



ΤΜΗΜΑ  
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ  
ΣΤΕΦ



# ELECTRIC VEHICLE

ΛΕΗΙΣΤΕ  
ΕΛΕΣΙΩΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΒΟΥΓΙΟΥΚΛΑΚΗΣ  
ΜΙΧΑΗΛ ΚΟΝΤΟΓΙΩΡΓΗΣ





ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ  
Σ.Τ.ΕΦ.

## **“Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο”**

Βουγιουκλάκης Παναγιώτης & Κοντογιώργης Μιχαήλ

Πτυχιακή Εργασία

Πειραιάς

Νοέμβριος 2012



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανάδειξη της λειτουργίας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, τα προβλήματα σχετικά με την ανάκτηση ενέργειας για την λειτουργία τους και οι νέες ιδέες σχετικά με τα ηλεκτρικά οχήματα και την επίλυση αυτών των προβλημάτων.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Περίληψη.....</b>	<b>2</b>
----------------------	----------

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

<b>1.1. ΓΕΝΙΚΑ.....</b>	<b>5</b>
1.2. Εισαγωγή.....	5
1.3. Ιστορία του ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου... ..	5
1.3.1. Electrobat, το πρώτο ηλεκτροκίνητο .....	7
1.4. Τι είναι το ηλεκτρικό αυτοκίνητο .....	9
1.5. Αρχή λειτουργίας ηλεκτρικού αυτοκινήτου.....	9
1.6. Ηλεκτροκίνητα οχήματα.....	10
1.7. Βελτίωση στην ποιότητα ζωής μέσα στις πόλεις μας.....	11
1.7.1. Ασφάλεια ηλεκτρικού αυτοκινήτου.....	12
1.8. Επίδραση της εισαγωγής χρήσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	12
1.8.1. Στην κατανάλωση ενέργειας.....	12
1.8.2. Στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.....	13
1.8.3. Στη ρύπανση και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	14
1.8.4. Στις κυκλοφοριακές συνθήκες και τα τροχαία ατυχήματα.....	14
1.8.5. Στις συνήθειες των καταναλωτών.....	16
1.9. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	18
1.9.1. Πλεονεκτήματα.....	18
1.9.2. Μειονεκτήματα.....	19
1.10. Μέλλον και Προοπτική του Ηλεκτρικού Οχήματος.....	20

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

<b>2. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΑ ΚΑΙ ΑΜΙΓΩΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>21</b>
2.1. Εισαγωγή.....	21
2.1.1. Αμιγώς Ηλεκτροκίνητα Οχήματα.....	23
2.1.2. Ηλεκτρονικός Μετατροπέας Ισχύος.....	25
2.1.3. Μετατροπείς Σ.Τ./Σ.Τ. τύπου Chopper.....	25
2.1.4. Μετατροπείς Σ.Τ./Ε.Τ. τύπου αντιστροφέα.....	27
2.2. Ηλεκτρικός Κινητήρας.....	29
2.3. Υβριδικά Οχήματα.....	31
2.4. Υβριδική Τεχνολογία.....	33
2.4.1. Υβριδικά "στάσης – εκκίνησης" ή micro – υβριδικά.....	33
2.4.2. Ήπια υβριδικά: "στάσης – εκκίνησης".....	33
2.4.3. Πλήρως Υβριδικά.....	33
2.4.4. Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Ηλεκτρικά (Plug – In Electric vehicles – PHEV).....	34

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

<b>3. ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>36</b>
3.1. Πηγές ενέργειας ηλεκτρικού αυτοκινήτου (μπαταρία).....	36
3.1.1. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Συσσωρευτών των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων.....	36
3.1.2. Ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) .....	37
3.2. Τύποι μπαταριών.....	38
3.2.1. Μπαταρία Lead-acid(μολύβδου).....	39
3.2.2. Μπαταρία Nickel-cadmium(νικελίου-καδμίου).....	40
3.2.3. Μπαταρία NiMH.....	41
3.2.4. Μπαταρία Lithium-Polymer(πολυμερής λιθίου).....	43
3.2.5. Μπαταρία Li- ion.....	44
3.2.6. Μπαταρία Sodium-Sulfur(θεικού νατρίου).....	47
3.3. Ποια πρέπει να είναι τα κύρια χαρακτηριστικά τους.....	50
3.3.1. Τα κύρια μεγέθη τους .....	50
3.4. Παράμετροι μπαταριών.....	52
3.4.1.1. Τάσεις στοιχείων και μπαταρίας.....	52
3.4.1.2. Χωρητικότητα μπαταρίας.....	52
3.4.1.3. Ρυθμός εκφόρτισης (discharge rate).....	53
3.4.1.4. Κατάσταση εκφόρτισης (State of Discharge).....	53
3.4.1.5. Βάθος φόρτισης(Depth of Discharge).....	53
3.4.1.6. Ειδική ενέργεια (Specific Energy).....	53
3.4.1.7. Ειδική ισχύς (Specific Power).....	54
3.4.1.8. Ενεργειακή απόδοση.....	54
3.5. Μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική κατά το φρενάρισμα.....	56
3.6. Υπερπυκνωτές.....	57
3.6.1. Σύγκριση Υπερπυκνωτών – Μπαταριών.....	58



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

<b>4. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ.....</b>	<b>59</b>
4.1. Εισαγωγή.....	59
4.1.1. Ηλεκτρικός κινητήρας μεγάλης απόδοσης και μικρού βάρους, όγκου, κόστους.....	59
4.1.1.1. Επιλογή επαγωγικού κινητήρα.....	60
4.2. Επαγωγικός κινητήρας.....	61
4.2.1. Επαγωγικοί κινητήρες.....	62
4.2.2. Λειτουργία των επαγωγικών κινητήρων.....	63
4.2.3. Ολίσθηση του δρομέα.....	63
4.2.4. Ισοδύναμο κύκλωμα.....	65
4.3. Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος.....	67
4.4. Στοιχεία ηλεκτροκινητήρων.....	68
4.5. Βασικές γνώσεις για ηλεκτροκινητήρες.....	69

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

<b>5. ΙΔΕΕΣ ΚΑΙ ΝΕΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ.....</b>	<b>70</b>
5.1. Τέσσερις ηλεκτρικοί κινητήρες συνεχούς ρεύματος.....	70
5.2. On line φόρτιση για το αυριανό EV.....	71
5.3. Ηλεκτροφόροι δρόμοι από την Solar Roadways.....	72
5.4. Ο επικρατέστερος τύπος μπαταριών.....	74
5.5. Μετά το λίθιο τι έπεται;.....	74
5.6. Η Nissan επιταχύνει στις υποδομές φόρτισης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων Επιτάχυνση φόρτισης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων.....	75
5.7. Παγκόσμιοι κοινοί φορτιστές ηλεκτρικών οχημάτων.....	76
5.8. Αναμενόμενες Εξελίξεις στα Λειτουργικά Χαρακτηριστικά των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων.....	76

<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>79</b>
---------------------------	-----------

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1.1 Εισαγωγή

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της σύγχρονης κοινωνίας, η Ατμοσφαιρική Ρύπανση, σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες όπως η μείωση φυσικών πόρων λόγω της άκρατης και ανεξέλεγκτης εκμετάλλευσής τους, οδήγησαν στην ανεύρεση εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Στο πνεύμα των νέων δεδομένων οι κατασκευαστές οχημάτων οδηγήθηκαν στο σχεδιασμό και την κατασκευή του ηλεκτρικού οχήματος. Η ενδιάμεση λύση της χρήσης καταλυτών για τη μείωση των ρύπων αποδείχθηκε ανεπαρκής, γιατί απλά περιόριζε το πρόβλημα χωρίς να οδηγεί στην οριστική του λύση. Το ηλεκτρικό όχημα εξασφαλίζει μηδενική εκπομπή ρύπων και αποδεσμεύει τους χρήστες από την εξάρτηση με τα υγρά καύσιμα, την κατακόρυφη αύξηση των τιμών τους και τις κάθε είδους ελλείψεις λόγω κρίσεων (π.χ. Πόλεμος του Κόλπου). Έτσι η οικολογική ευαισθησία, η συνειδητοποίηση ότι οι ρύποι των συμβατικών οχημάτων αποτελούν σημαντικό παράγοντα επιβάρυνσης της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και η γνώση ότι καθαρό περιβάλλον ισοδυναμεί με ποιότητα ζωής οδήγησαν τις Αυτοκινητοβιομηχανίες να «ακούσουν» τις νέες ανάγκες και να προσαρμωθούν αναλόγως.

## 1.2 Ιστορία του ηλεκτροκίνητου αυτοκινήτου

Ο 20ος αιώνας μπορεί να χαρακτηριστεί, από τεχνολογικής άποψης, ως ο αιώνας των δραματικών βελτιώσεων όλων των μεταφορικών συστημάτων. Ήδη από την αρχή του αιώνα συνυπήρχαν αυτοκίνητα τριών διαφορετικών τεχνολογιών.

- Ατμοκίνητα αυτοκίνητα (σε ποσοστό 40%)
- Ηλεκτροκίνητα με συσσωρευτές αυτοκίνητα (σε ποσοστό 38%)
- Βενζινοκίνητα αυτοκίνητα (σε ποσοστό 22%)

Εκείνη την εποχή, τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα με συσσωρευτές, ήταν σε πολύ καλύτερη θέση στην αγορά, συγκριτικά με τα βενζινοκίνητα, επειδή τα δεύτερα είχαν το μεγάλο μειονέκτημα της δύσκολης εκκίνησης με το χειροκίνητο μοχλό (μανιβέλα).

Αρκετοί κατασκευαστές έφτιαχναν ηλεκτρικά αυτοκίνητα τα οποία με επιτυχία ανταγωνίζονται με θερμικό κινητήρα 1900, το παγκόσμιο ρεκόρ απόστασης ανά φόρτιση των συσσωρευτών ήταν όχι μικρότερο από 290 χλμ. και το είχε επιτύχει μια Γαλλική εταιρεία, η BGS Electric Car. Εντούτοις η μέγιστη ταχύτητα ήταν πολύ μικρή με τα σημερινά δεδομένα.

Στα μέσα του 19ου αιώνα, ο Robert Anderson, ένας σκωτσέζος επιχειρηματίας, βρήκε την πρόωρη έκδοση ενός ηλεκτρικού οχήματος που λίγο πολύ μοιάζει με τα μεταφορικά μέσα που ήταν δημοφιλή στην εποχή του. Αυτό το αυτοκίνητο ήρθε πριν από την εφεύρεση και την τελειοποίηση των αυτοκινήτων που καίνε βενζίνη και diesel. Η εφεύρεση του Robert Anderson θεωρείται μια από τις πιο πρόωρες μορφές αυτοκινήτων.

Στα μέσα του 20ου αιώνα, η τεχνολογία των μπαταριών αποθήκευσης βελτιώθηκε πολύ λόγω των ανεξάρτητων προσπαθειών των Gaston Plante και Camille Faure. Αυτό έκανε τα αυτοκίνητα με μπαταρίες ή ηλεκτρικά οχήματα μια καλή επιλογή και αύξησε το ενδιαφέρον της βιομηχανίας για τέτοια τεχνολογία ειδικά στην Ευρώπη.

Το παγκόσμιο ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα άρχισε να μειώνεται με την εμφάνιση των μηχανών εσωτερικής καύσεως και στράφηκε στην εξαγωγή πετρελαίου και άλλων απολιθωμένων καυσίμων. Τα απολιθωμένα καύσιμα, όπως το diesel και η βενζίνη, ήταν πολύ φτηνότερες εναλλακτικές λύσεις όταν συγκρίνονται με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Η δαπανηρή παραγωγή των μπαταριών αποθήκευσης που έχουν περιορίσει ανάλογα τις ικανότητες, ήταν ένας μεγάλος παράγοντας στην πτώση της δημοτικότητας του ηλεκτρικού αυτοκινήτου.

### 1.2.1 Electrobat, το πρώτο ηλεκτροκίνητο!

Στις 31 Αυγούστου 1894. Ο χημικός Pedro Salom και ο εφευρέτης Henry Morris διασχίζουν τους δρόμους της Φιλαδέλφεια (Πενσυλβανία) καθισμένοι στο Electrobat, το πρώτο αξιόλογο ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο σύμφωνα με ιστορικές αναφορές. Οι δύο άντρες χρειάστηκαν περίπου δύο μήνες για να κατασκευάσουν το περίπου δύο τόνων Electrobat εκ των οποίων τα 725 kg αντιστοιχούν στις μπαταρίες μολύβδου-οξέως. Το Electrobat ήταν ένα μικρό θαύμα για την εποχή του καθώς μπορούσε να διανύσει περίπου 40 km.

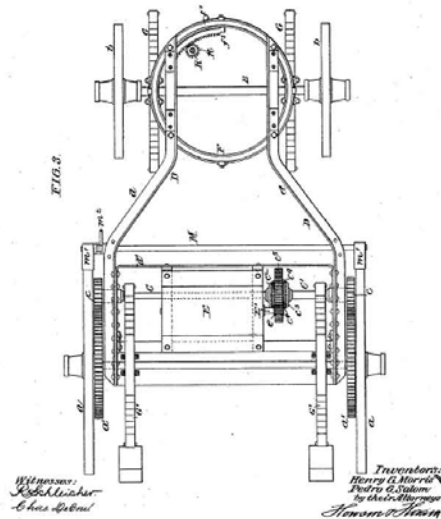




Το Electrobat 2 ζύγιζε πολύ λιγότερο, με το συνολικό βάρος στα 820 kg, και είχε αναλάβει ρόλο ταξί στην εταιρία των Morris & Salom (Electric Carriage and Wagon Company). Τα Electrobat έστριβαν αλλάζοντας τη διεύθυνση των πίσω τροχών και είχαν δύο ηλεκτροκινητήρες ισχύος 1,1 kW και η μέγιστη ταχύτητα έφτανε τα 32 km/h.

Μέχρι τον Απρίλιο του 1897 είχε εξυπηρετήσει περίπου χίλιους επιβάτες στην περιοχή του Μανχάταν και για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της αυτονομίας υπήρχε μέχρι και «εναλλακτήριο» μπαταριών. Σύντομα όμως το Electrobat εκτοπίστηκε από τα βενζινοκίνητα με την σημαντικά μεγαλύτερη αυτονομία.

(No Model.) 3 Sheets—Sheet 3.  
H. G. MORRIS & P. G. SALOM.  
ELECTRIC CARRIAGE.  
No. 541,001. Patented June 11, 1895.



### 1.3 Τι είναι το ηλεκτρικό αυτοκίνητο

Το Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο (ΗΑ) χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε επαναφορτιζόμενες συστοιχίες συσσωρευτών. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες αντί των μηχανών εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ). Αντιθέτως, τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν και τα δύο (ηλεκτρικές μηχανές και ΜΕΚ) καλούνται υβριδικά αυτοκίνητα και συνήθως δεν θεωρούνται καθαρά ΗΑ. Τα αυτοκίνητα με τις μπαταρίες που μπορούν να φορτιστούν και να χρησιμοποιηθούν χωρίς ΜΕΚ καλούνται «βυσματωτά» ηλεκτρικά οχήματα, και είναι καθαρά ΗΑ, ενώ δεν καταναλώνουν καύσιμα. Τα ΗΑ είναι συνήθως αυτοκίνητα, ελαφριά φορτηγά, ποδήλατα, ηλεκτρικά μηχανικά δίκυκλα, μικρά οχήματα γκολφ, ανυψωτικά (forklifts) και παρόμοια. Τα ΗΑ ήταν μεταξύ των αυτοκινήτων που εμφανίστηκαν από τις πρώτες μέρες της αυτοκίνησης και έχουν υψηλότερο συντελεστή ενεργειακής απόδοσης από όλα τα αυτοκίνητα εσωτερικής καύσης.

### 1.4 Αρχή λειτουργίας ηλεκτρικού αυτοκινήτου

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα εξαρτώνται απλώς από τις μπαταρίες. Υπό αυτήν τη μορφή, τα μηχανικά τμήματα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου διαφέρουν πολύ από τα μέρη ενός αυτοκινήτου με μια μηχανή εσωτερικής καύσεως. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπαταριών έχουν συνήθως τρία κύρια συστατικά, συγκεκριμένα: ο ελεγκτής, η μπαταρία, και η ηλεκτρική μηχανή. Σε ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο μπαταριών, το πεντάλ επιτάχυνσης συνδέεται με ένα ποτενσιόμετρο που μετρά τη δύναμη που έχει εφαρμόσει ο οδηγός στο πεντάλ. Το ποτενσιόμετρο στέλνει έπειτα ένα σήμα σε έναν ελεγκτή που του λέει πόση ενέργεια πρέπει η μπαταρία να δώσει στην ηλεκτρική μηχανή.

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι επαναφορτιζόμενες και έρχονται συνήθως σε αυτές τις μορφές ή παραλλαγές:

- Νικελίου-καδμίου (NiCd)
- Lead-acid (και ρυθμισμένο βαλβίδα οξύ μολύβδου ή ειδήλλως)
- Υδρίδιο μετάλλων νικελίου (NiMH)
- Ιόντων λιθίου (LiON)
- Λιθίου-ιόντων πολυμερών

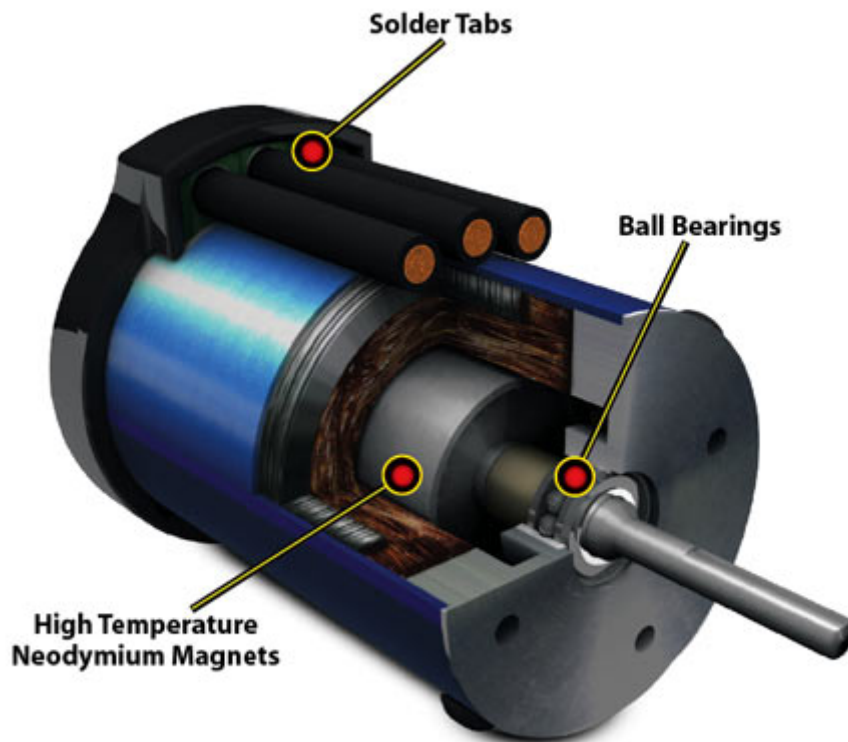
Η παραγωγή ενέργειας της μπαταρίας μετριέται με κιλοβατώρες (KWh) που δείχνουν πόση ενέργεια είναι σε θέση μια μπαταρία να αποθηκεύσει ή να παράγει.

## 1.5 Ηλεκτροκίνητα οχήματα

Τα οχήματα που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία κινούνται αποκλειστικά χρησιμοποιώντας ηλεκτροκινητήρα, ελεγχόμενο από κάποιον ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος. Η ηλεκτρική ενέργεια εξασφαλίζεται από συστοιχίες συσσωρευτών, φωτοβολταϊκούς συσσωρευτές ή από κυψέλες καυσίμου. Το ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο έχει μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά την κίνησή του. Αν όμως η ηλεκτρική ενέργεια για τη φόρτιση των συσσωρευτών προέλθει από το συμβατικό δίκτυο ενέργειας, τότε οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δεν μειώνονται σημαντικά. Οι ρύποι όμως είναι συγκεντρωμένοι και μπορούν να μειωθούν με τη χρήση φίλτρων στους σταθμούς παραγωγής. Το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό όφελος πάντως, προκύπτει αν η ηλεκτρική ενέργεια προέλθει από εναλλακτικές πηγές.

Η αυτονομία των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων είναι γενικά μικρότερη από αυτή των βενζινοκίνητων. Τυπικά με μία φόρτιση ένα ηλεκτροκίνητο όχημα μπορεί να καλύψει απόσταση 200-320 χιλιομέτρων. Η φόρτιση είναι μια διαδικασία που τυπικά διαρκεί γύρω στις 3-4 ώρες, γεγονός που δυσκολεύει την κάλυψη μεγάλων αποστάσεων. Μία γρήγορη φόρτιση κατά 80% μπορεί να διαρκέσει μισή ώρα.

Σε ένα ηλεκτροκίνητο όχημα ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι η αποκλειστική πηγή κίνησης. Στη βιομηχανία των ηλεκτροκίνητων οχημάτων δύο τύποι κινητήρων έχουν επικρατήσει: ο brushless κινητήρας μόνιμου μαγνήτη και ο τριφασικός επαγωγικός κινητήρας. Στα υβριδικά οχήματα Prius και Civic έχει επιλεγεί η λύση του brushless κινητήρα (εικόνα 1.1), ενώ σε καθαρά ηλεκτροκίνητα οχήματα, όπως το υψηλών επιδόσεων *Tesla Roadster*, χρησιμοποιείται ο επαγωγικός. Λιγότερο διαδεδομένη, και σε εφαρμογές μικρότερης ισχύος, είναι η χρήση κινητήρων συνεχούς ρεύματος, ξένης ή παράλληλης διέγερσης, ενώ παλιότερα τέτοιοι κινητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτροκίνητα μέσα μαζικής μεταφοράς.



Εικόνα 1.1 “Κινητήρας brushless”

Ανάλογα με το είδος του κινητήρα που χρησιμοποιείται, επιλέγεται για τον έλεγχο του και ο αντίστοιχος μετατροπέας ισχύος. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιούνται είτε μετατροπείς Σ.Τ.-Σ.Τ., είτε αντιστροφείς, προκειμένου να δημιουργηθεί μια τριφασική εναλλασσόμενη τάση από τους συσσωρευτές του οχήματος.

## 1.6 Βελτίωση στη ποιότητα ζωής μέσα στις πόλεις μας

Ποιές είναι οι δυνατές ενέργειες σχετικά με τα συστήματα μεταφοράς προσώπων που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής μέσα στις πόλεις μας;

1. Θα μπορούσαμε να φανταστούμε πόλεις χωρίς επιβατικά αυτοκίνητα, που να διαθέτουν μόνο «καθαρά» μέσα μαζικής μεταφοράς (π.χ. ηλεκτρικά λεωφορεία, τρόλεϊ, ή τραμ). Αυτή η μάλλον αντιδημοφιλής λύση απαιτεί πρόβλεψη διάθεσης γιγαντιαίων χώρων στάθμευσης των επιβατικών αυτοκινήτων στις προσβάσεις των πόλεων και αυτό δεν είναι εφικτό σε όλες τις περιπτώσεις. Επίσης, μια γενίκευση αυτής της εφαρμογής, θα είχε ίσως καταστροφική επίδραση στην αυτοκινητοβιομηχανία και επακόλουθη έκρηξη ανεργίας.

Μπορεί μόνο να θεωρηθεί σαν μέτρο προς εφαρμογή σε ειδικές περιπτώσεις όπως π.χ. σε πόλεις με πολλά σημαντικά αρχαιολογικά μνημεία ή πόλεις ιδιαίτερου τουριστικού ενδιαφέροντος.

2. Η εισαγωγή της χρήσης στις πόλεις, αυτοκινήτων «μηδενικής ρύπανσης» είναι μια εναλλακτική λύση. Σαν τέτοια πρέπει να θεωρήσουμε τα ηλεκτρικά δημόσια συστήματα μεταφοράς προσώπων, τα ηλεκτρικά επιβατικά αυτοκίνητα και τα ηλεκτρικά δίκυκλα. Τεχνολογικά είναι σήμερα εφικτή η κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων με ικανοποιητική ακτίνα ενέργειας για αστική χρήση. Η αυτοκινητοβιομηχανία είναι έτοιμη να παράγει τέτοια οχήματα εάν υπάρξει μια ικανή ζήτηση η οποία θα οδηγήσει στη μείωση των τιμών τους που σήμερα είναι πολύ υψηλότερες από εκείνες των συμβατικών αυτοκινήτων με θερμικούς κινητήρες.

Μια τέτοια απόφαση θα έχει θετικά αποτελέσματα όχι μόνο στη μείωση της ρύπανσης και του θορύβου, αλλά και σε πολλές άλλες δραστηριότητες του βίου μας. Κάθε μία από αυτές τις λύσεις δεν αποκλείει την άλλη και έτσι ο βέλτιστος συνδυασμός μπορεί να επιλεγεί για κάθε πόλη. Αλλά σε κάθε περίπτωση πρέπει να γίνει κατανοητό ότι αξιόλογη βελτίωση του προβλήματος της ρύπανσης και του θορύβου μπορεί να επιτευχθεί μόνο εάν σημαντικός αριθμός θερμικών αυτοκινήτων αντικατασταθεί με ηλεκτρικά. Ποιες θα είναι όμως οι τυχόν επιδράσεις; Είμαστε βέβαιοι ότι δοκιμάζοντας να λύσουμε τα προβλήματα της ρύπανσης και του θορύβου δεν θα δημιουργήσουμε άλλα προβλήματα;

### **1.6.1 Ασφάλεια ηλεκτρικού αυτοκινήτου**

Ένας σοβαρός παράγοντας κατά τη σχεδίαση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου αφορά την ασφάλεια, η οποία πρέπει να είναι ίδια με τους όρους ενός συμβατικού αυτοκινήτου. Η βασική δυσκολία θα είναι να εξασφαλίσουμε τον ίδιο βαθμό προστασίας και στους δύο τύπους αυτοκινήτων.

Για την υλοποίηση ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το αμάξωμα ενός μικρού συμβατικού αυτοκινήτου, παραδείγματος χάρη : Micra (Nissan) , Marbella 85 (Seat), Cinquecento (Fiat).

## **1.7 Επίδραση της εισαγωγής χρήσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων**

### **1.7.1 Στην κατανάλωση ενέργειας.**

Είναι δεδομένο ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα πλεονεκτούν των θερμικών στη χρήση μέσα στην πόλη γιατί δεν καταναλώνουν ενέργεια όση ώρα είναι σταματημένα στον κόκκινο σηματοδότη. Αλλά πόσο σημαντικό είναι αυτό το πλεονέκτημα στη μικτή χρήση; Στις περισσότερες συγκριτικές μελέτες, η ανά χιλιόμετρο καταναλισκόμενη ενέργεια του ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι περίπου η μισή εκείνης του θερμικού.

