



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Τεχνολογίες Επικοινωνιών για Διασύνδεση των Ηλεκτρικών Οχημάτων με το Ευφυές Δίκτυο Ενέργειας

Διπλωματική Εργασία

Ξενοφών Μ. Μαυρουδής

Επιβλέπων : Παναγιώτης Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα – Νοέμβριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Τεχνολογίες Επικοινωνιών για Διασύνδεση των Ηλεκτρικών Οχημάτων με το Ευφυές Δίκτυο Ενέργειας

Διπλωματική Εργασία

Ξενοφών Μ. Μαυρουδής

Επιβλέπων : **Παναγιώτης Π. Κωττής**
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14η Νοεμβρίου 2016.

.....
Παναγιώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χρήστος Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Φικιώρης
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα – Νοέμβριος 2016

.....
Ξενοφών Μ. Μαυρουδής

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ξενοφών Μ. Μαυρουδής, 2016
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται τα πρότυπα και οι τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών που δύναται να πραγματοποιήσουν την επικοινωνία των ηλεκτρικών οχημάτων (Electric Vehicle – EV) με το ευφυές δίκτυο ενεργείας (Smart Grid). Επιπλέον παρουσιάζεται το εγχείρημα Vehicle-to-Grid (V2G) και εξετάζονται η λειτουργία, η δομή του και οι τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών που ενσωματώνονται σε αυτό. Τέλος γίνεται μελέτη του πραγματικού συστήματος διαχείρισης φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων WINSmartEVTM του πανεπιστημίου UCLA.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται ιστορική αναδρομή στη πορεία των ηλεκτρικών και υβριδικών οχημάτων. Παρουσιάζονται κρίσιμες ημερομηνίες-σταθμοί στην κατασκευή και κυκλοφορία ηλεκτρικών αυτοκινήτων από το 1839 μέχρι και σήμερα, καθώς και τα σημαντικότερα μοντέλα αυτοκινήτων που αποτέλεσαν τον ακρογωνιαίο λίθο της εξέλιξης των σύγχρονων ηλεκτρικών οχημάτων.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται επισκόπηση ορισμένων θεμάτων στη τεχνολογία υβριδικών οχημάτων. Συγκριμένα, μελετώνται τα συστήματα υβριδικής μετάδοσης ισχύος και γίνεται μια κατηγοριοποίηση των υβριδικών οχημάτων με βάση την πηγή ενέργειάς τους. Τέλος παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υβριδικών οχημάτων.

Στο κεφάλαιο 3 εξετάζονται βασικά θέματα ηλεκτρικής τεχνολογίας στην αυτοκίνηση. Αρχικά παρουσιάζονται οι δημοφιλέστεροι τύποι συσσωρευτών και περιγράφεται η αρχή λειτουργίας τους. Στη συνέχεια, αναφέρονται ανερχόμενοι και πολλά υποσχόμενοι εναλλακτικοί τρόποι αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, μελετώνται οι ηλεκτρικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα οχήματα και τα διάφορα είδη τους.

Στο κεφάλαιο 4 μελετώνται οι τρόποι φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων (Modes), οι τύποι (Cases) και διατάξεις σύνδεσης του οχήματος με δίκτυο, ενώ παρουσιάζονται ορισμένα χαρακτηριστικά μιας τυπικής φόρτισης, όπως η ισχύς και ο χρόνος. Τέλος, εξετάζονται οι απαιτήσεις σε υποδομή και ασφάλεια μιας τυπικής ηλεκτρικής οικιακής εγκατάστασης, ώστε να υποστηρίξει φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται το εγχείρημα Vehicle-to-Grid (V2G). Αρχικά γίνεται επισκόπηση του ευφυούς δικτύου ενέργειας (Smart Grid) και των τεχνολογιών επικοινωνίας που δύναται να ενσωματωθούν σε αυτό. Έπειτα περιγράφεται η αρχιτεκτονική του V2G και οι τεχνολογίες που το στελεχώνουν. Στη συνέχεια, αναλύονται οι ανάγκες επικοινωνίας που υπάρχουν μεταξύ των διαφόρων συσκευών και διατάξεων που απαρτίζουν το V2G. Τέλος, διεξάγεται μελέτη του πραγματικού συγκροτήματος φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων WINSmartEVTM και παρουσιάζεται μια μέθοδος αυτόματης ταυτοποίησης EV μέσω RFID.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται συμπεράσματα που προκύπτουν από τη διπλωματική εργασία, καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Λέξεις Κλειδιά

Ηλεκτρικό Όχημα, Υβριδικό Όχημα, Ευφυές Δίκτυο, Φόρτιση Ηλεκτρικού Οχήματος, Τρόποι Φόρτισης, Τύποι Σύνδεσης, EV, V2G, EVSE, ZigBee, RFID

Abstract

The scope of this thesis is to study the telecommunication technologies and standards which enable the communication between electric vehicles (EV) and the Smart Grid. Furthermore, the concept of Vehicle-to-Grid (V2G) is presented, and its functions and structure are being examined, along with its embedded communication technologies. Finally, UCLA's WINSmartEVTM is studied, which is an actual EV monitoring, control and management system.

