



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ –  
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ,  
ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ  
ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ**

Διπλωματική Εργασία

ΤΣΙΟΛΑΚΗΣ ΡΑΦΑΗΛ

Επιβλέπων: ΜΠΑΡΓΙΩΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ 2020



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ –  
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ,  
ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ  
ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ**

Διπλωματική Εργασία

ΤΣΙΟΛΑΚΗΣ ΡΑΦΑΗΛ

Επιβλέπων: ΜΠΑΡΓΙΩΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ 2020



**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER  
ENGINEERING**

**ELECTRIC CARS – MECHANICAL OPERATION,  
ELECTRICAL MOBILITY AND THE CONNECTION  
WITH THE SMART GRID**

Diploma Thesis

Tsiolakis Rafail

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

Volos 2020

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

*Με την περάτωση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστώ αρχικά τον επιβλέποντα μου, Αναπληρωτή Καθηγητή Δημήτριο Μπαργιώτα, για την ευκαιρία που μου έδωσε να μελετήσω το συγκεκριμένο θέμα καθώς επίσης και για την καθοδήγηση, τις χρήσιμες συμβουλές και την εμπιστοσύνη προς το πρόσωπο μου σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συν-επιβλέποντες μου, Καθηγητή Ελευθέριο Τσουκαλά και Επίκουρο Καθηγήτρια Δασκαλοπούλου Ασπασία. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου για την διαρκή και πολύπλευρη στήριξη που μου παρείχαν σε ολόκληρη την έως τώρα ακαδημαϊκή μου πορεία καθώς επίσης και τους φίλους μου, τόσο αυτούς που γνώρισα στη φοιτητική μου ζωή όσο και αυτούς που ήταν και είναι κοντά μου από τα σχολικά μας χρόνια.*

## **ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ**

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

(Υπογραφή)

Τσιολάκης Ραφαήλ

Ημερομηνία

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και πραγματεύεται το ηλεκτρικό αυτοκίνητο καθώς και τη σύνδεση του με το έξυπνο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι επίγειες μεταφορές ανθρώπων και αγαθών αυξάνονται χρόνο με το χρόνο, λόγω της υψηλής οικονομικής ανάπτυξης και της αύξησης του πληθυσμού, απαιτώντας ολοένα και μεγαλύτερα ποσά ενέργειας. Η ταχεία αύξηση της ζήτησης ενέργειας πρόκειται να οδηγήσει σε υπερβολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και ενεργειακή κρίση. Σε πολλές χώρες, έχουν αναληφθεί σχέδια μετριασμού για την επίτευξη μείωσης των εκπομπών και μία από τις πολλά υποσχόμενες λύσεις είναι η ηλεκτροκίνητη μετακίνηση. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, στο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και άλλους συναφείς τομείς. Το ισχύον ηλεκτρικό σύστημα θα μπορούσε να αντιμετωπίσει τεράστιες αστάθειες με μεγάλη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων, αλλά με σωστή διαχείριση και συντονισμό, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να μετατραπούν σε σημαντικό παράγοντα στην επιτυχή εφαρμογή της έννοιας του έξυπνου δικτύου (smart grid). Υπάρχουν επίσης δυνατότητες τεράστιων περιβαλλοντικών οφελών, καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να μειώσουν εκτενώς τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που παράγονται από τον τομέα των μεταφορών. Ωστόσο, υπάρχουν μερικά μεγάλα εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν πριν τα ηλεκτρικά οχήματα αντικαταστήσουν πλήρως τον στόλο των οχημάτων με μηχανές εσωτερικής καύσης και γίνουν ο νέος κανόνας της αυτοκίνησης.

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν κάνει την εμφάνισή τους τις τελευταίες δεκαετίες με αργούς ρυθμούς, αλλά τείνουν να γίνουν ο κανόνας στον τομέα της αυτοκίνησης, αντικαθιστώντας τα οχήματα με μηχανές εσωτερικής καύσης. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, όπως ηλεκτρικά οχήματα (EV), υβριδικά ηλεκτρικά (HEV), Plug-in υβριδικά (PHEV) και ηλεκτρικά με κυψέλες καυσίμου (FCEV), των οποίων, ο τρόπος λειτουργίας παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία. Εκτός από τα συστήματα κίνησης και τον τρόπο λειτουργίας τους γίνεται παρουσίαση και των πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται αλλά και τα είδη και οι τεχνολογίες των κινητήρων που αποτελούν την καρδιά ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος. Στο τελευταίο μέρος της εργασίας γίνεται αναφορά στο έξυπνο δίκτυο, τα μέρη που το απαρτίζουν, τις υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει στον χρήστη και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά του.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis was developed in the Department of Electrical and Computer Engineering at the University of Thessaly and deals with the electric car but also its connection with the smart electrical grid.

Land transportation of people and goods is increasing year by year, due to high economic development and population growth, requiring increasing amounts of energy. The rapid increase in energy demand is going to lead to excessive carbon dioxide emissions and an energy crisis. In many countries, mitigation plans have been taken to reduce emissions and one of the most promising solutions is electric mobility. Electric cars can have a significant impact on the environment, the electricity supply system and other related sectors. The current electrical system could face massive instabilities with high penetration of electric vehicles, but with proper management and coordination, electric vehicles can become an important factor in the successful implementation of the smart grid concept. There is also potential for huge environmental benefits, as electric vehicles can extensively reduce greenhouse gas emissions from the transport sector. However, there are some major obstacles that need to be overcome before electric vehicles can completely replace the fleet of vehicles with internal combustion engines and become the new age of the automobile.

Electric cars have emerged slowly during the last decades, but tend to become the new norm in the automotive sector, replacing vehicles with internal combustion engines. Electric cars are divided into several categories, such as Electric Vehicles (EV), Hybrid Electric Vehicles (HEV), Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) and Fuel Cells Electric Vehicles (FCEV), the operation of which is presented in this paper. In addition to their configuration and their mode of operation, this diploma thesis is presenting the energy sources used at electric vehicles, the types and technologies of engines that are the heart of an electric vehicle. In the last part of this paper a reference is made to the smart network, the individual parts it is consisted of, the services it can offer to the user, its advantages and disadvantages.

## Συντομογραφίες

### Ελληνικοί όροι:

<b>ΑΗΑ</b>	Αμιγώς Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο
<b>ΔΕΗ</b>	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
<b>ΔΕΣΜΗΕ</b>	Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
<b>ΔΣΔ</b>	Διαχειριστής Συστήματος Διανομής
<b>ΔΣΜ</b>	Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς
<b>ΕΑΚΚ</b>	Επαναφορτιζόμενο Αυτοκίνητο Κυψελών Καυσίμου
<b>ΗΑ</b>	Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο
<b>ΜΕΚ</b>	Μηχανή Εσωτερικής Καύσης
<b>ΗΑΚΚ</b>	Ηλεκτρικό αυτοκίνητο με Κυψέλες Καυσίμου
<b>ΥΑ</b>	Υβριδικό Αυτοκίνητο
<b>ΥΗΑ</b>	Υβριδικό Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο
<b>ΦΟΣΕΦΗΟ</b>	Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης Φορτίου Ηλεκτρικών Οχημάτων

### Αγγλικοί Όροι:

<b>4WD</b>	4 Wheel Drive
<b>AWD</b>	All Wheel Drive
<b>BEV</b>	Battery Electric Vehicle
<b>BLDC</b>	Brushless DC Motor
<b>CD</b>	Charge Depleting
<b>CHAdMO</b>	Charge de Move
<b>CS</b>	Charge Sustaining
<b>CVT</b>	Continuously Variable Transmission
<b>DOE</b>	Department Of Energy
<b>e-CVT</b>	electric Continuously Variable Transmission
<b>EOF</b>	End of Life
<b>ESS</b>	Energy Save System
<b>EV</b>	Electric Vehicle
<b>FC</b>	Fuel Cell



<b>FCEV</b>	Fuel Cell Electric Vehicle
<b>GHG</b>	Green House Gases
<b>GO</b>	Grid Operator
<b>HEV</b>	Hybrid Electric Vehicle
<b>ICE</b>	Internal Combustion Engine
<b>IM</b>	Inductive Motor
<b>IWM</b>	In-Wheel Motor
<b>MEV</b>	More Electric Vehicle
<b>NdFeB</b>	Neodymium Magnet
<b>PG</b>	Planetary Gear
<b>PHEV</b>	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
<b>PM</b>	Permanent Magnet
<b>PM BLDC</b>	Permanent Magnet Brushless DC Motor
<b>PMSM</b>	Permanent Magnet Synchronous Motor
<b>SOC</b>	State of Charge
<b>SRM</b>	Switched Reluctance Motor
<b>SynRM</b>	Synchronous Reluctance Motor
<b>TEPCO</b>	Tokyo Electric Power Company
<b>UC</b>	Ultra Capacitor
<b>V2G</b>	Vehicle to Grid
<b>V2H</b>	Vehicle to Home
<b>V2V</b>	Vehicle to Vehicle
<b>VPP</b>	Virtual Power Plant
<b>WPT</b>	Wireless Power Transfer
<b>W-IWM</b>	Wireless In-Wheel Motor

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<i>vi</i>
<b>ABSTRACT</b> .....	<i>vii</i>
<b>Συνοπτομογραφίες</b> .....	<i>viii</i>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<i>xi</i>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<i>xii</i>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<i>xvi</i>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	<i>1</i>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<i>1</i>
1.1 Συμβατικά αυτοκίνητα και περιβάλλον - Τα κίνητρα για ηλεκτροποίηση των Αυτοκινήτων.....	<i>1</i>
1.2 Ιστορική Αναδρομή των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων .....	<i>4</i>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....	<i>9</i>
<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ</b> .....	<i>9</i>
2.1 Οι κατηγορίες των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων .....	<i>9</i>
2.1.1 Οι τεχνολογίες του More Electric Vehicle .....	<i>10</i>
2.1.2 Τα υβριδικά αυτοκίνητα.....	<i>11</i>
2.1.3 Επαναφορτιζόμενα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα.....	<i>16</i>
2.1.4 Αμιγώς Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (Battery Electric Vehicles).....	<i>19</i>
2.1.5 Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο Κυψελών Καυσίμου.....	<i>21</i>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....	<i>26</i>
<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ</b> .....	<i>26</i>
3.1 Γενικές Ρυθμίσεις ΗΑ.....	<i>28</i>
3.2 Ρυθμίσεις Υβριδικών Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων.....	<i>32</i>
3.2.1 Σειριακό Υβριδικό.....	<i>34</i>
3.2.2 Παράλληλο Υβριδικό.....	<i>36</i>
3.2.3 Σειριακό-Παράλληλο Υβριδικό.....	<i>37</i>
3.2.4 Σύνθετο Υβριδικό.....	<i>39</i>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b> .....	<i>40</i>
<b>ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b> .....	<i>40</i>
4.1 Μπαταρίες.....	<i>40</i>
4.2 Υπερπυκνωτές.....	<i>46</i>
4.3 Κυψέλες Καυσίμου .....	<i>47</i>
4.4 Σφόνδυλοι.....	<i>50</i>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b> .....	<i>53</i>
<b>ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ</b> .....	<i>53</i>
5.1 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος με ψύκτρες.....	<i>53</i>
5.2 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος, χωρίς ψύκτρες με μόνιμους μαγνήτες.....	<i>54</i>
5.3 Σύγχρονος κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες .....	<i>54</i>
5.4 Επαγωγικοί κινητήρες.....	<i>55</i>
5.5 κινητήρες διακοπτικής διέγερσης.....	<i>56</i>
5.6 Κινητήρες συγχρονισμένης διέγερσης .....	<i>56</i>
5.7 Κινητήρες συγχρονισμένης διέγερσης υποβοηθούμενοι από PM.....	<i>57</i>
5.8 Κινητήρες αξονικής ροής, χωρίς σίδηρο, μόνιμου μαγνήτη .....	<i>58</i>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b> .....	<i>59</i>
<b>ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b> .....	<i>59</i>

<b>6.1 Aggregator. Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης Φορτίου Ηλεκτρικών Οχημάτων (H/O) ή αλλιώς ΦΟΣΕΦΗΟ.</b>	<b>60</b>
<b>6.2 Ενσωμάτωση EV στο ηλεκτρικό δίκτυο</b>	<b>61</b>
<b>6.3 Φόρτιση EV στο δίκτυο</b>	<b>64</b>
<b>6.4 Δίκτυα V2G.</b>	<b>67</b>
6.4.1 Η ιδέα και το θεωρητικό πλαίσιο της ιδέας V2G.	71
<b>6.5 Η ροή ισχύος απο το όχημα στο δίκτυο ενέργειας.</b>	<b>73</b>
6.5.1 Μονής κατεύθυνσης V2G.	73
6.5.2 Αμφίδρομο V2G.	75
<b>6.6 V2G πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.</b>	<b>76</b>
6.6.1 V2G υπηρεσίες και πλεονεκτήματα.	76
6.6.2 Βοηθητικές υπηρεσίες.	77
6.6.3 Ενεργή υποστήριξη ισχύος.	77
6.6.4 Υποστήριξη για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.	78
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.</b>	<b>79</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.</b>	<b>79</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.</b>	<b>81</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.1:</b> Τα ποσοστά εκπομπών CO <sub>2</sub> ανά οικονομικό κλάδο και ανά μέσο μεταφοράς [1].....	2
<b>Εικόνα 1.2:</b> Η πρόβλεψη για την Παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου [5].....	3
<b>Εικόνα 1.3:</b> Ο Thomas Parker και το ηλεκτρικό του αυτοκίνητο το 1884 [9].....	6
<b>Εικόνα 1.4:</b> Το Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο του Camille Jenatzy (1889) [9].....	6
<b>Εικόνα 1.5:</b> Ο Τ. Έντισον και το ηλεκτρικό του αυτοκίνητο το 1910 [9].....	6
<b>Εικόνα 2.1:</b> Απεικόνιση του συστήματος του υβριδικού αυτοκινήτου σε σειριακή σύνδεση [10].....	12
<b>Εικόνα 2.2:</b> Απεικόνιση του συστήματος του υβριδικού αυτοκινήτου σε παράλληλη σύνδεση [10].....	12
<b>Εικόνα 2.3:</b> Απεικόνιση του συστήματος του υβριδικού αυτοκινήτου σε σειριακή-παράλληλη σύνδεση [10].....	13
<b>Εικόνα 2.4:</b> Ροή ισχύος ενός ΥΑ κατά την διάρκεια διαφόρων σταδίων της οδήγησης.....	14
<b>Εικόνα 2.5:</b> Παράδειγμα διαχείρισης ενέργειας που χρησιμοποιείται στο ΥΑ.....	15
<b>Εικόνα 2.6:</b> Η Παράλληλη σχεδίαση του PHEV [12] .....	16
<b>Εικόνα 2.7:</b> Ο Utility Factor ανάλογα με τα μίλια με αμειγώς ηλεκτρική ενέργεια [14].....	18
<b>Εικόνα 2.8:</b> Οι εκπομπές CO <sub>2</sub> ανάλογα με τα χιλιόμετρα αποκλειστικής χρήσης Ηλεκτρικής Ενέργειας [14].....	18
<b>Εικόνα 2.9:</b> Ομοσπονδιακό Αστικό πλάνο οδήγησης που ορίζει τις προϋποθέσεις στροφορμής-ταχύτητας.....	20
<b>Εικόνα 2.10:</b> Ρυθμίσεις ΑΗΑ . Η τάση DC μετατρέπεται σε AC με την βοήθεια του μετασχηματιστή ώστε να λειτουργεί η μηχανή .....	20
<b>Εικόνα 2.11:</b> Διάταξη ΗΑΚΚ . Το οξυγόνο απο τον αέρα και το υδρογόνο απο τους κυλίνδρους αντιδρούν στις κυψέλες καυσίμου και παράγουν τον ηλεκτρισμό που κινεί τον κινητήρα . Το μόνο προϊόν που απελευθερώνεται στο περιβάλλον είναι το νερό .....	22

<b>Εικόνα 2.12:</b> Pininfarina H2 Speed , ένα Super Car που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου υδρογόνου.....	23
<b>Εικόνα 2.13:</b> Προηγμένη αναλογία μπαταρίας ΑΗΑ και ηλεκτρικού αυτοκινήτου κυψέλης καυσίμου για εύρη 320 km (μπλε χρώμα) και 480 km (πράσινο χρώμα) .....	23
<b>Εικόνα 2.14:</b> Διαμόρφωση ΕΑΚΚ. Εκτός απο τις κυψέλες καυσίμου , με αυτή την διάταξη το όχημα μπορεί να φορτίσει απευθείας απο μια πρίζα .....	24
<b>Εικόνα 3.1:</b> Υποσυστήματα ΗΑ.....	26
<b>Εικόνα 3.2:</b> Διαφορετικές διατάξεις ΗΑ μπροστινού τροχού. a) όχημα κίνησης με εμπρόσθιο τροχό όπου η ΜΕΚ αντικαθίσταται από ηλεκτρικό κινητήρα (b) Διάταξη οχήματος με τον συμπλέκτη να παραλείπεται. (c) Διάταξη με κινητήρα, ταχύτητες και διαφορικό συνδυσασμένα ως μία μονάδα για την κίνηση των εμπρός τροχών. (d) Διάταξη με μεμονωμένους κινητήρες με σταθερές ταχύτητες για τους μπροστινούς τροχούς για τη λήψη διαφορικής δράσης. (e) Τροποποιημένη διάταξη της Εικόνας 11d με τη σταθερή διάταξη ταχυτήτων τοποθετημένη μέσα στους τροχούς (f) Διάταξη όπου το μηχανικό σύστημα ταχυτήτων αφαιρέθηκε, τοποθετώντας έναν κινητήρα χαμηλής ταχύτητας στην ζάντα.....	28
<b>Εικόνα 3.3:</b> Tesla Model S , Διάταξη πίσω τροχού.....	29
<b>Εικόνα 3.4:</b> Tesla Model S, ρύθμιση κινήσεις σε όλους τους τροχούς.....	29
<b>Εικόνα 3.5:</b> Hiriko Fold – όχημα που χρησιμοποιεί in-wheel κινητήρες.....	30
<b>Εικόνα 3.6:</b> Πειραματικό όχημα με W-IWM σύστημα [12].....	31
<b>Εικόνα 3.7:</b> Συμβατικό και ασύρματο IWM. Στην ασύρματη ρύθμιση, χρησιμοποιούνται πηνία αντί καλωδίων για τη μεταφορά ισχύος από την μπαταρία στον κινητήρα.....	31
<b>Εικόνα 3.8:</b> W-IWM ρύθμιση που δείχνει την αποδοτικότητα σε 100% αναφορά ροπής.....	32
<b>Εικόνα 3.9:</b> Η διάταξη συστήματος οδήγησης ενός σειριακού υβριδικού συστήματος. Ο κινητήρας χρησιμοποιείται μόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για να τροφοδοτεί τον κινητήρα μέσω ενός ανορθωτή. Η ισχύς από την μπαταρία πηγαίνει στον κινητήρα μέσω ενός μετατροπέα DC-DC.....	33
<b>Εικόνα 3.10:</b> Σύστημα κίνησης των παράλληλων υβριδικών αυτοκινήτων. Η μηχανή και ο κινητήρας μπορούν να κινήσουν το όχημα μέσω του μηχανικού συνδέσμου.....	34
<b>Εικόνα 3.11:</b> Πλανητικό σύστημα μετάδοσης.....	36

<b>Εικόνα 3.12:</b> Σύστημα κίνησης του σειριακού-παράλληλου υβριδικού συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί πλανητικό μηχανισμό μετάδοσης. Ο πλανητικός μειωτήρας ενώνει την μηχανή, τη γεννήτρια και τον κινητήρα.....	36
<b>Εικόνα 3.13:</b> Σύστημα κίνησης σειριακού-υβριδικού συστήματος που χρησιμοποιεί πομπό. Το πλανητικό σύστημα μετάδοσης δεν υπάρχει σε αυτή τη διάταξη.....	37
<b>Εικόνα 3.14:</b> Σύστημα διαχωρισμού εισόδου e-CVT.....	38
<b>Εικόνα 3.15:</b> Σύνθετο σύστημα e-CVT.....	39
<b>Εικόνα 3.16:</b> Δομή για τετρακίνητο ΥΗΑ [32]. Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιεί έναν ελεγκτή οχήματος που χρησιμοποιεί έναν αριθμό αισθητήρων για να αντιληφθεί την κατάσταση οδήγησης και διατηρεί το όχημα σταθερό ελέγχοντας τα φρένα και τις μονάδες ελέγχου κινητήρα.....	39
<b>Εικόνα 4.1:</b> Διάταξη κυψελών σε μια μπαταρία. Οι σωλήνες ψύξης χρησιμοποιούνται για την απαγωγή της θερμότητας.....	42
<b>Εικόνα 4.2:</b> Διάταξη Ισοσταθμιστών: a) Ισοσταθμιστής αντίστασης, b) Ισοσταθμιστής πυκνωτή.....	44
<b>Εικόνα 4.3:</b> Διάταξη Επαγωγικών Ισοσταθμιστών: a) Βασικός b) Cuk, c) Με μετασχηματιστή d) Με πολλαπλούς μετασχηματιστές.....	45
<b>Εικόνα 4.4:</b> Μια κυψέλη υπερπυκνωτή. Ένας διαχωριστής (Separator) κρατάει τα δύο ηλεκτρόδια ξεχωριστά [41].....	46
<b>Εικόνα 4.5:</b> Συνδυασμός μπαταρίας και υπερπυκνωτή όπου το κάθε στοιχείο συμπληρώνει τα μειονεκτήματα του άλλου [41].....	47
<b>Εικόνα 4.6:</b> Αρχή λειτουργίας της κυψέλης καυσίμου. Το καύσιμο και το οξυγόνο εισέρχονται και παράγονται καυσαέρια και ρεύμα ως προϊόντα χημικής αντίδρασης [17].....	48
<b>Εικόνα 4.7:</b> Διαμόρφωση κυψελών καυσίμου υδρογόνου. Το υδρογόνο χρησιμοποιείται ως καύσιμο που αντιδρά με το οξυγόνο και παράγει νερό και ρεύμα ως προϊόντα [29].....	49
<b>Εικόνα 4.8:</b> Σφόνδυλος αποθήκευσης ενέργειας.....	51
<b>Εικόνα 4.9:</b> Βασικά συστατικά σφόνδουλου [43].....	52
<b>Εικόνα 5.1:</b> Βασικά χαρακτηριστικά επαγωγικού κινητήρα. Η μέγιστη ροπή συντηρείται κατά την βασική ταχύτητα και μετά μειώνεται εκθετικά [17].....	55
<b>Εικόνα 5.2:</b> SynRM υποβοηθούμενο από μόνιμους μαγνήτες Οι μόνιμοι μαγνήτες είναι ενσωματωμένοι στο ρότορα [17].....	58

<b>Εικόνα 6.1:</b> Κατηγοριοποίηση σταθμών φόρτισης.....	62
<b>Εικόνα 6.2:</b> Σταθμός φόρτισης EV τύπου AC level 1 και 2.....	65
<b>Εικόνα 6.3:</b> Σταθμός φόρτισης EV τύπου DC level 1 και 2.....	65
<b>Εικόνα 6.4:</b> V2H, V2V και V2G υλοποιήσεις δικτύων.....	68
<b>Εικόνα 6.5:</b> Μεταφορά ενέργειας στο σύστημα V2G.....	70
<b>Εικόνα 6.6:</b> Ένταση φορτίου πριν και μετά την εφαρμογή της αποκοπής κορυφών φορτίου και της εξομάλυνσης φορτίου [109].....	73

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 2.1:</b> Σύγκριση διαφορετικών τύπων οχημάτων [17].....	25
<b>Πίνακας 3.1:</b> Προτερήματα και μειονεκτήματα στις ρυθμίσεις σειριακών υβριδικών οχημάτων.....	33
<b>Πίνακας 3.2:</b> Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της παράλληλης υβριδικής διάταξης [30].....	35
<b>Πίνακας 3.3:</b> Σύγκριση παράλληλων και σειριακών ΥΑ [8].....	35
<b>Πίνακας 4.1:</b> Είδη μπαταριών, υλικά, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	41
<b>Πίνακας 4.2:</b> Είδη ισοσταθμιστών, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	43
<b>Πίνακας 4.3:</b> Υποψήφια υλικά για Σφόνδυλους [43].....	51
<b>Πίνακας 4.4:</b> Σχετική πυκνότητα ενέργειας και ισχύς ανά μέσο αποθήκευσης [44].....	52



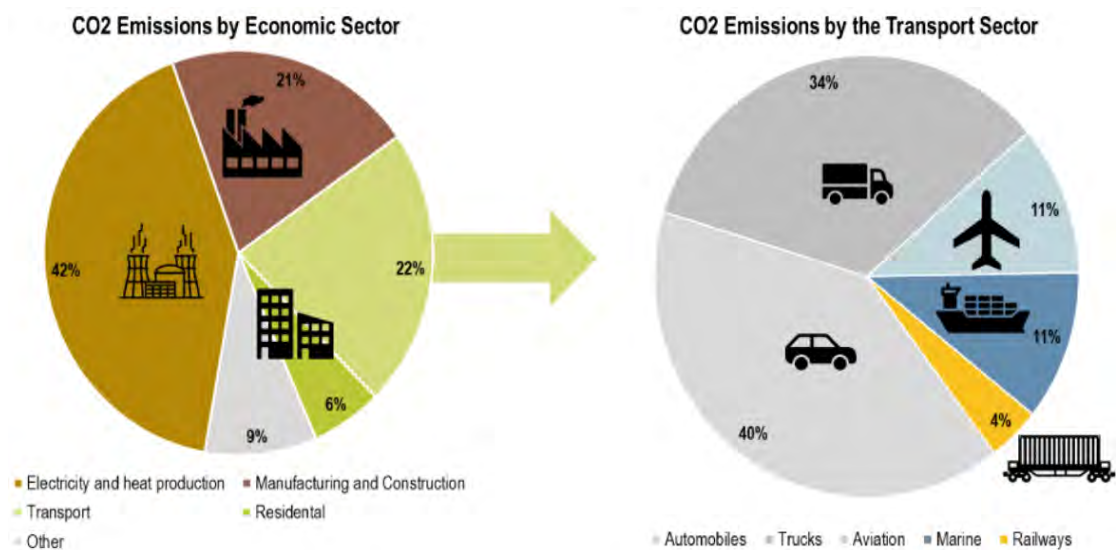
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή αδιαμφισβήτητα αποτελεί την μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα στον αιώνα που ζούμε. Αυτή η διαπίστωση επιβεβαιώνεται καθολικά από την επιστημονική κοινότητα, ενώ αποτελεί βασικό θέμα της πολιτικής ατζέντας. Φαινόμενα όπως αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης, η τρύπα του Οζοντος, τα ακραία καιρικά φαινόμενα και το λιώσιμο των πάγων φαίνεται να ενισχύονται απειλώντας τις υποδομές, τους πόρους, τα δίκτυα και φυσικά τις Ανθρώπινες ζώες. Για αυτούς τους λόγους, η παγκόσμια αντίδραση στην κλιματική αλλαγή είναι η θεσμοθετημένη προσπάθεια για περιορισμό της βασικής αιτίας των παραπάνω απειλών, δηλαδή των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου (Green House Gases – GHG), από όλους τους ρυπογόνους κλάδους.

### **1.1 Συμβατικά αυτοκίνητα και περιβάλλον - Τα κίνητρα για ηλεκτροποίηση των Αυτοκινήτων**

Ένας από τους πιο κρίσιμους κλάδους για τον περιορισμό των εκπεμπόμενων GHG είναι αυτός των μεταφορών παντός τύπου. Οι μεταφορές είναι ένας κρίσιμος τομέας που συμβάλλει στην ομαλή λειτουργία των κοινωνιών και προάγει την οικονομική ανάπτυξη ενός Κράτους, συμβάλλει όμως και σε πολύ μεγάλο ποσοστό στην παραγωγή βλαβερών για το περιβάλλον αερίων και κυρίως διοξειδίου του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Το γεγονός αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα 1.1 όπου αναδεικνύεται το υψηλό ποσοστό (22%) που συνεισφέρει ο κλάδος των μεταφορών στις εκπομπές CO<sub>2</sub>, ενώ επίσης τονίζεται ότι το 40% αυτού του ποσοστού οφείλεται αποκλειστικά στα ιδιωτικά αυτοκίνητα. Η σημαντικότητα των μεταφορών σε συνάρτηση με την ιδιαίτερα υψηλή μόλυνση που προκαλούν καταδεικνύουν την ανάγκη μεθοδευμένης επιστημονικής και θεσμικής προσπάθειας στην κατεύθυνση του περιορισμού των ρύπων από αυτόν τον τομέα. Συγκεκριμένα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ήδη από το 1990 έχει θέσει ως στόχο την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από όλες τις μεταφορές στο 60% έως το 2050 [1],[2].



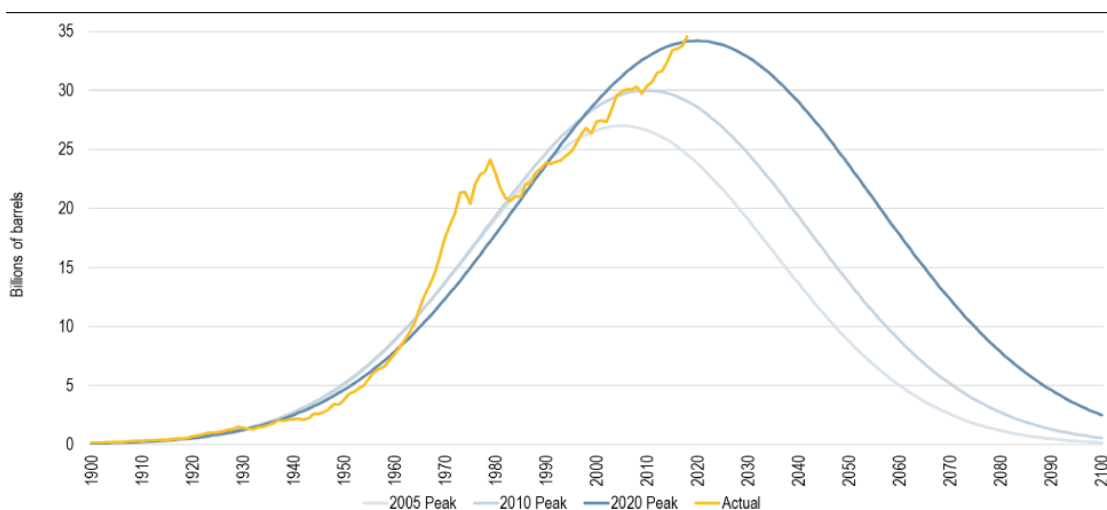
**Εικόνα 1.1: Τα ποσοστά εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά οικονομικό κλάδο και ανά μέσο μεταφοράς [1]**

Για την επίτευξη ενός τόσο σημαντικού ποσοστού μείωσης από έναν τόσο βασικό και διαρκώς διογκωμένο κλάδο είναι αναγκαία η εφαρμογή Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας στις μεταφορές και κυρίως η Ηλεκτρική Ενέργεια. Εφόσον η εφαρμογή της Ηλεκτρικής Ενέργειας στις μεταφορές μεγάλων αποστάσεων με φορτηγά και στις εναέριες μεταφορές είναι προς το παρόν αδύνατη το βάρος πέφτει στις μεταφορές με ιδιωτικά οχήματα, δηλαδή όπως ονομάζεται, στις μετακινήσεις με Light Duty Vehicles. Για να μπορέσει δηλαδή η Ευρωπαϊκή Επιτροπή να βρίσκεται εντός των ενεργειακών της στόχων είναι απαραίτητο αυτού του είδους οι μεταφορές να μετατραπούν σταδιακά σε CO<sub>2</sub> Emission-Free, να μην παράγουν δηλαδή σχεδόν καθόλου CO<sub>2</sub>. Κάτι τέτοιο φυσικά είναι αδύνατον να επιτευχθεί με οποιαδήποτε τεχνολογία Μηχανών Εσωτερικής Καύσης (Internal Combustion Engine – ICE) αλλά επιτυγχάνεται μόνο εάν έως το 2035 όλος ο Ευρωπαϊκός στόλος ιδιωτικών αυτοκινήτων αποτελείται αποκλειστικά από ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Ο αρχικός στόχος της σταδιακής αυτής ενεργειακής μεταβολής είναι η μείωση των γραμμαρίων CO<sub>2</sub> ανά χιλιόμετρο σε 95gr έως το 2021 (σημαντικότερη μείωση λαμβάνοντας υπόψιν ότι το 1995 οι αντίστοιχες εκπομπές ήταν 186gr/km) [2,3].

Κόντρα στους Παγκόσμιους στόχους για μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> από τα αυτοκίνητα έρχονται οι ανθρώπινες ανάγκες καθώς σύμφωνα με διεθνείς έρευνες οι καθημερινοί ρυθμοί ζωής και οι δραστηριότητες προκαλούν μεγάλη κίνηση στους δρόμους και την καθημερινή ανάγκη χρήσης ιδιωτικών αυτοκινήτων. Συγκεκριμένα προβλέπεται ότι ο πληθυσμός των οχημάτων από 630 εκατομμύρια του 2012 δύναται να ξεπεράσει το 1 δις έως το 2030 ενώ η ετήσια παραγωγή αυτοκινήτων προβλέπεται να

εκτοξευθεί στα 100 εκατομμύρια έως το τέλος της τρέχουσας δεκαετίας. Στην ραγδαία αυτή αύξηση συμβάλει με τρόπο δυστυχώς μη προβλέψιμο η ταχεία εξέλιξη και ο εκσυγχρονισμός των Ασιατικών χωρών. Γίνεται λοιπόν εύκολα κατανοητό ότι η ιδιωτική μετακίνηση με την μορφή που την γνωρίζουμε σήμερα, δηλαδή χρησιμοποιώντας καύσιμα, είναι μη βιώσιμη λαμβάνοντας υπόψιν τις αυξανόμενες ανθρώπινες ανάγκες αλλά και την υποχρέωση για περιορισμό των ρύπων [4].

Επιπλέον ώθηση στην μεταστροφή προς την ηλεκτροκίνηση, εκτός από την καταφανή μη βιωσιμότητα και την περιβαλλοντολογική απειλή, δίνει και η οριστική εξάντληση των παγκόσμιων αποθεμάτων πετρελαίου. Όπως έχει τονιστεί από πλήθος ερευνών τα τελευταία 30 χρόνια, αλλά και απεικονίζεται στην Εικόνα 1.2, η παραγωγή πετρελαίου παγκοσμίως έχει ήδη φτάσει στο peak της και οι προβλέψεις για το μέλλον δείχνουν αμετάκλητη σταδιακή μείωση και οριστική εξάντληση έως το τέλος του τρέχοντος αιώνα. Αυτό καθιστά δεδομένη μια γενικότερη αλλαγή στην καθημερινότητα και στην κάλυψη την ανθρώπινων ενεργειακών αναγκών, και εν προκειμένω ορίζει πως ένας κοστοβόρος σε πετρέλαιο κλάδος, όπως αυτός των μεταφορών οφείλει να περιορίσει σταδιακά την κατανάλωση του σε πετρέλαιο και τέλος να ανεξαρτητοποιηθεί πλήρως από αυτό. Κάτι τέτοιο φυσικά δύναται να επιτευχθεί μόνο εφόσον καταφέρουμε να αυξήσουμε τον βαθμό ηλεκτροποίησης (electrification level) των αυτοκινήτων σε βαθμό που θα είναι Πλήρως Ηλεκτρικά [4],[5],[6].



**Εικόνα 1.2: Η πρόβλεψη για την Παγκόσμια παραγωγή πετρελαίου [5]**

Στα παρακάτω κεφάλαια θα αναλυθούν διεξοδικά τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα, όλες οι μορφές και οι εναλλακτικές σχεδίασης τους, ο τρόπος λειτουργίας και η οικονομία σε καύσιμο και ρύπους που προσφέρουν. Θα ερευνηθεί επίσης ο τρόπος με τον οποίον αυτά τα καινούρια στοιχεία θα αφομοιωθούν με βιώσιμο τρόπο στην κοινωνία μέσω της

ένταξης στους στο σύγχρονο δίκτυο Ενέργειας της πόλης, το ονομαζόμενο smart grid, η μορφή και τα στοιχεία του οποίου επίσης θα αναλυθούν.

Για την εγγύηση της πληρότητας της έρευνας, θα ακολουθήσει μία ιστορική αναδρομή στην πορεία και εξέλιξη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, θα ακολουθήσει μια κατηγοριοποίηση ανάλογα με το electrification level, μετά η ανάλυση των επιμέρους στοιχείων τους και στην πορεία θα αναδειχτεί η σημαντικότητα τους για το μέλλον των μεταφορών καθώς θα αναλυθεί η συνεισφορά τους στο σύγχρονο δίκτυο ενέργειας και στην κοινωνία γενικότερα.

