



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Ανάλυση λειτουργίας ηλεκτροκίνητου οχήματος, μέθοδοι φόρτισης και οι επιπτώσεις του στην σύγχρονη κοινωνία**



**Όνομα Φοιτητή: Δημήτριος Μαραγκός**  
**Αριθμός Μητρώου: 48345715**

**Επιβλέπων μέλος ΔΕΠ**  
**Ολυμπιάδα Συγγερίδου**  
**Λέκτορας**

**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

# **Analysis of electric vehicle operation, charging methods and its impact on modern society**



**Student:** Dimitrios Maragkos  
**Registration Number:** 48345715

**Supervisor**  
Olympiada Syngeridou  
**Lecturer**

**ATHENS-EGALEO, SEPTEMBER 2023**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

ΣΥΓΓΕΡΙΔΟΥ ΟΛΥΜΠΙΑΔΑ ΛΕΚΤΟΡΑΣ	ΚΑΡΑΪΣΑΣ ΠΕΤΡΟΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΚΑΛΚΑΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

**Copyright ©** Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

### **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ – ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΑΡΑΓΚΟΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου 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 τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

#### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΜΑΡΑΓΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ του ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ, με αριθμό μητρώου 48345715 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

**δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος/ουσας καθηγητή/ήτριας.»

Ο Δηλών  
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΑΡΑΓΚΟΣ



(Υπογραφή φοιτητή)

## Ευχαριστίες

«Θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην καθηγήτρια μου, κυρία Ολυμπιάδα Συγγερίδου που με καθοδήγησε από την επιλογή της διπλωματικής εργασίας, μέχρι και την ολοκλήρωση της. Υπήρξε συνεχώς δίπλα μου σε όλη αυτή την απαιτητική διαδικασία και την ευχαριστώ θερμά. Η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη στην οικογένεια μου, την οποία θέλω να ευχαριστήσω για την αμέριστη βοήθεια και στήριξη κατά την διάρκεια των σπουδών μου, παρά τις δυσκολίες που προέκυψαν. Ήταν, είναι και θα είναι το στήριγμα μου σε ότι κάνω στην ζωή.»

## Περίληψη

Είναι γεγονός πως η κλιματική αλλαγή, αποτελεί ένα εκ των σοβαρότερων θεμάτων που καλείται να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα. Μέρος του προβλήματος αυτού, αποτελεί η περιβαλλοντική ρύπανση που προκαλείται από τις μηχανές εσωτερικής καύσεως που χρησιμοποιούν τα συμβατικά οχήματα. Για τον λόγο αυτό, η αποστροφή προς την ηλεκτροκίνηση αποτελεί ένα σημαντικό βήμα, το οποίο θα οδηγήσει σε σταδιακή απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, αρά και σε πιο οικολογικές μετακινήσεις. Η συνεχής εξέλιξη των ηλεκτρικών κινητήρων, των συσσωρευτών και των ηλεκτρονικών διατάξεων με την πάροδο των ετών, έχει οδηγήσει στο σημείο, όπου η τεχνολογία των ηλεκτρικών οχημάτων σήμερα είναι ευρέως διαδεδομένη. Η παρούσα διπλωματική εργασία αναλύει την λειτουργία των οχημάτων, τις μεθόδους φόρτισης, αλλά και τον τρόπο διασύνδεσης τους με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, παρουσιάζονται μερικές από τις προτεινόμενες τοπολογίες ηλεκτρονικών ισχύος που αναφέρονται στην πιο πρόσφατη βιβλιογραφία, οι οποίες αφορούν την ενσύρματη φόρτιση τόσο για τις Grid-to-Vehicle (G2V) και Vehicle-to-Grid (V2G) λειτουργίες όσο και για την ασύρματη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Εξετάζεται επίσης, η συνεργασία μεταξύ έξυπνων δικτύων και ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε αυτά, με σκοπό την επίτευξη παραγωγής καθαρής ενέργειας και την υποστήριξη του δικτύου σε περιόδους υψηλής ζήτησης. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στις επιπτώσεις που έχουν τα ηλεκτρικά οχήματα στην σημερινή κοινωνία, αλλά και στον αντίκτυπο που έχουν στο περιβάλλον. Τέλος, παρουσιάζεται η προσομοίωση σύγχρονης μηχανής μόνιμων μαγνητών (PMSM), η οποία πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον Matlab/Simulink, καθώς και τα τελικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παρούσα εργασία.

## Λέξεις – κλειδιά

Ηλεκτρικό όχημα, Ηλεκτρικοί κινητήρες, Μέθοδοι φόρτισης, Κυκλώματα φόρτισης, Συσσωρευτές, Ανανεώσιμες πηγές ενεργείας, Ασύρματη φόρτιση, Έξυπνα δίκτυα, Ατμοσφαιρική ρύπανση, Κλιματική αλλαγή

## **Abstract**

It is a fact that climate change is one of the most serious issues that humanity is called upon to address. Part of this problem is the environmental pollution caused by the internal combustion engines used in conventional vehicles. For this reason, the shift towards electromobility is an important step that will lead to a gradual decoupling from fossil fuels and to greener transport. The continuous development of electric motors, batteries and electronic devices over the years has led to the point where electric vehicle technology is now widespread. This thesis analyses the operation of the vehicles, the charging methods and how they are connected to the electricity grid. Therefore, some of the proposed power electronics topologies reported in the most recent literature are presented, which are related to wired charging for both Grid-to-Vehicle (G2V) and Vehicle-to-Grid (V2G) modes and wireless charging of electric vehicles. The cooperation between smart grids and electric vehicles, as well as the integration of photovoltaic systems into them, is also being explored to achieve clean energy production and grid support during periods of high demand. In addition, reference is made to the impact of electric vehicles on today's society and their impact on the environment. Finally, the simulation of a synchronous permanent magnet synchronous machine (PMSM), which was carried out in the Matlab/Simulink environment, is presented, as well as the final conclusions drawn from this work.

## **Keywords**

Electric vehicle, Electric motors, Charging Methods, Charging Circuits, Batteries, Renewable energy sources, Wireless charging, Smart grids, Air pollution, Climate change

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	6
ABSTRACT .....	7
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ-ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....	10
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ .....	12
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	14
ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ .....	14
ΔΟΜΗ.....	14
ΚΕΦΆΛΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> .....	16
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	16
1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ .....	17
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	18
1.2.1 Ηλεκτρικό Όχημα.....	18
1.3 Η ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΟΙΝΩΝΙΑ .....	20
1.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ .....	23
1.4.1 Plug-in Electric Vehicles (PEVs).....	23
1.4.2 Hybrid Electric Vehicle (HEV) .....	27
1.4.3 Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV).....	29
1.5 ΈΞΥΓΙΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΆ ΟΧΗΜΑΤΑ .....	30
ΚΕΦΆΛΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> .....	32
2. ΑΝΆΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ .....	32
2.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ .....	32
2.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΒΑΘΜΙΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΣ ΤΡΟΧΟΥ .....	33
2.2.1 Βιομηχανικός αντιστροφέας ισχύος .....	33
2.2.2 Κιβώτιο ταχυτήτων .....	34
2.2.3 Σύστημα ψύξης.....	34
2.3 ΦΡΕΝΟ .....	35
2.4 ΑΝΆΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ .....	35
2.4.1 Σύγκριση Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM) και Brushless DC Motor (BLDC) .....	39
2.5 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΝΆΛΥΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ BRUSHLESS DC .....	42
2.5.1 Μαγνητική ανάλυση.....	42
2.6 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΗΧΑΝΗΣ BRUSHLESS DC.....	43
2.6.1 Έλεγχος Pulse Width Modulation (PWM) μέσα σε ζώνη υστέρησης .....	43
2.7 ΕΙΔΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ .....	47
2.8 ΑΝΆΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ .....	48
2.8.1 Εισαγωγή.....	48
2.9 ΕΠΪΠΕΔΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ .....	48
2.10 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ VEHICLE-TO-GRID (V2G).....	52
2.10.1 Τεχνολογία Grid-to-Vehicle (G2V).....	54
2.10.2 Τοπολογία μετατροπέων ισχύος για λειτουργία Vehicle-to-Grid (V2G).....	56
ΚΕΦΆΛΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> .....	58
3. ΑΝΆΛΥΣΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	58



3.1	ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ .....	58
3.1.1	Τύποι συσσωρευτών.....	58
3.1.2	Αποτίμηση λειτουργίας συσσωρευτή.....	62
3.2	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ .....	62
3.2.1	Βασικές αρχές της επαγωγικής μεταφοράς ισχύος (IPT) .....	64
3.2.2	Χωρητική αντιστάθμιση και περιγραφή βασικών τοπολογιών .....	67
3.2.3	Ασύρματη φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος σε ακινησία .....	70
3.2.4	Ασύρματη φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος κατά την κίνηση.....	71
3.3	ΑΜΦΙΔΡΟΜΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΉΞΥΠΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ .....	72
3.4	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	74
3.5	ΗΛΙΑΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ .....	76
3.6	ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ .....	77
<b>4.</b>	<b>ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>78</b>
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	78
4.2	ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ .....	78
4.3	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ .....	79
4.4	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ.....	80
4.5	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	81
	<b>ΚΕΦΆΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>.....</b>	<b>84</b>
<b>5.</b>	<b>ΠΡΟΣΟΜΟΪΩΣΗ PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MACHINE (PMSM) ΣΤΟ MATLAB/SIMULINK .....</b>	<b>84</b>
	<b>ΚΕΦΆΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>.....</b>	<b>87</b>
<b>6.</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΆΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΆΣΕΙΣ .....</b>	<b>87</b>
6.1	ΣΥΜΠΕΡΆΣΜΑΤΑ .....	87
6.2	ΠΡΟΤΆΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ.....	88
<b>7.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΪΑ.....</b>	<b>89</b>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	23
Πίνακας 2 Επίπεδα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.....	50

## Κατάλογος Εικόνων-Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Tesla model S long range plus .....	17
Σχήμα 1.2 Tesla Supercharger with charging potential up to 150 KW .....	18
Σχήμα 1.3 Ο Ρόμπερτ Άντερσον πάνω στην ηλεκτρική άμαξα .....	18
Σχήμα 1.4 Παγκόσμιες πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων.....	20
Σχήμα 1.5 Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών πάνελ. ....	22
Σχήμα 1.6 Σε σειρά διάταξη PHEV .....	25
Σχήμα 1.7 Παράλληλη διάταξη PHEV .....	26
Σχήμα 1.8 Σειρά-Παράλληλη διάταξη PHEV .....	26
Σχήμα 1.9 (α) Διάταξη Micro Hybrid (b) Διάταξη Mild Hybrid .....	28
Σχήμα 2.1 Δυναμική του οχήματος .....	32
Σχήμα 2.2 Βαθμίδες εξαρτημάτων ηλεκτρικού οχήματος.....	33
Σχήμα 2.3 Βιομηχανικός αντιστροφέας ισχύος .....	33
Σχήμα 2.4 Μειωτής στροφών.....	34
Σχήμα 2.5 Σύστημα ψύξης .....	34
Σχήμα 2.6 Φρένο.....	35
Σχήμα 2.7 Παραμετρικός σχεδιασμός μηχανής μόνιμων μαγνητών .....	36
Σχήμα 2.8 Ηλεκτρικός Κινητήρας Αυτοκινήτου της AM Racing κατασκευής μόνιμου μαγνήτη .....	36
Σχήμα 2.9 Φασικό ρεύμα και ροπή στον BLDC .....	40
Σχήμα 2.10 Κυκλωματικό διάγραμμα.....	41
Σχήμα 2.11 Σχηματικό διάγραμμα αισθητήρα Hall.....	41
Σχήμα 2.12 Κύκλωμα μαγνητών Brushless DC [2] .....	43
Σχήμα 2.13 Διάγραμμα ελέγχου Brushless DC με ζώνη υστέρησης PWM .....	44
Σχήμα 2.14 Κυματομορφή ρεύματος Brushless DC και αισθητήρες Hall [20].....	45
Σχήμα 2.15 Τάση και ταχύτητα κατά την επιτάχυνση .....	46
Σχήμα 2.16 (α) Φορτιστής επιπέδου AC 2 (β) Φορτιστής επιπέδου AC 1 .....	51
Σχήμα 2.17 (α) Combined Charging System 1 (CCS 1) (β) CHAdeMO .....	52
Σχήμα 2.18 Ροή ισχύος σε ένα σύστημα V2G .....	54
Σχήμα 2.19 Τοπολογία αμφίδρομης μεταφοράς ενέργειας για λειτουργία V2G .....	57
Σχήμα 3.1 Η μορφή ενός κελιού και τα κύρια τμήματα που συνθέτουν τον συσσωρευτή .....	58
Σχήμα 3.2 Τομή συσσωρευτή μολύβδου για αυτοκίνητο .....	59
Σχήμα 3.3 Βασική δομή ασύρματης φόρτισης σε PEV[8].....	63
Σχήμα 3.4 Δομικό διάγραμμα ενός συστήματος μεταφοράς ισχύος [13] .....	64
Σχήμα 3.5 Μεταφορά ισχύος αντισταθμιστή μέσω συζευγμένων πηνίων .....	65
Σχήμα 3.6 Ισοδύναμο κύκλωμα συζευγμένων πηνίων .....	66
Σχήμα 3.7 Βασικές τοπολογίες χωρητικής αντιστάθμισης α) Σειράς-Σειράς (SS), β) Σειράς-Παράλληλα (SP), γ) Παράλληλα-Σειράς (PS), δ) Παράλληλα-Παράλληλα (PP) [13].....	68
Σχήμα 3.8 WPTS για φόρτιση σε ακινησία ενός EV [12] .....	71
Σχήμα 3.9 Sliding transformer [20] .....	72

Σχήμα 3.10 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης μεταξύ έξυπνου δικτύου και ηλεκτρικού οχήματος .....	74
Σχήμα 3.11 Ηλιακό αυτοκίνητο Artera.....	76
Σχήμα 4.1 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για διαφορετικές πηγές ενέργειας.....	80
Σχήμα 4.2 Σταθμός φόρτισης βασισμένος σε ηλιακά πάνελ.....	82
Σχήμα 5.1 Κύκλωμα στο Matlab/Simulink .....	84
Σχήμα 5.2 Ηλεκτρομαγνητική ροπή.....	85
Σχήμα 5.3 Ταχύτητα δρομέα .....	85
Σχήμα 5.4 Γωνία στροφής δρομέα .....	86
Σχήμα 5.5 Μεταβολή της ταχύτητας .....	86

## Ευρετήριο Συντομογραφιών

<b>M.E.K</b>	Μηχανή Εσωτερικής Καύσης
<b>A.Π.Ε</b>	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
<b>H.A</b>	Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο
<b>E.P</b>	Εναλλασσόμενο Ρεύμα
<b>Σ.P</b>	Συνεχές Ρεύμα
<b>HEΔ</b>	Ηλεκτρεγερτική Δύναμη
<b>A.C</b>	Alternative Current
<b>AFE</b>	Active Front End
<b>BLDC</b>	Brushless DC
<b>CET</b>	Contactless Energy Transfer
<b>D.C</b>	Direct Current
<b>E.V.</b>	Electric Vehicle
<b>HEVs</b>	Hybrid Electric Vehicles
<b>IPT</b>	Induction Power Transfer
<b>PEVs</b>	Plug-in Electric Vehicles
<b>PHEVs</b>	Plug-in Hybrid Electric Vehicles
<b>BEVs</b>	Battery Electric Vehicles
<b>ESS</b>	Energy Storage System
<b>FCEVs</b>	Fuel Cell Electric Vehicles
<b>G2V</b>	Grid to Vehicle
<b>V2G</b>	Vehicle to grid
<b>ICE</b>	Internal Combustion Engine
<b>PFC</b>	Power Factor Correction
<b>AI</b>	Artificial Intelligence
<b>PMSM</b>	Permanent Magnet Synchronous Machine
<b>RES</b>	Renewable Energy Sources
<b>SBD</b>	Schottky Barrier Diode
<b>V2H</b>	Vehicle to Home
<b>V2V</b>	Vehicle to Vehicle
<b>SRM</b>	Switched Reluctance Machine

**WSN**

Wireless Sensor Network

**WPTS**

Wireless Power Transfer System

## Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, αναλύει τις βασικές πτυχές λειτουργίας ενός ηλεκτρικού οχήματος. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται στις μεθόδους φόρτισης, καθώς και στο σχεδιασμό του μικροδικτύου του, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στη τροφοδοσία και τον έλεγχο του κινητήρα. Αναφορικά με τις ολοένα αυξανόμενες εξελίξεις στην τεχνολογία του internet και την επικοινωνία διαφόρων συσκευών μεταξύ τους, η παρούσα διπλωματική θα αναφερθεί στην επικοινωνία δικτύου-ηλεκτρικού οχήματος, με σκοπό την έξυπνη φόρτιση. Ένα αναπόσπαστο κομμάτι της εργασίας αποτελούν επίσης, οι επιπτώσεις του ηλεκτρικού οχήματος τόσο περιβαλλοντικά όσο και κοινωνικά. Τέλος, παρουσιάζεται προσομοίωση στο περιβάλλον λογισμικού Matlab/Simulink με σκοπό τη ρεαλιστικότητα του θεωρητικού υποβάθρου.

## Σκοπός και στόχοι

Τα ερωτήματα που καλείται να απαντήσει η εργασία αφορούν: τις μεθόδους φόρτισης των συσσωρευτών του ηλεκτρικού οχήματος (π.χ. επίπεδα τάσης και ισχύος). Επιπρόσθετα, η λειτουργία και ο έλεγχος κινητήρων που χρησιμοποιούνται σε σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα (π.χ. Permanent Magnets Synchronous Machines - PMSM) θα αναλυθούν στην παρούσα εργασία. Τέλος, συμπέρασμα σχετικά με το αν ωφελεί την κοινωνία η εισαγωγή ηλεκτρικών οχημάτων θα εξαχθεί.

## Δομή

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται με την εξής δομή: Αρχικά, στο **κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>** γίνεται εισαγωγή στο θέμα της εργασίας και παρουσιάζονται οι τεχνολογίες των ηλεκτρικών οχημάτων. Στο **κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>** γίνεται ανάπτυξη της λειτουργίας ηλεκτρικού οχήματος με σύστημα εντός τροχού, περιγράφοντας τη βασική δομή του και ύστερα αναλύονται ορισμένα είδη ηλεκτρικών κινητήρων. Επίσης, στο τέλος του 2<sup>ου</sup> κεφαλαίου γίνεται εισαγωγή στις μεθόδους φόρτισης και πιο συγκεκριμένα γίνεται παρουσίαση του σχήματος ενσύρματης φόρτισης. Στη συνέχεια, στο **κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>** παρουσιάζονται οι συσσωρευτές που αποτελούν ένα βασικό μέρος του ηλεκτρικού οχήματος, καθώς και μια ανάλυση της ασύρματης φόρτισης, συνδυάζοντας την διείσδυση των ΑΠΕ. Στο **κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>** περιγράφονται οι επιπτώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων στην σύγχρονη κοινωνία. Επιπρόσθετα, στο **κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>** παρουσιάζεται και αναλύεται η

προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον Matlab/Simulink. Συνοψίζοντας, στο **κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>** δίνονται τα τελικά συμπεράσματα της εργασίας και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

### 1. Εισαγωγή

Η μεγάλη ανάπτυξη που γνώρισε η αυτοκινητοβιομηχανία από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και ύστερα, είχε ως αποτέλεσμα την ραγδαία παραγωγή, αλλά και την συνεχή βελτίωση των μηχανών εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ). Η ανάπτυξη αυτή βοήθησε σημαντικά στην πρόοδο της κοινωνίας, καθώς συνέβαλε στην αντιμετώπιση προβλημάτων και στην εκπλήρωση των καθημερινών αναγκών, που παρουσιάζονταν με την πάροδο των χρόνων. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη εξέλιξη οδήγησε και σε μερικά σημαντικά προβλήματα. Ένα από τα σημαντικότερα θέματα, που προέκυψαν από την συνεχή παραγωγή και λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης των οχημάτων, ήταν αυτό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος, σε συνδυασμό με την ταχεία μείωση των αποθεμάτων ορυκτών πόρων, ήταν μερικοί από τους λόγους που οδήγησαν στην αναζήτηση λύσεων, με σκοπό τον μελλοντικό περιορισμό των προβλημάτων αυτών.

Ως αποτέλεσμα όλων των παραπάνω, τα τελευταία χρόνια υπάρχει τεράστια πρόοδος στον χώρο των μεταφορών παγκοσμίως. Οι νέες καινοτόμες τεχνολογίες συσσωρευτών, ηλεκτρικών κινητήρων, αλλά και ηλεκτρονικών ισχύος, έχουν οδηγήσει στην ραγδαία παραγωγή, εξέλιξη και βελτίωση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Κατά συνέπεια, τα ηλεκτρικά οχήματα εισέρχονται πλέον στην ανθρώπινη καθημερινότητα, φιλοδοξώντας να αντικαταστήσουν τα συμβατικά μέσα μεταφοράς. Από την άλλη πλευρά, η ταχύτατη εισαγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά, έχει οδηγήσει σε μια σειρά από προβλήματα, τα όποια χρήζουν άμεσης έρευνας και επίλυσης. Για παράδειγμα, το δίκτυο φορτιστών δεν είναι τόσο διευρυμένο και η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων πολλές φορές μπορεί να μοιάζει αργή, σε σχέση με τον ανεφοδιασμό ενός συμβατικού αυτοκινήτου. Επιπλέον, μεγάλη πρόκληση αποτελεί ο τρόπος που θα καταφέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα, να ενσωματωθούν στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα ηλεκτρικής ενεργείας, χωρίς να υπάρξουν προβλήματα στην ομαλή λειτουργία τους. Τέλος, σημαντικό ζήτημα αποτελεί η παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων και συσσωρευτών, σχετικά με τους ρύπους που παράγονται και τον βαθμό που αυτό επηρεάζει περιβαλλοντικά. Όλα αυτά τα θέματα, καθώς και τις επιπτώσεις που θα επακολουθήσουν, καλείτε να αντιμετωπίσει η επιστημονική κοινότητα, αλλά κατά κύριο λόγο η ίδια η κοινωνία, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η μετάβαση από τα συμβατικά μέσα μεταφοράς στην σύγχρονη εξηλεκτρισμένη τους μορφή.



## 1.1 Ορισμοί

- **Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο**
- **Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου**

**Ηλεκτρικό αυτοκίνητο (Electric Vehicle)** ονομάζεται το αυτοκίνητο, που χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια η οποία αποθηκεύεται σε επαναφορτιζόμενες συστοιχίες συσσωρευτών, με σκοπό να επιτύχει κίνηση. Τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα, διαθέτουν ηλεκτρικούς κινητήρες οι όποιοι τα προωθούν μέσω της αποθηκευμένης ενέργειας των συσσωρευτών, σε αντίθεση με τα συμβατικά αυτοκίνητα τα οποία χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ), οι οποίες τροφοδοτούνται με το ανάλογο καύσιμο με σκοπό να επιτύχουν κίνηση.



Σχήμα 1.1 Tesla model S long range plus

**Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού αυτοκινήτου (EV charging station)** είναι μια μηχανή που παρέχει ηλεκτρική ενέργεια, για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων που συνδέονται σε αυτή. Ο σταθμός φόρτισης αποτελεί σημείο, όπου συνδέονται ηλεκτρικά οχήματα ενσύρματα με σκοπό την φόρτιση των συσσωρευτών τους. Οι σταθμοί φόρτισης παρέχουν ηλεκτρικούς αγωγούς για διάφορα είδη φορτίσεων και προδιαγραφών. Μπορεί οι σταθμοί αυτοί να είναι είτε δημόσιοι είτε ιδιωτικοί. Δημόσιοι σταθμοί φόρτισης είναι διαθέσιμοι σε σημεία, όπως δημόσιοι κεντρικοί δρόμοι, δημόσια παρκινγκ, εμπορικά κέντρα κ.α. Εν αντιθέσει, ιδιωτικοί σταθμοί μπορούν να βρεθούν σε κατοικίες, παρκινγκ εταιριών, καθώς και σε ιδιωτικά παρκινγκ στάθμευσης.



Σχήμα 1.2 Tesla Supercharger with charging potential up to 150 KW

## 1.2 Ιστορική αναδρομή

### 1.2.1 Ηλεκτρικό Όχημα

Η εφεύρεση του πρώτου ηλεκτρικού οχήματος, είναι αρκετά δύσκολο να εντοπιστεί ιστορικά και να αποδοθεί σε έναν συγκεκριμένο εφευρέτη. Στην πραγματικότητα, είναι μία σειρά ανακαλύψεων από ηλεκτρικούς συσσωρευτές, ηλεκτρικούς κινητήρες και διάφορα άλλα στοιχεία. Όλες αυτές οι ανακαλύψεις-εφευρέσεις-βελτιώσεις, οδήγησαν στο πρώτο ηλεκτρικό όχημα που γνώρισε ο κόσμος. Το πρώτο ηλεκτρικό όχημα σύμφωνα με ιστορικές πηγές, ήταν μια άμαξα. Κατασκευάστηκε γύρω στο 1832, στο Ηνωμένο βασίλειο από τον Robert Anderson, ο οποίος ήταν σκωτσέζος ερευνητής του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η ηλεκτρική άμαξα του Anderson απαρτιζόταν από συσσωρευτές, οι οποίοι είχαν μη επαναφορτιζόμενα κελιά. Αυτό πρακτικά σήμαινε, ότι η άμαξα μπορούσε να διανύσει συγκεκριμένη απόσταση, έως ότου οι συσσωρευτές εκφορτιστούν εντελώς.



Σχήμα 1.3 Ο Ρόμπερτ Άντερσον πάνω στην ηλεκτρική άμαξα

Μερικά χρόνια αργότερα και συγκεκριμένα το 1859, ο γάλλος φυσικός Gaston Plante φθάνει στην ανακάλυψη του πρώτου στοιχείου μολύβδου οξέως. Η ανακάλυψη αυτή ήταν σπουδαία, διότι το στοιχείο αυτό μπορούσε να επαναφορτιστεί. Μέχρι τότε τα στοιχεία των συσσωρευτών που υπήρχαν διαθέσιμα ήταν μη επαναφορτιζόμενα. Συνεπώς, ένα κύριο πρόβλημα της ηλεκτροκίνησης, αυτό της επαναφόρτισης συσσωρευτών, θα έφτανε στο τέλος του.

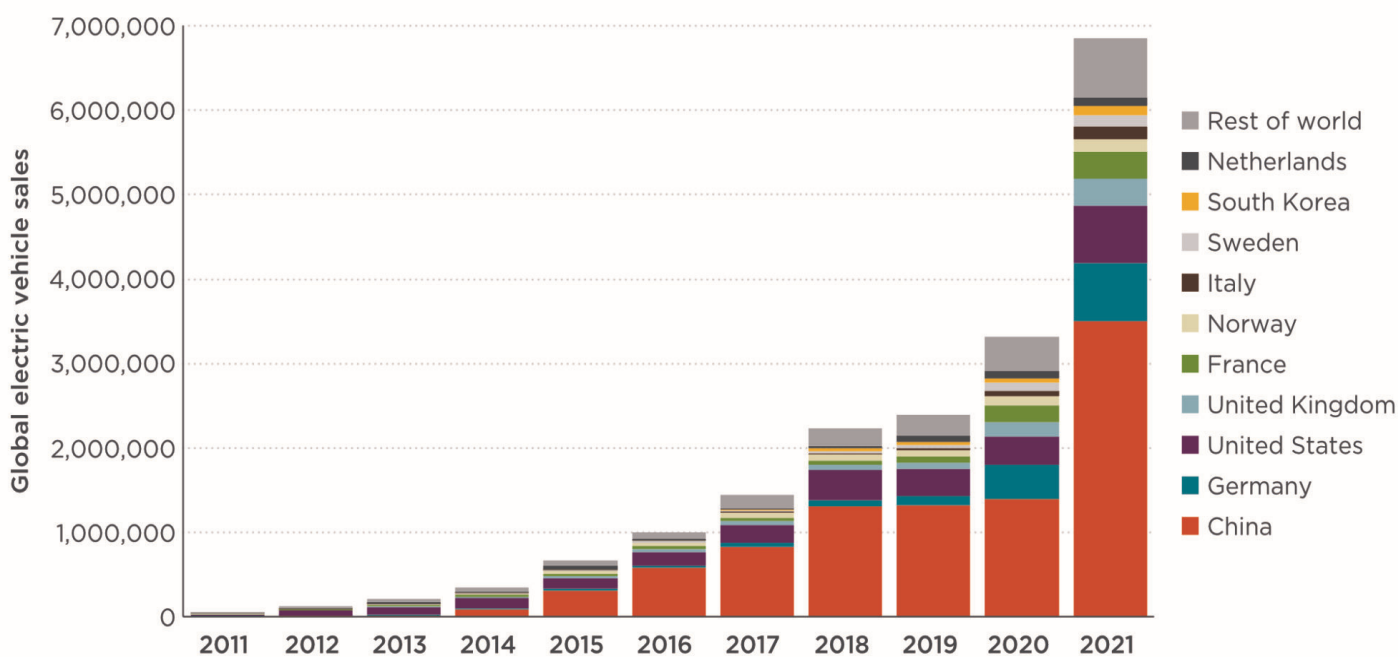
Το 1881 η γαλλίδα χημικός μηχανικός Camille Faure θα βελτιώσει την ικανότητα του συσσωρευτή μολύβδου οξέως του Plante, ως προς την παροχή ρεύματος – χωρητικότητα. Είναι η χρονιά που οι βελτιώσεις αυτές, καθώς και η ανάπτυξη του συσσωρευτή, θα οδηγήσουν στην καθιέρωση του στα μελλοντικά οχήματα. Από το σημείο αυτό, θα αρχίσουν να μελετώνται όλο και περισσότερο τα στοιχεία των συσσωρευτών από διάφορους ερευνητές με σκοπό την συνεχή βελτίωση τους, ως προς την απόδοση, την αξιοπιστία και την ασφάλεια. Βρίσκοντας λύση για το πρόβλημα της επαναφόρτισης συσσωρευτών, το μέλλον των ηλεκτρικών οχημάτων θα αρχίσει να γίνεται όλο ένα και πιο λαμπρό με το πέρασμα του χρόνου.

Σαν επακόλουθο όλων των προηγουμένων, το πρώτο λειτουργικό μοντέλο ηλεκτρικού οχήματος θα δημιουργηθεί στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Το μοντέλο αυτό δημιουργεί, ο William Morrison ένας σκωτσέζος χημικός από την Αϊόβα των Ηνωμένων Πολιτειών περί το 1890. Ο Morrison σε συνεργασία με τον Dr.Lew Arntz, ο οποίος ήταν μηχανολόγος μηχανικός κατάφερε να φτιάξει το πρωτότυπο της ηλεκτρικής άμαξας το 1887. Μεταξύ 1888 και 1890, ο Morrison σχεδιάζει μία δεύτερη έκδοση της ηλεκτρικής άμαξας. Η δεύτερη έκδοση είχε ορισμένες βελτιώσεις στον ηλεκτρικό κινητήρα, στην αμαξοστοιχία γραναζιών, στους συσσωρευτές, καθώς και στο σύστημα διεύθυνσης.

Ύστερα από αυτές τις μετατροπές, η άμαξα του Morrison έγινε πρακτική και συνεπώς χρήσιμη. Από το σημείο αυτό, έγινε γνωστή ως το πρώτο λειτουργικό ηλεκτροκίνητο όχημα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Η δημιουργία αυτή του Morrison, θα αποτελέσει σταθμό αναφοράς για την επερχόμενη εξέλιξη και ανάπτυξη, που θα επακολουθήσει στα ηλεκτρικά οχήματα ανά τον κόσμο.