Όμως αυτές οι συγκρίσεις δεν λαμβάνουν υπόψη τους το γεγονός ότι η ταχύτητα και όλες οι άλλες συνθήκες που αφορούν στην άνεση των επιβατών δεν είναι ίδιες στους δύο συγκρινόμενους τύπους αυτοκινήτων. Στην πράξη, ο χρήστης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου θα υποχρεούται σε κίνηση με μικρότερες ταχύτητες και ίσως δεν θα απολαμβάνει στον ίδιο βαθμό τις ανέσεις που προσφέρει το θερμικό αυτοκίνητο (π.χ. το σύστημα κλιματισμού και άλλα ηλεκτρικά υποσυστήματα).

Μικρότερες ταχύτητες έχουν σαν συνέπεια την οικονομία ενέργειας, τη μείωση του αριθμού των ατυχημάτων αλλά και τη μείωση των ζημιών εάν αυτά συμβούν. Έτσι η επίδραση της εφαρμογής των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην καταναλωμένη ενέργεια θα είναι θετική σε βραχυχρόνια βάση, αν και αυτό το πλεονέκτημα μπορεί μακροχρονίως να παύει να έχει σημαντική αξία.

### 1.7.2 Στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

Οι προκαταρκτικές μελέτες αποδεικνύουν ότι η χρησιμοποίηση ηλεκτρικών αυτοκινήτων σε μικρή κλίμακα δεν προκαλεί σοβαρά προβλήματα στο ισοζύγιο της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, υπό την προϋπόθεση ότι οι συσσωρευτές τους θα φορτίζονται κατά τη διάρκεια της νύκτας. Εντούτοις αυτό δεν θα συμβαίνει εάν οι χρήστες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα έχουν τη δυνατότητα ταχείας φόρτισης των συσσωρευτών τους κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η επίπτωση αυτής της δυνατότητας δεν πρέπει να παραγνωρίζεται. Κάθε σταθμός ταχείας φόρτισης μπορεί να αντιπροσωπεύει εγκατεστημένη ισχύ 10 έως 300 KW. Ανέλεγκτη χρήση μεγάλου αριθμού τέτοιων σταθμών μπορεί να προκαλέσει ζήτηση ενέργειας σε απρόβλεπτα υψηλά επίπεδα και επομένως να απαιτηθούν περισσότερες ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες, ίσως και πυρηνικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής οι οποίοι δεν είναι σήμερα πολύ δημοφιλείς.

Στην περίπτωση ολικής αντικατάστασης των θερμικών αυτοκινήτων με ηλεκτρικά, όλη η ενέργεια που καταναλώνεται σήμερα για τις μεταφορές θα πρέπει να διατίθεται με τη μορφή της ηλεκτρικής ενέργειας. Σε μερικές περιπτώσεις αυτή η ενέργεια αποτελεί το 20 έως 40% της ολικής ενέργειας που καταναλώνεται σε ολόκληρη τη χώρα. Αυτό θα προκαλέσει μια απελπιστικά μεγάλη ανάγκη κατασκευής νέων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής και μπορεί να οδηγήσει χώρες οι οποίες μέχρι σήμερα έχουν ακολουθήσει αρνητική πολιτική στην κατασκευή πυρηνικών σταθμών στην αναθεώρηση αυτής της πολιτικής τους.

Ένας τρόπος ελέγχου της κατάστασης είναι ο εφοδιασμός των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με ειδικού τύπου ακροδέκτες φόρτισης και ειδικά συστήματα φόρτισης (ίσως μάλιστα επαγωγικού τύπου, τα οποία είναι ασφαλέστερα), έτσι ώστε να μην είναι δυνατή η σύνδεση με τους συνηθισμένου τύπου οικιακούς ή βιομηχανικούς ρευματολήπτες (πρίζες), αλλά μόνο με ρευματολήπτες ενός συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευασμένου αποκλειστικά γι' αυτή τη χρήση. Αυτό το δίκτυο θα παρέχει ίσως ηλεκτρική ενέργεια με διαφορετικό και κυμαινόμενο τιμολόγιο ανάλογα με την εκάστοτε διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Υψηλές εντάσεις φόρτισης για σχετικά μικρά χρονικά διαστήματα (ταχυφορτίσεις), θα κοστίζουν ακριβότερα. Χαμηλές εντάσεις κατά τη διάρκεια της νύκτας θα κοστίζουν λίγο. Μπορούμε έτσι να αποφύγουμε τις ανεπιθύμητες αιχμές ζήτησης.

Η κινητικότητα των πολιτών αυξάνεται καθημερινά. Σε 10 έως 30 χρόνια όταν η ακτίνα ενέργειας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα έχει εξομοιωθεί με εκείνη των θερμικών, ένα εκατομμύριο τουρίστες που θα επισκεφθούν με τα ηλεκτρικά τους αυτοκίνητα μια γειτονική χώρα, εύκολα θα μπορούν να προκαλέσουν κατάρρευση του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας που τους φιλοξενεί, εκτός βέβαια εάν έχουν συνολικά διασυνδεθεί και αλληλοϋποστηρίζονται τα δίκτυα διανομής όλων των χωρών.

### 1.7.3 Στη ρύπανση και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι όχημα «μηδενικής» ρύπανσης μόνο τοπικά στην περιοχή που λειτουργεί. Εάν οι συσσωρευτές του φορτίζονται με ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, τότε το πρόβλημα της ρύπανσης μεταφέρεται κάπου αλλού έξω από την πόλη. Αλλά ακόμα και έτσι, είναι τεχνολογικά ευκολότερο να αντιμετωπισθεί αυτό το πρόβλημα σε παγκόσμιο επίπεδο σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Πέραν αυτού, υδροηλεκτρικοί ή γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής δεν είναι απευθείας ρυπογόνοι. Το ίδιο ισχύει για την ηλιακή ενέργεια και υπό ορισμένες προϋποθέσεις και για την πυρηνική ενέργεια. Η συνολική ρύπανση από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής εξαρτάται από την ποσοστιαία συμμετοχή των διαφόρων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε κάθε σύστημα και αυτή διαφέρει από χώρα σε χώρα. Σε παγκόσμια κλίμακα εκτιμάται ότι η εκτεταμένη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα μειώσει τη ρύπανση τόσο μέσα στις πόλεις όσο και συνολικά, επίσης θα περιορίσει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μια άλλη αιτία ρύπανσης είναι τα άχρηστα βιομηχανικά προϊόντα. Τα παλιά αυτοκίνητα ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

Οι αριθμοί των ετησίως πωλούμενων αυτοκινήτων δείχνουν το μέγεθος του προβλήματος. Αποτελεί πλέον αναγκαιότητα τα αυτοκίνητα να είναι ανακυκλώσιμα. Αυτό πρέπει να ισχύει υποχρεωτικά και για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, παρά το γεγονός ότι ένα μη ανακυκλώσιμο αυτοκίνητο κατασκευασμένο από μη ανακυκλώσιμα συνθετικά υλικά μπορεί να είναι ελαφρύτερο, ανθεκτικότερο και να διαθέτει μεγαλύτερη αυτονομία.

### 1.7.4 Στις κυκλοφοριακές συνθήκες και τα τροχαία ατυχήματα

Οι κυκλοφοριακές συμφορήσεις δημιουργούνται από τρεις κυρίως αιτίες:

1. Το περιορισμένο πλάτος των δρόμων.
2. Την αναγκαιότητα επιβολής ορίων ταχύτητας για τον περιορισμό της πιθανότητας αλλά και της σοβαρότητας των τροχαίων ατυχημάτων.

3. Τον ακανόνιστο τρόπο με τον οποίο οι οδηγοί οδηγούν τα αυτοκίνητα τους (προσπεράσματα κλπ.), λόγω και της ανομοιογένειας των επιδόσεων αυτών των αυτοκινήτων.

Η ροή της κυκλοφορίας στους δρόμους μας συγκρίνεται με ακανόνιστη ροή στη μηχανική των υγρών. Η ανάμιξη, στο ίδιο ρεύμα κυκλοφορίας, οχημάτων με διαφορετικές επιδόσεις (όπως στην περίπτωση θερμικών και ηλεκτρικών αυτοκινήτων) δεν θα περιορίσει τα κυκλοφοριακά προβλήματα. Υπάρχει ήδη, αφού και τα θερμικά αυτοκίνητα μεταξύ τους διαφέρουν σημαντικά στις επιδόσεις. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα είναι ένα νέο μελλοντικό προϊόν που σχεδιάζεται. Τώρα δίνεται η ευκαιρία να επιβάλλουμε τυποποιημένα στοιχεία επιδόσεων (πχ όλα τα αυτοκίνητα να έχουν την ίδια μέγιστη ταχύτητα και τις ίδιες επιταχύνσεις). Τεχνικά είναι δυνατό να επεκταθεί αυτό το μέτρο και στα θερμικά αυτοκίνητα, χρησιμοποιώντας το ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης του κινητήρα με το οποίο είναι εφοδιασμένα τα περισσότερα από αυτά. Με τον τρόπο αυτό περιορίζονται βέβαια οι ελευθερίες των χρηστών των αυτοκινήτων, το αποτέλεσμα όμως θα είναι ευνοϊκό γι' αυτούς. Η κυκλοφορία θα είναι πιο ομαλή και τα τροχαία ατυχήματα θα μειωθούν επειδή θα περιοριστούν τα προσπεράσματα και οι υπερβάσεις των ορίων ταχύτητας. Τα αυτοκίνητα θα κινούνται στους δρόμους περίπου όπως τα βαγόνια των συρμών των τρενών. Το μέτρο είναι βέβαια ριζοσπαστικό αλλά δικαιολογημένο λόγω των πολλών χιλιάδων θυμάτων από τροχαία ατυχήματα που σημειώνονται ανά έτος. Προβλέπεται ότι οι κατασκευαστές δεν θα στηρίζουν ένα τέτοιο μέτρο αφού οι διαφοροποιήσεις στην απόδοση των αυτοκινήτων αποτελούν το κυρίαρχο στοιχείο προβολής και ανταγωνισμού των προϊόντων τους. Όμως υπάρχουν πολλές άλλες αβλαβείς ιδιότητες στη διάθεσή τους για την προώθηση των προϊόντων τους, όπως π.χ. η καταναλισκόμενη ενέργεια ανά χιλιόμετρο. Επίσης πολλοί καταναλωτές θα εναντιωθούν σε τέτοια μέτρα. Πρέπει όμως να πεισθούν ότι η μη ορθή χρήση του αυτοκινήτου αποτελεί κίνδυνο για τις ζωές όλων. Η αποδοχή γενικών υποχρεωτικών προδιαγραφών που να ρυθμίζουν τη μέγιστη ταχύτητα των αυτοκινήτων, εφ' όσον επεκταθούν στα θερμικά αυτοκίνητα, θα μειώσουν σημαντικά τις διαφορές των επιδόσεων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων με εκείνες των θερμικών. Επίσης, θα διευκολύνει σημαντικά τη διάδοση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Υπάρχει επίσης επείγουσα ανάγκη θέσπισης υποχρεωτικών προδιαγραφών στον τομέα της ασφάλειας. Οι ισχύουσες προδιαγραφές για τα προϊόντα της αυτοκινητοβιομηχανίας δεν καλύπτουν στις περισσότερες περιπτώσεις τα νέα προβλήματα που δημιουργούνται από τη φύση του προωστήριου συστήματος των ηλεκτρικών αυτοκινήτων (υψηλές διαφορές δυναμικού, κ.λπ.) αλλά και από την ύπαρξη πολλών τύπων συσσωρευτών οι οποίοι σε περίπτωση συγκρούσεως είναι δυνατό να απειλήσουν την ανθρώπινη ζωή. Η μη ικανοποιητική στήριξη των συσσωρευτών σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά επικίνδυνη.



Μια άλλη επίπτωση που μπορεί να προκαλέσει η εκτεταμένη χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο κυκλοφοριακό πρόβλημα προέρχεται από το γεγονός της τεχνολογικής απλότητας κατασκευής τους σε σύγκριση με τα θερμικά. Σε μια μακρόχρονη πρόβλεψη, όταν τα προβλήματα των συσσωρευτών θα έχουν επιλυθεί, η τιμή των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα πρέπει να είναι πολύ χαμηλότερη της τιμής των θερμικών εφ' όσον βέβαια παραχθούν μαζικά. Έτσι, λόγω της τιμής τους θα είναι προσιτά σε πολύ μεγαλύτερους αριθμούς καταναλωτών και επομένως θα υπάρξει σημαντική αύξηση του αριθμού των κυκλοφορούντων αυτοκινήτων.

Από πλευράς κυκλοφοριακών προβλημάτων θα πρέπει να προβλέψουμε ότι μια μέρα θα είναι δυνατό να αντιμετωπίσουμε αριθμό κυκλοφορούντων αυτοκινήτων ίσο με τον αριθμό των ενηλίκων κατοίκων κάθε χώρας. Μια τέτοια πιθανότητα δεν πρέπει να αποκλείεται και απαιτεί σοβαρή αντιμετώπιση.

### 1.7.5 Στις συνήθειες των καταναλωτών

Η εκτιμώμενη αυτονομία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων δεν αντιπροσωπεύει συνήθως αυτήν που οι καταναλωτές ανακαλύπτουν κατά την χρήση τους, επειδή η αυτονομία επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από διάφορους συντελεστές εκμετάλλευσης γνωστούς μόνο στο χρήστη.

Μεταξύ αυτών είναι:

1. Η μορφολογία της περιοχής στην οποία θα κινείται το αυτοκίνητο.  
*Π.χ. Αναρρίχηση σε κλίσεις μπορεί να εκφορτίσει τους συσσωρευτές πολύ ταχύτερα από το αναμενόμενο.*
2. Οι μεταβολές στην ταχύτητα του αυτοκινήτου.  
*Π.χ. Συχνές εκκινήσεις ή επιταχύνσεις αγωνιστικού τύπου μπορούν επίσης να εκφορτίσουν τους συσσωρευτές πολύ ταχύτερα από το αναμενόμενο.*
3. Η υπερβολική χρήση των βοηθητικών ηλεκτρικών υποσυστημάτων (κλιματισμός, θέρμανση, καθαριστήρες τζαμιού, αποπάγωση τζαμιού, συστήματα μουσικής, ηλεκτρικά παράθυρα, θέρμανση καθισμάτων, κλπ.) μπορούν να έχουν το ίδιο αποτέλεσμα και να μειώσουν δραστικά την αυτονομία σε λιγότερο από το μισό της αναμενόμενης.

Οι καταναλωτές δε λαμβάνουν υπ' όψη τους αυτά τα δεδομένα. Είναι όμως σημαντικό να προειδοποιηθούν γι' αυτά. Οι περισσότεροι από αυτούς θα αποδεχθούν να θυσιάσουν κάτι από την άνεσή τους και από τις επιδόσεις των συμβατικών αυτοκινήτων τους προκειμένου να βελτιώσουν την ποιότητα της ζωής τους και να διαφυλάξουν την υγεία τους. Θα πρέπει επίσης να πληροφορηθούν την αλήθεια



σχετικά με τη σε βάθος χρόνου επίδραση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας στην υγεία τους και την υγεία των παιδιών τους. Κάτω από αυτές τις συνθήκες τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα γίνουν αποδεκτά έστω και αν διαθέτουν μειωμένη αυτονομία.

## 1.8 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

### 1.8.1 Πλεονεκτήματα

1. Το κυριότερο πλεονέκτημα του ηλεκτρικού οχήματος είναι η συνεισφορά του στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας οφείλεται στους ρύπους των συμβατικών οχημάτων. Το ηλεκτρικό όχημα έχει ουσιαστικά μηδενικούς ρύπους προκαλώντας ελάχιστη ρύπανση του αέρα και μηδενική ρύπανση του χώρου που κινείται. Σε μια πρόσφατη μέτρηση φαίνεται ότι το ηλεκτρικό όχημα είναι 98% καθαρότερο του συμβατικού.

2. Η επόμενη συνεισφορά του αφορά στη μείωση της ηχορύπανσης που κάνει την ατμόσφαιρα των μοντέρνων πόλεων ανυπόφορη. Το ηλεκτρικό όχημα είναι ουσιαστικά αθόρυβο συγκρινόμενο με τα οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσεως.

3. Είναι περισσότερο αξιόπιστα από τα συμβατικά οχήματα.

4. Είναι πιο εύκολη η κατασκευή του γιατί ο ηλεκτροκινητήρας είναι πολύ απλός στη δομή του, σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσεως. Εφόσον τροφοδοτείται μέσω ηλεκτρονικών μετατροπών ισχύος, οι οποίοι ελέγχονται εύκολα ηλεκτρονικά, δεν απαιτείται συνήθως νερό για την ψύξη τους και δεν χρησιμοποιεί φίλτρα και λάδι, με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζει προβλήματα που δημιουργούνται από χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος.

5. Καταναλώνει ενέργεια μόνο όταν κινείται. Όταν δεν κινείται π.χ. στάση σε σηματοδότες ή σε μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση, δεν καταναλώνει ενέργεια.

6. Λόγω του σεβασμού του στο περιβάλλον επιτρέπει την ενσωμάτωση της κίνησης σε περιοχές «ιστορικά ευαίσθητες» π.χ. Ιστορικό κέντρο των πόλεων.

7. Δεν απαιτούνται για τη χρήση του υψηλές μηχανικές γνώσεις και εμπειρία. Έχει σαφώς πιο εύκολο χειρισμό από το συμβατικό όχημα.

8. Το κόστος της λειτουργίας του, σύμφωνα με υπολογισμούς των General Motors και Chrysler είναι πολύ μικρότερο από αυτό των συμβατικών οχημάτων.

9. Η ηλεκτρική μηχανή είναι πολύ πιο αποτελεσματική συγκρινόμενη με του συμβατικού, αναμένεται να κρατήσει πάνω από 1.000.000 μίλια εν αντιθέσει με τα 100.000 μίλια του συμβατικού.

## 1.8.2 Μειονεκτήματα

1. Έχει μικρότερες επιδόσεις, εξαιτίας της ανεπάρκειας των συσσωρευτών.
2. Έχει πολύ μικρή αυτονομία σε σχέση με τα συμβατικά.
3. Η πυκνότητα ενέργειας των ηλεκτροχημικών συσσωρευτών είναι πολύ μικρότερη αυτής του υγρού καύσιμου, το οποίο προέρχεται από υδρογονάνθρακες. Π.χ. 1 χιλιόγραμμα βενζίνης έχει ειδική ενέργεια της τάξεως των 12.000Wh. Αντίθετα 1 χιλιόγραμμα από τον καλύτερο συσσωρευτή Νατρίου – Θείου έχει ειδική ενέργεια της τάξεως των 80-85 wh.
4. Χρειάζεται μεγάλο χρόνο για τη φόρτιση των συσσωρευτών, σε αντίθεση με το συμβατικό το οποίο χρειάζεται ελάχιστο χρόνο για τον εφοδιασμό του με υγρά καύσιμα.
5. Υπάρχει υψηλό κόστος συσσωρευτών. Το κόστος των συσσωρευτών είναι προφανές ότι επηρεάζει αισθητά το συνολικό κόστος του ηλεκτρικού οχήματος.
6. Βασικό μειονέκτημα αποτελεί η ασφάλεια από τους συσσωρευτές που μπορεί να τραυματίσουν σοβαρά τους επιβάτες.
7. Σε περίπτωση κακής μόνωσης υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.
8. Δύσκολη πρόσβαση σε φορτιστή , σε αντίθεση με τους σταθμούς καυσίμων που συναντάμε παντού. Πρόβλημα που αντιμετωπίζεται με τους φορητούς φορτιστές ή τους σταθμούς φόρτισης σε πολλές ξένες πόλεις (εικόνα 1.8.1).



Εικόνα 1.8.1 “Σταθμοί Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων”

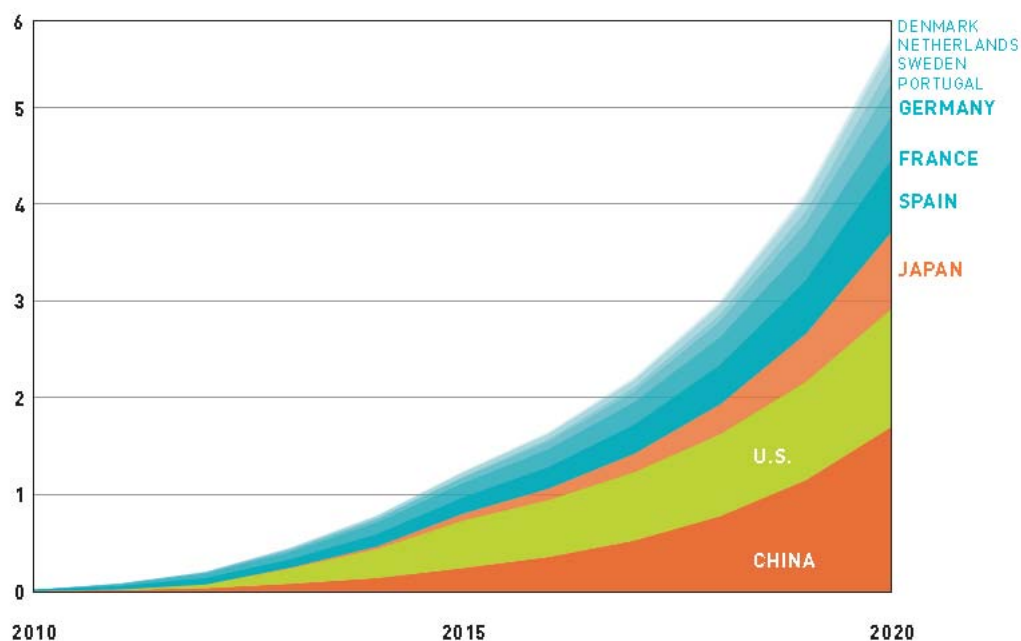
## 1.9 Μέλλον και Προοπτική του Ηλεκτρικού Οχήματος

Οι κατασκευαστικές εταιρίες διαθέτουν αυτοκίνητα πρότυπα τα οποία υποδηλώνουν ποιό θα είναι το αύριο του ηλεκτρικού οχήματος. Αυτά τα αυτοκίνητα θα ενσωματώσουν την ηλεκτρική ενέργεια από την αρχή της σύλληψης του οχήματος μέχρι το σχεδιασμό και την επιλογή των υλικών. Το αποτέλεσμα θα είναι εύκολα στη χρήση, φιλικά στο χρήστη αυτοκίνητα πόλης τα οποία θα διαθέτουν νέα βοηθητικά συστήματα πλοήγησης και λειτουργίες που θα παρέχουν πληροφορίες στο χρήστη.

Η Saft είναι ένα ενεργό μέλος στις εξελίξεις αναπτύσσοντας εξελιγμένες λύσεις ενέργειας στον 21ο αιώνα. Αυτές περιλαμβάνουν LiIon , NiMH μπαταρίες καθώς και τα δικά τους εξελιγμένα ηλεκτρονικά συστήματα χειρισμού.

Όσον αφορά το κόστος κατασκευής και λειτουργίας εξαρτάται από το πλήθος των οχημάτων που τελικά θα κυκλοφορήσουν, προς το οποίο είναι αντιστρόφως ανάλογο. Εκτιμάται εξάλλου ότι δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό, συγκριτικά με αυτό των συμβατικών.

Από πλευράς ενδιαφέροντος, τόσο εκ μέρους της πολιτείας όσο και των πολιτών, παρατηρείται μια αυξανόμενη τάση. Στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει ιδρυθεί η AV.ER.E. στη οποία συμμετέχει και η Ελλάδα με το ΕΛ.ΙΝ.Ο. με σκοπό την προώθηση της ιδέας ηλεκτροκίνησης των οχημάτων. Στον πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε παραδείγματα χωρών της Ευρώπης, αλλά και την Ιαπωνία και την Αμερική, οι οποίες εφάρμοσαν εθνικά προγράμματα ενίσχυσης του ηλεκτρικού οχήματος. Είναι έκδηλο λοιπόν το ενδιαφέρον για το ηλεκτρικό όχημα παγκοσμίως.

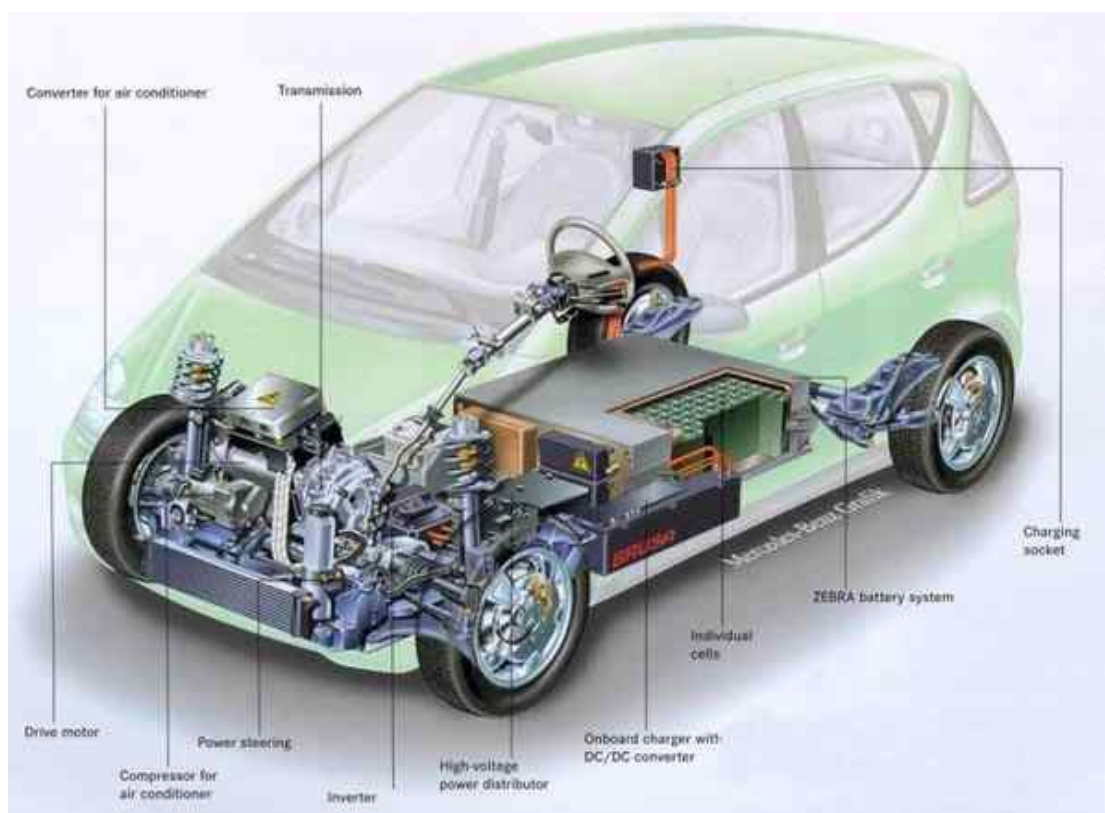


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2 Ηλεκτροκίνητα και αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα

#### 2.1 Εισαγωγή

Μερικά από τα σημεία κλειδιά που ξεχωρίζουν ένα ηλεκτρικό όχημα από ένα συμβατικό φαίνονται στην επόμενη εικόνα.

