Polymer (πολυμερής λιθίου)**

Οι μπαταρίες αυτές μοιάζουν πολύ με τις ιόντων λιθίου (παρακάτω γίνεται λεπτομερής αναφορά σε αυτές). Τα ηλεκτρόδια είναι φτιαγμένα από άνθρακα και από οξείδιο του μετάλλου. Ο στερεός πολυμερής ηλεκτρολύτης δεν είναι εύφλεκτος, επομένως αυτές οι μπαταρίες είναι λιγότερο επικίνδυνες. Επίσης έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν μεγαλύτερη ενέργεια από αυτές του μολύβδου.



Σχήμα 3.6:Μπαταρία Lithium-Polymer

- **Μπαταρία Zinc-Air (αερίου-ψευδαργύρου)**

Το ξεχωριστό χαρακτηριστικό σε αυτές τις μπαταρίες είναι ότι το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα χρησιμοποιείται στην κάθοδο. Η άνοδος είναι μία αντικαταστάτη πλάκα φτιαγμένη από μόρια ψευδαργύρου. Ο ηλεκτρολύτης είναι υδροξείδιο του καλίου. Εντός των κελιών μία χημική αντίδραση δημιουργεί ηλεκτρική ενέργεια αλλά τα κελιά δεν είναι επαναφορτίσιμα. Για την επαναφορτίσει θα πρέπει να αντικατασταθεί η πλάκα της ανόδου. Αυτός ο τύπος μπαταρίας έχει μικρό βάρος και αποδίδει μεγάλη ενέργεια.. Στο σχήμα 3-6 φαίνεται ο συγκεκριμένος τύπος μπαταρίας.



Σχήμα 3.7: Μπαταρία Zinc-Air.

- **Μπαταρία Nickel-Zinc (ψευδαργύρου-νικελίου)**

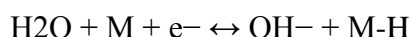
Αυτές οι μπαταρίες έχουν υψηλή ειδική ενέργεια ,μπορούν να λειτουργήσουν σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Οι μπαταρίες αυτές θεωρούνται αλκαλικές επαναφορτιζόμενες. Το ηλεκτρόδιο στην άνοδο τους είναι από οξείδιο του ψευδαργύρου και το ηλεκτρόδιο στην κάθοδο είναι από οξείδιο του νικελίου. Ο ηλεκτρολύτης είναι υδροξείδιο του καλίου.



Σχήμα 3.8: Μπαταρία Nickel-Zinc.

### ▪ Μπαταρία NiMH

Στα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα, η μπαταρία που χρησιμοποιείται κατά βάση είναι η μπαταρία Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου (NiMH). Πρόκειται για μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, παρόμοια με την μπαταρία Νικελίου – Καδμίου (NiCd), με τη διαφορά ότι αντί για κάδμιο στην άνοδο της έχει ένα κράμα απορροφητικό σε υδρογόνο. Στην κάθοδο, όπως και στις NiCd μπαταρίες, χρησιμοποιεί νικέλιο. Μια NiMH μπαταρία έχει δυο με τρεις φορές τη χωρητικότητα μιας ισοδύναμου μεγέθους μπαταρίας NiCd . Ωστόσο, συγκρινόμενη με την μπαταρία ιόντων λιθίου (lithium-ion battery), η ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα είναι χαμηλότερη και η αυτοεκφόρτιση μεγαλύτερη. Η ειδική ενεργειακή πυκνότητα για την NiMH είναι περίπου 80 W·h/kg, με την ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα να είναι γύρω στις 200 W·h/L. Η αντίδραση που συμβαίνει στην άνοδο μιας μπαταρίας NiMH είναι η ακόλουθη:

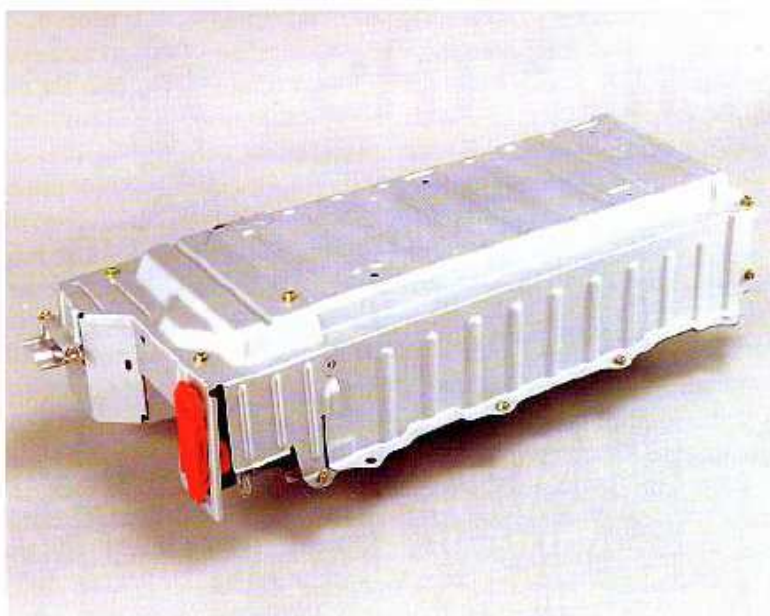


Η μπαταρία φορτίζεται προς την δεξιά κατεύθυνση της εξίσωσης και αποφορτίζεται προς την αριστερή. Το υδροξείδιο του νικελίου είναι αυτό που σχηματίζει την κάθοδο. Το "Μέταλλο" στην άνοδο μιας NiMH μπαταρίας είναι ουσιαστικά μια σύνθετη μεταλλική ένωση. Πολλές χημικές ενώσεις έχουν αναπτυχθεί για την εφαρμογή αυτή αλλά αυτές που εφαρμόζονται ανήκουν σε δυο κατηγορίες. Ο πιο κοινός χημικός τύπος είναι ο AB<sub>5</sub>, όπου Α είναι ένα μίγμα σπάνιων γαιών, λανθανίου, δημητρίου, νεοδυμίου, πρασινοδυμίου και Β είναι νικέλιο, κοβάλτιο, μαγγάνιο, και αλουμίνιο. Μερικές άλλες μπαταρίες κάνουν χρήση αρνητικών ηλεκτροδίων υψηλότερης χωρητικότητας, βασισμένα σε χημικές ενώσεις τύπου AB<sub>2</sub>, όπου Α είναι τιτάνιο ή βανάδιο και Β είναι ζirkόνιο ή νικέλιο, τροποποιημένο με χρώμιο, κοβάλτιο, σίδηρο και μαγγάνιο, εξαιτίας της μειωμένης διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Οι μπαταρίες NiMH αποτελούνται από έναν αλκαλικό ηλεκτρολύτη συνήθως υδροξείδιο καλίου. Η τάση φόρτισης είναι 1.4 -1.6 V/στοιχείο. Ένα πλήρως φορτισμένο στοιχείο έχει τάση 1.35-1.4 V και παρέχει ονομαστική τάση 1.2V κατά μέσο όρο στη διάρκεια της αποφόρτισης και μέχρι 1.0V, διότι περαιτέρω αποφόρτιση μπορεί να προκαλέσει μόνιμη ζημιά στο στοιχείο της μπαταρίας .

Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης επηρεάζεται κατά πολύ από τη θερμοκρασία στην οποία οι μπαταρίες είναι αποθηκευμένες με τις πιο ψυχρές θερμοκρασίες αποθήκευσης να έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερο ρυθμό αποφόρτισης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Από την άλλη τα υψηλότερης χωρητικότητας στοιχεία που υπάρχουν στην αγορά (> 2700 mAh) φαίνονται να έχουν τους υψηλότερους ρυθμούς αποφόρτισης. Όσον αφορά τις επιδράσεις των μπαταριών NiMH στο περιβάλλον, αυτές είναι τουλάχιστον πολύ πιο φιλικές από τις μπαταρίες NiCd που περιέχουν το δηλητηριώδες κάδμιο και άλλωστε υπάρχουν προγράμματα ανακύκλωσης τους. Το κόστος τους δεν είναι υψηλό και η τάση τους και η επίδοση τους είναι παρόμοιες με τις πρότυπες αλκαλικές μπαταρίες του ίδιου μεγέθους. Η ικανότητα τους να επαναφορτίζονται εκατοντάδες φορές οδηγεί στην εξοικονόμηση πόρων και χρημάτων.

Οι μπαταρίες NiMH είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για εφαρμογές υψηλής εντάσεως ρεύματος λόγω της χαμηλής τους εσωτερικής αντίστασης. Οι αλκαλικές μπαταρίες, οι οποίες έχουν περίπου 3000mAh χωρητικότητα σε απαιτήσεις χαμηλής έντασης ρεύματος (200mA), θα έχουν λιγότερο από 1000mAh χωρητικότητα σε απαίτηση ρεύματος 1000mA, για παράδειγμα.

Οι μπαταρίες NiMH από την άλλη μπορούν να διαχειριστούν αυτά τα υψηλής έντασης ρεύματα διατηρώντας την πλήρη χωρητικότητά τους. Επίσης στον κύκλο αποφόρτισης οι μπαταρίες NiMH, λόγω της μικρής τους εσωτερικής αντίστασης, μπορούν και τροφοδοτούν το σύστημα με σταθερή περίπου τάση μέχρι να αποφορτιστούν πλήρως. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι τα υδρίδια μετάλλων είναι σχετικά ασφαλή υλικά για την αποθήκευση ενέργειας και έτσι η προτεινόμενη λύση μέχρι τώρα στα ηλεκτρικά οχήματα, της χρήσης ηλεκτροκινητήρων/ηλεκτρογεννητριών σε συνδυασμό με μια συστοιχία μπαταριών NiMH, παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, όσον αφορά την ευκολία διαχείρισης των αποθεμάτων ενέργειας κάτω από καθεστώς σχετικά αυξημένης ασφάλειας.



**Σχήμα 3.9:** Μπαταρία NiMH

▪ **Μπαταρία Li-ion**

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια έντονη προσπάθεια ανάπτυξης και χρησιμοποίησης στο χώρο των ηλεκτρικών οχημάτων ενός άλλου είδους μπαταρίας, της μπαταρίας ιόντων Λιθίου (Lithium-ion). Οι Li-ion μπαταρίες είναι επαναφορτιζόμενες και χρησιμοποιούνται ευρέως στα κάθε είδους ηλεκτρονικά. Είναι από τις πιο διαδεδομένες μπαταρίες στα φορητά ηλεκτρονικά με μια από τις καλύτερες αναλογίες ενέργειας προς βάρος, και με αργό ρυθμό αποφόρτισης όταν δεν χρησιμοποιούνται. Αν δεν γίνει σωστή διαχείριση τους μπορεί να αποβούν επικίνδυνες και να μειωθεί η διάρκεια ζωής τους. Εξαιτίας της υψηλής τους ενεργειακής πυκνότητας, οι μπαταρίες Li-ion άρχισαν να γίνονται αντικείμενο έρευνας για τη χρήση τους στην ηλεκτρική αυτοκίνηση καθώς και στην βιομηχανία της άμυνας και του διαστήματος.

Μια αρκετά ανεπτυγμένη μπαταρία Li-ion είναι η μπαταρία στοιχείων πολυμερούς λιθίου (lithium polymer cell). Οι πρώτες μπαταρίες ιόντων λιθίου εμφανίστηκαν το 1991. Στο σχήμα 3-9 φαίνεται μία συστοιχία μπαταριών ιόντων-λιθίου.





**Σχήμα 3.10:** Μπαταρία Li-ion

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα μεγέθη και σχήματα αποτελεσματικά για την καλύτερη εξοικονόμηση χώρου της συσκευής που τροφοδοτούν. Είναι επίσης ελαφρύτερες από άλλες ισοδύναμες μπαταρίες. Η ενέργεια αποθηκεύεται σε αυτές τις μπαταρίες διαμέσου της κίνησης των ιόντων λιθίου. Το λίθιο είναι το τρίτο πιο ελαφρύ χημικό στοιχείο, προσφέροντας έτσι ένα συγκριτικό πλεονέκτημα σχετικά με άλλες μπαταρίες που χρησιμοποιούν βαρύτερα μέταλλα. Ένα ακόμα πλεονέκτημα που έχουν οι μπαταρίες Li-ion είναι η υψηλή τάση ανοιχτού κυκλώματος που επιτυγχάνουν σε σχέση με άλλες υδάτινες μπαταρίες όπως οι μπαταρίες μολύβδου, οι μπαταρίες Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου και οι μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου. Έχουν επίσης, χαμηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης.



**Σχήμα 3.11:** Μπαταρία Li-ion

Μοναδικό μειονέκτημα, ωστόσο, των μπαταριών Li-ion είναι ότι η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται και από το χρόνο που έχει περάσει από τη στιγμή της κατασκευής τους, ανεξάρτητα από το αν αυτές έχουν φορτιστεί και ανεξάρτητα από τον αριθμό των κύκλων φόρτισης/αποφόρτισης. Έτσι, μια παλιότερη χρονολογικά μπαταρία θα διαρκέσει λιγότερο απ' ό,τι μια καινούρια εξαιτίας της ηλικίας της και μόνο, κάτι που δεν συμβαίνει με τις άλλες μπαταρίες. Η μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας ξεκινά λοιπόν από τη στιγμή της κατασκευής της, ανεξάρτητα αν αυτή χρησιμοποιείται και εξαρτάται από τη θερμοκρασία αποθήκευσης.

Διαφορετικές θερμοκρασίες αποθήκευσης μπορούν να προκαλέσουν διαφορετικές μειώσεις της χωρητικότητας της. Έτσι σε πλήρη φόρτιση της μπαταρίας (100%) έχουμε: 6% μείωση στους 0 °C (32 °F), 20% μείωση στους 25 °C (77 °F) και 35% μείωση στους 40 °C (104 °F). Όταν το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας είναι στο 40%, αυτές οι τιμές μειώνονται σε 2%, 4%, 15% στους 0, 25 και 40 βαθμούς οC αντίστοιχα. Όσο η διάρκεια ζωής των μπαταριών μεγαλώνει, η εσωτερική τους αντίσταση αυξάνει. Αυτό προκαλεί πτώση της τάσης στους πόλους κάτω από το απαιτούμενο φορτίο, μειώνοντας το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να πάρει το σύστημα από αυτούς. Σταδιακά λοιπόν φτάνουν σε ένα σημείο όπου η μπαταρία δεν μπορεί να λειτουργήσει άλλο. Οι μπαταρίες Li-ion αντιμετωπίζουν επίσης μια κατάσταση που ονομάζεται “πλήρης αποφόρτιση” (deep discharge). Σε αυτήν την κατάσταση, η μπαταρία μπορεί να κάνει πολύ καιρό να επαναφορτιστεί ή μπορεί και να μην επαναφορτιστεί. Η “πλήρης αποφόρτιση” λαμβάνει χώρα μόνο όταν τα συστήματα ή οι συσκευές των μπαταριών αυτών μείνουν για πολύ καιρό αχρησιμοποίητα (συνήθως 2 ή περισσότερα χρόνια) ή όταν επαναφορτίζονται τόσο συχνά με αποτέλεσμα να μην μπορούν να διατηρήσουν το φορτίο τους. Κάθε στοιχείο μπαταρίας Li-ion ξεχωριστά δεν πρέπει να αποφορτίζετε κάτω από μια συγκεκριμένη τάση για την αποφυγή μη αναστρέψιμης ζημιάς. Επιπλέον, η μπαταρία δεν πρέπει να μένει πλήρως φορτισμένη για μεγάλα διαστήματα γιατί έτσι κινδυνεύει να οδηγηθεί στο φαινόμενο της “πλήρους αποφόρτισης” και να καταστραφεί.

Χημικά η μπαταρία Li-ion ενέχει πολλούς κινδύνους και έτσι ένα στοιχείο της μπαταρίας απαιτεί αρκετές υποχρεωτικές συσκευές ασφαλείας για να μπορεί να θεωρείται ασφαλές. Κάποιες από αυτές είναι : διαχωριστής κλεισίματος (για την υπερθέρμανση), στόμιο (για την αποκατάσταση της πίεσης) και θερμικός διακόπτης (για την υπερφόρτωση).

Οι συσκευές αυτές καταλαμβάνουν αρκετό χώρο μέσα στο στοιχείο της μπαταρίας και αυξάνουν αρκετά το επίπεδο αναξιοπιστίας της μπαταρίας. Ωστόσο ολοένα και νέες έρευνες διεξάγονται για τη βελτίωση της τεχνολογίας αυτών των μπαταριών που θα αυξάνει το επίπεδο ασφαλείας. Οι μπαταρίες Lithium-ion έχουν ονομαστική τάση ανοιχτού κυκλώματος 3.6 V και τυπική τιμή τάσης φόρτισης 4.2 V. Η διαδικασία φόρτισης γίνεται υπό σταθερή τάση. Στο παρελθόν, οι μπαταρίες αυτές δεν μπορούσαν να φορτιστούν γρήγορα και συνήθως χρειαζόνταν τουλάχιστον 2 ώρες για πλήρη φόρτιση. Τα σύγχρονα στοιχεία της μπαταρίας έχουν τη δυνατότητα πλήρους φόρτισης μέσα σε λιγότερο από 45 λεπτά. Μερικές μάλιστα φτάνουν το 90% της φόρτισης τους μέσα σε 10 λεπτά.

Η άνοδος ενός συμβατικού Li-ion στοιχείου κατασκευάζεται από άνθρακα, η κάθοδος είναι οξειδίο μετάλλου και ο ηλεκτρολύτης είναι άλας λιθίου σε οργανικό διαλύτη. Η χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα σε ένα στοιχείο Li-ion για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι :



Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα ιόντα λιθίου δεν οξειδώνονται. Αντιθέτως, σε μια μπαταρία Li-ion τα ιόντα λιθίου μεταφέρονται από και προς την κάθοδο ή την άνοδο με το μέταλλο Κοβάλτιο (Co) στην χημική ένωση  $\text{LiCoO}_2$  να οξειδώνεται από  $\text{Co}^{3+}$  σε  $\text{Co}^{4+}$  κατά τη φόρτιση και να ανάγεται από  $\text{Co}^{4+}$  σε  $\text{Co}^{3+}$  κατά την αποφόρτιση.

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, υπάρχει στην αγορά μια προοπτική αντικατάστασης των μπαταριών NiMH στα ηλεκτρικά οχήματα από τις μπαταρίες Li-ion. Υπάρχει η πεποίθηση πως η ανάπτυξη της τεχνολογίας που οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και ασφάλειας της μπαταρίας, σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους της, θα έχουν ως αποτέλεσμα τη χρήση της μπαταρίας Li-ion στα ηλεκτρικά συστήματα.

Επίσης, πολλοί μεγάλοι κατασκευαστές μπαταριών, επενδύουν αρκετά στην ανάπτυξη των μπαταριών Li-ion. Η εταιρεία CPI χρησιμοποιεί μια κάθοδο λιθίου βασισμένη στο μαγγάνιο αντί για το κοβάλτιο που χρησιμοποιείται στις μπαταρίες ιόντων λιθίου των φορητών υπολογιστών, των κινητών τηλεφώνων και των άλλων φορητών συσκευών. Το κοβάλτιο είναι ακριβότερο (\$40/kg) και σε περιπτώσεις υπερφόρτωσης και εσωτερικού βραχυκυκλώματος μπορεί να προκληθούν φωτιά και εκρήξεις. Αντιθέτως το υλικό του μαγγανίου προσφέρει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής κάτω από υψηλές θερμοκρασίες. Τα “επίπεδα” στοιχεία μπαταριών που έχει κατασκευάσει η CPI διαφέρουν από τα κυλινδρικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στις NiMH μπαταρίες, στο γεγονός ότι εξοικονομούν περισσότερο χώρο. Είναι επίσης λιγότερο ακριβές και λιγότερο επιρρεπείς στη διάβρωση, σύμφωνα με την εταιρεία. Το νέο αυτό σχέδιο, λόγω της μεγαλύτερης του επιφάνειας παρέχει μεγαλύτερη ισχύ ενώ ενισχύει περισσότερο τη θερμική διαχείριση. Από την άλλη, η ημιδιαπέρατη του μεμβράνη που χωρίζει τα ηλεκτρόδια είναι μηχανικά και θερμικά ανώτερη από τους διαχωριστές που χρησιμοποιούνται σε άλλα στοιχεία Li-ion, κάτι που αυξάνει την ασφάλεια της μπαταρίας. Διάφοροι έλεγχοι στο πολυμερές αλουμινένιο λεπτό φύλλο που προστατεύει το στοιχείο κατέδειξαν προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του στοιχείου, 15 έτη, σύμφωνα με την CPI. Η εταιρεία έχει επίσης αναπτύξει και πρόκειται να προμηθεύσει το σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας που βασίζεται σε μικροεπεξεργαστές.

### ***Συγκριτική αντιπαράθεση μεταξύ NiMH και Li-ion στα ηλεκτρικά Οχήματα***

Τα πρώτα ηλεκτρικά μοντέλα έκαναν χρήση μπαταριών μολύβδου διότι δεν υπήρχε εναλλακτική λύση. Χημικά αυτές οι μπαταρίες είναι φυσικά ελαφρύτερων υλικών και περιβαλλοντικά φιλικότερη από τα προηγούμενα συστήματα, τα βασισμένα στις μπαταρίες μολύβδου. Η μπαταρία αυτή αποτελείται από κυλινδρικά στοιχεία που συνδέονται στη σειρά για την επίτευξη αρκετών εκατοντάδων βολτ, ενώ είναι έτσι διατεταγμένα ώστε να επιτρέπουν την καλύτερη δυνατή ψύξη τους. Το σχήμα 3-11 δείχνει μια συστοιχία μπαταριών NiMH ενός ηλεκτρικού οχήματος. Η μπαταρία όπως φαίνεται τοποθετείται στο πίσω μέρος του αυτοκινήτου. Τα κυλινδρικά στοιχεία της μπαταρίας διακρίνονται με το πορτοκαλί χρώμα.