## 1.2 Ιστορική Αναδρομή των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων

Παρότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα έχουν έρθει στο προσκήνιο της παγκόσμιας προσφοράς και ζήτησης τα τελευταία χρόνια, αντίθετα η γέννηση τους απέχει πολύ χρονικά από το σήμερα. Μάλιστα, η πρώτη εμφάνιση ηλεκτρικού αυτοκινήτου συμπίπτει με τις απαρχές των ατμοκίνητων αυτοκινήτων, που δεν χρησιμοποιούνται πιά, και των συμβατικών αυτοκινήτων, με μηχανή εσωτερικής καύσης, που πρωταγωνιστούσαν έως και σήμερα. Μέσα σε αυτά τα χρόνια τα ηλεκτροκίνητα οχήματα πέρασαν από πολλά στάδια ακμής και αφάνειας μέχρι να φτάσουμε στη σημερινή εποχή που το ενδιαφέρον γι' αυτά αναζωπυρώθηκε.

Η πρώτη αναφορά για Ηλεκτρικό Όχημα είναι μεταξύ των ετών 1832 και 1839, και αφορά μία ηλεκτρική άμαξα στην Σκωτία με εφευρέτη τον Robert Anderson χωρίς ωστόσο να υπάρχουν σαφείς ενδείξεις για την λειτουργικότητα της. Η στοιχειώδης λειτουργικότητα στα Ηλεκτρικά Οχήματα ξεκινάει το 1884 όταν ο Thomas Parker, επιφανής πρωτοπόρος μηχανικός που ηλεκτροποίησε τον υπόγειο σιδηρόδρομο του Λονδίνου, παρουσιάζει το πρώτο Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο στην Αγγλία (Εικόνα 1.3). Παράλληλα στην Γαλλία παρουσιάζεται στην Paris Exposition Internationale d'Électricité ένα ηλεκτρικό τρίκυκλο από τον Gustave Trouné το 1881, ενώ στο Βέλγιο ο κατασκευαστής όπλων Pieper και ο γιός του Henri κατασκευάζουν το Auto Mixte, πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο, το 1896. Γενικώς πριν τον 20 αιώνα δεν υπάρχει καταγεγραμμένη κάποια μαζική εμπορική παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων, παρά ιδιωτικές κατασκευές και πειράματα με σκοπό πολλές φορές μόνο την επίτευξη κάποιας επίδοσης, όπως για παράδειγμα το Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο Jamais Contente του Camille Jenatzy (1868-1913) που ήταν το πρώτο όχημα που έσπασε το φράγμα των 100 χλμ/ώρα το 1899 (Εικόνα 1.4).

Οι λόγοι που δεν μπορούσαν τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα να εξαπλωθούν εκείνη την εποχή ήταν εν μέρει οι ηλεκτρικοί κινητήρες, αν και τα βασικότερα προβλήματα τους είχαν πλέον ξεπεραστεί με τις σημαντικές βελτιώσεις που είχαν γίνει στην κατασκευή τους, εν τούτοις το σημαντικότερο πρόβλημα που εξακολουθούσε να υπάρχει ήταν οι συσσωρευτές. Συγκεκριμένα, εκτός από το χαμηλό λόγο ενέργειας προς όγκο και βάρος, ένα επιπρόσθετο σημαντικό μειονέκτημα ήταν η μη δυνατότητα επαναφόρτισης. Το πρόβλημα αυτό με τους λεγόμενους “πρωτογενείς” συσσωρευτές επιλύθηκε το 1859, όταν ο Γάλλος Gaston Plante ανακάλυψε για πρώτη φορά το στοιχείο Μολύβδου-Οξέως (Pb-Acid) που έχει δυνατότητα επαναφόρτισης. Με τον τρόπο αυτό έπαψε να είναι απαραίτητη η συνεχής αντικατάσταση των ηλεκτρικών στοιχείων μετά την εκφόρτισή τους. Βέβαια χρειάστηκαν 22 χρόνια από την ανακάλυψη του Plante μέχρι που οι συσσωρευτές μολύβδου γίνουν ικανοί να χρησιμοποιηθούν στην πράξη. Αυτό συνέβη το 1881 χάρη στον Camille Faure. Στη συνέχεια έκαναν την εμφάνισή τους διάφοροι βελτιωμένοι τύποι συσσωρευτών μεταξύ των οποίων ξεχώρισε το στοιχείο Edison (Edison cell), που ήταν ένας συσσωρευτής Νικελίου-Σιδήρου (Ni-Fe). Η κατασκευή του έγινε το 1910 και ήταν το πιο προηγμένο στοιχείο τεχνολογικά την εποχή εκείνη που μάλιστα οδήγησε στην κατασκευή ενός Ηλεκτρικού αυτοκινήτου από τον ίδιο τον Edison (Εικόνα 1.5) [7],[8],[9].



**Εικόνα 1.3: Ο Thomas Parker και το Ηλεκτρικό του Αυτοκίνητο το 1884 [9]**





**Εικόνα 1.4 : Το Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο Camille Jenatzy (1889) [9]**



**Εικόνα 1.5 : Ο Τ.Εντισον και το ηλεκτρικό του αυτοκίνητο το 1910 [9]**

Οι έρευνες γύρω από τις μπαταρίες άνοιξαν τον χώρο για την περίοδο ακμής των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 1900 έως λίγο μετά το 1910. Συγκεκριμένα η αγορά αυτοκινήτων είχε διαιρεθεί στα 3 με το 40% να ανήκει στα ατμοκίνητα οχήματα, το 38% στα ηλεκτρικά, και το 22% στα βενζινοκίνητα. Η διαίρεση αυτή δικαιολογείται καθώς οι τεχνολογίες ατμού ήταν αρκετά προχωρημένες με τις ατμομηχανές να είναι μεν αρκετά δυνατές, γρήγορες και αξιόπιστες αλλά υστερούσαν στην διάρκεια ταξιδιού καθώς απαιτούσαν γέμισμα με νερό ενώ απαιτούσαν πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα για να

ζεσταθούν πριν ξεκινήσουν (25-45 λεπτά). Αντίθετα τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα ήταν θορυβώδη, δύσκολα και αναξιόπιστα στον χειρισμό ενώ προκαλούσαν ρύπανση και κακοσμία εξού και το μικρό ποσοστό που κατείχαν στην αγορά. Αντίθετα τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα της εποχής ήταν πιο αθόρυβα, εύκολα στον χειρισμό και απλά στην σχεδίαση με αποτέλεσμα να χαρακτηριστούν ως “women’s cars”. Παρόλο την απλότητα και την ευκολία στην οδήγηση, ήταν πολύ ακριβά, αργά (24-32χλμ/ώρα) και με περιορισμένο μήκος διαδρομής (30-60 χλμ.). Το peak της παραγωγής των Ηλεκτρικών αυτοκινήτων ήρθε το 1912 όπου μπορούσαν να στοιχίζουν από 1750-3000 δολάρια την στιγμή που το βενζινοκίνητο Model T του Henry Ford στοίχιζε μόλις 650, κάνοντας προφανές ότι απευθυνόταν αποκλειστικά σε πλούσιους και πολλές φορές με στόχο όχι τόσο την λειτουργική επίλυση των αναγκών μετακίνησης αλλά για απόδοση κύρους στον ιδιοκτήτη [8],[9].

Από το σημείο εκείνο και από τις αρχές της δεκαετίας του 20’ η παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων και το ενδιαφέρον προς αυτά άρχισε να μειώνεται. Βασικές αιτίες ήταν η ραγδαία αύξηση στην παραγωγή πετρελαίου (αποτυπώνεται στην Εικόνα 1.2), η πολύ χαμηλή τιμή της βενζίνης, και η βελτιωμένη παραγωγή μηχανών εσωτερικής καύσης που οδήγησαν στην μαζικότερη παραγωγή αυτοκινήτων με μηχανές αυτού του είδους. Επιπλέον τα οδικά δίκτυα, ιδιαίτερα της Αμερικής είχαν αρχίσει να επεκτείνονται δραματικά, δημιουργώντας επιπλέον επιθυμία και ανάγκη για μακρύτερες ιδιωτικές μετακινήσεις, γεγονός που απαιτούσε μια αξιόπιστη και φθηνή λύση χωρίς να υπολογιστεί το μελλοντικό περιβαλλοντολογικό πρόβλημα που θα έφερνε η κυριαρχία των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων. Επιπλέον, η ανακάλυψη του ηλεκτρικού εκκινητή επέτρεψε την εξέλιξη και καθολική χρησιμοποίηση των μηχανών εσωτερικής καύσης, ενώ η γραμμή παραγωγής (με πρώτη αυτή του Henry Ford) οδήγησε σε εύκολη μαζική παραγωγή βενζινοκίνητων αυτοκινήτων που προκάλεσε ραγδαία πτώση της τιμής στα 300\$ ( περίπου 7000\$ σε σημερινά χρήματα). Αυτό έφερε τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα κοντά στο πλήθος, περιθωριοποιώντας τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα που σταδιακά πέρασαν την απαξίωση και ύστερα στην ανυπαρξία. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μέχρι την αναζωπύρωση τους στο επόμενο μισό του αιώνα θα περιοριστούν σε εφαρμογές ειδικού τύπου και μικρών αποστάσεων όπως για παράδειγμα τα golf carts και οι μελέτες πάνω σε αυτά μοιραία θα σταματήσουν [8],[9].

Το περιβαλλοντολογικό πρόβλημα που δημιούργησε η μαζική χρησιμοποίηση των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων έγινε αντιληπτό από το 1960 και μετά, με αποτέλεσμα την αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος της επιστημονικής κοινότητας σε αυτά ως λύση. Οι

τεχνολογία σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια ήταν πολύ εξελιγμένη γεγονός που οδήγησε στην μελέτη των ηλεκτρικών αυτοκινήτων από διαφορετική βάση, ιδιαίτερα λόγω των εξελιγμένων μπαταριών και των τρόπων φόρτισης. Η νέα αυτή τεχνολογική βάση ξεκίνησε να δίνει στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα την βασική μορφή που γνωρίζουμε και εξελίσσουμε σήμερα και θα αναλύσουμε σε επόμενα κεφάλαια.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

Κατόπιν της εξερεύνησης των περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων των συμβατικών μέσων μεταφορών που οδηγούν στην επιστροφή των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων (Εξής ΗΑ) βρισκόμαστε σε σημείο που είναι απαραίτητος ο σαφής ορισμός των ΗΑ και η διερεύνηση των επιμέρους στοιχείων που τα αποτελούν καθώς και των κατηγοριών που αυτά υπάγονται ανάλογα με το επίπεδο ηλεκτροποίησης τους.

#### 2.1 Οι κατηγορίες των Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων

Αρχικά πρέπει να τονιστεί ότι εξ' ορισμού ένα ΗΑ χρησιμοποιεί την Ηλεκτρική Ενέργεια για την κίνηση του, και κατά συνέπεια χρησιμοποιεί ηλεκτρικούς κινητήρες και συστοιχίες μπαταριών, αντί για μηχανές εσωτερικής καύσης (εξής ΜΕΚ). Αυτό δεν σημαίνει ότι οι ΜΕΚ εξαλείφονται παντελώς καθότι, όπως θα δούμε στην συνέχεια, ενδέχεται ένας ηλεκτρικός κινητήρας και μία ΜΕΚ να συνυπάρχουν στο ίδιο σύστημα ενέργειας, συνθέτοντας τα υβριδικά αυτοκίνητα. Έτσι αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι τα σύγχρονα ΗΑ χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το ποσοστό ενέργειας που προέρχεται από ηλεκτρική πηγή ως προς την συνολική ενέργεια που χρησιμοποιεί το όχημα. Εφόσον δηλαδή σε ένα βενζινοκίνητο αυτοκίνητο το ποσοστό αυτό είναι 0%, ενώ αντίθετα σε αυτοκίνητο με απουσία ΜΕΚ είναι 100%. Η Τεχνική Αρχή της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής υποστηρίζει πως τα οχήματα που χρησιμοποιούν δύο ή περισσότερους τύπους πηγής ενέργειας, αποθήκευσης ή μετασχηματιστών μπορούν να κληθούν ως Υβριδικά Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (ΥΑ) εφόσον τουλάχιστον ένα από αυτά παρέχει ηλεκτρική ενέργεια. Αυτός ο ορισμός δίνει τη δυνατότητα για πολλούς συνδυασμούς για τα ΥΑ όπως ΜΕΚ και μπαταρία, μπαταρία και σφόνδυλο, μπαταρία και πυκνωτή, μπαταρία και κυψέλες καυσίμου, κ.λπ. Επομένως, το αγοραστικό κοινό αλλά και οι ειδικοί άρχισαν να αποκαλούν οχήματα με συνδυασμό ΜΕΚ και ηλεκτρικών κινητήρων ΥΑ, αυτά με μπαταρία και πυκνωτή ως ΗΑ-υποβοηθούμενα από πυκνωτές και αυτά με μπαταρία και κυψέλες καυσίμου ως ΚΚΗΑ (FCEVs). Αυτές οι ορολογίες έχουν γίνει

ευρέως αποδεκτές και σύμφωνα με αυτόν τον κανόνα, τα ΗΑ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- More Electric Vehicle (MEV)
- Hybrid Electric Vehicle (HEV)
- Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)
- Electric Vehicle (EV)

### **2.1.1 Οι τεχνολογίες του More Electric Vehicle**

Στην πρώτη κατηγορία, αυτή των More Electric Vehicle, η αλλιώς Μικροϋβριδικά (micro hybrid) οχήματα, ανήκουν τα οχήματα, τα οποία εφαρμόζουν διάφορες τεχνολογίες για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, και συνεπώς, της εκπομπής ρύπων. Δε διαθέτουν, όμως, ηλεκτρικό κινητήριο σύστημα για την εξ ολοκλήρου ηλεκτρική κίνηση του οχήματος ή έστω την υποβοήθηση του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Γενικώς στα οχήματα χρησιμοποιούνται τέσσερα διαφορετικά συστήματα μετάδοσης ισχύος για οχήματα: μηχανικά, υδραυλικά, πνευματικά και ηλεκτρικά. Τα ηλεκτρικά συστήματα είναι συνήθως πολύ πιο αποτελεσματικά, ταχύτερα, και μπορούν να ελεγχθούν ευκολότερα από τους άλλους τύπους, για αυτό και επιλέγονται από την εν λόγω κατηγορία. Το πλάνο των MEVs εξυπηρετεί στο να αυξηθεί η απόδοση του οχήματος, να μειωθούν οι εκπομπές και να βελτιωθεί γενικά η επίδοση. Επιπλέον, η ανάγκη για εξυπνότερα, υψηλής τεχνολογίας, ασφαλέστερα, πιο αξιόπιστα οχήματα και την επιθυμία για βελτιώσεις στην άνεση, την ευκολία, την ψυχαγωγία και τις επικοινωνίες απαιτούνται περισσότερα ηλεκτρικά συστήματα στα οχήματα.

Τα ηλεκτρικά αυτά συστήματα αφορούν διάφορες τεχνολογίες που εξοικονομούν ενέργεια και κάνουν το ιδιωτικό όχημα πιο έξυπνο, μερικές από τις οποίες είναι οι εξής:

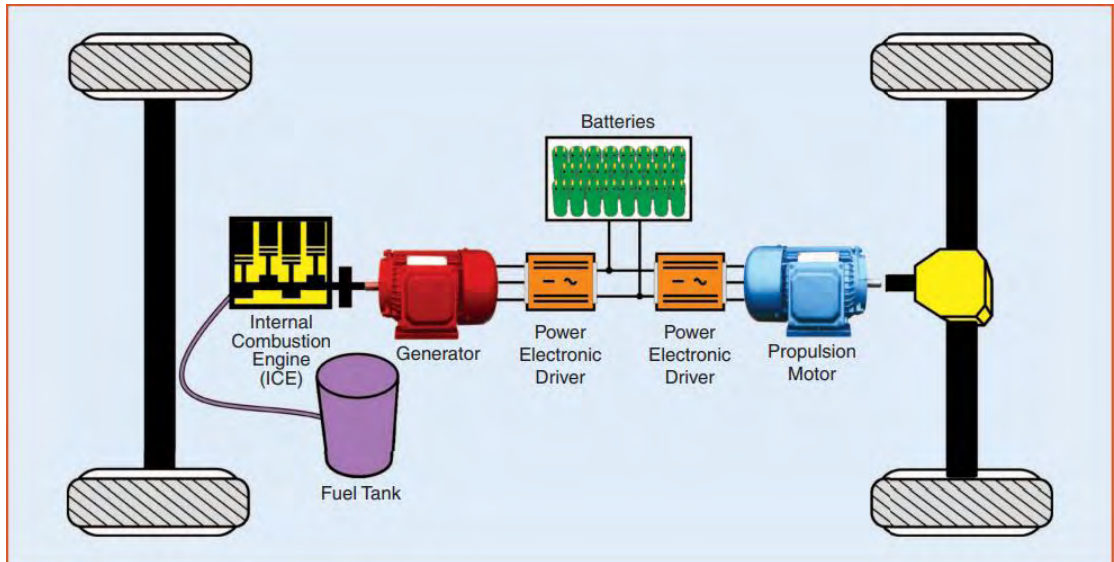
- Η τεχνολογία της ανάκτησης ενέργειας κατά την πέδηση (αναγεννησιακή πέδηση – regenerative braking), η οποία επιτυγχάνεται μέσω μίας γεννήτριας που περιστρέφεται κατά το φρενάρισμα. Έτσι, επιστρέφεται ενέργεια, η οποία θα καταναλωνόταν με τη μορφή θερμότητας. Βεβαίως, απαιτούνται κατάλληλοι συσσωρευτές για να αποθηκευτεί το μεγαλύτερο δυνατό ποσό ενέργειας. Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται σε διάφορα συστήματα του αυτοκινήτου, όπως είναι η ηλεκτρική υποβοήθηση του συστήματος διεύθυνσης ή του συστήματος πέδησης.

- Η ηλεκτροποίηση των υποσυστημάτων του αυτοκινήτου, όπως το σύστημα ψύξης της ΜΕΚ, το σύστημα πέδησης, το σύστημα διεύθυνσης, ώστε να μειωθούν οι απώλειες ισχύος
- Η λειτουργία Start-Stop (idle - off) με την οποία τα υβριδικά οχήματα έχουν τη δυνατότητα να σβήνουν το θερμικό κινητήρα κατά τη στάση και να τον επανεκκινούν όταν ο οδηγός δώσει την εντολή. Αυτό γίνεται μέσω ενός ηλεκτροκινητήρα της τάξεως των 2,5 kW υπό τάση 12 V, ο οποίος αντικαθιστά τα συστήματα της μίζας και του εναλλάκτη των συμβατικών αυτοκινήτων. Η εξοικονόμηση καυσίμου για συνθήκες οδήγησης αστικού περιβάλλοντος, δηλαδή με επαναλαμβανόμενα φρεναρίσματα και εκκινήσεις, είναι 5 με 10%.

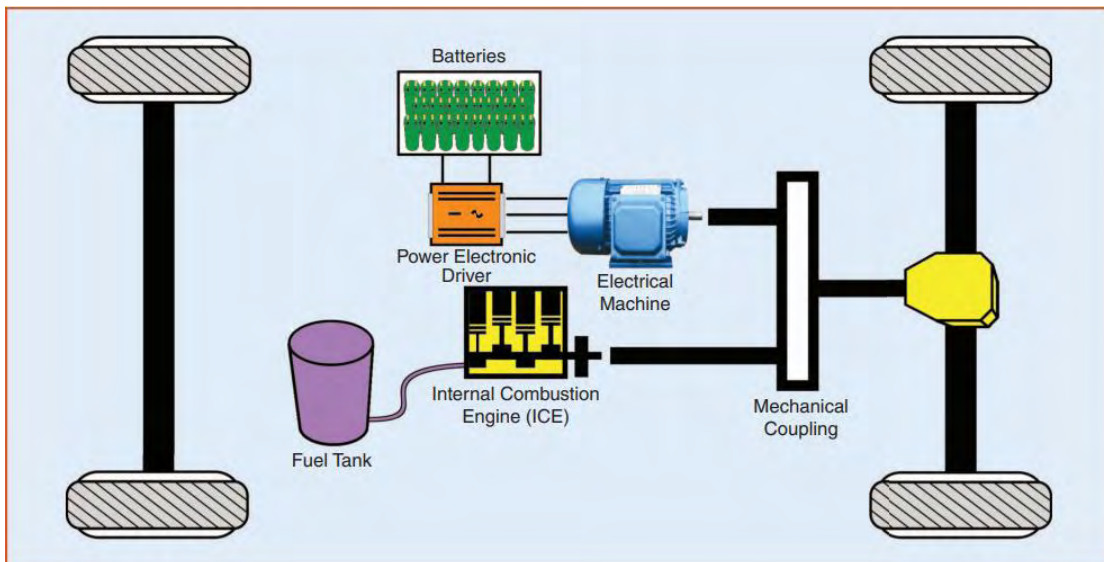
Αυτές και πολλές άλλες τεχνολογίες που εφαρμόζονται στα MEVs ανοίγουν τον δρόμο για την περαιτέρω ηλεκτροποίηση των αυτοκινήτων με την ένταξη ηλεκτροκινητήρων ως κινητήρια μηχανή, εγχείρημα που μας εντάσσει εντελώς στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

### **2.1.2 Τα Υβριδικά Αυτοκίνητα**

Για την επίτευξη των παραπάνω, η προσοχή μας πρέπει να δοθεί στις επόμενες κατηγορίες όπου και η ηλεκτροποίηση των οχημάτων είναι μεγαλύτερη. Αρχικά για το Υβριδικό Αυτοκίνητο (Hybrid Electric Vehicle – HEV) όπου υπάρχει συνύπαρξη όπως είπαμε ηλεκτροκινητήρα και ΜΕΚ, και μπορεί να συνδέονται σειριακά ή παράλληλα στο σύστημα μετάδοσης όπως φαίνεται από τις Εικόνες 2.1 και 2.2. Και στις δύο περιπτώσεις το σύστημα κίνησης του αυτοκινήτου αποτελείται, πέρα από τους δύο κινητήρες, από μία γεννήτρια, από ηλεκτρονικά ισχύος και μπαταρίες, διατάξεις που θα αναλυθούν ενδελεχώς σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 2.1: Απεικόνιση του συστήματος του υβριδικού αυτοκινήτου σε σειριακή σύνδεση[10]

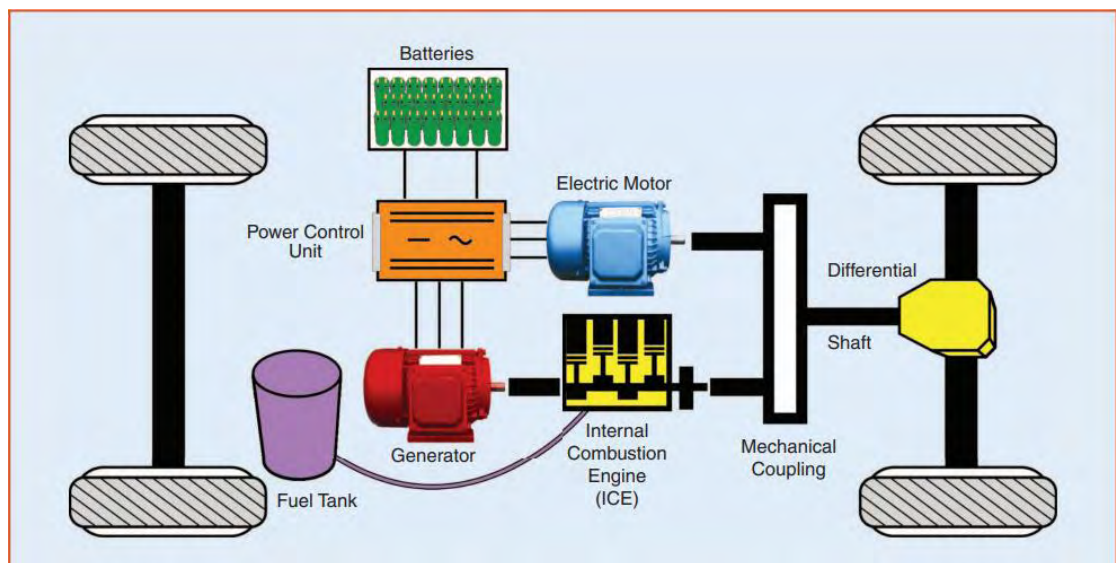


Εικόνα 2.2: Απεικόνιση του Συστήματος του Υβριδικού Αυτοκινήτου σε παράλληλη σύνδεση [10]

Στην σειριακή περίπτωση της Εικόνας 2.1 η ενέργεια της κίνησης παρέχεται από τον ηλεκτροκινητήρα ενώ η ΜΕΚ κινεί μία ηλεκτρογεννήτρια η οποία χρησιμοποιείται αφενός για να κινεί τον προωθητήριο κινητήρα αλλά και για να φορτίζει τις μπαταρίες. Επίσης σημαντικό είναι να διακρίνουμε ότι σε αυτή την περίπτωση η ΜΕΚ είναι μηχανικά διαζευγμένη από τους τροχούς, αντίθετα με τον κινητήρα ο οποίος είναι συνδεδεμένος με το διαφορικό ή απευθείας με τις ρόδες. Αντίθετα, στην παράλληλη σύνδεση της Εικόνας 2.2, διακρίνεται ότι η ΜΕΚ συνδέεται με τους τροχούς, σχηματίζοντας ένα ζεύγος με τον

ηλεκτρικό κινητήρα. Έτσι η συνεισφορά στην κίνηση του οχήματος από τις δύο μηχανές μπορεί να διαφοροποιείται ή να συνδυάζεται. Αυτό σημαίνει ότι σε χαμηλές ταχύτητες ο ηλεκτροκινητήρας κινεί μόνος του το όχημα, ενώ σε μεγαλύτερες ταχύτητες στην κίνηση συνδράμει και η ΜΕΚ.

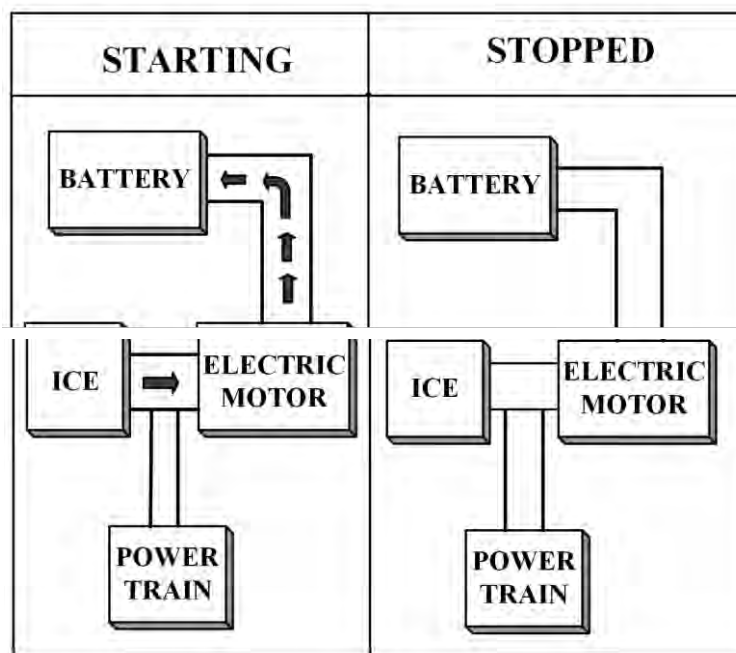
Η λειτουργία και των δύο συνδέσεων μπορεί να συνδυαστεί σε μία κοινή σχεδίαση την Εν Σειρά-Παράλληλη, που φαίνεται στην Εικόνα 2.3. Συγκεκριμένα, οι δύο μηχανές λειτουργούν πάλι σαν παράλληλο ζεύγος αλλά υπάρχει και σειριακό μονοπάτι μετάδοσης της ενέργειας από την ΜΕΚ στις Μπαταρίες.



Εικόνα 2.3: Απεικόνιση του Συστήματος του Υβριδικού Αυτοκινήτου σε σειριακή-παράλληλη σύνδεση [10]

Ένα ΥΑ χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης όταν η ανάγκη για ισχύ είναι χαμηλή. Αυτό αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα σε συνθήκες χαμηλής ταχύτητας, όπως οι αστικές περιοχές. Μειώνει, επίσης, την κατανάλωση καυσίμου καθώς ο κινητήρας παραμένει εντελώς ανενεργός κατά τη διάρκεια ρελαντί περιόδων, όπως για παράδειγμα, τα μποτιλιαρίσματα. Αυτή η λειτουργία μειώνει επίσης τις εκπομπές GHG. Όταν απαιτείται υψηλότερη ταχύτητα, το ΥΑ μεταβαίνει στην ΜΕΚ. Τα δύο συστήματα κίνησης μπορούν επίσης να συνεργαστούν για τη βελτίωση της απόδοσης. Τα υβριδικά συστήματα ισχύος χρησιμοποιούνται εκτενώς για τη μείωση ή την πλήρη εξάλειψη της καθυστέρησης του turbo (turbo lag) σε αυτοκίνητα με δυνατότητα turbo, όπως το Acura NSX. Βελτιώνει, επίσης, την απόδοση γεμίζοντας τα κενά μεταξύ αλλαγής ταχυτήτων και αυξάνει την ταχύτητα όταν αυτό απαιτείται. Η ΜΕΚ έχει την δυνατότητα να φορτίσει τις μπαταρίες. Τα ΥΑ μπορούν επίσης να ανακτήσουν ενέργεια μέσω αναγεννητικής πέδησης.

Επομένως, τα ΥΑ είναι κυρίως οχήματα που κινούνται με την ΜΕΚ και χρησιμοποιούν το ηλεκτρικό σύστημα κίνησης για την αύξηση των χιλιομέτρων που μπορούν να διανύσουν ή για την βελτίωση της απόδοσης. Στην Εικόνα 2.4 φαίνεται η ροή της ενέργειας σε ένα στοιχειώδες ΥΑ. Κατά την εκκίνηση του οχήματος, η ΜΕΚ μπορεί να χρησιμοποιήσει τον κινητήρα ως γεννήτρια για να παράγει ισχύ και να την αποθηκεύσει στην μπαταρία. Καθώς κατά την διάρκεια προσπέρασης χρειάζεται μια αύξηση στην ταχύτητα, η ΜΕΚ και ο κινητήρας συνεισφέρουν και οι δύο στο σύστημα κίνησης. Κατά τη διάρκεια του φρεναρίσματος, το σύστημα κίνησης χρησιμοποιεί τον κινητήρα ως γεννήτρια για την φόρτιση της μπαταρίας με αναγεννητική πέδηση. Κατά την οδήγηση, η ΜΕΚ χρησιμοποιεί και το όχημα και τον κινητήρα ως γεννήτρια, η οποία φορτίζει την μπαταρία. Η ροή ισχύος διακόπτεται μόλις το όχημα σταματά. Η Εικόνα 2.5 δείχνει ένα παράδειγμα συστημάτων διαχείρισης ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε ΥΑ. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η ισχύς χωρίζεται μεταξύ της ΜΕΚ και του ηλεκτροκινητήρα, με βάση την ταχύτητα του οχήματος, την συμβολή του οδηγού, την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας, και την ταχύτητα του κινητήρα ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση καυσίμου.

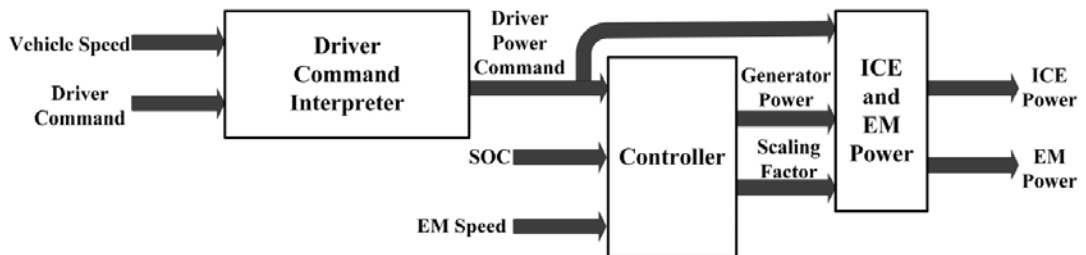
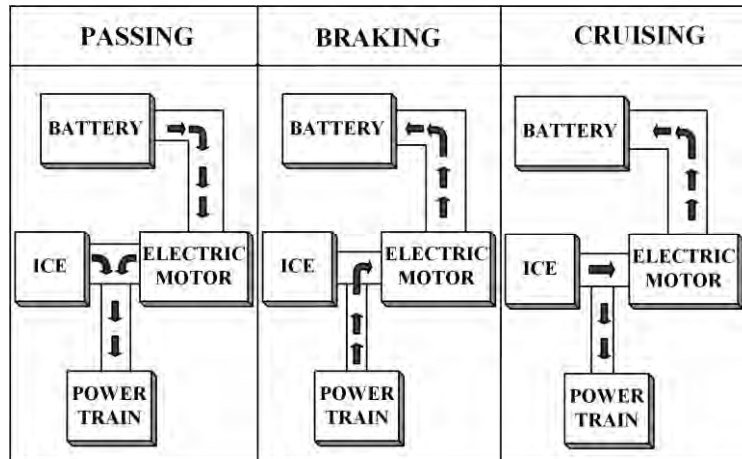


(α) Κατεύθυνση της ροής ισχύος κατά την εκκίνηση του αυτοκινήτου και όταν αυτό είναι ακινητοποιημένο.

(β) Κατεύθυνση ροής ισχύος κατά την προσπέραση, το φρενάρισμα και την οδήγηση.

ICE (Internal Combustion Engine): Μηχανή Εσωτερικής Καύσης, Battery: Μπαταρία, Electric Motor: Ηλεκτρικός Κινητήρας, Power Train: Σύστημα Μετάδοσης Εκκίνησης.

**Εικόνα 2.4: Ροή ισχύος ενός ΥΑ κατά τη διάρκεια διαφόρων σταδίων της οδήγησης.**



Passing: Προσπέρασμα, Braking: Σταμάτημα, Cruising: Περιπολία, Vehicle speed: Ταχύτητα οχήματος, Driver Command: Εντολή οδηγού, Driver Command Interpreter: Διερμηνέας εντολών οδηγού, SOC (State of Charge): Κατάσταση φόρτισης, EM (Electric Motor) = Ηλεκτρικός κινητήρας, Controller: Ελεγκτής, Power Generator: Γεννήτρια ρεύματος, Scaling Factor: Παράγοντας κλιμάκωσης.

**Εικόνα 2.5: Παράδειγμα διαχείρισης ενέργειας που χρησιμοποιείται στο ΥΑ.**

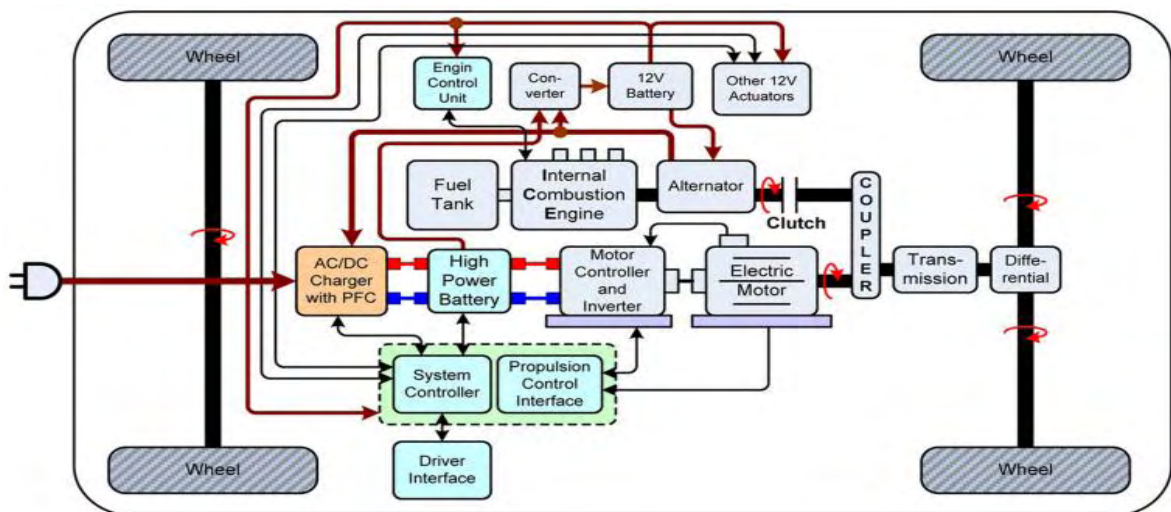
Σε κάθε περίπτωση, αυτό που είναι σημαντικό και πρέπει να τονιστεί είναι ότι τα υβριδικά αυτοκίνητα δεν είναι στην ουσία εντελώς ηλεκτροκίνητα, καθότι ακόμη χρησιμοποιούν βενζίνη για την ενέργεια κίνησης. Επίσης αδυνατούν να συνδεθούν με εξωτερικό σύστημα ενέργειας για την φόρτιση των μπαταριών τους σε αντίθεση με τα Plug-In Hybrid Vehicles που θα δούμε στην συνέχεια. Έτσι η επαναφόρτιση των μπαταριών γίνεται όπως είπαμε από την ενέργεια που παρέχει η ΜΕΚ ενώ υπάρχει και η δυνατότητα φόρτισης τους από το σύστημα ανάκτησης ενέργειας από τα φρένα. Κατά



συνέπεια αυτού του τύπου τα αυτοκίνητα δεν επηρεάζουν το σύγχρονο δίκτυο ενέργειας, καθώς δεν συνδέονται σε αυτό για να φορτιστούν, παρόλα αυτά αποτελούν μία αξιόλογη εισαγωγή στην φιλοσοφία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που ανοίγει τον δρόμο για την πλήρη ηλεκτρισμό των ιδιωτικών μεταφορών ενώ παράλληλα συνδράμει αισθητά στην οικονομία καυσίμου και περιορισμού των ρύπων [10,11].