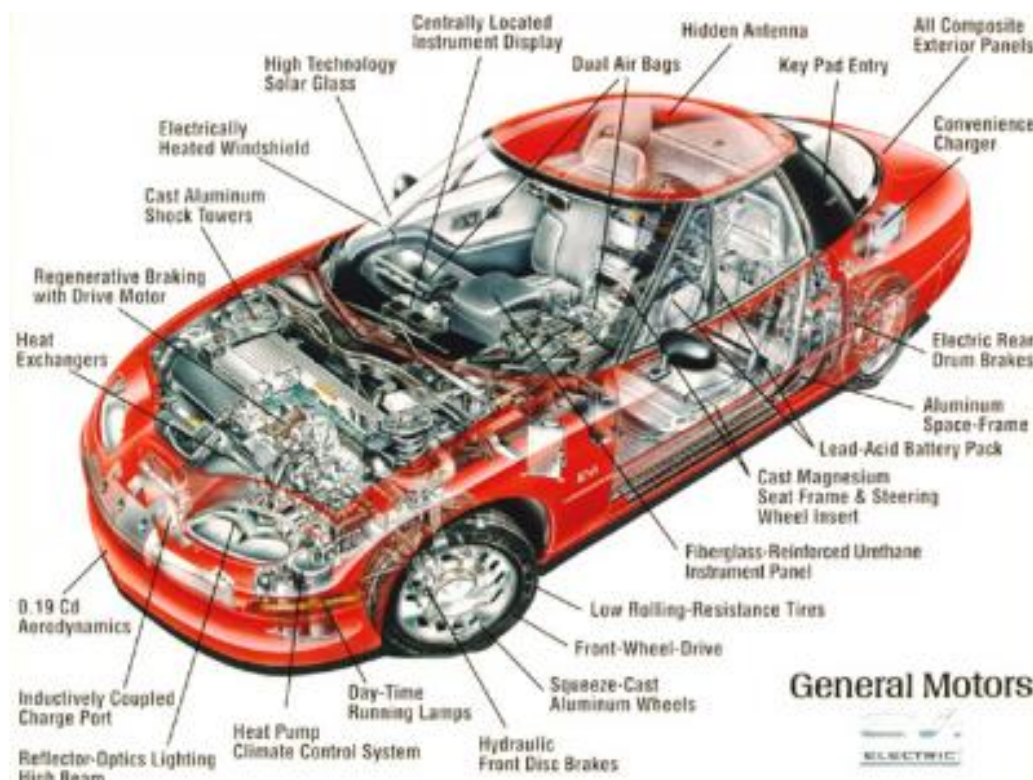


Εικόνα 2.1.1 “Τα μέρη ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου”

Βλέπουμε λοιπόν το Φορτιστή (Charger 240V), τον Ελεγκτή (Battery Controller), το Συσσωρευτή (Battery Pack), το Μεταλλάκτη (Converter) και την Υποδοχή Σύνδεσης για Πηγή Φόρτισης (Charger Inlet) και το Μετατροπέα (Motor Inverter). Πολλές από τις Αυτοκινητοβιομηχανίες προσπάθησαν να αντιμετωπίσουν το θέμα του ηλεκτρικού οχήματος με το ημίμετρο της μετατροπής των συμβατικών. Σύντομα όμως συνειδητοποίησαν ότι υπάρχουν προβλήματα, με σημαντικότερα το υπερβολικό βάρος του συμβατικού οχήματος και την παθητική ασφάλεια, όσον αφορά τους συσσωρευτές που συχνά τραυματίζουν σοβαρά τους επιβάτες. Έτσι οδηγήθηκαν στη σχεδίαση «από το μηδέν» του οχήματος με στόχο τον ελαφρύ σκελετό (για

παράδειγμα αλουμίνιο), θερμοπλαστικά αμαξώματα και συσσωρευτές ανεξάρτητους από το υπόλοιπο αμάξωμα.

Η τεχνολογία τους πρέπει να είναι προσαρμοσμένη σε ειδικές ανάγκες όπως αύξηση της εμβέλειας, μείωση του χρόνου φόρτισης των συσσωρευτών, αύξηση του ορίου ζωής τους και εκμετάλλευση της απευθείας ενέργειας όταν μειώνεται η ταχύτητα. Όλα αυτά είχαν σαν αποτέλεσμα η νέα γενιά ηλεκτρικών οχημάτων να έχει έναν άρτιο μηχανισμό και συγχρόνως όλες τις πολυτέλειες που ο αγοραστής έβρισκε στο παρελθόν μόνο σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο. Δύο στοιχεία που φαίνονται ξεκάθαρα παρακάτω (εικόνα 2.1.3).



Εικόνα 2.1.3 “Αμιγώς ηλεκτρικό όχημα”

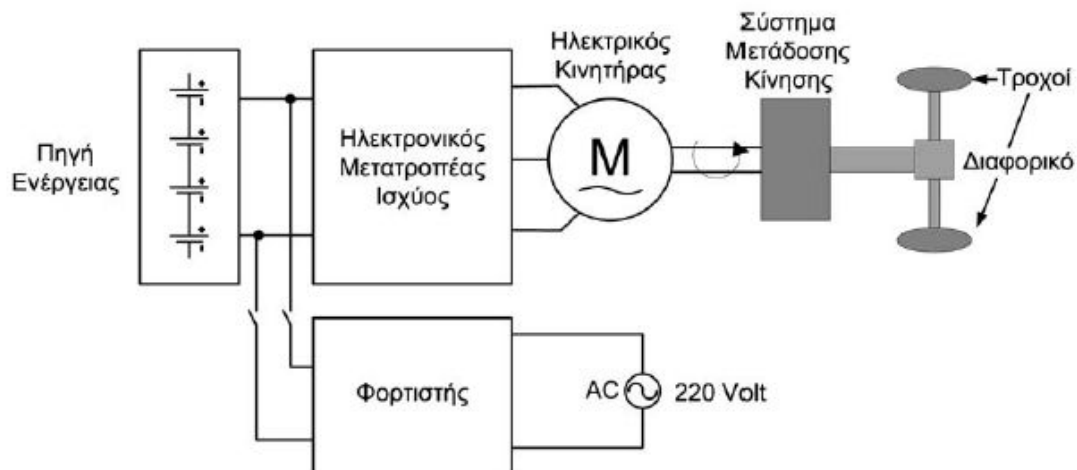
Πρόκειται για το διάγραμμα του μοντέλου EV-1 της General Motors. Παρατηρεί λοιπόν ο αναγνώστης την πολυτέλεια των λεπτομερειών όπως το ηλεκτρικά θερμαινόμενο παρμπρίζ, τους αερόσακους, την κρυμμένη κεραία αλλά και την αρτιότητα του μηχανισμού ενός αμιγώς ηλεκτρικού οχήματος. Είναι προφανές ότι η μορφή των ηλεκτρικών οχημάτων έχει ξεφύγει από τα πειραματικά αυτοκίνητα και έχει ενταχθεί στην αγορά χωρίς να υστερεί σε τίποτα των συμβατικών, τα οποία μονοπωλούσαν για μεγάλο χρονικό διάστημα την αγορά και το ενδιαφέρον των αγοραστών. Αυτό βέβαια δεν είναι μια κατάσταση μη αναστρέψιμη.

## 2.1.1 Αμιγώς Ηλεκτροκίνητα Οχήματα

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. Συνεπώς θα μπορούσαμε να κατατάξουμε τα ηλεκτρικά οχήματα σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα κριτήρια που θέτουμε. Όμως όλα έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, που είναι η ύπαρξη ενός τουλάχιστον ηλεκτρικού κινητήρα για την προώθηση του οχήματος. Σε σχέση με τις εκπομπές ρύπων, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, υπάρχουν ουσιαστικά δύο μεγάλες κατηγορίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Τα οχήματα μηδενικών ρύπων στα οποία ανήκουν τα 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. Η ενέργεια του οχήματος προέρχεται από καθαρά ηλεκτρική πηγή και η κίνηση του οχήματος βασίζεται αποκλειστικά σε έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες.

Είναι σήμερα εφικτή η χρήση των αμιγώς ηλεκτροκίνητων οχημάτων, εντός πόλεως και σε συνδυασμό με την κατ' οίκον χρήση. Το γεγονός αποδίδεται κυρίως στο ενδιαφέρον της Γαλλικής βιομηχανίας παραγωγής ενέργειας, η οποία στηρίζεται, στους πυρηνικούς σταθμούς, να δημιουργήσει πελατεία για την άφθονη και φτηνή ηλεκτρική ενέργεια που παράγει.

**Τα βασικότερα τμήματα που αποτελούν ένα ηλεκτρικό όχημα φαίνονται στο Σχήμα 2.1 και είναι:**



**Σχήμα 2.1.1** “Βασικά μέρη ηλεκτρικού οχήματος”



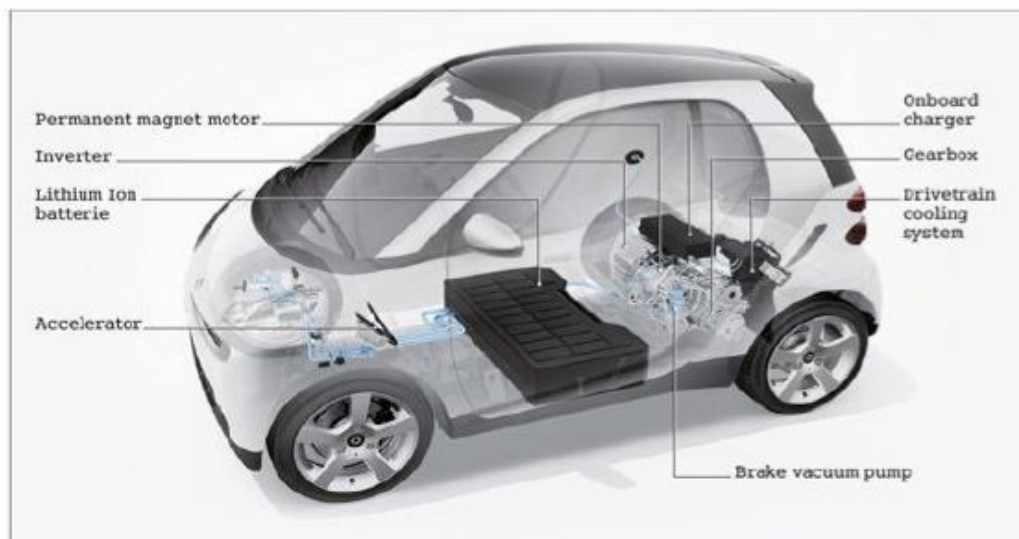
- **Πηγή Ηλεκτρικής Ενέργειας:** Είναι το τμήμα που τροφοδοτεί με ενέργεια το υπόλοιπο σύστημα. Το τμήμα αυτό λειτουργεί είτε ως πηγή είτε ως αποθήκη ηλεκτρικής ενέργειας είτε ως συνδυασμός και των δύο. Για την αποθήκευση ενέργειας χρησιμοποιούνται οι συσσωρευτές, ενώ όσον αφορά τη φόρτιση τους συνήθως γίνεται με ηλεκτρονικούς μετατροπείς Ε.Τ./Σ.Τ. Οι συσσωρευτές καθώς και ποικίλλες διατάξεις και σενάρια φόρτισης θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

- **Ηλεκτρονικός Μετατροπέας:** Το τμήμα αυτό είναι υπεύθυνο για την κατάλληλη μετατροπή της τάσεως της πηγής ώστε να τροφοδοτήσει τον κινητήρα. Επιπλέον ελέγχει και τη λειτουργία του οχήματος ελέγχοντας ουσιαστικά την ταχύτητα και τη ροπή του κινητήρα.

- **Ηλεκτρικός Κινητήρας:** Ο κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική για την κίνηση του οχήματος.

- **Σύστημα Μετάδοσης Κίνησης:** Το μηχανολογικό αυτό τμήμα του οχήματος μεταδίδει την κίνηση στους τροχούς προσαρμόζοντας κατάλληλα τη ροπή και την ταχύτητα.

### smart ed



smart

Αξίζει εδώ να αναφερθεί ότι ορισμένα τμήματα μπορεί να διαφοροποιούνται ή ακόμα και να μην υπάρχουν. Για παράδειγμα τμήματα ή όλο το σύστημα μετάδοσης κίνησης μπορεί να μην υπάρχει. Επιπλέον το όχημα μπορεί να έχει περισσότερους από έναν κινητήρα και μετατροπέα.

## 2.1.2 Ηλεκτρονικός Μετατροπέας Ισχύος

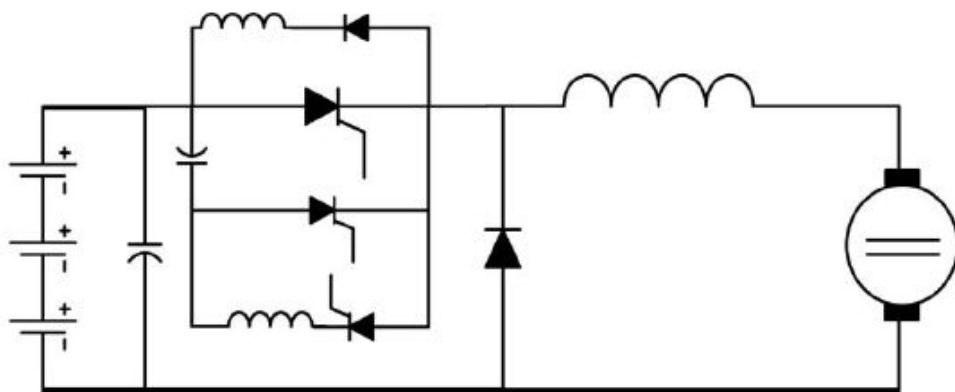
Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας είναι το τμήμα εκείνο του συστήματος που παίρνει τη συνεχή τάση των συσσωρευτών και τη μετατρέπει σε κατάλληλη μορφή για την τροφοδότηση του κινητήρα. Επιπλέον μια πολύ σημαντική διεργασία που πραγματοποιεί είναι ο έλεγχος της ροπής και των στροφών του κινητήρα. Η επιλογή του μετατροπέα που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα ηλεκτρικό όχημα εξαρτάται καθαρά από τον ηλεκτρικό κινητήρα ο οποίος χρησιμοποιείται. Έτσι με βάση τους κινητήρες που χρησιμοποιούνται (Σ.Ρ. ή Ε.Ρ.) έχουμε μετατροπείς Σ.Τ./Σ.Τ. τύπου chopper και μετατροπείς Σ.Τ./Ε.Τ. τύπου αντιστροφέα (inverter). Οι διατάξεις αντιστροφέα μπορούν να οδηγούν κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος που απαιτούν είτε ημιτονοειδή τάση (ασύγχρονος κινητήρας, σύγχρονος κινητήρας) είτε τετραγωνικούς παλμούς (κινητήρας τύπου Brushless, κινητήρας τύπου Switched Reluctance).

**Για κάθε μια κατηγορία μετατροπέων έχουμε τα ακόλουθα:**

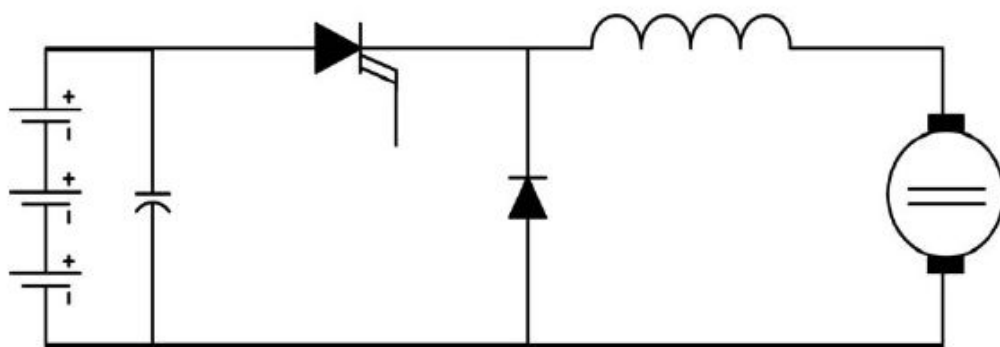
## 2.1.3 Μετατροπείς Σ.Τ./Σ.Τ. τύπου Chopper

Υπάρχουν δύο τύποι μετατροπέων chopper. Ο ένας χρησιμοποιεί ως διακοπτικό στοιχείο το thyristor ενώ περιέχει και βοηθητικό κύκλωμα για τη σβέση του. Το βασικό του πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα για έλεγχο μεγάλης ισχύος, όμως λόγω του κυκλώματος σβέσης έχει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα. Επιπλέον, η συχνότητα λειτουργίας του διακοπτικού στοιχείου είναι σχετικά χαμηλή με αποτέλεσμα η εξομάλυνση του ρεύματος να απαιτεί μια σχετικά μεγάλη επαγωγή εξομάλυνσης.

Τα μειονεκτήματα της τοπολογίας αντισταθμίζονται με τη χρήση διακοπτικού στοιχείου με έλεγχο στη σβέση όπως για παράδειγμα με χρήση MOSFET, IGBT, GTO ή MCT. Με τη χρήση των στοιχείων αυτών επιτυγχάνουμε μικρό αριθμό ημιαγωγικών και παθητικών στοιχείων λόγω του ότι δεν απαιτείται κύκλωμα σβέσης και κατά συνέπεια έχουμε χαμηλό μέγεθος και κόστος. Επιπλέον η διακοπτική συχνότητα του μετατροπέα μεγαλώνει με αποτέλεσμα να μικραίνει ο όγκος των απαιτούμενων παθητικών στοιχείων ενώ το κύκλωμα έχει και καλύτερη απόκριση στον έλεγχο. Τέλος ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι το μεγαλύτερο εύρος ρύθμισης του λόγου κατάτμησης που συνεπάγεται μεγαλύτερο εύρος ρύθμισης της τάσεως εξόδου. Στο **Σχήμα 2.1.2** απεικονίζονται οι διάφορες παραλλαγές του chopper.



(α)



(β)

**Σχήμα 2.1.2 “Chopper”**

### 2.1.4 Μετατροπείς Σ.Τ./Ε.Τ. τύπου αντιστροφεία:

Οι μετατροπείς αυτού του τύπου χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η μία περιλαμβάνει τους κλασσικούς μετατροπείς με Διαμόρφωση Εύρους Παλμών (P.W.M.), ενώ μια άλλη κατηγορία περιλαμβάνει τους αντιστροφείς συντονισμού (Resonant). Οι αντιστροφείς P.W.M. χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες ανάλογα με το αν τροφοδοτούνται από πηγή τάσης ή ρεύματος.

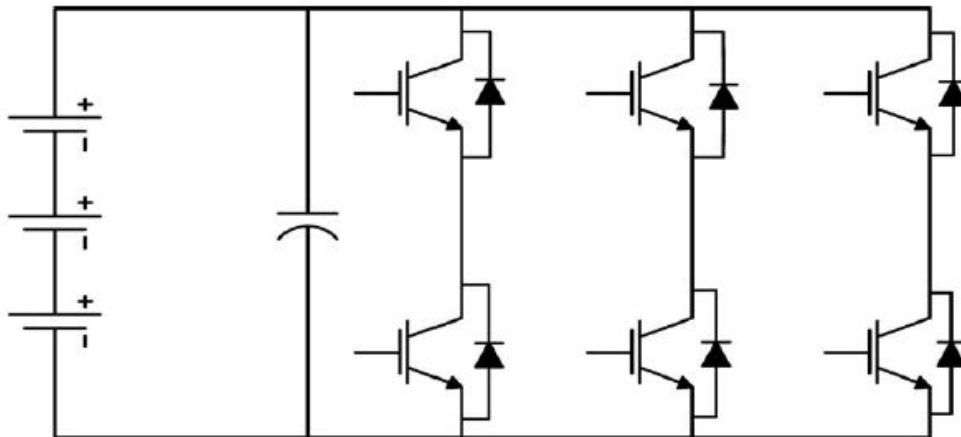
Οι σπουδαιότερες μέθοδοι P.W.M. που χρησιμοποιούνται για αντιστροφείς τάσεως είναι οι εξής:

- Φυσικής P.W.M. (Natural P.W.M.)
- Κανονικής P.W.M. (Regular P.W.M.)
- Βέλτιστης P.W.M. (Optimal P.W.M.)
- Δέλτα - P.W.M. (Delta P.W.M.)
- P.W.M. ίσης περιοχής (Equal Area P.W.M.)

Αντίθετα οι μέθοδοι για έλεγχο ρεύματος είναι:

- Μέθοδοι Υστέρησης (Hysteresis – Band P.W.M.)
- Έλεγχος στιγμιαίου ρεύματος μέσω ρύθμισης της τάσης.
- P.W.M. χωρικού διανύσματος (Space Vector P.W.M.).

Από όλες αυτές τις τεχνικές επιλέγεται η καταλληλότερη με βάση ορισμένα κριτήρια που σχετίζονται με τις ανώτερες αρμονικές, με την καλύτερη εκμετάλλευση της συνεχούς τάσεως εισόδου, την ανοχή σε διακυμάνσεις της συνεχούς τάσεως εισόδου, ενώ ένα πολύ σημαντικό κριτήριο αποτελεί η καταλληλότητα της μεθόδου για εφαρμογές πραγματικού χρόνου και εφαρμογές βασιζόμενες σε Μικροελεγκτές και DSP's. Η πολυπλοκότητα του όλου συστήματος απαιτεί τη χρήση ενός μικροϋπολογιστικού συστήματος (μικροεπεξεργαστές, μικροελεγκτές, DSP's, Transpurters) με τη βοήθεια του οποίου μπορούν να επιτευχθούν περίπλοκες τεχνικές παλμοδότησης αλλά και ελέγχου (π.χ. Διανυσματικός Έλεγχος Vector Control, Προσαρμοστικός Έλεγχος – Model Referencing Adaptive Control, Ασαφής Έλεγχος – Fuzzy Control).



**Σχήμα 2.1.2 “INVERTER”**

Μια εναλλακτική κατηγορία αντιστροφών που προτείνεται για χρήση σε ηλεκτροκίνητα οχήματα είναι οι Αντιστραφείς Συντονισμού (Resonant Inverters). Στους αντιστροφείς συντονισμού γίνεται προσθήκη ενός κυκλώματος ταλάντωσης ούτως ώστε να επιτευχθούν οι ελάχιστες δυνατές απώλειες του μετατροπέα. Ανάλογα με την τοποθέτηση του κυκλώματος συντονισμού διακρίνουμε τους αντιστραφείς με κύκλωμα συντονισμού εν σειρά και με παράλληλο κύκλωμα συντονισμού. Το κύκλωμα συντονισμού λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε η μετάβαση στην κατάσταση αγωγής του στοιχείου να γίνεται είτε υπό μηδενική τάση είτε υπό μηδενικό ρεύμα. Με τον τρόπο αυτό οι απώλειες επάνω στα στοιχεία μειώνονται δραστικά αφού οι διακοπτικές απώλειες μηδενίζονται.

**Εκτός από το βασικό αυτό πλεονέκτημα έχουμε τα ακόλουθα:**

- Μικρότερες ψυκτικές απαιτήσεις καθώς οι θερμικές απώλειες είναι ελάχιστες
- Απουσία κυκλωμάτων snubber τα οποία περιπλέκουν την τοπολογία του κυκλώματος και καταναλώνουν σημαντικά ποσά ενέργειας
- Μεγάλη πυκνότητα ισχύος
- Μικρότερες ηλεκτρομαγνητικές παρενοχλήσεις λόγω της μορφής των τάσεων και των ρευμάτων
- Ελάχιστος ακουστικός θόρυβος και
- Αυξημένη αξιοπιστία.

Παρά όμως τα πολλά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν έχουν και δύο σημαντικά μειονεκτήματα τα οποία εμποδίζουν τη διάδοσή τους. Το κόστος της συσκευής είναι αυξημένο λόγω του κυκλώματος συντονισμού ενώ ο έλεγχος μιας τέτοιας διάταξης είναι ιδιαίτερα δύσκολος.



Σχήμα 2.1.3 “Διάγραμμα μετατροπέων”

## 2.2 Ηλεκτρικός Κινητήρας

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι ίσως το πλέον σημαντικό τμήμα ενός ηλεκτρικού οχήματος. Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους εφαρμογές είναι τόσο οι κινητήρες Σ.Ρ. όσο και οι κινητήρες Ε.Ρ. Οι χρησιμοποιούμενοι τύποι κινητήρων Σ.Ρ. Είναι:

- Κινητήρας Σ. Ρ. με διέγερση εν σειρά,
- Κινητήρας Σ. Ρ. με παράλληλη διέγερση,
- Κινητήρας Σ. Ρ. με ξένη διέγερση και
- Κινητήρας Σ. Ρ. με μόνιμο μαγνήτη.

Από τους κινητήρες Ε.Ρ. όπως προαναφέρθηκε έχουμε κινητήρες με ημιτονοειδή τάση τροφοδοσίας όπως:

- Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου κλωβού,
- Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δακτυλιοφόρου δρομέα και
- Σύγχρονος τριφασικός με ή χωρίς μόνιμο μαγνήτη,

Ενώ έχουμε και τους κινητήρες που τροφοδοτούνται με τετραγωνικούς παλμούς όπως:

- Κινητήρας τύπου Brushless DC και
- Κινητήρας τύπου Switched Reluctance.

Από τους διάφορους τύπους κινητήρων η επιλογή του καταλληλότερου γίνεται με βάση κάποια κριτήρια. Έτσι από όλους τους παραπάνω τύπους κινητήρων οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι είναι ο τριφασικός ασύγχρονος με βραχυκυκλωμένο κλωβό, ο σύγχρονος κινητήρας με μόνιμο μαγνήτη, ο κινητήρας Σ. Ρ. με διέγερση σειράς, ο κινητήρας Σ. Ρ. με μόνιμο μαγνήτη και τέλος ο κινητήρας τύπου Brushless. Οι ηλεκτροκινητήρες με μόνιμο μαγνήτη έχουν ανάγκη δραστικής ψύξεως (συνήθως είναι υδρόψυκτοι), αλλιώς μειώνεται η επίδοσή τους. Επίσης επιτρέπουν την αποτελεσματική ανάκτηση ενέργειας κατά την πέδηση. Όμως το γεγονός ότι οι μαγνήτες αυτοί κατασκευάζονται από σπάνιες γαίες, οδηγεί στο υψηλό κόστος των κινητήρων αυτών.