**Σχήμα 3.12:** Συστοιχία μπαταριών NiMH ενός ηλεκτρικού οχήματος.

Ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια για τη χρήση των μπαταριών σε ηλεκτρικές εφαρμογές είναι η μακροβιότητα τους. Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για τυπικά εμπορικά προϊόντα συνήθως διαρκούν δυο με τρία χρόνια. Αυτή η σύντομη διάρκεια δεν αποτελεί μεγάλο μειονέκτημα για τα κινητά τηλέφωνα, τους φορητούς υπολογιστές και τις ψηφιακές κάμερες διότι αυτές οι συσκευές γρήγορα αχρηστεύονται. Αντιθέτως, τα \$2.000 με \$3.000 για κάθε συστοιχία μπαταριών, που είναι και το κόστος αντικατάστασης της σε ένα ηλεκτρικό όχημα, αποτελούν μεγάλη δαπάνη. Οι περισσότερες μπαταρίες για τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν εγγύηση για οχτώ χρόνια. Για να πετύχουν την αξιοπιστία σε αυτό το μεγάλο χρονικό διάστημα, τα στοιχεία των μπαταριών βελτιστοποιούνται στον τομέα της μακροβιότητας και όχι στο μέγεθος και το βάρος, όπως στην περίπτωση των φορητών συσκευών.

Ένας από τους περιορισμούς των μπαταριών NiMH είναι η μέση απόδοση μετατροπής της ενέργειας. Αυτό εξηγεί γιατί η μπαταρία ζεσταίνεται αρκετά σε κάθε φόρτιση και αποφόρτιση. Η απόδοση φόρτισης είναι μέγιστη όταν η μπαταρία βρίσκεται σε επίπεδο φόρτισης 50-70%. Όταν βρίσκεται πάνω από το 70% του φορτίου της, η μπαταρία δεν μπορεί να απορροφήσει καλά το επιπλέον φορτίο και



έτσι η περισσότερη ενέργεια φόρτισης χάνεται με τη μορφή θερμότητας. Λειτουργώντας την μπαταρία σε μερικό φορτίο, υπάρχει η απαίτηση μεγαλύτερης μπαταρίας η οποία όμως μειώνει το λόγο ενέργειας προς βάρος καθώς και την απόδοση.

Οι Ιάπωνες κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν δοκιμάσει πολλά σενάρια για την κατάλληλη μπαταρία στο υβριδικό αυτοκίνητο, ακόμα και τις μπαταρίες μολύβδου. Στις μέρες μας η προσοχή έχει στραφεί στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Η μπαταρία λιθίου βασισμένη στο κοβάλτιο είναι μια από τις πρώτες εκδοχές στην οικογένεια αυτών των μπαταριών και προσφέρει μια πολύ υψηλή πυκνότητα ενέργειας. Οι κατασκευαστές των EV πειραματίζονται με τις εκδοχές του μαγγανίου και των φωσφορικών αλάτων στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Αυτά τα συστήματα προσφέρουν μια υπερβολικά χαμηλή εσωτερική αντίσταση, μεταφέρουν υψηλής εντάσεως ρεύματα και δέχονται γρήγορη φόρτιση. Αντιθέτως με την εκδοχή του κοβαλτίου, η αντίσταση παραμένει χαμηλή καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Για την απόδειξη αυτού του χαρακτηριστικού στις μπαταρίες ιόντων λιθίου βασισμένες στο μαγγάνιο, πραγματοποιήθηκε μια εργαστηριακή έρευνα που εφάρμοσε 30.000 κύκλους φόρτισης/αποφόρτισης σε μια περίοδο επτά χρόνων.

Οι μπαταρίες Li-ιον φαίνονται πολλά υποσχόμενες για τη χρήση τους στα ηλεκτρικά οχήματα αλλά χρειάζεται περαιτέρω έρευνα. Παρακάτω αναφέρονται κάποια από τα εμπόδια που πρέπει να αρθούν:

**Ανθεκτικότητα:** Ο αγοραστής απαιτεί μια εγγύηση των δέκα ετών και παραπάνω. Προς το παρόν, οι κατασκευαστές των μπαταριών για τα ηλεκτρικά οχήματα δίνουν εγγύηση οχτώ ετών για τις NiMH. Η μακροβιότητα των lithium-ιον μπαταριών δεν έχει αποδειχτεί ακόμα και η επίτευξη ακόμα και των οχτώ ετών αποτελεί πρόκληση.

**Κόστος:** Αν το κόστος αντικατάστασης των \$2,000 ως \$3,000 μιας μπαταρίας Νικελίου – Υδριδίου Μετάλλου είναι απαγορευτικό, το αντίστοιχο κόστος με τις μπαταρίες Li-ιον θα είναι υψηλότερο. Αυτά τα συστήματα είναι περισσότερο δαπανηρά για να παραχθούν αλλά έχουν τη δυνατότητα μείωσης της τιμής με βελτιωμένες μεθόδους παραγωγής. Οι μπαταρίες NiMH έχουν φτάσει το χαμηλότερο δυνατό κόστος το οποίο δεν μπορεί να μειωθεί λόγω των υψηλών τιμών του νικελίου.

**Ασφάλεια:** Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου που βασίζονται στο μαγγάνιο και στα φωσφορικά άλατα είναι περισσότερο ασφαλείς από τις αντίστοιχες του κοβαλτίου.

Το κοβάλτιο γίνεται θερμικά ασταθές σε μια μέση θερμοκρασία των 150°C (300°F). Τα στοιχεία από μαγγάνιο και φωσφορικά άλατα μπορούν να φτάσουν τους 250°C (480°F) πριν γίνουν επικίνδυνα. Εκτός από την αυξημένη θερμική σταθερότητα, η μπαταρία απαιτεί ακριβά κυκλώματα προστασίας που θα επιβλέπουν τις τάσεις των στοιχείων και θα περιορίζουν τις διαρροές ρεύματος. Τα κυκλώματα προστασίας πρέπει να προστατεύουν σε περίπτωση αστοχίας του στοιχείου που συμβαίνει φυσικά με την ηλικία της μπαταρίας.

**Διαθεσιμότητα:** Οι κατασκευαστές των στοιχείων μαγγανίου και φωσφορικών αλάτων δύσκολα ίσως να μπορέσουν να αντεπεξέλθουν στη ζήτηση. Μια ραγδαία αύξηση στη χρήση λιθίου στις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων, θα είχε αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής. Με 7 kg (15 lb) λιθίου ανά μπαταρία, τίθεται θέμα έλλειψης των ακατέργαστων υλικών. Οι περισσότερες γνωστές διαθέσιμες ποσότητες βρίσκονται στην Βόρεια Αμερική, στην Αργεντινή, στη Χιλή και στη Βολιβία. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου σε λίγο καιρό θα αντικαταστήσουν τις NiMH καθώς η τεχνολογία των πρώτων έχει προχωρήσει κατά πολύ. Με βάση δεδομένα και μετρήσεις παρατίθεται πιο κάτω

συγκριτικός πίνακας (πίνακας 1) με τις ιδιότητες των δυο ειδών μπαταριών, των NiMH και των Li-ion.

### 3.2 Σύστημα φόρτισης μπαταριών

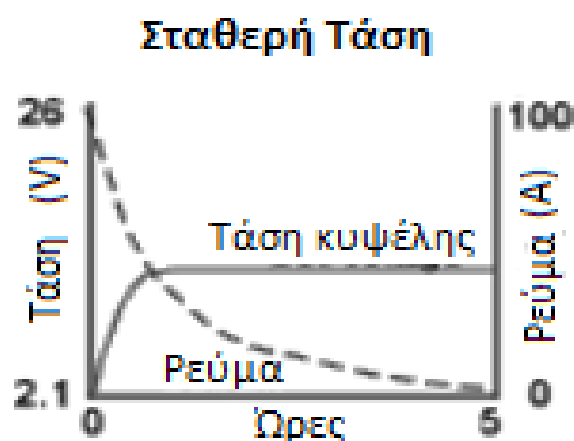
Το σύστημα φόρτισης των μπαταριών του ηλεκτρικού αυτοκινήτου ελέγχεται από το σύστημα διαχείρισης μπαταρίας (Battery Management System – BMS). Μέσω των δεδομένων του συστήματος διαχείρισης, εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες

- Συλλέγει τα δεδομένα τάσης, ρεύματος και θερμοκρασίας με αισθητήρες.
- Προσδιορίζει τα επίπεδα φόρτισης (State of Charge – SoC)
- Καθορίζει τη μέθοδο φόρτισης της μπαταρίας
- Διασφαλίζει βέλτιστη φόρτιση μπαταρίας φροντίζοντας για την ισορροπημένη φόρτιση όλων των στοιχείων της μπαταρίας
- Αποτρέπει την υπερφόρτιση ή την υπερεκφόρτιση της μπαταρίας

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι φόρτισης μπαταριών.

#### Φόρτιση σταθερής τάσης

Ο κύκλος φόρτισης ξεκινά με μεταβλητής τιμής ρεύμα έως ότου η τάση να φτάσει ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Τότε, μεταβαίνει σε φόρτιση σταθερής τάσης.



Σχήμα 3.13: Φόρτιση σταθερής τάσης

#### Φόρτιση σταθερού ρεύματος

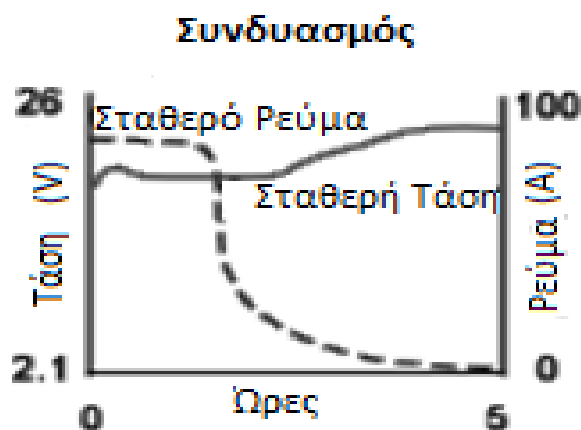
Ο κύκλος φόρτισης γίνεται με σταθερό ρεύμα ανεξαρτήτως της τιμής της τάσης.



Σχήμα 3.14: Φόρτιση σταθερού ρεύματος

### Συνδυαστική φόρτιση

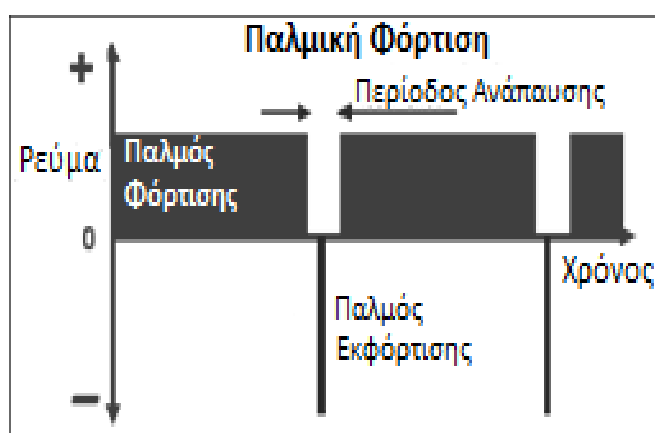
Ο κύκλος φόρτισης ξεκινά με σταθερό ρεύμα μεγάλης τιμής έως ότου η τάση να φτάσει ένα προκαθορισμένο επίπεδο. Τότε, μεταβαίνει σε φόρτιση με έλεγχο σταθερής τάσης.



Σχήμα 3.15: Συνδυαστική φόρτιση

### Παλμική φόρτιση

Η φόρτιση πραγματοποιείται με τροφοδότηση της μπαταρίας με σταθερού πλάτους και μεταβλητού εύρους παλμούς ρεύματος. Το εύρος των παλμών ελέγχεται για την επίτευξη της επιθυμητής μέσης τιμής του ρεύματος φόρτισης.



Σχήμα 3.16: Παλμική φόρτιση

### Τυχαία φόρτιση (Random Charging)

Η τυχαία φόρτιση προκύπτει από τις ιδιαίτερες συνθήκες διαθεσιμότητας της τροφοδοτούμενης ενέργειας που συναντώνται συνήθως στα υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα. Για παράδειγμα, ο φορτιστής πρέπει να μπορεί να τροφοδοτήσει την μπαταρία κατά την τυχαία στιγμή πέδησης, με τη μεγάλη στιγμιαία ισχύ που γεννάται από την πέδηση. Για τις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται «έξυπνοι» φορτιστές οι οποίοι με χρήση μικροεπεξεργαστών αξιολογούν τις εκάστοτε συνθήκες και υιοθετούν την κατάλληλη μέθοδο φόρτισης

### Διατάξεις και σενάρια φόρτισης

Οι συσσωρευτές έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια και να την αποδίδουν στο ηλεκτροκινητήριο σύστημα. Για την φόρτισή τους απαιτείται ειδική διάταξη η οποία να μετατρέπει μια οποιαδήποτε μορφή ενέργειας σε ηλεκτρική υπό μορφή συνεχούς τάσεως. Η έρευνα που γίνεται πάνω στο αντικείμενο αυτό έχει καταδείξει διάφορες μεθόδους με τις οποίες μπορούμε να φορτίσουμε όσο το δυνατόν πιο εύκολα και πιο αποδοτικά τους συσσωρευτές.

Από τις διάφορες στρατηγικές φόρτισης που έχουν προταθεί ξεχωρίζουμε τις ακόλουθες:

- **Οικιακή φόρτιση:** Πρόκειται για τον πιο διαδεδομένο τρόπο φόρτισης μιας και ένα όχημα βρίσκεται πολλές ώρες της ημέρας κοντά στο σπίτι του χρήστη. Η διαδικασία αυτή έχει ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα το ότι η φόρτιση γίνεται από μονοφασική παροχή και συνήθως νυκτερινές ώρες. Έτσι έχουμε χαμηλότερο τιμολόγιο κατανάλωσης. Με τον τρόπο αυτό η φόρτιση διαρκεί περίπου 6-8 ώρες ενώ το μέγιστο ρεύμα της φόρτισης δεν ξεπερνάει τα 15 A. Σύμφωνα με το σενάριο αυτό η διάταξη βρίσκεται εντός του οχήματος (on-board) και συνεπώς πρέπει να έχει χαμηλό βάρος (<5 kgr).
- **Φόρτιση σε σταθμούς παρκαρίσματος (Park and Charge-PAC):** Μια εναλλακτική μέθοδος φόρτισης είναι σε σταθμούς παρκαρίσματος όπου το όχημα θα φορτίζεται όταν είναι παρκαρισμένο. Οι προδιαγραφές των συσκευών φόρτισης για την περίπτωση αυτή προβλέπουν τριφασική τροφοδοσία, ενώ ο φορτιστής θα βρίσκεται εκτός οχήματος (off-board). Μέσα στις δυνατότητες της διάταξης φόρτισης παρκαρίσματος περιέχεται και η λειτουργία “ταχυφόρτισης”. Πρόκειται για την περίπτωση που η πλήρης φόρτιση των συσσωρευτών γίνεται με μεγάλο ρεύμα (>100A), και διαρκεί λίγο (περί τα 20 λεπτά). Ο τρόπος αυτός συνιστάται κυρίως σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης, λόγω της μεγάλης καταπόνησης των συσσωρευτών. Επίσης μια σημαντική δυνατότητα των διατάξεων αυτών είναι η δυνατότητα εξισωτικής φόρτισης, η οποία συνιστάται στο ξεχωριστό έλεγχο της τάσης των εν σειρά συνδεδεμένων στοιχείων. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια ισορροπημένη φόρτιση των στοιχείων, με άμεσο αποτέλεσμα την εξασφάλιση μεγαλύτερης διάρκειας ζωής τους.
- **Ανάκτηση ενέργειας:** Ένα αρκετά σημαντικό σενάριο φόρτισης των συσσωρευτών είναι η φόρτιση κατά την ανάκτηση ενέργειας, που συμβαίνει όταν το όχημα επιβραδύνει ή κινείται σε κατηφόρα. Στην περίπτωση αυτή ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπεται σε γεννήτρια λαμβάνοντας μέρος της κινητικής ενέργειας του οχήματος, την οποία μετατρέπει σε ηλεκτρική φορτίζοντας τους συσσωρευτές. Τα ποσά της ενέργειας που μπορούν να εξοικονομηθούν με την ανάκτηση ενέργειας είναι μεγάλα αλλά λόγω των μεγάλων ρευμάτων που εμφανίζονται, οι συσσωρευτές υφίστανται σημαντική καταπόνηση.
- **Φόρτιση από ηλιακή ακτινοβολία:** Σύμφωνα με το σενάριο αυτό η φόρτιση γίνεται μέσω φωτοβολταϊκών κυττάρων τα οποία είναι τοποθετημένα επί της οροφής του οχήματος ή και σε στέγαστρα σε πάρκινγκ. Η φόρτιση είναι πολύ εύκολη αφού δεν χρειάζεται κάποια εξωτερική παρέμβαση, όμως ο χαμηλός βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών κυττάρων, το υψηλό κόστος καθώς και ο κίνδυνος της φθοράς που διατρέχουν είναι πολύ σημαντικά μειονεκτήματα

που εμποδίζουν την εξάπλωσή τους στη χρήση ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Ένα πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η φόρτιση μπορεί να γίνεται είτε κατά την κίνηση είτε σε στάση.

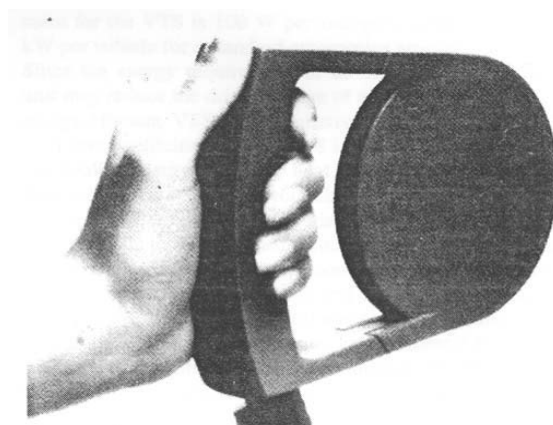
- **Φόρτιση με Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος:** Πρόκειται για ένα αρκετά διαδεδομένο σενάριο το οποίο εφαρμόζεται στην περίπτωση των Σειριακών Υβριδικών Οχημάτων. Στην περίπτωση αυτή, ένας βενζινοκινητήρας περιστρέφει μια γεννήτρια η οποία φορτίζει τους συσσωρευτές. Η φόρτιση μπορεί να γίνεται είτε κατά την κίνηση είτε σε στάση όπως και πριν. Το πλεονέκτημα σε σχέση με ένα καθαρά βενζινοκίνητο όχημα είναι το γεγονός ότι ο βενζινοκινητήρας λειτουργεί πάντα στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας με άμεσο αποτέλεσμα τη βέλτιστη απόδοση και τη χαμηλότερη εκπομπή ρύπων.
- **Φόρτιση κατά την κίνηση (Move and Charge-MAC):** Πρόκειται για ένα σενάριο σύμφωνα με το οποίο τα οχήματα θα κινούνται σε δρόμους που θα έχουν ειδικές ηλεκτροφόρες ράγες επί του εδάφους. Το όχημα μέσω δύο ειδικών ακροδεκτών θα παίρνει ηλεκτρική ενέργεια τόσο για κίνηση όσο και για φόρτιση. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τις ράγες στο όχημα θα γίνεται είτε με γαλβανική σύνδεση είτε επαγωγικά. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι φυσικά ότι η φόρτιση μπορεί να γίνεται κατά την κίνηση εξοικονομώντας χρόνο αλλά απαιτείται ειδική κατασκευή δρόμων.

Πρέπει εδώ να αναφέρουμε ότι τα παραπάνω σενάρια φόρτισης μπορούν να συνυπάρχουν σε ένα και μόνο όχημα.

### **Νέες τεχνολογίες για τη φόρτιση των συσσωρευτών**

Ανάμεσα στις νέες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για τη φόρτιση των συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων διακρίνουμε δύο σημαντικές καινοτομίες.

Η πρώτη ονομάζεται “Επαγωγική Φόρτιση” και ουσιαστικά δεν είναι τίποτα άλλο από την αντικατάσταση της κλασικής ηλεκτρικής σύνδεσης του φορτιστή με το δίκτυο μέσω πρίζας, με ειδική διάταξη που μεταφέρει την ενέργεια επαγωγικά. Η διάταξη αυτή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα είναι ουσιαστικά το πρωτεύον τύλιγμα ενός μετασχηματιστή το οποίο ενώ παράλληλα παρέχει ασφάλεια έναντι ηλεκτροπληξίας περιβάλλεται από ειδικό προστατευτικό κάλυμμα. Τα βασικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η διάταξη αυτή είναι ικανότητα λειτουργίας κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες (π.χ. νερό, πάγος, σκόνη)

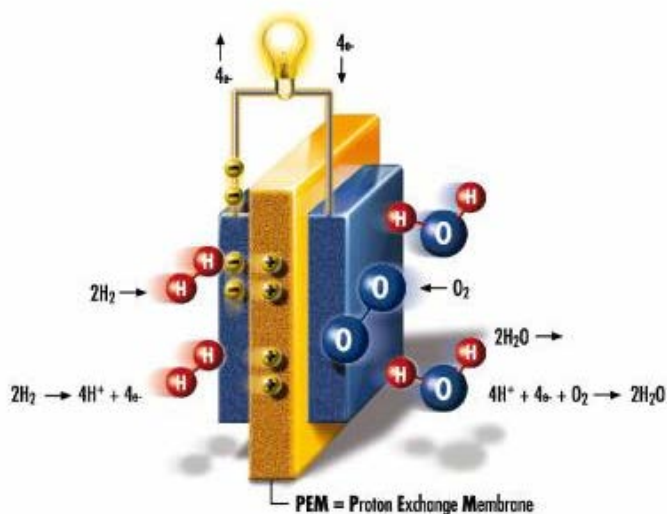


### Σχήμα 3.17: Επαγωγική Φόρτιση

#### 3.2 Κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells)

Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως καύσιμο. Αποτελούν ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός αποδίδεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος.