### 1.3 Η εισαγωγή της ηλεκτροκίνησης στην σημερινή κοινωνία

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που προκαλούν οι κινητήρες εσωτερικής καύσης, μαζί με την τεχνολογική πρόοδο στον τομέα των σύγχρονων μπαταριών, καθώς και η εξάρτηση της κοινωνίας από τα ορυκτά καύσιμα [1], έχουν ενισχύσει το ενδιαφέρον για την ηλεκτροκίνηση σε παγκόσμιο επίπεδο. Η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων, συνδυαστικά με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μπορεί να έχει σημαντική συνεισφορά στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αντικατάστασης των παραδοσιακών συμβατικών κινητήρων που χρησιμοποιούνται στα σημερινά οχήματα με ηλεκτροκινητήρες, καθώς και μέσω της χρήσης ΑΠΕ για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η συνεχής ανάπτυξη των μέσων μεταφοράς έχει επηρεάσει τόσο την κοινωνία, όσο και τη βιομηχανία, καθώς τα οχήματα αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής κινητικότητας [2]. Με το πέρασμα των ετών, η τεχνολογία των ηλεκτρικών αυτοκίνητων εξελίσσεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος και να αυξάνεται η ζήτηση. Συνεπώς, όλα τα παραπάνω έχουν οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση της αγοράς ηλεκτροκίνητων οχημάτων παγκοσμίως, όπως είναι εμφανές και στο Σχήμα 1.4. Το σχήμα αυτό παρουσιάζει την πρόοδο πωλήσεων από το έτος 2011 έως το έτος 2021. Οι πωλήσεις όπως μπορούμε να διακρίνουμε έφθασαν σε ένα ύψος 6,9 εκατομμυρίων για το έτος 2021, γεγονός το οποίο σημαίνει, ότι υπήρξε αύξηση 107 % σε σχέση με τις ανάλογες πωλήσεις του έτους 2020.



Σχήμα 1.4 Παγκόσμιες πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων

Τα ηλεκτρικά οχήματα παρουσιάζουν πληθώρα πλεονεκτημάτων έναντι των συμβατικών, τα οποία αυξάνονται όσο η τεχνολογία τους βελτιώνεται. Ορισμένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αποτελούν [1]:

- Λειτουργία χωρίς εκπομπή περιβαλλοντικών ρύπων: Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν παράγουν εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά τη λειτουργία, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση του κλιματικού αποτυπώματος.
- Απεξάρτηση από τους ορυκτούς πόρους: Η ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την απεξάρτηση από τα καύσιμα και την αποστροφή προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.
- Χαμηλό κόστος συντήρησης: Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν πολύ λιγότερα μηχανικά μέρη από τα συμβατικά οχήματα, με αποτέλεσμα να μην χρειάζονται τακτικά service.
- Χαμηλό κόστος ανεφοδιασμού: Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας (KWh) είναι συνήθως φθηνότερη από την τιμή υγρών καυσίμων, άρα οι ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων εξοικονομούν σημαντικά χρηματικά ποσά.
- Σιωπηλή λειτουργία: Οι ηλεκτρικοί κινητήρες λειτουργούν σιωπηλά συγκριτικά με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης, συνεισφέροντας στην μείωση της ηχορύπανσης.
- Συνεισφορά στην ομαλή λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, μέσω της ρύθμισης τάσης και συχνότητας.

Παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα, η υιοθέτηση τους σε μεγάλη κλίμακα παραμένει περιορισμένη και αυτό οφείλεται στα εξής [2]:

- Περιορισμένη αυτονομία: Η σχετικά μικρή αυτονομία αποτελεί ένα εμπόδιο, καθώς οι μπαταρίες περιορίζουν την απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα όχημα πριν χρειαστεί να επαναφορτιστεί.

- Έλλειψη υποδομών φόρτισης: Ο αριθμός των σταθμών φόρτισης, ειδικά εκτός των αστικών περιοχών, παραμένει ανεπαρκής για να καλύψει τα αυτοκίνητα που αναμένεται να κυκλοφορούν στους δρόμους τα επόμενα έτη.
- Υψηλό κόστος αγοράς: Το κόστος απόκτησης ενός ηλεκτροκίνητου παραμένει σημαντικά μεγαλύτερο συγκριτικά με αυτό ενός συμβατικού αυτοκινήτου.
- Διάρκεια ζωής των μπαταριών: Οι μπαταρίες έχουν σχετικά μικρή διάρκεια ζωής γύρω στα 7-10 χρόνια.
- Διαδικασία φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος: Παρά την πρόοδο της τεχνολογίας, ακόμα απαιτείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για την φόρτιση, σε σχέση με τον ανεφοδιασμό ενός συμβατικού αυτοκινήτου.
- Δημιουργία ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά τη διαδικασία παραγωγής και φόρτισης: Τα εργοστάσια κατασκευής ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρισμού, εκλύουν σημαντικές ποσότητες ατμοσφαιρικών ρύπων, όταν δεν παράγουν την ενέργεια που χρειάζονται μέσω ΑΠΕ.

Επομένως, η φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκίνητων μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), αποτελεί την ιδανική περίπτωση από περιβαλλοντική και οικονομική άποψη. Αυτό συμβαίνει, διότι οι ΑΠΕ προσφέρουν καθαρή ενέργεια, χωρίς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ή άλλες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.



Σχήμα 1.5 Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών πάνελ.



## 1.4 Τεχνολογίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων

Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα μπορούν να κατανεμηθούν βάσει των χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν στις παρακάτω κατηγορίες:

- I. **Plug-in Electric Vehicles (PEVs)**
  - Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs)
  - Battery Electric Vehicles (BEVs)
- II. **Hybrid Electric Vehicles (HEVs)**
- III. **Fuel Cell Electric Vehicles (FCEVs)**

Πίνακας 1 Κατηγορίες Ηλεκτρικών Οχημάτων

Τύποι Ηλεκτρικών Οχημάτων	Plug-in Electric Vehicle (PEV)	Hybrid Electric Vehicle (HEV)	Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)
Σύστημα Κίνησης	Ηλεκτρικός Κινητήρας	Ηλεκτρικός Κινητήρας, Κινητήρας Εσωτερικής καύσης	Ηλεκτρικός Κινητήρας
Πηγή Ενέργειας	Συσσωρευτές, Υπερπυκνωτές	Συσσωρευτές, Κινητήρας Εσωτερικής καύσης, Υπερπυκνωτές	Κελιά Καυσίμου
Εξωτερικό Σύστημα Παροχής Ισχύος	Ηλεκτρική Ενέργεια, Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας	Ηλεκτρική Ενέργεια, Δίκτυο, Σταθμοί υγρών καυσίμων	Σταθμός παροχής υδρογόνου

### 1.4.1 Plug-in Electric Vehicles (PEVs)

#### 1.4.1.1 Battery Electric Vehicles (BEVs)

Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (Battery Electric Vehicles - BEVs) λειτουργούν αποκλειστικά με ηλεκτρικό σύστημα οδήγησης, καθώς η ενέργεια παρέχεται μόνο από τις ενσωματωμένες μπαταρίες. Αυτό επιφέρει μηδενικές εκπομπές καυσαερίων, καθώς η κίνηση

παρέχεται αποκλειστικά μέσω ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των BEVs είναι η δυνατότητα επαναφόρτισης των μπαταριών μέσω της αναγεννητικής πέδησης. Κατά τη λειτουργία αυτή, η ενέργεια του οχήματος που παράγεται από την κίνηση μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και χρησιμοποιείται για την επαναφόρτιση των μπαταριών που είναι ενσωματωμένες στο όχημα. Αυτό συμβάλλει στην αποδοτικότητα του συστήματος και στην αύξηση αυτονομίας του οχήματος. Επομένως, τα BEVs συνδυάζουν τη μηδενική εκπομπή καυσαερίων με την επαναφορτιζόμενη λειτουργία, προσφέροντας οικολογικά οφέλη και μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα. Όμως, η κύρια πηγή τροφοδοσίας τους είναι μια εξωτερική πηγή τροφοδότησης ενέργειας, κυρίως το ηλεκτρικό δίκτυο.

Αντιθέτως, οι περιορισμοί που αντιμετωπίζουν οι εγκατεστημένες μπαταρίες λόγω της σημερινής τεχνολογίας, καθιστούν τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία (BEVs) λιγότερο ελκυστικά σε σχέση με τα οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), όταν λαμβάνονται υπόψη οι ίδιες οικονομικές και οδηγικές απαιτήσεις. Επιπρόσθετα, οι μπαταρίες με μεγάλη πυκνότητα ισχύος και χαμηλή πυκνότητα ενέργειας έχουν μεγάλο χρόνο φόρτισης. Ακόμη και με την τεχνολογία ταχείας φόρτισης, μια πλήρης φόρτιση μπορεί να διαρκέσει από μία έως αρκετές ώρες. Επιπλέον, τα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο δεν παύουν να ισχύουν, όπως μεγάλο αρχικό κόστος, αυτοδυναμία ως προς την απόσταση οδήγησης, υποδομές φόρτισης κ.α. [3]

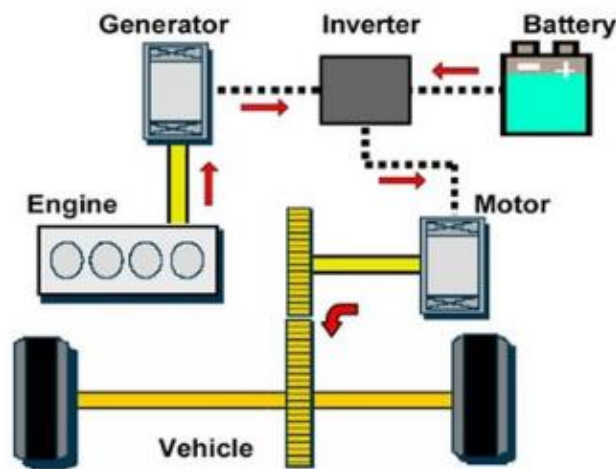
#### **1.4.1.2 Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs)**

Τα Plug-In Hybrid Electric Vehicles (PHEVs) συνδυάζουν τη χρήση των μπαταριών με μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Αυτά τα οχήματα μπορούν να λειτουργήσουν κυρίως με την ενέργεια που παρέχεται από τις μπαταρίες, οι οποίες επαναφορτίζονται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Ωστόσο, διαθέτουν και μηχανή εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ), η οποία χρησιμοποιείται για να φορτίσει τις μπαταρίες όταν η ενέργεια τους εξαντλείται ή όταν απαιτείται επιπλέον ισχύς, όπως κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης. Η παρουσία της ΜΕΚ προσφέρει επιπλέον ευελιξία και αυξημένη αυτονομία στα PHEVs.

Για τα PHEVs, υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι διατάξεων υβριδικών συστημάτων, ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης μεταξύ της ΜΕΚ και της ηλεκτρικής γεννήτριας. Αυτοί οι τύποι είναι, η διάταξη σε σειρά, η παράλληλη και η σειρά-παράλληλη. Στη διάταξη σε σειρά, η ενέργεια που παράγεται από την ΜΕΚ μεταφέρεται απευθείας στην ηλεκτρική γεννήτρια και την μπαταρία. Η μπαταρία χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της ενεργειακής ισορροπίας μεταξύ της ΜΕΚ και της

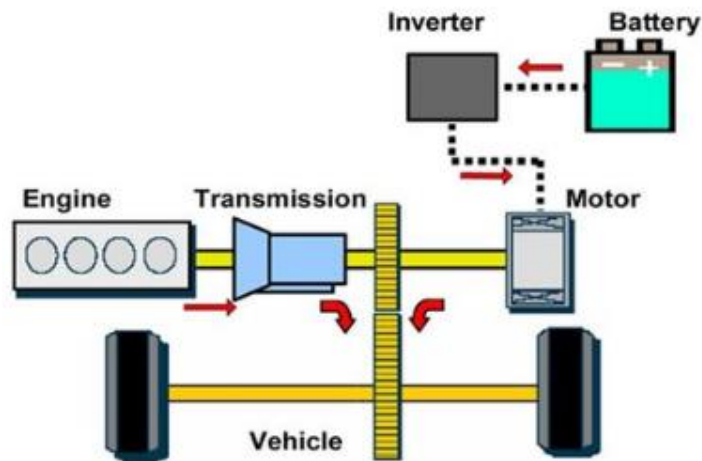


ηλεκτρικής γεννήτριας. Το μέγεθος της μπαταρίας είναι μεγάλο στα συγκεκριμένα οχήματα, έτσι ώστε να μπορέσει να καλύψει τις απαιτήσεις. Η συγκεκριμένη διάταξη είναι αρκετά αποτελεσματική κατά την διαδικασία εκκίνησης από στάση, όταν για παράδειγμα το όχημα είναι ακινητοποιημένο σε κάποιο φωτεινό σηματοδότη. Το όχημα σε αυτή την περίπτωση μπορεί να κάνει χρήση μόνο της μπαταρίας για την εκκίνηση του αυτοκίνητου και έτσι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου. Παρότι πρόκειται για μια απλή διάταξη, λόγω του αυξημένου μεγέθους της μπαταρίας αποτελεί μια σχετικά ακριβή λύση.



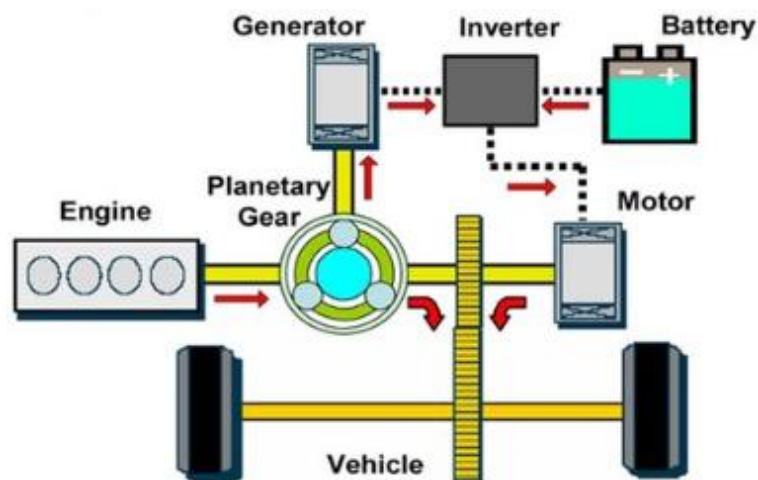
Σχήμα 1.6 Σε σειρά διάταξη PHEV

Όσον αφορά την παράλληλη διάταξη, υπάρχουν δύο συνδυασμοί συστημάτων οδήγησης: το συμβατικό με μηχανή εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) και το σύστημα με ηλεκτροκινητήρα. Το PHEV έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει είτε ανεξάρτητα με το ένα είτε με το άλλο σύστημα, είτε να συνδυάσει και τα δύο, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.7. Στην διάταξη αυτή συνήθίζεται η μπαταρία να έχει μικρότερο μέγεθος από αυτή της διάταξης σειράς. Όταν η στάθμη της μπαταρίας είναι χαμηλή, τα παράλληλης διάταξης υβριδικά οχήματα μπορούν να αξιοποιήσουν και ενέργεια από τον κινητήρα, ο οποίος λειτουργεί ως γεννήτρια, με σκοπό να παρέχει επιπρόσθετη φόρτιση στην μπαταρία. Σημαντικά πλεονεκτήματα της παράλληλης διάταξης είναι η απλή της δομή και το μικρό κόστος.



Σχήμα 1.7 Παράλληλη διάταξη PHEV

Η σειρά-παράλληλη διάταξη μπορεί να λειτουργήσει ταυτόχρονα με μηχανή εσωτερικής καύσης και με ηλεκτροκινητήρα, σε αντίθεση με τις άλλες δύο διατάξεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Αυτά τα δύο συστήματα λειτουργούν με ξεχωριστά μηχανικά μέρη. Επιπλέον, είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω ενός γριναζιού ή μιας δομής πλανητικού τροχού. Ως αποτέλεσμα, το PHEV μπορεί να ρυθμίσει αναλυτικά τη σχέση της ταχύτητας μεταξύ της ΜΕΚ και του ηλεκτροκινητήρα. Σε σύγκριση με το παράλληλο υβριδικό σύστημα, το συνδεδεμένο σε σειρά-παράλληλο υβριδικό σύστημα είναι πιο ευέλικτο όσον αφορά τη ρύθμιση της ισχύος εξόδου της ΜΕΚ και του ηλεκτροκινητήρα, ανάλογα με τις διάφορες συνθήκες λειτουργίας [3]. Αυτή η διάταξη έχει μεγάλο κόστος, διότι χρειάζεται μεγάλη μπαταρία, γεννήτρια, αλλά και αυξημένη υπολογιστική ισχύ, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος του συστήματος. Παρ' όλα αυτά, το σύστημα αυτό παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση και εξοικονόμηση καυσίμου από τα άλλα δυο που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Σχήμα 1.8 Σειρά-Παράλληλη διάταξη PHEV

#### 1.4.2 Hybrid Electric Vehicle (HEV)

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) αποτελούνται από δύο διαφορετικά συστήματα κίνησης: έναν εσωτερικής καύσης κινητήρα που λειτουργεί με βενζίνη και έναν ηλεκτρικό κινητήρα. Σε αντίθεση με τα οχήματα με εξωτερική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας (PEV), τα HEV δεν χρειάζονται ενέργεια από το δίκτυο για την φόρτιση τους, καθώς η ενέργειά αυτή προέρχεται εξ ολοκλήρου από την καύση βενζίνης και την αναγεννητική πέδηση [2]. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης χρησιμοποιείται, όταν το όχημα χρειάζεται περισσότερη ισχύ (μεγαλύτερη ταχύτητα) ή για να φορτίσει την μπαταρία.

Υπάρχουν τρεις επιπλέον τύποι υβριδικών οχημάτων πέρα από τα Plug-In Hybrid που αναφέρθηκαν παραπάνω, το Mild Hybrid, το Micro Hybrid και το Full Hybrid. Το mild hybrid αποτελείται από έναν ηλεκτροκινητήρα και μια μπαταρία, όμως κατά την διαδικασία της οδήγησης, αυτό που κάνει ο συγκεκριμένος ηλεκτρικός κινητήρας είναι να παρέχει μια προσωρινή ώθηση στον κινητήρα εσωτερικής καύσεως κατά την εκκίνηση του οχήματος. Τα Micro Hybrid διαθέτουν ένα αρκετά μικρό βαθμό υβριδικότητας, ο οποίος ανέρχεται γύρω στο 5%. Αυτό συμβαίνει διότι, ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί σαν μικρή γεννήτρια (τύπου μίζα), έτσι ώστε να βοηθά τη μηχανή να σβήνει πλήρως, όταν το όχημα βρίσκεται ακινητοποιημένο. Κατά την εκκίνηση και αφού ο οδηγός αφήσει το πόδι του από το φρένο, τότε ο ηλεκτρικός κινητήρας βοηθά, δίνοντας μικρή ώθηση στο αυτοκίνητο. Κατά την διάρκεια της κίνησης, ο ηλεκτρικός κινητήρας παύει να παρέχει ροπή και έτσι ο κινητήρας εσωτερικής καύσης έρχεται να αναλάβει την κίνηση του οχήματος. Αξίζει να αναφερθεί πως τα Micro hybrid παρουσιάζουν οικονομία καυσίμου τάξεως 5 – 10 % .

Από την άλλη, τα full hybrid ηλεκτρικά αυτοκίνητα κατά τις υψηλές ταχύτητες λειτουργούν όπως τα συμβατικά οχήματα με ΜΕΚ, ενώ κατά την διάρκεια που η ταχύτητα τους βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα, τότε λειτουργούν όπως τα ηλεκτρικά οχήματα. Σε ορισμένα full hybrid μοντέλα, ο ηλεκτρικός κινητήρας και η μηχανή εσωτερικής καύσης συνεργάζονται μεταξύ τους έτσι ώστε να αποδώσουν επιπλέον δύναμη στο όχημα. Αντίθετα, υπάρχει περίπτωση οι δυο αυτοί κινητήρες να δουλεύουν ανεξάρτητα ο ένας με τον άλλο και να παραδίδουν τον έλεγχο ο ένας στον άλλο.

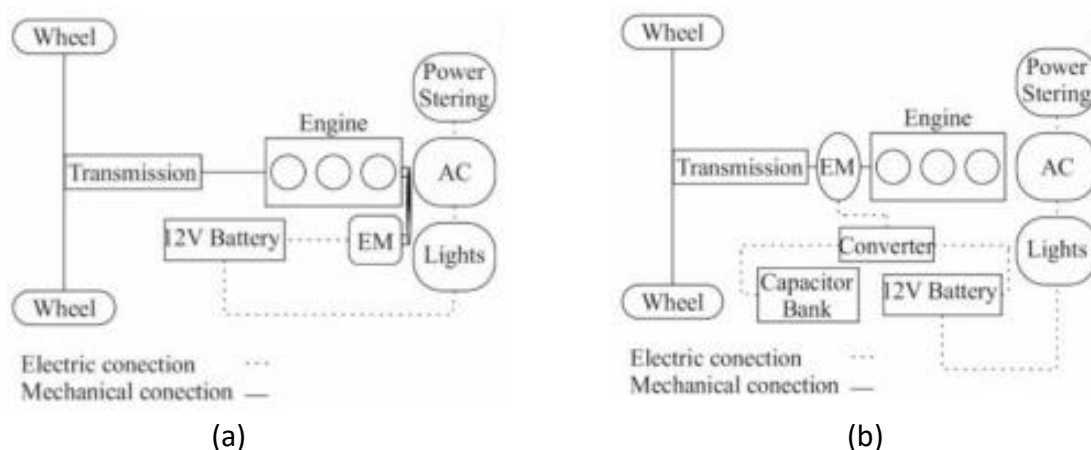
Οι κύριες διαφορές των υβριδικών οχημάτων (HEVs) από τα Plug-in υβριδικά (PHEVs) είναι οι εξής:

1. Σε ένα PHEV η ηλεκτρική μπαταρία αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας και όταν αυτή εξαντληθεί, τότε αναλαμβάνει ο κινητήρας εσωτερικής καύσης (ICE). Από την άλλη

πλευρά, σε ένα πλήρως υβριδικό η μπαταρία χρησιμοποιείται κυρίως για να δίνει μια περιορισμένη ισχύ στο οχήματα όταν αυτό κινείται με χαμηλές ταχύτητες.

2. Το μέγεθος αλλά και το κόστος της μπαταρίας στα PHEVs είναι μεγαλύτερα σε σχέση με τα HEVs.
3. Οι δυνατότητες φόρτισης μπαταρίας επίσης διαφέρουν, καθώς τα PHEVs μπορούν να ανακτήσουν ένα ποσοστό ενεργείας για την φόρτιση της μπαταρίας, μέσω της αναγεννητικής πέδησης. Ωστόσο, επειδή το μέγεθος της μπαταρίας είναι μεγάλο χρειάζεται να συνδεθεί με το ηλεκτρικό δίκτυο, έτσι ώστε να είναι σε θέση να φορτίσει πλήρως. Τα υβριδικά οχήματα (HEVs) όμως, μπορούν να φορτίσουν την μπαταρία τους πλήρως μέσω της αναγεννητικής πέδησης, εκμεταλλευόμενα την θερμότητα που δημιουργείται κατά την διαδικασία επιβράδυνσης, η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και αποθηκεύεται στην συστοιχία της μπαταρίας. Το κοινό σημείο που έχουν αυτοί οι δυο τύποι οχημάτων είναι ότι εάν οι μπαταρίες τους εξαντληθούν πλήρως τότε, μπορούν να συνεχίσουν να λειτουργούν με την χρήση καυσίμου (βενζίνη).

Γενικότερα, στα υβριδικά οχήματα ο συνδυασμός των δυο διαφορετικών συστημάτων κίνησης, βοηθά στην μείωση κατανάλωσης καυσίμου, αλλά και στην μείωση των εκπομπών ρύπων προς το περιβάλλον. Η συγκεκριμένη τεχνολογία, μπορεί να βοηθήσει στην σταδιακή ομαλή μετάβαση σε πλήρως ηλεκτρικά αυτοκίνητα.



Σχήμα 1.9 (a) Διάταξη Micro Hybrid

(b) Διάταξη Mild Hybrid

### **1.4.3 Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)**

Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου αποτελούν μια ενδιαφέρουσα επιλογή για τα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς παρουσιάζουν υψηλή απόδοση, σε συνδυασμό με μειωμένους ρύπους. Ακόμα και εάν λάβουμε υπόψη τις συνολικές εκπομπές, περιλαμβανομένων του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και των εκπομπών από χημικές διεργασίες, τα FCEVs παραμένουν μια αρκετά ελκυστική τεχνολογία. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται, στην μετατροπή της χημικής ενέργειας από το υδρογόνο και το οξυγόνο, απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, μέσω της κυψέλης καυσίμου. Ορισμένα από τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελούνται οι κυψέλες καυσίμου είναι: η άνοδος, μια στρώση ανόδου, ο ηλεκτρολύτης, η κάθοδος και μια στρώση καθόδου με καταλύτη. Οι διαθέσιμες τεχνολογίες κυψελών είναι οι εξής:

#### **Κυψέλη καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEMFC):**

Οι κυψέλες καυσίμου PEMFC έχουν ευρεία εφαρμογή, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν, όπως το ότι λειτουργούν αποτελεσματικά σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, μειώνοντας έτσι τις απαιτήσεις σε συστήματα ψύξης. Επιπλέον, παρουσιάζουν ικανοποιητική απόδοση και απαιτούν μικρό χρόνο εκκίνησης για να λειτουργήσουν και έχουν αρκετά μεγάλη πυκνότητα ισχύος. Ωστόσο, οι PEMFC έχουν το σημαντικό μειονέκτημα της ευαισθησίας στη χρήση υδρογόνου, το οποίο δεν διαθέτει υψηλά επίπεδα καθαρότητας. Η ερευνητική κοινότητα έχει εστιάσει στην ανάπτυξη του συγκεκριμένου τύπου κυψελών, με σκοπό την χρήση του για την τροφοδότηση οχημάτων.

#### **Κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC):**

Οι κυψέλες PAFC είναι ευρέως διαδεδομένες στην σημερινή αγορά, καθώς παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα απόδοσης. Στην συγκεκριμένη τεχνολογία κυψελών καύσιμου χρησιμοποιείται σαν ηλεκτρολύτης φωσφορικό οξύ. Οι PAFC βρίσκουν εφαρμογή σε εγκαταστάσεις παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας εργοστασίων ή κτιρίων, αλλά και γενικότερα σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές. Πέρα από την υψηλή απόδοση που αναφέραμε προηγουμένως, οι κυψέλες αυτές έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και είναι εξαιρετικά ανθεκτικές. Ωστόσο, συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες κυψελών καύσιμου, οι PAFC έχουν πιο πολύπλοκη κατασκευή, μεγαλύτερες διαστάσεις, καθώς και αυξημένο κόστος λόγω ακριβού καταλύτη (λευκόχρυσος).

### **Κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (DMFC):**

Οι κυψέλες DMFC, σε αντίθεση με τις κυψέλες υδρογόνου που προαναφέρθηκαν, χρησιμοποιούν ως καύσιμο την μεθανόλη. Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει δημιουργηθεί, με σκοπό να επιτραπεί η χρήση υγρών καυσίμων στις κυψέλες. Οι κυψέλες μεθανόλης έχουν ορισμένα θετικά χαρακτηριστικά, όπως: χαμηλές θερμοκρασίες κατά την λειτουργία, μικρό μέγεθος σε σχέση με άλλες κυψέλες, χρήση της ευρέως διαδεδομένης μεθανόλης. Εντούτοις, παρουσιάζουν μικρότερη απόδοση συγκριτικά με τις κυψέλες καυσίμου υδρογόνου.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι τα FCEVs παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλα οχήματα. Αρχικά, προσφέρουν μεγάλη αυτονομία, καθώς ο χρόνος ανεφοδιασμού υδρογόνου είναι συγκρίσιμος με τον χρόνο ανεφοδιασμού καυσίμου σε ένα όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Επιπλέον, η απόδοση των FCEVs δεν επηρεάζεται από την χωρητικότητα της μπαταρίας όπως συμβαίνει με τα BEVs, παρέχοντας στους χρήστες μεγαλύτερη ευελιξία στα ταξίδια τους. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις οι οποίες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, έτσι ώστε να υπάρξει ευρύτερη υιοθέτηση FCEVs. Για παράδειγμα, η εγκατάσταση σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου σε περιφερειακές, αλλά και αστικές περιοχές είναι απαραίτητη. Επιπρόσθετα, μειονέκτημα αποτελεί το αρχικό υψηλό κόστος αγοράς του FCEV, το οποίο όμως αναμένεται να μειωθεί, καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και η παραγωγή αυξάνεται. Παρά τις προκλήσεις, η υδρογονοκίνηση συνεχίζει να βελτιώνεται με την πάροδο του χρόνου. Πολλές εταιρείες και κυβερνήσεις παγκοσμίως, αναγνωρίζουν την αξία και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει μια τέτοια τεχνολογία και έχουν επενδύσει σημαντικά ποσά στην έρευνα, την ανάπτυξη και σε υποδομές που σχετίζονται με αυτήν.

## **1.5 Έξυπνα δίκτυα και ηλεκτρικά οχήματα**

Τα έξυπνα δίκτυα (Smart grids) είναι ηλεκτρικά δίκτυα, τα οποία χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνίας, διαχείρισης ενέργειας, αλλά και παρακολούθησης, με σκοπό να επιτύχουν κατάλληλο διαμοιρασμό ηλεκτρικής ενέργειας εντός του δικτύου. Η ενέργεια αυτή παράγεται από διαθέσιμες πηγές που βρίσκονται στο δίκτυο (π.χ. φωτοβολταϊκά συστήματα) και χρησιμοποιείται από τους χρήστες που βρίσκονται σε αυτό. Συνεπώς, μέσα από την συλλογή πληροφοριών, πραγματοποιείται καλύτερος συντονισμός, πράγμα το οποίο διευκολύνει την παραγωγή ενέργειας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των χρηστών.

Τα Smart grids πρέπει να είναι ικανά να ανταπεξέλθουν στην διαχείριση, ενός μεγάλου αριθμού διανεμημένων ενεργειακών πηγών, όπως τα ηλεκτρικά οχήματα. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρικών οχημάτων που εντάσσονται στα Smart grids, τόσο θα υπάρχουν και μπαταρίες μεγάλης χωρητικότητας, οι οποίες θα μπορούν με την σειρά τους να βοηθήσουν το ηλεκτρικό δίκτυο, μέσω της αμφίδρομης ροής ενέργειας (V2G). Η παροχή ενέργειας από τις μπαταρίες, μπορεί να βοηθήσει στην εκτενέστερη ενσωμάτωση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στα έξυπνα δίκτυα.

