

ΔΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

*Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών*

*Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε.*



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

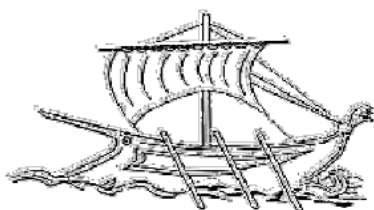
**ΘΕΜΑ: «ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ.  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ»**

ΑΛΕΞΗΣ ΚΑΡΑΝΤΩΝΗΣ-ΤΑΣΣΗΣ, Α.Μ. 42839

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΑΝΟΥΣΑΚΗΣ

Αιγάλεω, 2016





**ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ**

***Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών***

***Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε.***

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

### **ΘΕΜΑ: «ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ»**

ΑΛΕΞΗΣ ΚΑΡΑΝΤΩΝΗΣ-ΤΑΣΣΗΣ, Α.Μ. 42839

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΑΝΟΥΣΑΚΗΣ

Εγκρίθηκε από τριμελή επιτροπή ../10/16

.....

.....

.....

Αιγάλεω, 2016

Copyright Καραντώνης - Τάσσης Αλέξης 2016

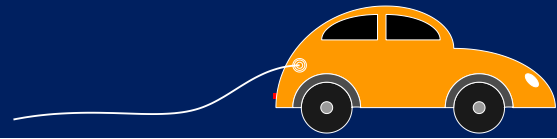
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.



# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ



Η εκπόνηση της παρούσας εργασίας σηματοδοτεί την περάτωση του προπτυχιακού κύκλου σπουδών μου στο Τμήμα Ηλεκτρολογίας του ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τεχνολογικού Τομέα .

Ως εκ τούτου στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Νικόλαο Μανουσάκη για την παροχή της πολύτιμης εμπειρίας του, την σωστή καθοδήγηση του, καθώς και την ακούραστη συμπαράσταση του όλο αυτό το χρονικό διάστημα, όπως επίσης και όλους τους υπόλοιπους καθηγητές που γνώρισα και συνεργάστηκα μαζί τους στο πλαίσιο αυτό των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και την οικογένεια μου για την αμέριστη υλική και ηθική τους υποστήριξη σε όλη την μέχρι τώρα πορεία της ζωής μου, καθώς και τον κ. Παναγιώτη Δημητρακόπουλο καθηγητή και φίλο που από τα χρόνια ακόμα του Λυκείου ήταν πάντα παρών τόσο στην επιστημονική όσο και την προσωπική μου πορεία.





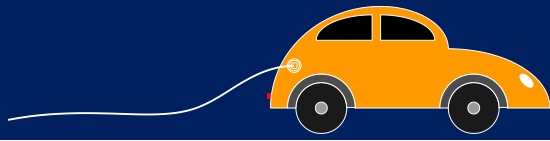
Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται το τεχνολογικό επίτευγμα του ηλεκτροκίνητου οχήματος, η οποία αποτελεί μια σύγχρονη πρόταση αυτοκίνησης με πολλαπλά οφέλη τόσο για το χρήστη του όσο και για το περιβάλλον. Αναμφισβήτητη η χρήση των συμβατικών οχημάτων με κινητήρες εσωτερικής καύσης έχει εγείρει σε διεθνές επίπεδο ανησυχίες που συνδέονται τόσο με το περιβάλλον, εξαιτίας των εκπομπών ρύπων των συμβατικών αυτών οχημάτων, αλλά και με πιο πρακτικά ζητήματα, όπως οι διεθνείς τιμές των ορυκτών καυσίμων, αλλά και η διαφαινόμενη εξάντληση τους στο εγγύς μέλλον. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα αποτελούν τη σύγχρονη εναλλακτική από τις αυτοκινητοβιομηχανίες, η οποία κατέστη εφικτή υπό το πρίσμα των τεχνολογικών εξελίξεων στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, των μπαταριών, αλλά και της τεχνολογίας των αυτοκινήτων αυτής καθεαυτής, που έρχεται ως απάντηση στις πιο πάνω ανησυχίες. Η κατανόηση, βέβαια, των θετικών επιπτώσεων από τη χρήση του ηλεκτροκίνητου οχήματος, αλλά και των προϋποθέσεων του για την εγκαθίδρυση του ως μέσου μεταφορών στις σύγχρονες κοινωνίες συνδέεται άρρηκτα με την κατανόηση τόσο της μηχανικής και της διαδικασίας της κατασκευής του, όσο και των συστατικών μερών αυτού, αλλά και των τρεχουσών προτάσεων των αυτοκινητοβιομηχανιών σε αυτόν τον τομέα.

Η παρούσα, λοιπόν, πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό να εμβαθύνει στα ζητήματα αυτά και να τα προβάλει υπό το πρίσμα των σύγχρονων τεχνολογικών εξελίξεων και να διαμορφώσει σαφή συμπεράσματα για το μέλλον της χρήσης των ηλεκτρικών οχημάτων στις μεταφορές. Αναλυτικότερα η παρούσα εργασία διαρθρώνεται στα κάτωθι κεφάλαια, στα οποία αναλύονται όλα τα καίρια ζητήματα που συνδέονται με την τεχνολογία και τη χρήση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων: Στο πρώτο κεφάλαιο θα γίνει λόγος για την αντίστροφη μηχανική, που συνιστά ουσιαστικά τη μεθοδολογία, η οποία κατατείνει στην ανάλυση των επιμέρους συστατικών στοιχείων αυτού που απαρτίζουν το ηλεκτροκίνητο όχημα, όπως λόγου χάρη οι μπαταρίες, ενώ θα γίνει αναφορά και στο νομικό πλαίσιο που τη διέπει. Το δεύτερο κεφάλαιο πραγματεύεται την ιστορία, τις μερικότερες κατηγορίες και τα γενικά στοιχεία κατασκευής των ηλεκτρικών οχημάτων. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των πιο γνωστών μοντέλων ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στις διάφορες κατηγορίες κινητήρων των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και των χαρακτηριστικών τους. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται τα ιστορικά στοιχεία, τα γενικά χαρακτηριστικά, καθώς και οι διάφορες κατηγορίες μπαταριών. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι διάφορες μέθοδοι φόρτισης, αλλά και των βυσμάτων των φορτιστών. Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις έννοιες του οχήματος στο δίκτυο, του δικτύου σε όχημα και του οχήματος σε οικία, καθώς και στην εφαρμογή αυτών, ενώ τέλος γίνεται αναφορά και στα ζητήματα που ανακύπτουν κατά την εφαρμογή τους. Τέλος, στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα ηλεκτρονικά ισχύος.

**Λέξεις κλειδιά: αντίστροφη μηχανική, ηλεκτρικά οχήματα, ηλεκτρικές μηχανές, φορτιστές, μπαταρίες, αντιστροφείς, έξυπνα δίκτυα, έξυπνα οχήματα**



# Abstract



This project deals with the technological breakthrough of the electric car, which constitutes a modern automotive proposal with multiple benefits for both the user and the environment. Undoubtedly, the use of conventional cars with internal combustion engines has raised international concerns, which are related to the environment, because of conventional vehicles' emissions, but also more practical issues, such as international fossil fuel prices, but also their looming depletion in the near future. The electric vehicles are the modern alternative proposal suggested by automobile manufacturers, which was made possible in the light of technological developments in the use of renewable energy sources, batteries, and the technology of the car itself, which seeks to address the aforementioned concerns. Understanding the positive impact of the use of the electric vehicle, but also the conditions of its establishment as mean of transportation in modern societies is inextricably linked to the understanding of the electric vehicle's engineering, the process of its construction, its components, as well as the current proposals from the automobile manufacturers in this field.

This thesis aims to deepen to these issues, to promote them in the light of recent technological developments and to form firm conclusions for the future of the use of electric vehicles in transportation. In more detail, the present thesis is structured in the following chapters, which analyze all the key issues related to the technology and the use of electric vehicles: The first chapter analyzes the process reverse engineering, which is essentially the methodology, which seeks to analyze the individual components that constitute the electric vehicle, such as the batteries, while reference is made its legal framework. The second chapter deals with the history, subcategories and the general data pertinent to the construction of electric vehicles. The third chapter comprises a presentation of the most famous models of electric vehicles. The fourth chapter comprises an extensive reference to the different categories of the engines of the electric vehicles and their characteristics. The fifth chapter analyzes the historical data, the general features, and the various battery types. The sixth chapter presents the different charging methods and plugs of the charger. The seventh chapter refers to the concepts of the vehicle on the network, the network in a vehicle and the vehicle to home and in their implementation, as well as to the issues involved in their implementation and in the eighth chapter refers to the power electronics.

**Keywords: reverse engineering, electric vehicle, electric machines, chargers, batteries, inverters, smart grids, smart vehicle**



# Περιεχόμενα



## Κεφάλαιο 1

### Αντίστροφη Μηχανική

1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Λόγοι αντίστροφης μηχανικής	1
1.3 Βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή στην αντίστροφη μηχανική	2
1.4 Τα τέσσερα στάδια της αντίστροφης μηχανικής	3
1.4.1 Στάδιο 1 (Συλλογή Πληροφοριών)	3
1.4.2 Στάδιο 2 ( Παραγωγή Τεχνικών δεδομένων)	3
1.4.3 Στάδιο 3 (Επαλήθευση σχεδιασμού)	4
1.4.4 Στάδιο 4 (Εφαρμογή σχεδίασης)	4
1.5 Νομιμότητα - Νομικό πλαίσιο	4
1.5.1 Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής	4
1.5.2 Ευρωπαϊκή Ένωση	5
1.6 Αντίστροφη μηχανική στα ηλεκτροκίνητα οχήματα	6

## Κεφάλαιο 2

### Ηλεκτρικά οχήματα

2.1 Ιστορική αναδρομή	9
-----------------------	---

2.2 Βασικά μέρη οχήματος	14
2.2.1. Αμάξωμα	14
2.2.2.Πλαίσιο	15
2.2.3 Το πιο βασικά πλαίσια ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής	15
2.2.3.1 Μη αυτοφερόμενο πλαίσιο	15
2.2.3.2 Αυτοφερόμενο πλαίσιο	16
2.2.4 Μετάδοση κίνησης	16
2.2.5 Ανάρτηση	17
2.2.6. Σύστημα διεύθυνσης	18
2.2.7 Σύστημα πέδησης	18
2.3 Διαφορές ηλεκτροκίνητων οχημάτων	19
2.3.1 Ηλεκτροκίνητα οχήματα με μπαταρία (BEV) Battery Electric Vehicle	19
2.3.2 Υβριδικά οχήματα που συνδέονται στο δίκτυο (PHEVs) Plug-in Hybrid Electric Vehicles	20
2.3.3 Συμβατικά υβριδικά οχήματα (HEVs) Hybrid Electric Vehicle	20
2.3.4 Οχήματα με κυψέλες καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicle)	21
2.4 Ηλεκτροκίνητα οχήματα	21
2.4.1 Πλεονεκτήματα ηλεκτροκίνητου οχήματος	22
2.4.2 Μειονεκτήματα ηλεκτροκίνητου οχήματος	23



## **Κεφάλαιο 3**

### **Ανάλυση Μοντέλων Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων**

3.1 Εισαγωγή	<b>25</b>
3.2 BMW i3	<b>26</b>
3.3 Scion IQ EV	<b>28</b>
3.4 Chevrolet Spark EV	<b>30</b>
3.5 Honda Fit EV	<b>31</b>
3.6 Fiat 500e	<b>33</b>
3.7 Volkswagen e-golf	<b>34</b>
3.8 Volkswagen e-up!	<b>35</b>
3.9 Nissan Leaf	<b>36</b>
3.10 Nissan e-NV200	<b>38</b>
3.11 Mitsubishi i-MiEV	<b>39</b>
3.12 Smart electric drive	<b>42</b>
3.13 Kia Soul EV	<b>44</b>
3.14 Ford Focus Electric	<b>45</b>
3.15 Tesla Model S	<b>46</b>
3.16 Model X	<b>49</b>
3.17 Mercedes-Benz B-class Electric drive	<b>50</b>

3.18 Toyota RAV4 EV	51
3.19 BYD e6	53
3.20 BYD Ηλεκτρικά λεωφορεία	55
3.20.1 Λεωφορείο μήκους 8 μέτρων	56
3.20.2 Λεωφορείο μήκους 10.2 μέτρων	56
3.20.3 Λεωφορείο μήκους 10.8 μέτρων	57
3.20.4 Λεωφορείο 12 μέτρων	58
3.20.5 Λεωφορείο 18 μέτρων	59
3.21 Renault ZOE	59
3.22 Renault KANGOO Z.E	60
<b>Κεφάλαιο 4</b>	
<b>Ηλεκτρικές μηχανές</b>	
4.1 Εισαγωγή	63
4.1.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος	63
4.1.2 Κατασκευαστικά στοιχεία μηχανών συνεχούς ρεύματος	63
4.1.3 Ανάλυση μερών μηχανής συνεχούς ρεύματος	64
4.1.3.1 Στάτης	64
4.1.3.2 Δρομέας	64
4.1.4 Κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος	65
4.1.5 Ανάλυση κατηγοριών κινητήρων συνεχούς ρεύματος	65

4.1.5.1 Κινητήρες παράλληλης διέγερσης	65
4.1.5.2 Κινητήρες ξένης διέγερσης	65
4.1.5.3 Κινητήρες διέγερσης σειράς	66
4.1.5.4 Κινητήρες σύνθετης διέγερσης	66
4.1.6 Επεξήγηση κατηγοριών κινητήρων	67
4.1.6.1 Κινητήρες ξένης διέγερσης και κινητήρες παράλληλης διέγερσης	67
4.1.6.2 Κινητήρες διέγερσης σειράς	68
4.1.6.3 Κινητήρες σύνθετης διέγερσης	70
4.2 Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος	71
4.2.1 Ανάλυση μερών ασύγχρονης μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος	71
4.2.2 Κατασκευαστικά στοιχεία	71
4.2.2.1 Στάτης	72
4.2.2.2 Δρομέας	72
4.2.3 Γενικά	72
4.2.4 Χαρακτηριστική ροπής-ολίσθησης	74
4.2.5 Απώλειες επαγωγικού κινητήρα	75
4.2.6 Υπολογισμός μεγεθών απωλειών ισχύος	76
4.2.7 Κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα ή κλωβού	76
4.2.8 Κατασκευαστικά στοιχεία και κλάσεις	77

4.2.9 Χρήση κινητήρων ως προς την κλάση	78
4.2.10 Κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα	79
4.2.11 Μέθοδοι εκκίνησης επαγωγικών κινητήρων	80
4.2.11.1 Απευθείας εκκίνηση	80
4.2.11.2 Διακόπτης αστέρας τρίγωνο	80
4.2.11.3 Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή	80
4.2.11.4 Ηλεκτρονική εκκίνηση	80
4.2.12 Έλεγχος στροφών βραχυκυκλωμένου δρομέα επαγωγικού κινητήρα	81
4.2.12.1 Ρύθμιση στροφών κινητήρα με αλλαγή πλήθους πόλων	81
4.2.12.2 Ρύθμιση στροφών με μεταβολή συχνότητας	81
4.2.12.3 Ρύθμιση στροφών με μεταβολή της τάσης	82
4.2.12.4 Έλεγχος ταχύτητας με μεταβολή της αντίστασης του δρομέα	82
4.2.13 Διατάξεις ελέγχου συχνότητας	82
4.2.14 Επαγωγική γεννήτρια	83
4.3 Σύγχρονες μηχανές	83
4.3.1 Κατασκευή δρομέα σύγχρονης μηχανής	84
4.3.2 Ισοδύναμο κύκλωμα μιας φάσης σύγχρονου κινητήρα ομοιόμορφου διακένου	84
4.3.3 Απώλειες σύγχρονου κινητήρα	85
4.3.4 Χαρακτηριστική ροπής ταχύτητας	85

4.3.5 Μεταβολή του φορτίου στην λειτουργία του κινητήρα	87
4.3.6 Τυλίγματα απόσβεσης	87
4.4 Σύγχρονη μηχανή μόνιμου μαγνήτη	88
4.4.1 Είδη μαγνητών	88
4.4.1.1 Κεραμικοί μαγνήτες	88
4.4.1.2 Μαγνήτες Alnico	89
4.4.1.3 Μαγνήτες νεοδυμίου σιδήρου βορίου	89
4.4.2 Κατασκευαστικά στοιχεία μηχανής μόνιμου μαγνήτη	89
4.4.2.1 Στάτης	89
4.4.2.2 Δρομέας	90
4.4.3 Δρομέας και μαγνήτες	91
4.4.4 Αισθητήρας Hall	91
4.5 Σύγχρονη γεννήτρια	92
4.5.1 Ταχύτητα-συχνότητα σύγχρονης γεννήτριας	93
4.5.2 Παραγόμενη τάση	93
4.5.3 Ανάλυση ισοδύναμου κυκλώματος	94
4.5.4 Απώλειες σύγχρονης μηχανής και ροπή	95
4.6 Περιορισμοί υπερθέρμανσης	97
4.7 Αναγεννητική πέδηση κινητήρων	98
4.7.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος και αναγεννητική πέδηση	98

4.7.2 Κινητήρες μόνιμου μαγνήτη και αναγεννητική πέδηση	99
4.8 Συμπεράσματα για τα είδη των μηχανών	101
4.8.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος	101
4.8.2 Τριφασικός κινητήρας επαγωγής και τριφασικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη	102
<b>Κεφάλαιο 5</b>	
<b>Ηλεκτρικές μπαταρίες</b>	
5.1 Ορισμοί	105
5.2 Ιστορικά στοιχεία	109
5.3 Γενικά χαρακτηριστικά μπαταριών	110
5.4 Κατηγορίες μπαταριών	110
5.4.1 Κύριες μπαταρίες	110
5.4.2 Δευτερεύουσες μπαταρίες	111
5.4.2.1 Εφαρμογές δευτερευουσών μπαταριών και γενικές πληροφορίες	111
5.5 Μπαταρίες Μολύβδου-Οξέως	114
5.6 Αλκαλικές δευτερογενείς μπαταρίες	116
5.6.1 Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (Nickel-Cadmium Batteries)	116
5.6.2 Μπαταρίες Νικελίου-Σιδήρου (Nickel-Iron Batteries)	117
5.6.3 Μπαταρίες Οξειδίου του αργύρου (Silver Oxide Batteries)	119

5.6.4 Μπαταρίες Νικελίου-Ψευδαργύρου (Nickel-Zinc)	119
5.6.5 Μπαταρίες Ηλεκτροδίου Υδρογόνου (Hydrogen Electrode Batteries)	120
5.6.6 Μπαταρίες Ψευδαργύρου/Διοξειδίου του μαγγανίου (Zinc/Manganese Dioxide Batteries)	121
5.6.7 Μπαταρίες Ιόντων-Λιθίου (Lithium-Ion)	121
5.7 Κατανομή τάσης και εκφόρτισης	122
5.8 Επίδραση του βαθμού εκφόρτισης στην απόδοση	124
5.9 Επίδραση θερμοκρασίας	126
5.10 Διατήρηση φόρτισης	127
5.11 Χρόνος ζωής	128
5.12 Χαρακτηριστικά φόρτισης	129

## **Κεφάλαιο 6**

### **Φορτιστές**

6.1 Γενικά	135
6.2 Θέσεις εγκατάστασης φορτιστών	135
6.2.1 Θέσεις ιδιωτικές με ιδιωτική πρόσβαση	136
6.2.2 Θέσεις ιδιωτικές με δημόσια πρόσβαση	136
6.2.3 Θέσεις δημόσιες με δημόσια πρόσβαση	136
6.3 Μέθοδοι φόρτισης	137
6.4 Επίπεδα και Τρόποι (Modes) φόρτισης	138

6.4.1 Τρόποι φόρτισης (Modes) συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων	139
6.4.1.1 Mode 1	139
6.4.1.2 Mode 2	139
6.4.1.3 Mode 3	140
6.4.1.4 Mode 4	140
6.5 Χρόνος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων	141
6.6 Υπολογισμός χρόνου φόρτισης	142
6.7 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά	143
6.8 Περιπτώσεις σύνδεσης ηλεκτρικών οχημάτων	143
6.9 Τύποι βυσμάτων φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος	144
6.9.1 Τύπος 1 (SAE J1772), Yazaki	145
6.9.2 Τύπος 2 (VDE-AR-E-2623-2-2), Mennekes	145
6.9.3 Τύπος 3 (EV Plug Alliance βύσμα), Scame	146
6.9.4 Τύπος 4 (JEVW G105-1993), CHAdeMO	148
6.9.5 SAE Combo (Combo 1)	149
6.9.6 Βύσμα Tesla	150
6.9.7 Συνδυασμός βυσμάτων "Combination Plugs" (Combined Charging System ή CCS ή Combo 2)	151
6.10 Τύπος βυσμάτων ανάλογα με τον Τρόπο λειτουργίας	152
6.11 Ηλεκτρική εγκατάσταση	154



6.11.1 Στοιχεία υλοποίησης της ηλεκτρικής εγκατάστασης για φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων κατά Mode 1 και Mode 2	<b>154</b>
6.11.2 Στοιχεία υλοποίησης της ηλεκτρικής εγκατάστασης για φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων κατά Mode 3	<b>154</b>
<b>Κεφάλαιο 7</b>	
<b>Όχημα στο δίκτυο, Δίκτυο στο Όχημα, Όχημα στην Οικία</b>	
7.1 Περίληψη	<b>157</b>
7.2 Εισαγωγή	<b>157</b>
7.3 Τα τρία είδη των ηλεκτρικών οχημάτων στην λειτουργία V2G, G2V, V2H (Vehicle 2 Grid, Grid 2 Vehicle, Vehicle 2 Home)	<b>158</b>
7.3.1 Ηλεκτρικό όχημα με μπαταρίες	<b>158</b>
7.3.2 Υβριδικά οχήματα	<b>158</b>
7.3.2.1 Πλεονεκτήματα εφαρμογής της λειτουργίας V2G στα Plug-in Hybrid Electric Vehicle	<b>159</b>
7.3.3 Ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου	<b>159</b>
7.4 Εφαρμογή λειτουργίας V2G	<b>160</b>
7.5 Παράδειγμα εφαρμογής τεχνολογιών	<b>160</b>
7.6 Οφέλη της λειτουργίας V2G	<b>161</b>
7.6.1 Οικονομικά κίνητρα για τους συμμετέχοντες	<b>161</b>
7.6.2 Μείωση επενδύσεων για τις επιχειρήσεις	<b>161</b>
7.6.3 Κατασκευαστές οχημάτων	<b>162</b>
7.6.4 Κοινωνία	<b>162</b>

7.7 Ζητήματα εφαρμογής	<b>162</b>
7.7.1 Επεκτασιμότητα	<b>162</b>
7.7.2 Αβεβαιότητα φόρτισης	<b>163</b>
7.7.3 Μείωση διάρκειας ζωής μπαταρίας	<b>163</b>
7.7.4 Θερμικά προβλήματα	<b>164</b>
7.7.5 Πρώιμη λειτουργία V2G	<b>164</b>

## **Κεφάλαιο 8**

### **Ηλεκτρονικά ισχύος**

8.1 Εισαγωγή	<b>165</b>
8.2 Αντιστροφέας και σχεδιασμός ηλεκτρικού καταμητή	<b>165</b>
8.3 Τροφοδοσία με επαγωγικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας	<b>166</b>
8.4 Αντιστροφέας δύο επιπέδων (Two-level inverter, TLI)	<b>167</b>
8.5 Πολυ-επίπεδος μετατροπέας (Multi-level inverter, MLI)	<b>168</b>
8.6 Στρατηγική διαμόρφωσης	<b>169</b>
8.6.1 Αντιστροφέας δύο επιπέδων	<b>169</b>
8.6.1.1 PWM (Διαμόρφωση Εύρους Παλμών)	<b>169</b>
8.6.1.2 Έγχυση τρίτης αρμονικής (Third harmonic injection),(THI-PWM)	<b>169</b>
8.6.2 Πολυ-επίπεδος αντιστροφέας	<b>170</b>
8.6.3 Τριφασικός αντιστροφέας	<b>173</b>

## **Κεφάλαιο 9**

### **Συμπεράσματα**

9.1 Αντίστροφη μηχανική	<b>177</b>
9.2 Κινητήρες συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος;	<b>177</b>
9.3 Μπαταρίες	<b>178</b>
9.3.1 Μπαταρίες του μέλλοντος	<b>178</b>
9.4 Οι φορτιστές του μέλλοντος	<b>179</b>
9.4.1 Οφέλη ασύρματης φόρτισης	<b>180</b>
9.5 Vehicle to grid (V2G)	<b>181</b>
9.5.1 Vehicle to home (V2H)	<b>182</b>
9.6 Ηλεκτρονικά ισχύος	<b>182</b>
9.6.1 Μελλοντικές εργασίες	<b>183</b>
Βιβλιογραφία	<b>185</b>



# Περιεχόμενα εικόνων



<b>Εικόνα 2.1.</b> Ηλεκτρικό αυτοκίνητο με μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (Thomas Davenport, 1834).	<b>9</b>
<b>Εικόνα 2.2.</b> Επαναφορτιζόμενη μπαταρία οξέος - μολύβδου (Gaston Plante, 1859).	<b>9</b>
<b>Εικόνα 2.3.</b> Ηλεκτρικό όχημα με αλκαλικές μπαταρίες (Thomas Edison, 1889).	<b>10</b>
<b>Εικόνα 2.4.</b> Ηλεκτρικό όχημα αυτονομίας 13h και ταχύτητας 22,53 km/h (William Morrison, 1890).	<b>10</b>
<b>Εικόνα 2.5.</b> Ο πρώτος αυτοκινητιστικός αγώνας με νικητή ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Η.Π.Α., 1895).	<b>10</b>
<b>Εικόνα 2.6.</b> Πρώτη συστηματική παραγωγή ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Ο πρώτος αυτοκινητιστικός αγώνας με νικητή ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Andrew Riker, 1896).	<b>11</b>
<b>Εικόνα 2.7.</b> Πρώτη προσπάθεια τοποθέτησης υδραυλικού τιμονιού (Andrew Riker, 1987).	<b>11</b>
<b>Εικόνα 2.8.</b> Όχημα αεροδυναμικού χαρακτήρα με δύο κινητήρες των 12V που έσπασε το ρεκόρ ταχύτητας της εποχής επιτυγχάνοντας 66 mph. (Camille Jenatzy's, 1899).	<b>11</b>
<b>Εικόνα 2.9.</b> Όχημα καταλαμβάνει το πρώτο ρεκόρ απόστασης, με αυτονομία 290 km. (180 miles) με μία και μόνο φόρτιση. ( 1900, BGS).	<b>12</b>
<b>Εικόνα 2.10.</b> Υπέρβαση του ορίου ταχύτητας στις Η.Π.Α όπου και δόθηκε πρόστιμο σε οδηγό ηλεκτρικού οχήματος. (Η.Π.Α, 1903).	<b>12</b>
<b>Εικόνα 2.11.</b> Το πρώτο εμπροσθοκίνητο υβριδικό αυτοκίνητο με ηλεκτρισμό και βενζίνη το οποίο περιελάμβανε και υδραυλικό τιμόνι. (Krieger, 1903).	<b>13</b>
<b>Εικόνα 2.12.</b> Επέρχεται αιφνίδιος θάνατος στην παραγωγή των ηλεκτροκίνητων οχημάτων όταν άρχισε η παραγωγή του κινητήρα εσωτερικής καύσης της Ford για το Model T. (Ford, 1930).	<b>13</b>
<b>Εικόνα 2.13.</b> Μόλυνση του πλανήτη.	<b>14</b>
<b>Εικόνα 2.14.</b> Αμάξωμα οχήματος.	<b>15</b>
<b>Εικόνα 2.15.</b> Πλαίσιο οχήματος.	<b>15</b>
<b>Εικόνα 2.16.</b> Αυτοφερόμενο πλαίσιο.	<b>16</b>
<b>Εικόνα 2.17.</b> Λεβιές για την αλλαγή ταχυτήτων.	<b>17</b>

<b>Εικόνα 2.18.</b> Σύστημα ανάρτησης οχήματος.	<b>17</b>
<b>Εικόνα 2.19.</b> Σύστημα διεύθυνσης οχήματος.	<b>18</b>
<b>Εικόνα 2.20.</b> Σύστημα πέδησης τροχών.	<b>19</b>
<b>Εικόνα 2.21.</b> Ηλεκτροκίνητα οχήματα με μπαταρία.	<b>20</b>
<b>Εικόνα 2.22.</b> Plug-in Hybrid Electric Vehicles.	<b>20</b>
<b>Εικόνα 2.23.</b> Συμβατικά υβριδικά οχήματα.	<b>21</b>
<b>Εικόνα 2.24.</b> Οχήματα με κυψέλες καυσίμου.	<b>21</b>
<b>Εικόνα 3.1.</b> BMW i3.	<b>26</b>
<b>Εικόνα 3.2.</b> Scion IQ EV.	<b>28</b>
<b>Εικόνα 3.3.</b> Chevrolet Spark EV.	<b>30</b>
<b>Εικόνα 3.4.</b> Honda Fit EV.	<b>31</b>
<b>Εικόνα 3.5.</b> Fiat 500e.	<b>33</b>
<b>Εικόνα 3.6.</b> Volkswagen e-golf.	<b>34</b>
<b>Εικόνα 3.7.</b> Volkswagen e-up!	<b>35</b>
<b>Εικόνα 3.8.</b> Nisan Leaf.	<b>36</b>
<b>Εικόνα 3.9.</b> Nisan e-NV200.	<b>38</b>
<b>Εικόνα 3.10.</b> Mitsubishi i-MiEV.	<b>39</b>
<b>Εικόνα 3.11.</b> Smart electric drive.	<b>42</b>
<b>Εικόνα 3.12.</b> Kia Soul EV.	<b>44</b>
<b>Εικόνα 3.13.</b> Ford Focus Electric.	<b>45</b>
<b>Εικόνα 3.14.</b> Tesla Model S.	<b>46</b>
<b>Εικόνα 3.15.</b> Tesla Model X.	<b>49</b>
<b>Εικόνα 3.16.</b> Mercedes-Benz B-class Electric drive.	<b>50</b>
<b>Εικόνα 3.17.</b> Toyota RAV4 EV.	<b>51</b>
<b>Εικόνα 3.18.</b> BYD e6.	<b>53</b>
<b>Εικόνα 3.19.</b> BYD electric buses.	<b>55</b>
<b>Εικόνα 3.20.</b> BYD electric bus 8m.	<b>56</b>

<b>Εικόνα 3.21.</b> BYD electric bus 10.2m.	<b>56</b>
<b>Εικόνα 3.22.</b> BYD electric bus 10.8m.	<b>57</b>
<b>Εικόνα 3.23.</b> BYD electric bus 12m.	<b>58</b>
<b>Εικόνα 3.24.</b> BYD electric bus 18m.	<b>59</b>
<b>Εικόνα 3.25.</b> Renault ZOE.	<b>59</b>
<b>Εικόνα 3.26.</b> Renault KANGOO Z.E.	<b>60</b>
<b>Εικόνα 4.1.</b> Κινητήρας παράλληλης διέγερσης.	<b>65</b>
<b>Εικόνα 4.2.</b> Κινητήρας ξένης διέγερσης.	<b>66</b>
<b>Εικόνα 4.3.</b> Κινητήρας διέγερσης σειράς.	<b>66</b>
<b>Εικόνα 4.4.</b> Κινητήρας σύνθετης διέγερσης.	<b>66</b>
<b>Εικόνα 4.5.</b> Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα Σ.ρ. παράλληλης διέγερσης.	<b>67</b>
<b>Εικόνα 4.6.</b> Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας.	<b>68</b>
<b>Εικόνα 4.7.</b> Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα Σ.ρ. διέγερσης σειράς.	<b>68</b>
<b>Εικόνα 4.8.</b> Χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής.	<b>69</b>
<b>Εικόνα 4.9.</b> Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα Σ.ρ. σύνθετης διέγερσης.	<b>70</b>
<b>Εικόνα 4.10.</b> Χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής.	<b>70</b>
<b>Εικόνα 4.11.</b> Βασικά μέρη ηλεκτρικού κινητήρα.	<b>71</b>
<b>Εικόνα 4.12.</b> Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.	<b>74</b>
<b>Εικόνα 4.13.</b> Χαρακτηριστική ροπής συναρτήσσει ολίσθησης.	<b>75</b>
<b>Εικόνα 4.14.</b> Αναπαράσταση ροής ισχύος σε επαγωγικό κινητήρα.	<b>75</b>
<b>Εικόνα 4.15.</b> Σχηματική αναπαράσταση κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα ή κλωβού.	<b>77</b>
<b>Εικόνα 4.16.</b> Τυπικές χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας για διαφορετικές σχεδιάσεις δρομέων ανάλογα με την κλάση.	<b>78</b>
<b>Εικόνα 4.17.</b> Κινητήρας με δακτυλιοφόρο δρομέα.	<b>80</b>
<b>Εικόνα 4.18.</b> Χαρακτηριστική ροπής-ολίσθησης.	<b>80</b>
<b>Εικόνα 4.19.</b> Σταθερή τάση και μεταβαλλόμενη συχνότητα.	<b>81</b>

<b>Εικόνα 4.20.</b> Επίδραση της ρύθμισης του λόγου $V/f$ .	<b>82</b>
<b>Εικόνα 4.21.</b> Σύγχρονος διπολικός κινητήρας.	<b>84</b>
<b>Εικόνα 4.22.</b> Κύκλωμα ανά φάση σύγχρονου κινητήρα.	<b>84</b>
<b>Εικόνα 4.23.</b> Διάγραμμα ροής ισχύος τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα.	<b>85</b>
<b>Εικόνα 4.24.</b> Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας.	<b>86</b>
<b>Εικόνα 4.25.</b> Χαρακτηριστική $V$ σύγχρονου κινητήρα.	<b>87</b>
<b>Εικόνα 4.26.</b> Τύλιγμα απόσβεσης.	<b>88</b>
<b>Εικόνα 4.27.</b> Δομή ηλεκτρικού κινητήρα μόνιμων μαγνητών.	<b>88</b>
<b>Εικόνα 4.28.</b> α). δρομέας με αυλακώσεις β). χωρίς αυλακώσεις γ). σφηνωμένες στον στάτη αυλακώσεις.	<b>90</b>
<b>Εικόνα 4.29.</b> α) δρομέας με μαγνήτες πάνω στην επιφάνεια τους, β) δρομέας με μαγνήτες τοποθετημένους οριζόντια κάτω από την επιφάνεια του δρομέα, γ) δρομέας με μαγνήτες οριζόντια ενσωματωμένους, δ) δρομέας με μαγνήτες κάθετα ενσωματωμένους.	<b>91</b>
<b>Εικόνα 4.30.</b> Το φαινόμενο Hall για διαφορετικές κατευθύνσεις του ηλεκτρικού ρεύματος και του μαγνητικού πεδίου.	<b>91</b>
<b>Εικόνα 4.31.</b> Αισθητήρες Hall συνδεδεμένοι με τρεις μαγνήτες οι οποίοι τοποθετούνται επάνω στον δρομέα.	<b>92</b>
<b>Εικόνα 4.32.</b> Καμπύλη μαγνήτισης ή καμπύλη ανοιχτού κυκλώματος.	<b>93</b>
<b>Εικόνα 4.33.</b> Ισοδύναμο κύκλωμα κάθε φάσης τριφασικής σύγχρονης γεννήτριας.	<b>94</b>
<b>Εικόνα 4.34.</b> Διάγραμμα ροής ισχύος σύγχρονης γεννήτριας.	<b>95</b>
<b>Εικόνα 4.35.</b> Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας και διανυσματικό διάγραμμα τάσεων και ρευμάτων.	<b>96</b>
<b>Εικόνα 4.36.</b> Κύκλωμα ισχύος αντιστροφέα.	<b>99</b>
<b>Εικόνα 4.37.</b> Λειτουργία διακοπών αντιστροφέα.	<b>100</b>
<b>Εικόνα 4.38.</b> Ροή ρεύματος αναγέννησης.	<b>100</b>
<b>Εικόνα 5.1.</b> Βολταϊκή στήλη.	<b>109</b>
<b>Εικόνα 5.2.</b> Χαρακτηριστική ειδικής ενέργειας συναρτήσει χρόνου.	<b>113</b>
<b>Εικόνα 5.3.</b> Χαρακτηριστική ενεργειακής πυκνότητας συναρτήσει χρόνου.	<b>113</b>
<b>Εικόνα 5.4.</b> Μπαταρίες Μολύβδου-Οξέος.	<b>116</b>



<b>Εικόνα 5.5.</b> Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου.	<b>117</b>
<b>Εικόνα 5.6.</b> Μπαταρίες Νικελίου-Σιδήρου.	<b>118</b>
<b>Εικόνα 5.7.</b> Μπαταρίες Οξειδίου του αργύρου.	<b>119</b>
<b>Εικόνα 5.8.</b> Μπαταρίες Νικελίου-Ψευδαργύρου.	<b>120</b>
<b>Εικόνα 5.9.</b> Μπαταρίες Ηλεκτροδίου Υδρογόνου.	<b>121</b>
<b>Εικόνα 5.10.</b> Μπαταρίες Ψευδαργύρου/Διοξειδίου του μαγγανίου.	<b>121</b>
<b>Εικόνα 5.11.</b> Μπαταρίες Ιόντων-Λιθίου.	<b>122</b>
<b>Εικόνα 5.12.</b> Καμπύλη εκφόρτισης συμβατικών δευτερευόντων συστημάτων μπαταρίας και επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ιόντων λιθίου με βαθμό εκφόρτισης C/5.	<b>123</b>
<b>Εικόνα 5.13.</b> Σύγκριση της απόδοσης των δευτερευόντων συστημάτων μπαταρίας στους 20°C.	<b>124</b>
<b>Εικόνα 5.14.</b> Σύγκριση επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ιόντων λιθίου τύπου 14500 και μεγέθους AA μπαταριών νικελίου- μετάλλου υδριδίου (NiMH) και μπαταριών νικελίου-καδμίου (NiCd) στους 20°C. α) ειδική ενέργεια συναρτήσει της πυκνότητας ισχύος. β) ενεργειακή πυκνότητα συναρτήσει της πυκνότητας ισχύος.	<b>125</b>
<b>Εικόνα 5.15.</b> Επίδραση θερμοκρασίας επί της ειδικής ενέργειας στα δευτερεύοντα συστήματα μπαταρίας σε βαθμό εκφόρτισης C/5.	<b>126</b>
<b>Εικόνα 5.16.</b> Διατήρηση φόρτισης δευτερευόντων συστημάτων συναρτήσει της θερμοκρασίας	<b>128</b>
<b>Εικόνα 5.17.</b> Επίδραση του βάθους εκφόρτισης συναρτήσει των κύκλων μέχρι την καταστροφή δευτερευόντων συστημάτων μπαταρίας.	<b>129</b>
<b>Εικόνα 5.18.</b> Χαρακτηριστική φόρτισης δευτερευόντων συστημάτων μπαταρίας, σταθερό ρεύμα φόρτισης στους 20 °C.	<b>130</b>
<b>Εικόνα 5.19.</b> Χαρακτηριστική φόρτισης μιας τυπικής κυλινδρικής ιόντων-λιθίου μπαταρία 18650 στους 20°C. Οι μπαταρίες φορτίζουν σε σταθερό ρεύμα στα 1.8 A (ονομαστικού βαθμού C) σε τάση 4,2 V που ακολουθείται από μειούμενη φόρτιση σε αυτήν την τάση για συνολικό χρόνο 2 h .	<b>130</b>
<b>Εικόνα 6.1.</b> Ταμπέλα για την επίδειξη χώρου φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος.	<b>135</b>
<b>Εικόνα 6.2.</b> Διάκριση των θέσεων των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.	<b>136</b>
<b>Εικόνα 6.3.</b> Τρόποι (Modes) φόρτισης.	<b>139</b>
<b>Εικόνα 6.4.</b> Mode 1 φόρτισης.	<b>139</b>
<b>Εικόνα 6.5.</b> Mode 2 φόρτισης.	<b>140</b>

<b>Εικόνα 6.6.</b> Mode 3 φόρτισης.	<b>140</b>
<b>Εικόνα 6.7.</b> Mode 4 φόρτισης.	<b>141</b>
<b>Εικόνα 6.8.</b> Συμβολισμός αργής φόρτισης.	<b>141</b>
<b>Εικόνα 6.9.</b> Συμβολισμός γρήγορης φόρτισης.	<b>141</b>
<b>Εικόνα 6.10.</b> Συμβολισμός ταχείας φόρτισης AC.	<b>142</b>
<b>Εικόνα 6.11.</b> Συμβολισμός γρήγορης φόρτισης DC.	<b>142</b>
<b>Εικόνα 6.12.</b> Σύνδεση ηλεκτρικού οχήματος - <i>Περίπτωση Α.</i>	<b>143</b>
<b>Εικόνα 6.13.</b> Σύνδεση ηλεκτρικού οχήματος - <i>Περίπτωση Β.</i>	<b>144</b>
<b>Εικόνα 6.14.</b> Σύνδεση ηλεκτρικού οχήματος - <i>Περίπτωση C.</i>	<b>144</b>
<b>Εικόνα 6.15.</b> Βύσμα Τύπος 1 (SAE J1772), Yazaki.	<b>145</b>
<b>Εικόνα 6.16.</b> Βύσμα Τύπος 2 (VDE-AR-E-2623-2-2), Mennekes και χαρακτηριστικά ακροδεκτών.	<b>146</b>
<b>Εικόνα 6.17.</b> Βύσμα Τύπος 3 (EV Plug Alliance), Scame.	<b>147</b>
<b>Εικόνα 6.18.</b> Βύσμα Τύπος 4 (JEVW G105-1993), CHAdeMO.	<b>148</b>
<b>Εικόνα 6.19.</b> Βύσμα Τύπου SAE Combo (Combo 1).	<b>150</b>
<b>Εικόνα 6.20.</b> Βύσμα Τύπου Tesla για Ευρωπαϊκή φόρτιση.	<b>150</b>
<b>Εικόνα 6.21.</b> Βύσμα Τύπου Tesla για τους υπερφορτιστές της ίδιας εταιρίας.	<b>151</b>
<b>Εικόνα 6. 22.</b> Όχημα της Tesla φορτίζει σε υπερσύγχρονους σταθμούς φόρτισης της ίδιας εταιρίας.	<b>151</b>
<b>Εικόνα 6.23.</b> Βύσμα Τύπου CCS ή Combo 2.	<b>151</b>
<b>Εικόνα 6.24.</b> Συγκεντρωτική φωτογραφία βυσμάτων για Ευρώπη και Αμερική.	<b>152</b>
<b>Εικόνα 6.25.</b> Συγκεντρωτικός σχηματικός πίνακας Τύπων βυσμάτων ανάλογα με τους Τρόπους (Modes) λειτουργίας.	<b>152</b>
<b>Εικόνα 6.26.</b> Βιομηχανικού τύπου ρευματοδότες και ρευματολήπτες όπως ορίζεται από το Διεθνές πρότυπο IEC 30309-2.	<b>153</b>
<b>Εικόνα 6.27.</b> Ηλεκτρολογική εγκατάσταση ρευματοδότη για την φόρτιση κατά Mode 1 και Mode 2.	<b>154</b>
<b>Εικόνα 6.28.</b> Ηλεκτρολογική εγκατάσταση ρευματοδότη για την φόρτιση κατά Mode 3.	<b>155</b>

<b>Εικόνα 7.1.</b> Σχηματική αναπαράσταση ροής ενέργειας για τους διάφορους τύπους οχημάτων.	<b>159</b>
<b>Εικόνα 7.2.</b> Τεχνολογία V2G από την Nissan και την Enel.	<b>161</b>
<b>Εικόνα 7.3.</b> Φθορά διάρκειας ζωής μπαταρίας με το βάθος εκφόρτισης.	<b>163</b>
<b>Εικόνα 7.4.</b> Διάρκεια ζωής της μπαταρίας και χωρητικότητας σε διαφορετικές θερμοκρασίες.	<b>164</b>
<b>Εικόνα 8.1.</b> Ρεύμα εξόδου ελεγκτή για το συγκεκριμένο σύστημα αντιστροφέα.	<b>166</b>
<b>Εικόνα 8.2.</b> Κύκλωμα ισχύος για το συγκεκριμένο σύστημα αντιστροφέα.	<b>166</b>
<b>Εικόνα 8.3.</b> Επαγωγικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.	<b>167</b>
<b>Εικόνα 8.4.</b> Κυματομορφή εξόδου αντιστροφέα: ρεύμα εξόδου=200A, $f_s=20\text{kHz}$ .	<b>167</b>
<b>Εικόνα 8.5.</b> Αντιστροφέας δύο επιπέδων.	<b>168</b>
<b>Εικόνα 8.6.</b> Τοπολογία 7-επιπέδων πολυεπίπεδου αντιστροφέα.	<b>168</b>
<b>Εικόνα 8.7.</b> Φασική τάση από 7-επιπέδων <i>MLL</i> .	<b>172</b>
<b>Εικόνα 8.8.</b> Εναλλαγές στις γωνίες και τις αρμονικές για διαφορετικούς δείκτες διαμόρφωσης.	<b>172</b>
<b>Εικόνα 8.9.</b> Κύκλωμα τριφασικού αντιστροφέα.	<b>173</b>
<b>Εικόνα 8.10.</b> Κυκλώματα για την παραγωγή τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος.	<b>175</b>
<b>Εικόνα 8.11.</b> Γράφημα ρεύματος συναρτήσει χρόνου για το πιο απλό σύστημα παραγωγής εναλλασσόμενου τριφασικού ρεύματος, θεωρώντας ένα φορτίο αντίστασης.	<b>175</b>



# Περιεχόμενα πινάκων



<b>Πίνακας 2.1.</b> Πίνακας που αντιπαραθέτει τις λειτουργίες ενός συμβατικού και ενός ηλεκτρικού οχήματος	<b>22</b>
<b>Πίνακας 3.1.</b> Εταιρίες παραγωγής ηλεκτροκίνητων οχημάτων	<b>25</b>
<b>Πίνακας 5.1.</b> Συγκεντρωτικός πίνακας κύριων χαρακτηριστικών των εμπορικών μπαταριών	<b>132</b>
<b>Πίνακας 6.1.</b> Διεθνή και Εθνικά Πρότυπα	<b>138</b>
<b>Πίνακας 6.2.</b> Χαρακτηριστικά ηλεκτροδότησης ανάλογα με τους τρόπους σύνδεσης	<b>143</b>
<b>Πίνακας 6.3.</b> Συγκεντρωτικός πίνακας βυσμάτων; CP=control, CS=link, PP=proximity	<b>148</b>
<b>Πίνακας 9.1.</b> Συσσωρευμένη απώλεια ενέργειας για τον μετατροπέα και την μπαταρία; NEDC: κύκλος οδήγησης, FTP-75: οδήγηση στην πόλη, HWFET: οδήγηση στον αυτοκινητόδρομο, SFTP US06: επιθετική οδήγηση	<b>183</b>



# 1 Αντίστροφη Μηχανική



## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όταν γίνεται αναφορά στην μηχανική εννοούμε την εφαρμογή των αρχών της επιστήμης και των μαθηματικών σε πρακτικές εφαρμογές όπως ο σχεδιασμός, η παραγωγή, η αποδοτικότερη λειτουργία των οικονομικών δομών, μηχανών, διαδικασιών και συστημάτων. Αυτός ο τύπος μηχανικής χαρακτηρίζεται και ως "μπροστινή" μηχανική. Η αντίστροφη μηχανική είναι το αντίθετο της μπροστινής μηχανικής κατά την οποία γίνεται μελέτη του τελικού προϊόντος έτσι ώστε να γίνει μελέτη ενός ολοκληρωμένου προϊόντος, μιας συσκευής ή ενός λογισμικού προκειμένου να μαθευτεί ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάστηκε.

Η αντίστροφη μηχανική είναι η διαδικασία εύρεσης των τεχνολογικών αρχών μιας συσκευής, ενός αντικειμένου ή ενός συστήματος μέσω της ανάλυσης της δομής, της λειτουργίας και της λειτουργικότητας της. Συνήθως περιλαμβάνει μια μηχανική συσκευή ή ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα, ένα πρόγραμμα υπολογιστών, μια βιολογική ή χημική ουσία και γίνεται λεπτομερής ανάλυσή της ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα που αντλούνται, για την συντήρηση ή ακόμα και για την δημιουργία μιας νέας συσκευής ή ενός προγράμματος με ίδια ή ακόμα και με καλύτερα χαρακτηριστικά. Ουσιαστικά, η αντίστροφη μηχανική εφαρμόζεται για εμπορικούς και στρατιωτικούς σκοπούς και έχει ως στόχο, με ελάχιστη ή μερική προσπάθεια, την λήψη από τα τελικά προϊόντα της απαιτούμενης γνώσης για τις διαδικασίες με τις οποίες αυτά υλοποιήθηκαν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την συμπλήρωση ή ακόμα και αντικατάσταση των ανακριβών, ελλιπών ή μη διαθέσιμων τεχνικών δεδομένων.

Η διεύρυνση του πεδίου της αντίστροφης μηχανικής συμβαδίζει με τις γρήγορες αλλαγές του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Με τις υπάρχουσες μεθόδους, οι τομείς της μηχανικής βελτιώνονται συνεχώς ώστε να κάνουν την ζωή μας πιο απλή και εύκολη. Αυτό σημαίνει ότι δεν σπαταλάτε πολύτιμο χρόνο ώστε να πραγματοποιηθεί μια συγκεκριμένη διαδικασία, ενώ η ευκολία αναφέρεται στο πόσες φορές πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία.

## 1.2 Λόγοι αντιστροφής μηχανικής

1. **Διαλειτουργικότητα.** Είναι η δυνατότητα ενός προϊόντος ή συστήματος του οποίου οι επαφές (δηλαδή το κοινό σύνορο επικοινωνίας μεταξύ δύο λειτουργικών μονάδων που διαθέτει καθορισμένα χαρακτηριστικά σχετικά με την λειτουργία των μονάδων και την μεταξύ τους επικοινωνία) είναι πλήρως και δημοσίως τεκμηριωμένες, συνδέονται και λειτουργούν με άλλα προϊόντα ή συστήματα χωρίς περιορισμούς στην πρόσβαση ή φραγμούς στην υλοποίηση.
2. **Χαμένα έγγραφα.** Η αντίστροφη μηχανική συχνά γίνεται διότι τα έγγραφα μιας συσκευής έχουν χαθεί (ή ποτέ δεν γράφτηκαν) και το πρόσωπο που δημιούργησε την συσκευή δεν είναι πλέον εν ζωή.

3. **Ολοκληρωμένα κυκλώματα.** Πολλά από αυτά σχεδιάστηκαν για απαρχαιωμένα ιδιόκτητα συστήματα και πλέον δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, οπότε ο μονός τρόπος για την ενσωμάτωσή τους σε καινούργια συστήματα και νέες τεχνολογίες είναι μέσω της αντίστροφης μηχανικής όπου το ολοκληρωμένο κύκλωμα ξανασχεδιάζεται.
4. **Ανάλυση προϊόντων.** Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται εξέταση του τελικού προϊόντος για το πώς λειτουργεί, καθώς γίνεται ανάλυση στα συστατικά μέρη από τα οποία αποτελείται και υπολογισμός του κόστους, αλλά και προσδιορισμός της πιθανής παραβίασης δικαιωμάτων και ευρεσιτεχνίας.
5. **Ασφάλεια λογισμικού.**
6. **Στρατιωτική ή εμπορική κατασκοπία.**
7. **Λήψη πληροφοριών από μια καινοτόμο έρευνα του εχθρού ή του ανταγωνιστή.** Συνήθως γίνεται με κλοπή ή σύλληψη ενός προτύπου και αποσυναρμολόγηση του.
8. **Ψηφιακή αναπροσαρμογή-διόρθωση.** Σκοπός της είναι το καινούργιο προϊόν να ταιριάζει με το προηγούμενο.
9. **Αφαίρεση της προστασίας κατά την αντιγραφή και παράκαμψη οποιονδήποτε περιορισμών πρόσβασης.**
10. **Δημιουργία, χωρίς άδεια, μη εγκεκριμένων αντίγραφων.**
11. **Σκοποί εκμάθησης.**
12. **Απόκτηση εμπειρίας.** Μαθαίνοντας από λάθη του παρελθόντος, είναι δυνατή η αποφυγή τους ώστε να μην ξαναγίνουν ή να διορθωθούν.

### **1.3 Βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή στην αντίστροφη μηχανική**

Η αντίστροφη μηχανική, αρχικά, προέκυψε από την ανάγκη για παροχή ανταλλακτικών με σκοπό την αντικατάσταση σπασμένων ή φθαρμένων μερών, για τα οποία δεν υπάρχουν τεχνικά δεδομένα ή η εταιρεία παραγωγής δεν υφίσταται πια. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με την χρήση υπολογιστών οι οποίοι προσδιορίζουν την γεωμετρία, τα υλικά και τις φυσικές διαστάσεις. Τα δεδομένα εξάγονται ή και εισάγονται σε CAD/CAE/CAM.

Σε αυτά τα τρία συστήματα αυτό που ξεχωρίζει είναι τα δύο πρώτα γράμματα, δηλαδή το CA (Computer-Aided) πράγμα που σημαίνει ότι δημιουργήθηκαν για να βοηθήσουν τον χρήστη να επιτύχει τον στόχο του μέσω της υπολογιστικής δύναμης. Το CAD (Computer Aided-Design) είναι για τον σχεδιασμό, το CAE (Computer Aided-Engineering) για την μηχανική και το CAM (Computer Aided-Manufacturing) για την κατασκευή. Έτσι δημιουργείται ένα στερεό πρότυπο, αλλά στην περίπτωση που αυτό έχει πολύπλοκη γεωμετρία, η διαδικασία είναι χρονοβόρα. Στον αντίποδα, μια καινούργια διαδικασία είναι η ψηφιοποίηση της επιφάνειας ενός αντικειμένου. Αυτό γίνεται με δυο τρόπους, είτε με επαφή ή ανέπαφα.

1. **Με επαφή.** Όπου υπάρχει φυσική επαφή με το αντικείμενο του οποίου θέλουμε να πάρουμε τις φυσικές διαστάσεις, το όργανο προσπαθεί να καταγράψει όσον τον δυνατόν περισσότερες διαστάσεις. Γίνονται ωστόσο και χειρονακτικές διαδικασίες



για την εύρεση κρίσιμων διαστάσεων, με παχύμετρα, διαβήτες καθώς και όργανα μέτρησης επικάλυψης που χρησιμοποιούνται για να παραχθεί το σχέδιο

2. **Ανέπαφα.** Αυτό γίνεται χωρίς την φυσική επαφή με το αντικείμενο και χωρίζεται σε ενεργητική και παθητική:

α. Η ενεργητική χρησιμοποιεί ειδικό φωτισμό για την σωστή ανάκλαση από το αντικείμενο.

β. Η παθητική χρησιμοποιεί το φως το περιβάλλοντος (φυσικό φωτισμό)

## **1.4 Τα τέσσερα στάδια της αντίστροφης μηχανικής**

Γενικά, η αντίστροφη μηχανική χωρίζεται σε τέσσερα στάδια [Kathryn A. Ingle που εκδόθηκε το 1994 με τίτλο Reverse Engineering].

### **1.4.1 Στάδιο 1 (Συλλογή Πληροφοριών)**

Στο στάδιο 1 γίνεται αξιολόγηση του κομματιού με πλήρη οπτικό έλεγχο, όπως επίσης προσδιορισμός των διαστάσεων, ανάλυση και ταυτοποίηση των υλικών. Αυτό επιτυγχάνεται με αποσυναρμολόγηση του προϊόντος, μια χρονοβόρα διαδικασία, όπου οι μηχανικοί κάνουν προσπάθεια στο να συγκεντρώσουν όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες για το πως λειτουργεί το προϊόν καθώς και να γίνει αντιληπτός ο τρόπος με τον οποίο είχε κατασκευαστεί. Πρέπει να γίνει αναγνώριση των ελαττωματικών κομματιών και να δημιουργεί έκθεση. Το πρώτο βήμα τελειώνει αφού συνεκτιμηθούν τα ακόλουθα:

1. Εάν τα διαθέσιμα στοιχεία είναι επαρκή, δεν γίνεται καμία περαιτέρω διεργασία.
2. Αν το έργο δεν είναι οικονομικό, τερματίζεται.
3. Συνεχίζουμε στο στάδιο 2, εφόσον εκπληρώνονται όλες οι προϋποθέσεις.

Οι περισσότεροι ασχολούνται με το μηχανικό μέρος, υπάρχουν όμως και ηλεκτρονικά συστήματα στα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο τόσο οι διαστάσεις όσο και διασύνδεσή τους με άλλα συστήματα αλλά και μεταξύ τους. Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν πυκνωτές αντιστάσεις καλώδια, ημιαγωγικά στοιχεία και ενώσεις τα οποία είναι εύκολα αναγνωρίσιμα ωστόσο περιλαμβάνουν και ολοκληρωμένα κυκλώματα τα οποία δεν έχουν στοιχεία αναγνώρισης.

### **1.4.2 Στάδιο 2 ( Παραγωγή Τεχνικών δεδομένων)**

Η παραγωγή τεχνικών δεδομένων, όπου στην ουσία είναι η καρδιά της αντίστροφης μηχανικής έχει γίνει με την αναγνώριση των ελλειπών στοιχείων ήδη από το πρώτο στάδιο. Ο στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα πλήρες πακέτο ώστε να μπορεί να κατασκευαστεί, να παραχθεί και τέλος να προμηθευτεί το τελικό προϊόν. Τα τεχνικά δεδομένα που θα δημιουργηθούν θα περιλαμβάνουν μηχανολογικά σχέδια, προδιαγραφές, πρότυπα, δοκιμές καθώς και έγγραφα διασφάλισης ποιότητας. Αυτό μπορεί να γίνει σύμφωνα με την προδιαγραφή MIL-T-31000, η οποία καθορίζει τις απαιτήσεις για την προετοιμασία ενός πακέτου τεχνικών δεδομένων (TDP, technical data package, που αποτελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία και συναφή προϊόντα διαχείρισης δεδομένων) και φτιάχτηκε για στρατιωτικούς σκοπούς, αλλά έχει γίνει και ευρέως διαδεδομένο για εμπορικούς σκοπούς.

### **1.4.3 Στάδιο 3 (Επαλήθευση σχεδιασμού)**

Αυτό το στάδιο έχει σαν αντικείμενο την σχεδίαση και εξέταση ενός προτύπου, χρησιμοποιώντας δεδομένα και στοιχεία τα οποία δημιουργήθηκαν σε προηγούμενα στάδια. Μερικές φορές δεν είναι αναγκαία η δημιουργία ενός προτύπου. Έτσι, μειώνεται το κόστος, αλλά αυξάνεται ο κίνδυνος λάθους. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση όπου το καινούργιο προϊόν έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το παλιό. Όταν κατά την ανάπτυξη του καινούργιου προϊόντος υπάρχει απόκλιση από το αρχικό, τότε είναι καθοριστικός ο ρόλος του πρότυπου και η δοκιμή υποχρεωτική.

Η δοκιμή που θα διεξαχθεί λέγεται εργαστηριακή ή δοκιμή πάγκου και οι δοκιμές που θα γίνουν, θα είναι εκτός του συστήματος στο οποίο ανήκει. Εν συνεχεία, γίνεται έλεγχος του πρότυπου για αποτυχία ή αλλοίωση των χαρακτηριστικών του. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να προστεθούν και τα κριτήρια επιθεωρήσεις, ώστε το προϊόν να είναι ολοκληρωμένο

### **1.4.4 Στάδιο 4 (Εφαρμογή σχεδίασης)**

Ο τελικός στόχος είναι να φτιαχτεί ένα τελικό προϊόν το οποίο θα περιλαμβάνει τις προϋποθέσεις προμήθειας, τα τεχνικά δεδομένα, μια έκθεση με τα μηχανικά-οικονομικά στοιχεία και σύνοψη των δραστηριοτήτων των προηγούμενων τριών σταδίων. Στην περίπτωση ενός επίσημου προγράμματος, το πρωτότυπο θα πρέπει να παρουσιαστεί στους χορηγούς. Μετά την παρουσίαση, το πρωτότυπο θα πρέπει να γίνει μέρος της εργασίας του συστήματος για το οποίο προορίζεται.

## **1.5 Νομιμότητα - Νομικό πλαίσιο**

### **1.5.1 Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής**

Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής ακόμα και αν ένα δημιούργημα ή διαδικασία προστατεύεται από τους κανόνες περί εμπορικών μυστικών, η εφαρμογή της αντίστροφης μηχανικής στο δημιούργημα ή τη διαδικασία είναι συχνά νόμιμη εφόσον έχει αποκτηθεί με νόμιμα μέσα. Τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας από την άλλη χρειάζονται τη γνωστοποίηση μιας εφεύρεσης στο κοινό και ως εκ τούτου τα αντικείμενα που προστατεύονται από διπλώματα ευρεσιτεχνίας, δεν χρειάζεται απαραίτητα να καταστούν αντικείμενο της αντίστροφης μηχανικής ώστε να μελετηθούν. Παρ' όλα αυτά, ένα αντικείμενο μπορεί να περιέχει στοιχεία τεχνολογίας που δεν προστατεύονται με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας και δεν έχουν γνωστοποιηθεί στο κοινό. Ένα συχνό κίνητρο για την εφαρμογή της αντίστροφης μηχανικής είναι για να αποφασιστεί αν το προϊόν ενός ανταγωνιστή περιέχει παραβιάσεις στο δίκαιο της προστασίας της βιομηχανικής ή της πνευματικής ιδιοκτησίας.

Η εφαρμογή της αντίστροφης μηχανικής σε ένα προϊόν λογισμικού στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής θεωρείται γενικά παράβαση των συμβατικών υποχρεώσεων, καθώς οι περισσότερες άδειες τελικού χρήστη (άδεια χρήσης τελικού χρήστη (EULA) ή άδεια χρήσης λογισμικού) την απαγορεύουν ρητά και τα Δικαστήρια έχουν κρίνει ότι τέτοιες συμβατικές απαγορεύσεις υπερισχύουν του δικαίου για την προστασία της πνευματικής ιδιοκτησίας, το οποίο ρητά το επιτρέπει. Σχετική είναι η υπόθεση *Bowers v. Baystate Technologies*, η οποία εκδικάστηκε από το Ομοσπονδιακό Εφετειακό Δικαστήριο των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής και

αφορούσε την παραβίαση των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας, των πνευματικών δικαιωμάτων, καθώς και συμβατικές παραβάσεις. Στην περίπτωση αυτή, το δικαστήριο έκρινε ότι η Baystate είχε παραβιάσει τη σύμβασή της, εφαρμόζοντας την τεχνική της αντίστροφης μηχανικής στο πρόγραμμα του Bower, κάτι που απαγορεύεται ρητά από την άδεια χρήσης τελικού χρήστη που η Baystate είχε αποδεχτεί κατά την αγορά ενός αντίγραφο του λογισμικού του Bower. Η υπόθεση αυτή θεωρείται σημαντική για τον καθορισμό των συμφωνιών άδειας που μπορούν να προκαταλάβουν τα δικαιώματα δίκαιης χρήσης, καθώς και την επέκταση των δικαιωμάτων των κατόχων πνευματικών δικαιωμάτων, πέρα από αυτές που κωδικοποιήθηκαν στην ομοσπονδιακή νομοθεσία των Η.Π.Α..

## 1.5.2 Ευρωπαϊκή Ένωση

Το άρθρο 6 της Οδηγίας 91/250 της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα προγράμματα των ηλεκτρονικών υπολογιστών επιτρέπει την εφαρμογή της αντίστροφης μηχανικής για τους σκοπούς της διαλειτουργικότητας, αλλά την απαγορεύει εφόσον ο σκοπός για τον οποίο εφαρμόζεται είναι η δημιουργία ενός ανταγωνιστικού προϊόντος, όπως απαγορεύει επίσης και τη δημόσια γνωστοποίηση των πληροφοριών που αποκτήθηκαν με την διαδικασία της αντίστροφης μηχανικής σε ένα προϊόν λογισμικού.

Η ως άνω οδηγία αντικαταστάθηκε από την Οδηγία 2009/24/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης L111/16 της 5.5.2009) , η οποία στην αιτιολογική της έκθεση αναφέρει : «Η χωρίς άδεια αναπαραγωγή, μετάφραση, προσαρμογή ή μετατροπή της μορφής του κώδικα με τον οποίο έχει δοθεί ένα αντίγραφο προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή, αποτελεί προσβολή των αποκλειστικών δικαιωμάτων του δημιουργού. Εντούτοις, υπό ορισμένες συνθήκες, η εν λόγω αναπαραγωγή του κώδικα και η μετάφραση της μορφής του μπορεί να είναι απαραίτητες για τη λήψη των πληροφοριών που χρειάζονται για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας ενός ανεξάρτητα δημιουργηθέντος προγράμματος με άλλα προγράμματα. Μόνο στις περιορισμένες αυτές περιπτώσεις, η διενέργεια των πράξεων αναπαραγωγής και μετάφρασης εκ μέρους ή εξ ονόματος προσώπου που έχει δικαίωμα χρήσης αντιγράφου του προγράμματος θα πρέπει να θεωρηθεί ότι είναι θεμιτή και σύμφωνη με τα συναλλακτικά ήθη, και πρέπει συνεπώς να μην απαιτείται άδεια του δικαιούχου. Ένας στόχος της εξαίρεσης αυτής είναι να επιτραπεί η διασύνδεση όλων των στοιχείων ενός συστήματος ηλεκτρονικού υπολογιστή, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές, προκειμένου να μπορέσουν να λειτουργήσουν ομού. Η εν λόγω εξαίρεση από τα αποκλειστικά δικαιώματα του δημιουργού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τρόπο που προσβάλλει τα νόμιμα συμφέροντα του δικαιούχου ή που έρχεται σε σύγκρουση με τη συνήθη εκμετάλλευση του προγράμματος».

Το δε άρθρο 6 της ως άνω Οδηγίας αναφέρει : «Αντίστροφη μεταγλώττιση»

1. Δεν απαιτείται άδεια του δικαιούχου εφόσον η αναπαραγωγή του κώδικα και η τροποποίηση της μορφής του κατά την έννοια του άρθρου 4 παράγραφος 1 στοιχεία α) και β), είναι αναγκαίες για να ληφθούν οι απαραίτητες πληροφορίες προκειμένου να επιτευχθεί διαλειτουργικότητα ενός ανεξάρτητα δημιουργηθέντος προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή με άλλα προγράμματα, υπό την προϋπόθεση ότι πληρούνται οι ακόλουθοι όροι:

α) οι πράξεις αυτές πραγματοποιούνται από τον κάτοχο άδειας εκμετάλλευσης ή άλλο πρόσωπο που έχει δικαίωμα χρήσης αντιγράφου του προγράμματος ή για λογαριασμό τους από πρόσωπο που έχει σχετική άδεια·

β) οι αναγκαίες πληροφορίες για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας δεν έχουν ήδη καταστεί ευκόλως και ταχέως προσιτές στα πρόσωπα που αναφέρονται στο στοιχείο α) και

γ) οι πράξεις αυτές περιορίζονται στα μέρη του πρωτότυπου προγράμματος που είναι αναγκαία για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας.

2. Οι διατάξεις της παραγράφου 1 δεν επιτρέπουν οι πληροφορίες που ελήφθησαν κατ' εφαρμογή της:

α) να χρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς εκτός της επίτευξης της διαλειτουργικότητας του ανεξάρτητα δημιουργηθέντος προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή,

β) να ανακοινωθούν σε άλλους, εκτός από τις περιπτώσεις που τούτο απαιτείται για να επιτευχθεί η διαλειτουργικότητά του ανεξάρτητα δημιουργηθέντος προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή, ή

γ) να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη, παραγωγή ή εμπορία προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή του οποίου η έκφραση παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες, ή για οιαδήποτε άλλη πράξη που προσβάλλει τα δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας.

3. Σύμφωνα με τις διατάξεις της σύμβασης της Βέρνης για την προστασία των λογοτεχνικών και καλλιτεχνικών έργων, οι διατάξεις του παρόντος άρθρου δεν μπορεί να ερμηνευθούν έτσι ώστε να «επιτρέπεται η χρησιμοποίηση της εφαρμογής του κατά τρόπο που προσβάλλει αδικαιολόγητα τα νόμιμα συμφέροντα του δικαιούχου ή έρχεται σε σύγκρουση με τη συνήθη εκμετάλλευση του προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή».

## **1.6 Αντίστροφη μηχανική στα ηλεκτροκίνητα οχήματα**

Πολλά ηλεκτροκίνητα οχήματα έχουν ένα πολύ μεγάλο αριθμό από τυπωμένα κυκλώματα. Αυτά είναι σε θέση να καταστήσουν το ηλεκτρικό όχημα προς χρήση. Όλες οι διεργασίες γίνονται από αυτά τα ηλεκτρονικά μέρη είτε πρόκειται για την φόρτιση, τον έλεγχο των στροφών, έλεγχο κατάσταση μπαταρίας, έλεγχος θερμοκρασίας κλπ.

Λόγων των οικονομικών προβλημάτων που επικρατούν στον πλανήτη, τα οχήματα από τους ιδιοκτήτες αντικαθιστούνται κατά μέσο όρο μετά από τα 10 χρόνια. Αυτό όμως δημιουργεί ένα πλήθος προβλημάτων διότι τα ηλεκτρονικά μέρη μπορούν να υποστούν βλάβη είτε λόγω χρόνιας χρήσης, είτε λόγω εξωτερικών παραγόντων όπως υγρασία και διάβρωση. Συνήθως αυτά τα ολοκληρωμένα κυκλώματα χρησιμοποιούν μπαταρίες προς αποφυγή απώλειας δεδομένων. Αυτές οι μπαταρίες είναι νικελίου-καδμίου και έχουν κατά μέσο όρο χρόνο ζωής 10 με 12

χρόνια. Με το πέρασμα των χρόνων σε αυτές τις μπαταρίες προκαλείται διαρροή. Το αποτέλεσμα του παραπάνω προβλήματος είναι η διάβρωση και της υπόλοιπης πλακέτας καθιστώντας την μη λειτουργική

Όταν προκαλούνται βλάβη σε αυτά τα συστήματα κάποιες φορές δεν είναι οικονομική η αντικατάστασή τους, ειδικά όταν τα οχήματα είναι παλαιάς κατασκευής γιατί μπορούν να φτάσουν και το μισό της αγοραστικής αξίας του οχήματος. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου είναι δυνατή η αντικατάσταση με καινούργιο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εκλείπουν τα καινούργια για τα παλιά οχήματα ανταλλακτικά. Αν δεν μπορεί να βρεθεί καινούργιο ανταλλακτικό μπορεί να γίνει αντικατάσταση του ελαττωματικού στοιχείου από κάποιον ειδικό όπως έναν ηλεκτρονικό.

Στις περιπτώσεις που η εταιρία κατασκευής ανταλλακτικών δεν υπάρχει προκειμένου να βρεθεί το ανταλλακτικό ή ο ηλεκτρονικός δεν μπορεί να διόρθωση το ελαττωματικό στοιχείο διότι υπάρχει πλήθος ηλεκτρονικών στοιχείων και σε κάποια από αυτά μπορεί να μην υπάρχει στοιχείο αναγνώρισης καθώς να μην υπάρχουν τα σχέδια του κυκλώματος, εδώ λαμβάνει χώρα η αντίστροφη μηχανική.

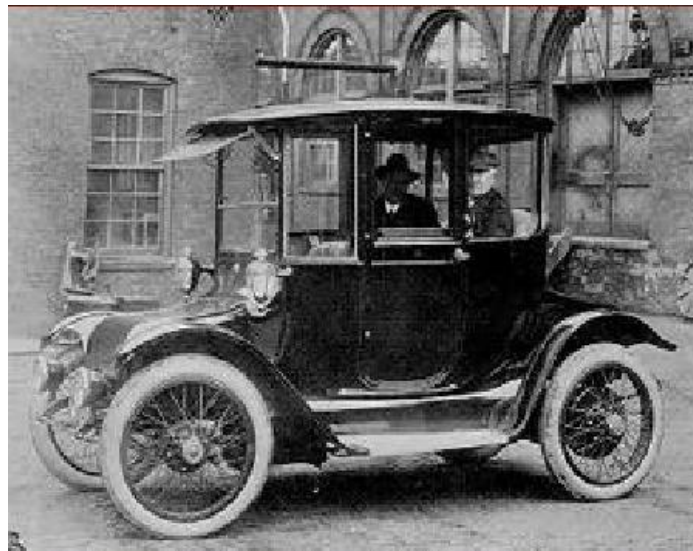


# 2 Ηλεκτρικά Οχήματα

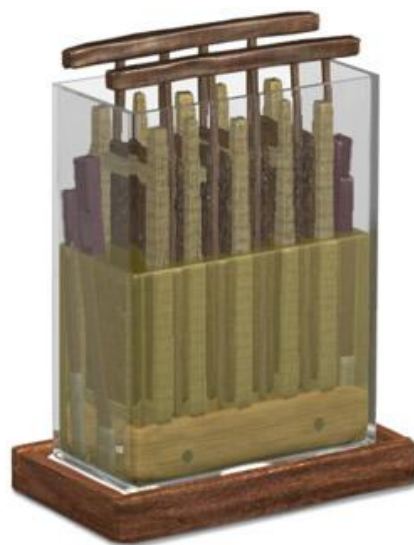


## 2.1 Ιστορική αναδρομή

Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα υπήρχαν πριν από 180 χρόνια δηλαδή στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Από το 1920 χιλιάδες ηλεκτρικά αυτοκίνητα κυκλοφορούσαν στην Καλιφόρνια και την Ευρώπη. Υπήρχε μεγάλη εξέλιξη γύρω από τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, αλλά λόγω των αντιστάσεων που δέχτηκαν έγινε στροφή στο πετρέλαιο και στους κινητήρες εσωτερικής καύσεως.



Εικόνα 2.1. Ηλεκτρικό αυτοκίνητο με μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (Thomas Davenport, 1834).



Εικόνα 2.2. Επαναφορτιζόμενη μπαταρία οξέος - μολύβδου (Gaston Plante, 1859).



Εικόνα 2.3. Ηλεκτρικό όχημα με αλκαλικές μπαταρίες (Thomas Edison, 1889).



Εικόνα 2.4. Ηλεκτρικό όχημα αυτονομίας 13h και ταχύτητας 22,53 km/h (William Morrison, 1890).

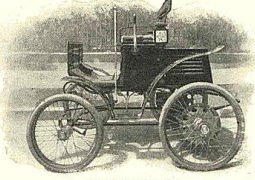


Εικόνα 2.5. Ο πρώτος αυτοκινητιστικός αγώνας με νικητή ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Η.Π.Α., 1895).



WEEKLY 167

# Riker Electric Vehicles



Riker Electric Phaeton

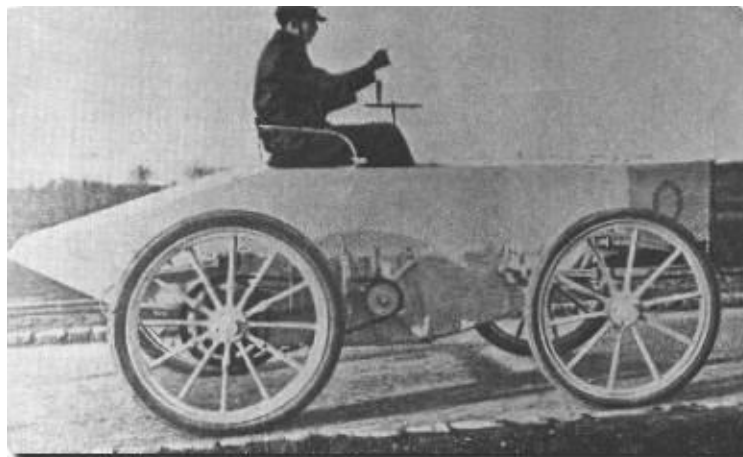
Represent the last step in the perfection of Automobiles. Vibration has been completely overcome; absolute control of speed and direction has been secured. The minimum cost of operation and the highest degree of durability have been attained. Every requirement of pleasure or business, every demand for beauty and service, is supplied by a Riker Electric Vehicle—

## The Perfect Automobile.

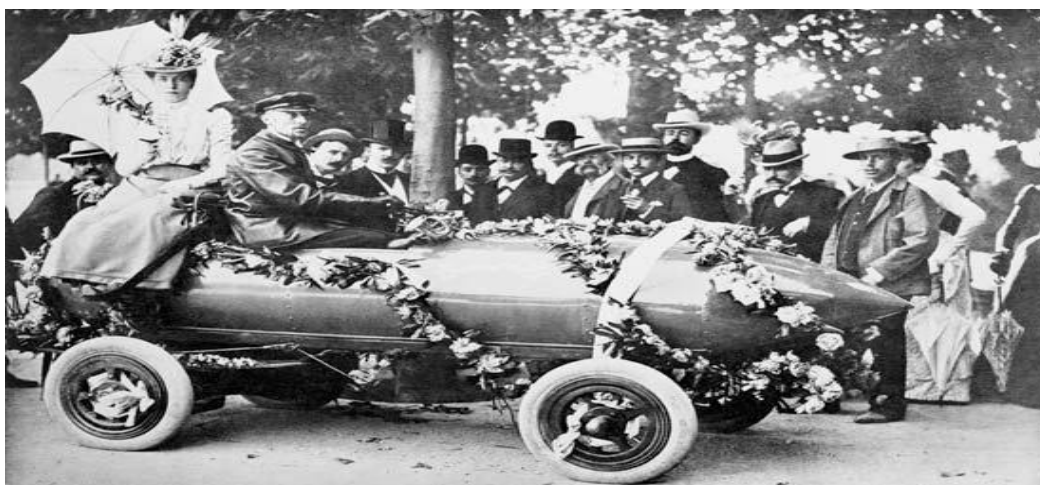
If you will tell us whether you want a carriage for pleasure or a wagon for business we will mail you a catalogue accurately describing them in pictures and words.

THE RIKER ELECTRIC VEHICLE CO., Elizabethport, N. J.