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του τύπου του ηλεκτρολύτη τον οποίο χρησιμοποιούν. Το πιο γνωστό είδος είναι η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίου (PEM). Μεταξύ αυτής της μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη. Το υδρογόνο τροφοδοτεί το ηλεκτρόδιο της ανόδου της κυψέλης, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο. Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την κάθοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους μέσω αυτής. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο και παράγεται νερό. Την ομογενή διάχυση του οξυγόνου στον καταλύτη εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου. Ο καταλύτης αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του. Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας.



Σχήμα 3.18: Αναπαράσταση κυψέλης καυσίμου

Οι κυψέλες υδρογόνου παρουσιάζουν μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης από τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές. Όμως, το γεγονός ότι το υδρογόνο αποθηκεύεται υπό πίεση πριν την τροφοδότηση του στις κυψέλες δημιουργεί θέματα ασφαλείας, καθώς υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης. Η μειωμένη ασφάλεια τους, αποτρέπει την γενικευμένη χρήση των κυψελών καυσίμου για τις ανάγκες τροφοδοσίας οχημάτων.

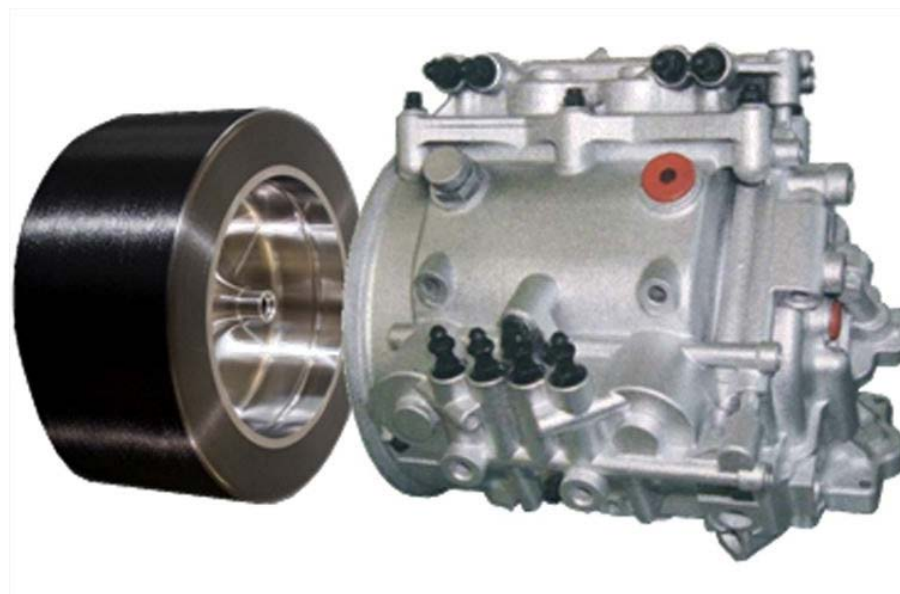
### 3.3 Σφόνδυλοι

Το τελευταίο αυτό είδος αποθηκευτικού μέσου ενέργειας δεν κάνει χρήση του ηλεκτρισμού. Η αποθήκευση γίνεται με τη μορφή μηχανικής ενέργειας. Ο σφόνδυλος αποθηκεύει ενέργεια που ορίζεται από τον τύπο:

$$E_k = 1/2 \cdot J \cdot \omega^2$$

όπου,  $J$  η ροπή αδρανείας του και  $\omega$  η ταχύτητα περιστροφής του.

Η κινητική ενέργεια του σφονδύλου απελευθερώνεται κατά τη μείωση της ταχύτητάς του. Για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας προσαρμόζεται στον άξονα του σφονδύλου, με κατάλληλο σύστημα μετάδοσης, μία ηλεκτρική μηχανή η οποία λειτουργεί ως γεννήτρια. Με αυτό τον τρόπο η γεννήτρια μπορεί να φορτίσει κάποιες μπαταρίες μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική (regenerative brake). Από την άλλη μεριά για να αποθηκευτεί ενέργεια στο σφόνδυλο θα πρέπει να έχουμε παροχή ηλεκτρικής ισχύος και λειτουργία της ηλεκτρικής μηχανής ως κινητήρα ή σύνδεση του σφονδύλου με κάποιον άλλον άξονα κίνησης για απευθείας αποθήκευση κινητικής ενέργειας. Σε μία παραλλαγή, ο σφόνδυλος μπορεί να φέρει μαγνήτες ενσωματωμένους στη μάζα του και περιστρεφόμενος γύρω από ένα τύλιγμα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.



**Σχήμα 3.19:** Διάταξη σφονδύλου για την αποθήκευση ενέργειας [blogs.motortrend.com]



### 3.4 Υπερπυκνωτές

Επίσης μια σημαντική καινοτομία στον τομέα αυτό είναι η χρήση “Υπερπυκνωτών” (Ultracapacitors). Οι υπερπυκνωτές (supercapacitor) χαρακτηρίζονται από την ίδια αρχή λειτουργίας με τους συνήθεις πυκνωτές, αλλά έχουν τη δυνατότητα φόρτισης και εκφόρτισης σε πολύ μικρούς χρόνους και παρέχουν μεγάλη χωρητικότητα σε μικρό σχετικά όγκο. Αποτελούνται από δύο στρώσεις υλικού, έχοντας δύο ηλεκτρόδια άνθρακα τοποθετημένα σε οργανικό ηλεκτρολύτη.



**Σχήμα 3.20:** Υπερπυκνωτές τοποθετημένοι σε όχημα

Η ενεργειακή πυκνότητα ενός υπερπυκνωτή κυμαίνεται από 1 έως 10 Wh/kg. Αυτή η τιμή είναι πολύ μεγαλύτερη από ένα κοινό πυκνωτή, αλλά είναι δέκα φορές μικρότερη από μια μπαταρία νικελίου - μετάλλου υδριδίου. Η χωρητικότητά τους μπορεί να φτάσει μέχρι μερικά Farad, ενώ ο χρόνος φόρτισής τους είναι μερικά δευτερόλεπτα. Κατά τη διάρκεια φόρτισης ενός άδειου υπερπυκνωτή απαιτείται σύστημα περιορισμού του ρεύματος φόρτισης, διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος καταστροφής. Σε αντίθεση με τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές, οι υπερπυκνωτές δεν διατρέχουν κίνδυνο λόγω υπερφόρτισης. Επίσης, έχουν μεγάλο χρόνο ζωής (10 – 12 χρόνια), αντέχουν πολλούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης (500000 κύκλους) και δεν εμπεριέχουν τοξικά στοιχεία. Ως μειονεκτήματα καταγράφονται το υψηλό ποσοστό αυτοεκφόρτισης, το οποίο κυμαίνεται στο 50 % ανά μήνα, και τέλος, το υψηλό κόστος. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τους υπερπυκνωτές ιδανικούς για χρήση σε υβριδικά οχήματα. Κατά την εκκίνηση, όπου απαιτείται άμεση παροχή ισχύος, οι υπερπυκνωτές μπορούν να προσφέρουν το υψηλό ρεύμα τροφοδοσίας της ηλεκτρικής μηχανής - κινητήρα. Οι υπερπυκνωτές δε μπορούν να τροφοδοτούν σε μόνιμη βάση τον ηλεκτροκινητήρα και για αυτό το λόγο τοποθετούνται παράλληλα με τις μπαταρίες του οχήματος. Από την άλλη μεριά, κατά τις επιβραδύνσεις και ειδικότερα σε περιπτώσεις απότομου φρεναρίσματος, επιτυγχάνεται αποθήκευση μεγαλύτερου ποσού ενέργειας. Το ρεύμα που επιστρέφει από την ηλεκτρική μηχανή - γεννήτρια εμπεριέχει αιχμές (bursts), οι οποίες δε μπορούν να αξιοποιηθούν από τους ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές και σε αυτή την περίπτωση αναλαμβάνουν οι υπερπυκνωτές την αποθήκευση αυτής της ενέργειας.

Μελλοντικώς, αναμένεται η καθιέρωσή τους σε κάθε υβριδικό όχημα καθώς έτσι βελτιστοποιείται η διαχείριση της ενέργειας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Μία ηλεκτρική μηχανή είναι ένας μετατροπέας ενέργειας, καθώς από ηλεκτρική ενέργεια παράγει κίνηση στη λειτουργία ως κινητήρας και το αντίστροφο όταν λειτουργεί ως γεννήτρια. Αποτελεί την καρδιά κινητηρίων συστημάτων και πάνω στα χαρακτηριστικά του βασίζεται ο όλος σχεδιασμός του συστήματος.

Υπάρχουν διάφορα είδη κινητήρων, οι οποίοι βρίσκουν εφαρμογή σε οχήματα αλλά και γενικότερα σε εφαρμογές που απαιτείται η δημιουργία κίνησης. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην ύπαρξη της δύναμης Lorentz, η οποία δημιουργεί δυνάμεις μεταξύ αγωγών που διαρρέονται από ρεύμα. Με την κατάλληλη κατασκευή των αγωγών, που στις περισσότερες μηχανές γίνεται κυκλική και με την τροφοδότηση τους με τα κατάλληλα ηλεκτρικά μεγέθη, δημιουργείται κίνηση, συγκεκριμένα περιστροφική, η οποία μπορεί να εκμεταλλευθεί για τους σκοπούς της εκάστοτε εφαρμογής.

Στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα συναντάμε κινητήρες συνεχούς ρεύματος και κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Από τους κατασκευαστές υπάρχουν διαφορετικές απόψεις σχετικά με το καταλληλότερο είδος κινητήρα.

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι οι πρώτοι κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στην ηλεκτροκίνηση, λόγω αδυναμίας μετατροπής του συνεχούς ρεύματος του συσσωρευτή σε εναλλασσόμενο.

Σήμερα τα ηλεκτρονικά ισχύος επιτρέπουν τέτοια μετατροπή αλλά εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ευρύτατα οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, λόγω της εύκολης ρύθμισης της ταχύτητας και της σταθερής ροπής και ισχύος για ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων. Χρειάζονται όμως τακτική συντήρηση και καλύτερη ψύξη λόγω του συλλέκτη, έχουν μεγάλο βάρος και όγκο, αυξημένο κόστος και μικρή απόδοση σε σχέση με τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, που παρουσιάζουν επιπλέον και καλύτερη προσαρμογή με το σύστημα μετάδοσης κίνησης.



**Σχήμα 4.1:** Κινητήρας Tesla S (πηγή Tesla motors)

## ➤ Είδη ηλεκτρικών κινητήρων αυτοκίνησης

### α. Συνεχούς ρεύματος

1. Ξένης διέγερσης
2. Διέγερσης σειράς
3. Παράλληλης διέγερσης
4. Σύνθετης διέγερσης

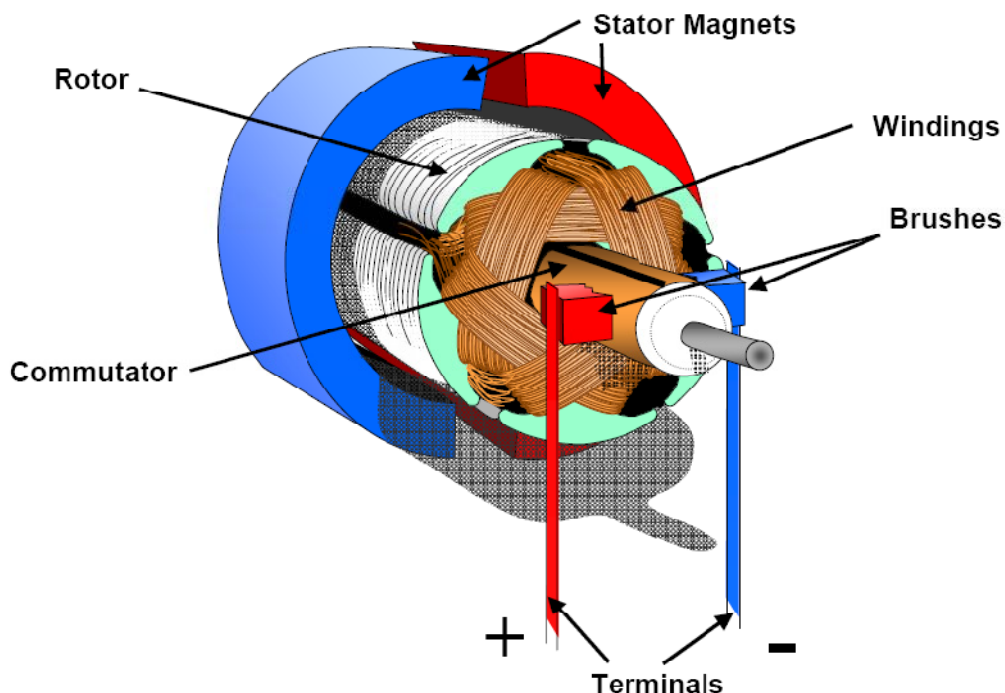
### β. Εναλλασσόμενου ρεύματος

1. Σύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες
2. Ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες
3. Κινητήρες με συλλέκτη

Τα είδη κινητήρων είναι σαφώς καθορισμένα και περιγράφονται ακολούθως.

### 4.1 Μηχανές συνεχούς ρεύματος

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος τροφοδοτούνται, όπως δηλώνει και η ονομασία τους, με συνεχή μεγέθη. Διακρίνεται σε αυτές μία ακίνητη κατασκευή, ο στάτης που έχει κυκλική μορφή και ο σκοπός του είναι να δημιουργήσει μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του. Εκεί τοποθετείται μία κατασκευή που έχει την ευχέρεια περιστροφής, ο ρότορας, ο οποίος διαρρέεται από ρεύμα και αλληλεπιδρώντας με το πεδίο του στάτη αποκτά κινητική ενέργεια. Η παροχή τροφοδοσίας στο ρότορα γίνεται μέσω ενώσεων που ονομάζονται ψήκτρες. Γενικά ο έλεγχος των μηχανών συνεχούς ρεύματος είναι απλούστερος, και γίνεται με καθορισμό του παρεχόμενου ρεύματος



Σχήμα 4.2: Μηχανή συνεχούς ρεύματος

#### ▪ Κατασκευαστικά στοιχεία στάτη

Ο στάτης της μηχανής συνεχούς ρεύματος δύναται να έχει μια εκ των δύο μορφών:

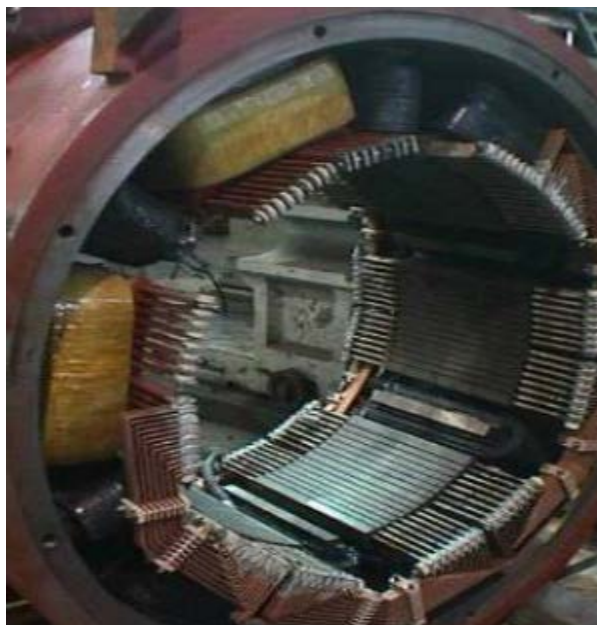
- Στάτης με μόνιμο μαγνήτη
- Στάτης με τύλιγμα διέγερσης

Στην πρώτη περίπτωση το μαγνητικό στο εσωτερικό του στάτη είναι μόνιμο λόγω της ύπαρξης μαγνητικού υλικού. Η λύση αυτή απαλλάσσει τη μηχανή από την ανάγκη τροφοδοσίας στο στάτη, είναι όμως περισσότερο δαπανηρή, ενώ υπάρχει κίνδυνος

απομαγνητισμού του μαγνήτη, οπότε και θα πρέπει η μηχανή να επισκευαστεί. Τίθεται επίσης θέμα με την προστασία του περιβάλλοντος, καθώς τα υλικά του μαγνήτη είναι επιβλαβή με την απόθεσή τους. Η χρήση μόνιμων μαγνητών είναι, πάραυτα, περισσότερο διαδεδομένη.

Στη δεύτερη περίπτωση το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από τη ροή ρευμάτων στα κατάλληλα διαμορφωμένα τυλίγματα του στάτη. Τα τυλίγματα αυτά εγκαθίστανται γύρω από ειδικές κατασκευές επί του στάτη που ονομάζονται πόλοι.

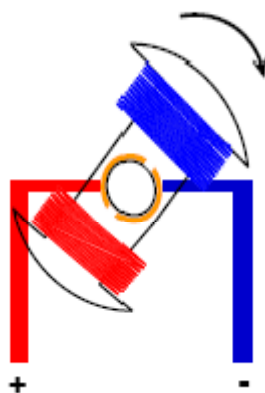
Συναντώνται μηχανές με διάφορους αριθμούς πόλων, πάντα όμως ο αριθμός τους είναι ζυγός.



**Σχήμα 4.3:** Κατασκευή στάτη μηχανής συνεχούς ρεύματος με τύλιγμα διέγερσης

▪ **Κατασκευαστικά στοιχεία δρομέα**

Ο δρομέας της μηχανής συνεχούς αποτελείται από φύλλα σιδηρομαγνητικού υλικού που φέρουν επάνω τους τυλίγματα. Τα τυλίγματα αυτά όταν διαρρέονται από ρεύμα από την πηγή αλληλεπιδρούν με το μαγνητικό πεδίο του στάτη και έλκονται από τον αντίστοιχο μαγνητικό πόλο του. Για να μην «κλειδώσει» η μηχανή σε μία συγκεκριμένη θέση, όταν τα τυλίγματα του δρομέα φτάσουν στο κοντινότερο σημείο των πόλων που έλκονται, γίνεται αντιστροφή των ρευμάτων μέσα στα τυλίγματα αξιοποιώντας τις ψήκτρες.



**Σχήμα 4.4:** Δρομέας μηχανής συνεχούς ρεύματος

### ▪ Ψύκτρες

Οι ψύκτρες έχουν ως σκοπό τη σύνδεση του κινούμενου ρότορα με τους αγωγούς τροφοδοσίας. Κατασκευάζονται από κάρβουνο και φθείρονται με τη λειτουργία της μηχανής, γεγονός που προσδίδει την ανάγκη για συντήρηση τη μηχανής.



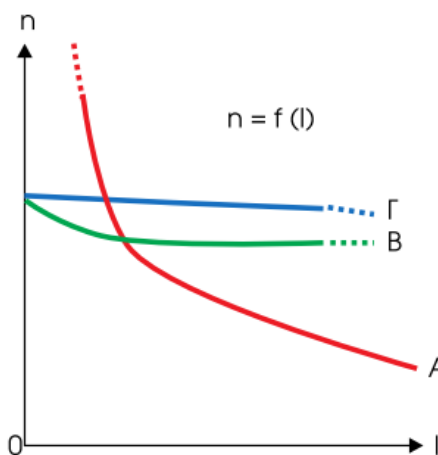
Σχήμα 4.5: Ψύκτρες ηλεκτρικών κινητήρων

### ▪ Είδη μηχανών συνεχούς ρεύματος και λειτουργία

Πέρα από τη μηχανή με μόνιμους μαγνήτες, οι άλλοι τύποι μηχανών συνεχούς απαιτούν τροφοδοσία και στο στάτη και στο δρομέα. Προκύπτουν, οπότε, διάφορες συνδεσμολογίες ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των τυλιγμάτων των δύο μερών. Αυτές είναι:

- Μηχανή ξένης διέγερσης
- Μηχανή με τύλιγμα σε σειρά
- Μηχανή παράλληλης διέγερσης
- Μηχανή με συνδυασμό διέγερσης (παράλληλα και εν σειρά)

Τώρα θα προσπαθήσουμε μέσα από τη σύγκριση των χαρακτηριστικών τους να βγάλουμε συμπεράσματα όσον αφορά στην καταλληλότητα τους για κινητήρες ηλεκτρικών αυτοκινήτων.



#### Σχ. 6.5:

Συγκριτικό διάγραμμα χαρακτηριστικής (φόρτισης) της μεταβολής των στροφών, σε συνάρτηση με τη μεταβολή του ρεύματος φόρτισης.

A = Χαρακτηριστική φόρτισης κινητήρα διέγερσης σειράς.