### 2.1.3 Επαναφορτιζόμενα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα

Αυτή η κατηγορία αποτελεί εξέλιξη των απλών HEV που αναλύθηκαν παραπάνω. Πρόκειται για τα Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV) τα οποία όπως μαρτυρά το όνομα τους είναι υβριδικά απλώς διαθέτουν την δυνατότητα φόρτισης από εξωτερικό δίκτυο ενέργειας, και αυτό είναι άλλωστε και το σημαντικό αυτής της έρευνας, εφόσον καθώς συνδέονται στο έξυπνο δίκτυο της πόλης το επηρεάζουν όπως θα δούμε σημαντικά. Μπορεί να σχεδιαστεί εξίσου σε σειριακή και παράλληλη σύνδεση, ενώ όπως φαίνεται από την Εικόνα 2.6 διαθέτει έναν φορτιστή που αποτελείται από έναν AC/DC Converter (εφόσον φορτίζεται από εξωτερικό κύκλωμα που λειτουργεί με AC τάση) διάταξη που θα αναλυθεί παρακάτω μαζί με άλλες [10,12].



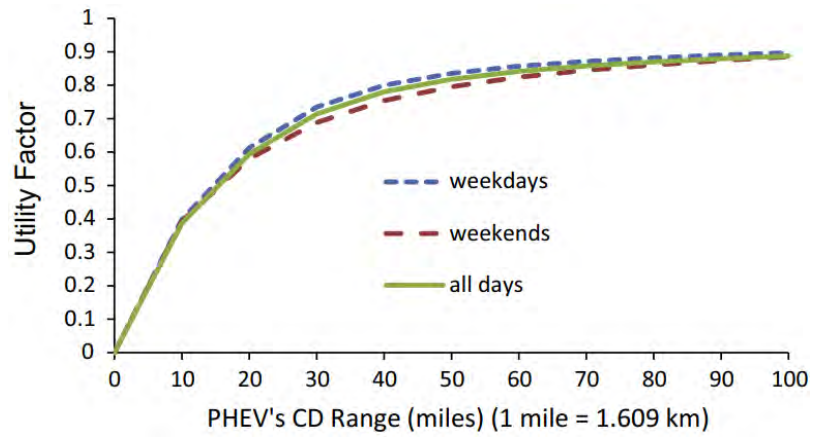
Wheel: Ρόδα, AC/DC Charger with PFC (Power Factor Correction): Φορτιστής Εναλλασσόμενου/Συνεχές με διόρθωση συντελεστή ισχύος, Engine Control Unit: Μονάδα ελέγχου Μηχανής, Converter: Μετατροπέας, Battery: Μπαταρία, Actuators: Ενεργοποιητές, Fuel Tank: Δεξαμενή καυσίμων, Internal Combustion Engine: Μηχανή Εσωτερικής Καύσης, Alternator: Εναλλάκτης, Clutch: Συμπλέκτης, High Power Batter: Μπαταρία μεγάλης ισχύος, Motor Controller and inverter: Ελεγκτής κινήτρια και μετατροπέας, Electric Motor: Ηλεκτρικός Κινητήρας, Coupler: Συνδέων, Transmission: Μετάδοση, Differential: Διαφοροποιητής, System Controller: Σύστημα ελέγχου, Propulsion Control Interface: Περιβάλλον ελέγχου προώθησης, Driver Interface: Περιβάλλον οδηγού.

Εικόνα 2.6: Η παράλληλη σχεδίαση του PHEV [12]

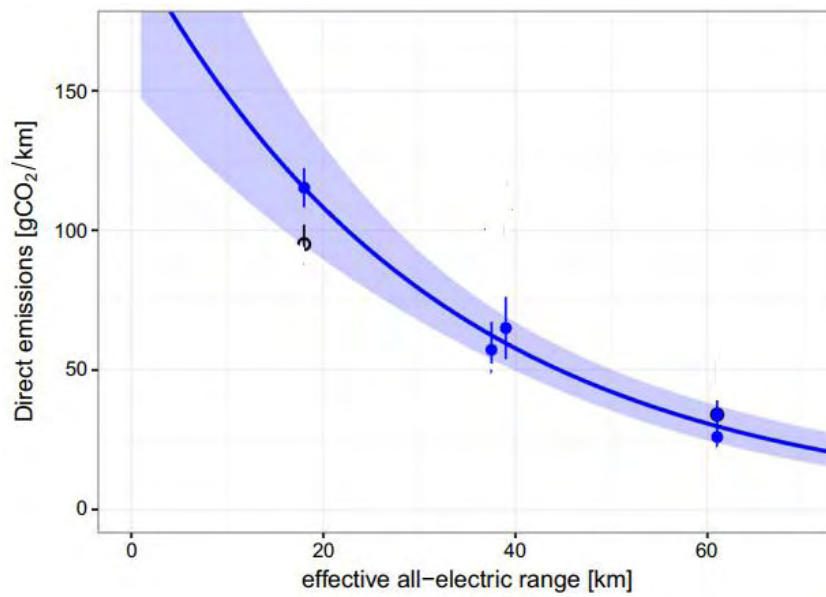


Η εναλλαγή των δύο κινητήρων ενός PHEV εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το οδηγικό προφίλ και τον τρόπο φόρτισης του οχήματος από τον ιδιοκτήτη. Γενικώς υπάρχουν δυο καταστάσεις. Η πρώτη κατάσταση ονομάζεται Charge Depleting (CD), κατά την οποία για την κίνηση είναι υπεύθυνος αποκλειστικά ο ηλεκτροκινητήρας ενώ η ΜΕΚ είναι απενεργοποιημένη με την ενέργεια να αποδίδεται αποκλειστικά από την μπαταρία, κινείται δηλαδή το όχημα αμιγώς ηλεκτρικά. Αντίθετα στην κατάσταση Charge Sustaining (CS) η ΜΕΚ είναι και αυτή ενεργοποιημένη και κυρίως φορτίζει τις μπαταρίες, ενώ υπάρχει φυσικά η δυνατότητα να συμβάλλει και στην κίνηση του οχήματος. Το κατά πόσο χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια σε ένα όχημα εκφράζει ένας δείκτης που ονομάζεται Utility Factor και σχηματίζεται από τα διανυόμενα χιλιόμετρα μόνο με την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας ως προς τα συνολικά διανυόμενα χιλιόμετρα [13].

Με άλλα λόγια, τα PHEVs όταν βρίσκονται στην κατάσταση CD λειτουργούν ως πλήρως ηλεκτρικά αυτοκίνητα ενώ στην κατάσταση CS λειτουργούν ακριβώς όπως τα υβριδικά που περιγράφηκαν παραπάνω. Είναι προφανές ότι η επιθυμητή κατάσταση είναι η CD, καθώς με αυτήν τα αυτοκίνητα καταναλώνουν ελάχιστο ως καθόλου καύσιμο και συμβάλουν στην εξοικονόμηση ρύπων, μόνο εάν η ενέργεια που φόρτισε τις μπαταρίες δεν προέρχεται εξ' ολοκλήρου από άνθρακα. Είναι επίσης προφανές, και εκφράζεται και στο διάγραμμα της Εικόνας 2.7, πως τα συνολικά χιλιόμετρα που διανύθηκαν σε κατάσταση CD καθορίζουν τελικώς την τιμή του Utility Factor. Η εν λόγω εικόνα παρουσιάζει τις τιμές αυτού το δείκτη σε κυκλικές διαδρομές από το σπίτι (home-to-home routes), παίρνοντας ως δεδομένο ότι κάθε διαδρομή ξεκινάει με γεμάτες μπαταρίες, ενώ φαίνεται και η διαφοροποίηση που προκύπτει μεταξύ καθημερινών ημερών και Σαββατοκύριακου. Γενικώς καθοριστικό ρόλο στην μείωση των εκπομπών βλαβερών αερίων παίζουν το είδος και η ικανότητα των μπαταριών που χρησιμοποιούνται καθώς και ο τρόπος που φορτίζονται τα αυτοκίνητα. Και τα δύο αυτά πολύ σημαντικά κομμάτια αναλύονται σε παρακάτω ενότητες και προς το παρόν θα αρκεστούμε στην εύκολα κατανοητή διαπίστωση πως με τις κατά το δυνατόν ικανότερες μπαταρίες και με την βέλτιστη φόρτιση τους, τα PHEV θα μπορούν να διανύουν όλο και μεγαλύτερες αποστάσεις μόνο με ηλεκτρική ενέργεια και έτσι μετακινήσεις θα γίνονται ολοένα και φιλικότερες στο περιβάλλον. Αυτό φαίνεται και από την Εικόνα 2.8 στο διάγραμμα της οποίας φαίνεται η πτώση των εκπεμπόμενων γραμμαρίων CO<sub>2</sub> ανά χιλιόμετρο όσο μεγαλώνει η δυνατή διανυόμενη απόσταση με αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας [13,14].



Εικόνα 2.7: Ο Utility Factor ανάλογα με τα μίλια με αμειγώς ηλεκτρική ενέργεια [14]

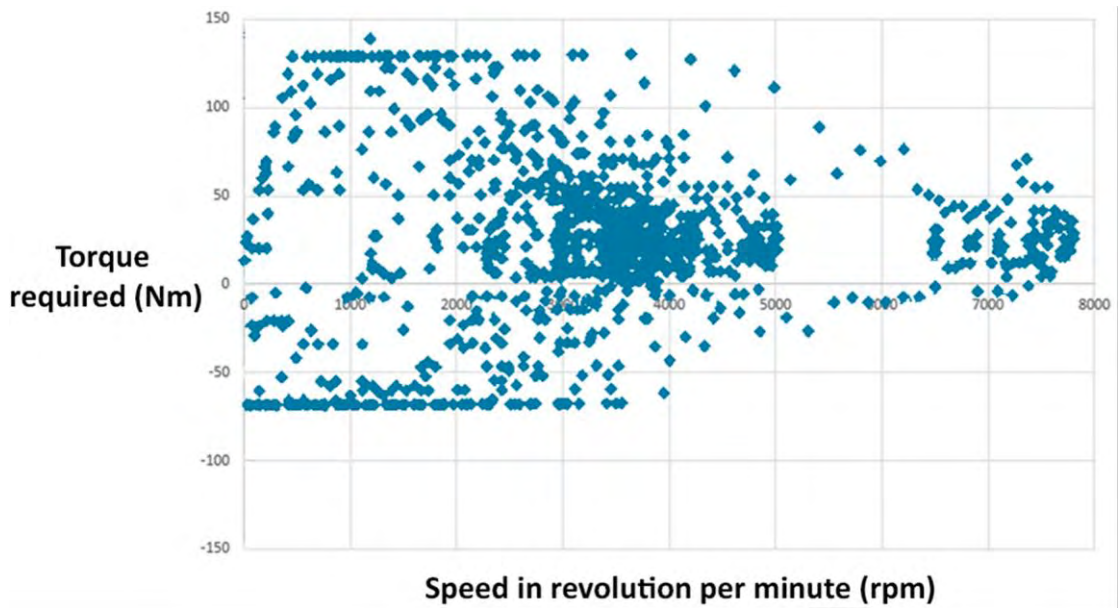


Εικόνα 2.8: Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> ανάλογα με τα χιλιόμετρα αποκλειστικής χρήσης Ηλεκτρικής Ενέργειας [14]

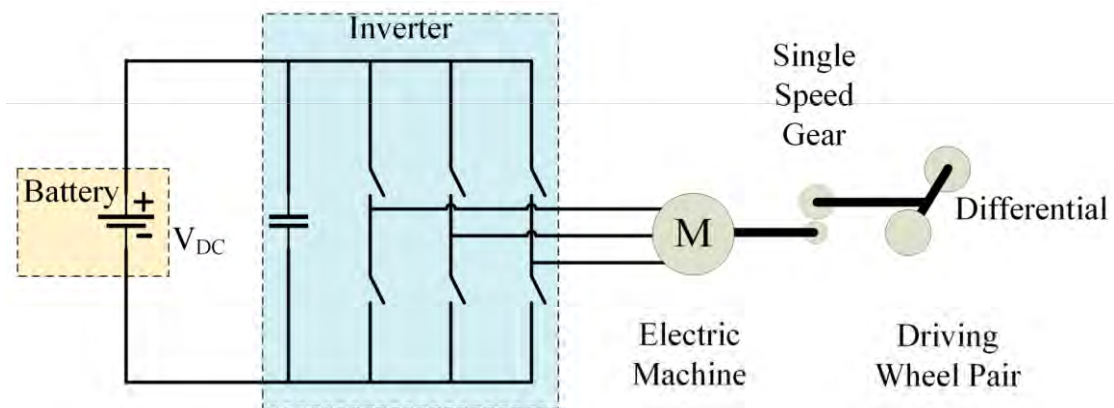
#### 2.1.4 Αμιγώς Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (Battery Electric Vehicles)

Η επόμενη κατηγορία αφορά τα Αμιγώς Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα (Electric Vehicles-EV) από τα οποία σε αντίθεση με τις προηγούμενες κατηγορίες, λείπει εντελώς η ΜΕΚ. Κατά συνέπεια τα οχήματα αυτά βασίζονται όλη την ενέργεια που χρειάζονται στις μπαταρίες που διαθέτουν, για αυτό πολλές φορές στην βιβλιογραφία αναφέρονται και ως BEVs (Battery Electric Vehicle). Η γκάμα των Αμιγώς Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων (ΑΗΑ) διαμορφώνεται από την χωρητικότητα της εκάστοτε μπαταρίας. Τα μέτρια μοντέλα μπορούν συνήθως να διανύσουν 100 χλμ – 250 χλμ με ένα γέμισμα, ενώ τα κορυφαία μοντέλα μπορούν να συνεχίσουν την πορεία τους για πολύ περισσότερο, από 300 έως 500 χλμ. Αυτές οι τιμές εξαρτώνται από τον τύπο οδήγησης, τις συναρθρώσεις των οχημάτων, τις οδικές συνθήκες, το κλίμα, τον τύπο της μπαταρίας και την ηλικία της. Μετά την εξάντληση των αποθεμάτων ενέργειας, η φόρτιση της μπαταρίας διαρκεί πολύ περισσότερη ώρα σε σύγκριση με τον ανεφοδιασμό ενός συμβατικού οχήματος με ΜΕΚ. Μία πλήρης φόρτιση μπορεί να φτάσει τις 36 ώρες, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις όπου η φόρτιση διαρκεί πολύ λιγότερο, σε καμία όμως από τις περιπτώσεις δεν μπορεί να συγκριθεί με τον χρόνο ανεφοδιασμού ενός ντεπόζιτου υγρού καυσίμου.

Ο χρόνος φόρτισης εξαρτάται από τις ρυθμίσεις λειτουργίας του φορτιστή, την υποδομή και το επίπεδο ισχύος λειτουργίας. Τα πλεονεκτήματα των ΑΗΑ είναι η απλή κατασκευή και η ευκολία στην λειτουργία τους. Ακόμα, δεν παράγουν οποιοδήποτε αέριο θερμοκηπίου (GHG), δεν δημιουργούν θόρυβο και επομένως είναι ευεργετικά για το περιβάλλον. Η ηλεκτρική πρόωση παρέχει ταχύτατες και υψηλές ροπές, ακόμη και σε χαμηλές ταχύτητες. Αυτά τα πλεονεκτήματα, σε συνδυασμό με τον περιορισμό της εμβέλειας, τα καθιστούν το τέλειο όχημα για χρήση σε αστικές περιοχές. Όπως διαφαίνεται στην Εικόνα 2.9, η οδήγηση σε αστικό κέντρο απαιτεί χαμηλές ή μέτριες ταχύτητες, και αυτές προϋποθέτουν μεγάλη στροφορμή. Τα Nissan Leaf και Tesla και κάποια κινέζικα μοντέλα φαίνεται να είναι από τα πιο δημοφιλή ΑΗΑ, αν ανατρέξει κανείς στις τρέχουσες αγοραπωλησίες. Στο Εικόνα 2.10 παρουσιάζονται οι βασικές ρυθμίσεις για ΑΗΑ: οι τροχοί κατευθύνονται από ηλεκτρικούς κινητήρες οι οποίοι λειτουργούν με μπαταρίες μέσω ενός κυκλώματος μετασχηματισμού ισχύος.



Εικόνα 2.9: Ομοσπονδιακό Αστικό Πλάνο Οδήγησης που ορίζει τις προϋποθέσεις στροφορμής-ταχύτητας.



Battery: Μπαταρία, Inverter: Μετατροπέας/Μετασχηματιστής, Electric Machine: Ηλεκτρική Μηχανή, Single Speed Gear: Εξοπλισμός απλής ταχύτητας, Differential: Διαφοροποιητής, Driving Wheel Pair: Ζεύγος τροχών οδήγησης.

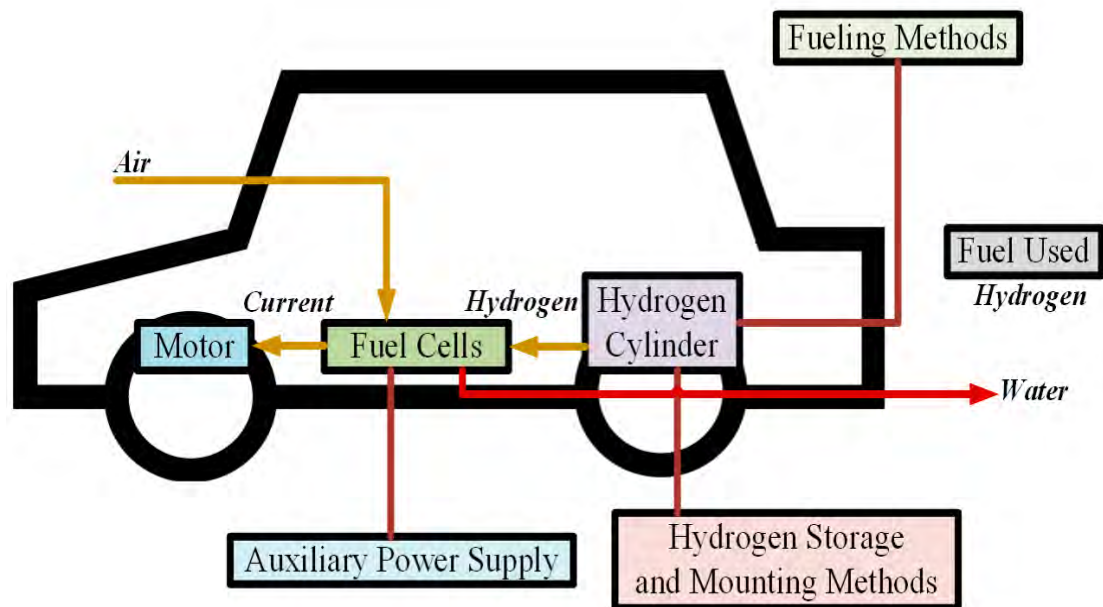
Εικόνα 2.10: Ρυθμίσεις ΑΗΑ. Η τάση DC μετατρέπεται σε AC με την βοήθεια του μετασχηματιστή ώστε να λειτουργήσει η μηχανή.

### 2.1.5 Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο Κυψελών Καυσίμου

Η ολοκλήρωση των κατηγοριών στα ηλεκτρικά οχήματα έρχεται με τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα Κυψελών Καυσίμου. Τα ΗΑΚΚ ονομάζονται έτσι επειδή η καρδιά αυτού του είδους οχημάτων είναι κυψέλες καυσίμου που χρησιμοποιούν χημικές αντιδράσεις για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το υδρογόνο είναι το καύσιμο που χρησιμοποιούν τα ΗΑΚΚ για να πραγματοποιήσουν αυτήν την αντίδραση, επομένως συχνά ονομάζονται «οχήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου». Τα ΗΑΚΚ μεταφέρουν το υδρογόνο σε ειδικές δεξαμενές υψηλής πίεσης. Ένα άλλο συστατικό στην διαδικασία παραγωγής ενέργειας είναι το οξυγόνο, το οποίο αποκτά από τον αέρα που απορροφάται από το περιβάλλον. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις κυψέλες καυσίμου πηγαίνει σε έναν ηλεκτρικό κινητήρα που κινεί τους τροχούς. Η παραπανίσια ενέργεια αποθηκεύεται σε συστήματα αποθήκευσης, όπως μπαταρίες ή υπερσυμπιεστές. Μαζί διαθέσιμα ΗΑΚΚ όπως το Toyota Mirai ή το Honda Clarity χρησιμοποιούν μπαταρίες για τον σκοπό αυτό. Τα ΗΑΚΚ παράγουν νερό ως υποπροϊόν της διαδικασίας παραγωγής ισχύος που αποβάλλεται από το αυτοκίνητο μέσω των εξατμίσεων. Η διάρθρωση ενός ΗΑΚΚ φαίνεται στην Εικόνα 2.11. Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτών των οχημάτων είναι ότι μπορούν να παράγουν την δική τους ηλεκτρική ενέργεια που δεν εκπέμπει άνθρακα, μειώνοντας το αποτύπωμα άνθρακα περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο ΗΑ. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των οχημάτων είναι πως ο ανεφοδιασμός τους απαιτεί τον ίδιο χρόνο που χρειάζεται και για την πλήρωση του ανεφοδιασμού ενός συμβατικού οχήματος με υγρό καύσιμο. Αυτό τα καθιστά τον πιο πιθανό τύπο ηλεκτρικών οχημάτων που θα μπορούσαν να υιοθετηθούν ευρέως από το κοινό στο εγγύς μέλλον.

Ένα καθόλου ευκαταφρόνητο εμπόδιο στην υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας είναι η έλλειψη σταθμών καυσίμων υδρογόνου, όμως από την άλλη, ούτε οι ΑΗΑ ή οι σταθμοί φόρτισης ΗΑ δεν ήταν ένα συνηθισμένο σενάριο μερικά χρόνια πριν. Επίσης, μια αναφορά στο Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ (DOE) επεσήμανε ένα άλλο μειονέκτημα που είναι το υψηλό κόστος των κυψελών καυσίμου, που κοστίζουν πάνω από 200 \$ ανά kW, κάτι που είναι πολύ μεγαλύτερο από την ΜΕΚ (λιγότερο από 50 \$ ανά kW). Επιπροσθέτως, υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια σε περίπτωση διαρροής εύφλεκτου υδρογόνου από τις δεξαμενές. Εάν αυτά τα εμπόδια εξαλειφθούν, τα ΗΑΚΚ θα μπορούσαν όντως να αντιπροσωπεύουν το μέλλον των αυτοκινήτων. Οι δυνατότητες αυτής της τεχνολογία στα supercars φαίνονται στο H2 Speed της Pininfarina (Εικόνα 2.12). Στην βιβλιογραφική αναφορά [15] συγκρίθηκαν τα ΑΗΑ και τα ΗΑΚΚ σε διαφορετικές πτυχές, όπου τα ΗΑΚΚ φαινόταν να είναι καλύτερα από τα ΑΗΑ με

πολλούς τρόπους. Αυτή η σύγκριση φαίνεται στην Εικόνα 2.13. Στην εικόνα αυτή παρουσιάζονται ζητήματα που σχετίζονται με το κόστος των ΑΗΑ και των ΗΑΚΚ: βάρος, απαιτούμενος όγκος αποθήκευσης, εκπομπές GHG, απαιτούμενη ενέργεια φυσικού αερίου, απαιτούμενη αιολική ενέργεια, πρόσθετο κόστος, κόστος υποδομής τροφοδοσίας ανά αυτοκίνητο, κόστος καυσίμου ανά χιλιόμετρο, και συνολικό κόστος κύκλου ζωής συγκρίνονται όλα για 320 km (μπλε χρώμα) και 480 km (πράσινο χρώμα). Ο οριζόντιος άξονας δείχνει την αναλογία χαρακτηριστικών ΑΗΑ προς ΗΑΚΚ. Καθώς έχει η χαμηλότερη αξία σε αυτά τα χαρακτηριστικά υποδηλώνει πλεονέκτημα, οποιαδήποτε τιμή υψηλότερη από την άλλη στον οριζόντιο άξονα δηλώνει πως τα ΗΑΚΚ είναι ανώτερα από τα ΑΗΑ σε αυτό το χαρακτηριστικό. Τούτου λεχθέντος, τα ΑΗΑ εμφανίζονται καλύτερα μόνο στο κόστος αιολικής ενέργειας και καυσίμου ανά χιλιόμετρο. Το κόστος των καυσίμων φαίνεται να είναι ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των ΗΑΚΚ, καθώς ένας φτηνός, βιώσιμος και φιλικός προς το περιβάλλον τρόπος παραγωγής υδρογόνου εξακολουθεί να λείπει, και η υποδομή ανεφοδιασμού υστερεί σε σχέση με εκείνη των ΑΗΑ. Παρόλα αυτά, τα παραπάνω προβλήματα μπορεί να επιλυθούν στο προσεχές μέλλον.

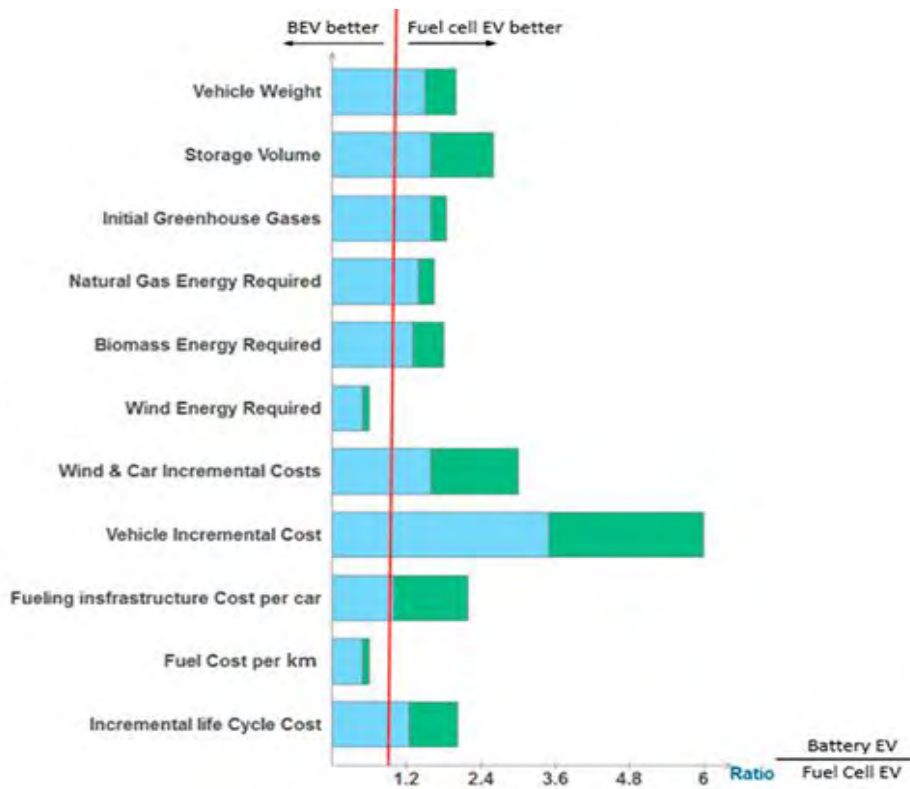


Fuel Cells: Κυψέλες καυσίμου, Hydrogen Cylinder: Κύλινδρος υδρογόνου, Fueling Methods: Μέθοδοι τροφοδοσίας, Motor: Κινητήρας, Auxiliary Power Supply: Βοηθητική τροφοδοσία ισχύος, Hydrogen Storage and Mounting Methods: Μέθοδοι τοποθέτησης και αποθήκευσης υδρογόνου.

**Εικόνα 2.11: Διάταξη ΗΑΚΚ. Το οξυγόνο από τον αέρα και το υδρογόνο από τους κυλίνδρους αντιδρούν στις κυψέλες καυσίμου και παράγουν τον ηλεκτρισμό που κινεί τον κινητήρα. Το μόνο υποπροϊόν που απελευθερώνεται στο περιβάλλον είναι το νερό.**



Εικόνα 2.12: Pininfarina H2 Speed, ένα supercar που χρησιμοποιεί κυψέλες καυσίμου υδρογόνου.

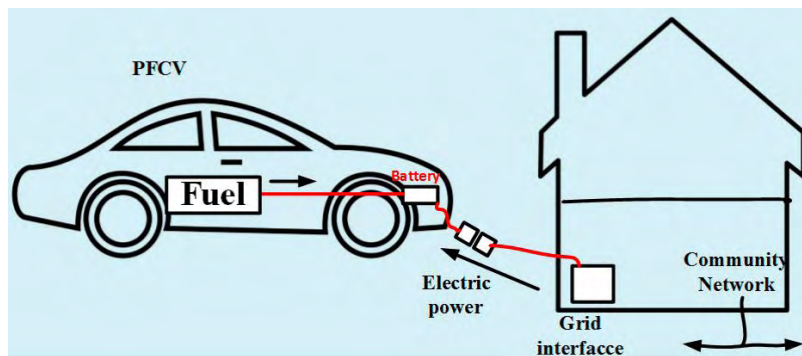


Vehicle Weight: Βάρος οχήματος, Storage Volume: Όγκος αποθήκευσης, Initial Greenhouse Gases: Αρχικά αέρια θερμοκηπίου, Natural Gas Energy Required: Απαίτηση ενέργειας φυσικού αερίου, Biomass Energy Required: Απαίτηση ενέργειας βιομάζας, Wind Energy Required: Απαίτηση Αιολικής ενέργειας, Incremental Costs: σταδιακά κόστη, Fueling infrastructure: Τροφοδοσία υποδομής, BEV: Battery Electric Vehicle: Αμιγώς Ηλεκτρικό όχημα.

Εικόνα 2.13: Προηγμένη αναλογία μπαταρίας ΑΗΑ και ηλεκτρικού αυτοκινήτου κυψέλης καυσίμου για εύρη 320 km (μπλε χρώμα) και 480 km (πράσινο χρώμα).



Ο Rajashekara προέβλεψε ένα ελαφρώς διαφορετικό μέλλον για τα ΗΑΚΚ στην παραπομπή [16]. Παρουσίασε ένα επαναφορτιζόμενο αυτοκίνητο κυψελών καυσίμου (ΕΑΚΚ) με μεγαλύτερη μπαταρία και μικρότερη κυψέλη καυσίμου, γεγονός που το καθιστά αυτοκίνητο που κινείται κυρίως με μπαταρία. Σύμφωνα με την παραπομπή [16], εάν το υδρογόνο για τέτοια οχήματα μπορεί να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές για τη λειτουργία των κυψελών καυσίμου και η ενέργεια φόρτισης των μπαταριών προέρχεται επίσης από οικολογικές πηγές, τα ΕΑΚΚ θα είναι το μέλλον των οχημάτων. Τα ΗΑΚΚ που βλέπουμε σήμερα δεν θα έχουν μεγάλη απήχηση εκτός από ορισμένες εξειδικευμένες αγορές. Η Εικόνα 2.14 δείχνει μια βασική διαμόρφωση ΕΑΚΚ. Ο Πίνακας 2.1 συγκρίνει τους διαφορετικούς τύπους οχημάτων όσον αφορά το παράγοντα οδήγησης, την πηγή ενέργειας, τα χαρακτηριστικά και τους περιορισμούς.



PFCV (Plug-in Fuel Cell Vehicle): Επαναφορτιζόμενο όχημα κυψελών καυσίμου, Fuel: καύσιμο, Battery: Μπαταρία, Electric Power: Ηλεκτρική ενέργεια, Grid Interface: Πλέγμα σύνδεσης, Community Network: Κοινοτικό δίκτυο.

**Εικόνα 2.14: Διαμόρφωση ΕΑΚΚ. Εκτός από τις κυψέλες καυσίμου, με αυτήν την διάταξη το όχημα μπορεί να φορτίσει απευθείας από μια πρίζα.**



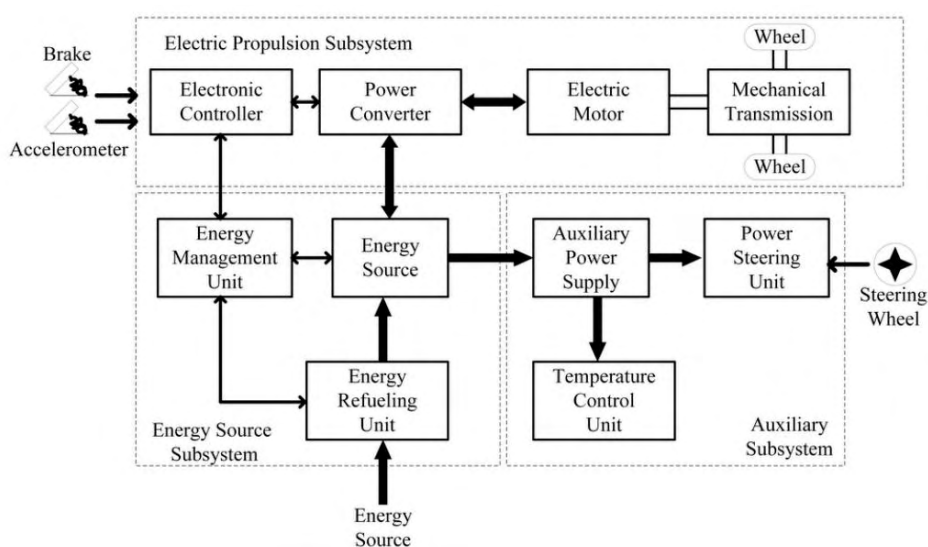
**Πίνακας 2.1 Σύγκριση διαφορετικών τύπων οχημάτων [17].**

ΤΥΠΟΣ ΗΛ	ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ	ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ
ΑΗΑ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ηλεκτρικός Κινητήρας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μπαταρία</li> <li>• Υπερπυκνωτής</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καμία εκπομπή</li> <li>• Δεν εξαρτάται από πετρέλαιο</li> <li>• Εύρος εξαρτάται από τύπο μπαταρίας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Τιμή μπαταρίας και χωρητικότητα</li> <li>• Εύρος</li> <li>• Χρόνος φόρτισης</li> <li>• Διαθεσιμότητα σημείων φόρτισης</li> <li>• Ακριβό</li> </ul>
ΥΑ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ηλεκτρικός Κινητήρας</li> <li>• Μηχανή Εσωτερικής Καύσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μπαταρία</li> <li>• Υπερπυκνωτής</li> <li>• ΜΕΚ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πολύ μικρή εκπομπή</li> <li>• Μεγάλο εύρος</li> <li>• Παροχή ισχύος ηλεκτρικά και από καύσιμο</li> <li>• Σύνθετη κατασκευή από ηλεκτρικά και μηχανικά συστήματα κίνησης</li> <li>• Διαθέσιμο εμπορικά</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διαχείριση των πηγών Ενέργειας</li> <li>• Βελτιστοποίηση μπαταρίας και Μηχανής</li> </ul>
ΗΑΚΚ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ηλεκτρικός Κινητήρας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κυψέλη Καυσίμου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Πολύ μικρή έως καθόλου εκπομπή</li> <li>• Μεγάλη αποτελεσματικότητα</li> <li>• Ακριβό</li> <li>• Δεν εξαρτάται από ηλεκτρισμό</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κόστος κυψελών καυσίμου</li> <li>• Τρόπος παραγωγής καυσίμου</li> <li>• Διαθεσιμότητα πρατηρίων καυσίμου</li> </ul>

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΔΙΑΤΑΞΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

Ένα ηλεκτρικό όχημα, σε αντίθεση με τα αντίστοιχα που διαθέτουν ΜΕΚ, είναι αρκετά ευέλικτο [17]. Αυτό οφείλεται στην απουσία περίπλοκων μηχανικών διατάξεων που απαιτούνται για τη λειτουργία ενός συμβατικού οχήματος. Σε ένα ΗΑ, υπάρχει μόνο ένα κινούμενο μέρος, ο κινητήρας. Μπορεί να ελεγχθεί με διαφορετικές ρυθμίσεις και τεχνικές ελέγχου. Ο κινητήρας χρειάζεται τροφοδοσία για να λειτουργήσει, η οποία μπορεί να προέρχεται από ένα φάσμα πηγών. Ένα ΗΑ μπορεί να λειτουργεί μόνο με ηλεκτρικό ρεύμα, υπάρχει όμως και η δυνατότητα μία ΜΕΚ και ένας ηλεκτροκινητήρας να μπορούν να λειτουργήσουν σε συνδυασμό για να κινήσουν τους τροχούς. Λόγω αυτής της ευελιξίας, προέκυψαν διαφορετικοί συνδυασμοί ρυθμίσεων ανάλογα με τον τύπο του οχήματος. Ένα ΗΑ μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύστημα που περιλαμβάνει τρία διαφορετικά υποσυστήματα [17]: πηγής ενέργειας, πρόωσης και βοηθητικών λειτουργιών. Το υποσύστημα της πηγής ενέργειας περιλαμβάνει την ίδια την πηγή, το σύστημα ανεφοδιασμού και το σύστημα διαχείρισης ενέργειας. Το υποσύστημα πρόωσης περιλαμβάνει τα εξαρτήματα του ηλεκτρικού κινητήρα, μετατροπέα ισχύος, ελεγκτή, κιβωτίου ταχυτήτων και κινητήριων τροχών. Το βοηθητικό υποσύστημα αποτελείται από το βοηθητικό τροφοδοτικό, το σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας και την μονάδα υδραυλικού τιμονιού. Αυτά τα υποσυστήματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.1.