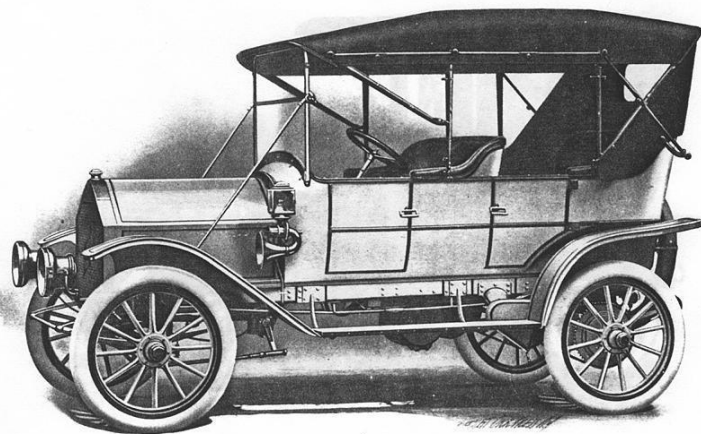
**Εικόνα 2.6. Πρώτη συστηματική παραγωγή ηλεκτροκίνητων οχημάτων (Andrew Riker, 1896).**



**Εικόνα 2.7. Πρώτη προσπάθεια τοποθέτησης υδραυλικού τιμονιού (Andrew Riker, 1897).**



**Εικόνα 2.8. Όχημα αεροδυναμικού χαρακτήρα με δύο κινητήρες των 12V που έσπασε το ρεκόρ ταχύτητας της εποχής επιτυγχάνοντας 66 mph (Camille Jenatzy's, 1899).**



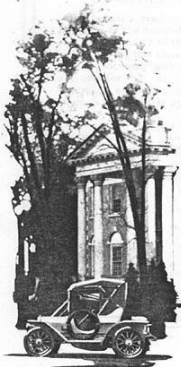
BABCOCK ELECTRIC CARRIAGES

**BABCOCK MODEL 16—FIVE-PASSENGER TOURING CAR**

This model meets the requirements of those who desire a vehicle combining the simplicity of operation and low cost of upkeep of an Electric with the lines of a gasoline touring car. It seats five persons comfortably, and no detail has been overlooked to make this model complete in every way. As a family vehicle it is unsurpassed, and with the increased mileage radius possible, its use for limited touring purposes is entirely practical.

**SPECIFICATIONS**

- Painting . . . . . "Babcock yellow" and green stripe, regular. Other colors optional.
- Upholstering . . . . . Leather, to match painting.
- Steering . . . . . Wheel—breaks over at seat to allow egress and ingress.
- Wheels . . . . . 34 x 4 1/2 inches
- Tires . . . . . 14 x 4 1/2 inches Goodyear quick detachable "Long Distance Electric"
- Springs . . . . . Full elliptic, rear. Three-quarter platform, front.
- Motor . . . . . Will develop 20 horse-power. Special design.
- Control . . . . . Five speeds forward, one reverse, with "Safety Foot Control"
- Brakes . . . . . Duplex on countershaft; two internal expansion on wheel.
- Drive . . . . . Double chain. Encased and dust-proof.
- Wheel Base . . . . . 70 inches
- Tread . . . . . 25 inches
- Battery . . . . . 60 cells 6-A Edison.
- Equipment includes . . . . . Top, windshield, eight-day clock, Sangamo meter, speedometer, all lamps and set of necessary tools.
- Price . . . . . \$1800.



Εικόνα 2.9. Όχημα καταλαμβάνει το πρώτο ρεκόρ απόστασης, με αυτονομία 290 km. (180 miles) με μία και μόνο φόρτιση ( 1900, BGS).

**NATION ROUSED AGAINST MOTOR KILLINGS**

**Secretary Hoover's Conference Will Suggest Many Ways to Check The Alarming Increase of Automobile Fatalities.—Studying Huge Problem**

**T**HE need for vigorous action to check the alarming increase in highway fatalities has prompted Secretary Hoover to call a conference of representatives of the various agencies interested in checking the steady increase in vehicular accidents. The conference will be held in Washington on Dec. 23. It will cover the subject from every angle, including scientific traffic control, construction and engineering, city planning and business, highway and motor vehicle and public relations.

**T**HE number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year. The number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year. The number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year.



**A** conference called by Secretary Hoover for next month will concentrate on the solution of the problem of highway fatalities. A Committee on Highway Safety was appointed by the Secretary to study the problem and to make recommendations. The committee will be composed of representatives of the various agencies interested in the problem. The committee will be organized in the next few days.

**It** is estimated that the number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year. The number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year.

**The** number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year. The number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year.

**It** is estimated that the number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year. The number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year.

**The** number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year. The number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year.

**It** is estimated that the number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year. The number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year.

**The** number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year. The number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year.

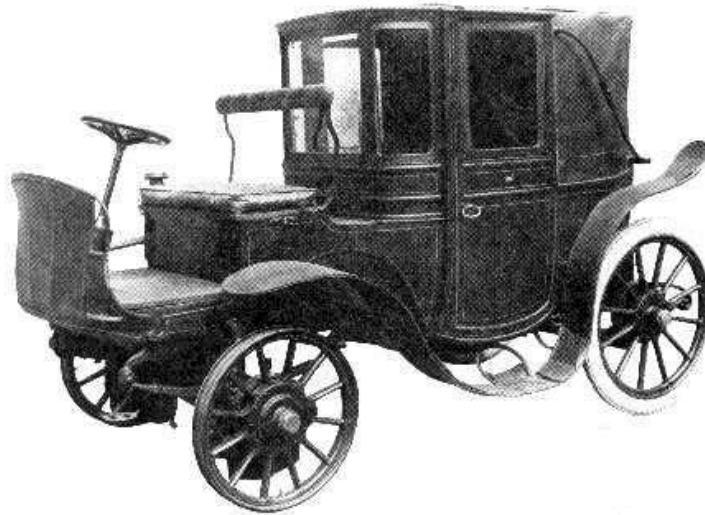
It is estimated that the number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year. The number of cars killed in accidents in the United States in the first nine months of this year was 10,000, an increase of 100 per cent over the same period last year.

**"T**heir present condition shows it is a deadly competition between pedestrians and motorists for a use of those streets of territory we had great a modified study in it. In England, the victory is for the pedestrian. In the United States, the victory is for the motorist. It is a deadly competition between pedestrians and motorists for a use of those streets of territory we had great a modified study in it. In England, the victory is for the pedestrian. In the United States, the victory is for the motorist.

**"I**f we have failed miserably in our attempt to reduce the number of highway fatalities, it is our duty to make the most of the situation. We must not allow ourselves to be defeated. We must continue to fight for the safety of our citizens. We must continue to fight for the safety of our citizens. We must continue to fight for the safety of our citizens.

**"I**f we have failed miserably in our attempt to reduce the number of highway fatalities, it is our duty to make the most of the situation. We must not allow ourselves to be defeated. We must continue to fight for the safety of our citizens. We must continue to fight for the safety of our citizens. We must continue to fight for the safety of our citizens.

Εικόνα 2.10. Υπέρβαση του ορίου ταχύτητας στις Η.Π.Α όπου και δόθηκε πρόστιμο σε οδηγό ηλεκτρικού οχήματος (Η.Π.Α, 1903).



**Εικόνα 2.11. Το πρώτο εμπροσθοκίνητο υβριδικό αυτοκίνητο με ηλεκτρισμό και βενζίνη το οποίο περιελάμβανε και υδραυλικό τιμόνι (Krieger, 1903).**



**Εικόνα 2.12. Επέρχεται αιφνίδιος θάνατος στην παραγωγή των ηλεκτροκίνητων οχημάτων όταν άρχισε η παραγωγή του κινητήρα εσωτερικής καύσης της Ford για το Model T (Ford, 1930).**

Λόγω της ραγδαίας αύξησης της τεχνολογίας σε λιγότερο από μια δεκαετία καθώς και της χαμηλής τιμής των καυσίμων είχε σαν αποτέλεσμα την στροφή της επιστήμης στα βενζινοκίνητα οχήματα. Όμως η ανθρωπότητα ήρθε αντιμέτωπη με πολλά προβλήματα τόσο περιβαλλοντικά όσο και από τον περιορισμό των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου λόγω της υπερκατανάλωσης αυτών των καυσίμων. Έτσι ήδη από το 1990 εμφανίστηκαν για πρώτη φορά τα ηλεκτροκίνητα οχήματα.

Γίνονταν προσπάθειες στην κατασκευή ηλεκτροκίνητων διότι τα συμβατικά οχήματα με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης επιβαρύνουν το περιβάλλον τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε παγκόσμιο. Στα αστικά κέντρα τα συμβατικά οχήματα καθώς και η ραγδαία εξάπλωση των οχημάτων στον τομέα της μεταφοράς (Μέσα

Μαζικής Μεταφοράς) προκαλούν πολλά προβλήματα λόγω των εκπομπών που προέρχονται από την καύση της βενζίνης και του πετρελαίου. Οι ίδιοι ρύποι είναι αυτοί που σε παγκόσμιο επίπεδο συντελούν στην κλιμάκωση τόσο του φαινομένου του θερμοκηπίου όσο και στην διεύρυνση της τρύπας του όζοντος. Τα καυσαέρια των αυτοκινήτων αποτελούνται από 43% (Non-methane organic gases NMOG), δηλαδή χωρίς μεθάνιο οργανικά αέρια, 57% οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) και 82% μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ).

Οι εκπομπές που προκαλούνται από τα ηλεκτρικά οχήματα προέρχονται κατά βάση όχι από τα ίδια τα οχήματα αλλά από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγονται σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα 2% μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ), 76% διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), 56% νιτρικά οξέα και 9% υδρογονάνθρακες. Ωστόσο υπάρχουν και ειδικής κατασκευής φίλτρα σαν αποτέλεσμα την μείωση των παραπάνω.



Εικόνα 2.13 Μόλυνση του πλανήτη.

## 2.2 Βασικά μέρη οχήματος

Σε αυτό το μέρος της πτυχιακής εργασίας θα γίνει ανάπτυξη των βασικών μερών που αποτελούν ένα όχημα είτε αυτό είναι συμβατικό, δηλαδή με κινητήρα εσωτερικής καύσης, είτε είναι ηλεκτρικό. Τα μέρη αυτά είναι:

### 2.2.1. Αμαξώμα

Όλα τα εξωτερικά μέρη ενός αυτοκινήτου (πόρτες, παράθυρα, οροφή κ.λπ.) αποτελούν το αμαξώμά του. Ανάλογα με τον τύπο του αμαξώματος διαχωρίζουμε τα αυτοκίνητα σε διάφορες κατηγορίες όπως σεντάν, λίφτμπακ, στέισον βάγκον, κουπέ κ.ά. Τα μέρη ενός αμαξώματος ενώνονται με το πλαίσιο είτε με βίδες, είτε με συγκολλήσεις οι οποίες σε όλα τα σύγχρονα εργοστάσια γίνονται αποκλειστικά από ρομπότ. Η συναρμολόγηση των μερών του αμαξώματος γίνεται και αυτή από ρομπότ ενώ μεγάλη προσοχή δίνεται στην ποιότητα συναρμογής τους. Μεγάλο ρόλο για την εμφάνιση ενός αμαξώματος πέρα από τη σχεδίαση και την ποιότητα συναρμογής του παίζει και η βαφή.





Εικόνα 2.14. Αμάξωμα οχήματος.

### 2.2.2. Πλαίσιο

Βασική αρχή για την κατασκευή ενός αυτοκινήτου αποτελεί το πλαίσιο. Πάνω σε αυτό στηρίζονται όλα τα μηχανικά μέρη του αυτοκινήτου όπως ο κινητήρας και οι αναρτήσεις και γενικά όλο το αμάξωμα.



Εικόνα 2.15. Πλαίσιο οχήματος.

### 2.2.3 Το πιο βασικά πλαίσια ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής

#### 2.2.3.1 Μη αυτοφερόμενο πλαίσιο

Το μη αυτοφερόμενο πλαίσιο ή σασί ή τύπου σκάλας, όπως συνηθίζεται να λέγεται λόγω του σχήματός του, επικράτησε για πολλά χρόνια στα επιβατικά αυτοκίνητα μέχρι τη δεκαετία του 1970 ενώ σήμερα χρησιμοποιείται αποκλειστικά μόνο σε μερικά εκτός δρόμου οχήματα. Το πιο διαδεδομένο υλικό κατασκευής των πλαισίων είναι ο χάλυβας. Η χρήση "εξωτικών" υλικών όπως ανθρακόνημα, κέβλαρ και μαγνήσιο αποτελεί βασικό "συστατικό" κατασκευής των μονοθέσιων της F<sub>1</sub>. Το αλουμίνιο ξεκίνησε τα πρώτα του βήματα στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και

χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή спор και πολυτελών αυτοκινήτων για να περάσει πλέον στις μέρες μας σε αυτοκίνητα μαζικής παραγωγής.

### 2.2.3.2 Αυτοφερόμενο πλαίσιο

Το αυτοφερόμενο πλαίσιο χρησιμοποιείται σε όλα τα επιβατικά αυτοκίνητα και στα περισσότερα σύγχρονα οχήματα ελεύθερου χρόνου (SUV). Το μπροστινό και το πίσω τμήμα του διαθέτουν ζώνες ελεγχόμενης παραμόρφωσης με ενισχυμένα φύλλα χάλυβα έτσι ώστε να απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας μιας σύγκρουσης και παράλληλα να παραμορφώνονται σταδιακά. Η δομή τους πρέπει να είναι κατασκευασμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην είναι πολύ σκληρή -γιατί καταπονούνται οι επιβάτες- αλλά ούτε ιδιαίτερα μαλακή γιατί παραμορφώνεται έντονα σε ενδεχόμενη σύγκρουση. Ο χώρος των επιβατών, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως "κλωβός ασφαλείας", είναι σχεδιασμένος με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να παραμένει ακέραιος ακόμη και μετά από μια ισχυρή καταπόνηση. Ιδιαίτερες ενισχύσεις διαθέτουν οι κολόνες της οροφής και το πλαϊνό μέρος λόγω έλλειψης ζωνών παραμόρφωσης αυξημένου μεγέθους, για να μην παραμορφωθούν έντονα σε περίπτωση ανατροπής ή πλάγιας σύγκρουσης.



Εικόνα 2.16. Αυτοφερόμενο πλαίσιο.

### 2.2.4 Μετάδοση κίνησης

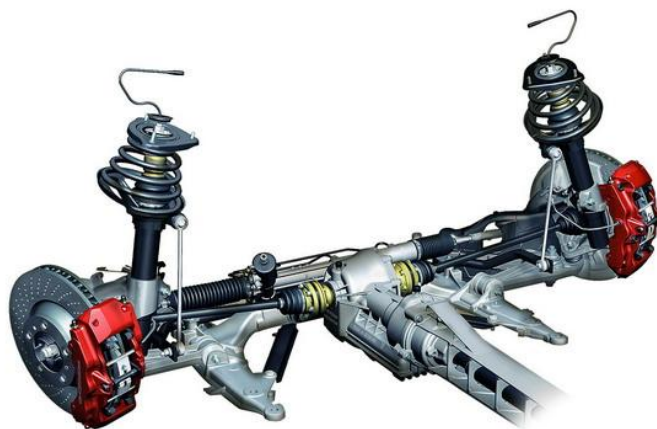
Με τον όρο μετάδοση αναφερόμαστε στο σύνολο των μηχανικών μερών του αυτοκινήτου που φροντίζουν προκειμένου η δύναμη του κινητήρα να μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια. Τα μέρη αυτά αποτελούν το κιβώτιο ταχυτήτων, στις διάφορες εκδοχές του (χειροκίνητο, αυτόματο, διαρκώς μεταβαλλόμενης σχέσης, διπλού συμπλέκτη), ο συμπλέκτης, που σκοπό έχει να απομονώνει τον κινητήρα από το κιβώτιο, κατά τη διάρκεια της αλλαγής ταχυτήτων, αλλά και το διαφορικό, που αναλαμβάνει την περιστροφή των τροχών. Ανάλογα τους τροχούς που μεταδίδεται η κίνηση (εμπρός, πίσω ή και στους τέσσερις), αλλάζει η οδική συμπεριφορά και τα επίπεδα πρόσφυσης κάθε οχήματος.



**Εικόνα 2.17.** Λεβιές για την αλλαγή ταχυτήτων.

### **2.2.5 Ανάρτηση**

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



**Εικόνα 2.18.** Σύστημα ανάρτησης οχήματος.

## 2.2.6. Σύστημα διεύθυνσης

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

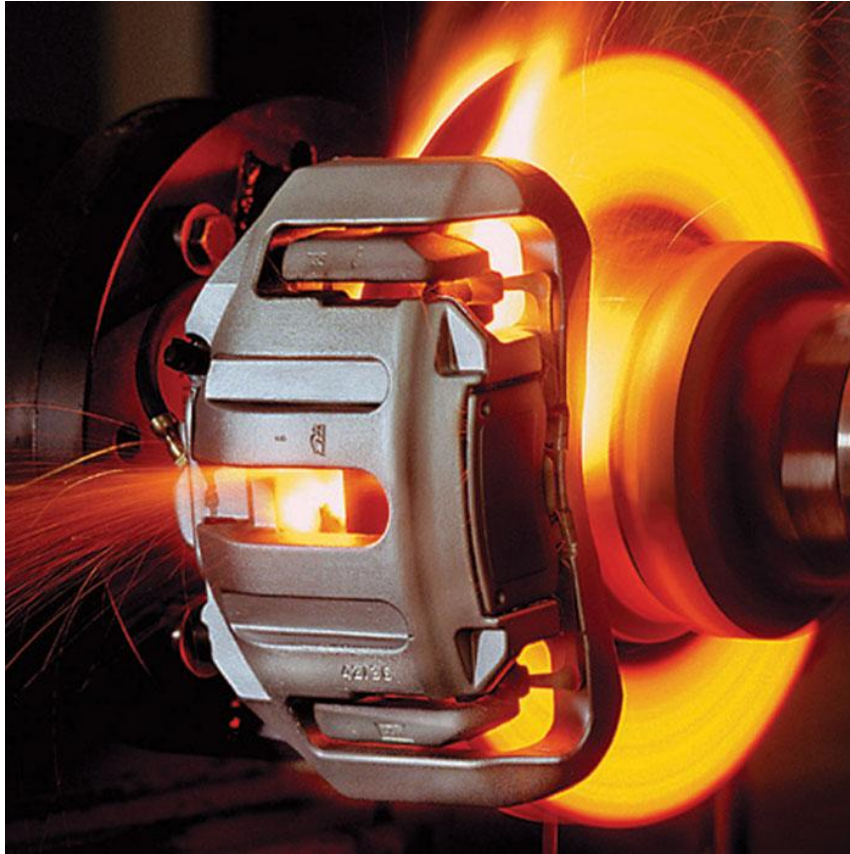


Εικόνα 2.19. Σύστημα διεύθυνσης οχήματος.

## 2.2.7 Σύστημα πέδησης

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





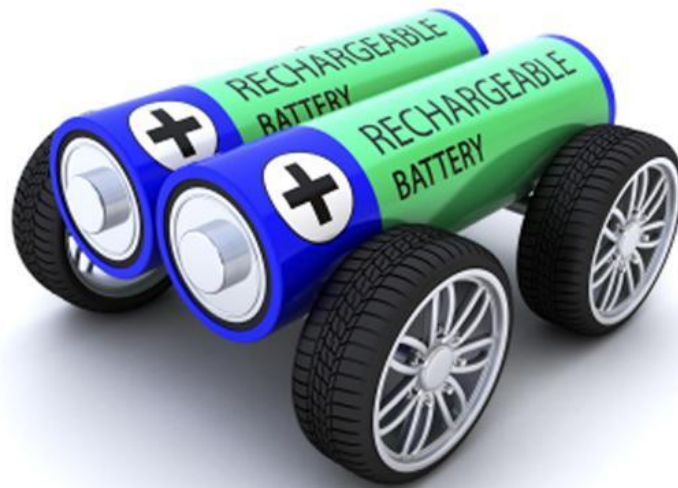
**Εικόνα 2.20. Σύστημα πέδησης τροχών.**

## **2.3 Διαφορές ηλεκτροκίνητων οχημάτων**

Υπάρχουν 4 είδη ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Υπάρχουν τα ηλεκτροκίνητα οχήματα με μπαταρία (BEV) Battery Electric Vehicle, τα υβριδικά οχήματα που συνδέονται στο δίκτυο (PHEVs) Plug-in Hybrid Electric Vehicles, τα συμβατικά υβριδικά οχήματα (HEVs) Hybrid Electric Vehicle και οχήματα με κυψέλες καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicle). Αυτά τα οχήματα είναι σε θέση λόγω μη εκπομπής καυσαερίων να καταστείλουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

### **2.3.1 Ηλεκτροκίνητα οχήματα με μπαταρία (BEV) Battery Electric Vehicle**

Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία κινούνται αποκλειστικά με ηλεκτρική ενέργεια χωρίς την χρήση μηχανής εσωτερικής καύσεως. Για την φόρτιση τους απαιτείται εξωτερική πηγή τροφοδοσίας (φορτιστής) για την φόρτιση των συσσωρευτών. Όπως όλα τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, έτσι και τα BEV μπορούν να φορτίσουν τις μπαταρίες μέσω αναγεννητικής πέδησης. Σε αυτήν την διαδικασία ο ηλεκτρικός κινητήρας βοηθάει το αμάξι στο φρενάρισμα αποταμιεύοντας ενέργεια που συνήθως διαφεύγει στο περιβάλλον σαν θερμότητα.



Εικόνα 2.21. Ηλεκτροκίνητα οχήματα με μπαταρία.

### 2.3.2 Υβριδικά οχήματα που συνδέονται στο δίκτυο (PHEVs) Plug-in Hybrid Electric Vehicles

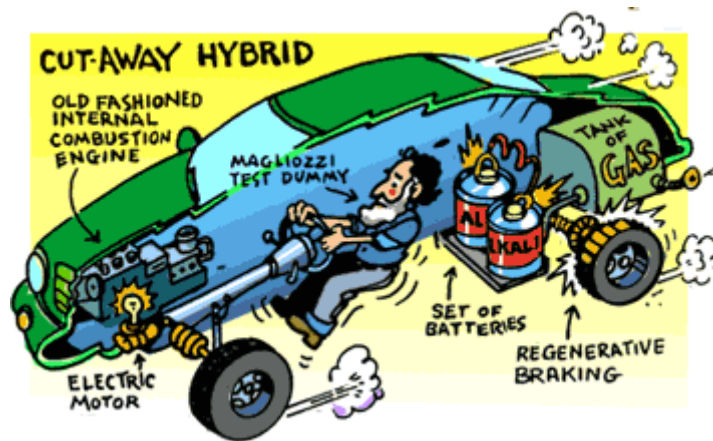
Τα Plug-in Hybrid Electric Vehicles είναι υβριδικά οχήματα που κινούνται μέσω του ηλεκτροκινητήρα και συσσωρευτών τις περισσότερες φορές, οι οποίες φορτίζονται από το δίκτυο μέσω φορτιστή. Διαθέτουν ωστόσο και κινητήρα εσωτερικής καύσεως όπου φορτίζονται οι συσσωρευτές ή χρησιμοποιείται όταν η ενέργεια των συσσωρευτών είναι σε κρίσιμα επίπεδα. Επειδή αυτά τα οχήματα φορτίζουν, κινούνται σε χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τα συμβατικά.



Εικόνα 2.22. Plug-in Hybrid Electric Vehicles.

### 2.3.3 Συμβατικά υβριδικά οχήματα (HEVs) Hybrid Electric Vehicle

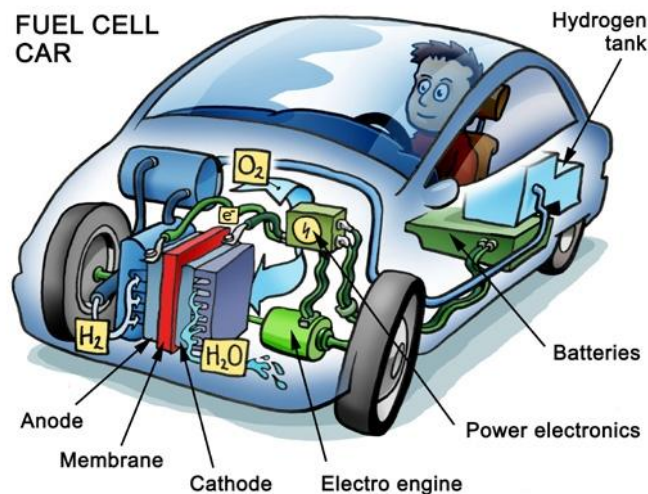
Τα συμβατικά υβριδικά οχήματα σήμερα είναι δύο συστημάτων. Διαθέτουν μια μηχανή εσωτερικής καύσεως και έναν ηλεκτροκινητήρα, οι δύο κινητήρες συνεργάζονται μέσω ειδικού κιβωτίου για να κινήσουν τους τροχούς του οχήματος. Τα υβριδικά αυτού του τύπου δεν μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο για την φόρτιση των συσσωρευτών. Η ενέργεια για την φόρτιση προέρχεται εξ ολοκλήρου από τον κινητήρα εσωτερικής καύσεως και την αναγεννητική πέδηση.



Εικόνα 2.23. Συμβατικά υβριδικά οχήματα.

### 2.3.4 Οχήματα με κυψέλες καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicle).

Τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου είναι ένα άλλο είδος ηλεκτροκίνητου οχήματος που έκανε την εμφάνισή του το 2015. Σε αυτά τα οχήματα αντί η ενέργεια να αποθηκεύεται σε συσσωρευτές δημιουργείται από το υδρογόνο και το οξυγόνο. Αυτού του είδους οχήματα θα καθυστερήσουν να βγουν στην αγορά γιατί απαιτούνται ειδικές υποδομές για την αποθήκευση του υδρογόνου. Υπάρχουν προς το παρόν μόνο δυο πρατήρια υδρογόνου που βρίσκονται στον Καναδά.



Εικόνα 2.24. Οχήματα με κυψέλες καυσίμου.

## 2.4 Ηλεκτροκίνητα οχήματα

Εξωτερικά τα ηλεκτρικά οχήματα είναι όμοια με οχήματα που περιλαμβάνουν κινητήρες εσωτερικής καύσης, με την διαφορά ότι τα ηλεκτροκίνητα δεν περιλαμβάνουν εξάτμιση. Το 70% των εξαρτημάτων σε ένα ηλεκτρικό αμάξι είναι τελείως διαφορετικά από ένα αμάξι εσωτερικής καύσης. Το ηλεκτρικό αμάξι έχει μόνο ένα κινούμενο μέρος, δηλαδή αυτό το οποίο είναι υπεύθυνο για την κίνηση του οχήματος (τον άξονα της μηχανής) τροφοδοτούμενο από μια πηγή συνεχούς ρεύματος (συσσωρευτές) καθώς και πλήθος από εξειδικευμένα ηλεκτρονικά συστήματα που αντικαθιστούν τα μηχανικά μέρη ενός συμβατικού οχήματος προκειμένου να εκτελεστούν οι κατάλληλες διεργασίες.

**Πίνακας 2.1. Πίνακας που αντιπαραθέτει τις λειτουργίες ενός συμβατικού και ενός ηλεκτρικού οχήματος.**

Βενζινοκίνητα οχήματα	Λειτουργία	Ηλεκτρικά οχήματα
Δοχείο καυσίμου	Αποθηκεύει την ενέργεια για την κίνηση του οχήματος	Μπαταρία
Αντλία καυσίμου	Ανανεώνει την ενέργεια που χρειάζεται για κίνηση	Φορτιστής
Κινητήρας εσωτερικής καύσης	Παρέχει την δύναμη για την κίνηση του οχήματος	Ηλεκτρικός κινητήρας
Καρμπυρατέρ	Ελέγχει τη επιτάχυνση και την ταχύτητα	Ελεγκτής
Εναλλάκτης	Προσφέρει ενέργεια στα διάφορα μέρη	DC/DC μετατροπέας
	Μετατρέπει το DC σε AC για να τροφοδοτήσει τον AC κινητήρα	DC/AC μετατροπέας
Έλεγχος καυσαερίων	Χαμηλώνει τα επίπεδα τοξικότητας από τα καυσαέρια	-

#### **2.4.1 Πλεονεκτήματα ηλεκτροκίνητου οχήματος**

1. Δεν απαιτούνται καύσιμα. Στα ηλεκτροκίνητα οχήματα δεν απαιτείται η αγορά οποιαδήποτε μορφής καυσίμου εφόσον κινούνται αποκλειστικά από την ηλεκτρική ενέργεια. Οδηγώντας συμβατικά οχήματα ο κάτοχος του αμαξιού μπορεί να ξοδέψει για την κίνηση ακόμα και 2000€ μέχρι 3000€ τον χρόνο. Παρότι όμως και ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι δωρεάν είναι σαφώς πιο οικονομική έτσι τα ηλεκτροκίνητα οχήματα έχουν μικρότερα έξοδα για την κίνηση τους.

2. Οικονομία. Τα οχήματα αυτά μπορούν να κινούνται με χαμηλές τιμές και τα καινούργια οχήματα θα πωλούνται σε χαμηλότερες τιμές μέσω των πράσινων προγραμμάτων τις εκάστοτε κυβέρνησης. Μην ξεχνάμε ότι αν κυριαρχήσουν τα ηλεκτροκίνητα οχήματα λόγω μαζικής παραγωγής το συνολικό κόστος αγοράς θα συνεχίσει όλο ένα και να μειώνεται

3. Δεν έχουν εκπομπές καυσαερίων. Τα οχήματα αυτά είναι 100% οικολογικά αφού κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια. Δεν εκπέμπουν τοξικά αέρια ή καπνούς στο περιβάλλον. Είναι καλύτερα ακόμα και από τα υβριδικά, αφού αυτά εκμεταλλεύονται την κίνηση τόσο από ηλεκτροκινητήρα όσο και από κινητήρα εσωτερικής καύσης.

4. Δημοτικότητα. Λόγω της δημοτικότητας που θα αποκτήσουν τα οχήματα θα υπάρχουν πλήθος επιλογών οχημάτων.

5. Ασφάλεια κατά την οδήγηση. Όλα τα οχήματα ανεξάρτητα από τη μηχανή που διαθέτει περνάνε από δοκιμές για να βγουν στην αγορά.

6. Χαμηλή συντήρηση. Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν διαθέτουν κινητά μέρη και ως εκ τούτου δεν απαιτείται λίπανση άρα χαμηλότερο κόστος συντήρησης.

7. Απώλεια θορύβου. Εφόσον δεν παράγεται θόρυβος είναι αθόρυβα κατά την στάση, κίνηση και επιτάχυνση προσφέροντας ομαλή και ήσυχη οδήγηση καθώς μειώνεται η ηχορύπανση προς το περιβάλλον.

#### **2.4.2 Μειονεκτήματα ηλεκτροκίνητου οχήματος**

1. Σημεία φόρτισης μπαταριών. Οι ηλεκτρικοί σταθμοί για την φόρτιση των μπαταριών είναι σε πρώιμο στάδιο, δεν υπάρχουν πολλά μέρη έτσι ώστε να γίνεται φόρτιση των οχημάτων σε καθημερινή βάση. Άρα σε ένα μεγάλο ταξίδι το άδειασμα των μπαταριών μπορεί να επιφέρει ακινητοποίηση του οχήματος.

2. Η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι δωρεάν. Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα δημιουργούν επιπλέον επιβάρυνση στον λογαριασμό της ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι μη σωστή έρευνα αγοράς μπορεί να αποβεί σε απερισκεπτη επένδυση διότι πολλά από τα ηλεκτροκίνητα οχήματα απαιτούν τεράστια ποσά ενέργειας για την σωστή λειτουργεί τους.

3. Μικρή εμβέλεια τόσο στην οδήγηση όσο και στην επιτάχυνση. Δεδομένου ότι τα περισσότερα οχήματα αυτού του τύπου έχουν εμβέλεια 80-160 km, δεν είναι κατάλληλα για μεγάλα ταξίδια.

4. Μεγάλος χρόνος φόρτισης. Δεδομένου ότι τα συμβατικά οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης ανεφοδιάζονται σε ένα με δύο λεπτά, τα ηλεκτροκίνητα οχήματα επειδή φορτίζονται για 4-6 h πράγμα που το καθιστούν για εκείνες τις ώρες μη λειτουργικό.

5. Το αθόρυβο πρόβλημα. Λόγω ότι τα οχήματα αυτά είναι αθόρυβα και οι άνθρωποι δεν μπορούν να τα αντιληφθούν μπορούν να γίνου αιτία ατυχημάτων.

6. Διθέσια οχήματα. Τα αυτοκίνητα αυτά συνήθως διθέσια και σπάνια τετραθέσια πράγμα που τα καθιστούν μη οικογενειακά.

7. Χρόνος ζωής μπαταριών. Ο χρόνος ζωής των μπαταριών αυτών είναι πολύ μικρός και κυμαίνεται από τα 3 χρόνια μέχρι τα 10 χρόνια εξαρτώμενος από τον τύπο και την χρήση αυτών των συσσωρευτών.

8. Δεν είναι κατάλληλα για αστικά κέντρα με έλλειψη ενέργειας. Κάποιες πόλεις αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα στον τομέα της ενέργειας, έτσι επιπρόσθετα φορτία λόγω των ηλεκτροκίνητων οχημάτων παρεμποδίζουν την σωστή λειτουργία του δικτύου.

9. Οι κυβερνήσεις. Ορισμένες κυβερνήσεις δεν παρέχουν χρηματοδοτήσεις από προγράμματα στους καταναλωτές ώστε να τους ενθαρρύνουν σε μια τέτοια αγορά.

10. Το τεχνολογικό μειονέκτημα. Σε μερικά μοντέλα δαπανήθηκαν μεγάλα χρηματικά ποσά για την ανάπτυξη τους με τις τελευταίες τεχνολογίες καθιστώντας τα δαπανηρά.



# 3 Ανάλυση Μοντέλων Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων



## 3.1 Εισαγωγή

Τα Ηλεκτρικά αυτοκίνητά χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες αντί των μηχανών εσωτερικής καύσης και χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε επαναφορτιζόμενες συστοιχίες συσσωρευτών.

Αντιθέτως, τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν και τα δύο (ηλεκτρικές μηχανές και ΜΕΚ) καλούνται υβριδικά και συνήθως δεν θεωρούνται καθαρά ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Τα αυτοκίνητα με τις μπαταρίες που μπορούν να φορτιστούν και να χρησιμοποιηθούν χωρίς κινητήρα εσωτερικής καύσης καλούνται «βυσματωτά» ηλεκτρικά οχήματα, και είναι καθαρά ηλεκτρικά αυτοκίνητα, καθώς δεν καταναλώνουν καύσιμα.

Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι συνήθως αυτοκίνητα, ελαφριά φορτηγά, ποδήλατα, ηλεκτρικά μηχανικά δίκυκλα, μικρά οχήματα γκολφ, ανυψωτικά (forklifts) και άλλα παρόμοια. Τα ηλεκτρικά οχήματα ήταν μεταξύ των αυτοκινήτων που εμφανίστηκαν από τις πρώτες μέρες της αυτοκίνησης και έχουν υψηλότερο συντελεστή ενεργειακής απόδοσης από όλα τα αυτοκίνητα με μηχανές εσωτερικής καύσης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται μόνο τα ηλεκτρικά οχήματα, τα οποία αναλύονται και περιγράφονται και ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Στον κάτωθι πίνακα επιχειρείται μια σύντομη επισκόπηση των κατασκευαστριών εταιρειών ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και τα μοντέλα τους, η οποία αντικατοπτρίζεται και στη διάρθρωση της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

**Πίνακας 3.1: Εταιρίες παραγωγής ηλεκτροκίνητων οχημάτων**

A/A	Εταιρίες	Μοντέλο
1	BMW	i3
2	Toyota	Scion IQ EV Rav4 EV
3	Chevrolet	Spark EV
4	Honda	Fit EV
5	Fiat	500e
6	Volkswagen	e-golf e-up!



Πίνακας 3.1. Συνέχεια

A/A	Εταιρίες	Μοντέλο
7	Nissan	Leaf e-NV200
8	Mitsubishi	i-MiEV
9	Smart	ED
10	Kia	Soul EV
11	Ford	Focus Electric
12	Tesla	Model S Model X
13	Mercedes-Benz	B-class Electric Drive
14	BYD	e6 Electric Bus
15	Renault	ZOE Kangoo Z.E

### 3.2 BMW i3



Εικόνα 3.1. BMW i3.

Το ηλεκτροκίνητο όχημα της BMW το i3 είναι ένα όχημα πόλης και αναπτύχθηκε από την κατασκευάστρια εταιρεία BMW. Το i3 είναι μηδενικών ρύπων



λόγω του ηλεκτροκινητήρα που διαθέτει. Η πρώτη παρουσίαση αυτού του οχήματος έγινε το 2011 στην Διεθνή Έκθεση Όχημάτων στην Γερμανία <<International Motor Show Germany>>. Η έκδοση παραγωγής παρουσιάστηκε τον Ιούλιο του 2013, η μαζική παραγωγή ξεκίνησε τον Σεπτέμβριο του 2013 και οι παραδόσεις στην Ευρώπη ξεκίνησαν το Νοέμβριο του 2013, ενώ τον Μάιο του 2014 στις ΗΠΑ. Το i3 κέρδισε παγκόσμια βραβεία ως το καλύτερο πράσινο όχημα καθώς και ως προς τον σχεδιασμό του.

- **Σχεδιασμός και τεχνολογία**

Για την BMW το i3 ήταν το πρώτο ηλεκτρικό όχημα που κατασκεύασε σαν εταιρεία, έτσι η σχεδίαση του ξεκίνησε από το μηδέν. Στόχος της εταιρείας ήταν η κατασκευή ενός οχήματος που δεν θα έμοιαζε με τα ήδη υπάρχοντα ηλεκτρικά οχήματα.

Για την μείωση του βάρους του οχήματος το μεγαλύτερο μέρος κατασκευάζεται από ανθρακόνημα ενισχυμένου πλαστικού. Στις πόρτες τοποθετούνται πάνελ κατασκευασμένα από ίνες φυτών τα οποία αναμειγνύονται με πλαστικό και έτσι δίνεται στο εσωτερικό του οχήματος μια αίσθηση που κανένα άλλο όχημα δεν είχε μέχρι στιγμής. Στο εσωτερικό τα καθίσματα είναι κατασκευασμένα από μαλλί και φυσικό δέρμα, ενώ στους λοιπούς χώρους του οχήματος τοποθετείται ξύλο από ευκάλυπτο.

Το όχημα διαθέτει τέσσερις πόρτες και έχει χώρο για τέσσερις επιβάτες που το καθιστούν μεγαλύτερο από ένα mini cooper αλλά σαφώς μικρότερο από την σειρά 3 της BMW. Στο πίσω μέρος έχει τοποθετηθεί ένας ηλεκτρικός κινητήρας 125 kW (170 hp) ο κινητήρας τροφοδοτείται από μπαταρίες ιόντων λίθου και διαθέτει αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων. Το, δε, πετάλι για το γκάζι έχει δύο ιδιότητες. Η πρώτη είναι για την επιτάχυνση του οχήματος και η δεύτερη κατά την απουσία πίεσης λειτουργεί ως αναγεννητική πέδηση.

- **Φορτιστές**

Το όχημα μπορεί να φορτίσει από μια συμβατική πρίζα σπιτιού μέσω ενσωματωμένου φορτιστή. Ωστόσο διατίθεται γρήγορος φορτιστής εναλλασσόμενου ρεύματος που καθιστά την φόρτιση 0%-80% των μπαταριών τρίωρη μέσου του BMW i Wallbox Pure. Τέλος η BMW έχει εγκαταστήσει δημόσιους σταθμούς συνεχούς ρεύματος που καθιστούν εφικτή την φόρτιση από 0%-80% σε μισή ώρα.

- **Οδήγηση και οικονομία**

Το όχημα αυτό μέσα από τις τεχνολογίες που διαθέτει δίνει στον οδηγό την δυνατότητα επιλογής στην οδήγηση του. Συγκεκριμένα διαθέτει τρία προγράμματα, ήτοι :

1. Το πρόγραμμα Comfort

Σε αυτό το πρόγραμμα οδήγησης το όχημα έχει εμβέλεια 130 με 160 km σε οποιαδήποτε συνθήκη.

2. Το πρόγραμμα Eco pro

Σε αυτό το πρόγραμμα οδήγησης υπάρχει αύξηση της αυτονομίας κατά 12% και αυτό οφείλεται στον τρόπο που δίνεται η ενέργεια κατά την επιτάχυνση.

### 3. Το πρόγραμμα eco pro +

Σε αυτό το πρόγραμμα οδήγησης η αυτονομία γίνεται μεγαλύτερη κατά 24%, όμως, υπάρχουν αρκετά μειονεκτήματα, όπως η διαμόρφωση της μέγιστης ταχύτητας στα 90 χιλιόμετρα την ώρα, μη λειτουργία της θέρμανσης και του κλιματισμού, προκειμένου να επιτευχθεί η εξοικονόμηση ενέργειας

- **Κινητήρας μπαταρίες και αυτονομία**

Ο κινητήρας είναι 125 kW (170 hp) σύγχρονος, τοποθετείται, δε, στο πίσω μέρος του οχήματος καθιστώντας το καθ' αυτόν τον τρόπο πίσω-κίνητο. Η μπαταρία που διαθέτει είναι 18,8 kWh ιόντων λιθίου. Τέλος η αυτονομία του ανέρχεται στα 130 με 160 km για καθημερινή χρήση, ενώ σύμφωνα με την (NEDC) η αυτονομία του είναι 190 km

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2,570 mm

Μήκος: 3,999 mm

Πλάτος: 1,775 mm

Ύψος: 1,578 mm

Απόβαρο: 1,195 kg

### 3.3 Scion IQ EV



Εικόνα 3.2. Scion IQ EV.

Το 2011 το Toyota Scion iQ EV παρουσιάστηκε στην έκθεση αυτοκινήτου της Γενεύης (Geneva Motor Show). Είναι ο διάδοχος του FT-EV II και βασίζεται στο σασί του οχήματος iQ. Η έναρξη του ηλεκτροκίνητου οχήματος ανακοινώθηκε το 2012 από στις ΗΠΑ. Η παραγωγή του ηλεκτροκίνητου οχήματος είχε προγραμματιστεί να ξεκινήσει τον Αύγουστο του 2012 και θα περιελάμβανε μόνο

600 κομμάτια, εκ των οποίων τα 400 διατέθηκαν στην Ιαπωνία, τα 100 στις ΗΠΑ και τα υπόλοιπα στην Ευρώπη.

- **Συστατικά μέρη οχήματος και επιδόσεις**

Το όχημα είναι για 4 επιβάτες, με πλαίσιο κατασκευασμένο από χάλυβα και είναι σχεδιασμένο για καθημερινή χρήση στην πόλη. Λόγω της μικρής χωρητικότητας της μπαταρίας είχε την δυνατότητα να φορτίζει σε 3 h στα 240 V, ενώ με ταχυ-φορτιστή η φόρτιση από το 0% μέχρι το 80% γινόταν σε 15 min.

Διέθετε μπάταρες ιόντων λίθου 150 κελιών με 3,7V ανά κελί (χαμηλή τάση) με ισχύ 12 kWh και συνολική τάση εξόδου 277,5V (υψηλή τάση) συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα τοποθετημένες κάτω από το πάτωμα .

Η αυτονομία του οχήματος είναι 85 km σύμφωνα με την πιστοποίηση της NEDC (New European Driving Cycle). Λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας Hybrid Synergy Drive της Toyota το όχημα αυτό διέθετε κινητήρα/γεννήτρια 47 kW (63 hp), αερόψυκτο, υψηλής τάσης, τριφασικό εναλλασσόμενο κινητήρα μόνιμου μαγνήτη, 12 kWh μπαταρίες 150 κελιών ιόντων λιθίου, υδρόψυκτο φορτιστή για την φόρτιση των μπαταριών 3 kW, μηχανισμό μείωσης της ταχύτητας και έναν μετατροπέα (inverter DC/DC ) όπου μετατρέπει την υψηλή συνεχόμενη τάση από τις μπαταρίες (277,5V) σε χαμηλή τάση (12V) για την τροφοδότηση του οχήματος.

Ο μετατροπέας μετατρέπει μέσω της αναγεννητικής πέδησης την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή για την φόρτιση των μπαταριών. Τέλος η μέγιστη ροπή του οχήματος είναι 163 Nm και επιτάχυνση από τα 0 έως τα 100 km συντελείται σε 14 sec με την κίνηση να μεταδίδεται στους μπροστινούς τροχούς και η τελική ταχύτητα που αναπτύσσεται είναι των 125 km/h.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2,000 mm

Μήκος: 3,120 mm

Πλάτος: 1,680 mm

Ύψος: 1,505 mm

Απόβαρο: 985 kg

### 3.4 Chevrolet Spark EV



**Εικόνα 3.3. Chevrolet Spark EV.**

Τον Οκτώβριο του 2011 η General Motors ανακοίνωσε την παραγωγή του Spark EV και με περιορισμένη διαθεσιμότητα τόσο στις Η.Π.Α. όσο και στις παγκόσμιες αγορές. Το 2012 έγινε παρουσίαση του παραγόμενου αυτού οχήματος στο Los Angeles. Το Chevrolet ήταν το πρώτο πλήρως ηλεκτρικό όχημα που διατίθεται στο εμπόριο από την General Motors στις Η.Π.Α., καθώς η κατασκευάστρια εταιρεία, General Motors, παρήγαγε τελευταία φορά ηλεκτρικό όχημα το 1999, το μοντέλο το EV1. Τον Ιούνιο του 2013 το όχημα κυκλοφόρησε στις ΗΠΑ σε επιλεγμένες αγορές, στην Καλιφόρνια και το Όρεγκον. Τον Οκτώβριο του 2013 άρχισαν οι λιανικές πωλήσεις του οχήματος στη Νότιο Κορέα, ενώ στο δεύτερο τρίμηνο του 2015 είχαν προγραμματιστεί να ξεκινήσουν οι πωλήσεις του στο Μέριλαντ, Πολιτεία της ανατολικής ακτής των Η.Π.Α..

#### **Συστατικά μέρη οχήματος**

- **Μπαταρίες και φόρτιση**

Το όχημα τροφοδοτείται από μπαταρία ιόντων λιθίου υψηλής τάσης. Κατά την φόρτιση του οχήματος η κατάλληλη θερμοκρασία για την φόρτιση είναι πάνω από 0°C και κάτω από 32°C.

- **Χρόνος φόρτισης**

1. Χρησιμοποιώντας τάση 240V η φόρτιση γίνεται σε 7 h.
2. Χρησιμοποιώντας τάση 120V η φόρτιση γίνεται σε 20 h στα 12 A ή περισσότερες ώρες, αν γίνεται στα 8 A. Ο χρόνος αυτός, βέβαια, κυμαίνεται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία.

3. Με φόρτιση μέσω DC φορτιστή τουλάχιστον 50 KW η φόρτιση από το 0% έως το 80% της μπαταρίας επιτυγχάνεται σε 20 min σε κανονικές θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

- **Κινητήρας και μετάδοση κίνησης**

Στο όχημα αρχικά τοποθετήθηκε ηλεκτροκινητήρας ο οποίος έδινε μέγιστη ισχύ 85 kW (130 hp) και διαρκή ισχύ 56 kW (75 hp). Στην τωρινή έκδοση του οχήματος τοποθετήθηκε κινητήρας 97 kW (130 hp), με παραγόμενη ροπή 542.32 Nm, με μέγιστη αυτονομία 132 km και μέγιστη ταχύτητα 144 km/h. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται απευθείας από τον κινητήρα με μία ταχύτητα. Ο κινητήρας τοποθετείται στο μπροστινό μέρος και είναι εναλλασσόμενου ρεύματος μόνιμου μαγνήτη.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2,374 mm

Μήκος: 3,721 mm

Πλάτος: 1,628 mm

Ύψος: 1,590 mm

Απόβαρο: 1,360 kg

### **3.5 Honda Fit EV**



**Εικόνα 3.4. Honda Fit EV.**

Η Honda ξεκίνησε την παραγωγή του μοντέλου Fit EV το 2013 όπου παρουσιάστηκε τον Νοέμβριο του 2011 στην έκθεση αυτοκινήτου του Los Angeles των Η.Π.Α.. Τα οχήματα που διατέθηκαν για τις αγορές την αγορά των Η.Π.Α. ήταν μόνο 1.100 μέχρι τον Οκτώβριο του 2014. Η Honda ξεκίνησε τις παραδόσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες τον Ιούλιο του 2012 και το όχημα ήταν διαθέσιμο μόνο μέσω

leasing. En συνεχεία, όμως, η αρχική διαθεσιμότητα περιορίστηκε στην Καλιφόρνια και το Όρεγκον, ενώ παράλληλα είχαν προγραμματιστεί να ξεκινήσουν οι πωλήσεις του οχήματος σε επιλεγμένες αγορές, στην Μασαχουσέτη, το Κονέκτικατ, το Μέριλαντ, τη Νέα Υόρκη και το Νιου Τζέρσεϊ από τα τέλη του Φεβρουαρίου του 2013.

- **Χαρακτηριστικά Οχήματος**

Το όχημα αυτό βασίζεται σε μπαταρίες υψηλής τάσης προκειμένου να τροφοδοτήσουν τον ηλεκτροκινητήρα για να κινηθεί το όχημα. Η μπαταρία είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος και μπορεί να φορτίζεται με 240V ή 120V. Ο ηλεκτροκινητήρας ελέγχεται από ηλεκτρονικά συστήματα που βρίσκονται κάτω από το καπό. Τόσο ο κινητήρας όσο και το κιβώτιο μιας τραχύτητας κινούν τους μπροστινούς τροχούς. Το όχημα είναι 5-θυρο και κατασκευάζεται από χάλυβα, ενώ άλλα μέρη του είναι κατασκευασμένα από αλουμίνιο και πλαστικό.

- **Μονάδα ελέγχου ισχύος**

Η μονάδα ελέγχου βρίσκεται κάτω από το καπό πάνω από τον ηλεκτρικό κινητήρα και περιλαμβάνει τον φορτιστή, τον DC to DC μετατροπέα, την μονάδα ελέγχου του κινητήρα και την μονάδα μετάδοσης ισχύος.

- **Ηλεκτρικός κινητήρας και ταχύτητα**

Ο ηλεκτροκινητήρας είναι υψηλής εναλλασσόμενης τάσης σύγχρονος με μόνιμους μαγνήτες με ισχύ 107 hp και ροπή 256 Nm τοποθετημένος στους μπροστά τροχούς με κιβώτιο μιας ταχύτητας, με επιτάχυνση 0-60 km σε 8,5 sec και μέγιστη ταχύτητα 146,45 km/h.

- **Μπαταρίες και φορτιστής**

Αποτελείται από μπαταρίες ιόντων λιθίου με χωρητικότητα 20 kWh που βρίσκονται κάτω από το όχημα και αποτελούνται από 18 ενότητες συνδεδεμένες σε σειρά και παράλληλα. Κάθε ενότητα περιλαμβάνει 24 επιμέρους κελιά των 2,3V. Η συνολική τάση είναι 331V και η ισχύς εξόδου 100 kW. Η αυτονομία του οχήματος είναι εντός πόλεως είναι τα 198 km, ενώ τα 122 km αυτονομίας αντιστοιχούν σε μεικτή οδήγηση.

Για την φόρτιση υπάρχει ενσωματωμένος φορτιστής 6,6 kW στα 32 A, όπου τροφοδοτείται από 120V ή υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης του μέσω κατάλληλου συστήματος στα 240V. Με τον φορτιστή στα 240V στα 32 A απαιτούνται 3 ώρες για την φόρτιση.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2499,8 mm

Μήκος: 4114,8 mm

Πλάτος: 1719,58 mm

Ύψος: 1579,88 mm

### 3.6 Fiat 500e



**Εικόνα 3.5. Fiat 500e.**

Ο σχεδιασμός του Fiat 500e βασίζεται στο Fiat 500 Elettra. Το όχημα παρουσιάστηκε τον Νοέμβριο του 2012 στην έκθεση αυτοκινήτου του Los Angeles (Los Angeles Auto Show) και εν συνεχεία το 2013 στην έκθεση αυτοκινήτου της Φρανκφούρτη (Frankfurt Motor Show). Οι παραδόσεις του οχήματος ξεκίνησαν τον Ιούνιο του 2013 στην Καλιφόρνια και περίπου 645 κομμάτια αυτού του μοντέλου πωλήθηκαν στις Η.Π.Α. το 2013. Η Fiat-Chrysler δεν έχει κάνει σχέδια για την διάθεση αυτού του μοντέλου στην Ευρώπη.

- **Φορτιστής**

Η μπαταρία του οχήματος μπορεί να φορτίσει σε δύο επίπεδα φόρτισης. Το πρώτο επίπεδο είναι ένας 120V φορτιστής που έρχεται στο βασικό εξοπλισμό με το όχημα των 6,6 kW. Υπάρχει και το επίπεδο 2, δηλαδή 240V φορτιστή, ο οποίος μπορεί να εγκατασταθεί στο σπίτι, αλλά βρίσκεται και σε δημόσιους σταθμούς. Ο φορτιστής επιπέδου ένα χρειάζεται για μια πλήρη φόρτιση λιγότερο από 24 h, ενώ ο φορτιστής του δεύτερου επιπέδου φορτίζει την μπαταρία από το 0% στο 100% σε 4 h.

- **Κινητήρας**

Το μοντέλο Fiat 500e είναι 100% ηλεκτρικό και διαθέτει ισχύ 83 kW (111 hp) και ροπή 199 Nm. Ο κινητήρας είναι τριφασικός, με μόνιμους μαγνήτες εναλλασσόμενου ρεύματος, σύγχρονος και είναι τοποθετημένος στο μπροστινό μέρος. Η μετάδοση κίνησης γίνεται μέσω μίας ταχύτητας. Η μέγιστη ταχύτητα οχήματος 138 km/h.

- **Μπαταρίες**

Οι μπαταρίες του οχήματος είναι ιόντων λιθίου 24 kWh, υψηλής τάσης, με σύστημα ψύξης θέρμανσης για την σωστή απόδοση των μπαταριών. Η εμβέλεια του οχήματος είναι 130 km και πάνω από 160 km σε συνθήκες πόλης.



- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2301,24 mm

Μήκος: 3616,96 mm

Πλάτος: 1628,14 mm

Ύψος: 1526,54 mm

Απόβαρο: 1339 kg

### **3.7 Volkswagen e-golf**



**Εικόνα 3.6. Volkswagen e-golf.**

Η Volkswagen είχε προγραμματίσει ένα πρόγραμμα δοκίμων με 500 κομμάτια οχημάτων e-golf το 2011. Στα πρώτα 10 κομμάτια η δοκιμή έγινε στο Wolfsburg τον Μάιο του 2011. Η δεύτερη δόκιμη περιλάμβανε 80 αυτοκίνητα και έγινε τον Ιούνιο του 2011 στο Βερολίνο, το Ανόβερο και το Βόλφσμπουργκ. Τον Φεβρουάριο του 2012 το πρώτο e-golf, όπως ονομάστηκε η έκδοση, παραδόθηκε στο Belmont και την Καλιφόρνια. Το μοντέλο του 2015 παρουσιάστηκε στην έκθεση αυτοκινήτου της Φρανκφούρτης (Frankfurt Motor Show) το 2013.

- **Μπαταρίες εμβέλεια και φορτιστής**

Η εμβέλεια του οχήματος κυμαίνεται γενικά μεταξύ των 130 και των 190 km, ενώ η αντίστοιχη εμβέλεια τον χειμώνα κυμαίνεται μεταξύ των 80 και των 120 km. Η μπαταρία είναι 264 κελιών με έξοδο 24,2 kWh. Με τον στάνταρ φορτιστή των 120V απαιτείται για την φόρτιση ολόκληρη η ημέρα, ενώ με τον φορτιστή των 240 V η φόρτιση πραγματοποιείται σε λιγότερο από 4 h. Τέλος υπάρχουν και οι δημόσιοι φορτιστές συνεχούς ρεύματος που καταφέρνουν να φορτίσουν τις μπαταρίες του οχήματος από το 0% έως το 80% σε μισή ώρα.



- **Κινητήρας και ταχύτητες**

Ο κινητήρας είναι σύγχρονος, τριφασικός, εναλλασσόμενου ρεύματος, μόνιμου μαγνήτη, με έξοδο 115 hp και ροπή 270 Nm μιας ταχύτητας. Επιταχύνει από τα 0 στα 100 km/h σε 11,8 sec και έχει τελική ταχύτητα 138 km/h.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2631,44 mm

Μήκος: 4269,74 mm

Πλάτος: 1798.32 mm

Ύψος: 1450,34 mm

Απόβαρο: 1542,21 kg

### **3.8 Volkswagen e-up!**



**Εικόνα 3.7. Volkswagen e-up!**

Το e-up! (σημαίνει electric up!) είναι το πρώτο ηλεκτροκίνητο όχημα της γερμανικής εταιρείας. Η απόφαση για την δημιουργία του οχήματος ελήφθη μετά τα θετικά σχόλια του Τύπου και των επισκεπτών στην έκθεση αυτοκινήτου της Φρανκφούρτης του 2009, όπου παρουσιάστηκε σαν πρωτότυπο. Η εξέλιξη των μπαταριών έγινε από τα μέλη της Volkswagen και αποφασίστηκε η τοποθέτησή τους στους χώρους που διαμορφώνεται από τα εμπρός καθίσματα έως τους πίσω τροχούς, αυξάνοντας έτσι το συνολικό μήκος κατά 1,1 cm σε σχέση με ένα όχημα ιδίου τύπου αλλά εσωτερικής καύσεως.

- **Χαρακτηριστικά**

Αποτελείται από μπαταρίες ιόντων λιθίου 204 κυψελών (17 συστοιχίες από 12 κυψέλες η καθεμία). Οι διαστάσεις των μπαταριών έχουν περίπου 1,726 mm μήκος, 1132 mm πλάτος, 303 mm ύψος και ζυγίζουν 230 kg. Η ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας φτάνει τις 18,7 kWh. Ο κινητήρας είναι σύγχρονος, μόνιμου μαγνήτη και αποδίδει 82 hp με μέγιστη ροπή 210 Nm.

Σύμφωνα με την εταιρεία οι μπαταρίες φορτίζουν είτε από οικιακό ρεύμα σε περίπου 9 h είτε με βιομηχανικό ρεύμα σε 6 h και με ταχυφορτιστή η φόρτιση μέχρι το 80% της χωρητικότητας της μπαταρίας συντελείται σε μισή ώρα.

Η αυτονομία του οχήματος είναι τα 160 km, αλλά διαφοροποιείται ανάλογα τον τρόπο οδήγησης, την ταχύτητα, το βάρος των επιβατών, από την μορφολογία της περιοχής και τέλος από τη χρήση ή μη χρήση κλιματισμού. Υπάρχουν ωστόσο διάφορα προγράμματα οδήγησης. Παραδείγματος χάριν στο πρόγραμμα (Normal - Eco mode) η μέγιστη απόδοση περιορίζεται στους 68 hp και η τελική ταχύτητα στα 115 km/h ενώ στο (Eco plus) πρόγραμμα, η απόδοση περιορίζεται στους 54 hp και τελική ταχύτητα στα 90 km/h.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2421 mm

Μήκος: 3540 mm

Πλάτος: 1910 mm (μαζί με τους καθρέφτες)

Πλάτος: 1645 mm (χωρίς τους καθρέφτες)

Ύψος: 1489 mm

Απόβαρο: 1542,21 kg

### **3.9 Nissan Leaf**



**Εικόνα 3.8. Nisan Leaf.**

Το Nisan Leaf είναι ένα οικογενειακό όχημα 5-θυρο τύπου hatchback που κατασκευάζεται από την εταιρεία Nissan. Εισάγεται, δε, στην Ιαπωνία και τις ΗΠΑ από τον Δεκέμβριο του 2010, ενώ ακολούθησε η διάθεση του σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, καθώς και στον Καναδά το 2011. Το γεγονός ότι το όχημα δεν διαθέτει εξάτμιση έχει σαν αποτέλεσμα την μηδενική παραγωγή ρύπων και των εκπομπών που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά την λειτουργία του. Για αυτό το λόγο κέρδισε τόσο την αναγνώριση, αλλά και βραβεία, όπως το 2010 το βραβείο πράσινου οχήματος (2010 GREEN CAR VISION AWARD), το 2011 το βραβείο του Ευρωπαϊκού οχήματος της χρονιάς (2011 EUROPEAN CAR OF THE YEAR), το 2011 το βραβείο του παγκόσμιου αυτοκινήτου της χρονιάς (2011 WORLD CAR OF THE YEAR) και το 2011-2012 το βραβείο του αυτοκινήτου της χρονιάς στην Ιαπωνία (2011-2012 CAR OF THE YEAR IN JAPAN).

- **Σχεδιασμός**

Το μπροστινό μέρος του οχήματος έχει Εικόνα V με μεγάλους led προβολείς που δημιουργούν ένα διακριτικό μπλε που ανακλά τον σχεδιασμό. Οι προβολείς ανακατευθύνει την ροή του αέρα για την μείωση του θορύβου. Το κάτω μέρος του οχήματος έχει αεροδυναμική επένδυση για την βελτίωση του αεροδυναμικού χαρακτήρα. Σύμφωνα με την Nissan ο αεροδυναμικός συντελεστής είναι 0,29 cd για το μοντέλο του 2011 και 0,28 cd για το μοντέλο του 2012

- **Κινητήρας και ταχύτητα**

Ο κινητήρας του οχήματος είναι σύγχρονος ηλεκτροκινητήρας 80 kW (110 hp), με ροπή 280 Nm, είναι, δε, τοποθετημένος στο μπροστινό μέρος και κινεί τον μπροστινό άξονα με κιβώτιο μιας ταχύτητας. Το μοντέλο του 2011/12 έχει τελική ταχύτητα 150 km/h και απαιτείται χρόνος 9,9 sec για την μετάβαση από τα 0 στα 97 km/h.

- **Μπαταρίες**

Ο κινητήρας τροφοδοτείται από 24 kWh μπαταρίες ιόντων λιθίου με δυνατότητα μεταφοράς πάνω από 90 kW (120 hp). Οι μπαταρίες έχουν μηχανισμό για ψύξη μέσω αέρα, αποτελούνται από 48 ενότητες και κάθε ενότητα αποτελείται από 4 κελιά, συνολικά 192 κελιά και συναρμολογούνται από την Automotive Energy Supply Corporation. Οι μπαταρίες και ο ελεγκτής ζυγίζουν συνολικά 218 kg. Η ενέργεια κάθε κελιού είναι 140 Wh/Kg. Οι μπαταρίες βρίσκονται κάτω από τα καθίσματα και στο πίσω μέρος για τα πόδια κρατώντας το κέντρο βάρους χαμηλό και ενισχύοντας την ακαμψία του οχήματος. Αυτές διαφοροποιούνται ανάλογα με την χρονιά .

1. 2011/2015 και 2016 S trim: 24 kWh
2. 2016(SL και SV trim): 30 kWh

- **Εμβέλεια**

Η εμβέλεια εξαρτάται από την χρονιά παραγωγής του κάθε μοντέλου και ανάλογα με τον οργανισμό. Πιο συγκεκριμένα :

1. Το μοντέλο του 2011/2012 έχει εμβέλεια 117 km σύμφωνα με την EPA και 175 km σύμφωνα με την NEDC.
2. Το μοντέλο του 2013 έχει εμβέλεια 121 km σύμφωνα με την EPA και 200 km σύμφωνα με την NEDC.
3. Το μοντέλο του 2014/2015 έχει εμβέλεια 135 km σύμφωνα με την EPA.
4. Το μοντέλο του 2016 με την μπαταρία των 24 kWh έχει εμβέλεια 135 km σύμφωνα με την EPA, ενώ με την μπαταρία των 30 kWh έχει εμβέλεια 172 km σύμφωνα με την EPA.

- **Φορτιστής**

Η φόρτιση του οχήματος μπορεί να γίνει με φορτιστή για το μοντέλο του 2014, έκδοση S, με τον ενσωματωμένο φορτιστή 3,6 kW και απαιτούνται για την πλήρη φόρτιση του οχήματος 8 h με τον επιπέδου 2 φορτιστή (240V). Στην έκδοση SL και SV με τον φορτιστή 6,6 kW στον βασικό εξοπλισμό ή προαιρετικά στο μοντέλο S απαιτούνται για την πλήρη φόρτιση του οχήματος 5 h. Όλα τα μοντέλα μπορούν να εξοπλιστούν με φορτιστές συνεχούς τάσης (480V, 44 kW), οι οποίοι μπορούν να φορτίσουν την μπαταρία του οχήματος από το 0% έως το 80% της χωρητικότητας αυτής σε περίπου μισή ώρα.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2700 mm

Μήκος: 4445 mm

Πλάτος: 1770 mm

Ύψος: 1550 mm

Απόβαρο: 1521 kg μοντέλο 2011/12

ή απόβαρο: 1,493 kg μοντέλο 2013

### **3.10 Nissan e-NV200**



**Εικόνα 3.9. Nisan e-NV200.**

Είναι όχημα για την μεταφορά φορτίων με χαμηλό κόστος κίνησης (2,5€/100Km), 100% ηλεκτρικό και μηδενικών εκπομπών ρύπων. Ο κινητήρας είναι εναλλασσόμενου ρεύματος, σύγχρονος 80 kW, ροπής 254 Nm, τοποθετημένος στο μπροστινό μέρος καθιστώντας το όχημα καθ' αυτόν τον τρόπο εμπροσθοκίνητο και δίνει την δυνατότητα επιτάχυνσης από τα 0 στα 100 km/h σε 13 sec, ενώ η τελική ταχύτητα του οχήματος διαμορφώνεται στα 120 km/h με αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων μιας ταχύτητας.

Η εμβέλεια του οχήματος είναι 170 km (NEDC) και χρησιμοποιεί μπαταρίες ιόντων λιθίου χωρητικότητας 24 kWh στα 360V με 192 κελιά. Η φόρτιση μέσω φορτιστή 400V μέχρι το 80% της μπαταρίας γίνεται σε 30 min ή μέσω φορτιστή 220V 3KW (ενσωματωμένος φορτιστής) σε περίπου 8 h για μια πλήρη φόρτιση. Υπάρχει ωστόσο και ο ενσωματωμένος φορτιστής 6,6 kW διαθέσιμος σαν επιλογή που επιτρέπει την φόρτιση του οχήματος σε 4 h χρησιμοποιώντας την οικιακή μονάδα φόρτισης στα 32A. Ο όγκος φορτίου είναι 4,2 m<sup>3</sup>, με μήκος φορτίου 2,04 m και με αρκετό χώρο πίσω από τις δύο μπροστινές θέσεις για δύο παλέτες ή αν υπάρχουν 5 επιβάτες ο χώρος μειώνεται στα 2,3 m<sup>3</sup>. Το ωφέλιμο φορτίο (φορτηγό με 4 πόρτες) είναι 770 kg.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2725 mm

Μήκος: 4560 mm

Πλάτος: 1798.32 mm

Ύψος: 1858 mm

### 3.11 Mitsubishi i-MiEV



Εικόνα 3.10. Mitsubishi i-MiEV.



Το Mitsubishi i-MiEV είναι ένα καινοτόμο ηλεκτρικό όχημα, 5-θυρο, τύπου <<hatchback>> που παράγεται από την Mitsubishi και είναι έκδοση του Mitsubishi i. Διάφορες παραλλαγές του οχήματος αυτού πωλούνται στην Ευρώπη από την PSA Peugeot Citroën όπως το Peugeot iOn και Citroën C-Zero. Οι πωλήσεις αυτού του οχήματος ξεκίνησαν τον Ιούνιο του 2009 στην Ιαπωνία και εν συνεχεία την 1η Απριλίου του 2010. Οι διεθνείς πωλήσεις του οχήματος ξεκίνησαν στην Ασία, την Αυστραλία και την Ευρώπη το 2010 με περαιτέρω επέκταση των πωλήσεων το 2011 στις αγορές της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής, ενώ στις ΗΠΑ και τον Καναδά οι πωλήσεις ξεκίνησαν τον Δεκέμβριο του 2011. Η Αμερικάνικη έκδοση ονομάζεται << i >> και είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη Ιαπωνική και μάλιστα με επιπλέον χαρακτηριστικά.

- **Κινητήρας και ταχύτητα**

Η έκδοση του 2009 αποτελείται από ενιαίο εναλλασσόμενο, σύγχρονο κινητήρα μόνιμου μαγνήτη, ο οποίος τοποθετείται στους πίσω άξονες με ισχύ εξόδου 47 kW και ροπή 180 Nm, ενώ το μοντέλο του 2016 έχει κινητήρα 49 kW (66 hp) και ροπή 196 Nm. Ο κινητήρας ψύχεται μέσω νερού και υπάρχει ένα συμβατικό ψυγείο στο εμπρόσθιο μέρος του οχήματος με έναν ηλεκτρικό ανεμιστήρα (βεντιλατέρ). Το επίπεδο του ψυχτικού υγρού παρακολουθείται μέσω μιας δεξαμενής κάτω από την πίσω πλατφόρμα φόρτωσης στην αριστερή πλευρά του οχήματος.

Το όχημα χρησιμοποιεί για την κίνηση των πίσω τροχών ένα μειωτήρα ενιαίας ταχύτητας με μέγιστη ταχύτητα οχήματος τα 130 km/h.

- **Μπαταρίες**

Το ηλεκτροκίνητο όχημα χρησιμοποιεί μπαταρίες 16 kWh ιόντων λιθίου. Η μπαταρία αποτελείται από 88 κελιά που τοποθετούνται κάτω από το δάπεδο του οχήματος. Το πακέτο αποτελείται από 22 κελιά που συνδέονται σε σειρά με ονομαστική τάση 330V. Ολόκληρο το πακέτο αποτελείται από 80 Wh/Kg. Υπάρχει ενσωματωμένος και ένας ανεμιστήρας στην μπαταρία για την ψύξη ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση της κατά την υψηλή συνεχή φόρτιση και την υψηλή βαθμού (rated) εκφόρτιση που θα είχε σαν επακόλουθο την καταστροφή της, επιπλέον κατά την γρήγορη φόρτιση η μπαταρία ψύχεται με ψυχόμενο αέρα από το σύστημα κλιματισμού του οχήματος.

Τον Ιούνιο του 2011 η Mitsubishi ανακοίνωσε την εισαγωγή μπαταριών λιθίου τιτανίου οξειδίου (lithium titanate oxide SCiB ) για δύο νέα μοντέλα το i-MiEV και το Minicab MiEV. Αυτή η τεχνολογία αναπτύχθηκε από την Toshiba όπου δήλωσε ότι οι SCiB μπαταρίες μπορούν να αντέξουν 2,5 φορές περισσότερους κύκλους φόρτισης και αποφόρτισης από μια τυπική μπαταρία ιόντων λιθίου, καθώς επιτρέπουν υψηλότερη χωρητικότητα που σε συνδυασμό με την αναγεννητική πέδηση ή κύλιση στην κατωφέρεια οδηγούν στην αύξηση της εμβέλειας οδήγησης κατά 1,7 φορές ανά φόρτιση σε σχέση με τις απλές μπαταρίες ιόντων λιθίου του ίδιου μεγέθους.

- **Φόρτιση**

1. Η φόρτιση μπορεί να γίνει μέσω ταχείας φόρτισης συνεχούς ρεύματος στα 125A, τάσης 480V, όπου σε αυτού του είδους την φόρτιση ξεκινά το σύστημα

κλιματισμού του οχήματος που διοχετεύει κρύο αέρα μέσα στους συσσωρευτές για την ψύξη τους. Αυτό γίνεται μέσω ενός πτερυγίου για την κατεύθυνση του αέρα. Η φόρτιση της μπαταρίας μέχρι το 80% μπορεί να γίνει σε 20 min.

2. Επιπλέον η φόρτιση μπορεί να γίνει μέσω ρυθμιζόμενου φορτιστή στα 120V/12A ή 8A με αποτέλεσμα να απαιτείται για την φόρτιση του οχήματος χρόνος 14 h ή 22 h αντίστοιχα. Επιπλέον η φόρτιση του οχήματος μπορεί να γίνει σε 6 h και με την χρήση φορτιστή 240V στα 15A.

- **Εμβέλεια**

Η εμβέλεια όλων των οχημάτων είναι 160 km σύμφωνα με τις Ιαπωνικές δοκιμές σε κύκλους φόρτισης. Η εμβέλεια διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του μοντέλου του οχήματος. Υπάρχουν δύο επίπεδα εξοπλισμού. Στον απλό εξοπλισμό (entry-level) (M) με 10,5 kWh μπαταρίες η εμβέλεια του οχήματος είναι 120 km, ενώ στον πλήρη εξοπλισμό (high-level) (G) με 16 kWh μπαταρίες είναι τα 180 km. Για την Αμερικάνικη έκδοση <<i>> η εμβέλεια σύμφωνα με την EPA (US Environmental Protection Agency) είναι τα 100 km.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2550 mm

Μήκος: 3395 mm

Μήκος για την Αμερική: 3680 mm

Πλάτος: 1475 mm

Πλάτος για την Αμερική 1585 mm εξαιρουμένων των πλαϊνών καθρεφτών

Ύψος: 1600 mm

Ύψος για την Αμερική: 1615 mm

Απόβαρο: 1080 kg

### 3.12 Smart electric drive



**Εικόνα 3.11. Smart electric drive.**

Το Smart Fortwo electric drive είναι ένα ηλεκτροκίνητο όχημα με μπαταρίες και αποτελεί παραλλαγή του οχήματος πόλης Smart Fortwo. Οι δοκιμές ξεκίνησαν στο Λονδίνο με 100 μονάδες το 2007. Η δεύτερη γενιά των οχημάτων παρουσιάστηκε το 2009 και ήταν διαθέσιμη σε 18 αγορές σε όλο τον κόσμο μέσω leasing ή μέσω του Car2Go (carsharing service) υπηρεσία κοινής χρήσης οχημάτων σε επιλεγμένες πόλεις, με πάνω από 2.300 παραδόσεις οχημάτων. Τα οχήματα της τρίτης γενιάς ξεκίνησαν στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη από τον Μάιο του 2013 και η Smart σχεδιάζει την μαζική παραγωγή του ηλεκτροκίνητου οχήματος με διαθεσιμότητα σε 30 χώρες σε όλο τον κόσμο. Από την δεύτερη και τρίτη γενιά έχουν πουληθεί πάνω από 8800 κομμάτια στην Βόρεια Αμερική και Ευρώπη στο διάστημα μεταξύ του 2009 και του Ιουνίου του 2014 εκ των οποίων 6500 κομμάτια ήταν της τρίτης γενιάς οχημάτων.

#### **Χαρακτηριστικά**

- **1ης γενιάς οχήματα**

Τα πρώτα ηλεκτροκίνητα οχήματα της Smart είχαν τροποποιηθεί από την Zytek Electric Vehicle. Η κίνηση γινόταν μέσω ηλεκτρικού κινητήρα που είχε τοποθετηθεί στο πίσω μέρος και κινούσε τους πίσω τροχούς. Η τροφοδότηση γινόταν μέσω 13,2 kWh γλωριούχου νατρίου-νικελίου μπαταρίες (sodium-nickel chloride Zebra batteries).

Η ισχύς εξόδου του κινητήρα ήταν 30 kW (41hp), ενώ εμβέλεια του οχήματος τα 110 km με τελική ταχύτητα 120 km/h και απαιτούμενο χρόνο φόρτισης από το 0% στο 80% της μπαταρίας οι 4 h από το 0% έως το 100% οι 8 h. Τέλος η οικονομία αντιστοιχούσε σε 12 kWh ανά 100 km.



- **2ης γενιάς οχήματα**

Η δεύτερη γενιά οχημάτων Smart ED περιελάμβανε μπαταρίες ιόντων λιθίου που τις προμηθευόταν από την Tesla Motors με χωρητικότητα 16.5 kWh. Η αυτονομία του οχήματος με μια πλήρη φόρτιση αντιστοιχούσε σε 135 km υπό τον νέο Ευρωπαϊκό κύκλο οδήγησης (NEDC New European Driving Cycle) και μπορούσαν να φορτίσουν μέσω τάσεων 110V ή 220V φορτιστή

Πιο συγκεκριμένα το όχημα αποτελούταν από κινητήρα 30 kW (41hp). Η ροπή του κινητήρα ήταν 120 Nm που ήταν άμεσα διαθέσιμη και με επιτάχυνση 0-60 km/h σε 6,5sec, όπως και στην έκδοση βενζίνης μέσω ενιαίας μετάδοσης που ήταν κατά 140 kg βαρύτερη σε σχέση με το όχημα βενζίνης. Η χωρητικότητα της μπαταρίας ήταν 16,5 kWh ιόντων λιθίου με αυτονομία 135 km και μέγιστη τελική επιτάχυνση 100 km/h. Η οικονομία του οχήματος αντιστοιχούσε σε 12 kWh ανά 100 km.

- **3ης γενιάς όχημα**

Η τρίτη γενιά του οχήματος περιλαμβάνει ισχυρότερο κινητήρα για καλύτερη επιτάχυνση και τελική ταχύτητα όπου αναπτύχθηκε από την Bosch και Daimler καθώς και μεγαλύτερης χωρητικότητας μπαταρία για μεγαλύτερη εμβέλεια. Πιο συγκεκριμένα η μέγιστη ισχύς του κινητήρα είναι 55 kW (74hp) (κινητήρας μόνιμου μαγνήτη), ροπή 130Nm και μέγιστη επιτάχυνση 125 km/h. Η επιτάχυνση (0-100km/h) επιτυγχάνεται σε 11,5 sec και 0-100 km/h σε 5 sec.

Η χωρητικότητας της μπαταρίας είναι 17,6KWh και είναι ιόντων λιθίου 93 κυψελών και κατασκευάζεται από την Deutsche ACCUmotive μια κοινοπραξία από την Daimler, την AG και την Evonik, για την αντικατάσταση αυτών που έφτιαχνε η Tesla στην προηγούμενη γενιά οχημάτων, προσφέροντας αυτονομία 145 km σε σχέση με της προηγούμενης γενιάς που ήταν τα 135 km. Τέλος ο χρόνος φόρτισης μέσω 220V 3,3KW φορτιστή μειώθηκε στις 7 h, ενώ με φορτιστή 230V wallbox απαιτούνται 6 h φόρτισης, ενώ ο χρόνος ταχείας φόρτισης (400V/22KW) είναι η 1 h.

- **Σύστημα πέδησης**

Ακόμα και το σύστημα πέδησης βελτιώθηκε σε αυτήν την γενιά. Το σύστημα ανάκτησης ενέργειας εμπλέκεται στη διαδικασία πολύ πιο προοδευτικά, καθώς η εμπλοκή του αυτή συμβαίνει σε τρία στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο, η απλή πράξη της απελευθέρωσης του συστήματος επιτάχυνσης κάνει το όχημα να επιβραδύνει εξαιτίας της ανάκτησης της κινητικής ενέργειας. Κατά το δεύτερο στάδιο, καθώς ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι κατά κύριο λόγο υπεύθυνος για την πέδηση, η πράξη της πέδησης αυτή καθεαυτή αυξάνει την ανάκτηση της ενέργειας. Κατά το τρίτο στάδιο, τα συμβατικά υδραυλικά φρένα τίθενται σε δράση για να συμπληρώσουν τη διαδικασία της επιβράδυνσης και άγουν το όχημα σε κατάσταση πλήρους ακινησίας.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 1867 mm

Μήκος: 2727 mm

Πλάτος: 1559 mm

Ύψος: 1565 mm

Απόβαρο: 900 kg για το coupe και 920 kg για το cabrio

### 3.13 Kia Soul EV



**Εικόνα 3.12. Kia Soul EV.**

Το Soul EV είναι ηλεκτροκίνητο όχημα (subcompact crossover SUV) που κατασκευάζεται από την Kia. Το όχημα παρουσιάστηκε το 2014 στην έκθεση οχημάτων στο Σικάγο (Chicago Auto Show). Οι παραδόσεις του οχήματος ξεκίνησαν στην Νότια Κορέα τον Μάιο του 2014. Οι Ευρωπαϊκές πωλήσεις ξεκίνησαν τον Ιούλιο του 2014, ενώ στις ΗΠΑ τον Οκτώβριο του 2014. Αρχικά στις Η.Π.Α. τα οχήματα πωλήθηκαν μόνο στην Καλιφόρνια, το Όρεγκον και σε αρκετές Ανατολικές πολιτείες που διέθεταν μεγαλύτερες αγορές και καλύτερες υποδομές, όπως η Νέα Υόρκη, το Νιου Τζέρσεϋ και το Μέριλαντ. Το 2013 η Kia έκανε δοκιμές στις πρότυπες εκδόσεις Soul. Το Soul EV βασίζεται στην δεύτερη γενιά του Kia Soul.