In the first chapter, the history of electric and hybrid cars is presented. Key dates to the most important electric and hybrid car releases are mentioned, along with the most prominent car models which were the cornerstone in the evolution of modern electric vehicles.

In the second chapter, certain crucial aspects in hybrid electric car technology are outlined. More specifically, hybrid transmission systems are studied and then a sorting of hybrid vehicles takes place, based on the source of their energy. Finally, the advantages and disadvantages of hybrid electric vehicles are stated.

In the third chapter, important aspects of electrical technology are discussed. First, the most well-known types of electric batteries are presented with insight on how they work. Next, other means of storing electric energy are introduced. Finally, the most common types of electric motors used, are described.

In the fourth chapter, the charging modes of electric vehicles are analyzed, along with the connection cases. Typical values of charging times and power drawn are presented. Finally, the requirements for a home electrical installation to enable EV charging are discussed.

In the fifth chapter, the concept of Vehicle-to-Grid (V2G) is presented. First, the Smart Grid is described, along with its embedded communication technologies. Next, the architecture of V2G is discussed. Moreover, the telecommunication needs of all elements in the V2G are analyzed. Finally, the EV monitoring, control and management system WINSmartEVTM is studied, and a mesh network RFID system for user identification and charging authorization is presented.

In the sixth chapter, the conclusions drawn for the thesis are outlined. Finally, future perspectives are presented.

Key words

Electric Vehicle (EV), Hybrid Electric Vehicle, Smart Grid, EV Charging, Charging Modes, Connection Types, Vehicle-to-Grid, EVSE, ZigBee, RFID

Ευχαριστήριο Σημείωμα

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Παναγιώτη Κωττή για την άριστη συνεργασία και την υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της, ώστε το προϊόν της εργασίας να εμφανισθεί άρτιο από επιστημονικής και εκφραστικής πλευράς.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου και την ευγνωμοσύνη μου προς τους γονείς μου, τη γιαγιά μου, τον αδελφό μου και τους φίλους μου για την αγάπη τους, την αμέριστη συμπαράστασή τους και τη στήριξη κατά τη διάρκεια όλων αυτών των χρόνων.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον παππού μου, για όλα όσα μου προσέφερε και για τις ηθικές αξίες με τις οποίες με μεγάλωσε. Του αφιερώνω αυτή την εργασία.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Ευχαριστήριο σημείωμα.....	6
Κατάλογος Συντμήσεων	9
Ευρετήριο Σχημάτων.....	11
Ευρετήριο Πινάκων.....	12
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΙΣΗ.....</u>	<u>13</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....</u>	<u>18</u>
2.1 Εισαγωγή στα Υβριδικά Οχήματα.....	18
2.2 Συστήματα Υβριδικής Μετάδοσης Ισχύος.....	18
2.3 Κατηγορίες Υβριδικών Οχημάτων.....	20
2.3.1 Επαναφορτιζόμενα από το Δίκτυο Υβριδικά Οχήματα.....	20
2.3.2 Ηλεκτρικά Οχήματα που Κινούνται Αποκλειστικά με Συσσωρευτές.....	21
2.3.3 Ηλεκτρικά Οχήματα με Κυψέλες Καυσίμου.....	22
2.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Χρήσης Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων.....	23
2.4.1 Πλεονεκτήματα.....	23
2.4.2 Μειονεκτήματα.....	24
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΣΗ.....</u>	<u>26</u>
3.1 Συσσωρευτές Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	26
3.2 Ηλεκτρικοί Κινητήρες.....	32
3.2.1 Γενικά για τους Κινητήρες.....	32
3.2.2 Κινητήρας Συνεχούς ρεύματος με Ψήκτρες.....	33
3.2.3 Ροπή των Κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος.....	34
3.2.4 Ταχύτητα Περιστροφής των Κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος.....	34
3.2.5 Μέθοδοι Ρύθμισης της Ταχύτητας Περιστροφής Κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος.....	35
3.2.6 Ισχύς, Απώλειες και Βαθμός Απόδοσης των Κινητήρων Συνεχούς Ρεύματος	35
3.2.7 Κινητήρες Εναλασσόμενου Ρεύματος.....	35
3.2.8 Ολίσθηση Επαγωγικών Κινητήρων.....	36
3.2.9 Κινητήρες Μεταβλητής Αντίδρασης.....	36
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....</u>	<u>38</u>
4.1 Τρόποι Φόρτισης Συσσωρευτών Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	38
4.2 Τύποι Σύνδεσης Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	40
4.3 Χαρακτηριστικά Φόρτισης και Απαιτήσεις Οικιακών Εγκαταστάσεων.....	41