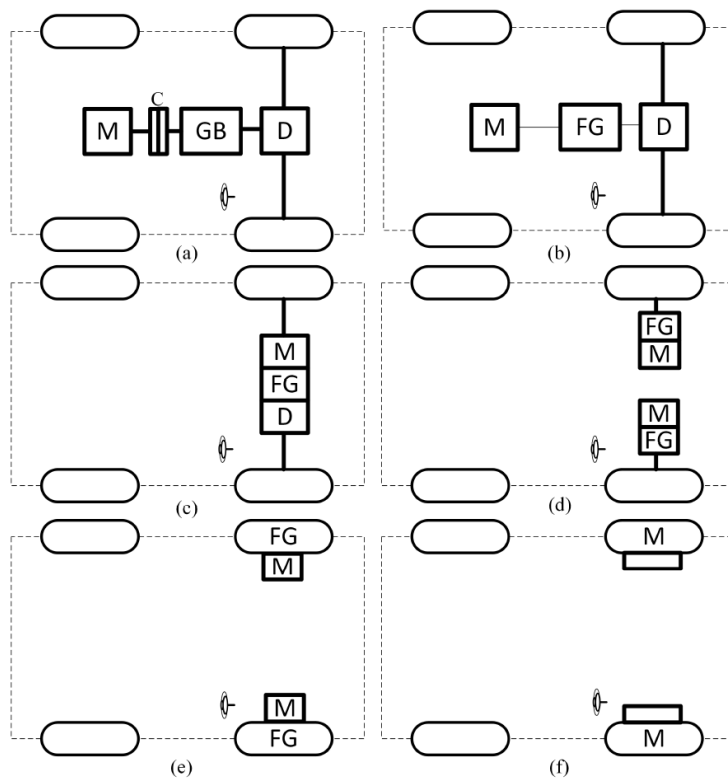
Εικόνα 3.1: Υποσυστήματα ΗΑ.

Τα βέλη δείχνουν τη ροή των εν λόγω λειτουργιών. Μπορεί να δημιουργηθεί μια όπισθεν ροή ισχύος με αναγεννητικές ενέργειες όπως η αναγεννητική πέδηση. Η πηγή ενέργειας πρέπει να είναι ικανή να αποθηκεύσει την ενέργεια που επιστρέφεται με τις αναγεννητικές ενέργειες. Οι περισσότερες μπαταρίες ΗΑ μαζί με πυκνωτές / σφόνδυλους (CF) είναι συμβατές με τέτοιες τεχνικές αναγέννησης ενέργειας [17].

### 3.1 Γενικές ρυθμίσεις ΗΑ

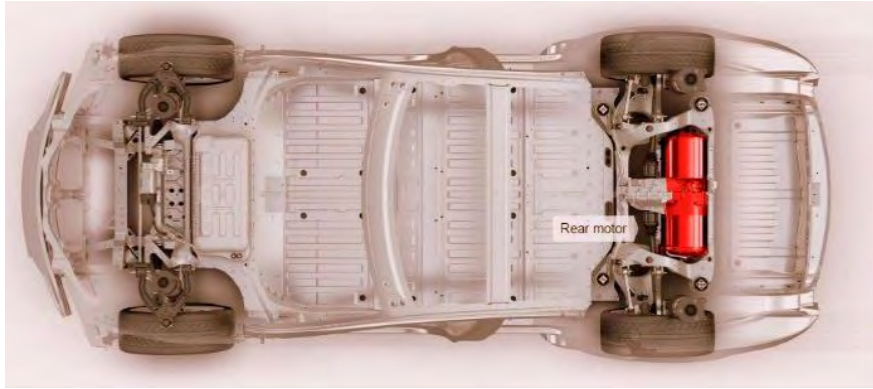
Τα ΗΑ μπορούν να έχουν διαφορετικές διατάξεις όπως φαίνεται στην παραπομπή [17]. Στην Εικόνα 3.2a παρατίθεται ένα όχημα με κίνηση στους μπροστινούς τροχούς και εμπρόσθιου κινητήρα όπου η ΜΕΚ αντικαταστάθηκε από έναν ηλεκτροκινητήρα. Διαθέτει κιβώτιο ταχυτήτων και συμπλέκτη που επιτρέπει υψηλή ροπή σε χαμηλές ταχύτητες και χαμηλή ροπή σε υψηλές ταχύτητες. Υπάρχει επίσης ένα διαφορικό που επιτρέπει στους τροχούς να περιστρέφονται με διαφορετικές ταχύτητες. Η Εικόνα 3.2b δείχνει μια διάταξη όπου ο συμπλέκτης παραλείπεται. Έχει μία σταθερή ταχύτητα (gear) στη θέση του κιβωτίου ταχυτήτων που ακυρώνει την πιθανότητα επίτευξης των επιθυμητών αποδόσεων στην ταχύτητα ροπής. Η διάταξη της Εικόνας 3.2c έχει τον κινητήρα, την ταχύτητα και το διαφορικό ως μία αυτόνομη μονάδα που κινεί τους δύο τροχούς. Το Nissan Leaf, καθώς και το Chevrolet Spark, χρησιμοποιεί έναν ηλεκτροκινητήρα τοποθετημένο στο μπροστινό μέρος για να καθοδηγεί τον μπροστινό άξονα. Στην Εικόνα 3.2d,e, εμφανίζονται διατάξεις για τη λήψη διαφορικής δράσης χρησιμοποιώντας δύο κινητήρες για τους δύο τροχούς. Η μηχανική αλληλεπίδραση μπορεί να μειωθεί περαιτέρω τοποθετώντας τους κινητήρες μέσα στους τροχούς για να παράγει μια «κίνηση από τον τροχό» (in-wheel drive). Το μηχανικό σύστημα ταχυτήτων αφαιρείται εντελώς στην τελευταία διάταξη (Εικόνα 3.2f) τοποθετώντας έναν κινητήρα χαμηλής ταχύτητας με μια διάταξη εξωτερικού ρότορα στην ζάντα του τροχού. Επομένως, ο έλεγχος της ταχύτητας του κινητήρα ελέγχει και την ταχύτητα του τροχού και την ταχύτητα του οχήματος.

Τα ΗΑ μπορούν να κατασκευαστούν και με διάταξη πίσω τροχού. Το μοντέλο με ένα μοτέρ του Tesla Model S χρησιμοποιεί αυτήν τη διάταξη (Εικόνα 3.3). Το Nissan Blade Glider είναι ένα ΗΑ με σύστημα In-wheel drive με διάταξη κινητήρα μέσα τροχό. Η χρήση κινητήρων στους τροχούς της επιτρέπει την εφαρμογή διαφορετικών ποσοτήτων ροπής σε κάθε έναν από τους δύο πίσω τροχούς ώστε να επιτρέπεται καλύτερη στροφή του οχήματος.



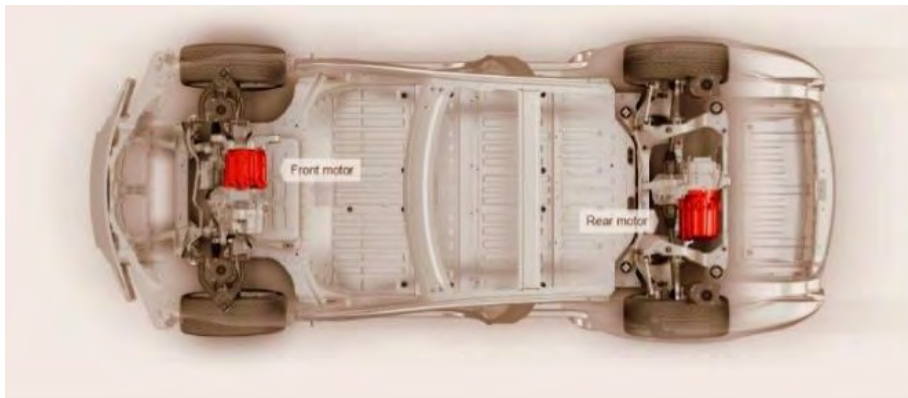
C: Clutch D: Differential FG: Fixed Gearing GB: Gear Box M: Electric Motor

**Εικόνα 3.2:** Διαφορετικές διατάξεις HA μπροστινού τροχού. **(a)** όχημα κίνησης με εμπρόσθιο τροχό όπου η MEK αντικαθίσταται από ηλεκτρικό κινητήρα **(b)** Διάταξη οχήματος με τον συμπλέκτη να παραλείπεται. **(c)** Διάταξη με κινητήρα, ταχύτητες και διαφορικό συνδυασμένα ως μία μονάδα για την κίνηση των εμπρός τροχών. **(d)** Διάταξη με μεμονωμένους κινητήρες με σταθερές ταχύτητες για τους μπροστινούς τροχούς για τη λήψη διαφορικής δράσης. **(e)** Τροποποιημένη διάταξη της Εικόνας 11d με τη σταθερή διάταξη ταχυτήτων τοποθετημένη μέσα στους τροχούς **(f)** Διάταξη όπου το μηχανικό σύστημα ταχυτήτων αφαιρέθηκε, τοποθετώντας έναν κινητήρα χαμηλής ταχύτητας στην ζάντα.



**Εικόνα 3.3: Tesla Model S, διάταξη πίσω τροχού.**

Για μεγαλύτερο έλεγχο και ισχύ, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ρυθμίσεις τετρακίνησης (all wheel drive, AWD), αν και συνεπάγονται πρόσθετο κόστος, βάρος και πολυπλοκότητα. Σε αυτήν την περίπτωση, δύο κινητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κίνηση του εμπρός και του πίσω άξονα. Στην Εικόνα 3.4 παρατίθεται μια διαμόρφωση τετρακίνησης. Οι διατάξεις AWD είναι χρήσιμες για να παρέχουν καλύτερη πρόσφυση σε ολισθηρές συνθήκες, μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν διάλυσμα ροπής για καλύτερη απόδοση και χειρισμός στη στροφή. Η διάταξη AWD μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί σε συστήματα In-wheel. Το τελευταίο έχει αποδειχθεί αρκετά χρήσιμο για αυτοκίνητα πόλης όπως το Hiriko Fold (Εικόνα 3.5) που έχει το σύστημα οδήγησης, ενεργοποιητή, ανάρτηση, φρένα και κινητήρα όλα ενσωματωμένα σε κάθε τροχό. Τέτοιες ρυθμίσεις μπορούν να παρέχουν ικανοποιητική οδήγηση σε όλους τους τροχούς, ευκολία στον χειρισμό τιμονιού όπως και στάθμευσης και στροφής.



**Εικόνα 3.4: Tesla Model S, ρύθμιση κίνησης σε όλους τους τροχούς.**



**Εικόνα 3.5: Hiriko Fold – όχημα που χρησιμοποιεί in-wheel κινητήρες.**

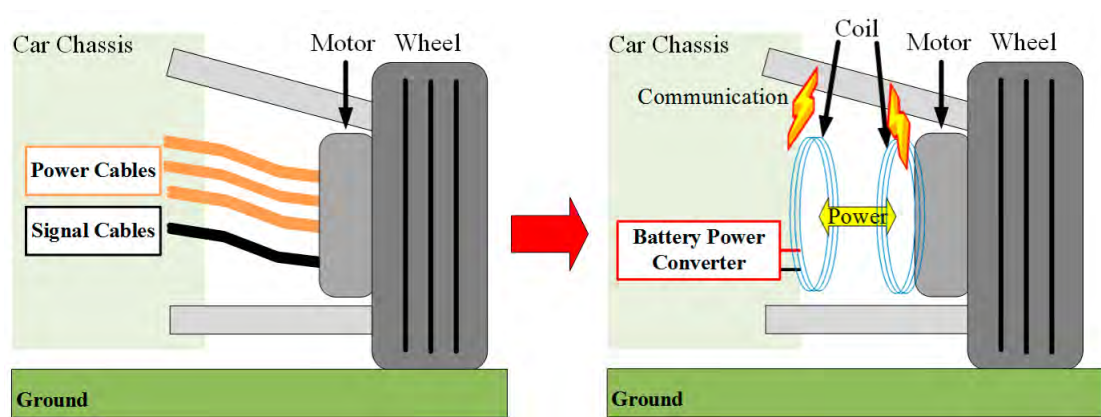
Οι ρυθμίσεις του in-wheel κινητήρα είναι αρκετά βολικές υπό την έννοια ότι μειώνουν το βάρος του συστήματος κίνησης αφαιρώντας τον κεντρικό κινητήρα, το κιβώτιο ταχυτήτων, το διαφορικό, τους αρμούς και τον άξονα μετάδοσης κίνησης. Παρέχουν επίσης περισσότερο έλεγχο, καλύτερες δυνατότητες περιστροφής και περισσότερο χώρο για μπαταρίες, κυψέλες καυσίμου, όμως σε αυτήν την περίπτωση ο κινητήρας συνδέεται με τα συστήματα ισχύος και ελέγχου μέσω καλωδίων που μπορούν να υποστούν ζημιά λόγω του αντίξοου περιβάλλοντος, των κραδασμών και της επιτάχυνσης, προκαλώντας έτσι σοβαρά προβλήματα.

Οι Sato et al., πρότειναν ένα ασύρματο in-wheel σύστημα (W-IWM) στην παραπομπή [18] το οποίο είχαν εφαρμόσει σε ένα πειραματικό όχημα (Εικόνα 3.6). Περιληπτικά, τα καλώδια αντικαθίστανται από δύο πηνία που μπορούν να μεταφέρουν ισχύ μεταξύ τους. Λόγω των δονήσεων που προκαλούνται από τις οδικές συνθήκες, ο κινητήρας και το όχημα μπορούν να ευθυγραμμιστούν και να προκαλέσουν διακυμάνσεις στη δευτερεύουσα πλευρική τάση. Οι ρυθμίσεις του in-wheel κινητήρα φαίνονται στην Εικόνα 3.7, ενώ η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος σε διαφορετικά στάδια φαίνεται στην Εικόνα 3.8. Σε τέτοιες συνθήκες, προτιμάται η σύνδεση μαγνητικού συντονισμού για ασύρματη μεταφορά ισχύος [19] καθώς μπορεί να μην επηρεαστεί από τα προβλήματα που συνδέονται με εσφαλμένες ευθυγραμμίσεις [20]. Η χρήση ενός συγκριτή υστέρησης και η εφαρμογή του δευτερεύοντος μετατροπέα ισχύος σε έναν ελεγκτή για την αντιμετώπιση της αλλαγής στη δευτερεύουσα τάση προτείνεται επίσης στην παραπομπή [20]. Η ασύρματη μεταφορά ισχύος (WPT) που χρησιμοποιεί ζεύξη μαγνητικού συντονισμού σε μια σειρά παράλληλης διάταξης μπορεί να παρέχει απόδοση μετάδοσης

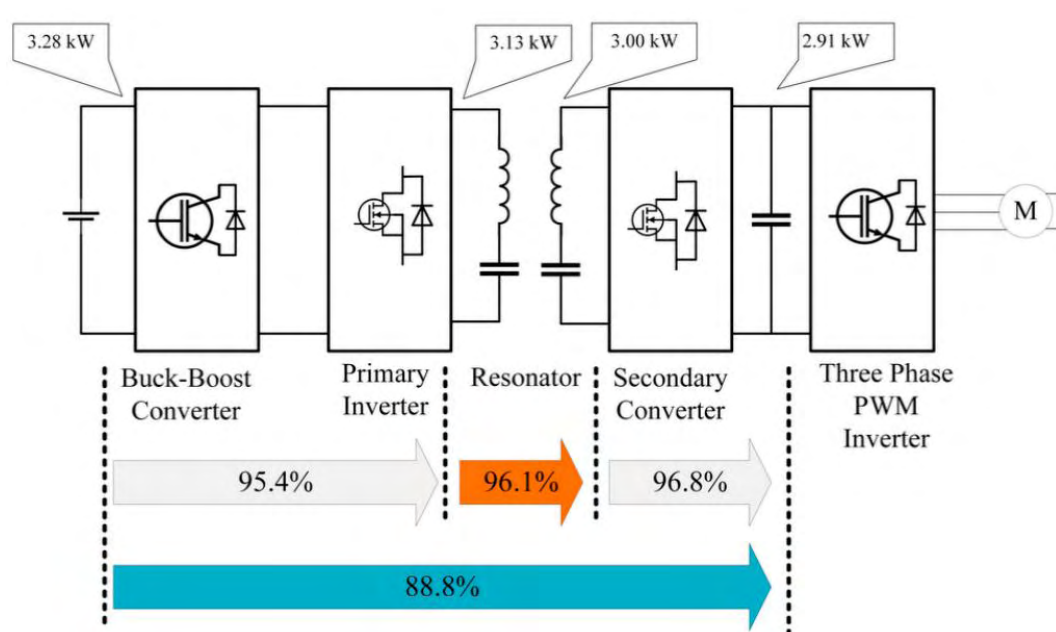
90% και στις δύο κατευθύνσεις στα 2 kW [21]. Επομένως, το W-IWM συμμορφώνεται και με την αναγεννητική πέδηση.



Εικόνα 3.6: Πειραματικό όχημα με W-IWM σύστημα [12].



Εικόνα 3.7: Συμβατικό και ασύρματο IWM. Στην ασύρματη ρύθμιση, χρησιμοποιούνται πηνία αντί καλωδίων για τη μεταφορά ισχύος από την μπαταρία στον κινητήρα.



Buck-Boost Converter: Μετατροπέας ώθησης, Primary Inverter: Πρωτεύον μετατροπέας, Resonator: Αντηχητής, Secondary Converter: Δευτερεύον μετατροπέας.

**Εικόνα 3.8:** W-IWM ρύθμιση που δείχνει την αποδοτικότητα σε 100% αναφορά ροπής.

### 3.2 Ρυθμίσεις Υβριδικών Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων

Τα ΥΗΑ χρησιμοποιούν τόσο ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης όσο και ΜΕΚ. Οι διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορούν αυτά τα δύο να ρυθμιστούν για την περιστροφή των τροχών, δημιουργούν διαφορετικές διατάξεις που μπορούν να συνοψιστούν σε τέσσερις κατηγορίες [17]:

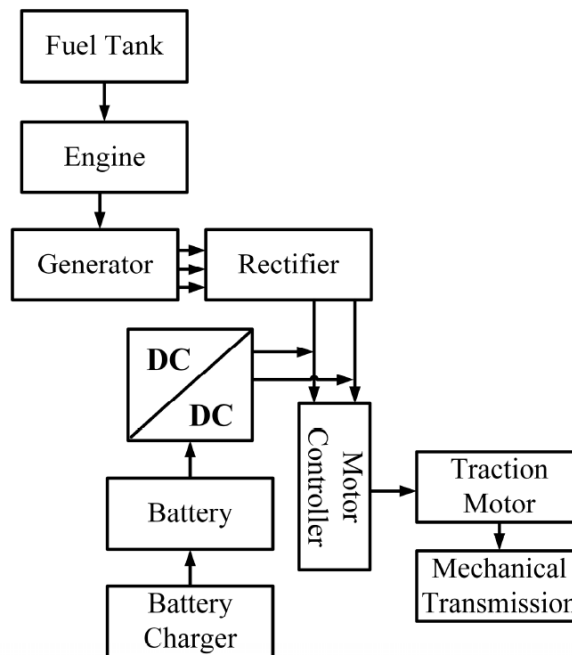
- (1) Σειριακό (series) υβριδικό
- (2) Παράλληλο υβριδικό
- (3) Σειριακό - παράλληλο υβριδικό
- (4) Σύνθετο υβριδικό

#### 3.2.1 Σειριακό Υβριδικό

Αυτή η διαμόρφωση είναι η απλούστερη για τη δημιουργία ενός ΥΑ. Μόνο ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος με τους τροχούς εδώ, η μηχανή χρησιμοποιείται για τη λειτουργία μιας γεννήτριας που παρέχει την ηλεκτρική ισχύ. Μπορεί να χαρακτηριστεί ως ΗΑ που υποστηρίζεται από μια γεννήτρια ΜΕΚ. Το σύστημα κίνησης των ΣΥ φαίνεται



στην Εικόνα 3.9. Ο Πίνακας 3.1 δείχνει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτής της διαμόρφωσης.



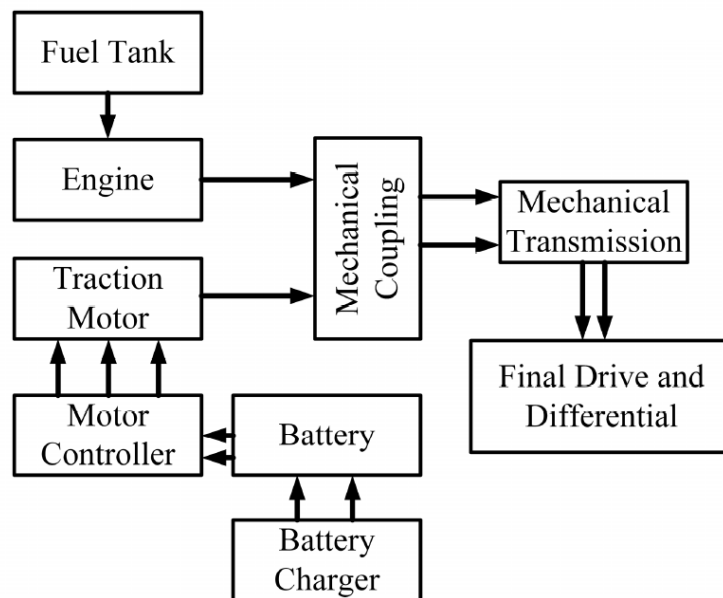
Εικόνα 3.9: Η διάταξη συστήματος οδήγησης ενός σειριακού υβριδικού συστήματος. Ο κινητήρας χρησιμοποιείται μόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για να τροφοδοτεί τον κινητήρα μέσω ενός ανορθωτή. Η ισχύς από την μπαταρία πηγαίνει στον κινητήρα μέσω ενός μετατροπέα DC-DC.

Πίνακας 3.1: Προτερήματα και μειονεκτήματα στις ρυθμίσεις σειριακών υβριδικών οχημάτων.

Πλεονεκτήματα	Αποτελεσματική και βελτιστοποιημένη μονάδα παραγωγής ενέργειας
	Δυνατότητες για αρθρωτή μονάδα παραγωγής ενέργειας
	Βελτιστοποιημένο πρόγραμμα οδήγησης
	Δυνατότητα της γρήγορης "Black Box" υπηρεσίας ανταλλαγής
	Ολοκαίνουργια και σύγχρονη τεχνολογία
	Γρήγορη απόκριση
Περιορισμοί	Πολύπλοκο σύστημα οδήγησης
	Απαιτήση κατάλληλων αλγορίθμων
	Πολλαπλά βήματα μετατροπής ενέργειας

### 3.2.2. Παράλληλο Υβριδικό

Αυτή η διάταξη συνδέει τόσο την ΜΕΚ όσο και τον κινητήρα παράλληλα με τους τροχούς. Είτε ένα από αυτά είτε και τα δύο συμμετέχουν στην παροχή της ενέργειας. Μπορεί να θεωρηθεί ως όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης αλλά με ηλεκτρική βοήθεια. Οι αποθήκες ενέργειας σε ένα τέτοιο όχημα μπορούν να φορτιστούν από τον ηλεκτρικό κινητήρα μέσω της αναγεννητικής πέδησης ή από την ΜΕΚ όταν αυτή παράγει περισσότερη από την ισχύ που απαιτείται για την κίνηση των τροχών. Το παράλληλο υβριδικό σύστημα κίνησης φαίνεται στην Εικόνα 3.10. Ο Πίνακας 3.2 δείχνει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτής της διαμόρφωσης, ενώ ο Πίνακας 3.3 συγκρίνει τη εν σειρά και τα παράλληλα συστήματα.



Εικόνα 3.10: Σύστημα κίνησης των παράλληλων υβριδικών αυτοκινήτων. Η μηχανή και ο κινητήρας μπορούν να κινήσουν το όχημα μέσω του μηχανικού συνδέσμου.

**Πίνακας 3.2: Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της παράλληλης υβριδικής διάταξης [30]**

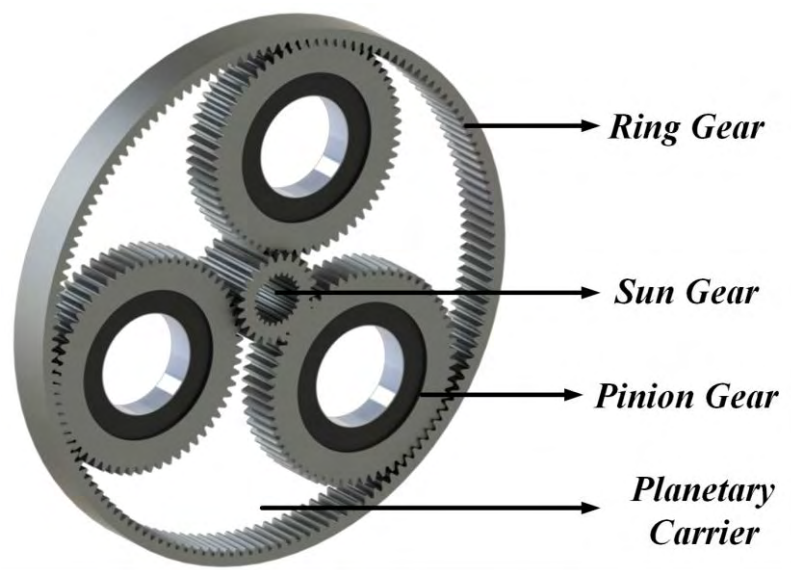
Πλεονεκτήματα	<p>Ικανό να επιτύχει μηδενική εκπομπή</p> <p>Οικονομικό όφελος</p> <p>Μεγαλύτερη ευελιξία</p>
Περιορισμοί	<p>Περίπλοκος χειρισμός</p> <p>Απαραίτητη η χρήση υψηλής τάσης για αποτελεσματικότητα</p> <p>Απαραίτητη η χρήση κατάλληλων αλγορίθμων</p>

**Πίνακας 3.3: Σύγκριση παράλληλων και σειριακών ΥΑ [8]**

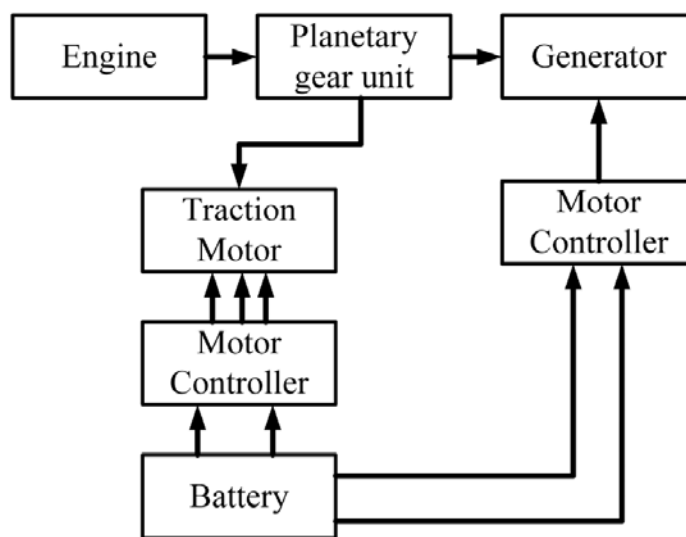
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΥΑ	ΣΕΙΡΙΑΚΑ ΥΑ
ΤΑΣΗ	14 V, 42 V, 144 V, 300 V	216 V, 274 V, 300 V, 350 V, 550 V, 900 V
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ	3 KW-40 KW	>50 KW
ΣΧΕΤΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΣΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ	5-40	>75

### 3.2.3. Σειριακό-Παράλληλο Υβριδικό

Σε μια προσπάθεια συνδυασμού της σειριακής και της παράλληλης διάταξης, αυτό το σύστημα διαθέτει έναν πρόσθετο μηχανικό σύνδεσμο σε σύγκριση με τον σειριακό τύπο ή μια επιπλέον γεννήτρια σε σύγκριση με τον παράλληλο τύπο. Παρέχει τα πλεονεκτήματα και των δύο συστημάτων, αλλά είναι πιο δαπανηρό και περίπλοκο. Οι επιπλοκές στο σύστημα κίνησης προκαλούνται σε κάποιο βαθμό από την παρουσία ενός πλανητικού μειωτήρα (planetary gear unit) [22]. Η Εικόνα 3.11 δείχνει μια διάταξη πλανητικού γραναζιού: το γρανάζι του ήλιου συνδέεται με τη γεννήτρια, ο άξονας εξόδου του κινητήρα συνδέεται με το γρανάζι, η ΜΕΚ συνδέεται με τον πλανητικό φορέα (planetary carrier) και τα γρανάζια διατηρούν το όλο σύστημα συνδεδεμένο. Μια λιγότερο περίπλοκη εναλλακτική λύση σε αυτό το σύστημα είναι η χρήση ενός πομπού, ο οποίος είναι μια ηλεκτρική μηχανή πλωτού στάτορα. Σε αυτό το σύστημα ο κινητήρας συνδέεται με τον στάτορα και ο ρότορας παραμένει συνδεδεμένος με τον κινητήριο τροχό μέσω των γραναζιών. Η ταχύτητα του κινητήρα είναι η σχετική ταχύτητα μεταξύ του ρότορα και του στάτορα και ο ελέγχοντάς την ρυθμίζεται η ταχύτητα του κινητήρα για οποιαδήποτε συγκεκριμένη ταχύτητα του οχήματος [22]. Η σειριακή-παράλληλη υβριδική κίνηση με πλανητικό σύστημα μετάδοσης απεικονίζεται στην Εικόνα 3.12. Η Εικόνα 3.13 παρουσιάζει το ίδιο σύστημα με έναν πομπό.

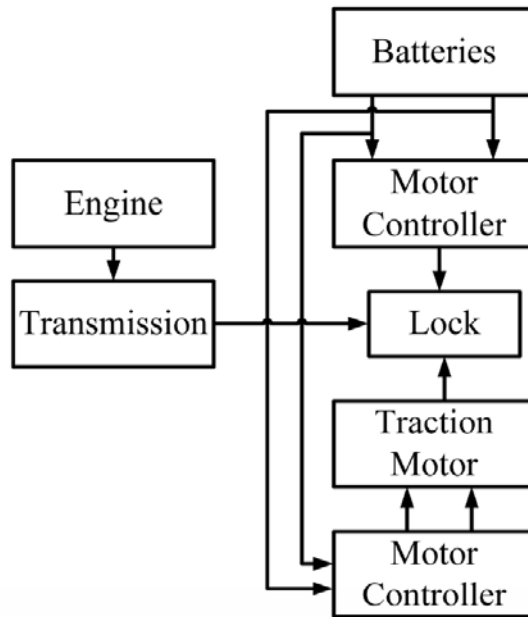


Εικόνα 3.11: Πλανητικό σύστημα μετάδοσης.



Engine: Μηχανή, Planetary gear unit: Πλανητικός μειωτήρας, Generator: Γεννήτρια, Traction Motor: Κινητήρας έλξης, Motor Controller: Ελεγκτής κινητήρα, Battery: Μπαταρία.

Εικόνα 3.12: Σύστημα κίνησης του σειριακού-παράλληλου υβριδικού συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί πλανητικό μηχανισμό μετάδοσης. Ο πλανητικός μειωτήρας ενώνει την μηχανή, τη γεννήτρια και τον κινητήρα.

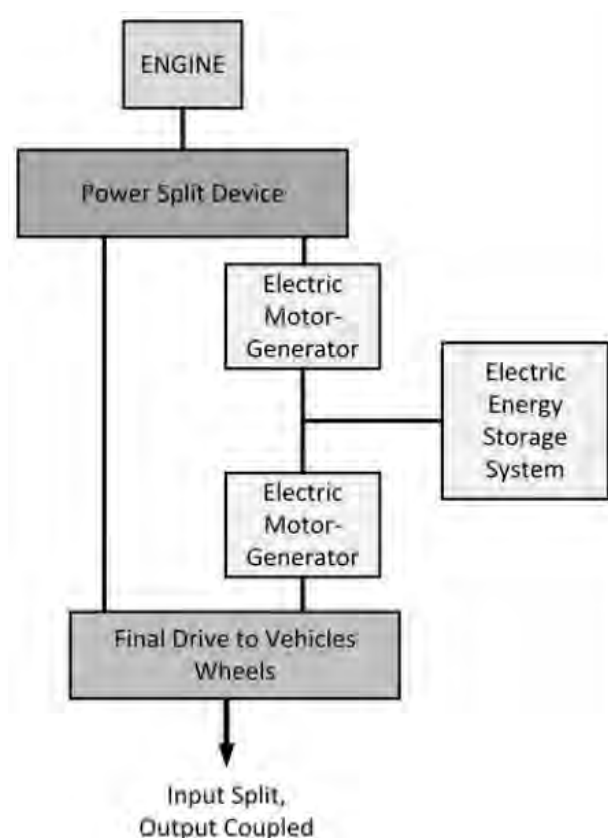


**Εικόνα 3.13:** Σύστημα κίνησης σειριακού-υβριδικού συστήματος που χρησιμοποιεί πομπό. Το πλανητικό σύστημα μετάδοσης δεν υπάρχει σε αυτή τη διάταξη.

### 3.2.4 Σύνθετο Υβριδικό

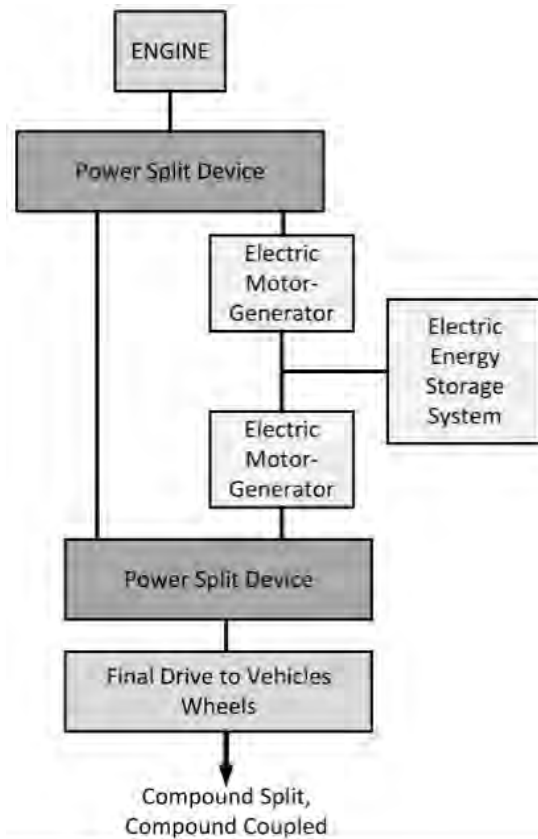
Αυτό το σύστημα έχει μια σημαντική διαφορά με το σειριακό-παράλληλο σύστημα, αυτή έγκειται στο ότι επιτρέπει την αμφίδρομη ροή ισχύος, ενώ το σειριακό-παράλληλο σύστημα μπορεί να παρέχει μόνη κατεύθυνση ροής ισχύος. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας τις τρέχουσες ορολογίες της αγοράς, αυτή η διαμόρφωση χαρακτηρίζεται επίσης ως σειριακό-παράλληλο σύστημα. Η μεγάλη πολυπλοκότητα και το κόστος είναι τα μειονεκτήματα αυτού του συστήματος, παρόλα αυτά υιοθετείται από ορισμένα οχήματα για χρήση πρόωσης διπλού άξονα [17]. Η συνεχώς μεταβλητή μετάδοση (CVT) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαχωρισμό της ισχύος σε ένα σύνθετο υβριδικό σύστημα ή επιλογή μεταξύ των πηγών ισχύος για την κίνηση των τροχών. Οι ηλεκτρικές διατάξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τέτοιες διεργασίες και αυτό ονομάζεται e-CVT, το οποίο έχει αναπτυχθεί και εισαχθεί από την Toyota Motor Co. (Toyota City, Νομός Aichi 471-8571, Ιαπωνία). Τα συστήματα CVT μπορούν να εφαρμοστούν υδραυλικά, μηχανικά, υδρο-μηχανικά ή ηλεκτρομηχανικά [23]. Δύο μέθοδοι διαχωρισμού ισχύος - διαχωρισμός εισόδου και σύνθετος διαχωρισμός παρουσιάζονται στην παραπομπή [23]. Ο διαχωρισμός εισόδου πήρε αυτό το όνομα καθώς έχει τοποθετηθεί μια συσκευή διαχωρισμού ισχύος στην είσοδο μετάδοσης. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται από ορισμένα μοντέλα Toyota και Ford [23]. Η αναφορά [23] έδειξε

επίσης διαφορετικούς τρόπους από αυτούς τους δύο μηχανισμούς διαχωρισμού και παρουσιάζει περιγραφές των συστημάτων e-CVT που υιοθετήθηκαν από διαφορετικούς κατασκευαστές, οι οποίες φαίνονται στις Εικόνες 3.14 και 3.15. Τέτοια ΥΑ διαχωρισμού ισχύος απαιτούν δύο ηλεκτρικές μηχανές, τροχούς, κινητήρα και πλανητικό γρανάζι (PG). Ο συνδυασμός όλων αυτών μπορεί να γίνει με είκοσι τέσσερις διαφορετικούς τρόπους. Εάν χρησιμοποιείται άλλο PG, προκύπτουν πάνω από χίλιοι συνδυασμοί. Ένας βέλτιστος σχεδιασμός που ενσωματώνει ένα μόνο PG προτείνεται στο [24]. Οι διατάξεις τετρακίνησης (4WD) μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση δύο κινητήρων υβριδικής διαμόρφωσης, καθώς ακυρώνει την ανάγκη μετάδοσης ισχύος στους πίσω τροχούς και παρέχει το πλεονέκτημα της αναπαραγωγής ενέργειας μέσω της αναγεννητικής πέδησης [25]. Η δομή ΥΗΑ με κίνηση τεσσάρων τροχών εμφανίζεται στην Εικόνα 3.16. Ένα σχήμα βελτίωσης της σταθερότητας για μια τέτοια διαμόρφωση ελέγχοντας τον πίσω κινητήρα φαίνεται στην παραπομπή [25].