- **Χαρακτηριστικά**

Αποτελείται από έναν κινητήρα σύγχρονο, μόνιμου μαγνήτη, εναλλασσόμενου ρεύματος, με τάση 360V με μέγιστη ισχύ εξόδου κινητήρα 81,4 kW (109hp), ροπή 285Nm και τελική ταχύτητα 145 km/h.

Οι μπαταρίες είναι ιόντων λιθίου πολυμερίου με χωρητικότητα 75Ah ενέργεια 27 kWh και ισχύ 90 kW. Ο ενσωματωμένος φορτιστής είναι 6.6 kW και με πλήρη φόρτιση η εμβέλεια του οχήματος σύμφωνα με την EPA είναι 150 km και σύμφωνα με την Kia τα 130 έως 190 km. Κατά την φόρτιση στα 120V απαιτούνται 24 h, στα 240V 5 h και σε δημόσιο ταχυ-φορτιστή συνεχούς ρεύματος (0%-80%) η φόρτιση πραγματοποιείται σε μισή ώρα.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2570 mm

Μήκος: 4140 mm

Πλάτος: 1800 mm

Ύψος: 1600 mm

Απόβαρο: 1543 kg

### 3.14 Ford Focus Electric



**Εικόνα 3.13. Ford Focus Electric.**

Το Ford Focus Electric είναι ένα πεντάθυρο (τύπου «χάτσπακ») ηλεκτρικό αυτοκίνητο που παράγεται από την εταιρεία Ford. Το μοντέλο Focus Electric είναι το πρώτο πλήρως ηλεκτρικό αυτοκίνητο της εταιρείας που τέθηκε σε πλήρη παραγωγή, η οποία ξεκίνησε τον Δεκέμβριο του 2011. Η διάθεση του οχήματος αυτού ξεκίνησε σταδιακά στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής τον Δεκέμβριο του 2011. Η διάθεση του στις Ευρωπαϊκές αγορές είχε προγραμματιστεί αρχικά να γίνει τα τέλη του 2012, αλλά η ημερομηνία αυτή αναθεωρήθηκε με αποτέλεσμα οι παραδόσεις οχημάτων να ξεκινήσουν τον Αύγουστο του 2013.

Η ηλεκτρική του μηχανή με 23 kWh χρησιμοποιεί ένα υγρόψυκτο πακέτο μπαταριών ιόντων λιθίου που προσφέρει μια εμβέλεια 122 km, σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Η υπηρεσία βαθμολόγησε την συνδυασμένη εξοικονόμηση καυσίμου του Focus Electric ως αντίστοιχη των 2,2l (λίτρων) καυσίμου βενζίνης ανά 100 km και κατατάσσει το Focus Electric ως το όχημα με την υψηλότερη απόδοση στην κατανάλωση καυσίμου που πωλείται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής στην κατηγορία «κόμπακτ». Το Focus Electric έλαβε το 2011 το βραβείο «Green Car Vision Award» στην Έκθεση αυτοκινήτου της Ουάσιγκτον.

#### • **Ιστορία**

Το Ford Focus BEV αποτέλεσε την ιδέα ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου που θα εισαγόταν από την Ford Motor Company το 2009 στην Έκθεση αυτοκινήτου της Φρανκφούρτης. Η ιδέα του Focus BEV χρησιμοποίησε την Ευρωπαϊκή έκδοση του Mark II σαν το όχημα «δωρητή» και ενσωμάτωσε καίρια στοιχεία από την υβριδική τεχνολογία της Ford της Βορείου Αμερικής, συμπεριλαμβανομένου και του ηλεκτρικού ελέγχου του κλιματισμού από την έκδοση του 2010 του (οχήματος) Ford Fusion Hybrid.

Μια έκδοση προ της παραγωγής του Focus Electric παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 2011 στην Έκθεση ηλεκτρικών ειδών ευρείας κατανάλωσης υπό το νέο όνομα «Ford Focus Electric» και αυτή η προ της παραγωγής έκδοση βασίστηκε στο μοντέλο αυτοκινήτου Focus Mark III.

- **Χαρακτηριστικά**

Αποτελείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, μόνιμου μαγνήτη 107 kW (143 hp), ροπής 250 Nm και με μιας ταχύτητας μετάδοση κίνησης στους μπροστινούς τροχούς. Χρησιμοποιεί μπαταρίες ιόντων λιθίου 2 kWh με σύστημα ψύξης-θέρμανσης. Αυτό το σύστημα βοηθά στην μεγιστοποίηση του h ζωής της μπαταρίας και στην εμβέλεια. Η φόρτιση γίνεται με φορτιστή 6,6 kW με χρόνο που απαιτείται για την πλήρη φόρτιση τις 3 έως 4 h σε σταθμό φόρτισης που συνδέεται στα 240V ή η φόρτιση συντελείται σε 20 h όταν η φόρτιση γίνεται στα 120V. Η εμβέλεια του οχήματος σύμφωνα με την EPA είναι τα 122 km.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2649 mm

Μήκος: 4359 mm

Πλάτος: 2060 mm

Ύψος: 1466 mm

Απόβαρο: 1674 kg

### **3.15 Tesla Model S**



**Εικόνα 3.14. Tesla Model S.**

Το Tesla Model S είναι ένα πλήρους μεγέθους, εξ ολοκλήρου ηλεκτρικό, πεντάθυρο, πολυτελές τύπου <<liftback>> όχημα που παράγεται από την Tesla Motors και εισήχθη από την εταιρεία τον Ιούνιο του 2012. Βαθμολογήθηκε, δε, δε με 5 αστέρια αναφορικά με την ασφάλεια του οχήματος από την NHTSA.

Το Tesla Model S μορφοποιήθηκε από τον Franz von Holzhausen που στο παρελθόν είχε δουλέψει για την Mazda North American Operations. Το όχημα έλαβε το κωδικό όνομα <<WhiteStar>> κατά τη διάρκεια της έρευνας και της προκαταρκτικής ανάπτυξης. Η ανακοίνωση της κυκλοφορίας του έγινε μέσω ενός δελτίο τύπου στις 30 Ιουνίου του 2008. Το πρωτότυπο όχημα παρουσιάστηκε κατά τη διάρκειας μιας συνέντευξης τύπου στις 26 Μαρτίου 2008. Τον Φεβρουάριο του 2008 αναφέρθηκε ότι η Tesla Motors σχεδίαζε να προσφέρει μια εκτεταμένης εμβέλειας έκδοση του μοντέλου της Model S. Η έκδοση αυτή θα περιελάμβανε μια μηχανή βενζίνης για να αυξήσει την οδηγική εμβέλεια του οχήματος, αλλά αφαιρέθηκε στις μετέπειτα αναθεωρήσεις αυτού. Στη συνδιάσκεψη <<GoingGreen>> το Σεπτέμβριο του 2008 ο διευθύνων σύμβουλος της Tesla, Elon Musk, ανακοίνωσε ότι η Tesla παρήγαγε μόνο ηλεκτρικά οχήματα.

Η κατασκευή ενός εργοστασίου συναρμολόγησης στο Albuquerque του Νέου Μεξικό (μια κεντρική τοποθεσία για μεταφορά) θα ξεκινούσε τον Απρίλιο του 2007, αλλά ματαιώθηκε. Επίσης ανακοινώθηκε ότι ένα εργοστάσιο της εταιρείας θα χτιζόταν στο San Jose της Καλιφόρνια. Τον Μάιο του 2010 η Tesla ανακοίνωσε ότι θα παρήγαγε το Model S σε ένα πρώην εργοστάσιο συναρμολόγησης της NUMMI στο Fremont της Καλιφόρνια που τώρα είναι γνωστό ως το εργοστάσιο της Tesla. Το τρίτο αυτό σχέδιο είναι αυτό που τελικά εφαρμόστηκε.

Τον Ιούνιο του 2015 μετά την εισαγωγή του Model S και με 75.000 παραδόσεις οχημάτων παγκοσμίως, η Tesla ανακοίνωσε ότι οι κάτοχοι του Model S είχαν διανύσει εν συνόλω ένα δισεκατομμύριο εξακόσια εκατομμύρια <<ηλεκτρικά χιλιόμετρα>> και εξοικονομήθηκαν περισσότερες από πεντακόσιες χιλιάδες τόνους εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Το Tesla Model S είναι το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο που φορτίζεται από την πρίζα που έφτασε αυτό το ορόσημο.

- **Παραγωγή**

Η Tesla παράγει το Model S στο Tesla Factory στο Fremont της Καλιφόρνια που καταλαμβάνει μια έκταση 5,4 εκατομμυρίων τετραγωνικών ποδιών. Για την Ευρωπαϊκή αγορά η συναρμολόγηση των οχημάτων και η διανομή αυτή γίνεται από την Tesla στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Διανομής στο Tilburg της Ολλανδίας, τα δε αυτοκίνητα κατασκευάζονται και δοκιμάζονται στο Fremont της Καλιφόρνια. Το πακέτο της μπαταρίας, ο ηλεκτρικός κινητήρας καθώς και τα λοιπά κομμάτια του οχήματος αποσυναρμολογούνται και στέλνονται ξεχωριστά στο Tilburg, όπου συναρμολογούνται. Το κέντρο αυτό στεγάζεται σε ένα βιομηχανικό κτήριο που καταλαμβάνει μια έκταση 18.900 m<sup>2</sup> και εξυπηρετεί και ως εργαστήριο και ως αποθήκη ανταλλακτικών. Η Tesla περιμένει το Model S να <<επιστρέψει>> την ενέργεια που δαπανήθηκε για την κατασκευή του οχήματος αυτού σε λιγότερο από 16.000 km.

- **Διπλός κινητήρας (AWD - All Wheel Drive)**

Στις 9 Οκτώβριου του 2014 η Tesla παρουσίασε τις εκδόσεις των οχημάτων της με κίνηση σε όλους τους τροχούς (AWD - All Wheel Drive) όπως τα μοντέλα Model S 60, Model S 85, Model S P85 προσδιορίζονται από ένα D στο τέλος του αριθμού του μοντέλου. Οι κινητήρες βρίσκονται ένας στο μπροστινό μέρος για την κίνηση των εμπρόσθιων τροχών και ένας στο πίσω μέρος για την κίνηση των πίσω τροχών. Οι δύο αυτοί κινητήρες δεν έχουν καμία μηχανική σύνδεση αλλά ελέγχονται

μέσω ηλεκτρονικού συστήματος. Έτσι προσφέρεται απaráμιλλος έλεγχος πρόσφυσης σε όλες τις συνθήκες.

### **Tesla Model S 70/70D**

Ο κινητήρας του Tesla model S 70 τροφοδοτείται από μια μπαταρία 70 kWh καταφέροντας αυτονομία 455 km με μια φόρτιση (NEDC). Ο κινητήρας έχει ισχύ 382 hp και μέγιστη ισχύ στον άξονα 315 hp και ροπής 440 Nm. Η επιτάχυνση 0-100 km/h σε 5,8 sec με τελική ταχύτητα 225 km/h.

Το μοντέλο Model S 70D διαφέρει σε σχέση με το προηγούμενο μοντέλο ότι υπάρχει κίνηση σε όλους τους τροχούς <<All-Wheel Drive>> (AWD). Η εμβέλεια του οχήματος είναι 470 km σε συνδυασμό με τον κινητήρα 259 hp (στους μπροστά και πίσω τροχούς) με μέγιστη ισχύ στον άξονα 417 hp και ροπής 525 Nm. Η επιταχύνει 0-100 km/h σε 5,4 sec και τελική ταχύτητα 225 km/h.

### **Tesla Model S 85/85D**

Όχημα μεσαίου επιπέδου, ο κινητήρας τροφοδοτείται από μπαταρία 85 kWh επιτρέποντας εμβέλεια 426 km (EPA). Η ισχύς εξόδου του κινητήρα είναι 362 hp και ροπή 440Nm και επιτάχυνση 0-97 km/h σε 5,4 sec. Τελική ταχύτητα 225 km/h

Στην έκδοση 85D με κίνηση σε όλους τους τροχούς η εμβέλεια εκτείνεται 435Km. Η ισχύς του κινητήρα εκτοξεύεται στους 422 hp, ροπή 658 Nm και επιτάχυνση 0-97 Km/h σε 4,4 sec.

### **Tesla Model S P85D**

Το Tesla Model S P85D είναι όχημα που αφορά την επίδοση. Είναι έκδοση με δυο κινητήρες δηλαδή κίνηση σε όλους τους τροχούς. Η συνολική ισχύς του κινητήρα είναι 463 hp, ροπή 966 Nm και επιτάχυνση 0-97 Km/h σε 3,1 sec, αυτά όμως αλλάζουν με μια λειτουργία <<Ludicrous mode>> που αυξάνει την απόδοση των κινητήρων στους 532 hp καταφέροντας επιτάχυνση 0-97 Km/h σε 2,8 sec και εμβέλεια 408 km.

### **Tesla Model S 90D**

Είναι η βελτίωση του Tesla Model S P85D, υπάρχει κίνηση σε όλους τους τροχούς <<All-Wheel Drive>> (AWD). Η εμβέλεια του οχήματος είναι 557 km (NEDC) σε συνδυασμό με τον κινητήρα 259 hp (στους μπροστά και πίσω τροχούς) με μέγιστη ισχύ στον άξονα 417 hp και ροπής 660 Nm. Η επιταχύνει 0-100 km/h σε 4,4 sec και τελική ταχύτητα 250 km/h.

### **Tesla Model S P90D**

Σε αυτήν την έκδοση τα πάντα αφορούν τις επιδόσεις. Υπάρχει κίνηση σε όλους τους τροχούς <<All-Wheel Drive>> (AWD). Η εμβέλεια του οχήματος είναι 509 km (NEDC) σε συνδυασμό με τον κινητήρα με μέγιστη ισχύ στον άξονα 503 hp για τον πίσω κινητήρα και 259 hp για τον πίσω κινητήρα με συνολική ροπή 967 Nm. Η ισχύς του κινητήρα στο πρόγραμμα (Ludicrous) γίνεται 532 hp και μέγιστη ισχύ στον άξονα 463 hp. Η επιταχύνει 0-100 km/h σε 3,3 sec και μέσω του προγράμματος



(Ludicrous) η επιτάχυνση 0-100 km/h επιτυγχάνεται σε 3 sec. Η τελική ταχύτητα είναι 250 km/h.

### 3.16 Model X



**Εικόνα 3.15. Tesla Model X.**

Το Tesla Model X είναι ένα πλήρους μεγέθους όχημα τύπου <<crossover SUV>> που παράγεται από την Tesla Motors. Το πρωτότυπο παρουσιάστηκε στο στούντιο σχεδίασης της Tesla στο Λος Άντζελες στις 9 Φεβρουαρίου 2012. Το Model X αναπτύχθηκε βασισμένο στην πλήρους μεγέθους πλατφόρμα sedan του Tesla Model S, ενώ και τα δύο οχήματα παράγονται στο εργοστάσιο της Tesla στο Fremont της Καλιφόρνια. Οι πρώτες παραδόσεις του Model X ξεκίνησαν τον Σεπτέμβριο του 2015. 208 οχήματα παραδόθηκαν στους πελάτες της εταιρείας μέχρι το τέλος του έτους.

Αρχικά η Tesla είχε προγραμματίσει να ξεκινήσουν οι παραδόσεις του οχήματος στις αρχές του 2014. Ωστόσο, το Φεβρουάριο του 2013, η εταιρεία ανακοίνωσε ότι οι παραδόσεις είχαν επαναπρογραμματιστεί ώστε να ξεκινήσουν στα τέλη του 2014, προκειμένου η εταιρεία να επιτύχει τον στόχο της για την παραγωγή 20.000 οχημάτων Model S το 2013. Τον Νοέμβριο του 2013, η Tesla ανακοίνωσε ότι η μεγάλη παραγωγή του Model X αναμένεται να αρχίσει το δεύτερο τρίμηνο του 2015.

Τον Νοέμβριο του 2014, η Tesla και πάλι καθυστέρησε την διάθεση του οχήματος και ανακοίνωσε ότι οι παραδόσεις Model X θα ξεκίναγαν το τρίτο τρίμηνο του 2015. Οι παραδόσεις ξεκίνησαν τελικά στις 29 Σεπτεμβρίου του 2015. Μεταξύ των λόγων της καθυστέρησης ήταν τα προβλήματα με τις πόρτες τύπου <<φερούγας γερακιού>> και την ψύξη των κινητήρων όταν τραβούσαν τα ρυμουλκούμενα.

Το 2016, η εταιρεία κατέθεσε αγωγή εναντίον της Hoerbiger επειδή δεν παρήγαγε ικανοποιητικής ποιότητας πόρτες για το Model X. Η Tesla ισχυριζόταν ότι οι πόρτες εμφάνιζαν διαρροές λαδιού και φαινόμενα υπερθέρμανσης. Πολλοί πιστεύουν ότι αυτός είναι ένας από τους λόγους για την καθυστέρηση του Model X. Στις 29 Ιουλίου του 2015, η Tesla ανακοίνωσε ένα πρόγραμμα αναφοράς, όπου οι ιδιοκτήτες του Model S, που θα προσέλκυαν 10 νέους αγοραστές για την εταιρεία, θα κέρδιζαν την δυνατότητα να αποκτήσουν ένα Founder Series Model X στην τιμή του βασικού μοντέλου. Στο πρώτο άτομο (σε κάθε μία από τις τρεις περιοχές: Αμερική, Ευρώπη, Ασία-Ειρηνικός) που θα έφτανε αυτό το σημείο αναφοράς των δέκα αγοραστών θα του δινόταν αυτό το μοντέλο δωρεάν.

Το Model X είναι όχημα με κίνηση σε όλους τους τροχούς για μεγαλύτερη εμβέλεια και πρόσφυση. Υπάρχουν 3 εκδόσεις του model X:

- Η πρώτη είναι η 75D η οποία περιλαμβάνει ηλεκτροκινητήρες ικανούς να προσφέρουν τελική ταχύτητα 210 km/h και επιτάχυνση 0-100 km/h σε 6,2 sec. Η εμβέλεια του οχήματος είναι 417 km (NEDC).
- Η δεύτερη κατηγορία 90D αποτελείται από μπαταρία προσφέροντας εμβέλεια 470 km (NEDC). Απαιτείται χρόνος επιτάχυνσης μέχρι τα 100 km/h σε 5 sec και τελική ταχύτητα είναι 210 km/h.
- Το τρίτο όχημα τις σειρές P90D αποτελείται από κινητήρα προσφέροντας τελική ταχύτητα 250 km/h και επιτάχυνση 0-100 km/h (κανονικό πρόγραμμα) σε 4 sec ή (Ludicrous Speed Upgrade) σε 3,4 sec. Τέλος αποτελείται από μπαταρία η οποία προσφέρει εμβέλεια 450km (NEDC).

### 3.17 Mercedes-Benz B-class Electric drive



Εικόνα 3.16. Mercedes-Benz B-class Electric drive.

- **Χαρακτηριστικά**

Το όχημα αυτό αποτελείται από μπαταρίες ιόντων λιθίου υψηλής τάσης 28 kWh προσφέροντας εμβέλεια 200 km. Ο κινητήρας είναι ασύγχρονος 132 kW (179 hp) και ροπή 340 Nm. Η επιτάχυνση από τα 0 στα 100 km/h επιτυγχάνεται σε 7,9 sec



και η τελική ταχύτητα του οχήματος διαμορφώνεται στα 160 km/h. Η πλήρης φόρτιση επιτυγχάνεται από πρίζα σπιτιού 230V/13A και σε χρόνο 9 h. Ακόμα μπορεί να γίνει μέσω Wallbox (400V/16A) ή μέσω δημόσιου φορτιστή σε τρεις ώρες.

### 3.18 Toyota RAV4 EV



**Εικόνα 3.17. Toyota RAV4 EV.**

Το RAV4 EV είναι μια εξ ολοκλήρου ηλεκτρική έκδοση του δημοφιλούς RAV4 SUV που παράγεται από την Toyota. Δύο <<γενιές>> της ηλεκτρικής έκδοσης του μοντέλου πωλήθηκαν στην Καλιφόρνια και εν γένει στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, με διαφορά σχεδόν δέκα χρόνια μεταξύ τους.

Τα οχήματα που ανήκαν στην πρώτη <<γενιά>> οχημάτων ήταν μισθωμένα μεταξύ των ετών 1997 και 2003, και μετά από αίτημα των μισθωτών, πολλά οχήματα πωλήθηκαν, αφού η παραγωγή του είχε διακοπεί. Συνολικά 1.484 οχήματα μισθώθηκαν ή / και πωλήθηκαν στην Καλιφόρνια ώστε να εκπληρωθεί το περιεχόμενο του διατάγματος της Πολιτείας για οχήματα με μηδενικές εκπομπές ρύπων. Ένας μικρός αριθμός πωλήθηκαν ή μισθώθηκαν σε άλλες Πολιτείες. Από τα μέσα του 2012, υπήρχαν σχεδόν 500 οχήματα ακόμα σε χρήση στην Καλιφόρνια. Η παραγωγή του ηλεκτρικού οχήματος δεύτερης γενιάς περιορίστηκε στα 2.600 οχήματα κατά τη διάρκεια μιας περιόδου τριών ετών, με τις πωλήσεις να περιορίζονται στην Καλιφόρνια στις αρχές του 2012. Η παραγωγή έληξε τον Σεπτέμβριο του 2014. Συνολικά 2.489 οχήματα αυτής της <<γενιάς>> πουλήθηκαν στην Καλιφόρνια μέχρι τον Απρίλιο του 2015. Η Toyota συνεργάστηκε με την Tesla Motors για την ανάπτυξη της δεύτερης γενιάς RAV4 EV, και το ηλεκτρικό SUV κυκλοφόρησε στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής τον Σεπτέμβριο του 2012. Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. βαθμολόγησε το δεύτερης

γενιάς RAV4 EV με ένα συνδυασμένο εύρος 166 km και μια συνδυασμένη βαθμολογία ως προς την οικονομία καυσίμου ως ισοδύναμη προς 3,1 l ανά 100 km.

## **Χαρακτηριστικά**

- **1η Γενιά**

Η 1η έκδοση του οχήματος έμοιαζε με την έκδοση του αυτοκινήτου εσωτερικής καύσης χωρίς όμως εξάτμιση. Η τελική ταχύτητα ήταν 126 km/h και σύμφωνα με την EPA η εμβέλεια ήταν 153 km. Η τροφοδοσία του κινητήρα γινόταν από 95Ah NiMH (Nickel-metal hydride) μπαταρίες με χωρητικότητα 27 kWh, που όπως αποδείχτηκε ήταν και πολύ ανθεκτικές. Μερικά οχήματα κατάφεραν να διανύσουν με τις αρχικές μπαταρίες περισσότερα από 240.000 km. Τέλος ήταν ένα από τα μερικά οχήματα που χρησιμοποιούσαν μιας ταχύτητας κιβώτιο ταχυτήτων.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2410 mm

Μήκος: 3980 mm

Πλάτος: 1694 mm

Ύψος: 1636 mm

Απόβαρο: 1560 kg

- **2η γενιά**

Η δεύτερη γενιά οχημάτων έγινε σε συνεργασία με την Tesla. Ο ηλεκτρικός κινητήρας ήταν εναλλασσόμενου ρεύματος επαγωγής από την Tesla και παρέκλινε από τις πρακτικές της Toyota που χρησιμοποιούσε στα υβριδικά οχήματα της κινητήρες συγχρόνους μόνιμου μαγνήτη. Το όχημα είχε βάρος 1830 kg και ήταν βαρύτερο από το RAV4 με V-6 κινητήρα επροσθιοκίνητο.

Η μέγιστη ισχύς εξόδου του κινητήρα είναι 115 kW (154 hp) και ροπής 296 Nm στην κανονική λειτουργία και 370 Nm στην σπορ λειτουργία. Στην κανονική λειτουργία η τελική ταχύτητα είναι 137 km/h και στην σπορ λειτουργία 160 km/h. Η δε κίνηση του οχήματος γίνεται στους εμπρόσθιους τροχούς.

Η μπαταρία είναι 386V ιόντων λιθίου και περιλάμβανε 4500 κελιά και χρήσιμης ενέργειας ανά πλήρη φόρτιση 41,8 kWh με μέγιστη ισχύ εξόδου 129 kW. Περιλάμβανε ενσωματωμένο φορτιστή 10 kW. Η μπαταρία βρισκόταν στο πάτωμα μειώνοντας την απόσταση από το δάπεδο προσφέροντας χαμηλότερο κέντρο βάρους και ως εκ τούτου καλύτερο χειρισμό, το βάρος είναι 380 kg. Το όχημα διαθέτει δυο λειτουργίες φόρτισης

1. Η Κανονική λειτουργία(standard mode) όπου οι μπαταρίες υψηλής τάσης φόρτιζαν μέχρι 35 kW/h και η Toyota ανέμενε ότι σύμφωνα με τα πρότυπα της EPA θα επιτύχει εμβέλεια 148 km. Αυτή η λειτουργία είχε σχεδιαστεί για την μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας σε βάρος της εμβέλειας.
2. Η Εκτεταμένη λειτουργία (Extended mode) σύμφωνα με τις εκτιμήσεις Toyota, όπου οι μπαταρίες φόρτιζαν στην πλήρως αξιοποιήσιμη

χωρητικότητα των 41,8 kWh, παρέχοντας μία αναμενόμενη αυτονομία 182 km σύμφωνα με τα πρότυπα της EPA.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2560-2660 mm

Μήκος: 4395-4620 mm

Πλάτος: 1815-1855 mm

Απόβαρο: 1.830 kg

### **3.19 BYD e6**



**Εικόνα 3.18. BYD e6.**

Το BYD e6 είναι ένα εξ ολοκλήρου ηλεκτρικό τύπου <<compact crossover / compact MPV>> όχημα που κατασκευάζεται από την BYD Auto με εμβέλεια 300 χιλιομέτρων (186 μίλια), σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία. Οι δοκιμές πεδίου ξεκίνησαν στην Κίνα τον Μάιο του 2010 με 40 οχήματα που λειτουργούν ως ταξί στην πόλη Shenzhen. Οι πωλήσεις προς το ευρύ κοινό άρχισαν στην πόλη Shenzhen στις 26 Οκτωβρίου του 2011, μετά από καθυστερήσεις πλέον των δύο ετών (η αρχική ημερομηνία διάθεσης του οχήματος ήταν το 2009). Από το 2010 συνολικά 14.257 οχήματα πωλήθηκαν στην Κίνα έως τον Δεκέμβριο του 2015. Από τον Ιανουάριο του 2016 τα οχήματα e6 χρησιμοποιούνται στην Κολομβία, το Βέλγιο, τις ΗΠΑ (Νέα Υόρκη και Σικάγο) και το Ηνωμένο Βασίλειο σαν ταξί.

Η BYD σχεδίαζε να πωλήσει το μοντέλο e6 στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής για 35.000 δολάρια χωρίς να ληφθούν υπόψη τα όπλα κίνητρα της Κυβέρνησης. Ωστόσο, μετά τον εκ νέου προγραμματισμό αναφορικά με την ημερομηνία διάθεσης του μοντέλου στις Η.Π.Α., τον Οκτώβριο του 2011 η BYD ανακοίνωσε ότι οι πωλήσεις σε πελάτες λιανικής θα καθυστερούσαν τουλάχιστον για 18 μήνες λόγω της έλλειψης υποδομών αναφορικά με την φόρτιση των οχημάτων. Τον Μάιο του 2013, η BYD ανακοίνωσε ότι το e6 θα πωλείται στις Η.Π.Α. μόνο για τους καταναλωτές στόλου προς 52.000 δολάρια, καθώς η εταιρεία θα επικεντρωθεί στην πωλήσεις ηλεκτρικών λεωφορείων στη Βόρεια Αμερική.

## • **ΑΡΧΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Τα ειδικά χαρακτηριστικά του οχήματος είναι η αυτονομία του μέχρι 400 km (με 80 kWh μπαταρία), η εγγυημένη αντοχή (του κύκλου της φόρτισης) των 4000 κύκλων φόρτισης και η γρήγορη φόρτιση της μπαταρίας έως το 80 τοις εκατό αυτής σε 15 min. Ως εκ τούτου, τα αυτοκίνητα χρησιμοποιούνται συχνά σε στόλους οχημάτων με μεγάλες απαιτήσεις εμβέλειας, όπως τα ταξί, τα αυτοκίνητα της αστυνομίας ή οι ενοικιάσεις αυτοκινήτων.

## • **ΑΝΑΘΕΩΡΗΜΕΝΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Η BYD ανέφερε ένα μικρότερο πακέτο μπαταρίας της τάξης των 48 kWh για το e6 στην αρχική του εμφάνιση το 2009 στο North American International Auto Show. Ωστόσο, στην Έκθεση αυτή το 2010, η BYD παρουσίασε μια εμβέλεια της τάξης των 330 χιλιομέτρων ανά φόρτιση, με εκτιμώμενο χρόνο επιτάχυνσης 0-100 km/h κάτω των 14 sec και τελική ταχύτητα 87 τα 140 km για το e6.

Η εμβέλεια έκτοτε μειώθηκε και η κατανάλωση αυξήθηκε. Σύμφωνα με την BYD, τα 40 οχήματα επίδειξης, που άρχισαν να λειτουργούν ως ταξί στην πόλη Shenzhen της Κίνας, έχουν εμβέλεια 300 km με μέγιστη ταχύτητα τα 140 km/h και κατανάλωση της τάξης των 21,5 kWh ανά 100 km. Τον Αύγουστο του 2011 η BYD διευκρίνισε ότι το e6 έχει μια εμβέλεια από 230 έως 240 km υπό πιο απαιτητικές συνθήκες, όπως η λειτουργία του κλιματισμού ή η οδήγηση σε κλίση εδάφους λόφου. Σε πιο ευνοϊκές συνθήκες, όπως η οδήγηση στην πόλη εμβέλεια κυμαίνεται από τα 290 μέχρι τα 320 km. Ο ισχυρισμός αυτός, ωστόσο, δεν έχει ελεγχθεί από οποιονδήποτε ανεξάρτητο έλεγχο τρίτων. Τον Ιανουάριο του 2011 η BYD ανακοίνωσε ότι σε απάντηση στις προτιμήσεις των καταναλωτών των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, η Αμερικανική έκδοση θα είναι πιο ισχυρή από ότι η Κινεζική, και ότι θα έχει ένα πακέτο μπαταρίας της τάξης των 60 kWh με ηλεκτρικό κινητήρα 160 kW, που μπορεί να φτάσει από τα 0 έως τα 100 km/h σε λιγότερο από 8 sec.

## • **Μπαταρίες και κινητήρας**

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούσε το BYD είναι FE(lithium iron phosphate battery) η οποία τροφοδοτεί το e6 και αποτελεί τον βασικό πυρήνα τις εταιρίας. Όλες οι χημικές ουσίες των μπαταριών μπορούν να ανακυκλωθούν. Υπάρχουν 4 συνδυασμοί για το e6:

1. Κινητήρας μέγιστης ισχύ εξόδου 75 kW 110 hp .
2. Κινητήρες μέγιστης ισχύς 75 kW (101 hp) και 40 kW (54 hp).
3. Κινητήρας μέγιστης ισχύς 160 kW (215 hp) .
4. Κινητήρες μέγιστης ισχύς 160 kW (215 hp) και 40 kW (54 hp).

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή οι μπαταρίες λιθίου (iron phosphate LiFePO4) φορτίζουν μέσω γρήγορου σταθμού φόρτισης σε 10 min μέχρι το 50%. Η επιλογή με τους δύο κινητήρες που χρησιμοποιούνται ένας στους εμπρόσθιους τροχούς και ένας στο πίσω μέρος έχει σαν αποτέλεσμα την κίνηση σε όλους τους τροχούς. Οι κινητήρες είναι ανάλογα με την κατηγορία είτε δύο είτε ένας, σύγχρονος μόνιμου μαγνήτη .

Με τα στοιχεία που υπάρχουν, το καινούργιο μοντέλο θα αποτελείται από κινητήρα 90 kWh (121 hp), σύγχρονο, μόνιμου μαγνήτη προσφέροντας ροπή 450 Nm, εμβέλεια 300 km σε κάθε φόρτιση και τελική ταχύτητα 140 km/h. Η χωρητικότητα της μπαταρίας θα είναι 61,4 kWh τύπου Fe (iron phosphate) καθώς προσφέρουν ασφάλεια (κατά την θραύση, σε περίπτωση φωτιάς και στο νερό), σταθερότητα (αύξηση θερμοκρασίας ή πτώση θερμοκρασίας) κατά την λειτουργία, είναι φιλικές προς το περιβάλλον και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Η κατανάλωση ενέργειας θα είναι 5 km/100km.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2830 mm

Μήκος: 4560 mm

Πλάτος: 1822 mm

Ύψος: 1645 mm

Απόβαρο: 2020 kg

### **3.20 BYD Ηλεκτρικά λεωφορεία**



**Εικόνα 3.19. BYD electric buses.**

Η εταιρία εκτός από το ηλεκτροκίνητο όχημα ε6 κατασκευάζει και λεωφορεία. Τα BYD ebus έχουν σχεδιαστεί για την άνεση του οδηγού και των επιβατών προσφέροντας χαμηλό θόρυβο και μηδενικές εκπομπές, είναι το πρώτο με μπαταρίες σιδήρου φωσφόρου (Fe Iron-phosphate). Η αυτονομία που έχουν τα λεωφορεία της εταιρίας είναι η καλύτερη από κάθε άλλο παρεμφερές λεωφορείο.

Η BYD έχει πιστοποιηθεί για τα λεωφορεία της από την ECWVTA (European Community Whole Vehicle Type Approval) και την NHTS (National Highway Traffic Safety Administration). Υπάρχουν 4 εργοστάσια σε όλο τον κόσμο και μπορούν να κατασκευάζουν περισσότερα από 7000 λεωφορεία κάθε χρόνο.



### 3.20.1 Λεωφορείο μήκους 8 μέτρων



Εικόνα 3.20. BYD electric bus 8m.

Το πιο μικρό λεωφορείο της εταιρίας που είναι 8 μέτρα χωράει συνολικά 57 επιβάτες εκ των οποίων οι 22 είναι καθήμενοι και οι 35 όρθιοι. Για τις Ευρωπαϊκές αγορές το λεωφορείο εφοδιάζεται με δυο επιπλέον θέσεις. Αποτελείται από δυο κινητήρες των 90 kWh με εμβέλεια 298 km και τελική ταχύτητα 70 km/h. Η μπαταρίες έχουν ισχύ 298 kWh και φορτίζουν με ισχύ 40x2 kW σε 2 h.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 4070 mm

Μήκος: 8060 mm

Πλάτος: 2400 mm

Ύψος: 3200 mm

### 3.20.2 Λεωφορείο μήκους 10.2 μέτρων



Εικόνα 3.21. BYD electric bus 10.2m.

Αποτελείται από δύο κινητήρες, μόνιμου μαγνήτη, σύγχρονους, ισχύος 150 kW ο καθένας και με τελική ταχύτητα 70 km/h. Η εμβέλεια κάτω από μικρές διαδρομές είναι 303 km σε συνεργασία με τις μπαταρίες Fe χωρητικότητας 320 kWh. Η ισχύς φόρτισης είναι 100x2 kW και ο χρόνος φόρτισης διαμορφώνεται στις 1,5 h.

Το λεωφορείο έχει χωρητικότητα για 81 επιβάτες εκ των οποίων οι 54 είναι καθήμενοι και οι 27 όρθιοι

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 5950 mm

Μήκος: 10200 mm

Πλάτος: 2550 mm

Ύψος: 4400 mm

### 3.20.3 Λεωφορείο μήκους 10.8 μέτρων



**Εικόνα 3.22. BYD electric bus 10.8m.**

Αποτελείται από κινητήρες που έχουν ισχύ ο καθένας 90 kW, μπαταρίες (iron phosphate) με χωρητικότητα 324 kWh και εμβέλεια σε σύντομες διαδρομές τα 334 km. Μέσω ισχύος φόρτισης 40x2 kW απαιτούνται 4 h για την φόρτιση. Το λεωφορείο έχει χωρητικότητα για 78 επιβάτες (26 καθιστοί και 52 όρθιοι).

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 5650 mm

Μήκος: 10850 mm

Πλάτος: 2550 mm

Ύψος: 3300 mm

### 3.20.4 Λεωφορείο 12 μέτρων



Εικόνα 3.23. BYD electric bus 12m.

Σε αυτό του είδους λεωφορείο υπάρχουν παραλλαγές τόσο ως προς τον αριθμό των μπαταριών όσο και τις πόρτες, τις οποίες διαθέτουν.

- Η έκδοση με τις 2 πόρτες και 3 πακέτα μπαταριών έχει χωρητικότητα για 68 επιβάτες (31 καθιστοί και 37 όρθιοι). Αποτελείται από δυο κινητήρες με ισχύς ο καθένας 90 kWh, εμβέλεια σε σύντομες διαδρομές 317 km και χωρητικότητα μπαταρίας 324 kWh. Τέλος η φόρτιση γίνεται με ισχύ φόρτισης 30x2 kW και απαιτούνται 5,5 h για την φόρτιση.
- Η έκδοση με τις 3 πόρτες και 2 πακέτα μπαταριών έχει χωρητικότητα για 85 επιβάτες (27 καθιστοί και 58 όρθιοι). Αποτελείται από δυο κινητήρες με ισχύς ο καθένας 90 kWh, εμβέλεια σε σύντομες διαδρομές 211 km και χωρητικότητα μπαταρίας 216 kWh. Τέλος η φόρτιση γίνεται με ισχύ φόρτισης 30x2 kW και απαιτούνται 3,5 h για την φόρτιση.
- Η έκδοση με τις 3 πόρτες και 3 πακέτα μπαταριών έχει χωρητικότητα για 68 επιβατών (26 καθιστοί και 42 όρθιοι). Αποτελείται από δυο κινητήρες με ισχύς ο καθένας 90 kWh, εμβέλεια σε σύντομες διαδρομές 317 km και χωρητικότητα μπαταρίας 324 kWh. Τέλος η φόρτιση γίνεται με ισχύ φόρτισης 30x2 kW και απαιτούνται 5,5 h για την φόρτιση.
- Υπάρχει και η έκδοση RHD λεωφορείο 12 μέτρων με χωρητικότητα 65 επιβατών (26 καθιστοί 39 όρθιοι). Αποτελείται από 2 κινητήρες ισχύος 90 kW ο καθένας, με εμβέλεια σε σύντομες διαδρομές τα 317 km και χωρητικότητα μπαταρίας 324 kWh. Η φόρτιση γίνεται με φορτιστή 40x2 kW και απαιτούνται 4 h για την φόρτιση.

#### • Διαστάσεις (και για τα 3 είδη λεωφορίων)

Μεταξόνιο: 5900 mm

Μήκος: 12000 mm

Πλάτος: 2550 mm

Ύψος: 3360 mm



### 3.20.5 Λεωφορείο 18 μέτρων



**Εικόνα 3.24. BYD electric bus 18m.**

Αποτελείται από δύο κινητήρες ισχύος 150 kW ο καθένας, μπαταρίες (iron phosphate) με χωρητικότητα 270 kWh και εμβέλεια σε σύντομες διαδρομές τα 220 χιλιόμετρα. Μέσω ισχύος φόρτισης 40x2 kW απαιτούνται 3,5 h για την φόρτιση. Το λεωφορείο έχει χωρητικότητα για 150 επιβάτες (51 καθιστοί και 99 όρθιοι).

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 5250/6700 mm

Μήκος: 18100 mm

Πλάτος: 2550 mm

Ύψος: 3435 mm

### 3.21 Renault ZOE



**Εικόνα 3.25. Renault ZOE.**

Το Renault ZOE είναι ένα μικρομεσαίο σεντάν 5-θέσιο το οποίο έκανε την πρώτη εμφάνιση του στο Παρίσι σαν πρωτότυπο. Έχει τις διαστάσεις ενός Clio αλλά είναι πιο ψηλό λόγω των μπαταριών που διαθέτει.

- **Χαρακτηριστικά**

Η μπαταρία χωρητικότητας 22 kWh είναι ιόντων λιθίου. Χρησιμοποιούσε σύγχρονο ηλεκτρικό κινητήρα 65 kW (87 hp) που προμηθευόταν από την Continental μέγιστης ροπής 220Nm και τελική ταχύτητα 135 km/h. Σύμφωνα με την NEDC η εμβέλεια του οχήματος είναι τα 210 km (2012-Ιούνιος 2015) και τα 250 km (Ιούνιος 2015 μέχρι και σήμερα) σύμφωνα με την NEDC.

- **Διαστάσεις**

Μεταξόνιο: 2588 mm

Μήκος: 4048 mm

Πλάτος: 1730 mm

Ύψος: 1568 mm

Απόβαρο: 1468 kg

### **3.22 Renault KANGOO Z.E**



**Εικόνα 3.26. Renault KANGOO Z.E.**

Το Renault KANGOO Z.E είναι ένα επαγγελματικό όχημα, το οποίο συνδυάζει με τον καλύτερο τρόπο τα πλεονεκτήματα του Renault Kangoo Express, με τα οφέλη της ηλεκτρικής τεχνολογίας, των μηδενικών ρύπων και τα χαμηλά επίπεδα θορύβου. Το KANGOO MAXI Z.E προσφέρεται στην επαγγελματική έκδοση με 2 ή 5 θέσεις συνδυάζοντας τα προαναφερθέντα οφέλη.

- **Χαρακτηριστικά**

Αποτελείται από σύγχρονο κινητήρα με πηνίο ρότορα μέγιστης ισχύος 44 kW (56 hp) ροπής 226 Nm καταφέροντας τελική ταχύτητα 130 km/h, μιας ταχύτητας, με μετάδοση κίνησης στους μπροστινούς τροχούς. Οι μπαταρίες είναι ιόντων λιθίου 22 kWh προσφέροντας εμβέλεια 170 km ανάλογα με τις οδηγικές συνθήκες.



# 4 Ηλεκτρικές Μηχανές



## 4.1 Εισαγωγή

Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα αποτελούνται από την ηλεκτρική μηχανή, όπου αποτελεί την καρδιά του αυτοκινήτου. Οι ηλεκτρικές μηχανές (δηλαδή οι ηλεκτρικοί κινητήρες και οι ηλεκτρικές γεννήτριες αποτελούν την βασική συνιστώσα σε ένα σύστημα ηλεκτρομηχανικής μετατροπής ενέργειας. Με τον ηλεκτρικό κινητήρα επιτυγχάνεται η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ενώ με την ηλεκτρική γεννήτρια η μετατροπή της μηχανικής σε ηλεκτρική.

Αν και υπάρχουν διάφορα είδη ηλεκτρικών μηχανών, οι βασικές αρχές λειτουργίας είναι κοινές. Σε κάθε ηλεκτρική μηχανή έχουμε κίνηση αγωγών μέσα σε μαγνητικό πεδίο οπότε αναπτύσσονται τάσεις (φαινόμενο γεννήτριας), στην περίπτωση κλειστού κυκλώματος, όπου οι κινούμενοι αγωγοί διαρρέονται από ρεύμα αναπτύσσονται μηχανικές δυνάμεις (φαινόμενο κινητήρα). Η διαδικασία με την οποία είναι δυνατή η αλληλεπίδραση μεταξύ ενός ηλεκτρικού και μηχανικού συστήματος είναι το μαγνητικό πεδίο στο διάκενο της μηχανής.

### 4.1.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος μπορεί να είναι είτε γεννήτριες που μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια με την μορφή συνεχούς ρεύματος, είτε κινητήρες που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Οι περισσότερες μηχανές συνεχούς ρεύματος μοιάζουν με τις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, αφού και στις δύο κατηγορίες τα ρεύματα και οι τάσεις στο εσωτερικό των μηχανών είναι εναλλασσόμενης μορφής. Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος έχουν συνεχή έξοδο επειδή διαθέτουν έναν μηχανισμό που μετατρέπει τις εσωτερικές εναλλασσόμενες τάσεις σε συνεχείς. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός ονομάζεται συλλέκτης και οι μηχανές συνεχούς ρεύματος ονομάζονται μηχανές με συλλέκτη. Υπάρχουν πολλοί λόγοι που στις μέρες μας έχουν επιδράσει στο να επικρατήσουν αυτού του είδους οι κινητήρες. Ένας από αυτούς είναι ότι τα συστήματα συνεχούς ρεύματος είναι αναντικατάστατα στα αυτοκίνητα, φορτηγά και αεροπλάνα. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλες μεταβολές στην ταχύτητα περιστροφής, μεγάλη ροπή και λόγω της αντοχής στις υπερφορτίσεις.

### 4.1.2 Κατασκευαστικά στοιχεία μηχανών συνεχούς ρεύματος

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος αποτελούνται από ένα στατικό μέρος που ονομάζεται στάτης και ένα κινητό που ονομάζεται δρομέας.

Ο στάτης είναι το σύνολο των τμημάτων τα οποία είναι ακίνητα και έχουν σαν σκοπό την δημιουργία μαγνητικής ροής και αποτελείται από :

Το ζύγωμα

Τους μαγνητικούς πόλους

Τους βοηθητικούς πόλους

Τον ψηκτροφορέα

Τις ψήκτρες

Το κιβώτιο ακροδεκτών

Τα καλύμματα

Ο δρομέας είναι το σύνολο των κινητών τμημάτων και αποτελείται από :

Τον άξονα

Το επαγωγικό τύμπανο

Τον πυρήνα

Το συλλέκτη

Τον ανεμιστήρα

### **4.1.3 Ανάλυση μερών μηχανής συνεχούς ρεύματος**

#### **4.1.3.1 Στάτης**

1. Ζύγωμα: Συνθέτει τον κορμό της μηχανής κατασκευάζεται από χυτοχάλυβα ή ελατό σίδηρο. Μέσω του ζυγώματος ενώνονται μηχανικά και μαγνητικά οι πόλοι.
2. Μαγνητικοί πόλοι: Στερεώνονται στο ζύγωμα και κατασκευάζονται από ελατό σίδηρο αν μιλάμε για γεννήτρια που έχει τυλίγματα στους πόλους ή από χάλυβα αν η γεννήτρια είναι με μόνιμους πόλους. Οι μαγνητικοί πόλοι αποτελούν την πρωτεύουσα πηγή μαγνητικής ροής στο διάκενο της μηχανής
3. Βοηθητικοί πόλοι: Χρησιμοποιούνται για την αποφυγή σπινθηρισμών του συλλέκτη από την μετακίνηση της ουδέτερης ζώνης, κατά την υπό φορτίο λειτουργία.
4. Ψηκτροφορέας: Ο ψηκτροφορέας είναι το σύστημα πάνω στο οποίο τοποθετούνται οι ψηκτροθήκες. Ο ψηκτροφορέας στερεώνει το κάλυμμα της μηχανής, το οποίο βρίσκεται από την πλευρά του συλλέκτη. Έχει σαν σκοπό την απαγωγή ή προσαγωγή του ρεύματος των τυλιγμάτων του δρομέα.
5. Ψήκτρες: Είναι τεμάχια από σκληρό άνθρακα ή γραφίτη ή από μίγμα άνθρακα και χαλκού. Τοποθετούνται εσωτερικά του ψηκτροφορέα και πιέζονται από ελατήριο για την σωστή επαφή με τον συλλέκτη.
6. Κιβώτιο ακροδεκτών: Είναι το πλαίσιο στο οποίο είναι ενσωματωμένοι οι ακροδέκτες από τους οποίους τροφοδοτείται ο κινητήρας.
7. Κάλυμμα: Χρησιμοποιείται για την προστασία του εσωτερικού μέρους της μηχανής και την στήριξη του άξονα του δρομέα.

#### **4.1.3.2 Δρομέας**

1. Άξονας: Ο άξονας φέρει το επαγωγικό τύμπανο, το συλλέκτη και τον ανεμιστήρα που στρέφονται με την ίδια ταχύτητα περιστροφής.
2. Επαγωγικό τύμπανο: Κατασκευάζεται από μονωμένο χάλκινο αγωγό κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής.
3. Πυρήνας: Ο πυρήνας φέρει το τύλιγμα τυμπάνου και κατασκευάζεται από μονωμένα ελάσματα για να μειωθούν οι απώλειες λόγω δινορρευμάτων.

4. Συλλέκτης: Κατασκευάζεται από χάλκινα ελάσματα που ονομάζονται τομείς του συλλέκτη.
5. Ανεμιστήρας: Στερεώνεται στον άξονα και κατά την περιστροφή του δημιουργεί ρεύματα αέρα.

#### 4.1.4 Κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος

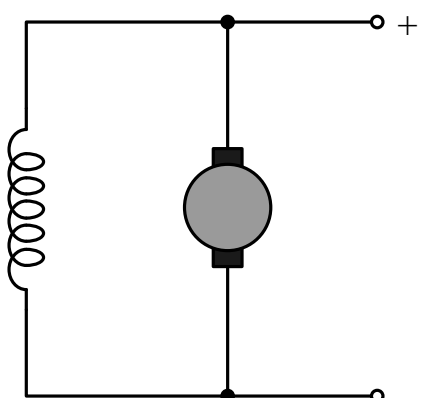
Οι κατηγορίες των κινητήρων συνεχούς ρεύματος διαμορφώνονται ανάλογα με τα τυλίγματα διέγερσης που διαθέτουν και με τον τρόπο που αυτά συνδέονται. Χωρίζονται σε :

1. Κινητήρες ξένης διέγερσης
2. Κινητήρες παράλληλης διέγερσης
3. Κινητήρες διέγερσης σειράς
4. Κινητήρες σύνθετης διέγερσης

#### 4.1.5 Ανάλυση κατηγοριών κινητήρων συνεχούς ρεύματος

##### 4.1.5.1 Κινητήρες παράλληλης διέγερσης

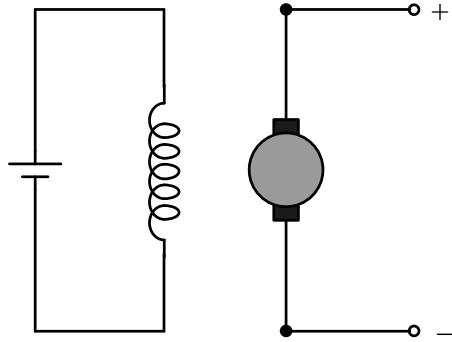
Το κύκλωμα διέγερσης ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης τροφοδοτείται από το κύκλωμα του σπλισμού.



Εικόνα 4.1. Κινητήρας παράλληλης διέγερσης.

##### 4.1.5.2 Κινητήρες ξένης διέγερσης

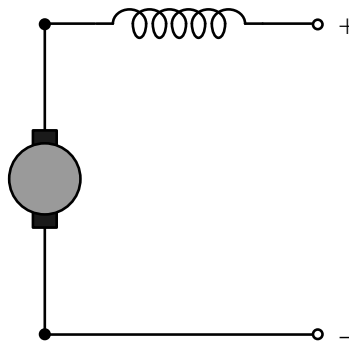
Το κύκλωμα διέγερσης ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης τροφοδοτείται από μια ανεξάρτητη πηγή και ισχύουν τα ίδια όπως τον κινητήρα ξένης διέγερσης



**Εικόνα 4.2. Κινητήρας ξένης διέγερσης.**

### 4.1.5.3 Κινητήρες διέγερσης σειράς

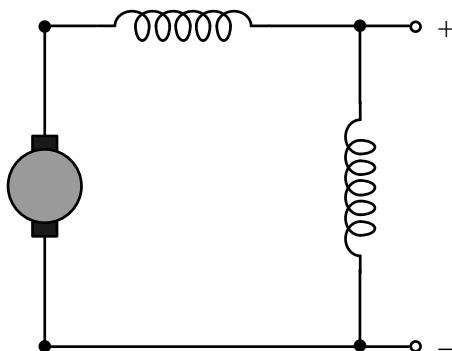
Το τύλιγμα διέγερσης είναι σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο, το ρεύμα τυμπάνου δημιουργεί και το πεδίο διέγερσης του κινητήρα



**Εικόνα 4.3. Κινητήρας διέγερσης σειράς.**

### 4.1.5.4 Κινητήρες σύνθετης διέγερσης

Ο κινητήρας σύνθετης διέγερσης αποτελείται από δύο τυλίγματα, το τύλιγμα διέγερσης σειράς και το παράλληλο τύλιγμα διέγερσης.

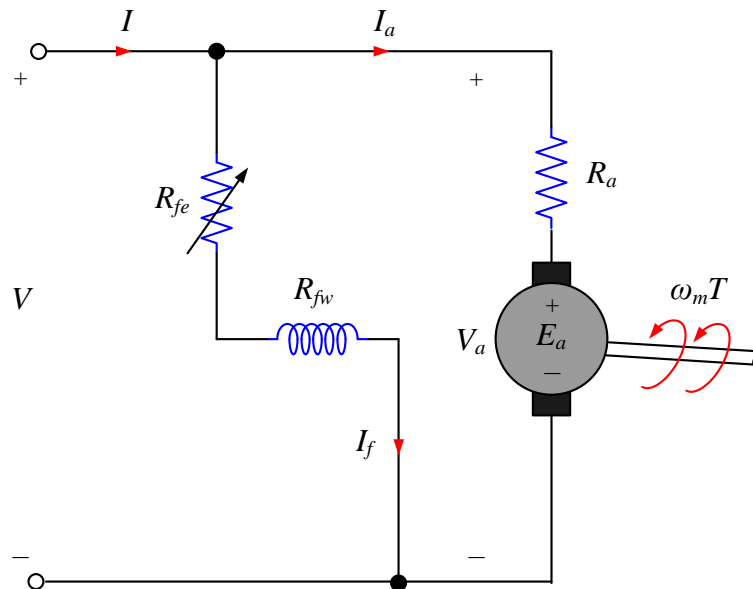


**Εικόνα 4.4. Κινητήρας σύνθετης διέγερσης.**



## 4.1.6 Επεξήγηση κατηγοριών κινητήρων

### 4.1.6.1 Κινητήρες ξένης διέγερσης και κινητήρες παράλληλης διέγερσης



Εικόνα 4.5. Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα Σ.ρ. παράλληλης διέγερσης.

Όπως προείπαμε κύκλωμα διέγερσης ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης τροφοδοτείται από μια ανεξάρτητη πηγή συνεχούς ρεύματος, ενώ ο κινητήρας παράλληλης διέγερσης τροφοδοτείται από το κύκλωμα του οπλισμού του. Αν δεν μεταβάλλεται η τάση τροφοδοσίας, δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ του κινητήρα ξένης και παράλληλης διέγερσης και ισχύουν οι ίδιες αρχές. Στους κινητήρες παράλληλης διέγερσης το ρεύμα τυμπάνου δεν επηρεάζει την ροή ανά πόλο του πεδίου διέγερσης. Όταν ο κινητήρας διαθέτει τυλίγμα αντιστάθμισης και βοηθητικούς πόλους, η ροή παραμένει σταθερή, όταν το ρεύμα διέγερσης παραμένει σταθερό. Δηλαδή

$$n = \frac{V_a}{K_g \Phi} - \frac{R_a}{K_g K_m \Phi^2} T \quad (4.1)$$

όπου

$$T = K_m \Phi (I_f = \text{σταθ}) I_a = K'_m I_a \quad (4.2)$$

$$K'_m = K_m \Phi (\text{Nm/A}) \quad (4.3)$$

$n$  = στροφές (rpm)

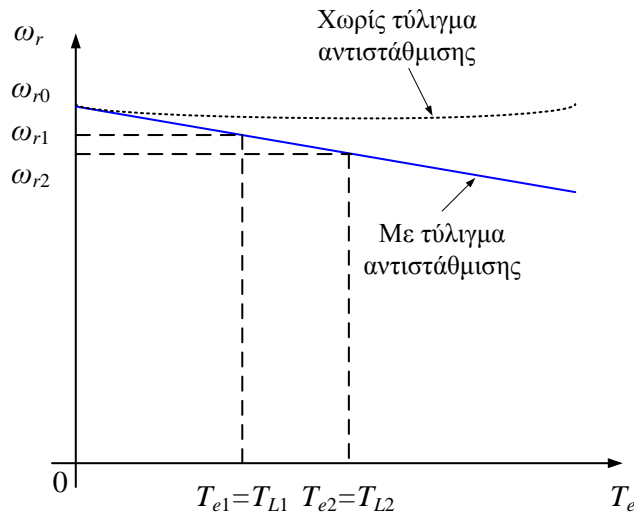
$V_a$  = τάση τυλίγματος τυμπάνου (V)

$R_a$  = αντίσταση τυλίγματος τυμπάνου ( $\Omega$ )

$K_g, K_m$  = κατασκευαστικές σταθερές μηχανής

$T$  = ροπή (Nm)

$\Phi$  = Μαγνητική Ροή (Wb)

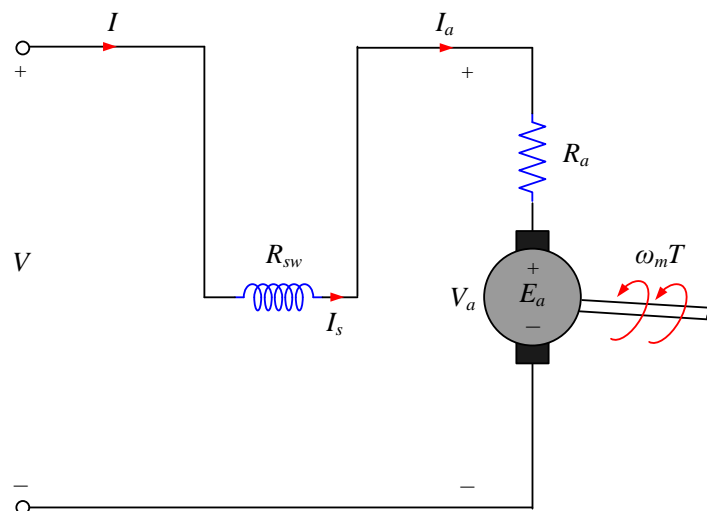


**Εικόνα 4.6. Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας.**

Από την παραπάνω γραφική παράσταση διαφαίνεται ότι η χαρακτηριστική γωνιακής ταχύτητας συναρτήσει της ροπής έχει αρνητική κλίση. Αυτό παρουσιάζεται όταν ο κινητήρας λειτουργεί με σταθερές στροφές και ξαφνικά αυξηθεί το φορτίο, έτσι παρατηρείται μείωση στροφών και αύξηση του ρεύματος, έτσι ώστε να αυξηθεί η ροπή. Κατά την απουσία των βοηθητικών πόλων και της μαγνητικής ροής παρατηρείται εξασθένηση του πεδίου διέγερσης λόγω της αντίδρασης του τυλίγματος τυμπάνου. Η απουσία της μαγνητικής ροής και των βοηθητικών πόλων δεν συνιστάται λόγω της απότομης αύξησης της ροπής, η οποία συνεπάγεται αστάθεια στην λειτουργία του κινητήρα. Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτούνται μεγάλη ροπή εκκίνησης και σταθερές στροφές.

#### 4.1.6.2 Κινητήρες διέγερσης σειράς

Στους κινητήρες διέγερσης σειράς γνωρίζουμε ότι τυλίγμα διέγερσης είναι συνδεδεμένο με το κύκλωμα οπλισμού.



**Εικόνα 4.7. Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα Σ.ρ. διέγερσης σειράς.**

Ισχύει η σχέση:

$$T = K_m \Phi I_a = K' I_a^2 \quad (4.4)$$

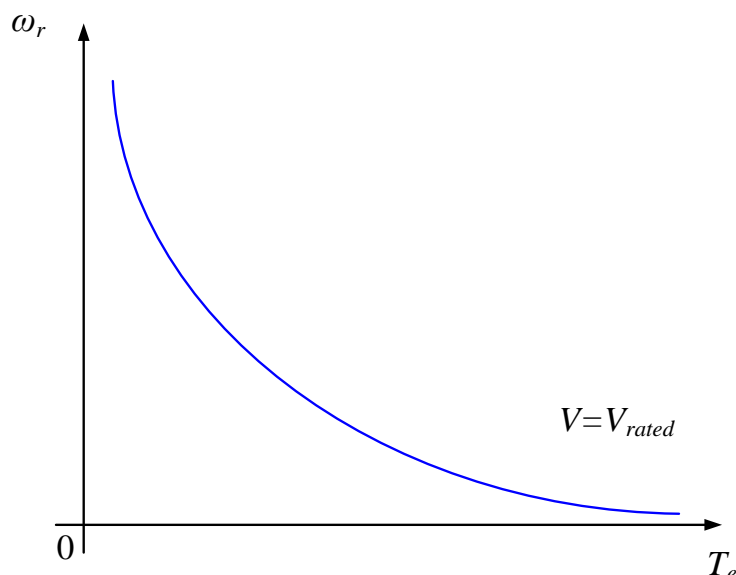
$T$  = ροπή(Nm)

$K_m$  = κατασκευαστική σταθερά

$\Phi$  = μαγνητική ροή (Wb)

$I_a$  = ρεύμα τυμπάνου

Από την εξίσωση αυτή προκύπτει ότι η προσδιδόμενη από τον κινητήρα ροπή αυξάνεται με το τετράγωνο του ρεύματος. Το μειονέκτημα αυτών των κινητήρων είναι ότι κατά τον μηδενισμό της ροπής προκαλείται άπειρη αύξηση της ταχύτητας. Έτσι η μη σύνδεση φορτίου προκαλεί καταστροφή του κινητήρα. Σε αυτήν την περίπτωση τοποθετούνται συστήματα αυτοματισμού όπου σε περίπτωση ανεξέλεγκτης αύξησης στροφών, σταματά η τροφοδοσία. Η απότομη μεταβολή της ταχύτητας με τη ροπή, οφείλεται στη μεταβολή της μαγνητικής ροής με το φορτίο. Έτσι, μια αύξηση της ροπής φορτίου προκαλεί αύξηση του ρεύματος οπλισμού. Αυτό εξηγείται μέσω της παρακάτω χαρακτηριστικής και της ακόλουθης εξίσωσης:

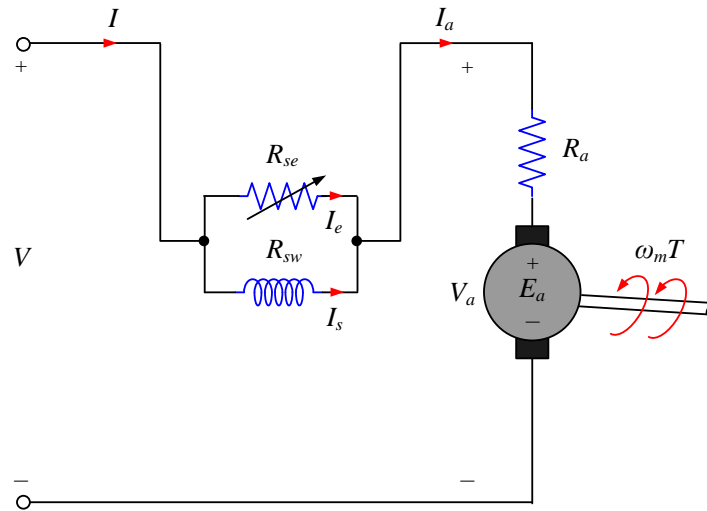


Εικόνα 4.8. Χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής.

$$\omega_m = \frac{V}{\sqrt{K_s} \sqrt{T}} - \frac{(R_a + R_s)}{K_s} \quad (4.5)$$

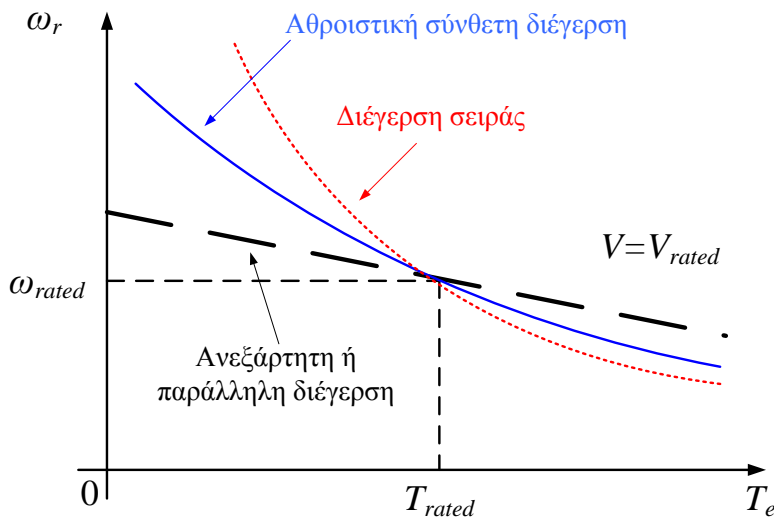
Αυτού του είδους κινητήρες χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά οχήματα λόγω υψηλής ροπής κατά την εκκίνηση. Υπερτερούν έναντι των κινητήρων παράλληλης διέγερσης διότι, για το ίδιο φορτίο, απορροφούν μικρότερο ρεύμα. Οι κινητήρες σειράς δίνουν τη μεγαλύτερη ροπή ανά μονάδα ρεύματος, σε σχέση με κάθε άλλο κινητήρα συνεχούς ρεύματος, εξαιτίας της αύξησης της ροής με τη ροπή και μάλιστα σε μικρή ταχύτητα. Επομένως, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή ροπή εκκίνησης και μεγάλες υπερφορτίσεις.

### 4.1.6.3 Κινητήρες σύνθετης διέγερσης



Εικόνα 4.9. Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα Σ.ρ. σύνθετης διέγερσης.

Ο κινητήρας σύνθετης διέγερσης αποτελείται από δύο τυλίγματα, το τύλιγμα διέγερσης σειράς και το παράλληλο τύλιγμα διέγερσης. Οι κινητήρες σύνθετης διέγερσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στους προσθετικής και διαφορικής σύνθεσης, ανάλογα με την σύνδεση των τυλιγμάτων διέγερσης καθώς και το μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν. Από την εξίσωση 4.6 που μας δίνει την ροπή προκύπτει ότι κατά την αθροιστική σύνδεση έχουμε αύξηση ροπής καθώς αυξάνει το φορτίο. Για την περίπτωση της διαφορικής σύνθετης διέγερσης δεν θα γίνει αναφορά καθώς λόγω των προβλημάτων που δημιουργούνται, δεν χρησιμοποιούνται και δεν έχουν πρακτική εφαρμογή.



Εικόνα 4.10. Χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής.

$$T = K_m \Phi_f I_a \pm K_s K I_{sw} \quad (4.6)$$

Από την παραπάνω χαρακτηριστική και μέσω της εξίσωσης της γωνιακής ταχύτητας

$$n = \frac{V - I_a(R_a + R_{sw} // R_{se})}{K_g \Phi_f \pm K I_d I_a} \quad (4.7)$$

βλέπουμε ότι, για την περίπτωση της αθροιστικής σύνθετης διέγερσης, όσο μεγαλώνει το ρεύμα τυμπάνου, τόσο μεγαλώνει η πτώση τάσης στις αντιστάσεις και μειώνονται οι στροφές.

## 4.2 Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος

Οι μηχανές εναλλασσομένου ρεύματος διακρίνονται στις σύγχρονες μηχανές και στις ασύγχρονες ή επαγωγικές μηχανές. Οι σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται κυρίως σαν γεννήτριες. Αποτελούνται από τον δρομέα ο οποίος στρέφεται από την ροπή η οποία τείνει να ευθυγραμμίσει τα μαγνητικά πεδία που αναπτύσσει τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα. Αν τα μαγνητικό πεδίο του στάτη μπορούσε να στραφεί τότε ο δρομέας θα ακολουθούσε το μαγνητικό πεδίο του στάτη λόγω της αναπτυσσόμενης ροπής. Λόγω της δυνατότητας παραγωγής από το τύλιγμα του στάτη στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου στηρίζεται η λειτουργία των εναλλασσόμενων κινητήρων.

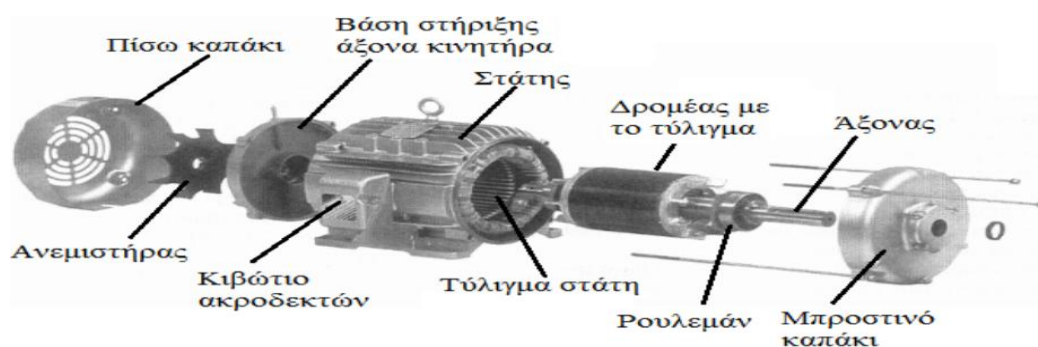
Η ταχύτητα του δρομέα στους ασύγχρονους κινητήρες είναι μικρότερη από την ταχύτητα του στρεφόμενου πεδίου του στάτη και εξαρτάται από το φορτίο ενώ η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στις σύγχρονες μηχανές είναι ίση με την ταχύτητα περιστροφής του πεδίου του στάτη.

### 4.2.1 Ανάλυση μερών ασύγχρονης μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος

Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες είναι κινητήρες που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τριφασική ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Ο ασύγχρονος ή επαγωγικός κινητήρας χρησιμοποιείται κατά κόρον στην βιομηχανία καθώς απορροφά το 60% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτοί οι κινητήρες αποτελούνται από δύο τυλίγματα ένα στον στάτη και έναν στον δρομέα.

Οι ασύγχρονες ονομάζονται και επαγωγικές μηχανές διότι το ρεύμα διέγερσης του δρομέα δεν παρέχεται από ηλεκτρική σύνδεση με την πηγή αλλά από επαγωγή. Οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται και στρεφόμενοι μετασηματιστές αφού βασίζονται στο φαινόμενο της επαγωγής. Αυτού του είδους οι μηχανές αποτελούνται από ένα κινητό μέρος, τον δρομέα και ένα σταθερό μέρος τον στάτη.

### 4.2.2 Κατασκευαστικά στοιχεία



Εικόνα 4.11. Βασικά μέρη ηλεκτρικού κινητήρα.

### 4.2.2.1 Στάτης

Ο στάτης έχει κυλινδρική δομή από ελάσματα μονωμένα μεταξύ τους στο εσωτερικό του οποίου τοποθετείται το τριφασικό τύλιγμα. Το τριφασικό αυτό τύλιγμα το οποίο ονομάζεται κα τύλιγμα τυμπάνου το οποίο αποτελείται από τρία όμοια διανεμημένα μονοφασικά τύλιγμα τα οποία έχουν μετατεθεί στο χώρο κατά  $120^\circ$  ηλεκτρικές μοίρες. Κατά την τροφοδότηση του τυλίγματος αυτού από τριφασικό σύστημα ρευμάτων δημιουργείται μαγνητικό πεδίο και εξ' αυτεπαγωγής δημιουργεί ρεύματα στον δρομέα σαν αποτέλεσμα την δημιουργία δυνάμεων και εν τέλη την δημιουργία ηλεκτρομαγνητικής ροπής και την περιστροφή του δρομέα.

### 4.2.2.2 Δρομέας

Οι δρομείς κατασκευάζονται από λεπτά φύλλα σιδηρομαγνητισμού υλικού τα οποία είναι μονωμένα μεταξύ τους, αυτό γίνεται για την μείωση των μαγνητικών απωλειών λόγω δινορρευμάτων. Κατά μήκος της επιφάνειας του δρομέα υπάρχουν αυλάκια για την τοποθέτηση των τυλιγμάτων. Ανάλογα με την κατασκευή του δρομέα χωρίζονται σε:

1. Κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα ή κλωβού
2. Κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα

### 4.2.3 Γενικά

Όπως προαναφέρθηκε ο στάτης αποτελείται από τρία τυλίγματα που σχηματίζουν γωνία  $120^\circ$  μεταξύ τους. Κατά την εφαρμογή εναλλασσόμενης τάσης στον στάτη υπάρχει ροή ρεύματος από τα πηνία. Τέλος η μαγνητική ροή εξαρτάται από την φορά του ρεύματος.

Στους ασύγχρονους κινητήρες ο δρομέας σε σχέση με τον στάτη είναι ηλεκτρικά ανεξάρτητα αφού δεν τροφοδοτείται με ρεύμα από το δίκτυο. Το τύλιγμα του στάτη τροφοδοτείται με ρεύμα δικτύου και δημιουργείτε στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που τέμνει τις σπείρες του δρομέα, σαν αποτέλεσμα την δημιουργία δυνάμεων Laplace λόγω των επαγωγικών ρευμάτων και περιστρέφεται ο δρομέας.

Η ταχύτητα περιστροφής του ασύγχρονου κινητήρα μπορεί να είναι οποιαδήποτε εκτός από την σύγχρονη. Κατά την λειτουργία στις σύγχρονες στροφές, δηλαδή όταν η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα είναι ίση με την σύγχρονη ταχύτητα  $n=n_s$  δεν υπάρχει επαγωγή μηδενίζεται η επαγωγή και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να σταματήσει ο κινητήρας.

$$F = B_o l_o I_o \quad (4.8)$$

όπου

$F$ : μαγνητική δύναμη Laplace (N)

$B_o$ : μαγνητική επαγωγή στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου (T)

$I_o$ : ρεύμα από επαγωγή δρομέα (A)

$l_o$ : μήκος δρομέα (m)

Σε έναν κινητήρα γνωρίζοντας τον αριθμό των πόλων και την συχνότητα μπορεί να βρεθεί η σύγχρονη ταχύτητα και η ολίσθηση, όπου η ολίσθηση εξαρτάται από το φορτίο, δηλαδή μεταβάλλεται και αυξάνεται με αυτό.

$$n_s = \frac{60f}{P} \quad (4.9)$$

ή

$$n_s = \frac{120f}{p} \quad (4.10)$$

$n_s$  = σύγχρονη ταχύτητα (rpm)

$f$  = συχνότητα (Hz)

$P$  = ζεύγη πόλων

$p$  = πόλοι

Η αλληλεπίδραση των μαγνητικών πεδίων του στάτη και του δρομέα έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη ροπής στον επαγωγικό κινητήρα που προέρχεται λόγω τάσεων εξ επαγωγής.

### Ολίσθηση

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (4.11)$$

$S$  = ολίσθηση

$n_s$  = σύγχρονη ταχύτητα (rpm)

$n_r$  = ασύγχρονη ταχύτητα (rpm)

### Ταχύτητα ολίσθησης

$$n_{slip} = n_s - n_r \quad (4.12)$$

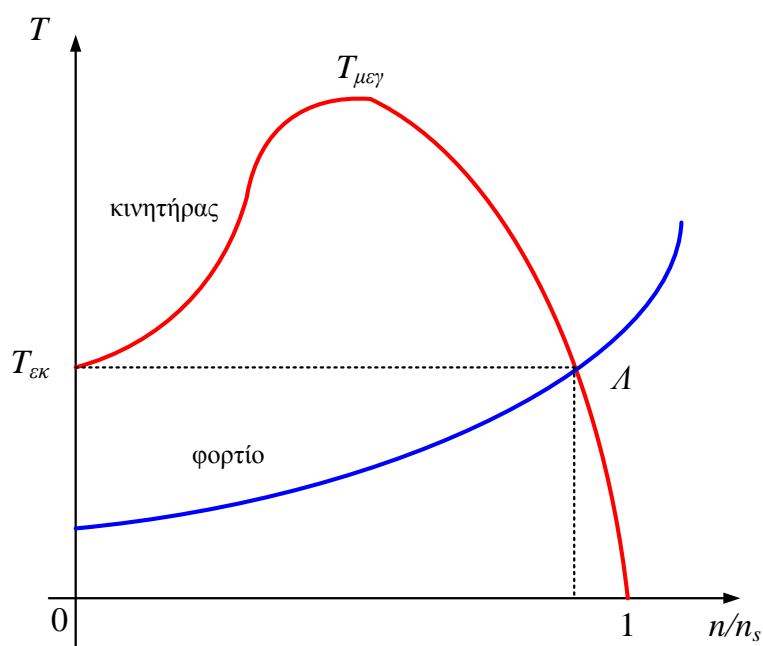
Όταν ο δρομέας του κινητήρα περιστρέφεται με την σύγχρονη ταχύτητα τότε το  $s=0$ , ενώ αν είναι ακίνητος  $s=1$ . Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση μεταβάλλεται μεταξύ αυτών των δύο τιμών και ισχύει:

$$n = (1 - s)n_s \quad (4.13)$$

Σημαντικός παράγοντας για την λειτουργία του κινητήρα είναι η ροπή, η δύναμη δηλαδή που είναι ικανή να αντιμετωπίσει την μεταβολή του φορτίου. Όταν ο κινητήρας ξεκινάει εκείνη την στιγμή οι στροφές είναι μηδενικές. Η ροπή εκκίνησης ( $T_{εκ}$ ) είναι η ροπή εκκίνησης και αυξάνεται καθώς αυξάνονται η στροφές μέχρι η ροπή να γίνει μέγιστη ( $T_{μεγ}$ ). Για την σωστή λειτουργία του κινητήρα πρέπει να ισχύει ότι η ροπή εκκίνησης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ροπή εκκίνησης του φορτίου μέχρι να επιταχύνει και να φτάσει στην ιδανική λειτουργία. Αν κατά την εκκίνηση και προτού ο κινητήρας φτάσει στην ασύγχρονη ταχύτητα τοποθετηθεί φορτίο τότε ο κινητήρας θα απορροφήσει μεγαλύτερη ένταση σαν αποτέλεσμα την υπερθέρμανση των τυλιγμάτων και τέλος την καταστροφή τους. Αυτό μπορεί να περιοριστεί μειώνοντας την συχνότητα τροφοδοσίας στο ελάχιστο που θα έχει σαν

αποτέλεσμα οι στροφές του κινητήρα να είναι κοντά στην ταχύτητα εκκίνησης. Άρα θα υπάρχει εκκίνηση του κινητήρα με μέγιστη ροπή αλλά μικρό απορροφούμενο ρεύμα, αυτό ωστόσο εξαρτάται και από το φορτίο που τοποθετήθηκε δηλαδή αν είναι μεγαλύτερο από τις προδιαγραφές της μηχανής. Τόσο η ροπή όσο και η ταχύτητα καθορίζονται από το σημείο  $A$  (σημείο τομής καμπυλών).

Η περιοχή πριν την μέγιστη ροπή ονομάζεται ασταθής περιοχή και δεν πρέπει να λειτουργεί ο κινητήρας σε εκείνο το σημείο και η περιοχή μετά την μέγιστη ροπή είναι η ευσταθής περιοχή, όπου ο κινητήρας προσαρμόζεται αυτόματα στην διακύμανση του ρεύματος. Τα παραπάνω διαφαίνονται από την χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας της Εικόνας 4.12..