Οι επαγωγικοί τριφασικοί κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος έχουν μικρότερη συγκέντρωση ισχύος από αυτούς με μόνιμο μαγνήτη και μικρότερες απαιτήσεις ψύξεως (για αυτό το λόγο είναι και αερόψυκτοι). Για να επιτευχθεί η ομαλή τους λειτουργία χρειάζεται να χρησιμοποιούνται μειωτήρες, διότι είτε παρέχουν υψηλή ροπή στις χαμηλές ταχύτητες περιστροφής, είτε χαμηλή ροπή στις υψηλές ταχύτητες. Στο **Σχήμα 2.1.4** απεικονίζεται ένα διάγραμμα με τους χρησιμοποιούμενους τύπους κινητήρων.



**Σχήμα 2.1.4** “Διάγραμμα ηλεκτρικών κινητήρων”

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι τα ηλεκτρικά οχήματα με συστήματα συνεχούς ρεύματος καταναλώνουν περίπου 0.4 kWh/μίλι, ενώ εκείνα με σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος καταναλώνουν περίπου 0.174 kWh/μίλι.

## 2.3 Υβριδικά Οχήματα

Με δεδομένα τα οικολογικά προσόντα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από τη μια και την περιορισμένη αυτονομία τους από την άλλη, η εμφάνιση των υβριδικών οχημάτων στην αγορά ήταν απλώς θέμα χρόνου. Η ιδέα παλιά, μετράει αρκετές δεκαετίες αλλά μόνο την τελευταία οι συνθήκες ωρίμασαν και τα υβριδικά αυτοκίνητα που κυκλοφορούν στον πλανήτη ξεπέρασαν τα δύο εκατομμύρια.

Κάποιοι ισχυρίζονται ότι η δεκαετία που διατρέχουμε θα χαρακτηριστεί ως η εποχή του υβριδικού αυτοκινήτου. Τον δικό τους ρόλο σε αυτήν την εξέλιξη έπαιξαν και οι προδιαγραφές εκπομπών ρύπων που γίνονται όλο και πιο αυστηρές, αλλά και τα κίνητρα που δόθηκαν στην πορεία. Στην Ελλάδα, π.χ. τα υβριδικά αυτοκίνητα κυκλοφορούν ελεύθερα στο δακτύλιο της Αθήνας και απαλλάσσονται από τα τέλη κυκλοφορίας.

Η τεχνολογία των υβριδικών οχημάτων βασίζεται στη χρησιμοποίηση δύο εκ των ακολούθων, τουλάχιστον μορφών ενέργειας για την κίνηση τους:

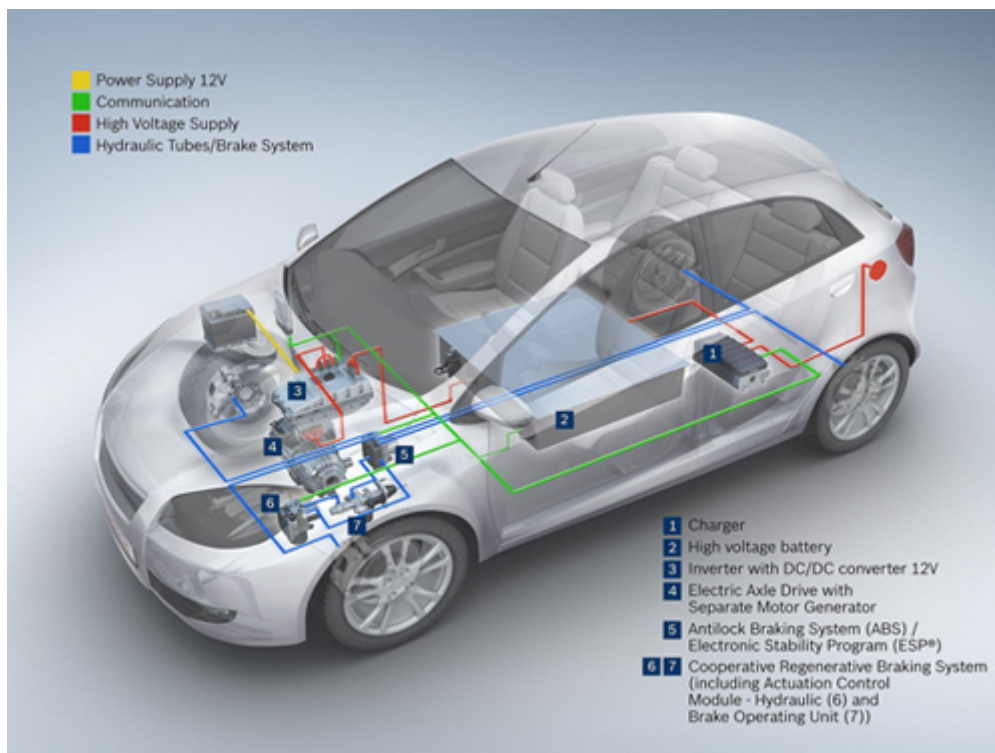
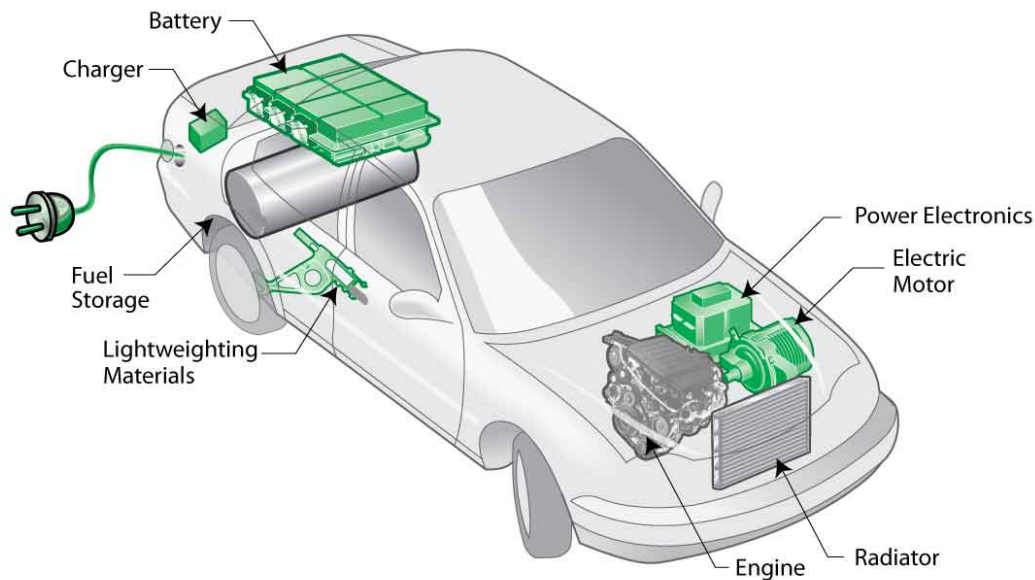
- Ηλεκτρική ενέργεια
- Χημική ενέργεια (βενζίνη, Diesel, φυσικό αέριο, υγραέριο, υδρογόνο, μεθάνιο, αιθανόλη, βιοκαύσιμα κ.λπ.)
- Μηχανική ενέργεια (π.χ. αποθηκευμένα σε συσπειρωμένα ελατήρια)
- Ρευστομηχανική ενέργεια (αποθηκευμένη σε συμπιεσμένο ρευστό)
- Ηλιακή ενέργεια
- Αιολική ενέργεια

Η χρήση δύο πηγών ενέργειας συνεπάγεται την επιλογή του ποσοστού συνεισφοράς κάθε καυσίμου στο μεταφορικό έργο (ποσοστό υβριδοποίησης), τη χρήση δύο τύπων κινητήρων, συνήθως ηλεκτροκινητήρων σε συνδυασμό με ένα συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης και την επιλογή της παράλληλης ή σειριακής χρήσεως των κινητήρων αυτών.

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα τροφοδοτούνται από δύο πηγές ενέργειας, μία μονάδα ενεργειακής μετατροπής (όπως μια μηχανή εσωτερικής καύσης ή μία κυψέλη καυσίμου) και μια ενεργειακή συσκευή αποθήκευσης (όπως οι μπαταρίες ή τα ultra capacitors). Η μονάδα ενεργειακής μετατροπής μπορεί να τροφοδοτηθεί από βενζίνη, Diesel, συμπιεσμένο φυσικό αέριο, υδρογόνο ή άλλα καύσιμα. Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα έχουν τη δυνατότητα να είναι δύο έως τρεις φορές πιο οικονομικά στην κατανάλωση καυσίμου από τα συμβατικά οχήματα.



Χαρακτηριστικά παραδείγματα υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων είναι το Prius της Toyota και το Honda CR-Z, τα οποία έχουν σημειώσει μεγάλη εμπορική επιτυχία. Πιο συγκεκριμένα, το Prius έχει πετύχει τον διπλασιασμό των διανυόμενων χιλιομέτρων ανά μονάδα καταναλισκόμενης ενέργειας, τη μείωση των ρύπων που εκπέμπονται στο 1/10 των νομοθετημένων ορίων της Ιαπωνίας καθώς και τη μείωση του παραγόμενου CO<sub>2</sub> στο ήμισυ σε σύγκριση με ένα ισοδύναμο συμβατικό αυτοκίνητο.



Εικόνες 2.1.4 & 2.1.5 “Υβριδική τεχνολογία”

## 2.4 Υβριδική Τεχνολογία

Τα υβριδικά συστήματα διαφέρουν σημαντικά σε κόστος, πολυπλοκότητα και λειτουργία και συχνά κατηγοριοποιούνται ως εξής:

**2.4.1 Υβριδικά "στάσης – εκκίνησης" ή micro - υβριδικά:** Εννοούν σχετικά μικρούς ηλεκτροκινητήρες οι οποίοι δεν κινούν το όχημα αλλά έχουν την απαραίτητη ισχύ για την σχεδόν ακαριαία επανεκκίνηση του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αυτό σημαίνει ότι ένα μικρό - υβριδικό βενζινοκίνητο όχημα μπορεί αυτόματα να σβήνει τον κινητήρα του όταν το όχημα ακινητοποιείται (π.χ. σε φωτεινούς σηματοδότες) και να επανεκκινεί μόλις ο οδηγός πατήσει το πεντάλ του γκαζιού χωρίς να απαιτείται η χρήση της μίζας και πολλές φορές χωρίς καν ο οδηγός να γνωρίζει ότι ο κινητήρας έχει σταματήσει. Τα συστήματα "στάσης – εκκίνησης" σε γενικές γραμμές δεν θεωρούνται ως πραγματικά υβριδικά συστήματα εφόσον δεν χρησιμοποιούνται για την κίνηση του οχήματος. Επιφέρουν ένα σχετικά μέτριο ποσοστό εξοικονόμησης καυσίμου (περίπου 10%), όμως έχουν το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους. Ένα παράδειγμα ενός υβριδικού αυτοκινήτου αυτού του τύπου είναι το Citroen C3.

**2.4.2 Ήπια υβριδικά: Διαθέτουν λειτουργία "στάσης – εκκίνησης"** όπως περιγράφηκε παραπάνω, αλλά συνήθως χρησιμοποιούν και τον ηλεκτροκινητήρα τους για να κινήσουν το όχημα. Παρόλα αυτά τα ήπια υβριδικά δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποκλειστικά με τον ηλεκτροκινητήρα αφού αυτός δεν είναι συνδεδεμένος με το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Αντί αυτού, προσφέρουν πρόσθετη ισχύ μέσω του ηλεκτρικού κινητήρα κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συμβατικού κινητήρα υπό υψηλό φορτίο (π.χ. κατά τις στιγμές μεγάλης επιτάχυνσης). Τα ήπια υβριδικά έχουν επίσης το πλεονέκτημα της ανάκτησης ενέργειας μέσω του φρεναρίσματος, κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος μετατρέπουν μέρος της πλεονάζουσας κινητικής ενέργειας του κινητήρα σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των συσσωρευτών.

Ένα παρόμοιο ήπιο υβριδικό σύστημα έχει εγκατασταθεί στα μοντέλα Insight και Civic της εταιρείας Honda. Το σύστημα της Honda έχει επίσης τη δυνατότητα απομόνωσης της λειτουργίας τριών από τους τέσσερις κυλίνδρους του κινητήρα για την αύξηση της απόδοσης. Το υβριδικό Honda Civic εκπέμπει σχεδόν 25% λιγότερο CO<sub>2</sub> σε σύγκριση με ένα όμοιο μη υβριδικό.

**2.4.3 Πλήρως Υβριδικά:** Ένα πλήρως υβριδικό σύστημα, συμπεριλαμβανομένου και του συστήματος Hybrid Synergy της Toyota που χρησιμοποιείται στο μοντέλο Prius, έχει την δυνατότητα να κινεί το όχημα μόνο με τον βενζινοκινητήρα ή μόνο με τον ηλεκτροκινητήρα ή και τους δύο ταυτόχρονα.

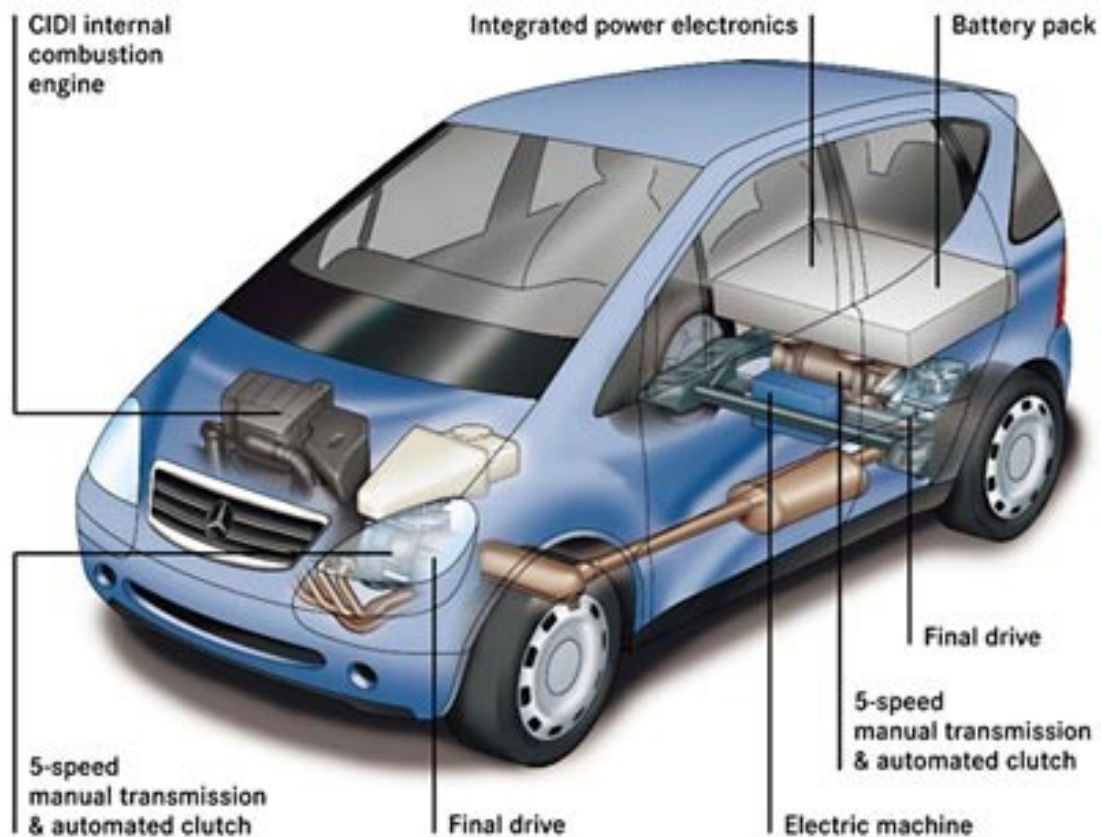
Το σύστημα της Toyota, το οποίο έχει παραχωρηθεί μερικώς και στην Ford και έχει εγκατασταθεί στο υβριδικό μοντέλο Escape, χρησιμοποιεί μια συσκευή που συνεχώς μεταβάλλει την κατανομή ισχύος που διατίθεται από τον κινητήρα για την κίνηση του οχήματος και την κίνηση της ηλεκτρογεννήτριας.

Στη συνέχεια η γεννήτρια τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα ο οποίος με τη σειρά του κινεί και αυτός το όχημα όταν απαιτείται. Το σύστημα είναι πολύπλοκο, όμως με την χρήση του επιτυγχάνεται μεγάλη ενεργειακή αποδοτικότητα μέσω της συνεχούς λειτουργίας του βενζινοκινητήρα σε αποδοτικό αριθμό στροφών. Όταν δεν απαιτείται όλη η παραγόμενη ισχύς του κινητήρα για την κίνηση του οχήματος, αυτή η περίσσεια ισχύος χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των μπαταριών. Οι μπαταρίες φορτίζονται επίσης και από την ανάκτηση ενέργειας κατά το φρενάρισμα του οχήματος. Σε συνθήκες κυκλοφοριακού φόρτου και σε χαμηλές ταχύτητες (όταν ο βενζινοκινητήρας είναι μη αποδοτικός), ο κινητήρας σβήνει και ο ηλεκτροκινητήρας τροφοδοτούμενος από τις μπαταρίες αναλαμβάνει να κινήσει το όχημα. Το σύστημα που έχει εγκατασταθεί στο υβριδικό μοντέλο Lexus RX400 h είναι παρόμοιο αλλά διαθέτει δύο ηλεκτρικές μηχανές, μια για τους εμπρός και μια για τους πίσω τροχούς.

**2.4.4 Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Ηλεκτρικά (Plug – In Electric vehicles – PHEV):** Τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά αποτελούν τη νέα γενιά υβριδικών αυτοκινήτων. Συνδυάζουν τα οφέλη των ηλεκτρικών οχημάτων και των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων. Τα Plug - In υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEVs) μπορούν να φορτιστούν με ηλεκτρική ενέργεια όπως τα ηλεκτρικά οχήματα και να κινηθούν υπό τη δύναμη μηχανών όπως τα υβριδικά ηλεκτρικά.

Ο συνδυασμός προσφέρει μεγαλύτερη ποικιλία οδήγησης, εξοικονόμηση καυσίμου και χρημάτων και λιγότερες εκπομπές ρυπογόνων αερίων. Τα Plug - In υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEVs) είναι ακόμη υπό ανάπτυξη. Η έρευνα και οι προσπάθειες ανάπτυξης τα φέρνουν πιο κοντά στη διαδεδομένη εμπορευματοποίηση. Όπως τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα, τα PHEVs τροφοδοτούνται από δύο πηγές ενέργειας - μία μονάδα ενεργειακής μετατροπής (όπως μια μηχανή εσωτερικής καύσης ή μία κυψέλη καυσίμου) και μια ενεργειακή συσκευή αποθήκευσης (συνήθως μπαταρίες). Η μονάδα ενεργειακής μετατροπής μπορεί να τροφοδοτηθεί από βενζίνη, Diesel, συμπιεσμένο φυσικό αέριο, υδρογόνο ή άλλα καύσιμα.

Οι μπαταρίες μπορούν να φορτιστούν με τη σύνδεση τους σε δίκτυο των 110V - ικανότητα που τα συμβατικά υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα δεν διαθέτουν. Επίσης οι μπαταρίες μπορούν να φορτιστούν από τη μονάδα ενεργειακής μετατροπής όταν απαιτείται.



**Εικόνα 2.1.6 “Επαναφορτιζόμενο υβριδικό όχημα”**

Τα PHEVs έχουν ένα μεγαλύτερο «πακέτο» μπαταριών από τα συμβατικά υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Κατά τη διάρκεια της τυπικής καθημερινής οδήγησης, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας των PHEVs προέρχεται από την αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό το χαρακτηριστικό τα καθιστά αυτοκίνητα μηδενικών ρύπων κατά τις καθημερινές μετακινήσεις στα αστικά κέντρα, καθώς έχει υπολογιστεί στη μεγάλη τους πλειονότητα, αυτές σπάνια ξεπερνούν το όριο των 50 χιλιομέτρων. Στις περιπτώσεις διάνυσης μεγαλύτερου αριθμού χιλιομέτρων μπαίνει σε λειτουργία ο βενζινοκινητήρας (ή πετρελαιοκινητήρας), οπότε το αυτοκίνητο έχει τη δυνατότητα να κινηθεί για εκατοντάδες χιλιόμετρα. Γι αυτό το λόγο τα αυτοκίνητα αυτής της κατηγορίας συχνά αναφέρονται και ως E-REV (Extended Range Electric Vehicle), δηλαδή ως ηλεκτρικά αυτοκίνητα εκτεταμένης αυτονομίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

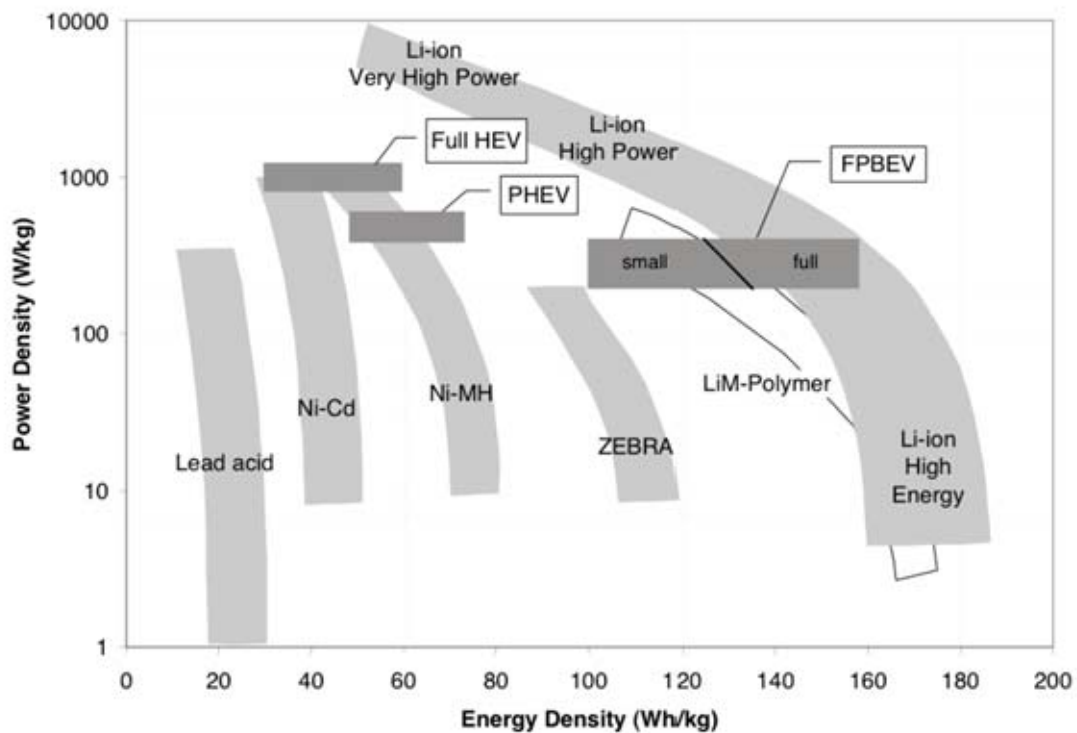
### 3 ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 3.1 Πηγές ενέργειας ηλεκτρικού αυτοκινήτου (μπαταρία).

Ως πηγές ενέργειας στα ηλεκτρικά ορίζονται οι συσκευές που αποθηκεύουν ενέργεια, παρέχουν ενέργεια (εκφορτίζονται) και δέχονται ενέργεια από εξωτερική πηγή (φορτίζονται). Υπάρχουν διάφοροι τύποι πηγών ενέργειας που έχουν προταθεί για ηλεκτρικά οχήματα, οι πιο σημαντικές από τις οποίες είναι οι ηλεκτροχημικοί μετατροπείς (συσσωρευτές ή μπαταρίες), οι υπερπυκνωτές (ultracapacitors, supercapacitors) και οι σφόνδυλοι υπερύψηλων ταχυτήτων (flywheels, μηχανικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας). Επίσης, υπάρχει και η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου (fuel cells) που είναι ένας τύπος μετατροπέων ενέργειας. Υπάρχει ένας αριθμός απαιτήσεων για τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας σε εφαρμογές οχημάτων, όπως η ειδική ενέργεια (specific energy), η ειδική ισχύς (specific power), η απόδοση (efficiency), η συντήρηση (maintenance), η διαχείριση (management), το κόστος (cost), η προσαρμογή και φιλικότητα προς το περιβάλλον (environmental adaptation and friendliness) και η ασφάλεια (safety). Για χρήση σε ηλεκτρικό όχημα, η κυριότερη παράμετρος είναι η ειδική ενέργεια καθώς από αυτήν καθορίζεται η χιλιομετρική αυτονομία του οχήματος. Από την άλλη πλευρά, για εφαρμογές ηλεκτρικών οχημάτων, η ειδική ενέργεια είναι λιγότερο σημαντική σε σχέση με την ειδική ισχύ επειδή ενέργεια προέρχεται από το βενζινοκινητήρα ενώ ικανοποιητική ισχύς απαιτείται για να επιτευχθεί καλή απόδοση του οχήματος, ιδιαίτερα κατά την επιτάχυνση, την ανάβαση και την αναγεννητική πέδηση. Περισσότερες απαιτήσεις υπάρχουν αν ληφθεί υπόψη το σύνολο της διαδρομής μετάδοσης ισχύος του οχήματος.

##### **3.1.1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Συσσωρευτών των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων**

Οι επιδόσεις των διαφόρων τύπων συσσωρευτών που είναι διαθέσιμοι στην αγορά στην παρούσα χρονική περίοδο (έτος 2012) αποκτούν ιδιαίτερη σημασία διότι επηρεάζουν σημαντικά τις δυνατότητες χρησιμοποίησής τους στις εφαρμογές των Η/Ο. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται οι τιμές των κύριων χαρακτηριστικών τους οι οποίες συγκρίνονται με ταυτόχρονη αναφορά στις υπάρχουσες εφαρμογές τους σε Η/Ο. Σημειώνεται ότι το όχημα που αναφέρεται ως FPBEV (Full Performance Battery Electric Vehicle) αφορά ένα ηλεκτρικό όχημα που διαθέτει συσσωρευτές με δυνατότητα υψηλών επιδόσεων.