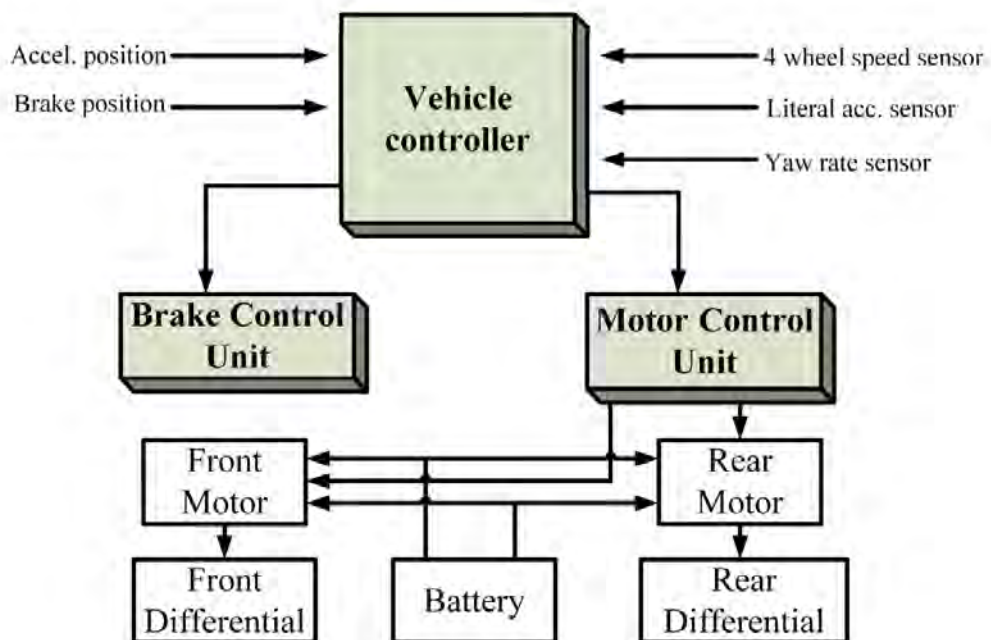


Engine: Μηχανή, Power Split Device: Συσκευή διαχωρισμού ισχύος, Electric Motor-Generator: Ηλεκτρικός κινητήρας/γεννήτρια, Electric Energy Storage System: Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

**Εικόνα 3.14: Σύστημα διαχωρισμού εισόδου e-CVT.**



Εικόνα 3.15: Σύνθετο σύστημα e-CVT.



Εικόνα 3.16: Δομή για τετρακίνητο ΥΗΑ [32]. Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιεί έναν ελεγκτή οχήματος που χρησιμοποιεί έναν αριθμό αισθητήρων για να αντιληφθεί την κατάσταση οδήγησης και διατηρεί το όχημα σταθερό ελέγχοντας τα φρένα και τις μονάδες ελέγχου κινητήρα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Τα EV μπορούν να πάρουν την απαιτούμενη ενέργεια για να λειτουργούν από διαφορετικές πηγές. Τα βασικά κριτήρια που πρέπει να πληρούν αυτές οι πηγές είναι η υψηλή πυκνότητα ενέργειας και η υψηλή πυκνότητα ισχύος [22]. Υπάρχουν και άλλα χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν μια τέλεια πηγή ενέργειας, όπως η γρήγορη φόρτιση, η μεγάλη διάρκεια ζωής, ο κύκλος ζωής, το μικρότερο κόστος και η συντήρηση, να είναι μερικά από αυτά. Απαιτείται υψηλή ενέργεια από μια πηγή ώστε να παρέχει μεγάλη απόσταση οδήγησης, ενώ η υψηλή ειδική ισχύς βοηθά στην αύξηση της επιτάχυνσης. Λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών που απαιτούνται για την τέλεια πηγή, συζητούνται αρκετές πηγές ή συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (ESS). Χρησιμοποιούνται επίσης σε διαφορετικούς συνδυασμούς για την παροχή επιθυμητών απαιτήσεων ισχύος και ενέργειας [17]. Αυτές οι πηγές μπορεί να είναι:

- Μπαταρίες
- Υπερπυκνωτές
- Κυψέλες καυσίμων
- Σφόνδυλος

#### **4.1 Μπαταρίες**

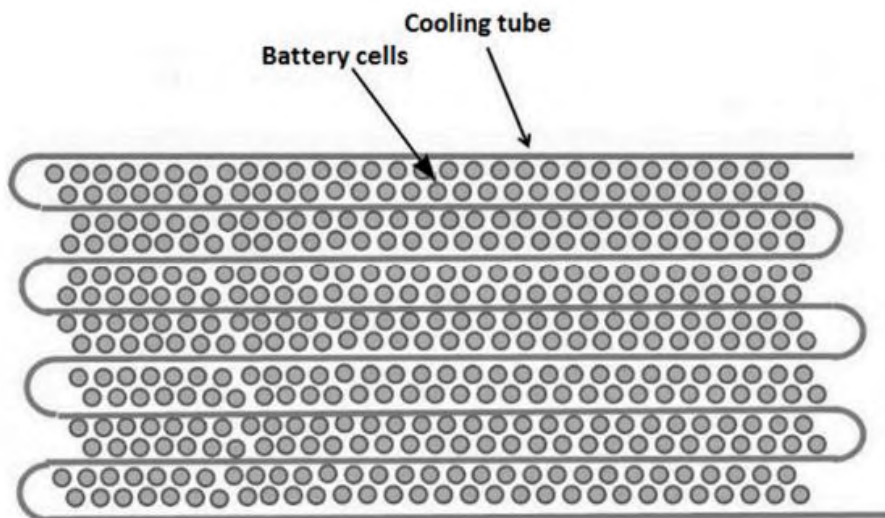
Οι μπαταρίες αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας για τα EV εδώ και πολύ καιρό. και παρόλο που έχει περάσει χρόνος, έχουν εφευρεθεί και υιοθετηθεί διάφορες τεχνολογίες μπαταριών, με αυτή τη διαδικασία να συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθούν οι επιθυμητοί στόχοι απόδοσης. Μερικοί από τους σημαντικότερους τύπους μπαταριών είναι: μπαταρίες μολύβδου-οξέος, Ni-Cd, Ni-Zn, Zn/αέρα, Ni-MH, Na/S, πολυμερή-Li και ιόντων-Li. Οι Yong et al., επέδειξαν επίσης μια μπαταρία κατασκευασμένη από γραφένιο για χρήση σε EV η οποία παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα [28]. Διαφορετικοί τύποι μπαταριών έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, και κατά την επιλογή κάποιας, αυτές οι παράμετροι πρέπει να ληφθούν υπόψη. Στο [29], οι Khaligh et al., Παρείχαν βασικά χαρακτηριστικά ορισμένων γνωστών μπαταριών που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.



Πίνακας 4.1: Είδη μπαταριών, υλικά, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τύπος μπαταρίας	Στοιχεία	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Lead-acid	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αρνητικό ενεργό συστατικό: Σπογγώδης μόλυβδος</li> <li>• Θετικό ενεργό συστατικό: οξείδιο μολύβδου</li> <li>• Ηλεκτρολύτης: διαλυμένο θειικό οξύ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Παράγεται σε μεγάλες ποσότητες</li> <li>• Σχετικά μικρό κόστος</li> <li>• Γνωστή και ώριμη τεχνολογία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος</li> <li>• Βάρος</li> <li>• Μπορεί να χρειαστεί συντήρηση</li> <li>• Έχει περιορισμένο αριθμό κύκλων φόρτισης</li> <li>• Δεν μπορεί να αποφορτιστεί παραπάνω από το 20% της χωρητικότητας της</li> </ul>
NiMH (Nickel-Metal Hydride)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ηλεκτρολύτης: αλκαλικό διάλυμα</li> <li>• Θετικό ηλεκτρόδιο: υδροξείδιο του Νικελίου</li> <li>• Αρνητικό ηλεκτρόδιο: κράμα νικελίου, τιτανίου, βαναδίου και άλλων μετάλλων.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διπλάσια ενεργειακή πυκνότητα από τις lead-acid</li> <li>• Περιβαλλοντικά φιλικές</li> <li>• Ανακυκλώμενες</li> <li>• Ασφαλής λειτουργία σε υψηλές τάσεις</li> <li>• Μεγαλύτερος κύκλος ζωής</li> <li>• Λειτουργία σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών</li> <li>• Ανθεκτικές σε υπερφόρτιση και εκφόρτιση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μειωμένη ζωή με περίπου 200-300 κύκλους αποφόρτισης</li> <li>• Μειωμένη διαθέσιμη ενέργεια λόγω του memory-effect</li> </ul>
Li-Ion (Lithium-Ion)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Θετικό ηλεκτρόδιο: οξειδωμένο κοβάλτιο</li> <li>• Αρνητικό ηλεκτρόδιο: άνθρακας</li> <li>• Ηλεκτρολύτης: Διάλυμα άλατος λιθίου σε οργανικό διαλύτη</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλος κύκλος ζωής, περίπου 1000 φορτίσεις</li> <li>• Χαμηλό memory effect</li> <li>• Ανακυκλώσιμες</li> <li>• καλές επιδόσεις σε υψηλές θερμοκρασίες</li> <li>• Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, διπλάσια των NiMH</li> <li>• Υψηλή ειδική ισχύ.</li> <li>• Υψηλή ειδική ενέργεια</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλό κόστος</li> <li>• Η φόρτιση θέλει ώρα</li> </ul>
Ni-Zn (Nickel-Zinc)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Θετικό ηλεκτρόδιο: οξυ-υδροξείδιο νικελίου</li> <li>• Αρνητικό ηλεκτρόδιο: ψευδάργυρος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλή πυκνότητα ενέργειας</li> <li>• Υψηλή πυκνότητα ισχύος</li> <li>• Χαμηλού κόστους υλικά</li> <li>• Ικανές για μεγάλο κύκλο</li> <li>• Περιβαλλοντικά φιλικές</li> <li>• Μεγάλο εύρος θερμοκρασιών από -10 °C to 50 °C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ταχεία ανάπτυξη δενδριτών που αποτρέπει την χρήση σε οχήματα.</li> </ul>
Ni-Cd (Nickel-Cadmium)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Θετικό ηλεκτρόδιο: υδροξείδιο νικελίου</li> <li>• Αρνητικό ηλεκτρόδιο: κάδμιο</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλος κύκλος ζωής</li> <li>• Μπορούν να αποφορτιστούν γρήγορα χωρίς ζημιά</li> <li>• Ανακυκλώσιμες</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Το κάδμιο μπορεί να προκαλέσει μόλυνση αν δεν ανακυκλωθεί</li> <li>• Υψηλό κόστος για χρήση σε οχήματα</li> </ul>

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα EV είναι κατασκευασμένες από πολλές κυψέλες μπαταριών (battery cells) (Εικόνα 4.1). Το Tesla Model S, για παράδειγμα, έχει 7104 Li-Ion κυψέλες σε συστοιχία των 85 kWh. Όλα αυτές οι κυψέλες πρέπει να έχουν την ίδια κατάσταση φόρτισης (State Of Charge, SOC) ανά πάσα στιγμή να έχουν τον ίδιο ρυθμό αποικοδόμησης και την ίδια χωρητικότητα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής, αποτρέποντας το πρόωρο τέλος της ζωής της μπαταρίας (end of life, EOL) [30].



**Εικόνα 4.1:** Διάταξη κυψελών σε μια μπαταρία. Οι σωλήνες ψύξης χρησιμοποιούνται για την απαγωγή της θερμότητας.

Μια ηλεκτρονική συσκευή ελέγχου ισχύος, που ονομάζεται ισοσταθμιστής τάσης κυψέλης, μπορεί να επιτύχει αυτό το επίτευγμα λαμβάνοντας ενεργά μέτρα για την εξίσωση του SOC και της τάσης κάθε κυψέλης. Οι ισοσταθμιστές μπορούν να είναι διαφορετικών τύπων σύμφωνα με την αρχή κατασκευής και λειτουργίας τους, όπως αντίστασης, πυκνωτικοί, ή επαγωγικοί. Οι επαγωγικοί είναι οι Cuk, βασικός, βασισμένος σε μετασχηματιστή, βασισμένος σε πολλαπλούς μετασχηματιστές. Οι ισοσταθμιστές με αντίσταση διατηρούν όλα τα κελιά στο ίδιο επίπεδο τάσης καίγοντας την επιπλέον ισχύ των κελιών με υψηλότερες τάσεις σε μια αντίσταση. Οι πυκνωτικοί ισοσταθμιστές, από την άλλη πλευρά, μεταφέρουν ενέργεια από τα υψηλότερα ενεργειακά κύτταρα στα χαμηλότερα ενεργειακά, με χρήση πυκνωτών. Οι επαγωγικοί πυκνωτές μεταφέρουν ενέργεια από κύτταρα υψηλότερης ενέργειας σε αυτά με χαμηλότερη ενέργεια χρησιμοποιώντας επαγωγείς [30–33]. Όλες αυτές οι διαμορφώσεις έχουν τα δικά τους

πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία φαίνονται στον Πίνακα 4.2. Τα σχεδιαγράμματα λειτουργίας δίνονται στις Εικόνες 4.2 και 4.3.

**Πίνακας 4.2: Είδη ισοσταθμιστών, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.**

Τύπος ισοσταθμιστή	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αντίστασης	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ο φθηνότερος και χρησιμοποιείται κυρίως στα λαπτοπ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Προβλήματα θέρμανσης</li> <li>• Χρηστικοί στα τελευταία στάδια φόρτισης</li> <li>• Χαμηλό ρεύμα εξισορρόπησης (300-500) mA</li> <li>• Όλο το ρεύμα εξισορρόπησης μετατρέπεται σε θερμότητα και γι' αυτό δεν προτείνεται για EV</li> </ul>
Πυκνωτή	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καλύτερες δυνατότητες διαχείρισης ρεύματος από τους ισοσταθμιστές Αντίστασης</li> <li>• Δεν έχουν θέματα ελέγχου</li> <li>• Απλή υλοποίηση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν μπορούν να διαχειριστούν απότομες αυξήσεις στο ρεύμα</li> <li>• Μπορεί να διαρρεύσουν μεγάλες ριπές ρεύματος όταν οι διαφορές στις τάσεις των πυκνωτών είναι μεγάλες</li> <li>• Δεν μπορεί να παρέχει τις απαιτούμενες διαφορές τάσης που είναι απαραίτητες για την ισοστάθμιση του SOC</li> </ul>
Βασικός Επαγωγής	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σχετικά απλοί</li> <li>• Ικανοί να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας</li> <li>• Διαχειρίζονται πολύπλοκα σχήματα τάσης και έντασης ρεύματος</li> <li>• Αυξημένο ρεύμα ισοστάθμισης</li> <li>• Δεν εξαρτώνται από την τάση των πυκνωτών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χρειάζονται επιπλέον εξαρτήματα για να αποφύγουν τις ριπές ρεύματος</li> <li>• Χρειάζονται δυο διακόπτες και επιπλέον οδηγούς και ελεγκτές για κάθε κελί</li> <li>• Η κατανομή του ρεύματος είναι συγκεντρωμένη σε γειτονικά κελιά λόγω απωλειών.</li> </ul>
Επαγωγής Cuk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Έχουν όλα τα πλεονεκτήματα των βασικών επαγωγικών</li> <li>• Μπορούν να διαχειριστούν πολύπλοκους ελέγχους και υψηλά ρεύματα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Επιπλέον κόστος για διακόπτες υψηλής τάσης και πυκνωτές</li> <li>• Απώλειες λόγω πυκνωτών σε σειρά</li> <li>• Λίγο λιγότερο αποτελεσματικοί σε σχέση με τους βασικούς</li> <li>• Προβλήματα κατανομής και εξισορρόπησης του ρεύματος</li> </ul>

---

Επαγωγής με μετασχηματιστή ή

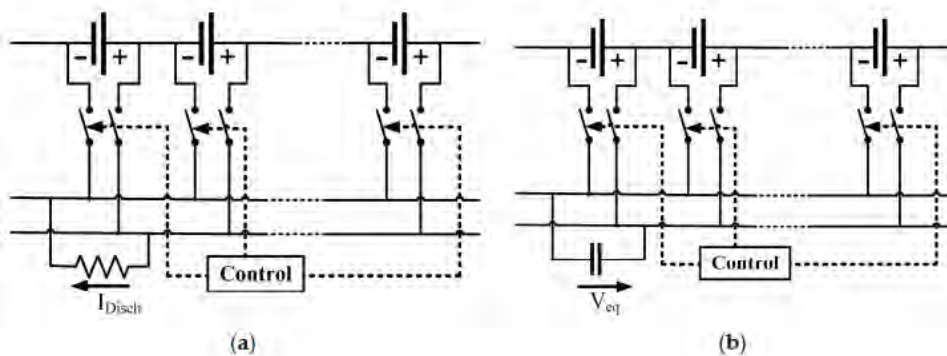
- Θεωρητικά κάνουν την κατάλληλη διανομή του ρεύματος σε όλα τα κελιά χωρίς επιπλέον έλεγχο ή απώλειες

- Πολύπλοκος μετασχηματιστής, δύσκολα παραγόμενος μαζικά
  - Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε EV
  - Δεν μπορεί να διαχειριστεί πολύπλοκους αλγόριθμους
- 

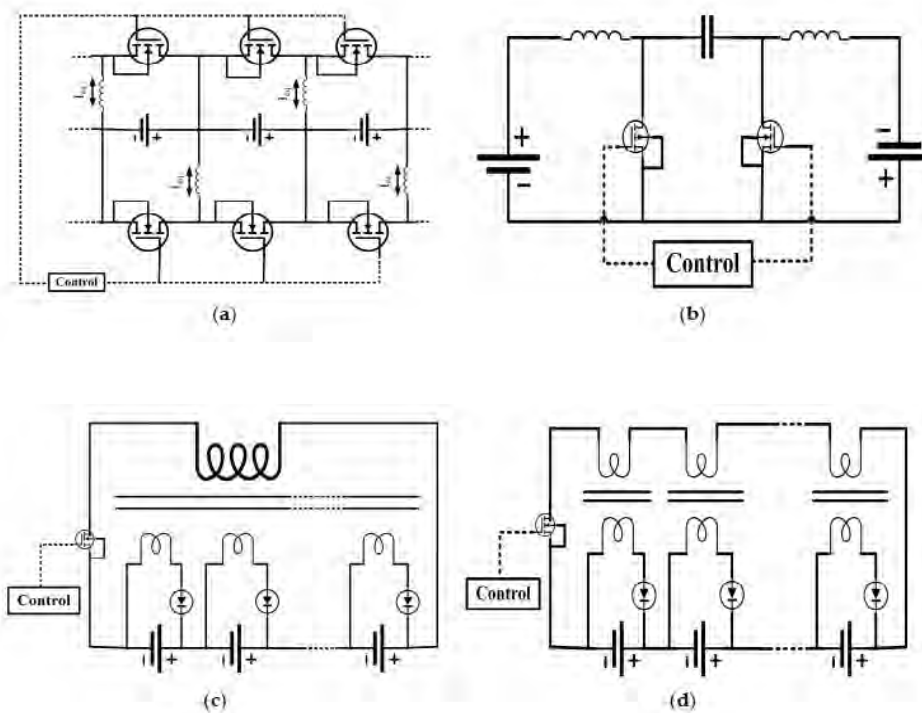
Επαγωγής με πολλαπλούς μετασχηματιστές

- Χρησιμοποιούνται ξεχωριστοί μετασχηματιστές που είναι ευκολότεροι για μαζική παραγωγή

- Δύσκολοι να κατασκευαστούν με εμπορικούς επαγωγείς χωρίς ανισορροπίες στην τάση και την ένταση του ρεύματος
- 



Εικόνα 4.2: Διάταξη Ισοσταθμιστών: a) Ισοσταθμιστής αντίστασης, b) Ισοσταθμιστής πυκνωτή.

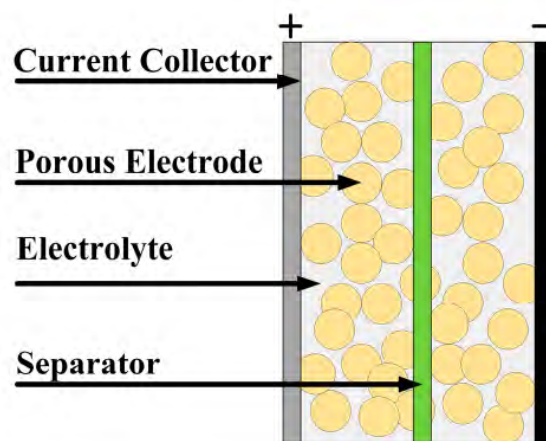


**Εικόνα 4.3:** Διάταξη Επαγωγικών Ισοσταθμιστών: **a)** Βασικός **b)** Cuk, **c)** Με μετασχηματιστή **d)** Με πολλαπλούς μετασχηματιστές.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούνται παντού αυτές τις μέρες. Αντικατέστησαν τις αντίστοιχες μόλυβδου-οξέος και έχουν γίνει μια ώριμη και δοκιμασμένη τεχνολογία. Η δημοτικότητά τους μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι τα EV με τις μεγαλύτερες πωλήσεις, για παράδειγμα, τα Nissan Leaf και Tesla Model S — χρησιμοποιούν αυτές τις μπαταρίες [34,35]. Οι μπαταρίες λιθίου έχουν επίσης πολλές δυνατότητες βελτίωσης [36]. Έχουν ήδη ανακαλυφθεί καλύτερες τεχνολογίες μπαταριών, αλλά δεν επιδιώκονται λόγω του υπερβολικού κόστους που σχετίζεται με την έρευνα και την ανάπτυξή τους, οπότε μπορεί να ειπωθεί ότι, οι μπαταρίες λιθίου θα κυριαρχήσουν στη σκηνή EV για αρκετό καιρό ακόμη.

## 4.2 Υπερπυκνωτές

Οι υπερπυκνωτές (Ultra Capacitors, UC) έχουν δύο ηλεκτρόδια διαχωρισμένα με ένα διηλεκτρικό υγρό εμπλουτισμένο με ιόντα. Όταν εφαρμόζεται ένα δυναμικό, το θετικό ηλεκτρόδιο προσελκύει τα αρνητικά ιόντα και το αρνητικό ηλεκτρόδιο συγκεντρώνει τα θετικά. Τα φορτία αποθηκεύονται φυσικά αποθηκευμένα σε ηλεκτρόδια με αυτόν τον τρόπο και παρέχουν σημαντικά υψηλή πυκνότητα ισχύος. Δεδομένου ότι δεν λαμβάνουν χώρα χημικές αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια, οι υπερπυκνωτές τείνουν να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. αλλά η απουσία χημικής αντίδρασης τους καθιστά επίσης χαμηλούς σε ενεργειακή πυκνότητα [29]. Η εσωτερική αντίσταση είναι επίσης χαμηλή, καθιστώντας την πολύ αποδοτική, αλλά προκαλεί επίσης υψηλό ρεύμα εξόδου εάν φορτίζεται σε κατάσταση εξαιρετικά χαμηλού SOC [39,40]. Η τάση στο τερματικό ενός UC είναι ανάλογη με το SOC του και έτσι μπορεί επίσης να λειτουργήσει σε όλο το εύρος τάσης [29]. Η βασική κατασκευή ενός κελιού UC φαίνεται στην Εικόνα 4.4.

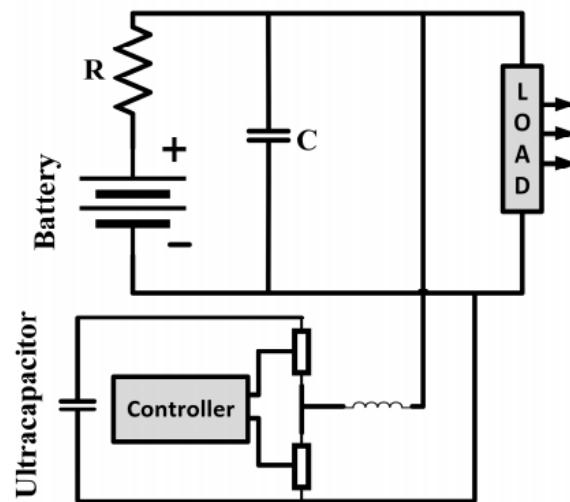


Current Collector: Τρέχων συλλέκτης, Porous Electrode: Πορώδες ηλεκτρόδιο, Electrolyte: Ηλεκτρολύτης, Separator: Διαχωριστής.

**Εικόνα 4.4.** Μια κυψέλη υπερπυκνωτή. Ένας διαχωριστής (Separator) κρατάει τα δύο ηλεκτρόδια ξεχωριστά [41].

Τα EV έχουν πολλές εκκινήσεις / σταματήματα (start/stop), ειδικά σε αστικές συνθήκες οδήγησης. Αυτό καθιστά το ρυθμό αποφόρτισης της μπαταρίας πολύ μεταβλητό. Η μέση ισχύς που απαιτείται από τις μπαταρίες είναι χαμηλή, αλλά κατά την επιτάχυνση ή σε συνθήκες όπως ανηφορικής οδήγησης απαιτείται υψηλή ισχύς σε σύντομο χρονικό διάστημα [4,29]. Η μέγιστη ισχύς που απαιτείται σε ένα ηλεκτρικό όχημα υψηλής απόδοσης μπορεί να είναι έως και δεκαέξι φορές η μέση ισχύ [17]. Οι UC ταιριάζουν

απόλυτα σε τέτοια σενάρια οδήγησης, καθώς μπορούν να παρέχουν υψηλή ισχύ για μικρές χρονικές περιόδους. Είναι επίσης γρήγοροι στην δέσμευση της ενέργειας που παράγεται από την πέδηση [2,29]. Σε ένα συνδυασμένο σύστημα μπαταρίας-UC (όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.5) αναιρούνται οι αδυναμίες του κάθε υποσυστήματος και δημιουργείται ένα αποτελεσματικό και αξιόπιστο ενεργειακό σύστημα. Το χαμηλό κόστος, η ικανότητα εξισορρόπησης φορτίου, η προσαρμοστικότητα στις θερμοκρασίες και η μεγάλη διάρκεια ζωής των UC, τα καθιστούν μια επιθυμητή επιλογή [4,30].

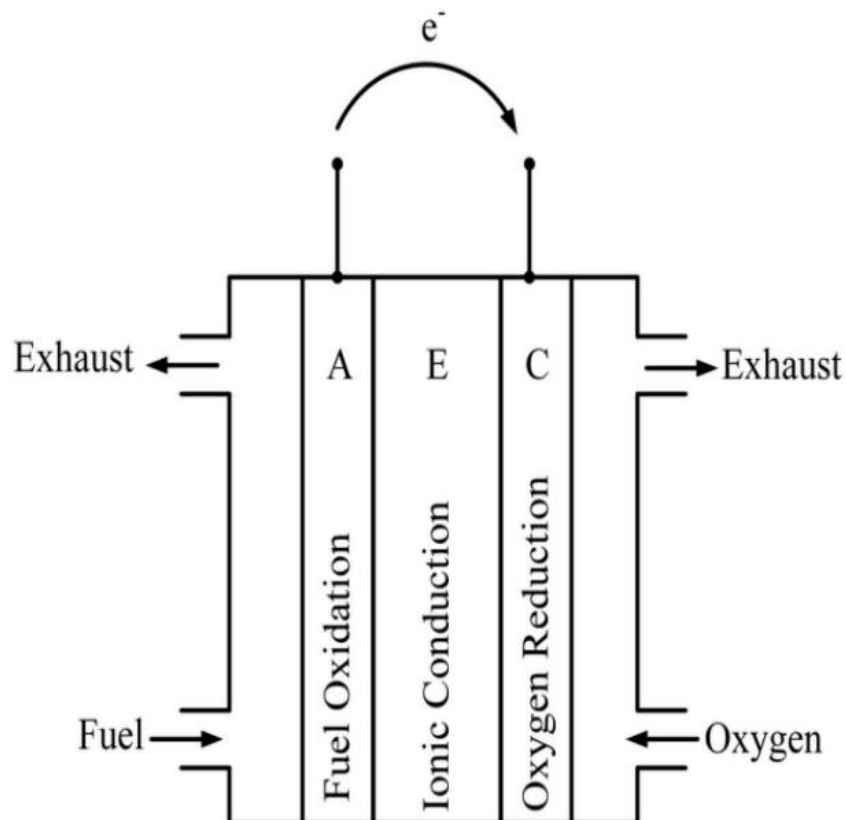


Εικόνα 4.5: Συνδυασμός μπαταρίας και υπερπυκνωτή όπου το κάθε στοιχείο συμπληρώνει τα μειονεκτήματα του άλλου [41].

### 4.3 Κυψέλες Καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells, FC) παράγουν ηλεκτρισμό μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Μία FC έχει μια άνοδο (A), μια κάθοδο (C) και έναν ηλεκτρολύτη (E) μεταξύ τους. Το καύσιμο εισάγεται στην άνοδο, οξειδώνεται, τα ιόντα που δημιουργούνται ταξιδεύουν μέσω του ηλεκτρολύτη στην κάθοδο και συνδυάζονται με το άλλο αντιδραστήριο που εισάγεται εκεί. Τα ηλεκτρόνια που παράγονται με την οξείδωση στην άνοδο παράγουν ηλεκτρισμό. Το υδρογόνο χρησιμοποιείται σε FCEV λόγω της υψηλής ενεργειακής του περιεκτικότητας και της μη ρυπογόνου ικανότητάς του (παράγει μόνο νερό) και είναι άφθονο στη φύση με τη μορφή διαφορετικών ενώσεων όπως οι υδρογονάνθρακες [17]. Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί με διαφορετικές μεθόδους για

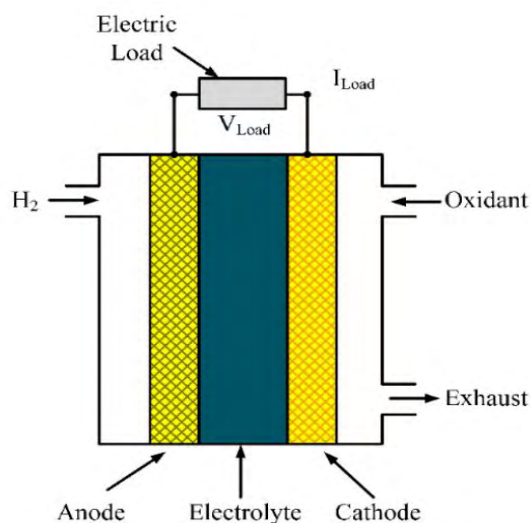
χρήση σε EV [17]. Εμπορικά διαθέσιμα FCV όπως το Toyota Mirai χρησιμοποιούν κυλίνδρους για να το αποθηκεύσουν. Η αρχή λειτουργίας μιας κυψέλης καυσίμου παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.6, ενώ η Εικόνα 4.7 δείχνει μια κυψέλη καυσίμου υδρογόνου. Σύμφωνα με το υλικό που χρησιμοποιείται, οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικούς τύπους. Η χημική αντίδραση που διέπει τη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου είναι η πολύ απλή αντίδραση δημιουργίας νερού από οξυγόνο και υδρογόνο,  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ .



Fuel Oxidation: Οξείδωση καυσίμου, Ionic Conduction: Ιοντική αγωγιμότητα, Oxygen Reduction: Μείωση οξυγόνου, Exhaust: Εξάτμιση.

**Εικόνα 4.6:** Αρχή λειτουργίας της κυψέλης καυσίμου. Το καύσιμο και το οξυγόνο εισέρχονται και παράγονται καυσαέρια και ρεύμα ως προϊόντα χημικής αντίδρασης [17].





Anode: Άνοδος, Electrolyte: Ηλεκτρολύτης, Cathode: Κάθοδος, Exhaust: Εξάτμιση, Oxidant: Οξείδωση.

**Εικόνα 4.7:** Διαμόρφωση κυψελών καυσίμου υδρογόνου. Το υδρογόνο χρησιμοποιείται ως καύσιμο που αντιδρά με το οξυγόνο και παράγει νερό και ρεύμα ως προϊόντα [29].

Οι κυψέλες καυσίμου έχουν πολλά πλεονεκτήματα για χρήση σε EV, όπως αποτελεσματική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από καύσιμα, αθόρυβη λειτουργία, γρήγορος ανεφοδιασμός, καθόλου ή χαμηλές εκπομπές, ανθεκτικότητα και ικανότητα παροχής υψηλής ισχύος [29,42]. Ένα βασικό μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι η υψηλή τιμή. Το υδρογόνο έχει επίσης χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με τα καύσιμα που προέρχονται από το πετρέλαιο, επομένως απαιτούνται μεγαλύτερες δεξαμενές καυσίμου για τα FCEV, ενώ αυτές οι δεξαμενές πρέπει επίσης να είναι αρκετά ικανές να περιέχουν σωστά το υδρογόνο και να ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο τυχόν έκρηξης σε περίπτωση ατυχήματος. Η απόδοση των FC εξαρτάται από την ισχύ που παρέχουν, ενώ γενικά μειώνεται όσο περισσότερη ισχύς αντλείται. Η πτώση τάσης στις εσωτερικές αντιστάσεις προκαλεί τις περισσότερες απώλειες. Ο χρόνος απόκρισης των FC είναι συγκριτικά υψηλότερος από τους UC ή τις μπαταρίες [29]. Για αυτούς τους λόγους, μπαταρίες ή UC χρησιμοποιούνται παράλληλα με τα FC. Το Toyota Mirai χρησιμοποιεί μπαταρίες για την τροφοδοσία του κινητήρα του και FC για τη φόρτιση των μπαταριών. Οι μπαταρίες λαμβάνουν επίσης ρεύμα που παράγεται με την πέδηση. Αυτός ο συνδυασμός

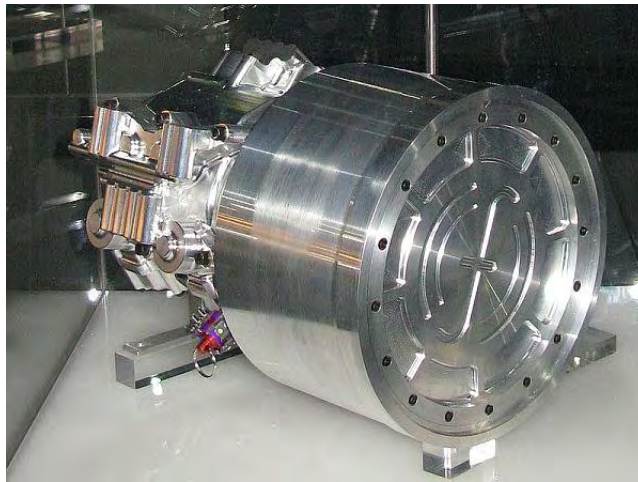
παρέχει περισσότερη ευελιξία καθώς οι μπαταρίες δεν χρειάζεται να φορτιστούν, παρά μόνο το καύσιμο των FC πρέπει να αναπληρωθεί, κάτι που χρειάζεται πολύ λιγότερο χρόνο από την επαναφόρτιση των μπαταριών.