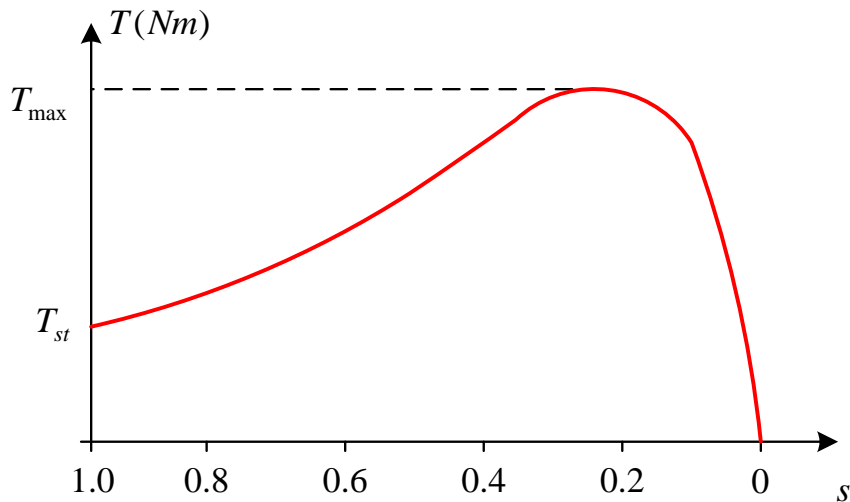


**Εικόνα 4.12. Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.**

#### **4.2.4 Χαρακτηριστική ροπής-ολίσθησης**

Από την Εικόνα 4.13. διαφαίνεται ότι μικρές ολισθήσεις, η παραγόμενη ροπή μεταβάλλεται γραμμικά με την ολίσθηση, αύξηση δε της ολίσθησης προκαλεί αύξηση της παραγόμενης ροπής όχι πλέον γραμμικά, μέχρι μιας μέγιστης τιμής η οποία καθορίζει και τα μέγιστα όρια βραχείας υπερφόρτισης του κινητήρα. Κάθε αύξηση της ολίσθησης επάνω από την τιμή που αντιστοιχεί στη μέγιστη ροπή, προκαλεί μείωση της παραγόμενης ροπής και μείωση των στροφών, καθότι στο συγκεκριμένο κλάδο της χαρακτηριστικής ο κινητήρας αδυνατεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις του φορτίου.

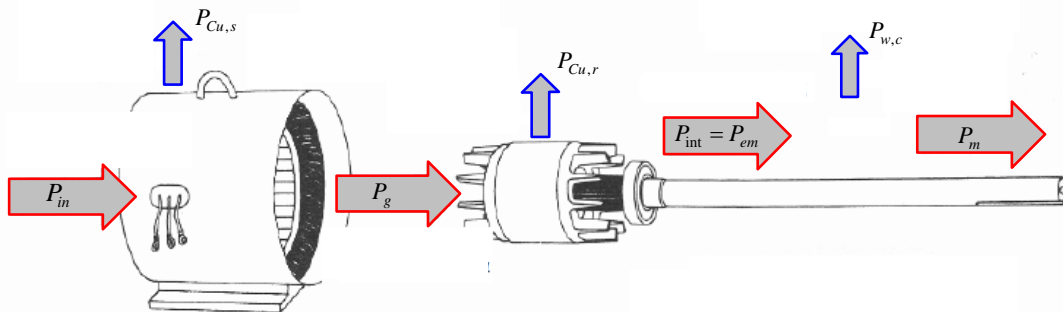




Εικόνα 4.13. Χαρακτηριστική ροπής συναρτήσει ολίσθησης.

#### 4.2.5 Απώλειες επαγωγικού κινητήρα

Ένας επαγωγικός κινητήρας είναι σαν ένας στρεφόμενος μετασχηματιστής. Σε έναν μετασχηματιστή η ηλεκτρική ισχύς εξόδου είναι ισχύς στο δευτερεύον τύλιγμα όμως στον κινητήρα λόγω της βραχυκύκλωσης του δρομέα (δευτερεύον του μετασχηματιστή) η ισχύς εισόδου μετατρέπεται στην έξοδο σε μηχανική ισχύ και όχι σαν ηλεκτρική όπως σε έναν μετασχηματιστή. Το διάγραμμα απωλειών ισχύος παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.14..



Εικόνα 4.14. Αναπαράσταση ροής ισχύος σε επαγωγικό κινητήρα.

Η ηλεκτρική ισχύς εισόδου του κινητήρα  $P_{in}$  παρέχεται από τριφασικό σύστημα τάσεων και ρευμάτων. Η ισχύς εισόδου χάνεται σαν ηλεκτρικές απώλειες (απώλειες χαλκού  $P_{Cu,s}$ ) λόγω των τυλιγμάτων του στάτη. Εν συνεχεία λόγω των απωλειών δινορρευμάτων του στάτη και απωλειών υστέρησης χάνεται ποσοστό ισχύος ( $P_{core}$ ). Η απομένουσα ισχύς (ισχύς διακένου  $P_g$ ) περνάει από τον στάτη στον δρομέα μέσω του διακένου. Μέρος της ισχύς διακένου λόγω των τυλιγμάτων δρομέα καταναλίσκεται σε ηλεκτρική ισχύς ( $P_{Cu,r}$ ) με την μορφή ωμικών απωλειών, ενώ το υπόλοιπο που ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική ισχύς ( $P_{int}=P_{em}$ ) μετατρέπεται σε ωφέλιμη μηχανική ( $P_m$ ) εάν αφαιρέσουμε τις απώλειες τριβής και ανεμισμού (πυρήνα και μηχανικές  $P_{w,c}$ ).

Οι απώλειες πυρήνα δεν εμφανίζονται πάνω στο ίδιο σημείο και επιλογή τους είναι αυθαίρετη. οι απώλειες πυρήνα προέρχονται από το κύκλωμα του δρομέα και του στάτη, όμως οι απώλειες του στάτη είναι μεγαλύτερες από τις απώλειες του

δρομέα αφού η σχετική ταχύτητα των μαγνητικών πεδίων είναι μικρή λόγω περιστροφής του κινητήρα κοντά στην σύγχρονη ταχύτητα.

#### 4.2.6 Υπολογισμός μεγεθών απωλειών ισχύος

Εσωτερική ή ηλεκτρομαγνητική ισχύς

$$P_{\text{int}} = P_{\text{em}} = P_{\text{wc}} + P_m \quad (4.14)$$

$$P_{\text{int}} = P_{\text{em}} = P_g - P_{\text{Cu,r}} = (1-s)P_g \quad (4.15)$$

Ισχύς διακένου

$$P_g = P_{\text{int}} + P_{\text{Cu,r}} \quad (4.16)$$

$$P_g = P_{\text{in}} - P_{\text{Cu,s}} \quad (4.17)$$

Ηλεκτρική ισχύς στην είσοδο του κινητήρα

$$P_{\text{in}} = P_g + P_{\text{Cu,r}} \quad (4.18)$$

Ηλεκτρική ισχύς στην εξόδο του κινητήρα

$$P_m = P_{\text{int}} - P_{\text{w,c}} \quad (4.19)$$

Απώλειες χαλκού δρομέα

$$P_{\text{Cu,r}} = s P_g \quad (4.20)$$

Βαθμός απόδοσης

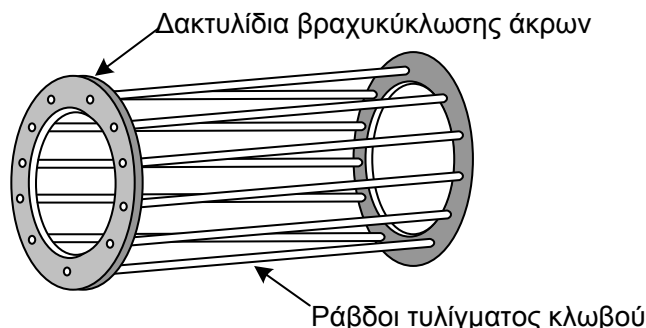
$$\eta(\%) = \frac{P_m}{P_{\text{in}}} \times 100 = \frac{P_{\text{in}} - (P_{\text{Cu,s}} + P_{\text{Cu,r}} + P_{\text{w,c}})}{P_{\text{in}}} \times 100 \quad (4.21)$$

Από την εξίσωση (4.15) προκύπτει ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η ολίσθηση τόσο μικρότερο είναι το τμήμα της ισχύος του διακένου που μετατρέπεται σε μηχανική μορφή και τόσο μικρότερη είναι η απόδοση του κινητήρα. Από την άλλη όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση του δρομέα η απόδοση είναι μικρή κατά την κανονική λειτουργία και καλή ροπή στην εκκίνηση. Τέλος έναν κινητήρα με μικρή αντίσταση δρομέα παρουσιάζει υψηλή απόδοση στην κανονική λειτουργία, μικρή ροπή και μικρό ρεύμα εκκίνησης. Η αντιμετώπιση για το πρόβλημα αν και δαπανηρή, με πολύπλοκα συστήματα αυτοματισμού και με μεγαλύτερη συντήρηση δόθηκε από τους κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα.

#### 4.2.7 Κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα ή κλωβού

Ο δρομέας στους κινητήρες τύπου κλωβού αποτελείται από μονωμένα μεταξύ τους ελάσματα τα οποία φέρουν οδοντώσεις και σχηματίζουν αυλάκια στο εσωτερικό του κινητήρα τα οποία προσαρμόζονται στον άξονα. Στις αυλακώσεις του δρομέα τοποθετούνται ράβδοι από χαλκό ή ορείχαλκο τα άκρα των οποίων βραχυκυκλώνονται μεταξύ τους μέσω δακτυλίων. Έτσι σχηματίζεται το τύλιγμα τύπου κλωβού του κινητήρα. Στους μικρής ισχύς κινητήρες τα τυλίγματα κλωβού κατασκευάζονται από χύτευση αλουμινίου όπου τόσο οι δακτύλιοι βραχυκύκλωσης όσο και τα πτερύγια εξαερισμού ενσωματώνονται μαζί με τα μη μονωμένα ως προς

το σίδηρο του δρομέα αγωγούς του κλωβού. Τα αυλάκια χωρίζονται ανάλογα με την κατασκευή τους ονομάζονται απλού κλωβού αν τα αυλάκια είναι απλά, διπλού κλωβού αν φέρει το τύμπανο του δρομέα διπλά αυλάκια και βαθειά αυλάκια αν τα αυλάκια είναι βαθειά. Τέλος οι κινητές βραχυκυκλωμένου κλωβού είναι από τους πιο διαδεδομένους με ευρεία χρήση και απλή κατασκευή.



Εικόνα 4.15. Σχηματική αναπαράσταση κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα ή κλωβού.

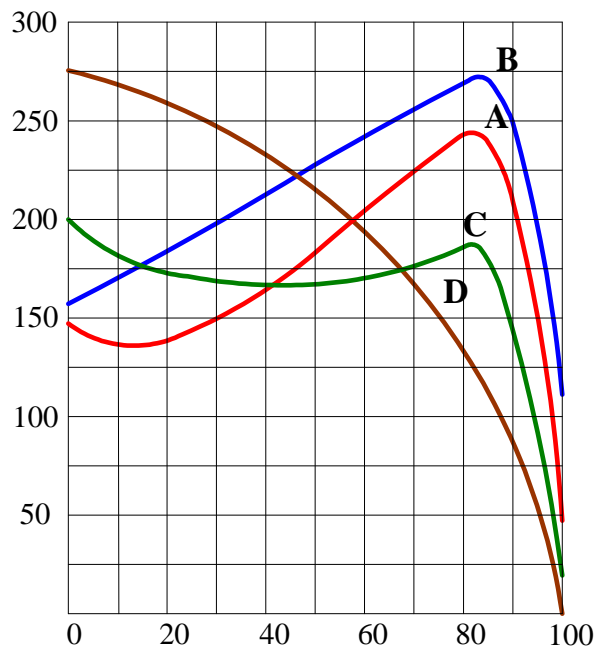
#### 4.2.8 Κατασκευαστικά στοιχεία και κλάσεις

Στους κινητήρες απλού κλωβού τα τυλίγματα κατασκευάζονται από καθαρό αλουμίνιο που χυτεύεται μέσα στα αυλάκια, είναι απλής κατασκευής, έχουν καλό βαθμό απόδοσης και μικρό κόστος. Το μειονέκτημα που παρουσιάζουν αυτού του είδους οι κινητήρες είναι ότι έχουν υψηλό ρεύμα εκκίνησης και σχετικά μικρή ροπή και έτσι συνήθως είναι μικρής ισχύος. Αυτά τα προβλήματα μειώνονται είτε με τους κινητήρες διπλού κλωβού είτε με τους κινητήρες με βαθειά αυλάκια. Οι κινητήρες διπλού κλωβού έχουν σαν μειονέκτημα ότι είναι ακριβότεροι σε σχέση με τους κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού αλλά φθηνότεροι από τους κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα. Έχουν όμοια χαρακτηριστικά με τους κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα όπως μεγάλη ροπή εκκίνησης, μικρό ρεύμα εκκίνησης και καλή απόδοση με μικρό κόστος και χωρίς απαίτηση συχνής συντήρησης των δακτυλίων και των ψηκτρών.

Προκειμένου να υπάρχει μεγάλη ροπή εκκίνησης και μικρό ρεύμα εκκίνησης οι κατασκευαστές προσπαθούν να μεταβάλλουν την αντίσταση και την αντίδραση των τυλιγμάτων του δρομέα μεταβάλλοντας το μέγεθος, τη μορφή και το βάθος των αυλακώσεων, έτσι δημιουργήθηκαν τυποποιημένες σχεδιάσεις που ονομάζονται κλάσεις σχεδίασης.

- Κλάση Α: Είναι κινητήρες που παρουσιάζουν κανονική ροπή και ρεύμα εκκίνησης και χαμηλή ολίσθηση. Τα τυλίγματα είναι απλού κλωβού και διακρίνονται για την καλή λειτουργία σε βάρος της εκκίνησης. Η μέγιστη ροπή είναι μεγαλύτερη του  $2.5 \cdot T_{ον}$  (2.5 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ροπή) και σε ταχύτητα πάνω του  $0,8 \cdot n_s$  (0,8 φορές μεγαλύτερη από την σύγχρονη ταχύτητα) δηλαδή ολίσθηση μικρότερη του 0,2. Το ρεύμα εκκίνησης είναι ίσο με  $5/8 \cdot I_{ον}$ .
- Κλάση Β: Οι κινητήρες κλάσης Β έχουν κανονική ροπή εκκίνησης ίδια με την κλάση Α, μικρή ολίσθηση και ρεύμα εκκίνησης το 75% της κλάσης Α. Το ρεύμα εκκίνησης μειώθηκε με σχεδιασμό τυλίγματος υψηλής αντίδρασης σκέδασης ενώ η ροπή είναι ίδια με την κλάση Α με κατασκευή όμως διπλού κλωβού ή κλωβού με βαθειά αυλάκια.

- Κλάση C: Έχουν τυλίγματα δρομέα διπλού κλωβού μεγαλύτερης αντίστασης από την κλάση A και κλάση B. Αναπτύσσουν μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης, χρειάζονται μικρότερα ρεύματα εκκίνησης, έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης και μεγαλύτερη ολίσθηση από τις δύο προηγούμενες κλάσεις. Τέλος έχουν μεγαλύτερο κόστος.
- Κλάση D: Έχουν τυλίγματα απλού κλωβού με ράβδους από ορείχαλκο, μικρότερης διατομής για να παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση. Αναπτύσσουν πολύ μεγάλη ροπή εκκίνησης με χαμηλό ρεύμα εκκίνησης. Η μέγιστη ροπή ξεπερνά την τριπλάσια της ονομαστικής και επιταχύνεται σε χαμηλές ταχύτητες με ολίσθηση 0,5 έως 0,11 με χαμηλό βαθμό απόδοσης.



**Εικόνα 4.16.** Τυπικές χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας για διαφορετικές σχεδιάσεις δρομέων ανάλογα με την κλάση.

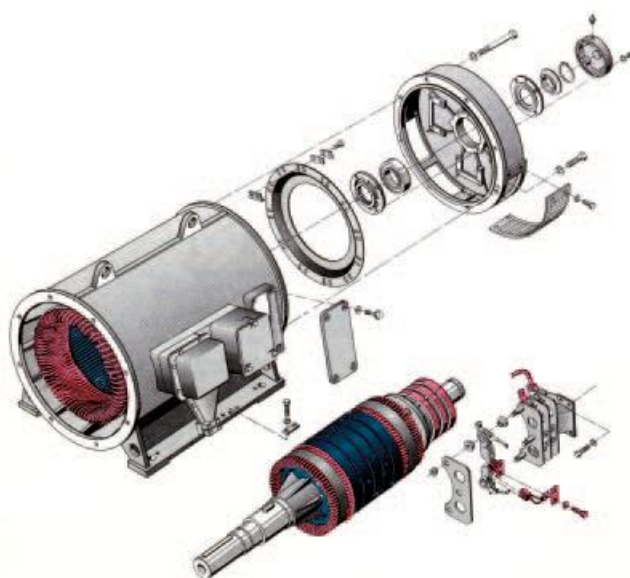
#### 4.2.9 Χρήση κινητήρων ως προς την κλάση

1. Οι κινητήρες των κατηγοριών A και B είναι γενικής χρήσης, με κύριες εφαρμογές σε ανεμιστήρες, αντλίες, φυσητήρες, εργαλειομηχανές, κλπ.
2. Οι κινητήρες της κατηγορίας C, χρησιμοποιούνται κυρίως σε συμπιεστές και μεταφορικές ταινίες.
3. Οι κινητήρες της κατηγορίας D, λόγω της υψηλής ολίσθησης κανονικής λειτουργίας, παρουσιάζουν αυξημένες απώλειες χαλκού και μειωμένη απόδοση. Χρησιμοποιούνται για φορτία μεγάλης αδράνειας, όπως στράντζες, πρέσες, ψαλίδια κλπ. Είναι δε οι περισσότεροι κατάλληλοι κινητήρες, για ρύθμιση στροφών με μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας, καθώς στο σημείο ανατροπής παρουσιάζεται σε πολύ υψηλή ολίσθηση. Επίσης, οι κινητήρες της κατηγορίας αυτής παρουσιάζουν μικρότερους χρόνους εκκίνησης έναντι των υπολοίπων κατηγοριών, γεγονός το οποίο τους κάνει ιδιαίτερα κατάλληλους για λειτουργίες που απαιτούν μεγάλη συχνότητα εκκινήσεων-διακοπών (π.χ. έλξη, κρουστικά φορτία, κλπ.).

#### 4.2.10 Κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα

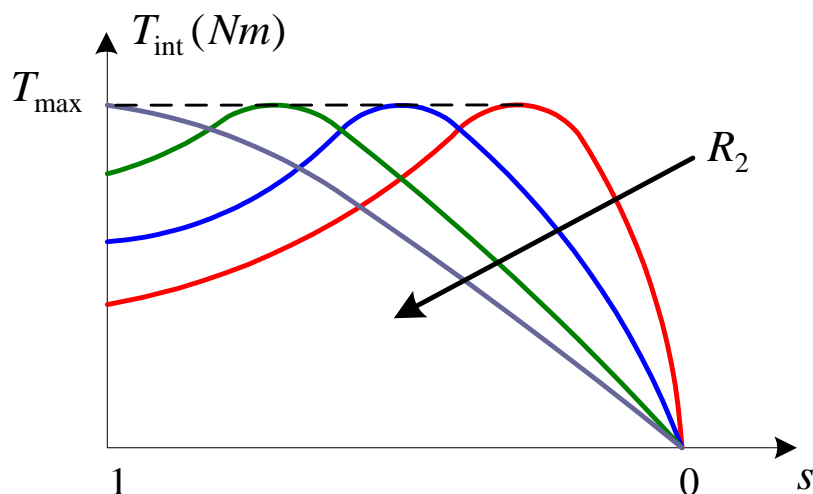
Ο δακτυλιοφόρος δρομέας σε μια ασύγχρονη μηχανή από την άλλη έχει όμοια κατασκευή με αυτήν του στάτη, φέρει αυλακώσεις εντός των οποίων τοποθετείται το τριφασικό τύλιγμα. Το τύλιγμα αυτό είναι διανεμημένο τριφασικό τύλιγμα του ίδιου αριθμού πόλων με το τύλιγμα του στάτη. Οι τρεις φάσεις συνδέονται σε αστέρα ή σε τρίγωνο, τα άκρα των οποίων καταλήγουν σε δακτυλίους που φέρει ο δρομέας και βραχυκυκλώνονται μέσω ψηκτρών που εφάπτονται στους δακτυλίους.

Η διαφορά πέρα από τα κατασκευαστικά των κινητήρων αυτών είναι ότι υπάρχει η δυνατότητα μέσω ψηκτρών, παρεμβολής πρόσθετης εξωτερικής αντίστασης σε σειρά σε κάθε φάση του τυλίγματος του δρομέα. Αυτού του είδους οι κινητήρες χρησιμοποιούνται για μεγάλες ισχύς και σε περίπτωση υψηλών απαιτήσεων σε ροπή εκκίνησης.



**Εικόνα 4.17. Κινητήρας με δακτυλιοφόρο δρομέα.**

Έτσι για τις μηχανές τυλιγμένου δρομέα (δακτυλιοφόρες), μπορούμε να μεταβάλλουμε την αντίσταση, μεταβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο τις στροφές για τις οποίες θέλουμε τη μέγιστη ροπή, προσθέτοντας αντίσταση στο δρομέα, επιτυγχάνουμε τη μετακίνηση του σημείου ανατροπής προς τα αριστερά, δηλαδή σε μικρότερο αριθμό στροφών και μπορεί να επιτευχθεί μέγιστη ροπή κατά την εκκίνηση χρησιμοποιώντας κατάλληλη προστιθέμενη ωμικής αντίσταση.



Εικόνα 4.18. Χαρακτηριστική ροπής-ολίσθησης.

#### 4.2.11 Μέθοδοι εκκίνησης επαγωγικών κινητήρων

Σε μια μηχανή με τους τρόπους εκκίνησης εξασφαλίζουμε την ομαλή εκκίνηση με όσο το δυνατόν μικρότερο ρεύμα. Λόγω της μειωμένης ροπής εκκίνησης πρέπει να και από την πλευρά του φορτίου στον άξονα να είναι και αυτό ελαττωμένο. Οι μέθοδοι εκκίνησης είναι:

##### 4.2.11.1 Απευθείας εκκίνηση

Με την απευθείας εκκίνηση ο κινητήρας εφόσον είναι μικρής ισχύος συνδέεται απευθείας στο δίκτυο, γιατί σε διαφορετική περίπτωση μπορεί να προκαλέσει πτώση τάσης στο δίκτυο.

##### 4.2.11.2 Διακόπτης αστέρας τρίγωνο

Για την εφικτή σύνδεση του κινητήρα σε αστέρα τρίγωνο πρέπει να γίνει κατάλληλη κατασκευή ως προς την περιέλιξη των τυλιγμάτων. Στην εκκίνηση ο κινητήρας συνδέεται σε αστέρα και διαρρέει τον στάτη φασική τάση  $U_\phi = 220V$  και το ρεύμα ισούται με  $I_\phi = I_\pi$  (4.22) και εν συνεχεία σε τρίγωνο και έτσι τροφοδοτείται κάθε φάση με τάση  $U_\pi = \sqrt{3} * 220 = 380V$  (4.23).

##### 4.2.11.3 Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

Στην εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή ο κινητήρας τροφοδοτείται με ελαττωμένη τάση και περίπου στο 80% μέσω ενός μεταγωγικού διακόπτη συνδέουμε τον κινητήρα στο δίκτυο.

##### 4.2.11.4 Ηλεκτρονική εκκίνηση

Μέσω τριφασικού triac (E.P/E.P) σταθερής συχνότητας είναι δυνατή η βαθμιαία αύξησης της τάσης από το μηδέν μέχρι την ονομαστική λειτουργία.

## 4.2.12 Έλεγχος στροφών βραχυκυκλωμένου δρομέα επαγωγικού κινητήρα

Πριν την εμφάνιση ηλεκτρονικών ισχύος ο κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα ήταν μηχανή σταθερής ταχύτητας. Η πτώση των στροφών από την λειτουργία χωρίς στην λειτουργία με φορτίο φθάνει το 5%.

Γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα του κινητήρα είναι:  $n = (1-s)n_s$  και η σύγχρονη ταχύτητα  $n_s = \frac{120f}{P}$ . Άρα η μεταβολή της ταχύτητας εξαρτάται είτε από την συχνότητα είτε από τους πόλους της μηχανής, αφού η ολίσθηση αλλάζει κυρίως με το φορτίο. Η ρύθμιση των στροφών μπορεί να γίνει:

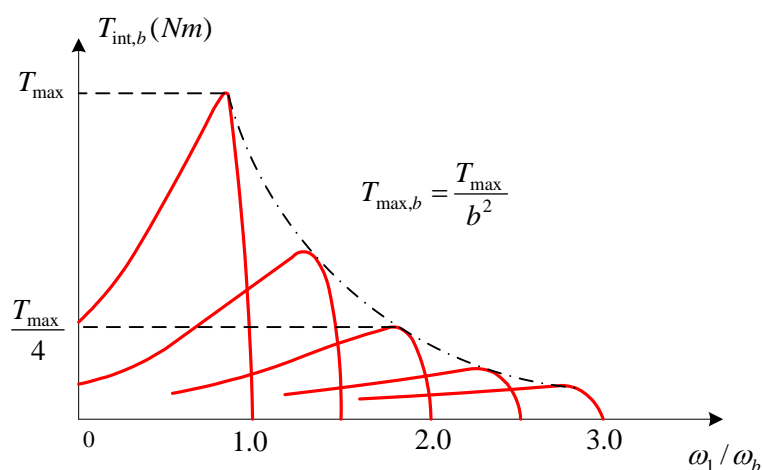
### 4.2.12.1 Ρύθμιση στροφών κινητήρα με αλλαγή πλήθους πόλων

Από την σχέση 4.10 οι πόλοι σε μια μηχανή είναι αντίστροφος ανάλογη με την ταχύτητα, αύξηση των πόλων συνεπάγεται με μείωση της ταχύτητας. Για αλλαγή του πλήθους των πόλων υπάρχουν τρεις μέθοδοι.

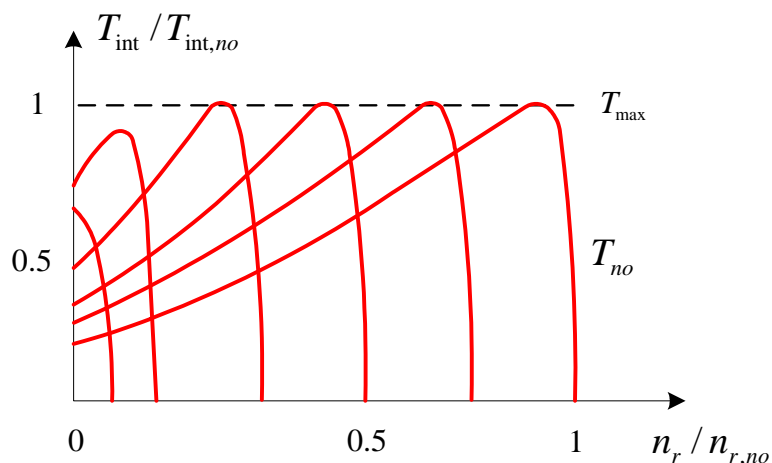
- Μέθοδος διαδοχικών πόλων
- Πολλαπλά τυλίγματα στο στάτη
- Διαμόρφωση πλάτους του πόλου (PAM)

### 4.2.12.2 Ρύθμιση στροφών με μεταβολή συχνότητας

Σε αυτήν την μέθοδο η αλλαγή της ταχύτητας γίνεται μέσω της συχνότητας, όμως για την καλύτερη αξιοποίηση των μαγνητικών χαρακτηριστικών του σιδηρομαγνητικού κυκλώματος, η μεταβολή της συχνότητας συνοδεύεται από αντίστοιχη μεταβολή του μεγέθους της τάσης, έτσι ώστε η μαγνητική ροή του διακένου να είναι η μέγιστη.



Εικόνα 4.19. Σταθερή τάση και μεταβαλλόμενη συχνότητα.



Εικόνα 4.20. Επίδραση της ρύθμισης του λόγου  $V/f$ .

#### 4.2.12.3 Ρύθμιση στροφών με μεταβολή της τάσης

Λόγω υψηλών απωλειών χαλκού χρησιμοποιείτε σε κινητήρες μικρής ισχύος κοντά στις ονομαστικές στροφές. Μειονέκτημα επίσης είναι η περιορισμένη ρύθμιση των στροφών στην περιοχή  $S_{max} < s < 0$ , έτσι ώστε να μην ξεπεραστεί το σημείο το οποίο θα οδηγήσει τον κινητήρα σε ασταθή λειτουργία.

#### 4.2.12.4 Έλεγχος ταχύτητας με μεταβολή της αντίστασης του δρομέα

Στους κινητήρες με δακτυλιοφόρο δρομέα η προσθήκη επιπρόσθετων αντιστάσεων στο κύκλωμα του δρομέα έχει σαν αποτέλεσμα την, μεταβολή της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας. Η εισαγωγή πρόσθετων αντιστάσεων πρέπει να είναι για μικρό χρονικό διάστημα λόγω των προβλημάτων απόδοσης που δημιουργούνται.

#### 4.2.13 Διατάξεις ελέγχου συχνότητας

Δεδομένου ότι για την αποδοτικότερη ρύθμιση των στροφών ενός επαγωγικού κινητήρα απαιτείται μεταβολή του μεγέθους της τάσης και της συχνότητας δημιουργήθηκαν οι μετατροπείς συχνότητας

1. Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου με αντιστροφέα πηγής ρεύματος
2. Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου
3. Σύστημα ελέγχου ανοιχτού βρόγχου
4. Έλεγχος με ανάκτηση ολισθαίνουσας ισχύος
5. Έλεγχος με PWM (pulse width modulation) αντιστροφέα ελέγχου ρεύματος
6. Διανυσματικός έλεγχος
7. Έλεγχος με μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας
8. Αντιστροφέας με πηγή συνεχούς ρεύματος
9. Αντιστροφέας με πηγή συνεχούς τάσης
10. Έλεγχος με αντιστροφής πηγής τάσης.



11. Μέθοδος προσανατολισμένου πεδίου
12. Έλεγχος στροφών με παρεμβολή αντίστασης
13. Έλεγχος ροής διακένου
14. Άμεσος έλεγχος με χρήση μοντέλου ροής

#### 4.2.14 Επαγωγική γεννήτρια

Η επαγωγική μηχανή με την αλλαγή της επαγόμενης ροπής μπορεί να λειτουργήσει σαν γεννήτρια. Λόγω της απουσίας ενός ξεχωριστού κυκλώματος διέγερσης η επαγωγική γεννήτρια δεν παράγει άεργο ισχύ, έτσι πρέπει να διατίθεται ξεχωριστό κύκλωμα παραγωγής άεργης ισχύος ώστε να διατηρεί το μαγνητικό πεδίο του στάτη. Η επαγωγική γεννήτρια δεν χρειάζεται να διαθέτει ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης και δεν απαιτείται η σταθερότητα στις στροφές.

Στην αυτόνομη λειτουργία δημιουργούνται προβλήματα στην ρύθμιση της τάσης, έτσι η παράλληλη χρήση συστημάτων έχει σαν αποτέλεσμα την ρύθμιση της τάσης. Οι επαγωγικές γεννήτριες είναι μικρές μηχανές και χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλα συστήματα (ανεμόμυλοι, συστήματα ανάκτησης ενέργειας). Πλέον όλες οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται είναι σύγχρονες.

#### 4.3 Σύγχρονες μηχανές

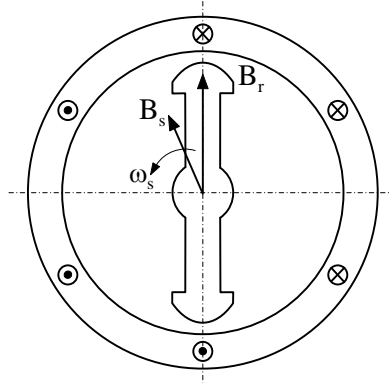
Οι σύγχρονες μηχανές σε σχέση με τις ασύγχρονες είναι διπλής τροφοδοτήσεις, αποτελούνται από δυο τυλίγματα το τύλιγμα διέγερσης και το τύλιγμα τυμπάνου. Το τύλιγμα διέγερσης ή τύλιγμα πεδίου αποτελεί την πρωτεύουσα πηγή της μαγνητικής ροής στο διάκενο της μηχανής, τροφοδοτείται από συνεχές τάση η οποία παράγει το μαγνητικό πεδίο του δρομέα  $B_r$  και άγεται μέσω ψηκτρών οι οποίες ολισθαίνουν επί δακτυλίων. Ανάλογα με τον αριθμό των πόλων μπορεί να είναι διανεμημένο η συγκεντρωμένο το τύλιγμα.

Το τύλιγμα τυμπάνου το οποίο βρίσκεται συνήθως στον στάτη τροφοδοτείται από εναλλασσόμενη τάση η οποία παράγει στρεφόμενο ομογενές μαγνητικό πεδίο  $B_s$  στο εσωτερικό του. Όταν τα τρία τυλίγματα (τρία μονοφασικά διανεμημένα τυλίγματα) του στάτη διαρρέονται από τριφασικό συμμετρικό σύστημα ρευμάτων κυκλικής συχνότητας  $\omega$ , δημιουργείται στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο με σύγχρονη ταχύτητα. Το τριφασικό τύλιγμα του στάτη δηλαδή το σύστημα τριών πηνίων που το καθένα έχει ίση ωμική αντίσταση και επαγωγική αντίδραση με τα άλλα. Οι μαγνητικοί άξονες των πηνίων αυτών σχηματίζουν διαδοχική γωνία ίση με  $\frac{2\pi}{3}$  μεταξύ τους.

Η σύγχρονη ταχύτητα  $n = \frac{120f}{P}$ , σχέση 4.10, καθορίζεται από τον αριθμό των πόλων και της συχνότητας της τάσης τυμπάνου. Ανεξάρτητα αν λειτουργεί σαν γεννήτρια ή σαν κινητήρας καθώς και από τις συνθήκες φόρτισης στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας στρέφεται με σταθερό αριθμό στροφών (σύγχρονος αριθμός στροφών). Στις σύγχρονες μηχανές είναι μηδενική η ολίσθηση του δρομέα, δηλαδή στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας στρέφονται με την ίδια ταχύτητα ο δρομέας και το μαγνητικό πεδίο στο διάκενο της μηχανής.

Μηχανική ταχύτητα:

$$\omega_m = \frac{2}{P} \omega \quad (4.24)$$



**Εικόνα 4.21. Σύγχρονος διπολικός κινητήρας.**

Στην Εικόνα 4.21. δείχνεται διπολικός κινητήρας στο εσωτερικό του οποίου υπάρχουν δύο πεδία τα οποία τείνουν να ευθυγραμμιστούν. Το πεδίο του στάτη περιστρέφεται συνεχώς και το πεδίο του δρομέα προσπαθεί να το ακολουθήσει χωρίς αποτέλεσμα. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία μεταξύ των δυο πεδίων τόσο μεγαλύτερη είναι η ροπή που ασκείται από το μαγνητικό πεδίο στον δρομέα, στην περίπτωση του κινητήρα ονομάζεται κινούσα ροπή ενώ στην γεννήτρια αντιδρώσα ροπή.

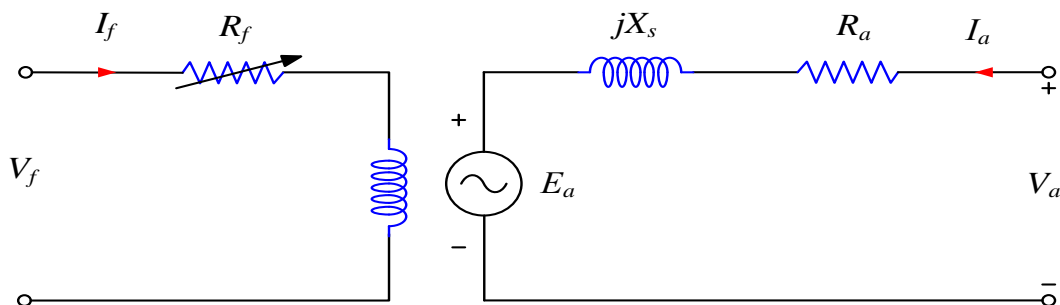
### 4.3.1 Κατασκευή δρομέα σύγχρονης μηχανής

Ανάλογα με την κατασκευή του δρομέα οι μηχανές χωρίζονται σε:

1. Σύγχρονη μηχανή με δρομέα κατανεμημένων πόλων, στις οποίες ο δρομέας αποτελείται από αυλακώσεις μέσα στις οποίες τοποθετείται το τύλιγμα συνεχούς ρεύματος το οποίο προστατεύεται από τις φυγοκεντρικές δυνάμεις μέσω σφηνών.
2. Σύγχρονη μηχανή με δρομέα έκτυπων ή διανεμημένων πόλων, σε αυτήν την περίπτωση οι πόλοι προεξέχουν και γύρω από αυτούς τοποθετείται το τύλιγμα συνεχούς ρεύματος.

### 4.3.2 Ισοδύναμο κύκλωμα μιας φάσης σύγχρονου κινητήρα ομοιόμορφου διακένου

Οι μηχανές ομοιόμορφου διακένου εμφανίζουν καλύτερα δυναμικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τις μηχανές έκτυπων πόλων



**Εικόνα 4.22. Κύκλωμα ανά φάση σύγχρονου κινητήρα.**

Η διαφορά μιας σύγχρονης γεννήτριας και ενός σύγχρονου κινητήρα έγκριτε ότι αναστρέφεται η φορά του ρεύματος του στάτη  $I_a$ . Οι εξισώσεις που περιγράφουν το ρεύμα και την τάση τυμπάνου έχουν την πιο κάτω μορφή αντίστοιχα:

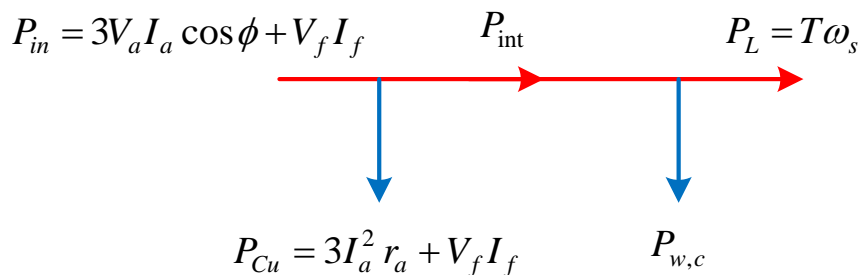
$$I_a = \frac{V_a - E_f}{R_a + jx_s} \quad (4.25)$$

$$V_a = R_a I_a + jx_s I_a + E_f \quad (4.26)$$

όπου

$$x_s = \omega L_s \quad (4.27)$$

### 4.3.3 Απώλειες σύγχρονου κινητήρα



Εικόνα 4.23. Διάγραμμα ροής ισχύος τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα.

$P_{in}$  = ηλεκτρική ισχύς εισόδου

$P_{cu}$  = απώλειες χαλκού

$P_{int}$  = εσωτερική ή ηλεκτρομαγνητική ισχύς

$P_{w,c}$  = μηχανικές απώλειες

$P_L$  = ωφέλιμη ισχύς

Οι μηχανικές απώλειες ( $P_{w,c}$ ) περιλαμβάνουν τις απώλειες τριβών ανεμισμού και συνήθως τις απώλειες πυρήνα. Οι απώλειες τριβών και ανεμισμού είναι ανεξάρτητες της ταχύτητας περιστροφής και θεωρούνται σταθερές.

Γενικά στοιχεία σύγχρονων κινητήρων

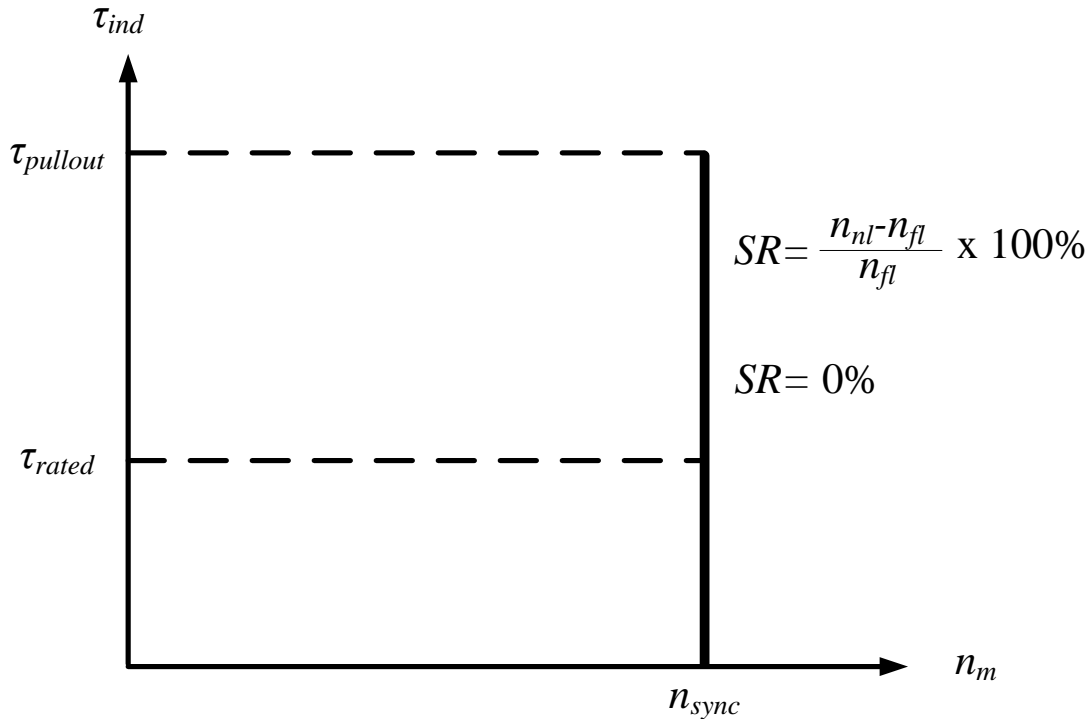
- Οι σύγχρονοι κινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν με απλή ρύθμιση του ρεύματος διέγερσης, με συντελεστή ισχύος είτε ωμικό, είτε επαγωγικό, είτε χωρητικό.
- Ο σύγχρονος κινητήρας δεν διαθέτει ροπή εκκίνησης. Ξεκινάει είτε με την χρήση κλωβού ή τυλίγματος αντιστάθμισης είτε ως ασύγχρονος κινητήρας.

### 4.3.4 Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας

Ο κινητήρας συνδέεται σε άπειρο ζυγό, αυτό σημαίνει ότι η τάση εισόδου και η συχνότητα παραμένουν σταθερές και ανεξάρτητες από την ισχύ εξόδου του κινητήρα. Δεν υπάρχει εξάρτηση από το φορτίο αφού η ταχύτητα του κινητήρα καθορίζεται από την συχνότητα. Από τα παραπάνω οι εξισώσεις της ροπής έχουν την παρακάτω μορφή:

$$\tau_{ind} = kB_R B_{net} \sin \delta \quad (4.28)$$

$$\tau_{ind} = \frac{3V_\phi E_A \sin \delta}{\omega_m X_s} \quad (4.29)$$



**Εικόνα 4.24. Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας.**

Από την εικόνα 4.24, διαφαίνεται ότι η ταχύτητα του ασύγχρονου κινητήρα παραμένει σταθερή από το σημείο λειτουργίας μέχρι το σημείο ανατροπής στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Η μέγιστη ροπή αναπτύσσεται όταν  $\delta=90^\circ$  ( $\sin\delta=1$ ), έτσι οι εξισώσεις παίρνουν την παρακάτω μορφή.

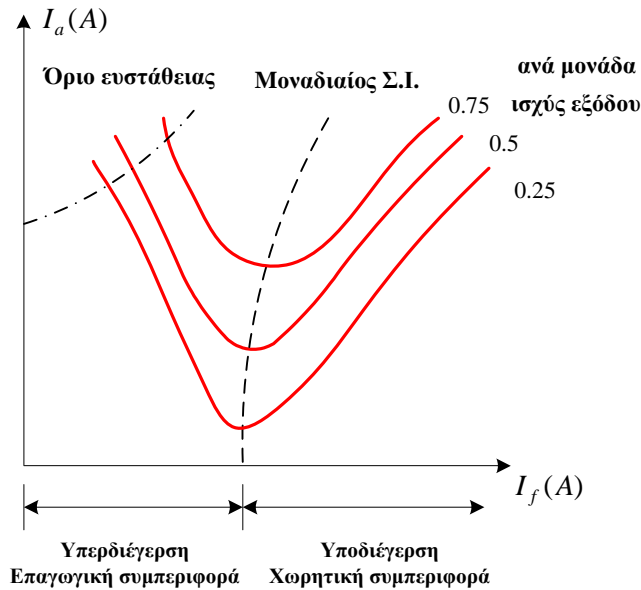
$$\tau_{ind} = kB_R B_{net} \quad (4.30)$$

$$\tau_{ind} = \frac{3V_\phi E_A}{\omega_m X_s} \quad (4.31)$$

Αν ξεπεραστεί η ροπή ανατροπής ο δρομέας της μηχανής επιβραδύνει διότι δεν μπορεί να συγκρατηθεί από το πεδίο του στάτη και το συνολικό μαγνητικό πεδίο, δηλαδή το πεδίο του στάτη προπορεύεται του πεδίο του δρομέα και δημιουργούνται απώλειες συγχρονισμού.

Από τις παραπάνω εξισώσεις όσο μεγαλώνει το ρεύμα διέγερσης ο κινητήρας γίνεται πιο ευσταθής αφού παράγεται μεγαλύτερη ροπή.

### 4.3.5 Μεταβολή του φορτίου στην λειτουργία του κινητήρα



Εικόνα 4.25. Χαρακτηριστική V σύγχρονου κινητήρα.

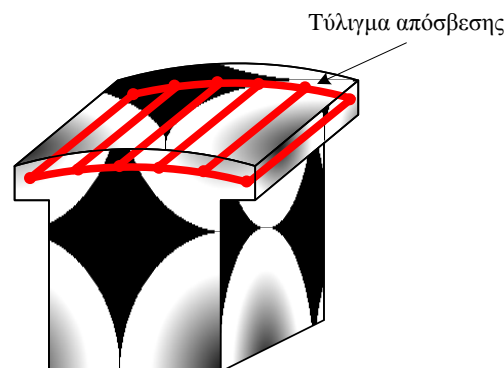
Στην παραπάνω χαρακτηριστική φαίνεται το ρεύμα φόρτισης του κινητήρα σε συνάρτηση με το ρεύμα διέγερσης. Η καμπύλη αυτή ονομάζεται V λόγω της μορφής της. Μαζί με το σημείο τομής της καμπύλης μοναδιαίου συντελεστή ισχύος καθορίζει την κανονική διέγερση όταν ο κινητήρας καταναλώνει μόνο πραγματική ισχύ και η ένταση φόρτισης γίνεται ελάχιστη. Αν η ένταση διέγερσης γίνει μεγαλύτερη από την κανονική, ο κινητήρας λειτουργεί στο δεξιό τμήμα της καμπύλης, δηλαδή είναι σε κατάσταση υπερδιέγερσης και λειτουργεί με χωρητικό συντελεστή ισχύος, δηλαδή δίνει άεργο ισχύ στο δίκτυο, όπως οι πυκνωτές και μπορεί να κάνει διόρθωση του συντελεστή ισχύος.

Αν η ένταση διέγερσης γίνει μικρότερη από την κανονική, ο κινητήρας λειτουργεί στο αριστερό τμήμα της καμπύλης, είναι σε κατάσταση υποδιέγερσης και λειτουργεί με επαγωγικό συντελεστή ισχύος, δηλαδή απορροφά άεργο ισχύ από το δίκτυο. Μέσω της διέγερσης μπορούμε να πετύχουμε συντελεστή ισχύος κοντά στην μονάδα και να βελτιστοποιήσουμε τον βαθμό απόδοσης.

### 4.3.6 Τυλίγματα απόσβεσης

Η προσθήκη τυλιγμάτων απόσβεσης έχει σαν σκοπό την εκκίνηση του κινητήρα και ταυτόχρονα να είναι ευσταθής η λειτουργία του κινητήρα. Ουσιαστικά είναι ένα πρόσθετο τυλίγμα κλωβού το οποίο τοποθετείται σε ειδικές αυλακώσεις στα πέλματα των μαγνητικών πόλων του δρομέα. Τα τυλίγματα απόσβεσης βοηθούν στην "απόσβεση" μεταβατικών φαινομένων και χρησιμοποιούνται συχνά στις σύγχρονες γεννήτριες όταν αυτές συνδέονται σε άπειρο ζυγό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σε περίπτωση αύξησης ή μείωσης της ροπής στην γεννήτρια τα τυλίγματα να προκαλούν αντίθετες ροπές σαν αποτέλεσμα την σταθεροποίηση της τάσης εξόδου και της ταχύτητας. Στην περίπτωση του κινητήρα τα τυλίγματα λειτουργούν ανασταλτικά σε οποιαδήποτε μεταβολή του φορτίου το οποίο τείνει να μεταβάλλει την ταχύτητα σε τιμή διαφορετική από την σύγχρονη ταχύτητα.

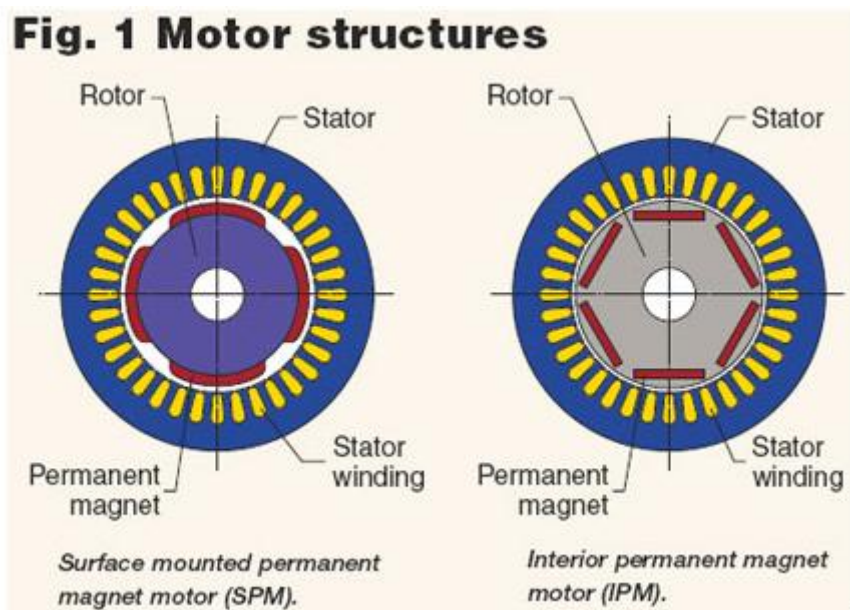
Μέσω των τυλιγμάτων απόσβεσης τα προμεταβατικά ρεύματα μειώνονται δραστικά και επίσης είναι σε θέση να προστατέψουν από τα μεταβατικά φαινόμενα κατά την βραχυκύκλωση της σύγχρονης γεννήτριας.



Εικόνα 4.26. Τύλιγμα απόσβεσης.

#### 4.4 Σύγχρονη μηχανή μόνιμου μαγνήτη

Ένας από τους πιο δημοφιλείς κινητήρες που χρησιμοποιείται στα ηλεκτροκίνητα οχήματα είναι ο κινητήρας μόνιμων μαγνητών. Υπάρχουν πολλά είδη μαγνήτη που χρησιμοποιούνται σε αυτούς του κινητήρες, όπως οι κεραμικοί μαγνήτες, οι μαγνήτες Alnico και οι μαγνήτες νεοδυμίου. Παρακάτω θα εξηγηθούν οι ιδιότητες αυτών των μαγνητών και η λειτουργία του σύγχρονου κινητήρα μόνιμων μαγνητών.



Εικόνα 4.27. Δομή ηλεκτρικού κινητήρα μόνιμων μαγνητών.

#### 4.4.1 Είδη μαγνητών

##### 4.4.1.1 Κεραμικοί μαγνήτες

Οι κεραμικοί μαγνήτες επίσης γνωστοί ως μαγνήτες φερρίτη είναι από τα πιο οικονομικά και αποδοτικά μαγνητικά υλικά. Κατασκευάζονται από οξείδιο του σιδήρου και βαρίου ή ανθρακικό στρόντιο. Αυτοί οι μαγνήτες έχουν καλή αντίσταση

λόγω των υλικών στην διάβρωση και στην απομαγνήτιση καθώς έχουν και χαμηλή τιμή στην απόκτηση τους. Είναι ισχυρότεροι από τους μαγνήτες Alnico αλλά πιο αδύναμοι από τους μαγνήτες νεοδυμίου.

Η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας των μαγνητών αυτών είναι οι 250°C. Σε υψηλές θερμοκρασίες υπάρχουν απώλειες οι οποίες εξαλείφονται όταν το υλικό των μαγνητών επιστρέφει στην κανονική θερμοκρασία. Εάν οι μαγνήτες βρεθούν σε θερμοκρασίες κάτω των -20°C τότε απομαγνητίζονται οριστικά εκτός αν έχουν φτιαχτεί για τέτοιο σκοπό.

#### **4.4.1.2 Μαγνήτες Alnico**

Οι μαγνήτες Alnico κατασκευάζονται από κράμα αργιλίου, αλουμινίου, κοβαλτίου και σιδήρου με προσμίξεις άλλων στοιχείων για να ενισχύσουν τις ιδιότητες του μαγνήτη. Έχουν σταθερότητα στην θερμοκρασία και καλή αντίσταση στην απομαγνήτιση. Κατασκευάζονται με δύο μεθόδους με χύτευση ή με πυροσυσσωμάτωση.

Η δεύτερη μέθοδος προσφέρει ανώτερα μηχανικά χαρακτηριστικά ενώ η χύτευση υψηλότερη ενέργεια παραγωγής. Προσφέρουν αντοχή στην διάβρωση, αντοχή μηχανική καταπόνηση, και μεγάλη σταθερότητα στην θερμοκρασία. Από την άλλη πλευρά έχουν υψηλό κόστος, χαμηλή παραγωγή δύναμης σε σχέση με άλλους μαγνήτες.

#### **4.4.1.3 Μαγνήτες νεοδυμίου σιδήρου βορίου**

Το μαγνητικό υλικό νεοδυμίου σιδήρου βορίου είναι τύπος σπάνιων γαιών. Οι μαγνήτες αυτοί δεν μπορούν να αντέξουν σε θερμοκρασίες πάνω από 80°C γιατί χάνουν την δύναμη τους. Υπάρχουν και μαγνήτες νεοδυμίου οι οποίοι έχουν κατασκευαστεί για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 220°C με μικρή μη αναστρέψιμη απώλεια. Οι μαγνήτες αυτοί έχουν την ιδιότητα να διαβρώνονται κατά μήκος των ορίων των κόκκων ενός πυροσυσσωματωμένου μαγνήτη. Αυτό του είδους η διάβρωση προκαλεί την διάλυση του μαγνήτη σε μικρά μαγνητικά σωματίδια. Αυτό βέβαια αντιμετωπίζεται με ειδική επάλειψη για την αποφυγή σε επαφή με το περιβάλλον. Αυτό γίνεται με επιμετάλλωση από νικελίου ή επιμετάλλωση με δύο στρώματα χαλκού νικελίου είναι οι τυπικές μέθοδοι.

Ο σύγχρονος κινητήρα μόνιμου μαγνήτη είναι ένα υβρίδιο δηλαδή διασταύρωση μεταξύ μιας επαγωγικής μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος και ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύχτρες (Brushless). Οι μηχανές μόνιμου μαγνήτη ανάλογα με τον αριθμό των τυλιγμάτων που διαθέτουν μπορεί να είναι μονοφασικές, διφασικές ή τριφασικές τα οποία τοποθετούνται εντός αυλακώσεων στον στάτη.

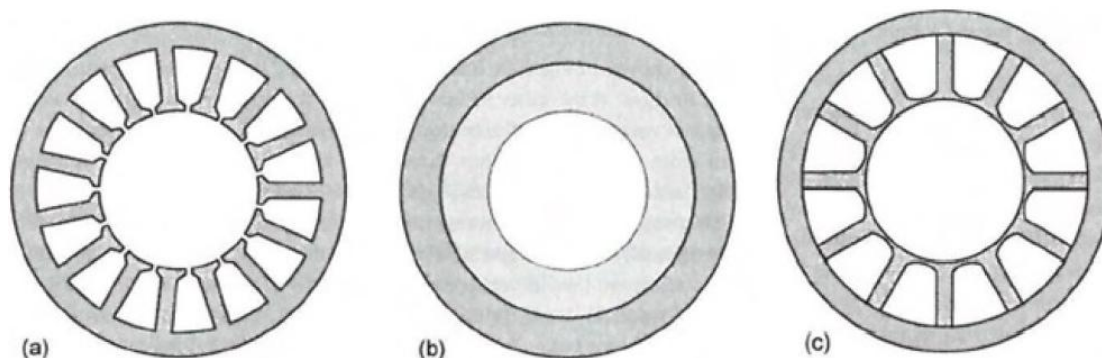
### **4.4.2 Κατασκευαστικά στοιχεία μηχανής μόνιμου μαγνήτη**

#### **4.4.2.1 Στάτης**

Ο στάτης μια μηχανής μόνιμου μαγνήτη κατασκευάζεται από ατσάλινο έλασμα, το οποίο εξυπηρετεί και στην μείωση των δινορρευμάτων (ελασματοποιημένος στάτης). Ανάλογα με το αν διαθέτει αυλακώσεις χωρίζεται σε στάτης με αυλακώσεις, στάτης χωρίς αυλακώσεις και στάτης με σφηνωμένες

αυλακώσεις. Στην πλειονότητα τους οι κινητήρες είναι με αυλακώσεις στον στάτη, οπότε θα γίνει αναφορά σε αυτούς.

Τα τυλίγματα τα οποία κατασκευάζονται από μικρότερες περιελίξεις τοποθετούνται σε ομοιόμορφες αυλακώσεις κατά μήκος, εντός της εσωτερικής περιφέρειας του στάτη. Συνήθως οι μηχανές αυτές αποτελούνται από τρία τυλίγματα τα οποία συνδέονται σε αστέρα κάθε ένα από τα οποία μοιράζεται την επιφάνεια του στάτη για την δημιουργία ζυγού αριθμού πόλων. Λόγω του θορύβου των τυλιγμάτων που δημιουργείται κατά την λειτουργία του κινητήρα λόγω δονήσεων χρησιμοποιείται μια άλλη τεχνική αυτή της τοποθέτησης καλουπιού στον στάτη.



**Εικόνα 4.28.** α) δρομέας με αυλακώσεις, β) χωρίς αυλακώσεις, γ) σφηνωμένες στον στάτη αυλακώσεις.

#### 4.4.2.2 Δρομέας

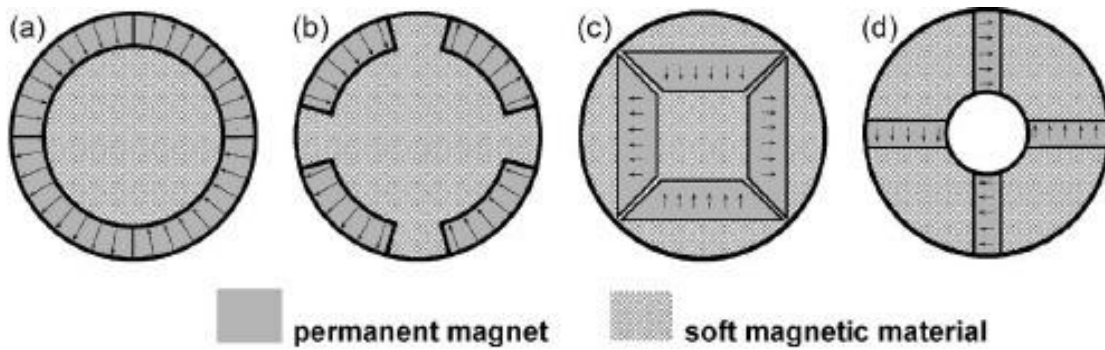
Ο δρομέας της μηχανής κατασκευάζεται από συμπαγή ατσάλι στην επιφάνεια του οποίου τοποθετούνται οι μόνιμοι μαγνήτες. Ανάλογα με την τοποθέτηση των μαγνητών οι δρομείς χωρίζονται σε:

- Δρομείς με μαγνήτες πάνω στην επιφάνεια τους (Εικόνα 4.30.a).
- Δρομείς με μαγνήτες τοποθετημένους οριζόντια κάτω από την επιφάνεια του δρομέα (Εικόνα 4.30.b).
- Δρομείς με μαγνήτες οριζόντια ενσωματωμένους (Εικόνα 4.30.c).
- Δρομείς με μαγνήτες κάθετα ενσωματωμένους (Εικόνα 4.30.d).

Ο δρομέας των σύγχρονων μηχανών μόνιμου μαγνήτη αν και από κατασκευαστικής άποψης φαίνεται λείος και κυλινδρικός δεν συμπεριφέρεται μαγνητικά όπως οι σύγχρονες μηχανές κυλινδρικών πόλων αλλά εμφανίζει έκτυπη συμπεριφορά η οποία ανάλογα με την κατασκευή μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερη έντονη.

Επίσης αποτελείται από το ζύγωμα(ανάλυση αρχή κεφαλαίου), τον άξονα και τον κλωβό απόσβεσης(προηγούμενο κεφάλαιο)





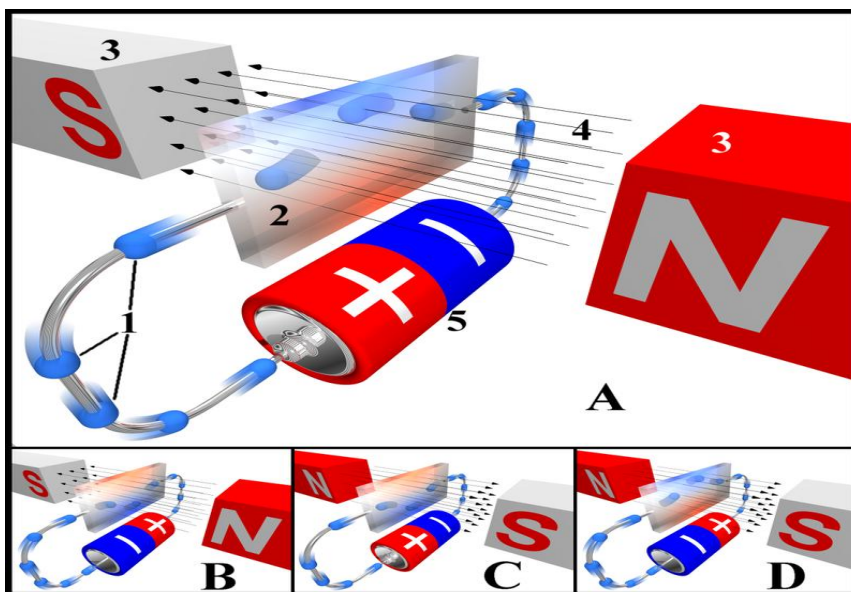
Εικόνα 4.29. a) δρομέας με μαγνήτες πάνω στην επιφάνεια τους, b) δρομέας με μαγνήτες τοποθετημένους οριζόντια κάτω από την επιφάνεια του δρομέα c) δρομέας με μαγνήτες οριζόντια ενσωματωμένους, d) δρομέας με μαγνήτες κάθετα ενσωματωμένους.

### 4.4.3 Δρομέας και μαγνήτες

Όπως άλλωστε γνωρίζουμε οι μαγνήτες είναι εκείνη οι οποίοι καθορίζουν το πόσο ισχυρό θα είναι το μαγνητικό πεδίο. Εάν οι μαγνήτες είναι από φερρίτη υλικό με χαμηλό κόστος και μικρή πυκνότητα ροής τότε ο κινητήρας μεγαλώνει σε όγκο για την επίτευξη όσον το δυνατόν μεγαλύτερη ηλεκτρομαγνητική ροπή. Από την άλλη η ανάπτυξη τις τεχνολογίας είχε σαν αποτέλεσμα την χρησιμοποίηση μαγνητών από κράματα σπάνιων γαιών. Τα κράματα αυτά έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα ροής, άρα ο όγκος του δρομέα και το συνολικό βάρος του κινητήρα μειώνεται για την παραγωγή της ίδιας ηλεκτρομαγνητικής ροπής συγκριτικά με τους μαγνήτες από φερρίτη. Δηλαδή μειώθηκε η αναλογία μέγεθος προ βάρους του δρομέα.

Οι δρομείς οι οποίοι φέρουν στην επιφάνεια τους μαγνήτες παρουσιάζουν ακτινωτές δυνάμεις κατά την επιτάχυνση και επιβράδυνση. Όταν η επιτάχυνση είναι πολύ μεγάλη επιβάλλεται η χρήση περιβλήματος συγκρότησης από άβαφο ατσάλι ή ανθρακονήματα

### 4.4.4 Αισθητήρας Hall



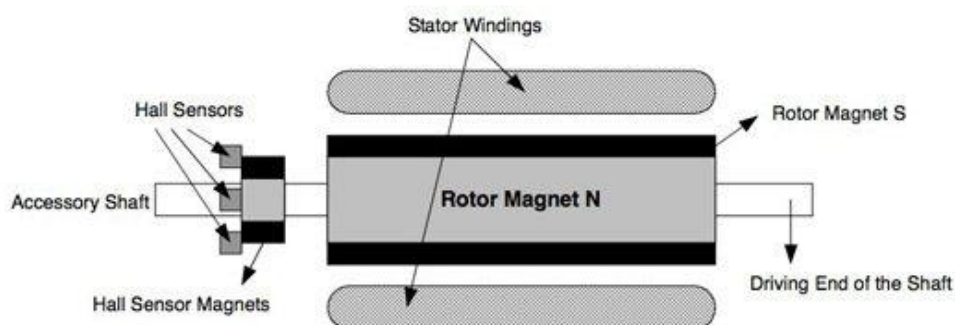
Εικόνα 4.30. Το φαινόμενο Hall για διαφορετικές κατευθύνσεις του ηλεκτρικού ρεύματος και του μαγνητικού πεδίου

Όταν ένας αγωγός ο οποίος διαρρέεται από ρεύμα βρεθεί εντός μαγνητικού πεδίου, τότε στα κινούμενα ηλεκτρικά φορτία ασκείται μια εγκάρσια δύναμη που τα ωθεί στην μια πλευρά του αγωγού. Αυτό είναι το φαινόμενο Hall

Η μετάβαση στους κινητήρες brushless λόγω της απουσίας ψηκτρών του ρεύματος γίνεται ηλεκτρονικά και όχι μηχανικά. Οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι πάνω στον κινητήρα οπότε κάθε χρονική στιγμή γνωρίζουμε την θέση του δρομέα, ο αισθητήρας επικοινωνεί μέσω ηλεκτρονικού συστήματος για να γυρίσει ο κινητήρας στον σωστό χρόνο και προσανατολισμό. Κάθε φορά που ένας μαγνητικός πόλος περάσει μπροστά από τον αισθητήρα δημιουργεί ένα υψηλό σήμα για τον θετικό πόλο και ένα χαμηλό σήμα για τον αρνητικό πόλο.

Οι αισθητήρες που τοποθετούνται συνήθως σε μια μηχανή είναι τρεις, βρίσκονται στον στάτη μετατοπισμένοι κατά  $60^\circ$  ή  $120^\circ$ . Η διαδικασία τοποθέτησης τους είναι δύσκολη και απαιτεί μεγάλη ακρίβεια διότι η παραμικρή απόκλιση θα οδηγήσει σε λανθασμένη πληροφορία σαν αποτέλεσμα θα υπάρχει μικρότερη ροπή και ο κινητήρας δεν θα έχει τα χαρακτηριστικά για τα οποία φτιάχτηκε.

Τέλος υπάρχει άλλη μια περίπτωση όπου οι αισθητήρες Hall είναι συνδεδεμένοι με τρεις μαγνήτες, οι οποίοι βρίσκονται στον δρομέα, έτσι ώστε όταν αυτός περιστρέφεται να δίνει το ίδιο αποτέλεσμα με τους μαγνήτες του δρομέα.



**Εικόνα 4.31. Αισθητήρες Hall συνδεδεμένοι με τρεις μαγνήτες οι οποίοι τοποθετούνται επάνω στον δρομέα.**

## 4.5 Σύγχρονη γεννήτρια

Οι γεννήτριες είναι μηχανές που μετατρέπουν την μηχανική - κινητική ενέργεια σε χημική λόγω αυτής της περιστροφής του δρομέα, περιστρέφεται μαζί του και το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο επάγοντας τριφασική τάση στο τύλιγμα του στάτη.

Για την λειτουργία της σύγχρονης γεννήτριας πρέπει να γίνει τροφοδότηση με συνεχή τάση το τύλιγμα του δρομέα. Ο δρομέας μπορεί να είναι είτε κυλινδρικός είτε με έκτυπους πόλους. Η τροφοδότηση με συνεχή τάση μπορεί να γίνει με δύο τρόπους είτε α). με εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος, όπου απαιτείται η μηχανή να διαθέτει ψήκτρες και δακτυλίους όπου σαν μειονέκτημα είναι η φθορά των ψηκτρών και αύξηση των απωλειών ισχύος είτε β). από πηγή συνεχούς ρεύματος στον άξονα της μηχανής.

Ο δεύτερος τρόπος πραγματοποιείται μέσω μιας διεγέρτριας μηχανής, δηλαδή γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος η οποία τροφοδοτείται από τον στάτη της κύριας γεννήτριας και το κύκλωμα οπλισμού βρίσκεται στον άξονα του δρομέα. Το

συνεχές ρεύμα προκύπτει από την ανόρθωση της τριφασικής εξόδου της διεγέρτριας όπου διαρρέει το κύκλωμα διέγερσης της κύριας γεννήτριας. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται αποφυγή των ψηκτών και των δακτυλίων.

#### 4.5.1 Ταχύτητα-συχνότητα σύγχρονης γεννήτριας

Η ονομασία αυτών των γεννητριών προέρχεται επειδή η ταχύτητα περιστροφής βρίσκεται σε συγχρονισμό με την παραγόμενη συχνότητα τάσεων.

$$f_c = \frac{n_m P}{120} \quad (4.32)$$

ή

$$f_c = \frac{n_m P}{60} \quad (4.33)$$

$n_m$  = ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου (rpm)

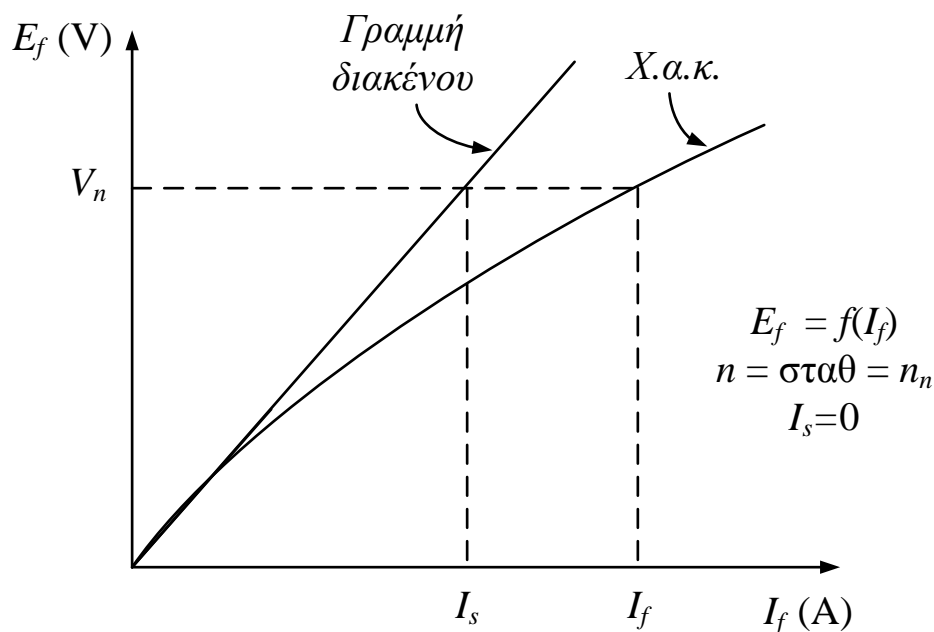
$f_c$  = ηλεκτρική συχνότητα (Hz)

$p$  = αριθμός πόλων

$P$  = ζεύγος πόλων

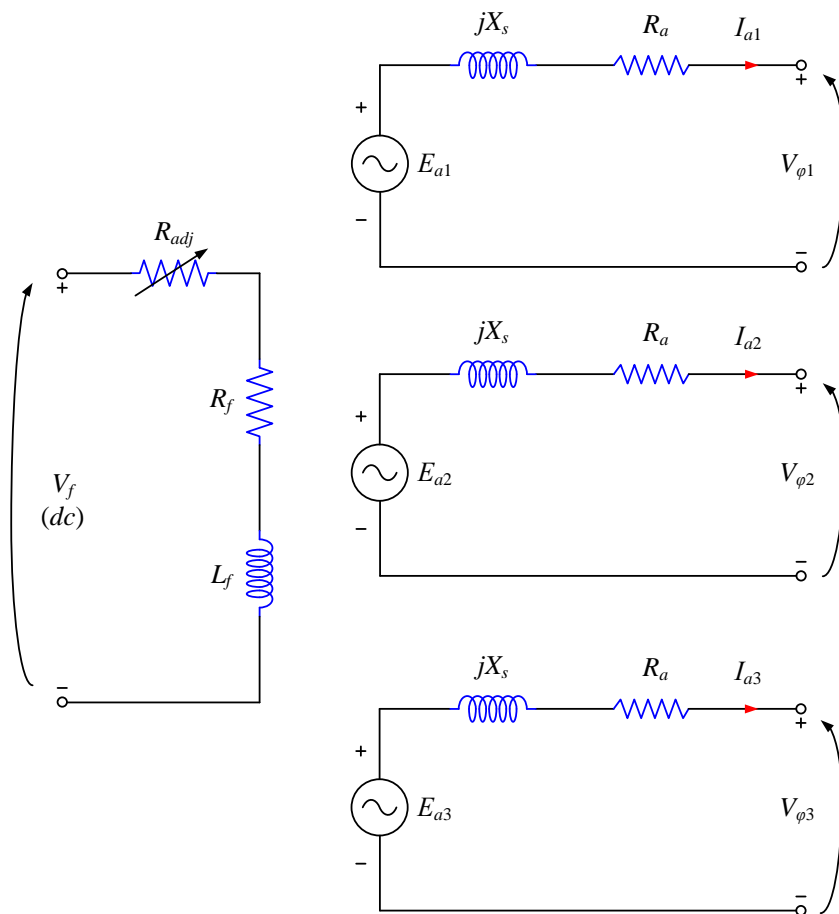
#### 4.5.2 Παραγόμενη τάση

Το πλάτος της τάσης που επάγεται σε κάθε φάση είναι  $E_a = 4,44N_c\Phi_f$  (4.34), σε απλοποιημένη μορφή παίρνει την μορφή  $E_a = K\Phi\omega$  (4.35). Το  $K$  εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής. Εφόσον η  $E_a$  είναι ανάλογη της μαγνητικής η οποία εξαρτάται από το ρεύμα διέγερσης  $I_f$  του δρομέα η χαρακτηριστική η οποία προκύπτει ονομάζεται καμπύλη μαγνήτισης ή καμπύλη ανοιχτού κυκλώματος.



Εικόνα 4.32. Καμπύλη μαγνήτισης ή καμπύλη ανοιχτού κυκλώματος.

### 4.5.3 Ανάλυση ισοδύναμου κυκλώματος



Εικόνα 4.33. Ισοδύναμο κύκλωμα κάθε φάσης τριφασικής σύγχρονης γεννήτριας.

Όταν το κύκλωμα στην Εικόνα 4.33. δεν διαρρέεται από ρεύμα τότε η  $E_a$  που επάγεται σε κάθε φάση θα ισούται με την  $V_\phi$ . Σε περίπτωση τροφοδότησης πρέπει να ληφθούν υπόψη όλοι οι παράγοντες. Η αντίδραση του οπλισμού όταν είναι συνδεδεμένο φορτίο στην γεννήτρια οφείλεται στο ρεύμα που διαρρέει τους αγωγούς του στάτη το οποίο είναι υπεύθυνο για την παραγωγή μαγνητικού πεδίου  $B_s$  το οποίο επηρεάζει το μαγνητικό πεδίο  $B_R$  (αρχικό πεδίο) στο εσωτερικό της μηχανής μεταβάλλοντας την τάση στο άκρο της γεννήτριας.

Όταν δεν υπάρχει φορτίο το μαγνητικό πεδίο του δρομέα  $B_R$  θα είναι ίσο με την  $E_a$ . Όμως το κύκλωμα του στάτη διαρρέεται από ρεύμα το μαγνητικό πεδίο του στάτη διαρρέεται από ρεύμα το μαγνητικό πεδίο  $B_s$  επάγεται σε κάθε φάση η  $E_{stat}$  δηλαδή επιπρόσθετη τάση. Οι φορές των διανυσμάτων  $E_a$  και  $B_R$  συμπίπτουν όπως και οι φορές των  $E_{stat}$  και  $B_s$ . Άρα η φορά των  $V_\phi$  και  $B_{net}$  θα συμπίπτουν.

$$V_\phi = E_a + E_{stat} \quad (4.36)$$

όπου,

$V_\phi$  = τάση σε κάθε φάση.

### Σύγχρονη αντίδραση

$$X_s = X + X_A \quad (4.37)$$

$X$  = αντίδραση οπλισμού

$X_A$  = αυτεπαγωγή τυλιγμάτων στάτη

### Μαγνητική επαγωγή

$$B_{net} = B_R + B_S \quad (4.38)$$

### Αντίδραση οπλισμού

$$E_{stat} = -jXI_A \quad (4.39)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω η τάση σε κάθε φάση είναι:

$$V_\phi = E_a - jX_S I_A - R_A I_A \quad (4.40)$$

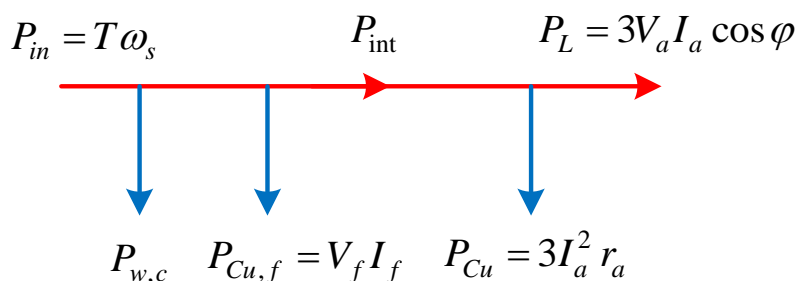
όπου η  $R_A$  είναι το τύλιγμα διέγερσης το οποίο παριστάνεται από μια ωμική αντίσταση και μια αυτεπαγωγή.