Ωστόσο, η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στα έξυπνα δίκτυα, είναι βέβαιο πως θα επιφέρει κάποιες σημαντικές προκλήσεις που θα αφορούν τεχνικά, οικονομικά και ρυθμιστικά ζητήματα, τα οποία θα χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης. Από την άλλη τα οφέλη θα είναι πολλαπλά, καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα θα συμβάλουν στην αντιμετώπιση της ενεργειακής εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα, αλλά κυρίως θα έχουν έναν καλό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Συνολικά, η σχέση μεταξύ ηλεκτρικών αυτοκινήτων και έξυπνων δικτύων είναι μια σχέση αλληλοσυnergασίας. Τα έξυπνα δίκτυα παρέχουν τις απαραίτητες υποδομές που απαιτούνται για την αποτελεσματική διαχείριση της φόρτισης και της εκφόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, από την πλευρά τους, μπορούν να συμβάλουν στην εξισορρόπηση της ζήτησης ενέργειας του δικτύου, στη μείωση των εκπομπών αερίων, και στην αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η συνεργασία αυτή αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη μετάβαση σε ένα οικολογικό, αποδοτικό και έμπιστο σύστημα ενέργειας.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

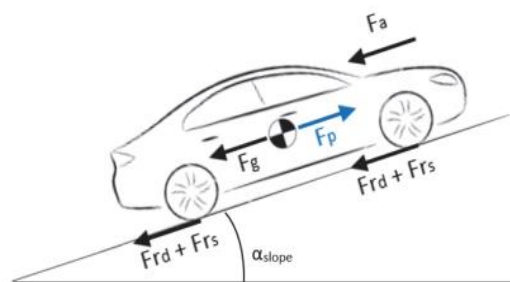
### 2. Ανάλυση λειτουργίας ηλεκτρικού οχήματος

#### 2.1 Λειτουργία και δυναμική οχήματος

Οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα αυτοκίνητο, καθώς ανεβαίνει μια ανηφόρα είναι οι εξής:

- Στατική τριβή κύλισης  $F_{r_s}$  που δημιουργείται μεταξύ ασφάλτου και ελαστικού.
- Δυναμική τριβή κύλισης  $F_{r_d}$  που επίσης αναπτύσσεται μεταξύ ασφάλτου και ελαστικού με τη διαφορά ότι εξαρτάται από τη ταχύτητα περιστροφής του τροχού.
- Αεροδυναμική τριβή  $F_a$  η οποία αναπτύσσεται λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ της επιφάνειας του οχήματος και του αέρα.
- Η βαρύτητα  $F_g$  που αναπτύσσεται όταν η κλίση του δρόμου είναι διάφορη του μηδενός. Μπορεί να είναι θετική για  $a_{slope} < 0$  υποστηρίζοντας τη κίνηση του οχήματος και αρνητική για  $a_{slope} > 0$ .
- $c_r$  συντελεστής τριβής αέρα,  $\delta$  πυκνότητα αέρα,  $A_f$  μπροστά επιφάνεια κάθετη της κίνησης,  $v$  ταχύτητα

$$F_a = 0.5 * c_r * \delta * A_f * v^2$$



Σχήμα 2.1 Δυναμική του οχήματος

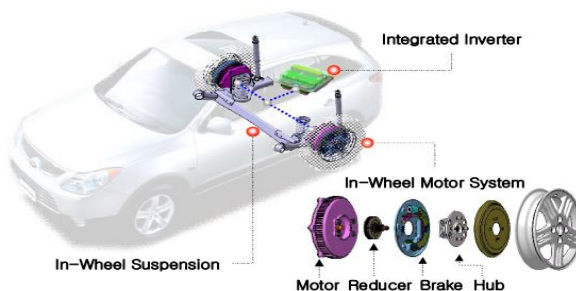
Η δύναμη  $F_p$  αντιπροσωπεύει την δύναμη που παρέχουν οι τροχοί. Για την ακρίβεια, είναι η δύναμη που δίνουν οι μηχανές σε κάθε τροχό του οχήματος αθροιστικά, ώστε το όχημα να διατηρήσει τη ταχύτητα του ή να επιταχύνει. Όπου:  $m$  (kg) η μάζα του οχήματος και  $a_{cc}$  η επιτάχυνση του οχήματος.

$$F_p = (4 * F_{r_s}) + (4 * F_{r_d}) + F_a + F_g + (m * a_{cc})$$



## 2.2 Ανάπτυξη βαθμίδων ηλεκτρικού οχήματος με σύστημα εντός τροχού

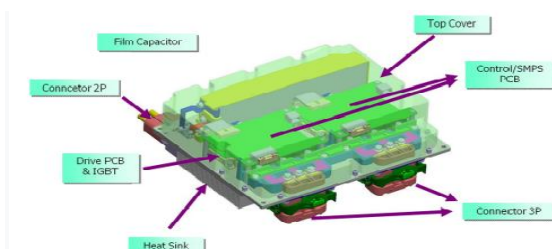
Σε αυτή την παράγραφο, θα αναλυθούν τα βασικά μέρη ηλεκτρικού οχήματος με σύστημα εντός τροχού (In-Wheel Motor). Το σύστημα εντός τροχού, είναι ένας τρόπος μετάδοσης κίνησης, μέσω ενσωματωμένου ηλεκτροκινητήρα σε κάθε τροχό του οχήματος. Το σύστημα αυτό γίνεται όλο και πιο διαδεδομένο, λόγω των πλεονεκτημάτων του, όπως η βελτιωμένη πρόσφυση, ο καλύτερος χειρισμός και ο πιο συμπαγής σχεδιασμός, συγκριτικά με τα παραδοσιακά συστήματα ηλεκτροκίνησης. Παρ'όλα αυτά, η συγκεκριμένη τεχνολογία ενέχει κάποιες προκλήσεις, όπως η ανάγκη για ένα πιο περίπλοκο σύστημα ανάρτησης, αλλά και το πρόσθετο βάρος και κόστος που σχετίζεται με την ύπαρξη πολλαπλών κινητήρων και διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος. Κατόπιν, στο παράδειγμα μας πρόκειται να αναφερθούμε για τους πίσω τροχούς ενός μικρού οχήματος. Επομένως, τα κομμάτια είναι τα εξής: κινητήρας, φρένο, αναρτήσεις, μειωτής ταχύτητας, αντιστροφείς, σύστημα ψύξης.



Σχήμα 2.2 Βαθμίδες εξαρτημάτων ηλεκτρικού οχήματος

### 2.2.1 Βιομηχανικός αντιστροφέας ισχύος

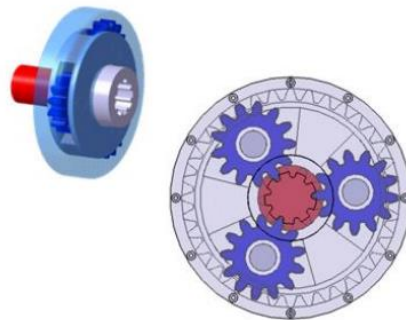
Όλοι οι τροχοί σε αυτή τη περίπτωση, τροφοδοτούνται και ελέγχονται από IGBT αντιστροφέα, ο οποίος μετατρέπει την συνεχή τάση των συσσωρευτών σε τετραγωνική εναλλασσόμενη, η σε οποιοδήποτε είδους τάση για την λειτουργία της μηχανής. Ο Αντιστροφέας είναι ικανός να οδηγήσει τους αριστερούς και δεξιούς τροχούς ανεξάρτητα σε όλες τις κατευθύνσεις. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα της φόρτισης πεδήσεως (Regenerative braking).



Σχήμα 2.3 Βιομηχανικός αντιστροφέας ισχύος

## 2.2.2 Κιβώτιο ταχυτήτων

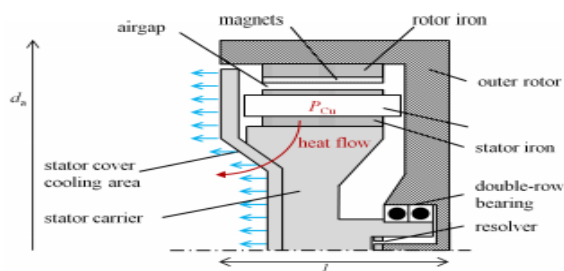
Ο τύπος και η αναλογία μείωσης είναι βασικοί παράγοντες, για να παρθεί η απόφαση μεταξύ της χρήσης ηλεκτρικού κινητήρα εντός τροχού ή κάποιου άλλου τύπου. Βέβαια, η επιλογή του εξαρτάται από την αντοχή κάθε κομματιού του τροχού, το μέγεθος και τη μάζα του κινητήρα και την οδηγική συμπεριφορά του οχήματος. Για ένα μικρό ηλεκτροκίνητο όχημα με ανάρτηση στρεπτικής δοκού και 14 ίντσες τροχό για παράδειγμα, θα χρησιμοποιηθεί ένα εσωτερικό πλανητικό σύστημα.



Σχήμα 2.4 Μειωτής στροφών

## 2.2.3 Σύστημα ψύξης

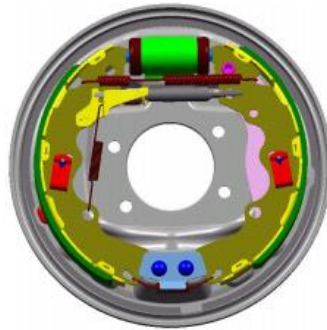
Όσον αφορά το σύστημα ψύξης, υπάρχουν πολλοί τρόποι ψύξης όπως υδρόψυξη, ψύξη με ανεμιστήρες και ψύξη με εξωτερικό αέρα (αερόψυκτα συστήματα). Το σενάριο της υδρόψυξης λόγω του περιορισμένου χώρου και της ύπαρξης σωληνώσεων στο εσωτερικό του τροχού απορρίπτεται. Μετά από πειράματα έχει παρατηρηθεί πως ένα σύστημα που ψύχεται αυτόνομα, είναι ικανό να απαγάγει το περίσσιο ποσό θερμότητας. Κατά την οδήγηση, ο αέρας οδηγείται από τον στάτη στον δρομέα για να ψύξει και τα κινούμενα μέρη. Η θερμότητα από τα τυλίγματα του στάτη, δηλαδή μέσω αγωγιμότητας μεταφέρεται στο κάλυμμα του στάτη το οποίο διαπερνάτε από αέρα και ψύχεται. Από την άλλη πλευρά, ο δρομέας δεν παρουσιάζει τόσο μεγάλες ανάγκες ψύξης, διότι οι απώλειες που προκαλούν την θερμότητα είναι μικρές.



Σχήμα 2.5 Σύστημα ψύξης

## 2.3 Φρένο

Προκειμένου να μειωθεί το πλάτος του συστήματος του τροχού, ένα φρένο τύπου τυμπάνου με μειωμένο πλάτος τριβής, αλλά με αυξημένη διάμετρο θα χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με ένα ρουλεμάν τοποθετημένο πίσω από το τύμπανο.



Σχήμα 2.6 Φρένο

## 2.4 Ανάλυση ηλεκτρικών κινητήρων

Στα παραπάνω μέρη του συστήματος εντός τροχού που παρουσιάστηκε, εφαρμόζει περισσότερο η χρήση μηχανής τύπου μόνιμου μαγνήτη (Permanent Magnet - PM), λόγω του μικρού της μεγέθους και της εφαρμογής της σε απαιτήσεις υψηλής ροπής ή ταχύτητας. Επιπλέον, στις ηλεκτρικές μηχανές PM η έλλειψη ψηκτρών, άρα και η μηδενική παραγωγή σπινθηρισμών, έχει ως αποτέλεσμα την μη ανύψωση της θερμοκρασίας. Οι μηχανές αυτές χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι η παραγόμενη ροπή έχει πάντοτε σταθερό πρόσημο, δεδομένου ότι το ρεύμα που διαρρέει τους αγωγούς του τυλίγματος αλλάζει πολικότητα σε συγχρονισμό με το πεδίο του μαγνήτη (φαινόμενο μετάβασης).

Οι μόνιμοι μαγνήτες είναι η βάση για τις 2 από τις 3 κατηγορίες που θα αναλυθούν και παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον. Αντικαθιστώντας τους μαγνήτες και παράγοντας στη θέση τους το πεδίο διέγερσης, διατηρούν την παραμένουσα μαγνήτιση τους για θεωρητικά άπειρο χρόνο, ανεξαρτήτως από την αρχική τους μαγνήτιση. Δεν καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια και συνεπώς δεν έχουν ωμικές απώλειες. Έχουν μικρό βάρος και όγκο, αλλά και μεγάλη πυκνότητα ισχύος και ροπής. Τα μειονεκτήματά τους είναι η ευαισθησία των μαγνητικών ιδιοτήτων τους σε αλλαγές της θερμοκρασίας, η μικρή μηχανική τους αντοχή και το μεγάλο τους κατασκευαστικό κόστος.



Σχήμα 2.7 Παραμετρικός σχεδιασμός μηχανής μόνιμων μαγνητών

Στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα συναντάμε δυο κύριους τύπους κινητήρων. Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) και συνεχούς ρεύματος (DC). Οι κινητήρες DC έπαιξαν κύριο ρόλο στην γέννηση της ηλεκτροκίνησης. Ήταν οι πρώτοι κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν για αυτό τον σκοπό. Στα χρόνια που ακολούθησαν τα ηλεκτρονικά ισχύος εξελίχτηκαν αρκετά. Επομένως, οι μετατροπείς ρεύματος που προήλθαν από την εξέλιξη αυτή, οδήγησαν στην δυνατότητα ύπαρξης και κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος στον τομέα της ηλεκτροκίνησης.



Σχήμα 2.8 Ηλεκτρικός Κινητήρας Αυτοκινήτου της AM Racing κατασκευής μόνιμου μαγνήτη

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει συμβάλει αποτελεσματικά, στις πολλαπλές επιλογές ηλεκτρικών μηχανών που υπάρχουν διαθέσιμες σήμερα. Πραγματοποιώντας μια σύντομη ερευνά, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι αρχικά υπήρχαν τρεις βασικές κατηγορίες μηχανών. Μηχανές συνεχούς ρεύματος (DC), εναλλασσόμενης τάσης (AC) και επαγωγικές. Τα τρία αυτά είδη πληρούν τις εξής προϋποθέσεις:

1. Προσφέρουν σταθερή ροπή με ελάχιστη κυμάτωση, υπό τις κατάλληλες συνθήκες.
2. Μπορούν να λειτουργήσουν είτε με συνεχές ρεύμα (DC) είτε με εναλλασσόμενο (AC).
3. Είναι ικανές να εκκινήσουν και να λειτουργήσουν χωρίς τη χρήση ηλεκτρονικών ελεγκτών.

Ωστόσο, στις σύγχρονες εφαρμογές απαιτείται χρήση ηλεκτρικών μηχανών με προσαρμόσιμη ταχύτητα, κάτι που καθιστά αναπόφευκτη τη χρήση ηλεκτρονικών μετατροπών ισχύος. Επομένως, υπήρξε ανάγκη για εξέλιξη στον τομέα των ηλεκτρικών μηχανών, η οποία οδήγησε στην αντικατάσταση των τυλιγμάτων στις μηχανές DC και AC από μόνιμους μαγνήτες.

**Brushless DC Motor (BLDC):** Ο κινητήρας χωρίς ψήκτρες BLDC, είναι κινητήρας συνεχούς ρεύματος που χρησιμοποιεί ηλεκτρονική μεταγωγή για την εναλλαγή του ρεύματος στις περιελίξεις, σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς DC κινητήρες που χρησιμοποιούν ψήκτρες και μηχανικό μεταγωγέα. Ο δρομέας του είναι κατασκευασμένος από μόνιμους μαγνήτες και ο στάτης είναι τυλιγμένος. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τα τυλίγματα του στάτη αλληλεπιδρά με το μαγνητικό πεδίο του δρομέα, προκαλώντας την περιστροφή του. Λόγω της έλλειψης περιελίξεων μέσα στον δρομέα, δεν υπάρχει καμία απώλεια χαλκού, πράγμα το οποίο κάνει τον συγκεκριμένο κινητήρα πιο αποδοτικό σε σχέση με τους επαγωγικούς. Ο BLDC είναι ελαφρύς, έχει μικρές διαστάσεις, έχει καλή απαγωγή θερμότητας, είναι αρκετά αξιόπιστος και παρουσιάζει μεγάλη πυκνότητα ροπής. Στον αντίποδα, επειδή ο κινητήρας έχει περιορισμένη ικανότητα εξασθένησης πεδίου, το εύρος σταθερής ισχύος είναι μικρό, καθώς και η ροπή του μειώνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα. Τέλος, η χρήση μόνιμων μαγνητών αυξάνει υπερβολικά το κόστος του κινητήρα. Οι κινητήρες BLDC χρησιμοποιούνται εκτενώς, σε βιομηχανικό και εμπορικό εξοπλισμό, οικιακές συσκευές και ηλεκτρικά οχήματα.

**Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM):** Οι κινητήρες PMSM είναι αρκετά προηγμένοι και επί της ουσίας είναι σύγχρονοι κινητήρες AC, οι οποίοι δεν διαθέτουν ψήκτρες και αποτελούνται από μόνιμους μαγνήτες (PM) για την διέγερση του πεδίου δρομέα. Αντίθετα, ο στάτης φέρει τυλίγματα που δημιουργούν ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των μαγνητικών πεδίων του δρομέα και του στάτη, προκαλεί την περιστροφή του δρομέα, η οποία είναι συγχρονισμένη με το πεδίο του στάτη. Λόγω της μεγάλης πυκνότητας ισχύος, της μεγάλης ροπής, αλλά και της υψηλής απόδοσης τους, οι PMSM

αποτελούν μια πολύ δημοφιλή επιλογή για την πρόωση των ηλεκτρικών οχημάτων. Επιπλέον, ισχυρά πλεονεκτήματα αποτελούν, η απλή κατασκευή, το μικρό μέγεθος και η δυνατότητα άμεσου ελέγχου μέσω σύγχρονων ηλεκτρονικών ισχύος, η οποία ανεβάζει την αξιοπιστία τους. Από την άλλη, τα σημεία που υστερούν οι κινητήρες αυτοί είναι, το τεράστιο κόστος ορισμένων μόνιμων μαγνητών που χρησιμοποιούνται (π.χ. μαγνήτες νεοδυμίου NdFeB) και η περίπτωση απομαγνήτισης τους λόγω των υπερβολικά υψηλών θερμοκρασιών και των ισχυρών ρευμάτων που αναπτύσσονται. Οι κινητήρες PMSM, χρησιμοποιούνται σε διευρυμένο φάσμα εφαρμογών όπως, ηλεκτρικά οχήματα, ρομποτική, αεροδιαστημικά συστήματα, ανεμογεννήτριες κ.α. Αξίζει επίσης να σημειωθεί, ότι οι PMSM είναι κατάλληλοι για εφαρμογές εντός τροχού (In-Wheel Motor) και είναι οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται ευρέως σε Battery Electric Vehicles (BEVs).

**Switched Reluctance Motor (SRM):** Οι κινητήρες SRM είναι σύγχρονοι κινητήρες, οι οποίοι αποτελούνται από δρομέα με ελάχιστο αριθμό πόλων και στάτη με πολλαπλούς εξέχοντες πόλους. Η λειτουργία τους βασίζεται στην αρχή της μαγνητικής απροθυμίας. Η αρχή αυτή δηλώνει, ότι ένα μαγνητικό πεδίο θα διαρρεύσει μέσω της διαδρομής με την μικρότερη μαγνητική αντίσταση. Επομένως, όταν εφαρμόζεται τάση στα τυλίγματα του στάτη, δημιουργείται μαγνητικό πεδίο που αλληλεπιδρά με το μαγνητικό πεδίο του δρομέα, προκαλώντας την περιστροφή του. Ο δρομέας περιστρέφεται προς την κατεύθυνση της μικρότερης απροθυμίας, η οποία καθορίζεται από τη θέση των τυλιγμάτων του στάτη. Οι SRMs έχουν απλή και ανθεκτική κατασκευή, μικρό κόστος και υψηλή ταχύτητα. Επιπρόσθετα, διαθέτουν μεγάλο εύρος σταθερής ισχύος και υψηλή πυκνότητα ισχύος, πλεονεκτήματα τα οποία τους καθιστούν χρήσιμους για εφαρμογές σε ηλεκτρικά οχήματα. Ωστόσο, οι συγκεκριμένοι κινητήρες παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα όπως, αυξημένες διαστάσεις και βάρος σε σχέση με τις μηχανές μόνιμων μαγνητών (PM), χαμηλή απόδοση και αρκετά μεγάλο θόρυβο. Αν και η κατασκευή τους είναι απλή, ο σχεδιασμός και ο έλεγχος τους δεν είναι εύκολος. Λόγο του αρκετά μεγάλου κόστους που παρουσιάζουν οι σπάνιες γαίες που χρησιμοποιούνται στους μόνιμους μαγνήτες, το ενδιαφέρον για τους SRMs μεγαλώνει συνεχώς. Το αποτέλεσμα είναι, οι κινητήρες αυτοί να βρίσκουν εφαρμογή όπου η υψηλή απόδοση, η αξιοπιστία και το χαμηλό κόστος είναι σημαντικά. Μερικές τέτοιες εφαρμογές είναι, σε αντλίες, συμπιεστές, ανεμιστήρες, στην αεροδιαστημική βιομηχανία, στην ηλεκτροκίνηση, καθώς και σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών, όπως π.χ. υδροηλεκτρικά εργοστάσια.

#### 2.4.1 Σύγκριση Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM) και Brushless DC Motor (BLDC)

Πριν αναλυθεί ο έλεγχος όλων αυτών των κατηγοριών, για τη διαλεύκανση των βασικών τύπων που υφίστανται στους ηλεκτροκινητήρες εντός τροχού, θα ακολουθήσουν οι διαφορές των συγχρόνων μηχανών μονίμου μαγνήτη και των κινητήρων DC χωρίς ψήκτρες. Πέρα από τις διαφορές στη διέγερση και στις κυματομορφές, συγκριτικά παρατηρείται ότι:

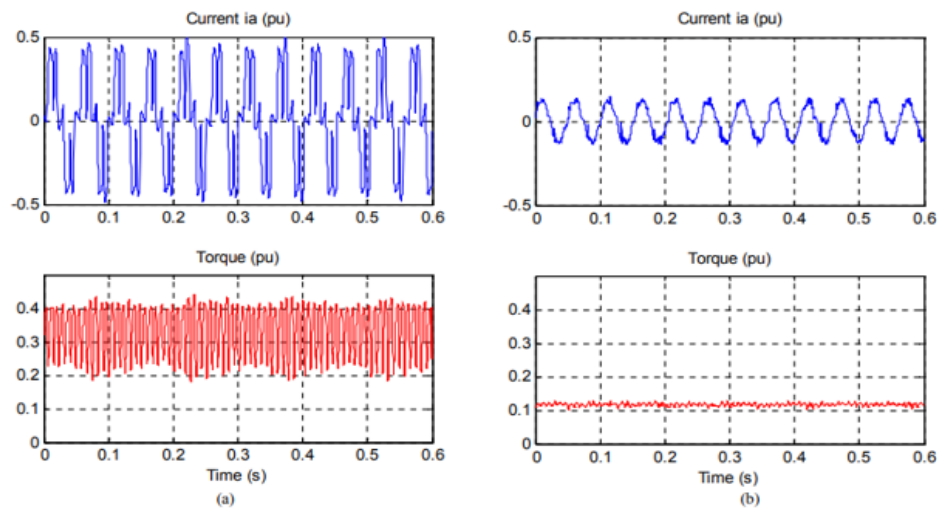
- Λόγω της ημιτονοειδής μορφής ρεύματος οι ελεγκτές των συγχρόνων μηχανών (PMSM) έχουν μεγαλύτερο κόστος και είναι πιο πολύπλοκοι.
- Δεν υπάρχουν κυματοώσεις ροπής κατά τις εναλλαγές διακοπές τυλιγμάτων στις σύγχρονες μηχανές, ενώ στις DC συναντιούνται και σκοπός είναι να μειωθούν στο ελάχιστο.
- Η μέγιστη επιτεύξιμη ροπή είναι πάντα μεγαλύτερη στις σύγχρονες μηχανές.
- Για την αναγνώριση της θέσης περιστροφής χρησιμοποιούνται κωδικοποιητές στις σύγχρονες μηχανές, ενώ στις DC αισθητήρες hall.
- Κατά την εναλλαγή της τροφοδοσίας των τυλιγμάτων τα ημιαγωγά στοιχεία ελέγχου των συγχρόνων μηχανών παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες από αυτές των DC μηχανών.
- Οι αρμονικές που δημιουργούνται στην λειτουργία των DC μηχανών είναι πολύ περισσότερες από αυτές των συγχρόνων, με αποτέλεσμα οι DC να θεωρούνται πιο θορυβώδεις.

Μέσω των στοιχείων ελέγχου, μπορεί να επιτευχθεί ένας συνδυασμός της χρήσης του κινητήρα μονίμων μαγνητών ως είτε σύγχρονη είτε DC μηχανή. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η τοποθέτηση τριών αισθητήρων hall σε κάθε κινητήρα. Έτσι, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε ξεχωριστά τα πλεονεκτήματα της κάθε λειτουργίας. Πρέπει όμως ανάλογα τη χρήση του κινητήρα να έχει και την κατάλληλη τροφοδότηση. Πρέπει δηλαδή, για χρήση DC χωρίς ψήκτρες να υπάρχει σταθερή πυκνότητα ροής στο διάκενο και στη χρήση ως σύγχρονη μηχανή να υπάρχει ημιτονοειδής πυκνότητα ροής στα τυλίγματα.

Συνεπώς, δίδεται προσοχή και ενδιαφέρον στον έλεγχο των ρευμάτων του στάτη. Η μετατροπή δηλαδή της κατεύθυνσης του ρεύματος, πρέπει να είναι συγχρονισμένη με την κίνηση

της ροής στο διάκενο. Για αυτό το λόγο, πρέπει να υπάρχει ένα αισθητήριο όργανο στα τυλίγματα του στάτη. Οι περισσότερες μηχανές DC χωρίς ψήκτες κατασκευάζονται με αισθητήρες Hall για τον έλεγχο τους. Δυστυχώς όμως οι σύγχρονες μηχανές απαιτούν τον καθορισμό της ακριβούς γωνίας λειτουργίας. Ωστόσο, με το καθορισμό της ταχύτητας και της θέσης μπορούμε να επωφεληθούμε από τα πλεονεκτήματα της μηχανής αυτής.

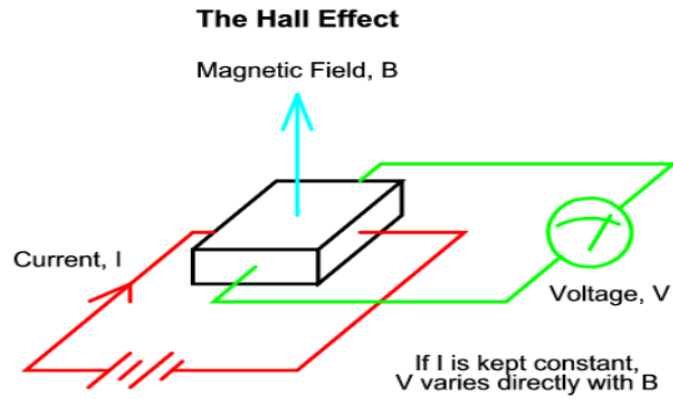
Η ομαλότητα της ροπής της σύγχρονης μηχανής επηρεάζεται μόνο από τους κυματισμούς στις θυρίδες και στα δόντια του στάτη. Από την άλλη πλευρά, ο κινητήρας χωρίς ψήκτες παρουσιάζει διαφορετική ροπή από την προκαθορισμένη, λόγω του ρεύματος εισαγωγής το οποίο στη πράξη δεν είναι ποτέ ορθογώνιας μορφής.



Σχήμα 2.9 Φασικό ρεύμα και ροπή στον BLDC

Οι αισθητήρες HALL μαζί με τα ηλεκτρονικά στοιχεία τους, αποτελούν μια φθηνότερη λύση για τοποθέτηση εντός της μηχανής, από ένα βολτόμετρο ή άλλα αισθητήρια όργανα. Εντοπίζουν την θέση του δρομέα μέσα από την έξοδο των αισθητήριων. Τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να αντιλαμβάνονται το ποτέ ο δρομέας μεταπηδά στον επόμενο τομέα επιτήρησης ηλεκτρικών μοιρών. Δηλαδή, κάθε αισθητήρας εποπτεύει αλλαγές στο μαγνητικό πεδίο για κάθε 60 ή 120 ηλεκτρικές μοίρες. Η τροφοδοσία των συγκεκριμένων αισθητήρων, απαιτεί DC τάση από 4 έως 24 V και ένταση ρεύματος από 5 έως 15 mA. Τα σήματα που παράγονται στην έξοδο είναι παλμοί τάσεως τετραγωνικού σχήματος.



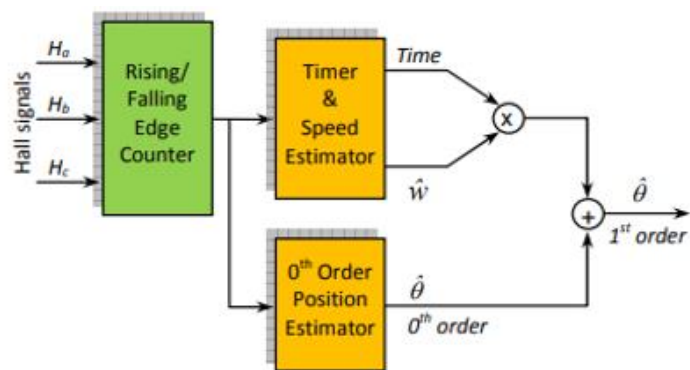


Σχήμα 2.10 Κυκλωματικό διάγραμμα

Έτσι, συμπεραίνουμε ότι η ηλεκτρική γωνιά δίνεται από:

1.  $w(t)$  στιγμιαία ηλεκτρική γωνιακή ταχύτητα
2.  $\theta$  αρχική ηλεκτρική γωνιά κάθε τομέα

Συνοψίζοντας σε ένα μπλοκ διάγραμμα:



Σχήμα 2.11 Σχηματικό διάγραμμα αισθητήρα Hall

Άρα, προτιμάται η εκκίνηση να γίνεται με τη λειτουργία DC μηχανής, χρησιμοποιώντας δηλαδή ορθογώνιο παλμό, ώστε να έχουμε μεγάλη ροπή εκκίνησης. Μετά όμως από τις 50 rpm συνιστάτε η αλλαγή στη σύγχρονη μηχανή, χρησιμοποιώντας ημιτονοειδή τροφοδοσία ρεύματος, ώστε να υπάρχει ομαλότερη ροπή εξόδου. Συνεπώς, λιγότερες μηχανικές δονήσεις, θόρυβοι και λιγότερες απώλειες ισχύος.

## 2.5 Μαγνητική ανάλυση μηχανής Brushless DC

### 2.5.1 Μαγνητική ανάλυση

Για να πραγματοποιηθεί μια ακριβής ανάλυση του μαγνητικού πεδίου, είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί το κύκλωμα μαγνήτισης. Η πρώτη ενέργεια που απαιτείται σε αυτό το πλαίσιο είναι ο προσδιορισμός της κύριας διαδρομής της μαγνητικής ροής, καθώς και η καταγραφή των μαγνητικών αντιστάσεων. Για να αναπαρασταθεί κάθε μαγνήτης, χρησιμοποιείται ένα ισοδύναμο κύκλωμα Norton. Αυτό το κύκλωμα περιλαμβάνει μια πηγή μαγνητικής ροής που συνδέεται παράλληλα με την εσωτερική διαπερατότητα [4].

$$\Phi_r = B_r \cdot A_m \cdot P_{m0} = \frac{\mu_0 \mu_{rec} A_m}{l_m}$$

όπου  $A_m$  είναι η περιοχή των μαγνητών,  $l_m$  είναι το μήκος του μαγνήτη στην κατεύθυνση της μαγνήτισης,  $B_r$  η παραμένουσα πυκνότητα μαγνητικής ροής και  $\mu_{rec}$  η σχετική διαπερατότητα, η οποία είναι και η κλίση της γραφικής παράστασης της καμπύλης μαγνήτισης διαιρούμενη με  $\mu_0$ . Επιπρόσθετα, μια μαγνητική αντίσταση διακένου  $R_g$  εκφράζει το διάκενο που βρίσκεται κατά το ενδιάμεσο των μαγνητών.