#### 4.4 Σφόνδυλοι

Οι σφόνδυλοι χρησιμοποιούνται για αποθήκευση ενέργειας χρησιμοποιώντας την ενέργεια που χρειάζεται για να περιστραφεί ο σφόνδυλος, μέσω της περιστροφής που συνεχίζει λόγω αδράνειας. Ο σφόνδυλος λειτουργεί ως κινητήρας κατά το στάδιο αποθήκευσης. Όταν απαιτείται να ανακτηθεί ενέργεια, η κινητική ενέργεια του σφονδύλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περιστροφή μιας γεννήτριας για την παραγωγή ισχύος. Οι προηγμένοι σφόνδυλοι μπορούν να έχουν τους ρότορες τους κατασκευασμένους από εξελιγμένα υλικά όπως συνθετικά υλικά με βάση τον άνθρακα και τοποθετούνται σε θάλαμο κενού αιωρούμενο από μαγνητικά έδρανα. Η Εικόνα 4.8 δείχνει ένα σφόνδυλο που χρησιμοποιείται στο σύστημα ανάκτησης κινητικής ενέργειας (KERS) της Formula One (F1). Τα κύρια συστατικά ενός σφονδύλου παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.9. Οι σφόνδυλοι προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες μορφές αποθήκευσης για χρήση EV καθώς είναι ελαφρύτεροι, ταχύτεροι και αποδοτικότεροι στην απορρόφηση ισχύος από φρενάρισμα, γρηγορότεροι στην παροχή τεράστιου ποσού ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα που απαιτείται ταχεία επιτάχυνση και μπορούν να περάσουν από πολλούς κύκλους εκφόρτισης κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Προτιμούνται ιδιαίτερα για υβριδικά αγωνιστικά αυτοκίνητα που περνούν από το απότομο φρενάρισμα στην επιτάχυνση, τα οποία δέχονται επίσης πολύ υψηλότερη δύναμη  $g$  από τα κανονικά αυτοκίνητα μεταφοράς. Συστήματα αποθήκευσης όπως μπαταρίες ή UC δεν μπορούν να δεσμεύσουν την ενέργεια που παράγεται από την πέδηση σε καταστάσεις όπως αυτές. Οι σφόνδυλοι, από την άλλη πλευρά, λόγω της γρήγορης απόκρισής τους, έχουν καλύτερη απόδοση σε παρόμοια σενάρια, κάνοντας χρήση της αναγεννητικής πέδησης πιο αποτελεσματικά. μειώνοντας επίσης την πίεση στα τακάκια φρένων. Το υβριδικό Porsche 911GT3R κάνει χρήση αυτής της τεχνολογίας. Οι σφόνδυλοι μπορούν να κατασκευαστούν με διαφορετικά υλικά, το καθένα με τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα χαρακτηριστικά ορισμένων από αυτά τα υλικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3. Μεταξύ αυτών που εμφανίζονται στον πίνακα, ο άνθρακας T1000 προσφέρει την υψηλότερη ποσότητα ενεργειακής πυκνότητας, αλλά είναι πολύ ακριβότερος από τους άλλους. Επομένως, παραμένει μια αντιστάθμιση μεταξύ κόστους και απόδοσης.

Πίνακας 4.3: Υποψήφια υλικά για Σφόνδυλους [43].

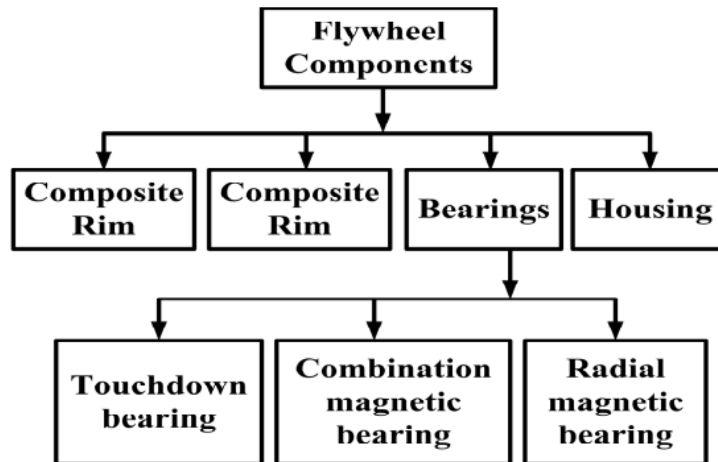
Υλικό	Πυκνότητα (kg/m <sup>3</sup> )	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Μέγιστη ενέργεια πυκνότητας (MJ/kg)	Κόστος (\$/kg)
Μονολιθικό υλικό 4340 ατσάλι	7700	1520	0.19	1
Συνθετικά				
E-γυαλί	2000	100	0.05	11.0
S2-γυαλί	1920	1470	0.76	24.6
Άνθρακας T1000	1520	1950	1.28	101.8
Άνθρακας AS4C 1510	1510	1650	1.1	31.3



Εικόνα 4.8: Σφόνδυλος αποθήκευσης ενέργειας.

Γενικά, καμία μεμονωμένη πηγή ενέργειας δεν μπορεί να παρέχει τα ιδανικά χαρακτηριστικά, δηλαδή, υψηλές επιδόσεις τόσο σε ισχύ όσο και σε ενεργειακή πυκνότητα. Ο Πίνακας 4.4 δείχνει μια σχετική σύγκριση των αποθηκών ενέργειας. Οι αποθήκες υβριδικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιώντας μία πηγή για υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και μια άλλη για υψηλή πυκνότητα ισχύος. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι συνδυασμοί για τη δημιουργία ενός υβριδικού συστήματος. Μπορεί να είναι ένας συνδυασμός

μπαταρίας και υπερπυκνωτή, μπαταρίας και σφόνδουλου, ή κυψέλης καυσίμου και μπαταρίας [17].



Composite Rim: Σύνθετο άκρο, Bearings: Ρουλεμάν, Housing: Στέγαση.

Εικόνα 4.9: Βασικά συστατικά σφόνδουλου [43].

Πίνακας 4.4. Σχετική πυκνότητα ενέργειας και ισχύς ανά μέσο αποθήκευσης [44].

Μέσο αποθήκευσης	Ενεργειακή πυκνότητα	Πυκνότητα ισχύς
Μπαταρία	Υψηλή	Χαμηλή
Υπερπυκνωτής	Χαμηλή	Υψηλή
Κυψέλη καυσίμου	Υψηλή	Χαμηλή
Σφόνδουλος	Χαμηλή	Υψηλή

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ**

Το σύστημα πρόωσης ενός EV [45–47] είναι ο ηλεκτροκινητήρας. Ο κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια που παίρνει από την πηγή ενέργειας σε μηχανική ενέργεια που επιτρέπει στο όχημα να κινείται. Λειτουργεί επίσης ως γεννήτρια κατά τη διάρκεια της αναγεννητικής δράσης που στέλνει ενέργεια πίσω στην πηγή ενέργειας. Με βάση τις απαιτήσεις τους, τα EV μπορούν να έχουν διαφορετικούς αριθμούς κινητήρων: το Toyota Prius έχει ένα, το Acura NSX έχει τρία - η επιλογή εξαρτάται από τον τύπο του οχήματος και τις λειτουργίες που παρέχει. Οι απαιτήσεις που πρέπει να πληροί ένας κινητήρας για χρήση σε EV, πρέπει να περιλαμβάνει υψηλή ισχύ, υψηλή ροπή, εύρος ταχύτητας, υψηλή απόδοση, αξιοπιστία, αντοχή, λογικό κόστος, χαμηλό θόρυβο και μικρό μέγεθος. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC) πληρούν ορισμένες απαιτούμενες προϋποθέσεις για την εφαρμογή τους σε EV, αλλά η έλλειψη αποτελεσματικότητας, η ογκώδης δομή, η έλλειψη αξιοπιστίας λόγω του μεταγωγέα ή των ψυκτρών που υπάρχουν σε αυτούς, και των σχετικών απαιτήσεων συντήρησης τους καθιστούν λιγότερο ελκυστικούς [17,22]. Με την πρόοδο των ηλεκτρονικών συστημάτων ισχύος και των συστημάτων ελέγχου, εμφανίστηκαν διαφορετικοί τύποι κινητήρων για να καλύψουν τις ανάγκες του τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, ενώ οι τύποι επαγωγής και μόνιμου μαγνήτη (PM) είναι οι πιο προτιμώμενοι [16,22,70].

#### **5.1 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος με ψύκτρες**

Αυτοί οι κινητήρες έχουν μόνιμους μαγνήτες (PM) ως στάτορα. Οι ρότορες έχουν ψύκτρες για παροχή τροφοδοσίας στον στάτορα. Πλεονεκτήματα αυτών των κινητήρων μπορεί να είναι η ικανότητα παροχής μέγιστης ροπής σε χαμηλή ταχύτητα. Τα μειονεκτήματα, από την άλλη πλευρά, είναι η ογκώδης δομή τους, η χαμηλή απόδοση, η θερμότητα που παράγεται λόγω των ψυκτρών και της σχετικής πτώσης της απόδοσης. Η θερμότητα είναι επίσης δύσκολο να αφαιρεθεί καθώς παράγεται στο κέντρο του ρότορα. Εξαιτίας αυτών των λόγων, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος με ψύκτρες δεν χρησιμοποιούνται πλέον στα EV [70].

## 5.2 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος, χωρίς ψύκτρες με μόνιμους μαγνήτες

Ο ρότορας του κινητήρα συνεχούς ρεύματος, χωρίς ψύκτρες με μόνιμους μαγνήτες (Permanent Magnet Brushless DC Motor, PM BLDC) είναι κατασκευασμένος από PM, συνήθως νεοδυμίου (NdFeB) [17]. Στον στάτορα παρέχεται εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) από μια πηγή DC μέσω ενός μετατροπέα. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν περιελίξεις στο ρότορα, δεν υπάρχει φθορές χαλκού στον ρότορα, γεγονός που τον καθιστά πιο αποτελεσματικό από τους επαγωγικούς κινητήρες. Αυτός ο κινητήρας είναι επίσης ελαφρύτερος, μικρότερος, καλύτερος στη διάχυση της θερμότητας (όπως παράγεται στο στάτορα), πιο αξιόπιστος, έχει μεγαλύτερη πυκνότητα ροπής και ειδική ισχύ [17]. Αλλά λόγω της περιορισμένης ικανότητάς του να εξασθενεί το πεδίο, το σταθερό εύρος ισχύος είναι αρκετά μικρό. Η χρήση PM αυξάνει επίσης το κόστος [22,70]. Ωστόσο, η βελτίωση του εύρους ταχύτητας και η καλύτερη συνολική απόδοση είναι δυνατή με επιπλέον περιελίξεις πεδίου [17,71]. Τέτοιες διατάξεις ονομάζονται συχνά υβριδικοί κινητήρες PM λόγω της παρουσίας PM και των περιελίξεων πεδίου. Αλλά τέτοιες διατάξεις επίσης περιορίζονται από την πολυπλοκότητα της δομής. Οι υβριδικοί κινητήρες PM μπορούν επίσης να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό κινητήρα αντίδρασης και κινητήρα PM. Οι BLDC είναι χρήσιμοι για χρήση σε μικρά αυτοκίνητα που απαιτούν μέγιστη ισχύ 60 kW [72].

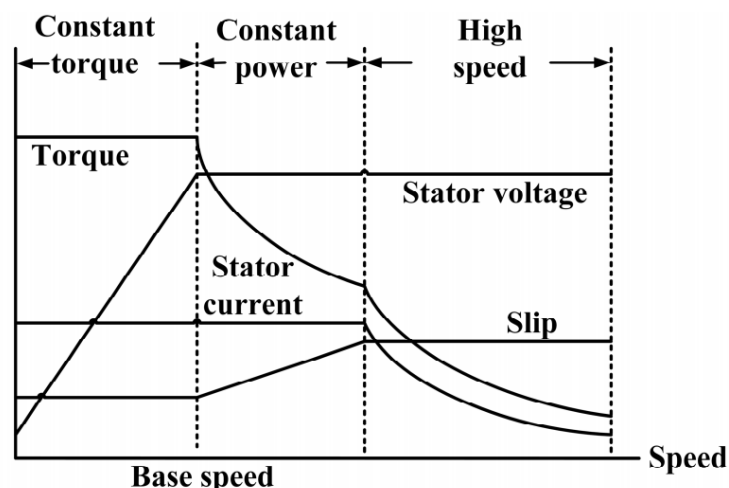
## 5.3 Σύγχρονος κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες

Οι σύγχρονοι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες (Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM) είναι από τους πιο προηγμένους, ικανοί να λειτουργούν σε μια σειρά από ταχύτητες χωρίς την ανάγκη συστήματος ταχυτήτων. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά αυτούς τους κινητήρες πιο αποτελεσματικούς και συμπαγείς. Αυτή η διαμόρφωση είναι επίσης πολύ κατάλληλη για εφαρμογές σε τροχούς, καθώς είναι σε θέση να παρέχει υψηλή ροπή, ακόμη και σε πολύ χαμηλές ταχύτητες. Είναι επίσης δυνατή η κατασκευή PMSM με εξωτερικό ρότορα χωρίς την ανάγκη ρουλεμάν για τον ρότορα. Όμως, το μόνο αξιοσημείωτο μειονέκτημα αυτών των μηχανών έρχεται επίσης κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των τροχών όπου η τεράστια απώλεια σιδήρου εμφανίζεται σε υψηλές ταχύτητες, καθιστώντας το σύστημα ασταθές [73]. Οι μόνιμοι μαγνήτες νεοδυμίου χρησιμοποιούνται σε PMSMs για υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Οι PMSM είναι οι πιο

χρησιμοποιούμενοι κινητήρες στα EV που διατίθενται σήμερα. Τουλάχιστον 26 μοντέλα οχημάτων χρησιμοποιούν αυτήν την τεχνολογία κινητήρα [38].

#### 5.4 Επαγωγικοί κινητήρες

Οι επαγωγικοί κινητήρες (inductive motors, IM) χρησιμοποιούνται στα πρώτα EV όπως το GM EV1 [16], καθώς και τα τρέχοντα μοντέλα όπως το Teslas [54,74]. Μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων μετάδοσης κίνησης χωρίς συλλέκτη (commutatorless motor drive systems), αυτό είναι το πιο ώριμο [37]. Ο έλεγχος διανυσμάτων είναι χρήσιμος ώστε οι μονάδες IM να μπορούν να ικανοποιούν τις ανάγκες των συστημάτων EV. Ένα τέτοιο σύστημα με την ικανότητα να ελαχιστοποιεί την απώλεια σε οποιαδήποτε κατάσταση φορτίου αποδεικνύεται στο [75]. Ο έλεγχος προσανατολισμού πεδίου μπορεί να κάνει ένα IM να λειτουργεί σαν ένας ξεχωριστός ενθουσιασμένος κινητήρας DC αποσυνδέοντας τον έλεγχο πεδίου και τον έλεγχο ροπής. Η αποδυνάμωση της ροής μπορεί να επεκτείνει το εύρος ταχύτητας πάνω από την ταχύτητα της βάσης διατηρώντας παράλληλα την ισχύ σταθερή [22], ο έλεγχος προσανατολισμού πεδίου μπορεί να επιτύχει εύρος τρεις έως πέντε φορές την ταχύτητα βάσης με ένα IM που έχει σχεδιαστεί σωστά [76]. Τριφασικοί, τετραπολικόι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με ρότορες από χαλκό φαίνεται να χρησιμοποιούνται σε τρέχοντες ηλεκτροκινητήρες. Τα χαρακτηριστικά του IM φαίνονται στην Εικόνα 5.1.



Torque: Ροπή, Constant: Σταθερό, Stator Voltage: Τάση στάτορα.

**Εικόνα 5.1: Βασικά χαρακτηριστικά επαγωγικού κινητήρα. Η μέγιστη ροπή συντηρείται κατά την βασική ταχύτητα και μετά μειώνεται εκθετικά [17].**

## 5.5 κινητήρες διακοπτικής διέγερσης

Οι κινητήρες διακοπτικής διέγερσης (Switched Reluctance Motors, SRMs) παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα για χρήση σε EV και HEV οχήματα. Είναι κατασκευές χαμηλού κόστους με απλή δομή, λειτουργούν σε υψηλές ταχύτητες και παρουσιάζουν μια αρκετά ευρεία περιοχή σταθερής ισχύος, ενώ η ροπή εκκίνησης είναι υψηλή καθώς και η αναλογία ροπής-αδράνειας. Από την άλλη πλευρά, είναι πολύ θορυβώδεις λόγω της μεταβλητής φύσης ροπής, έχουν χαμηλή απόδοση και είναι μεγαλύτεροι σε μέγεθος και βάρος σε σύγκριση με τις μηχανές PM. Αν και τέτοιοι κινητήρες έχουν απλή κατασκευή, ο σχεδιασμός και ο έλεγχός τους δεν είναι εύκολος λόγω του περιθωρίου των σχισμών και των πόλων, και του υψηλού κορεσμού των ακροδεκτών [17,16,22,48]. Λόγω αυτών των μειονεκτημάτων, αυτοί οι κινητήρες δεν προχώρησαν τόσο πολύ όσο οι PM ή επαγωγής. Ωστόσο, λόγω του υψηλού κόστους υλικών σπάνιων σπάνιων γαιών που απαιτούνται στους PM, το ενδιαφέρον για SRMs αυξάνεται. Η μείωση του θορύβου και των ριπών ροπής είναι τα κύρια προβλήματα στα οποία εστιάζονται οι έρευνες που σχετίζονται με SRM [16]. Μία από τις διαμορφώσεις που προέκυψαν από αυτές τις έρευνες χρησιμοποιεί ένα σύστημα διπλού στάτορα, το οποίο παρέχει χαμηλή αδράνεια και θόρυβο, ανώτερη πυκνότητα ροπής και αυξημένο εύρος ταχύτητας σε σύγκριση με τα συμβατικά SRMs [77,78]. Ο σχεδιασμός με ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της συνολικής απώλειας [79], ο έλεγχος με ασαφή λειτουργία ολίσθησης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της μη γραμμικότητας του κινητήρα [80].

## 5.6 Κινητήρες συγχρονισμένης διέγερσης

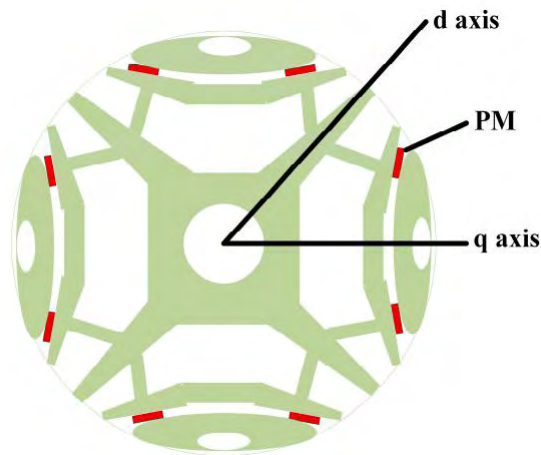
Ένας κινητήρας συγχρονισμένης διέγερσης (Synchronous Reluctance Motor SynRM) λειτουργεί με σύγχρονη ταχύτητα ενώ συνδυάζει τα πλεονεκτήματα τόσο των κινητήρων PM όσο και των επαγωγικών κινητήρων. Είναι ανθεκτικοί κινητήρες και ανεκτικοί σε σφάλματα, όπως οι επαγωγικοί, αποδοτικοί και μικροί σαν τους PM και δεν έχουν τα μειονεκτήματα των κινητήρων PM. Έχουν στρατηγική ελέγχου παρόμοια με αυτήν των κινητήρων PM. Τα προβλήματα με τους SynRM μπορούν να επισημανθούν ως αυτά που σχετίζονται με τη δυνατότητα ελέγχου, την κατασκευή και τον συντελεστή χαμηλής ισχύος που εμποδίζουν την χρήση τους σε EV. Ωστόσο, έχουν διεξαχθεί έρευνες



και έχει σημειωθεί επίσης κάποια πρόοδος, με κύριο στόχο τον σχεδιασμό του ρότορα. Οι βελτιωμένες τεχνικές σχεδιασμού, τα συστήματα ελέγχου και η προηγμένη κατασκευή μπορούν να τους βοηθήσουν να περάσουν σε εφαρμογές EV [16].

### **5.7 Κινητήρες συγχρονισμένης διέγερσης υποβοηθούμενοι από PM.**

Οι SynRMs μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερους συντελεστές ισχύος ενσωματώνοντας μερικούς μόνιμους μαγνήτες (PM) στο ρότορα, δημιουργώντας έναν κινητήρα συγχρονισμένης διέγερσης υποβοηθούμενο από PM. Αν και είναι παρόμοιοι με έναν επαγωγικό κινητήρα, τα PM που χρησιμοποιούνται είναι λιγότερα σε ποσότητα και οι συνδέσεις ροής από αυτούς είναι επίσης λιγότερες. Οι PM που προστίθενται στη σωστή ποσότητα στον πυρήνα του ρότορα αυξάνουν την απόδοση με μικρή αλλαγή στο στάτορα. Αυτή η ιδέα είναι απαλλαγμένη από τα προβλήματα που σχετίζονται με τον απομαγνητισμό που προκύπτει από την υπερφόρτωση και την υψηλή θερμοκρασία που παρατηρείται στους IPM. Με μια σωστή τεχνική βελτιστοποίησης απόδοσης, αυτός ο κινητήρας μπορεί να έχει απόδοση παρόμοια με τους κινητήρες IPM. Οι SynRMs υποβοηθούμενοι από PM είναι κατάλληλοι για χρήση σε EV όπως αποδείχθηκε από στην BRUSA Elektronik AG (Sennwald, Ελβετία). Όπως οι SynRM, οι SynRM με υποβοήθηση από PM μπορούν επίσης να βελτιωθούν με αναβαθμισμένες τεχνικές σχεδιασμού, συστήματα ελέγχου και προηγμένα συστήματα κατασκευής [16]. Στην εικόνα 5.2 φαίνεται μια επίδειξη του ρότορα SynRM με υποβοήθηση PM.



Εικόνα 5.2: SynRM υποβοηθούμενο από μόνιμους μαγνήτες. Οι μόνιμοι μαγνήτες είναι ενσωματωμένοι στο ρότορα [17].

### 5.8 Κινητήρες αξονικής ροής, χωρίς σίδηρο, μόνιμου μαγνήτη

Αυτός ο κινητήρας είναι ο πιο προηγμένος που χρησιμοποιείται στα EV [70]. Έχει έναν εξωτερικό ρότορα χωρίς σχισμή και αποφεύγεται επίσης η χρήση σιδήρου. Ο πυρήνας του στάτορα απουσιάζει επίσης, μειώνοντας το βάρος του μηχανήματος. Το κενό αέρα εδώ είναι τύπου ακτινικού πεδίου, παρέχοντας καλύτερη πυκνότητα ισχύος. Αυτός ο κινητήρας είναι επίσης μεταβλητής ταχύτητας. Ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημα αυτής της μηχανής είναι ότι οι ρότορες μπορούν να τοποθετηθούν στις πλευρικές πλευρές των τροχών, τοποθετώντας τις περιελίξεις του στάτορα στον άξονα κεντρικά. Ο σχεδιασμός χωρίς κουλοχέρη βελτιώνει επίσης την απόδοση ελαχιστοποιώντας την απώλεια χαλκού καθώς υπάρχει περισσότερο διαθέσιμος χώρος [70].

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Ο τομέας των μεταφορών κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο της συνολικής αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας στον κόσμο. Κατά κύριο λόγο η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών οφείλεται στην υψηλή οικονομική ανάπτυξη και την αύξηση του πληθυσμού [59]. Η ταχεία αύξηση της ζήτησης ενέργειας πρόκειται να οδηγήσει σε υπερβολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και ενεργειακή κρίση [60]. Σε πολλές χώρες, έχουν αναληφθεί σχέδια μετριασμού για την επίτευξη μείωσης των εκπομπών και μία από τις πολλά υποσχόμενες λύσεις είναι η ηλεκτροκίνητη μετακίνηση.

Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο (EV) είναι μια εναλλακτική επιλογή μεταφοράς, που εκπέμπει μηδενικά καυσαέρια και παράγει ελάχιστους θορύβους. Το EV χρησιμοποιεί τον ηλεκτρικό κινητήρα και την ενέργεια της μπαταρίας για πρόωση, τα οποία έχουν υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερο κόστος λειτουργίας σε σύγκριση με τον συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης. Η συνεχής βελτίωση των μπαταριών ιόντων λιθίου και της τεχνολογίας γρήγορης φόρτισης θα είναι οι βασικοί παράγοντες διευκόλυνσης για την κυκλοφορία των EV στο εγγύς μέλλον [61,62]. Ωστόσο, η παρούσα βιομηχανία EV αντιμετωπίζει πολλούς τεχνικούς περιορισμούς, όπως η υψηλή αρχική τιμή, οι περιορισμένες εγκαταστάσεις φόρτισης, τα περιορισμένα χιλιόμετρα οδήγησης και ο μακρύς χρόνος φόρτισης μπαταρίας [63]. Επιπλέον, η διασύνδεση του EV στο δίκτυο ενέργειας για τη φόρτιση προκαλεί μέχρι στιγμής αρνητικές επιπτώσεις στη λειτουργία του δικτύου.

Πρόσφατα, η εισαγωγή της έννοιας «έξυπνο δίκτυο» έχει μοντερνοποιήσει το ηλεκτρικό δίκτυο ενέργειας προσθέτοντας νέα χαρακτηριστικά επικοινωνίας [64,65]. Η σύλληψη της ιδέας Vehicle to Grid (V2G) «όχημα στο δίκτυο» είναι μια από τις τεχνολογίες του «έξυπνου δικτύου», σχετικά με τα EV ώστε να ενσωματωθούνε στην λειτουργία του συστήματος ενέργειας. Το V2G concept επιτρέπει την ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ EV και δικτύου, και μπορεί να παρέχει πολλές υπηρεσίες στο δίκτυο ενέργειας. Παράλληλα, οι ιδιοκτήτες EV μπορούν επίσης να έχουν σημαντικές απολαβές για τη συμμετοχή τους στις υπηρεσίες V2G.

Η τεχνολογία V2G μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε μονής κατεύθυνσης και αμφίδρομη [66,67]. Στο μονής κατεύθυνσης V2G, απαιτείται η επικοινωνία μεταξύ του χειριστή ηλεκτρικού δικτύου ενέργειας και του EV για να επιταχυνθεί ο ρυθμός φόρτισης σε κάθε EV. Αυτή η πράξη μπορεί να αποτρέψει προβλήματα υπερφόρτωσης δικτύου, αστάθειας συστήματος και πτώσης της τάσης [68,69]. Από την μεριά του δικτύου ενέργειας, η μπαταρία του EV είναι ένα ηλεκτρικό φορτίο, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως αποθήκη ενέργειας. Επομένως, το αμφίδρομο V2G χρησιμοποιεί αυτήν την ιδέα για να επιτρέψει την ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ της μπαταρίας του EV και του δικτύου ενέργειας, είτε για φόρτιση του EV είτε για υποστήριξη του δικτύου. Το αμφίδρομο V2G παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στην εγκατάσταση φόρτισης στο να ελέγξει την ενέργεια της μπαταρίας του EV βελτιώνοντας ταυτόχρονα την αξιοπιστία και την βιωσιμότητα του συστήματος ενέργειας [70–72].

Η τεχνολογία V2G είναι ένα περίπλοκο σύστημα Ένταξης μονάδων στο δίκτυο που σχετίζεται με διάφορους στόχους και περιορισμούς. Επομένως, η υλοποίηση της τεχνολογίας V2G επιτυγχάνεται με τη χρήση τεχνικών βελτιστοποίησης. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές βελτιστοποίησης στη βιβλιογραφία, αλλά οι κύριες τεχνικές βελτιστοποίησης για την εφαρμογή V2G είναι οι Γενετικοί Αλγόριθμοι και η Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων. Με την επίλυση ορισμένων περιορισμών, αυτές οι τεχνικές βελτιστοποίησης μπορούν να επιτύχουν διαφορετικούς στόχους και υπηρεσίες, όπως την εξομάλυνση των κορυφών φορτίου, την εξισορρόπηση (leveling) φορτίου, την ρύθμιση της τάσης και την μεγιστοποίηση του κέρδους.

### **6.1 Aggregator. Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης Φορτίου Ηλεκτρικών Οχημάτων (H/O) ή αλλιώς ΦΟΣΕΦΗΟ.**

Για την καλύτερη κατανόηση του κειμένου θα πρέπει να γίνει μια αναφορά στον όρο aggregator ή στα ελληνικά ΦΟΣΕΦΗΟ. Τα EV θα εισάγουν στην αγορά έναν νέο θεσμό, αυτόν των Φορέας Σωρευτικής Εκπροσώπησης Φορτίου Ηλεκτρικών Οχημάτων (ΦΟΣΕΦΗΟ) ή στα αγγλικά aggregator. Ο ΦΟΣΕΦΗΟ είναι ένα νομικό πρόσωπο που αναλαμβάνει την σωρευτική εκπροσώπηση του φορτίου συνδεδεμένων με το Δίκτυο, EV για συμμετοχή στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και την παροχή υπηρεσιών προς τους Διαχειριστές Δικτύου και Συστήματος. Ουσιαστικά είναι ένας μεσολαβητής που έχει υπό την εποπτεία του έναν στόλο οχημάτων και επικοινωνεί με τον κεντρικό διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου (στην ηπειρωτική Ελλάδα το ΔΕΣΜΗΕ και στην νησιωτική η ΔΕΗ) και τα οχήματα και εποπτεύει την παροχή ενέργειας από το δίκτυο στο όχημα ή το

αντίθετο. Μέσω ενός ηλεκτρονικού συστήματος που ονομάζεται “telematics” ο ΦΟΣΕΦΗΟ γνωρίζει που βρίσκεται κάθε όχημα και σε ποιο σταθμό φορτίζει ή ξεφορτίζει καθώς και την ποσότητα ενέργειας που λαμβάνει ή παρέχει. Επίσης μπορεί να αγοράζει «χοντρικής» ρεύμα από παρόχους ενέργειας και να το πουλάει στον στόλο του ή και να αγοράζει απ’ αυτούς.

## 6.2 Ενσωμάτωση EV στο ηλεκτρικό δίκτυο

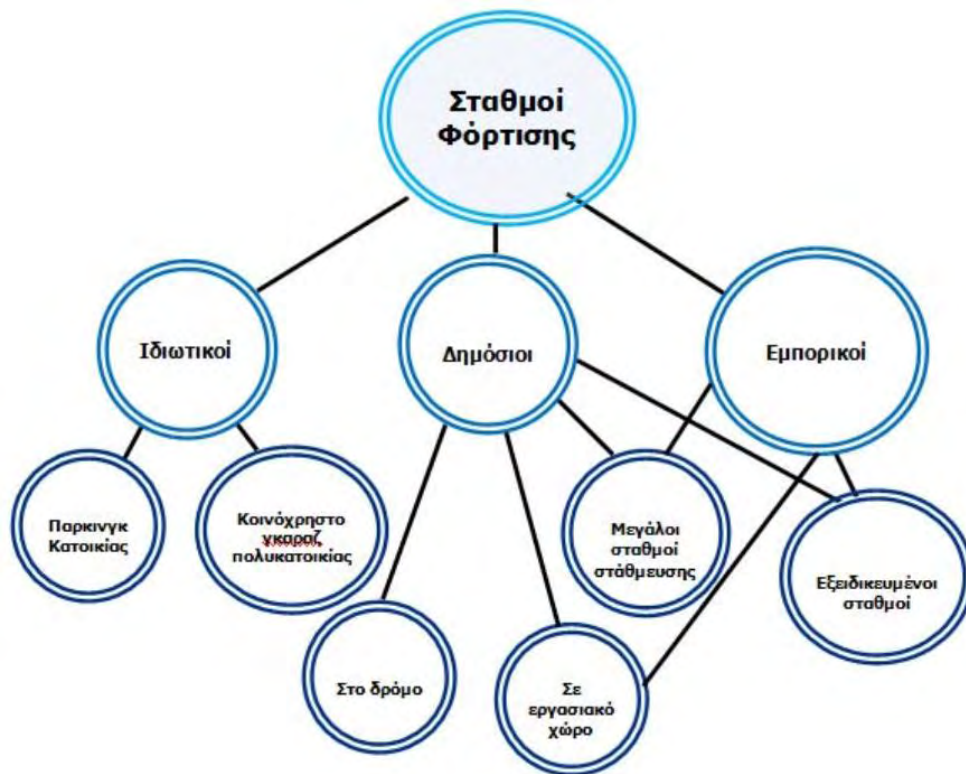
Η ενσωμάτωση μεγάλου αριθμού EV στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια μεγάλη πρόκληση που απαιτεί εντατική αξιολόγηση και παρατήρηση όσον αφορά τις οικονομικές επιπτώσεις, την λειτουργία και τον έλεγχο σε βέλτιστες συνθήκες. Η επίδραση των EV στο σύστημα ισχύος διανομής έχει μελετηθεί σε αρκετές εργασίες, ενώ άλλες εργασίες μελετούν διαφορετικά μοντέλα εφαρμογών σχετικά με τον τρόπο πραγματοποίησης της υιοθέτησης EV στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας [74]. Η πλειονότητα των συστημάτων φόρτισης EV σχεδιάζεται να πραγματοποιείται στο σπίτι. Από την άλλη πλευρά, η φόρτιση EV προβλέπεται επίσης να πραγματοποιείται κυρίως σε δημόσιους, εμπορικούς ή εργασιακούς χώρους φόρτισης [75]. Επομένως, οι συνέπειες της φόρτισης EV αναμένεται να επηρεάσουν άμεσα το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα αποτελέσματα κυμαίνονται από υπερθέρμανση μετασχηματιστών έως νέες επενδύσεις σε εγκαταστάσεις διανομής ενέργειας. Ωστόσο, η υιοθέτηση των EV μπορεί να είναι σε θέση να προσθέσει αξία στο ηλεκτρικό δίκτυο από την άποψη της σταθερότητας, της απόδοσης και των βελτιώσεων σε ισχύ. Αυτό είναι εφικτό εάν συνολικά ο μεγάλος αριθμός της ενσωμάτωσης EV είναι καλά σχεδιασμένος και τεχνικά οργανωμένος ώστε να συμμορφώνεται με τα επιχειρησιακά πρότυπα του συστήματος ισχύος [76].

Οι τύποι σταθμών φόρτισης που σχεδιάζεται να παραχθούν είναι τριών τύπων:

- **Ιδιωτικοί ή προσωπικοί:** Είναι σταθμοί ιδιωτών σε σπίτια ή γκαράζ και η φόρτιση πραγματοποιείται από μονοφασική παροχή ρεύματος και συνήθως δεν ξεπερνά τα 15A. Συνήθως γίνεται το βράδυ όπου υπάρχει χαμηλή χρέωση ρεύματος και το όχημα μπορεί να ανήκει σε στόλο οχημάτων όπου σε συμφωνία με ΦΟΣΕΦΗΟ θα μπορούν οι χρήστες να πωλούν το ρεύμα τους μέσω V2G ή να προμηθεύονται ρεύμα με καλύτερες τιμές.

- **Ιδιωτικοί με δημόσια πρόσβαση:** Αυτοί οι σταθμοί φόρτισης μπορεί να είναι σε επιχειρήσεις με μεγάλο πάρκινγκ όπως τα σούπερ μάρκετ, κινηματογράφοι, πολυκαταστήματα κ.α. και τα EV να φορτίζουν όσο οι χρήστες χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες της εκάστοτε επιχείρησης.
- **Δημόσιοι με δημόσια πρόσβαση:** Αυτοί οι σταθμοί είναι δημόσιοι σε δρόμους ή πεζοδρόμια που θα τους διαχειρίζεται ο εκάστοτε δήμος και θα προσφέρει φόρτιση σε αυτούς που δεν έχουν παρκινγκ ή/και ιδιωτικό σταθμό φόρτισης.

Η πληρωμή σε κάθε σταθμό φόρτισης μπορεί να γίνεται με διαφορετικό τρόπο και είτε εκ των προτέρων, είτε επί τόπου με κάποια κάρτα, πιστωτική ή με πιστωμένες kWh ενέργειας, είτε και μέσω κάποιου συλλογικού σχήματος, με κάποιο είδος συμβολαίου όπως γίνεται στα σπίτια με την ΔΕΗ. Η κατηγοριοποίηση φαίνεται στην Εικόνα 6.1.