Ανάλογα με την σύνδεση των τυλιγμάτων προκύπτουν οι εξής ισότητες:

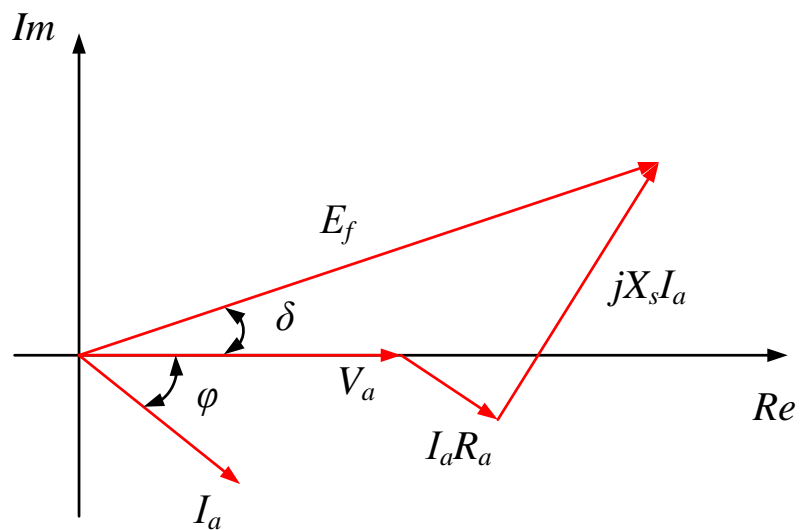
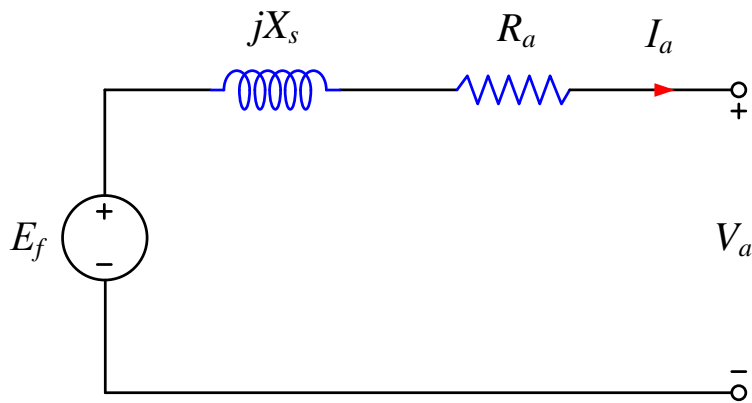
Για αστέρα  $V_T = \sqrt{3}V_\phi$

Για τρίγωνο  $V_T = V_\phi$

### 4.5.4 Απώλειες σύγχρονης μηχανής και ροπή



Εικόνα 4.34. Διάγραμμα ροής ισχύος σύγχρονης γεννήτριας.



Εικόνα 4.35. Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας και διανυσματικό διάγραμμα τάσεων και ρευμάτων.

Εσωτερική ή ηλεκτρομαγνητική ισχύς :

$$P_{\text{int}} = 3 \operatorname{Re} \{ \mathbf{E}_f \mathbf{I}_a^* \} \quad (4.41)$$

Ρεύμα τομπάνου

$$\mathbf{I}_a = \frac{\mathbf{E}_f - \mathbf{V}_a}{r_a + jx_s} = \frac{\mathbf{E}_f - \mathbf{V}_a}{\mathbf{z}_s} \quad (4.42)$$

Άρα

$$P_{\text{int}} = \operatorname{Re} \{ \mathbf{S}_{\text{int}} \} = 3 \left( \frac{E_f^2}{z_s} \cos \varphi - \frac{E_f V_a}{z_s} \cos(\delta + \varphi) \right) \quad (4.43)$$

και

$$Q_{\text{int}} = \operatorname{Im} \{ \mathbf{S}_{\text{int}} \} = 3 \left( \frac{E_f^2}{z_s} \sin \varphi - \frac{E_f V_a}{z_s} \sin(\delta + \varphi) \right) \quad (4.44)$$

Απόδιδόμενη ισχύς φορτίου

$$P_L = \text{Re}\{\mathbf{S}_L\} = 3 \left( \frac{V_a E_f}{z_s} \cos(\varphi - \delta) - \frac{V_a^2}{z_s} \cos \varphi \right) \quad (4.45)$$

και

$$Q_L = \text{Im}\{\mathbf{S}_L\} = 3 \left( \frac{V_a E_f}{z_s} \sin(\varphi - \delta) - \frac{V_a^2}{z_s} \sin \varphi \right) \quad (4.46)$$

Δηλαδή

$$Q_{\text{int}} = Q_L + I_a^2 x_s \quad (4.47)$$

και

$$P_{\text{int}} = P_L + I_a^2 r_a \quad (4.48)$$

Όταν  $R_a \ll X_s$  και η διέγερση και η τάση τροφοδοσίας είναι σταθερή τότε

$$P_{\text{int}} = P_L = 3 \frac{V_a E_f}{x_s} \sin \delta = P_{\text{max}} \sin \delta \quad (4.49)$$

$$Q_{\text{int}} = 3 \left( \frac{E_f^2}{z_s} - \frac{E_f V_a}{z_s} \cos \delta \right) \quad (4.50)$$

$$Q_L = 3 \left( \frac{V_a E_f}{z_s} \cos \delta - \frac{V_a^2}{z_s} \right) \quad (4.51)$$

**Ισχύς αποσυγχρονισμού**

$$P_{\text{max}} = \frac{3E_f V_a}{x_s} \quad (4.52)$$

**Εσωτερική ροπή**

$$T = \frac{P_{\text{int}}}{\omega_s} = \frac{3}{\omega_s} \frac{V_a E_f}{x_s} \sin \delta = T_{\text{max}} \sin \delta \quad (4.53)$$

**Μέγιστη ροπή**

$$T_{\text{max}} = \frac{3}{\omega_s} \frac{E_f V_a}{x_s} \quad (4.54)$$

Όταν μια γεννήτρια είναι συνδεδεμένη σε άπειρο ζυγό τόσο το πλάτος όσο και η συχνότητα της τάσης εξόδου δεν είναι δυνατόν να μεταβάλλονται. Η ρύθμιση της ενεργούς ισχύς γίνεται μέσω της ταχύτητας του δρομέα και η άεργος ισχύς μέσω του ρεύματος διέγερσης.

## 4.6 Περιορισμοί υπερθέρμανσης

Η αύξηση της θερμοκρασίας σε μια γεννήτρια έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της παραγόμενης ισχύος καθώς μικραίνει τον χρόνο ζωής. Η σύγχρονη γεννήτρια επειδή διαθέτει δυο τυλίγματα προκύπτουν δύο περιορισμοί

υπερθέρμανσης. Ο πρώτος παράγοντας είναι ότι το όριο υπερθέρμανση του τυλίγματος του οπλισμού προσδιορίζει την μέγιστη επιτρεπόμενη φαινόμενη ισχύ εξόδου και το δεύτερο είναι ότι το όριο υπερθέρμανσης του τυλίγματος διέγερσης καθορίζει την επιτρεπόμενη τιμή της  $E_a$ . Οι μέγιστες τιμές  $E_a$  και  $I_a$  ορίζουν από κοινού τον ονομαστικό συντελεστή ισχύος της γεννήτριας.

## 4.7 Αναγεννητική πέδηση κινητήρων

Η χρήση ηλεκτρικών κινητήρων για την κίνηση οχημάτων καθιστά δυνατή την εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη διάρκεια της πέδησης του οχήματος. Η αναγεννηθείσα ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη φόρτιση μπαταριών ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος. Έτσι τα ηλεκτροκίνητα οχήματα πρέπει να είναι εφοδιασμένα και με σύστημα μηχανικής πέδησης ακόμη και αν ο ηλεκτροκινητήρας σχεδιάζεται με δυνατότητα πέδησης. Ωστόσο, η αναγεννητική πέδηση μπορεί να εξοικονομήσει σημαντικό ποσό ενέργειας, επεκτείνοντας την αυτονομία ενός οχήματος. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με συμβατικά συστήματα πέδησης, όπου η περίσσεια κινητική ενέργεια μετατρέπεται θερμότητα από την τριβή των φρένων.

Εκτός από τη βελτίωση της συνολικής αποδοτικότητας του οχήματος, αναγέννηση μπορεί να παρατείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής του συστήματος συμβατικής πέδησης αφού υπάρχει μικρότερης διάρκειας τριβή. Η αναγεννητική πέδηση δεν είναι αρκετή κατά την επιβράδυνση του οχήματος ή ακόμα και κατά την ακινητοποίηση του, έτσι απαιτείται και η συμβατική (μηχανική) πέδηση. Οι λόγοι μη αποκλειστικής χρήσης της αναγεννητικής πέδησης είναι ότι:

1. μειώνει την ταχύτητα του οχήματος σταδιακά,
2. δεν εφαρμόζεται σε όλους τους τροχούς πάρα μόνο σε αυτούς που βρίσκεται ο ηλεκτροκινητήρας,
3. δεν μπορεί να ακινητοποιήσει το όχημα σε περίπτωση στάθμευσής του σε ανωφέρεια ή κατωφέρεια,
4. είναι ανεπαρκής κατά το φρενάρισμα έκτακτης ανάγκης και
5. σε περίπτωση αποτυχίας της, το όχημα παραμένει ακυβέρνητο.

### 4.7.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος και αναγεννητική πέδηση

Προκειμένου να γίνει αναγεννητική πέδηση στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος θα πρέπει ο κινητήρας να είναι συνδεσμολογίας ξένης διέγερσης και όχι παράλληλης διέγερσης, ώστε η τάση τροφοδοσίας του τυλίγματος διέγερσης να μην επηρεάζεται από τις μεταβολές της τάσης του τυλίγματος τυμπάνου καθώς και να υπάρξει αντιστροφή του ρεύματος τυμπάνου. Το τελευταίο επιβάλλει την χρήση κυκλώματος ελέγχου για να γίνεται ρύθμιση της τάσης τροφοδοσίας του τυλίγματος τυμπάνου και να ισχύει σε κάθε χρονική στιγμή ότι  $|v_{(t)}| \leq |e_a(t)|$ .

Ρεύμα πέδησης:

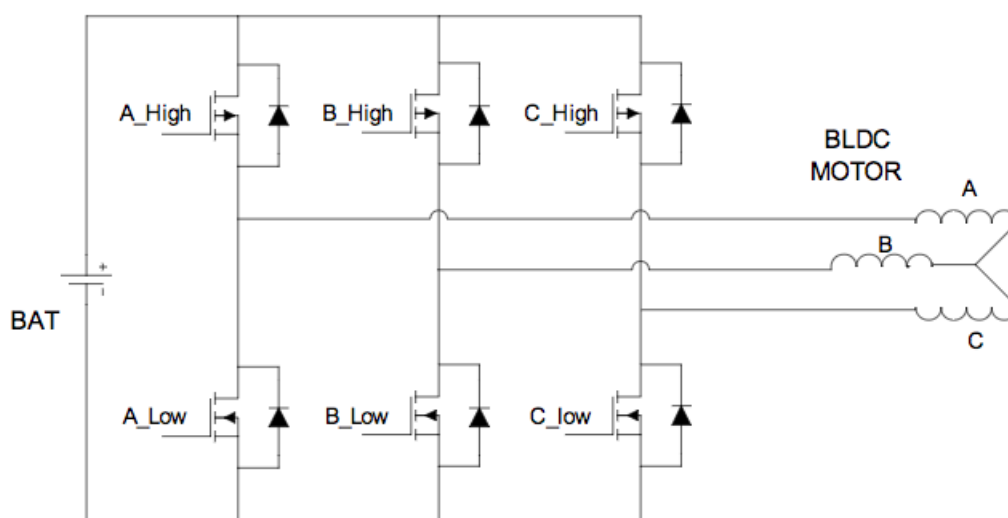
$$i_a(t) = \frac{v_{(t)} - e_a(t)}{R_a} \quad (4.55)$$

Από τον παραπάνω τύπο διαφαίνεται ότι η διαφορά των δυο μεγεθών  $V_{(t)}$  και  $e_a(t)$  καθορίζει το μέγεθος του ρεύματος πέδησης, την αναπτυσσόμενη αντιροπή και τον χρόνο πέδησης.



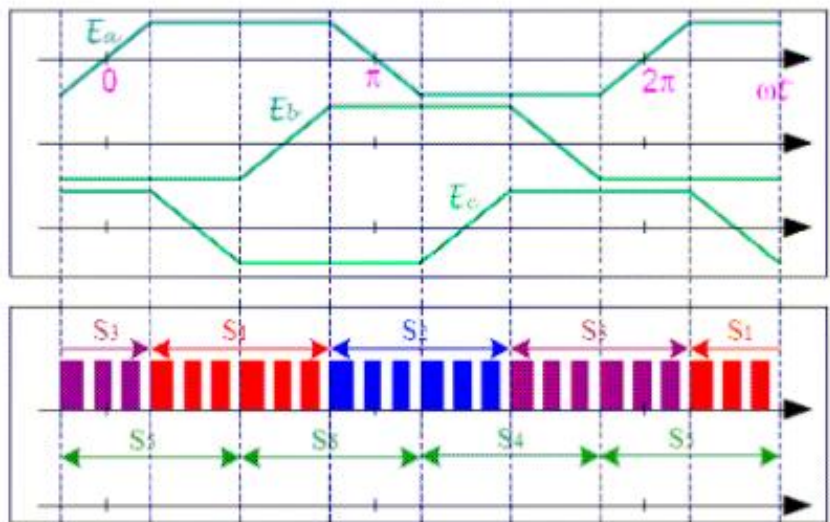
## 4.7.2 Κινητήρες μόνιμου μαγνήτη και αναγεννητική πέδηση

Η αναγεννητική πέδηση μπορεί να επιτευχθεί αντιστρέφοντας το ρεύμα στο κύκλωμα μπαταρίας – κινητήρα κατά την επιβράδυνση (του οχήματος) εκμεταλλευόμενη τη δράση του κινητήρα σαν γεννήτρια επανακατευθύνοντας την ροή του ρεύματος στην μπαταρία τροφοδοσίας του οχήματος. Το ίδιο κύκλωμα ενέργειας της Εικόνας 4.36 μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την κατάλληλη «στρατηγική» αλλαγής διεύθυνσης. Μια απλή και αποτελεσματική μέθοδος είναι η ανεξάρτητη αλλαγή της κατεύθυνσης σε συνδυασμό με μια διαμόρφωση του εύρους του παλμού (PWM) για να εφαρμοστεί ένας αποτελεσματικός έλεγχος της πέδησης.



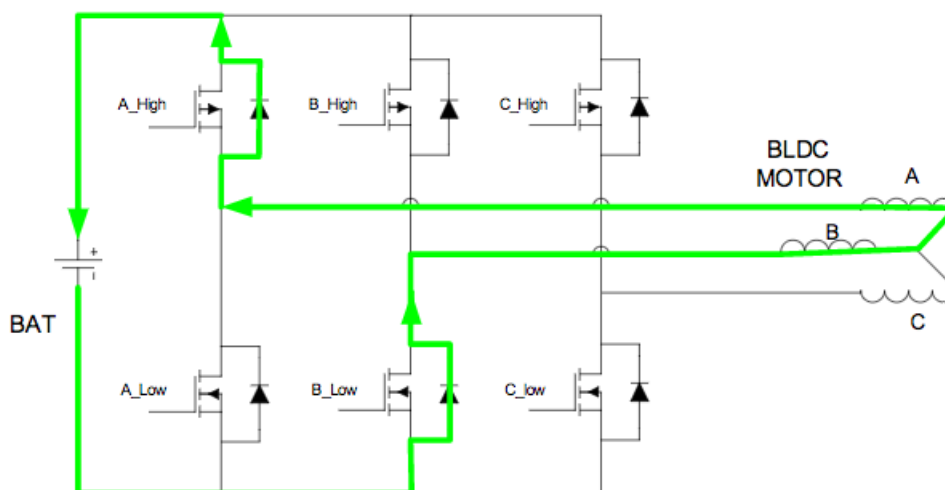
Εικόνα 4.36. Κύκλωμα ισχύος αντιστροφής.

Στην ανεξάρτητη αλλαγή της κατεύθυνσης όλες οι ηλεκτρονικές συσκευές αλλαγής κατεύθυνσης είναι εκτός λειτουργίας καθώς εφαρμόζεται η αναγεννητική πέδηση. Οι κατώτερες συσκευές αλλαγής κατεύθυνσης που βρίσκονται σε λειτουργία για ένα τμήμα 120 μοιρών του κύκλου, σε αντιστοιχία με το ευθύ ανώτερο τμήμα της φάσης EMF (electromagnetic fields), όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 4.37.. Όλοι οι ανώτεροι διακόπτες παραμένουν εκτός λειτουργίας.



**Εικόνα 4.37. Λειτουργία διακοπών αντιστροφής.**

Το PWM χρησιμοποιείται για να ελέγξει το βαθμό της αναγεννητικής πέδησης μεταβάλλοντας τον κύκλο λειτουργίας του PWM. Σε αυτήν την λειτουργία οι ενεργοποιημένες περιελίξεις επιτρέπουν στο ρεύμα να κυλήσει δια μέσω της χαμηλής πλευράς του διακόπτη PWM και δια μέσω της διόδου ελεύθερης περιστροφής του διακόπτη υψηλής φάσης της χαμηλής πλευράς. Καθ' αυτόν τον τρόπο δεν κυκλοφορεί το ρεύμα από την μηχανή BLDC στην μπαταρία τροφοδοσίας. Κατά τη διάρκεια της αναγεννητικής πέδησης, το ρεύμα στην περιέλιξη αντιστρέφεται και τροφοδοτεί πάλι την μπαταρία. Σε αυτήν την λειτουργία, όλοι οι διακόπτες είναι εκτός λειτουργίας και το ρεύμα μπορεί να κυλήσει πίσω δια μέσω των διόδων ελεύθερης περιστροφής (Εικόνα 4.38).



**Εικόνα 4.38. Ροή ρεύματος αναγέννησης.**

Για τον έλεγχο του βαθμού της πέδησης του PWM ο κύκλος λειτουργίας ποικίλλει, κάτι που εναλλάσσει ουσιαστικά την ροή του ρεύματος μεταξύ της αναγέννησης και διέλευσης με σβησμένο κινητήρα. Το μέγιστο επίπεδο αναγέννησης συμβαίνει όταν οι διακόπτες που βρίσκονται στη χαμηλή πλευρά είναι όλοι εκτός

λειτουργίας. Κατά συνέπεια, ο κύκλος λειτουργίας ποικίλλει από τον υψηλό στο χαμηλό. Ως εκ τούτου, απλά αποσυνδέοντας το κύκλωμα του μετατροπέα (μονάδα τροφοδοσίας/ισχύος) από την πηγή του ελέγχου που ελέγχει την ακολουθία εναλλαγής των μετατροπέων (κύκλωμα ελέγχου), η αναγεννητική πέδηση θα συμβεί στο μέγιστο βαθμό.

Τα βήματα εναλλαγής (του ρεύματος) ελέγχονται από το στάδιο του ελέγχου που μετράει τις μετρήσεις του αισθητήρα του φαινομένου του Hall (Hall Effect), παρεμφερή με τη διαδικασία της αυτοκίνησης. Η αναγεννητική πέδηση μπορεί να εφαρμοστεί ενώ το όχημα βρίσκεται σε αντιστροφή. Η ίδια μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εμπρόσθια λειτουργία. Όμως, οι φάσεις ενεργοποιούνται διαφορετικά και έτσι απαιτείται μια διαφορετική ακολουθία εναλλαγής. Αυτή η ακολουθία εναλλαγής καθορίζεται από το στάδιο ελέγχου και τη χρήση ενός εμπρόσθιας/αντίστροφης διασύνδεσης του διακόπτη.

## **4.8 Συμπεράσματα για τα είδη των μηχανών**

Για την σωστή αγορά ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος θα πρέπει αυτό να διαθέτει:

- ροπή εκκίνησης
- ηλεκτρικό κινητήρα με δύναμη ώστε το όχημα να μπορεί να ανέβει σε ανωφέρειες
- απόδοση
- μεγάλο εύρος στροφών

### **4.8.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος**

Ο κινητήρας που ικανοποιεί τα περισσότερα από αυτά τα κριτήρια είναι ο κινητήρας διέγερσης σειράς. Για την αύξηση του φορτίου χαμηλώνει τις στροφές, μειώνει την ΑΗΕΔ και αυξάνει το ρεύμα που απορροφά καθώς από την σχέση 4.4 ( $T = K' I_a^2$ ) γνωρίζουμε ότι η ροπή αυξάνει με το τετράγωνο του ρεύματος. Οι κινητήρες σύνθετης αθροιστικής διέγερσης, λόγω μεγάλου κόστους κατασκευής και δυσκολίας στον έλεγχο των στροφών, δεν χρησιμοποιούνται. Τέλος, τόσο με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος, όσο και με την ελαστικότητα που παρουσιάζει ο κινητήρας παράλληλης και σύνθετης διέγερσης στον έλεγχο των στροφών, αλλά και λόγω της χαρακτηριστικής γωνιακής ταχύτητας-ροπής, οι κινητήρες αυτοί αρχίζουν να κερδίζουν έδαφος και να χρησιμοποιούνται στα ηλεκτροκίνητα οχήματα. Οι προαναφερθέντες κινητήρες έτσι και αλλιώς δεν έχουν χρησιμότητα στα ηλεκτροκίνητα οχήματα αφού σε αυτούς δεν μπορεί να γίνει, όπως στους κινητήρες ξένης διέγερσης, αναγεννητική πέδηση.

## 4.8.2 Τριφασικός κινητήρας επαγωγής και τριφασικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη

Στο τελευταίο μέρος αυτού του κεφαλαίου θα γίνει αντιπαράθεση ανάμεσα στους δυο πιο χρησιμοποιημένους κινητήρας στην ιστορία της ηλεκτροκίνησης. Οι δύο αυτοί κινητήρες είναι ο τριφασικός ασύγχρονος κινητήρας (επαγωγικός κινητήρας) και ο τριφασικός κινητήρας μόνιμων μαγνητών (brushless DC).

Τόσο οι μηχανές μόνιμου μαγνήτη όσο και οι επαγωγικές μηχανές είναι μηχανές που έχουν την ίδια κατασκευή στον στάτη, χρησιμοποιούν τριφασικό αντιστροφέα με διαμόρφωση εύρους παλμών. Η μόνη διαφορά είναι η κατασκευή του δρομέα και ο έλεγχος μέσω αντιστροφέα (inverter). Τώρα με τους ψηφιακούς ελεγκτές η μόνη διαφορά είναι στον κώδικα για τον έλεγχο. (Οι κινητήρες DC brushless χρησιμοποιούν αισθητήρα θέσης ενώ οι επαγωγικοί κινητήρες αισθητήρα ταχύτητας).

Μια από τις πιο κύριες διαφορές είναι ότι ο δρομέας της μηχανής μόνιμου μαγνήτη εκπέμπει λιγότερη θερμότητα, η ψύξη του δρομέα είναι πιο εύκολη και ο βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος. Σε αυτήν την μηχανή ο βαθμός απόδοσης προσεγγίζει την μονάδα ενώ ο επαγωγικός κινητήρας μπορεί να φτάσει ο βαθμός απόδοσης μέχρι 85%. Αυτό σημαίνει ότι στο μέγιστο σημείο της ενεργειακής απόδοσης ο κινητήρας Dc brushless τυπικά θα είναι μερικές ποσοστιαίας μονάδες υψηλότερη από μια μηχανή επαγωγής.

Μια ιδανική brushless DC μηχανή η ένταση του μαγνητικού πεδίου παράγεται από μόνιμους μαγνήτες και είναι ρυθμιζόμενη. Όταν υπάρχει μέγιστη ροπή, ιδιαίτερα σε χαμηλές ταχύτητες, η ένταση του μαγνητικού πεδίου ( $B$ ) πρέπει να είναι μέγιστη έτσι ώστε τα ρεύματα του αντιστροφέα και του κινητήρα να είναι όσο τον δυνατόν μικρότερα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των απωλειών ( $P = I^2 R$ ) και αύξηση της απόδοσης. Αντίστοιχα όταν η ροπή είναι μικρή, το μαγνητικό πεδίο  $B$  πρέπει να μειωθεί έτσι οι απώλειες λόγω δινορευμάτων και υστέρησης λόγω του μαγνητικού πεδίου να μειωθούν. Η πιο ιδανική συνθήκη είναι το μαγνητικό πεδίο να είναι μεταβλητό έτσι ώστε το άθροισμα από τις απώλειες δινορευμάτων, απώλειες υστέρησης και οι απώλειες  $I^2$  να είναι οι μικρότερες. Το πρόβλημα είναι ότι δεν μπορεί στους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη να γίνει ρύθμιση του μαγνητικού πεδίου.

Αντίθετα οι επαγωγικές μηχανές δεν έχουν μαγνήτες και το μαγνητικό πεδίο είναι ρυθμιζόμενο δεδομένου ότι είναι ανάλογο του λόγου  $V/f$  (τάση προς συχνότητα). Αυτό σημαίνει ότι όταν υπάρχει μικρό φορτίο ο αντιστροφέας μειώνει την τάση, έτσι ώστε να μειωθεί το μαγνητικό πεδίο και να αυξηθεί η απόδοση. Έτσι όταν οι επαγωγικές μηχανές συνεργάζονται με έναν "έξυπνο αντιστροφέα" έχουν πλεονέκτημα έναντι των μηχανών Brushless DC, έτσι οι μαγνητικές απώλειες και οι απώλειες αγωγιμότητας εναλλάσσονται έτσι ώστε να βελτιστοποιείτε η απόδοση. Αυτό το πλεονέκτημα γίνεται όλο και πιο σημαντικό καθώς αυξάνεται η απόδοση. Στις μηχανές brushless DC αύξηση του μεγέθους της μηχανής συνεπάγεται με αύξηση των μαγνητικών απωλειών αναλογικά και η απόδοση μειώνεται. Στις μηχανές επαγωγής αύξηση του μεγέθους της μηχανής δεν σημαίνει απαραίτητα αύξηση και των απωλειών, έτσι οι επαγωγικές μηχανές προτιμώνται σε υψηλής απόδοσης εφαρμογές. Μπορεί η συνολική απόδοση να είναι μικρότερη έναντι του άλλου είδους μηχανής αλλά η μέση απόδοση είναι μεγαλύτερη.

Οι μηχανές μόνιμου μαγνήτη λόγω των μαγνητών έχουν ακριβή κατασκευή και πρέπει να δύνεται έμφαση όταν υπάρχουν μεγάλες δυνάμεις διότι είναι δύσκολος

ο χειρισμός τους. Έτσι υπάρχει πλεονέκτημα για τις μηχανές επαγωγής τόσο για το κόστος της μηχανής που είναι μικρότερο όσο ότι λόγω της αδυναμίας του πεδίου, το κόστος και οι διαβαθμίσεις του αντιστροφέα είναι μικρότερο, ειδικά για της μηχανές υψηλής απόδοσης. Δεδομένου ότι οι στρεφόμενες επαγωγικές μηχανές παράγουν μικρή ή και καθόλου τάση όταν ελαττώνεται η ενέργεια τους, είναι πιο εύκολα να προστατευτούν.

Τέλος πρέπει να σημειώσουμε ότι στις μηχανές επαγωγής είναι δύσκολος ο έλεγχος , αφού απαιτούνται περίπλοκα και δύσκολα στην κατανόηση συστήματα. Η επίτευξη σταθερότητας πάνω από περιοχή ταχύτητας-ροπής και πάνω από την περιοχή της θερμοκρασία είναι πιο δύσκολο σε σχέση με τις μηχανές brushless DC. Αυτό σημαίνει ότι η ανάπτυξη των συστημάτων είναι δαπανηρή, αλλά οι μετέπειτα δαπάνες είναι μικρές έως ανύπαρκτες.



# 5 Ηλεκτρικές Μπαταρίες



## 5.1 Ορισμοί

Για την καλύτερη αποσαφήνιση του κεφαλαίου 5 θα πρέπει να δοθούν οι ορισμοί των τεχνικών όρων των μπαταριών.

- Μπαταρία οξέος: Η μπαταρία στην οποία χρησιμοποιείται σαν ηλεκτρολύτης ένα οξύ.
- Ενεργό υλικό: Υλικό των ηλεκτροδίων το οποίο παράγει ηλεκτρική ενέργεια κατά την διάρκεια εκφόρτισης από την χημική ενέργεια που αποθηκεύεται κατά την φόρτιση.
- Αλκαλική μπαταρία: Μια μπαταρία η οποία χρησιμοποιεί αλκαλικό υδατικό διάλυμα για τον ηλεκτρολύτη της.
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος: Η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Αμπερώρια: Μονάδα που εκφράζει την χωρητικότητα μιας μπαταρίας ή ενός κελιού. Τα αμπερώρια είναι αποτέλεσμα του βαθμού εκφόρτισης και του χρόνου εκφόρτισης μιας μπαταρίας ή ενός κελιού. Συνήθως μετριέται σε mAh (milli-Amps x hours)
- Άνοδος: Ηλεκτρόδιο όπου λαμβάνει χώρα η οξειδωση κατά την διάρκεια μιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι η άνοδος κατά την διάρκεια εκφόρτισης και το θετικό ηλεκτρόδιο είναι η άνοδος κατά την φόρτιση.
- Μπαταρία (συστοιχία συσσωρευτών): Δύο ή περισσότερα ηλεκτρικά συνδεδεμένα κελία σε σειρά ή παράλληλα, με σκοπό να δημιουργήσουν την επιθυμητή τάση/χωρητικότητα. Ο όρος μπαταρία αναφέρεται για ένα κύτταρο.
- Κύτταρο τύπου κουμπιού: Κύτταρο μπαταρίας με συνολικό ύψος μικρότερο της διαμέτρου της. Τα κύτταρα τύπου κουμπιού κατασκευάζονται με κυκλικά ηλεκτρόδια που χωρίζονται με ένα διαχωριστικό φύλλο.
- C: Το C υποδηλώνει την ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας. Το ρεύμα φόρτισης-εκφόρτισης καθορίζεται από το πολλαπλάσιο του C.
- Βαθμός C: Είναι το μέτρο του ρυθμού με τον οποίο μια μπαταρία φορτίζεται ή αποφορτίζεται σε σχέση με την χωρητικότητα της μπαταρίας. Ο βαθμός C δίνεται από την αριθμητική τιμή του λόγου φόρτισης ή εκφόρτισης σε Ampere με την χωρητικότητα της μπαταρίας σε Ah
- Κάδμιο (cadmium): Χημικός συμβολισμός Cd. Αυτό το μεταλλικό στοιχείο είναι ένα χημικά ενεργό υλικό αρνητικού ηλεκτροδίου μιας μπαταρίας νικελίου-καδμίου. Όταν η μπαταρία φορτίζεται, η επιφάνεια του αρνητικού ηλεκτροδίου περιέχει κάδμιο. Καθώς αποφορτίζεται το κάδμιο μετατρέπεται σε υδροξείδιο του καδμίου.
- Υδροξείδιο του καδμίου: Ενεργό υλικό που χρησιμοποιείται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο ενός κελιού νικελίου-καδμίου.

- Άλας καδμίου: Μια χημική ένωση στην οποία τα άτομα υδρογόνου αντικαθιστούνται από κάδμιο.
- Χωρητικότητα: Η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που μπορεί να παραδώσει στην ονομαστική τάση. Όσο περισσότερο υλικό ηλεκτροδίου εμπεριέχεται σε ένα κελί τόσο υψηλότερη είναι η χωρητικότητα.
- Κελί ή κύτταρο: Το κελί είναι η βασική ηλεκτροχημική μονάδα που αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια ή απελευθερώνει αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια.
- Φόρτιση: Η διαδικασία αναπλήρωσης ή αντικατάστασης του ηλεκτρικού φορτίου σε ένα επαναφορτιζόμενο κύτταρο ή μπαταρία.
- Βαθμός φόρτισης: Ρεύμα που εφαρμόζεται σε ένα κελί για την αποκατάσταση της χωρητικότητας του. Ο βαθμός φόρτισης συνήθως εκφράζεται σε βαθμούς C του κυττάρου.
- Διατήρηση φόρτισης: Υπολειπόμενο χωρητικότητας μετά από μια περίοδο αποθήκευσης μιας πλήρους φορτισμένης μπαταρίας.
- Κυμαινόμενη φόρτιση (Float Charge): Η μέθοδος που ακολουθείται για τη διατήρηση της φόρτισης της μπαταρίας ή του κελιού αυτής με τη συνεχή φόρτιση της σε ένα ποσοστό επαρκές για να εξισορροπήσει της «αυτό-εκφόρτιση» της.
- Χημικά κελία: Τύπος κυττάρων που μετατρέπουν την ενέργεια από χημικές αντιδράσεις σε ηλεκτρικό ρεύμα.
- Σταθερή τάση φόρτισης: Φόρτιση κατά την οποία η τάση στα άκρα της μπαταρίας διατηρείται σε σταθερή τιμή.
- Σταθερό ρεύμα φόρτισης: Φόρτιση κατά την οποία το ρεύμα διατηρείται σε σταθερή τιμή.
- Κουλόμπ: Μονάδα για την μέτρηση του εισερχόμενου ρεύματος φόρτισης και του εξερχόμενου ρεύματος εκφόρτισης μιας μπαταρίας. Ένα Κουλόμπ ισούται με την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται από ρεύμα ενός Αμπέρ σε ένα δευτερόλεπτο.
- Κύκλος φόρτισης: Είναι μια διαδικασία φόρτισης μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας και η εκφόρτισή της όπως απαιτείται σε ένα φορτίο.
- Κύκλος ζωής: Ορίζεται ως ο αριθμός ολοκληρωμένων κύκλων φορτίσεων-αποφορτίσεων μιας μπαταρίας που μπορεί να εκτελέσει πριν να πέσει η ονομαστική χωρητικότητα στο 80% της αρχικής ονομαστικής χωρητικότητας του.
- Κυλινδρικό κύτταρο: Κελί κυκλικής διατομής με ύψος μεγαλύτερο από την διάμετρο του.
- Βαθύς κύκλος: Εφαρμογές στις οποίες το κελί ή η μπαταρία διαδοχικά και επαναλαμβανόμενα φορτίζεται, εν συνεχεία εντελώς και πλήρως αποφορτίζεται.
- Βαθιά εκφόρτιση: Εκφόρτιση τουλάχιστον του 80% της ονομαστικής χωρητικότητας του κελιού ή της μπαταρίας.



- Βάθος εκφόρτισης (DOD): Η αναλογία του ηλεκτρικού φορτίου μιας μπαταρίας ή ενός κελιού αυτής, που συνήθως εκφράζεται σε όρους χωρητικότητας, που αφαιρείται κατά την εκφόρτιση σε σχέση με την ονομαστική χωρητικότητα του (κελιού ή μπαταρίας).
- Εκφόρτιση: Λειτουργία κατά την οποία μια μπαταρία παρέχει ρεύμα σε ένα εξωτερικό κύκλωμα από την μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Χωρητικότητα εκφόρτισης: Χωρητικότητα που μπορεί να αποφορτιστεί από μια μπαταρία. Η μονάδα είναι Ah (αμπερώρια)
- Βαθμός εκφόρτισης: Ρυθμός με τον οποίο το ηλεκτρικό ρεύμα απομακρύνεται από ένα κύτταρο ή μπαταρία.
- Τάση εκφόρτισης: Τάση ακροδεκτών κατά την διάρκεια εκφόρτισης κελιού ή μπαταρίας.
- Ηλεκτρόδια: Μήτρες μιας μπαταρίας ή κελιού που παρέχει τις θέσεις για να λάβει χώρα η ηλεκτροχημική διαδικασία.
- Ηλεκτρολύτης: Μέσο που παρέχει τον μηχανισμό μεταφοράς ιόντων μεταξύ ηλεκτροδίων κελιού ή μπαταρίας.
- Ικανότητα διατήρησης ηλεκτρολύτη: Ο βαθμός στον οποίον ένας διαχωριστής διατηρεί τον ηλεκτρολύτη.
- Ενέργεια: Συνολικό ποσό της ισχύος που μπορεί να παραδώσει με την πάροδο του χρόνου ένα κελί ή μπαταρία. Εκφράζεται σε mWhr ( $V \times mA \times hrs$ )
- Ενεργειακή πυκνότητα: Αναλογία ενέργειας μιας μπαταρίας ή ενός κελιού με το βάρος ή τον όγκο του. Ονομάζεται και πυκνότητα ισχύος.
- Γρήγορη φόρτιση: Ποσοστό φόρτισης ενός κυττάρου ή μιας μπαταρίας στην πλήρη χωρητικότητα του σε δύομιση ή λιγότερες ώρες.
- Σταθμική ενεργειακή πυκνότητα: Λόγος ενέργειας μιας μπαταρίας ή κυττάρου με το βάρος του. Ονομάζεται και πυκνότητα ισχύος και εκφράζεται σε Wh/kg
- Εκφόρτιση υψηλού βαθμού: Εκφόρτιση σε ένα συγκριτικά υψηλού ποσοστού ρεύματος σε σύγκριση με την χωρητικότητα του κελιού.
- Η εσωτερική αντίσταση: Είναι το ωμικό στοιχείο μιας μπαταρίας ή η αντίσταση των κελιών αυτής στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στη μπαταρία ή στο κελί αυτής.
- Εσωτερική πίεση: Πίεση σε μια "σφραγισμένη" - κλειστού τύπου μπαταρία ή κελί που δημιουργείται από την έκλυση οξυγόνου ή υδρογόνου.
- Διαρροή: Διαφυγή ηλεκτρολύτη προς την εξωτερική επιφάνεια της μπαταρίας.
- Ονομαστική τάση: Μέση τάση λειτουργίας μιας μπαταρίας ή κελιού
- Υπερφόρτιση: Η «εξαναγκαστική» παροχή ρεύματος σε μια μπαταρία ή ένα κελί αυτής μετά την μετατροπή όλου του δραστικού υλικού αυτής σε ενέργεια που αποθηκεύεται.

- Υψηλός βαθμός εκφόρτισης: Η εκφόρτιση σε μια σχετικά υψηλή αναλογία σε σύγκριση με την χωρητικότητα των κελιών της μπαταρίας.
- Ανασυνδυασμός οξυγόνου: Η διαδικασία κατά την οποία το οξυγόνο που παράγεται στο θετικό ηλεκτρόδιο μιας μπαταρίας ή ενός κελιού, κατά την υπερφόρτιση, αντιδρά με το υδρογόνο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο της παράγοντας νερό.
- Ανασυνδυασμός : Η ενέργεια κατά την οποία το οξυγόνο σε αέρια μορφή που παράγεται κατά την υπερφόρτιση ανασυνδυάζεται χημικά για να αποφευχθεί ο εξαερισμός ενός σφραγισμένου κελιού και η απώλεια του νερού από τον ηλεκτρολύτη.
- "Σφραγισμένο"- κλειστού τύπου κύτταρο: Ένα κύτταρο που παραμένει κλειστό και δεν ελευθερώνει αέριο ή υγρό όταν λειτουργεί εντός των ορίων φόρτισης και θερμοκρασίας που προσδιορίζεται από τον εκάστοτε κατασκευαστή.
- Αυτο-εκφόρτιση: Απώλεια ενέργειας ή της χωρητικότητας λόγω εσωτερικών χημικών αντιδράσεων.
- Πυροσυσσωματωμένη πλάκα: Ένα λεπτό επινικελωμένο πλέγμα το οποίο έχει επικαλυφθεί με σκόνη νικελίου.
- Κατάσταση φόρτισης (SOC): Η διαθέσιμη χωρητικότητα ενός κυττάρου ή μιας μπαταρίας σε κάθε δεδομένη στιγμή. Εκφράζεται σαν ποσοστό του C ή της ονομαστικής χωρητικότητας.
- Διάρκεια αποθήκευσης: Το χρονικό διάστημα που μπορεί να αποθηκευτεί σε ανοιχτό κύκλωμα χωρίς μόνιμη επιδείνωση της απόδοσης μια μπαταρία ή ένα κύτταρο.
- Ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα: Λόγος της ενέργειας ενός κελιού με το συνολικό όγκο του. Εκφράζεται συνήθως σε Βαττώρες ανά λίτρο (Wh/L. Επίσης αποκαλείται και πυκνότητα ισχύος.
- Θείωση: Η ανάπτυξη κρυστάλλων θεικού μολύβδου στις σφραγισμένες μπαταρίες οξέος μολύβδου (SLA), που αναστέλλει τη ροή του ρεύματος.
- Θερμική απόδραση: Μια κρίσιμη κατάσταση που ανακύπτει κατά τη διάρκεια της φόρτισης σταθερούς τάσης, κατά την οποία το ρεύμα και η θερμοκρασία της μπαταρίας παράγουν ένα αθροιστικό αλληλοενισχούμενο αποτέλεσμα που τα αυξάνει (το ρεύμα και την θερμοκρασία της μπαταρίας) έτι περαιτέρω και μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή της μπαταρίας.
- Ονομαστική χωρητικότητα: Η πρότυπη χωρητικότητα (μιας μπαταρίας) που ορίζεται από τον κατασκευαστή της για να ταυτοποιήσει ένα συγκεκριμένο μοντέλο κελιού μπαταρίας.
- Ονομαστική τάση: Η μέση τάση της λειτουργούσας ισχύος της μπαταρίας ή του κελιού αυτής. Υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την ισχύ (MWh) με την χωρητικότητα (mAh). (Οι τάσεις κελιού των 1,20V και 1,25V χρησιμοποιούνται για μπαταρίες νικελίου - καδμίου (NiCd) και για μπαταρίες νικελίου – υδριδίου μετάλλου (NiMH)).

## 5.2 Ιστορικά στοιχεία

Η χρήση του όρου battery (αγγλικός όρος για την λέξη μπαταρία ) αναφέρεται σε μια ομάδα από ηλεκτρικές συσκευές που χρονολογείται στην εποχή του Βενιαμίν Φραγκλίνου ο οποίος δανείστηκε τον όρο << battery>> από την στρατιωτική ορολογία όπου χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει όπλα που λειτουργούν όλα μαζί.

Ο Αλεσσάντρο Βόλτα κατασκεύασε και περιέγραψε την πρώτη ηλεκτροχημική μπαταρία, την βολταϊκή στήλη το 1800. Αυτό ήταν μια συστοιχία από πλάκες χαλκού και ψευδαργύρου οι οποίες διαχωρίζονταν από χάρτινους δίσκους εμποτισμένους σε διάλυμα άλατος, η οποία μπορούσε να παράγει σταθερό ρεύμα για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα. Ο Βόλτα εκτιμούσε ότι η τάση δεν προερχόταν από κάποια ηλεκτροχημική ένωση, αλλά πίστευε ότι τα κελία ήταν μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και ότι η σχετιζόμενη διάβρωση στους αγωγούς της μπαταρίας ήταν μια αναπόφευκτη συνέπεια της συνεχούς λειτουργία, όπως έδειξε και ο Μάικλ Φαραντέι το 1834.



Εικόνα 5.1. Βολταϊκή στήλη.

Οι πρώτες μπαταρίες εύρισκαν μεγάλη εφαρμογή σε πειραματικούς σκοπούς, αλλά στην πράξη η τάση τους αυξομειωνόταν και δεν μπορούσαν να παρέχουν μεγάλα ρεύματα για παρατεταμένη περίοδο. Το κελί του Ντάνιελ "Daniell cell" εφευρέθηκε το 1836 από τον βρετανό χημικό Τζον Φρέντερικ Ντάνιελ και ήταν στην πράξη η πρώτη πηγή ηλεκτρισμού. Καθιερώθηκε στην βιομηχανία και υιοθετήθηκε ευρέως ως πηγή ενέργειας για τα δίκτυα των ηλεκτρικών τηλεγράφων. Αποτελούνταν από ένα χάλκινο δοχείο το οποίο γέμιζε με διάλυμα θειικού χαλκού και στο οποίο βυθιζόταν ένα εφιαλωμένο σκεύος το οποίο γέμιζε με θειικό οξύ και από ένα ηλεκτρόδιο ψευδαργύρου.

Αυτά τα υγρά κελία χρησιμοποιούσαν υγρούς ηλεκτρολύτες που ήταν επιρρεπείς στις διαρροές αν δεν γινόταν σωστή χρήση. Πολλοί χρησιμοποιούσαν γυάλινα βάζα για την συγκράτηση των συστατικών, κάτι που τα καθιστούσε εύθραυστα. Αυτές οι μπαταρίες, εξαιτίας της κατασκευής τους, δεν ήταν κατάλληλες για φορητές συσκευές. Στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, η εφεύρεση των μπαταριών ξηρών στοιχείων επέφερε την αντικατάσταση των υγρών με στερεούς ηλεκτρολύτες, καθιστώντας εφικτή την χρήση τους σε φορητές συσκευές.

### 5.3 Γενικά χαρακτηριστικά μπαταριών

Μια ηλεκτρική μπαταρία αποτελείται από έναν θετικό πόλο, ή κάθοδο, και έναν αρνητικό πόλο ή άνοδο. Η κάθοδος έχει υψηλότερη ηλεκτρικο-δυναμική ενέργεια, ενώ η άνοδος είναι η πηγή των ηλεκτρονίων που όταν η μπαταρία συνδέεται με εξωτερικό κύκλωμα διασφαλίζει την ροή τους προς την συσκευή. Κατά την σύνδεση της μπαταρίας στο κύκλωμα, ο ηλεκτρολύτης είναι το μέσο που διασφαλίζει την κίνηση ιόντων στο κύκλωμα, επιτρέποντας να ολοκληρωθούν οι χημικές αντιδράσεις στους δύο πόλους και να μεταφερθεί η ενέργεια στο κύκλωμα. Η κίνηση των ιόντων μέσα στην μπαταρία, επιτρέπει την ροή ρεύματος έξω από αυτή για την τροφοδότηση του κυκλώματος. Ιστορικά ο όρος "μπαταρία" αναφέρεται σε μια συσκευή που αποτελείται από πολλά κελιά, παρόλα αυτά χρησιμοποιήθηκε για να περιλάβει επιπρόσθετες συσκευές οι οποίες αποτελούνταν από ένα και μοναδικό κελί.

Οι μπαταρίες έχουν χαμηλή ειδική ενέργεια (ενέργεια ανά μονάδα μάζας) σε σχέση με τα κοινά καύσιμα κίνησης. Το πρόβλημα αυτό αντισταθμίζεται από την υψηλότερη αποδοτικότητα των ηλεκτρικών κινητήρων, να παράγουν μηχανικό έργο, σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης.

### 5.4 Κατηγορίες μπαταριών

Οι μπαταρίες χωρίζονται δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται οι κύριες μπαταρίες οι οποίες μετά την χρήση απορρίπτονται και δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και οι δευτερεύουσες ή δεύτερης τάξης ή επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, όπου μια εξωτερική πηγή ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αλλάξει την κατεύθυνση της ροής των ηλεκτρονίων, αντιστρέφοντας έτσι την ηλεκτροχημική διαδικασία έως ότου τα χημικά συστατικά, στην άνοδο και την κάθοδο, να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση, επιτρέποντας και πάλι τη χρήση τους.

#### 5.4.1 Κύριες μπαταρίες

Οι κύριες μπαταρίες είναι μια πηγή ενέργειας για φορητές, ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές. Χρησιμοποιούνται, επίσης, στον φωτισμό, τον φωτογραφικό εξοπλισμό, στον εξοπλισμό επικοινωνίας, σε βοηθήματα ακοής και πολλές άλλες εφαρμογές.

Τα πλεονεκτήματα της κύριας μπαταρίας είναι ότι είναι βολική, απλή και εύκολη στην χρήση, απαιτεί ελάχιστη συντήρηση και μπορεί να ποικίλλει σε μέγεθος ανάλογα με την εφαρμογή. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η καλή διάρκεια ζωής, η αξιοπιστία, το χαμηλό κόστος και τέλος οι λογικές τιμές ενέργειας και πυκνότητας ισχύος.

Αν και χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι συνδυασμοί μετάλλων για τα συστήματα ανόδου και καθόδου, μόνο ένα μέταλλο δοκιμάστηκε με επιτυχία. Αυτό είναι ο ψευδάργυρος (Zinc), λόγω της καλής του ηλεκτροχημικής συμπεριφοράς, της υψηλής ηλεκτροχημικής ισοδυναμίας, της συμβατότητας με τον υδατικό ηλεκτρολύτη, το χαμηλό κόστος, την καλή διάρκεια ζωής και την διαθεσιμότητα του ως πρώτη ύλη. Το αλουμίνιο, από την άλλη πλευρά, ήταν ένα επίσης ελκυστικό υλικό λόγω του υψηλού ηλεκτροχημικού του δυναμικού, της ηλεκτροχημικής ισοδυναμίας και της διαθεσιμότητας του. Ωστόσο, το υλικό αυτό δεν δοκιμάστηκε με μεγάλη επιτυχία σε

ένα σύστημα κύριας μπαταρίας, αφού λόγω της παθητικότητας του, είχε περιορισμένη ηλεκτροχημική απόδοση.

Τέλος η προσοχή στράφηκε στις μπαταρίες λιθίου, οι οποίες είχαν την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα και πρότυπο δυναμικό όλων των μετάλλων. Οι μπαταρίες λιθίου χρησιμοποιούν μία άνοδο από λίθιο, διάφορους μη υδατικούς ηλεκτρολύτες και κάθοδο κατασκευασμένη από διάφορα υλικά. Έτσι προσφέρθηκε η δυνατότητα δημιουργίας πρωτοβάθμιων μπαταριών με υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα και χαρακτηριστικά επιδόσεων.

Τα είδη των κύριων μπαταριών είναι:

- a) Μπαταρίες Ψευδαργύρου-Άνθρακα (Zinc-Carbon Batteries)
- b) Μπαταρίες Μαγνησίου-Αλουμινίου (Magnesium-Aluminum Batteries)
- c) Μπαταρίες Αλκαλικές-διοξειδίου του Μαγγανίου (Alkaline-Manganese Dioxide Batteries)
- d) Μπαταρίες οξειδίου του Υδραργύρου (Mercuric Oxide Batteries)
- e) Μπαταρίες οξειδίου του Αργύρου (Silver Oxide Batteries)
- f) Μπαταρίες Ψευδαργύρου/Αέρα - διαμόρφωση σχήματος κουμπιού (Zinc/Air Batteries-Button Configuration)
- g) Μπαταρίες Λιθίου (Lithium Batteries)
- h) Μπαταρίες στερεού ηλεκτρολύτη (Solid-Electrolyte Batteries)

## 5.4.2 Δευτερεύουσες μπαταρίες

Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι δευτερεύουσες μπαταρίες οι οποίες είναι ευρείας χρήσεως, μπορούν να επαναφορτιστούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών με πιο κύριες τον φωτισμό, εφαρμογές έκτακτης ανάγκης και ετοιμότητας, σε αυτοκινητοβιομηχανίες, στην ανάφλεξη ή στον εξοπλισμό αυτοκίνησης. Οι πιο μικρές δευτερεύουσες μπαταρίες χρησιμοποιούνται σε φορητές συσκευές όπως σε εργαλεία, παιχνίδια, στον φωτισμό, στο ραδιόφωνο και ιδιαίτερα σε καταναλωτικές ηλεκτρονικές συσκευές όπως υπολογιστές, βιντεοκάμερες και κινητά τηλέφωνα.

Πιο πρόσφατα, οι δευτερεύουσες μπαταρίες χρησιμοποιούνται ως πηγή ενέργειας για ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα. Τέλος, έχουν αναπτυχθεί σημαντικά προγράμματα με σκοπό την βελτίωση των επιδόσεων των υφιστάμενων συστημάτων των μπαταριών καθώς και την δημιουργία νέων συστημάτων που να ανταποκρίνονται στις αυστηρές προδιαγραφές των νέων εφαρμογών.

### 5.4.2.1 Εφαρμογές δευτερευουσών μπαταριών και γενικές πληροφορίες

Οι εφαρμογές των δευτεροβάθμιων μπαταριών χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

1. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι εφαρμογές στις οποίες η δευτερεύουσα μπαταρία χρησιμοποιείται ως συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, φορτίζεται από μια κύρια πηγή ενέργειας και παρέχει ενέργεια στο φορτίο, όταν η πρωταρχική (κύρια) πηγή ενέργειας δεν είναι διαθέσιμη ή δεν επαρκεί ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του φορτίου. Παραδείγματα εφαρμογής τους

αποτελούν τα αυτοκίνητα και τα συστήματα αεροσκαφών, όπου απαιτείται αδιάλειπτη παροχή ισχύος και οι υβριδικές εφαρμογές.

2. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι εφαρμογές στις οποίες η δευτερεύουσα μπαταρία εκφορτίζεται και επαναφορτίζεται μετά την χρήση, είτε μέσω του εξοπλισμού στον οποίο εμπεριέχεται ή ξεχωριστά. Οι δευτερεύουσες μπαταρίες χρησιμοποιούνται λόγω ευκολίας, για την μείωση του κόστους, δεδομένου ότι έχουν την δυνατότητα να επαναφορτιστούν και όχι να αντικατασταθούν, ή για την παροχή περισσότερης ενέργειας πέρα από την ικανότητα των κύριων μπαταριών. Τα περισσότερα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, τα ηλεκτροκίνητα και βιομηχανικά οχήματα έλξης και κάποιες σταθερές εφαρμογές ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία.

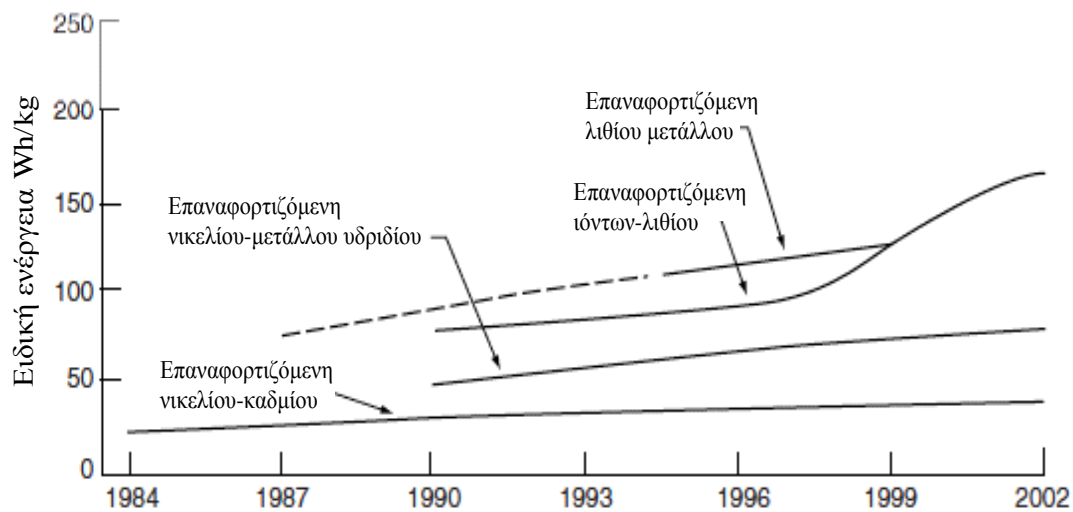
Στις δευτερεύουσες μπαταρίες περιλαμβάνονται:

1. Μπαταρίες Μολύβδου-οξέος (Lead-Acid batteries)
2. Μπαταρίες ηλεκτροδίου σιδήρου (Iron Electrode Batteries)
3. Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (Nickel-Cadmium Batteries)
4. Μπαταρίες Νικελίου-Μετάλλου Υδριδίου (Nickel-Metal Hydride Batteries )
5. Μπαταρίες Νικελίου-Ψευδαργύρου (Nickel-Zinc batteries)
6. Μπαταρίες Νικελίου-Υδρογόνου (Nickel- Hydrogen batteries)
7. Μπαταρίες Οξειδίου του Αργύρου (Silver Oxide batteries)
8. Μπαταρίες Ιόντων-Λιθίου (Lithium-Ion batteries)

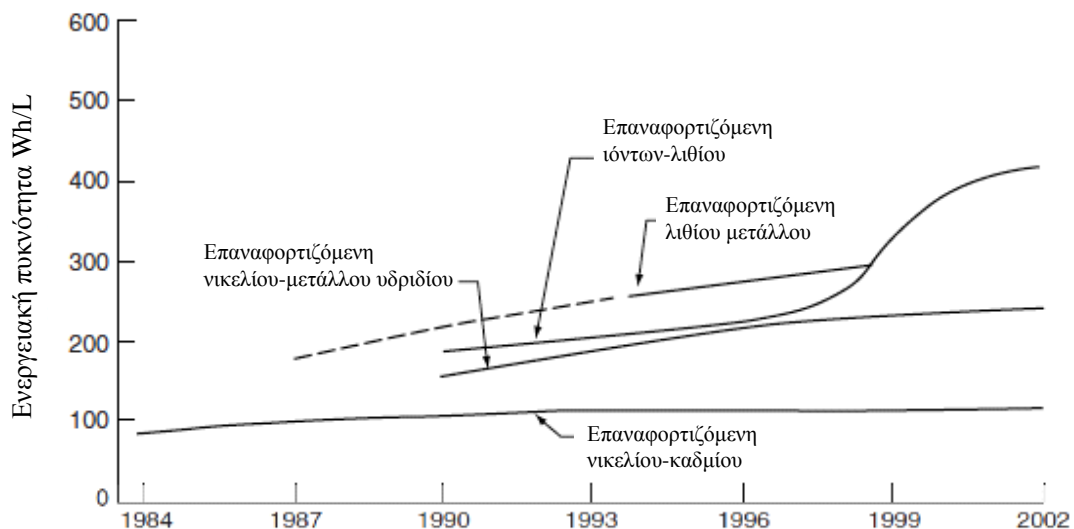
Οι συμβατικές υδατικές δευτερεύουσες μπαταρίες χαρακτηρίζονται, εκτός από την ικανότητα επαναφόρτισης τους, από την υψηλή πυκνότητα ισχύος, το επίπεδο προφίλ εκφόρτισης και τις καλές επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η πυκνότητα ενέργειας και η ειδική ενέργεια είναι συνήθως χαμηλότερες, ενώ και η διατήρηση φόρτισης είναι χαμηλότερη σε σχέση με τα κύρια συστήματα μπαταρίας. Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, όπως η τεχνολογία ιόντων λιθίου, έχουν υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας, καλύτερη διατήρηση φόρτισης και αποδίδουν καλύτερα με την χρήση υλικών υψηλότερης ενέργειας. Η πυκνότητα ισχύος επηρεάζεται αρνητικά από την χρήση απρωτικών διαλυτών στον ηλεκτρολύτη, οι οποίοι έχουν χαμηλότερη αγωγιμότητα από τον υδατικό ηλεκτρολύτη. Αυτό αντισταθμίζεται με την χρήση ηλεκτροδίων μεγάλου εμβαδού επιφάνειας.

Οι δευτερεύουσες μπαταρίες υπάρχουν πάνω από 100 χρόνια. Οι μπαταρίες Μολύβδου-Οξέως αναπτύχθηκαν το 1859 από τον Γκάστον Πλάντε (Gaston Planté). Χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα σε παγκόσμιο επίπεδο, μολονότι έχουν γίνει βελτιώσεις και αλλαγές στα χαρακτηριστικά τους. Τέλος οι μπαταρίες Μολύβδου-Οξέως τύπου, SLI, κυριαρχούν στην αυτοκινητοβιομηχανία. Οι αλκαλικές μπαταρίες Νικελίου- Σιδήρου (nickel-iron alkaline battery) εισήχθησαν από τον Τόμας Έντισον (Thomas Edison) το 1908 και ήταν η πηγή ενέργειας για τα πρώτα ηλεκτρικά οχήματα. Χρησιμοποιήθηκαν, τελικά, σε βιομηχανικά οχήματα, οχήματα για υπόγειες κατασκευές, αυτοκίνητα σιδηροδρόμου και στατικές εφαρμογές. Τα πλεονεκτήματά τους ήταν η αντοχή και η μεγάλη διάρκεια ζωής, όμως λόγω του υψηλού κόστους αγοράς, συντήρησης και της χαμηλής ειδικής ενέργειας σταδιακά έχασαν μερίδιο στις αγορές. Οι μπαταρίες θύλακα-πλάκας Νικελίου-Καδμίου (pocket-plate nickel-cadmium battery) κατασκευάστηκαν το 1909 και χρησιμοποιήθηκαν για βαριές βιομηχανικές εφαρμογές.

Ο σχεδιασμός της πυροσυσσωματωμένης-πλάκας (sintered-plate) οδήγησε σε αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας και δύναμης, ανοίγοντας τον δρόμο για χρήση τους σε εκκίνηση μηχανών αεροσκαφών και σε εφαρμογές επικοινωνίας το 1950. Αργότερα η ανάπτυξη της "σφραγισμένης"- κλειστού τύπου μπαταρίας Νικελίου-Καδμίου (sealed nickel-cadmium battery) οδήγησε στην εκτεταμένη χρήση της σε φορητές συσκευές και άλλες εφαρμογές. Έπειτα, αυτή η τεχνολογία αντικαταστάθηκε από τις μπαταρίες Νικελίου-μετάλλου υδριδίου (Nickel metal-hydride) και πιο πρόσφατα από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου (Lithium-Ion) οι οποίες προσφέρουν μεγαλύτερη ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα. Καθώς τα χαρακτηριστικά των κύριων μπαταριών βελτιώνονταν, εισήχθησαν για εμπορική χρήση ή βρίσκονται υπό ανάπτυξη μπαταρίες Αργύρου-ψευδαργύρου (Silver-Zinc), Νικελίου-Ψευδαργύρου (Nickel-Zinc), Νικελίου-Υδρογόνου (Nickel-Hydrogen), ιόντων λιθίου (Lithium-Ion) και συστήματα υψηλής θερμοκρασίας.



Εικόνα 5.2. Χαρακτηριστική ειδικής ενέργειας συναρτήσει χρόνου.



Εικόνα 5.3. Χαρακτηριστική ενεργειακής πυκνότητας συναρτήσει χρόνου.

Από τις εικόνες 5.2 και 5.3, είναι εμφανές ότι η ειδική ενέργεια και η ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών Νικελίου-Καδμίου δεν έχουν βελτιωθεί την τελευταία δεκαετία και τώρα βρίσκονται στα 35Wh/kg και 100Wh/L, αντίστοιχα. Με την χρήση νέων κραμάτων (υδρογόνου) οι μπαταρίες Νικελίου- μετάλλου υδριδίου (Nickel metal-hydride) έχουν 75Wh/kg και 240Wh/L αντίστοιχα. Τέλος, σημαντική αύξηση παρατηρείται στην ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα των μπαταριών λιθίου, από τα τέλη του 1990, λόγω της χρήσης υλικών άνθρακα στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, με 150Wh/kg και 400Wh/L, αντίστοιχα, και οι οποίες χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές εφαρμογές σε μικρά κυλινδρικά μεγέθη.

## 5.5 Μπαταρίες Μολύβδου-Οξέως

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι μπαταρίες στις οποίες η διαδικασία φόρτισης-εκφόρτισης είναι σημαντικά αναστρέψιμη, το σύστημα της δεν πάσχει από επιβλαβείς χημικές ουσίες και ενώ η ενεργειακή της πυκνότητα και η ειδική ενέργεια της είναι χαμηλές, η μπαταρία μολύβδου οξέος είναι αξιόπιστη σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Ένας βασικός παράγοντας για την δημοτικότητά της και την δεσπόζουσα θέση της είναι το χαμηλό κόστος σε συνδυασμό με την καλή της απόδοση και τον κύκλο ζωής της.

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος παράγονται σε πολλά σχέδια, που ποικίλλουν από ένα μικρό "σφραγισμένο"-κλειστού τύπου κελί με χωρητικότητα 1Ah έως μεγάλα κελιά χωρητικότητας άνω των 12000Ah. Οι μπαταρίες αυτοκινήτου SLI (starting, lighting, ignition / εκκίνηση, φωτισμός, ανάφλεξη) είναι μακράν οι πιο δημοφιλείς και οι μόνες με ευρύτερη χρήση. Τα πιο σημαντικά στοιχεία στον σχεδιασμό μιας μπαταρίας SLI είναι η χρήση μικρότερου βάρους πλαστικού δοχείου, η βελτίωση της διάρκειας ζωής της, η διαδικασία "στεγνής φόρτισης" ("dry-charge") και ο σχεδιασμός χωρίς συντήρηση ("maintenance-free"). Με την χρήση ασβεστίου-μολύβδου (calcium-lead) ή πλέγματος χαμηλού αντιμονίου (low-antimony), έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των απωλειών νερού κατά την διάρκεια της φόρτισης (ελαχιστοποιώντας κατ' αυτόν τον τρόπο την ανάγκη προσθήκης νερού), όπως επίσης και τη μείωση του βαθμού αυτο-εκφόρτισης (self-discharge), έτσι ώστε οι μπαταρίες να μπορούν να μεταφερθούν ή να αποθηκευτούν σε μια υγρή, φορτισμένη κατάσταση για σχετικά μεγάλες περιόδους.

Οι βιομηχανικές μπαταρίες αποθήκευσης μολύβδου-οξέος είναι γενικά μεγαλύτερων διαστάσεων από τις αντίστοιχες SLI μπαταρίες, με ισχυρότερη και υψηλότερη ποιότητα κατασκευής. Οι εφαρμογές των βιομηχανικών μπαταριών εντοπίζονται σε πολλές κατηγορίες. Οι μπαταρίες κινητήριας δύναμης ή έλξης χρησιμοποιούνται σε φορτηγά χειρισμού υλικών, τρακτέρ, οχήματα εξόρυξης και σε περιορισμένη έκταση σε αμαξίδια του γκολφ και σε οχήματα μεταφοράς προσωπικού. Μια άλλη κατηγορία χρησιμοποιείται για την εκκίνηση των πετρελαιοκινητήρων αμαξοστοιχιών, όπου οι μπαταρίες ταχείας διέλευσης ("rapid-transit") σταδιακά αντικαθιστούν τις νικελίου-σιδήρου. Σημαντική πρόοδος επήλθε με την χρήση ελαφρύτερων πλαστικών δοχείων αντί του δοχείου από σκληρό-καουτσούκ, την καλύτερη στεγανοποίηση και την αλλαγή σχεδιασμού στην σωληνοειδή θετική πλάκα.

Οι βιομηχανικές μπαταρίες βρίσκουν εφαρμογή σε τρεις διαφορετικούς τύπους. Ο σωληνοειδής (tubular) και ο επίπεδων αλληλοεπικολούμενων πλακών, όπου χρησιμοποιούνται για εφαρμογές κινητήριας δύναμης, π.χ. για τις «πρώτες στροφές» του πετρελαιοκινητήρα, αλλά και για στατικές εφαρμογές, ενώ ο



σχεδιασμός Πλαντέ εφαρμόζεται για τον σχηματισμό των ενεργών υλικών από καθαρό μόλυβδο, κυρίως στις στατικές εφαρμογές. Οι μπαταρίες επίπεδης πλάκας (flat-plate) χρησιμοποιούν πλέγμα κράματος είτε από μόλυβδο-αντιμόνιο (Lead-antimony) είτε από μόλυβδο-ασβέστιο (lead-calcium), ενώ πιο πρόσφατα αναπτύχθηκαν οι "στρογγυλού κελιού" (round cell) που έχουν σχεδιαστεί για την απρόσκοπτη και μακράς διάρκειας ζωής λειτουργία στις τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές. Αυτές οι μπαταρίες χρησιμοποιούν πλάκες κωνικού πλέγματος από καθαρό μόλυβδο, οι οποίες στοιβάζονται η μία πάνω στην άλλη σε ένα κυλινδρικό δοχείο κελιών, αντί της κανονικής πρισματικής κατασκευής με επίπεδες, παράλληλες πλάκες.

Μια σημαντική εξέλιξη στην τεχνολογία των μπαταριών μολύβδου οξέος είναι η ρυθμιζόμενη με βαλβίδα μπαταρία μολύβδου οξέος (Valve-Regulated Lead-Acid Battery, VRLA). Οι μπαταρίες αυτές λειτουργούν με βάση την αρχή του ανασυνδυασμού οξυγόνου. Κατά την διαδικασία αυτή, το οξυγόνο που παράγεται στο θετικό ηλεκτρόδιο μιας μπαταρίας ή ενός κελιού κατά την υπερφόρτιση αντιδρά με το υδρογόνο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο της, παράγοντας νερό. Το οξυγόνο που παράγεται στο θετικό ηλεκτρόδιο, κατά την διάρκεια της φόρτισης, μπορεί, σε αυτά τα σχέδια μπαταρίας, να διαχυθεί στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, όπου μπορεί να αντιδράσει στην παρουσία θεικού οξέος, με τον νεοσχηματισθέντα μόλυβδο. Ο σχεδιασμός VRLA μειώνει τις εκπομπές αερίων πάνω από 95% καθώς η παραγωγή υδρογόνου επίσης καταστέλλεται. Ο ανασυνδυασμός οξυγόνου διευκολύνεται από τη χρήση μιας βαλβίδας εκτόνωσης, η οποία είναι κλειστή κατά την κανονική λειτουργία. Όταν η πίεση συσσωρεύεται, η βαλβίδα ανοίγει σε προκαθορισμένη τιμή, για την εκτόνωση των αερίων. Η βαλβίδα κλείνει εκ νέου πριν η πίεση στο κελί φτάσει την ατμοσφαιρική πίεση. Οι μπαταρίες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται σε ποσοστό 70% στις τηλεπικοινωνίες και σε ποσοστό 80% σε εφαρμογές αδιάλειπτης ενέργειας (UPS).

Τα μικρότερα κελιά κλειστού τύπου μολύβδου-οξέος χρησιμοποιούνται σε συστήματα φωτισμού έκτακτης ανάγκης και άλλες παρόμοιες συσκευές που απαιτούν εφεδρική ενέργεια σε περίπτωση διακοπής ρεύματος, φορητά όργανα, εργαλεία και σε μεγάλο αριθμό καταναλωτικών εφαρμογών. Αυτές οι μικρές κλειστού τύπου μπαταρίες κατασκευάζονται σε δύο τύπους, είτε ως πρισματικά κελιά με παράλληλες πλάκες, με χωρητικότητα που κυμαίνεται από 1Ah μέχρι 30Ah είτε ως κυλινδρικά κελιά, με χωρητικότητα άνω από 25Ah. Ο ηλεκτρολύτης οξέος σε αυτά τα κελιά είναι είτε σε μορφή «gel», ή απορροφάται στις πλάκες στους εξαιρετικά πορώδεις διαχωριστές, ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν σε οποιαδήποτε θέση χωρίς να υπάρχει κίνδυνος διαρροής. Τα κελιά περιλαμβάνουν την δυνατότητα του ανασυνδυασμού οξυγόνου και θεωρούνται ως μπαταρίες VRLA.

Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος χρησιμοποιούνται επίσης και σε άλλες εφαρμογές, όπως τα υποβρύχια, για εφεδρική ισχύ σε θαλασσιές εφαρμογές και σε περιοχές όπου τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως σε εσωτερικούς χώρους και στον εξοπλισμό των ορυχείων. Οι νέες εφαρμογές, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα, απαιτούν βελτίωση στην ενεργειακή πυκνότητα και την πυκνότητα ισχύος των μπαταριών μολύβδου-οξέος.



Εικόνα 5.4. Μπαταρίες Μολύβδου-Οξέος.

## 5.6 Αλκαλικές δευτερογενείς μπαταρίες

Οι περισσότερες από τους άλλους συμβατικούς τύπους δευτερευουσών μπαταριών χρησιμοποιούν ένα υδατικό αλκαλικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου ή υδροξειδίου του νατρίου σαν ηλεκτρολύτη. Τα υλικά των ηλεκτροδίων είναι λιγότερο δραστικά με τους αλκαλικούς ηλεκτρολύτες παρά με τους ηλεκτρολύτες οξέος. Επιπλέον ο μηχανισμός φόρτισης-εκφόρτισης στον αλκαλικό ηλεκτρολύτη περιλαμβάνει μόνο την μεταφορά του οξυγόνου ή των ιόντων υδροξυλίου από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο και ως εκ τούτου, κατά την φόρτιση-εκφόρτιση, η συγκέντρωση ή η σύνθεση ηλεκτρολύτη δεν αλλάζει.

### 5.6.1 Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (Nickel-Cadmium Batteries)

Οι δευτερεύουσες μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (Nickel-Cadmium) είναι οι πιο δημοφιλείς μπαταρίες και υπάρχουν σε διάφορα σχέδια κελιού και σε πληθώρα μεγεθών. Η αρχική σχεδίαση κελιού είχε την κατασκευή θύλακα-πλάκα (rocket-plate). Το "αεριζόμενο" τύπου θυλάκιο-κελί είναι σκληρό και μπορεί να αντέξει τόσο την ηλεκτρική όσο και την μηχανική καταπόνηση. Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση.

Η κατασκευή, αργότερα, έγινε από πυροσυσσωματωμένη-πλάκα (sintered-plate), όπου είχε μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα και καλύτερη απόδοση, σε σχέση με τον προκάτοχο τους, σε υψηλότερου βαθμού εκφορτίσεις και χαμηλότερες θερμοκρασίες, αλλά ήταν πιο ακριβές. Η υψηλότερη ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα επετεύχθησαν με την χρήση ηλεκτροδίων από αφρό νικελίου (nickel foam), ίνες νικελίου (nickel fiber) ή πεπιεσμένη-πλάκα (pressed-plate).

Ο τελευταίος τύπος απετέλεσε το "σφραγισμένο"-κλειστού τύπου κελί (sealed cell) που χρησιμοποιούσε μια λειτουργία βασισμένη στον ανασυνδυασμό οξυγόνου

(oxygen-recombination) όμοια με αυτήν που χρησιμοποιείται στις μπαταρίες Μολύβδου οξέος για την αποφυγή της δημιουργίας πίεσης κατά την φόρτιση.



**Εικόνα 5.5. Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου.**

### **5.6.2 Μπαταρίες Νικελίου-Σιδήρου (Nickel-Iron Batteries)**

Οι μπαταρίες Νικελίου-Σιδήρου ήταν σημαντικές από την εισαγωγή τους το 1908 μέχρι το 1970, όταν έχασαν σημαντικό μερίδιο στην αγορά από τις βιομηχανικές μπαταρίες μολύβδου οξέος. Αυτή η μπαταρία έχει ως κύριο συστατικό των κυψελών τον επινικελωμένο χάλυβα (Nickel-Plate steel) και τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά της είναι η πολύ σκληρή κατασκευή, η μακρά διάρκεια ζωής και η αντοχή. Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται η χαμηλή ειδική ενέργεια, η φτωχή αποθήκευση φόρτισης και οι χαμηλές επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες που σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος κατασκευής τους, σε σχέση με της μπαταρίες μολύβδου-οξέος, οδήγησε στην μείωση της χρήσης της.



Εικόνα 5.6. Μπαταρίες Νικελίου-Σιδήρου



### 5.6.3 Μπαταρίες Οξειδίου του αργύρου (Silver Oxide Batteries)

Οι μπαταρίες Αργύρου-Ψευδαργύρου (Silver-Zinc) (Ψευδαργύρου/Οξειδίου του Αργύρου) (Zinc/Silver oxide) είναι γνωστές για την υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και την χαμηλή εσωτερική αντίσταση που είναι επιθυμητή για την υψηλού βαθμού εκφόρτιση. Γενικά, οι μπαταρίες αυτές χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα είναι απαιτούμενο χαρακτηριστικό. Δεν χρησιμοποιούνται σε γενικές εφαρμογές αποθήκευσης επειδή το κόστος είναι πολύ υψηλό, ο κύκλος ζωής και ο χρόνος ενεργοποίησης είναι περιορισμένοι και οι επιδόσεις, σε χαμηλές θερμοκρασίες, είναι σημαντικά μικρότερες σε σχέση με άλλες δευτερεύουσες μπαταρίες.

Οι μπαταρίες Αργύρου-Καδμίου (Silver-Cadmium) (Καδμίου/Οξειδίου του Αργύρου) (Cadmium/Silver oxide) έχουν σαφώς μεγαλύτερο κύκλο ζωής και καλύτερες επιδόσεις στις χαμηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τις μπαταρίες Αργύρου-Ψευδαργύρου (Silver-Zinc) αλλά είναι κατώτερες σε αυτά τα χαρακτηριστικά σε σύγκριση με τις μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (Nickel-Cadmium). Η ενεργειακή τους πυκνότητα βρίσκεται μεταξύ αυτής του Νικελίου-Καδμίου και Αργύρου-Ψευδαργύρου. Επίσης, οι μπαταρίες αυτές είναι πολύ δαπανηρές, αφού χρησιμοποιούν δυο από τα πιο δαπανηρά υλικά ηλεκτροδίων. Σαν αποτέλεσμα οι μπαταρίες Αργύρου-Καδμίου δεν αναπτύχθηκαν για εμπορική χρήση, αλλά για ειδικές εφαρμογές. Άλλα συστήματα μπαταριών αργύρου, όπως οι Αργύρου-Υδρογόνου (Silver-Hydrogen) και Αργύρου-μεταλλικού υδριδίου, είναι επίσης σε ανάπτυξη αλλά δεν είναι εμπορεύσιμα.



Εικόνα 5.7. Μπαταρίες Οξειδίου του αργύρου.

### 5.6.4 Μπαταρίες Νικελίου-Ψευδαργύρου (Nickel-Zinc)

Οι μπαταρίες Νικελίου-Ψευδαργύρου (Nickel-Zinc) (Ψευδαργύρου/Οξειδίου του Νικελίου)(zinc/nickel oxide) έχουν χαρακτηριστικά στο μέσον, μεταξύ των συστημάτων μπαταριών Νικελίου-Καδμίου (Nickel-Cadmium) και των Αργύρου-Ψευδαργύρου(Silver-Zinc). Η ενεργειακή πυκνότητα είναι διπλάσια από τις μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (Nickel-Cadmium), αλλά ο κύκλος ζωής μειώνεται λόγω της ανάγκης για αλλαγή του ηλεκτροδίου, αφού σε διαφορετική περίπτωση μειώνεται η χωρητικότητα και επιτρέπεται ο σχηματισμός δενδρίτη, που προκαλεί εσωτερικά βραχυκυκλώματα. Ο κύκλος ζωής αυτής της μπαταρίας έχει επεκταθεί με

την χρήση πρόσθετων στο αρνητικό ηλεκτρόδιο σε συνδυασμό με την χρήση μειωμένης συγκέντρωσης υδροξειδίου του καλίου για να καταστείλει την διαλυτότητα του ψευδαργύρου στον ηλεκτρολύτη. Αυτές οι δυο τροποποιήσεις έχουν παρατείνει την διάρκεια ζωής αυτών των μπαταριών και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλήθος εφαρμογών.



Εικόνα 5.8. Μπαταρίες Νικελίου-Ψευδαργύρου.