B = Χαρακτηριστική φόρτισης κινητήρα σύνθετης διέγερσης (Αθρ.).

Γ = Χαρακτηριστική φόρτισης κινητήρα παράλληλης διέγερσης και ξένης.

Όταν το φορτίο του κινητήρα μειώνεται η ταχύτητα του αυξάνεται. Η αύξηση αυτή εξαρτάται από τον τύπο του κινητήρα. Στους κινητήρες παράλληλης διέγερσης η κλίση της συνάρτησης  $n=f(I)$  είναι περίπου 8 % και στους κινητήρες σύνθετης αθροιστικής διέγερσης 15-20%. Στους κινητήρες σειράς έχουμε πολύ ταχεία αύξηση όπως φαίνεται και στο σχήμα. Για να καταλάβουμε τι συμβαίνει ας εξετάσουμε τη σχέση ταχύτητας- φορτίου.

$$n = (U - I_t R_t) / K \Phi$$

όπου n: ταχύτητα (σε στρ/min)  
 u: τάση τροφοδοσίας σε (V)  
 I<sub>T</sub>: ρεύμα τυμπάνου (σε A)  
 R<sub>T</sub>: αντίσταση τυμπάνου (σε Ω)  
 K: σταθερά κατασκευής μηχανής  
 Φ: μαγνητική ροή (σε Vsec)

Στους **κινητήρες παράλληλης διέγερσης** η μείωση του ρεύματος οδηγεί σε αύξηση στροφών. Η μαγνητική ροή Φ εξαρτάται ελάχιστα από το ρεύμα που απορροφά το τύμπανο I<sub>t</sub> και η πτώση τάσης στο τύμπανο I<sub>t</sub>R<sub>t</sub>, δεν ξεπερνά το 5 % της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι κινητήρες παράλληλης διέγερσης (όπως φαίνεται από την καμπύλη Γ του σχήματος) να συμπεριφέρονται σαν κινητήρες σχεδόν σταθερής ταχύτητας στις μεταβολές του ρεύματος φόρτισης.

Οι **κινητήρες ξένης διέγερσης** ακολουθούν τις ίδιες περίπου χαρακτηριστικές και αφού το τύλιγμα διέγερσης έχει ανεξάρτητη τροφοδότηση, δεν επηρεάζεται καθόλου η μαγνητική ροή Φ από το ρεύμα τυμπάνου I<sub>t</sub>.

Στους **κινητήρες διέγερσης σειράς** η μείωση του ρεύματος τυμπάνου συνεπάγεται και μείωση της μαγνητικής ροής Φ γιατί το ρεύμα τυμπάνου είναι και ρεύμα διέγερσης Φ=K\*I<sub>t</sub> με αποτέλεσμα τη μεγάλη αύξηση των στροφών. Όπως φαίνεται από την καμπύλη Α του σχήματος κατά την αφόρτιση λειτουργία ή κατά τη λειτουργία με μικρό φορτίο, ο κινητήρας διέγερσης σειράς επιταχύνεται απεριόριστα μέχρι τη μηχανική καταστροφή του.

Ο **κινητήρας σύνθετης αθροιστικής διέγερσης** όπως φαίνεται και στην καμπύλη Β του σχήματος είναι μια ενδιάμεση κατάσταση, γιατί διαθέτει και τύλιγμα σειράς και παράλληλο τύλιγμα. Ο κινητήρας παράλληλης και ξένης διέγερσης είναι κατάλληλος να κινεί μηχανήματα που απαιτούν ελάχιστη μεταβολή στροφών, ενώ ο κινητήρας διέγερσης σειράς είναι κατάλληλος για μηχανήματα που χρειάζονται μεγάλο εύρος στροφών.

Ενδιαφέρον μέγεθος για τους κινητήρες είναι η ροπή στρέψης που αναπτύσσουν. Θα εξετάσουμε τη μεταβολή της ροπής σε συνάρτηση με το φορτίο του κινητήρα

$$T = K \Phi I_t$$

Όπου T: ροπή (σε Nm)  
 K: σταθερά κατασκευής μηχανής  
 Φ: μαγνητική ροή (V.sec)  
 I<sub>t</sub>: ρεύμα τυμπάνου (σε A)

Στους κινητήρες παράλληλης και ξένης διέγερσης, εφ' όσον η μαγνητική ροή Φ είναι σταθερή η ροπή T μεταβάλλεται γραμμικά με το ρεύμα τυμπάνου όπως φαίνεται και στην καμπύλη Γ του σχήματος 4.6. Σε μεγάλες τιμές ρεύματος η ροπή στρέψης αυξάνει λιγότερο λόγω αντίδρασης επαγωγικού τυμπάνου. Στους κινητήρες διέγερσης σειράς έχουμε απότομη αύξηση της ροπής με την αύξηση του φορτίου του κινητήρα.

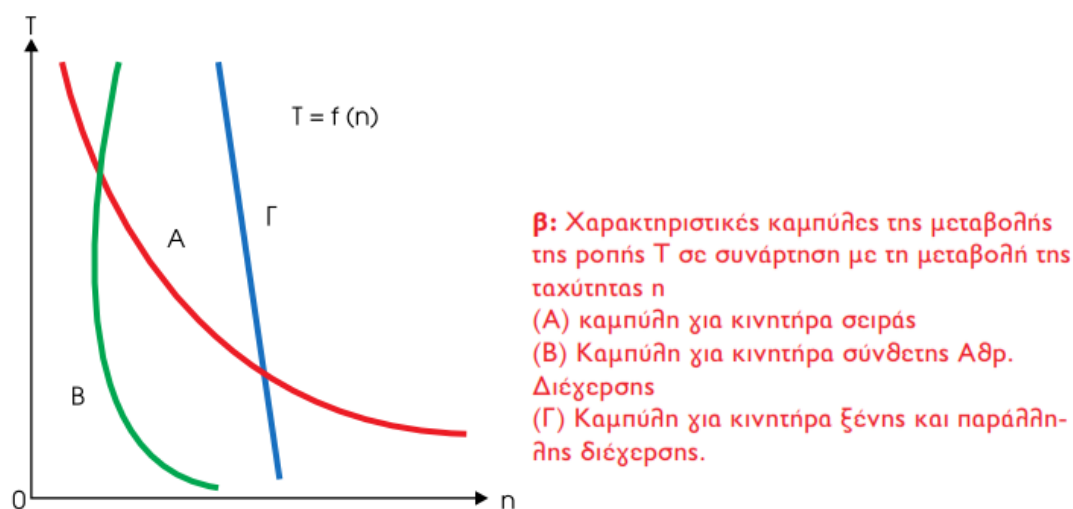
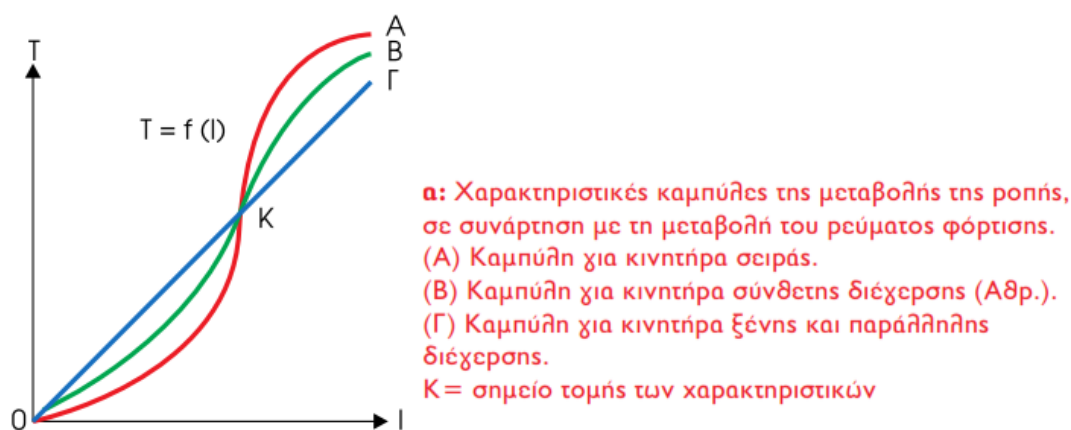
$$T = K' K'' I_t^2$$

Δηλαδή η ροπή κινητήρα είναι ανάλογη με το τετράγωνο του ρεύματος του τυμπάνου. Αποτέλεσμα της σχέσης αυτής είναι ο κινητήρας με διέγερση σειράς να δίνει τη μεγαλύτερη ροπή ανά μονάδα ρεύματα από οποιοδήποτε άλλο κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

Ο κινητήρας σύνθετης αθροιστικής διέγερσης όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6 στην καμπύλη Β εμφανίζει ενδιάμεση συμπεριφορά.

Για φορτία λειτουργίας κινητήρα, συνήθως πάνω από το σημείο K του Σχήμα 4.6 ο κινητήρας διέγερσης σειράς δίνει τη μεγαλύτερη ροπή και στη συνέχεια ο κινητήρας

αθροιστικής σύνθετης διέγερσης μεγαλύτερης από τον κινητήρα ξένης και παράλληλης διέγερσης.



**Σχήμα 4.6:** Φορτία λειτουργίας κινητήρα, συνήθως πάνω από το σημείο Κ

### Επιλογή τύπου κινητήρα συνεχούς ρεύματος

Ο κινητήρας του ηλεκτρικού αυτοκινήτου πρέπει να ικανοποιεί βασικές απαιτήσεις όπως:

- Να δίνει μεγάλη ροπή εκκίνησης για να ξεκινήσει το αυτοκίνητο
- Να μπορεί να ανεβάσει το αυτοκίνητο σε δρόμους με ανοδική κλίση
- Να μπορεί να δώσει στο αυτοκίνητο ικανοποιητική επιτάχυνση και ταχύτητα
- Να έχει καλή απόδοση λειτουργίας
- Να δίνει στο αυτοκίνητο ελαστικότητα λειτουργίας σε μεγάλο φάσμα στροφών

Ο κινητήρας που ικανοποιεί τις περισσότερες από τις παραπάνω απαιτήσεις είναι ο κινητήρας διέγερσης σειράς. Όταν καλείται να αντιμετωπίσει αύξηση φορτίου (εκκίνηση, ανοδική κλίση) χαμηλώνει τις στροφές του, μειώνεται η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη, αυξάνεται το ρεύμα που απορροφά από το δίκτυο και φυσικά αυξάνεται τετραγωνικά σε σχέση με το ρεύμα, η ροπή του κινητήρα.

Η μεγάλη ροπή, δίνει μεγάλη ροπή επιτάχυνσης που επιταχύνει το όχημα και του δίνει τη δυνατότητα να κινείται σε δύσκολες συνθήκες πολλές φορές χωρίς να χρειάζεται σύστημα μετάδοσης κίνησης (διαφορικό)



Στο σχήμα 4.6 φαίνεται ότι ο κινητήρας διέγερσης σειράς δίνει μεγάλη ροπή σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων. Αυτό του δίνει ελαστικότητα λειτουργίας. Ο κινητήρας παράλληλης και ξένης διέγερσης παρουσιάζει αρκετά ικανοποιητική ροπή εκκίνησης και δεν έχει πρόβλημα στη λειτουργία με ελαττωμένο ή και μηδενικό φορτίο. Ο κινητήρας αθροιστικής σύνθετης έχει ικανοποιητικά χαρακτηριστικά, αλλά είναι δύσκολος ο έλεγχος λειτουργίας του και έχει αυξημένο κόστος κατασκευής.

Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος μπορούμε εύκολα να μεταβάλουμε τάσεις και ρεύματα τροφοδοσίας στους κινητήρες παράλληλης και ξένης διέγερσης και να μετατοπίσουμε τις καμπύλες ροπής-στροφών σε περιοχές λειτουργίας που θέλουμε. Οι κινητήρες παράλληλης διέγερσης κερδίζουν συνεχώς έδαφος στο χώρο των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Η δυνατότητα ελέγχου του κινητήρα ξένης διέγερσης μέσω ηλεκτρονικού ελεγκτή δύο επιπέδων με ανεξάρτητο έλεγχο της τάσης τροφοδοσίας του τυμπάνου και του ρεύματος διέγερσης, έχει σαν αποτέλεσμα τη δυνατότητα διαμόρφωσης της καμπύλης ροπής-στροφών του κινητήρα όπως εμείς θέλουμε, έτσι ώστε να ικανοποιούνται κάθε φορά οι απαιτήσεις. Συμπεραίνουμε ότι θα χρησιμοποιούνται οι κινητήρες αυτοί όλο και περισσότερο. Στο πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι τύποι κινητήρων συνεχούς ρεύματος που χρησιμοποιούν στα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα τους γνωστοί κατασκευαστές.

**Σχήμα 4.6: Κινητήρες Σ.Ρ. ηλεκτρικών αυτοκινήτων**

Τύπος αυτοκινήτου	Τύπος κινητήρα
Fiat (X1/23)	Ξένης διέγερσης
Fiat (900E/E2)	Ξένης διέγερσης
Iveco (D-E2)	Ξένης διέγερσης
Toyota (EV-2)	Ξένης διέγερσης
Peugeot (205 électrique)	Ξένης διέγερσης
Renault (master électrique)	Ξένης διέγερσης
Fiat (ECO - PIN)	σύνθετης διέγερσης
G.M. (512)	διέγερσης σειράς
Fiat (Pugato)	διέγερσης σειράς
Fiat (Panda Eletta)	διέγερσης σειράς
Volkswagen (Micro)	παράλληλης διέγερσης
Nissan (EV-4)	παράλληλης διέγερσης
Uniq Mobility (M-90)	παράλληλης διέγερσης

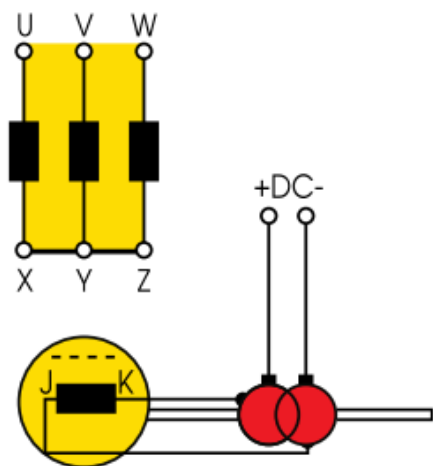


## 4.2 Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος

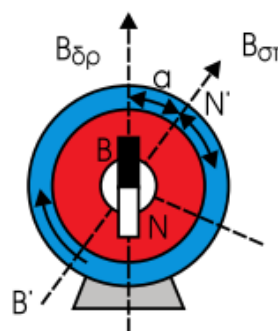
### Σύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες

Ο στάτης του σύγχρονο κινητήρα αποτελείται από τρία τυλίγματα διατεταγμένα στο χώρο με γωνία 120 μοιρών μεταξύ τους και τροφοδοτούνται από τριφασικό δίκτυο με τάσεις που έχουν διαφορά φάσης 120 μοιρών. Στο εσωτερικό του στάτη δημιουργείται περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο σύγχρονης ταχύτητας  $n=(60*f)/p$ .

Ο δρομέας αποτελείται από περιέλιξη που τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα μέσα από δύο δακτυλίδια και ψύκτρες. Στο σχήμα 4.8 φαίνεται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο  $B'N'$  του στάτη και το μαγνητικό πεδίο  $BN$  του δρομέα. Οι μαγνητικοί πόλοι  $N'$  και  $B'$  ασκούν ελκτικές δυνάμεις στους ετερόνυμους πόλους  $B$  και  $N$  του δρομέα και τον αναγκάζουν να περιστραφεί με την ίδια ταχύτητα. Όταν το φορτίο αυξάνεται, ο δρομέας καθυστερεί και αυξάνεται η γωνία φορτίου  $\alpha$  των δύο μαγνητικών πεδίων. Η μέγιστη τιμή της γωνίας  $\alpha$  για να μπορεί ο δρομέας να παρακολουθεί το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, είναι το μισό της γωνιακής απόστασης των δύο διαδοχικών πόλων. Για τον σύγχρονο κινητήρα του σχήματος 4.7 η μέγιστη τιμή γωνίας  $\alpha$  είναι 90 μοίρες



Σχήμα 4.7: Σύγχρονος κινητήρας.



Σχήμα 4.8: Αρχή λειτουργίας σύγχρονο κινητήρα.

Κατά την εκκίνηση ο δρομέας, λόγω αδράνειας, δεν μπορεί να αποκτήσει αμέσως τη σύγχρονη ταχύτητα, δεν είναι όμως δυνατόν να λειτουργήσει με ταχύτητα μικρότερη από τη σύγχρονη και επομένως χρειάζεται εκκινήτη.

### Οι συνηθέστεροι εκκινήτες είναι:

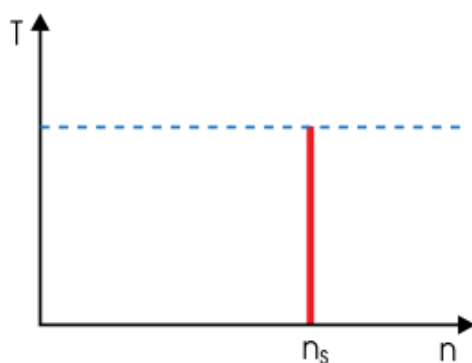
1) Μικρός κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος, που περιστρέφει το δρομέα όπως η μίζα το στρόφαλο, μέχρι να φθάσει στη σύγχρονη ταχύτητα.

2) Ειδική κατασκευή τυλίγματος κλωβού στα πέδιλα του δρομέα (τύλιγμα απόσβεσης) που του δίνει τη δυνατότητα να ξεκινήσει σαν ασύγχρονος και αφού επιταχυνθεί να τροφοδοτηθεί με συνεχές ρεύμα και να λειτουργήσει σαν σύγχρονος.

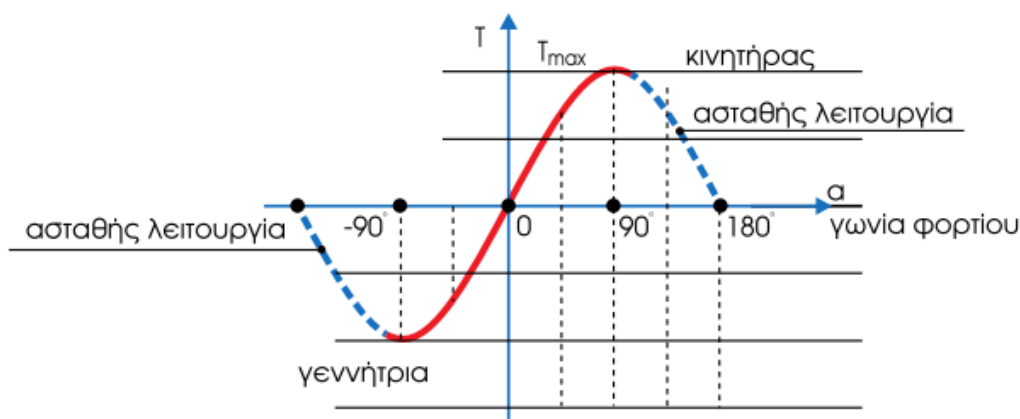
3) Εκκίνηση με μείωση της συχνότητας τροφοδοσίας. Με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος μπορούμε να μεταβάλουμε τη συχνότητα τροφοδοσίας με ανορθωτές – αντιστροφείς και κυκλομετατροπείς. Κατά την εκκίνηση χρησιμοποιούμε τάση τροφοδότησης του στάτη πολύ μικρής συχνότητας. Έτσι το μαγνητικό πεδίο στρέφεται πολύ αργά και ο δρομέας μπορεί να το παρακολουθήσει.

Ο σύγχρονος κινητήρας συνδέεται με ένα φορτίο που μπορεί να το περιστρέψει με σταθερή ταχύτητα τη σύγχρονη ταχύτητα με την προϋπόθεση να διατηρείται σταθερή η τάση και η συχνότητα τροφοδοσίας. Από το σχήμα 4.9 φαίνεται ότι η ταχύτητα του κινητήρα είναι σταθερή από το σημείο λειτουργίας χωρίς το φορτίο μέχρι τη μέγιστη ροπή. Η μέγιστη ροπή μπορεί να αυξηθεί, είτε με την αύξηση του ρεύματος διέγερσης είτε με την αύξηση της τάσης τροφοδοσίας. Η ισχύς και η ροπή που αποδίδει ο σύγχρονος κινητήρας με σταθερή τάση τροφοδοσίας και σταθερή διέγερση είναι ανάλογο με το ημίτονο της γωνίας φορτίου. Όταν προστεθεί φορτίο στον άξονα ο δρομέας θα μείνει ελάχιστα πίσω ως προς το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη.

Η γωνία φορτίου  $\alpha$  θα μεγαλώσει ώστε να μεγαλώσει η ροπή και να προσαρμοστεί στο νέο αυξημένο φορτίο. Οι απαιτήσεις του φορτίου μπορούν να καλυφθούν μέχρι μία μέγιστη τιμή  $T_{max}$  που μπορεί να δώσει ο σύγχρονος κινητήρας και αντιστοιχεί, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.10 σε γωνία φορτίου  $90$  μοιρών. Αν οι απαιτήσεις του φορτίου ξεπεράσουν την μέγιστη τιμή, ο κινητήρας αποσυγχρονίζεται, επιβραδύνεται υπό την επίδραση της πλεονάζουσας ροπής του άξονα και η λειτουργία του διακόπτεται γιατί τα δύο πεδία στάτη και δρομέα δεν είναι σταθερά μεταξύ τους. Με αρνητικές γωνίες φορτίου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.10 η μηχανή λειτουργεί σαν γεννήτρια προσφέροντας ηλεκτρική πέδηση και φόρτιση των συσσωρευτών.