**Εικόνα 6.1: Κατηγοριοποίηση σταθμών φόρτισης.**

Για να συνειδητοποιήσουμε τα πραγματικά οφέλη από την ενσωμάτωση μεγάλου στόλου EV στο ηλεκτρικό δίκτυο, έχουν προταθεί διαφορετικές προσεγγίσεις στη βιβλιογραφία. Η ραχοκοκαλιά αυτού της ενσωμάτωσης έχει δύο πυλώνες, τον ιδιοκτήτη του ηλεκτρικού οχήματος και την υπηρεσία φόρτισης. Η πιο συνηθισμένη αρχιτεκτονική περιλαμβάνει ρητώς τον συσσωρευτή EV και έχει αποκτήσει ενδιαφέρον για τους

ερευνητές τα τελευταία χρόνια [77]. Ο ΦΟΣΕΦΗΟ θεωρείται κεντρικός υπεύθυνος που συντονίζει όλες τις απαιτούμενες επιχειρησιακές δραστηριότητες, όπως επικοινωνία με τον διαχειριστή συστήματος διανομής (ΔΣΔ), τον διαχειριστή συστήματος μεταφοράς (ΔΣΜ) και τους παρόχους ενέργειας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο ΦΟΣΕΦΗΟ διατηρεί τη σχέση μεταξύ των παραγόντων της ενεργειακής αγοράς και των ιδιοκτητών EV. Εξάλλου, η πραγματοποίηση αυτής της ενσωμάτωσης EV μπορεί να γίνει αντιληπτή μέσα από την έννοια του εικονικού σταθμού παραγωγής ενέργειας (VPP) στην οποία τα ηλεκτρικά οχήματα συγκεντρώνονται και ελέγχονται ως μία μοναδική καταναμημένη πηγή ενέργειας [78]. Μέσα στην αρχιτεκτονική VPP, τα EV είναι ορατά στον ΔΣΔ, τον ΔΣΜ ή τον διαχειριστή δικτύου (GO) μέσω του ΦΟΣΕΦΗΟ και μπορούν εύκολα να συμμετάσχουν στην αγορά ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, μια άλλη πιθανή λύση είναι οι μεμονωμένοι ιδιοκτήτες οχημάτων να συμμετάσχουν στην αγορά ενέργειας [73,79]. Αυτό σημαίνει ότι ο ιδιοκτήτης ενός EV είναι αφιερωμένος στη διαχείριση των σημάτων από τους ΔΣΔ, ΔΣΜ ή/και τους παρόχους ενέργειας με τη βοήθεια αμφίδρομων συστημάτων επικοινωνίας και ελέγχου. Πρόσφατες μελέτες παρουσίασαν αυτό το μοντέλο EV βελτιστοποιώντας την τιμή φόρτισης, έτσι ώστε ο ιδιοκτήτης EV να μπορεί να ελαχιστοποιεί το κόστος φόρτισης ανά πάσα στιγμή, μειώνοντας παράλληλα τις τάσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο [79]. Με αυτό το σχήμα ενσωμάτωσης, ο ΦΟΣΕΦΗΟ ως τρίτος δεν είναι εντελώς απομονωμένος αλλά μάλλον εμμέσως εμπλέκεται. Αυτό μπορεί να εκδηλωθεί με τις προσφορές που κάνει στην αγορά ενέργειας για προμήθεια. Ωστόσο, σε κάποιο βαθμό αυτό το σχέδιο ολοκλήρωσης μπορεί να μην είναι αξιόπιστο, επειδή η συναλλαγή με κάθε ιδιοκτήτη EV αυξάνει την πολυπλοκότητα στον ενεργειακό σχεδιασμό, την ανασφάλεια και τον έλεγχο. Για να είμαστε πιο ακριβείς, η λειτουργία βελτιστοποίησης καθίσταται πιο περίπλοκη με αβεβαιότητες.

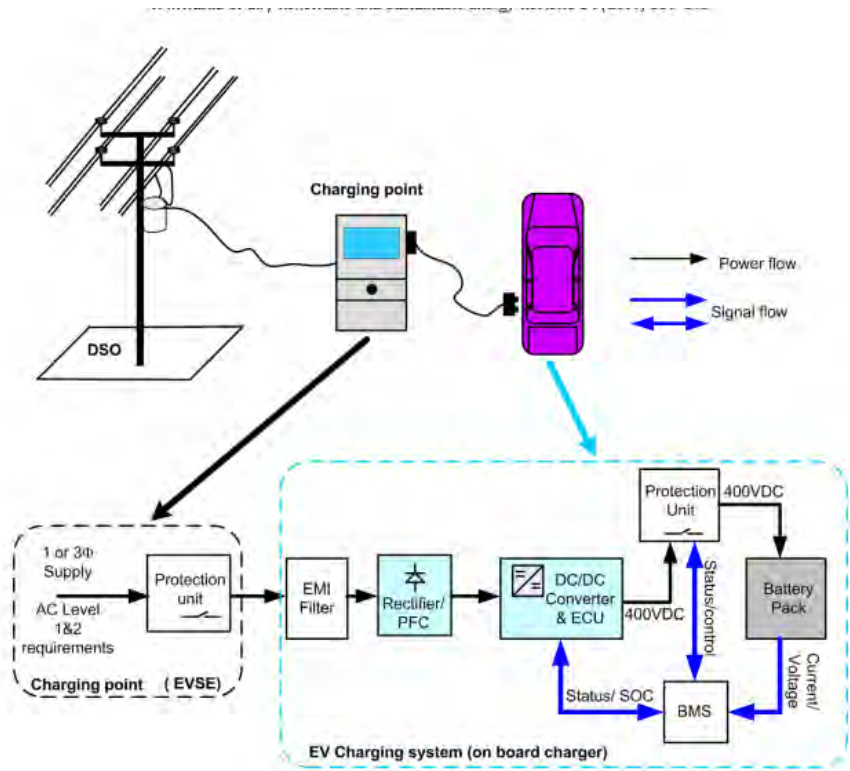
Η τεχνολογία των μπαταριών περιλαμβάνει πολλές χημικές ουσίες όπως ιόντων λιθίου, οξέος μολύβδου, και υδριδίου μετάλλου νικελίου (NiMH). Ο λόγος της μαζικής διείσδυσης των EV στην παγκόσμια αγορά ενέργειας και τη βιομηχανία μεταφορών βασίζεται κυρίως στην εντατική έρευνα στην τεχνολογία μπαταριών. Είναι πολύ γνωστό ότι οι προκλήσεις στην έρευνα των μπαταριών εστιάζουν στην μείωση του κόστους, την απόδοση των οχημάτων (π.χ. το εύρος οδήγησης) και το υψηλό περιθώριο κέρδους στην αγορά ρεύματος. Στην εφαρμογή του V2G, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας επηρεάζεται ιδιαίτερα λόγω της επιβολής συχνών κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης. Αυτό το αποτέλεσμα έχει γίνει εμφανές και έχει τραβήξει το ενδιαφέρον των ερευνητών [80]. Αποτελέσματα ερευνών δείχνουν ότι οι συχνές V2G αποφορτίσεις μειώνουν τη διάρκεια

ζωής της μπαταρίας για σχεδόν 3 χρόνια λόγω των παρατεταμένων κύκλων αποφόρτισης και των κύκλων μεγαλύτερου βάθους. Ωστόσο, η διάρκεια ζωής της μπαταρίας μπορεί να παραταθεί υιοθετώντας έξυπνα σχήματα φόρτισης. Απαιτούνται περισσότερες μελέτες για να αποκαλυφθεί η συμπεριφορά της διάρκειας ζωής της μπαταρίας κάτω από αυτά τα πολλά υποσχόμενα σενάρια εφαρμογής EV, ιδίως τις συναλλαγές V2G. Το ρεαλιστικό μοντέλο μπαταρίας για αυτές τις μελέτες θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τους κύκλους γήρανσης, αυτοεκφόρτισης και γήρανσης στο σύνολο. Η μελλοντική προσδοκία είναι να έχουμε μπαταρίες με υψηλή ενέργεια και χωρητικότητα ισχύος, μικρό μέγεθος και προσιτό κόστος αγοράς.

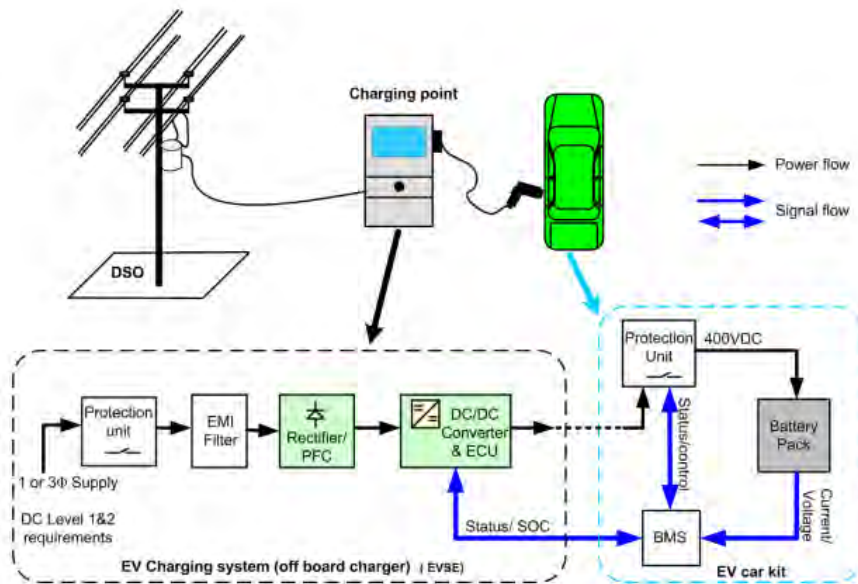
### **6.3 Φόρτιση EV στο δίκτυο**

Η φόρτιση των EV είναι μια βασική ενέργεια των ηλεκτρικών οχημάτων. Υπάρχουν πολλά επίπεδα φόρτισης για τα EV που σχετίζονται με την ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας και τη διάρκεια φόρτισης. Αυτά τα επίπεδα έχουν τυποποιηθεί σε σενάρια αργής και γρήγορης φόρτισης. Η αργή φόρτιση (συνήθως έως 8 ώρες-PHEV ή 20-BEV) μπορεί να γίνει στο σπίτι ή στο γραφείο ενώ η γρήγορη φόρτιση (συνήθως 15 λεπτά έως 1 ώρα) σε ειδικούς σταθμούς φόρτισης σε εμπορικούς ή δημόσιους χώρους. Το AC Level 1 πραγματοποιείται πρακτικά στο περιβάλλον του σπιτιού, ενώ το AC Level 2 είναι κατάλληλο για δημόσιους και εμπορικούς χώρους όπως χώρο εργασίας, κινηματογράφους, εμπορικά κέντρα κ.λπ. (Εικόνα 6.2). Ωστόσο, η φόρτιση DC fast (DC Level 1-3) προβλέπεται να καλύπτει τους δημόσιους, ιδιωτικούς ή εμπορικούς σταθμούς φόρτισης (Εικόνα 6.3) [81,82].





6.2: Σταθμός φόρτισης EV τύπου AC level 1 και 2.



6.3: Σταθμός φόρτισης EV τύπου DC level 1 και 2.

Η ισχύς φόρτισης που παρέχεται συνήθως καθορίζεται από τις επιδόσεις του φορτιστή μπαταρίας και με βάση τις πιο πρόσφατες μελέτες η τάση της μπαταρίας του EV περιορίζεται συνήθως σε μικρότερη ή ίση με 400 VDC (τάση διαύλου DC). Επίσης, ο χρόνος φόρτισης που μπορεί να ξοδέψει το EV φορτίζοντας πλήρως την μπαταρία του μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την χωρητικότητα αποθήκευσης της μπαταρίας και τα χαρακτηριστικά του επιπέδου φόρτισης (τάσεις και γενικές προδιαγραφές). Υπάρχει μια μεγάλη συζήτηση σχετικά με τον τρόπο τυποποίησης της γρήγορης φόρτισης. Ωστόσο, η γρήγορη φόρτιση είναι απαραίτητη για τη φόρτιση της μπαταρίας EV μέσα σε λίγα λεπτά. Η ανάπτυξη ενός σταθμού δυνατότητας καθολικής φόρτισης που επιτεύχθηκε από τις παγκόσμιες αυτοκινητοβιομηχανίες σε συνεργασία με την Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτων (SAE) ενσωματώνει τόσο τις λύσεις φόρτισης AC μίας φάσης, όσο και λύσεις γρήγορης φόρτισης DC. Συνδυάζει τη μονοφασική φόρτιση AC, τη τριφασική φόρτιση AC (γρήγορη φόρτιση AC) και τη γρήγορη φόρτιση DC σε μία μονάδα (πρότυπο συνδυασμού SAE). Εκτός αυτού, το πρότυπο γρήγορης φόρτισης γνωστό ως CHAdeMO, το οποίο αναπτύχθηκε από την Tokyo Electric Power Company (TEPCO), έτυχε επίσης μιας αξιοσημείωτης αποδοχής στην αγορά EV [82]. Αυτό θα προκαλέσει την υιοθέτηση των EV ως αξιόπιστων μέσων μεταφοράς λόγω του γρήγορου εφοδιασμού.

Ωστόσο, το τρέχον σύστημα τροφοδοσίας χρησιμοποιεί ρεύμα AC. Για να τροφοδοτηθεί η μπαταρία EV, είναι υποχρεωτικό ένα κύκλωμα μετασχηματιστή και ίσος ένας ανορθωτής τάσης. Αλλά ζητήματα κόστους και θερμότητας περιορίζουν την ικανότητα των κυκλωμάτων αυτών. Επίσης, η υποδομή γρήγορης φόρτισης DC απαιτεί υψηλή ικανότητα ισχύος (όσον αφορά τις τιμές ρεύματος και τάσης). Σε αυτήν την περίπτωση, το μέγεθος και ο όγκος του κυκλώματος ανορθωτή έχουν μεγάλη επίδραση στην DC-fast υποδομή φόρτισης καθώς αντικατοπτρίζει τις διαστάσεις κυκλώματος που θα χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή σε EV. Κατά την επόμενη δεκαετία, αυτός ο τύπος φόρτισης EV (AC σε DC) θα είναι η πιο ελπιδοφόρα λύση φόρτισης και οι νέοι σταθμοί φόρτισης θα είναι σαν τους σημερινούς σταθμούς ανεφοδιασμού βενζίνης. Η προκλήσεις που παραμένουν, είναι η υψηλή ζήτηση ενέργειας από αυτούς τους σταθμούς που απαιτούν ειδική τροφοδοσία, ισχύ και μοντελοποίηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Επίσης τα δίκτυα V2G έχουν να αντιμετωπίσουν μεγάλες προκλήσεις στην ανάπτυξη των υπηρεσιών τους. Απαιτούνται μελέτες για τα χαρακτηριστικά και τις επιδόσεις των υποδομών γρήγορης φόρτισης DC για τις υπηρεσίες V2G.

## **6.4 Δίκτυα V2G.**

Τα EV συμπεριφέρονται σαν μπαταρίες που αδειάζουν (εκφορτίζουν) κατά την μετακίνηση και εν συνεχεία φορτίζονται σε σταθμούς φόρτισης που τροφοδοτούνται από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Τα EV ανάλογα με τον αριθμό τους μπορεί να επιβαρύνουν αρκετά το δίκτυο σε μια περιοχή και αυτό να φέρει αλλαγές στον σχεδιασμό και ανάπτυξη του ηλεκτρικού δικτύου σε εκείνη την περιοχή.

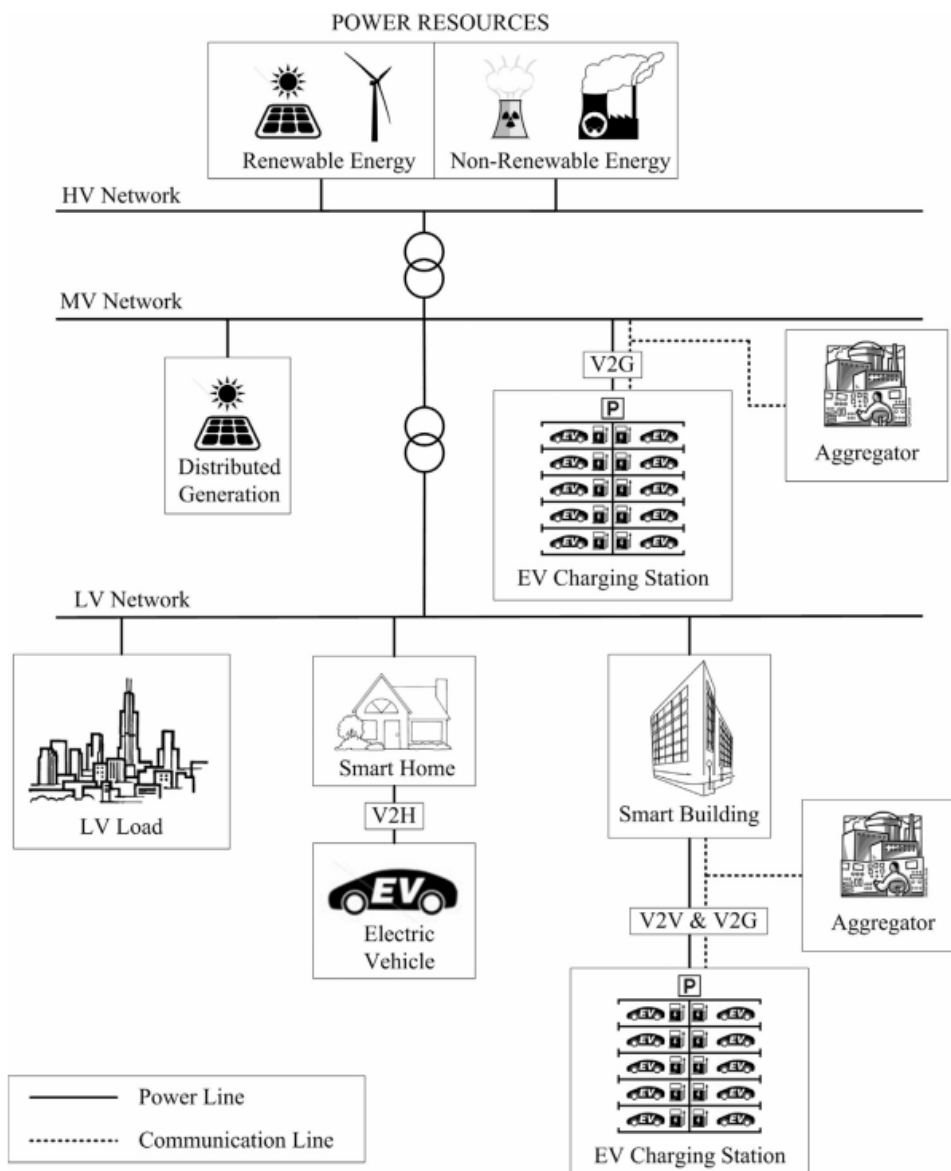
Τα EV δεν λειτουργούν μόνο ως εκφορτιστές μπαταριών λόγω κίνησης αλλά μπορούν αμφίδρομα να συνδράμουν στο ηλεκτρικό δίκτυο παρέχοντας ενέργεια όταν αυτό είναι επιβαρυνμένο ή όταν η τιμή του ρεύματος είναι ακριβή. Το ηλεκτρικό δίκτυο αντιμετωπίζει ώρες αιχμής όπου οι απαιτήσεις σε ρεύμα είναι μεγάλες, είτε λόγω λειτουργίας βιομηχανιών ή πολλών νοικοκυριών ταυτόχρονα, και σε αυτές τις ώρες τα EV μπορούν να προσφέρουν ενέργεια στο δίκτυο και ο χρήστης να έχει οικονομικά οφέλη, αφενός πουλώντας το ρεύμα σε καλή τιμή και φορτίζοντας το βράδυ όπου η τιμή είναι χαμηλή. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας ονομάζεται V2G, Vehicle to Grid.

### **6.4.1 Η ιδέα και το θεωρητικό πλαίσιο της ιδέας V2G.**

Η τεχνολογία των EV έχει προσελκύσει την προσοχή των κυβερνήσεων και του αγοραστικού κοινού καθότι πλέον αυξάνονται οι ανησυχίες για το περιβάλλον αλλά και για το αυξανόμενο κόστος των ορυκτών καυσίμων. Η ενοποίηση του τομέα των μεταφορών και του ηλεκτρικού δικτύου θα οδηγήσει σε πολλά απαιτητικά ζητήματα στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, μια μεγάλη εισροή EV θα αυξήσει το φορτίο δικτύου ενέργειας κατά τη διαδικασία φόρτισης πολλών EV. Ωστόσο, οι προβλεπόμενες εισροές των EV έχουν επίσης ανοίξει το ενδεχόμενο υλοποίησης του V2G.

Το V2G αναφέρεται στον έλεγχο και τη διαχείριση μονάδων EV από τον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής (power utility) ή τις εταιρίες διαχείρισης ενέργειας (aggregators) μέσω της επικοινωνίας μεταξύ οχημάτων και δικτύου ενέργειας. Υπάρχουν τρεις γενικές τεχνολογικές ιδέες πάνω στα EV που θα συνδέονται με το δίκτυο ενέργειας, οι οποίες είναι το Vehicle to Home (V2H), το Vehicle to Vehicle (V2V) και το Vehicle to Grid (V2G) [83]. Το V2H αναφέρεται στην ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ της μπαταρίας του EV και του οικιακού δικτύου τροφοδοσίας. Σε αυτήν την περίπτωση, η μπαταρία του EV μπορεί να λειτουργήσει ως αποθήκη ενέργειας, η οποία παρέχει την εφεδρική ενέργεια στις

οικιακές ηλεκτρικές συσκευές και στις οικιακές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας [84]. Το V2V αναφέρεται σε μια τοπική κοινότητα που αποτελείται από EV που μπορούν να φορτιστούν ή να αποφορτιστούν μεταξύ τους. Η V2G χρησιμοποιεί την ενέργεια από την τοπική κοινότητα των EV και την δίνει στο δίκτυο τροφοδοσίας μέσω ελέγχου και διαχείρισης του τοπικού ΦΟΣΕΦΗΟ [85]. Γενικά, τα V2H, V2V και V2G περιλαμβάνουν στοιχεία όπως οι πηγές ενέργειας, φορτία ενέργειας, διαχειριστές δικτύου ενέργειας, σύστημα μετάδοσης ενέργειας, σύστημα επικοινωνίας, ηλεκτρικά οχήματα και V2G φορτιστές. Ο σχηματισμός ενός τυπικού συστήματος V2G φαίνεται στην Εικόνα 6.4.



Εικόνα 6.4: V2H, V2V και V2G υλοποιήσεις δικτύων.

## **6.5 Η ροή ισχύος από το όχημα στο δίκτυο ενέργειας.**

Το V2G αναφέρεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρικού οχήματος και του δικτύου ενέργειας με τη βοήθεια του συστήματος επικοινωνίας. Το σύστημα επικοινωνίας είναι ένα σύνολο ηλεκτρονικών στοιχείων που φέρει το όχημα και επικοινωνεί με τον ΦΟΣΕΦΗΟ και τις άλλες εμπλεκόμενες με το EV υπηρεσίες. Ο χειριστής του δικτύου ενέργειας χρησιμοποιεί το σύστημα επικοινωνίας για τον έλεγχο και τη διαχείριση της ροής ισχύος μεταξύ της μπαταρίας του EV και του δικτύου ενέργειας για να επιτύχει τα επιθυμητά οφέλη. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι στόχοι της διαχείρισης V2G είναι η μεγιστοποίηση του κέρδους, η μείωση των εκπομπών και η βελτίωση της ποιότητας του δικτύου [86,87].

### **6.5.1 Μονής κατεύθυνσης V2G.**

Το μονής κατεύθυνσης V2G είναι μια τεχνολογία που ελέγχει το ρυθμό φόρτισης της μπαταρίας του EV σε μία μόνο φόρτιση μεταξύ του EV και του δικτύου [88,89]. Η υλοποίηση του μονής κατεύθυνσης V2G δεν είναι μια ακριβή διαδικασία και γίνεται με την προσθήκη ενός απλού ελεγκτή στο όχημα για τη διαχείριση του ρυθμού φόρτισης.

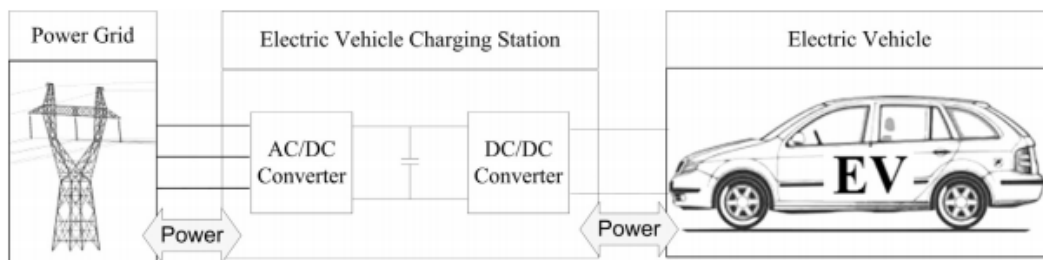
Η υπηρεσία V2G μονής κατεύθυνσης μπορεί να παρέχει βοηθητικές υπηρεσίες δικτύου, όπως ρύθμιση του δικτύου ενέργειας [90,91]. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την ευελιξία των λειτουργιών του δικτύου. Η εφαρμογή της μονής κατεύθυνσης V2G τεχνολογίας χρειάζεται την ύπαρξη μιας ελκυστικής πολιτικής εμπορίας ενέργειας μεταξύ των ιδιοκτητών EV και του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (power utility) [92,93]. Προκειμένου να ενθαρρυνθεί η συμμετοχή των ιδιοκτητών EV, αυτή η πολιτική εμπορίας ενέργειας θα πρέπει να εξασφαλίσει κέρδος στους ιδιοκτήτες EV, εάν φορτίζουν τα EV τους εκτός των ωρών αιχμής και περιορίζουν τη φόρτιση τους κατά τις περιόδους αιχμής [94–96]. Ταυτόχρονα, ο σταθμός φόρτισης μπορεί να αποφύγει την υπερφόρτωση κατά τις ώρες αιχμής. Επιπλέον, το μονής κατεύθυνσης V2G μπορεί να επιτύχει μεγιστοποίηση του κέρδους και ελαχιστοποίηση των εκπομπών χρησιμοποιώντας τεχνικές βελτιστοποίησης [86,97].

Ωστόσο, οι μονής κατεύθυνσης υπηρεσίες V2G έχουν κάποιους περιορισμούς όσον αφορά το ηλεκτρικό δίκτυο. Λειτουργίες όπως το μέγιστο κόψιμο φορτίου (peak load shaving), η υποστήριξη αντιδραστικής ισχύς (reactive power support), η ρύθμιση τάσης

και η ρύθμιση συχνότητας είναι οι υπηρεσίες που μπορούν να επιτευχθούν μόνο με αμφίδρομο V2G.

### 6.5.2 Αμφίδρομο V2G

Το αμφίδρομο V2G σύστημα αναφέρεται στη ροή ισχύος διπλής κατεύθυνσης μεταξύ EV και του δικτύου ενέργειας για να επιτύχει διάφορα οφέλη [98]. Ένας τυπικός αμφίδρομος φορτιστής μπαταρίας EV αποτελείται από μετατροπέα AC / DC και μετατροπέα DC / DC όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 6.5 [71,99]. Ο μετατροπέας AC / DC χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της τροφοδοσίας AC από το δίκτυο ενέργειας στην τροφοδοσία DC κατά τη διάρκεια της φόρτισης του EV και αναστρέφει την ισχύ DC σε AC πριν από την διάχυση του πίσω στο δίκτυο τροφοδοσίας στη λειτουργία εκφόρτισης. Από την άλλη, ο μετατροπέας DC / DC είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της ροής αμφίδρομης ισχύος χρησιμοποιώντας την τεχνική ελέγχου ρεύματος. Ο μετατροπέας DC / DC λειτουργεί ως μετατροπέας buck ή boost κατά τη λειτουργία φόρτισης ή εκφόρτισης, αντίστοιχα.



Εικόνα 6.5: Μεταφορά ενέργειας στο σύστημα V2G.

Το αμφίδρομο V2G παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία και δυνατότητες για την βελτίωση των λειτουργιών του συστήματος ενέργειας. Τα κύρια οφέλη είναι η ενεργή υποστήριξη ισχύος (active power support), η αντιδραστικής υποστήριξη ισχύος (reactive power support), η ρύθμιση συντελεστών ισχύος και η υποστήριξη για την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ενεργή υποστήριξη ισχύος από αμφίδρομο V2G μπορεί να επιτύχει μέγιστες υπηρεσίες εξομάλυνσης (shaving) και εξισορρόπησης (leveling) φορτίου [100,101]. Αυτές οι υπηρεσίες επιτυγχάνονται φορτίζοντας το EV εκτός τις ώρες

αιχμής λειτουργίας και εισάγοντας επιπλέον ενέργεια στο δίκτυο ενέργειας του EV κατά τις ώρες αιχμής. Εκτός από την παροχή ενεργής υποστήριξης, το αμφίδρομο V2G έχει τη δυνατότητα ρύθμισης της τάσης δικτύου [102]. Αυτή η υπηρεσία μπορεί να υλοποιηθεί με επαρκές μέγεθος φορτιστή DC πυκνωτή σύνδεσης και κατάλληλη εναλλαγή ελέγχου. Η ρύθμιση του συντελεστή ενέργειας είναι επίσης μία από τις εξέχουσες υπηρεσίες που προσφέρει η αμφίδρομη τεχνολογία V2G, η οποία μπορεί να μειώσει τις απώλειες ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επιπλέον, το αμφίδρομο V2G βοηθά επίσης την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο [72, 103]. Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως οι ανεμογεννήτριες και τα ηλιακά φωτοβολταϊκά είναι απρόβλεπτα καθώς αυτοί οι ανανεώσιμοι ενεργειακοί πόροι εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον καιρό.

Προς το παρόν, η εφαρμογή του αμφίδρομου V2G αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις. Ένα από τα εμπόδια είναι το ζήτημα εκφυλισμού της μπαταρίας λόγω των συχνών κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης που απαιτούνται από την αμφίδρομη εφαρμογή V2G [104]. Η πολυπλοκότητα του αμφίδρομου φορτιστή μπαταρίας απαιτεί επιπλέον υλικό και οδηγεί στην ανάγκη για επιπλέον επενδύσεις. Επιπλέον, ο κοινωνικός παράγοντας είναι μια άλλη σημαντική πρόκληση για την εφαρμογή του αμφίδρομου V2G. Για λόγους ασφαλείας, οι ιδιοκτήτες EV συνήθως θα προσπαθήσουν να έχουν υψηλή κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας για την απροσδόκητη χρήση ταξιδιού [69]. Αυτό θα τους εμποδίσει να συμμετέχουν ενεργά στις αμφίδρομες υπηρεσίες του V2G.

Η επιτυχής εφαρμογή του V2G απαιτεί περαιτέρω τεχνολογικές βελτιώσεις. Επί του παρόντος, σε πολλές χώρες εφαρμόζεται μονής κατεύθυνσης V2G για την βελτίωση του κοινωνικού παράγοντα, προκειμένου να τονωθεί η εισχώρηση των EV στην αγορά. Το αμφίδρομο V2G θα μπορούσε να υιοθετηθεί στο μέλλον όταν η αγορά και η τεχνολογία προετοιμασθούν.

## **6.6 V2G πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

### **6.6.1 V2G υπηρεσίες και πλεονεκτήματα**

Η τεχνολογία V2G μπορεί να παρέχει πολλές υπηρεσίες για την επίτευξη διαφόρων ωφελημάτων. Η εφαρμογή του V2G μπορεί να παρέχει ρύθμιση συχνότητας, φιλτράρισμα των αρμονικών και ακόμη και αποκατάσταση αστοχίας στο σύστημα ισχύος κατά τη διακοπή ρεύματος [102,106]. Τα πλεονεκτήματα του V2G συστήματος δεν είναι μόνο τα

προνόμια ως προς την τροφοδοσία αλλά και αφορούν και τους ιδιοκτήτες των EV. Η τεχνολογία V2G μπορεί να παρέχει αδιάλειπτη ενεργειακή υποστήριξη για οικιακή και εφεδρική αποθήκευση ενέργειας ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στο σπίτι [72,107]. Τα κύρια οφέλη των V2G, τα οποία θα συζητηθούν λεπτομερικά περαιτέρω, περιλαμβάνουν βοηθητικές υπηρεσίες, ενεργή υποστήριξη ισχύος και υποστήριξη για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

### 6.6.2 Βοηθητικές υπηρεσίες

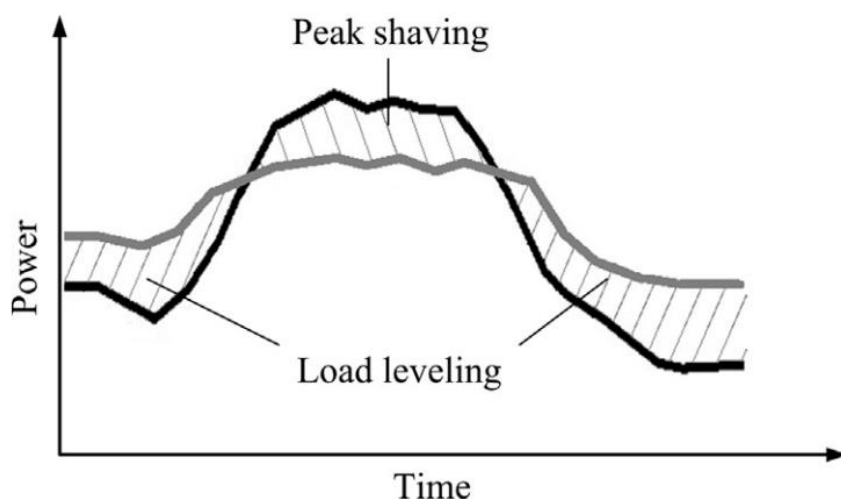
Το μονοκατευθυντικό V2G παρέχει τις βοηθητικές υπηρεσίες “load only” στο δίκτυο ενέργειας ελέγχοντας τους ρυθμούς φόρτισης των EV κατόπιν αιτήματος των χειριστών του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας [108]. Ο ΦΟΣΕΦΗΟ διαχειρίζεται και ελέγχει μια μεγάλη ομάδα EV για την επίτευξη των βοηθητικών υπηρεσιών. Οι βοηθητικές υπηρεσίες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, που είναι η ρύθμιση του δικτύου ενέργειας και η στρεφόμενη εφεδρεία [68]. Ο ρυθμιστής του ηλεκτρικού δικτύου παρέχει μια ρύθμιση συχνότητας ώστε να ταιριάζει με τη ζήτηση και παραγωγή του φορτίου. Οι διαχειριστές του δικτύου λαμβάνουν συνήθως άμεσο έλεγχο αυτού του ρυθμιστή για να ανταποκριθούν εγκαίρως στη ζήτηση του δικτύου αυξάνοντας ή μειώνοντας την παραγωγή ενέργειας [109]. Παρ' όλα αυτά, η ισορροπία ισχύος μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση της μονοκατευθυντικής τεχνολογίας V2G για τη ρύθμιση της ζήτησης φορτίου EV σε δύο τρόπους λειτουργίας, οι οποίες είναι η λειτουργία «ρύθμιση προς τα πάνω» και η «ρύθμιση προς τα κάτω».

Από την άλλη, η στρεφόμενη εφεδρεία είναι μια επιπλέον πηγή ενέργειας που παρέχει γρήγορη απόκριση, μέσα σε 10 λεπτά, ώστε να αντισταθμιστεί η διακοπή παραγωγής ενέργειας [109,110]. Προκειμένου να επιτευχθούν οι υπηρεσίες στρεφόμενης εφεδρείας χρησιμοποιώντας μονοκατευθυντικό V2G, η πρόσθετη στρεφόμενη εφεδρεία επιτυγχάνεται μειώνοντας τους ρυθμούς φόρτισης του EV σε χαμηλότερο νέο επιθυμητό επίπεδο. Οι βοηθητικές υπηρεσίες που παρέχονται από κάθε EV αντισταθμίζονται με βάση το χρονικό διάστημα που οι υπηρεσίες είναι διαθέσιμες παρόλο που δεν παρέχεται ενέργεια στο δίκτυο ενέργειας. Αυτή η πολιτική είναι ελκυστική για τις εταιρίες που συλλέγουν πληροφορίες (ΦΟΣΕΦΗΟ) για τα EV και τους ιδιοκτήτες των οχημάτων, καθώς τα έσοδα είναι εγγυημένα [111,112]. Με σκοπό την παροχή βοηθητικών υπηρεσιών, οι βέλτιστοι μονοκατευθυντικοί προγραμματισμοί του V2G δείχνουν υψηλά κέρδη για τους συμμετέχοντες.



### 6.6.3. Ενεργή υποστήριξη ισχύος

Στην συνέχεια παρουσιάζεται μια ακόμα υπηρεσία V2G η οποία χρησιμοποιεί την περίσσεια ενέργεια του EV για να παρέχει υποστήριξη ενεργού ισχύος στο δίκτυο ενέργειας. Η υποστήριξη ενεργού ισχύος απαιτεί το EV να αποφορτίσει την ενέργεια των μπαταριών και ως εκ τούτου, μπορεί να επιτευχθεί μόνο χρησιμοποιώντας αμφίδρομο V2G αλλά όχι μονοκατευθυντικό V2G. Ο στόχος αυτής της υπηρεσίας είναι να επιτύχει φόρτωση δικτύου με το "αποκοπή κορυφών φορτίου" ("peak load shaving") και "εξομάλυνσης φορτίου" ("load leveling"). Η Εικόνα 6.6 δείχνει τη σύγκριση ενός τυπικού οικιακού ηλεκτρικού φορτίου πριν και μετά την εφαρμογή της αποκοπής κορυφών φορτίου και της εξομάλυνσης φορτίου.