### 5.6.5 Μπαταρίες Ηλεκτροδίου Υδρογόνου (Hydrogen Electrode Batteries)

Ένα άλλο είδος μπαταρίας χρησιμοποιεί υδρογόνο για ενεργό υλικό καθόδου και ένα συμβατικό θετικό ηλεκτρόδιο, όπως το οξείδιο του Νικελίου. Αυτές οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για αεροδιαστημικά προγράμματα όπου απαιτείται μεγάλος κύκλος ζωής και χαμηλό βάθος εκφόρτισης. Μειονέκτημα, που οδήγησε στον περιορισμό της εφαρμογής τους, είναι το υψηλό κόστος τους. Μια επέκταση αυτών των μπαταριών είναι οι "σφραγισμένες"- κλειστού τύπου Νικελίου/μετάλλου υδριδίου (nickel/ metal hydride) όπου το υδρογόνο απορροφάται, κατά την φόρτιση των μπαταριών, από ένα μεταλλικό κράμα σχηματίζοντας υδρίδιο του μετάλλου. Αυτό το κράμα μετάλλου είναι σε θέση να υφίσταται μια αναστρέψιμη αντίδραση απορρόφησης-εκρόφησης του υδρογόνου κατά την φόρτιση και εκφόρτιση, αντίστοιχα. Το πλεονέκτημα αυτών των μπαταριών είναι ότι έχουν σε σύγκριση με τις μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου υψηλότερη ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα. Οι "σφραγισμένες"-κλειστού τύπου νικελίου-μετάλλου υδριδίου (nickel-metal hydride) μπαταρίες κατασκευάζονται σε μικρά πρισματικά και κυλινδρικά κελία, δίνοντας την δυνατότητα χρήσης σε φορητές εφαρμογές, ενώ έχουν χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εφαρμογές συμπεριλαμβανομένων των υβριδικών οχημάτων. Μεγαλύτερα μεγέθη χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα.



Εικόνα 5.9. Μπαταρίες Ηλεκτροδίου Υδρογόνου.

### 5.6.6 Μπαταρίες Ψευδαργύρου/Διοξειδίου του μαγγανίου (Zinc/Manganese Dioxide Batteries)

Πολλές από τις συμβατικές κύριες μπαταρίες έχουν κατασκευαστεί σαν επαναφορτιζόμενες, αλλά το μόνο είδος αυτής της μπαταρίας που κατασκευάζεται, επί του παρόντος, είναι το κυλινδρικό κελί χρησιμοποιώντας την χημεία του Ψευδαργύρου/Διοξειδίου του μαγγανίου. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι η μεγαλύτερη χωρητικότητά τους σε σχέση με τα συμβατικά δευτερεύοντα συστήματα μπαταρίας καθώς και το χαμηλότερο αρχικό κόστος, αλλά ο κύκλος ζωής και η βαθμός ικανότητας τους είναι περιορισμένος.



Εικόνα 5.10. Μπαταρίες Ψευδαργύρου/Διοξειδίου του μαγγανίου.

### 5.6.7 Μπαταρίες Ιόντων-Λιθίου (Lithium-Ion)

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου ανήκουν και στην κατηγορία των δευτερευουσών μπαταριών στις οποίες τα ιόντα λιθίου μετακινούνται από το αρνητικό προς το θετικό ηλεκτρόδιο κατά την διάρκεια της εκφόρτισης και αντίστροφα όταν φορτίζουν. Οι μπαταρίες αυτές χρησιμοποιούν μια ένωση παρεμβολής λιθίου σαν υλικό ηλεκτροδίου, σε σύγκριση με το μεταλλικό λίθιο που χρησιμοποιείται στις μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου. Ο ηλεκτρολύτης ο οποίος επιτρέπει την ιοντική



κίνηση καθώς και τα δύο ηλεκτρόδια είναι συστατικά στοιχεία ενός κυττάρου μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου.

Χαρακτηριστικά όπως η χημεία, η απόδοση, το κόστος και η ασφάλεια ποικίλλουν σε όλους τους τύπους αυτών των μπαταριών. Οι φορητές ηλεκτρονικές συσκευές συνήθως χρησιμοποιούν μπαταρίες ιόντων λιθίου με βάση το στοιχείο του λιθίου οξειδίου του κοβαλτίου (lithium cobalt oxide), που προσφέρει μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα αλλά παρουσιάζει κινδύνους για την ασφάλεια, ιδιαίτερα όταν υποστεί βλάβη. Οι μπαταρίες λιθίου φωσφορικού σιδήρου (Lithium iron phosphate), ιόντων λιθίου οξειδίου του μαγγανίου (Lithium ion manganese oxide) και λιθίου νικελίου οξειδίου του κοβαλτίου του μαγγανίου (lithium nickel manganese oxide) προσφέρουν χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας αλλά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και ασφάλεια.



Εικόνα 5.11. Μπαταρίες Ιόντων-Λιθίου.

## 5.7 Κατανομή τάσης και εκφόρτισης

Η καμπύλη εκφόρτισης ενός συμβατικού δευτερεύοντος συστήματος φαίνεται στην Εικόνα 5.12., με βαθμολογία C/5 ή 0,2C. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως έχουν την υψηλότερη τάση κελιού από τα υδατικά συστήματα. Η μέση τιμή τάσης των αλκαλικών συστημάτων κυμαίνεται από 1,65V για το σύστημα Νικελίου-Ψευδαργύρου μέχρι 1,1V. Για την εκφόρτιση βαθμού C/5 στους 20°C υπάρχει σχετική μικρή διαφορά στο σχήμα της καμπύλης εκφόρτισης για τα διάφορα ενός δεδομένου συστήματος. Ωστόσο σε μεγαλύτερους βαθμούς εκφόρτισης και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, αυτές οι διαφορές θα μπορούσαν να είναι σημαντικές, ανάλογα κυρίως με την εσωτερική αντίσταση του κελιού.

Τα περισσότερα συμβατικά επαναφορτιζόμενα συστήματα μπαταρίας έχουν ένα επίπεδο προφίλ εκφόρτισης, εκτός από τα συστήματα οξειδίου του αργύρου, λόγω του ότι υπάρχει εκφόρτιση σε δύο στάδια του ηλεκτροδίου οξειδίου του αργύρου και της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας Ψευδαργύρου-οξειδίου του μαγγανίου. Οι επίπεδες καμπύλες εκφόρτισης απλοποιούν τον σχεδιασμό των

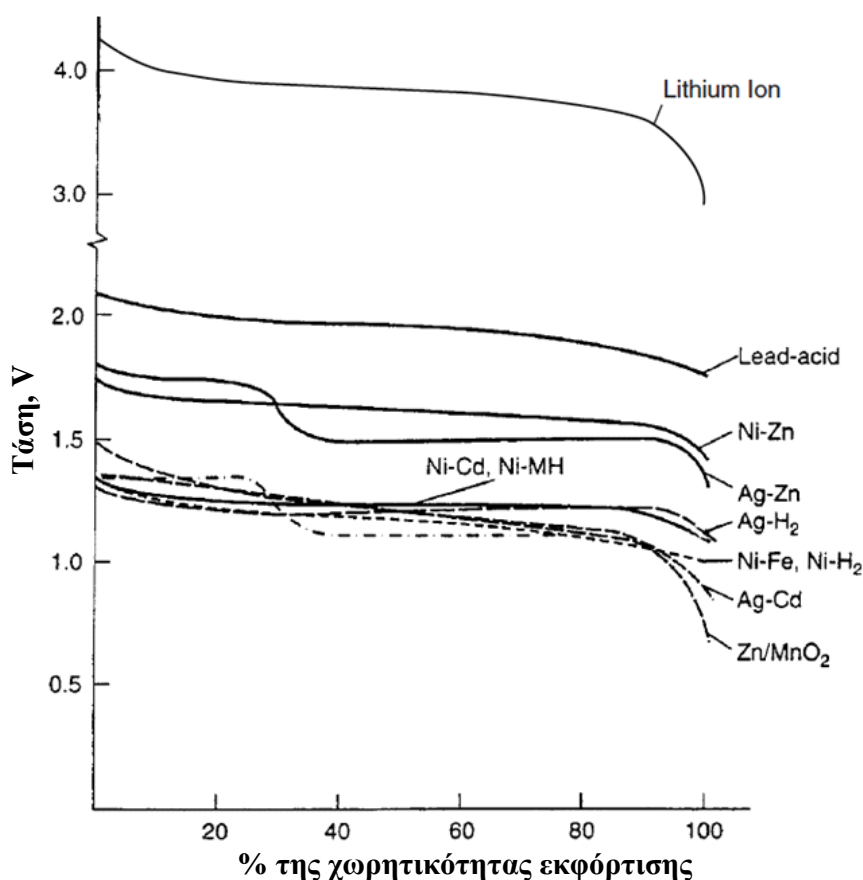


εφαρμογών στις οποίες χρησιμοποιούνται οι μπαταρίες, αφού η τάση τροφοδοσίας παραμένει σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου φόρτισης.

Μια κεκλιμένη καμπύλη διευκολύνει την εκτίμηση της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας, δεδομένου ότι η τάση των κελιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο της υπολειπόμενης φόρτισης στο κελί. Οι σύγχρονες μπαταρίες ιόντων-λιθίου έχουν επίπεδη καμπύλη εκφόρτισης και πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλες μέθοδοι προσδιορισμού της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας.

Η τάση κελιού μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου είναι μεγαλύτερη από ένα υδατικό συμβατικό κελί. Η καμπύλη εκφόρτισης δεν είναι πάντα επίπεδη λόγω της χαμηλής αγωγιμότητας των μη υδατικών ηλεκτρολυτών που πρέπει να χρησιμοποιούνται, αλλά και της θερμοδυναμικής παρεμβολής των αντιδράσεων των ηλεκτροδίων. Η μέση τάση εκφόρτισης ενός κελιού μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου είναι 3,6V, που επιτρέπει την αντικατάσταση τριών κελιών μιας μπαταρίας NiCd (νικελίου-καδμίου) ή NiMH (νικελίου-μετάλλου υδριδίου).

Ο οριζόντιος άξονας της Εικόνας 5.12. δείχνει τα χαρακτηριστικά των κελιών ως εκατοστιαία αναλογία της χωρητικότητας των κελιών, έτσι ώστε η γραφική παράσταση να μπορεί να δείχνει ανεξάρτητα την πραγματική χωρητικότητα του κελιού. Αν ο άξονας αυτός βασιζόταν στον χρόνο εκφόρτισης, τότε το μήκος της κάθε καμπύλης εκφόρτισης θα ήταν ανάλογο με την ονομαστική χωρητικότητα του κυττάρου.



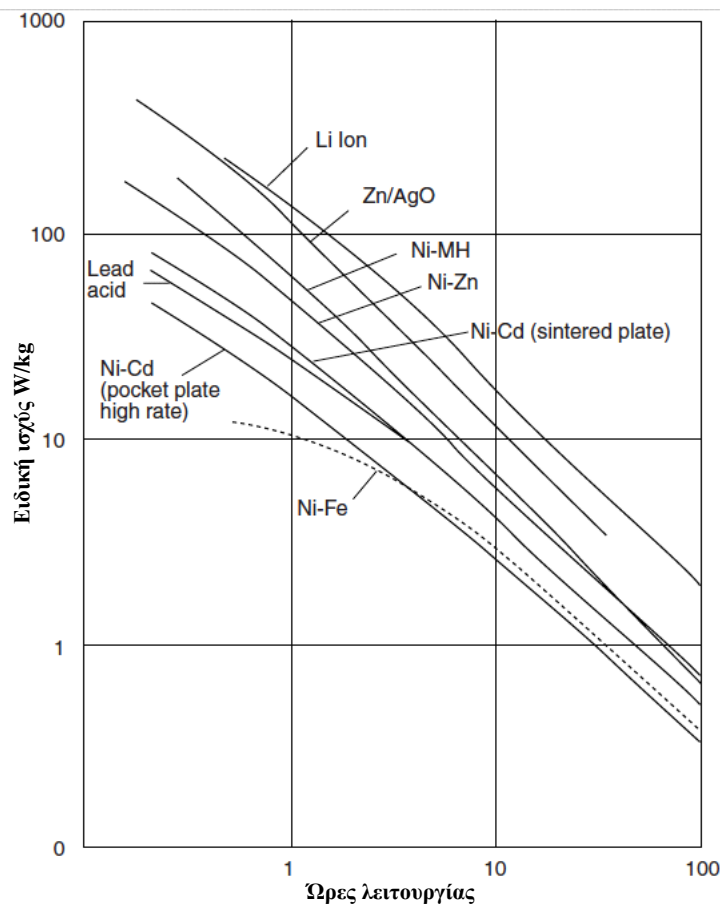
Εικόνα 5.12. Καμπύλη εκφόρτισης συμβατικών δευτερευόντων συστημάτων μπαταρίας και επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ιόντων λιθίου με βαθμό εκφόρτισης C/5.

## 5.8 Επίδραση του βαθμού εκφόρτισης στην απόδοση

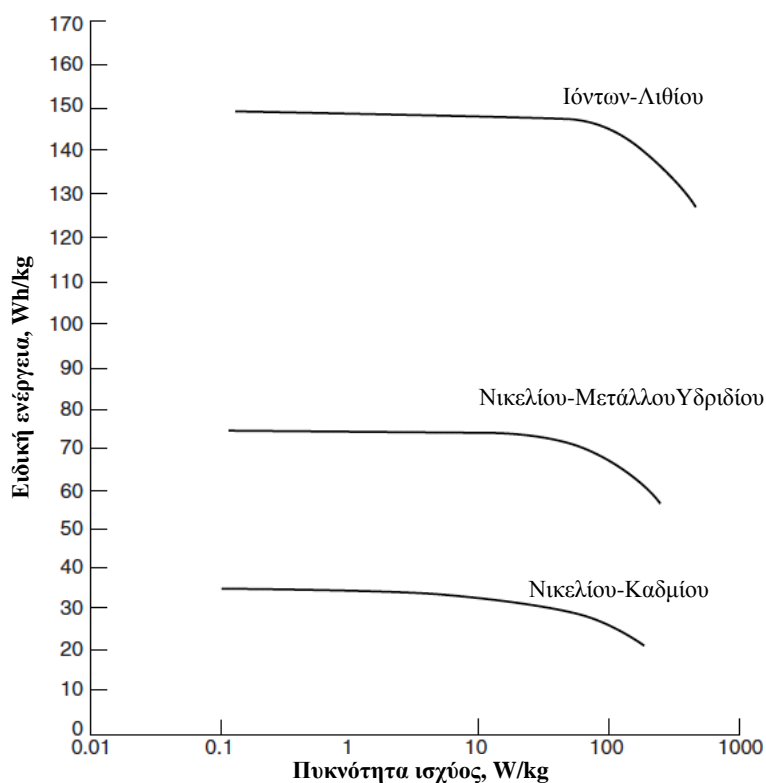
Το αποτέλεσμα του βαθμού εκφόρτισης στην απόδοση των μπαταριών δεύτερης τάξης φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, όπου η τετμημένη εκφράζεται σε ώρες λειτουργίας. Αυτή η γραφική μας δείχνει ότι οι ώρες λειτουργίας κάθε μπαταρίας (ανηγμένες σε μπαταρία βάρους ενός κιλού) θα αποδώσουν διάφορα επίπεδα ενέργειας (ρεύμα εκφόρτισης επί την μέση τάση). Η μεγαλύτερη κλίση είναι ενδεικτική της καλύτερης διατήρησης της χωρητικότητας με την αύξηση του φορτίου εκφόρτισης. Η ειδική ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση.

$$Wh / kg = W / kg * h = \frac{A * V * h}{Kg} \quad (5.1)$$

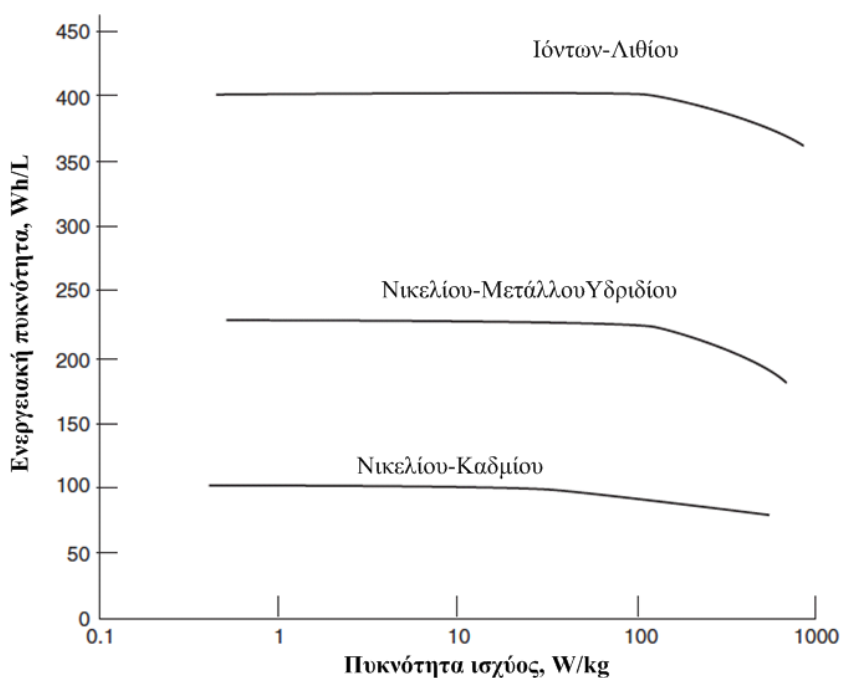
δηλαδή, η ειδική ενέργεια ισούται με το γινόμενο της ειδικής ισχύος επί τις ώρες λειτουργίας.



Εικόνα 5.13. Σύγκριση της απόδοσης των δευτερευόντων συστημάτων μπαταρίας στους 20°C.



(α)



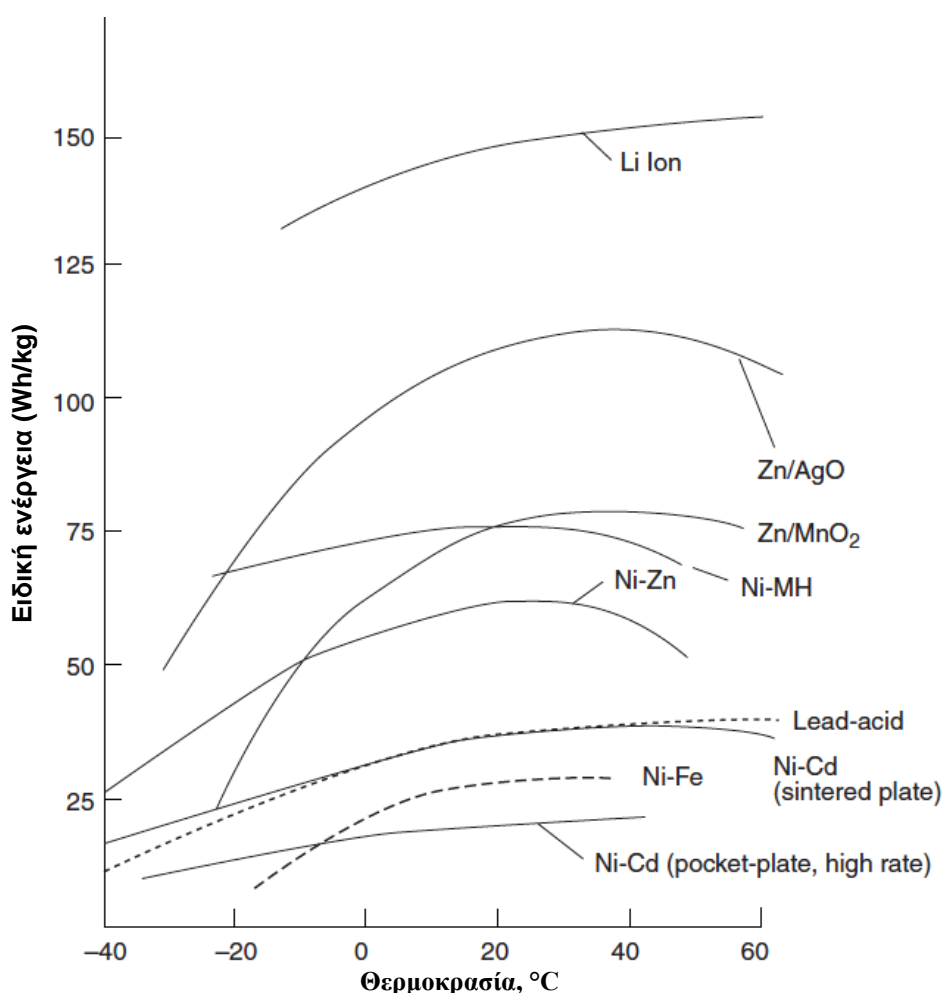
(β)

Εικόνα 5.14. Σύγκριση επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ιόντων λιθίου τύπου 14500 και μεγέθους AA μπαταριών νικελίου - μετάλλου υδριδίου (NiMH) και μπαταριών νικελίου-καδμίου (NiCd) στους 20°C. α) ειδική ενέργεια συναρτήσει της πυκνότητας ισχύος. β) ενεργειακή πυκνότητα συναρτήσει της πυκνότητας ισχύος.

## 5.9 Επίδραση θερμοκρασίας

Η απόδοση των διάφορων δευτερευουσών μπαταριών σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασίας φαίνεται στην Εικόνα 5.15., σε σταθμική βάση, όπου η ειδική ενέργεια κάθε συστήματος μπαταρίας σχεδιάζεται από τους 40°C μέχρι τους 60°C με βαθμό εκφόρτισης C/5. Το σύστημα των ιόντων λιθίου έχει την μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα στους 20°C. Η πυροσυσσωματωμένη-πλάκα νικελίου-καδμίου (sintered-plate nickel-cadmium) και οι μπαταρίες νικελίου μεταλλικού υδριδίου (nickel-metal hydride) παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό κατακράτησης.

Σε γενικές γραμμές η απόδοση στις χαμηλές θερμοκρασίες των αλκαλικών μπαταριών είναι καλύτερη σε σχέση με τις μπαταριών μολύβδου-οξέως και πάλι, με εξαίρεση τα συστήματα νικελίου-σιδήρου (Nickel-iron). Τα συστήματα μολύβδου-οξέως έχουν καλύτερα χαρακτηριστικά στις υψηλές θερμοκρασίες. Αυτά τα δεδομένα έχουν γενικευτεί, κατ' ανάγκη, για σκοπούς σύγκρισης και έτσι παρουσιάζεται κάθε σύστημα κάτω από τις ευνοϊκότερες συνθήκες εκφόρτισης. Φυσικά η απόδοση επηρεάζεται έντονα από τις συνθήκες εκφόρτισης.



Εικόνα 5.15. Επίδραση θερμοκρασίας επί της ειδικής ενέργειας στα δευτερεύοντα συστήματα μπαταρίας σε βαθμό εκφόρτισης C/5.

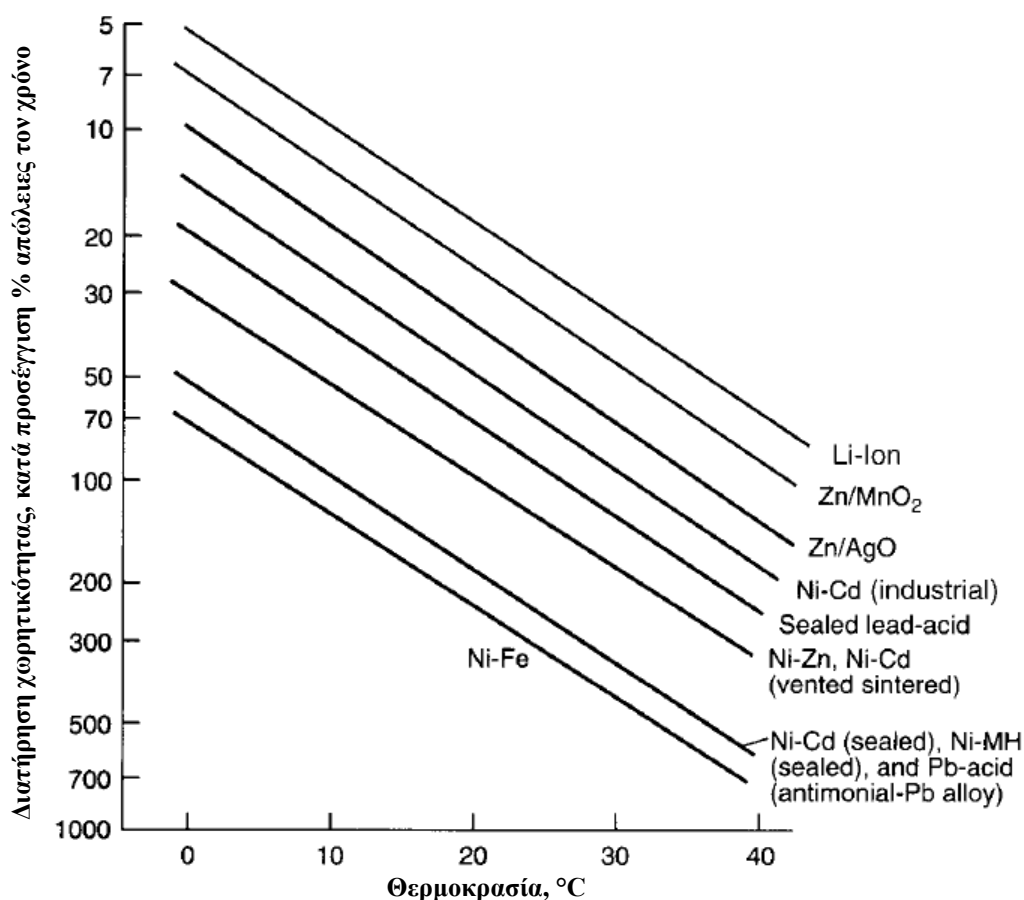
## 5.10 Διατήρηση φόρτισης

Η διατήρηση φόρτισης στα περισσότερα συμβατικά δευτερογενή συστήματα μπαταριών είναι πολύ χαμηλότερη σε σχέση με τα συστήματα κύριων μπαταριών. Συνήθως οι δευτερεύουσες μπαταρίες φορτίζουν σε περιοδική βάση ή σε κατάσταση "κυμαινόμενης" διατήρησης φόρτισης εάν πρόκειται να είναι σε ετοιμότητα. Οι περισσότερες δευτερεύουσες αλκαλικές μπαταρίες, ειδικά οι μπαταρίες οξειδίου του νικελίου (Nickel oxide), μπορούν να αποθηκεύονται για μεγάλο χρονικό διάστημα ακόμα και σε κατάσταση εκφόρτισης χωρίς μόνιμη καταστροφή και να φορτιστούν όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος δεν μπορούν να αποθηκευτούν σε κατάσταση εκφόρτισης διότι προκαλείται θείωση των πλακών, η οποία είναι επιζήμια για την απόδοση της μπαταρίας.

Η Εικόνα 5.16. δείχνει τις ιδιότητες συγκράτησης του φορτίου για διάφορους τύπους συστημάτων δευτερευουσών μπαταριών. Αυτά τα δεδομένα και σε αυτήν την περίπτωση έχουν γενικευτεί για σκοπούς σύγκρισης. Υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις της απόδοσης ανάλογα με τον σχεδιασμό και πολλούς άλλους παράγοντες, με την μεταβλητότητα να αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας αποθήκευσης. Συνήθως, ο βαθμός απώλειας της χωρητικότητας μειώνεται με την αύξηση του χρόνου αποθήκευσης.

Οι επαναφορτιζόμενες δευτερεύουσες μπαταρίες αργύρου, ψευδαργύρου/διοξειδίου του μαγγανίου και οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά διατήρησης φόρτισης, η αυτό-εκφόρτιση "self-discharge" είναι συνήθως 2% ανά μήνα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα χαμηλού-ρυθμού (low-rate) κελιά αργύρου μπορεί να χάσουν 10 με 20% τον χρόνο, αλλά οι απώλειες υψηλού-ρυθμού (high-rate) σε μεγάλες επιφάνειες μπορεί να είναι 5 με 10 φορές υψηλότερες. Οι μπαταρίες "αεριζόμενου" θυλακίου-πλάκας, οι πυροσυσσωματωμένης-πλάκας νικελίου-καδμίου και τα συστήματα νικελίου-ψευδαργύρου ακολουθούν. Τα "σφραγισμένα" κελιά και οι μπαταρίες νικελίου-σιδήρου έχουν τις χαμηλότερες ιδιότητες συγκράτησης φορτίου του αλκαλικού συστήματος.

Η διατήρηση φόρτισης των μπαταριών μολύβδου οξέος εξαρτάται από τον σχεδιασμό, την συγκέντρωση ηλεκτρολύτη, την διαμόρφωση του πλέγματος του κράματος καθώς και άλλους παράγοντες. Η διατήρηση φόρτισης των μπαταριών τύπου SLI, χρησιμοποιώντας πρότυπο πλέγμα αντιμονίου-μολύβδου (antimonial-lead), είναι μικρή και έτσι τους απομένει μικρή χωρητικότητα μετά από αποθήκευση έξι μηνών σε θερμοκρασία δωματίου. Οι σχεδιασμοί χαμηλού αντιμονίου-μολύβδου (low antimonial-lead) και οι μπαταρίες χωρίς ανάγκη συντήρησης (maintenance-free) έχουν πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά διατήρησης φόρτισης με απώλειες της τάξης του 20 με 40% τον χρόνο. Ένα δυνητικό πλεονέκτημα μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας μεταλλικού λιθίου είναι η καλή διατήρηση φόρτισης η οποία σε πολλές περιπτώσεις είναι όμοια με την διατήρηση φόρτισης των κύριων μπαταριών λιθίου.



Εικόνα 5.16. Διατήρηση φόρτισης δευτερευόντων συστημάτων συναρτήσει της θερμοκρασίας.

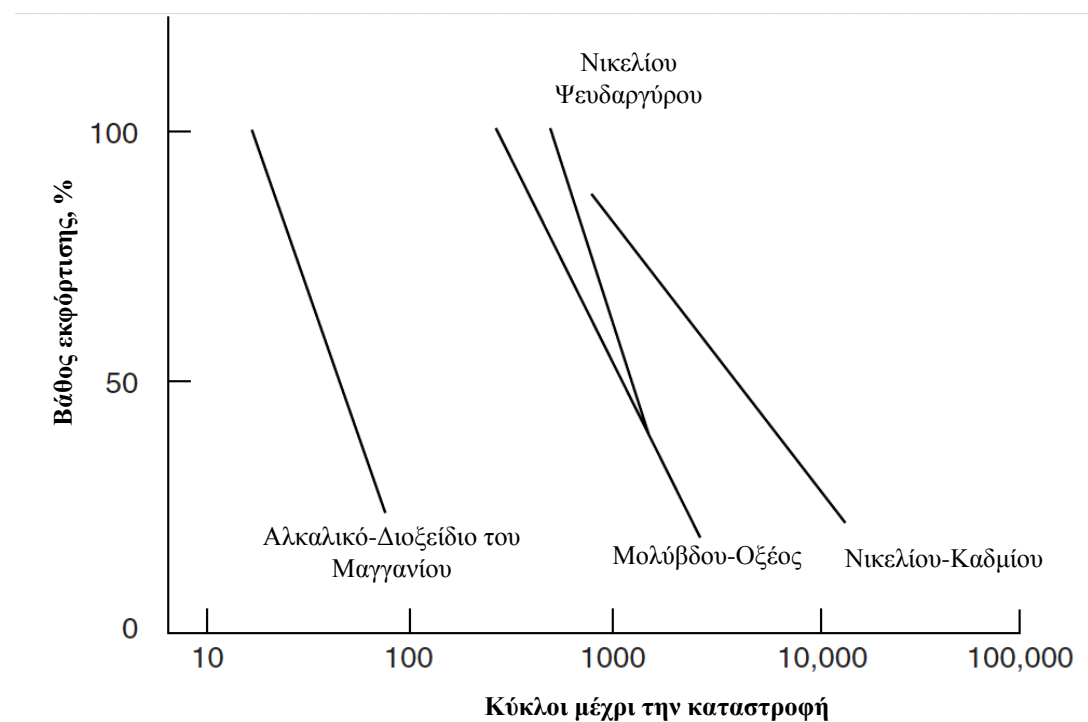
### 5.11 Χρόνος ζωής

Ο κύκλος ζωής και η ημερολογιακή ζωή των διάφορων δευτερευόντων συστημάτων μπαταρίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Και εδώ πάλι τα δεδομένα είναι κατά προσέγγιση, διότι η ειδική απόδοση εξαρτάται από τον εκάστοτε σχεδιασμό καθώς και τις συνθήκες υπό τις οποίες χρησιμοποιούνται οι μπαταρίες. Το βάθος εκφόρτισης όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.17. καθώς και το σύστημα φόρτισης επηρεάζει έντονα την ζωή της μπαταρίας.

Από τα συμβατικά συστήματα δεύτερης τάξης μπαταριών, οι μπαταρίες νικελίου-σιδήρου (nickel-iron) και οι μπαταρίες "αεριζόμενου" τύπου θυλακίου νικελίου-καδμίου (vented pocket-type nickel-cadmium) είναι οι καλύτερες αναφορικά με τον κύκλο ζωής και την συνολική διάρκεια ζωής. Οι μπαταρίες νικελίου-υδρογόνου (nickel-hydrogen) που έχουν αναπτυχθεί κυρίως για αεροδιαστημικές εφαρμογές, έχουν αποδεδειγμένα πολύ μεγάλο κύκλο ζωής κάτω από μικρό βάθος εκφόρτισης. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος δεν συγκαταλέγονται, ως προς τη απόδοση, με τις καλύτερες των αλκαλικών μπαταριών. Ο καλύτερος κύκλος ζωής επιτυγχάνεται με τον σωληνωτό σχεδιασμό (tubular design) και τον σχεδιασμό Πλάντε (Planté design).

Ένα από τα μειονεκτήματα της χρήσης ψευδαργύρου, λιθίου καθώς και άλλων μετάλλων με υψηλό αρνητικό δυναμικό στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες είναι η

δυσκολία της επιτυχημένης επαναφόρτισης και της απόκτησης κάλου κύκλου ζωής και διάρκειας ζωής. Οι μπαταρίες νικελίου ψευδαργύρου έχουν, πρόσφατα, βελτιωθεί για να παρέχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Τα συστήματα ιόντων-λιθίου έχει αποδειχθεί ότι παρουσιάζουν καλό κύκλο ζωής.



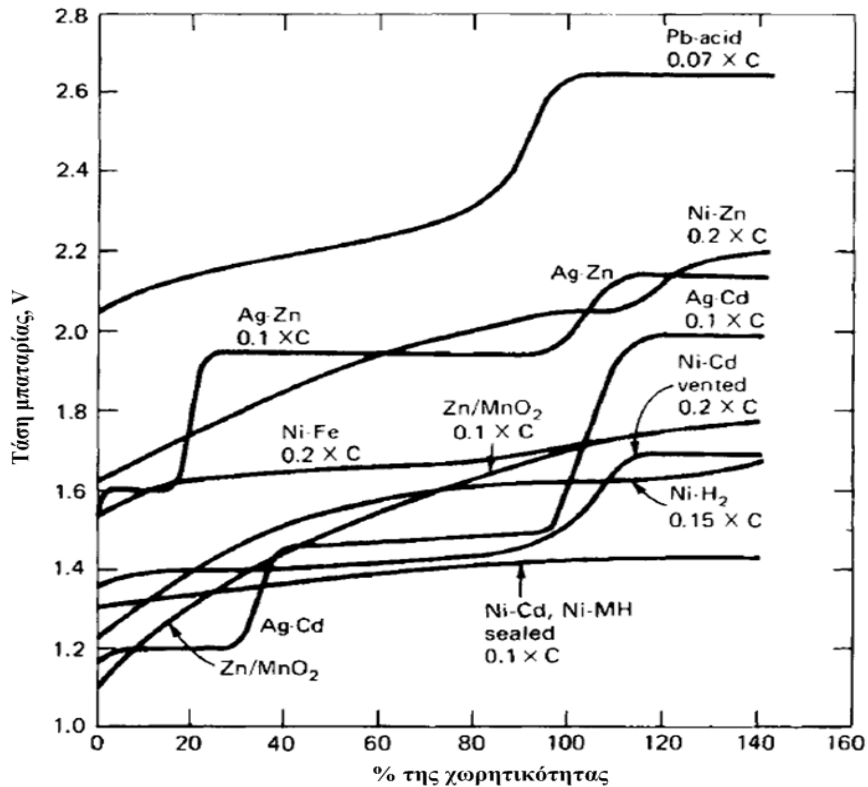
**Εικόνα 5.17.** Επίδραση του βάθους εκφόρτισης συναρτήσει των κύκλων μέχρι την καταστροφή δευτερευόντων συστημάτων μπαταρίας.

## 5.12 Χαρακτηριστικά φόρτισης

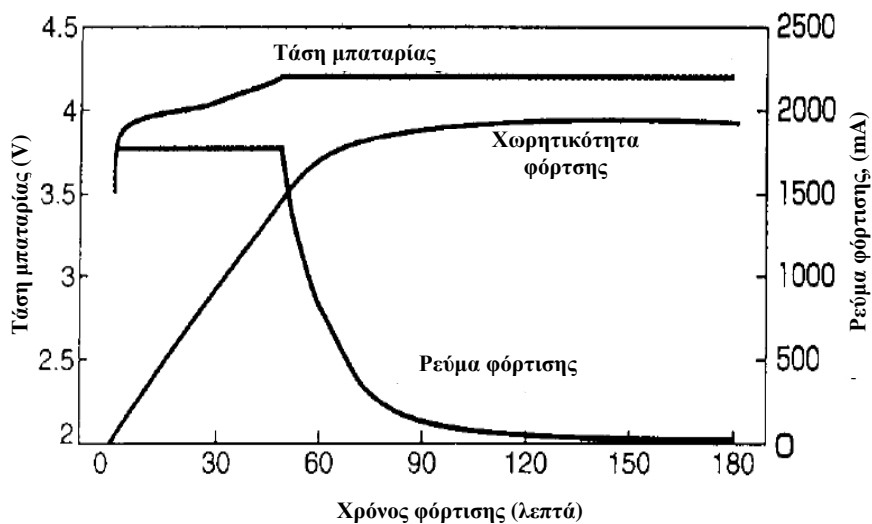
Οι τυπικές καμπύλες των διάφορων δευτερευόντων υδατικών συστημάτων σε κανονικό σταθερό ρεύμα βαθμού φόρτισης φαίνονται στην Εικόνα 5.18. Οι περισσότερες μπαταρίες μπορούν να φορτιστούν κάτω από συνθήκες σταθερού ρεύματος, που είναι συνήθως και η πιο κατάλληλη μέθοδος, παρόλα αυτά στην πράξη χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι σταθερής τάσης ή η τροποποιημένη σταθερής τάσης. Κάποιες από τις "σφραγισμένες"- κλειστού τύπου μπαταρίες, ωστόσο, δεν μπορούν να φορτίσουν κάτω από την μέθοδο της σταθερής τάσης λόγω της θερμικής διαφυγής. Γενικά, οι "αεριζόμενες" νικελίου-καδμίου μπαταρίες έχουν τις καλύτερες ιδιότητες φόρτισης και μπορούν να φορτιστούν από έναν αριθμό μεθόδων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτές οι μπαταρίες μπορούν να φορτιστούν κάτω από ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και να υπερφορτιστούν, ακόμη, σε κάποιο βαθμό χωρίς να καταστραφούν. Οι μπαταρίες νικελίου-σιδήρου, οι "σφραγισμένες"-κλειστού τύπου μπαταρίες νικελίου-καδμίου και οι "σφραγισμένες"-κλειστού τύπου νικελίου/μετάλλου υδριδίου, έχουν καλά χαρακτηριστικά φόρτισης, αλλά είναι στενότερο το εύρος θερμοκρασίας για αυτές. Οι μπαταρίες νικελίου/μετάλλου υδριδίου είναι πιο ευαίσθητες στην υπερφόρτιση και επιβάλλεται ο έλεγχος φόρτισης για την αποφυγή υπερθέρμανσης. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν επίσης καλά χαρακτηριστικά φόρτισης, αλλά πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη μέριμνα ώστε να αποφευχθεί η υπερβολική φόρτιση. Οι μπαταρίες ψευδαργύρου/διοξειδίου του μαγγανίου (zinc/manganese dioxide) και οι μπαταρίες ψευδαργύρου/οξειδίου του

αργύρου (zinc/silver oxide) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην υπερφόρτιση, που είναι επιζήμια για την διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Στην Εικόνα 5.18. παρατηρούμε τα χαρακτηριστικά του σταθερού ρεύματος συναρτήσεως της σταθερής τάσης μιας μπαταρίας 18650 ιόντων-λιθίου.



Εικόνα 5.18. Χαρακτηριστική φόρτισης δευτερευόντων συστημάτων μπαταρίας, σταθερό ρεύμα φόρτισης στους 20 °C.



Εικόνα 5.19. Χαρακτηριστική φόρτισης μιας τυπικής κυλινδρικής ιόντων-λιθίου μπαταρία 18650 στους 20°C. Οι μπαταρίες φορτίζονται σε σταθερό ρεύμα στα 1.8 A (ονομαστικού βαθμού C) σε τάση 4,2 V που ακολουθείται από μειούμενη φόρτιση σε αυτήν την τάση για συνολικό χρόνο 2 h .



Πολλοί κατασκευαστές συστήνουν την μέθοδο της γρήγορης (fast) φόρτισης για να καλύψουν τις απαιτήσεις τόσο των εφαρμογών όσο και των καταναλωτών για φόρτιση εντός δύο-τριών ωρών. Αυτή η μέθοδος απαιτεί έλεγχο για διακοπή της φόρτισης πριν συμβεί μια υπερβολική αύξηση αερίων, πίεσης, ή θερμοκρασίας. Αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει διαφυγή αερίων ή σοβαρό κίνδυνο για την ασφάλεια, ή ακόμη θα μπορούσε να οδηγήσει στην μείωση της απόδοσης της μπαταρίας ή της ζωής της.

Η φόρτιση με παλμό χρησιμοποιείται σε ορισμένα συστήματα για να παρέχει υψηλότερου βαθμού φορτίσεις. Σε γενικές γραμμές, οι τεχνικές ελέγχου είναι χρήσιμες για την επαναφόρτιση των περισσότερων δευτερογενών μπαταριών. Αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλούς τρόπους για την αποφυγή υπερφόρτισης, για διευκόλυνση της γρήγορης φόρτισης, ανίχνευση ενδεχόμενης βλάβης ή μη ασφαλών συνθηκών και διακοπή της φόρτισης ή μείωση του βαθμού φόρτισης σε ασφαλή επίπεδα.

Ωστόσο, οι ίδιοι έλεγχοι χρησιμοποιούνται και κατά την εκφόρτιση για να διατηρήσουν την ισορροπία των κελιών και για την αποφυγή υπερεκφόρτισης (overdischarge). Ένας άλλος τρόπος είναι οι "έξυπνες" μπαταρίες όπου θα προσφέρουν έλεγχο φόρτισης, ώστε η μπαταρία να μπορεί να φορτίσει βέλτιστα και με ασφάλεια, να παρέχει μετρητή υπολοίπου μπαταρίας ώστε να υποδηλώνεται το υπόλοιπο της μπαταρίας και τέλος να έχει ειδικά συστήματα που θα προειδοποιούν τον χρήστη για μη ασφαλή ή ανεπιθύμητη λειτουργία ή να διακόπτει την τροφοδοσία της μπαταρίας από το κύκλωμα.

**Πίνακας 5.1. Συγκεντρωτικός πίνακας κύριων χαρακτηριστικών των εμπορικών μπαταριών**

Τύπος μπαταρίας	Άνοδος/ Αρνητικό ηλεκτρόδιο	Κάθοδος/ Θετικό ηλεκτρόδιο	Ηλεκτρολύτης	Θετικά	Αρνητικά	Κύριες εφαρμογές
Ψευδαργύρου-Ανθρακα	Ψευδάργυρος	Διοξείδιο του Μαγγανίου	Αμμωνία, χλωριούχος ψευδάργυρος και νερό	Η πυκνότητα ρεύματος είναι μεγαλύτερη από της μπαταρίες Ψευδαργύρου- Αέρα, καλή λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες, καλή αντοχή σε διαρροή, υψηλή απόδοση με βαριά εκφόρτιση.	Υψηλός σχηματισμός αερίου, το σύστημα σφράγισης πρέπει να είναι αποτελεσματικό λόγω της υψηλής ευαισθησίας στο οξυγόνο.	Γενικής οικιακής χρήσεως.
Αλκαλικές	Ψευδάργυρος	Διοξείδιο του Μαγγανίου	Υδροξείδιο του καλίου	Υψηλή πυκνότητα ρεύματος, καλή απόδοση σε διακοπόμενη και συνεχή εκφόρτιση, καλή ζωή, αντοχή στις διαρροές, μικρή εσωτερική αντίσταση, καλή μηχανική αντοχή, και χαμηλός βαθμός παραγωγής αερίων.	Ακριβότερες σε σχέση με της μπαταρίες Ψευδαργύρου-Ανθρακα.	Γενικής οικιακής χρήσεως.
Άργυρος	Ψευδάργυρος	Οξείδιο του Αργύρου	Υδροξείδιο του καλίου ή Υδροξείδιο του Νατρίου	Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά είναι όμοια με τα χαρακτηριστικά των μπαταριών υδραργύρου με υψηλότερη τάση (1,55V), και χαμηλός βαθμός αυτο-εκφόρτισης.	Χαμηλή ενεργειακή χωρητικότητα λόγω του μικρού μεγέθους.	Στρατιωτική χρήση και συστήματα που απαιτούν στιγμιαία απελευθέρωση ενέργειας.
Μολύβδου	Μόλυβδος	Οξείδιο του μολύβδου	Θεικό οξύ	Σε σύγκριση με άλλα δευτερογενή συστήματα είναι η πιο οικονομική και δεν απαιτείται συντήρηση.	Περιέχει μόλυβδο και είναι βαριές μπαταρίες .	Χρήση στα αυτοκίνητα.

**Πίνακας 5.1. Συγκενρωτικός πίνακας κύριων χαρακτηριστικών των εμπορικών μπαταριών**

Τύπος μπαταρίας	Άνοδος/ Αρνητικό ηλεκτρόδιο	Κάθοδος/ θετικό ηλεκτρόδιο	Ηλεκτρολύτης	Θετικά	Αρνητικά	Κύριες εφαρμογές
Νικελίου-Καδμίου	Κάδμιο	Υδροξείδιο του Νικελίου	Υδροξείδιο του καλίου	Η ανθεκτικότητα δεν επηρεάζεται όταν αποθηκεύεται ακόμα και όταν είναι φορτισμένη, κάποια μοντέλα μπορούν να εκτελέσουν 30.000 κύκλους φόρτισης και εκφόρτιση.	Περιέχει Κάδμιο.	Ασύρματες συσκευές, φωτογραφικές μηχανές, φορητοί υπολογιστές, συσκευές τηλεϊδιοποίησης και κινητά τηλέφωνα.
Νικελίου-Μετάλλου Υδριδίου	Τύπος AB <sub>5</sub> : MmNi <sub>3,5</sub> Co <sub>0,7</sub> Mn <sub>0,4</sub> Al <sub>0,3</sub> Τύπος AB <sub>2</sub> : Ni <sub>28</sub> Cr <sub>5</sub> Co <sub>3</sub> Fe <sub>6</sub> Mn <sub>6</sub>	Υδροξείδιο του Νικελίου, Οξείδιο του Κοβαλτίου και πρόσθετα	Υδροξείδιο του καλίου	Υψηλότερη ενέργεια ανά όγκο και βάρος σε σύγκριση με τις μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου, δεν περιέχει κάδμιο	Κόστος παραγωγής μεγαλύτερο των μπαταριών Νικελίου-καδμίου αλλά μικρότερο σε σχέση με τις μπαταρίες με βάση το λίθιο.	Φορητές συσκευές και κινητά τηλέφωνα.
Ιόντων-Λιθίου	Ανθρακας	Λιθίου οξειδίου του κοβαλτίου	Οργανικοί διαλύτες και/ή διάλυμα άλατος	Υψηλή πυκνότητα ρεύματος, μεγάλη ζωή χρήσης, υψηλότερη ονομαστική τάση	Υψηλό κόστος.	Φορητές συσκευές, κινητά τηλέφωνα, υβριδικά οχήματα.
Πολυμερών - Λίθου	Λίθιο	Φωσφίδιο σιδήρου λιθίου ή λιθιο οξείδιο του μαγγανίου	Ηλεκτρολύτης στερεού πολυμερούς, τριφθοροσουλφανικό λίθιο	Πλαστικός χαρακτήρας, ως εκ τούτου σημαίνει ότι έχει ευελιξία και μπορεί να έχει διαμόρφωση σε διάφορα σχήματα και λεπτομερείς διαμορφώσεις	Σχετικά μικρό κύκλο ζωής και αποτελεσματικότητα.	Ηλεκτρονικές συσκευές και υβριδικά οχήματα.



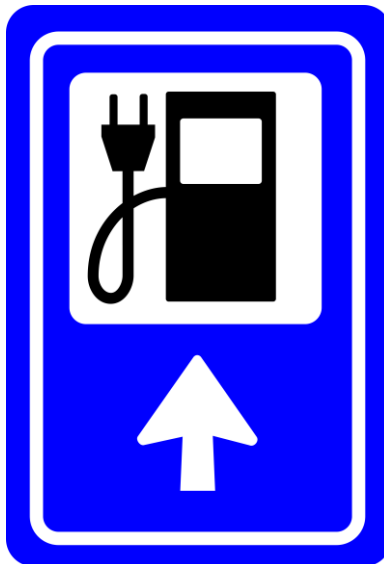
# 6 Φορτιστές



## 6.1 Γενικά

Η άφιξη των ηλεκτρικών οχημάτων στην καθημερινότητα των χρηστών δεν πρέπει να έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή των συνηθειών τους, ούτε την έκθεση τους σε καινούργιες καταστάσεις που μπορεί να αποβούν δυνητικά επικίνδυνες όταν φορτίζουν τα οχήματά τους. Η χωρητικότητα των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων είναι περίπου 20 kWh, παρέχοντας έτσι αυτονομία 150 km. Επειδή η αυτονομία εξακολουθεί να είναι περιορισμένη, το όχημα θα πρέπει να φορτίζει σε τακτά χρονικά διαστήματα. Για κανονική φόρτιση, 3 kW, οι κατασκευαστές οχημάτων έχουν ενσωματώσει έναν φορτιστή στο όχημα. Το καλώδιο φόρτισης χρησιμοποιείται για να συνδεθεί το όχημα με το ηλεκτρικό δίκτυο σε τροφοδοσία τάσης 230V εναλλασσόμενου ρεύματος. Για γρηγορότερη φόρτιση, 22 kW, 43 kW ή ακόμη και άνω των 43 kW, οι κατασκευαστές έχουν επιλέξει δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος εκμεταλλεύεται τον φορτιστή του οχήματος, που είναι σχεδιασμένος να φορτίζει από 3 μέχρι 43 kW από μονοφασική παροχή τάσης 230V ή από τριφασική παροχή τάσης 400V. Ο δεύτερος τρόπος φόρτισης κάνει χρήση ενός εξωτερικού φορτιστή που μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και φορτίζει το όχημα στα 50 kW. Έτσι ο χρήστης βρίσκει την φόρτιση ενός ηλεκτρικού τόσο απλή όσο να συνδέει μια απλή ηλεκτρική ή ηλεκτρονική συσκευή. Ωστόσο για να εξασφαλιστεί ότι αυτή η λειτουργία πραγματοποιείται με απόλυτη ασφάλεια, το σύστημα πρέπει να εκτελεί διάφορες λειτουργίες ασφάλειας και διαλόγου με το όχημα κατά την διάρκεια της σύνδεσης και της φόρτισης.

## 6.2 Θέσεις εγκατάστασης φορτιστών



Εικόνα 6.1. Ταμπέλα για την επίδειξη χώρου φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος .

Η θέση όπου οι κάτοχοι των ηλεκτρικών οχημάτων φορτίζουν τα οχήματά τους είναι σημαντική και επηρεάζει την συμπεριφορά φόρτισης, την οικονομία

φόρτισης, τον προγραμματισμό επενδύσεων σε υποδομές δικτύων φόρτισης, κ.λ.π. Οι θέσεις φόρτισης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Ιδιωτικές με ιδιωτική πρόσβαση
- Ιδιωτικές με δημόσια πρόσβαση
- Δημόσιες με δημόσια πρόσβαση

### 6.2.1 Θέσεις ιδιωτικές με ιδιωτική πρόσβαση

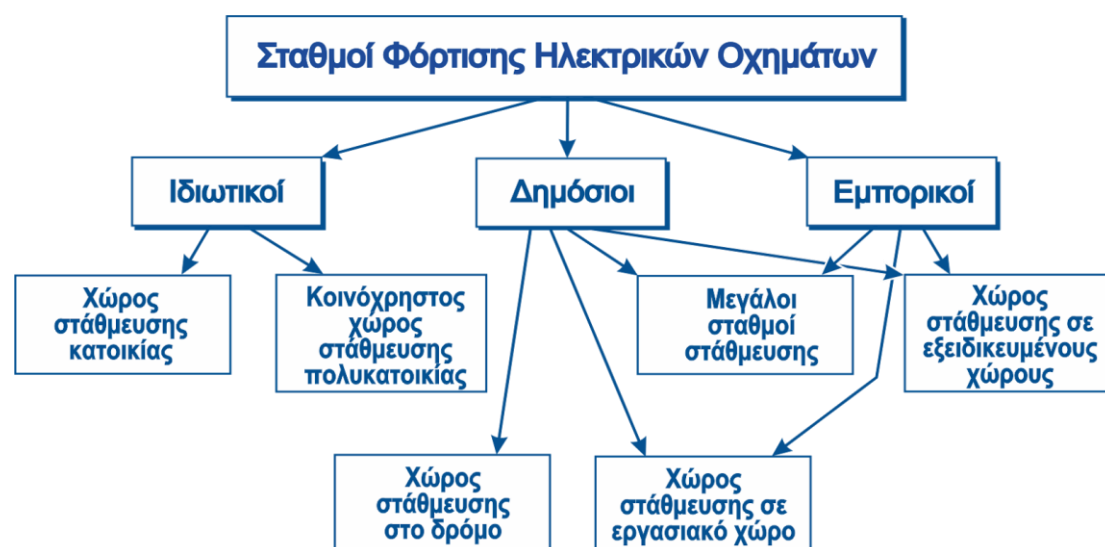
Η φόρτιση στις κατοικίες χρηστών, συμπεριλαμβανομένων των γκαράζ και των συγκροτημάτων διαμερισμάτων, καθώς και των χώρων στάθμευσης των κατοίκων στον δρόμο, αναμένεται να είναι ως επί το πλείστον η φόρτιση Επιπέδου 1, όπου υπάρχει ήδη στις περισσότερες κατοικίες και χρησιμοποιείται για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων κατά την διάρκεια της νύχτας.

### 6.2.2 Θέσεις ιδιωτικές με δημόσια πρόσβαση

Για την φόρτιση στους χώρους εργασίας (συμπεριλαμβανομένων των εξωτερικών γκαράζ του χώρου εργασίας), στους χώρους εμπορικών καταστημάτων και τα μεγάλα γκαράζ, χρησιμοποιούνται φορτιστές όμοιοι με αυτούς των φορτιστών κατοικίας, δηλαδή Επιπέδου 1, δίνοντας την δυνατότητα στους χρήστες να φορτίσουν τα ηλεκτρικά οχήματά τους τις ώρες που είναι παρκαρισμένα, πληρώνοντας το αντίστοιχο αντίτιμο.

### 6.2.3 Θέσεις δημόσιες με δημόσια πρόσβαση

Οι φορτιστές που δεν ανήκουν στους φορτιστές κατοικίας ή γραφείου, αποτελούν τους δημόσιους φορτιστές με δημόσια πρόσβαση και περιλαμβάνουν τους φορτιστές σε δημόσιους χώρους, δημόσια γκαράζ, δημόσιους δρόμους κ.λ.π. Είναι ένας συνδυασμός φορτιστών Επιπέδου 1 και Επιπέδου 2 για γρήγορη φόρτιση των οχημάτων. Έτσι με αυτόν τον τρόπο λύνεται το πρόβλημα πολλών ιδιοκτητών που ζουν σε κατοικημένες αστικές περιοχές και δεν έχουν πρόσβαση σε ιδιωτικά γκαράζ.



Εικόνα 6.2. Διάκριση των θέσεων των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

## 6.3 Μέθοδοι φόρτισης

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι επαναφόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων: ενσύρματα, ασύρματα μέσω της επαγωγής και από την εναλλαγή των μπαταριών. Μια μπαταρία μπορεί να φορτιστεί επαγωγικά χωρίς την χρήση καλωδίων. Αντί αυτών, χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο για να μεταφέρει ενέργεια στο όχημα. Αυτή η μέθοδος φόρτισης έχει δοκιμαστεί πειραματικά και κάλλιστα μπορεί να γίνει ο τρόπος φόρτισης του μέλλοντος. Σήμερα, ωστόσο, δεν υπάρχουν οχήματα που να μπορούν να δεχτούν την αγώγιμη φόρτιση, ούτε υπάρχουν πρότυποι φορτιστές για τον σκοπό αυτό. Συνάμα, είναι μια ελκυστική επιλογή, διότι δεν περιλαμβάνει πρόσθετο εξοπλισμό ή καλώδια και ως εκ τούτου δεν χαλάει, για παράδειγμα, την εικόνα του δρόμου στο κέντρο των πόλεων. Το πιο σημαντικό είναι ότι ίσως αυτό το σύστημα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την φόρτιση των μπαταριών κατά την διάρκεια της οδήγησης μέσω επαγωγικού οδοστρώματος ή για την ταχεία φόρτιση των λεωφορείων στις στάσεις τους.

Η μέθοδος της εναλλαγής μπαταριών ουσιαστικά είναι μια μέθοδος όπου μια άδεια μπαταρία αλλάζει με μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία. Αυτός είναι, πιθανώς, ένας από τους πιο γρήγορους τρόπους "επαναφόρτισης" των μπαταριών ενός ηλεκτρικού οχήματος, αλλά ταυτόχρονα και η πιο ακριβή μέθοδος, δεδομένου ότι απαιτούνται σταθμοί αλλαγής μπαταριών. Επίσης απαιτούνται πρόσθετες μπαταρίες αλλά και τυποποίηση αυτών έως κάποιο βαθμό καθώς και ειδικός σχεδιασμός των ηλεκτροκίνητων οχημάτων ώστε να μπορεί να γίνει η αλλαγή των μπαταριών (τα περισσότερα από αυτά, την συγκεκριμένη χρονική στιγμή δεν τον διαθέτουν).

Επειδή κανένας από δύο πιο πάνω τρόπους δεν υπάρχει ακόμα και σήμερα, θα γίνει αναφορά αποκλειστικά στην ενσύρματη φόρτιση δεδομένου ότι αυτή είναι σήμερα η μόνη επιλογή που χρησιμοποιείται καθώς ο εξοπλισμός του αυτοκινήτου και του φορτιστή είναι διαθέσιμοι στο εμπόριο. Για την ενσύρματη φόρτιση, υπάρχουν δύο επιλογές: είτε φόρτιση μέσω εναλλασσόμενου ρεύματος, είτε μέσω συνεχούς ρεύματος.

Η φόρτιση μέσω εναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιείται στα συμβατικά και στα συστήματα ημι-φόρτισης (semi-charging) των κατοικιών, γραφείων και στην πλειοψηφία των δημόσιων σταθμών φόρτισης. Από την άλλη, η φόρτιση με συνεχές ρεύμα χρησιμοποιείται για την γρήγορη φόρτιση. Δεδομένου ότι όλες οι μπαταρίες απαιτούν συνεχές ρεύμα για την φόρτιση τους, το εναλλασσόμενο ρεύμα που παρέχεται από το ηλεκτρικό δίκτυο πρέπει σε κάποιο σημείο να μετατραπεί σε συνεχές ρεύμα. Σε αυτό το σημείο απαιτείται ένας μετατροπέας εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές (AC/DC) μεταξύ του δικτύου και της μπαταρίας. Σε περίπτωση που η φόρτιση γίνεται μέσω εναλλασσόμενου ρεύματος από απλό δίκτυο (ρευματοδότης κατοικίας) τότε μπορεί στο όχημα να ενσωματωθεί ένας μικρός μετατροπέας επειδή τα επίπεδα ισχύος είναι πολύ μικρά.

Για την γρήγορη φόρτιση με υψηλά επίπεδα ισχύος απαιτείται ένας μεγαλύτερος και πιο ακριβός μετατροπέας, ο οποίος δεν θα μπορούσε να ενσωματωθεί μέσα στο όχημα. Συνεπώς αυτός ο μετατροπέας υψηλής ισχύος ενσωματώνεται μέσα στον σταθμό φόρτισης και το συνεχές ρεύμα μεταφέρεται στο όχημα. Λόγω των υψηλών επιπέδων ισχύος και λόγω θεμάτων ασφάλειας, τα καλώδια επαναφόρτισης είναι πάντα σταθερά πάνω στον σταθμό φόρτισης και υπάρχει, επομένως, μόνο ένα ρευματολήπτης που πρέπει να τυποποιηθεί.

## 6.4 Επίπεδα και Τρόποι (Modes) φόρτισης

Τα τρία πιο κοινώς αναγνωρίσιμα διεθνή και εθνικά πρότυπα φόρτισης για τα ηλεκτρικά οχήματα είναι αυτά της IEC (International Electrotechnical Commission) και της SAE (Society of Automotive Engineers) των Ηνωμένων Πολιτειών. Επιπλέον, υπάρχει το πρότυπο CHAdeMO συντομογραφία "CHArge de MOve" ή ισοδύναμα "move using charge" ή "move by charge". που αφορά την γρήγορη φόρτιση με συνεχές ρεύμα και αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία. Το πρότυπο της IEC υιοθετήθηκε από τους περισσότερους Ευρωπαίους και Κινέζους κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ της SAE από τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και την Ιαπωνία. Επίσης, υπάρχει και το εθνικό πρότυπο της GB (GuoBiao) της Κίνας, το οποίο υιοθετήθηκε από τους κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων για την ηπειρωτική χώρα.

Πίνακας 6.1. Διεθνή και Εθνικά Πρότυπα.

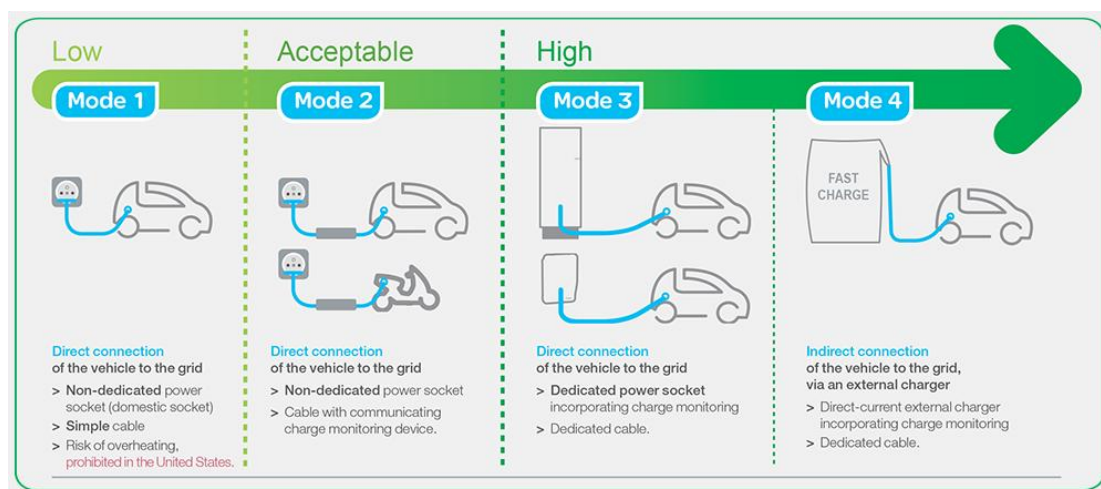
Οργανισμός	Πρότυπο
IEC	IEC 61851
SAE	SAE J1772
GB	GB/T 20234
CHAdeMO	CHAdeMO

Όπως φαίνεται, λοιπόν, η αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιεί δύο διεθνή πρότυπα για την φόρτιση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων, τα SAE J1772 και IEC 61851, που καθορίζουν τις απαιτήσεις για τον εξοπλισμό παροχής των ηλεκτρικών οχημάτων "Electric Vehicle Supply Equipment" (EVSE). Η διαφορά στην ορολογία των δύο αυτών προτύπων έγκειται στο ότι το IEC 61851 προήλθε από το SAE J1772 και έχει παρόμοιες απαιτήσεις, προσαρμοσμένες στις ευρωπαϊκές και ασιατικές γραμμές τάσεως εναλλασσόμενου ρεύματος. Συνεπώς, οι περισσότερες διαφορές στην ορολογία είναι επιφανειακές, αφού μοιράζονται το ίδιο πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων και φορτιστών, αλλά έχουν διαφορετική διεπαφή ρευματοδότη και ρευματολήπτη. Το πρότυπο GB λειτουργεί με διαφορετικό πρωτόκολλο επικοινωνίας και δεν είναι συμβατό με τα πρότυπα SAE ή IEC. Όταν το πρότυπο SAE περιγράφει "Μεθόδους" και "Επίπεδα", το πρότυπο IEC περιγράφει "Τρόπους, Modes" που είναι σχεδόν το ίδιο. Για παράδειγμα, το Επίπεδο 1 του SAE J1772 αντιστοιχεί στον Τρόπο 1 (Mode 1) του IEC61851 και αφορά την οικιακή φόρτιση από μονοφασική παροχή τάσεως 250 V (μέγιστο) ή τριφασική παροχή τάσεως 480V, με μέγιστο ρεύμα 16 A (λίγο υψηλότερο ρεύμα από το όριο της Βόρειας Αμερικής), ενώ υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις για τη γείωση. Ο Τρόπος 2 χρησιμοποιεί την ίδια τάση, όπως ο Τρόπος 1 (Mode 1), αλλά διπλασιάζεται το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα στα 32 A (το ίδιο όπως και η Μέθοδος 2 στη Βόρεια Αμερική). Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο Τρόπος 2 προσθέτει την απαίτηση για μια «πιλοτική λειτουργία ελέγχου". Επίσης, απαιτεί την ενσωμάτωση λειτουργίας διακοπής σφάλματος γείωσης (Ground Fault Interrupter, GFI), που οι Ευρωπαίοι αποκαλούν διακόπτης διαφορικού ρεύματος (Residual current devices, RCD). Ο Τρόπος 3 (Mode 3) υποστηρίζει την γρήγορη φόρτιση με ρεύματα άνω των



250 Α. Τέλος, όπως και με το J1772, το IEC61851 μεταβαίνει σε εξωτερική τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος που μπορεί να παρέχει έως και 400 Α.

### 6.4.1 Τρόποι φόρτισης (Modes) συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων

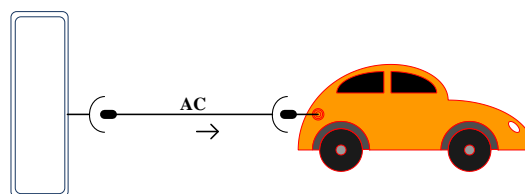


Εικόνα 6.3. Τρόποι (Modes) φόρτισης.

Ο Τρόπος φόρτισης (Mode) αναφέρεται στα επίπεδα ισχύος της φόρτισης, στον φορτιστή και τις επαφές του και στα χαρακτηριστικά ελέγχου και ασφάλειας που εγγυώνται την ασφαλή και αποτελεσματική φόρτιση. Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή IEC έχει αναγνωρίσει τέσσερις τρόπους φόρτισης (IEC 61851-1), που ποικίλουν ως προς την πολυπλοκότητα του συστήματος και την ταχύτητα με την οποία φορτίζει το όχημα.

#### 6.4.1.1 Mode 1

Στο Mode 1 η διασύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος και του δικτύου γίνεται άμεσα, μέσω ανεξάρτητης ηλεκτρικής γραμμής με καλή γείωση με κλασικό ρευματολήπτη εναλλασσόμενου ρεύματος (μονοφασικό ή τριφασικό) και περιλαμβάνει καλώδιο χωρίς κάποια ειδικά χαρακτηριστικά ασφάλειας ή επικοινωνίας με τον ενσωματωμένο φορτιστή του ηλεκτροκίνητου οχήματος. Αυτή η λειτουργία εξ ορισμού απαιτεί την χρήση ενός εύκαμπτου καλωδίου με επαφές που να ταιριάζουν τόσο από την πλευρά του οχήματος, όσο και από την πλευρά του τοίχου (π.χ. υποδοχή σπιτιού ή εξοπλισμός φόρτισης). Τέλος, στο Mode 1 απαιτούνται κατάλληλες προδιαγραφές ασφάλειας και προστασίας και ενδείκνυται για οικιακή χρήση.

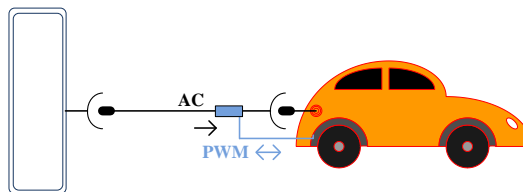


Εικόνα 6.4. Mode 1 φόρτισης.

#### 6.4.1.2 Mode 2

Στο Mode 2 η διασύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος και του δικτύου γίνεται άμεσα από ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση μέσω κλασικού ρευματολήπτη εναλλασσόμενου ρεύματος (μονοφασικού ή τριφασικού). Διαθέτει ένα

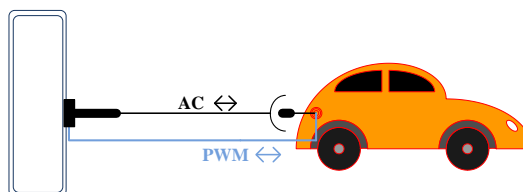
ειδικό εύκαμπτο καλώδιο με ενσωματωμένη συσκευή ελέγχου (in-cable control box) που ελέγχει τα επίπεδα ισχύος και ως εκ τούτου προστατεύει τον χρήστη και το όχημα. Ενδείκνυται και για οικιακή χρήση.



Εικόνα 6.5. Mode 2 φόρτισης.

### 6.4.1.3 Mode 3

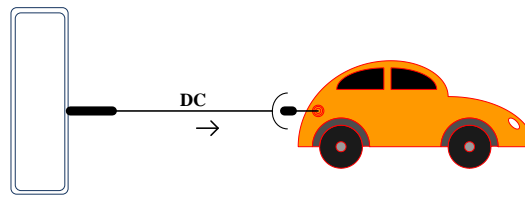
Το Mode 3 κάνει χρήση ειδικού εξοπλισμού καθώς και εύκαμπτου καλωδίου που είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο σύστημα φόρτισης, αλλά και κατάλληλους, ειδικών προδιαγραφών, μονοφασικούς ή τριφασικούς ακροδέκτες σύνδεσης με το όχημα. Ο τρόπος αυτός εγγυάται την ασφαλή χρήση και καθιστά δυνατή την επικοινωνία μεταξύ του εξοπλισμού φόρτισης του ηλεκτρικού οχήματος και του ενσωματωμένου φορτιστή του οχήματος, προκειμένου να εκτελεστούν διεργασίες όπως η επαλήθευση σύνδεσης ηλεκτρικού οχήματος, ο συνεχής έλεγχος ακεραιότητας της γείωσης του ηλεκτρικού οχήματος, η επιλογή του ρυθμού φόρτισης και η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση της τροφοδοσίας. Η διασύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος και του δικτύου γίνεται έμμεσα, σε ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή, με καλή γείωση, με το καλώδιο παροχής να καταλήγει στον σταθμό φόρτισης κατάλληλων προδιαγραφών ασφάλειας, προστασίας και ελέγχου λειτουργίας. Αυτός ο τρόπος ενδείκνυται για οικιακή και επαγγελματική χρήση.



Εικόνα 6.6. Mode 3 φόρτισης.

### 6.4.1.4 Mode 4

Το τελευταίο Mode συνεπάγεται την χρήση ενός μετατροπέα AC/DC και ενός φορτιστή ενσωματωμένου στην συσκευή φόρτισης (αντί του ενσωματωμένου πάνω στο όχημα μετατροπέα). Έτσι, η συνεχής τάση μεταφέρεται στο αυτοκίνητο. Το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο σύστημα φόρτισης και καταλήγει σε ειδικών προδιαγραφών ακροδέκτες σύνδεσης. Η λειτουργία αυτή συνήθως χρησιμοποιείται για γρήγορη φόρτιση με επίπεδα ισχύος που ξεκινούν από τα 50 kW. Πιο συγκεκριμένα η διασύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος και του δικτύου γίνεται έμμεσα σε ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση, με το καλώδιο παροχής να καταλήγει στον σταθμό φόρτισης κατάλληλων προδιαγραφών ασφάλειας, προστασίας και ελέγχου λειτουργίας. Αυτός ο τρόπος ενδείκνυται για επαγγελματική χρήση κυρίως σε σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.



**Εικόνα 6.7. Mode 4 φόρτισης.**

## 6.5 Χρόνος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Ο χρόνος της διάρκειας φόρτισης των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τα Mode 1, 2, 3 και 4 σε σχέση και ανάλογα με την απαιτούμενη ισχύ του συστήματος φόρτισης, καθώς και με το ρεύμα ηλεκτροδότησης, έχει τους ακόλουθους τρεις χαρακτηρισμούς.

- Στην κανονική ισχύ ή αργή φόρτιση, με ονομαστική ισχύ κατώτερη των 3,7 kW και για μονοφασική ηλεκτροδότηση εναλλασσόμενου ρεύματος, η διάρκεια φόρτισης είναι 6-8 h. Αυτού του είδους η φόρτιση χρησιμοποιείται για οικιακή εφαρμογή ή κατά την στάθμευση μεγάλης διάρκειας του ηλεκτρικού οχήματος. Συμβολίζεται με λευκό κεραυνό ο οποίος βρίσκεται εντός κυλινδρικού δίσκου κίτρινου χρώματος, ενώ η περίμετρος του δίσκου έχει χρώμα μαύρο.



**Εικόνα 6.8. Συμβολισμός αργής φόρτισης.**

- Στην μεσαία ισχύ ή γρήγορη φόρτιση, με ονομαστική ισχύ από 3,7 kW μέχρι 22 kW και για τριφασική ηλεκτροδότηση εναλλασσόμενου ρεύματος, η διάρκεια φόρτισης είναι 3-4 h. Η φόρτιση αυτή χρησιμοποιείται για τα ιδιωτικά και δημόσια ηλεκτρικά οχήματα. Συμβολίζεται με λευκό κεραυνό ο οποίος βρίσκεται εντός κυλινδρικού δίσκου μπλε χρώματος, ενώ η περίμετρος του δίσκου έχει χρώμα μαύρο.



**Εικόνα 6.9. Συμβολισμός γρήγορης φόρτισης.**

- Στην υψηλή ισχύ ή ταχεία φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος με ονομαστική ισχύ από 23 kW μέχρι 50 kW και για τριφασική ηλεκτροδότηση, όπου η διάρκεια φόρτισης είναι 30-60 min. Χρησιμοποιείται για τα δημόσια ηλεκτρικά οχήματα. Συμβολίζεται με λευκό κεραυνό ο οποίος βρίσκεται εντός

κυλινδρικού δίσκου πράσινου χρώματος, ενώ η περίμετρος του δίσκου έχει χρώμα μαύρο.



**Εικόνα 6.10. Συμβολισμός ταχείας φόρτισης AC.**

- Στην υψηλή ισχύ ή ταχεία φόρτιση συνεχούς ρεύματος ισχύος 50 kW με DC ηλεκτροδότηση, όπου η διάρκεια φόρτισης είναι 20-40 min. Χρησιμοποιείται για δημόσια ηλεκτροκίνητα οχήματα. Συμβολίζεται με λευκό κεραυνό ο οποίος βρίσκεται εντός κυλινδρικού δίσκου μωβ χρώματος, ενώ η περίμετρος του δίσκου έχει χρώμα μαύρο.



**Εικόνα 6.11. Συμβολισμός γρήγορης φόρτισης DC.**

Από τα παραπάνω διαφαίνεται ότι τα οχήματα στα οποία η φόρτιση των συσσωρευτών τους πραγματοποιείται με εναλλασσόμενο ρεύμα, δηλαδή, ανήκει στην κατηγορία Mode 1 ή Mode 2 ή Mode 3, διαθέτουν τον δικό τους εξοπλισμό φόρτισης (ενσωματωμένο μετατροπέα). Αντίθετα, στην περίπτωση που η φόρτιση των συσσωρευτών του ηλεκτρικού οχήματος πραγματοποιείται με συνεχές ρεύμα, δηλαδή, ανήκει την κατηγορία Mode 4, ο εξοπλισμός φόρτισης βρίσκεται στον εξοπλισμό του σταθμού φόρτισης.

## 6.6 Υπολογισμός χρόνου φόρτισης

Σε ένα ηλεκτρικό όχημα, γνωρίζοντας την χωρητικότητα του συσσωρευτή του καθώς και την ισχύ φόρτισης του σταθμού φόρτισης που χρησιμοποιείται για αυτό, ο χρόνος φόρτισης υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$t = \frac{Capacity}{Power} \quad (6.1)$$

t = χρόνος (h)

Capacity = χωρητικότητα συσσωρευτή (kWh)

Power = Ισχύς φόρτισης (kW)

## 6.7 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Τα χαρακτηριστικά ηλεκτροδότηση ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης φαίνονται στον Πίνακα 6.1.

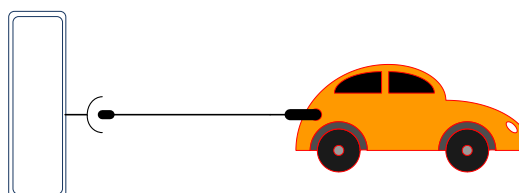
**Πίνακας 6.2. Χαρακτηριστικά ηλεκτροδότησης ανάλογα με τους τρόπους σύνδεσης.**

Τρόπος φόρτισης (Modes)	Αριθμός φάσεων ηλεκτροδότησης	Ισχύς φόρτισης (kW)	Μέγιστο ρεύμα (A)	Μέγιστη τάση (V)	Διατομή αγωγών γραμμής (mm <sup>2</sup> )
Mode 1	1	3,7	16	230	2,5
	3	7,4	32	400	6
Mode 2	1	3.7	16	230	2,5
	3	7.4	32	400	6
Mode 3	1	7,4	32	230	6
	3	11	16	400	2,5
	3	22	32	400	6

## 6.8 Περίπτωσης σύνδεσης ηλεκτρικών οχημάτων

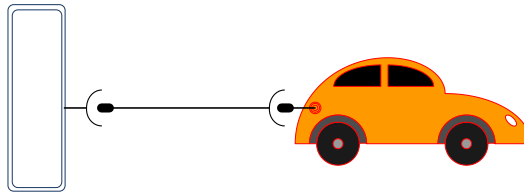
Ένα ηλεκτρικό όχημα μπορεί να συνθέσει με τρεις διαφορετικούς τρόπους προκειμένου να φορτιστεί. Οι τρόποι αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

- **Περίπτωση Α.** Στην πρώτη περίπτωση η σύνδεση μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και του δικτύου παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος επιτυγχάνεται με την χρήση καλωδίου μόνιμα συνδεδεμένο στο ηλεκτρικό όχημα που καταλήγει σε ρευματοδότη για την σύνδεση με το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτός ο τρόπος δεν χρησιμοποιείται σήμερα.