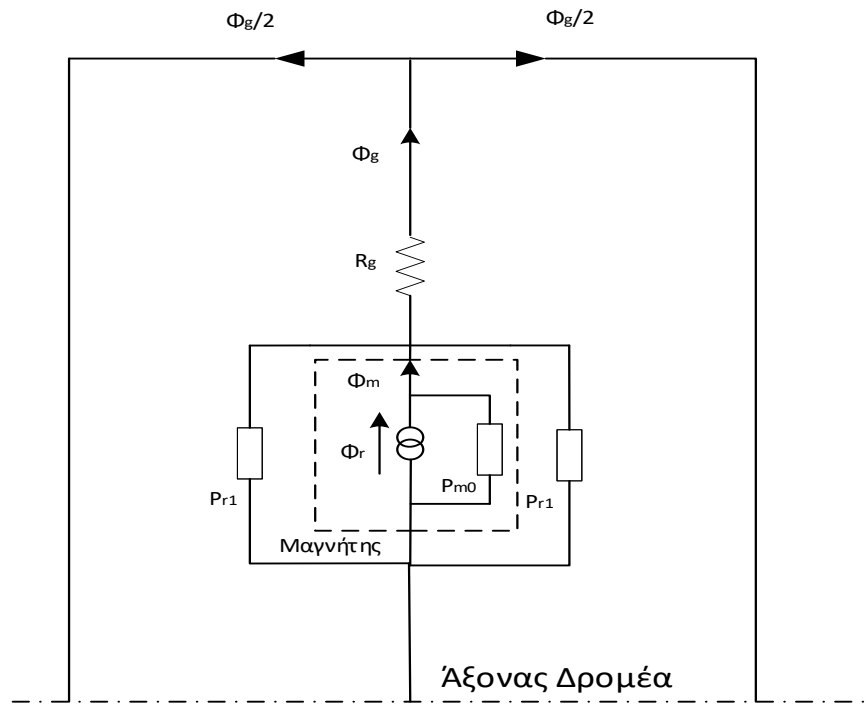
$$R_g = \frac{g'}{\mu_0 A_g}$$

όπου το  $g'$  είναι το ισοδύναμο μήκος διακένου για την εκάστοτε θέση και  $A_g$  η επιφάνεια που περνάει η μαγνητική ροή και συναντάει το διάκενο.

$$g' = K_c g$$

$$A_g = \left[ \frac{2}{3} \pi \left( r_1 - \frac{g}{2} \right) + 2g \right] (l + 2g)$$

Η παραμένουσα διαπερατότητα στον δρομέα, η οποία αναπαριστά τη διαδρομή διαμέσου του διακένου και συμβολίζεται με  $P_{r1}$ , παίζει καίριο ρόλο στον προσδιορισμό της διαδρομής που θα ακολουθήσει η μαγνητική ροή.



Σχήμα 2.12 Κύκλωμα μαγνητών Brushless DC [2]

Εάν εξισώσουμε την Magnetomotive Force (M.M.F) στο μήκος του μαγνήτη και την M.M.F στο μήκος του διακένου, τότε θα προκύψει:

$$P_m = P_{m0} + P_{r1}$$

$$\Phi_g = \frac{\Phi_r}{(1 + P_m R_g)}$$

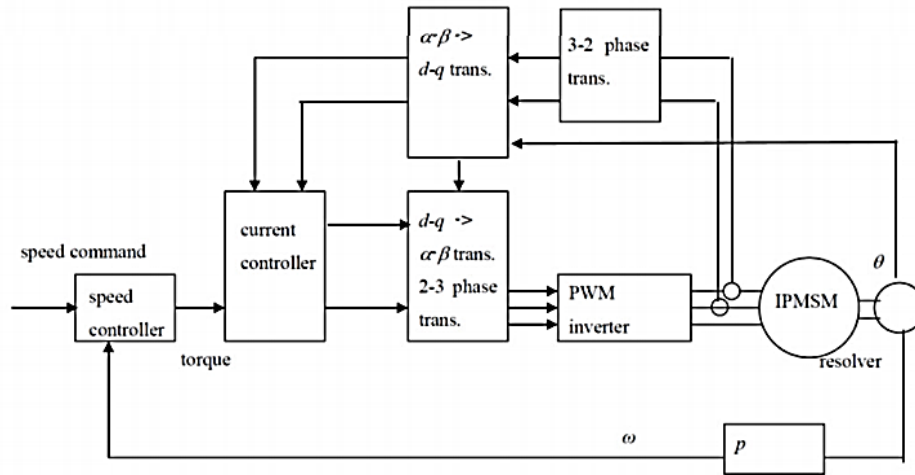
όπου  $P_m$  είναι η τροποποιημένη παραμένουσα διαπερατότητα των μαγνητών και  $\Phi_g$  η ροή του διακένου.

## 2.6 Υλοποίηση ελέγχου μηχανής Brushless DC

### 2.6.1 Έλεγχος Pulse Width Modulation (PWM) μέσα σε ζώνη υστέρησης

Η μεταβλητότητα του φορτίου είναι δεδομένη τόσο σε ηλεκτρικά οχήματα, όσο και γενικότερα στις καθημερινές εφαρμογές εξαιτίας των πολυπαραμετρικών φυσικών συστημάτων. Προκειμένου να διατηρηθεί μια σταθερή κατάσταση στην έξοδο του φορτίου ανεπηρέαστη από τις ποικίλες μεταβολές, η αναγκαιότητα ενός κλειστού βρόχου είναι μεγάλη, για να διατηρηθεί η

ταχύτητα του άξονα της μηχανής σταθερή με την ελαχιστοποίηση των διακυμάνσεων. Μια ευρέως διαδεδομένη μέθοδος είναι η Pulse Width Modulation με ζώνη υστέρησης.



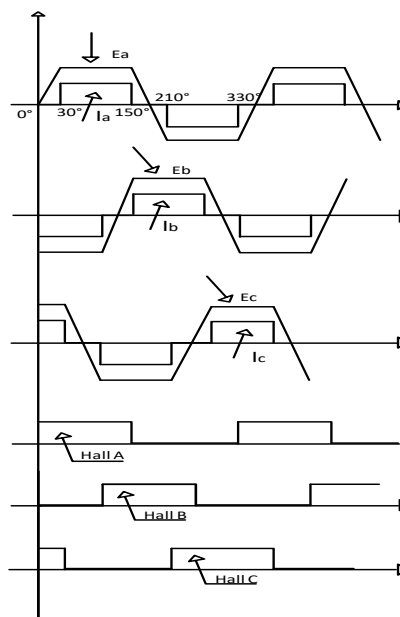
Σχήμα 2.13 Διάγραμμα ελέγχου Brushless DC με ζώνη υστέρησης PWM

Η μηχανή μονίμων μαγνητών τετραγωνικής ηλεκτρεγερτικής δύναμης (HEΔ), είναι εξοπλισμένη με μόνιμους μαγνήτες και λειτουργεί ως κινητήρας, με τον έλεγχό της να γίνεται μέσω μιας τριφασικής γέφυρας ημιαγωγικών διακοπών. Για τον ακριβή έλεγχο της, απαιτείται η χρήση ενός αισθητήρα θέσης, ο οποίος είναι απαραίτητος τόσο για την εκκίνηση όσο και για τη δημιουργία συγχρονισμένων παλμών που ελέγχουν τους ημιαγωγικούς διακόπτες ισχύος στον αντιστροφέα. Οι ενδεδειγμένοι διακόπτες ισχύος ενεργοποιούνται κάθε  $60^\circ$ , ανάλογα με τη θέση του δρομέα. Για την υλοποίηση του κλειστού βρόγχου ελέγχου, απαιτείται ανάδραση από τον κινητήρα σε μορφή τάσης, ρεύματος, ροπής και ταχύτητας. Τα παραπάνω σήματα συνδυάζονται με ένα σήμα αναφοράς προκειμένου να ελεγχθούν οι ημιαγωγικοί διακόπτες, δημιουργώντας έτσι τους απαραίτητους παλμούς. Το τελικό στάδιο του ελέγχου πραγματοποιείται μέσω του κλάδου Hysteresis-PWM, όπου δημιουργούνται τα ρεύματα αναφοράς. Αυτά τα ρεύματα συγκρίνονται με τα μετρούμενα ρεύματα και στη συνέχεια, εφαρμόζεται διαδικασία επεξεργασίας του σφάλματος, το οποίο οδηγεί στον έλεγχο του ρεύματος μέσω του Hysteresis Band Current Controller και συνεπώς στη δημιουργία των αναγκαίων παλμών.

### 2.6.1.1.1 Αισθητήρες Hall

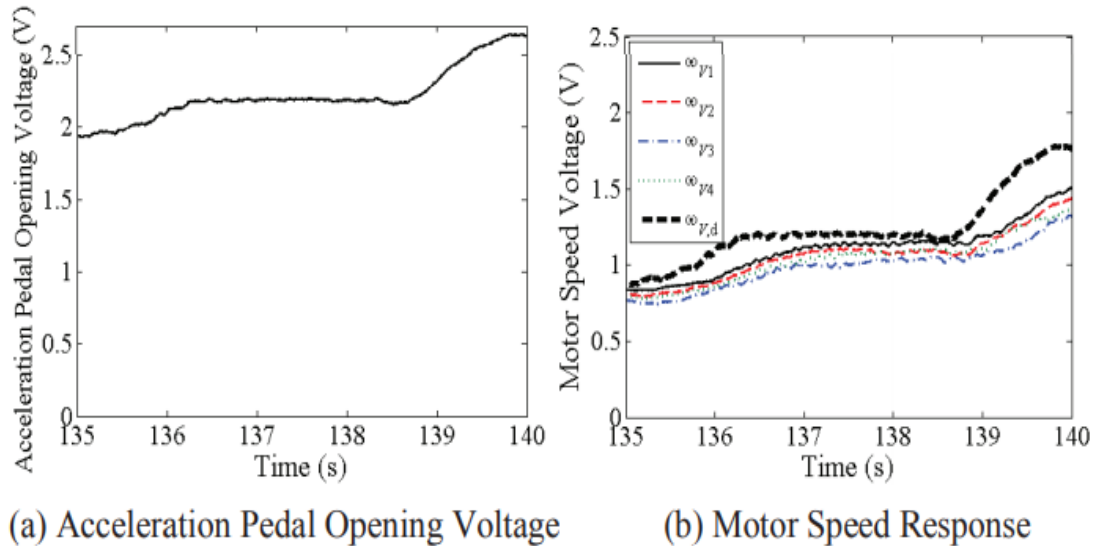
Η μεταγωγή του ρεύματος της περιέλιξης ενός brushless DC κινητήρα ελέγχεται ηλεκτρονικά μέσω αισθητήρων Hall. Για να πραγματοποιηθεί η περιστροφή του κινητήρα BLDC, τα τυλίγματα του στάτη θα πρέπει να ενεργοποιηθούν με μια συγκεκριμένη σειρά. Για να γίνει αντιληπτό ποιο τύλιγμα θα ενεργοποιηθεί μέσω της ακολουθίας, θα πρέπει να είναι γνωστή η θέση του δρομέα. Επομένως, μέσω της χρήσης αισθητήρων Hall, βρισκόμαστε σε θέση να ανιχνεύσουμε την θέση του δρομέα. Συνήθως, οι περισσότεροι κινητήρες BLDC έχουν τρεις αισθητήρες Hall ενσωματωμένους στον στάτη, οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί ανά  $120^\circ$  γύρω από την επιφάνεια του. Την στιγμή που θα εντοπίσουν το σημείο που βρίσκεται ο δρομέας, τότε ένα σήμα ψηφιακής μορφής θα μεταδοθεί, το οποίο μπορεί να μεταφραστεί είτε σε ταχύτητα είτε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των ρευμάτων αναφοράς, όπως περιγράφεται παρακάτω.

Ο γραμμικός έλεγχος προώθησης (έλεγχος ανοιχτού βρόχου) του κινητήρα εντός τροχού, είναι μια μέθοδος ελέγχου κλειδί που επηρεάζει την ταχύτητα του οχήματος και τη λειτουργία του ηλεκτρονικού διαφορικού. Καθορίζει την ταχύτητα περιστροφής του και την τάση του βάσης μιας γραμμικής σχέσης. Στον ελεγκτή θα χρησιμοποιηθεί η τάση εξόδου του κινητήρα ( $V$ ) ως είσοδος και η ταχύτητα του κινητήρα ( $\omega_v$ ) ως έξοδος, μέσω της τάσης ενός αισθητήρα. Το αποτέλεσμα είναι μια σχέση των δυο αυτών μεγεθών  $V = (\omega_v - b) / a$  με  $a, b$  σταθερές. Έτσι, για να επιτύχουμε συγκεκριμένη τάση ταχύτητας στον αισθητήρα, δηλαδή και συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, ρυθμίζουμε την τάση τροφοδοσίας. Για κάθε φορτίο η σχέση και η γραφική της παράσταση αλλάζουν.



Σχήμα 2.14 Κυματομορφή ρεύματος Brushless DC και αισθητήρες Hall [20]

Παρακάτω στο σχήμα 2.15, βλέπουμε τα αποτελέσματα ενός πειράματος επιτάχυνσης με αύξηση της τάσης και το ανεπαρκές αποτέλεσμα της ταχύτητας περιστροφής μέσω του αισθητήρα τάσης.



Σχήμα 2.15 Τάση και ταχύτητα κατά την επιτάχυνση

Από πειραματικές δοκιμές με σταθερό φορτίο και εκκινήσεις του οχήματος, υποθέτοντας πως όλοι οι τροχοί είναι όμοιοι, εξήχθησαν τα εξής συμπεράσματα:

- I. Η μέθοδος αυτή είναι αναποτελεσματική για την επίτευξη συγκεκριμένης ταχύτητας και ακατάλληλη για τη ρύθμιση ταχύτητας του οχήματος που κινείται κανονικά στο δρόμο.
- II. Αν αλλάξει η επιθυμητή ταχύτητα περιστροφής κινητήρα ελάχιστα, τότε η τροφοδοσία θα αλλάξει και αυτή στο ελάχιστο.
- III. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για την εκκίνηση και την κίνηση σε μικρή ταχύτητα του οχήματος.

## 2.7 Είδη μετατροπών

### Μετατροπές DC-DC

Ένας μετατροπές DC/DC, μετατρέπει την μη ρυθμισμένη συνεχή τάση εισόδου (DC) ενός ορισμένου επιπέδου, σε μια ρυθμιζόμενη συνεχή τάση εξόδου (DC) διαφορετικού επιπέδου, με πολύ μεγάλη απόδοση μετατροπής. Οι σύγχρονοι μετατροπείς DC/DC λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες (10KHz–1Mhz) και χρησιμοποιούν τρανζίστορ όπως τα MOSFET και τα IGBT σαν διακόπτες. Τα πρώτα προτιμώνται σε εφαρμογές υψηλής συχνότητας, χαμηλής και μέσης ισχύος ενώ τα δευτέρα σε εφαρμογές υψηλής ισχύος και χαμηλής συχνότητας. Επιπλέον, ενσωματώνουν προηγμένες τεχνικές ελέγχου, όπως διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM), για τη ρύθμιση της τάσης εξόδου με ακρίβεια. Ο ρόλος τους είναι πολύ σημαντικός όσον αφορά την καλύτερη αξιοποίηση των πηγών ενέργειας, τη διαχείριση ενέργειας, τη δυναμική απόδοση, και τη βελτιστοποίηση του συστήματος. Οι συγκεκριμένοι μετατροπείς χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών όπως: η αυτοκινητοβιομηχανία, οι ηλεκτρονικές συσκευές, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα συστήματα ελέγχου DC μηχανών κ.α. Τέλος, η χρήση τους προσφέρει αρκετά οφέλη, ως προς τον μετασχηματισμό τάσης, την μείωση θορύβου και την αυξημένη ενεργειακή απόδοση.

### Μετατροπές DC-AC

Ο μετατροπές DC-AC γνωστός και ως inverter, είναι μια ηλεκτρονική συσκευή η οποία μετατρέπει την τάση συνεχούς ρεύματος (DC) σε σταθερή τάση εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), με ρυθμιζόμενο πλάτος και συχνότητα. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου απαιτείται AC τροφοδοσία από μια πηγή DC. Μερικές από αυτές είναι τα συστήματα ισχύος ηλεκτρικών οχημάτων, τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα τροφοδοτικά UPS, κ.α. Όσον αφορά την χρήση του σε ηλεκτρικά οχήματα, ο DC/AC μετατροπές αντλεί ισχύ συνεχούς ρεύματος από τους συσσωρευτές του οχήματος, με σκοπό να παρέχει την κατάλληλη ενέργεια στον ηλεκτρικό κινητήρα πρόωσης, ο οποίος με την σειρά του μεταδίδει ισχύ στους τροχούς του οχήματος. Ο inverter εκτελεί επιπλέον, την λειτουργία επαναφόρτισης των μπαταριών κατά την διαδικασία αναγεννητικής πέδησης σε Hybrid Electric Vehicles (HEVs). Ο συγκεκριμένος μετατροπές προσφέρει αρκετές προηγμένες λειτουργίες, όπως προστασία από υπερφόρτωση, αντιστάθμιση ισχύος, έλεγχο μέσω δικτύου, ενσωματωμένα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας κ.α.

### **Μετατροπείς δικτύου DC-AC**

Οι μετατροπείς DC-AC δικτύου χρησιμοποιούνται ευρέως σε φωτοβολταϊκά συστήματα, διότι επιτρέπουν την παράγωγή και την ενσωμάτωση της ηλεκτρικής ενέργειας που συλλέγεται από τα φ/β πάνελ, στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς μετατρέπουν την ενέργεια από την μορφή DC ρεύματος σε μορφή AC, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού δικτύου. Εμφανίζουν αρκετά πλεονεκτήματα όπως για παράδειγμα: εύκολη εγκατάσταση, προστασία από ενδεχόμενη υπέρταση ή υπερένταση, αυξημένη απόδοση κ.α.

### **Μετατροπείς συσσωρευτών DC-AC**

Οι μετατροπείς συσσωρευτών DC-AC είναι ηλεκτρονικές συσκευές που μετατρέπουν την συνεχή τάση η οποία αποθηκεύεται σε συσσωρευτές, σε εναλλασσόμενη τάση. Τους συναντάμε κυρίως σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (ΑΠΕ), με σκοπό την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση που η παράγωγή είναι αρκετά μικρή ή μηδενική.

## **2.8 Ανάλυση των τεχνολογιών φόρτισης**

### **2.8.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο 2 επίσης, αναλύονται κάποιες από τις προτεινόμενες τοπολογίες ηλεκτρονικών ισχύος που αναφέρονται στη πιο πρόσφατη βιβλιογραφία για την ενσύρματη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Επιπλέον, αναφέρονται οι χρόνοι και τα επίπεδα φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και ο τρόπος επικοινωνίας τους με το δίκτυο. Ακόμη, στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τρόποι αλληλεπίδρασης των ηλεκτρικών οχημάτων G2V, V2G, V2H και V2V.

## **2.9 Επίπεδα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων**

Πέραν των πρωτοποριακών τεχνολογιών που διακρίνουν τα ηλεκτρικά οχήματα, η ύπαρξη αποδοτικών υποδομών φόρτισης αναδεικνύεται ως κρίσιμος παράγοντας για την ευρεία αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων ως μέσου μεταφοράς. Εκτιμάται ότι μέχρι το έτος 2030, περίπου 130 εκατομμύρια οικιακοί φορτιστές και 13 εκατομμύρια δημόσιοι φορτιστές θα έχουν εγκατασταθεί παγκοσμίως, σηματοδοτώντας την υλοποίηση μιας μαζικής παγκόσμιας επένδυσης ύψους



δισεκατομμυρίων δολαρίων. Συγκεκριμένα στο Ηνωμένο Βασίλειο, η κυβέρνηση φιλοδοξεί να μειώσει τους περιβαλλοντικούς ρύπους των οχημάτων έως το 2030 και προσδοκά την πλήρη εξάλειψή τους έως το 2050, αναγνωρίζοντας έτσι τη συμβολή των μέσων μεταφοράς στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου[5].

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα, οι οποίες διαφέρουν ως προς την χρονική διάρκεια φόρτισης. Αυτές είναι η ταχεία φόρτιση και η αργή φόρτιση. Παρακάτω στο πίνακα 2 μπορούμε να διακρίνουμε τα δυο επίπεδα εναλλασσόμενης τάσης φόρτισης (1 & 2) και το ένα επίπεδο ταχείας φόρτισης DC, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά βάση στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και στην Ιαπωνία. Το επίπεδο φόρτισης AC 1 χρησιμοποιεί τύπο σύνδεσης J1772 και η τάση του είναι 120V. Βάσει της ισχύς εξόδου, η συγκεκριμένη φόρτιση μπορεί να χαρακτηριστεί ως αργή, διότι ο εκτιμώμενος χρόνος φόρτισης είναι αρκετά υψηλός. Συνεπώς, ο συγκεκριμένος τρόπος φόρτισης συναντάται κατά κύριο λόγο σε κατοικίες. Από την άλλη, το επίπεδο φόρτισης 2 AC θα μπορούσαμε να πούμε πως βρίσκεται κάπου μεταξύ, αργής και ταχείας φόρτισης. Αυτό συμβαίνει διότι, το επίπεδο τάσης είναι στα 208 – 240 V και επομένως η τυπική ισχύς εξόδου είναι μεγαλύτερη (7 – 19 kW), γεγονός που οδηγεί σε ταχύτερο χρόνο φόρτισης συγκριτικά με το επίπεδο AC 1. Ο τύπος σύνδεσης είναι ο ίδιος με τον προαναφερθέν και οι τυπικές τοποθεσίες των συγκεκριμένων φορτιστών (AC 2) βρίσκονται κυρίως σε δημοσίους χώρους, αλλά και κατοικίες.

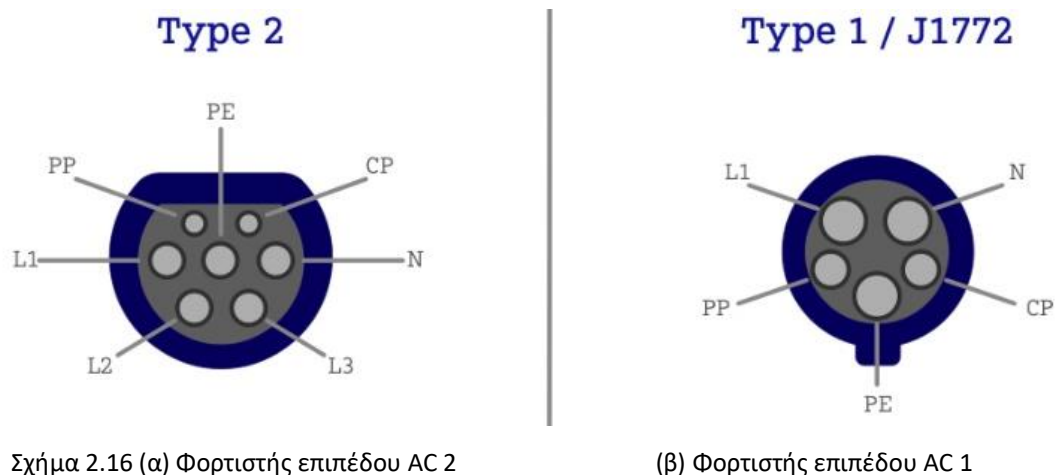
Τέλος, υπάρχει το επίπεδο ταχείας φόρτισης DC. Πρόκειται για έναν τρόπο φόρτισης που γίνεται μέσω των προτύπων CHAdeMO και Combined Charging System 1 (CCS 1). Τα επίπεδα τάσης στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι υψηλά και κυμαίνονται από 400 έως 1000 V. Το αποτέλεσμα είναι, να έχουμε 50 – 350 kW ισχύ εξόδου, η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη από τα δυο προηγούμενα επίπεδα φόρτισης που αναφέρθηκαν παραπάνω. Έτσι, η φόρτιση πλέον ενός ηλεκτρικού οχήματος πραγματοποιείται εξαιρετικά γρήγορα (20min – 1 hour). Η μέθοδος DC fast charge, είναι διαθέσιμη σε δημοσίους χώρους, όπως για παράδειγμα εμπορικά κέντρα, supermarket κ.α.

Πίνακας 2 Επίπεδα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

	Επίπεδο φόρτισης 1 (AC 1)	Επίπεδο φόρτισης 2 (AC 2)	Ταχεία φόρτιση DC (DC Fast Charge)
Τύπος σύνδεσης	J1772	J1772	Combined Charging System 1 (CCS 1) & CHAdeMO
Επίπεδο Τάσης	120V AC	208 – 240 V AC	400 – 1000 V DC
Ισχύς εξόδου	1 kW	7 – 19 kW	50 – 350 kW
Εκτιμώμενος χρόνος πλήρους φόρτισης PHEV	5 – 6 ώρες	1 – 2 ώρες	–
Εκτιμώμενος χρόνος πλήρους φόρτισης BEV	40 – 50 ώρες	4 – 10 ώρες	20 λεπτά – 1 ώρα
Εκτιμώμενο εύρος κάλυψης απόστασης ανά ώρα φόρτισης	3.3 – 8 χιλιόμετρα	16 – 32 χιλιόμετρα	290 – 390 χιλιόμετρα
Τοποθεσίες φορτιστών	Κατοικίες	Κατοικίες, Χώροι εργασίας, Δημόσιοι χώροι	Δημόσιοι χώροι

Παρακάτω στο σχήμα 2.16 μπορούμε να διακρίνουμε τα είδη φορτιστών για τα επίπεδα φόρτισης AC 1 & AC 2. Ο τύπος 1 / J1772 (AC 1) χρησιμοποιείται ευρέως στην Βόρεια Αμερική, αλλά και στην Ιαπωνία. Από την άλλη, ο τύπου 2 (AC 2) συναντάται κυρίως στην Ευρώπη, καθώς και σε άλλες χώρες. Η διαφορά μεταξύ των δυο φορτιστών είναι ότι, στην περίπτωση AC 1 έχουμε έναν ακροδέκτη τάσεως, δηλαδή μονοφασική τάση (φάση L1), ενώ στην AC 2 έχουμε τριφασική

τάση (φάσεις L1,L2,L3). Οι ακροδέκτες N είναι οι ουδέτεροι αγωγοί και οι ακροδέκτες PE είναι οι αγωγοί γείωσης. Στην συνέχεια, ο ρόλος του ακροδέκτη PP (Proximity Pilot) είναι, να μπορεί να αναγνωρίζει ποσό ρεύμα είναι σε θέση να «αντέξει» ο αγωγός. Αυτό πραγματοποιείται μέσω αντίστασης που υπάρχει ανάμεσα στην επαφή PP και στην γείωση PE. Με αυτόν τον τρόπο δεν συμβαίνει άντληση της πλήρους ισχύς ενός σταθμού φόρτισης, ακόμα και εάν ο αγωγός που χρησιμοποιούμε για φόρτιση μπορεί να διαχειριστεί μικρότερο ρεύμα. Τέλος, ο ακροδέκτης CP (Control Pilot) λειτουργεί ως σηματοδότης εισαγωγής μεταξύ οχήματος και σταθμού φόρτισης, παρέχοντας επιπλέον λειτουργίες ασφάλειας και επικοινωνίας. Ο μηχανισμός ασφαλείας περιλαμβάνει έναν αντιστάτη και μια δίοδο που τοποθετούνται μεταξύ των ακροδεκτών CP και PE. Η δίοδος χρησιμεύει στο να υποδεικνύει τη συνέχεια της λειτουργίας, έτσι ώστε να μειώνεται η τάση πιλότου που μεταδίδεται από τον σταθμό φόρτισης από +12 V σε +9 V. Μπορούμε να πούμε πως ο τύπος φόρτισης AC 2 είναι ίσως ο πιο διαδεδομένος μέχρι στιγμής, καθώς χρησιμοποιείται συχνότερα και μπορεί να βρεθεί σε αρκετές οικίες αλλά και δημοσίους χώρους φόρτισης.



Στην συνέχεια, στο σχήμα 2.17 μπορούμε να δούμε τα δύο είδη φορτιστών που χρησιμοποιούνται για την ταχεία φόρτιση DC (Fast Charge). Το Combined Charging System 1 (CCS 1) έχει υιοθετηθεί ευρύτατα στις Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής καθώς και στην Ιαπωνία, καθώς χρησιμοποιεί τον σύνδεσμο Combo 1, σε αντίθεση με το CCS 2 το οποίο συναντάται στην Ευρώπη. Από την άλλη, ο CHAdeMO κατασκευάστηκε από την Tokyo Electric Power Company και άλλες πέντε Ιαπωνικές εταιρείες αυτοκίνητων και συναντάται κυρίως στην Ιαπωνία. Οι δυο αυτοί φορτιστές μπορούν να φορτίζουν με DC τάση αλλά και AC, υπό προϋποθέσεις. Ο CHAdeMO για να εκμεταλλευτεί φόρτιση με AC ρεύμα, χρειάζεται ένα επιπλέον καλώδιο σύνδεσης. Ωστόσο,

σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι ο φορτιστής CHAdeMO είναι ο μόνος φορτιστής αμφίδρομης ροής μαζικής παράγωγης, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι πέρα από την φόρτιση (G2V), μπορεί να επιστρέψει και ενέργεια στο δίκτυο (V2G). Από την άλλη πλευρά ο CCS 1, είναι πιο βολικός στην χρήση του ως προς την συνολική εμπειρία φόρτισης, διότι δεν χρειάζεται συγκεκριμένο καλώδιο για φόρτιση με AC ρεύμα. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και από το σχήμα 2.17 α, στο φορτιστή CCS 1 οι πέντε υποδοχές στο άνω μέρος έχουν τον ίδιο σκοπό με αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω για τον φορτιστή επιπέδου AC 1. Επομένως, οι δύο ακροδέκτες στο κάτω μέρος είναι για την συνεχή φόρτιση DC. Από την άλλη, στο φορτιστή CHAdeMO του σχήματος 2.17 β, οι DC+ και DC- είναι οι ακροδέκτες συνεχούς τάσης. Επιπρόσθετα, στο άνω μέρος ο ακροδέκτης FG που φέρει το πράσινο χρώμα αποτελεί την γείωση, ο SS1 δίνει το σήμα έναρξης φόρτισης και ο DCP δίνει σήμα για άδεια σύνδεσης με το ρεύμα. Στο κάτω μέρος εν συνεχεία, μπορούμε να διακρίνουμε τον ακροδέκτη PP (Proximity Pilot) που όπως αναφέραμε πιο πάνω αναγνωρίζει την ποσότητα ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό και ελέγχει την σύνδεση, τον SS2 ο οποίος δίνει σήμα φόρτισης όπως και ο SS1 και τέλος οι δύο ακροδέκτες C-H και C-L αποτελούν το δίκτυο περιοχής ελεγκτή (CAN bus), το οποίο επικοινωνεί με τον δίαυλο (bus) του οχήματος, έτσι ώστε να καθοριστούν οι παράμετροι λειτουργίας.