**Σχήμα 3.1** “Χαρακτηριστικά απόδοσης των διαφόρων τύπων συσσωρευτών που είναι διαθέσιμοι στην αγορά (έτος 2012)”

### 3.1.2 Ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές (μπαταρίες)

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι και μεγέθη του ηλεκτρικού οχήματος. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις όμως η μπαταρία είναι ένα βασικό συστατικό. Στο κλασικό ηλεκτρικό όχημα η μπαταρία είναι η μόνη πηγή ενέργειας, και το συστατικό με το μεγαλύτερο κόστος, βάρος και όγκο. Μια μπαταρία κατασκευάζεται από δύο ή περισσότερα ηλεκτρικά στοιχεία που συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους. Τα στοιχεία μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε dc ηλεκτρική ενέργεια. Τα ομαδοποιημένα στοιχεία τοποθετούνται σε μια κατάλληλη θήκη για να δημιουργήσουν μια μονάδα μπαταρίας. Η μπαταρία είναι ο παράλληλος ή σε σειρά συνδυασμός των μονάδων αυτών έτσι ώστε να παρέχει την κατάλληλη τάση, ένταση και ενέργεια στο ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος. Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία είναι η διαφορά ενέργειας ανάμεσα στην κατάσταση φόρτισης και την κατάσταση εκφόρτισης.

Αυτή η διαθέσιμη χημική ενέργεια σε ένα κελί μετατρέπεται, όταν απαιτείται, σε ηλεκτρική ενέργεια με χρήση των βασικών συστατικών του στοιχείου που είναι τα ηλεκτρόδια (θετικό και αρνητικό), οι διαχωριστές και οι ηλεκτρολύτες. Τα ηλεκτροχημικά ενεργά συστατικά του θετικού ή του αρνητικού ηλεκτροδίου ονομάζονται ενεργό υλικό. Οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στα δύο ηλεκτρόδια έχουν ως αποτέλεσμα τη δέσμευση και απελευθέρωση ηλεκτρονίων. Τα

ηλεκτρόδια πρέπει να είναι ηλεκτρικά αγώγιμα και τοποθετούνται σε διαφορετικές περιοχές διαχωριζόμενα από ένα διαχωριστή. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας της μπαταρίας, οι χημικές αντιδράσεις προκαλούν τη ροή ηλεκτρονίων από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο. Όταν κάποιο ηλεκτρικό κύκλωμα συνδέει τα δύο ηλεκτρόδια τότε “κλείνει κύκλωμα” και είναι δυνατή η κίνηση των ηλεκτρονίων. Τα σημεία σύνδεσης ανάμεσα στα ηλεκτρόδια και το εξωτερικό κύκλωμα ονομάζονται πόλοι της μπαταρίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι μόνο σε μια ιδανική μπαταρία ισχύει ότι η κίνηση των ηλεκτρονίων παρατηρείται μόνο με την παρουσία εξωτερικού κυκλώματος. Δυστυχώς, πολλές μπαταρίες επιτρέπουν μια μικρή εκφόρτωση εξαιτίας φαινομένων διάχυσης. Γι’ αυτό και δε θεωρούνται ιδιαίτερα καλές για μακροχρόνια αποθήκευση ενέργειας. Αυτή η μικρή εκφόρτωση με πόλους ανοιχτού κυκλώματος είναι γνωστή ως αυτο-εκφόρτιση και χρησιμοποιείται, επίσης, ως παράμετρος ποιότητας της μπαταρίας. Ένας διαχωρισμός των μπαταριών είναι σε πρωτεύουσες και δευτερεύουσες. Μπαταρίες που δεν μπορούν να επαναφορτιστούν και σχεδιάζονται για μία και μόνο χρήση (εκφόρτιση) είναι γνωστές ως πρωτεύουσες μπαταρίες. Παραδείγματα τέτοιου τύπου μπαταριών είναι οι μπαταρίες λιθίου που χρησιμοποιούνται σε ρολόγια, κομπιουτεράκια, κλπ. και οι μπαταρίες διοξειδίου του μαγγανίου που χρησιμοποιούνται σε παιδικά παιχνίδια, ραδιόφωνα, φακούς κλπ. Οι μπαταρίες που μπορούν να επαναφορτιστούν διοχετεύοντας ρεύμα προς την αντίθετη κατεύθυνση αυτής της εκφόρτισης είναι γνωστές ως δευτερεύουσες μπαταρίες. Στην περίπτωση των δευτερευουσών ή επαναφορτιζόμενων μπαταριών, η χημική αντίδραση μπορεί να αντιστραφεί με την αντιστροφή του ρεύματος και η μπαταρία να επιστρέψει σε κατάσταση φόρτισης. Προφανώς, οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα είναι όλες δευτερεύουσες μπαταρίες, επειδή επαναφορτίζονται κατά την αναγεννητική πέδηση ή με χρήση φορτιστή όταν το όχημα είναι σταματημένο.

### **3.2 Τύποι μπαταριών**

Σημαντικοί τύποι μπαταριών που σχετίζονται με ηλεκτρικά ή υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα είναι:

1. Μολύβδου οξέος (lead acid)
2. Νικελίου καδμίου (nickel cadmium)
3. Νικελίου μετάλλου υδριδίου (nickel metal hydride)
4. Λιθίου πολυμερούς (lithium polymer)
5. Ιόντων λιθίου (lithium ion)
6. Θειούχου νατρίου (sodium sulphur)

### 3.2.1 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. Στο **σχήμα 3.1** φαίνεται ο συγκεκριμένος τύπος μπαταρίας.



**Εικόνα 3.1 Μπαταρία Lead-acid**



### 3.2.2 Μπαταρία Nickel-cadmium(νικελίου-καδμίου)

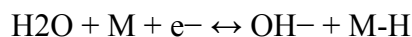
Οι μπαταρίες NiCad χρησιμοποιούνται σε φορητά ραδιόφωνα, σε ιατρικούς εξοπλισμούς και σε επαγγελματικές κάμερες. Τα ηλεκτρόδια στα κελιά σε μία τέτοια μπαταρία είναι από υδροξείδιο του νικελίου και από κάδμιο. Ο ηλεκτρολύτης είναι υδροξείδιο του καλίου. Αυτές οι μπαταρίες είναι οικονομικές και χαρακτηρίζονται 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. Στο σχήμα 3-2 φαίνεται ο συγκεκριμένος τύπος μπαταρία



**Εικόνα 3.2 Μπαταρία Nickel-cadmium**

### 3.2.3 Μπαταρία NiMH

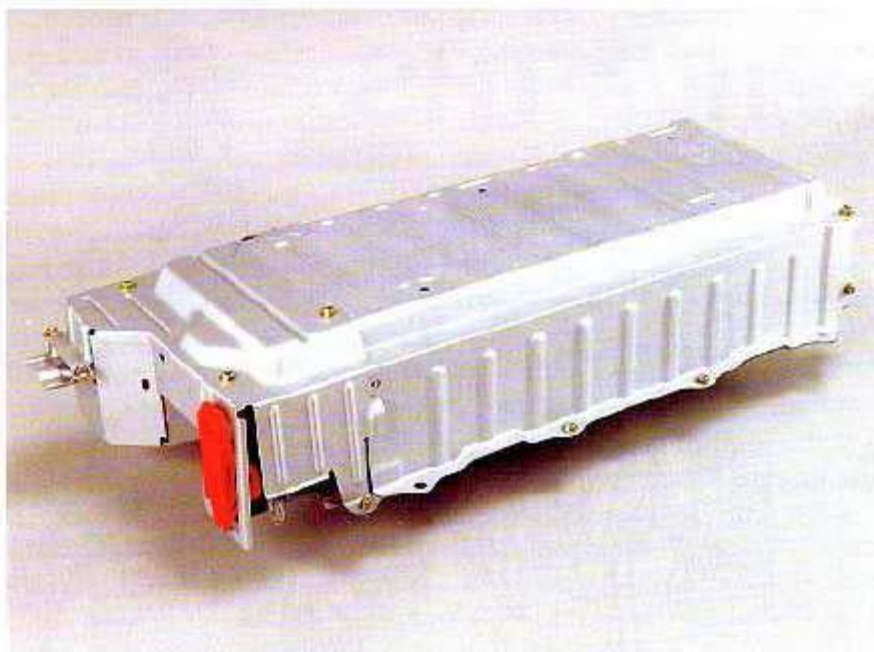
Στα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα, η μπαταρία που χρησιμοποιείται κατά βάση είναι η μπαταρία Νικελίου – Μετάλλου Υδριδίου(NiMH). Πρόκειται για μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, παρόμοια με την μπαταρία Νικελίου – Καδμίου(NiCd), με τη διαφορά ότι αντί για κάδμιο στην άνοδο της έχει ένα κράμα απορροφητικό σε 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 ζιρκόνιο 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. Στο σχήμα 3-8 1 φαίνεται η μπαταρία NiMH.



**Εικόνα 3.3 Μπαταρία NiMH**

### 3.2.4 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. Στο σχήμα 3-5 φαίνεται ο συγκεκριμένος τύπος μπαταρίας.



Εικόνα 3.4 Μπαταρία Lithium-Polymer

### 3.2.5 Μπαταρία Li- ion

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια έντονη προσπάθεια ανάπτυξης και χρησιμοποίησης στο χώρο των ηλεκτρικών οχημάτων ενός αλλού 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.



**Εικόνα 3.5 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. Στο σχήμα 3-10 φαίνεται ένας ακόμη τύπος αυτής της μπαταρίας. 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. Ζιαφορετικές 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 ασφάλειας. Οι μπαταρίες Lithium-ιον 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 χρειάζονταν 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-ιον στοιχείου κατασκευάζεται από άνθρακα, η κάθοδος είναι οξείδιο μετάλλου και ο ηλεκτρολύτης είναι άλας λιθίου σε οργανικό διαλύτη. Η χημική αντίδραση που λαμβάνει χώρα σε ένα στοιχείο Li-ιον για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι :

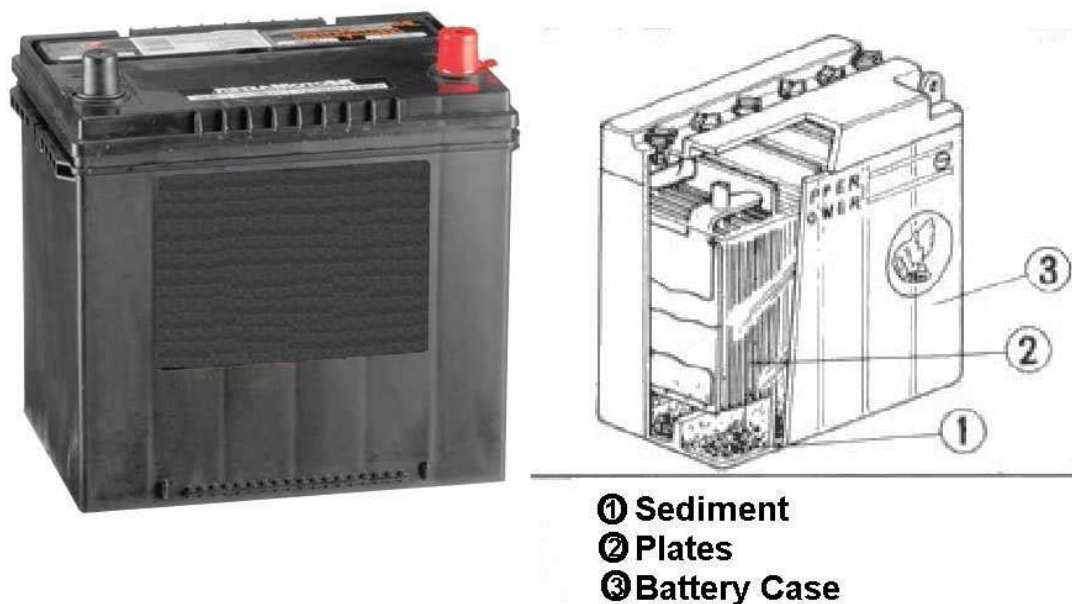
Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα ιόντα λιθίου δεν οξειδώνονται. Αντιθέτως, σε μια μπαταρία Li-ιον τα ιόντα λιθίου μεταφέρονται από και προς την κάθοδο ή την άνοδο με το μέταλλο Κοβάλτιο (Co) στην χημική ένωση  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  να οξειδώνεται από  $\text{Co}^{3+}$  σε  $\text{Co}^{4+}$  κατά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

Επίσης, πολλοί μεγάλοι κατασκευαστές μπαταριών, επενδύουν αρκετά στην ανάπτυξη των μπαταριών Li-ιον. 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 ημιδιαπερατή 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. Ζιόφοροι 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.

### 3.2.6 Μπαταρία Sodium-Sulfur(θειικού 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.



Εικόνα 3.6 Μπαταρία Sodium-Sulfur



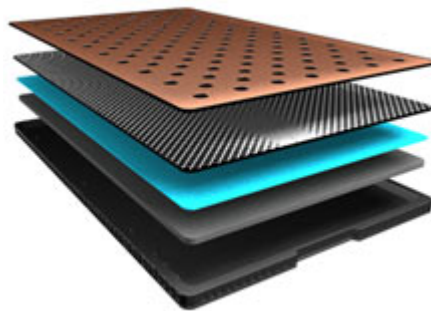
Η μπαταρία σε ένα ηλεκτρικό ή ένα υβριδικό ηλεκτρικό όχημα εξυπηρετεί διαφορετικό σκοπό από μια μπαταρία σε ένα συμβατικό όχημα. Σε ένα συμβατικό όχημα, ο πρωταρχικός σκοπός της μπαταρίας είναι να παρέχει μεγάλο ηλεκτρικό ρεύμα για ένα σύντομο χρονικό διάστημα προς τον εκκινητή (μίζα) ώστε να εκκινήσει το όχημα. Αυτός ο τύπος μπαταρίας συνήθως καλείται μπαταρία εκκίνησης (starting ή starter battery). Από την εκκίνηση και έπειτα του οχήματος η τροφοδοσία των ηλεκτρικών συστημάτων γίνεται μέσω του εναλλακτήρα (ή δυναμό σε παλαιότερα οχήματα). Στα ηλεκτροκίνητα οχήματα, ωστόσο, οι μπαταρίες παρέχουν συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα προς τον/τους ηλεκτροκινητήρα/ες για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτή η διαφοροποίηση έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη πολύ ισχυρότερων μπαταριών από κάθε άποψη για ένα ηλεκτροκίνητο όχημα σε σχέση με ένα συμβατικό. Πρέπει να σημειωθεί ότι μια μπαταρία εκκίνησης είναι απαραίτητη και στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα σε συνδυασμό με μια μπαταρία υψηλής τάσης (high voltage battery, HVB). Η μπαταρία εκκίνησης χρησιμοποιείται για να εκκινήσει το βενζινοκινητήρα ενώ η μπαταρία υψηλής τάσης για να τροφοδοτεί τον ηλεκτροκινητήρα ή κάποια περιφερειακά ηλεκτρικά/ηλεκτρονικά συστήματα. Σε αυτά τα οχήματα η μπαταρία εκκίνησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την τροφοδοσία άλλων συστημάτων όπως για παράδειγμα το σύστημα φωτισμού. Προφανώς, σε ένα ηλεκτρικό όχημα ή σε ένα όχημα με κυψέλες καυσίμου δε χρειάζεται η μπαταρία εκκίνησης. Οι βασικές ενεργειακές πηγές σε αυτά τα οχήματα είναι μπαταρίες υψηλής τάσης όπως αυτές των υβριδικών οχημάτων. Αυτή η απαίτηση ονομάζεται βαθιά εκφόρτιση (deep cycling) και μια μπαταρία με αυτό το χαρακτηριστικό ονομάζεται μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης. Τέτοιες μπαταρίες τείνουν να έχουν μικρότερη στιγμιαία ισχύ από μια μπαταρία εκκίνησης αλλά μπορούν να προσδώσουν ηλεκτρική ενέργεια για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα καθώς και να υποστούν περισσότερες βαθιές εκφορτίσεις. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα τυπικά απαιτούν τάση 100-600V. Οι μπαταρίες μπορεί να σχηματίζουν συστοιχίες μονάδων των 6V ή 12V συνδεδεμένων σε σειρά. Αν ο ηλεκτροκινητήρας απαιτεί τάση 240V, το όχημα χρειάζεται 40 μπαταρίες των 6V ή 20 των 12V. Σε πολλές περιπτώσεις, εκατοντάδες μεμονωμένα κελιά μπαταριών, το καθένα μεγέθους μπαταρίας φακού, συνδέονται μεταξύ τους για να παρέχουν την απαιτούμενη ισχύ. Πολλοί διαφορετικοί τύποι μπαταριών είναι διαθέσιμοι και υπό έρευνα για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις της ηλεκτροκίνησης στα οχήματα. Προκειμένου να γίνει αντιληπτή η ανάγκη χρήσης μπαταριών υψηλής τάσης στα υβριδικά οχήματα θεωρείται σκόπιμο να αναφερθούν τα πλεονεκτήματα που προέκυψαν από την αύξηση της τάσης στις μπαταρίες των συμβατικών οχημάτων στη δεκαετία του 1950 από τα 6V στα 12V. Καταρχήν, η φόρτιση των μπαταριών μπορούσε να γίνει ταχύτερη και με μικρότερη καταπόνηση για την μπαταρία. Επιτράπηκε η μείωση του μεγέθους των καλωδίων δεδομένου ότι με διπλάσια τάση απαιτούνταν πλέον η μισή ένταση για την παροχή της ίδιας ποσότητας ισχύος.

Τα ίδια πλεονεκτήματα ισχύουν και για τα σύγχρονα συμβατικά οχήματα. Εδώ, βέβαια, θα πρέπει να προστεθεί και η διαρκώς αυξανόμενη χρήση ηλεκτρικών συστημάτων. Εκτιμάται ότι το 2007 η ζήτηση σε ηλεκτρική ισχύ κυμαίνεται μεταξύ 800W και 1500W, σε μερικά χρόνια θα είναι 3000W-7000W. Η αύξηση αυτή μπορεί να καλυφθεί είτε αυξάνοντας τη χωρητικότητα της μπαταρίας και του συστήματος φόρτισης είτε αυξάνοντας την τάση. Η δεύτερη λύση είναι προτιμότερη παρά το γεγονός ότι οδηγεί σε μεγαλύτερες και βαρύτερες μπαταρίες γιατί η ένταση των ρευμάτων θα είναι μικρότερη, το μέγεθος των καλωδίων θα είναι μικρότερο και είναι πιθανή έτσι η αντιστάθμιση της αύξησης του βάρους της μπαταρίας. Με την ίδια λογική, προωθείται και η αύξηση από τα 12V στα 42V.

Η ίδια λογική ακολουθείται και κατά τη σχεδίαση ηλεκτρικών και υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων. Η υψηλή τάση απαιτείται για να αποτρέψει την ανάγκη για μεγάλα καλώδια και αγωγούς. Επίσης, διατηρώντας την ένταση του ρεύματος χαμηλή είναι καλύτερο και για τις μπαταρίες. Η πρώτη γενιά του ηλεκτρικού οχήματος της General Motors (EV1) χρησιμοποιούσε είκοσι έξι μπαταρίες μολύβδου οξέος των 12V. Οι μεμονωμένες μπαταρίες συνδέονταν σε σειρά. Έτσι, ο συνολικός συσσωρευτής παρείχε 312V τάσης και ζύγιζε 595kg. Η απόσταση αυτονομίας ανάμεσα σε δύο διαδοχικές φορτίσεις ήταν 88 έως 153km. Η επόμενη και τελευταία γενιά των EV1 χρησιμοποιούσε μπαταρίες Νικελίου μετάλλου υβριδίου και χαρακτηρίζονταν από ελαφρώς μεγαλύτερη αυτονομία. Ο συνολικός συσσωρευτής σε ένα υβριδικό όχημα κατασκευάζεται τυπικά από μερικά κυλινδρικά ή πρισματικά στοιχεία. Ένας τέτοιος συσσωρευτής συχνότερα ονομάζεται μπαταρία YT (HV battery). Τα κυκλώματα υψηλής τάσης σε ένα όχημα αναγνωρίζονται από το μέγεθος και το χρώμα. Τα καλώδια έχουν παχύτερη μόνωση και πορτοκαλί χρώμα. Ομοίως και οι σύνδεσμοι έχουν πορτοκαλί χρώμα. Σε πολλά οχήματα τα καλώδια υψηλής τάσης τοποθετούνται σε πορτοκαλί θωράκιση ή θήκη. Επιπρόσθετα, οι μπαταρίες και τα συστήματα υψηλής τάσης έχουν προειδοποιητικές ετικέτες με την ένδειξη “Υψηλή Τάση”.

### 3.3 Ποια πρέπει να είναι τα κύρια χαρακτηριστικά τους

Μια συστοιχία συσσωρευτών που προορίζεται για ένα EV θα πρέπει να έχει υψηλή πυκνότητα ενέργειας, μεγάλο κύκλο ζωής, απουσία φαινομένων «μνήμης» (επίδρασης των προηγούμενων φορτίσεων/εκφορτίσεων στην απόδοση της μπαταρίας), γρήγορη φόρτιση, υψηλό βαθμό απόδοσης, μεγάλη αξιοπιστία, χαμηλό κόστος, υψηλή απόδοση φόρτισης/εκφόρτισης, μεγάλο εύρος λειτουργίας μεταξύ χαμηλών και υψηλών θερμοκρασιών, πολύ χαμηλό ρυθμό αυτό-εκφόρτισης, καλό βαθμό θερμοκρασίας αποθήκευσης, χαμηλή εσωτερική αντίσταση, δυνατότητα ανακύκλωσης κ.α.



#### 3.3.1 Τα κύρια μεγέθη τους

**Πυκνότητα ισχύος (W/kg)** => η ροή της ισχύος ανά μονάδα μάζας ή του βάρους της μπαταρίας. Υποδηλώνει και την μέγιστη ισχύ που μπορεί να προσφέρει ένας συσσωρευτής και βάση αυτού εξαρτώνται οι επιδόσεις ενός οχήματος (επιτάχυνση, τελική ταχύτητα).

**Ενεργειακή πυκνότητα μάζας (Wh/kg)** => εκφράζει την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί ανά μονάδα μάζας (ή βάρους της μπαταρίας).

	Fuel	Energy Mass Density (kW-hr/kg)	Energy Volume Density (kW-hr/liter)
Total Potential	Hydrogen gas	39.8	0.003
	Gasoline	12.9	9.50
	Lithium metal	12.0	6.39
	Methanol (no water)	5.47	4.33
	Formic Acid (88%)	4.69	4.43
	Hydride (LiAlH <sub>4</sub> +4H <sub>2</sub> O)	2.44	2.11
Actual	Zinc-Air Battery	0.44	1.67
	Li-ion Battery (full redox)	0.13-0.20	0.23-0.58

Είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους για κάθε μέσο μεταφοράς. Για παράδειγμα το Nissan Leaf εξοπλίζεται με μπαταρίες λιθίου-ιόντων 200 kg. Οπότε, βάση του πίνακα στην θεωρία ισχύει:  $0,20 \text{ kWh/kg} \times 200 \text{ kg} = 40 \text{ kWh}$ . Άρα βάση της βενζίνης με  $13,11 \text{ kWh/kg}$  ειδικής ενέργειας αποθήκευσης 200 kg καυσίμου ισούνται με  $2.622 \text{ kWh}$ ! Περίπου 100 φορές περισσότερη ενέργεια.

**Ενεργειακή πυκνότητα όγκου ( $\text{Wh/m}^3$ )** => το συνολικό φορτίο που μπορεί να αποθηκεύσει μία μπαταρία ανά μονάδα του όγκου της. Ισχύει για συγκεκριμένη περίοδο φόρτισης/εκφόρτισης και καθορίζει το μέγεθος (όσο μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα τόσο μικρότερος ο όγκος της μπαταρίας).

**Ποσότητα ενέργειας** => όπως και στα κινητά τηλέφωνα μετριέται σε αμπερώρες (Ah). Μια μπαταρία 10 Ah υποδηλώνει πως παρέχει 1 Amp συνεχούς ρεύματος (μόνο DC υπάρχει στις μπαταρίες) για 10 h ή 5 Amp για 2 h και πάει λέγοντας.

Ποια η διαφορά του  $W$  με την  $Wh$  σε ένα BEV (Battery Electric Vehicle); Το Watt μετρά την ισχύ, όπως και σε ένα συμβατικό αυτοκίνητο. Η «βατώρα» ( $Wh$ ) εκφράζει την απόσταση που μπορείς να διανύσεις με ένα EV. Ένα μέσο BEV μπορεί να διανύσει περίπου 6-8 km ανά kWh.

**Βαθμός απόδοσης** => η μετατροπή ενέργειας από ηλεκτρική σε χημική έχει απόδοση της τάξης του 80%. Η μετατροπή της χημικής ενέργειας του πετρελαίου σε μηχανική δεν ξεπερνά το 20%.

### 3.4.1 Παράμετροι μπαταριών

Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας μιας μπαταρίας και η συγκριτική μελέτη των διαφόρων τύπων μεταξύ τους επιτυγχάνεται με τη θέσπιση συγκεκριμένων παραμέτρων οι σημαντικότερες από τις οποίες αναφέρονται παρακάτω.

#### 3.4.1.1 Τάσεις στοιχείων και μπαταρίας

Πρόκειται για την πρώτη παράμετρο που εξετάζει κανείς όταν ασχολείται με μπαταρίες. Η τάση στοιχείου είναι η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται ανάμεσα στις θετικές και τις αρνητικές πλάκες μέσα στον ηλεκτρολύτη. Εξαρτάται από τα υλικά των πλακών, τον ηλεκτρολύτη και τη συγκέντρωσή του. Η τάση του στοιχείου δεν παραμένει πάντα σταθερή αλλά εξαρτάται από την κατάσταση φόρτισης και τη θερμοκρασία του ηλεκτρολύτη. Η ονομαστική τάση της μπαταρίας είναι η τάση που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της ονομαστικής τάσης ενός στοιχείου με τον αριθμό των στοιχείων που απαρτίζουν το σύνολο της μπαταρίας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι τάσεις των μπαταριών YT στα ηλεκτρικά οχήματα κυμαίνονται από 100V μέχρι 600V. Επίσης, στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα που κυκλοφορούν αυτή τη στιγμή στην παγκόσμια αγορά η ονομαστική τάση των μπαταριών YT κυμαίνεται από 200V περίπου μέχρι 350V περίπου.