**Σχήμα 4.9:** Χαρακτηριστική Ροπής-Ταχύτητας σύγχρονου κινητήρα.



**Σχήμα 4.10:** Καμπύλη ροπής, ισχύος και γωνίας φορτίου σύγχρονης μηχανής.

### Πλεονεκτήματα σύγχρονου κινητήρα

- Μεγάλος βαθμός απόδοσης λόγω ελάχιστων απωλειών.
- Μεγάλη ροπή σε όλες τις περιοχές στροφών.
- Μικρό κόστος για συντήρηση.
- Πλήρης έλεγχος μέσω ρύθμισης με ηλεκτρονικά ισχύος.
- Λειτουργεί και ως γεννήτρια για πέδηση με φόρτιση των συσσωρευτών του αυτοκινήτου.

### Μειονεκτήματα σύγχρονου κινητήρα

- Υψηλή τιμή αγοράς κινητήρα και ηλεκτρονικού ρυθμιστή.

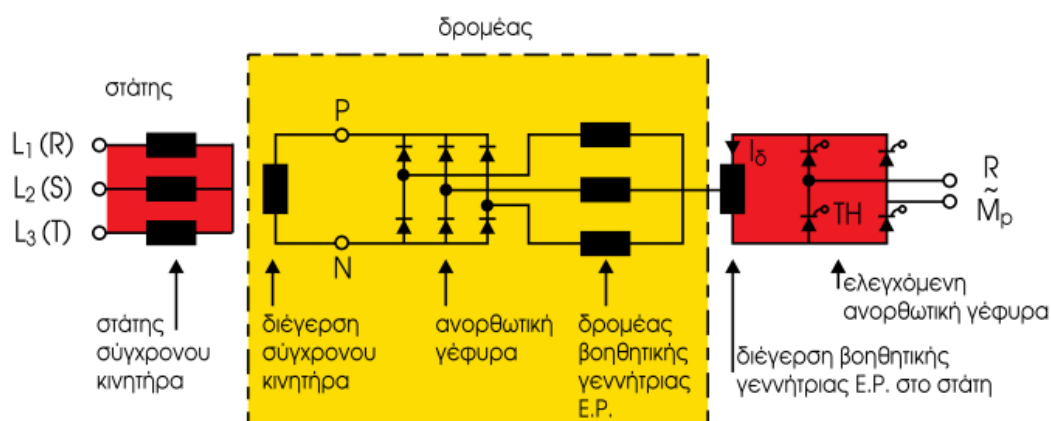
Οι σύγχρονοι κινητήρες σε συνδυασμό με ηλεκτρονικούς ρυθμιστές κερδίζουν συνεχώς έδαφος στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται ηλεκτρικά αυτοκίνητα με σύγχρονους κινητήρες.

Σχήμα 4.11: Ηλεκτρικά αυτοκίνητα με σύγχρονους κινητήρες

Τύπος Αυτοκινήτου	Ροπή max N·m	Ισχύς, max kW
Renault clio Electro	65	27
Fiata Cinquecento Elettra II	85	22,5
Audi Duo el	127	15

### Σύγχρονος κινητήρας χωρίς ψήκτρες

Το ευαίσθητο σημείο ενός σύγχρονου κινητήρα είναι η μετάβαση του συνεχούς ρεύματος διέγερσης στα στρεφόμενα δακτυλίδια μέσω ψηκτρών. Έγινε προσπάθεια για κατασκευή σύγχρονου κινητήρα χωρίς ψήκτρες, η προσπάθεια αυτή καρποφόρησε με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος, που μπόρεσαν να ανορθώσουν ρεύματα μεγάλης έντασης.



Σχήμα 4.12: Σύγχρονος κινητήρας χωρίς ψήκτρες.

Μονοφασική εναλλασσόμενη τάση ανορθώνεται μέσα από γέφυρα τεσσάρων διόδων ή καλύτερα τεσσάρων θυρίστορ για πλήρη ελεγχόμενη τάση και τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα  $I$  τη διέγερση μιας βοηθητικής γεννήτριας. Αυτή με τη σειρά της τροφοδοτεί με εναλλασσόμενο ρεύμα που παράγεται στο δρομέα της, μια ανορθωτική

γέφυρα έξι διόδων που βρίσκεται πάνω στο δρομέα. Η γέφυρα αυτή τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα τη διέγερση του σύγχρονο κινητήρα που βρίσκεται και αυτή πάνω στο δρομέα αντί να τροφοδοτείται η διέγερση μέσω δακτυλίου και ψηκτρών τροφοδοτείται ηλεκτρομαγνητικά.

### **4.3 Ασύγχρονες Μηχανές**

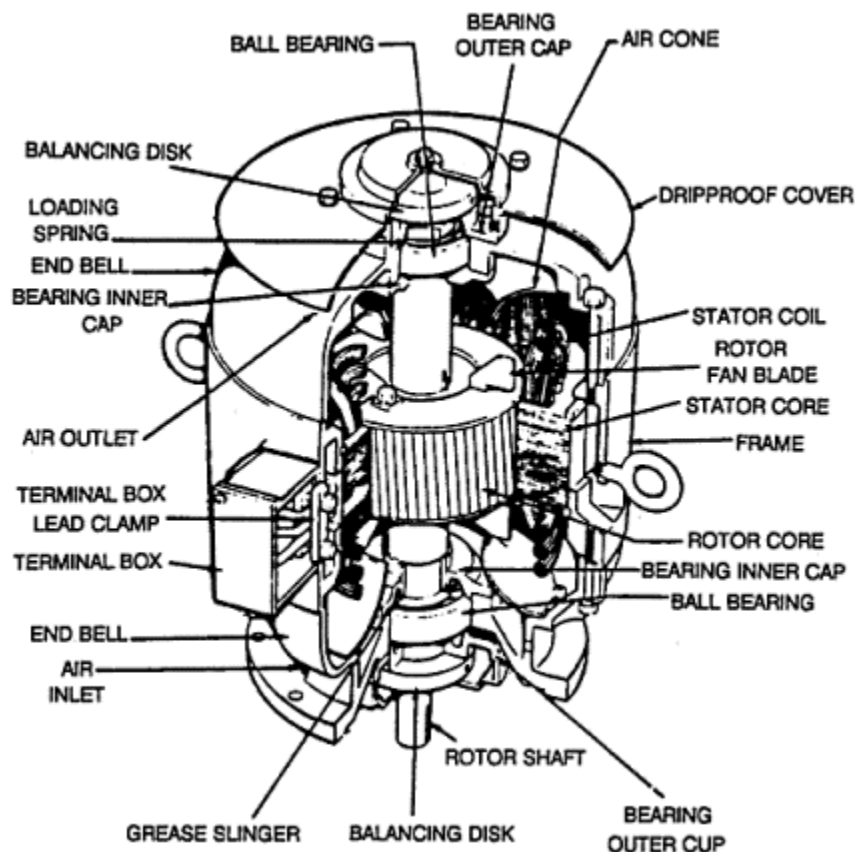
Οι ασύγχρονοι κινητήρες αποτελούν την πιο διαδεδομένη επιλογή σε βιομηχανικές και οικιακές εφαρμογές. Πλέον, με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών και μεθόδων ελέγχου τους κατέχουν ένα σημαντικό κομμάτι επί του ποσοστού των κινητήρων που τροφοδοτούν ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα. Στα κύρια πλεονεκτήματα τους συγκαταλέγονται η απλή και στιβαρή κατασκευή τους, το χαμηλό κόστος και η έλλειψη τακτικής συντήρησης. Οι ασύγχρονοι κινητήρες συναντώνται σε διάφορες μορφές ανάλογα με τη φύση της εφαρμογής τους.

Παρόλο που η σχεδίαση τους είναι απλούστερη σε σύγκριση με τις μηχανές συνεχούς ρεύματος, ο έλεγχος της ταχύτητας και ροπής τους απαιτεί βαθύτερη γνώση του σχεδιασμού και των χαρακτηριστικών της μηχανής.

#### **Βασικά κατασκευαστικά στοιχεία και λειτουργία**

Όπως η πλειοψηφία των ηλεκτρικών κινητήρων, οι ασύγχρονοι αποτελούνται από μία σταθερή εξωτερική κατασκευή, το στάτη και ένα κινούμενο τμήμα, το δρομέα, ο οποίος περιστρέφεται στο εσωτερικό με ένα μικρό διάκενο αέρα να ορίζει την απόσταση των δύο.

Στο εσωτερικό του ασύγχρονου κινητήρα ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο είναι υπεύθυνο για την κίνηση του ρότορα. Στους τριφασικούς ασύγχρονους κινητήρες το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργείται λόγω της φύσης της τροφοδοσίας. Στους μονοφασικούς κινητήρες για να επιτευχθεί αυτό απαιτούνται πρόσθετα ηλεκτρικά κυκλώματα. Κατά τη λειτουργία δημιουργούνται στον ασύγχρονο κινητήρα δύο ξεχωριστά ζεύγη ηλεκτρομαγνητών, το πρώτο εκ των οποίων είναι στο στάτη λόγω της τροφοδοσίας. Στο δρομέα επάγεται τάση από το στάτη, η οποία ευθύνεται για τη δημιουργία ηλεκτρομαγνήτη σε αυτόν, για τον λόγο αυτό οι ασύγχρονοι κινητήρες ονομάζονται και επαγωγικοί. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των πεδίων των δύο ηλεκτρομαγνητών προκαλεί περιστροφική δύναμη και κατά συνέπεια ροπή στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα.



Σχήμα 4.13: Βασικά κατασκευαστικά στοιχεία Ασύγχρονης Μηχανής

#### **Κατασκευαστικά στοιχεία του στάτη**

Ο στάτης μιας ασύγχρονης μηχανής κατασκευάζεται από λεπτά ελάσματα αλουμινίου ή σιδήρου. Αυτά τοποθετούνται σε σειρά για να σχηματίσουν μία κυλινδρική κατασκευή που φέρει αυλακώσεις στο εσωτερικό του. Στις αυλακώσεις τοποθετούνται τυλίγματα από μονωμένους αγωγούς, τα οποία μαζί με τον πυρήνα σιδηρομαγνητικού υλικού σχηματίζουν ένα ηλεκτρομαγνήτη όταν δεχθούν εναλλασσόμενη τροφοδοσία. Ο αριθμός των πόλων του ηλεκτρομαγνήτη που δημιουργείται εξαρτάται από τις εσωτερικές διασυνδέσεις των τυλιγμάτων, που σε κάθε περίπτωση είναι συνδεδεμένα με τέτοιο τρόπο ώστε κατά την εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσης να δημιουργούν περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

#### **Κατασκευαστικά στοιχεία δρομέα**

Ο δρομέας κατασκευάζεται και αυτός από λεπτά χαλύβδινα ελάσματα ενώ στην περιφέρεια του φέρει μπάρες φτιαγμένες από αλουμίνιο ή χαλκό ή τυλίγματα. Ο περισσότερο διαδεδομένος τύπος δρομέα είναι αυτός που οι μπάρες του είναι βραχυκυκλωμένες μέσω δακτυλίων στις άκρες του ρότορα (squirrel cage rotor). Η προτίμηση σε αυτόν τον τύπο δρομέα οφείλεται στην απλότητα και ανθεκτικότητα του. Ο δρομέας εδράζεται στο περίβλημα του στάτη χρησιμοποιώντας διατάξεις ρουλεμάν για την ομαλή περιστροφή του.



**Σχήμα 4.14:** Εικόνα Στάτης και δρομέας ασύγχρονης μηχανής

**Ταχύτητα ασύγχρονου κινητήρα**

Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται στο στάτη στρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα  $N_s$ :

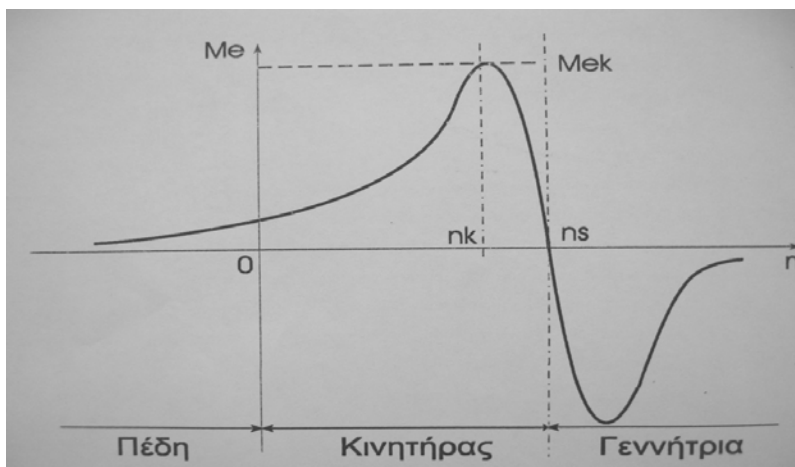
$$N_s = fs / p$$

όπου  $N_s$  είναι ο σύγχρονος αριθμός στροφών,  $p$  ο αριθμός των ζευγών πόλων του στάτη και  $f$  είναι η συχνότητα τροφοδοσίας.

Για να ελαττώσει τη σχετική ταχύτητα με αναφορά το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη, ο δρομέας ξεκινά να περιστρέφεται στη φορά περιστροφής του πεδίου και προσπαθεί να πιάσει τη σύγχρονη ταχύτητα. Στην πράξη ο δρομέας περιστρέφεται με αριθμό στροφών μικρότερο από το σύγχρονο. Η διαφορά των δύο ταχυτήτων ορίζει την ολίσθηση:

$$s = (N_s - N_b) / N_s$$

όπου  $s$  είναι η ολίσθηση,  $N_s$  ο σύγχρονος αριθμός στροφών,  $N_b$  ο τρέχων αριθμός στροφών. Η ολίσθηση διαφοροποιείται ανάλογα με το φορτίο. Καθώς το φορτίο αυξάνεται, η ολίσθηση αυξάνεται και ο ρότορας επιβραδύνεται.



**Σχήμα 4.15:** Χαρακτηριστική ροπής – στροφών ενός ασύγχρονου κινητήρα

### Μονοφασικοί κινητήρες

Σε εφαρμογές που δεν υπάρχει δυνατότητα τριφασικής τροφοδοσίας συναντώνται μονοφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες. Όπως δηλώνεται και από την ονομασία τους, οι κινητήρες αυτοί έχουν μόνο ένα τύλιγμα στο στάτη και λειτουργούν με μονοφασική τροφοδοσία. Ο δρομέας των μονοφασικών κινητήρων είναι βραχυκυκλωμένου κλωβού. Η ιδιαιτερότητα τους είναι ότι δεν μπορούν να εκκινήσουν κατά τη σύνδεση τους στο δίκτυο. Στο εσωτερικό της μηχανής δημιουργούνται δύο πεδία που στρέφονται με αντίθετη φορά το ένα από το στάτη και το δεύτερο από το δρομέα λόγω επαγωγής τάσης σε αυτόν, η συνιστώσα των οποίων παραμένει μηδενική και δεν είναι ικανή να δημιουργήσει ροπή εκκινήσεως.

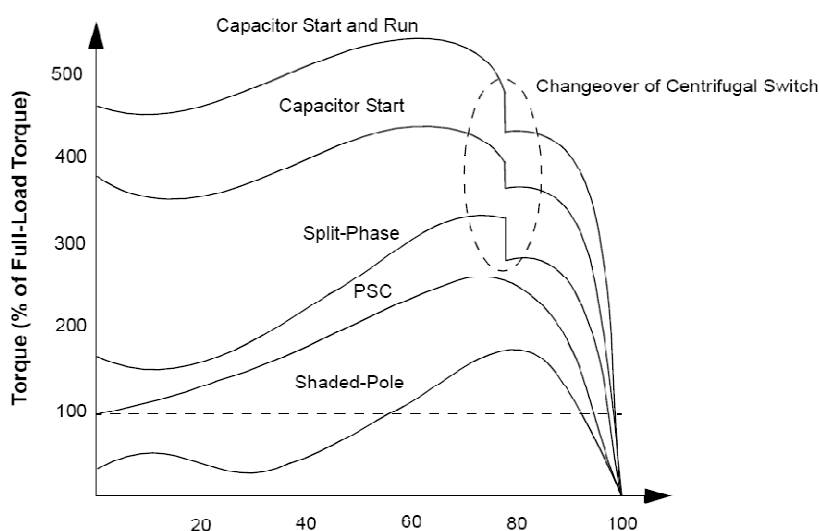
Απαιτείται λοιπόν ένας εξωτερικός μηχανισμός που θα μπορέσει να στρέψει αρχικά τη μηχανή. Όταν ο δρομέας αποκτήσει μια ταχύτητα, η μηχανή μπορεί να διατηρήσει την περιστροφή του πεδίου της προς μία κατεύθυνση και να παράγει ροπή.

Για την εκκίνηση τους οι μονοφασικές μηχανές έχουν συνήθως και ένα επιπλέον τύλιγμα στο στάτη, το οποίο έχει εν σειρά ένα χωρητικό στοιχείο και έναν φυγοκεντρικό διακόπτη. Κατά την εφαρμογή της τροφοδοσίας, το κύριο τύλιγμα φέρει ρεύμα που έχει διαφορετική φάση από αυτό που ρέει στο δευτερεύον. Η αλληλεπίδραση των δύο διαφορετικών πεδίων συντελεί στη δημιουργία ενός συνισταμένου πεδίου, περιστρεφόμενου προς μία κατεύθυνση, προς την οποία αρχίζει και στρέφεται ο κινητήρας. Μόλις ο κινητήρας φτάσει έναν καθορισμένο αριθμό στροφών, μικρότερο των ονομαστικών του, ο φυγοκεντρικός διακόπτης αποσυνδέει το τύλιγμα εκκινήσεως, καθώς ο κινητήρας μπορεί να διατηρήσει τη ροπή του.

Οι μονοφασικοί κινητήρες, εκτός από ειδικές κατασκευές, χρησιμοποιούνται συνήθως για εφαρμογές μικρής ισχύος. Ανάλογα με τη μορφή του μηχανισμού εκκινήσεως μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Μηχανή με τυλίγματα διαφορετικής φάσης (split - phase).
- Μηχανή με πυκνωτή εκκίνησης.
- Μηχανή με μόνιμα συνδεδεμένο πυκνωτή στο βοηθητικό τύλιγμα.
- Μηχανή με πυκνωτή εκκινήσεως και μόνιμο πυκνωτή λειτουργίας.
- Μηχανή ασύμμετρων πόλων.

Στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνονται οι χαρακτηριστικές ροπής - στροφών για τα διάφορα είδη μονοφασικών κινητήρων.



**Σχήμα 4.16:** Χαρακτηριστικές καμπύλες ροπής των διαφόρων τύπων μονοφασικών κινητήρων



### Τριφασικοί κινητήρες

Οι τριφασικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές που οι απαιτήσεις τους σε ισχύ ξεπερνούν τα όρια εφαρμογής των μονοφασικών. Μπορούν να εκκινήσουν χωρίς κάποιο βοηθητικό κύκλωμα. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι περισσότεροι εκ των τριφασικών κινητήρων φέρουν δρομέα βραχυκυκλωμένου κλωβού, όμως σε αυτό το ζήτημα υπάρχουν και διαφορετικές σχεδιάσεις. Μπορούμε να κατατάξουμε τους κινητήρες ανάλογα με την κατασκευή του δρομέα τους σε:

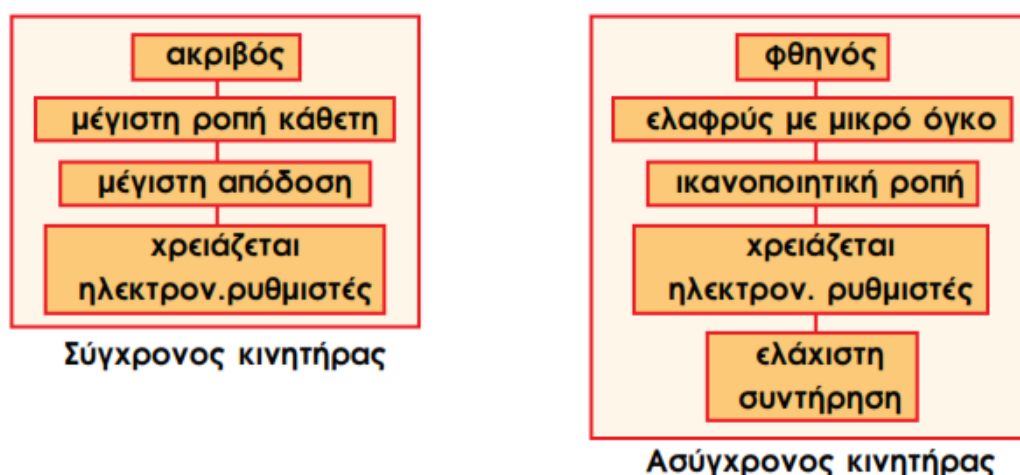
- **Βραχυκυκλωμένου δρομέα:** Αποτελούν την πιο απλή και οικονομική επιλογή. Μία ιδιαιτερότητα του δρομέα βραχυκυκλωμένου κλωβού είναι ότι οι μπάρες που φέρει στην περιφέρεια του δεν είναι τοποθετημένες παράλληλα με τον άξονα της μηχανής, αλλά υπό μία μικρή κλίση. Οι λόγοι είναι η μείωση των δονήσεων λόγω ηλεκτρομαγνητικού θορύβου καθώς και τον περιορισμό των ανώτερων αρμονικών. Πρόσθετα, η κλίση στις μπάρες αποτρέπει τις τάσεις «κλειδώματος» του ρότορα, καθώς οι μπάρες τείνουν να ακινητοποιηθούν κάτω από τα δόντια του στάτη, ιδιαίτερα όταν ο αριθμός τους είναι ίσος. Ο δρομέας στηρίζεται μέσω ρουλεμάν στο σώμα της μηχανής και η προέκταση του άξονα του χρησιμοποιείται για να μεταδώσει την κίνηση σε διάφορα φορτία.
  