Σχήμα 2.17 (α) Combined Charging System 1 (CCS 1)

(β) CHAdeMO

## 2.10 Τεχνολογία Vehicle-to-Grid (V2G)

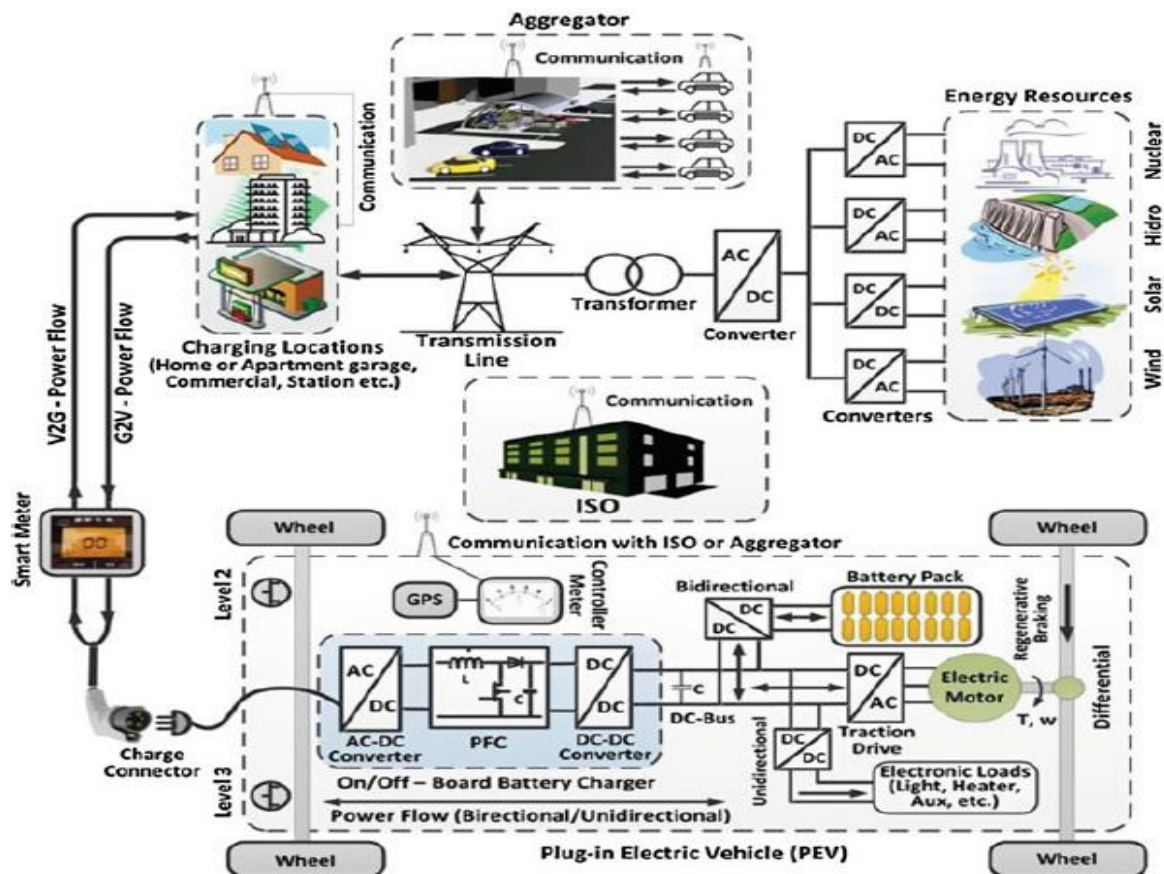
Η τεχνολογία Vehicle-to-Grid αναφέρεται στη δυνατότητα αλληλεπίδρασης μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και ηλεκτρικού δικτύου. Κατά βάση, επιτρέπει την αμφίδρομη ροή ισχύος μεταξύ ενός ηλεκτρικού οχήματος και του ηλεκτρικού δικτύου. Για να πραγματοποιηθεί,

απαιτείται ένας αμφίδρομος φορτιστής οχήματος, και ένα σύστημα επικοινωνίας μεταξύ οχήματος και δικτύου.

Υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα στην συγκεκριμένη τεχνολογία. Αρχικά, μπορεί να συμβάλει στην αποφόρτιση του ηλεκτρικού δικτύου κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης ενέργειας, μειώνοντας τον κίνδυνο απροσδόκητων διακοπών στην ηλεκτροδότηση. Για παράδειγμα, ένα ηλεκτρικό όχημα μπορεί να φορτίζει τη μπαταρία του από το δίκτυο κατά τις απογευματινές ώρες, όταν η ηλεκτρική ενέργεια είναι πιο οικονομική ή παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Αντιθέτως, όταν το δίκτυο χρειάζεται επιπλέον ισχύ, τότε το όχημα μπορεί να εκφορτίσει την αποθηκευμένη ενέργειά του πίσω σε αυτό. Επιπλέον, η τεχνολογία V2G μπορεί να βοηθήσει στην ενσωμάτωση μεγάλου αριθμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο, όπως τα αιολικά και ηλιακά συστήματα, επιτρέποντας στο ηλεκτρικό όχημα να λειτουργεί ως αποθήκη ενέργειας και να απελευθερώνει ενέργεια σύμφωνα με τις ανάγκες. Τέλος, η τεχνολογία V2G μπορεί να παρέχει οικονομικά οφέλη στους ιδιοκτήτες ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς μπορούν να πωλούν την αποθηκευμένη ενέργεια πίσω στο δίκτυο κατά τις περιόδους αιχμής, μειώνοντας έτσι το κόστος φόρτισης του οχήματος.

Επομένως, λόγω της αυξανόμενης ηλεκτρικής κινητικότητας, το δίκτυο θα πρέπει να προσαρμοστεί στην εκθετική αύξηση του αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων που θα χρειάζεται να φορτιστούν. Η V2G τεχνολογία βοηθά στη μετατόπιση του φορτίου στα δίκτυα παρέχοντας ένα προσωρινό απόθεμα ισχύος που μπορεί να παρέχει ενέργεια πίσω στο δίκτυο, με σκοπό την εξομάλυνση της ζήτησης.

Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η τεχνολογία V2G είναι ακόμη σε στάδιο ανάπτυξης και δοκιμών και δεν έχει επικρατήσει ευρέως σε εμπορική κλίμακα. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη για την αντιμετώπιση τεχνικών, οικονομικών και νομικών προκλήσεων που σχετίζονται με την συγκεκριμένη τεχνολογία.



Σχήμα 2.18 Ροή ισχύος σε ένα σύστημα V2G

### 2.10.1 Τεχνολογία Grid-to-Vehicle (G2V)

Η τεχνολογία Grid-to-Vehicle σχετίζεται με την V2G που αναφέρθηκε προηγουμένως, με την διαφορά ότι η G2V αφορά την διαδικασία φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Η G2V μπορεί να περιλαμβάνει έξυπνα συστήματα διαχείρισης φόρτισης που βελτιστοποιούν τη διαδικασία, με βάση παράγοντες όπως οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, η ζήτηση του δικτύου και η διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτά τα συστήματα μπορούν να προγραμματίσουν τη φόρτιση σε ώρες εκτός αιχμής, όταν οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλότερες ή να δίνουν προτεραιότητα στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για φόρτιση.

Η συγκεκριμένη τεχνολογία δίνει την δυνατότητα στα EVs να αντλούν ισχύ από το δίκτυο για την φόρτιση τους από έναν σταθμό φόρτισης, ο οποίος μπορεί να βρίσκεται εγκατεστημένος είτε σε οικία είτε σε χώρο εργασίας, είτε σε κάποιο δημόσιο χώρο. Επιπρόσθετα μέσω της διαδικασίας V2G, μπορεί να υπάρξει υποστήριξη του δικτύου, η οποία θα οδηγήσει στην αποφυγή προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν κατά την αιχμή του φορτίου.

Συνοψίζοντας, η τεχνολογία G2V είναι ήδη εμπορικά διαθέσιμη και υιοθετείται ευρέως ως μέρος της υποδομής φόρτισης EV. Συμπληρώνει τις δυνατότητες V2G, δημιουργώντας μια αμφίδρομη ροή ενέργειας μεταξύ των EV και του δικτύου, συμβάλλοντας σε ένα πιο αποδοτικό και βιώσιμο ενεργειακό οικοσύστημα.

### **Vehicle-to-Home (V2H):**

Μια επέκταση της τεχνολογίας G2V είναι η Vehicle-to-Home (V2H), όπου η ενέργεια που αποθηκεύεται στην μπαταρία ενός EV μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία ενός σπιτιού ή για την παροχή εφεδρικής ενέργειας σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες αμφίδρομης φόρτισης, ένα EV μπορεί να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο ηλεκτρικό σύστημα ενός σπιτιού, μειώνοντας την εξάρτηση από το δίκτυο και παρέχοντας ευελιξία στη διαχείριση ενέργειας.

Τα κύρια οφέλη της τεχνολογίας V2H περιλαμβάνουν την εξοικονόμηση ενέργειας, τη μείωση των δαπανών για την κατανάλωση ενέργειας και την αυτονομία του σπιτιού από το δίκτυο κατά τη διάρκεια διακοπών ηλεκτρικού ρεύματος. Επιπλέον, η τεχνολογία V2H μπορεί να συμβάλει στην ευελιξία και στην αποθήκευση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως ηλιακά ή αιολικά συστήματα.

Η ένταξη της V2H στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο, απαιτεί την συνεργασία και την συμβατότητα μεταξύ των παρόχων ρεύματος, των διαχειριστών δικτύου και των διάφορων ρυθμιστικών αρχών. Τα συστήματα V2H, έχουν την δυναμική να επηρεάσουν την ευστάθεια του δικτύου, συνεπώς και την διαχείριση ενέργειας. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να αναπτυχθούν κανονισμοί, τεχνικά πρότυπα και απαραίτητα πρωτόκολλα διασύνδεσης δικτύου, πρώτου η τεχνολογία αυτή γίνει ευρέως διαθέσιμη.

Τέλος, για να γίνει εφικτή η εφαρμογή της V2H σε μεγάλη κλίμακα, απαιτούνται υποστηρικτικές πολιτικές και ανάλογα ρυθμιστικά πλαίσια. Τα πλαίσια αυτά, θα πρέπει να αφορούν διάφορους τομείς όπως, τα πρότυπα ασφάλειας, η αγορά ενέργειας και τα προγράμματα που θα ενθαρρύνουν την υιοθέτηση συστημάτων V2H. Με την ανάπτυξη, αλλά και την συνεχή βελτίωση των πλαισίων αυτών, θα δημιουργηθεί ένα ευνοϊκό περιβάλλον με σκοπό την ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

### **Vehicle-to-Vehicle (V2V):**

Η Vehicle-to-Vehicle (V2V) τεχνολογία επιτρέπει στα οχήματα να ανταλλάσσουν πληροφορίες μέσω ασύρματης επικοινωνίας, με στόχο τη βελτίωση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας στον δρόμο.

Η V2V επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων, όπως ταχύτητα, θέση, κατεύθυνση, αλλά και διάφορων παραμέτρων λειτουργίας μεταξύ των οχημάτων. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ειδοποιηθούν οι οδηγοί για πιθανούς κινδύνους (π.χ. πρόσκρουση) και να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα αποφυγής. Μέσω αυτής της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των οχημάτων, μπορεί να επιτευχθεί πρόληψη ατυχημάτων, καθώς και βελτίωση της ροής κυκλοφορίας, δημιουργώντας έξυπνα δίκτυα μεταφορών.

Ωστόσο, για να επιτευχθεί ευρεία χρήση της τεχνολογίας V2V, απαιτείται η ύπαρξη συμβατών συστημάτων μεταξύ των οχημάτων και των υποδομών. Επιπλέον, είναι σημαντικό να διευθετηθούν ζητήματα ασφάλειας και προστασίας προσωπικών δεδομένων κατά την ανάπτυξη και εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

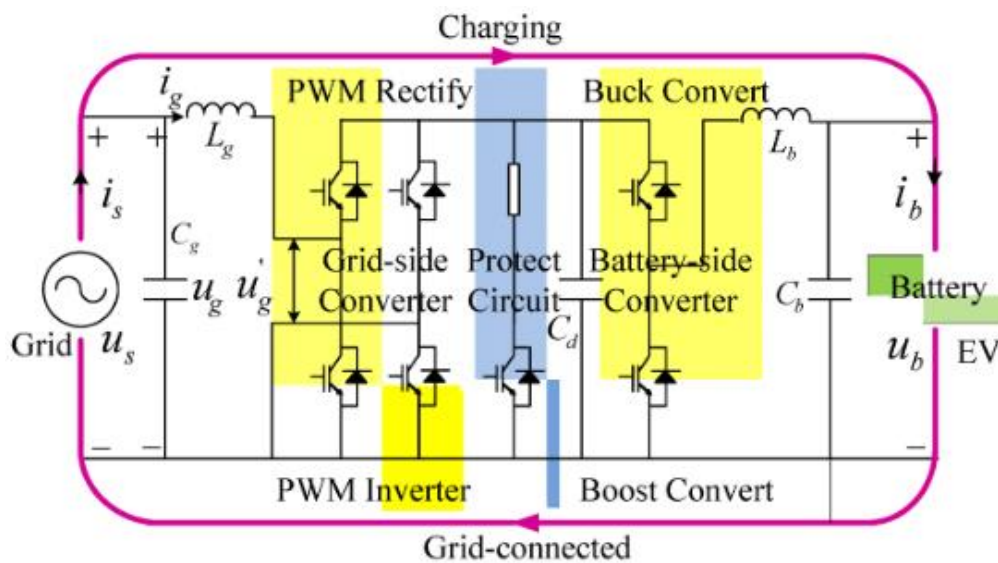
### **2.10.2 Τοπολογία μετατροπών ισχύος για λειτουργία Vehicle-to-Grid (V2G)**

Όταν υπάρχει ένας αρκετά μεγάλος αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων που συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο, οι μπαταρίες τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως διανεμημένες μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Συνεπώς, όταν το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο και τα ηλεκτρικά οχήματα βρίσκονται ακίνητα, μπορούν να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο μέσω της αποθηκευμένης ενέργειας των μπαταριών τους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω φορτιστών διπλής κατευθύνσεως ή ενός εξωτερικού μετατροπέα ηλεκτρονικής ισχύος με τη λειτουργία V2G [5].

Η παρακάτω προτεινόμενη τοπολογία, είναι βασισμένη στο κινέζικο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και από το σχήμα 2.19, πρόκειται για μια αμφίδρομη μεταφορά ενέργειας μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία πραγματοποιείται στα πλαίσια της λειτουργίας V2G. Στην συγκεκριμένη τοπολογία υπάρχει ένας μετατροπέας ισχύος στην πλευρά του δικτύου, ένα κύκλωμα προστασίας (protect circuit) και έναν μετατροπέα ισχύος από την πλευρά της μπαταρίας του οχήματος. Το παρακάτω σύστημα V2G, μπορεί να πραγματοποιήσει τρεις διαφορετικές λειτουργίες: Λειτουργία σύνδεσης με το δίκτυο, λειτουργία φόρτισης, καθώς και λειτουργία αντιστάθμισης αέργου ισχύος. Επομένως, τα στοιχεία του κυκλώματος θα διαδραματίσουν διαφορετικό ρόλο, ανάλογα τον τρόπο λειτουργίας,



ακόμη και αν πρόκειται για το ίδιο τμήμα αυτής της προτεινόμενης τοπολογίας. Κατά την λειτουργία φόρτισης, ο μετατροπέας που βρίσκεται στην πλευρά του δικτύου είναι ένας ανορθωτής Pulse-Width Modulation (PWM), ενώ ο μετατροπέας που βρίσκεται από την πλευρά της μπαταρίας είναι ένας μετατροπέας buck. Από την άλλη, όταν πρόκειται για λειτουργία σύνδεσης με το δίκτυο, τότε ο μετατροπέας PWM είναι στην πλευρά του δικτύου και από την πλευρά της μπαταρίας είναι ένας μετατροπέας ανύψωσης. Όσον αφορά την λειτουργία αντιστάθμισης αέργου ισχύος, ο μετατροπέας στην πλευρά του δικτύου είναι ένας αντισταθμιστής αέργου ισχύος και ο μετατροπέας που βρίσκεται από την πλευρά της μπαταρίας είναι μετατροπέας ανύψωσης. Τέλος, το κύκλωμα προστασίας είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχει ένα κανάλι εκφόρτισης, το οποίο θα είναι σε θέση να καταναλώσει την πλεονάζουσα ενέργεια που μπορεί να υπάρξει στο κύκλωμα και με αυτό τον τρόπο να καταφέρει να περιορίσει την τιμή συνεχής τάσης του συνδέσμου DC.



Σχήμα 2.19 Τοπολογία αμφίδρομης μεταφοράς ενέργειας για λειτουργία V2G

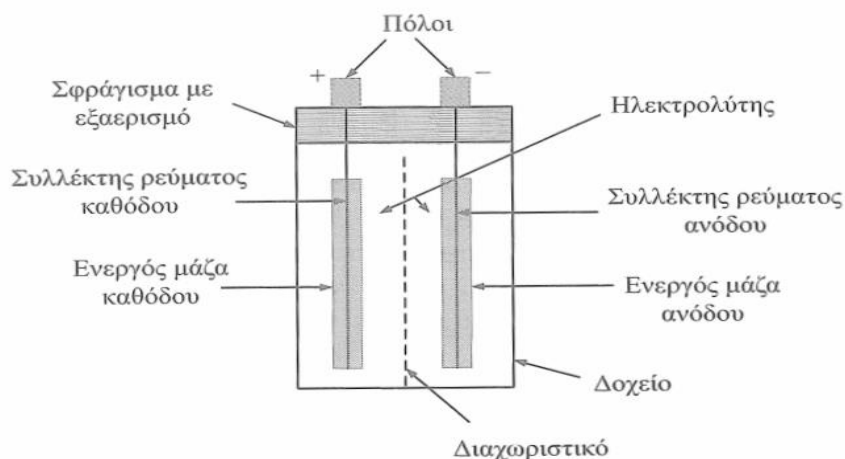
## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### 3. Ανάλυση διαδικασίας φόρτισης

#### 3.1 Συσσωρευτές

Οι συσσωρευτές είναι συσκευές που αποθηκεύουν χημική ενέργεια και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική, με σκοπό την λειτουργία κυκλωμάτων. Χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές και πληρούν ένα εύρη φάσμα ιδιοτήτων και λειτουργικών απαιτήσεων. Ως κάποιες από τις χρήσεις ενός συσσωρευτή ενδεικτικά θα μπορούσαν να αναφερθούν: το άναμμα του φωτός ενός φακού, η εκκίνηση ενός κινητήρα αυτοκινήτου, η τροφοδότηση ενός φορητού υπολογιστή με ηλεκτρική ενέργεια, ή ακόμα και η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία προήλθε από την μετατροπή ηλιακής ενέργειας σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ενός συσσωρευτή, είναι αποτέλεσμα μιας χημικής αλλαγής μέσα στο συσσωρευτή. Τα αντιδρώντα σωματίδια της οξειδοαναγωγής δεν θα πρέπει να αντιδρούν άμεσα μεταξύ τους, αλλά πρέπει να καταναλώνονται σε διαφορετικές θέσεις στο εσωτερικό, δηλαδή στην άνοδο και στην κάθοδο του συσσωρευτή. Στην ηλεκτροχημεία η οξείδωση συνδέεται με την αύξηση του σθένους του μετάλλου.



Σχήμα 3.1 Η μορφή ενός κελιού και τα κύρια τμήματα που συνθέτουν τον συσσωρευτή

##### 3.1.1 Τύποι συσσωρευτών

Υπάρχουν συσσωρευτές διάφορων τύπων, των οποίων τα ονόματα προκύπτουν από τον τύπο των ηλεκτροδίων κατασκευής. Για παράδειγμα, υπάρχουν οι συσσωρευτές μολύβδου, οι οποίοι είναι περισσότερο διαδεδομένοι στα φωτοβολταϊκά συστήματα, αλλά και στα αυτοκίνητα

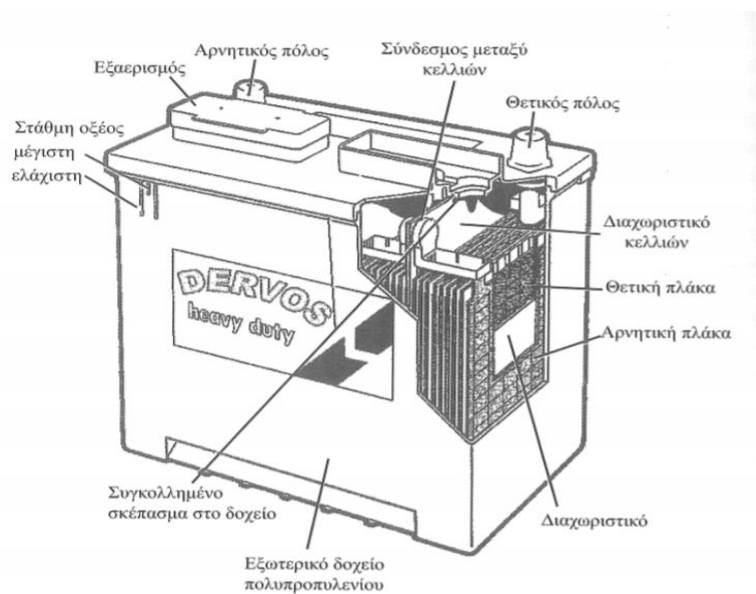
λόγω του χαμηλού κόστους και των πολλών άλλων πλεονεκτημάτων. Κατά συνέπεια, παρακάτω θα δούμε μερικούς τύπους συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές που έχουν σχέση με οχήματα, άλλα και όχι μόνο.

### Συσσωρευτές μολύβδου-οξέος

Οι συσσωρευτές μολύβδου αποτελούν έναν από τους παλαιότερους και πλέον διαδεδομένους τύπους στον τομέα αποθηκευτικών συστημάτων. Χρησιμοποιούν πλάκες μολύβδου και ηλεκτρολύτη με βάση το θειικό οξύ, για την αποθήκευση και την απελευθέρωση ενέργειας. Έχουν ευρύτατη χρήση σε διάφορους τομείς, όπως: τα αυτοκίνητα, οι μοτοσυκλέτες, τα συστήματα εφεδρικής ισχύος κ.α. Ο σχεδιασμός τους συνεχώς βελτιώνεται, καθώς γίνεται μείωση στο συνολικό βάρος με την αντικατάσταση διάφορων υλικών και αύξηση της πυκνότητας ενέργειας χωρίς λειτουργικές επιπτώσεις.

#### (α) Συσσωρευτές αυτοκίνητων

Χρησιμοποιούνται στην εκκίνηση του κινητήρα και στο φωτισμό και παρέχουν χωρητικότητα 100 Ah για 20 ώρες εκφόρτιση. Ακόμα, έχουν τη δυνατότητα παλμού ρεύματος για να ξεκινάει ο κινητήρας του αυτοκινήτου, ενδεικτικά 400 A-450 A για διάρκεια 30 s χωρίς πτώση τάσης κάτω από τα 7.2 V και δυνατότητα τροφοδοσίας μικρής εντάσεως για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η ενεργειακή τους πυκνότητα είναι περίπου 30-40 Wh/kg και η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται στα 3-5 έτη. Τέλος, έχουν τη δυνατότητα πολλαπλών κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης.



Σχήμα 3.2 Τομή συσσωρευτή μολύβδου για αυτοκίνητο

#### (β) Συσσωρευτές ισχύος

Οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές παρέχουν μεγαλύτερο δυναμικό στους πόλους και μεγαλύτερη χωρητικότητα, η οποία αποκτάται με τη χρησιμοποίηση μεγαλύτερων και παχύτερων ηλεκτροδίων.

#### (γ) Στατικοί συσσωρευτές και πάροχοι ενέργειας σε αναμονή

Οι συσσωρευτές μολύβδου χρησιμοποιούνται σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές, αλλά και σε συνθήκες λειτουργίας που απαιτούν αναμονή πριν τροφοδοτήσουν το φορτίο. Συνεπώς, κατασκευάζονται συσσωρευτές μολύβδου με διάφορες τιμές δυναμικού, ρεύματος και χωρητικότητας. Κατά την περίοδο της αναμονής, οι συσσωρευτές ενδέχεται να αποφορτίζονται αργά μόνοι τους και όταν βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής για μεγάλα χρονικά διαστήματα, επιλέγεται η δυνατότητα συνεχούς φόρτισης με πολύ χαμηλή ροή φορτίου.

#### (δ) Σφραγισμένα κελιά χωρίς ελεύθερο ηλεκτρολύτη

Τέτοιου είδους συσσωρευτές χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη, σε κλειστούς μη αεριζόμενους χώρους, στρατιωτικές εφαρμογές και μοτοσυκλέτες, καθώς δεν διατρέχουν τον κίνδυνο της διαρροής του οξέος σε περίπτωση αστοχίας κελύφους.

### **Συσσωρευτές νικελίου-υδριδίου μετάλλου**

Οι συσσωρευτές αυτοί είναι παρόμοιοι με τους νικελίου-καδμίου που αναφέρθηκαν παραπάνω. Είναι και αυτοί επαναφορτιζόμενοι, αλλά παρουσιάζουν ακόμα μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας. Χρησιμοποιούνται εκτενώς σε υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα. Έχουν αρκετά θετικά χαρακτηριστικά, μερικά εκ των οποίων είναι: Η αυξημένη διάρκεια ζωής (5-7 έτη), η ασφαλή λειτουργία σε υψηλή τάση, η υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από συσσωρευτές μολύβδου (60-70 Wh/kg) και τέλος η χαμηλότερη τιμή τους σε σχέση με αυτή των συσσωρευτών ιόντων-λίθου.

Στον αντίποδα, πρέπει να αναφερθούν και κάποια αρνητικά τους στοιχεία, όπως: Η μειωμένη ισχύς προς χρήση λόγω του φαινομένου μνήμης, η μείωση της διάρκειας ζωής σε περίπτωση αποφόρτισης, καθώς και η μείωση της απόδοσης τους σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

### **Συσσωρευτές ιόντων-λιθίου**

Πρόκειται για επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές, οι οποίοι έχουν εμφανιστεί εδώ και χρόνια στην καθημερινότητα όλων των ανθρώπων. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε διαφορές εφαρμογές, όπως: κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, στην βιομηχανία, αλλά και στην ηλεκτροκίνηση. Όσον αφορά την έντονη χρήση τους στα ηλεκτρικά οχήματα, μπορούμε να πούμε πως παρουσιάζουν αρκετά θετικά στοιχεία όπως: υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (150-200 Wh/kg), μικρότερες διαστάσεις και βάρος σε σχέση με άλλους συσσωρευτές, χαμηλό φαινόμενο μνήμης και αρκετά μεγάλη διάρκεια ζωής (περίπου 8-10 έτη).

Από την άλλη πλευρά, οι συσσωρευτές ιόντων-λιθίου έχουν και κάποια πολύ σημαντικά μειονεκτήματα, όπως για παράδειγμα, το πολύ υψηλό κόστος, αλλά και η περιορισμένη αντοχή στην υψηλή θερμοότητα. Επιπρόσθετα, μεγάλη ανησυχία υπάρχει γύρω από το θέμα ασφάλειας των συγκεκριμένων συσσωρευτών, καθώς υπάρχει αυξημένος κίνδυνος πυρκαγιάς σε περίπτωση που το όχημα εμπλακεί σε τροχαίο ατύχημα. Μια μερίδα επιστημόνων θεωρεί πως τα περιθώρια περαιτέρω βελτίωσης των συγκεκριμένων συσσωρευτών, στα πλαίσια της ηλεκτροκίνησης, δεν είναι τόσο μεγάλα. Αυτό είναι αρκετά πιθανό να οδηγήσει στην εξέλιξη νέων τεχνολογιών συσσωρευτών, με σκοπό την χρήση τους σε επερχόμενα ηλεκτρικά οχήματα.

### **Συσσωρευτές στερεάς κατάστασης**

Πρόκειται για ένα νέο είδος συσσωρευτών το οποίο διαφέρει σε σχέση με τα υπόλοιπα, καθώς χρησιμοποιεί στερεούς ηλεκτρολύτες, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους συσσωρευτές οι οποίοι χρησιμοποιούν υγρούς. Παρά την σημαντική τεχνολογική πρόοδο που έχει γίνει στους συσσωρευτές ιόντων-λιθίου, επικρατεί η άποψη ότι οι συσσωρευτές στερεάς κατάστασης θα αποτελέσουν το επόμενο βήμα στον τομέα της ηλεκτροκίνησης.

Η άποψη αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι, οι συσσωρευτές στερεάς κατάστασης διαθέτουν μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα σε σχέση με τους ιόντων-λιθίου, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι μπορούν να αποθηκεύουν περισσότερη ενέργεια στον ίδιο όγκο. Αυτό στην περίπτωση των ηλεκτρικών οχημάτων, μπορεί να μεταφραστεί σε μεγαλύτερη αυτονομία ανά φόρτιση. Ένα τέτοιο πλεονέκτημα, θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντικό κριτήριο, για την πιθανή μελλοντική τους καθιέρωση στα ηλεκτροκίνητα οχήματα. Επιπλέον, έχουν την δυνατότητα γρηγορότερης φόρτισης και είναι αρκετά πιο ασφαλείς, πράγμα το οποίο μειώνει δραματικά τον κίνδυνο πιθανής φωτιάς ή έκρηξης τους. Αξιοσημείωτο επίσης είναι το γεγονός, ότι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των συσσωρευτών αυτών είναι αρκετά μικρότερο συγκριτικά με τους υπόλοιπους. Μειονέκτημα τους

είναι το υψηλό κόστος, καθώς πρόκειται για μια νέα τεχνολογία η οποία βρίσκεται υπό συνεχή ανάπτυξη.

Η μαζική παραγωγή τους φαίνεται να προχωρά με αργούς ρυθμούς, λόγω των ερευνών και των δοκιμών που πρέπει να πραγματοποιηθούν. Παρ'όλα αυτά, οι έρευνες συνεχίζονται με εντατικούς ρυθμούς και αρκετές εταιρείες θεωρούν πως οι συσσωρευτές στέρεας κατάστασης θα καταφέρουν στο προσεχές μέλλον να αντικαταστήσουν τους ήδη υπάρχοντες συσσωρευτές ηλεκτρικών οχημάτων, προσφέροντας μια πολύ πιο αποδοτική αλλά και οικολογική λύση.

### **3.1.2 Αποτίμηση λειτουργίας συσσωρευτή**

Η λειτουργία των συσσωρευτών πρέπει να δοκιμάζεται σε πραγματικές λειτουργικές καταστάσεις. Οι συνήθεις δοκιμές περιλαμβάνουν μετρήσεις χωρητικότητας, της πυκνότητας ενέργειας και της πυκνότητας ισχύος. Για τους επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές, απαιτείται ο καθορισμός του κύκλου ζωής τους και της απόδοσης της ενέργειας τους. Οι δοκιμές γίνονται κατά την εκφόρτιση με ορισμένη αντίσταση, κατά την εκφόρτιση με σταθερό ρεύμα, υπό σταθερή τάση και κατά την εκφόρτιση με σταθερή ισχύ.

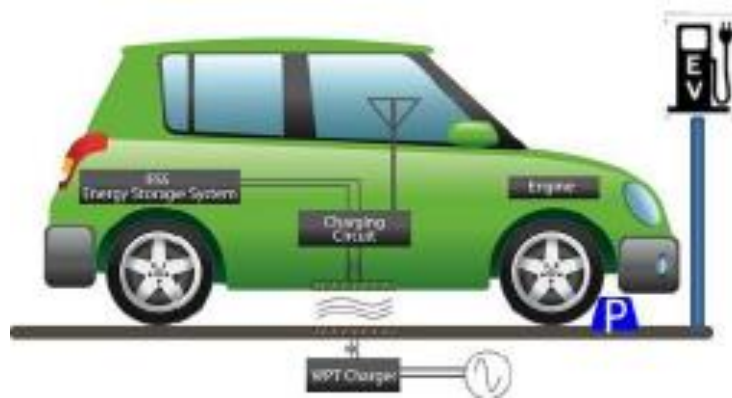
Τέλος, ένα πλήρες πρόγραμμα δοκιμών πρέπει να συνεκτιμά και άλλες παραμέτρους λειτουργίας, όπως για παράδειγμα την επίδραση περιβαλλοντικών συνθηκών κατά τη λειτουργία και κατά την αποθήκευση (θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση). Επιπλέον, σημαντικοί παράμετροι είναι η επίδραση των μηχανικών κρούσεων/κραδασμών, της επιτάχυνσης και πιθανώς της ακτινοβολίας, καθώς και οι κίνδυνοι από ανεπιθύμητες συνθήκες χρήσης (υπερφόρτιση, βραχυκύκλωμα).