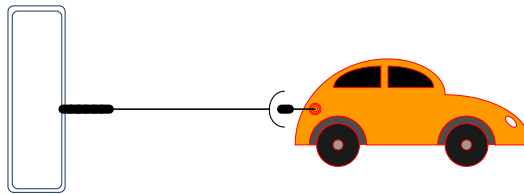
**Εικόνα 6.12. Σύνδεση ηλεκτρικού οχήματος - Περίπτωση Α.**

- **Περίπτωση Β.** Στην δεύτερη περίπτωση η σύνδεση μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και του δικτύου παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος επιτυγχάνεται με την χρήση αποσπώμενου καλωδίου παροχής με βύσμα ειδικής διαμόρφωσης ρευματολήπτη για την σύνδεση στο όχημα και βύσμα ρευματολήπτη για την σύνδεση με το δίκτυο παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος.



Εικόνα 6.13. Σύνδεση ηλεκτρικού οχήματος - Περίπτωση Β.

- **Περίπτωση C.** Στην τρίτη περίπτωση η σύνδεση μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και του δικτύου (μέσω σταθμού φόρτισης) επιτυγχάνεται με την χρήση καλωδίου μόνιμα συνδεδεμένο με το δίκτυο παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος (σταθμός φόρτισης) που καταλήγει σε βύσμα ειδικής διαμόρφωσης για την σύνδεση με το όχημα.



Εικόνα 6.14. Σύνδεση ηλεκτρικού οχήματος - Περίπτωση C.

## 6.9 Τύποι βυσμάτων φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των βυσμάτων φόρτισης, κατά Mode 1, Mode 2 και Mode 3, καθορίζονται στο πρότυπο IEC 62196 – 2 «Plugs Socket – outlets, Vehicle Couplers and Vehicle Inlets – Conductive Charging of Electric Vehicles». Το μέρος 1 του πρότυπου δίνει γενικές πληροφορίες, ενσωματώνοντας τις γενικές απαιτήσεις για το βιομηχανικό βύσμα από το πρότυπο IEC 60309 με τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού οχήματος από το πρότυπο IEC 61851-1. Οι φυσικές διαστάσεις για τον εξοπλισμό εναλλασσόμενου ρεύματος αντιμετωπίζονται στο IEC 61851-2, που δημοσιεύτηκε το 2011. Παρουσιάζει την τυποποίηση για διαφόρους τύπους υποδοχών, εισόδους οχημάτων, βύσματα και ρευματολήπτες.

Ο τύπος του βύσματος αναφέρεται στην φυσική σχεδίαση των βυσμάτων με τα οποία συνδέεται το όχημα. Το μεταγενέστερο πρότυπο IEC 62196-2 κατηγοριοποιεί τους τύπους βυσμάτων που χρησιμοποιούνται κατά την διαδικασία της φόρτισης. Τον Ιούνιο του 2010, το ETSI (European Telecommunication Standards Institute) και η CEN-CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique) έλαβαν εντολή από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή να αναπτύξουν ένα ευρωπαϊκό πρότυπο για τα σημεία φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Το πρότυπο IEC 62196-2 δημοσιεύθηκε στις 17 Δεκεμβρίου του 2010 και ψηφίστηκε στις 20 Μαΐου του 2011. Το πρότυπο δημοσιεύτηκε από την IEC στις 13 Οκτωβρίου του 2011.

### 6.9.1 Τύπος 1 (SAE J1772), Yazaki

Ο τύπος βύσματος SAE J1772 είναι ο κανονικός τύπος βύσματος για ηλεκτρικά οχήματα στις Ηνωμένες Πολιτείες, που αναπτύχθηκε από την Society of Automotive Engineers. Ένας φορτιστής με βύσμα J1772 SAE μπορεί να συνδεθεί άμεσα με τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα που κατασκευάστηκαν μετά το 2000. Αν και δεν απαιτούνται ομοσπονδιακές προδιαγραφές για τις υποδοχές J1772, οι περισσότεροι κατασκευαστές ηλεκτρικών οχημάτων έχουν υιοθετήσει αυτήν την υποδοχή. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για AC φόρτιση Επίπεδου 1 (120V, AC) ή AC φόρτιση Επίπεδου 2 (240V, AC). Έχει διάφορους τύπους προτύπων προστασίας που περιλαμβάνονται ώστε να επιτρέψουν την ασφαλή φόρτιση ακόμα και σε υγρές συνθήκες. Ενώ το αρχικό πρότυπο SAE J1772-2009 αναφέρεται σε ένα εύρος από 120V, 12A ή 16A μέχρι 240V, 32A ή 80A, οι προδιαγραφές του πρότυπου IEC 62196 Τύπου 1 καλύπτει μόνο την τάση των 250V με εύρος ρεύματος 32A ή 80 A.



Εικόνα 6.15. Βύσμα Τύπος 1 (SAE J1772),Yazaki.

### 6.9.2 Τύπος 2 (VDE-AR-E-2623-2-2), Mennekes

Το βύσμα IEC 62196 Τύπου 2 (γνωστό και ως Mennekes) χρησιμοποιείται για την φόρτιση των οχημάτων στην Ευρώπη. Το βύσμα έχει κυκλικό σχήμα με πεπλατυσμένο το πάνω άκρο και αρχικά είχε δημιουργηθεί για την φόρτιση των οχημάτων από 3 kW μέχρι 70 kW. Η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από μονοφασική ή τριφασική παροχή (εναλλασσόμενου ρεύματος) ή παροχή συνεχούς ρεύματος. Τα αυτοκίνητα είναι εξοπλισμένα με τυποποιημένη αρσενική είσοδο, ενώ ο σταθμός φόρτισης είναι εξοπλισμένος με θηλυκή έξοδο, είτε απευθείας στο εξωτερικό του σταθμού φόρτισης ή μέσω ενός εύκαμπτου καλωδίου μόνιμα συνδεδεμένου πάνω στο σταθμό. Στους σταθμούς με μόνιμα συνδεδεμένο το καλώδιο, αυτό τοποθετείται απευθείας στην είσοδο του οχήματος, ενώ όταν δεν είναι ενσωματωμένο, χρησιμοποιείται ένα ξεχωριστό αρσενικό σε θηλυκό καλώδιο για την σύνδεση του οχήματος με τον σταθμό φόρτισης είτε ένα παραδοσιακό βιομηχανικό βύσμα κατά IEC 60309-2.

Ο Τύπος 2 σχεδιαστικέ από το Mennekes το 2009 όπου έμεινε και η ονομασία του βύσματος. Το σύστημα, αργότερα, δοκιμάστηκε και τυποποιήθηκε στην Γερμανία κατά VDE ως VDE-AR-E-2623-2-2, και αργότερα, το 2011, υιοθετήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση Κατασκευαστών Αυτοκινήτου "European Automotive Manufactures Association" (ACEA). Από το 2015, ο Τύπος 2



αντικαθιστά τις προηγούμενες υποδοχές που χρησιμοποιούνται για την φόρτιση εναλλασσόμενου ρεύματος που χρησιμοποιούνταν στην Ευρώπη, εκτοπίζοντας τόσο το SAE J1772 όσο και άλλα βύσματα (Τύπου 3).



Εικόνα 6.16. Βύσμα Τύπος 2 (VDE-AR-E-2623-2-2), Mennekes και χαρακτηριστικά ακροδεκτών.

### 6.9.3 Τύπος 3 (EV Plug Alliance βύσμα), Scame

Ο Τύπος 3 είναι ένα είδος τριφασικού βύσματος, όπως απεικονίζεται στην παρακάτω Εικόνα 6.17 και βασίζεται σε έναν σχέδιο από την Ιταλική εταιρεία Scame όπου περαιτέρω εγκρίθηκε από την "EV Plug Alliance". Η επιλογή του βύσματος τύπου 2 (Mennekes) από μια μεγάλη ομάδα κατασκευαστών ηλεκτρικών οχημάτων, φαίνεται πως δημιούργησε ένα Ευρωπαϊκό πρότυπο. Όμως, μια ομάδα από Γάλλους και Ιταλούς κατασκευαστές ηλεκτρικού εξοπλισμού οργανώθηκαν στην EV Plug



Alliance και απέρριψαν τον σχεδιασμό Menneke, προτείνοντας ένα δικό τους βύσμα. Αυτό το εναλλακτικό βύσμα σχεδιάστηκε από τον Ιταλό κατασκευαστή Scame.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, ο σχεδιαστής του βύσματος Τύπου 1, Yazaki, εντάχθηκε στην EV Plug Alliance. Ο κύριος λόγος απόρριψης του βύσματος Τύπου 2 ήταν η ηλεκτροτεχνική ασφάλεια του, αφού δεν υπήρχε κλείστρο ασφαλείας στην εξωτερική υποδοχή. Αυτά τα κλείστρα ασφαλείας θα είναι σε θέση να αποτρέψουν τα παιδιά να εισάγουν τα δάκτυλά τους στην υποδοχή.



**Εικόνα 6.17. Βύσμα Τύπος 3 (EV Plug Alliance), Scame.**

Ο Τύπος 2 δεν είχε αυτήν την ασφάλεια και έτσι ένα άλλο βύσμα και υποδοχή χρειαζόταν, σύμφωνα με την άποψη της εν λόγω εταιρίας. Η εναλλακτική λύση με κλείστρα ασφαλείας αναπτύχθηκε από την Γαλλική εταιρία Schneider. Η EV Plug Alliance είχε δύο τύπους πριζών με κλείστρα ασφαλείας. Τον Τύπο 3A που προήλθε από τους συνδέσμους φόρτισης της Scame προσθέτοντας ακροδέκτες IEC 62196 οι οποίοι ήταν κατάλληλοι για μονοφασική φόρτιση ελαφρών οχημάτων (μοτοποδήλατα, μοτοσυκλέτες) και τον Τύπο 3C όπου προστέθηκαν δύο επιπλέον ακροδέκτες για την τριφασική φόρτιση και χρήση στους σταθμούς γρήγορης φόρτισης. Λόγω της προέλευσης του, το βύσμα μερικές φορές αναφέρεται και ως βύσμα Scame Τύπου 3.

Η επιλογή βύσματος Τύπου 2 ή Τύπου 3 για τους Ευρωπαϊκούς σταθμούς φόρτισης είναι σημείο συζήτησης. Μια μεγάλη διαφορά ανάμεσα στα βύσματα Τύπου 2 και Τύπου 3 είναι η παρουσία κλειστρών ασφαλείας στον Τύπου 3 που απαιτείται σε μερικές χώρες από τους διεθνείς κανονισμούς καλωδίωσης στους ρευματολήπτες και στα οικιακά περιβάλλοντα. Ωστόσο, τα κλείστρα ασφαλείας είναι πλέον διαθέσιμα και στο βύσμα Τύπου 2. Η προτεινόμενη Ευρωπαϊκή οδηγία σχετικά με την ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων προκρίνει την χρήση του βύσματος Τύπου 2 ως πρότυπη λύση για την Ευρώπη. Τα σημεία φόρτισης έπρεπε να συμμορφωθούν με

αυτό το είδος του προτύπου μέχρι το τέλος του 2015. Ο Τύπος 3, εξαπλώνεται μόνο στην Γαλλία και την Ιταλία και είναι πιθανό, σταδιακά, να καταργηθεί.

#### 6.9.4 Τύπος 4 (JEVW G105-1993), CHAdeMO

Το CHAdeMO είναι η συντομογραφία "CHArge de MOve" ή ισοδύναμα "move using charge" ή "move by charge". Αυτά τα βύσματα χρησιμοποιούνται για τους σταθμούς γρήγορης φόρτισης που αναπτύχθηκαν από την CHAdeMO Association, η οποία περιλαμβάνει αρκετές ιαπωνικές αυτοκινητοβιομηχανίες, όπως η Nissan, Mitsubishi, Fuji και Toyota. Ως φορτιστές Επίπεδου 3 (ΗΠΑ) καλούνται όσοι είναι ικανοί να μεταφέρουν έως και 62,5 kWh συνεχούς ρεύματος φορτίζοντας τα οχήματα πολύ πιο γρήγορα από ότι οι φορτιστές Επίπεδου 1 ή Επίπεδου 2. Αυτή τη στιγμή η CHAdeMO έχει εγκαταστήσει πάνω από 550 σταθμούς γρήγορης φόρτισης στις Ηνωμένες Πολιτείες, ενώ αρκετοί έχουν εγκατασταθεί στην Ιαπωνία και την Ευρώπη από την TEPCO. Πολλά οχήματα, όπως το Nissan Leaf και το Mitsubishi MiEV είναι συμβατά με σταθμούς γρήγορης φόρτισης CHAdeMO, αλλά υπάρχουν και προσαρμογείς για μοντέλα που δεν είναι άμεσα συμβατά με αυτό το βύσμα.



Εικόνα 6.18. Βύσμα Τύπος 4 (JEVW G105-1993), CHAdeMO.

Πίνακας 6.3. Συγκεντρωτικός πίνακας βυσμάτων; CP=control, CS=link, PP=proximity

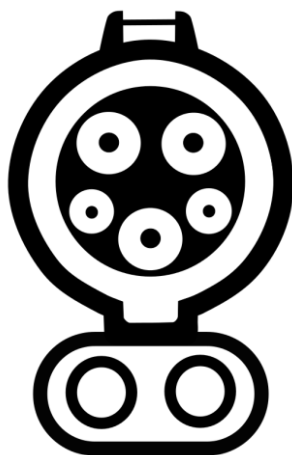
Τύπος Βύσματος	Αριθμός Ακροδεκτών	Μέγιστη τάση	Μέγιστο ρεύμα	Κανονισμοί	Ειδικά χαρακτηριστικά
Τύπος 1	5 (L1, L2/N, PE,CP,CS)	250V AC, μονοφασικό	32A μονοφασικό(πάνω από 7,2 kW)	IEC 62196-2	SAE j1772(κανονισμός)
Τύπος 2	7 (L1,L2,L3,N,PE, CP,PP)	250V AC, μονοφασικό ή 500V AC, τριφασικό	70A μονοφασικό ή 63A τριφασικό(πάνω από 43 kW)	IEC 62196-2	Ένας τύπος για μονοφασική και τριφασική φόρτιση

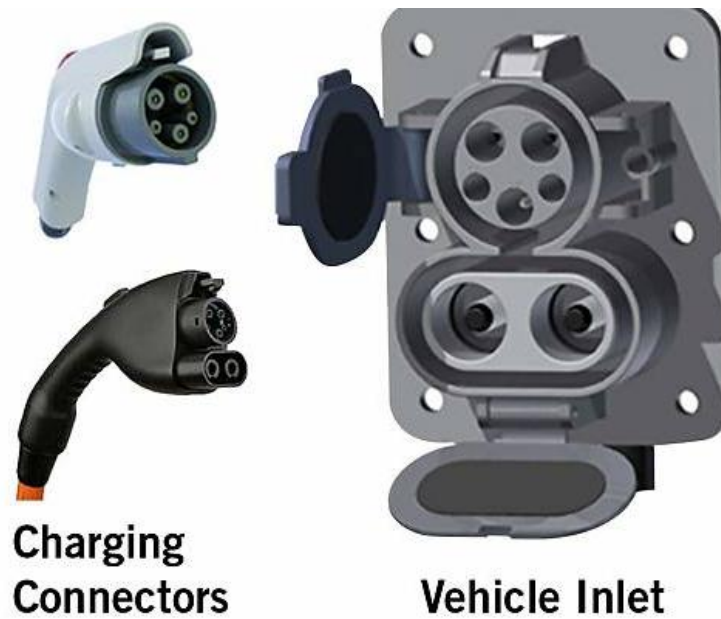
Πίνακας 6.3. Συνέχεια.

Τύπος Βύσματος	Αριθμός Ακροδεκτών	Μέγιστη τάση	Μέγιστο ρεύμα	Κανονισμοί	Ειδικά χαρακτηριστικά
Τύπος 3	4,5,7 Ανάλογα με το πρότυπο (L1,L2,L3,N,PE, CP,PP)	250V AC, μονοφασικό ή 500V AC, τριφασικό	16/32A μονοφασικό ή 32A τριφασικό(πάνω από 22 kW)	IEC 62196-2	Διαφορετικοί Τύποι ανάλογα με το επίπεδο ισχύος
Τύπος 4	9 (2 ενέργειας, 7 σήματος)	500V DC	120A DC	IEC 62196-2, UL2551	Ταχεία DC φόρτιση σε συμμόρφωση με το JEVS G105, Τύπου CHAdeMO

### 6.9.5 SAE Combo (Combo 1)

Η Society of Automotive Engineers αναπτύσσει αυτή τη στιγμή μια έκδοση βύσματος με βάση το πρότυπο βύσμα J1772-2009 το οποίο έχει επιπλέον ακροδέκτες για να καταστεί δυνατή η γρήγορη φόρτιση με συνεχές ρεύμα για τάση από 200 έως 450V, ρεύμα 200A και ισχύ μέχρι 90 kW. Ο φορτιστής αυτός, που ονομάζεται SAE Combo, είναι ένας άλλος ανταγωνιστής στο δίκτυο υπερφορτιστών CHAdeMO, ωστόσο σήμερα υπάρχουν μόνο λίγοι σταθμοί υπερφόρτισης τέτοιου είδους. Αρκετά από τα προσεχή μοντέλα που παράγονται από τις εταιρίες Porsche, Mercedes, Audi, Chrysler, Volkswagen και άλλες θα έχουν μια υποδοχή SAE Combo και θα να είναι σε θέση να φορτιστούν από σταθμούς ταχείας φόρτισης SAE Combo. Μέσω αυτού του βύσματος μπορούν να γίνουν και τα τρία επίπεδα φόρτισης (Επίπεδο 1 ή Επίπεδο 2 ή DC φόρτιση)(Η.Π.Α).





Εικόνα 6.19. Βύσμα Τύπου SAE Combo (Combo 1).

### 6.9.6 Βύσμα Tesla

Το βύσμα της Tesla είναι ένα τυπικό βύσμα των οχημάτων Tesla. Η Tesla πωλεί προσαρμογής που θα χρησιμοποιηθούν στους περισσότερους σταθμούς φόρτισης και έχει επίσης εγκαταστήσει δικό της δίκτυο με υπερφορτιστές σε όλες τις Η.Π.Α. και την Ευρώπη που είναι συμβατό με τα 60 και 85 kWh μοντέλα της. Επίσης, οι υπερφορτιστές της Tesla είναι ο κύριος ανταγωνιστής των υπερφορτιστών CHAdeMO.



Εικόνα 6.20. Βύσμα Τύπου Tesla για Ευρωπαϊκή φόρτιση.



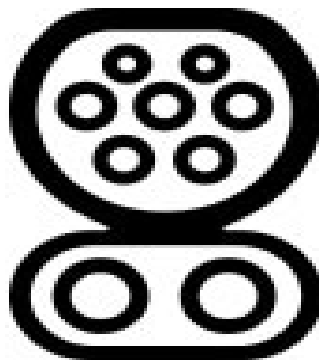
**Εικόνα 6.21. Βύσμα Τύπου Tesla για τους υπερφορτιστές της ίδιας εταιρίας.**



**Εικόνα 6. 22. Όχημα της Tesla φορτίζει σε υπερσύγχρονους σταθμούς φόρτισης της ίδιας εταιρίας.**

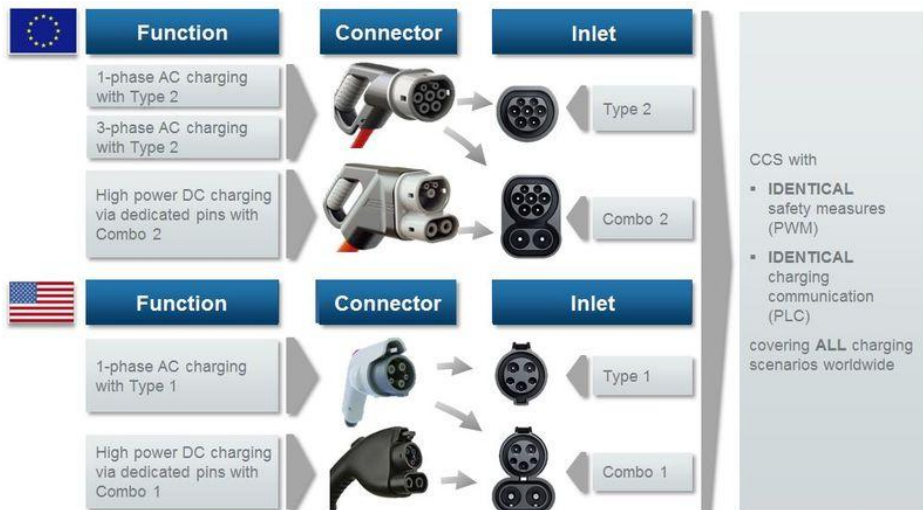
### **6.9.7 Συνδυασμός βυσμάτων "Combination Plugs" (Combined Charging System ή CCS ή Combo 2 )**

Το βύσμα CCS είναι βελτιωμένη έκδοση του βύσματος Τύπου 2, με δύο επιπλέον επαφές ισχύος, έχοντας σαν σκοπό την ταχεία φόρτιση, υποστηρίζει επίπεδα ισχύος φόρτισης από εναλλασσόμενο και συνεχές ρεύμα άνω των 170 kW. Στην πράξη, η τιμή αυτή είναι περίπου 50 kW. Σκοπός του βύσματος αυτού είναι να γίνει πρότυπο στα αυτοκίνητα, εκτοπίζοντας το βύσμα Τύπου 4 (CHAdeMO).



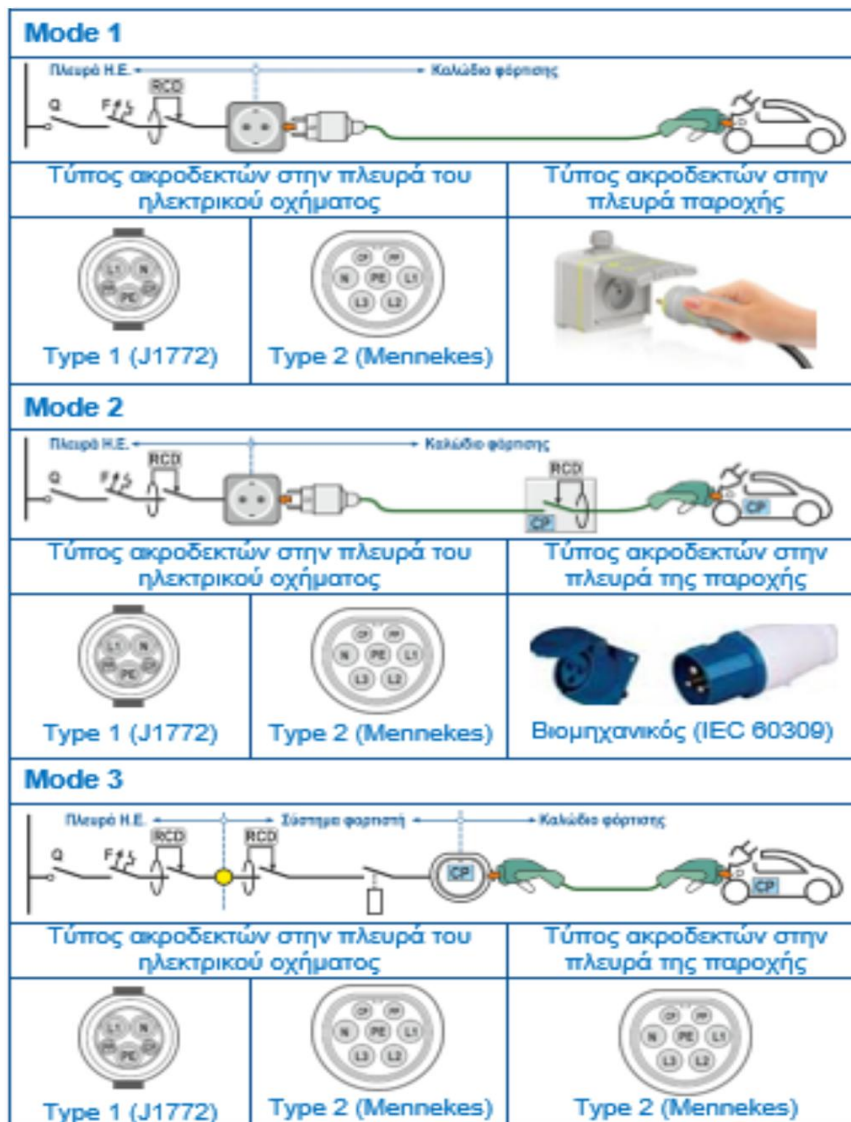
**Εικόνα 6.23. Βύσμα Τύπου CCS ή Combo 2.**





Εικόνα 6.24. Συγκεντρωτική φωτογραφία βυσμάτων για Ευρώπη και Αμερική.

### 6.10 Τύπος βυσμάτων ανάλογα με τον Τρόπο λειτουργίας



Εικόνα 6.25. Συγκεντρωτικός σχηματικός πίνακας Τύπων βυσμάτων ανάλογα με τους Τρόπους (Modes) λειτουργίας.

Για φόρτιση με Mode 1 και 2, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κανονικοί ρευματοδότες και ρευματολήπτες. Ο οικιακός εξοπλισμός, ωστόσο, δεν είναι πραγματικά κατάλληλος για την βαριά λειτουργία φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλο χρόνο λειτουργίας κοντά στο ονομαστικό ρεύμα και για συχνή λειτουργία, συμπεριλαμβανομένης της αποσύνδεσης υπό ονομαστικό φορτίο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο εξοπλισμός να έχει μικρή διάρκεια ζωής και πρόβλημα στις επαφές, το οποίο μπορεί να οδηγήσει επικίνδυνες καταστάσεις. Ως εκ τούτου, συνιστάται ο περιορισμός του ονομαστικού ρεύματος σε χαμηλότερη τιμή, έως και 10A, και η χρήση τους περιορίζεται σε μικρά οχήματα όπως τα σκούτερ (για τα οποία αυτό το επίπεδο ρεύματος είναι επαρκές), καθώς και για περιστασιακή φόρτιση μεγαλύτερων οχημάτων ("grandma" λύση), (Mennekes). Μια εναλλακτική μέθοδος για το Mode 1 και Mode 2 είναι η χρήση βιομηχανικού ρευματοδότη και ρευματολήπτη όπως ορίζεται από το Διεθνές πρότυπο IEC30309-2. Αυτοί είναι μπλε χρώματος για τάση 230V και κόκκινου για τάση 400V και χρησιμοποιούνται ευρέως στην Ευρώπη, για βιομηχανικό εξοπλισμό αλλά και για εξωτερικές χρήσεις όπως το κάμπινγκ, μαρίνες κλπ.



**Εικόνα 6.26. Βιομηχανικού τύπου ρευματοδότες και ρευματολήπτες όπως ορίζεται από το Διεθνές πρότυπο IEC 30309-2.**

Στις περισσότερες των περιπτώσεων τα καλώδια για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων κατά Mode 2 και Mode 3, διαθέτουν επιπρόσθετους αγωγούς (CP,PP). Οι αγωγοί αυτοί που θεωρούνται ως ζεύγος έχουν διατομή της τάξης του  $0,50 \text{ mm}^2$ . Μέσω αυτών επιτρέπεται η μετάδοση δεδομένων και κατά συνέπεια η επικοινωνία μεταξύ του υπό φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος και του σταθμού ανεφοδιασμού του. Έτσι, η διαδικασία της φόρτισης αρχίζει εάν και εφόσον διαπιστωθεί από το σύστημα πως υπάρχει σωστή σύνδεση του οχήματος, υφίσταται η γείωση του οχήματος και υπάρχει ένδειξη για την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ από τον φορτιστή.

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης χρησιμοποιείται η φόρτιση των συσσωρευτών των ηλεκτρικών οχημάτων κυρίως σε χώρους οικιών, αλλά και σε χώρους κτιρίων με εναλλασσόμενο ρεύμα, δηλαδή, ανήκει στην κατηγορία Mode 2 ή Mode 3, ανάλογα με το εύρος της ισχύος της εγκατάστασης ηλεκτροδότησής που κυμαίνεται από 3,7 kW μέχρι και 22 kW. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρόσφατα

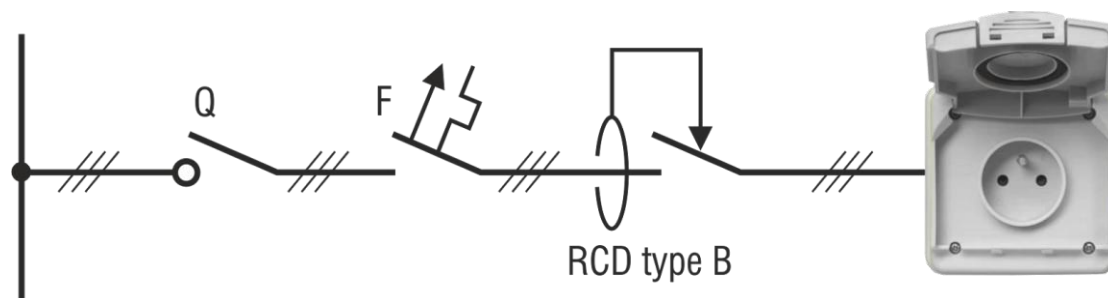
αποφάσισε ότι το πρότυπο του συστήματος ζεύξης μεταξύ δικτύου ηλεκτροδότησης και ηλεκτρικού οχήματος, IEC 62196-2 Τύπου 2, θα είναι το κοινό πρότυπο για τους φορτιστές στις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημάνουμε πως για την σύνδεση Mode 3 υπάρχει και ο τύπος ακροδεκτών με υποδοχές που χαρακτηρίζονται ως Τύπου 3. Η υποδοχή Τύπου 3 εγγυάται βέλτιστα επίπεδα ασφάλειας γιατί δεν διαθέτει εμφανή προεξέχοντα μέρη. Έτσι περιορίζονται οι κίνδυνοι που μπορεί να προέρχονται από αποτυχία του συστήματος, όπως καταστροφή καλωδίου, λάθη χειρισμού από τον χρήστη, όπως άγγιγμα της υποδοχής, και λανθασμένη χρήση όπως σύνδεση βύσματος σε λάθος υποδοχή.

## 6.11 Ηλεκτρική εγκατάσταση

### 6.11.1 Στοιχεία υλοποίησης της ηλεκτρικής εγκατάστασης για φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων κατά Mode 1 και Mode 2

Πρόκειται ουσιαστικά για μια ηλεκτρική γραμμή με ανώτερο μήκος τα 40 μέτρα και με διατομή καλωδίων  $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$  (Πίνακας 6.1.). Είναι κατά κύριο λόγο μονοφασική και έχει ισχύ 3,7 kW. Η γραμμή αυτή εκκινεί από τον κύριο ηλεκτρικό πίνακα διανομής της ηλεκτρικής εγκατάστασης και καταλήγει σε έναν αντίστοιχο προς την παροχή ρευματοδότη με βασικές προδιαγραφές IP 66 – IK 08, ο οποίος εγκαθίσταται σε ύψος από 1 μέχρι 1,2 μέτρα από το δάπεδο (Εικόνα 6.25.για Mode 1 και Mode 2).

Η ηλεκτρική αυτή γραμμή πρέπει να εφοδιάζεται με όλες αυτές τις παραμέτρους για την αποφυγή φαινομένων άσκοπων διακοπών, λόγω μεταβατικών φαινομένων και αρμονικών ρευμάτων. Σε αυτήν την κατεύθυνση και για την πληρότητα της προστασίας της ηλεκτρικής γραμμής ενδείκνυται η χρήση αντικεραυνικών τύπου T2 π.χ. 20 kA / 230 V. Επιπροσθέτως, πρέπει να περιλαμβάνει ένα διακόπτη απομόνωσης και διακοπής διπολικό 2 x 25 A, μια ασφάλεια προστασίας 16 ή 20 A καμπύλης C και μια διάταξη διαφορικού ρεύματος στα 30 mA / 20 A τύπου B ή τουλάχιστον τύπου A.



Εικόνα 6.27. Ηλεκτρολογική εγκατάσταση ρευματοδότη για την φόρτιση κατά Mode 1 και Mode 2.

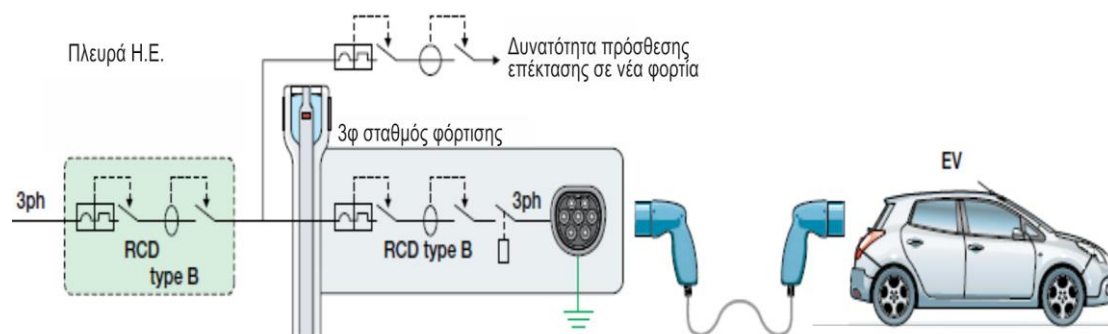
### 6.11.2 Στοιχεία υλοποίησης της ηλεκτρικής εγκατάστασης για φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων κατά Mode 3

Για την επιλογή του κατάλληλου σταθμού φόρτισης απαιτείται να ληφθούν υπ' όψιν και να μελετηθούν στοιχεία, όπως η ισχύς φόρτισής τους (τυποποιημένες τιμές 3,7, 7,4, 11 και 22 kW), ο τύπος των ακροδεκτών φόρτισης (Type 1 ή Type 2 ή και Type 2), ο Τρόπος σύνδεσης του εύκαμπτου καλωδίου φόρτισης με τον αντίστοιχο σταθμό, η δυνατότητα του περιορισμού της πρόσβασης στο κοινό, η



δυνατότητα καταγραφής και τιμολόγησης της ισχύος που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση και η δυνατότητα ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στη λειτουργία του σταθμού φόρτισης, καθώς και η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των ηλεκτρονικών ειδών του αυτοκινήτου και του σταθμού φόρτισης, γεγονός που επιτρέπει και την ενσωμάτωσή του σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ευφυών δικτύων οικιών, αλλά και πόλεων, η οποία επιτυγχάνεται μέσω δύο αγωγών διατομής  $0,50 \text{ mm}^2$ . Για την υλοποίηση της ηλεκτρικής γραμμής με μήκος κατ' ανώτερο όριο τα 40 μέτρα και σε συνάρτηση με το υπολογισμένο ρεύμα της γραμμής σε 16 ή 32A, αλλά και το είδος αυτής, ως μονοφασικής ή τριφασικής σε σύνδεση αστέρα ή τριγώνου, απαιτείται διατομή καλωδίων  $2,5 \text{ mm}^2$  ή  $6 \text{ mm}^2$  (Πίνακας 6.1. για Mode 3). Ακόμη υπάρχουν και οι 2 αγωγοί διατομής  $0,50 \text{ mm}^2$  για την επικοινωνία μεταξύ των ηλεκτρονικών ειδών του αυτοκινήτου και του σταθμού φόρτισης που επιτρέπουν και την ενσωμάτωσή του σε ευφυή δίκτυα. Η ηλεκτρική γραμμή αυτή εκκινεί από τον κύριο ηλεκτρικό πίνακα διανομής της ηλεκτρικής εγκατάστασης και καταλήγει σε έναν σταθμό φόρτισης τοποθέτησης, ο οποίος εγκαθίσταται σε ύψος από 1 μέτρο μέχρι τα 1,20 μέτρα από το δάπεδο και μπορεί να βρίσκεται παραδείγματος χάριν σε τοίχο. Είναι, δε, βασικών προδιαγραφών IP 54 – IK 10, (Εικόνα 6.25 Mode 3).

Η ηλεκτρική αυτή γραμμή πρέπει να εφοδιάζεται με όλες αυτές τις παραμέτρους για την αποφυγή φαινομένων άσκοπων διακοπών, λόγω μεταβατικών φαινομένων και αρμονικών ρευμάτων. Σε αυτήν την κατεύθυνση και για την πληρότητα της προστασίας της ηλεκτρικής γραμμής ενδείκνυται η χρήση αντικεραυνικών τύπου T2 π.χ. 20 kA / 230 V για μονοφασικό δίκτυο και 40 kA / 400V για τριφασικό δίκτυο. Επιπροσθέτως πρέπει να περιλαμβάνει ένα δίκτυο διακόπτη απομόνωσης και διακοπής, ανάλογο της τιμής του ρεύματος, μια ασφάλεια προστασίας 16 ή 20 A καμπύλης C ανάλογη της τιμής του ρεύματος και μια διάταξη διαφορικού ρεύματος στα 30 mA / 20 A, αν το δίκτυο είναι μονοφασικό, 30 mA / 40 A, αν είναι τριφασικό, τύπου B ή τουλάχιστον τύπου A.



**Εικόνα 6.28. Ηλεκτρολογική εγκατάσταση ρευματοδότη για την φόρτιση κατά Mode 3.**



# 7 Όχημα στο δίκτυο,

## Δίκτυο στο Όχημα, Όχημα στην Οικία



### 7.1 Περίληψη

Η μείωση των εκπομπών του φαινομένου του θερμοκηπίου, η αύξηση της τιμής του πετρελαίου και η εξάρτηση από αυτό είναι σημαντικά κίνητρα για την περαιτέρω ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Τα ηλεκτρικά οχήματα προκαλούν λίγους έως και καθόλου ρύπους, έχουν υψηλή επίδοση και χαμηλό θόρυβο, έτσι γίνονται όλο και πιο δημοφιλή. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά οχήματα εκτός του ότι παραλαμβάνουν ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο για την φόρτιση των μπαταριών (Grid to vehicle, G2V) με ημιτονοειδές ρεύμα και ενιαίο συντελεστή ισχύος, μπορούν να λειτουργήσουν σαν καταναμημένες πηγές και η ενέργεια να σταλεί πίσω στο δίκτυο, το οποίο ονομάζεται "όχημα στο δίκτυο" (Vehicle to grid, V2G) συμβάλλοντας στην σταθερότητα του συστήματος ενέργειας. Τέλος υπάρχει και η λειτουργία για την τροφοδότηση της κατοικίας δηλαδή "όχημα στην οικία" (Vehicle to Home, V2H), όπου χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση των οικιακών φορτίων σε περίπτωση διακοπής ηλεκτρικής ενέργειας ή για την τροφοδότηση φορτίων σε μέρη όπου δεν υπάρχει σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτή η λειτουργία μπορεί να εξομαλύνει την καμπύλη φορτίου, να βελτιώσει την αξιοπιστία του συστήματος ενέργειας, να προσφέρει έσοδα στον ιδιοκτήτη του οχήματος και να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση εφεδρείας.

### 7.2 Εισαγωγή

Τα ηλεκτρικά οχήματα, είναι η πιο σύγχρονη ιδέα στον τομέα της μεταφοράς σε ολόκληρο τον κόσμο. Κατά συνέπεια, οι τεχνολογίες που βρίσκονται στα οχήματα αυτά έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλές επιστημονικές δημοσιεύσεις σχετικά με το θέμα αυτό. Αναμένεται ότι το μερίδιο αγοράς θα αυξηθεί εκθετικά περιλαμβάνοντας το 24% του στόλου των ελαφρών οχημάτων των Η.Π.Α το 2030, αντιπροσωπεύοντας το 64% των πωλήσεων των ελαφρών οχημάτων εκείνη την χρονιά. Στο πλαίσιο αυτό, η διαδικασία φόρτισης των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων (Grid to Vehicle, G2V) πρέπει να ρυθμιστεί ώστε να διατηρεί την ποιότητα ισχύος στα δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Με τον πολλαπλασιασμό των ηλεκτρικών οχημάτων, ένα υπολογίσιμο ποσό ενέργειας θα αποθηκεύεται στις μπαταρίες τους, αυξάνοντας έτσι την δυνατότητα ροής ενέργειας προς την αντίθετη κατεύθυνση (Vehicle to grid, V2G). Στο μέλλον, τα ευφυή δίκτυα μέσω της διαδραστικότητας με τα ηλεκτρικά οχήματα, μπορούν να αποτελέσουν μια από τις βασικές τεχνολογίες, συμβάλλοντας στην αυτόνομη λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα, έχουν γίνει αρκετά προγράμματα που σχετίζονται με την ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων σε όλο τον κόσμο. Όσον αφορά αυτήν την νέα λειτουργία, ειδικά στα σπίτια που είναι εξοπλισμένα με σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, εκτός από τις λειτουργίες G2V και V2G, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα αποτελέσουν πηγές τάσης ικανές να

τροφοδοτήσουν τα φορτία της οικίας. Η τεχνολογία αυτή ονομάζεται Vehicle to Home, V2H.

### **7.3 Τα τρία είδη των ηλεκτρικών οχημάτων στην λειτουργία V2G, G2V, V2H (Vehicle 2 Grid, Grid 2 Vehicle, Vehicle 2 Home)**

Σε κοινή χρήση, το ηλεκτρικό όχημα αναφέρεται σαν ένα όχημα στο οποίο το σύστημα πρόωσης μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη χημικά σε μια μπαταρία ή άλλη πηγή ενέργειας σε μηχανική, για την κίνηση του οχήματος. Τα τρία είδη οχημάτων στην υπάρχουσα αγορά είναι τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία, τα υβριδικά και τα οχήματα με κυψέλες υδρογόνου. Αυτά τα οχήματα μπορούν να παράγουν καθαρή ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος σε επίπεδα ισχύος από 10 kW έως 200 kW. Όταν γίνονται οι κατάλληλες συνδέσεις για να επιτραπεί η ροή της ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό αυτοκίνητο πίσω στο δίκτυο, η λειτουργία ονομάζεται "όχημα στο δίκτυο" (Vehicle to grid, V2G).

#### **7.3.1 Ηλεκτρικό όχημα με μπαταρίες**

Οι μπαταρίες στα ηλεκτρικά οχήματα αποθηκεύουν ενέργεια ηλεκτροχημικά π.χ με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος που είναι σήμερα η φθηνότερη λύση, αλλά και με τις μπαταρίες Νικελίου- Μετάλλου Υδριδίου (NiMH), ιόντων-λιθίου και λιθίου-μετάλλου πολυμερίου (Lithium-Metal-Polymer), που έχουν γίνει πιο ανταγωνιστικές λόγω του μεγάλου κύκλου ζωής, αλλά και του μικρότερου μεγέθους και βάρους. Τα ηλεκτρικά οχήματα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με καλώδια για να φορτίσουν από το δίκτυο, ως εκ τούτου το επιπρόσθετο κόστος και οι λειτουργικές προσαρμογές για την προσθήκη της λειτουργίας V2G είναι ελάχιστες.

#### **7.3.2 Υβριδικά οχήματα**

Τα υβριδικά οχήματα έχουν περισσότερες από μιας πηγές ενέργειας. Τα σύγχρονα υβριδικά οχήματα χρησιμοποιούν μια μηχανή εσωτερικής καύσης της οποίας ο άξονας κινεί μια γεννήτρια όπου σε συνδυασμό με την αναγεννητική πέδηση παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Η μπαταρία και η γεννήτρια τροφοδοτούν έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες που κινούν τους τροχούς, ενδεχομένως σε συνδυασμό με την άμεση ισχύ του άξονα της μηχανής εσωτερικής καύσης. Πιο συγκεκριμένα, ένα υβριδικό όχημα που συνδέεται στο δίκτυο (plug-in hybrid) έχει την δυνατότητα να φορτίσει από το δίκτυο για να κινηθεί με αυτήν την ενέργεια, αλλά διαθέτει και μεγάλης χωρητικότητας μπαταρίες για να προσφέρει ενέργεια πίσω σε αυτό. Αυτή η λειτουργία μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η άμεση εκμετάλλευση της αποθηκευμένης ενέργειας από τις μπαταρίες χωρίς την χρήση του κινητήρα εσωτερικής καύσης, είτε με την χρήση κινητήρα-γεννήτριας (χρησιμοποιώντας καύσιμο ενώ είναι παρκαρισμένο, για την λειτουργία V2G).

Παρά τις απώλειες που δημιουργούνται από την μετατροπή της ενέργειας από την μια μορφή στην άλλη, το υβριδικό όχημα είναι πιο αποδοτικό από ένα συμβατικό με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ωστόσο, επειδή διαθέτουν δύο ή περισσότερες πηγές ενέργειας μπορεί να αυξηθεί η πολυπλοκότητα, να αυξηθεί το κόστος και το βάρος, να δημιουργηθούν προβλήματα στην ασφάλεια και την συντήρηση, να αυξηθούν οι εκπομπές αλλά και να δυσκολέψουν την κατασκευή του οχήματος.

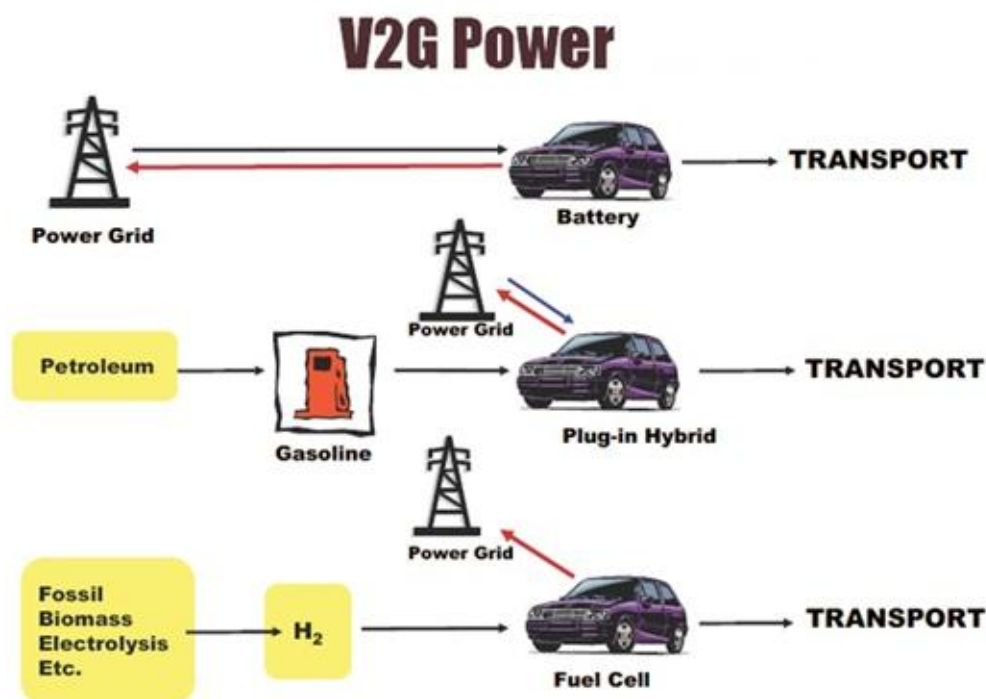
### 7.3.2.1 Πλεονεκτήματα εφαρμογής της λειτουργίας V2G στα Plug-in Hybrid Electric Vehicle

Τα βασικά πλεονεκτήματα της λειτουργίας V2G στα Plug-in Hybrid Electric Vehicle είναι τα ακόλουθα:

- Εξοικονόμηση ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής.
- Βοηθητικές και ρυθμιστικές λειτουργίες.
- Ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Spinning reserve (στρεφόμενη εφεδρεία).
- Εφεδρική ενέργεια κατά την διάρκεια διακοπής του ρεύματος.

### 7.3.3 Ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου

Σε αυτά τα οχήματα υπάρχει μία ηλεκτροχημική διάταξη, όπου γίνεται αντίδραση μεταξύ του καυσίμου (υδρογόνο) και ενός οξειδωτικού μέσου (οξυγόνο ή αέρας), μετατρέποντας έτσι την χημική ενέργεια του καυσίμου απευθείας σε χημική. Οι κυψέλες καυσίμου δεν είναι μπαταρίες και δεν αποθηκεύουν ενέργεια, παρόλα αυτά οι κυψέλες καυσίμου αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια που χωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη. Καθώς το καύσιμο τροφοδοτείται στο ένα ηλεκτρόδιο των κυψελών καυσίμου και στο άλλο υπάρχει οξυγόνο ή αέρας, παράγεται τάση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Επειδή η τάση των κυψελών καυσίμου είναι μικρότερη του 1V, συστοιχίες από κυψέλες καυσίμου συνδέονται μεταξύ τους για να παρέχουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 7.1. Σχηματική αναπαράσταση ροής ενέργειας για τους διάφορους τύπους οχημάτων.

## 7.4 Εφαρμογή λειτουργίας V2G

Για την εφαρμογή της λειτουργίας V2G, τέσσερα στοιχεία είναι απαραίτητα:

1. Να υπάρχει σύνδεση μεταξύ οχήματος και δικτύου, ώστε να υπάρχει ροή από το όχημα στο δίκτυο.
2. Να υπάρχει έλεγχος ή λογική σύνδεση, όπου θα απαιτείται από τον φορέα διαχείρισης του δικτύου η εξακρίβωση της χωρητικότητας, βοηθητικές υπηρεσίες ή ενέργεια από το όχημα και μέτρηση των αποτελεσμάτων.
3. Ακριβής πιστοποιημένος μετρητής επί του οχήματος
4. Ύπαρξη συστήματος ανίχνευσης της ποσότητας καυσίμου, ώστε τα καύσιμα να μην εξαντληθούν όταν έχουμε οχήματα που κινούνται με καύσιμο (υβριδικά και με κυψέλες καυσίμου).

## 7.5 Παράδειγμα εφαρμογής τεχνολογιών

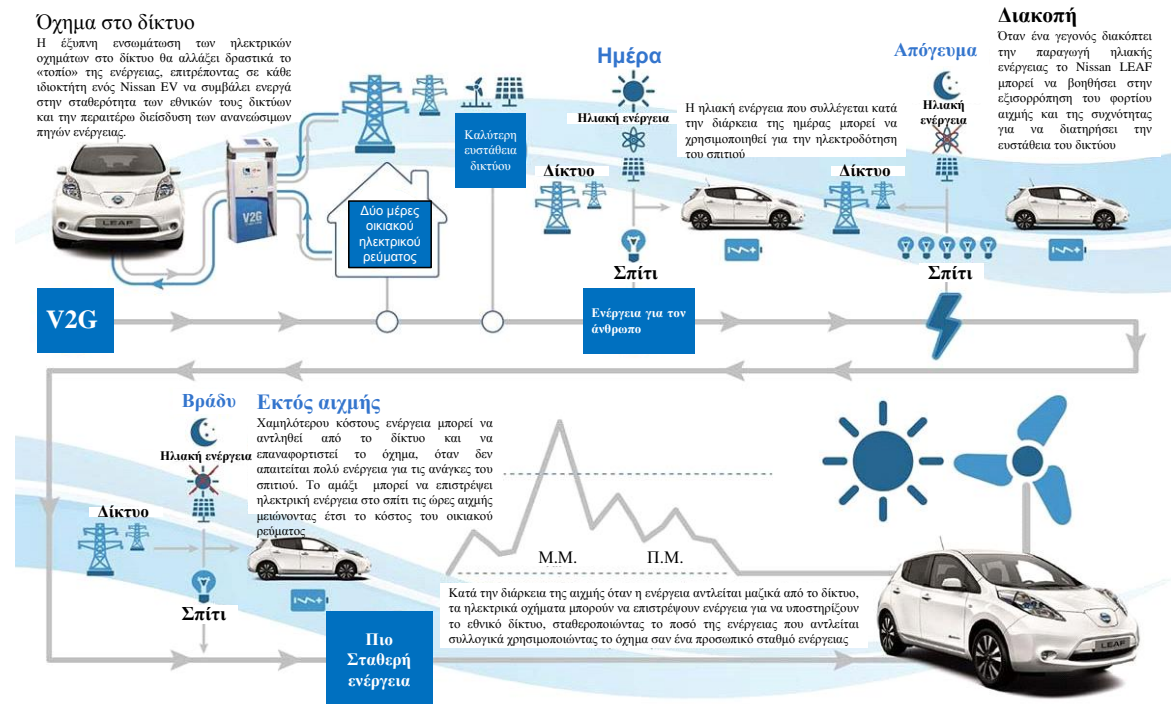
Η αυτοκινητοβιομηχανία Nissan με το όχημα Nissan Leaf και η Ευρωπαϊκή εταιρεία ηλεκτρικής ενέργειας Enel, υπέγραψαν μια συμφωνία που θα φέρει επανάσταση στον τρόπο που καταναλωτές και επιχειρήσεις θα διαχειρίζονται την χρήση της ενέργειας τους. Οι δύο εταιρείες συνεργάστηκαν για να αναπτύξουν ένα πρωτοποριακό σύστημα Vehicle-to-Grid (V2G) επιτρέποντας στους οδηγούς, καθώς και στους χρήστες ενέργειας να λειτουργούν σαν ανεξάρτητοι "ενεργειακοί κόμβοι" με τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν, αποθηκεύουν και να επιστρέφουν την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. Οι δοκιμές βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη για να δοκιμαστεί η βιωσιμότητα των Ολοκληρωμένων Οχημάτων Δικτύου (Grid Intergrated Vehicles), για πρώτη φορά, αποδεικνύοντας ότι τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να συμβάλουν ενεργά στην ανάπτυξη της αγοράς ενέργειας.

Η συμφωνία με τον Όμιλο Enel θα φέρει τα πρώτα Ολοκληρωμένα Οχήματα Δικτύου σε χώρες που η κανονιστική αρχή θα επιτρέπει μια επαρκή παραγωγή με αξιώσεις. Η Δανία θα φιλοξενήσει την πρώτη σειρά δοκιμών με τη Γερμανία, την Ολλανδία και άλλες περιοχές της Βόρειας Ευρώπης να ακολουθούν. Αυτή η προσπάθεια είναι μέρος της δεσμευτικής συμφωνίας μεταξύ της Enel και της Nissan για υποστήριξη του συνολικού συστήματος που σχετίζεται με τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, "βλέποντας" πολύ πιο μακριά από το ίδιο το αυτοκίνητο και προσφέροντας νέες υπηρεσίες στην βιομηχανία ενέργειας.

Η τεχνολογία V2G επιτρέπει στα ηλεκτρικά οχήματα να ενσωματωθούν πλήρως στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Με την βελτίωση της ικανότητας του δικτύου να διαχειρίζεται την ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η τεχνολογία V2G θα καταστήσει τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ακόμα πιο προσιτές και οικονομικές. Οι V2G υποδομές φόρτισης και τα ηλεκτρικά οχήματα με δυνατότητα τεχνολογίας V2G παρέχουν από κοινού στους ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων και στις επιχειρήσεις με μεγάλο στόλο ηλεκτρικών οχημάτων, την ευκαιρία να δημιουργήσουν κινητούς κόμβους ενέργειας ενσωματώνοντας έτσι τα οχήματά τους στο δίκτυο. Το σύστημα λειτουργεί επιτρέποντας τους ιδιοκτήτες Nissan LEAF να φορτίζουν το όχημα τους σε περιόδους με χαμηλό κόστος, με την δυνατότητα, στη συνέχεια, να χρησιμοποιήσουν την αποθηκευμένη στην μπαταρία του οχήματος ηλεκτρική ενέργεια στο σπίτι, όταν το κόστος είναι υψηλότερο, ή ακόμα και να την επιστρέψουν στο δίκτυο επιτυγχάνοντας πρόσθετες επιστροφές.

Στη Γαλλία, για παράδειγμα, όπου υπάρχουν 38 εκατομμύρια οχήματα και όπου η υπάρχουσα ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι 130 GW, ένα μέλλον όπου όλα τα οχήματα στο δρόμο θα είναι τύπου EV/PHEV (ηλεκτρικά οχήματα/υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα που συνδέονται στο δίκτυο), θα μπορούσε να δημιουργήσει μια εικονική μονάδα παραγωγής ενέργειας έως 380 GW (3 φορές δηλαδή την ικανότητα παραγωγής ενέργειας της Γαλλίας).

Η συμφωνία που υπεγράφη από τη Nissan και Enel συμπεριέλαβε επίσης κοινή συνεργασία και για άλλες καινοτόμες λύσεις, όπως υπηρεσίες διαχείρισης ενέργειας που χρησιμοποιούν μεταχειρισμένες και νέες μπαταρίες και σταθμούς φόρτισης για τους συνεταιρισμούς ταξί.



Εικόνα 7.2. Τεχνολογία V2G από την Nissan και την Enel.

## 7.6 Οφέλη της λειτουργίας V2G

### 7.6.1 Οικονομικά κίνητρα για τους συμμετέχοντες

Όταν τα οχήματα των συμμετεχόντων δεν βρίσκονται σε χρήση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αποθήκες ενέργειας και να παρέχουν αυτήν την αποθηκευμένη ενέργεια σε περιόδους αιχμής. Σαν αντάλλαγμα, οι εταιρίες παροχής ενέργειας θα πληρώνουν τους συμμετέχοντες για αυτήν την υπηρεσία, ανάλογα με την ποσότητα του ρεύματος που τους παρείχαν. Προβλέπεται ότι μπορούν να εξασφαλίσουν \$300 ανά μήνα (το κόστος επαναφόρτισης λαμβάνεται υπόψη).

### 7.6.2 Μείωση επενδύσεων για τις επιχειρήσεις

Η επένδυση στην τεχνολογία V2G, θα επέφερε σημαντική μείωση στο κόστος των επενδύσεων των επιχειρήσεων. Η μείωση αυτή εστιάζεται κυρίως σε δύο κόστη:

- **Κόστος κατασκευής εργοστασίων παραγωγής ενέργειας**, όπου για να ανταποκριθούν οι εταιρίες στις απαιτήσεις των ωρών αιχμής, χρησιμοποιούν

εργοστάσια. Η λειτουργία V2G θα μπορούσε να μειώσει την ανάγκη για αυτά τα εργοστάσια, εξοικονομώντας ένα σημαντικό χρηματικό ποσό. Ένα συμβατικό εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας με άνθρακα μπορεί να παράγει 600MW της ενέργειας με αντίτιμο \$ 2 δις (δολαρίων Η.Π.Α.). Εάν η V2G λειτουργία αντιπροσώπευε την αποθήκευση ενέργειας για ένα εργοστάσιο, τότε οι εταιρίες θα εξοικονομούσαν δισεκατομμύρια.

- **Κόστος ελέγχου και συντήρησης εργοστασίων παραγωγής ενέργειας**, όπου εκτός από το τεράστιο αρχικό κόστος δημιουργίας των εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτούνται τακτικοί έλεγχοι και συντήρηση. Η μείωση χρήσης των εργοστασίων αυτών σημαίνει επίσης και την μείωση των επαναλαμβανόμενων εξόδων.

### 7.6.3 Κατασκευαστές οχημάτων

Δεδομένου ότι τα δίκτυα και τα οχήματα απαιτούν αμφίδρομη ροή ενέργειας, πρέπει η αντοχή των μπαταριών των οχημάτων να αυξηθεί. Για να καλυφθεί αυτή η αυξημένη ζήτηση (καλύτερη αντοχή μπαταριών) υπάρχουν υψηλότερες πωλήσεις που συνεπάγονται αύξηση των εσόδων των αυτοκινητοβιομηχανιών.

### 7.6.4 Κοινωνία

Η επένδυση στην τεχνολογία V2G, θα επέφερε και σημαντικές κοινωνικές επιπτώσεις:

- **Αύξηση συνολικής παραγωγικότητας:** Με ενσωμάτωση της λειτουργίας V2G η συνολική οικονομική παραγωγικότητα της κοινωνίας αυξάνει. Τα αυτοκίνητα που έτσι και αλλιώς θα παρέμεναν σε αδράνεια όταν είναι σταθμευμένα, τώρα θα λειτουργούν σαν μονάδες αποθήκευσης ενέργειας που θα αποφέρουν έσοδα και επενδύσεις, που σε διαφορετική περίπτωση η ενέργεια θα παραγόταν από τα εργοστάσια.
- **Πεδίο εφαρμογής για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:** Η τεχνολογία V2G μπορεί περαιτέρω να χρησιμοποιηθεί σε ηλιακά οχήματα. Ως αποτέλεσμα, η περίσσεια ενέργειας κατά την διάρκεια του φορτίου αιχμής δεν εξαρτάται από μη-ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (άνθρακας, ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στους σταθμούς παραγωγής ενεργείας). Αυτό μειώνει την επιβάρυνση στο περιβάλλον και προσθέτει οικολογική ισορροπία.

## 7.7 Ζητήματα εφαρμογής

Ενώ η λειτουργία V2G προσφέρει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και πλεονεκτημάτων, υπάρχουν ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Μερικά ζητήματα αναφέρονται παρακάτω.

### 7.7.1 Επεκτασιμότητα

Η λειτουργία V2G απαιτεί την δημιουργία ειδικών γραμμών για την σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος ρύθμισης αυτών των γραμμών είναι πολύ υψηλό και αναμένεται να επέλθουν σημαντικές επιστροφές μόνο εάν ο αριθμός των ηλεκτροκίνητων οχημάτων είναι υψηλός. Δηλαδή, καθώς ο αριθμός των συμμετεχόντων αυξάνεται, το μέσο κόστος των



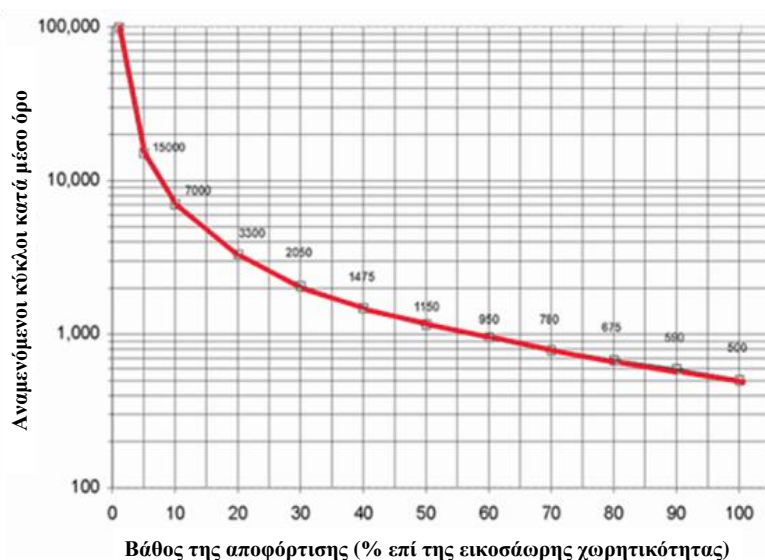
ειδικών γραμμών μειώνεται και η ικανότητα παραγωγής και αποθήκευσης, επίσης, αυξάνονται. Έτσι η λειτουργία V2G μπορεί να εφαρμοστεί για να υπάρξει κέρδος μόνο σε μεγάλη κλίμακα.

### 7.7.2 Αβεβαιότητα φόρτισης

Η λειτουργία V2G χρησιμοποιεί το φορτίο που είναι αποθηκευμένο στο όχημα κατά την διάρκεια της αιχμής. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πλήρη ή μερική εκφόρτιση των μπαταριών του οχήματος, προκαλώντας σύγχυση στον ιδιοκτήτη. Ωστόσο απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός οχημάτων όπου θα φορτίζουν σε σταθμούς φόρτισης, προσθέτοντας επιπλέον ταλαιπωρία στον ιδιοκτήτη. Αυτοί είναι οι κυριότεροι παράγοντες που δεν ωθούν τους ιδιοκτήτες των οχημάτων προς αυτήν την λειτουργία.

### 7.7.3 Μείωση διάρκειας ζωής μπαταρίας

Η μείωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας ενός ηλεκτρικού οχήματος εξαρτάται από τους κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης. Καθώς το βάθος εκφόρτισης (Depth Of Discharge, DOD) αυξάνεται, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας μειώνεται σημαντικά. Το βάθος εκφόρτισης είναι συμπληρωματικό της κατάστασης φόρτισης (State Of Charge, SOC) και εκφράζεται ως ποσοστό της χωρητικότητας στην οποία η μπαταρία αποφορτίζεται. Η μείωση της διάρκειας ζωής, επιπρόσθετα, αυξάνει το κόστος που πρέπει να αναλάβει ο ιδιοκτήτης όταν συμμετέχει στην λειτουργία V2G. Ο αναμενόμενος μέσος κύκλος (ισοδύναμος με την διάρκεια ζωής) σχετίζεται με το βάθος εκφόρτισης (DOD) και φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 7.3. Για ένα όχημα με αρχική κατάσταση 30% DOD, ο αναμενόμενος μέσος όρος κύκλων είναι 2050. Όταν μεταφέρεται η ενέργεια στο δίκτυο και θεωρώντας ότι το DOD γίνεται 50%, οι αναμενόμενοι μέσοι κύκλοι πέφτουν στους 1150. Αύξηση 20% του DOD, για μεγάλο διάστημα, επιφέρει μείωση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας στο μισό της αρχικής τιμής, όπου είναι ένα τεράστιο ζήτημα το οποίο πρέπει να εξεταστεί σοβαρά.

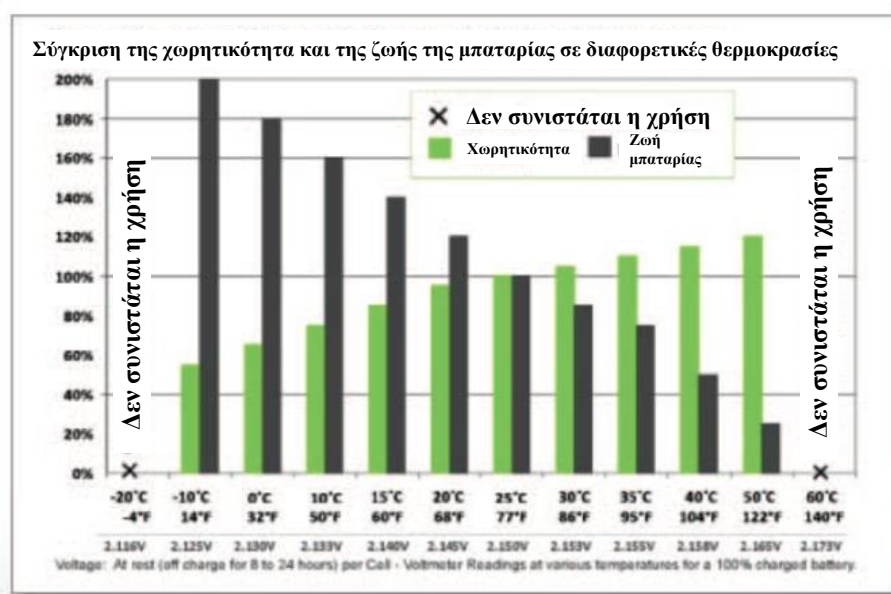


Εικόνα 7.3. Φθορά διάρκειας ζωής μπαταρίας με το βάθος εκφόρτισης.

## 7.7.4 Θερμικά προβλήματα

Η ταχεία φόρτιση και εκφόρτιση οδηγεί σε θέρμανση της μπαταρίας. Η παρατεταμένη έκθεση σε περιβάλλοντα με υψηλή θερμοκρασία μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή των εξαρτημάτων του οχήματος. Αυτό επηρεάζει τον ιδιοκτήτη του οχήματος, σε θέματα που αφορούν την λειτουργία και την επισκευή του οχήματος. Αυτό ωστόσο σημαίνει ότι η αποδοτικότητα της λειτουργίας μειώνεται (η αύξηση της θερμότητας μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή της μπαταρίας καθώς μπορεί να οδηγήσει σε παραμορφωμένους και μη αποτελεσματικούς κύκλους φόρτισης). Η θερμότητα που παράγεται δίνεται από τον τύπο  $I^2Rt$ , όπου  $t$  είναι ο χρόνος φόρτισης/εκφόρτισης,  $I$  είναι το ρεύμα και  $R$  είναι το φορτίο.

Εάν ο βαθμός φόρτισης/εκφόρτισης είναι υψηλός, αυτό σημαίνει υψηλότερο ρεύμα  $I$  και μεγαλύτερη παραγόμενη θερμότητα. Εάν η διαδικασία διαρκεί για παρατεταμένες περιόδους (μεγαλύτερο  $t$ ), θα οδηγήσει επίσης σε υψηλότερη θερμότητα και υψηλές θερμοκρασίες. Η σχέση μεταξύ της διάρκειας ζωής της μπαταρίας και της θερμότητας διαφαίνεται στην Εικόνα 7.4.. Αν υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία λειτουργίας είναι  $30^{\circ}\text{C}$ , μια αύξηση κατά  $10^{\circ}\text{C}$  θα μειώσει την διάρκεια ζωής της μπαταρίας από το 90% στο 60%. Αυτό βέβαια προκαλεί σοβαρό αντίκτυπο στους ιδιοκτήτες του οχήματος.



Εικόνα 7.4. Διάρκεια ζωής της μπαταρίας και χωρητικότητας σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

## 7.7.5 Πρώιμη λειτουργία V2G

Λόγω του ότι η λειτουργία αυτή είναι σε πρώιμα στάδια, επιβάλλονται ενδελεχής έλεγχος που πρέπει να γίνουν πριν από την πλήρη εφαρμογή της λειτουργίας. Επιπλέον, τα ανωτέρω ζητήματα συνεχίζουν υφίστανται και προκαλούν ανησυχίες σχετικά με την χρήση αυτής της λειτουργίας. Οι ανησυχίες αυτές θεωρούνται ως παράγοντας κινδύνου από τους επενδυτές και έτσι είναι απρόθυμοι να συμμετάσχουν.

# 8 Ηλεκτρονικά Ισχύος



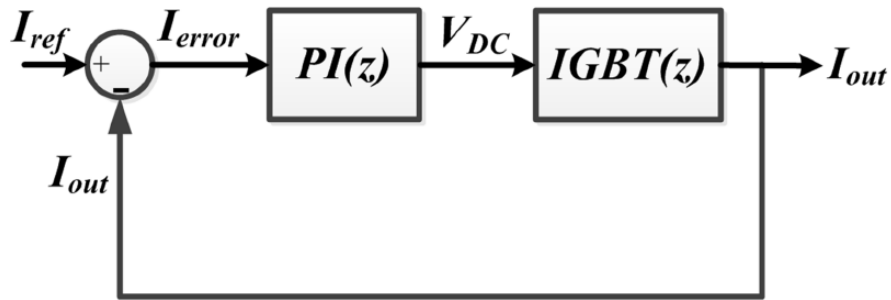
## 8.1 Εισαγωγή

Ο αντιστροφέας είναι ένας μετατροπέας, ο οποίος έχει την ιδιότητα να μετατρέπει μια πηγή συνεχούς ρεύματος ή τάσης σε εναλλασσόμενη μεταβλητής συχνότητας και μεταβλητής RMS (Root mean square)/(τετραγωνική μέση τιμή) τιμής. Οι αντιστροφείς χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών όπως στα συστήματα ελέγχου ηλεκτρικών μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος, στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών, στα συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, στα συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, στα ενεργά φίλτρα για μείωση αρμονικών και την βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος, σε ενεργά συστήματα αντιστάθμισης άεργου και σε συστήματα αδιάκοπης παροχής ισχύος.

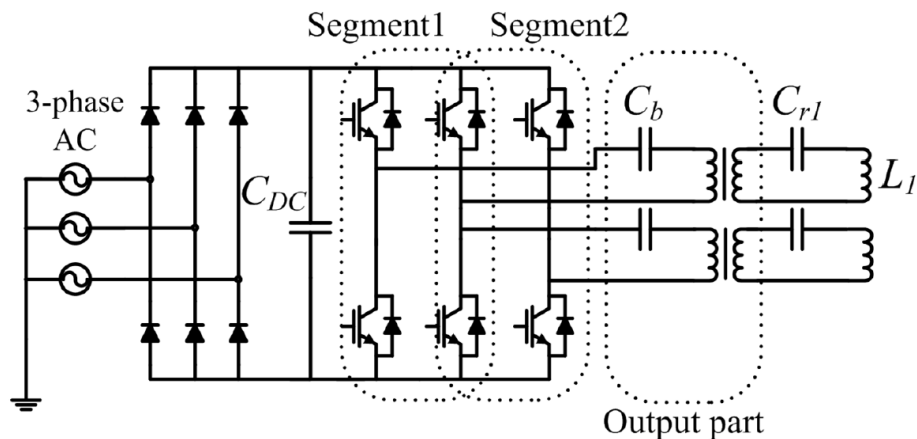
Οι αντιστροφείς ανάλογα με την πηγή με την οποία τροφοδοτούνται χωρίζονται στους αντιστροφείς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς τάσης και στους αντιστροφείς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς ρεύματος. Τέλος χωρίζονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς.

## 8.2 Αντιστροφέας και σχεδιασμός ηλεκτρικού κατατημητή

Το ρεύμα της γραμμής ισχύος αλλάζει ανάλογα με τις διάφορες συνθήκες φορτίου, για παράδειγμα ανάλογα με τον τρόπο οδήγησης ενός οχήματος ή ανάλογα με το επίπεδο της κατάστασης φόρτισης (SOC). Ωστόσο είναι αναγκαία η τροφοδότηση με σταθερό ρεύμα ανεξάρτητα από το αν το επίπεδο ισχύος είναι υψηλό ή όχι, λόγω του ότι απαιτείται ενιαία πυκνότητα μαγνητικής ροής προκειμένου να υποστηρίξει σταθερές επαγωγικές τάσεις στις μονάδες μέτρησης. Ως εκ τούτου, έχει σχεδιαστεί ένας ρυθμιστής ρεύματος εξόδου χρησιμοποιώντας έναν αντιστροφέα με την μέθοδο διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM). Στην Εικόνα 8.1. ο ελεγκτής αποτελείται από έναν βρόχο ελέγχου PI. Η μέθοδος PWM χρησιμοποιείται για σταθερή κατάσταση μεταγωγής μιας πλήρους γέφυρας αντιστροφέα για ένα τμήμα. Η τμηματοποίηση επιτυγχάνεται με την χρήση ηλεκτρικού διακόπτη όπως διαφαίνεται στην Εικόνα 8.2.. Χωρίς την χρήση μηχανικών διακοπών, οι οποίοι έχουν κακή απόδοση και μικρή διάρκεια ζωής, επίσης η μετάβαση από ένα τμήμα σε άλλο γίνεται χρησιμοποιώντας ένα άλλο διπολικό τρανζίστορ εγκάρσιου πεδίου μονωμένης πύλης (IGBT).



Εικόνα 8.1. Ρεύμα εξόδου ελεγκτή για το συγκεκριμένο σύστημα αντιστροφέα.

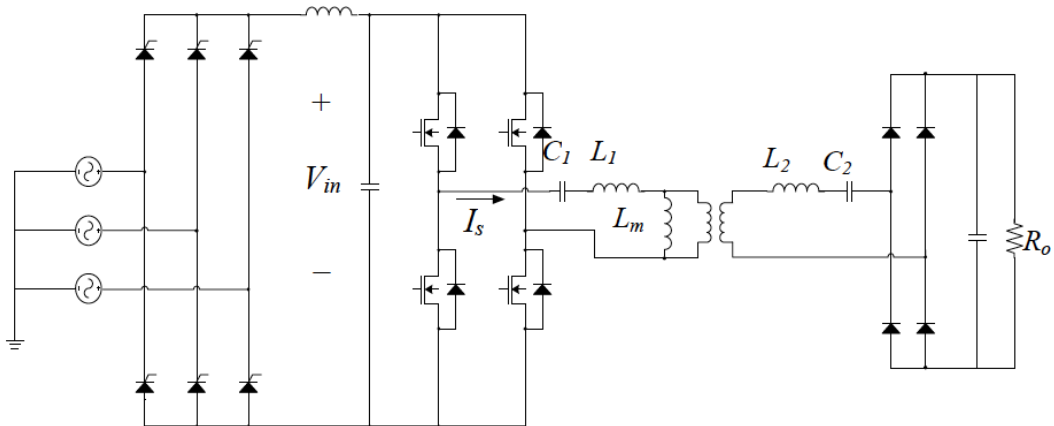


Εικόνα 8.2. Κύκλωμα ισχύος για το συγκεκριμένο σύστημα αντιστροφέα.

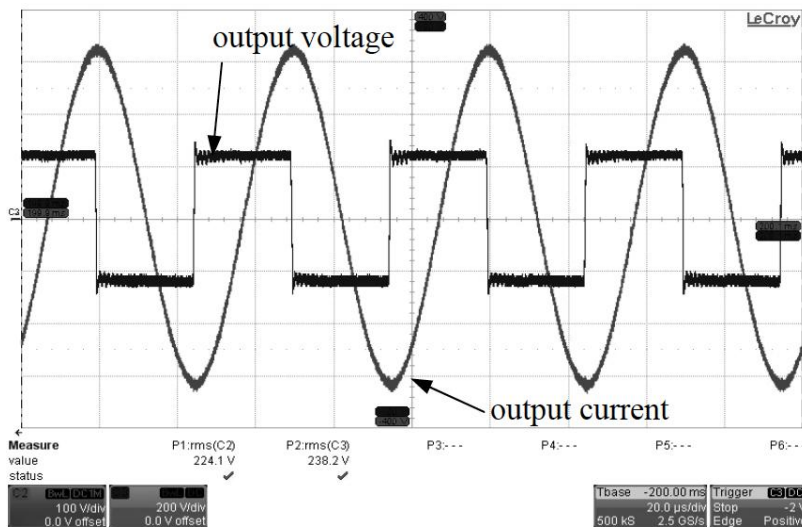
### 8.3 Τροφοδοσία με επαγωγικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Το επαγωγικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας IPTS (Inductive Power Transfer System) για τα απευθείας συνδεδεμένα ηλεκτρικά οχήματα OLEV (On-Line Electric Vehicle) χρησιμοποιεί μια σειρά-σειρά τοπολογία όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.3.. Για να κατασταλεί η τιμή της διαμήκους φαινόμενης ισχύος λόγω της μεγάλης επαγωγής και για την τροφοδότηση με σταθερό διαμήκως εναλλασσόμενο ρεύμα ( $I_s$ ), συνδέεται εν σειρά ένας πυκνωτής ( $C_l$ ). Ο αντιστροφέας είναι πλήρους γέφυρας που λειτουργεί σε υψηλές συχνότητες ( $f_s$ ) με συχνότητα συντονισμού ( $f_c$ ), και εξαρτάται από την αυτεπαγωγή της γραμμής ( $L_l$ ) και την χωρητικότητα ( $C_l$ ). Η παροχή ρεύματος ελέγχεται όπως καθορίζεται από την εξίσωση 8.1 για να παρέχει με μια πηγή ρεύματος στο IPTS του OLEV. Αυτό κάνει το IPTS ισχυρό στις διακυμάνσεις του φορτίου, και το επαγωγικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μεταφέρει ίση ισχύ στις διάφορες αυξήσεις. Η συχνότητα του αντιστροφέα είναι σταθερή και ανεξάρτητη από την μεταβολή της πρωτοβάθμιας συχνότητας συντονισμού. Ως εκ τούτου, εξακολουθεί να υπάρχει μόνο μια συχνότητα συντονισμού στο επαγωγικό σύστημα μεταφοράς ενέργειας. Στην Εικόνα 8.4 φαίνεται η κυματομορφή εξόδου του αντιστροφέα όταν λειτουργεί στην συχνότητα μεταγωγής  $f_s=20\text{kHz}$ . Η ισχύς του διαμήκους ρεύματος στην Εικόνα 8.4 είναι 200A.

$$I_s = \frac{V_{in}}{\Delta X_{L1}} \quad (8.1)$$



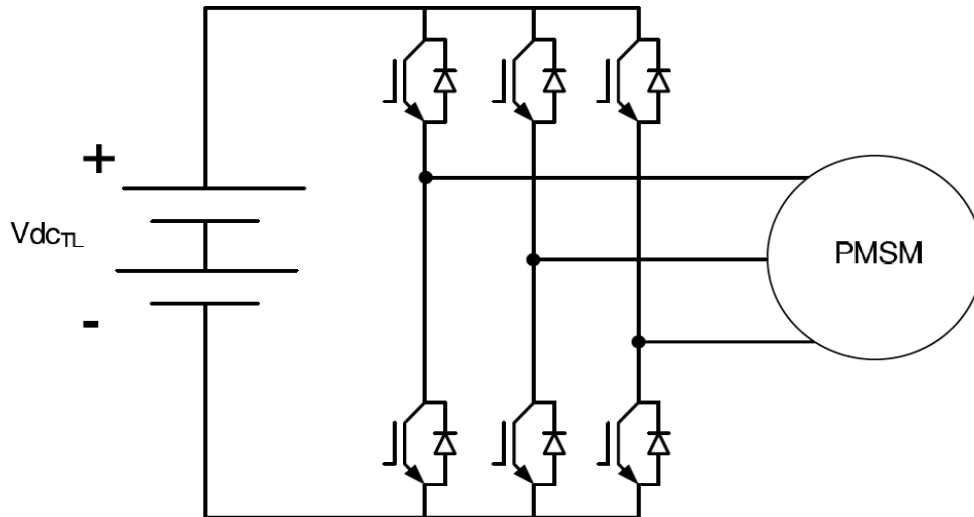
Εικόνα 8.3. Επαγωγικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 8.4. Κυματομορφή εξόδου αντιστροφέα: ρεύμα εξόδου=200A,  $f_s=20\text{kHz}$ .