- **Δακτυλιοφόρου δρομέα:** Εδώ ο δρομέας φέρει τυλίγματα παρόμοια με αυτά του στάτη τα οποία δεν είναι βραχυκυκλωμένα στις άκρες τους, αλλά καταλήγουν σε δακτυλίους ώστε να μπορεί να συνδεθεί σε αυτούς κάποιο εξωτερικό κύκλωμα, συνήθως ωμικό φορτίο. Η ολίσθηση στην οποία εμφανίζεται η ροπή ανατροπής του κινητήρα είναι ανάλογη της αντίστασης των τυλιγμάτων του δρομέα. Με την αύξηση των εξωτερικά συνδεδεμένων αντιστάσεων μέσω των δακτυλίων πετυχαίνουμε τη μετατόπιση της ροπής ανατροπής σε χαμηλότερες στροφές περιστροφής του κινητήρα και επομένως μεγαλύτερο ωφέλιμο εύρος στροφών. Με τιμές της αντίστασης πολύ μεγάλες, η ροπή ανατροπής εμφανίζεται από μηδενική ταχύτητα, παρέχοντας τη δυνατότητα για μεγάλη ροπή εκκινήσεως. Καθώς ο κινητήρας επιταχύνει, η τιμή της εξωτερικής αντίστασης μπορεί να μειωθεί ώστε να προσαρμοστεί η χαρακτηριστική του κινητήρα στο τρέχον φορτίο. Όταν ο κινητήρας φτάσει τις ονομαστικές του στροφές, οι εξωτερικές αντιστάσεις μπορούν να αποσυνδεθούν ώστε να περάσουμε καθαρά σε λειτουργία επαγωγικού κινητήρα. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ροπή εκκινήσεως και γρήγορη επιτάχυνση ως τις ονομαστικές στροφές με περιορισμένα ρεύματα. Στον αντίποδα, η ύπαρξη των δακτυλίων απαιτεί και ψήκτρες για τη σύνδεση τους με τα τυλίγματα του δρομέα, δεδομένο που αυξάνει το κόστος και την ανάγκη συντήρησης.
  
- **Δρομέα χωρίς αυλακώσεις:** Στον τελευταίο αυτό τύπο δρομέα απουσιάζουν οι αυλακώσεις και δεν φέρει τυλίγματα ή μπάρες. Η ροπή δημιουργείται από την επίδραση του μαγνητικού πεδίου και των διοραμάτων του σιδηρομαγνητικού υλικού του δρομέα. Λόγω της αντοχής του δρομέα στις φυγοκεντρικές δυνάμεις, οι κινητήρες αυτού του τύπου μπορούν να επιτύχουν υψηλό αριθμό στροφών.

#### 4.4 Επιλογή τύπου κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος – Συγκρίσεις

Ο σύγχρονος κινητήρας όπως φαίνεται στο σχήμα 4.17 παρουσιάζει σχεδόν κάθετη ροπή και ισχύ δηλαδή λειτουργεί πάντα κοντά στη μέγιστη ροπή και ισχύ, Παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απόδοση από όλους τους κινητήρες με δυνατότητα ρύθμισης του συντελεστή ισχύος μέσα από ρύθμιση της διέγερσης. Μπορεί να δώσει μέγιστη ροπή ακόμα και σε ελάχιστη ταχύτητα. Λειτουργεί σαν γεννήτρια για ηλεκτρική πέδη και φόρτιση συσσωρευτή. Το μειονέκτημα του σύγχρονου κινητήρα είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και η συντήρηση που χρειάζεται λόγω δακτυλιδίων και ψηκτρών. Στους σύγχρονους κινητήρες χωρίς ψήκτρες έχει ξεπεραστεί το τελευταίο πρόβλημα και έχει βελτιωθεί η απόδοση. Με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος κατασκευάστηκαν ηλεκτρονικοί ρυθμιστές ταχύτητας που ξεπέρασαν τη βασική αδυναμία του σύγχρονου κινητήρα που ήταν η δυνατότητα του να κινείται μόνο με τη σύγχρονη ταχύτητα.

Ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας έχει απλή κατασκευή, το χαμηλότερο κόστος από όλους τους κινητήρες χρειάζεται ελάχιστη συντήρηση, έχει το μικρότερο βάρος και όγκο δεν χρειάζεται τροποποιήσεις και ειδικό σχεδιασμό για αυτοκίνηση. Παρουσιάζει τις λιγότερες βλάβες από όλους τους κινητήρες και μπορεί να λειτουργήσει και αυτός σαν γεννήτρια για ηλεκτρική πέδηση και φόρτιση συσσωρευτή. Έχει μεγάλη ροπή εκκίνησης που δεν είναι όμως σταθερή με την αύξηση των στροφών. Με τους ηλεκτρονικούς ρυθμιστές είναι αρκετά ικανοποιητική η ροπή και η ισχύς για κίνηση ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Το κόστος των ηλεκτρικών ρυθμίσεων είναι ακόμα πολύ μεγάλο και φθάνει λίγο κάτω από το κόστος του συστήματος κίνησης. Η επιλογή σύγχρονου ή ασύγχρονου κινητήρα είναι δύσκολη και έχει σχέση με τις προτεραιότητες που έχει ο κατασκευαστής.

Για παράδειγμα αν επιθυμούμε να κατασκευάσουμε ένα μικρό φθινό ηλεκτρικό αυτοκίνητο πόλης με ικανοποιητικές επιδόσεις που ο όγκος και το βάρος πρέπει να ελαχιστοποιηθούν υπερτερεί ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας.



Σχήμα 4.17: Σύγκριση σύγχρονου και ασύγχρονου κινητήρα

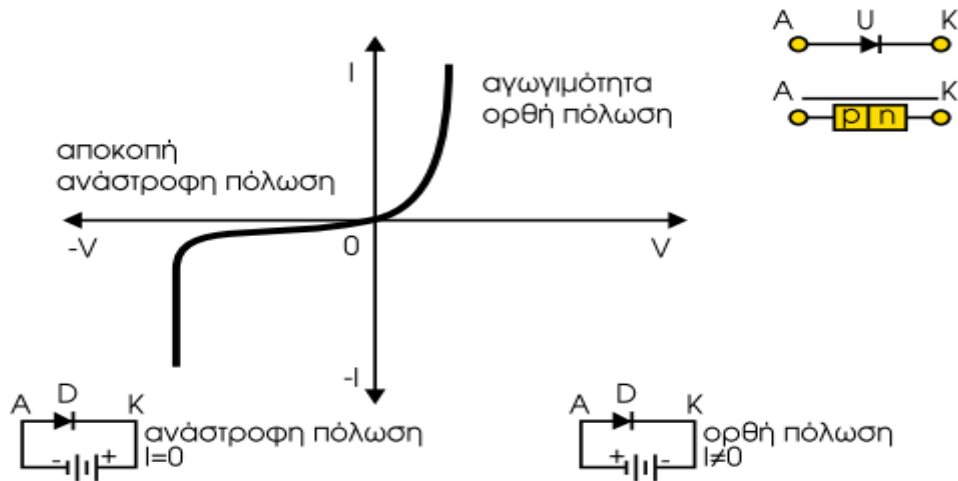
Ηλεκτρονικά Ισχύος για ηλεκτρικά αυτοκίνητα

5.1 Βασικά στοιχεία ηλεκτρονικών

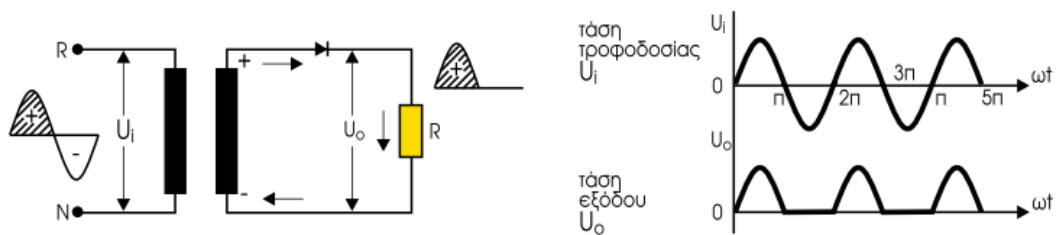
Πρώτα θα υπενθυμίσουμε ορισμένα βασικά στοιχεία από τα ηλεκτρονικά για την καλύτερη κατανόηση των κυκλωμάτων που θα ακολουθήσουν

Δίοδος

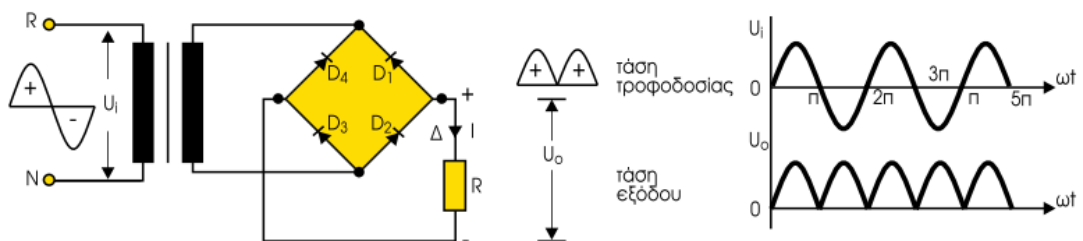
Στις εγκαταστάσεις κυκλωμάτων οδήγησης κινητήρων χρησιμοποιούν ξηρά ανορθωτικά στοιχεία πυριτίου. Αυτά είναι μία επαφή p-n. Μέσα από την χαρακτηριστική λειτουργίας της φαίνεται σχ. 5.1, ότι με ορθή πόλωση η δίοδος άγει και το ρεύμα παίρνει μεγάλες τιμές. Αντίθετα με ανάστροφη πόλωση η δίοδος δεν άγει και το ρεύμα έχει μηδενική σχεδόν τιμή. Στα σχήματα 5.2 5.3 5.4 και 5.5 φαίνονται τα κυκλώματα απλής και διπλής ανόρθωσης μονοφασικής και τριφασικής τάσης.



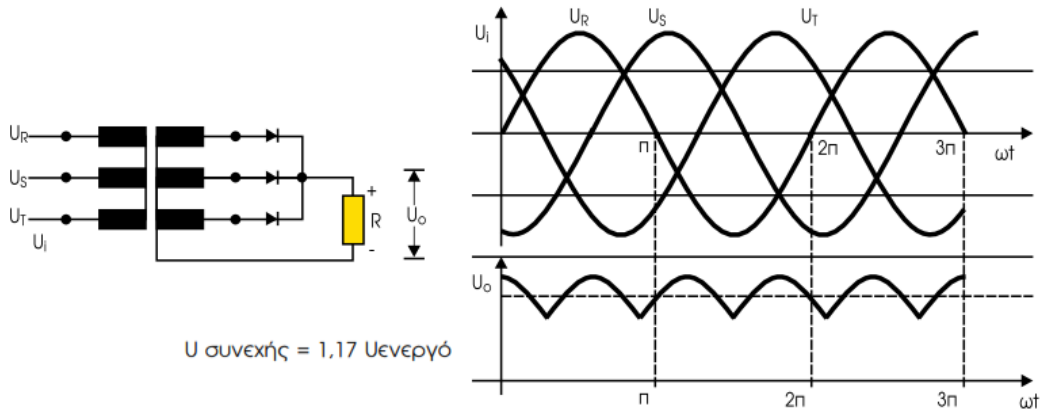
Σχήμα 5.1: Χαρακτηριστική λειτουργία δίοδου.



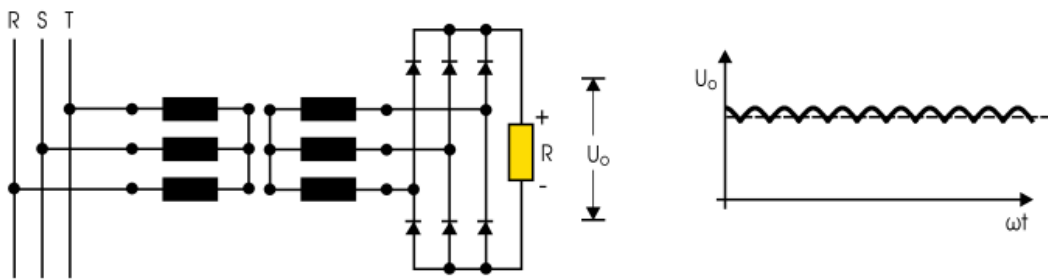
Σχήμα 5.2: Απλή ανόρθωση.



Σχήμα 5.3: Διπλή ανόρθωση με γέφυρα τεσσάρων δίοδων.



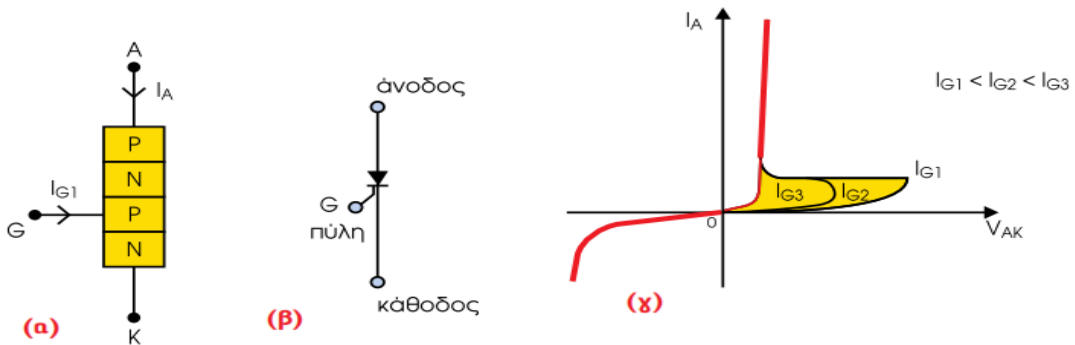
**Σχήμα 5.4:** Απλή τριφασική ανόρθωση.



**Σχήμα 5.5:** Διπλή τριφασική ανόρθωση γέφυρας.

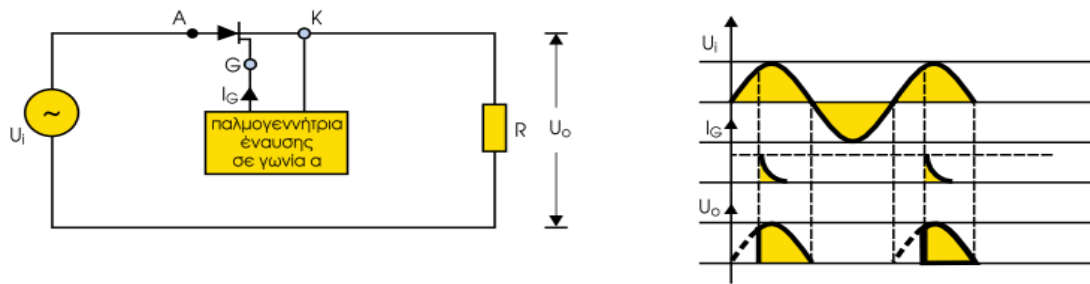
**Θυρίστορ (ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου)**

Το θυρίστορ κατασκευαστικά αποτελείται από τρεις διόδους pn, np, pn στη σειρά και από τρεις επαφές: άνοδο (A), κάθοδο (K) και πύλη (G), όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6. Από τη χαρακτηριστική λειτουργίας φαίνεται ότι για να οδηγηθεί το θυρίστορ σε κατάσταση αγωγιμότητας, πρέπει να έχουμε ορθή πόλωση  $U_{AK} > 0$  και στην πύλη (G) να δοθεί η κατάλληλη τιμή ρεύματος  $I_G$  σκανδαλισμού του θυρίστορ (σχ. 5.6).



**Σχήμα 5.6:** Θυρίστορ.  
α) κατασκευή, β) συμβολισμός, γ) χαρακτηριστική λειτουργίας.

Ρυθμίζοντας τη γωνία έναυσης  $\alpha$  του θυρίστορ ελέγχουμε τη μέση τιμή της τάσης που εφαρμόζεται στο τροφοδοτούμενο φορτίο (σχ. 5.7)

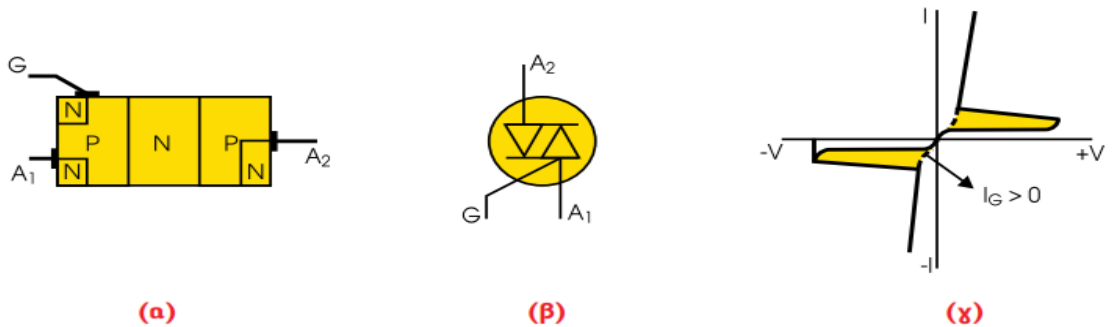


**Σχήμα 5.7:** Έλεγχος τάσης με θυρίστορ.

**Αμφίπλευρος ανορθωτής πυριτίου (Triac)**

Μπορεί να θεωρηθεί σαν σύνθεση δύο θυρίστορ συνδεδεμένων παράλληλα και με αντίθετη φορά (σχ. 5.8)

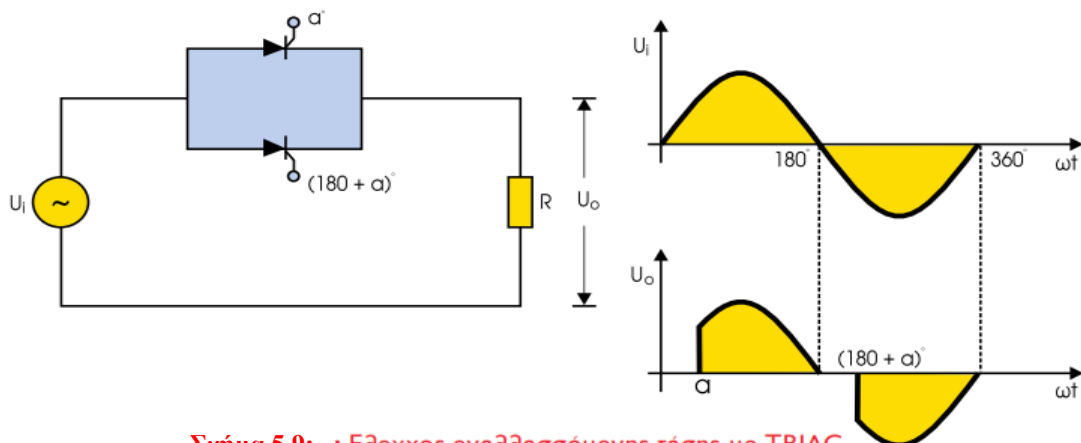
Με το κατάλληλο ρεύμα στην πύλη μπορεί να άγει και προς τις δύο κατευθύνσεις. Χρησιμοποιείται για έλεγχο εναλλασσόμενου ρεύματος (σχ. 5.9)



**(α)** **(β)** **(γ)**

**Σχήμα 5.8:** TRIAC.

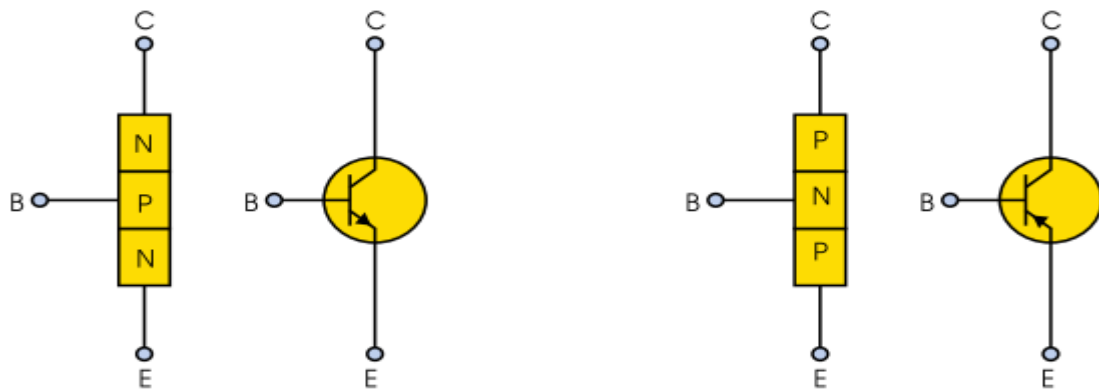
α) κατασκευή, β) συμβολισμός, γ) χαρακτηριστική λειτουργίας.