## **3.2 Τεχνολογία ασύρματης φόρτισης**

Η ασύρματη μεταφορά ισχύος αποτελεί ένα επαναστατικό βήμα στη φόρτιση των PEV, εξαιτίας της πληθώρας πλεονεκτημάτων της. Τα πλεονεκτήματα που είναι αρκετά γνωστά είναι η ασφάλεια, η άνεση φόρτισης, η ευελιξία και η αυτονομία όσον αφορά την ευκολία του επιβάτη, αφού δεν αναγκάζεται να μετακινηθεί από την θέση του. Συνεπώς, λόγω των προαναφερθέντων πλεονεκτημάτων η Wireless Power Transfer (WPT) θεωρείται επαναστατική τεχνολογία. Το Wireless Power Transfer System (WPTS) έδωσε ένα τέλος στην εποχή των “ατελείωτων” καλωδίων για την σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο και συνέβαλε στην ανταλλαγή πληροφοριών ασύρματα

[6]. Τελικά, μέσω των ασύρματων τεχνολογιών κατέστη δυνατή και η φόρτιση κατά την κίνηση του οχήματος, η οποία καλείται δυναμική ασύρματη φόρτιση.

Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζεται η βασική δομή της φόρτισης PEV όταν αυτό βρίσκεται σε ακινησία. Η ακίνητη φόρτιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι δυνατό να λάβει χώρα είτε σε οικιακό χώρο είτε σε χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων, αλλά ακόμα και σε δημόσιο χώρο φόρτισης, αρκεί το πάτωμα του χρησιμοποιούμενου χώρου να είναι εξοπλισμένο με το WPTS. Η φόρτιση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας του PEV (ESS) γίνεται αυτόματα, όπου εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος που είναι αποθηκευμένος στον ελεγκτή του WPT. Αν ανιχνευθεί σύνδεση ανάμεσα στο PEV και στη μονάδα WPT, τότε ο υψίσυχνος αντιστροφέας παρέχει ρεύμα διέγερσης στο συντονισμένο πρωτεύον πηνίο σε μια προκαθορισμένη συχνότητα συντονισμού. Από την άλλη, η ισχύς στο δευτερεύον ανορθώνεται φιλτράρεται και αποθηκεύεται στο Energy Storage System (ESS). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η μέτρηση ροής ισχύος, καθώς και η επικοινωνία του οχήματος με το δίκτυο υλοποιείται μέσω ράδιο συχνοτήτων καναλιών.



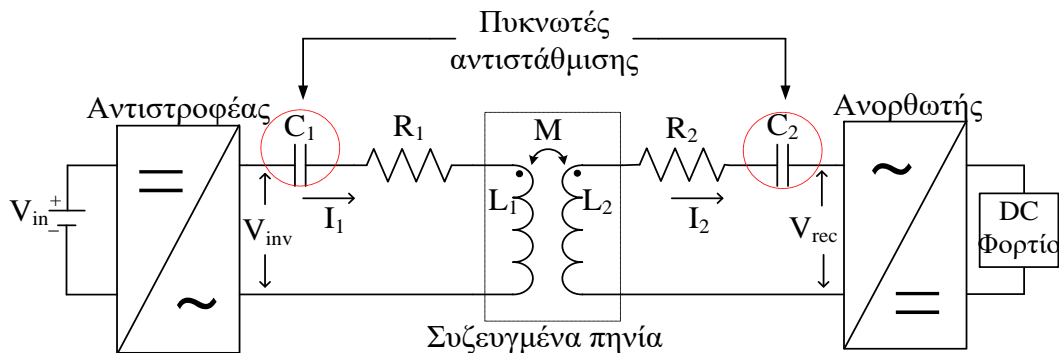
Σχήμα 3.3 Βασική δομή ασύρματης φόρτισης σε PEV[8]

Η ασύρματη μεταφορά ισχύος βασίζεται στη μαγνητική ζεύξη δύο ή περισσότερων πηνίων, ενώ η δυνατότητα μεταφοράς ισχύος εξαρτάται από την αμοιβαία μαγνητική ροή που υπάρχει μεταξύ τους.

Η διεργασία μεταφοράς ισχύος είναι σχεδόν ίδια με αυτή ενός κλασικού μετασχηματιστή, με τη σημαντική διαφορά ότι στις ασύρματες εφαρμογές φόρτισης τα συζευγμένα πηνία χωρίζονται μεταξύ τους από μεγάλο διάκενο αέρα [7]. Συνεπώς, ενώ στους μετασχηματιστές το ποσοστό της μαγνητικής ροής που δημιουργείται από το ένα τύλιγμα στο άλλο πλησιάζει το 100%, στα WPTS μεγάλο ποσοστό της ροής κλείνει βρόγχο γύρω από το ίδιο τύλιγμα σκέδασης. Τα WPTS μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, σε εκείνα όπου ο συντελεστής ζεύξης τους είναι μεγαλύτερος

από 0,6 τα οποία αποκαλούνται και ισχυρά συζευγμένα και σε αυτά που ο συντελεστής ζεύξης τους είναι μικρότερος από 0,6 τα οποία καλούνται και χαλαρά συζευγμένα. Τα χαλαρά συζευγμένα παρουσιάζουν χαμηλή αμοιβαία ροή και υψηλή ροή σκέδασης [7] [8]. Επομένως, τα χαλαρά συζευγμένα πηνία έχουν περιορισμένη μεταφορά ισχύος.

Στο σχήμα 3.4 φαίνονται τα δομικά στοιχεία ενός συστήματος ασύρματης φόρτισης. Ένα WPTS αποτελείται από μια πηγή συνεχούς τάσης, έναν υψίσυχο μετατροπέα, το πρωτεύον (εκπομπός) και το δευτερεύον (αποδέκτης) πηνίο μαζί με τα κυκλώματα αντιστάθμισης, έναν ανορθωτή και ένα φορτίο Σ.Τ [7].

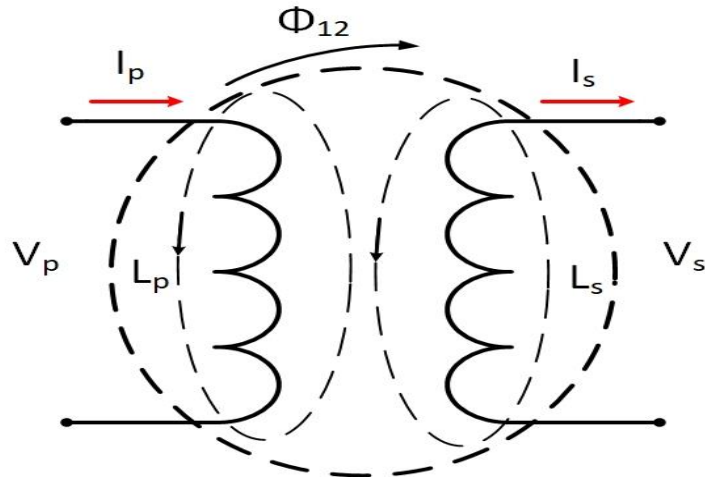


Σχήμα 3.4 Δομικό διάγραμμα ενός συστήματος μεταφοράς ισχύος [13]

### 3.2.1 Βασικές αρχές της επαγωγικής μεταφοράς ισχύος (IPT)

Η επαγωγική μεταφορά ισχύος εισάχθηκε αρχικά από τον Ampere και τον Faraday, αλλά η πιο σημαντική πρόοδος έγινε από τον Tesla, ο οποίος κατάφερε την μεταφορά σημαντικής ποσότητας ισχύος σε AC συχνότητες, χρησιμοποιώντας πηνία συντονισμού. Η μεταφορά ισχύος χρησιμοποιώντας τα πηνία, γίνεται μέσω του διακένου αέρα μεταξύ τους. Στο σύστημα επαγωγικής μεταφοράς, η ισχύς μεταφέρεται από το πρωτεύον τύλιγμα στο δευτερεύον τύλιγμα, μέσω της ηλεκτρομαγνητικής τους αλληλεπίδρασης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.5. Στην περίπτωση που τα πηνία χαρακτηρίζονται ως ισχυρά συζευγμένα, η αμοιβαία επαγωγή τους είναι μεγαλύτερη από την επαγωγή διαρροής, ενώ όταν τα πηνία χαρακτηρίζονται ως χαλαρά συζευγμένα η επαγωγή διαρροής είναι μεγαλύτερη από την μαγνητική επαγωγή.





Σχήμα 3.5 Μεταφορά ισχύος αντισταθμιστή μέσω συζευγμένων πηνίων

Στο σχήμα 3.6 φαίνονται τα δύο πηνία, όπου το καθένα διαρρέεται από την δικιά του μαγνητική ροή η οποία οφείλεται τόσο στο μαγνητικό πεδίο του καθενός, όσο και στη μαγνητική ροή λόγω του δεύτερου μαγνητικού πεδίου του δεύτερου πηνίου. Το συνολικό σύστημα των συζευγμένων πηνίων του σχήματος 3.6 καλείται στοιχείο αμοιβαίας επαγωγής ή αλληλεπαγωγής (Mutual Inductance) [9]. Υποθέτουμε ότι, το πρώτο πηνίο απαρτίζεται από  $N_1$  σπείρες και το διαρρέει ρεύμα  $I_p$  και το δεύτερο από  $N_2$  σπείρες και το διαρρέει ρεύμα  $I_s$  με αμοιβαία μαγνητική ροή  $\Phi_{12}$ .

Σύμφωνα με το νόμο του Faraday που φαίνεται και στην εξίσωση 3.1, η τάση που αναπτύσσεται στο πηνίο είναι ανάλογη της μεταβολής της μαγνητικής ροής που διέρχεται από αυτό, καθώς και του πλήθους των σπειρών.

$$\varepsilon_1 = N_1 \frac{d\Phi_1}{dt} = L_p \frac{di_p}{dt}$$

(3.1)

, όπου  $L_p$  ορίζεται η αυτεπαγωγή του πρωτεύοντος πηνίου. Επιπλέον, προκύπτει ότι:

$$L_p = \frac{N_p \Phi_1}{i_p}$$

(3.2)

Επειδή ένα μέρος της  $\Phi_1$  εμπλέκει το δεύτερο πηνίο, δημιουργείται η αμοιβαία ροή  $\Phi_{21}$ . Έτσι, η τάση στα άκρα του δεύτερου πηνίου εξαιτίας της μεταβολής της ροή  $\Phi_1$  είναι:

$$\varepsilon_{21} = N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt}$$

(3.3)

Επιπλέον, σύμφωνα με τις εξισώσεις 3.1-3.3 είναι δυνατό να ορισθεί η αμοιβαία επαγωγή  $M$  ως εξής:

$$M = N_2 \frac{\Phi_{21}}{i_p} = N_1 \frac{\Phi_{12}}{i_2}$$

(3.4)

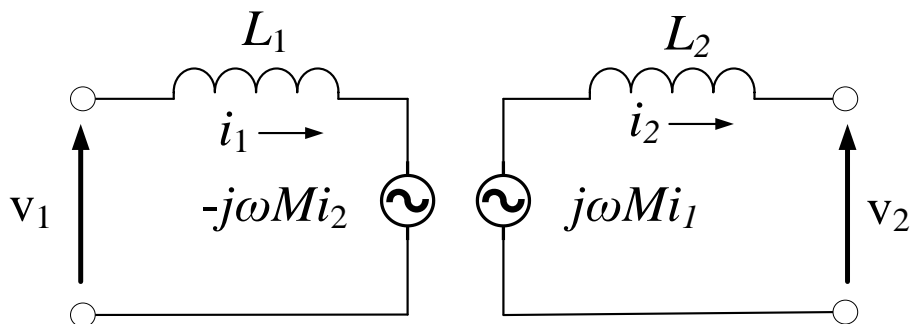
Στο σχήμα 3.6 φαίνεται το ισοδύναμο το οποίο περιγράφεται από τις εξισώσεις 3.5 και 3.6.

$$v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$$

(3.5)

$$v_2 = M \frac{di_1}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt}$$

(3.6)



Σχήμα 3.6 Ισοδύναμο κύκλωμα συζευγμένων πηνίων

Επίσης, είναι δυνατό να ορισθεί ο συντελεστής σύζευξης των πηνίων ως εξής:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_p L_s}}$$

(3.7)

, όπου  $0 \leq k \leq 1$

Σύμφωνα με το νόμο του Faraday, η τάση που επάγεται από το πρωτεύον τύλιγμα στο δευτερεύον δίνεται από την εξίσωση:

$$U_2 = j\omega M i_1$$

(3.8)

Αν οριστεί ως  $V_{oc}$  και  $I_{sc}$  η τάση ανοιχτοκυκλώσεως και το ρεύμα βραχυκυκλώματος αντίστοιχα στο δευτερεύον, τότε η μέγιστη δυνατότητα μεταφοράς ισχύος δίνεται από την εξίσωση 3.9.

$$P_{max} = \frac{|V_{oc}| |I_{sc}|}{2}$$

(3.9)

Η παραπάνω εξίσωση της μέγιστης ισχύος μπορεί να δοθεί και από την εξίσωση 3.10.

$$P_{max} = \frac{\omega i_1^2 M^2}{2L_s}$$

(3.10)

, όμως σύμφωνα με την εξίσωση 3.7 η εξίσωση 3.10 μπορεί να μετασχηματισθεί ως εξής:

$$P_{max} = \frac{\omega i_1^2 k^2 L_2}{2}$$

(3.11)

Συνεπώς, το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι, η μέγιστη ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί στο φορτίο του δευτερεύοντος δίνεται από την εξίσωση 3.11. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση των χαλαρά συζευγμένων πηνίων ( $k < 0.3$ ) η ικανότητα μεταφοράς ισχύος περιορίζεται σημαντικά. Επομένως, είναι αναγκαία η χρήση αντιστάθμισης η οποία υλοποιείται με πυκνωτές, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να αποσβέσουν τις μεγάλες σκεδάσεις των πηνίων, άρα και την άσκοπη απώλεια ενέργειας. Απαραίτητη προϋπόθεση της αντιστάθμισης, είναι η λειτουργία του κυκλώματος σε συνθήκες συντονισμού και σε αρκετά υψηλές συχνότητες.

### 3.2.2 Χωρητική αντιστάθμιση και περιγραφή βασικών τοπολογιών

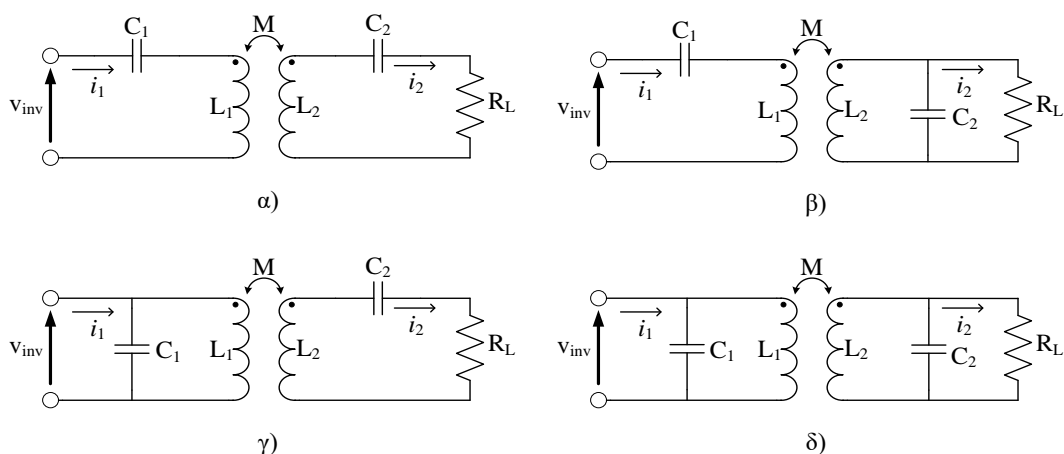
Εξαιτίας της ροής διαρροής και της μαγνητικής επαγωγής, το σύστημα επαγωγικής μεταφοράς ισχύος είναι φυσικώς επαγωγικό. Θεωρώντας ότι το εύρος συχνότητας λειτουργίας είναι 10-100 kHz, η εμπέδηση που φαίνεται ως φορτίο στη μεριά του δευτερεύοντος έχει επαγωγική φύση, ως εκ τούτου ο συντελεστής ισχύος είναι χαμηλός. Το αποτέλεσμα είναι,

προκειμένου η ισχύς που δίνεται στο φορτίο να είναι περισσότερη, η πηγή παροχής ενέργειας πρέπει να έχει υψηλότερο ρυθμό παροχής ισχύος ( $S=VA$  ratings). Επίσης, εξαιτίας των μεγάλων σκεδάσεων που παρουσιάζουν τόσο το πρωτεύον, όσο και το δευτερεύον πηνίο, η απόδοση και η ικανότητα μεταφοράς ισχύος των συζευγμένων πηνίων περιορίζεται σημαντικά. Η μέθοδος η οποία εφαρμόζεται συνήθως για την εξάλειψη των επαγωγικών σκέδασης, είναι η χρήση πυκνωτών αντιστάθμισης.

Σήμερα για τα Wireless Power Transfer System (WPTS) υπάρχουν τέσσερις βασικές τοπολογίες αντίστασης, οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά κόρον και φαίνονται στο σχήμα 3.7. Ο διαχωρισμός των τοπολογιών έγκειται στην τοποθέτηση των πυκνωτών στο πρωτεύον και στο δευτερεύον πηνίο [7] [8]. Έτσι, διακρίνονται οι εξής τοπολογίες:

1. Σειράς - Σειράς
2. Σειράς - Παράλληλα
3. Παράλληλα - Σειράς
4. Παράλληλα - Παράλληλα

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο σκοπός της αντιστάθμισης στο δευτερεύον κύκλωμα είναι να βελτιώσει την ικανότητα μεταφοράς ισχύος του WPTS. Από την άλλη, η αντιστάθμιση του πρωτεύοντος κυκλώματος χρησιμοποιείται για να μειωθεί το ποσό της άεργης ισχύος από την πλευρά του αντιστροφέα και να διασφαλιστεί έτσι η μεταφορά ισχύος υπό μοναδιαίο συντελεστή ισχύος [7].



Σχήμα 3.7 Βασικές τοπολογίες χωρητικής αντιστάθμισης α) Σειράς-Σειράς (SS), β) Σειράς-Παράλληλα (SP), γ) Παράλληλα-Σειράς (PS), δ) Παράλληλα-Παράλληλα (PP) [13]

Αξίζει να σημειωθεί ότι, ο πυκνωτής αντιστάθμισης στο πρωτεύον πηνίο επιλέγεται με τέτοιο τρόπο για όλες τις τοπολογίες, έτσι ώστε η εμπέδηση που θα φανεί από την μεριά της πηγής, δηλαδή από την μεριά του αντιστροφέα να είναι αμιγώς ωμική, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ικανότητα μεταφοράς ισχύος. Επομένως, με την ωμική συμπεριφορά στο φορτίο του δευτερεύοντος ο αντιστροφέας θα προσφέρει την ελάχιστη δυνατή άεργο ισχύ, το οποίο σημαίνει ότι, διασφαλίζεται ότι το ρεύμα εισόδου και η τάση θα είναι συμφασικά [8]. Επιπλέον, η επιλογή τοπολογίας επηρεάζει δραστικά την επιλογή του πυκνωτή στο πρωτεύον [10].

Αρχικά, παρατηρείται ότι για να αυξηθεί η ικανότητα μεταφοράς ισχύος στο δευτερεύον το επαγωγικό σύστημα μεταφοράς ισχύος πρέπει να λειτουργεί στη συχνότητα συντονισμού. Επίσης, ο δεύτερος πυκνωτής στη μεριά του δευτερεύοντος πηνίου καθορίζεται σύμφωνα με την συχνότητα λειτουργίας του συστήματος, με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η επίδραση της αυτεπαγωγής του δευτερεύοντος πηνίου να αντισταθμίζεται πλήρως σ' αυτή τη συχνότητα. Το αποτέλεσμα είναι, η ανακλώμενη εμπέδηση του δευτερεύοντος κυκλώματος να έχει καθαρά ωμικό χαρακτήρα. Η τιμή της χωρητικότητας για όλες τις τοπολογίες του πυκνωτή δίνεται από την εξίσωση 3.12 .

$$C_2 = \frac{1}{\omega_o^2 L_2}$$

(3.12)

Όλες οι παραπάνω τοπολογίες έχουν θετικά και αρνητικά στοιχεία, τα οποία τις καθιστούν κατάλληλες για συγκεκριμένες εφαρμογές. Καταρχάς, για την τοπολογία σειράς στο πρωτεύον είναι ευκολότερο να συντονιστεί και λειτουργεί αποδοτικότερα, όσον αφορά την απόρριψη αρμονικών [11]. Επιπλέον, η τοπολογία που περιλαμβάνει σύνδεση σειράς στο πρωτεύον, δεν απαιτεί επιπρόσθετο πηνίο για τον αντιστροφέα. Η αντιστάθμιση του πρωτεύοντος είναι ανεξάρτητη από το φορτίο, όταν εφαρμόζεται ρύθμιση σειράς στο δευτερεύον, καθώς στη συχνότητα συντονισμού δεν αντανακλάται στο πρωτεύον μια χωρητική αντίδραση ή επαγωγική αντίδραση [12]. Όταν εφαρμόζεται παράλληλη σύνδεση στο πρωτεύον, το LC κύκλωμα ενεργεί ως πηγή ρεύματος και έχει χαμηλή καταπόνηση, λόγω της τάσης στους πυκνωτές συντονισμού [11]. Επίσης, όταν εφαρμόζεται παράλληλη ρύθμιση στο δευτερεύον, αντανακλάται στο πρωτεύον μια χωρητική αντίδραση η οποία εξαρτάται από το φορτίο. Συνεπώς, ο παράλληλος συντονισμός του πρωτεύοντος εξαρτάται από το συντελεστή σύζευξης και από το φορτίο. Πολλές βιβλιογραφίες επισημαίνουν, ότι για την κατάλληλη επιλογή τοπολογίας σειράς ή παράλληλα πρέπει να ληφθεί

υπόψη η απόδοση, καθώς και ότι είναι κατάλληλος ο συνδυασμός τους με πιο αναπτυγμένες τοπολογίες [11]. Τέλος, η τοπολογία σειράς-παράλληλα απαιτεί υψηλότερες τιμές πυκνωτών για να επιτύχει καλύτερη μαγνητική σύζευξη και η μέγιστη απόδοση της είναι κατώτερη συγκριτικά με την τοπολογία σειράς-σειράς [7].

### 3.2.3 Ασύρματη φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος σε ακινησία

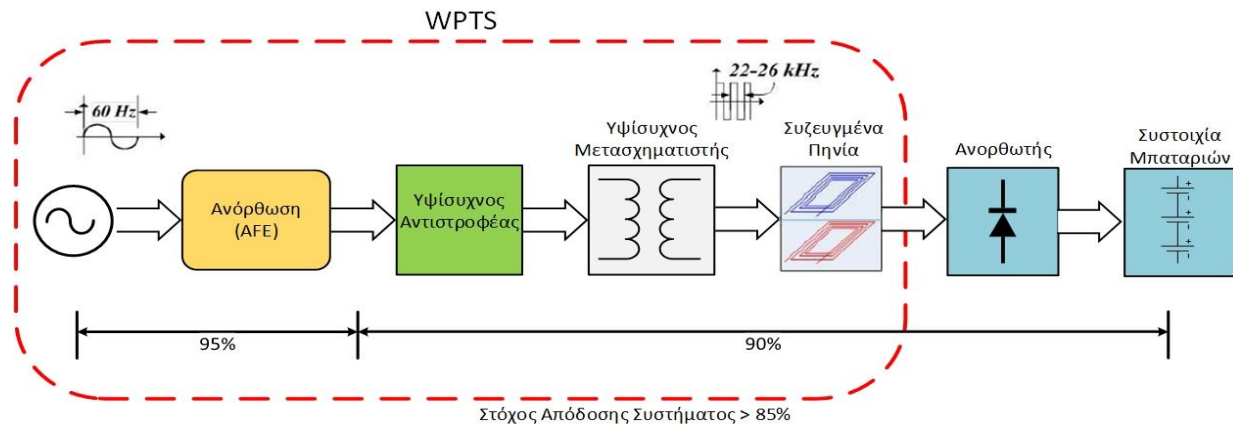
Στο σχήμα 3.8 απεικονίζεται μια από τις πολλές τοπολογίες Wireless Power Transfer (WPT) που έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία για την ασύρματη μεταφορά ισχύος. Στην τοπολογία του σχήματος 3.8, παρουσιάζεται μια ανόρθωση Active Front End (AFE) για να διατηρείται η ποιότητα ισχύος του δικτύου, ένας υψίσυχνος αντιστροφέας ισχύος που χρησιμοποιεί IGBT 1200 V για λειτουργία σε ζυγούς από 340 Vdc μέχρι 800 Vdc, ένας υψίσυχνος μετασχηματιστής με πυρήνα χαμηλών απωλειών από φερίτες, ο οποίος διαθέτει και μεγαλύτερη πυκνότητα ροής. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι στη παρούσα τοπολογία χρησιμοποιείται η τοπολογία σειράς-παράλληλα για την λειτουργία σε συντονισμό και ότι στον ανορθωτή στη πλευρά του δευτερεύοντος κυκλώματος χρησιμοποιούνται δίοδοι Sic Schottky (SBD) με χαμηλότερες διακοπτικές απώλειες, με μέση απόδοση κοντά στο 99% ανεξαρτήτως συχνότητας λειτουργίας από 10 kHz με 148 kHz [6].

Η AC ισχύς του δικτύου μετατρέπεται σε μια ελεγχόμενη DC τάση από τον Active Front End (AFE), συμβάλλοντας στη διόρθωση του συντελεστή ισχύος (PFC). Η DC τάση εφαρμόζεται στην είσοδο του υψίσυχνου αντιστροφέα (Full Bridge) έχοντας προσαρμόσιμο ρυθμό σβέσης και ανοίγματος των διακοπών ισχύος. Μετά τον υψίσυχνο αντιστροφέα, το ρεύμα διέγερσης μεταφέρεται στο σειρά συνδεδεμένο πηνίο του πρωτεύοντος κυκλώματος. Τέλος, το ρεύμα διέγερσης οδηγείται σε μια ανορθωτική διάταξη διόδων, όπου ανορθώνεται, φιλτράρεται και εγχέεται σε έναν ζυγό DC τάσης, ο οποίος αναπαρίσταται από τη συστοιχία μπαταριών του EV [6] [7] [13].

Επιπρόσθετα, είναι δυνατό να διακρίνουμε δύο περιπτώσεις λειτουργίας για την γέφυρα διόδων, όσον αφορά το DC ρεύμα εξόδου της που εγχέεται στο ζυγό συνεχούς τάσης [7].

Συνεχής ροή ρεύματος: Η περίπτωση αυτή παρουσιάζεται όταν τα χαρακτηριστικά του Wireless Power Transfer System (WPTS) και του φορτίου «αναγκάζουν» τη γέφυρα ανόρθωσης να λειτουργεί αδιάλειπτα. Άρα, η τάση στο σημείο σύνδεσης του αντιστροφέα είναι τετραγωνικής μορφής, με συχνότητα ίση με τη διακοπτική συχνότητα του αντιστροφέα. Επίσης, το DC ρεύμα δεν έχει μηδενικά διαστήματα πέραν την καθυστέρηση της μετάβασης των διόδων.

Ασυνεχής ροή ρεύματος: Η περίπτωση αυτή μπορεί να παρουσιαστεί, είτε σε μεγάλο λόγο τάσεων εξόδου και εισόδου του συστήματος είτε σε λειτουργία μακριά από τον συντονισμό.



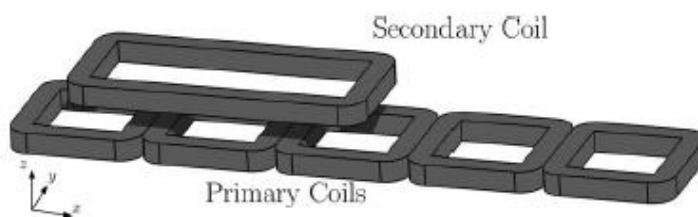
Σχήμα 3.8 WPTS για φόρτιση σε ακινησία ενός EV [12]

### 3.2.4 Ασύρματη φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος κατά την κίνηση

Το μέλλον όμως της ηλεκτροκίνησης δεν σταματάει μόνο στη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων όσο αυτά βρίσκονται σε ακινησία, αλλά ερευνητικές προσπάθειες γίνονται για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς βρίσκονται σε κίνηση. Το Contactless Energy Transfer (CET) αποτελεί την ιδανική λύση για την βελτίωση των συστημάτων που απαιτούν μεταφορά ισχύος σε κινούμενα φορτία. Τέτοιες εφαρμογές θεωρούνται οι μεταφορές Maglev, τα οποία είναι τρένα που χρησιμοποιούν δύο είδη μαγνητών, όπου το ένα απωθεί και σπρώχνει το τρένο προς τα πάνω, ενώ το άλλο είδος μαγνητών αναγκάζει το τρένο να κινηθεί προς τα μπροστά εκμεταλλευόμενο την απουσία της τριβής του εδάφους. Άλλες εφαρμογές μπορούν να θεωρηθούν, οι ανεγκυστήρες χωρίς σχοινιά και τα ηλεκτρικά οχήματα PEV κατά τη διάρκεια της κίνησης τους. Το κοινό σημείο όλων των προαναφερθέντων εφαρμογών, είναι η μεταφορά ενέργειας ανάμεσα στο σταθερό κινούμενο μέρος της συσκευής, το οποίο σήμερα καλύπτεται είτε από συνδέσεις καλωδίων είτε από μπαταρίες. Οι σημερινές επιλογές για την μεταφορά ενέργειας σε κινούμενα φορτία έχουν περιορισμούς, όπως την μείωση της κινητικότητας της συσκευής [14].

Τα τελευταία χρόνια, για την ανάπτυξη του προαναφερθέντος συστήματος η έρευνα προσανατολίζεται στους συρόμενους μετασχηματιστές (Sliding transformers), οι οποίοι έγιναν γνωστοί για την αντικατάσταση των καλωδίων στους γραμμικούς κινητήρες. Οι συρόμενοι μετασχηματιστές παρέχουν ανέπαφη σύνδεση ανάμεσα στο στατικό μέρος και στο κινούμενο φορτίο και μπορούν να παρέχουν/μεταφέρουν σταθερή ισχύ της τάξης των μερικών kW. Το

βασικότερο μειονέκτημα τους είναι, το μεγάλο μέγεθος της μεριάς του πρωτεύοντος, στο οποίο το δευτερεύον σύρεται κατά μήκος. Το μακρύ πηνίο του πρωτεύοντος δημιουργεί μια επαγωγική διαρροή, η οποία μειώνει την απόδοση του συστήματος CET, όμως με την σωστή κατάτμηση του πηνίου του πρωτεύοντος, υπερνικάται το μειονέκτημα της χαμηλής απόδοσης. Από την άλλη, το μειονέκτημα της περιορισμένης κινητικότητας παραμένει, το οποίο αντιμετωπίζεται με την υλοποίηση οριζόντιου διακένου ανάμεσα στο πρωτεύον και δευτερεύον τύλιγμα [14].



Σχήμα 3.9 Sliding transformer [20]

### 3.3 Αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρικού οχήματος και έξυπνου δικτύου

Για να πραγματοποιηθεί επιτυχημένη αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων και έξυπνου δικτύου, υπάρχει μια βασική προϋπόθεση. Αυτή έχει να κάνει με την απόκριση ενός μεγάλου αριθμού συσκευών, οι οποίες θα είναι σε θέση να ελέγχουν πολλές διανεμημένες πηγές εντός μιας αρκετά εκτεταμένης γεωγραφικής περιοχής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η ασύρματη επικοινωνία αναδεικνύεται ως μια σημαντική εναλλακτική λύση, ιδίως για εφαρμογές V2G. Μερικά από τα θετικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζει είναι το μικρό κόστος και η μεγάλη εμβέλεια κάλυψης. Μέσω της αλληλεπίδρασης και της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ έξυπνου δικτύου και ηλεκτροκίνητων οχημάτων, αναμένεται μια διαρκής συνεργασία ανάμεσα σε διαφορά συστήματα εντός του δικτύου, όπως για παράδειγμα έξυπνοι μετρητές (Smart Meters), έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή και αποτελεσματική λειτουργία του.