#### 3.4.1.2 Χωρητικότητα μπαταρίας

Το ηλεκτρικό φορτίο που μια μπαταρία μπορεί να παρέχει είναι σαφώς η κρισιμότερη παράμετρος. Ως χωρητικότητα (capacity) μιας μπαταρίας θεωρείται η ποσότητα των ελεύθερων ηλεκτρικών φορτίων που παράγονται από το ενεργό υλικό στο αρνητικό ηλεκτρόδιο και καταναλώνονται από το θετικό ηλεκτρόδιο. Η μονάδα μέτρησής του είναι το Coulomb (C), το ηλεκτρικό φορτίο που μεταφέρεται από ρεύμα έντασης 1 Ampère (A) σε ένα δευτερόλεπτο. Εντούτοις, αυτή η μονάδα είναι ακατάλληλα μικρή. Αντ' αυτού χρησιμοποιείται το Ah (1Ah = 3600C): φορτίο που μεταφέρεται από ρεύμα έντασης 1 A σε μια ώρα. Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας είναι, για παράδειγμα, 10Ah. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να παρέχει ρεύμα έντασης 1A για 10 ώρες, ή 2A για 5 ώρες, ή στη θεωρία 10 A για 1 ώρα. Στην πράξη, ενώ μια μπαταρία μπορεί να είναι σε θέση να παρέχει ρεύμα έντασης 1A για 10 ώρες, εάν απορροφώνται από αυτήν 10A, θα διαρκέσει λιγότερο από μια ώρα. Η χωρητικότητα των μεγάλων μπαταριών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα αναφέρεται συνήθως σε εκφόρτιση 5 ωρών. Το διάγραμμα αναφέρεται σε μια μπαταρία με ονομαστική τιμή 100 Ah. Πρέπει να σημειωθεί ότι εάν το φορτίο αφαιρείται σε μια ώρα, η χωρητικότητα μειώνεται σε περίπου 70 Ah. Αντίθετα, εάν το ρεύμα απορροφάται πιο αργά, έστω 20 ώρες, η χωρητικότητα αυξάνει σε περίπου 110 Ah.

Αυτή η αλλαγή στην ικανότητα εμφανίζεται λόγω των ανεπιθύμητων δευτερευουσών αντιδράσεων μέσα στην κυψέλη. Η επίδραση είναι πιο αξιοπρόσεκτη στην μπαταρία μολύβδου οξέος, αλλά εμφανίζεται σε όλους τους τύπους. Έχει σημασία να είναι σε θέση κανείς να προβλέψει ακριβώς τα αποτελέσματα αυτού του φαινομένου. Η χωρητικότητα μιας μπαταρίας σε Ah αντιπροσωπεύεται από το γράμμα Q.

#### **3.4.1.3 Ρυθμός εκφόρτισης (discharge rate)**

Ο ρυθμός εκφόρτισης είναι το ηλεκτρικό ρεύμα με το οποίο εκφορτίζεται μια μπαταρία. Ο ρυθμός εκφράζεται ως ρυθμός  $Q/h$  όπου Q είναι η χωρητικότητα της μπαταρίας και h είναι ο χρόνος εκφόρτισης σε ώρες. Για μια μπαταρία με χωρητικότητα Q (Ah) που εκφορτίζεται σε χρόνο  $\Delta t$ , ο ρυθμός εκφόρτισης είναι  $Q/\Delta t$ .

#### **3.4.1.4 Κατάσταση εκφόρτισης (State of Discharge)**

Η κατάσταση εκφόρτισης (SoD) είναι ένα μέτρο του φορτίου που απομακρύνεται από τη μπαταρία.

#### **3.4.1.5 Βάθος φόρτισης (Depth of Discharge)**

Το βάθος εκφόρτισης (DoD) είναι το ποσοστό χωρητικότητας της μπαταρίας ως προς το οποίο έχει εκφορτιστεί η μπαταρία κατά τη χρήση της. Εκφόρτιση μιας μπαταρίας σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80% της χωρητικότητας ονομάζεται βαθιά εκφόρτιση (deep discharge).

#### **3.4.1.6 Ειδική ενέργεια (Specific Energy)**

Ως ειδική ενέργεια μιας μπαταρίας ορίζεται η ενεργειακή χωρητικότητα ανά μονάδα βάρους της μπαταρίας (Wh/kg). Η θεωρητική ειδική ενέργεια είναι η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να παραχθεί ανά μονάδα μάζας του ενεργού υλικού. Οι πρακτικές τιμές της ειδικής ενέργειας είναι ωστόσο αρκετά χαμηλότερες από τα θεωρητικά μέγιστα. Εκτός από τους διάφορους περιορισμούς που τείνουν να μειώσουν την τάση του στοιχείου και εμποδίζουν την πλήρη χρήση του ενεργού υλικού, οι κατασκευαστικές ανάγκες της μπαταρίας προσθέτουν στο βάρος της χωρίς

όμως να προσφέρουν τίποτα στην παραγόμενη ενέργεια. Προκειμένου να εκτιμηθεί η έκταση της διαφοράς ανάμεσα στις τιμές της πρακτικής και της θεωρητικής ειδικής ενέργειας μιας μπαταρίας παρατίθεται το παράδειγμα της μπαταρίας μολύβδου οξέος. Αποδεικνύεται ότι μόνο το 26% του συνολικού βάρους της μπαταρίας συμμετέχει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (45Wh/kg από τη θεωρητική τιμή των 170Wh/kg). Το υπόλοιπο ποσοστό σχετίζεται με (1) τμήμα του ενεργού υλικού που δεν εκφορτίζεται με το ρυθμό που απαιτεί το ηλεκτρικό όχημα, (2) νερό που χρησιμοποιείται για τον ηλεκτρολύτη, (3) πλέγματα μολύβδου για τη συλλογή ρεύματος, (4) υλικά για τους πόλους και τους συνδέσμους της μπαταρίας και (5) περίβλημα και διαχωριστές.

### 3.4.1.7 Ειδική ισχύς (Specific Power)

Η ειδική ισχύς μιας μπαταρίας ορίζεται ως η μέγιστη ισχύς ανά μονάδα βάρους της μπαταρίας που μπορεί να παραχθεί σε ένα μικρό χρονικό διάστημα. Η ειδική ισχύς είναι σημαντική για τη μείωση του βάρους της μπαταρίας ειδικά σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ισχύ, όπως τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα.

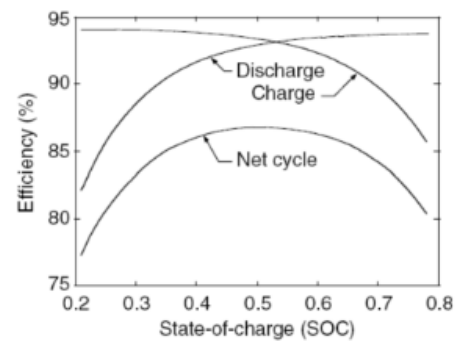
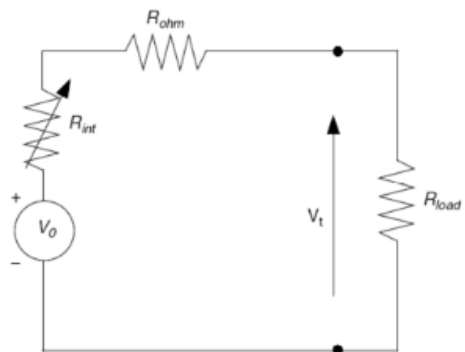
### 3.4.1.8 Ενεργειακή απόδοση

Οι απώλειες ενέργειας και ισχύος κατά την εκφόρτιση ή τη φόρτιση εμφανίζονται με τη μορφή απώλειας τάσης. Έτσι, η απόδοση της μπαταρίας κατά τη φόρτιση ή την εκφόρτιση μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της τάσης λειτουργίας του κελιού προς τη θερμοδυναμική τάση δηλαδή:

$$\text{εκφόρτιση :} \quad n = \frac{V}{V_a}$$

$$\text{φόρτιση:} \quad n = \frac{V_a}{V}$$

Η τάση των πόλων, ως συνάρτηση του ρεύματος και της ενέργειας που αποθηκεύεται στη μπαταρία ή την κατάσταση φόρτισης, είναι χαμηλότερη στην εκφόρτιση και υψηλότερη στη φόρτιση από το ηλεκτρικό δυναμικό που αναπτύσσεται από μια χημική αντίδραση. Στο σχήμα 2.4.4.7.β απεικονίζεται η απόδοση της μπαταρίας μολύβδου οξέος κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης και της φόρτισης ως συνάρτηση της κατάστασης φόρτισης (SoC). Παρατηρείται ότι η απόδοση του συνολικού κύκλου της μπαταρίας παρουσιάζει μέγιστο στη μέση της περιοχής της κατάστασης φόρτισης. Επομένως, η μονάδα ελέγχου λειτουργίας της μπαταρίας ενός υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος θα πρέπει να ελέγχει την κατάσταση φόρτισής της ώστε να βρίσκεται στο μέσο του εύρους τιμών του SoC έτσι ώστε να βελτιώνει την απόδοση λειτουργίας και να περιορίζει την αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλείται από απώλειες ενέργειας. Υψηλή θερμοκρασία θα μπορούσε να προκαλέσει φθορές στη μπαταρία.





### 3.5 Μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική κατά το φρενάρισμα

Στα συμβατικά οχήματα κατά το φρενάρισμα έχουμε μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε θερμότητα. Στα υβριδικά αυτό δεν ισχύει. Πατώντας το πεντάλ του φρένου ο ηλεκτροκινητήρας μετατρέπεται σε γεννήτρια με αποτέλεσμα η μηχανική ενέργεια των τελικών αξόνων να μετατρέπεται σε ηλεκτρική η οποία και φορτίζει την μπαταρία. Επιπρόσθετα η υπάρχουσα ενέργεια στο σύστημα μετάδοσης μετατρέπεται και αυτή σε μηχανική καθώς φρενάρει τον κινητήρα. Έτσι μέρος της συνολικής ενέργειας δεν χάνεται σε θερμότητα αλλά αποθηκεύεται στην μπαταρία με την μορφή της ηλεκτρικής. Το σύστημα αυτό εμπλέκεται μόνο στους μπροστινούς τροχούς, ενώ υπάρχει και η συμμετοχή από το σύστημα πέδησης για το φρενάρισμα των τροχών. Η αναλογία συμμετοχής του κάθε συστήματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η ταχύτητα του αυτοκινήτου, η ασκούμενη δύναμη στο πεντάλ του φρένου κ.α. Κυρίως σε συνθήκες όπου το αυτοκίνητο βρίσκεται σε κατάσταση οδήγησης πόλης όπου υπάρχουν επαναλαμβανόμενες αυξομειώσεις μικρών ταχυτήτων και συνεχόμενων φρεναρισμάτων, το ηλεκτρικό σύστημα αναλαμβάνει την πέδηση του αυτοκινήτου. (σχήμα 2.3.6.η)

Κατά την πέδηση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου, λόγω του ότι ο αντιστροφέας είναι αμφίπλευρος όσον αφορά στη ροή ισχύος, ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας της μηχανής επαγωγής μεταφέρεται στη συστοιχία των συσσωρευτών, στις μπαταρίες. Κατά την πέδηση η μηχανή επαγωγής, η οποία λειτουργεί σαν γεννήτρια, τροφοδοτεί τον αντιστροφέα ισχύος, ο οποίος στη συνέχεια ανορθώνει την τάση της γεννήτριας, με αποτέλεσμα να φορτίζει τους συσσωρευτές. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η μηχανική πέδηση.

Άρα από εδώ προκύπτει ότι κατά την πέδηση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου αρχικά έχουμε αναγεννητική πέδηση κι έπειτα μηχανική.

### 3.6 ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΕΣ

Οι συμβατικοί πυκνωτές έχουν μια πληθώρα εφαρμογών λόγω του χαρακτηριστικού της ακαριαίας εκφόρτισης που διαθέτουν.

Διακρίνονται σε 3 κατηγορίες :

- 1) Τους ηλεκτροστατικούς
- 2) Τους ηλεκτρολυτικούς
- 3) Τους ηλεκτροχημικούς

Και οι τρεις αυτές κατηγορίες αποθηκεύουν ενέργεια με τη μορφή του ηλεκτροστατικού πεδίου, λόγω της διαφοράς ηλεκτρικού φορτίου στους οπλισμούς τους.

Σε αντίθεση με της μπαταρίες, στην περίπτωση των υπερπυκνωτών, δεν συναντάμε το πρόβλημα της πτώσης της απόδοσης ανάλογα με τον αριθμό των κύκλων φόρτισης εκφόρτισης. Επίσης, μπορούν να αποδώσουν ρεύματα πολλαπλάσια από αυτά που μπορεί να αποδώσει μια μπαταρία όταν εκραγεί. Χαρακτηριστικό επίσης των πυκνωτών είναι και ο μικρός χρόνος που απαιτείται για την φόρτιση τους. Επομένως μπορούν να αποθηκεύσουν μεγάλα ποσά ενέργειας, με αποτέλεσμα να βρίσκουν εφαρμογή στην πέδηση με ανάκτηση ισχύος των ηλεκτρικών οχημάτων.

Μέχρι στιγμής, οι πυκνωτές φαίνεται να είναι ιδανική λύση για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, γεγονός όμως που ανατρέπεται λόγω των σοβαρών μειονεκτημάτων που αυτοί παρουσιάζουν όπως για παράδειγμα η μεγάλη μεταβολή της τάσης που παρουσιάζεται κατά την εκφόρτιση τους καθώς και ο μεγάλος όγκος αυτών. Αν σκεφτούμε ότι η ποσότητα ρεύματος που μπορεί να αποθηκεύσει ένας πυκνωτής εξαρτάται από την επιφάνεια των ηλεκτροδίων τους, τότε η λύση στο πρόβλημα δίνεται στη μορφή των υπερπυκνωτών.

Η νέα αυτή, μικρού όγκου, τεχνολογία μπορεί να αποθηκεύσει πολλαπλάσιες τιμές ενέργειας ανά μονάδα βάρους, λόγω της ανάπτυξης «ενεργού επιφάνειας» σε ολόκληρη τη μάζα των ηλεκτροδίων και όχι μόνο στην εξωτερική τους επιφάνεια. Παρ' όλο που η αρχή λειτουργίας των υπερπυκνωτών είναι γνωστή εδώ και περίπου ένα αιώνα, η ανάπτυξη αυτών άρχισε στα τέλη της δεκαετίας του 70.

### 3.6.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΠΕΡΠΥΚΝΩΤΩΝ – ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Μπορεί μεν οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές να έχουν την μεγαλύτερη χωρητικότητα σε σύγκριση με τους άλλους τύπους πυκνωτών, αλλά η χωρητικότητα τους είναι μικρότερη από αυτή των μπαταριών. Παρουσιάζουν όμως μικρότερη εσωτερική αντίσταση από τις μπαταρίες. Η διάρκεια ζωής τους είναι σαφώς μεγαλύτερη από αυτή των συμβατικών μπαταριών αλλά παρουσιάζουν διαρροή ρεύματος καθώς και ευαισθησία στην υψηλή θερμοκρασία, στα καυσαέρια, στην υγρασία και τις πιέσεις δονήσεις, φαινόμενα που εύκολα συναντούν στην θέση στην οποία τοποθετούνται σε ένα όχημα. Οι υπερπυκνωτές είναι οικολογικοί και σε αντίθεση με τις μπαταρίες δεν αποφορτίζονται ξαφνικά. Επίσης, δεν απαιτούν πολύπλοκα συστήματα φόρτισης καθώς έχουν την δυνατότητα να «προειδοποιούν» για τον θάνατο τους (όταν η χωρητικότητα τους μειωθεί, αυξάνεται σημαντικά η αντίσταση τους).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4. ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

#### 4.1 Εισαγωγή

Ο ηλεκτρικός κινητήρας αποτελεί την κύρια πηγή κίνησης του ηλεκτρικού αυτοκινήτου καθώς αναλαμβάνει να μετατρέψει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ροπή στρέψης στους τροχούς. Λόγω του ότι η ηλεκτρική μηχανή πρέπει να μπορεί να ελεγχθεί επακριβώς (έλεγχος ταχύτητας ή και ροπής), αρχικά είχε επικρατήσει η χρήση του DC κινητήρα. Τα σοβαρά μειονεκτήματα όμως αυτού, όπως το μεγάλο βάρος και η μικρή διάρκεια ζωής, τον αντικατέστησαν με την επαγωγική μηχανή (IM-Induction Machine).

Σοβαρός ανταγωνιστής της επαγωγικής μηχανής, είναι και οι μηχανές μόνιμου μαγνήτη. Και τα δύο είδη μηχανών προτείνονται σήμερα για την χρήση τους σε ηλεκτρικά οχήματα καθώς άλλα είδη μηχανών όπως ο DC που προαναφέρθηκε και η μηχανή μαγνητικής αντίστασης παρουσιάζουν μειονεκτήματα τα οποία κατατάσσουν τις κινητήριες αυτές μηχανές στις χαμηλότερες προτιμήσεις των κατασκευαστών.

#### 4.1.1 **Ηλεκτρικός κινητήρας μεγάλης απόδοσης και μικρού βάρους, όγκου, κόστους.**

Το βασικό εξάρτημα, το οποίο χρειάζεται να συνεργαστεί κατά το μεγαλύτερο δυνατό τρόπο, το ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι ο ηλεκτρικός κινητήρας, όπως θα δούμε και πιο κάτω στη μελέτη. Ο ιδανικότερος κινητήρας για εφαρμογή στο ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι ο εναλλασσόμενος επαγωγικός κινητήρας κλωβού. Ο κινητήρας αυτός όταν συγκριθεί με τον αντίστοιχο σε ισχύ κινητήρα συνεχούς ρεύματος παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα :

- Χρειάζεται λιγότερη συντήρηση
- Έχει μεγαλύτερη απόδοση κατά 10%
- Έχει μεγαλύτερη αντοχή
- Έχει τέσσερις φορές μικρότερο κόστος
- Μικρότερο βάρος
- **Το μόνο μειονέκτημα** που θα παρουσιάσει ο εναλλασσόμενος κινητήρας έναντι του κινητήρα συνεχούς ρεύματος είναι ότι χρειάζεται πολυπλοκότερο κύκλωμα ελέγχου.

#### 4.1.1.1 Επιλογή επαγωγικού κινητήρα

Όσον αφορά τον κινητήρα που επιλέχτηκε είναι ασύγχρονος βραχυκυκλωμένου κλωβού και χαρακτηρίζεται από την υψηλή αξιοπιστία και αντοχή, απλότητα κατασκευής, χαμηλό κόστος και μικρές απαιτήσεις συντήρησης.

Οι καταλληλότεροι τύποι κινητήρων είναι :

- Ασύγχρονος κινητήρας επαγωγής
- Κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες
- Κινητήρας μεταβλητής αντίδρασης μαγνητικής

Ο κινητήρας μόνιμου μαγνήτη (Εικόνα 4.1) παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον αλλά το κόστος των μόνιμων μαγνητών και των απαραίτητων ηλεκτρονικών ισχύος είναι σχετικά μεγάλο. Επιπρόσθετα, η μείωση του κόστους παραγωγής του απαιτεί μεγάλες επενδύσεις σε μία αγορά που δεν είναι εξασφαλισμένη.



**Εικόνα 4.1 “Κινητήρας μόνιμου μαγνήτη”**

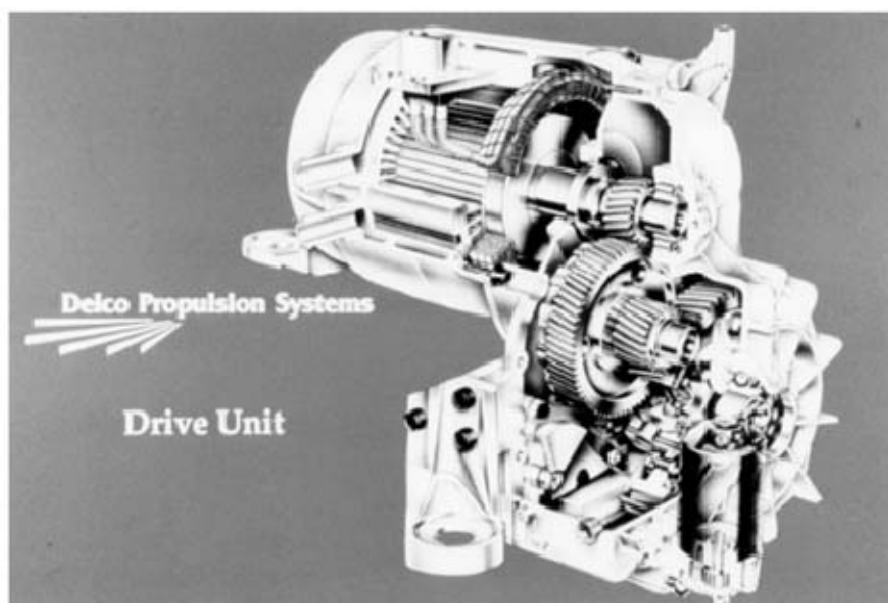
## 4.2 Επαγωγικός κινητήρας

Ο επαγωγικός κινητήρας αποτελεί τον πιο κοινό τύπο κινητήρα λόγω της απλής κατασκευής που παρουσιάζει. Ο κινητήρας αυτός δεν διαθέτει ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης. Αντίθετα, οι τάσεις και τα ρεύματα επάγονται στη διέγερση του σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή.

Ο επαγωγικός κινητήρας μπορεί να θεωρηθεί ως ένας στρεφόμενος μετασχηματιστής αφού το ισοδύναμο κύκλωμα του είναι όμοιο με αυτό του μετασχηματιστή και διαφοροποιείται από τον τελευταίο μόνο στην επίδραση της μεταβλητής ταχύτητας.

Αυτό που διαφοροποιεί τον επαγωγικό κινητήρα από τον σύγχρονο, δεν είναι η δομή του στάτη αλλά η δομή του δρομέα. Χρησιμοποιούνται δύο τύποι δρομέων στους επαγωγικούς κινητήρες, οι δρομείς βραχυκυκλωμένου κλωβού (εικόνα 6) και οι δρομείς δακτυλιοφόρου δρομέα.

Ο δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού αποτελείται από μια σειρά ράβδων που είναι τοποθετημένες σε αυλάκια της επιφάνειας του δρομέα και βραχυκυκλωμένες στα δυο άκρα τους μέσω μεγάλων δακτυλίων βραχυκύκλωσης. Σε αντίθεση με τον βραχυκυκλωμένο δρομέα, ο δακτυλιοφόρος δρομέας, διαθέτει ολοκληρωμένο τριφασικό τυλίγμα, το οποίο είναι τοποθετημένο έτσι ώστε να αποτελεί το κατοπτρικό είδωλο του τυλίγματος του στάτη. Οι τρεις φάσεις ενός τέτοιου τυλίγματος συνδέονται συνήθως σε αστέρα, ενώ τα άκρα των αγωγών συνδέονται σε δακτυλίους. Έτσι τα ρεύματα στο δακτυλιοφόρο δρομέα ενός επαγωγικού κινητήρα μπορούν να μετρηθούν στις ψήκτρες και ακόμη είναι δυνατή η σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων στο κύκλωμα της διέγερσης. Η τελευταία δυνατότητα δίνει το πλεονέκτημα ρύθμισης της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας ενός επαγωγικού κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα. Επίσης τα τυλίγματα στο δρομέα έχουν κάποια κλίση, ώστε να περιορίζονται οι αρμονικές εγχοπών.

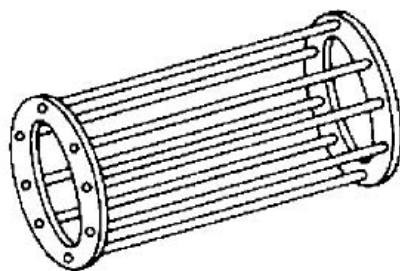


Εικόνα 4.2 “Επαγωγικός κινητήρας εναλλασσομένου ρεύματος”

#### 4.2.1 Επαγωγικοί κινητήρες

Η ονομασία αυτής της κατηγορίας των κινητήρων προέρχεται από το γεγονός ότι η τάση στο δρομέα, η οποία παράγει το ρεύμα διέγερσης και, κατ' επέκταση, το πεδίο του δρομέα, επάγεται στα τυλίγματα του, χωρίς να προσφέρεται από κάποια εξωτερική ηλεκτρική πηγή. Λόγω αυτής της ιδιότητας, ουσιαστικά ένας επαγωγικός κινητήρας μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μετασχηματιστής με στρεφόμενο δευτερεύον τυλίγμα. Ο στάτης ενός επαγωγικού κινητήρα έχει την ίδια δομή με το στάτη των σύγχρονων γεννητριών. Από την άλλη πλευρά, ανάλογα με τον τύπο του δρομέα (ο οποίος κατασκευάζεται από δυναμοελάσματα, για την ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω δινορρευμάτων), οι επαγωγικοί κινητήρες διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: σε αυτούς με δρομέα βραχυκυκλωμένου κλωβού (ο πιο κοινός τύπος) και σε αυτούς με δακτυλιοφόρο δρομέα.

Ο δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού φέρει αυλάκια στην επιφάνεια του, μέσα στα οποία είναι τοποθετημένες αγωγίμες ράβδοι. Τα άκρα των τελευταίων βραχυκυκλώνονται μέσω των λεγόμενων δακτυλίων βραχυκύκλωσης. Οι δακτυλιοφόροι δρομείς φέρουν τριφασικό τύλιγμα αντίστοιχο με αυτό του στάτη. Οι φάσεις τους συνδέονται κατά κανόνα σε αστέρα και τα τρία ελεύθερα άκρα των αγωγών συνδέονται σε ισάριθμους δακτυλίους, με αποτέλεσμα να βραχυκυκλώνονται μέσω ψηκτρών που εφάπτονται στους δακτυλίους. Η διάταξη αυτή έχει το προφανές χαρακτηριστικό ότι επιτρέπει τη σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων στο κύκλωμα του δρομέα.



*Βραχυκυκλωμένος κλωβός*



*Δακτυλιοφόρος δρομέας*

**Εικόνα 4.3**

#### 4.2.2 Λειτουργία των επαγωγικών κινητήρων

Όταν εφαρμοστεί στο τύλιγμα του στάτη ένα τριφασικό σύστημα τάσεων, αναπτύσσεται σε αυτό ένα τριφασικό σύστημα ρευμάτων, το οποίο προκαλεί το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο  $B_s$ . Η ταχύτητα περιστροφής του τελευταίου έχει την τιμή, κατά τα γνωστά

$$n_{\text{sync}} = \frac{60f_e}{P}$$

όπου  $f_e$  η ηλεκτρική συχνότητα του τριφασικού συστήματος και  $2P$  ο αριθμός των πόλων. Επειδή το συγκεκριμένο μαγνητικό πεδίο διέρχεται από τους αγωγούς του δρομέα, θα επάγει τάση σε αυτούς, η οποία αποτελεί την αιτία για την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος του δρομέα. Προφανώς, το ρεύμα αυτό προκαλεί ένα αντίστοιχο μαγνητικό πεδίο  $B_r$ , με συνέπεια να επάγεται ροπή ίση με

$$\tau_{\text{ind}} = k(\mathbf{B}_R \times \mathbf{B}_S)$$

με φορά ίδια με τη φορά περιστροφής του  $B_s$ . Με άλλα λόγια, αν ο δρομέας είναι αρχικά ακίνητος, λόγω της ροπής θα επιταχύνει. Βέβαια, είναι φανερό πως υπάρχει ένα άνω όριο στην ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται ο δρομέας, αφού η τάση στους αγωγούς του οφείλεται στη σχετική κίνησή τους ως προς το πεδίο του στάτη. Επομένως, ο δρομέας δεν μπορεί να περιστρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα  $n_{\text{sync}}$ , διότι τότε η επαγόμενη τάση στους αγωγούς είναι μηδενική, με συνέπεια να μη διαρρέονται αυτοί από ρεύμα και, τελικά, να μην αναπτύσσεται ροπή. Κάτι τέτοιο θα προκαλούσε επιβράδυνση του δρομέα, λόγω της ροπής των τριβών. Για το λόγο αυτό, ένας επαγωγικός κινητήρας περιστρέφεται με ταχύτητα κοντά, αλλά ποτέ ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα.