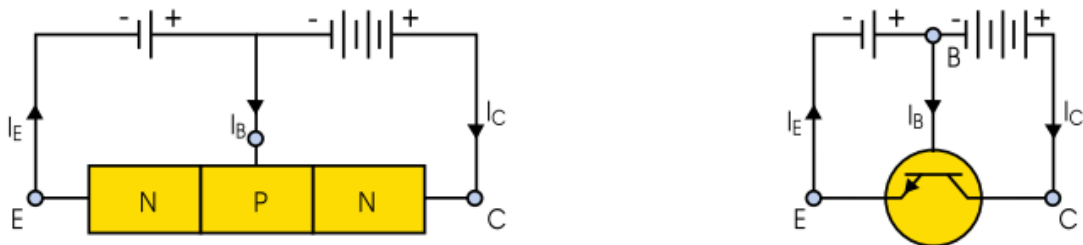
**Σχήμα 5.9:** Έλεγχος εναλλασσόμενης τάσης με TRIAC.

## Τρανζίστορ

Το τρανζίστορ κατασκευαστικά αποτελείται από δύο επαφές, ηρ,ηρ για τρανζίστορ τύπου n-p-n και ηρ,ηρ για τύπου p-n-p (σχ. 5.10). Μπορούμε να διακρίνουμε τρία άκρα: E (εκπομπός), B (βάση), C (συλλέκτης)



Σχήμα 5.10: Κατασκευή - Συμβολισμός τρανζίστορ ηρ,ηρ, ηρ,ηρ.



Σχήμα 5.11: Συνδεσμολογία τρανζίστορ ηρ,ηρ.

Στα ηρ,ηρ τρανζίστορ (σχ. 5.11) η τάση λειτουργίας δίνεται έτσι ώστε ο αρνητικός πόλος να βρίσκεται στον εκπομπό και ο θετικός στο συλλέκτη. Αν η βάση ενός τρανζίστορ ηρ,ηρ δεν έχει καθόλου τάση, δεν περνάει μέσα από κανένα αξιόλογο ρεύμα και το τρανζίστορ είναι σε κατάσταση φραγής. Αν όμως η βάση αποκτήσει μία μικρή θετική τάση σε σχέση με τον εκπομπό και μπορεί να περάσει ρεύμα μεταξύ εκπομπού και συλλέκτη το τρανζίστορ είναι τώρα αγωγίμο.

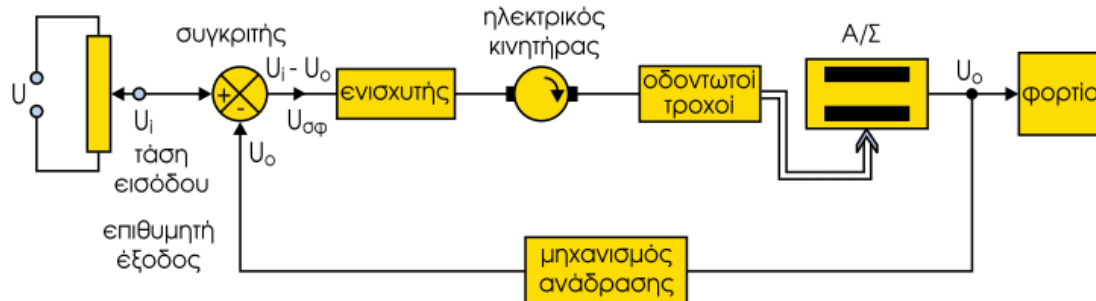
Το ρεύμα εκπομπού  $I_E$  χωρίζεται στη ζώνη βάσης σε ένα ρεύμα βάσης  $I_B$  και σε ένα ρεύμα συλλέκτη  $I_C$  έτσι ώστε  $I_E = I_B + I_C$

Ελέγχοντας ένα ελάχιστο ρεύμα βάσης ελέγχουμε ένα ρεύμα μέχρι χίλιες φορές μεγαλύτερο. Ενίσχυση ρεύματος λέγεται το πηλίκο:

$$B = I_C / I_B$$

### Περιγραφή συστήματος αυτόματου ελέγχου

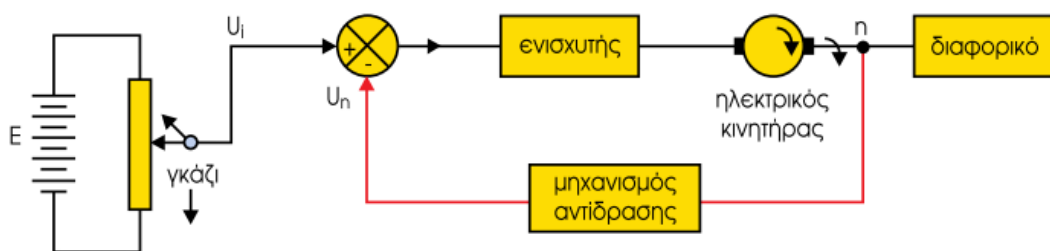
Κάθε σύστημα αυτόματου ελέγχου (Σ.Α.Ε.) είναι ένα σύνολο αλληλοεξαρτώμενων μηχανισμών, που έχει σκοπό να εξασφαλίσει ένα επιθυμητό αποτέλεσμα. Υπάρχουν συστήματα ανοιχτού βρόχου, όπου η έξοδος του συστήματος δεν ανατροφοδοτεί την είσοδο και συστήματα κλειστού βρόχου όπου η έξοδος μεταφέρεται στην είσοδο σε ένα συγκριτή, όπου συγκρίνεται με την επιθυμητή έξοδο του συστήματος.



**Σχήμα 5.12:** Δομικό διάγραμμα ΣΑΕ ρύθμισης τάσης τροφοδότησης φορτίου.

Για να καταλάβουμε το σύστημα αυτόματου ελέγχου κλειστού βρόχου, ας παρακολουθήσουμε τη λειτουργία του κλειστού βρόχου του σχήματος 5.12. Το φορτίο στην έξοδο μεταβάλλεται συνεχώς και πρέπει να εξασφαλίσουμε σταθερή τροφοδότηση  $U_o$ , η τυχαία έξοδος  $U_o$  μέσα από ένα μηχανισμό ανάδρασης έρχεται στο συγκριτή που συγκρίνει τη επιθυμητή έξοδο  $U$  του ποτενσιόμετρου με την πραγματική έξοδο  $U_o$ . Παράγεται σήμα σφάλματος  $U_{σφ} = U - U_o$  που ενισχύεται και τροφοδοτεί τον ηλεκτρικό κινητήρα που περιστρέφει τον άξονά του. Η περιστροφή αυτή υποβιβάζεται με σύστημα οδοντωτών τροχών που μετακινεί την κινητή λήψη του μετασχηματιστή. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, ο κινητήρας και η λήψη παραμένουν ακίνητοι όταν μηδενιστεί το σφάλμα δηλαδή  $U_o = U$

Στον ηλεκτρικό κινητήρα αυτοκινήτου ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής ταχύτητας εκτελεί συνεχώς το ακόλουθο διάγραμμα ελέγχου



**Σχήμα 5.13:** ΣΑΕ ρύθμισης ταχύτητας κινητήρα.



## 5.2 Μετατροπέας ισχύος

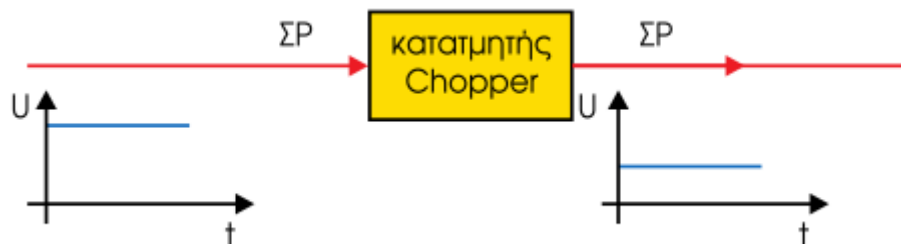
Ο μετατροπέας ισχύος παρεμβάλλεται μεταξύ της πηγής ισχύος και του κινητήρα και μετασχηματίζει την ισχύ εισόδου σε τάση και ρεύμα εξόδου κατάλληλης μορφής και πλάτους. Το είδος του μετατροπέα που απαιτείται για κάθε εφαρμογή εξαρτάται από το είδος της πηγής ισχύος και το είδος της μηχανής. Οι συνηθέστεροι μετατροπέες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης είναι οι εξής:

- DC – DC μετατροπέας (chopper, DC converter)
- DC – AC μετατροπέας, αντιστροφέας (DC – AC converter, inverter)

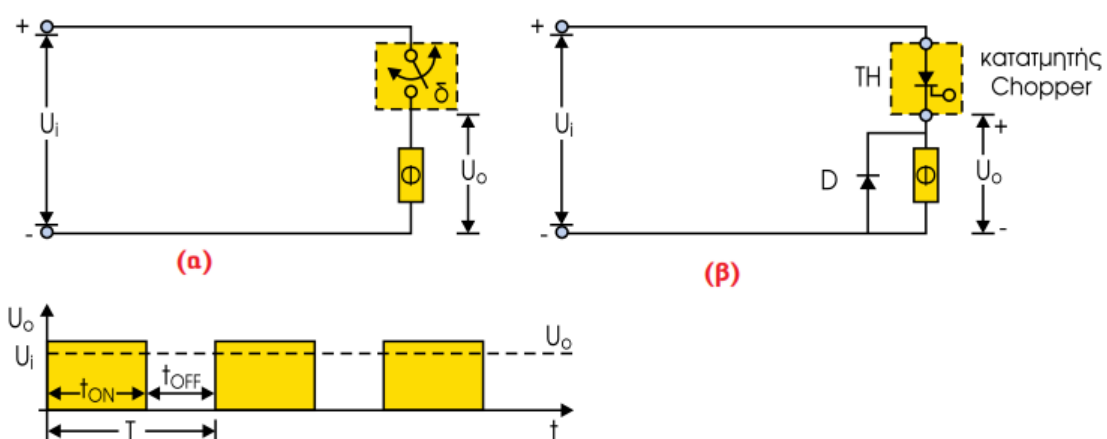
### 5.2.1 Καταμητής συνεχούς ρεύματος DC-DC (chopper)

#### Δομή – λειτουργία

Ο καταμητής είναι ένας ηλεκτρονικός μηχανισμός με θυρίστορ που μετατρέπει μία συνεχή τάση, σε συνεχή άλλης τιμής, είναι δηλαδή ένας μετατροπέας ΣΡ/ΣΡ



Στο σχήμα 5.14(α) φαίνεται το αντίστοιχο μηχανικό σύστημα που εκτελεί μέσω της κινητής επαφής δ, την αντίστοιχη εργασία με τον καταμητή. Η συχνότητα κίνησης της επαφής καθορίζεται από το κύκλωμα ελέγχου.



Σχήμα 5.14: Κύκλωμα και λειτουργία καταμητή (chopper).

Ο καταμητής είναι ένας διακόπτης ON/OFF. Η σύνδεση και η αποκοπή του φορτίου (Φ) στο σχήμα 5.14(β) γίνεται από ένα κύκλωμα θυρίστορ (TH). Κατά τη διάρκεια του χρόνου αγωγής  $t_{on}$ , ο καταμητής άγει και στο φορτίο εφαρμόζεται τάση  $U$ . Κατά τη διάρκεια του χρόνου  $t_{off}$  ο καταμητής αποκόπτει το κύκλωμα και η δίοδος ελεύθερης ροής  $D$  βραχυκυκλώνει το φορτίο. Η μέση τιμή της τάσης  $U_o$  που εφαρμόζεται στο φορτίο είναι :

$$U_o = U_i \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} = U_i \frac{t_{ON}}{T} = aU_i$$

Όπου  $a=t_{on}/T$  :σχετική διάρκεια παλμού

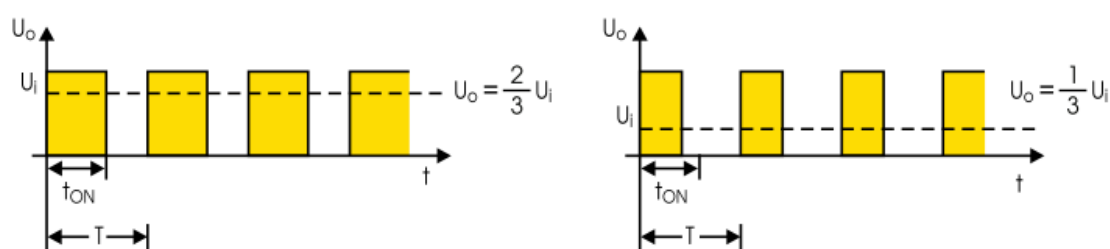
Η τάση φορτίου  $U_o$  μπορεί να μεταβληθεί με δύο μεθόδους:

➤ **A. Διαμόρφωση πλάτους παλμών PWM** (pulse-width modulation)

Η περίοδος  $T$  και η συχνότητα  $f$  φυσικά αφού  $f=1/T$  παραμένουν σταθερές και μεταβάλλεται ο χρόνος αγωγής

➤ **B. Διαμόρφωση συχνότητας παλμών FM** (frequency modulation)

Η περίοδος  $T$  μεταβάλλεται, ενώ παραμένει σταθερός ο χρόνος  $t_{on}$  ή  $t_{off}$ . Η μέθοδος που έχει επικρατήσει είναι η διαμόρφωση πλάτους παλμού.



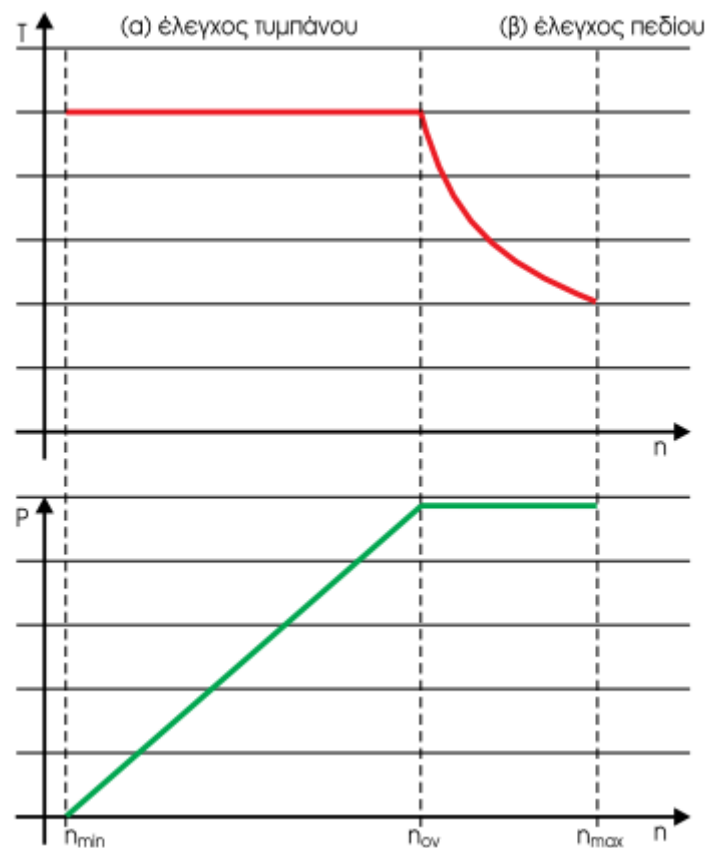
Σχήμα 5.15: Διαμόρφωση συχνότητας παλμών

**Εφαρμογές**

Ο καταμητής χρησιμοποιείται κυρίως σε οχήματα που κινούνται με κινητήρες συνεχούς ρεύματος και χρειάζονται έλεγχο στροφών με βοήθεια μεταβλητής τάσης. Με την αντιστροφή της πολικότητας μπορεί να γίνει εύκολα και η ομαλή πέδηση του οχήματος με επιστροφή ενέργειας στους συσσωρευτές. Επίσης η εκκίνηση γίνεται ομαλά και εύκολα, γιατί η τάση μπορεί να αυξάνεται βαθμιαία. Στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο που ο κινητήρας τροφοδοτείται από συσσωρευτές, η χρήση του καταμητή μας απαλλάσσει από όλες τις αντιστάσεις ρύθμισης, εκκίνησης, πέδησης, που καταναλώνουν σημαντική ποσότητα ενέργειας. Επίσης ο καταμητής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έλεγχο τάσης διέγερσης σε κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Με τον τρόπο αυτό θα έχουμε δυνατότητα ρύθμισης των δύο μαγνητικών πεδίων του στάση και του δρομέα . Η διπλή ρύθμιση της τάσης  $U$  του τυμπάνου και της τάσης του τυλίγματος διέγερσης έχει συχνή εφαρμογή στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος αυτοκινήτων γι' αυτό θα την περιγράψουμε.

1. Έλεγχος τυμπάνου . Με την βοήθεια κατανεμητή μεταβάλλουμε την τάση του τυμπάνου του κινητήρα. Απαραίτητα πρέπει η ταχύτητα να είναι μικρότερη της ονομαστικής και η μαγνητική ροή  $\Phi$  να διατηρείται σταθερή. Τότε αν και το ρεύμα τυμπάνου διατηρηθεί σταθερό η ροπή που δίνει ο κινητήρας στον άξονα του διατηρείται σταθερή και η ισχύς είναι ανάλογη με την ταχύτητα.

2. Έλεγχος πεδίου. Με τη βοήθεια δεύτερου κατανεμητή μεταβάλλουμε το ρεύμα διέγερσης και επομένως και τη μαγνητική ροή  $\Phi$ . η ταχύτητα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική και το ρεύμα τυμπάνου σταθερό. Η μείωση της μαγνητικής ροής ανεβάζει την ταχύτητα αλλά ταυτόχρονα ελαττώνεται η ροπή κι η ισχύς διατηρείται σταθερή. Έχει διαπιστωθεί ότι η ελάχιστη ταχύτητα που πρέπει να έχει ο κινητήρας για αξιόπιστο έλεγχο και σταθερή λειτουργία είναι και η  $n_{min}=(10/100) \cdot n_{ov}$  πον μέγιστη ταχύτητα  $n_{max}=4n_{ov}$



Σχήμα 5.16: Διπλή ρύθμιση τάσης

### 5.2.2 Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο DC-AC (αντιστροφέας)

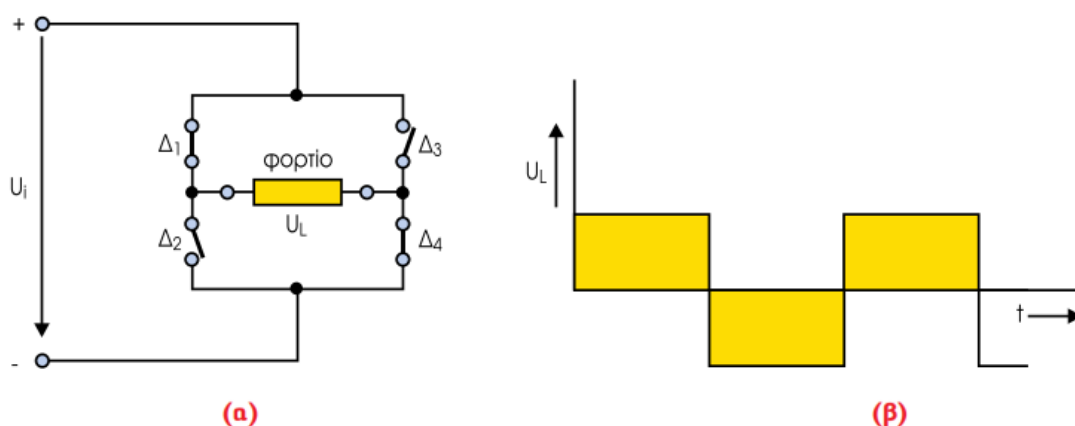
Για την παραγωγή ενός εναλλασσόμενου ρεύματος από μια πηγή συνεχούς χρησιμοποιούνται στρεφόμενοι ή στατικοί αντιστροφείς. Οι πρώτοι είναι ζεύγη μηχανών (κινητήρας συνεχούς – ασύγχρονης ή σύγχρονης γεννήτριας), ενώ οι δεύτεροι είναι διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος, χωρίς κυλιόμενα μέρη, με διόδους, θυρίστορ ή τρανζίστορ ισχύος. Με την μεγάλη τεχνολογική πρόοδο στον τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος η χρήση των στατικών αντιστροφέων απλώνεται όλο και περισσότερο.

Αν η συχνότητα της τάσης εξόδου ρυθμίζεται αυτοδύναμα από το κύκλωμα ελέγχου, τότε πρόκειται για αντιστροφή με εξαναγκασμένη οδήγηση.

#### Αρχή λειτουργίας του αντιστροφέα

##### Ισοδύναμο κύκλωμα με διακόπτες για τροφοδότηση μονοφασικού φορτίου

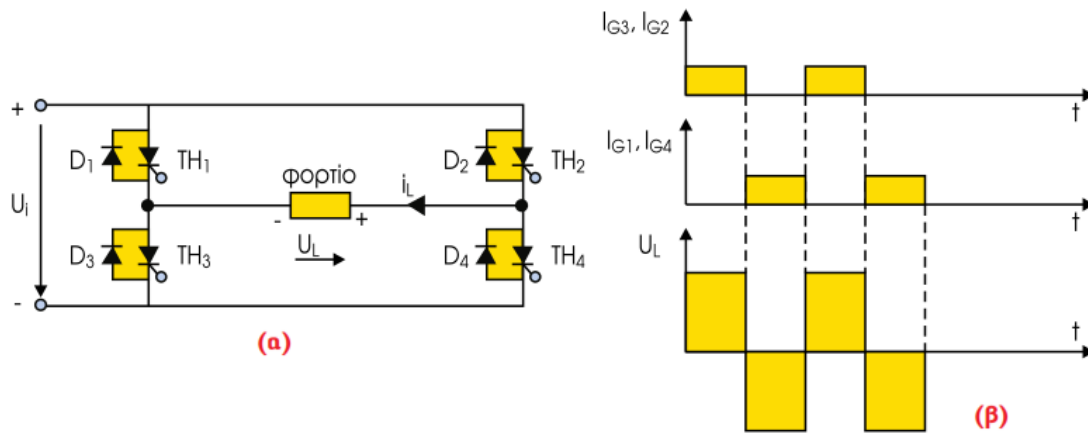
Η αρχή λειτουργίας του μονοφασικού αντιστροφέα εξηγείται σε πρώτη προσέγγιση με το κύκλωμα των τεσσάρων διακοπών σχ. 5.17(α). Αν ένα ζεύγος διακοπών (πχ  $\Delta_1, \Delta_2$ ) κλείνει και το άλλο (πχ  $\Delta_3, \Delta_4$ ) παραμένει ανοικτό τότε δημιουργείται η τετραγωνική κυματομορφή του σχήματος 5.17 (β) στην έξοδο του κυκλώματος. Η κυματομορφή αυτή αφού περάσει μέσα από ειδικό φίλτρο μπορεί να προσεγγίσει τη μορφή του εναλλασσόμενου ρεύματος.