Βάση ορισμένων μελετών που έχουν υλοποιηθεί για την ενσωμάτωση των EVs στα Smart grids, υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικοί τρόποι επικοινωνίας. Ο πρώτος τρόπος εμπλέκει τις συνδέσεις επικοινωνίας μεταξύ των αισθητήρων που βρίσκονται σε διάφορα σημεία του έξυπνου δικτύου και των έξυπνων μετρητών. Ο δεύτερος τρόπος επικοινωνίας αφορά τις επικοινωνίες μεταξύ των έξυπνων μετρητών, των διαχειριστών του δικτύου (Aggregators) και των κέντρων συγκέντρωσης πληροφοριών (Data Centers). Για την πρώτη περίπτωση, η επικοινωνία μπορεί να επιτευχθεί μέσω Power Line Communication (PLC) ή

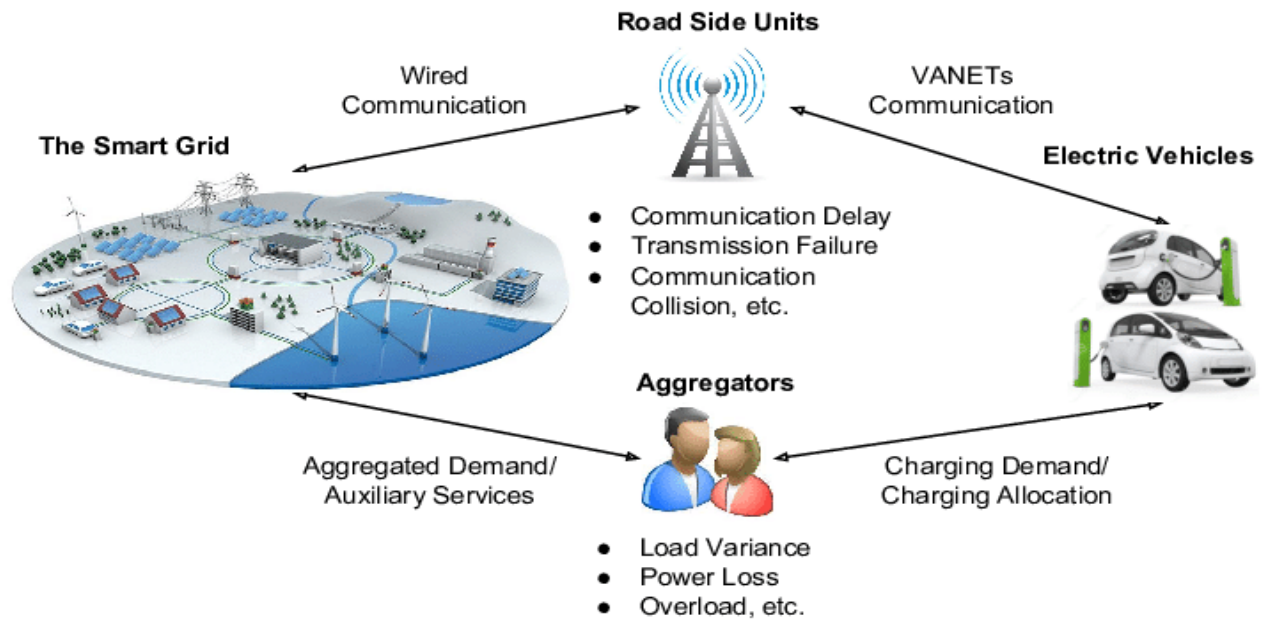


ασύρματων τεχνολογιών, ενώ για τη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιούνται τεχνολογίες όπως 3G, WiMAX και 4G.

Για να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι απαραίτητο να μπορούν να φορτίζονται ή να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο οποιαδήποτε στιγμή (όπου υπάρχει διαθέσιμο σημείο φόρτισης). Στην περίπτωση αυτή, ο διαχειριστής του δικτύου ή ο aggregator πρέπει να μπορεί να αναγνωρίζει άμεσα ένα ηλεκτρικό όχημα όταν συνδέεται, προκειμένου να μπορεί να ανταποκριθεί αποτελεσματικά στη ζήτηση. Από την άλλη πλευρά, ο χρήστης του οχήματος πρέπει να έχει πληροφορίες πραγματικού χρόνου για τον χρόνο χρήσης του, ώστε να μπορεί είτε να καταβάλλει την αντίστοιχη αμοιβή στην αγορά ενέργειας είτε να την αντισταθμίσει παρέχοντας ενέργεια στο δίκτυο όταν διαθέτει περίσσειμα.

Για την εκπλήρωση των παραπάνω απαιτήσεων, έχουν εφαρμοστεί διάφορες τεχνολογίες, όπως η τεχνολογία του ασύρματου δικτύου αισθητήρων (Wireless Sensor Network - WSN). Η χρήση του WSN ενισχύει την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στη χρήση του, όπως η περιορισμένη κάλυψη σε μεγάλες περιοχές σε σύγκριση με άλλες ασύρματες τεχνολογίες. Επιπρόσθετα, όσο ο αριθμός σφαλμάτων αυξάνεται, τόσο το ποσοστό επιτυχίας του αισθητήρα μειώνεται. Παρ' όλα αυτά, το WSN προσφέρει αξιοπιστία και αποτελεσματική μετάδοση πληροφοριών στον διαχειριστή του δικτύου ή στον aggregator, με ελάχιστες αναμεταδόσεις (ιδίως σε εφαρμογές V2G).

Εν κατακλείδι, η εφαρμογή της ασύρματης τεχνολογίας βασίζεται στον όγκο των μεταδιδόμενων πληροφοριών, καθώς και στην απόσταση που υπάρχει μεταξύ των επικοινωνούντων σημείων. Ο επικρατέστερος τρόπος επικοινωνίας για τον έλεγχο και την παρακολούθηση της φόρτισης είναι η χρήση κινητών τηλεφώνων ως διεπαφές (μέσω GPS ή Bluetooth) μεταξύ των συναλλαγών που λαμβάνουν χώρα κατά τη φόρτιση ή την αγοραπωλησία ενέργειας.



Σχήμα 3.10 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης μεταξύ έξυπνου δικτύου και ηλεκτρικού οχήματος

### 3.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και ηλεκτρικά οχήματα

Η ένταξη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται να είναι μια αρκετά υποσχόμενη λύση, δεδομένου ότι το σύστημα αντιμετωπίζει προβλήματα λόγω της απρόβλεπτης και διαλείπουσας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από πηγές, όπως η αιολική και η ηλιακή. Οι λύσεις που χρησιμοποιούνται για την εξισορρόπηση της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ στο δίκτυο, είναι είτε η εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας Energy Storage System – ESS (τα οποία απορροφούν η παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια αναλόγως την ζήτηση) είτε ελεγχόμενα φορτία που μεταφέρουν συγκεκριμένη ενέργεια σε χρόνους διαφορετικούς από της μέγιστης ζήτησης για την μείωση της αιχμής στην καμπύλη ισχύος. Λόγο της αποστροφής όλο και περισσότερων κρατών προς την εξ ολοκλήρου παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ΑΠΕ, τα ηλεκτρικά οχήματα ως αποθηκευτικά μέσα αποκτούν μεγάλη βαρύτητα. Οι μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αποθηκευτικά μέσα, με σκοπό να είναι σε θέση να διατηρήσουν την ενέργεια αυτή η να την επιστρέψουν πίσω στο δίκτυο μέσω της λειτουργίας V2G, σε περίπτωση που υπάρξει ζήτηση. Συνεπώς, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να συμβάλουν με αυτό τον τρόπο στην εξισορρόπηση του δικτύου, καθώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ΑΠΕ μπορεί να μην είναι πάντα επαρκής, λόγω απρόβλεπτων καιρικών φαινομένων.

Εντούτοις, η ηλιακή ενέργεια έχει αποδειχθεί ως μία από τις πιο ελπιδοφόρες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια μέσω της συλλογής της από τα φωτοβολταϊκά πάνελ και της μετατροπής της σε ηλεκτρικό ρεύμα. Καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα αντικαθιστούν σταδιακά τα παραδοσιακά οχήματα, η παγκόσμια ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια με σκοπό την αποδοτική φόρτιση των μπαταριών, αναμένεται να αυξηθεί δραματικά. Λόγω αυτού του γεγονότος, φαίνεται ότι η ενσωμάτωση της φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχει οδηγήσει στην αύξηση του αριθμού των νοικοκυριών που επενδύουν σε φ/β συστήματα.

Υπάρχουν όμως ορισμένες βασικές αρχές που είναι ιδιαίτερα σημαντικές και αφορούν τη συνεργασία των φ/β συστημάτων, με φορτιστές ηλεκτρικών οχημάτων στις κατοικίες. Επομένως, για τον καθορισμό του μεγέθους του φ/β συστήματος που θα έχει μια κατοικία, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

1. Η μέση ηλεκτρική ζήτηση της οικίας, δηλαδή ο εντοπισμός των ηλεκτρικών φορτίων που χρησιμοποιούνται σε αυτή επί καθημερινής βάσεως και ο υπολογισμός της ισχύς τους.
2. Η μέση χρήση του ηλεκτρικού οχήματος από τον ιδιοκτήτη. Λαμβάνοντας υπόψη την χρήση αυτή, θα μπορέσουμε να έχουμε μια εικόνα για τις απαιτήσεις του οχήματος σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία θα καταναλώνεται για την φόρτιση του.

Από τα παραπάνω, θα καθοριστεί το μέγεθος της εγκατάστασης του φ/β συστήματος, έτσι ώστε να αρμόζει στις απαιτούμενες καθημερινές ανάγκες του ιδιοκτήτη. Η σωστή οικονομοτεχνική μελέτη μιας τέτοιας εγκατάστασης αποτελεί πολύ σημαντικό γεγονός, καθώς πρόκειται για μια επένδυση αρκετών χρημάτων.

Όσον αφορά το κομμάτι της φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, συνήθως βάση των κατασκευαστών, απαιτείται ένα φ/β σύστημα το οποίο θα πρέπει να έχει ένα εύρος ισχύος τάξεως 2 έως 14 kW. Εάν όμως θέλουμε να έχουμε ένα φ/β σύστημα το οποίο θα καλύψει και τις καθημερινές ανάγκες της οικίας, τότε θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα μεγαλύτερο φ/β σύστημα το οποίο θα έχει ισχύ 6 έως 18 kW. Οι τιμές αυτές δεν είναι απόλυτες και μπορεί να διαφέρουν, ανάλογα τις απαιτήσεις και τις ανάγκες της εκάστοτε εγκατάστασης.

Τέλος μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι, η ενσωμάτωση φ/β συστημάτων με σκοπό την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί μια εξαιρετική λύση για την ευρεία ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί τον πλέον ενδεδειγμένο τρόπο παραγωγής ηλεκτρισμού, καθώς είναι πλήρως φιλικός προς το περιβάλλον.

### 3.5 Ηλιακά οχήματα

Τα ηλιακά οχήματα είναι μια εκ των νεότερων τεχνολογικών εξελίξεων στον τομέα της αυτοκίνησης. Πρόκειται για ηλεκτρικά οχήματα τα οποία χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά πάνελ, με σκοπό την συλλογή ηλιακής ενέργειας και την μετατροπή της σε ηλεκτρισμό, για την επίτευξη κίνησης του οχήματος. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την φόρτιση των συσσωρευτών, οι οποίοι με την σειρά τους τροφοδοτούν τον ηλεκτρικό κινητήρα του οχήματος. Η ενέργεια της διάταξης των συσσωρευτών σε ένα τυπικό ηλιακό όχημα, επιτρέπει την αυτονομία των περίπου 90 χιλιομέτρων ανά πλήρη φόρτιση, χωρίς την ύπαρξη ηλίου. Επομένως, λόγω της προσωρινής μικρής αυτονομίας που διαθέτουν, η ανάγκη τους για φόρτιση από το δίκτυο παραμένει. Ο θετικός αντίκτυπος των οχημάτων αυτών, όπως μπορούμε εύκολα να κατανοήσουμε, θα είναι ακόμα μεγαλύτερος από αυτόν που έχουν τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα (EVs). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, τα ηλιακά οχήματα θα μπορέσουν μελλοντικά να καλύψουν ακόμα μεγαλύτερες αποστάσεις και να είναι περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον, διότι θα χρειάζονται από ελάχιστη έως και καθόλου φόρτιση από το δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι, οι σταθμοί παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας, θα είναι σε θέση να περιορίσουν την παράγωγη και συνεπώς θα επέλθει περαιτέρω μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Κάπου εδώ πρέπει να αναφέρουμε, πως η συγκεκριμένη τεχνολογία βρίσκεται σε αρκετά πρώιμο στάδιο, παρά το γεγονός ότι κάποιες εταιρίες έχουν αρχίσει να κατασκευάζουν τέτοιου είδους οχήματα για εμπορική χρήση, όπως το Aptera που μπορούμε να δούμε στο σχήμα 3.11. Ωστόσο, επειδή πρόκειται για μια αρκετά υποσχόμενη, και ακόμα πιο φιλική προς το περιβάλλον λύση σε σχέση με τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα, είναι βέβαιο πως τα επόμενα έτη θα υπάρξει αρκετή έρευνα, ανάπτυξη και χρηματοδότηση από κράτη, αλλά και εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον χώρο.



Σχήμα 3.11 Ηλιακό αυτοκίνητο Aptera

### 3.6 Τεχνητή νοημοσύνη και ηλεκτρικά οχήματα

Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence – AI) στα ηλεκτρικά οχήματα ανοίγει νέους ορίζοντες για το μέλλον της αυτοκινητοβιομηχανίας, αποτελώντας μια επαναστατική τεχνολογία η οποία έχει έρθει για να αλλάξει την καθημερινότητα των ανθρώπων. Η AI μπορεί να συμβάλει στην δημιουργία ευφυών οχημάτων, τα οποία θα διαθέτουν αυξημένη ασφάλεια, απόδοση και αυτονομία.

Τα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας τεχνολογίας είναι αρκετά. Ένα από τα βασικά αποτελεί, αυτό της αυτόνομης οδήγησης. Η λειτουργία αυτή πραγματοποιείται μέσω αισθητήρων που βρίσκονται στο όχημα, καθώς και από κάμερες, ραντάρ τα οποία συλλέγουν πληροφορίες από τον περιβάλλοντα χώρο. Η AI με την σειρά της συλλέγει όλες αυτές της πληροφορίες για να μπορέσει να λάβει αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο οδήγησης του οχήματος. Αυτή η τεχνολογική πρωτοπορία μπορεί να συνδράμει σε μεγάλο βαθμό στην ασφάλεια των οχημάτων στον δρόμο, διότι θα μπορεί να προλάβει τις όποιες επικίνδυνες καταστάσεις δύναται να δημιουργηθούν από κάποιο ανθρώπινο λάθος. Επιπρόσθετα, η AI τεχνολογία μπορεί να αυξήσει την απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων, κάνοντας ανάλυση σε δεδομένα, που βασίζονται στην κατανάλωση ενέργειας, στην οδηγική συμπεριφορά, καθώς και στις συνθήκες του δρόμου. Μέσω αυτής της ανάλυσης, η AI είναι σε θέση να προσαρμόσει την απόδοση του οχήματος με σκοπό να επιτευχθεί η μέγιστη αποδοτικότητα του (π.χ. βέλτιστες τακτικές φόρτισης), αλλά και να μπορέσει να προληφθεί κάποια πιθανή βλάβη, μέσω της συλλογής δεδομένων. Επίσης, η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να βελτιώσει την εμπειρία του οδηγού και των επιβατών, βάση των προτιμήσεων τους, μέσω εξατομικευμένων ρυθμίσεων σε λειτουργίες όπως ο κλιματισμός, η επιλογή μουσικής, η ένταση ήχου κ.λπ.

Συνοψίζοντας, η τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί μια πρωτοποριακή τεχνολογία, η οποία μέσω της ενσωμάτωσης της στα ηλεκτρικά οχήματα θα είναι σε θέση να βελτιώσει την συνολική εμπειρία του οδηγού αλλά και των επιβατών, έτσι ώστε να μπορέσει να αυξηθεί η αποδοτικότητα των οχημάτων, αλλά και η ασφάλεια στους δρόμους.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### 4. Επιπτώσεις ηλεκτρικών οχημάτων

#### 4.1 Εισαγωγή

Είναι αλήθεια ότι η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων έχει επεκταθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Σε αυτό έχει συντελέσει η ανάπτυξη πλήθους σχετικών τεχνολογιών και ιδιαίτερα η ανάπτυξη των σταθμών φόρτισης. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ιδιαίτερα έντονη κινητοποίηση από κράτη και θεσμούς, με σκοπό την μεγαλύτερη υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτό συμβαίνει, εξαιτίας της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τα οχήματα εσωτερικής καύσης, καθώς και από την αύξηση των τιμών που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στα ορυκτά καύσιμα.

Ωστόσο, παρά την δράση χωρών, ενώσεων χωρών και οργανισμών με σκοπό την υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι απαραίτητο να ερευνηθούν οι επιπτώσεις που έχει η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο περιβάλλον. Η ανάπτυξη τους οφείλεται, όπως προαναφέρθηκε στην σημαντική επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τα συμβατικά μέσα μεταφοράς. Προκειμένου να επιτευχθεί όμως η μείωση της περιβαλλοντικής μόλυνσης, είναι χρήσιμο να ερευνηθεί αν η παραγωγή και η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί ένα «πράσινο» μέσο μεταφοράς.

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση προκειμένου να αναδειχτούν οι επιπτώσεις και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ηλεκτρικών οχημάτων στην σύγχρονη κοινωνία, έτσι ώστε να εξαχθεί το συμπέρασμα αν με την τρέχουσα τεχνολογία αποτελεί θετική εξέλιξη η υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων.

#### 4.2 Κλιματική αλλαγή και ηλεκτρικά οχήματα

Η αλλαγή του κλίματος αντανακλάται κυρίως, στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας σε όλο τον κόσμο και είναι αποτέλεσμα ανθρώπινης παρέμβασης σε ένα ευρύ φάσμα της καθημερινής ζωής. Δραστηριότητες που πρωταρχικός σκοπός τους είναι η κάλυψη ενεργειακών αναγκών, αλλά μέσω μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, έχουν συμβάλει έντονα στην αλλαγή αυτή. Μελέτες έχουν αναδείξει το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής, ενώ είναι φανερό πως η καύση ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας, το αέριο, το

πετρέλαιο κ.α. συμβάλλει στις εκπομπές αερίων διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), ενισχύοντας έτσι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι ειδήσεις που υπογραμμίζουν την σημασία της χρήσης των ηλεκτρικών οχημάτων, για τον περιορισμό και την πρόληψη της επιβλαβούς επιβάρυνσης αυτής, αποτελούν μία κίνηση στην σωστή κατεύθυνση, η οποία είναι η προστασία του περιβάλλοντος και η επιβράδυνση της κλιματικής αλλαγής.

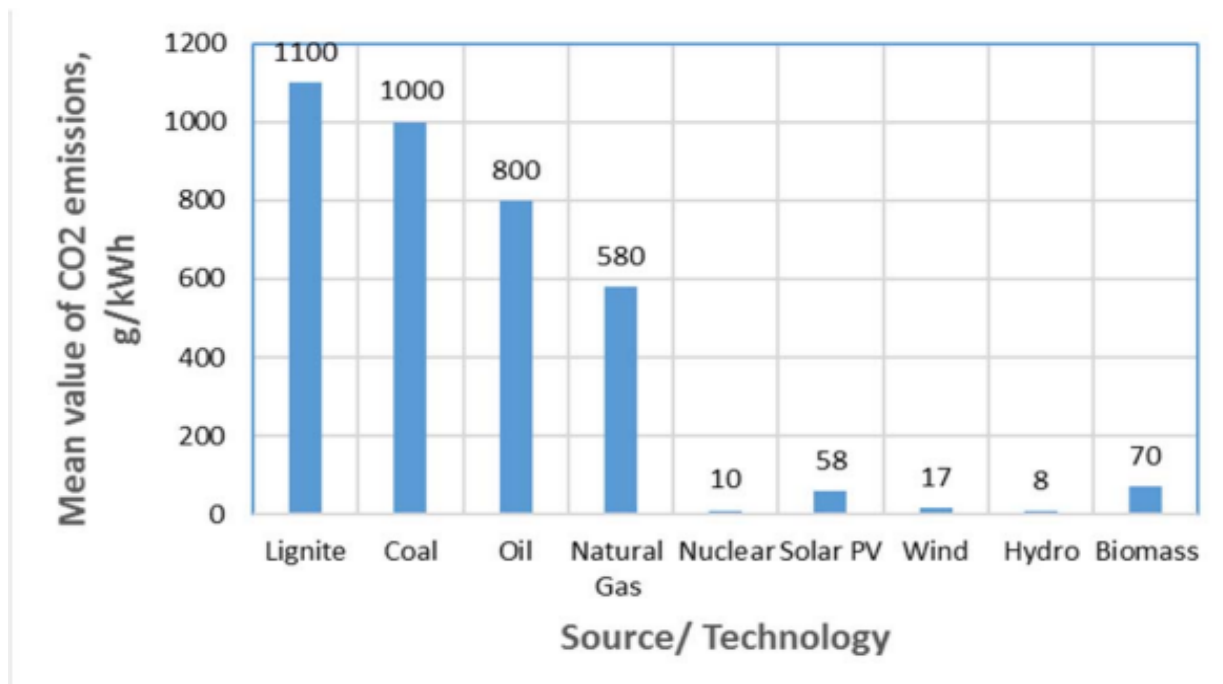
Πρέπει λοιπόν να τονιστεί, ότι η κλιματική αλλαγή δεν θα πάψει ποτέ να αποτελεί απειλή για την επιβίωση στην Γη. Η εφαρμογή πολιτικών και δεσμεύσεων δεν εγγυάται μόνο την τρέχουσα ευημερία, αλλά θέτει και τις απαραίτητες βάσεις και προϋποθέσεις για το μέλλον. Από την άλλη, η ανάπτυξη της τεχνολογίας στον τομέα των ηλεκτρικών οχημάτων, αλλά και η οικονομική πριμοδότηση για την υιοθέτηση της, αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την μετάβαση σε μεταφορικά μέσα περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον.

### **4.3 Περιβαλλοντικό αποτύπωμα οχημάτων**

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των σημερινών ηλεκτρικών οχημάτων είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό θέμα, με βάση την βιβλιογραφική ανασκόπηση. Είναι γνωστό, ότι οι μεγαλύτεροι συντελεστές στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων, συνήθως περιλαμβάνουν την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος, την ίδια την παραγωγή του ηλεκτρικού οχήματος και κυρίως την παραγωγή των μπαταριών.

Η λειτουργία ηλεκτρικών οχημάτων που χρησιμοποιούν μπαταρία, σχετίζεται με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτισή τους. Αυτή η ενέργεια παράγεται σε διάφορους σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός το οποίο δημιουργεί προϋποθέσεις για να υπάρξει ένα ενεργειακό μείγμα στη χώρα. Η αντικατάσταση του στόλου συμβατικών αυτοκινήτων με ηλεκτρικά, γίνεται μια καλή εναλλακτική λύση για τη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, αλλά και τις επιπτώσεις που έχουν τα οχήματα στην ατμοσφαιρική ρύπανση με τις επιβλαβείς εκπομπές τους, καθώς και με τις επιπτώσεις τους στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από διαφορετικές πηγές ενέργειας, επηρεάζει έντονα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων. Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για κάθε 1 kWh παραγόμενης ισχύος από διάφορες πηγές ενέργειας, όπως: Λιγνίτης, πετρέλαιο, πυρηνική ενέργεια, φυσικό αέριο, ηλιακή ενέργεια, αιολική, υδροηλεκτρική, βιομάζα, βιοαέριο.



Σχήμα 4.1 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για διαφορετικές πηγές ενέργειας

Όλα τα παραπάνω, δείχνουν ότι η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται, τόσο για την παραγωγή, όσο και για την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς επίσης και για την παραγωγή των μπαταριών, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στο περιβαλλοντικό αντίκτυπο των οχημάτων.

#### 4.4 Περιβαλλοντική επιβάρυνση από τις μπαταρίες

Για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο κατά τη λειτουργία, η περισσότερη ενέργεια που καταναλώνεται είναι για την διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια ζωής ενός ηλεκτρικού οχήματος το 71,5% της συνολικής ενέργειας καταναλώνεται για την φόρτιση της μπαταρίας του. Επιπρόσθετα, το ποσοστό ενέργειας για την παραγωγή των μπαταριών είναι επίσης ιδιαίτερα μεγάλο. Αυτό αντιστοιχεί στο 16,7% της συνολικής ενέργειας για τη διάρκεια ζωής του οχήματος, το οποίο σε μονάδες κιλοβαττωρών (kWh) είναι 59290 kWh. Η ενέργεια που χρησιμοποιείται κατά το στάδιο της παραγωγής ηλεκτρικών οχημάτων και ανταλλακτικών, την μεταφορά και διάθεση απορριμμάτων είναι το 11,8% της συνολικής ενέργειας, το οποίο αντιστοιχεί σε 42000 kWh και είναι όμοιο με το αντίστοιχο στα συμβατικά οχήματα [15].

Κάπου εδώ πρέπει επίσης να τονιστεί, η σημαντικότητα των επιπτώσεων από την εξόρυξη πόρων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες (π.χ. λίθιο, κοβάλτιο, νικέλιο). Κατά την



διαδικασία εξόρυξης υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ρύπανσης υδάτων, υποβάθμισης του εδάφους, καθώς και καταστροφής οικοτόπων. Για την αντιμετώπιση των παραπάνω, είναι απαραίτητο να εφαρμόζονται υπεύθυνες πρακτικές εξόρυξης, που θα ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο μόλυνσης. Εξίσου σημαντικό, είναι το ζήτημα της ανακύκλωσης μπαταριών. Η απόρριψη των μπαταριών στο τέλος του κύκλου ζωής τους, μπορεί να θέσει σε κίνδυνο το περιβάλλον, αλλά και την ανθρώπινη υγεία, λόγο των επικίνδυνων - τοξικών υλικών που εμπεριέχονται σε αυτές. Άρα, θα πρέπει να δοθεί μεγάλη βαρύτητα στην διαδικασία της ανακύκλωσης και της επαναχρησιμοποίησης μπαταριών, όπου αυτό είναι δυνατό. Επί του παρόντος, οι υποδομές για την ανακύκλωση και την απόρριψη μπαταριών είναι περιορισμένες. Επομένως, καθίσταται απαραίτητη η εύρεση τρόπων προκειμένου να καταστούν τα ηλεκτρικά οχήματα και γενικότερα τα ηλεκτρικά μέσα μεταφοράς, περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον.

#### **4.5 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικών οχημάτων**

Παρά τις προαναφερθείσες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι λόγοι αγοράς και χρήσης ηλεκτροκίνητων οχημάτων, δεν μπορούν να παραληφθούν. Οι θετικές τους συνέπειες στη μειωμένη ατμοσφαιρική ρύπανση και οι σημαντικές θετικές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις, θα συντελέσουν στην βελτίωση του περιβαλλοντικού προβλήματος και την επιβράδυνση της κλιματικής αλλαγής. Όπως η ηλεκτροδότηση αναπτύχθηκε και σταδιακά εξαπλώθηκε στον γενικό πληθυσμό, αισιόδοξες και ευνοϊκές προβλέψεις και προοπτικές παρουσιάζονται για την επίλυση όλων των περιβαλλοντικών προβλημάτων που οφείλονται κυρίως στη σύγχρονη τεχνολογία.

Καθοριστικό παράγοντα στον θετικό αντίκτυπο των ηλεκτρικών οχημάτων, θα διαδραματίσουν τεχνολογίες όπως τα έξυπνα δίκτυα, το V2G και το V2V. Οι τεχνολογίες αυτές, θα συμβάλλουν στην μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των ηλεκτρικών οχημάτων με το πέρασμα του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, με την περαιτέρω ανάπτυξη των ηλεκτρικών δικτύων και την εξέλιξη τους σε έξυπνα δίκτυα, θα είναι εφικτή η χρήση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων ως κινητές μπαταρίες για την τροφοδότηση του δικτύου. Συνεπώς, ενσωματώνοντας το V2G κατά τα διαστήματα που ένα όχημα μένει σταθμευμένο σε ένα σταθμό φόρτισης (π.χ. στον εργασιακό χώρο), με την χρήση κατάλληλων στρατηγικών energy management, θα προβλέπεται η ζήτηση και το ηλεκτρικό όχημα θα τροφοδοτεί αναλόγως το δίκτυο.

Επιπλέον, η περαιτέρω αφομοίωση των ηλεκτρικών οχημάτων θα αυξήσει σημαντικά την ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας για την φόρτιση τους, πράγμα το οποίο έχει δύο σημαντικές επιπτώσεις.

Η πρώτη επίπτωση, αφορά την ευστάθεια του ηλεκτρικού δικτύου. Ειδικότερα, η φόρτιση του συνολικού αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, για τις οποίες μάλιστα θα υπάρχει πολλές φορές ταυτόχρονη ζήτηση. Είναι φανερό πως με το υπάρχον δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι εφικτή η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος. Είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση τεχνικών ελέγχου και πρόβλεψης του φορτίου, με την εφαρμογή εξελιγμένων μεθόδων πρόβλεψης, με τη χρήση τεχνολογιών όπως τα νευρωνικά δίκτυα, η μηχανική μάθηση κλπ. Επίσης, σε αυτό θα συντελέσουν και οι τεχνολογίες που αναφέρονται παραπάνω, δηλαδή το V2G, τα έξυπνα δίκτυα κλπ.

Η δεύτερη σημαντική επίπτωση, αφορά την πιθανή επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Για την κάλυψη αυτού του αυξανόμενου ηλεκτρικού φορτίου, θα απαιτείται σημαντικά μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας. Προκειμένου λοιπόν, τα ηλεκτρικά οχήματα να συμβάλουν στην επιβράδυνση της κλιματικής αλλαγής και στην μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των μεταφορών, είναι απαραίτητο η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία τους να παράγεται από ανανεώσιμες πηγές.



Σχήμα 4.2 Σταθμός φόρτισης βασισμένος σε ηλιακά πάνελ

Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί αυτό του σχήματος 4.2 . Σε αυτό φαίνεται ένας σταθμός φόρτισης που βρίσκεται σε χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων, ο οποίος τροφοδοτείται από ηλιακά

πάνελ που βρίσκονται στην οροφή των θέσεων στάθμευσης, αλλά και στην οροφή του κτηρίου. Σε ένα τέτοιο σύστημα, η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων βασίζεται στην ηλιακή ενέργεια, κατά τη διάρκεια της μέρας που η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυξημένη. Το ηλεκτρικό δίκτυο χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που η παραγόμενη από τα πάνελ ενέργεια δεν επαρκεί. Συμπληρωματικά, ομοίως με το παραπάνω παράδειγμα σε πολλές περιπτώσεις η τροφοδοσία των σταθμών φόρτισης γίνεται από ανεμογεννήτριες.