Εικόνα 6.6: Ένταση φορτίου πριν και μετά την εφαρμογή της αποκοπής κορυφών φορτίου και της εξομάλυνσης φορτίου [109].

Η μέγιστη ισχύς συνήθως απαιτείται για ένα μικρό χρονικό διάστημα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Ως εκ τούτου, θα είναι πιο οικονομικό να παρέχεται η μέγιστη ζήτηση φορτίου από τις πηγές διανομής, όπως για παράδειγμα τα EV που συνδέονται με το δίκτυο [109]. Τα EV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τροφοδοσία ενέργειας στο δίκτυο ενέργειας κατά τη διάρκεια της περιόδου κορύφωσης ζήτησης φορτίου ώστε να αποκόψουν την κορύφωση. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της εφαρμοζόμενης πίεσης στα εξαρτήματα του συστήματος ενέργειας κατά τη διάρκεια της μέγιστης περιόδου φόρτωσης και οι ιδιοκτήτες EV θα πληρώνονται με έναν αυξημένο ενεργειακό

συντελεστή. Εκτός των ωρών αιχμής, οι ιδιοκτήτες EV μπορούν να φορτίζουν τις μπαταρίες τους με χαμηλότερη τιμή ενέργειας.

Η υποστήριξη ενεργού ισχύος είναι μια σημαντική υπηρεσία του V2G λόγω των αυξημένων πλεονεκτημάτων που μπορεί να επιτύχει. Ένα από τα πλεονεκτήματα είναι η μείωση των απωλειών. Διατηρώντας την λειτουργικότητα του συστήματος ισχύος σε χαμηλότερα επίπεδα, οι συνολικές απώλειες ισχύος μειώνονται [113]. Παραδοσιακά, το σύστημα ενέργειας κατασκευάζεται για να καλύψει την κορύφωση της ζήτησης φορτίου. Έτσι, ο εξοπλισμός ενέργειας δεν χρησιμοποιείται εκτός των ωρών αιχμής. Επιπλέον, η μετατόπιση του χρόνου φόρτισης των EV εκτός των ωρών αιχμής είναι μια καλή μέθοδος για την αποφυγή της υπερφόρτωσης του συστήματος ισχύος και της φθοράς του εξοπλισμού [115,116].

Η εφαρμογή του V2G για να επιτευχθεί το peak load shaving και το load leveling καθορίζεται από τη διαθεσιμότητα της χωρητικότητας της μπαταρίας του EV που είναι συνδεδεμένη στο σύστημα ισχύος. Για τη διαχείριση ενέργειας του EV, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες, όπως η πιθανότητα σύνδεσης του EV στο δίκτυο ενέργειας, η διαθέσιμη ενέργεια στην μπαταρία του EV και το βάθος εκφόρτισης (Depth Of Discharge) της μπαταρίας του EV [117]. Η έρευνα συνεχώς εξελίσσεται για το σχεδιασμό μιας στρατηγικής ελέγχου V2G λαμβάνοντας υπόψη τους σχετικούς περιορισμούς. Τεχνικές βελτιστοποίησης, μπορούν επίσης να αυξήσουν τα οφέλη για τους ιδιοκτήτες EV [100,114].

#### **6.6.4. Υποστήριξη για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

Οι μονάδες παραγωγής ενέργειας και ο τομέας των μεταφορών είναι οι δύο κύριες πηγές εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα [59]. Το φαινόμενο αυτό έχει φτάσει σε επίπεδο που απειλεί τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στην προστασία του περιβάλλοντος. Ωστόσο, η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξαρτάται σε μεγάλο

βαθμό από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η απρόβλεπτη και μη σταθερή παραγωγή ενέργειας είναι το μειονέκτημα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η συμπερίληψη των EV στο σύστημα ενέργειας μπορεί να είναι μια λύση στα παραπάνω ζητήματα [118]. Το ζήτημα με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να λυθεί χρησιμοποιώντας ένα πλήθος EV ως εφεδρικούς ενεργειακούς πόρους ή ενεργειακές αποθήκες [118]. Τα EV λειτουργούν ως εφεδρικές παροχή ενέργειας ώστε να καλυφθεί η απαραίτητη ισχύ όταν η παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ανεπαρκής. Παράλληλα, ενεργούν ως αποθήκες ενέργειας για να απορροφήσουν την περίσσεια ισχύ που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές, που διαφορετικά θα πετιόταν. Η έρευνα έχει δείξει ότι μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη χωρητικότητα ανανεώσιμης ενέργειας στο σύστημα ενέργειας με την χρήση EV συνδεδεμένα σε δίκτυο. Ως εκ τούτου, τα EV είναι ικανά να βελτιώσουν την οικονομία της βιομηχανίας παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Με τη σωστή διαχείριση ενέργειας μεταξύ ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και EV, το μελλοντικό δίκτυο ενέργειας θα είναι καθαρότερο και πιο βιώσιμο [118].

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Αυτή η εργασία επικεντρώθηκε στα βασικά συστήματα ενός ηλεκτρικού αυτοκίνητου και εξετάστηκαν οι κύριες τεχνολογίες των κυρίων τμημάτων. Τα βασικά συμπεράσματα αυτής της εργασίας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

Τα EV μπορούν να ταξινομηθούν ως BEV, HEV, PHEV και FCEV, με τα BEV και τα PHEV να είναι η τρέχουσα τάση στην ηλεκτρική αυτοκίνηση, και τα FCEV να έχουν την δυνατότητα να γίνουν η κύρια τάση στο μέλλον. Οι κυψέλες καυσίμου χαμηλού κόστους είναι η κύρια προϋπόθεση για να συμβεί αυτό, αλλά ταυτόχρονα απαιτείται περισσότερη έρευνα. Υπάρχουν επίσης μεγάλες πιθανότητες για τα BEV να είναι κυρίαρχοι της αγοράς αρκεί να υπάρξει πρόοδος στις βασικές τεχνολογίες. Τα συστήματα αποθήκευσης και φόρτισης ενέργειας είναι δύο βασικοί παράγοντες. Επί του παρόντος, τα FCV φαίνεται να έχουν ελάχιστες πιθανότητες να γίνουν πανταχού παρόντα και μπορεί να βρουν δημοτικότητα σε εξειδικευμένες αγορές.

Τα EV μπορούν να έχουν κίνηση μπροστινού τροχού, κίνηση πίσω τροχού, ακόμη και τετρακίνηση. Εφαρμόζονται διαφορετικές διαμορφώσεις ανάλογα με την κίνηση του οχήματος. Ο κινητήρας μπορεί επίσης να τοποθετηθεί μέσα στον τροχό του οχήματος που προσφέρει ξεχωριστά πλεονεκτήματα. Αυτή η διαμόρφωση δεν επικρατεί πλέον στο εμπόριο και υπάρχουν περιθώρια για περισσότερη έρευνα ώστε να μετατραπεί σε βιώσιμο προϊόν.

Οι κύριες διαμορφώσεις των HEV ταξινομούνται ως σειριακή, παράλληλη και σειριακή-παράλληλη. Τα τρέχοντα οχήματα χρησιμοποιούν το σύστημα σειριακό-παράλληλο κυρίως καθώς μπορεί να λειτουργήσει τόσο μόνο με μπαταρία όσο και μόνο με ICE, παρέχοντας μεγαλύτερη απόδοση και λιγότερη κατανάλωση καυσίμου από τα άλλα δύο συστήματα.

Επί του παρόντος τα EV χρησιμοποιούν τις μπαταρίες ως την κύρια πηγή ενέργειας. Η τεχνολογία της μπαταρίας έχει υποστεί σημαντικές αλλαγές, η τεχνολογία μολύβδου-οξέος έχει παρέλθει από καιρό, όπως και ο τύπος NiMH. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούνται επί του παρόντος, αλλά ακόμη και δεν είναι αρκετά ικανές να παρέχουν την απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας για να καθησυχάσουν τους καταναλωτές που πάσχουν από «άγχος εύρους» στις περισσότερες περιπτώσεις. Επομένως, ο κύριος στόχος της έρευνας σε αυτόν τον τομέα πρέπει να είναι η δημιουργία μπαταριών με περισσότερη

χωρητικότητα και επίσης με μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος. Οι μπαταρίες μετάλλου - αέρα μπορούν να είναι η κατεύθυνση προς την οποία θα πρέπει να κατευθυνθούν οι κατασκευαστές EV. Η μπαταρία λιθίου-θείου και οι προηγμένες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ψευδαργύρου έχουν επίσης καλύτερες δυνατότητες για εφαρμογή στα EV. Παρόλα αυτά, οι πηγές ενέργειας χαμηλού κόστους θα αναζητούνται πάντα, καθώς το κόστος είναι ένας από τους σημαντικότερους συντελεστές στο υψηλό κόστος EV.

Οι υπερπυκνωτές θεωρούνται βοηθητικές πηγές ισχύος λόγω της υψηλής πυκνότητας ισχύος τους. Εάν συνδυαστούν με μπαταρίες, οι υπερπυκνωτές παράγουν ένα υβριδικό σύστημα ισχύος που μπορεί να πλησιάσει τις απαιτήσεις που ζητούνται από μια ιδανική πηγή. Χρησιμοποιούνται επίσης οι σφόνδυλοι, ειδικά λόγω της συμπαγούς κατασκευής και της ικανότητάς τους να αποθηκεύουν και να εκφορτίζουν ενέργεια κατόπιν αιτήματος. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν περισσότερο στο μέλλον εάν τα FCV αποκτήσουν δημοτικότητα.

Όσον αφορά τους κινητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί τύποι κινητήρων στα EV. Οι κύριοι υποψήφιοι για αυτόν τον σκοπό είναι ο κινητήρας επαγωγής, ο σύγχρονος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη και ο κινητήρας διακοπτικής διέγερσης. Οι επαγωγικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται εκτενώς αυτές τις μέρες, και μπορεί επίσης να κυριαρχήσουν στο μέλλον λόγω της ανεξαρτησίας τους από μόνιμους μαγνήτες σπάνιων γαιών.

Τα EV επηρεάζουν το περιβάλλον, το δίκτυο παροχής ενέργειας και την οικονομία, παράλληλα με τον τομέα των μεταφορών. Δείχνουν πολλά υποσχόμενα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου καθώς και μία αποτελεσματική και οικονομική λύση στο θέμα των μεταφορών. Ταυτόχρονα, μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στο δίκτυο παροχής ενέργειας, προκαλώντας αστάθεια τάσης, και πτώση της τάσης, αλλά αυτά τα μειονεκτήματα μπορεί να είναι βραχύβια, εάν χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες έξυπνου δικτύου. Υπάρχουν προοπτικές έρευνας στους τομείς του V2G, των έξυπνων μετρήσεων, της ενσωμάτωσης των ΑΠΕ και της σταθερότητας του συστήματος που σχετίζονται με τη διείσδυση των EV.

Εκτός από τα EV, σε αυτήν την εργασία εξετάστηκαν το πλαίσιο, οι τύποι, οι υπηρεσίες και οι προκλήσεις που προκύπτουν από την ενσωμάτωση των EV στο έξυπνο δίκτυο μιας περιοχής (smart-grid). Το έξυπνο δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που περιλαμβάνει μια ποικιλία λειτουργιών και ενεργειών, συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων μετρητών, έξυπνων συσκευών, πηγών ενέργειας και δικτύων διανομής. Η αυτόματη ρύθμιση παροχής ενέργειας και ο έλεγχος της παραγωγής και της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν

σημαντικές πτυχές του έξυπνου δικτύου. Το V2G είναι μια τεχνολογία του smart-grid η οποία επιτρέπει την ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ οχήματος και ηλεκτρικού δικτύου. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο διαφορετικούς τύπους, οι οποίοι είναι το μονής κατεύθυνσης V2G και το αμφίδρομο V2G με βάση τη ροή ενέργειας μεταξύ δικτύου και EV. Και οι δύο τύποι V2G είναι σε θέση να παρέχουν πολυάριθμες υπηρεσίες στο ηλεκτρικό δίκτυο, όπως βοηθητικές υπηρεσίες, αποκοπή κορυφών φορτίου, εξομάλυνση φορτίου και ως λύση για το πρόβλημα διακοπτόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Οι τεχνικές βελτιστοποίησης είναι απαραίτητες για τη διαχείριση ενός V2G δικτύου, καθώς πρέπει να καλύψει τους πολύπλοκους περιορισμούς του συστήματος ενεργειακά και να επιτύχει διάφορους στόχους. Η αρχική απαίτηση για την υλοποίηση της τεχνολογίας V2G είναι η διαθεσιμότητα των σχετικών τεχνολογιών. Παρά τις αξιοσημείωτες βελτιώσεις τις τελευταίες δεκαετίες, οι μπαταρίες ενός EV και οι φορτιστές του V2G βρίσκονται ακόμη στην πειραματική φάση. Επιπλέον, ένα πλήρες δίκτυο σταθμών φόρτισης EV με αμφίδρομη υποδομή επικοινωνίας είναι απαραίτητο για τη μελλοντική ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης. Η ηλεκτροδότηση της βιομηχανίας μεταφορών και της τεχνολογίας V2G είναι αναμφίβολα μακροπρόθεσμες φιλοδοξίες. Παρ'όλα αυτά, η τεχνολογία V2G είναι μια συναρπαστική προοπτική, η οποία μπορεί να αποφέρει περιβαλλοντικά οφέλη και πολλές υπηρεσίες στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η επίτευξη της τεχνολογίας V2G χρειάζεται την ενεργό συμμετοχή και συνεργασία κυβερνητικών, ηλεκτρικών υπηρεσιών, αθροιστών V2G και ιδιοκτητών EV.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Intergovernmental Panel On Climate Change, “CLIMATE CHANGE 2014” Mitigation of Climate Change Summary for Policymakers and Technical Summary, 2015
- [2] M.Weeda, P. Wurster, G. Schaap, F.Mulder, “Towards a comprehensive hydrogen infrastructure for fuel cell electric cars in view of EU GHG reduction targets”, *Hydrogen Infrastructure for Transportation*, Trans-European Transport Network, 2014
- [3] P. Siskos, A. De Vita, P. Capros, "The role of carbon standards on passenger cars towards the reduction of GHG emissions in EU: A model-based scenario analysis," *2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC)*, Florence, 2014, pp. 1-8
- [4] E.Helmers, P.Marx, “Electric cars: technical characteristics and environmental impacts”, *Environmental Sciences Europe*, Vol. 24, Iss. 14, April 2012
- [5] World Annual Oil Production (1900-2018) and Peak Oil (2005-2020 Scenarios), [transportgeography.org](http://transportgeography.org), [online], available: [https://transportgeography.org/?page\\_id=5944](https://transportgeography.org/?page_id=5944), accessed: 01/08/20
- [6] H.Vajjarapu, A Verma, S.Gulzar, “Adaptation Policy Framework for Climate Change Impacts on Transportation Sector in Developing Countries.” *Transportation in Developing Economies*, Vol. 5, Iss.1, 2019
- [7] J.V.Mierlo, “The World Electric Vehicle Journal, The Open Access Journal For The E-Mobility Scene”, *World Electric Vehicle Journal*, Vol. 9, Iss. 8, May 2018
- [8] R.Argueta, “A Technical Research Report: The Electric Vehicle”, University of California Santa Barbara College of Engineering, 2010
- [9] M. Guarnieri, "Looking back to electric cars", *2012 Third IEEE History of Electro-technology Conference (HISTELCON)*, Pavia, 2012, pp. 1-6
- [10] A.Emadi, “Transportaiton 2.0”, *IEEE power & energy magazine*, pp 18-29, 2011
- [11] J.Ying, Yong, V.K.Ramachandaramurthy, K.Miao Tan, N. Mithulananthan, “A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 49, Iss. 1, pp. 365-385, 2015

- [12] A.Emadi, Y.J.Lee, K.Rajashekara, “Power Electronics and Motor Drives in Electric, Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 55, Iss. 6, pp. 2237–2245, 2008
- [13] P.Plötz, S.Funke, P.Jochem, “Empirical Fuel Consumption and CO2 Emissions of Plug-In Hybrid Electric Vehicles.” *Journal of Industrial Ecology*, Vol.22, Iss4, pp. 773–784, 2017
- [14] X.Wu, M.Aviquzzaman, Z.Lin, “Analysis of plug-in hybrid electric vehicles’ utility factors using GPS-based longitudinal travel data.”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 57, Iss. 1, pp. 1–12, 2015
- [15] Thomas, C.E. Fuel cell and battery electric vehicles compared. *Int. J. Hydrogen Energy* 2009, 34, 6005–6020.
- [16] Rajashekara, K. Present status and future trends in electric vehicle propulsion technologies. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.* 2013, 1, 3–10.
- [17] Chan, C.C. The state of the art of electric and hybrid vehicles. *Proc. IEEE* 2002, 90, 247–275.
- [18] Sato, M.; Yamamoto, G.; Gunji, D.; Imura, T.; Fujimoto, H. Development of Wireless In-Wheel Motor Using Magnetic Resonance Coupling. *IEEE Trans. Power Electron.* 2016, 31, 5270–5278.
- [19] Kurs, A.; Karalis, A.; Moffatt, R.; Joannopoulos, J.D.; Fisher, P.; Soljačić, M. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances. *Science* 2007, 317, 83–86.
- [20] Imura, I.; Uchida, T.; Hori, Y. Flexibility of contactless power transfer using magnetic resonance coupling to air gap and misalignment for EV. *World Electr. Veh. J.* 2009, 3, 24–34.
- [21] Nakadachi, S.; Mochizuki, S.; Sakaino, S.; Kaneko, Y.; Abe, S.; Yasuda, T. Bidirectional contactless power transfer system expandable from unidirectional system. In *Proceedings of the 2013 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, Denver, CO, USA, 15–19 September 2013*; pp. 3651–3657.
- [22] Gao, Y.; Ehsani, M.; Miller, J.M. Hybrid Electric Vehicle: Overview and State of the Art. In *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Dubrovnik, Croatia, 20–23 June 2005*; pp. 307– 316.
- [23] Miller, J.M. Hybrid electric vehicle propulsion system architectures of the e-CVT type. *IEEE Trans. Power Electron.* 2006, 21, 756–767.



- [24] Kim, H.; Kum, D. Comprehensive Design Methodology of Input- and Output-Split Hybrid Electric Vehicles: In Search of Optimal Configuration. *IEEE/ASME Trans. Mechatron.* 2016, 21, 2912–2923.
- [25] Kim, D.; Hwang, S.; Kim, H. Vehicle Stability Enhancement of Four-Wheel-Drive Hybrid Electric Vehicle Using Rear Motor Control. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2008, 57, 727–735.
- [26] J. Y. Yong, V. Ramachandaramurthy, K. M. Tan και N. Mithulananthan, «A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 365-385, 2015.
- [27] D. J. Ferris, «NIO’s electric car battery swapping station looks to pick up where Tesla left off,» *teslarati*, 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.teslarati.com/nio-battery-swapping-station-power-swap/>.
- [28] Li, Y.; Yang, J.; Song, J. Nano energy system model and nanoscale effect of graphene battery in renewable energy electric vehicle. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 69, 652–663.
- [29] Khaligh, A.; Li, Z. Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2010, 59, 2806–2814.
- [30] Williamson, S.S.; Rathore, A.K.; Musavi, F. Industrial electronics for electric transportation: Current state-of-the-art and future challenges. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2015, 62, 3021–3032.
- [31] Cassani, P.A.; Williamson, S.S. Feasibility analysis of a novel cell equalizer topology for plug-in hybrid electric vehicle energy-storage systems. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2009, 58, 3938–3946.
- [32] Baughman, A.C.; Ferdowsi, M. Double-tiered switched-capacitor battery charge equalization technique. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2008, 55, 2277–2285.
- [33] Nishijima, K.; Sakamoto, H.; Harada, K. A PWM controlled simple and high performance battery balancing system. In *Proceedings of the IEEE Power Electronics Specialists Conference, Galway, Ireland, 23 June 2000; Volume 1*, pp. 517–520.
- [34] 2017 Nissan LEAF® Electric Car Specs. Available online: <https://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/versions-specs/>
- [35] Model S Specifications | Tesla. Available online: <https://www.tesla.com/support/model-s-specifications>

- [36] Why We Still Don't Have Better Batteries—MIT Technology Review. Available online: <https://www.technologyreview.com/s/602245/why-we-still-dont-have-better-batteries/>
- [37] Camacho, O.M.F.; Nørgård, P.B.; Rao, N.; Mihet-Popa, L. Electrical Vehicle Batteries Testing in a Distribution Network using Sustainable Energy. *IEEE Trans. Smart Grid* 2014, 5, 1033–1042.
- [38] Grunditz, E.A.; Thiringer, T. Performance Analysis of Current BEVs Based on a Comprehensive Review of Specifications. *IEEE Trans. Transp. Electr.* 2016, 2, 270–289.
- [39] Ribeiro, P.F.; Johnson, B.K.; Crow, M.L.; Arsoy, A.; Liu, Y. Energy storage systems for advanced power applications. *Proc. IEEE* 2001, 89, 1744–1756.
- [40] Bartley, T. Ultracapacitors and batteries for energy storage in heavy-duty hybrid-electric vehicles. In Proceedings of the 22nd International Battery Seminar & Exhibit, Fort Lauderdale, FL, USA, 14–17 March 2005.
- [41] Gigaom | How Ultracapacitors Work (and Why They Fall Short). <https://gigaom.com/2011/07/12/how-ultracapacitors-work-and-why-they-fall-short/>
- [42] Chiu, H.J.; Lin, L.W. A bidirectional DC-DC converter for fuel cell electric vehicle driving system. *IEEE Trans. Power Electron.* 2006, 21, 950–958.
- [43] Mahlia, T.M.I.; Saktisahdan, T.J.; Jannifar, A.; Hasan, M.H.; Matseelar, H.S.C. A review of available methods and development on energy storage; technology update. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014, 33, 532–545.
- [44] Luo, X.; Wang, J.; Dooner, M.; Clarke, J. Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Appl. Energy* 2015, 137, 511–536.
- [45] Chan, C.C.; Chau, K.T. An overview of power electronics in electric vehicles. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 1997, 44, 3–13.
- [46] Chan, C.C.; Chau, K.T.; Jiang, J.Z.; Xia, W.A.X.W.; Zhu, M.; Zhang, R. Novel permanent magnet motor drives for electric vehicles. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 1996, 43, 331–339.
- [47] Chan, C.C.; Chau, K.T.; Yao, J. Soft-switching vector control for resonant snubber based inverters. In Proceedings of the IEEE International Conference Industrial Electronics, New Orleans, LA, USA, 14 November 1997; pp. 605–610.

- [48] Jose, C.P.; Meikandasivam, S. A Review on the Trends and Developments in Hybrid Electric Vehicles. In *Innovative Design and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering*; Springer: Singapore, 2017; pp. 211–229.
- [49] Chan, C.C.; Chau, K.T. *Morden Elcetric Vehicle Technology*; Oxford University Press, Inc.: New York, NY, USA, 2001; pp. 122–133.
- [50] Lulhe, A.M.; Date, T.N. A technology review paper for drives used in electrical vehicle (EV) & hybrid electrical vehicles (HEV). In Proceedings of the 2015 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICT), Kumaracoil, India, 18–19 December 2015.
- [51] Magnussen, F. On design and analysis of synchronous permanent magnet for field—Weakening operation. Ph.D. Thesis, KTH Royal Institute of Technology, Sweden, 2004.
- [52] Model X Specifications | Tesla. <https://www.tesla.com/support/model-x-specifications>
- [53] Yamada, K.; Watanabe, K.; Kodama, T.; Matsuda, I.; Kobayashi, T. An efficiency maximizing induction motor drive system for transmissionless electric vehicle. In Proceedings of the 13th International Electric Vehicle Symposium, Osaka, Japan, 13–16 October 1996; Volume II, pp. 529–536.
- [54] Boglietti, A.; Ferraris, P.; Lazzari, M.; Profumo, F. A new design criteria for spindles induction motors controlled by field oriented technique. *Electr. Mach. Power Syst.* 1993, *21*, 171–182.
- [55] Abbasian, M.; Moallem, M.; Fahimi, B. Double-stator switched reluctance machines (DSSRM): Fundamentals and magnetic force analysis. *IEEE Trans. Energy Convers.* 2010, *25*, 589–597.
- [56] Cameron, D.E.; Lang, J.H.; Umans, S.D. The origin and reduction of acoustic noise in doubly salient variable-reluctance motors. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **1992**, *28*, 1250–1255.
- [57] Chan, C.C.; Jiang, Q.; Zhan, Y.J.; Chau, K.T. A high-performance switched reluctance drive for P-star EV project. In Proceedings of the 13th International Electric Vehicle Symposium, Osaka, Japan, 13–16 October 1996; Volume II, pp. 78–83.

- [58] Zhan, Y.J.; Chan, C.C.; Chau, K.T. A novel sliding-mode observer for indirect position sensing of switched reluctance motor drives. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 1999, *46*, 390–397.
- [59] U.S. Energy Information Administration (EIA). International Energy Outlook, Report No.: DOE/EIA-0484(2013). Washington, DC: Office of Energy Analysis, U.S. Department of Energy; 2013 20585.
- [60] Organization of the Petroleum Exporting Countries. World Oil Outlook, Report No.: ISBN 978-3-9502722-6-0. Helderstorferstrasse 17, A-1010 Vienna, Austria: OPEC; 2013.
- [61] Lin CH, Hsieh CY, Chen KH. A Li-ion battery charger with smooth control circuit and built-in resistance compensator for achieving stable and fast charging. *IEEE Trans Circuits Syst I* 2010;*57*(2): 506–17.
- [62] Affanni A, Bellini A, Franceschini G, Guglielmi P, Tassoni C. Battery choice and management for new-generation electric vehicles. *IEEE Trans Ind Electron* 2005;*52*(5):1343–9.
- [63] Richardson DB. Electric vehicles and the electric grid: a review of modeling approaches, impacts, and renewable energy integration. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;*19*:247–54.
- [64] De Ridder F, D’Hulst R, Knapen L, Janssens D. Applying an activity based model to explore the potential of electrical vehicles in the smart grid. *Proc Comput Sci* 2013;*19*:847–53.
- [65] Shi L, Xu H, Li D, Zhang Z, Han Y. The photovoltaic charging station for electric vehicle to grid application in smart grids. In: Proceedings of the IEEE ICIAfS 2012: 6th international conference on information and automation for sustainability; 2012 Sep 27–29. p. 279–84.
- [66] Yilmaz M, Krein PT. Review of the impact of vehicle-to-grid technologies on distribution systems and utility interfaces. *IEEE Trans Power Electron* 2013;*28* (12):5673–89.
- [67] Yilmaz M, Krein PT. Review of benefits and challenges of vehicle-to-grid technology. In: Proceedings of the IEEE ECCE 2012: energy conversion congress and exposition; 2012 Sep 15–20. p. 3082–89.
- [68] Sortomme E. Combined bidding of regulation and spinning reserves for unidirectional vehicle-to-grid. *IEEE PES ISGT 2012: innovative smart grid technologies.* 16–20: 2012. p. 1–7.

- [69] Fasugba MA, Krein PT. Cost benefits and vehicle-to-grid regulation services of unidirectional charging of electric vehicles. In: Proceedings of the IEEE ECCE 2011: energy conversion congress and exposition; 2011 Sep 17–22.p. 827–34.
- [70] Gallardo-Lozano J, Milanés-Montero MI, Guerrero-Martínez MA, RomeroCadaval E. Electric vehicle battery charger for smart grids. *Electr Power Syst Res* 2012;90:18–29.
- [71] Verma AK, Singh B, Shahani DT. Grid to vehicle and vehicle to grid energy transfer using single-phase bidirectional AC–DC converter and bidirectional DC–DC converter. In: Proceedings of the international conference on energy, automation and signal, ICEAS; 2011 Dec 28–30. p. 1–5.
- [72] Pinto JG, Monteiro V, Goncalves H, Exposto B, Pedrosa D, Couto C, et al. Bidirectional battery charger with grid-to-vehicle, vehicle-to-grid and vehicle-to-home technologies. In: Proceedings of the IEEE IECON: 39th annual conference of the industrial electronics society; 2013 Nov 10–13.p. 5934–39.
- [73] Galus MD, Vaya MG, Karuse T, Andersson G. The role of electric vehicles in smart grids. *Wiley Interdiscip Rev.: Energy Environ.* 2012;00:1–17.
- [74] Shaaban MF, Atwa MY, El-Saadany EF. PEVs modeling and impacts mitigation in distribution networks. *IEEE Trans Power Syst* 2013;28(2):1122–31.
- [75] Su W. Smart grid operations integrated with plug-in electric vehicles and renewable energy resources [Ph.D. dissertation]. North Carolina: Department of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University; 2013.
- [76] Pecas LJA, Soares FJ, Almeida PMR. Integration of electric vehicles in the electric power system. *Proc IEEE* 2011;99(1):168–83.
- [77] Bessa RJ, Matos MA. Economic and technical management of an aggregation agent for electric vehicles: a literature survey. *Eurn Trans Electr Power* 2012;22(3):334–50.
- [78] Pillai JR, Bak-Jensen B. Integration of vehicle to grid in the western Danish power system. *IEEE Trans Sustain Energy* 2011;2(1):12–9.
- [79] Ma Z, Callaway DS, Hiskens IA. Decentralized charging control of large populations of plug-in electric vehicles. *IEEE Trans Control Syst Technol* 2013;21(1):67–78.
- [80] Bishop JDK, et al. Evaluating the impact of V2G services on the degradation of batteries in PHEV and EV. *Appl Energy* 2013;111:206–18.

- [81] SAE Electric vehicle and plug-in hybrid electric vehicle conductive charge coupler. SAE standard J1772; 2012.
- [82] Yilmaz M, Krein PT. Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE Trans Power Electron* 2013;28(5):2151–69
- [83] Liu C, Chau KT, Wu D, Gao S. Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies. *Proc IEEE* 2013;101(11):2409–27.
- [84] Pode R. Battery charging stations for home lighting in Mekong region countries. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;44:543–60.
- [85] Wu D, Chau KT, Gao S. Multilayer framework for vehicle-to-grid operation. In: proceedings of the IEEE VPPC: vehicle power and propulsion conference; 2010 Sep 1–3. p. 1–6.
- [86] Sortomme E, El-Sharkawi MA. Optimal charging strategies for unidirectional vehicle-to-grid. *IEEE Trans Smart Grid* 2011;2(1):131–8.
- [87] Ahn C, Li CT, Peng H. Optimal decentralized charging control algorithm for electrified vehicles connected to smart grid. *J Power Sources* 2011;196 (23):10369–79.
- [88] Yilmaz M, Krein PT. Review of the impact of vehicle-to-grid technologies on distribution systems and utility interfaces. *IEEE Trans Power Electron* 2013;28(12):5673–89.
- [89] Hota AR, Juvvanapudi M, Bajpai P. Power quality of actual grids with plug-in electric vehicles in presence of renewables and micro-grids. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;46 289–200.
- [90] Guille C, Gross G. A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation. *Energy Policy* 2009;37(11):4379–90.
- [91] Akhtar GMA, Al-Awami, AT, Khalid, MW. Coordinating emission-aware energy trading with V2G services. *IEEE EUROCON*; 2013. p. 1293–98.
- [92] Sousa T, Morais H, Soares J, Vale Z. Day-ahead resource scheduling in smart grids considering vehicle-to-grid and network constraints. *Appl Energy* 2012;96:183–93.
- [93] O'Connell N, Wu Q, Østergaard J, Nielsen AH, Cha ST, Ding Y. Day-ahead tariffs for the alleviation of distribution grid congestion from electric vehicle. *Electr Power Syst Res* 2012;92:106–14.

- [94] Quinn C, Zimmerle D, Bradley TH. The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary services. *J Power Sources* 2010;195(5):1500–9.
- [95] Tomić J, Kempton W. Using fleets of electric-drive vehicles for grid support. *J Power Sources* 2007;168(2):459–68.
- [96] Kempton W, Tomić J. Vehicle-to-grid power implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *J Power Sources* 2005;144(1):280–94.
- [97] Ghofrani M, Arabali A, Etezadi-Amoli M. Electric drive vehicle to grid synergies with large scale wind resources. In: *Proceedings of the IEEE power and energy society general meeting*; 2012 Jul 22–26. p. 1–6.
- [98] Ferreira RJ, Miranda LM, Araujo RE, Lopes JP. A new bi-directional charger for vehicle-to-grid integration. In: *Proceedings of the IEEE PES ISGT 2011: 2<sup>nd</sup> international conference and exhibition on innovative smart grid technologies Europe*; 2011 Dec 5–7. p. 1–5.
- [99] Gould C, Colombage K, Wang J, Stone D, Foster M. A comparative study of onboard bidirectional chargers for electric vehicles to support vehicle-to-grid power transfer. In: *Proceedings of the IEEE PEDS 2013: 10th international conference on power electronics and drive systems*; 2013 Apr 22–25. p. 639–44.
- [100] Wang Z, Wang S. Grid power peak shaving and valley filling using vehicle-to-grid systems. *IEEE Trans Power Deliv* 2013;28(3):1822–9.
- [101] Ghosh DP, Thomas RJ, Wicker SB. A privacy-aware design for the vehicle-to-grid framework. In: *Proceedings of the 46th hawaii international conference on system sciences, HICSS 2013*; 2013 Jan 7–10. p. 2283–91.
- [102] Monteiro V, Pinto JG, Exposto B, Goncalves H, Ferreira JC, Couto C, et al. Assessment of a battery charger for electric vehicles with reactive power control. In: *Proceedings of the IEEE IECON 2012: 38th annual conference on industrial electronics society*; 2012 Oct 25–28. p. 5142–47.
- [103] Pillai JR, Bak-Jensen B. Integration of vehicle-to-grid in the Western Danish power system. *IEEE Trans Sustain Energy* 2011;2(1):12–9.
- [104] Dogger JD, Roossien B, Nieuwenhout FDJ. Characterization of Li-ion batteries for intelligent management of distributed grid-connected storage. *IEEE Trans Energy Convers* 2011;26(1):256–63.

- [105] Fasugba MA, Krein PT. Cost benefits and vehicle-to-grid regulation services of unidirectional charging of electric vehicles. In: Proceedings of the IEEE ECCE 2011: energy conversion congress and exposition; 2011 Sep 17–22.p. 827–34.
- [106] Han S, Han S, Sezaki K. Development of an optimal vehicle-to-grid aggregator for frequency regulation. *IEEE Trans Smart Grid* 2010;1(1):65–72.
- [107] Yong JY, Ramachandaramurthy VK, Tan KM, Mithulananthan N. A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;49:365–85.
- [108] Lefeng S, Qian Z, Yongjian P. The reserve trading model considering V2G reverse. *Energy* 2013;15(59):50–5.
- [109] Han S, Aki H, Han S. A practical battery wear model for electric vehicle charging applications. In: Proceedings of the IEEE power and energy society general meeting; 2013 Jul 21–25. p. 1–5.
- [110] Bandyopadhyay A, Wang L, Devabhaktuni VK, Green RC. Aggregator analysis for efficient day-time charging of plug-in hybrid electric vehicles. In: Proceedings of the IEEE power and energy society general meeting; 2011 Jul 24–29. p. 1–8.
- [111] Richardson DB. Encouraging vehicle-to-grid (V2G) participation through premium tariff rates. *J Power Sources* 2013;243:219–24.
- [112] Ansari M, Al-Awami AT, Sortomme E, Abidoeric MA. Coordinated bidding of ancillary services for vehicle-to-grid using fuzzy optimization. *IEEE Trans Smart Grid* 2015;6(1):261–70.
- [113] Turker H, Hably A, Bacha S. Housing peak shaving algorithm (HPSA) with plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs): vehicle-to-home (V2H) and vehicle-to-grid (V2G) concepts. In: Proceedings of the fourth international conference on power engineering, energy and electrical drives, POWERENG 2013; 2013 May 13–17. p. 753–59.
- [114] Soares J, Sousa T, Morais H, Vale Z, Canizes B, Silva A. Application-specific modified particle swarm optimization for energy resource scheduling considering vehicle-to-grid. *Appl Soft Comput* 2013;13(11):4264–80.
- [115] Mets K, Verschueren T, De Turck F, Develder C. Exploiting V2G to optimize residential energy consumption with electrical vehicle (dis)charging. In: Proceedings of the IEEE SGMS 2011: first international workshop on smart grid modeling and simulation; 2011 Oct 17. p. 7–12.



- [116] Sheikhi A, Bahrami S, Ranjbar AM, Oraee H. Strategic charging method for plugged in hybrid electric vehicles in smart grids; a game theoretic approach. *Int J Electr Power Energy Syst* 2013;53:499–506.
- [117] Baker E, Chon H, Keisler J. Battery technology for electric and hybrid vehicles: expert views about prospects for advancement. *Technol Forecast Soc Chang* 2010;77(7):1139–46.
- [118] Jin C, Sheng X, Ghosh P. Energy efficient algorithms for electric vehicle charging with intermittent renewable energy sources. In: *Proceedings of the IEEE PES 2013: power and energy society general meeting*; 2013 Jul 21–25. p.1–5.