**Σχήμα 5.17:** Ισοδύναμο κύκλωμα τεσσάρων διακοπών και αντίστοιχη κυματομορφή ρεύματος.

#### Πραγματικό κύκλωμα μονοφασικού αντιστροφέα

Οι διακόπτες  $\Delta$  έχουν αντικατασταθεί από ηλεκτρονικούς διακόπτες που είναι τα θυρίστορ τα οποία ελέγχονται από τα ρεύματα πύλης IG. Στην πρώτη ημιπερίοδο δίνουμε παλμούς έναυσης IG2, IG3 και άγουν τα θυρίστορ TH2 και TH3 και το φορτίο διαρρέεται από ρεύμα  $i$  με τη φορά που φαίνεται στο σχήμα 5.18.



**Σχήμα 5.18:** Κύκλωμα μονοφασικού αντιστροφέα με συναρτήσεις παλμοδοτήσεων και αποκρίσεων.

Στη δεύτερη ημιπερίοδο δίνουμε παλμούς έναυσης  $IG1, IG2$  και άγουν τα θυρίστορ  $TH1$  και  $TH2$ . Το φορτίο διαρρέεται από ρεύμα αντίστροφης φοράς από αυτή που φαίνεται στο σχήμα 5.18

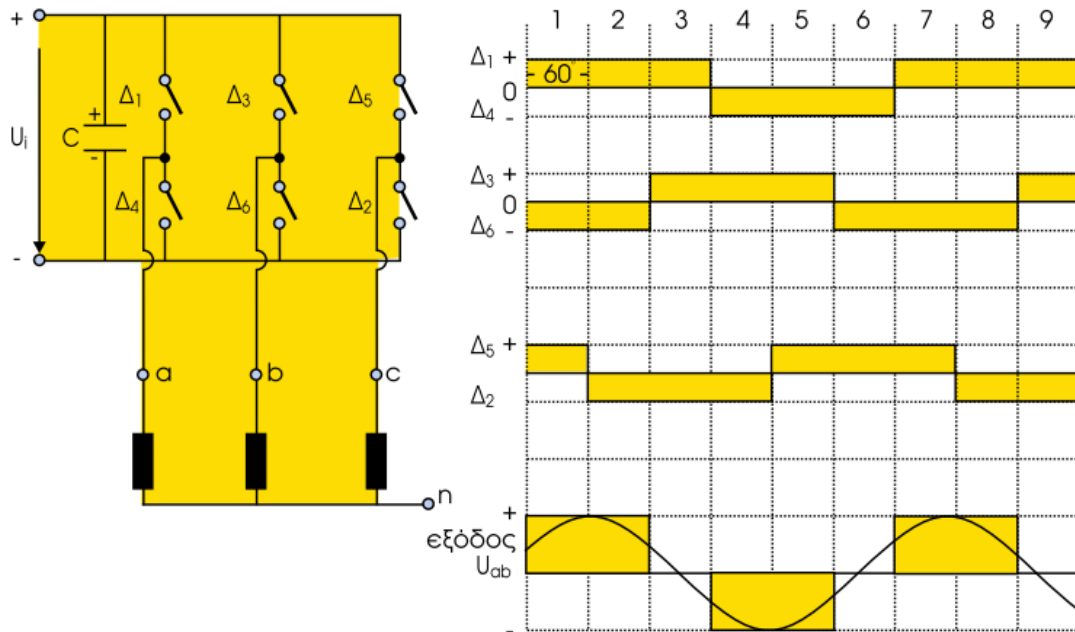
Το ρεύμα που ρέει σε έναν τέτοιο ηλεκτρονικό διακόπτη (θυρίστορ) πρέπει να έχει το ίδιο πρόσημο με την τάση αλλιώς το στοιχείο δεν άγει. Αυτό σημαίνει ότι ο αντιστροφέας μπορεί να δώσει μόνο ενεργό ισχύ (τάση και ρεύμα πρέπει να βρίσκονται πάντα σε φάση), πράγμα που κάνει προβληματική την τροφοδοσία ενός με ωμικού φορτίου. Αλλά φορτία που περιέχουν και επαγωγικό μέρος είναι πολύ συνηθισμένα (κινητήρες).

Ο περιορισμός αυτός μπορεί να αρθεί αν ο κάθε διακόπτης του υλοποιηθεί όχι μόνο με ένα θυρίστορ, αλλά με ένα θυρίστορ  $TH$  και μια αντιπαράλληλη δίοδο. Με τον τρόπο αυτόν είναι δυνατή η δημιουργία άεργου ισχύος (δηλαδή διαφοράς φάσης μεταξύ ρεύματος και τάσης) ώστε να τροφοδοτούνται και φορτία με επαγωγικό μέρος και για να είναι η ανάστροφη λειτουργία κατά την πέδηση του κινητήρα.

Εκτός από απλά θυρίστορ οι σύγχρονοι ηλεκτρονικοί διακόπτες μπορεί να είναι και ειδικά θυρίστορ και τρανζίστορ  $GTO, MOSFET$  κ.α.

### **Ισοδύναμο κύκλωμα με διακόπτες για τροφοδότηση τριφασικού φορτίου**

Ο αντιστροφέας αποτελείται από έξι βασικούς διακόπτες συγκροτημένους σε τρεις ομάδες με  $120$  μοίρες διαφορά γωνίας μεταξύ των ομάδων. Κάθε ομάδα αποτελείται από δύο διακόπτες με διαφορά φάσης οδήγησης  $180$  μοιρών



**Σχήμα 5.19:** Ισοδύναμο κύκλωμα με διακόπτες για τροφοδότηση τριφασικού φορτίου

Για παράδειγμα κατά τη διάρκεια του πρώτου και δεύτερου βήματος οι διακόπτες  $\Delta_1$  και  $\Delta_2$  είναι κλειστοί. Η τάση μεταξύ των ακροδεκτών  $a, b$  είναι θετική.

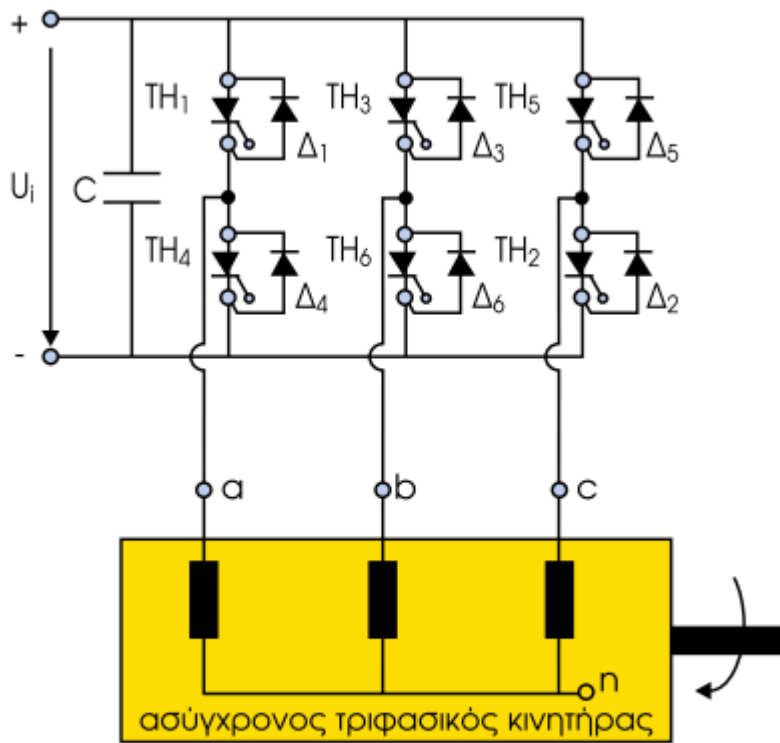
Κατά τη διάρκεια του τρίτου βήματος οι διακόπτες  $\Delta_1$  και  $\Delta_2$  είναι κλειστοί. Η τάση μεταξύ των ακροδεκτών  $a, b$  είναι μηδενική. Κατά τη διάρκεια του τέταρτου και πέμπτου βήματος οι διακόπτες  $\Delta_4$  και  $\Delta_3$  είναι κλειστοί και η τάση μεταξύ των ακροδεκτών  $a, b$  είναι αρνητική. Η πολική τάση  $V_{ab}$  που παρέχεται στην έξοδο είναι τετραγωνικής μορφής και περιέχει πλήθος αρμονικών. Μπορούμε με ειδική τεχνική που λέγεται διαμόρφωση εύρους παλμών να προσεγγίσουμε την ημιτονοειδή μορφή, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.19.

Ακολουθώντας τη βηματική ανάλυση και με τους υπόλοιπους διακόπτες μπορούμε να σχεδιάσουμε και τις υπόλοιπες τάσεις  $V_{bc}$ ,  $V_{ca}$ . Θα διαπιστώσουμε ότι η έξοδος μας προσεγγίζει το γνωστό τριφασικό σύστημα τάσεων.

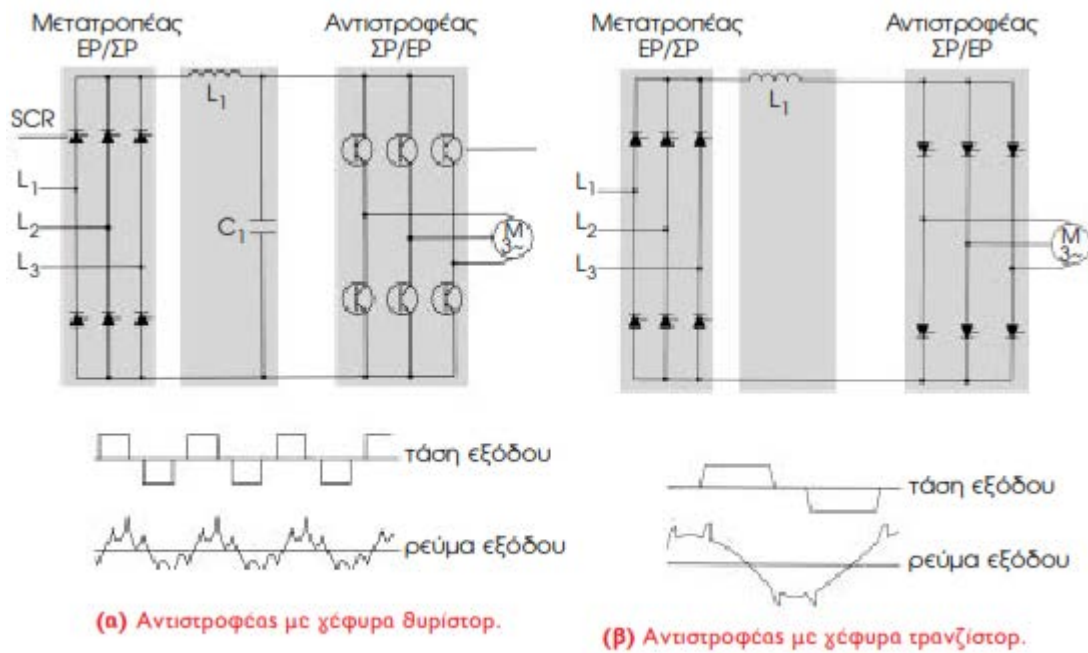
### Πραγματικό κύκλωμα τριφασικού αντιστροφέα

Στο κύκλωμα του σχήματος 5.20 έχουμε αντικαταστήσει τους έξι διακόπτες με έξι θυρίστορ. Αντιπαράλληλα έχουν συνδεθεί έξι δίοδοι για άεργο ισχύ. Με κατάλληλη παλμοδότηση των θυρίστορ η συνεχής τάση εισόδου μετατρέπεται στην έξοδο  $a-b-c$  σε τριφασική εναλλασσόμενη τάση. Με τεχνικές διαμόρφωσης εύρους παλμών μπορεί να προσεγγίσει την ημιτονοειδή μορφή. Ο ηλεκτρολυτικός πυκνωτής  $C$  σταθεροποιεί της τάση εισόδου. Η συχνότητα εξόδου στους αντιστροφείς που κυκλοφορούν στο εμπόριο μεταβάλλεται από 2Hz μέχρι μερικές δεκάδες Hz. Αυτό εξαρτάται από το είδος του ηλεκτρονικού διακοπτικού στοιχείου. Για πληρότητα της λειτουργίας του τριφασικού αντιστροφέα όταν διατίθεται εναλλασσόμενο ρεύμα και όχι συνεχές, παρατίθενται τα σχήματα 5.21(α) και 5.21(β) στα οποία υπάρχουν δύο στάδια μετατροπής:

- A) Μετατροπείας ΕΡ/ΣΡ
- B) Αντιστροφείας ΣΡ/ΕΡ



**Σχήμα 5.20: Αντιστροφείας ΣΡ/ΕΡ.**



**(α) Αντιστροφείας με χέφια θυρίστορ.**

**(β) Αντιστροφείας με χέφια τρανζίστορ.**

**Σχήμα 5.21: Συστήματα μετατροπής ΕΡ/ΣΡ/ΕΡ για τροφοδότηση τριφασικού κινητήρα με μεταβαλλόμενη V/f.**



## **Συμπεράσματα**

Το μέλλον του ηλεκτρικού οχήματος προδιαγράφεται λαμπρό λόγω και της ανάπτυξης της τεχνολογίας τόσο των τρόπων τροφοδοσίας όσο και των ηλεκτροκινητήρων. Εξάλλου, και το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για το ηλεκτρικό όχημα αποτελεί σημαντική εγγύηση για την πορεία του στο μέλλον.

Τυχόν προβλήματα που αφορούν στην περιορισμένη αυτονομία κινήσεως και στους μεγάλους χρόνους φόρτισης των συσσωρευτών του ηλεκτρικού οχήματος αντιμετωπίζονται με τη χρήση του υβριδικού οχήματος, που θεωρείται το ενδιάμεσο βήμα στη μετάβαση από το συμβατικό στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο.

Όσον αφορά στο υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας του ηλεκτρικού οχήματος, το οποίο είναι ένα πρόβλημα στη διείσδυση του στην αγορά, η λύση του βρίσκεται στη ζήτηση, καθώς το κόστος του είναι αντιστρόφως ανάλογο του αριθμού παραγωγής και κυκλοφορίας του.

Ήδη η παγκόσμια αγορά έχει στραφεί στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο με όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον, ενώ οι διεθνείς τάσεις δείχνουν μεγάλη διείσδυση ηλεκτρικών αυτοκινήτων τα προσεχή χρόνια. Στην Ελλάδα αρχίζουν να κυκλοφορούν τα πρώτα εμπορικά μοντέλα και σύντομα θα δούμε τους πρώτους σταθμούς φόρτισης στους δρόμους.

Η ηλεκτροκίνηση είναι περιβαλλοντικά πιο φιλική από την χρήση συμβατικών οχημάτων, ωστόσο αυτό δεν αποτελεί πανάκεια, καθώς εξαρτάται από το ενεργειακό μείγμα του συστήματος από το οποίο απορροφά ενέργεια το ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Δυστυχώς, το ενεργειακό μείγμα του ηλεκτρικού συστήματος της Ελλάδας είναι τέτοιο που τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα έχουν τελικά χειρότερο ενεργειακό αποτύπωμα από τα συμβατικά. Στην Ελλάδα λοιπόν θα μπορούσαμε να επωφεληθούμε, τη μείωση των εκπομπών από την ηλεκτροκίνηση, αν η ηλεκτρική ενέργεια που θα φορτίζει τις μπαταρίες των ηλεκτροκίνητων οχημάτων προέρχεται από ΑΠΕ.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί ότι το ηλεκτρικό όχημα με συσσωρευτή, ως μονάδα διεσπαρμένης αποθήκευσης ενταγμένη σε ένα «ευφύες» δίκτυο, μπορεί αφενός να λειτουργήσει ως συνδετικός κρίκος μεταξύ ΑΠΕ και δικτύου και αφετέρου μπορεί να συμβάλλει κατά τρόπο αξιόπιστο στη μείωση της αιχμής ζήτησης και στη μείωση εκπομπών ΑΤΘ, ενισχύοντας παράλληλα και την αξιοπιστία του δικτύου. Η παραπάνω πρακτική μπορεί να βρει κάλλιστα εφαρμογή στα ελληνικά νησιά και κυρίως στα μη διασυνδεδεμένα, με εντυπωσιακά αποτελέσματα στη μείωση των εκπομπών, στην αξιοπιστία του δικτύου, αλλά και στην «τσέπη» του πολίτη.

Η Πολιτεία είναι αυτή που τώρα θα πρέπει να βοηθήσει προκειμένου να διευκολύνει τη διείσδυση πράσινων αυτοκινήτων θεσπίζοντας πρόσθετα μέτρα, όπως εφαρμογή προγράμματος απόσυρσης με συνδυασμό επιδοτούμενης αγοράς υβριδικού ή ηλεκτρικού αυτοκινήτου, οργάνωση δημόσιου δικτύου φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων, μετατροπή δημόσιων και δημοτικών οχημάτων σε υβριδικά ή αγορά νέων ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς επίσης ειδική τιμολογιακή πολιτική και ελαφρύνσεις για τους κατόχους ηλεκτρικών οχημάτων. Επίσης, θα πρέπει να καλλιεργηθούν συνθήκες ευαισθητοποίησης των πολιτών σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος και επομένως αναδιάταξης των προτεραιοτήτων τους στον πίνακα των κριτηρίων με τα οποία αποφασίζουν τις αγορές νέων αυτοκινήτων ή τις αποσύρσεις των παλαιών.

## **Βιβλιογραφία**

1. . B. D. McNicol, D. A. J. Rand, “Power Sources for Electric Vehicles”, Studies in Electrical and Electronic Engineering, Elsevier Science Publishing Company, New York, 1981.
2. Ευάγγελος Ρίκος, «Μέθοδοι Εξοικονόμησης Ενέργειας σε ηλεκτροκίνητα οχήματα», Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πάτρα, 2005
3. Ουρανία Πιπεριά, «Διευρυμένη βάση δεδομένων ηλεκτρικών οχημάτων», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα
4. Αλιμήση Δ.Βαρβάρα, «Τεχνικοοικονομική ανάλυση του ηλεκτρικού οχήματος ως μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Αθήνα, 2010
5. Δόντιος Αντώνιος, «Φορτιστές μπαταριών σε ηλεκτροκίνητα οχήματα», Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009
6. C. C. Chan, K. T. Chau, “An Overview of Power Electronics in Electric Vehicles”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, February 1997, Vol. 44, no 1
7. Robert Q.Riley, “Alternative cars in the 21<sup>st</sup> century”
8. Δ. Νέγκας, «Ηλεκτροκίνητα Μέσα Μεταφοράς στην Ελλάδα, Υφιστάμενη Κατάσταση και Προοπτικές», 12/13 Ιαν.2006
9. Παναγιώτης Σ. Βαμβάρακης, «Ανασκόπηση τεχνολογιών υβριδικών οχημάτων με ηλεκτροκινητήρα και εμβολοφόρο Μ.Ε.Κ.», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο
10. Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα, 2007 “Technical annex to the SEAP template instructions document: THE EMISSION FACTORS”, Covenant of Mayors documents, [www.eumayors.eu](http://www.eumayors.eu), 2009
11. Απόστολος Β. Μπελόκας, «Ανάλυση της ενσωμάτωσης των διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών οχημάτων ως διεσπαρμένων μονάδων αποθήκευσης στα συστήματα διαχείρισης ενέργειας των κτιρίων με χρήση του λογισμικού GAMS», Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Αθήνα, 2011
12. Μαυρογιάννης Ιωάννης, «Ιστορία της Τεχνολογίας: Ηλεκτροκίνηση, Επιστημοποίηση», παρουσίαση-δημοσίευση στη Διημερίδα «Ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα -Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές», ΤΕΕ, Αθήνα, 12-13 Ιαν., 2006
13. Σ. Κουλλαπής, Ι. Μαλτίδης, Ε. Μητρονίκας, Α.Σαφάκας, «Μετατροπή ενός συμβατικού αυτοκινήτου σε υβριδικό για πειραματικούς σκοπούς», Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Πανεπιστημίου Πατρών, παρουσίαση-δημοσίευση στη Διημερίδα «Ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα -Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές», ΤΕΕ, Αθήνα, 12-13 Ιαν., 2006
14. Θωμάς Γ. Χονδρός, «Σχεδιασμός και αξιολόγηση μονάδων ισχύος ηλεκτρικών αυτοκινήτων πόλης», Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Αεροναυπηγών Πανεπιστημίου Πατρών, παρουσίαση-δημοσίευση στη Διημερίδα «Ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα - Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές», ΤΕΕ, Αθήνα, 12-13 Ιαν., 2006