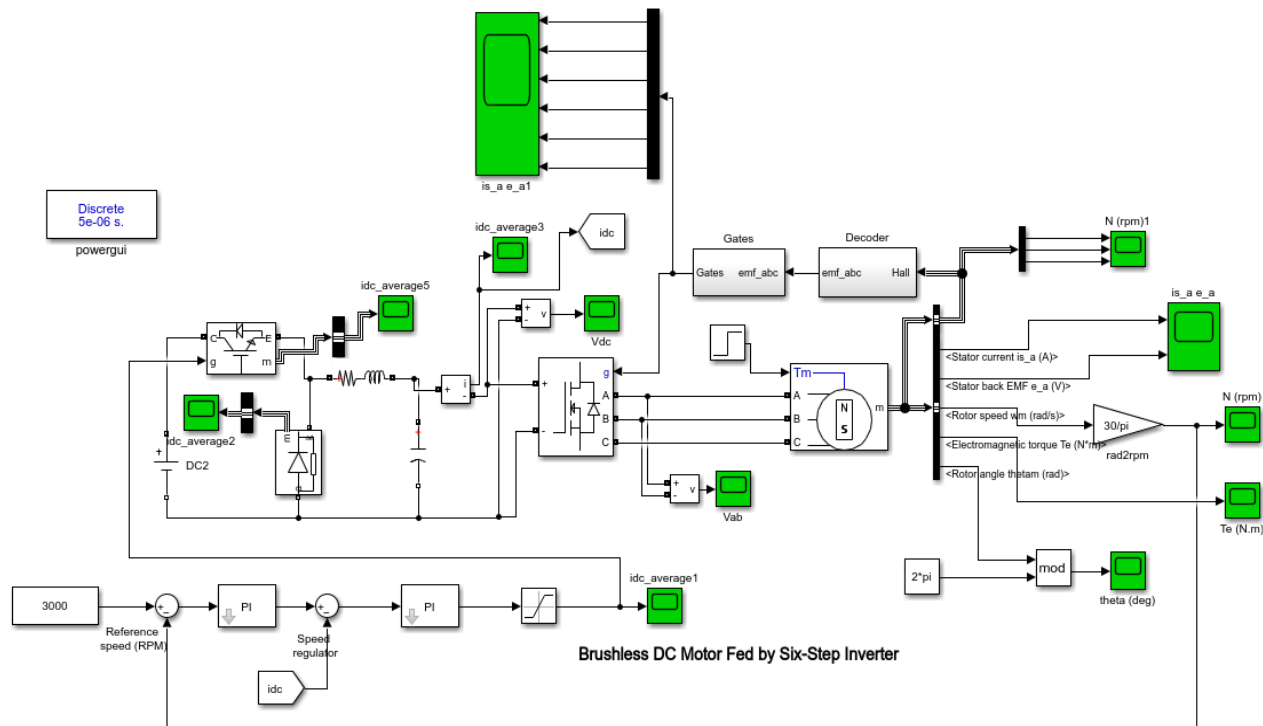
Ο θετικός αντίκτυπος των ηλεκτρικών οχημάτων όμως, δεν περιορίζεται μονό σε ότι αφορά το περιβάλλον. Η ενσωμάτωση τους στην σύγχρονη κοινωνία, θα λειτουργήσει θετικά και στο κομμάτι της ενεργειακής ανεξάρτησης. Είναι γεγονός πως, οι ορυκτοί πόροι μειώνονται, οι τιμές τους μεταβάλλονται συνεχώς και γενικότερα υπάρχει μία ενεργειακή αστάθεια. Η ηλεκτροκίνηση θα οδηγήσει, με την σειρά της σε σταδιακή ενεργειακή ανεξαρτησία, πράγμα το οποίο θα επιφέρει πληθώρα θετικών αποτελεσμάτων. Πέρα από αυτό, η συνεχής ανάπτυξη της εν λόγω βιομηχανίας, δημιουργεί νέες και αρκετά φιλόδοξες επαγγελματικές ευκαιρίες σε αρκετούς τομείς, όπως για παράδειγμα στον κλάδο της μηχανικής. Ένα ακόμη αξιοσημείωτο θετικό στοιχείο, είναι τα οικονομικά οφέλη των ιδιοκλήτων ηλεκτρικών οχημάτων, οι οποίοι θα είναι σε θέση να εξοικονομήσουν πολύ σημαντικά χρηματικά ποσά, που θα σπαταλούσαν για καύσιμα και συντήρηση οχήματος. Τέλος, με την πάροδο των ετών, η ηλεκτροκίνηση θα γίνεται όλο και πιο οικονομικά προσιτή στο ευρύ κοινό, έτσι ώστε περισσότερος κόσμος να είναι σε θέση να υιοθετήσει αυτή την νέα τεχνολογία, η οποία θα έχει μεγάλη θετική επιρροή τόσο περιβαλλοντικά, όσο και κοινωνικά.

Συνοψίζοντας, συμπεραίνεται πως η εξέλιξη και η επέκταση των ηλεκτρικών οχημάτων ενέχει προκλήσεις, αλλά και δυνατότητες προκειμένου να διαδραματίσει έναν θετικό παράγοντα, ως προς την μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και την κάλυψη κοινωνικών αναγκών. Επομένως, με βάση τη βιβλιογραφία καταλήγουμε στο πόρισμα, πως οι μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, τόσο από την διαδικασία της παραγωγής τους, όσο και κατά την διάρκεια ζωής τους, αλλά και κατά την απόρριψή τους. Ακόμη, μεγάλο ενδιαφέρον υπάρχει, για το αν θα είναι απροβλημάτιστη η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο, αλλά και κατά ποσό μπορεί να υπάρξει συνεργασία με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γεγονός που θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση ρύπων από την παράγωγη ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι λοιπόν απαραίτητο, να ενσωματωθούν όλες οι απαραίτητες τεχνολογίες, οι οποίες θα καταστήσουν τα ηλεκτρικά οχήματα ως μία ελπιδοφόρα αλλαγή, με σκοπό την βιώσιμη ανάπτυξη.

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### 5. Προσομοίωση Permanent Magnet Synchronous Machine (PMSM) στο Matlab/Simulink

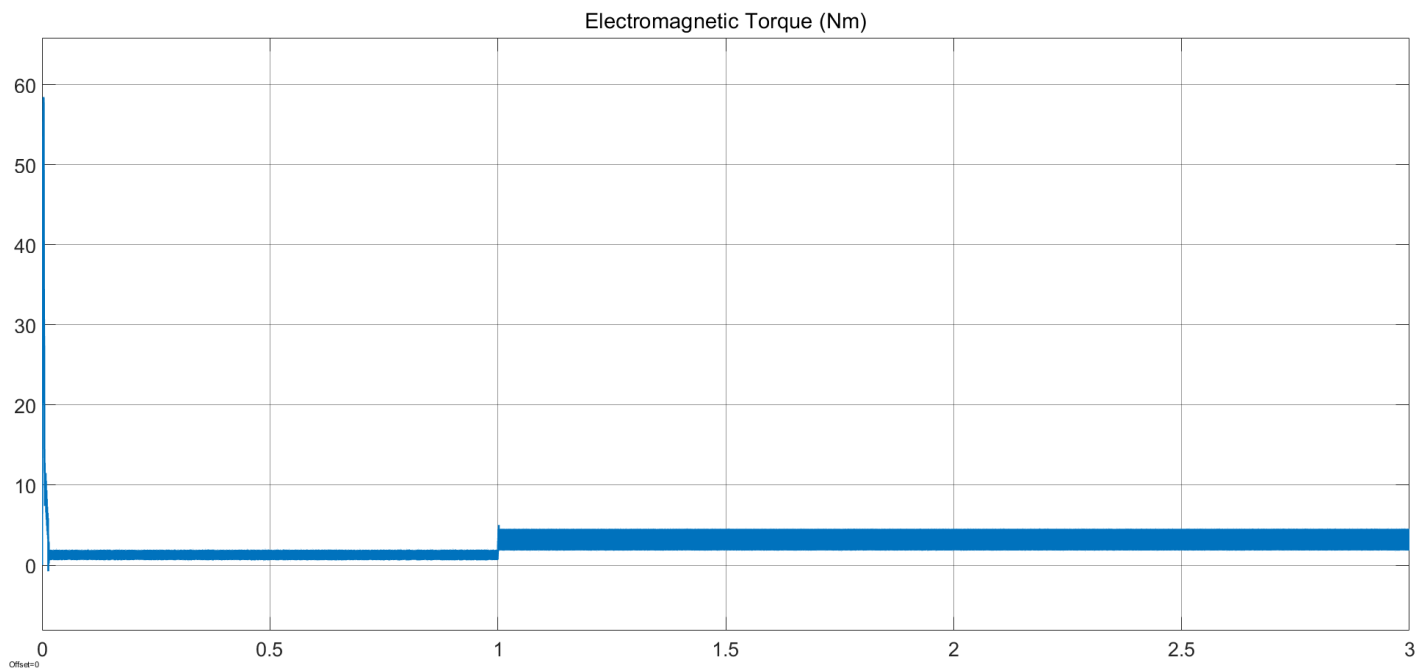
Στο παρόν κεφάλαιο, θα παρουσιαστεί μια πρότυπη προσομοίωση για τον έλεγχο ενός τυπικού κινητήρα μόνιμων μαγνητών, μέσω ενός DC/DC μετατροπέα ο οποίος θα παρέχει το ρεύμα εξόδου ανάλογα με τη μεταβολή του αριθμού στροφών. Το παρακάτω σύστημα απαρτίζεται από έναν διπλό βρόχο ελέγχου. Ο εξωτερικός βρόχος δημιουργεί το σήμα αναφοράς ρεύματος, σύμφωνα με το σφάλμα εξόδου και την αναφορά, από την αναφορά στροφών (rpm). Ο εσωτερικός βρόχος ελέγχου καθορίζει τον λόγο κατάτμησης του τρανζίστορ για την ενίσχυση του ρεύματος εξόδου ή όχι ανάλογα με τα σενάρια λειτουργίας του κινητήρα.



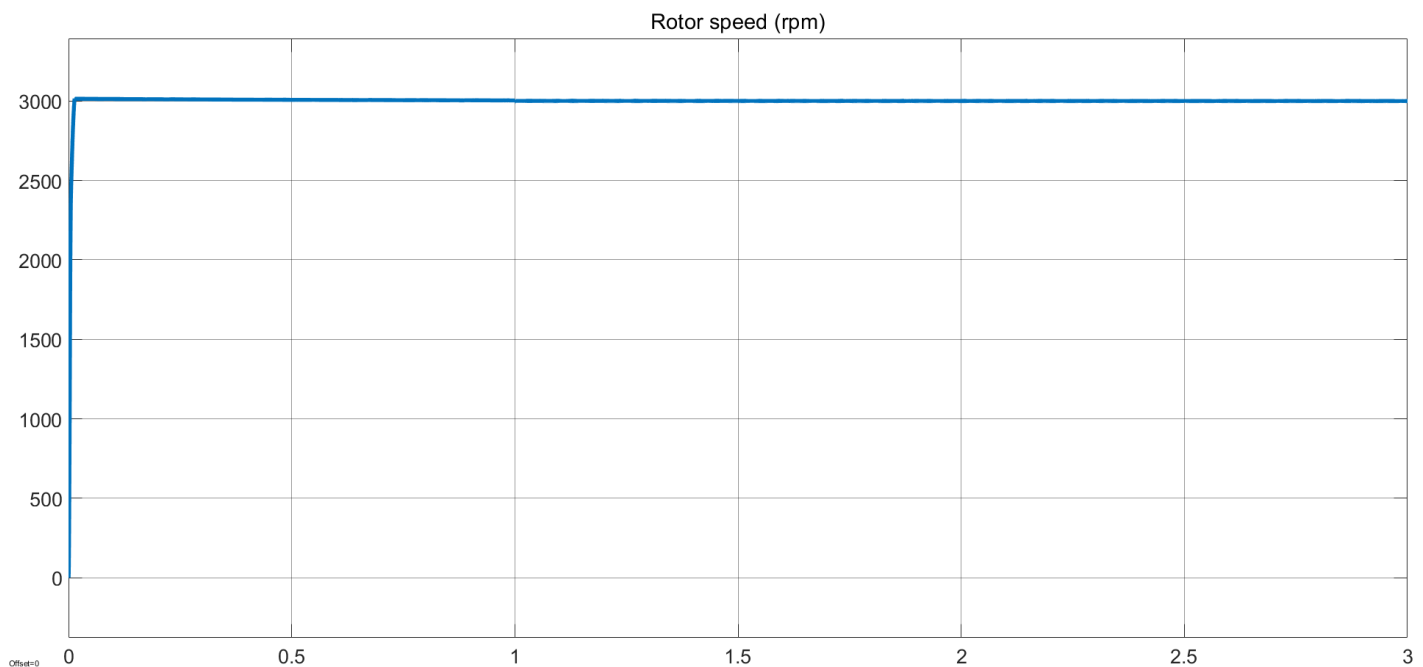
Σχήμα 5.1 Κύκλωμα στο Matlab/Simulink

Σκοπός της παραπάνω προσομοίωσης είναι η διατήρηση της ταχύτητας σταθερής ανεξαρτήτως των μεταβολών της ροπής. Ο λόγος πίσω από τον προαναφερθέν σκοπό είναι, ότι εάν ο οδηγός κρατάει σταθερή ταχύτητα, να μην υπάρχουν μεταβολές στη ταχύτητα εξαιτίας επιβάρυνσης του φορτίου του άξονα.

Στο σχήμα 5.2, φαίνεται η μεταβολή της ροπής από 1 Nm σε 5 Nm, αλλά η ταχύτητα παραμένει στις 3000 rpm, όπως μπορούμε να διακρίνουμε στην συνέχεια στο σχήμα 5.3.

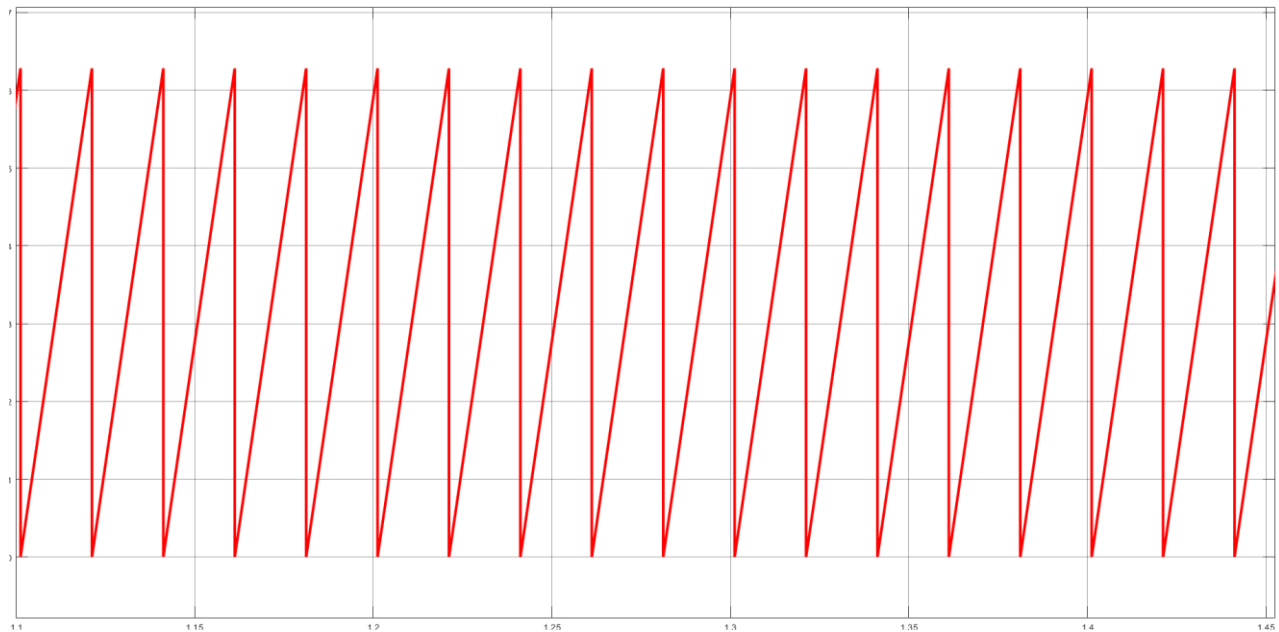


Σχήμα 5.2 Ηλεκτρομαγνητική ροπή



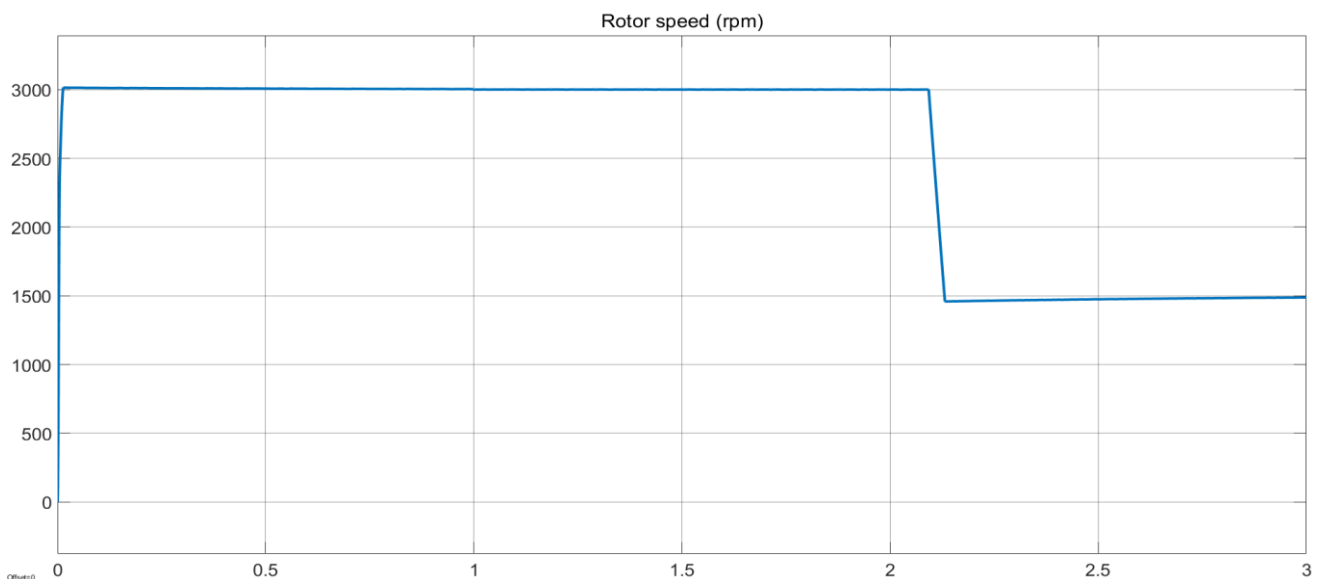
Σχήμα 5.3 Ταχύτητα δρομέα

Παρακάτω, στο σχήμα 5.4 μπορούμε να διακρίνουμε την γωνία στροφής του δρομέα, η οποία δείχνει την ορθή λειτουργία του κινητήρα κατά την εκτέλεση την προσομοίωσης.



Σχήμα 5.4 Γωνία στροφής δρομέα

Η κυματομορφή του σχήματος 5.5, δείχνει τη λειτουργία του ελεγκτή ταχύτητας, όταν ο οδηγός επιθυμεί να επιταχύνει ή να επιβραδύνει. Ο ελεγκτής αντιλαμβάνεται τη διαφορά στροφών και προσαρμόζει την ταχύτητα του άξονα αναλόγως, μεταβάλλοντας το ρεύμα τροφοδοσίας του αντιστροφέα και κατ' επέκταση το ρεύμα τροφοδοσίας του κινητήρα. Όπως φαίνεται παρακάτω, έχουμε ένα κλασσικό σχήμα επιβράδυνσης, όπου η ταχύτητα μειώνεται από τις 3000 rpm στις 1500 rpm.



Σχήμα 5.5 Μεταβολή της ταχύτητας

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

### 6. Συμπεράσματα και προτάσεις

#### 6.1 Συμπεράσματα

Στην διπλωματική εργασία αυτή, πραγματοποιήθηκε μια εκτενής ανάλυση για τα σημαντικότερα θέματα που απασχολούν, αναφορικά με την διασύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και την αλληλεπίδραση τους με τα έξυπνα δίκτυα.

Πιο συγκεκριμένα, συζητήθηκε ότι με την αύξηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και λόγω της οικολογικής συνείδησης των ανθρώπων, η αύξηση των αγορών των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ραγδαία τα τελευταία χρόνια, αλλά αναμένεται να γίνει και ακόμα μεγαλύτερη τα επόμενα χρόνια. Επιπλέον, ανάλυση έγινε και για τις τεχνολογίες των ηλεκτρικών οχημάτων, οι οποίες όπως φαίνεται συνδυάζουν οποιοδήποτε τύπο κινητήρα, έχοντας ως βασικό είτε τον εσωτερικής καύσης είτε ως βασικό ηλεκτρικό κινητήρα, παρουσιάζοντας και τοπολογίες οχημάτων που είναι αμιγώς ηλεκτρικά, με τις μηχανές εσωτερικής καύσης να έχουν επικουρικό χαρακτήρα για την τροφοδότηση των διάφορων φορτίων.

Ένα σημαντικό ζήτημα που παρουσιάστηκε αναλυτικά επίσης, είναι η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων με λειτουργία G2V, αλλά και η χρήση των ίδιων τοπολογιών για λειτουργία V2G. Είναι σκόπιμο να παρατηρηθεί ότι, όσον αφορά την ενσύρματη φόρτιση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι ηλεκτρικών μηχανών που αναπτύσσουν εξαιρετικά υψηλές στροφές (SRM, PMSM) και μπορούν να κάνουν ανάκτηση ενέργειας με διάφορους τρόπους, όπως για παράδειγμα με αναγεννητική πέδηση, όπου η ενέργεια είτε φορτίζει τις μπαταρίες είτε επιστρέφεται στο δίκτυο (V2G). Ωστόσο, παρά την εκτενή έρευνα που έχει γίνει για την λειτουργία V2G και τις αμέτρητες δημοσιεύσεις που υπάρχουν στον κλάδο αυτό, τα σημερινά δεδομένα του κλάδου της βιομηχανίας δεν έχουν ενσωματώσει καμία εφαρμογή.

Συνοψίζοντας, αναφορά γίνεται και στην αλληλεπίδραση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) με τα ηλεκτρικά οχήματα, όπου έτσι όπως φαίνεται η λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων περιορίζεται στη χρήση των μπαταριών ως αποθηκευτικά μέσα, στη τροφοδότηση φορτίων σε περιόδους υψηλής ζήτησης και στην υποστήριξη της συχνότητας του δικτύου σε περιπτώσεις μεγάλων διακυμάνσεων της ισχύος εισόδου από τις ΑΠΕ.

## 6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα, εκτείνονται από τον κλάδο βέλτιστης διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά ενέργειας, αλλά και στο τρόπο κατανομής της στα διάφορα φορτία, έως πιο τεχνικά κομμάτια που αφορούν τις τεχνολογίες των ηλεκτρικών οχημάτων, ώστε να γίνουν αμιγώς ηλεκτρικά αλλά και των μετατροπέων ισχύος, ώστε να γίνουν πιο αποδοτικοί. Όσον αφορά τα ηλεκτρικά οχήματα, έρευνα θα μπορούσε να γίνει για την εξάλειψη της υποστήριξης των φορτίων με κινητήρες εσωτερικής καύσης και την εγκατάσταση μεγαλύτερης χωρητικότητας μπαταριών ή την εγκατάσταση υπερπυκνωτών. Επιπλέον, αναφορικά με το ηλεκτρικό σύστημα ισχύος των EVs, οι μετατροπείς ισχύος δυο επιπέδων (αντιστροφείς, ανορθωτές κ.α.), θα μπορούσαν να αντικατασταθούν με την χρήση πολυεπίπεδων μετατροπέων που προσφέρουν πλεονεκτήματα, όπως καλύτερη ποιότητα ισχύος χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις, μικρότερη καταπόνηση στα διακοπτικά στοιχεία και υψηλότερη τάση εξόδου με μικρή κυμάτωση. Ως προς την συνεργασία των ΑΠΕ και των EVs, προσπάθειες θα μπορούσαν να γίνουν για την σχεδίαση και εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων απευθείας στα ηλεκτρικά οχήματα, έτσι ώστε να καλύπτουν μέρος της απαιτούμενης ενέργειας τους. Τέλος, σχετικά με την συνεργασία των έξυπνων δικτύων και των EVs μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να γίνει στον αποκεντροποιημένο έλεγχο, με εστίαση στην ανάπτυξη έξυπνων αλγορίθμων και εύκολων στη χρήση εφαρμογών, για την μέτρηση όσο περισσότερων δεδομένων γίνεται, για την πλήρη ενημέρωση του ιδιοκτήτη και για αποδοτικές συναλλαγές με την αγορά ενέργειας.



## 7. Βιβλιογραφία

- [1] F. Mwasilu, J. J. Justo, E.-K. Kim, J.-W. Jung και T. Do, Electric vehicles and smart grid interaction A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration, South Korea: ELSEVIER.
- [2] R. Gago, S. Pinto και J. Silva, G2V and V2G Electric Vehicle Charger for Smart grids, Lisboa, 2016.
- [3] T. T. Lie, N. Ding και K. Prasad, The electric vehicle: a review, Auckland, 2017.
- [4] H. C. Dale Hall, Annual update on the global transition to electric vehicles: 2021.
- [5] H. Cheng, H. Chen και Q. Wang, An Integrated Drive Power Converter Topology for Plug-in Hybrid Electric Vehicle with G2V, V2G and V2H Functions, International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2019.
- [6] J. M. Miller, O. C. Onar και M. Chinthavali, Primary Side Power Flow Control of Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Charging, IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2014.
- [7] Δ. Μπάρος, Μελέτη της ενσωμάτωσης της αντιστροφής τάσης πολλαπλών επιπέδων στην ασύρματη μεταφορά ισχύος, Ξάνθη, 2017.
- [8] K. Aditya και S. S. Williamson, Design considerations for loosely coupled inductive power transfer (IPT) system for electric vehicle battery charging - A comprehensive review, IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2014 .
- [9] N. Παπαμάρκος, Ηλεκτρικά κυκλώματα Τόμος Β, Ξάνθη.
- [10] A. J. Moradewicz και M. P. Kazmierkowski, Contactless Energy Transfer System With FPGA-Controlled Resonant Converter, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 2010.
- [11] N. Liu και T. G. Habetler, Design of a Universal Inductive Charger for Multiple Electric Vehicle Models, Atlanta: IEEE Transactions on Power Electronics, 2015.
- [12] K. Zhang και S. Wiliamson, Comparative study of series-series and series-parallel topology for long track EV charging application, IEEE Transp. Conf. Expo (ITEC), 2014.
- [13] s. Chopra και P. Bauer, Analysis and Design Considerations for a Contactless Power Transfer System, IEEE, 2011.
- [14] J. P. C. Smeets, T. T. Overboom, J. W. Jansen και E. A. Lomonova, Comparison of Position-Independent Contactless Energy Transfer Systems, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, 2013.
- [15] R. Ivanov, «Possibilities for Improvement the Ecological Effect,» σε *2020 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering*, 2020.
- [16] Z. Zhang, . Y. Han, D. Li, H. Xu και L. Shi, Application Research of an Electric Vehicle DC Fast Charger in Smart Grids, ICIAfS, 2012.
- [17] W. Tian και J. He, Simulation of Vehicle-to-Grid (V2G) on Power System Frequency Control, IEEE PES ISGT ASIA , 2012.
- [18] N. Sujitha και S. Krithiga, RES based EV battery charging system: A review, Tamilnadu: ELSEVIER, 2016.
- [19] I. Skouros και A. Karlis, A Study on the V2G Technology Incorporation in a DC Nanogrid and on the Provision of Voltage Regulation to the Power Grid, Xanthi: Energies, 2020.
- [20] M. F. Shaaban, Y. M. Atwa και E. F. El-Saadany, PEVs modeling and impacts mitigation in

- distribution networks, Waterloo: IEEE, 2012.
- [21] S. Rambabu, Modeling and Control of a Brushless DC Motor, Rourkela, 2007.
- [22] A. Praneeth, L. Patnaik και S. S. Williamson, A Variable DC Link Voltage in On-board Battery Chargers for Electric Vehicle Charging Application, Ontario, 2018.
- [23] S. Pang, B. Nahid-Mobarakeh, S. Pierfederici, Y. Huangfu, G. Luo και F. Gao, DC Microgrid Topologies and Stability Analysis for Electrified Transportation Systems, 2018.
- [24] S. Nayak, S. Mohanty και H. J. Saikia, An Improved Control Method for the DC-DC Converter in Vehicle to Grid Charging System, 14th IEEE India Council International Conference (INDICON), 2017.
- [25] S. Misra και S. Bera, PHEVs: Internet of Vehicles, Cambridge: Cambridge University Press, 2018.
- [26] M. Majidpour, P. Chu και R. Gadh, Incomplete Data in Smart Grid: Treatment of Missing Values in Electric Vehicle Charging Data, Los Angeles: 2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 2014.
- [27] Z. Ma, . D. S. Callaway και I. A. Hiskens, Decentralized Charging Control of Large Populations of Plug-in Electric Vehicles, IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, 2013.
- [28] L. Liu , F. Kong, X. Liu, Y. Peng και Q. Wang, A review on electric vehicles interacting with renewable energy in smart grids, ELSEVIER, 2015.
- [29] S. H. Kim, Y. B. Kum, . K. C. Lee, T. W. Lim και J. C. Park, Development of Hyundai's Tucson FCEV, Detroit: SAE World Congress, 2005.
- [30] B. Kim, Smart Charging Architecture for between a Plug-in Electrical Vehicle (PEV) and a Smart Home, Texas, 2013.
- [31] W. KEMPTON και S. E. LETENDRE, Electric vehicles as a new power source for electric utilities, Elsevier, 1997.
- [32] M. Hannan , F. Azidin και A. Mohamed , Hybrid electricvehiclesandtheirchallenges:Areview, Elsevier, 2013.
- [33] J. Gupta και B. Singh, A Bidirectional Home Charging Solution for an Electric Vehicle, Delhi, 2019.
- [34] R. C. Green , L. Wang και M. Alam, The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook, Elsevier, 2011.
- [35] S. Y. Derakhshandeh, A. S. Masoum, S. Deilami, M. A. S. Masoum και M. E. H. Golshan, Coordination of Generation Scheduling with PEVs Charging in Industrial Microgrids, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, 2013.
- [36] T. Chen, X.-P. Zhang , J. Wang, J. Li, C. Wu , M. Hu και . H. Bian, A Review on Electric Vehicle Charging Infrastructure Development in the UK, JOURNAL OF MODERN POWER SYSTEMS AND CLEAN ENERGY, 2020.
- [37] H.-C. Chang και C.-M. Liaw, An Integrated Driving/Charging Switched Reluctance Motor Drive Using Three-Phase Power Module, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 2011.
- [38] H.-C. Chang και . C.-M. Liaw, Development of a Compact Switched-Reluctance Motor Drive for EV Propulsion With Voltage-Boosting and PFC Charging Capabilities, IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, 2009.
- [39] D. S. Cardoso, P. O. Faela και A. Espírito-Santo, A review of micro and mild hybrid systems, Aveiro,Portugal: 6th International Conference on Energy and Environment Research, ICEER ,

2019.

- [40] F. A. Amoroso και G. Cappuccino, Advantages of efficiency-aware smart charging strategies for PEVs, ELSEVIER, 2011.
- [41] A. M. Jahangir Hossain, Renewable Energy Integration, Challenges and Solutions, 2014.
- [42] F. S. Sumedha Rajakaruna, Plug in electric vehicles in smart grids integration techniques, 2014.
- [43] D. Jian, Smart Charging for Electric Vehicles: A Survey From the Algorithmic Perspective, 2016.
- [44] D. S. Cardoso, «A review of micro and mild hybrid systems,» 2020.
- [45] «What is Solar Vehicle? How Do They Work? Major Solar Vehicle Companies, Pros, and Cons,» *India energy portal*, 2023.
- [46] Y. Fan, «A Multi-Function Conversion Technique for Vehicle-to-Grid Applications,» 2015.
- [47] B. O'Hare, «Aptera Raises \$40 Million, Production Set For Later This Year,» 2022.
- [48] U.S, Department, of και transportation, «Charger Types and Speeds,» 2023.
- [49] A. bahrami, EV Charging Definitions, Modes, Levels, Communication Protocols and Applied Standards, 2020.
- [50] E. Pardo, «What you need to know about solid-state batteries,» 2023.