#### 4.2.3 Ολίσθηση του δρομέα

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως η σχετική κίνηση του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο είναι η αιτία ανάπτυξης τάσης στους αγωγούς του. Η διαφορά της ταχύτητας περιστροφής  $n_m$  του άξονα από τη σύγχρονη ταχύτητα  $n_{\text{sync}}$  ονομάζεται *ταχύτητα ολίσθησης* της επαγωγικής μηχανής:

$$n_{\text{slip}} = n_{\text{sync}} - n_m$$



Ένα δεύτερο μέγεθος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της σχετικής κίνησης είναι η ολίσθηση  $s$ , η οποία εκφράζει ουσιαστικά τη σχετική ταχύτητα ολίσθησης:

$$s = \frac{n_{slip}}{n_{sync}} = \frac{n_{sync} - n_m}{n_{sync}} = \frac{\omega_{sync} - \omega_m}{\omega_{sync}}$$

Αν ο δρομέας της μηχανής είναι ακινητοποιημένος, τότε έχουμε  $s=1$ , ενώ στη περίπτωση που αυτός περιστρέφεται με σύγχρονη ταχύτητα, η ολίσθηση είναι μηδενική ( $s=0$ ). Επιπλέον, η ταχύτητα περιστροφής μπορεί να εκφραστεί ως ένα ποσοστό της σύγχρονης ταχύτητας με τη βοήθεια της ολίσθησης, αφού προκύπτει εύκολα ότι

$$\omega_m = (1 - s)\omega_{sync}$$

Η συχνότητα στο δρομέα σχετίζεται με την ηλεκτρική συχνότητα στο στάτη μέσω της σχέσης

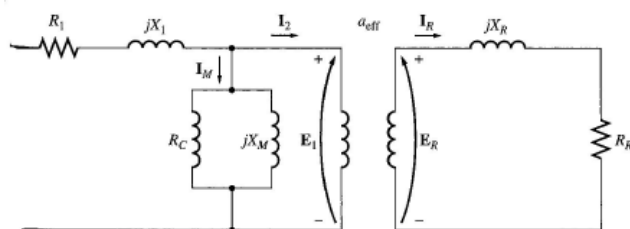
$$f_R = s \times f_e$$

δεδομένου ότι:

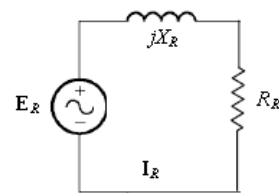
- όταν ο δρομέας είναι ακίνητος ( $n_m = 0 \text{rpm}$ ), η ολίσθηση είναι  $s = 1$  και η συχνότητα στο δρομέα είναι  $f_R = f_e$
- όταν ο δρομέας στρέφεται με σύγχρονη ταχύτητα ( $n_m = n_{sync}$ ), η ολίσθηση είναι μηδενική ( $s = 0$ ) και η συχνότητα στο δρομέα είναι  $f_R = 0 \text{Hz}$ .

#### 4.2.4 Ισοδύναμο κύκλωμα

Για την εξαγωγή του ισοδύναμου κυκλώματος ενός επαγωγικού κινητήρα, λαμβάνεται υπόψη ότι η λειτουργία του είναι όμοια με αυτή ενός μετασχηματιστή (όχι, όμως, πανομοιότυπη, αφού η συχνότητα της τάσης στο δρομέα διαφέρει από αυτή στο στάτη). Έτσι, το τύλιγμα του στάτη μπορεί να θεωρηθεί ως το πρωτεύον τύλιγμα ενός μετασχηματιστή με αντίσταση  $R_I$ , η οποία αντικατοπτρίζει τις θερμικές απώλειες στους αγωγούς του αντίστοιχου τριφασικού τυλίγματος. Σημειώνεται πως εξαιτίας της παρουσίας του διακένου, η σύζευξη μεταξύ των δύο επιμέρους κυκλωμάτων στην περίπτωση του επαγωγικού κινητήρα (δηλ. του στάτη και του δρομέα) δεν είναι τόσο καλή, όσο στην περίπτωση ενός καλά σχεδιασμένου μετασχηματιστή. Αυτό συμβαίνει διότι η συνολική ροή που δημιουργείται από το κύκλωμα του στάτη μπορεί να αναλυθεί σε δύο μέρη: σε αυτό το τμήμα της ροής που σχετίζεται με το κύκλωμα του δρομέα (*αμοιβαία ροή*) και στη *ροή σκέδασης*, η οποία παριστάνεται μέσω της αντίδρασης  $X_I$ . Επιπλέον, το  $I_M$  είναι το ρεύμα μαγνήτισης (η αιτία ανάπτυξης της μαγνητικής ροής), στο οποίο αντιστοιχίζεται η αντίδραση  $X_M$ . Για το ρεύμα απωλειών του σιδηρομαγνητικού υλικού εισάγεται η ωμική αντίσταση  $R_C$ , περιγράφοντας τις απώλειες υστέρησης και δινορρευμάτων. Η εσωτερική τάση  $E$ , σχετίζεται με την τάση  $E_R$  που επάγεται στο δρομέα μέσω κάποιο λόγο μετασχηματισμού  $a$ . Προφανώς η  $E_R$  είναι αυτή που προκαλεί την κυκλοφορία ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα του δρομέα. Σημειώνεται πως η βασική διαφορά ανάμεσα στα κυκλωματικά ισοδύναμα του μετασχηματιστή και του επαγωγικού κινητήρα εντοπίζεται όχι τόσο στα μεγέθη του στάτη, αλλά σε αυτά του δρομέα και προέρχεται από την επίδραση της μεταβολής της συχνότητας του δρομέα στα μεγέθη  $E_R$ ,  $R_R$  και  $X_R$ .



Ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή, όπου βασίζεται το μορφασικό ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα.



Ισοδύναμο κύκλωμα μόνο του δρομέα

Η τάση που επάγεται στους αγωγούς του δρομέα εξαρτάται άμεσα από τη σχετική ταχύτητα του ως προς το πεδίο του στάτη. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερη είναι η σχετική ταχύτητα, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της επαγόμενης τάσης. Πιο συγκεκριμένα, αν ο δρομέας είναι ακινητοποιημένος (π.χ. κατά την εκκίνηση του κινητήρα), η τάση στα τυλίγματα του είναι η μέγιστη δυνατή (έστω  $E_R$ ). Αντίθετα, όταν ο δρομέας περιστρέφεται με σύγχρονη ταχύτητα, η τάση στους αγωγούς του είναι μηδενική. Για οποιαδήποτε άλλη τιμή της ταχύτητας περιστροφής, η επαγόμενη τάση είναι ανάλογη της ολίσθησης:

$$E_R = s E_{R0}$$

Όσον αφορά την αντίδραση του δρομέα, αυτή εξαρτάται τόσο από την αυτεπαγωγή του, όσο και από τη συχνότητα του ρεύματος που το διαρρέει. Επειδή η τελευταία συνδέεται με την ηλεκτρική συχνότητα, όπως δείχθηκε παραπάνω, μέσω της σχέσης  $\omega_R = s\omega_e$ , προκύπτει άμεσα πως η αντίδραση του δρομέα μπορεί να εκφραστεί ως

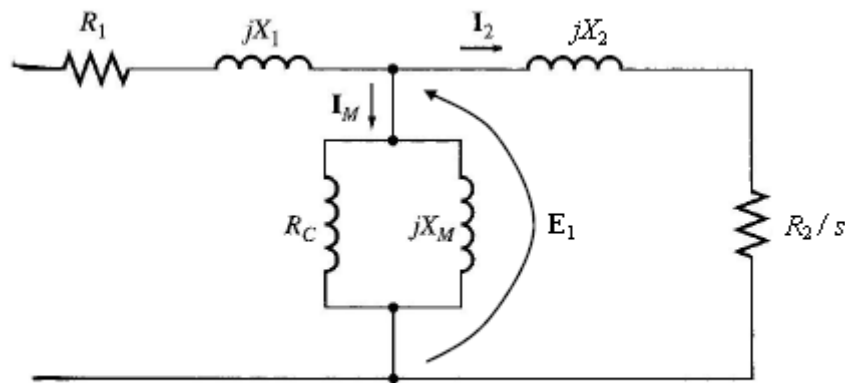
$$\mathbf{X}_R = \omega_R \mathbf{L}_R = s\omega_e \mathbf{L}_R = s\mathbf{X}_{R0}$$

όπου  $X_{R0}$  η αντίδραση του δρομέα, όταν αυτός είναι ακινητοποιημένος. Από την άλλη πλευρά, για το ρεύμα του δρομέα, έχουμε:

$$\mathbf{I}_R = \frac{\mathbf{E}_R}{\mathbf{R}_R + j\mathbf{X}_R} \Rightarrow \mathbf{I}_R = \frac{\mathbf{E}_{R0}}{\mathbf{R}_R \cdot \mathbf{I} \cdot s + j\mathbf{X}_{R0}}$$

Με άλλα λόγια, το κύκλωμα του δρομέα μπορεί να θεωρηθεί ότι τροφοδοτείται από μια σταθερή πηγή τάσης  $E_{R0}$  και περιλαμβάνει μια (ισοδύναμη) μεταβλητή σύνθετη αντίσταση  $R_R/s + jX_{R0}$ . Γίνεται φανερό πως όταν η ολίσθηση είναι μικρή, το ωμικό μέρος λαμβάνει μεγάλες τιμές ( $R_R/s \gg X_{R0}$ ) και το ρεύμα μεταβάλλεται γραμμικά με την ολίσθηση. Αντίθετα, για μεγάλες τιμές της ολίσθησης είναι  $R_R/s \ll X_{R0}$  και το ρεύμα προσεγγίζει μια σταθερή τιμή.

Τέλος, συνυπολογίζοντας την τιμή του λόγου μετασχηματισμού  $a$ , ορίζουμε τις τιμές  $E_1 = aE_{R0}$ ,  $I_2 = I_R/a$ ,  $R_2 = a^2 R_R$  και  $X_2 = a^2 X_{R0}$  για το ακόλουθο τελικό, ανά φάση, κυκλωματικό ισοδύναμο του επαγωγικού κινητήρα:



*Ανά φάση κυκλωματικό ισοδύναμο επαγωγικού κινητήρα*

Μηχανές όπως ο επαγωγικός κινητήρας που χρειάζονται τροφοδοσία μόνο του στάτη χαρακτηρίζονται ως απλής διέγερσης, σε αντιδιαστολή με τις μηχανές των οποίων τόσο ο στάτης, όσο και ο δρομέας τροφοδοτούνται από εξωτερικές πηγές και οι οποίες ονομάζονται διπλής διέγερσης.

### 4.3 Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος

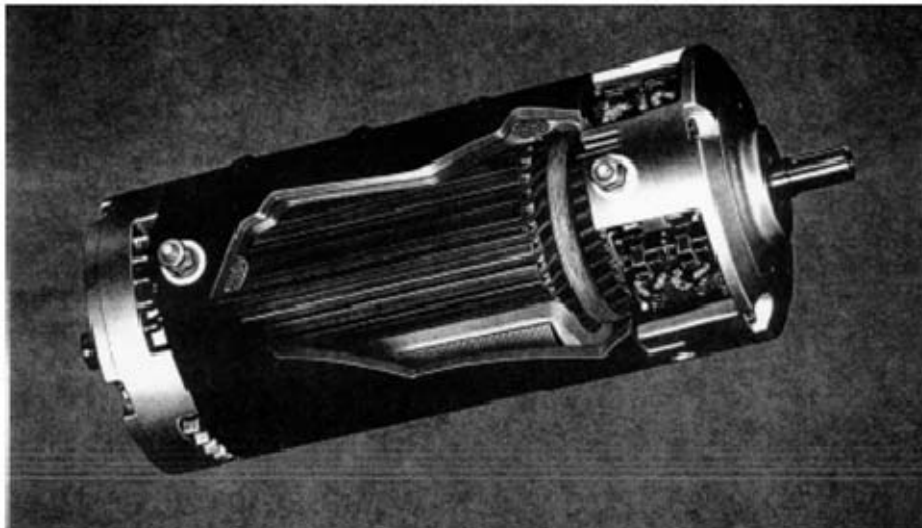
Ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος, όπως υποδηλώνει και το όνομα του, είναι ένας κινητήρας ο οποίος λειτουργεί όταν εφαρμοσθεί συνεχής τάση στα άκρα του. Αποτελείται από ένα ακίνητο τμήμα που λέγεται στάτης και ένα κινητό τμήμα που ονομάζεται δρομέας.

Ο στάτης αποτελείται από το ζύγωμα, τους μαγνητικούς πόλους, τους βοηθητικούς πόλους, τον ψυκτροφορέα με τις ψύκτρες και τα δύο καλύμματα. Ο δρομέας αποτελείται από τον άξονα, το επαγωγικό τύμπανο, τον συλλέκτη και τον ανεμιστήρα. Ο άξονας του δρομέα έχει στερεωμένα πάνω του το επαγωγικό τύμπανο (πυρήνα και τύλιγμα), τον συλλέκτη και τον ανεμιστήρα, στρέφεται δε πάντα με αυτά.

Στην εικόνα 4.4, φαίνεται ένας στοιχειώδης κινητήρας συνεχούς ρεύματος με τύλιγμα μιας σπείρας. Όταν το τύλιγμα του τροφοδοτηθεί με ρεύμα θα ασκηθούν δυνάμεις στους αγωγούς της σπείρας γιατί βρίσκονται μέσα στο μαγνητικό πεδίο των πόλων του κινητήρα. Το μέγεθος των δυνάμεων αυτών καθορίζεται από τον νόμο του  $F=BI\sin\alpha$ .

Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης του τυλίγματος διέγερσης με το τύλιγμα του τύμπανου οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος διακρίνονται σε:

- Κινητήρες ξένης διέγερσης (ξεχωριστή τροφοδοσία διέγερσης)
- Κινητήρες παράλληλης διέγερσης
- Κινητήρες διέγερσης σειράς
- Κινητήρες σύνθετης διέγερσης



Εικόνα 4.4 “Κινητήρας συνεχούς ρεύματος”

#### 4.4 Στοιχεία ηλεκτροκινητήρων

Τα απαραίτητα στοιχεία για κάθε ηλεκτροκινητήρα τα οποία και προσδιορίζουν αυτόν εμπορικά είναι:

- 1) Η απαιτούμενη τάση για την τροφοδοσία του σε βολτ(V).
- 2) Το είδος της απαιτούμενης τάσης, συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα, η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος, εφόσον πρόκειται για ηλεκτροκινητήρα AC και προφανώς σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο (c/s) ή (Hertz).
- 3) Η ισχύς του κινητήρα σε (W ή HP)
- 4) Η ένταση του ρεύματος σε αμπέρ που διαρρέει τον κινητήρα, και
- 5) Η αποκτώμενη ταχύτητα περιστροφής του άξονα του κινητήρα σε στροφές ανά λεπτό (rpm ή RPM).

Όλα τα παραπάνω στοιχεία φέρονται χαραγμένα, από τους κατασκευαστές, σε ειδική ενσωματωμένη στον ηλεκτροκινητήρα πινακίδα καθώς και ο αριθμός της έγκρισης του Υπουργείου Βιομηχανίας για εμπορική διάθεση ή άλλα σύμβολα πιστοποίησης ασφαλούς λειτουργίας

#### 4.5 Βασικές γνώσεις για ηλεκτροκινητήρες

Οι ακόλουθες 7 σημειώσεις αφορούν γενικά όλους τους τύπους των ηλεκτροκινητήρων οι βασικές γνώσεις των οποίων κρίνονται απαραίτητες:

- 1) Το αντιστρεπτό της χρήσης των ηλεκτροκινητήρων τονίζεται ότι ισχύει μόνο σε μηχανές συνεχούς ρεύματος. Οι κινητήρες AC δε μοιάζουν απόλυτα προς τις γεννήτριες και ουδέποτε είναι δυνατή η αντιστροφή παραγωγής έργου κατά τη χρήση τους.
- 2) Οι κινητήρες AC, ανεξάρτητα αν είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί είναι κατασκευαστικά πολύ απλούστεροι επειδή ακριβώς είναι απαλλαγμένοι από το συλλέκτη, δεν χρήζουν ιδιαίτερης φροντίδας συντήρησης με συνέπεια να πλεονεκτούν των κινητήρων συνεχούς.
- 3) Το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει τον κινητήρα κατά την εκκίνησή του είναι 1,5 φορά περίπου μεγαλύτερο του αναφερόμενου στην ενδεικτική πινακίδα. (Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται χειροκίνητοι ή αυτόματοι εκκινητές (starters) ή διακόπτες μείωσης ρεύματος.
- 4) Η ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων DC μπορεί να ρυθμιστεί μέσω της μεταβολής της έντασης του μαγνητικού πεδίου του επαγωγέα με κατάλληλο ροοστάτη που φέρεται εν σειρά, ενώ στους συνήθεις κινητήρες AC η ταχύτητα περιστροφής δεν ρυθμίζεται αφού εξαρτάται από τη συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος.
- 5) Όσο αυξάνει το προς τον άξονα του κινητήρα συνδεδεμένο μηχανικό φορτίο τόσο και το ρεύμα που τον διαρρέει (δηλαδή το ρεύμα που τραβάει ο κινητήρας) αυξάνει. Αν μάλιστα αυτό αυξηθεί πέραν των κατασκευαστικών ορίων το βέβαιο είναι ότι θα καεί η ασφάλεια που προστατεύει τον κινητήρα, αν όμως παραβιαστεί και το όριο ασφαλείας τότε θα καούν οι περιελίξεις, με συνέπεια την αχρήστευση του κινητήρα.
- 6) Εκτός του περιοδικού ελέγχου και καθαρισμού του συλλέκτη και των ψηκτρών (ή των δακτυλίων εφόσον φέρονται) απαιτείται και η λίπανση των σφαιροτριβών (ρουλεμάν) ή των κουζινέτων με τους προβλεπόμενους γρασαδόρους.
- 7) Όπως όλες οι μηχανές, και οι ηλεκτροκινητήρες έχουν ανάγκη σωστού αερισμού.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5 ΙΔΕΕΣ ΚΑΙ ΝΕΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

#### ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ

##### 5.1 Τέσσερις ηλεκτρικοί κινητήρες συνεχούς ρεύματος

Το βασικό χαρακτηριστικό των ηλεκτρικών κινητήρων είναι αθόρυβη λειτουργία τους αφού το μοναδικό περιστρεφόμενο μέρος είναι ο ρότορας, η άφθονη ροπή από σχεδόν την έναρξη της λειτουργίας τους με αποτέλεσμα να καταργεί το κιβώτιο ταχυτήτων. Τι γίνεται στην περίπτωση της οπισθοπορείας; Απλά αντιστρέφεται η περιστροφή του ρότορα αλλάζοντας την πολικότητα του ρεύματος. Συνήθως για την κίνηση του οχήματος τοποθετείται ένα ηλεκτρικό μοτέρ συνεχούς ρεύματος (DC) σε κάθε κινητήριο τροχό.

Το EV1 της GM ήταν από τα χαρακτηριστικά παραδείγματα ηλεκτρικών αυτοκινήτων και εξοπλίζονταν με τριφασικό μοτέρ εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) καθώς ένας μετασχηματιστής αναλαμβάνει να μετατρέψει το ρεύμα DC από τις μπαταρίες σε AC. Το όφελος για το περιβάλλον είναι μεγάλο αφού απλά δεν υπάρχουν ρύποι ενώ παράλληλα η ηλεκτροκίνηση συμβάλλει στην εξοικονόμηση του μαύρου χρυσού. Αν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι τόσο καλά τότε γιατί δεν έχουν διαδοθεί ευρέως;

Αν εξαιρέσει κανείς τις μειωμένες επιδόσεις ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου, η ηλεκτροκίνηση περιορίζονταν πάντα από δυο σοβαρές παραμέτρους. Την αποθήκευση και τον ανεφοδιασμό. Στην πρώτη περίπτωση, το πρόβλημα αφορά στις μπαταρίες όπου συσσωρεύεται η ηλεκτρική ενέργεια και συγκεκριμένα στην ενεργειακή τους απόδοση, στο κόστος τους, στον όγκο και στο βάρος τους, στην διάρκεια ζωής τους και στον χρόνο τον οποίο χρειάζονται για να επαναφορτισθούν. Οι περισσότεροι κατασκευαστές χρησιμοποιούν κυρίως τρεις τύπους συσσωρευτών. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως (Lead-acid) εφαρμόζονται ευρέως λόγω της μεγάλης αξιοπιστίας τους και του χαμηλού κόστους κατασκευής.

Ωστόσο, η φόρτιση τους μπορεί να διαρκέσει έως και μια ολόκληρη νύχτα ενώ το μεγάλο βάρος τους επιβαρύνει τον τομέα των επιδόσεων. Για παράδειγμα οι συσσωρευτές του EV1 της GM ζυγίζουν περίπου μισό τόνο! Οι μπαταρίες τύπου Ni-MH (νικελίου-υβριδίου μετάλλου) εμφανίζουν μια φορά μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση από τις μολύβδου-οξέως με αποτέλεσμα η αυτονομία να είναι διπλάσια με το μισό βάρος και ο χρόνος ανεφοδιασμού να μειώνεται επίσης στο ήμισυ. Μειονέκτημα το υψηλός κόστος κατασκευής. Ωστόσο, η τεχνολογία των μπαταριών τρέχει με γοργούς ρυθμούς και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα επανέρχονται στο προσκήνιο.

## 5.2 On line φόρτιση για το αυριανό EV



**Εικόνα 5.1 “On line φόρτιση”**

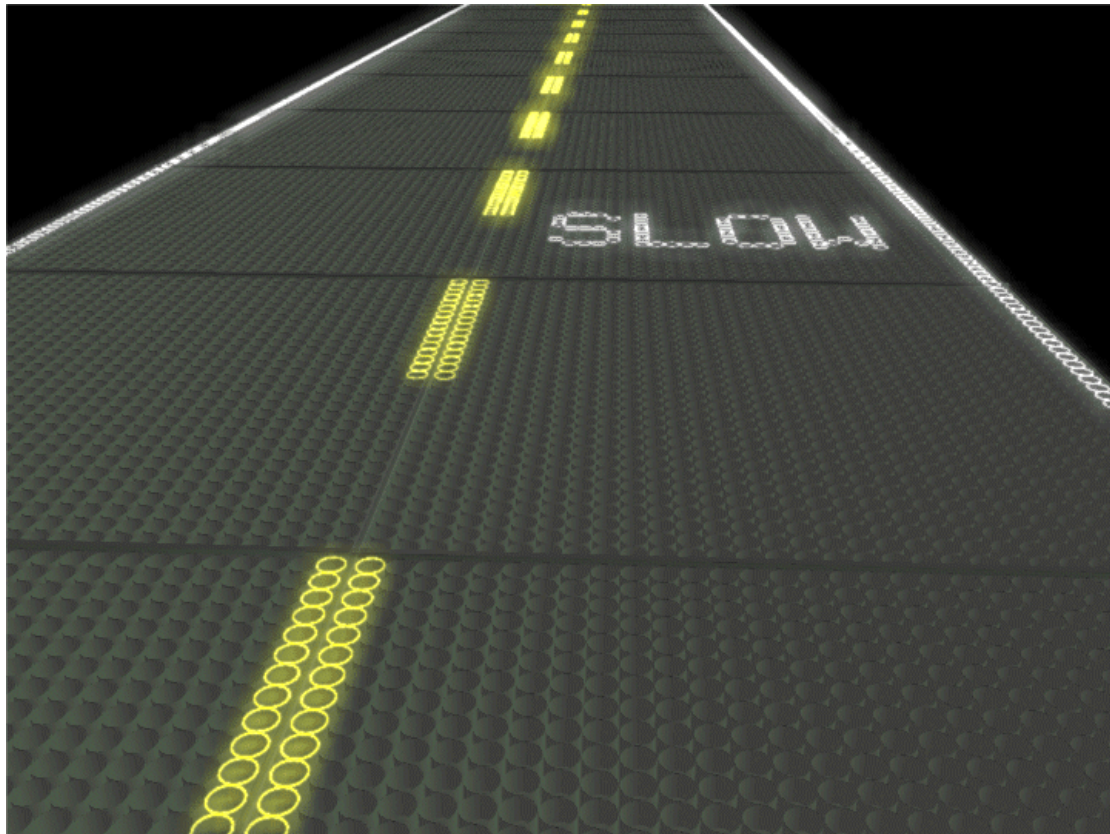
**Το μέλλον ανήκει στα ηλεκτροκίνητα. Γιατί όμως αυτά να επαναφορτίζονται σε υποσταθμούς και να μην γεμίζουν τις μπαταρίες τους εν κινήσει;**

Με τις ευλογίες της αμερικανικής κυβέρνησης, η Solar Roadways μπορεί να ονειρεύεται ηλιακούς δρόμους αλλά στην Κορέα ένα ινστιτούτο δουλεύει πάνω σε ένα πιο ρεαλιστικό project. Το κορεατικό ινστιτούτο προηγμένης τεχνολογίας (KAIST ή Korea Advanced Institute of Technology) μελετά την εξέλιξη μίας απλής αλλά λειτουργικής ιδέας την οποία αποκαλούν OLEV (On Line Electric Vehicle). Απλά οι Κορεάτες σκέφτηκαν: «Το μέλλον ανήκει στα ηλεκτροκίνητα. Γιατί όμως αυτά να επαναφορτίζονται σε υποσταθμούς και να μην γεμίζουν τις μπαταρίες τους εν κινήσει;».