### 8.4 Αντιστροφέας δύο επιπέδων (Two-level inverter, TLI)

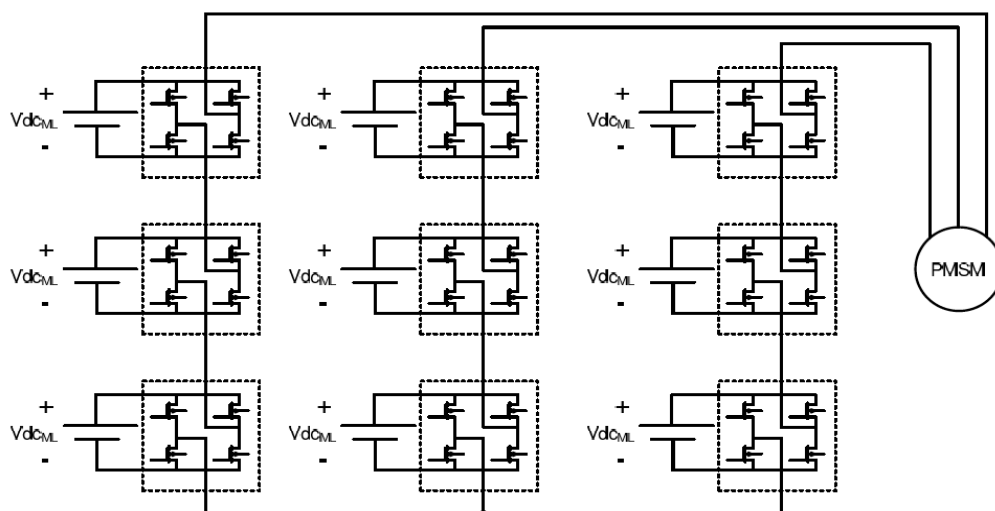
Ο αντιστροφέας δύο επιπέδων είναι ο πιο κοινός αντιστροφέας που χρησιμοποιείται στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Αποτελείται από έξι διακόπτες που χωρίζονται σε τρία σκέλη Εικόνα 8.5.. Μια αντιπαράλληλη διάδος τοποθετείται εν παραλλήλω σε κάθε διακόπτη ώστε να επιτρέψει την ροή ρεύματος προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η μπαταρία είναι συνδεδεμένη με την είσοδο του αντιστροφέα που τον τροφοδοτεί με τάση εισόδου  $V_{DC_{TL}}$ . Ο αντιστροφέας μπορεί να παράγει οκτώ διαφορετικές καταστάσεις ανάλογα με τον έλεγχο των έξι διακοπών.



Εικόνα 8.5. Αντιστροφείας δύο επιπέδων.

### 8.5 Πολυ-επίπεδος αντιστροφείας (Multi-level inverter, MLI)

Ένας πολυεπίπεδος αντιστροφείας μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας πολλές διαφορετικές τοπολογίες. Αυτός που θα αναλυθεί σε αυτήν την ενότητα είναι ο κλιμακωτός πολυεπίπεδος αντιστροφείας (cascaded multilevel inverter), Εικόνα 8.6.. Αποτελείται από σύνδεση εν σειρά H-γεφυρών (H-bridges) οι οποίες μπορούν να ελέγχονται ανεξάρτητα. Κάθε γέφυρα έχει μια ξεχωριστή αποθήκη ενέργειας με τάση  $V_{DC_{ML}}$  (Τάση εισόδου για κάθε H-γέφυρα στον πολυεπίπεδο αντιστροφεία) προσκολλημένη σε αυτή και με έλεγχο των διακοπών στην H-γέφυρα με διαφορετικούς τρόπους, μια γέφυρα μπορεί να δώσει  $V_{DC_{ML}}$ ,  $-V_{DC_{ML}}$ , 0 και ανοιχτοκύκλωμα, στην έξοδο της. Δεδομένου ότι πολλές H-γέφυρες συνδέονται σε σειρά, η συνολική τάση διαφέρει στα διάφορα επίπεδα. Εάν οι πηγές τάσης ήταν ίσες, ο αριθμός των επιπέδων τάσης, N, θα ήταν  $N = 2n + 1$ , όπου n είναι ο αριθμός των H-γεφυρών για κάθε φάση και N ο αριθμός των επιπέδων της τάσης που μπορεί να παράγει μια φάση.



Εικόνα 8.6. Τοπολογία 7-επιπέδων πολυ-επίπεδου αντιστροφείας.

## 8.6 Στρατηγική διαμόρφωσης

### 8.6.1 Αντιστροφείας δύο επιπέδων

Για τον αντιστροφέα δύο επιπέδων, εστιάζουμε κυρίως στην διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM) και την έγχυση της τρίτης αρμονικής (third harmonic injection), τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες δύο υποενότητες.

#### 8.6.1.1 PWM (Διαμόρφωση Εύρους Παλμών)

Όταν ένα TLI ελέγχεται υπό-ταλάντωση (sub-oscillating) με PWM λειτουργία, δημιουργούνται τρεις τάσεις αναφοράς. Αυτές οι αναφορές παρομοιάζονται με τριγωνικό κύμα με συχνότητα όμοια με την συχνότητα των διακοπών. Όταν οι αναφορές είναι υψηλότερες από το τριγωνικό κύμα, το άνω μέρος του διακόπτη στο εν λόγω σκέλος ενεργοποιείται, ενώ σε άλλη περίπτωση η κάτω πλευρά του διακόπτη ενεργοποιείται. Πράγματι, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί κάτι που χαρακτηρίζεται ως υπερ-διαμόρφωση, όπου το κύμα αναφοράς είναι πάνω από το τριγωνικό κύμα. Ωστόσο, αυτό θα προκαλέσει χαμηλής συχνότητας αρμονικές που είναι δύσκολο να φιλτραριστούν. Ένα περιθώριο 10% βρίσκεται στην τάση εξόδου για να εγγυηθεί την δυνατότητα ελέγχου του ρεύματος, για να παρέχει ένα ελάχιστο χρόνο έναυσης και σβέσης της μονάδας και να ισχύει για το κενό διάστημα και τις απώλειες του αντιστροφέα. Η μέγιστη φασική τάση του κινητήρα θα είναι τότε ίση με:

$$U_{\text{φασικό RMSΜέγιστο}} = 0,9 \frac{V_{DC_{TL}}}{2\sqrt{2}} \quad (8.2)$$

όπου

$U_{\text{φασικό RMSΜέγιστο}}$  = Μέγιστη φασική τάση που μπορεί να παράγεται από τον αντιστροφέα

$V_{DC_{TL}}$  = Τάση εισόδου δύο επιπέδων αντιστροφέα

#### 8.6.1.2 Έγχυση τρίτης αρμονικής (Third Harmonic Injection),(THI-PWM)

Όταν ένας TLI ελέγχεται με τρόπο THI-PWM δημιουργούνται τρεις τάσεις αναφοράς και συγκρίνονται με την τριγωνική κυματομορφή, με συχνότητα όμοια με την συχνότητα μεταγωγής και με τον ίδιο τρόπο όπως στην στρατηγική PWM. Με την προσθήκη τρίτης αρμονικής, το ουδέτερο σημείο της μηχανής μεταβάλλεται πάνω και κάτω. Η μηχανή δεν θα αντιδράσει σε αυτήν την τρίτη αρμονική δεδομένου ότι είναι ένα τριφασικό σύστημα χωρίς το ουδέτερο σημείο της μηχανής να συνδέεται στο ουδέτερο σημείο του αντιστροφέα. Το πλεονέκτημα είναι ότι η DC τάση ζυγού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό. Ένα περιθώριο 10% χρησιμοποιείται στην τάση εξόδου για να εγγυηθεί τον έλεγχο του ρεύματος. Η μέγιστη φασική τάση του κινητήρα, με "χαμηλή-αρμονική" ελεύθερου δυναμικού, θα είναι ίση με:

$$U_{\text{φασικό RMSΜέγιστοTHI}} = 0,9 \frac{V_{DC_{TL}}}{\sqrt{3}\sqrt{2}} \quad (8.3)$$

όπου

$U_{\text{φασικό RMSΜέγιστοTHI}}$  =Μέγιστη φασική τάση που μπορεί να παράγεται από τον TLI όταν ελέγχεται με τρίτη αρμονική έγχυσης

που είναι κατά περίπου 15% μεγαλύτερη σε σχέση με την στρατηγική PWM.

Προκειμένου να περιγράψουμε την φασική τάση που χρησιμοποιείται, χρησιμοποιείται τυπικά ο δείκτης διαμόρφωσης  $m_a$ . Για τον αντιστροφέα δύο-επιπέδων ο δείκτης διαμόρφωσης ορίζεται σύμφωνα με:

$$U_{\text{φασικό}} = m_a \frac{V_{DC_{TL}}}{\sqrt{3}\sqrt{2}} \quad (8.4)$$

όπου

ο  $m_a$  (δείκτης διαμόρφωσης) μπορεί να πάρει τιμή πάνω από ένα χωρίς υπερ-διαμόρφωση.

Λειτουργώντας τον αντιστροφέα με την μέθοδο THI-PWM, θα υπάρξει ένας κύκλος λειτουργίας (duty cycle  $D$  - αναλογία του ενεργού χρόνου μεταξύ του άνω και του κάτω τρανζίστορ στο σκέλος-) σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$D(t) = 0.5 + \frac{U_{out}(t)}{V_{DC_{TL}}} \quad (8.5)$$

$U_{out}$ = τάση εξόδου αναφοράς του μετατροπέα

$D$ = κύκλος λειτουργίας

## 8.6.2 Πολυ-επίπεδος αντιστροφέας

Ο  $MLI$  θα ελέγχεται με την Θεμελιώδη Επιλεκτική Αρμονική Εξάλειψη (Fundamental Selective Harmonic Elimination, FSHE). Επιλέγοντας το πότε θα ενεργοποιηθούν οι διαφορετικές  $H$ -γέφυρες στον  $MLI$ , το πλάτος της θεμελιώδους συχνότητας καθώς και οι αρμονικές ελέγχονται. Για έναν αντιστροφέα  $N$ -επιπέδων το πλάτος της θεμελιώδους συχνότητας και ο  $(N-3)/2$  αριθμός των αρμονικών μπορεί να ελεγχθεί. Δεδομένου ότι ο κινητήρας λειτουργεί σαν φίλτρο χαμηλής διέλευσης ρεύματος, είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθούν οι χαμηλότερες αρμονικές, που φιλτράρονται λιγότερο αποτελεσματικά. Η κυματομορφή που σχηματίζεται από των 7-επιπέδων αντιστροφέα  $MLI$  περιγράφεται στην υπ' αριθμόν Εικόνα 8.7.. Οι γωνίες  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  και  $\alpha_3$  περιγράφουν τις περιπτώσεις, όπου οι  $H$ -γέφυρες πρέπει να ενεργοποιηθούν. Η εκτεταμένη σειρά Fourier του σήματος για τις διάφορες αρμονικές λαμβάνει την πιο κάτω μορφή:

$$U_{ML}(h) = \frac{4}{h\pi} [V_{DC_{ML}} \cos(h\alpha_1) + V_{DC_{ML}} \cos(h\alpha_2) + V_{DC_{ML}} \cos(h\alpha_3)] \quad (8.6)$$



$UML(h)$ = Αρμονική τιμή στην αρμονική  $h$  για την  $MLI$

$h$ = αριθμός αρμονικών

$\alpha_1$ = Γωνία όπου η πρώτη γέφυρα- $H$  είναι ενεργοποιημένη

$\alpha_2$ = Γωνία όπου η δεύτερη γέφυρα- $H$  είναι ενεργοποιημένη

$\alpha_3$ = Γωνία όπου η τρίτη  $H$ -γέφυρα είναι ενεργοποιημένη

(υποτίθεται ότι οι  $DC$  τάσεις είναι ίσες για όλες τις  $H$ -γέφυρες). Ρυθμίζοντας το πλάτος των αρμονικών 5 και 7 στο μηδέν, η εξίσωση συστήματος παρέχει τις γωνίες μεταγωγής για διάφορα πλάτη της θεμελιώδους συχνότητας και φαίνεται στην Εικόνα 8.7. Ο δείκτης διαμόρφωσης μπορεί να πάρει τιμή πάνω από 1,07 χωρίς να χάσει τον έλεγχο για την εξάλειψη της 5<sup>ης</sup> και 7<sup>ης</sup> αρμονικής. Για δείκτη διαμόρφωσης κάτω από 0,5, ο έλεγχος των αρμονικών χάνεται αλλά έχουν ελαχιστοποιηθεί με την ιεράρχηση της 5<sup>ης</sup> αρμονικής. Για την διατήρηση των κελιών της μπαταρίας σε ισορροπία, ο ελεγκτής διασφαλίζει την χρήση της μπαταρίας με την υψηλότερη τάση, όπως αυτή που ελέγχεται με την γωνία  $\alpha_1$  και αυτή, με την χαμηλότερη τάση, που ελέγχεται με την γωνία  $\alpha_3$ . Η μέγιστη τάση που μπορεί να παράγει ο αντιστροφέας με περιθώριο 10% μπορεί να εκφραστεί ως ακολούθως:

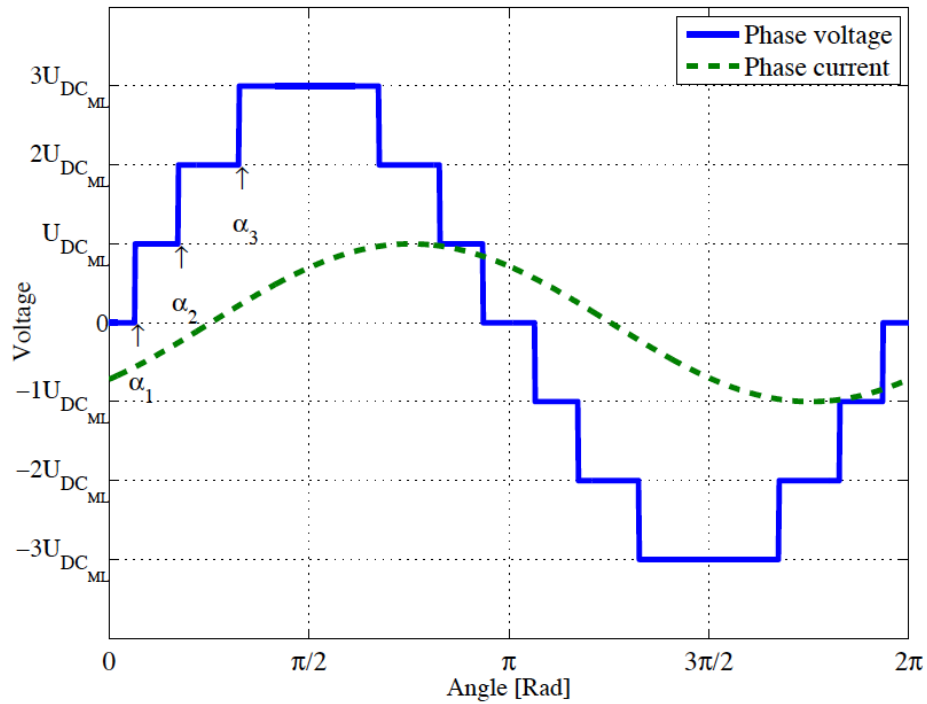
$$U_{\text{φασικό RMSΜέγιστοTHI}} = 0,9 * 1,07 \frac{V_{DCML} * n}{\sqrt{2}} \quad (8.7)$$

Για τους  $MLI$  που λειτουργούν με το FSHE ο δείκτης διαμόρφωσης  $m_a$  ορίζεται ως :

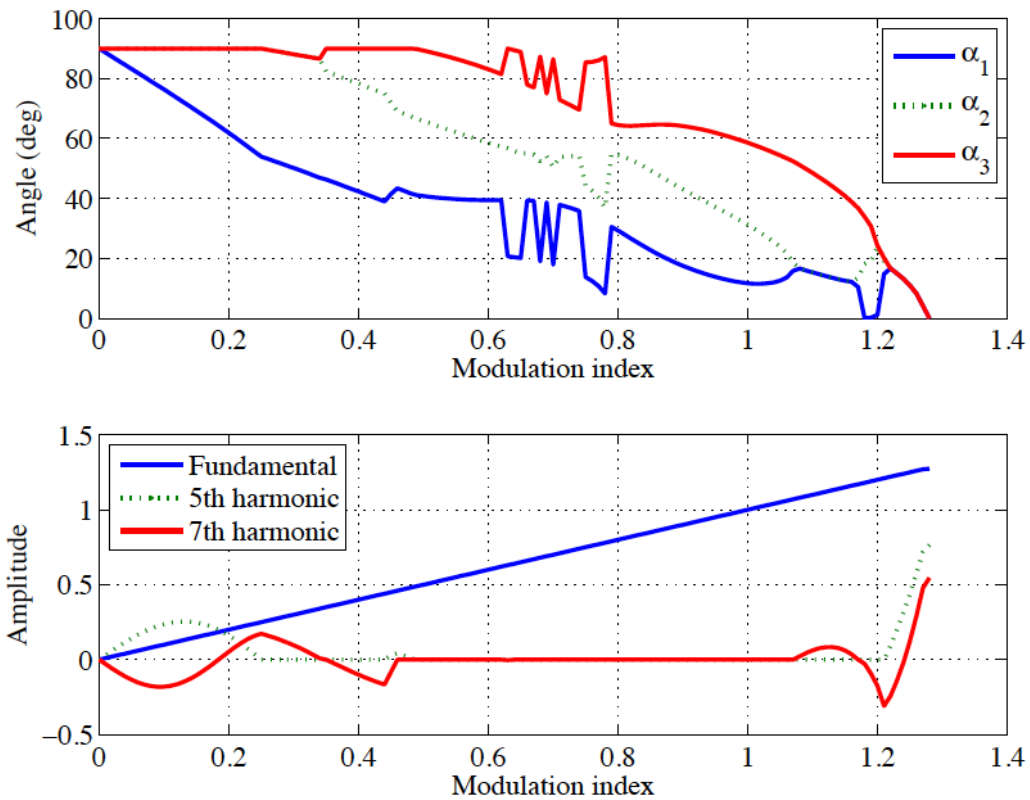
$$U_{\text{φασικό}} = m_a \frac{V_{DCML} * n}{\sqrt{2}} \quad (8.8)$$

όπου ο  $m_a$  παίρνει τιμή πάνω από 1,07 χωρίς την απώλεια ελέγχου στις χαμηλής συχνότητας αρμονικές.

Ο  $MLI$  μπορεί να λειτουργήσει με δύο μεθόδους PWM. Στην πρώτη μέθοδο μπορούν να δημιουργηθούν ξεχωριστά τριγωνικά κύματα για τις διάφορες  $H$ -γέφυρες έχοντας ένα σήμα αναφοράς. Στην άλλη κατάσταση λειτουργίας, όλα τα επίπεδα μεταβάλλονται με το ίδιο σήμα ελέγχου χρησιμοποιώντας μία τριγωνική κυματομορφή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κυματομορφή της τάσης εξόδου να είναι πανομοιότυπη με την κυματομορφή του  $TLI$ . Το πλεονέκτημα αυτής της στρατηγικής ελέγχου είναι ότι η ισχύς λαμβάνεται από όλες τις μπαταρίες και επομένως ελαχιστοποιούνται οι απώλειες στις μπαταρίες.



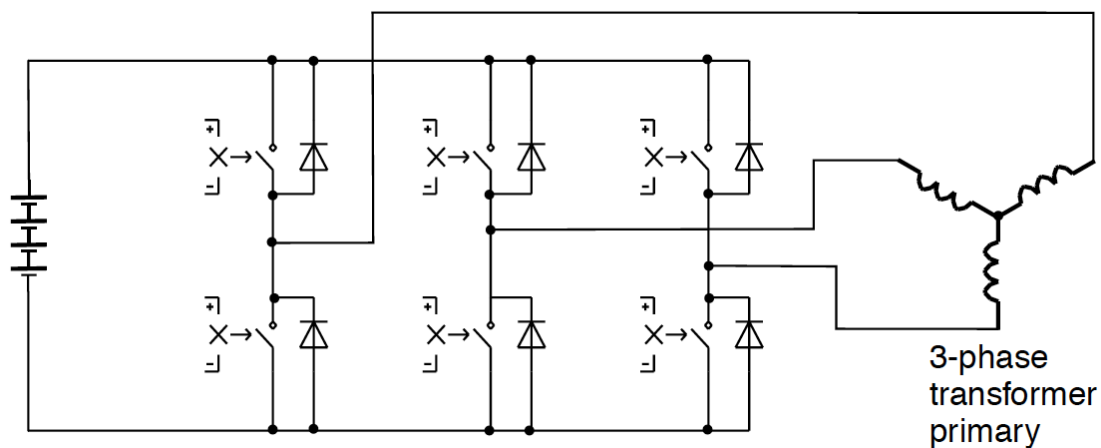
Εικόνα 8.7. Φασική τάση από 7-επιπέδων MLI.



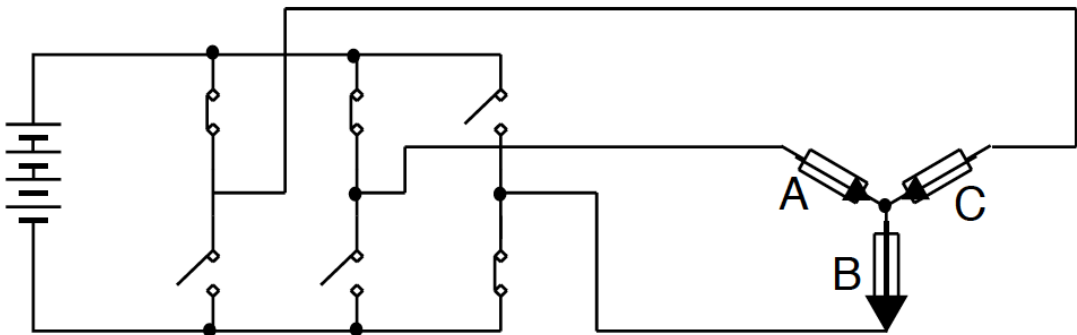
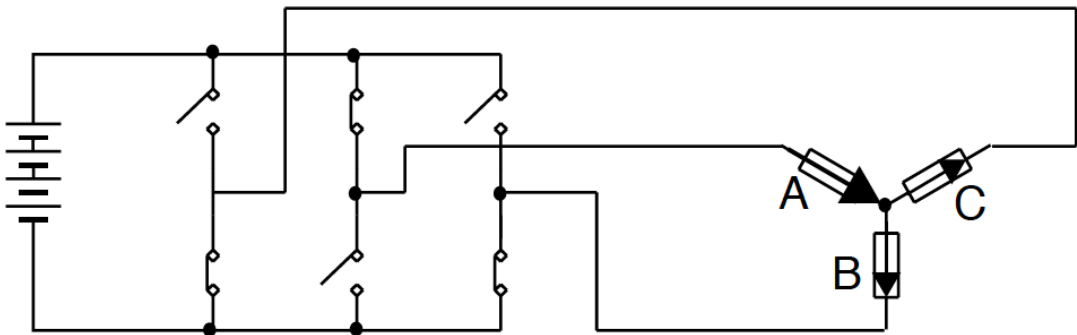
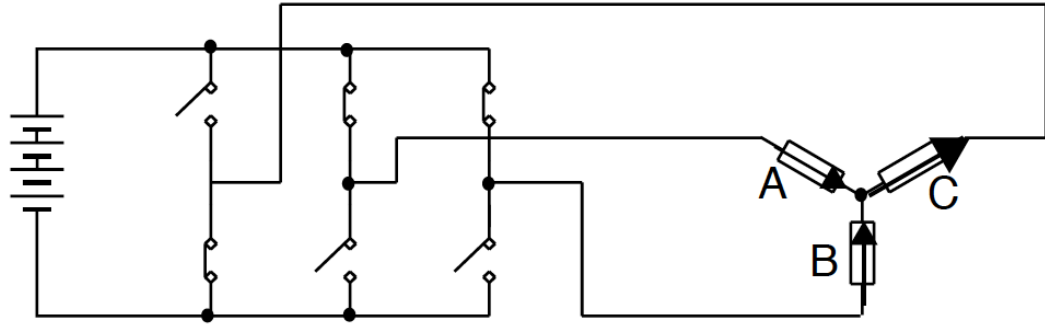
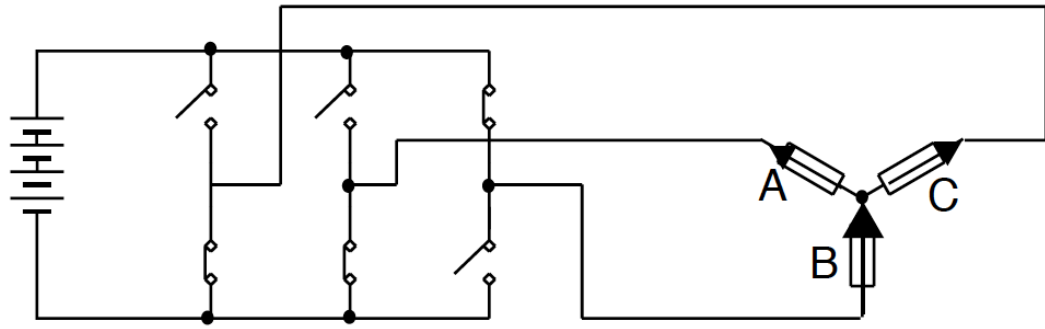
Εικόνα 8.8. Εναλλαγές στις γωνίες και τις αρμονικές για διαφορετικούς δείκτες διαμόρφωσης.

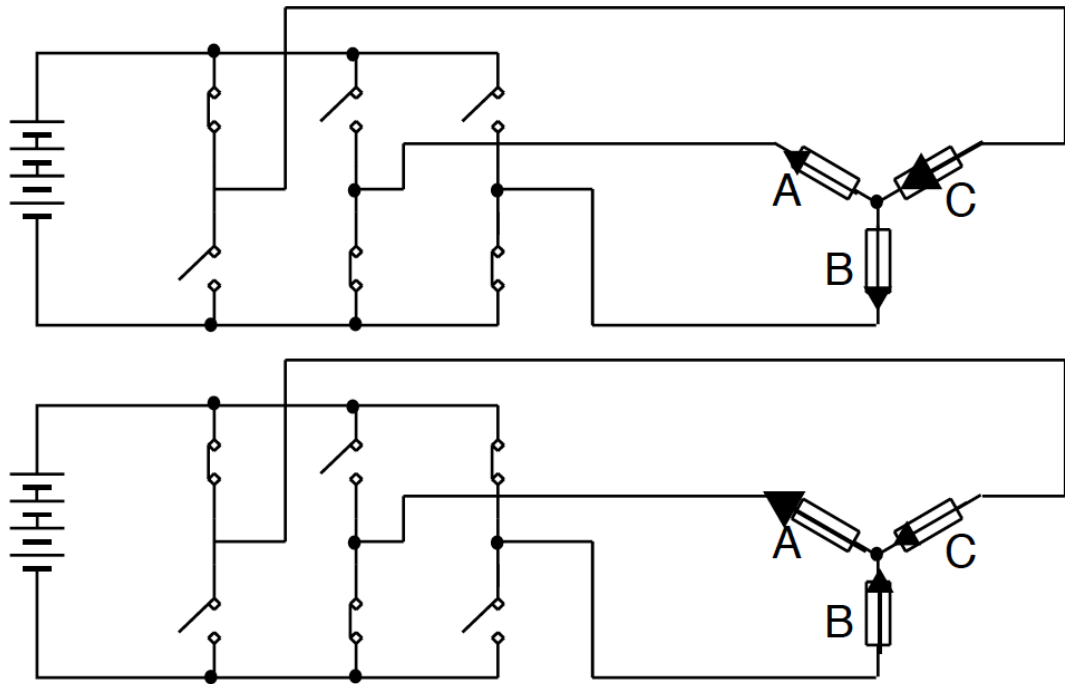
### 8.6.3 Τριφασικός αντιστροφέας

Οι περισσότεροι μεγάλοι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα, έχουν τρία σύνολα πηνίων αντί για ένα μόνο. Για αυτά τα συστήματα, καθώς και για τα κανονικά συστήματα δικτύου, απαιτείται τριφασική εναλλασσόμενη τροφοδοσία. Αυτό είναι λίγο πιο περίπλοκο σε σχέση με την μονοφασική τροφοδοσία. Το βασικό σχήμα εμφανίζεται στην Εικόνα 8.9.. Έξι διακόπτες, με διόδους ελευθέρως ροής, συνδέονται στον τριφασικό μετασχηματιστή δεξιά. Ο τρόπος με τον οποίο αυτοί οι διακόπτες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τριών όμοιων αλλά εκτός φάσης τάσεων φαίνεται στην Εικόνα 8.10. Κάθε κύκλος μπορεί να διαιρεθεί σε έξι βήματα. Τα γραφήματα της Εικόνας 8.11 δείχνουν πως, χρησιμοποιώντας αυτήν την απλή διάταξη, το ρεύμα σε κάθε μια από τις τρεις φάσεις αλλάζει σε σχέση με τον χρόνο. Οι καμπύλες που έχουν προκύψει δεν είναι ημιτονοειδείς και διαφέρουν κατά πολύ σε σχέση με αυτές. Στην πράξη, οι ακολουθίες μεταγωγής της Εικόνας 8.10 είναι τροποποιημένες χρησιμοποιώντας την διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM).

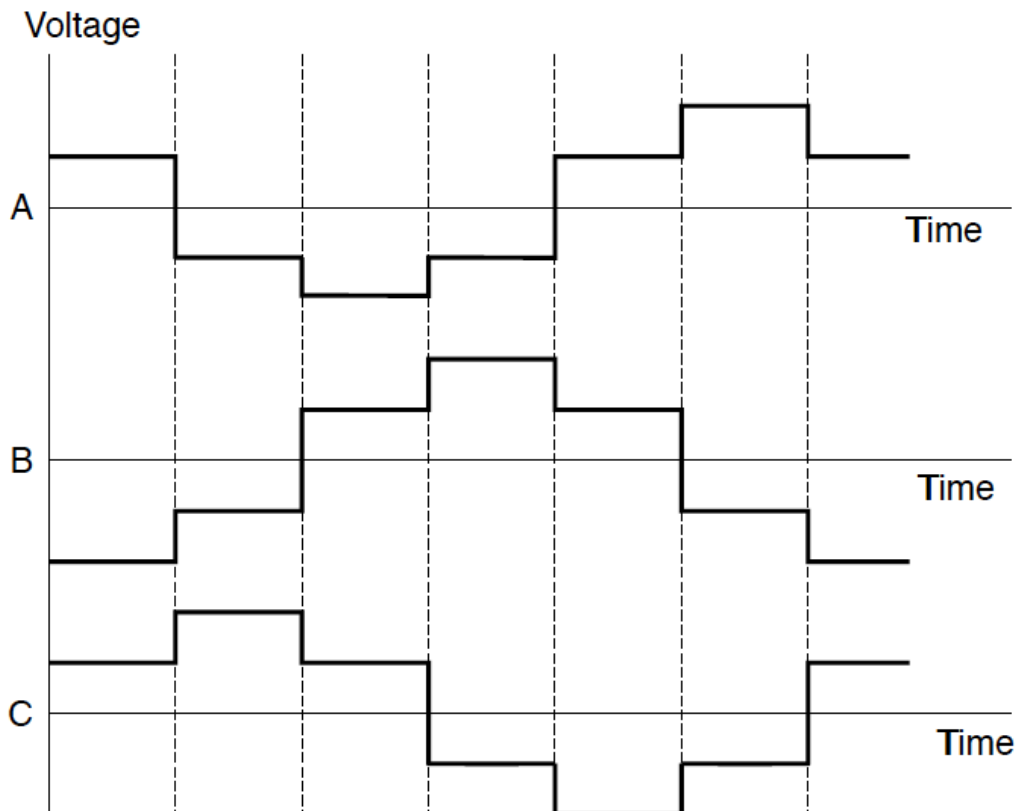


Εικόνα 8.9. Κύκλωμα τριφασικού αντιστροφέα.





Εικόνα 8.10. Κυκλώματα για την παραγωγή τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος.



Εικόνα 8.11. Γράφημα ρεύματος συναρτήσει χρόνου για το πιο απλό σύστημα παραγωγής εναλλασσόμενου τριφασικού ρεύματος, θεωρώντας ένα φορτίο αντίστασης.



# 9 Συμπεράσματα



Οι βελτιώσεις στους κινητήρες εσωτερικής καύσης καθώς και η εφεύρεση του ηλεκτρικού εκκινητή έκανε το βενζινοκίνητο αυτοκίνητο μια καλύτερη και φθηνότερη επιλογή. Η αύξηση των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων από εταιρείες όπως η Ford και την General Motors βοήθησαν στο να μειωθούν οι τιμές των εν λόγω οχημάτων σχεδόν στο ήμισυ της τιμής των αντιστοίχων ηλεκτρικών οχημάτων. Από τη δεκαετία του 1930, το βενζινοκίνητο αυτοκίνητο είχαν αναλάβει τα ηνία της αγοράς, με τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να εξαφανίζονται από την αυτήν.

Κάνοντας μια αναδρομή στο 1950, οι αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με τη ρύπανση από τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα προώθησαν την Νομοθεσία για τον Έλεγχο της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης στις Η.Π.Α. (Air Pollution Control Act.). Αυτό συγκέντρωσε κάποιο ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα και από τη δεκαετία του '80 και τις αρχές της δεκαετίας του '90, γεγονός που οδήγησε στην αύξηση της πίεσης και της ζήτησης για οικονομικότερα οχήματα, ως προς την κατανάλωση καύσιμου, με προοπτική ενός αυτοκινήτου με μηδενικές εκπομπές ρύπων σε κάποιο σημείο στο μέλλον.

## 9.1 Αντίστροφη μηχανική

Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται η τεχνική μεθοδολογία της διαδικασίας της αντίστροφης μηχανικής καθώς και η εφαρμογή της σε ηλεκτροκίνητα οχήματα. Παρατίθεται η διαδικασία αυτής, από θεωρητική σκοπιά, περιγράφοντας γενικά τους τομείς στους οποίους μπορεί να εφαρμοστεί στα ηλεκτροκίνητα οχήματα. Η διαδικασία αυτή πέρα του γεγονότος ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιγραφή του υλικού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για την βιομηχανοποίηση, την κατασκευή, και τη διατήρηση των προϊόντων. Επίσης αναπτύσσεται η ηθική και νομική πλευρά του θέματος, ώστε να εξασφαλίζεται η νομιμότητα σε κάθε προσπάθεια εφαρμογής της διαδικασίας της αντίστροφης μηχανικής. Επιπροσθέτως, αναπτύσσεται αναλυτικά η μεθοδολογία που μπορεί να εφαρμοστεί κατά την αντιγραφή ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος στα στάδια όπου: γίνεται η συλλογή πληροφοριών, η αποσυναρμολόγηση του υλικού και εν τέλει η δημιουργία ενός καινούργιου προϊόντος. Τέλος γίνεται αναφορά στους λόγους για τους οποίους η διεθνής επιστημονική κοινότητα εμφανίζει ένα έντονο ενδιαφέρον προς την ευρεία εφαρμογή της ηλεκτροκίνησης. Επιπλέον αναφέρονται τα θετικά στοιχεία που εμφανίζουν και η πρακτική χρησιμότητα τους στην κοινωνία.

## 9.2 Κινητήρες συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος;

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι κινητήρων που μπορεί να τροφοδοτήσουν ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο: Ο κινητήρας με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) και ο κινητήρας με συνεχές ρεύμα (DC). Ο πρώτος τύπος ρεύματος εφευρέθηκε από τον Nikola Tesla, ενώ ο δεύτερος από τον Thomas Edison, οι οποίοι έχουν και μια μακριά, ανταγωνιστική ιστορία. Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο κινητήρων εντοπίζεται κυρίως στην τάση που χρειάζεται ο κάθε κινητήρας για να λειτουργήσει. Ένας κινητήρας DC θα χρησιμοποιήσει μια μπαταρία από 92 έως 192 βολτ, ενώ ένας

κινητήρας AC θα χρησιμοποιήσει μια μπαταρία από 240 βολτ έως 300 βόλτ. Οι κινητήρες DC είναι και φθηνότεροι, αλλά παρουσιάζουν περιορισμούς, όπως η ανεπαρκής επιτάχυνση και η υπερθέρμανση, μερικές φορές μάλιστα μέχρι το σημείο της αυτοκαταστροφής, όταν γίνεται υπερπολλαπλασιασμός ταχύτητας. Από την άλλη μεριά, οι κινητήρες AC είναι, κατασκευαστικά, ευκολότεροι στην πράξη και μπορούν να εφαρμοστούν ευκολότερα σε ηλεκτρικά οχήματα, καθώς υποστηρίζουν και την χρήση της αναγεννητικής πέδησης, η οποία μπορεί να προσφέρει την ενέργεια πίσω στο σύστημα (μπαταρία) όταν ενεργοποιούνται τα φρένα.

### 9.3 Μπαταρίες

Πολλοί από τους περιορισμούς που περιάγουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε δυσμένεια, από τις αρχές του 1900, υπάρχουν ακόμα και σήμερα. Οι μπαταρίες είναι πολύ βαριές, καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο, απαιτούνται μεγάλοι χρόνοι επαναφόρτισης, είναι πάρα πολύ ακριβές και δεν προσφέρουν μεγάλη αυτονομία. Η μεγαλύτερη πρόκληση που η βιομηχανία του ηλεκτρικού οχήματος έχει να αντιμετωπίσει για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο είναι η ισχύς της μπαταρίας. Στους συσσωρευτές μολύβδου-οξέος υπάρχουν έξι ελαττώματα. Αυτά τα ελαττώματα περιλαμβάνουν το βάρος, τον όγκο, την χωρητικότητα, την φόρτιση, τη διάρκεια ζωής και την τιμή αγοράς της μπαταρίας. Βαριές μπαταρίες σημαίνει βαρύτερα οχήματα, γεγονός που μειώνει την αποδοτικότητα τους και την απόδοση του οχήματος, καθιστώντας τα ηλεκτρικά οχήματα υψηλού κόστους, σύντομης διάρκειας ζωής και εν γένει μη ελκυστικά για τους υποψήφιους αγοραστές.

Πολλά από τα οχήματα χρησιμοποιούν μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου (NiMH), οι οποίες έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, αλλά επίσης και διαφορετική μέθοδο φόρτισης και αποφόρτισης. Μια άλλη επιλογή μπαταρίας είναι η <<ζέβρα>> (Zebra), ή μπαταρία νάτριου, όπου χρησιμοποιεί λιωμένο chloroaluminate νατρίου ( $\text{NaAlCl}_4$ ). Οι μπαταρίες Zebra είναι μη τοξικές και μπορούν να αντέξουν χιλιάδες κύκλους φόρτισης, αλλά σαν μειονέκτημα έχουν την μικρή πυκνότητα ισχύος και το ότι δεν μπορούν αποθηκεύσουν την ενέργεια για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τέλος, σήμερα μερικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα κινούνται με μπαταρίες ιόντων λιθίου, ωστόσο έχουν και αυτές κάποιους περιορισμούς, συμπεριλαμβανομένων του σύντομου κύκλου ζωής, της τοξικότητας και της τάσης να χάνουν σημαντικό μέρος της χωρητικότητας τους με την πάροδο του χρόνου.

#### 9.3.1 Μπαταρίες του μέλλοντος

Μετά τις μπαταρίες λιθίου τι έπεται;

Έρευνες του Πανεπιστημίου του Cambridge αποκάλυψαν μια νέα <<σουπερ μπαταρία>> που θα μπορούσε να αντικαταστήσει την υπάρχουσα μπαταρία ιόντων λιθίου που υπάρχει στα περισσότερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Η μπαταρία λιθίου-αέρα (lithium-air) ή αλλιώς όπως αποκαλείται λιθίου-οξυγόνου (lithium-oxygen) λέγεται ότι μπορεί να ξεπεράσει πολλά από τα εμπόδια που περιορίζουν σήμερα την εκτενή υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι μπαταρίες λιθίου-οξυγόνου έχουν 10 φορές περισσότερο ενεργειακή πυκνότητα από τις μπαταρίες ιόντων λιθίου που χρησιμοποιούνται σήμερα, κάτι που συνεπάγεται ότι αυτή η τεχνολογία της μπαταρίας θα επιτρέψει στο όχημα να έχει την ίδια εμβέλεια με ένα συμβατικό με κινητήρα εσωτερικής καύσεως. Η υψηλή ενεργειακή πυκνότητά τους συμβάλει στην επίτευξη αποδοτικότητας της τάξης του 93%. Με απλά λόγια οι μπαταρίες αυτές θα



φέρουν επανάσταση στα ηλεκτρικά οχήματα, αφού θα επιτρέψουν σε αυτά να λειτουργήσουν με μια μπαταρία, η οποία έχει το ένα πέμπτο του κόστους και το ένα πέμπτο του βάρους των μπαταριών που υπάρχουν σήμερα στην αγορά.

Ποια τα προβλήματα αυτών των μπαταριών:

Μπορεί αυτές οι μπαταρίες να αυξάνουν την εμβέλεια και να περιορίζουν το συνολικό βάρος στα ηλεκτρικά οχήματα, αλλά ωστόσο παρουσιάζουν και πολλά προβλήματα.

1. Η αντίδραση του λιθίου μαζί με το οξυγόνο σχηματίζει ένα στερεό προϊόν που ονομάζεται λίθιο-υπεροξειδίο στην κάθοδο (θετικό ηλεκτρόδιο της μπαταρίας). Αυτή η αντίδραση, ουσιαστικά, καταστρέφει τον ηλεκτρολύτη, ο οποίος είναι το υγρό που μεταφέρει τα ιόντα στην μπαταρία από την άνοδο στην κάθοδο και αντίστροφα, διαδικασία που έχει ως αποτέλεσμα την μικρή διάρκεια ζωής των μπαταριών αυτών (αέρα λιθίου, lithium-air).
2. Το δεύτερο πρόβλημα είναι ότι η θεωρητική ενεργειακή πυκνότητα υπολογίζεται με βάση τη χρήση μετάλλου λιθίου (lithium metal) στην πλευρά τις ανόδου. Το ίδιο το μέταλλο αυτό εγείρει μια ολόκληρη σειρά από προκλήσεις που συνδέονται με την επιμετάλλωση και την απογύμνωση του λιθίου, αφού σχηματίζει έτσι δένδριτες Li που αντιδρούν με τους ηλεκτρολύτες.
3. Το τρίτο πρόβλημα είναι ότι όταν αναφερόμαστε στις μπαταρίες λιθίου – αέρα, στην πραγματικότητα αναφερόμαστε σε σχέδια επίδειξης που περιλαμβάνουν λίθιο και οξυγόνο, γιατί το μέταλλο λιθίου αντιδρά με το άζωτο, το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό, δηλαδή όλα τα στοιχεία του αέρα. Καθ' αυτόν τον τρόπο η λειτουργία ενός συγκεκριμένου συστήματος με αέρα απαιτεί τη χρήση ενός συστήματος φιλτραρίσματος αυτού, ώστε να απομακρυνθούν τα περισσότερα από τα συστατικά του.
4. Το τέταρτο πρόβλημα είναι ότι δεν έχει επιτευχθεί η πλήρης ενεργειακή πυκνότητα της μπαταρίας λόγω, της δυσκολίας του να προκύψει υπερξειδίο του λιθίου, ως στερεό προϊόν, αλλά και να λειτουργήσει η διαδικασία αυτή αντίστροφα.
5. Η απόδοση τους είναι καλή, αλλά η διαφορά μεταξύ τάσης φόρτισης και αποφόρτισης είναι πολύ μεγάλη, με αποτέλεσμα να υπάρχει απώλεια μεγάλης ποσότητας ενέργειας κατά την αποφόρτιση και φόρτιση της μπαταρίας, πράγμα που δεν είναι πρακτικό για μπαταρίες μεγάλης κλίμακας.
6. Το τελευταίο πρόβλημα είναι ότι ο βαθμός δεν είναι πολύ υψηλός, αυτό σημαίνει ότι αντλείται πολύ γρήγορα η ενέργεια από την μπαταρία, γεγονός το οποίο δημιουργεί προβλήματα στις μεταφορές.

## 9.4 Οι φορτιστές του μέλλοντος

Παρ' όλο που οι σταθμοί φόρτισης έχουν φτάσει σε ένα αρκετά καλό επίπεδο και έχουν τοποθετηθεί σε πολλά σημεία, υφίσταται ακόμα το πρόβλημα που δημιουργούν οι συνεχώς αυξανόμενες αγορές ηλεκτρικών οχημάτων, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα σχετικά με την φόρτιση αυτών. Πέρα όμως από αυτό υπάρχει και το λεγόμενο <<άγχος της αυτονομίας>>, δηλαδή η ανησυχία ότι δεν θα μπορεί να πραγματοποιηθεί ένα ταξίδι λόγω της αυτονομίας των μπαταριών, που διαθέτει το ηλεκτρικό όχημα, ενώ επιπλέον υπάρχει και η ταλαιπωρία σύνδεσης του

οχήματος για φόρτιση κάθε βράδυ. Για τους οικιακούς καταναλωτές, η φόρτιση αποτελεί ένα μεγάλο πρόβλημα σε σχέση με τον ανεφοδιασμό του οχήματος σε πρατήρια υγρών καυσίμων, όπου η διαδικασία αυτή γίνεται εντός λίγων λεπτών και μια φορά την εβδομάδα.

Οι κατασκευαστές των ηλεκτρικών οχημάτων γνωρίζουν αυτές τις ανησυχίες και κάνουν μάλιστα προσπάθειες να επεκτείνουν την εμβέλεια που μπορεί να διανύσει ένα όχημα, ενώ παράλληλα εργάζονται και προς την επίτευξη της ασύρματης φόρτισης. Σήμερα υπάρχουν ασύρματοι φορτιστές οι οποίοι μπορούν να φορτίσουν μια απλή οδοντόβουρτσα, αλλά και ένα κινητό τηλέφωνο χρησιμοποιώντας επαγωγική σύζευξη. Δυστυχώς, όμως, η ασύρματη φόρτιση στα αυτοκίνητα είναι δυσκολότερη λόγω των τεράστιων ποσών ισχύος που πρέπει να μεταφερθούν ασύρματα. Μια πρόσφατη πρόοδος στην επαγωγή είναι γνωστή ως μαγνητικός συντονισμός, στο οποίο ο πομπός και ο δέκτης είναι <<ισχυρά συζευγμένοι>> και συντονίζονται στην ίδια συχνότητα, η οποία επιτρέπει στο μαγνητικό πεδίο να κατευθύνεται, αυξάνοντας την απόσταση που μπορεί να μεταφερθεί αλλά και την απόδοση. Ο μαγνητικός συντονισμός παρουσιάστηκε από μια ομάδα στο MIT το 2007.

#### 9.4.1 Οφέλη ασύρματης φόρτισης

- Η ασύρματη φόρτιση θα ενισχύσει την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων από τους καταναλωτές.

Οι ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων δεν θα συνδέουν τα οχήματα τους προς φόρτιση, αλλά μέσω μιας ειδικής κατασκευής (προεξοχή) που θα συνδέεται με έναν τροφοδοτικό τοίχου και στο κάτω μέρος του οχήματος θα υπάρχει ένας ειδικός δέκτης.

- Η Κίνα κάνει σημαντικές προσπάθειες προς την κατεύθυνση της ασύρματης φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων
- Οι υποδομές είναι το κλειδί για το «ξεκλείδωμα» της ασύρματης φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων.
- «Οι υποδομές για τα ηλεκτρικά οχήματα είναι ζωτικής σημασίας για την υιοθέτηση και την χρήση τους. Δεν πρόκειται να αγοράσει κάποιος ένα ηλεκτρικό όχημα, αν δεν γνωρίζει πού και πώς θα το φορτίσει», λέει η Erin Mellon, Director of Communication της ChargePoint, η οποία διαχειρίζεται το μεγαλύτερο δίκτυο φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στον κόσμο. « Το πρώτο μέρος στο οποίο οι οδηγοί πρέπει να είναι σε θέση να φορτίσουν (τα ηλεκτρικά οχήματα τους) είναι στο σπίτι τους. Η δυνατότητα φόρτισης στην εργασία τους, είναι το δεύτερο πιο σημαντικό.»
- Η ασύρματη φόρτιση θα είναι προς όφελος της δημόσιας συγκοινωνίας.

Τα τελευταία χρόνια γίνονται συνεχείς έρευνες πάνω στην δυναμική φόρτιση δηλαδή την φόρτιση, η οποία επιτυγχάνεται καθώς το αμάξι κινείται. Η μετάβαση στην δυναμική φόρτιση περιπλέκει τα πράγματα με διάφορους τρόπους. Με αυτήν την τεχνική φόρτισης το όχημα δεν θα σταθμεύει για να φορτίσει , αλλά αντ' αυτού όταν το όχημα θα ταξιδεύει με πολύ υψηλές ταχύτητες. Άρα υπάρχουν δεκάδες ή εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου διαθέσιμα για να μεταφερθεί η ενέργεια από τον δρόμο προς το όχημα. Υπάρχουν όμως και πολλές προκλήσεις, οι οποίες είναι πιο συγκεκριμένα:

1. Αν θα πρέπει να είναι ενεργοποιημένα συνεχώς τα πηνία ή όχι.
2. Η δεύτερη πρόκληση είναι οι λόγοι ασφάλειας, καθώς δεν πρέπει να υπάρχουν μεγάλα μαγνητικά πεδία, όταν δεν υπάρχει κανένα αμάξι. Αυτοί οι δρόμοι θα πρέπει να είναι ασφαλείς για οποιονδήποτε για να τους περπατήσει, για τα αντικείμενα, τα οποία μπορεί να υπάρχουν σε αυτούς, αλλά και τα δοχεία των αναψυκτικών που δεν πρέπει να υπόκεινται σε υπερθέρμανση.
3. Η τρίτη πρόκληση είναι για το πώς μπορούν να βελτιστοποιηθούν τα σχέδια του πηνίου. Αν τοποθετήσουμε ορισμένη ποσότητα φερρίτη για τον έλεγχο των μαγνητικών πεδίων και αν παρέχουμε περισσότερη θωράκιση στο κάτω μέρος του οχήματος, την οποία την έχει σε κάποιο βαθμό ήδη, μπορεί να είναι ασφαλές και δυνατό να ελεγχθεί το πεδίο, καθώς και να μεταφέρουμε την ενέργεια, αλλά αυτό μπορεί να έχει υψηλό κόστος.
4. Τέλος η τελευταία πρόκληση αφορά την απόδοση. Είναι σημαντικό να εξεταστεί αν η ενέργεια που θα παρέχεται στο οδόστρωμα θα είναι AC (εναλλασσόμενου ρεύματος) ή DC (συνεχούς ρεύματος). Η μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος από το δίκτυο σε συνεχές ρεύμα όπου απαιτείται από τις μπαταρίες μειώνει την απόδοση

## 9.5 Vehicle to grid (V2G)

Οι διάφορες εφαρμογές του «V2G» είναι τεράστιες και παρέχουν ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων για την αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας και την αποθήκευση της. Η λειτουργία «V2G» υπόσχεται την προστασία του περιβάλλοντος, το οποίο συνιστά μια καίρια ανησυχία. Όμως, κριτική ασκείται και όσον αφορά αυτό καθ' αυτό το σύστημα. Αυτή προέρχεται τόσο από τους καταναλωτές και χρήστες του, όσο και από τους κατασκευαστές και αφορά το υψηλό αρχικό κόστος, την έλλειψη κυβερνητικών επιδοτήσεων, καθώς και την αντίσταση στην αλλαγή των συνηθειών. Μερικοί άνθρωποι λαμβάνουν σαν δεδομένο την τωρινή κατάσταση και αγνοούν τις μελλοντικές προοπτικές του συστήματος V2G. Ωστόσο, τα καινούργια αποτελέσματα των ερευνών είναι ελπιδοφόρα, γεγονός που ενθαρρύνει την περαιτέρω έρευνα όσον αφορά αυτό το σύστημα. Λόγω, όμως, των οικονομικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει κάθε χώρα θα πρέπει να γίνουν κρίσιμες αλλαγές σε πολλούς τομείς προκειμένου να είναι αποδοτικό τόσο αυτό το σύστημα, όσο και το όχημα μέσα σε αυτό. Οι τομείς που χρειάζονται περαιτέρω αλλαγές είναι:

- **Το δίκτυο.** Το συμβατικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας δεν μπορεί να καλύψει αυτήν την λειτουργία, και ως εκ τούτου θα πρέπει να δημιουργηθούν αποδοτικότερες γραμμές.
- **Οι μπαταρίες.** Δεδομένου ότι μπαταρίες θα εκφορτίζονται στις περιόδους αιχμής και θα φορτίζονται σε περιόδους μη αιχμής, υπάρχει ένα τεράστιο πρόβλημα που αφορά τους κύκλους ζωής της μπαταρίας και ως εκ τούτου την διάρκεια ζωής τους. Οι μπαταρίες αποτελούν ένα από τα πιο ακριβά μέρη σε ένα ηλεκτρικό όχημα και δεδομένου ότι σε κάποιες περιπτώσεις δεν μπορούν να αντικατασταθούν, θα πρέπει να γίνει έρευνα για την δημιουργία αποδοτικότερων μπαταριών με περισσότερους κύκλους και μεγάλη διάρκεια ζωής. Τέλος, στους συσσωρευτές θα πρέπει να τοποθετηθούν συστήματα ανίχνευσης θερμοκρασίας, έτσι ώστε να μην υπάρχει επικίνδυνη άνοδος αυτής που θα έχει αντίκτυπο πάνω στη διάρκεια ζωής των μπαταριών.

- **Η υλοποίηση του λογισμικού.** Θα πρέπει να σχεδιαστεί και ένα λογισμικό με το οποίο θα επιτρέπεται η επικοινωνία μεταξύ του δικτύου και του οχήματος, ενώ παράλληλα θα λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την χρήση του οχήματος (χιλιόμετρα, διαδρομή, οικονομική οδήγηση, ώρες και μέρες χρήσης του οχήματος) προκειμένου να αποφευχθούν σφάλματα, τα οποία έχουν αρνητικό αντίκτυπο στον κάτοχο του ηλεκτρικού οχήματος. Παραδείγματος χάριν, τους καλοκαιρινούς μήνες οι περίοδοι αιχμής είναι συνήθως οι μεσημεριανές ώρες, όπου απαιτείται η κατανάλωση αυξημένου όγκου ηλεκτρικού ρεύματος για την ψύξη των χώρων για την ανακούφιση από τη ζέστη, με αποτέλεσμα η υπολειπόμενη αποθηκευμένη ενέργεια στο όχημα να μην, ενδεχομένως, επαρκεί για την κάλυψη ακόμα και απλών και σύντομων μετακινήσεων του χρήστη του οχήματος. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα, λόγω χάρη, την απόλυση του εργαζομένου (χρήστη του οχήματος) από την εργασία του, λόγω του ότι δεν έφτασε έγκαιρα στον χώρο αυτής κατά την μεσημεριανή του βάρδια, αφού η αποθηκευμένη ενέργεια χρησιμοποιήθηκε στην περίοδο αιχμής.

### 9.5.1 Vehicle to home (V2H)

Με λειτουργία «V2H», ουσιαστικά, δημιουργείται ένα μικροδίκτυο για την παροχή εφεδρικού ρεύματος στο σπίτι και όχι σε όλο το δίκτυο. Σαν μελλοντική ιδέα προτάσσεται η χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων. Στα σπίτια στα οποία υπάρχουν φωτοβολταϊκά στοιχεία, τόσο η χρήση αυτών, όσο και η χρήση του ηλεκτρικού οχήματος έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενός εκτός δικτύου μικροδικτύου, το οποίο μπορεί να παρέχει επαρκή εφεδρική ισχύ για περίπου 19 έως 600 ώρες, ανάλογα με την εποχή και το έτος. Έτσι το σύστημα στο οποίο συνεργάζονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και τα ηλεκτρικά οχήματα θα παρέχει στο συμβατικό σπίτι ηλεκτρική ενέργεια σε περιόδους αιχμής, αλλά, όμως, θα πρέπει να δημιουργηθούν ειδικοί αλγόριθμοι, οι οποίοι θα είναι σε θέση να επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ του οχήματος και του συστήματος, ώστε να διασφαλίζεται επαρκής ενέργεια για την χρήση του οχήματος, όπως ισχύει και στο σύστημα «V2G», αλλά και για την αποτροπή αύξησης της θερμοκρασίας στους συσσωρευτές.

### 9.6 Ηλεκτρονικά ισχύος

Από το κεφάλαιο 8 διαφαίνεται ότι ο πολυπίπεδος μετατροπέας (MLI, Multi-Level Inverter), εμφανίζει ένα μεγάλο πλεονέκτημα, όταν χρησιμοποιείται σαν αντιστροφέας στα ηλεκτρικά οχήματα. Έχει πλεονεκτήματα, όπως οι μικρότερες ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (electromagnetic interference, EMI), ο καλύτερος έλεγχος όσον αφορά την διαχείριση της μπαταρίας και η καλύτερη κατανομή απωλειών της μπαταρίας. Εάν υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης μεγάλου πυκνωτή στην είσοδο της Η- γέφυρας, οι απώλειες μετάδοσης κίνησης μειώνονται στο ελάχιστο και μπορούν να είναι και χαμηλότερες από αυτές των δύο επιπέδων (TLI). Οι απώλειες του μετατροπέα μειώνονται για όλα τα σημεία λειτουργίας, ωστόσο ένα μεγάλο μειονέκτημα του MLI είναι ότι εάν δεν χρησιμοποιούνται πυκνωτές, οι απώλειες της μπαταρίας αυξάνονται ακόμα περισσότερο. Η μπαταρία εν συνεχεία θα παρέχει όλη την άεργο ισχύ και τις αρμονικές συνιστώσες που απαιτούνται από την μηχανή και παράγονται από τον αντιστροφέα. Σύμφωνα με τον Πίνακα 9.1.[88] διαφαίνεται ότι υπάρχουν πολύ λιγότερες απώλειες χρησιμοποιώντας έναν MLI σε σύγκριση με ένα TLI. Σύμφωνα με το NEDC (New European Driving Cycle), για τον

κύκλο οδήγησης, οι συσσωρευμένες απώλειες της μπαταρίας και του αντιστροφέα μειώνονται κατά 25%, εάν δεν χρησιμοποιούνται πυκνωτές. Από την άλλη πλευρά εάν η άεργος ισχύς και οι αρμονικές συνιστώσες παρέχονταν από τους πυκνωτές οι απώλειες θα μειώνονταν στο 72%. Η χρήση αυτών των πυκνωτών, όμως, θα ανέβαζε κατά πολύ το κόστος της όλης κατασκευής.

Πίνακας 9.1. Συσσωρευμένη απώλεια ενέργειας για τον μετατροπέα και την μπαταρία; NEDC: κύκλος οδήγησης, FTP-75: οδήγηση στην πόλη, HWFET: οδήγηση στον αυτοκινητόδρομο, SFTP US06: επιθετική οδήγηση

Κύκλος οδήγησης	TLI	MLI C=∞	MLI C=0mF	MLI C=3,6mF
NEDC	65 Wh	18 Wh	49 Wh	47 Wh
FTP75	106 Wh	29 Wh	68 Wh	64 Wh
HWFET	76 Wh	20 Wh	60 Wh	59 Wh
US06	134 Wh	55 Wh	168 Wh	161 Wh

### 9.6.1 Μελλοντικές εργασίες

- Εφόσον χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα TLI, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι MLI θα πρέπει να γίνει εκ νέου σχεδιασμός του συστήματος ψύξεως και της συσκευασίας που το περιβάλλει.
- Με την χρήση ενός MLI υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης πολλών επιπέδων τάσης. Για παράδειγμα ένα επίπεδο μπορεί να τροφοδοτήσει απευθείας ένα σύστημα τάσης 12V και ο MLI μπορεί να βεβαιωθεί ότι αυτό το επίπεδο είναι ισορροπημένο με τα υπόλοιπα επίπεδα. Έτσι τα οχήματα θα μπορούσαν να είναι πιο φθηνά, δεδομένου ότι αποφεύγεται η χρήση ενός μετατροπέα DC/DC. Η ανάγκη για γαλβανική απομόνωση θα μπορούσε από την άλλη πλευρά να είναι ένα πρόβλημα, το οποίο χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.

Χρήση MLI σε περισσότερα επίπεδα και βέλτιστη οδήγηση για τους διαφόρους κύκλους οδήγησης και μεγέθους του αυτοκινήτου

- Σε χαμηλές συχνότητες η μηχανή δεν μπορεί να λειτουργήσει με επιλεκτική αρμονική εξάλειψη, λόγω του ότι το ρεύμα του κινητήρα δεν είναι ημιτονοειδές. Απαιτείται έτσι επιπλέον έρευνα για το πότε είναι απαραίτητη η χρήση PWM. Παράλληλα, δεδομένου ότι τα MOSFET έχουν μικρότερες απώλειες μεταγωγής, η συνεχής χρήση του PWM θα ήταν ευεργετική, χωρίς την αύξηση των απωλειών σε μεγάλο βαθμό.
- Ο MLI έχει την δυνατότητα να ελέγχει από ποιο επίπεδο θα λαμβάνει την ενέργεια, με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο όπου οι απώλειες λαμβάνουν χώρα. Επιπροσθέτως, εάν ένας αντιστροφέας ή μια μπαταρία υπερθερμανθούν, ο MLI έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί το επίπεδο αυτό λιγότερο. Βέβαια απαιτείται περαιτέρω έρευνα πάνω σε

αυτόν τον τομέα, δηλαδή για το πως μπορεί να επιτευχθεί αυτός ο έλεγχος, η οποία μάλιστα θα έχει και ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

- Εάν ένας διακόπτης παρουσιάσει δυσλειτουργία στον MLI και ανιχνευτεί, ο μετατροπέας συνεχίζει να είναι λειτουργικός χωρίς την χρήση αυτού του επιπέδου, κάνοντας έτσι τον MLI ανεκτικό σε σφάλματα.
- Δεδομένου ότι ο MLI επιλέγει από ποιά ομάδα μπαταρίας θα πρέπει να λαμβάνεται η ενέργεια, θα μπορούσε να είναι επωφελής για την σύνθεση της αποθηκευμένης ενέργειας από τα διάφορα είδη μπαταριών ακόμα και από τους υπερπυκνωτές. Στον τομέα των αστικών μετακινήσεων η χρήση των υπερπυκνωτών θα μπορούσε να είναι επωφελής για την επιτάχυνση και την επιβράδυνση των οχημάτων, καθώς και να γίνεται χρήση των μπαταριών ως μέσου ενεργειακού εφοδιασμού, μειώνοντας έτσι τις απώλειες.

Η χρήση του MLI θα απαιτεί την έρευνα καθώς και την δημιουργία στοιχείων που να αποδεικνύουν την καταλληλότητα αυτού του αντιστροφέα έναντι του αντιστροφέα δύο επιπέδων, για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα.



- [1] [Online]:  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1>
- [2] [Online]:  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B5%CF%80%CE%B1%CF%86%CE%AE>
- [3] [Online]:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Engineering>,
- [4] [Online]:  
<http://www.articlesbase.com/outsourcing-articles/what-stages-are-involved-in-reverse-engineering-process-3576594.html>
- [5] [Online]  
<http://www.cim-team.com.br/modern-electrical-engineering-blog/cad-vs-cae-vs-cam-what-is-the-difference>
- [6] [Online]  
<http://www.haniotika-nea.gr/ilektriko-aftokinito/>
- [7] [Online]  
<http://www.conserve-energy-future.com/>
- [8] [Online]  
<http://avt.inel.gov/pdf/fsev/compare.pdf>
- [9] [Online]  
<http://www.autotriti.gr/magazine/posleitourgei.asp>
- [10] [Online]  
<https://shockingsolutions.wordpress.com/2009/05/28/hybrid-phev-hev-bev-what-does-it-all-mean/>
- [11] [Online]  
<http://www.caranddriver.gr/article.asp?catid=33045&subid=2&pubid=7352424>
- [12] [Online]  
<http://www.caranddriver.com/smart/fortwo-electric-drive>
- [13] [Online]  
<http://www.kia.com/us/en/vehicle/soul-ev/2016/features>

- [14] [Online]  
<http://www.caranddriver.com/kia/soul-ev>
- [15] [Online]  
<http://www.ford.com/cars/focus/trim/electric/>
- [16] [Online]  
<http://www.caranddriver.com/ford/focus-electric>
- [17] [Online]  
<https://tsportline.com/tesla-model-s-trim-levels-which-is-the-best-for-me/>
- [18] [Online]  
[http://www.mercedes-benz.co.uk/content/unitedkingdom/mpc/mpc\\_unitedkingdom\\_website/en/home\\_mpc/passengercars/home/new\\_cars/models/b-class/w242/fascination\\_/efficiency.html](http://www.mercedes-benz.co.uk/content/unitedkingdom/mpc/mpc_unitedkingdom_website/en/home_mpc/passengercars/home/new_cars/models/b-class/w242/fascination_/efficiency.html)
- [19] [Online]  
[http://www2.mercedes-benz.co.uk/content/unitedkingdom/mpc/mpc\\_unitedkingdom\\_website/en/home\\_mpc/passengercars/home/new\\_cars/models/b-class/w242/fascination\\_/performance.html](http://www2.mercedes-benz.co.uk/content/unitedkingdom/mpc/mpc_unitedkingdom_website/en/home_mpc/passengercars/home/new_cars/models/b-class/w242/fascination_/performance.html)
- [20] [Online]  
<http://evobsession.com/2016-byd-e6-getting-bigger-battery-more-range/>
- [21] [Online]  
<http://www.byd.com/la/auto/e6.html>
- [22] [Online]  
[http://bydeurope.com/downloads/eubs\\_specification/BYD\\_8\\_Meters\\_Electric\\_bus.pdf](http://bydeurope.com/downloads/eubs_specification/BYD_8_Meters_Electric_bus.pdf)
- [23] [Online]  
[http://bydeurope.com/downloads/eubs\\_specification/BYD\\_10\\_2\\_Meters\\_Electric\\_bus.pdf](http://bydeurope.com/downloads/eubs_specification/BYD_10_2_Meters_Electric_bus.pdf)
- [23] [Online]  
[http://bydeurope.com/downloads/eubs\\_specification/BYD\\_12\\_Meters\\_Electric\\_bus.pdf](http://bydeurope.com/downloads/eubs_specification/BYD_12_Meters_Electric_bus.pdf)
- [24] [Online]  
[http://bydeurope.com/downloads/eubs\\_specification/BYD\\_12\\_Meters\\_Electric\\_bus\\_RHD.pdf](http://bydeurope.com/downloads/eubs_specification/BYD_12_Meters_Electric_bus_RHD.pdf)
- [24] [Online]  
[http://bydeurope.com/downloads/eubs\\_specification/BYD\\_18\\_Meters\\_Electric\\_bus.pdf](http://bydeurope.com/downloads/eubs_specification/BYD_18_Meters_Electric_bus.pdf)
- [25] [Online]  
<http://www.env200.com/>



- [26] [Online]  
<http://www.nissan.co.uk/GB/en/vehicle/electric-vehicles/e-nv200/charging-and-battery/charging-nissan-e-nv200-and-battery.html>
- [27] [Online]  
[http://media.nissan.eu/content/dam/services/gb/brochure/Nissan\\_e-NV200\\_van\\_technical\\_specs.pdf](http://media.nissan.eu/content/dam/services/gb/brochure/Nissan_e-NV200_van_technical_specs.pdf)
- [28] [Online]  
<http://www.caranddriver.gr/article.asp?catid=33051&subid=2&pubid=7459613>
- [29] [Online]  
<http://www.volkswagen.co.uk/new/e-up-nf/which-model>
- [30] [Online]  
[http://www.autotriti.gr/data/news/preview\\_news/105478.asp](http://www.autotriti.gr/data/news/preview_news/105478.asp)
- [31] [Online]  
<http://www.renault.com.gr/electriccars/ZoeZE.html>
- [31] [Online]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Renault\\_Kangoo#Kangoo\\_Z.E.](https://en.wikipedia.org/wiki/Renault_Kangoo#Kangoo_Z.E.)
- [32] [Online]  
<http://www.renault.com.gr/electriccars/KangooZE.html>
- [33] [Online]  
<http://www.rare-earth-magnets.com/types-of-permanent-magnets>
- [34] [Online]  
<http://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-13/brushless-dc-motor/>
- [35] [Online]  
<http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/mar/an-introduction-to-brushless-dc-motor-control>
- [35] [Online]  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82\\_Hall](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82_Hall)
- [36] [Online]  
[http://www.ti.com/lscs/ti/apps/motor/permanent\\_magnet/overview.page](http://www.ti.com/lscs/ti/apps/motor/permanent_magnet/overview.page)
- [37] [Online]  
<http://www.mouser.com/pdfdocs/Selecting-Hall-Effect-for-DC-Brushless-Motors.pdf>
- [38] [Online]  
[http://www.atmel.com/images/atmel-2596-sensor-based-control-of-three-phase-brushless-dc-motors\\_application-note\\_avr443.pdf](http://www.atmel.com/images/atmel-2596-sensor-based-control-of-three-phase-brushless-dc-motors_application-note_avr443.pdf)

- [39] [Online]  
<http://www.metal.ntua.gr/uploads/4701/1180/chap7.pdf>
- [40] [Online]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Battery\\_charger](https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_charger)
- [41] [Online]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Battery\\_%28electricity%29#Capacity\\_and\\_discharge](https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_%28electricity%29#Capacity_and_discharge)
- [42] [Online]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Charge\\_cycle](https://en.wikipedia.org/wiki/Charge_cycle)
- [43] [Online]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_cycle\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_cycle_battery)
- [44] [Online]  
<http://www.houseofbatteries.com/glossary-i-26-l-en.html>
- [45] [Online]  
<http://electronicdesign.com/power/understanding-us-and-european-standards-electric-vehicle-charging>
- [46] [Online]  
<http://www.electriccarpledge.com/electric-vehicle-resources/electric-car-plug-types/>
- [47] [Online]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Type\\_2\\_connector](https://en.wikipedia.org/wiki/Type_2_connector)
- [48] [Online]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/IEC\\_62196](https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196)
- [49] [Online]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/IEC\\_62196#Type\\_3\\_.28EV\\_Plug\\_Alliance\\_connector.29.2C\\_Sceme](https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196#Type_3_.28EV_Plug_Alliance_connector.29.2C_Sceme)
- [50] [Online]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/IEC\\_62196](https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196)
- [51] [Online]  
<http://circuitor.com/en/training/electric-vehicle/types-of-connectors>
- [51] [Online]  
[http://www.emsd.gov.hk/filemanager/en/content\\_444/Charging\\_Facilities\\_Electric\\_Vehicles.pdf](http://www.emsd.gov.hk/filemanager/en/content_444/Charging_Facilities_Electric_Vehicles.pdf)
- [52] [Online]  
[http://www.miningbg.com/electric-vehicle-chargers\\_456\\_en458](http://www.miningbg.com/electric-vehicle-chargers_456_en458)
- [53] [Online]  
<https://www.zap-map.com/charge-points/basics/#connector>

- [54] [Online]  
<http://electriccarsreport.com/2015/12/nissan-and-enel-team-up-on-v2g-technology/>
- [55] [Online]  
[http://stefouloglou.blogspot.gr/2016/02/blog-post\\_4.html](http://stefouloglou.blogspot.gr/2016/02/blog-post_4.html)
- [56] [Online]  
<http://www.electricvehiclesnews.com/History/historyearlyIII.htm>
- [57] [Online]  
<http://www.sehna.gr/%CF%86%CF%8C%CF%81%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%B7-%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CE%BF%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%BC%CE%B9%CE%B1-%CE%BD%CE%AD%CE%B1/>
- [58] [Online]  
<http://www.power-technology.com/features/featurebreaking-ground-efficient-lithium-air-battery-demonstrator-unveiled-4809811/>
- [59] [Online]  
<http://www.jllrealviews.com/economy/charging-into-the-future-the-rise-of-electric-cars/>
- [60] [Online]  
<http://gizmodo.com/wireless-charging-for-electric-cars-is-nearly-useful-1769032403>
- [61] [Online]  
<http://driving.ca/tesla/auto-news/news/wireless-charging-roads-would-change-everything>
- [62] [Online]  
<http://www.ibtimes.co.uk/wireless-charging-electric-cars-they-drive-be-tested-england-1515047>
- [63] [Online]  
<https://chargedevs.com/features/utah-state-university-builds-a-dynamic-wireless-charging-test-track/>
- [64] K. A. Ingle, “Reverse Engineering”, McGraw-Hill, Inc.,1994
- [65] P. Samuelson, S. Scotchmer, “THE LAW & ECONOMICS OF REVERSE ENGINEERING”, *Yale Law Journal*, 2002
- [66] A. Kumar, P. Jain, P.M. Pathak, “REVERSE ENGINEERING IN PRODUCT MANUFACTURING: AN OVERVIEW”, DAAAM International Scientific Book, Ch. 39, pp 665-678, 2013
- [67] J. Grand, “Hardware Reverse Engineering: Access, Analyze, & Defeat”, Grand Idea Studio, Inc., 2013

- [68] S. Ghodke, M. Awati, “Rapid Product Development Reverse Engineering and Redesign”, Veermata Jijabai Technological Institute, Matunga, Mumbai- 400 019, [Online]: <https://www.scribd.com/doc/117472329/Reverse-Engineering>
- [69] V. Raja, K. J. Fernandes, “Reverse Engineering-An Industrial Perspective”, Springer, 2008
- [70] K.T. Chau, Z. Wang, “Overview of power electronic drives for electric vehicles”, *HAIT Journal of Science and Engineering B*, vol. 2, no. 5-6, pp. 737-761, 2005
- [71] D. Linden, T. B. Reddy “Handbook of batteries”, 2<sup>nd</sup> ed. McGraw-Hill, 1995
- [72] V. Goodship, A. Stevels, “Waste electrical and electronic equipment (WEEE) handbook ”, Woodhead Publishing Limited, 2012
- [73] S. Bakker, “Standardization of EV Recharging Infrastructures”, Activity 4.4 of the Interreg IVB project E-Mobility NSR, Delft, Dec. 2013
- [74] Σ. Μανιάς, “Ηλεκτρονικά ισχύος”, Εκδόσεις Συμμεών, Αθήνα, 2014
- [75] Π. Μαλατέστας, “ Ηλεκτρική κίνηση”, 4<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2015
- [76] Π. Μαλατέστας, “ Ηλεκτρικές μηχανές”, 2<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2013
- [77] Π. Β. Μαλατέστας, “Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2014
- [78] S. J. Chapman, “ Ηλεκτρικές Μηχανές”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2009
- [79] Δ. Καλλινίκου, “Πνευματική Ιδιοκτησία & Συγγενικά Δικαιώματα”, Εκδόσεις Π.Ν. Σάκκουλας, Αθήνα, 2008
- [80] B. Müller, G. Meyer, “Electric Vehicle Systems Architecture and Standardization Needs”, Reports of the PPP European Green Vehicles Initiative, Springer, 2015
- [81] M. Ehsani, Y. Gao, S. E. Gay, A. Emadi, “Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles”, CRC PRESS LLC, 2004
- [82] T. yiyun ,L. Can , C. Lin ,L. Lin “Research on Vehicle-to-grid Technology”, in Proc. *International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM)*, pp 1013 - 1016, 2011
- [83] J. G. Pinto, V. Monteiro, H. Gonçalves, B. Exposto, D. Pedrosa, C. Couto, and J. L. Afonso, “Bidirectional Battery Charger with Grid-to-Vehicle, Vehicle-to-Grid and Vehicle-to-Home Technologies”, in Proc. *39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, 2013
- [84] J. G. Pinto, V. Monteiro, H. Gonçalves, B. Exposto, D. Pedrosa, C. Couto, and J. L. Afonso, “Bidirectional Battery Charger with Grid-to-Vehicle, Vehicle-to-Grid and Vehicle-to-Home Technologies”, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 24, no. 3, pp. 128-136, Sep. 2013
- [85] P. Pani,A. R Athreya, A. Panday and H. Om Bansal“Integration of the Vehicle-to-Grid Technology”, in Proc. *International Conference on Energy Economics and Environment (ICEEE)*, 2015

- [86] J. Cody, Ö. Gö1, Z. Nedic, A. Nafalski, A. Mohtar, “REGENERATIVE BRAKING IN AN ELECTRIC VEHICLE”, *Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne*, vol. 81, pp.113-118, 2009
- [87] J. Huh, S. Lee, C. Park, C. Park, G.-Hyeoung Cho, C.-Taek Rim, “High Performance Inductive Power Transfer System with Narrow Rail Width for On-Line Electric Vehicles”, in Proc. *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, pp. 647 - 651, Sep. 2010
- [88] O.Josefsson, “ Energy Efficiency Comparison Between Two-level and Multilevel Inverters for Electric Vehicle Applications”, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Göteborg, Sweden, 2013
- [89] J. Shin, S. Shin, Y. Kim, S. Ahn, S. Lee, G. Jung, S.-Jeub Jeon, D.-Ho Cho, “Design and Implementation of Shaped Magnetic Resonance Based Wireless Power Transfer System for Roadway-Powered Moving Electric Vehicles”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.61, no. 3 , pp. 1179 – 1192, Mar. 2014