Η όλη ιδέα περιλαμβάνει συγκεκριμένες λωρίδες κυκλοφορίας στους δρόμους όπου η επιφάνεια τους θα φέρει ένα ηλεκτροφόρο διάδρομο δημιουργώντας ένα μαγνητικό πεδίο ανάμεσα σε αυτόν και το συλλέκτη του οχήματος. Όταν ο συλλέκτης ηλεκτρικής ενέργειας (βρίσκεται στο κάτω μέρος του οχήματος) ταξιδεύει ένα εκατοστό πάνω από το διάδρομο τότε με το φαινόμενο της επαγωγής τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια έχοντας απόδοση 80%. Όταν το κενό αυξάνεται στα 12 εκατοστά τότε η απόδοση μειώνεται στο 60%.



### 5.3 Ηλεκτροφόροι δρόμοι από την Solar Roadways

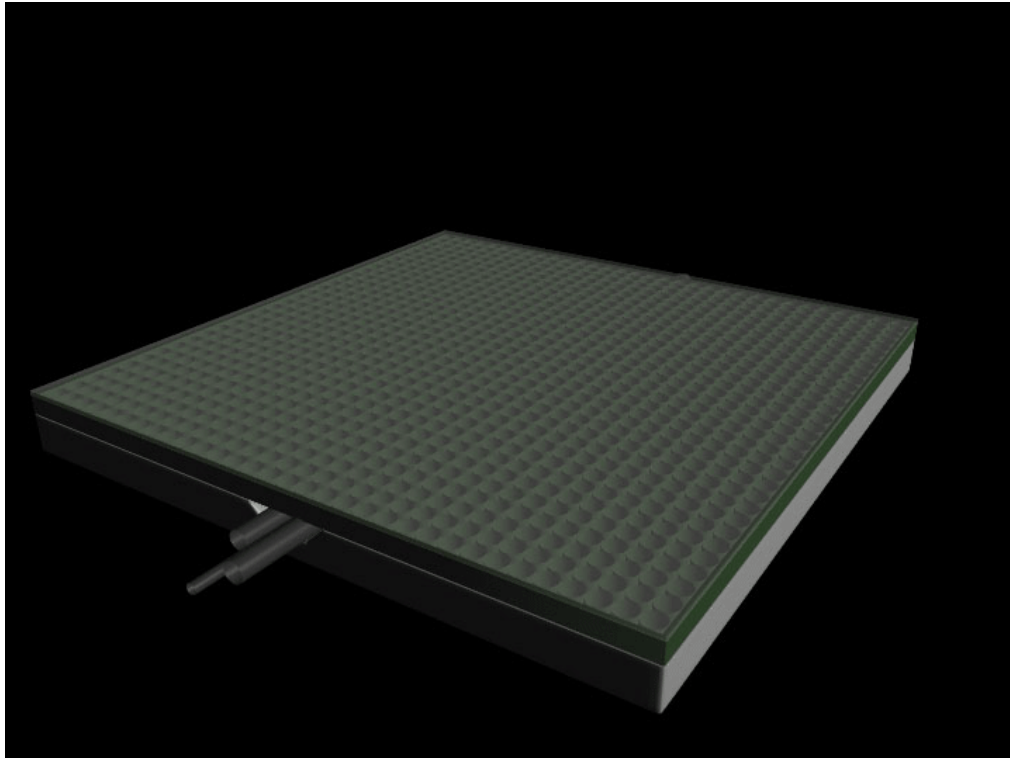


Εικόνα 5.2 “Solar Roadways”

Η Solar Roadways φαντάζεται ένα νέο τύπο οδοστρώματος που θα αντικαταστήσει την παραδοσιακή ασφάλτο και θα παράγει καθαρή ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία.

Το υπουργείο μεταφορών των ΗΠΑ “επιβράβευσε” πριν από περίπου μία εβδομάδα με \$100.000 την Solar Roadways για την κατασκευή των πρώτων 12×12 πάνελ (σε πόδια, 1 ft=0,304 m). Η μικρή αμερικάνικη εταιρία εξελίσσει μία τεχνολογία παραγωγής καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο οδόστρωμα. Παλιά ιστορία αλλά έχει ενδιαφέρον, ειδικά όταν το προσπαθεί μία τόσο μικρή σε μέγεθος εταιρία.

Τα πάνελ που συνθέτουν το οδόστρωμα χωρίζονται σε τρεις στρώσεις. Η βασική περιλαμβάνει τις γραμμές ισχύος από τις οποίες διοχετεύεται η ηλεκτρική ενέργεια -ξεχάστε... τους πυλώνες της ΔΕΗ- στους υποσταθμούς (π.χ. ανεφοδιασμού των EV οχημάτων) ενώ υπάρχουν και κανάλια επικοινωνίας (για τηλεφωνικές γραμμές, τηλεόραση, οπτικές ίνες κ.α.).



Η ενδιάμεση στρώση είναι αυτή που περιέχει το ηλεκτρονικό κύκλωμα που παράγει και αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια καθώς και τα ηλιακά -προφανώς φωτοβολταϊκά - πάνελ. Επίσης υπάρχουν υπερπυκνωτές και φωτιστικά σώματα LED που μπορούν να σχηματίζουν φωτεινές λωρίδες κυκλοφορίας κ.α. Στην περίπτωση που στην επιφάνεια του οδοστρώματος υπάρχει χιόνι ή πάγος τα πάνελ έχουν την ιδιότητα να θερμαίνονται από μόνα τους και να εξαλείφουν το φαινόμενο.

Η απώτερη στρώση αποτελείται από ειδικό διάφανο πολυμερές για να το διαπερνά η ηλιακή ακτινοβολία ενώ προσφέρει την ίδια πρόσφυση και αντοχή με την άσφαλτο ώστε να προστατεύονται οι κατώτερες στρώσεις, όπως ισχυρίζεται η αμερικανική εταιρία.

Ο Scott Brusaw, ο άνθρωπος που έχει την όλη ιδέα, εκτιμά πως αν το 2003 καλύπτονταν δρόμοι με πέντε δισεκατομμύρια πάνελ 12×12 τότε οι ΗΠΑ θα διέθεταν τρεις φορές περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από αυτή που κατανάλωσαν. Ένας δρόμος με μήκος ένα μίλι (1,6 χλμ) καλύπτεται με περίπου 1.760 πάνελ παράγοντας 13.376 kWh την μέρα, ενέργεια αρκετή για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες 500 νοικοκυριών το χρόνο.

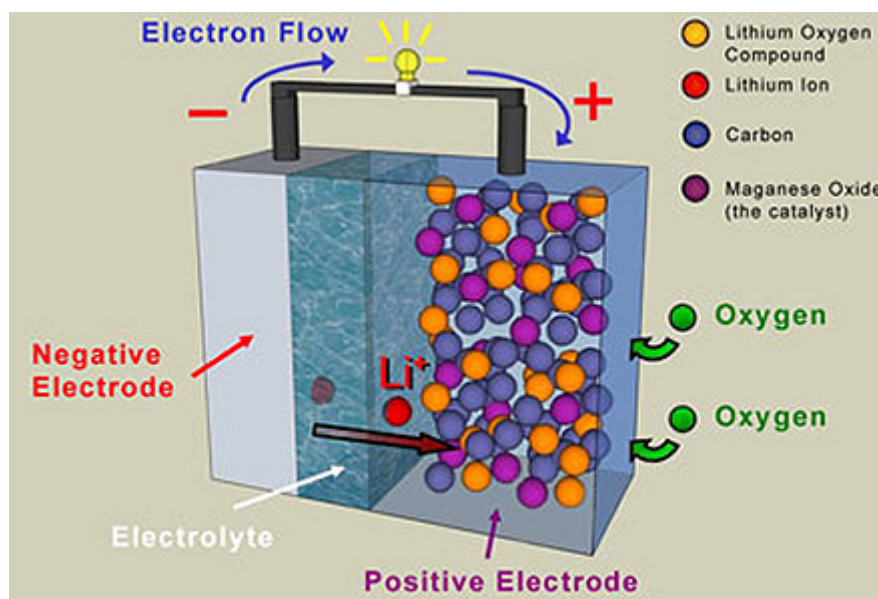
Όταν σε συγκεκριμένους δρόμους υπάρχει μποτιλιάρισμα ή έντονο κυκλοφοριακό (bumper to bumper) και τα αυτοκίνητα σκιάζουν το οδόστρωμα υπάρχει αρκετή ακτινοβολία για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας; Σημειώστε πως στην Βόρεια Ευρώπη υπάρχουν μερικοί δρόμοι όπου τους διαπερνούν σωλήνες με ζεστό νερό ή ατμό για να μην υπάρχουν παγωμένα οδοστρώματα. Η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την θέρμανση του νερού προέρχεται από πάνελ που είναι τοποθετημένα κοντά στις οδούς.

## 5.4 Ο επικρατέστερος τύπος μπαταριών

Λόγω της ενεργειακής πυκνότητας, της καλής μνήμης, του κύκλου ζωής και άλλων πλεονεκτημάτων οι μπαταρίες λιθίου-ιόντων χωρούν περισσότερη ενέργεια με τον ίδιο όγκο (π.χ. με τις τύπου NiMH). Για αυτό το λόγο είναι η πρώτη επιλογή στον τομέα των ηλεκτρονικών αλλά και των EV. Στα μειονεκτήματα το υψηλό κόστος, η πτώση της απόδοσης στις υψηλές θερμοκρασίες (για αυτό δροσίζονται) και η μεταβολή τους στις απότομες αλλαγές τάσης. Επίσης, η υπερφόρτιση και η υπερεκφόρτιση μειώνει την διάρκεια ζωής τους. Εναλλακτικά υπάρχουν και άλλοι συνδυασμοί μπαταριών λιθίου (πολυμερών, φωσφορικού σιδήρου, οξειδίου μαγνησίου κ.α.) δίχως όμως να υπερτερούν σε απόδοση της λιθίου-ιόντων.

## 5.5 Μετά το λίθιο τι έπεται;

Ένας πολλά υποσχόμενος τύπος μπαταριών είναι ο ψευδαργύρου-αέρα (Zinc-air) ενώ υπάρχουν πολλές παραλλαγές με κύριο στοιχείο τον ψευδάργυρο που είναι πιο κοινό, συνηθισμένο και φτηνότερο από το λίθιο. Χονδρικά στις μπαταρίες Metal-air η μετακίνηση ηλεκτρονίων δεν απαιτεί διάλυμα ή ηλεκτρολύτες. Φανταστείτε κάτι σαν τις ενεργειακές κυψέλες όπου ο αέρας περνά από διάφορα στρώματα οξειδώνοντας τον ψευδάργυρο όπου τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται δημιουργούν το ηλεκτρικό φορτίο.



Έχουν πολύ μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα από τις Li-ion, είναι φτηνότερες κατασκευαστικά και πιο σταθερές στις μεταβολές φορτίου. Για να αντιληφθείτε το πλεονέκτημα των μπαταριών μετάλλου-αέρα (metal-air) μία συστοιχία βάρους 100 kg μπορεί θεωρητικά να προσφέρει αυτονομία σε ένα μέσο EV της τάξης των 700 km! Το βασικό πρόβλημα που εμποδίζει την διάδοσή τους στα EV είναι ο μικρός κύκλος ζωής (περίπου έως 500) ενώ ο χρόνος φόρτισης/εκφόρτισης είναι παρόμοιος με τις Li-ion. Ο Thomas Edison είχε κατασκευάσει μια μπαταρία nickel-zinc το 1901.

## 5.6 Η Nissan επιταχύνει στις υποδομές φόρτισης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων Επιτάχυνση φόρτισης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων

Η Nissan συνεργάζεται με κορυφαίες Ευρωπαϊκές εταιρείες που σχετίζονται με την κατασκευή και την προμήθεια εξοπλισμού ηλεκτροκίνητων οχημάτων, με σκοπό την ταχύτερη ανάπτυξη φθηνών και μικρών ταχυφορτιστών για ηλεκτροκίνητα οχήματα, ενώ προωθεί με γοργούς ρυθμούς την εγκατάσταση ταχυφορτιστών για δημόσια χρήση ανά την Ευρώπη.

Συγκεκριμένα, η συμφωνία μεταξύ των Nissan, Circutor, DBT, EFACEC, Endesa και της Siemens αναμένεται να οδηγήσει σε μια δραματική μείωση της τιμής των συσκευών ταχυφόρτισης - πάνω από το 50% της σημερινής τους τιμής και κάτω από τα 10.000 € - ανοίγοντας με αυτό τον τρόπο μια επικερδή δραστηριότητα και για επιχειρήσεις όπως πρατήρια καυσίμων, παρκινγκ αυτοκινήτων και πολυκαταστήματα λιανικής πώλησης. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι οδηγοί ενός Nissan LEAF μπορούν να χρησιμοποιήσουν το αυτοκίνητό τους για μεγαλύτερες διαδρομές και να επαναφορτίζουν την μπαταρία του αυτοκινήτου στο 80%, σε λιγότερο από μισή ώρα.

- Η τιμή των ταχυφορτιστών θα μειωθεί κατά το ήμισυ από τις αρχές του 2012.
- Η Nissan σχεδιάζει την τοποθέτηση χιλιάδων ταχυφορτιστών σε όλη την Ευρώπη από τα τέλη του 2012.
- Ο στόχος είναι οι ιδιοκτήτες του ηλεκτροκίνητου Nissan LEAF, να πραγματοποιούν μεγαλύτερες διαδρομές με άνεση και ευκολία.
- Η Φόρτιση της μπαταρίας (στο 80%) θα γίνεται μέσα σε 30 λεπτά

Με το εγχείρημα αυτό αναμένεται ότι θα υπάρξουν χιλιάδες ταχυφορτιστές σε όλη την Ευρώπη από το τέλος του 2012, με την προοπτική να γίνουν δεκάδες χιλιάδες μέχρι το 2015. Η υποδομή αυτή, θα ανοίξει την αγορά του Nissan LEAF σε ένα εντελώς νέο φάσμα πελατών που περιστασιακά χρειάζεται να κάνουν μεγαλύτερες διαδρομές. Οι παραδόσεις του Nissan LEAF έχουν ήδη ξεκινήσει στο Ηνωμένο Βασίλειο, την Ολλανδία, την Ιρλανδία, τη Γαλλία, την Ισπανία και την Πορτογαλία. Έχουν επίσης ξεκινήσει οι παραγγελίες του οχήματος για την Ελβετία, το Βέλγιο, τη Νορβηγία, τη Σουηδία και τη Δανία.

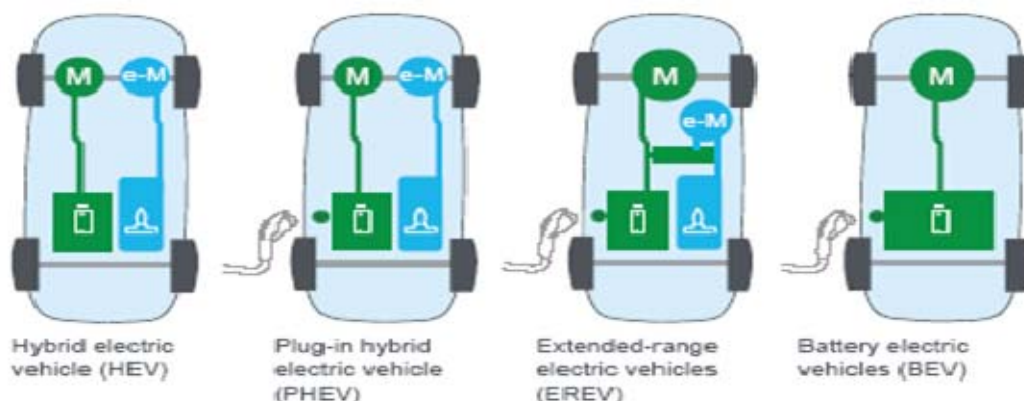
## 5.7 Παγκόσμιοι κοινοί φορτιστές ηλεκτρικών οχημάτων

Αμερικανοί και ευρωπαίοι κατασκευαστές αυτοκινήτων συμφώνησαν να προχωρήσουν στην υιοθέτηση κοινών στάνταρντ συστημάτων φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Μεταξύ των εταιρειών που συμμετέχουν σε αυτή την ευρύτερη «συμφωνία» είναι κορυφαίοι κατασκευαστές όπως η Audi, η BMW, η Chrysler, η Daimler, η Ford, η General Motors, η Porsche και η Volkswagen. Στο πλαίσιο πρόσφατων συζητήσεων, οι εκπρόσωποι των εταιρειών συμφώνησαν στην εξέλιξη του «DC Fast Charging with a Combined Charging System», μιας συσκευής φόρτισης που θα είναι ίδια στα μελλοντικά ηλεκτροκίνητα μοντέλα τους (βάσει προδιαγραφών τουλάχιστον). Πρόκειται για πολύ σημαντική συμφωνία που αποτελεί παράλληλα ένα μεγάλο βήμα προς την ηλεκτροκίνηση. Ακόμα ένα πλεονεκτήματα της εν λόγω συσκευής είναι και το γεγονός ότι θα έχει λειτουργίες (ταχυφορτιστή) επιτρέποντας στις μπαταρίες ενός ηλεκτρικού οχήματος να φτάνουν σε full ενέργεια ακόμα και σε χρόνο 20 λεπτών.

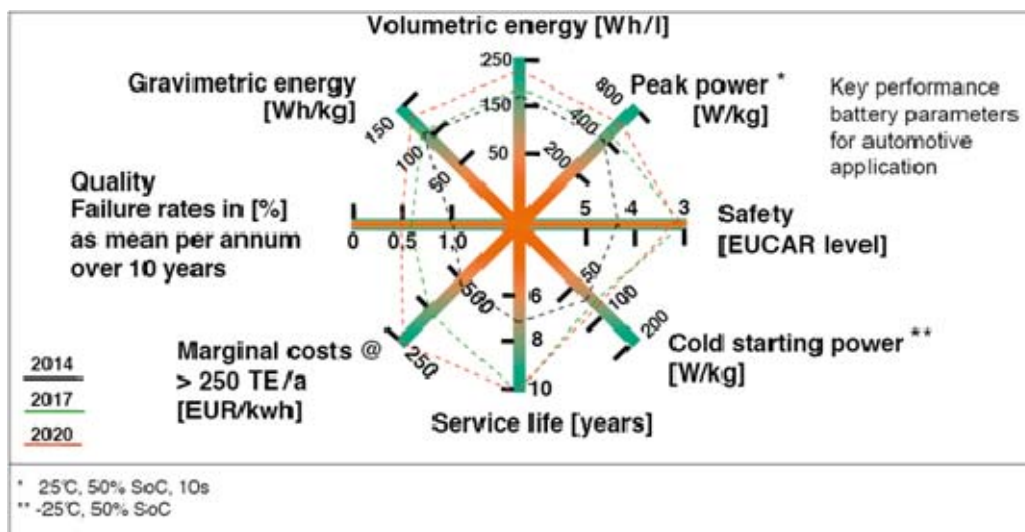
## 5.8 Αναμενόμενες Εξελίξεις στα Λειτουργικά Χαρακτηριστικά των Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων

Τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των τεσσάρων πρώτων κατηγοριών ηλεκτροκίνητων οχημάτων παρουσιάστηκαν αναλυτικά στα προηγούμενα μέρη του παρόντος κεφαλαίου επισημαίνοντας τις κύριες διαφορές τους που αφορούν τους τρόπους κίνησης τους με ηλεκτρικούς ή/και κινητήρες εσωτερικής καύσης και τους τρόπους ανεφοδιασμού τους με συμβατικά καύσιμα ή/και φόρτιση των συσσωρευτών από εξωτερική πηγή. Στην Εικόνα 5.8.1 φαίνονται παραστατικά οι διαφορές αυτών των βασικών χαρακτηριστικών λειτουργίας τους.



**Εικόνα 5.8.1 “Βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας των τεσσάρων πρώτων κατηγοριών ηλεκτροκίνητων οχημάτων”**

Οι οκτώ βασικές παράμετροι απόδοσης των συστημάτων συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται στα Η/Ο παρουσιάζονται παραστατικά στο Σχήμα 5.8.1. Οι αριθμητικές τιμές τους αφορούν ένα ηλεκτροκίνητο όχημα αστικής χρήσης για τρεις χρονικές περιόδους των ετών 2014, 2017 και 2020 οι οποίες δείχνουν τις επιπτώσεις των αναμενόμενων τεχνολογικών εξελίξεων. Είναι εντυπωσιακή η βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που αναμένεται να επιτευχθεί κατά τη διάρκεια της τρέχουσας κρίσιμης δεκαετίας. Αναμένεται να μειωθούν σημαντικά ο όγκος και το βάρος των συσσωρευτών με άμεση επίπτωση στον περιορισμό του κόστους τους (περίπου στο μισό).



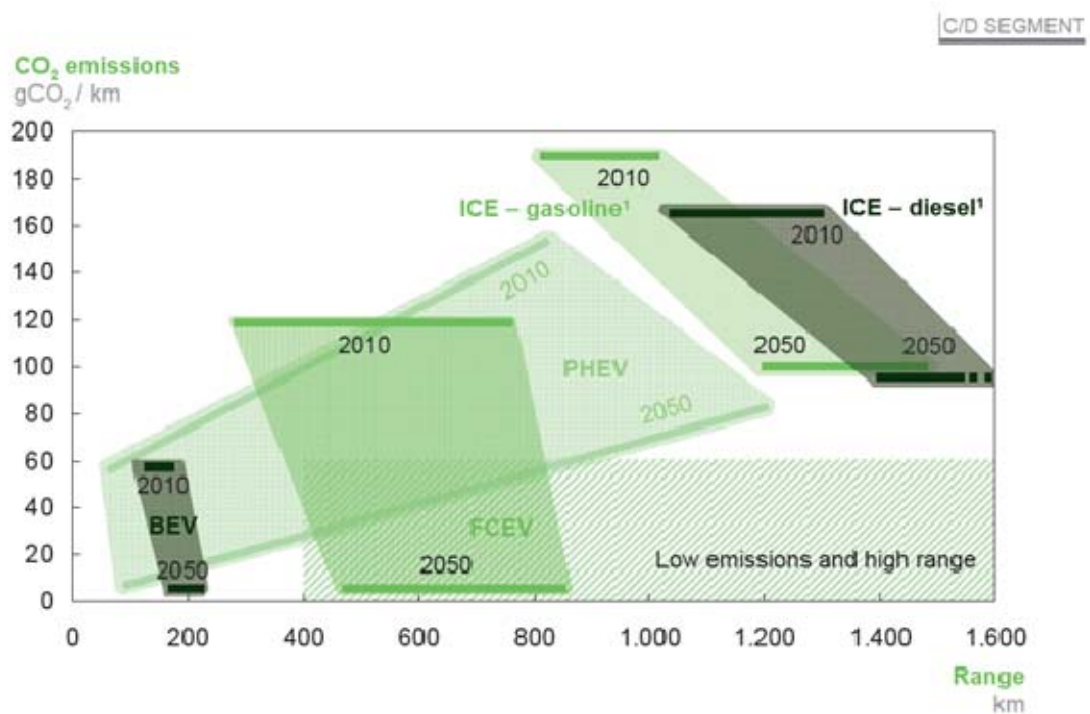
**Σχήμα 5.8.1 “Βασικές παράμετροι απόδοσης των συστημάτων συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται στα Η/Ο”**

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα Η/Ο των τριών κατηγοριών όπως αναφέρονται παραπάνω (BEV, FCEV και PHEV στη διάρκεια μόνο της ηλεκτρικής κίνησης τους), δεν έχουν μόνο μηδενικές εκπομπές καυσαερίων στο χώρο της κίνησής τους βελτιώνοντας σημαντικά την ποιότητα της ατμόσφαιρας σε τοπικό επίπεδο, αλλά μπορεί να αποδειχθούν και σχεδόν μηδενικών εκπομπών ρύπων CO<sub>2</sub> στη βάση της ενεργειακής απόδοσης από την πηγή μέχρι τον τροχό (well-to-wheel), ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη πρωτογενή πηγή ενέργειας.

Η σύγκριση των χαρακτηριστικών που αφορούν την απόσταση αυτονομίας των διαφόρων κατηγοριών Η/Ο και των συμβατικών οχημάτων δείχνει φανερά τα πλεονεκτήματα κάθε εφαρμοζόμενης τεχνολογίας. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται με παραστατικό τρόπο αυτά τα χαρακτηριστικά για επιβατικά οχήματα διαφόρων τεχνολογιών. Από το διάγραμμα του Σχήματος 6 συνάγεται ότι ο στόχος της σχεδόν μηδενικής στάθμης των εκπομπών CO<sub>2</sub> μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την εφαρμογή των τεχνολογιών BEV, για αυτοκίνητα αστικών μετακινήσεων έως 200 ή 250

χιλιόμετρων, και FCEV, για αυτοκίνητα μεγάλης απόστασης αυτονομίας έως και 850 χιλιομέτρων.

Τα συμβατικά αυτοκίνητα θα συνεχίσουν να ευρίσκονται στα επίπεδα εκπομπών των 90 γραμμαρίων CO<sub>2</sub> ανά χιλιόμετρο ενώ τα οχήματα PHEV θα έχουν επίπεδα εκπομπών των 40 γραμμαρίων CO<sub>2</sub> ανά χιλιόμετρο εάν η επιθυμητή απόσταση αυτονομίας τους θα είναι περίπου ίση με 500 χιλιόμετρα. Αυτοί είναι οι λόγοι για τους οποίους το παγκόσμιο ενδιαφέρον στρέφεται ολοένα και περισσότερο στις νέες αυτές τεχνολογίες ενώ καταβάλλεται κάθε δυνατή προσπάθεια για βελτίωση και διάδοσή τους.



<sup>1</sup> ICE range for 2050 based on fuel economy improvement and assuming tank size stays constant. Assuming 6% CO<sub>2</sub> reduction due to biofuels by 2020; 24% by 2050

SOURCE: Study analysis

**Σχήμα 5.8.2 “Απόσταση αυτονομίας των διαφόρων κατηγοριών επιβατικών οχημάτων λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές ρύπων CO<sub>2</sub> και την εκτιμώμενη εξέλιξη”**



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1) **Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC** “Εκδόσεις Τζιόλα STEPHEN J. CHAPMAN  
3<sup>η</sup> Έκδοση “
- 2) **Εργαστηριακές Ασκήσεις Ηλεκτρικών Μηχανών με συνοπτική θεωρία**  
“ Εκδόσεις Τζιόλα Πέτρος Γ. Βερνάρδος, Ηρακλής Αθ. Βυλλιώτης, Παντελής  
Β. Μαλατέστας”
- 3) **Ηλεκτρική Κίνηση** “Εκδόσεις Τζιόλα 3<sup>η</sup> Έκδοση Παντελής Μαλατέστας”
- 4) **ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΙΣΧΥΟΣ** “ Σημειώσεις Θεωρίας Καραϊσάς Πέτρος”
- 5) <http://www.caroto.gr/>
- 6) <http://www.opengov.gr/>
- 7) <http://www.econews.gr/>