4.3.1	Ισχύς Φόρτισης.....	41
4.3.2	Διάρκεια Φόρτισης.....	42
4.3.3	Απαιτήσεις Οικιακής Ηλεκτρικής Εγκατάστασης για Φόρτιση κατα Mode 1 και 2	42
4.3.4	Απαιτήσεις Οικιακής Ηλεκτρικής Εγκατάστασης για Φόρτιση κατα Mode 3.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ		44
5.1	Επισκόπηση του Έξυπνου Δικτύου Ενέργειας.....	44
5.2	Επισκόπηση Τηλεπικοινωνιακών Τεχνολογιών του Ευφυούς Δικτύου.....	45
5.2.1	Zigbee.....	46
5.2.2	Κυψελωτές Επικοινωνίες.....	47
5.2.3	Powerline Communications (PLC).....	48
5.2.4	Ψηφιακή Συνδρομητική (DSL).....	49
5.3	Ζητήματα Κατά την Ενσωμάτωση των Ηλεκτρονικών Οχημάτων.....	50
5.4	Περιγραφή- Ανάλυση της τεχνολογίας V26.....	51
5.5	Αρχιτεκτονική του V26.....	52
5.6	Ανάγκες Επικοινωνίας στο V26.....	53
5.6.1	Επικοινωνίες στον Οικιακό Χώρο.....	53
5.6.1.1	Επικοινωνία Ηλεκτρικού Οχήματος με Εξοπλισμό Φόρτισης	53
5.6.1.2	Επικοινωνία Μονάδας Διαχείρισης Ενέργειας με Ηλεκτρικό Δίκτυο...55	
5.6.2	Επικοινωνία Κινούμενων Οχημάτων με Κέντρο Διαχείρισης.....	57
5.6.2.1	Κυψελωτές Επικοινωνίες	58
5.6.2.2	Ασύρματα Δίκτυα Πλέγματος.....	59
5.6.3	Επικοινωνία Μεταξύ των Κέντρων Ελέγχου.....	59
5.6.4	Επιπλέον Τηλεπικοινωνιακές Ανάγκες.....	59
5.7	Μελέτη του Πραγματικού Συγκροτήματος Φόρτισης WINSmartEV.....	60
5.8	Σύστημα Αυτόματης Αναγνώρισης Ηλεκτρικών Οχημάτων Μέσω RFID.....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΝΟΨΗ,ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ		70
6.1	Σύνοψη και Συμπεράσματα	70
6.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	70

Κατάλογος Συντμήσεων

AC	Alternating Current
ACCEDE	American Council for energy efficient Economy
AMI	Advanced Metering Infrastructure
BEV	Battery Electric Vehicle
CAN	Controller Area Network
DC	Direct Current
DR	Demand Response
DSL	Digital Subscriber Line
DSM	Demand Side Management
EIS	Executive Information System
EMS	Energy Management System
EMU	Energy Management Unit
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
HAN	Home Area Network
IEC	International Electrotechnical Committee
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
LTE	Long Term Evolution
NiCd	Nickel-Cadmium
NiMH	Nickel-Metal Hydride
NiO(OH)	Nickel-Oxide Hydroxide
PHEV	Plug-in Electric Vehicle
PLC	Power Line Communication
PWM	Pulse Width Modulation
QoS	Quality of Service
RFID	Radio Frequency Identification
SAE	Society of Automotive Engineers
V2G	Vehicle-to-Grid
V2H	Vehicle-to-Home
V2L	Vehicle-to-Load

V2V	Vehicle-to-Vehicle
VMM	Vehicle Monitoring/Identification Module
WLAN	Wireless Local Area Network
WRAN	Wireless Regional Area Network
AHEΔ	Αντί-Ηλεκτρεγερτική Δύναμη
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
EV	Electric Vehicle
ΗΔ	Ηλεκτρικό Δίκτυο
ΗΕ	Ηλεκτρική Ενέργεια

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1.1: Το Lohner - Porscher M9te hybrid. Ένα από τα πρώτα αξιόλογα υβριδικά βενζινοκίνητα – ηλεκτροκίνητα.....	14
Σχήμα 1.2: Αυτοκίνητο που κατασκευάστηκε από την Krieger το 1903 και χρησιμοποιεί έναν βενζινοκινητήρα για να υποστηρίξει συστοιχία τριών μπαταριών.....	15
Σχήμα 1.3: Το Owen Magnetic Model 60 Touring του 1921 χρησιμοποιεί βενζινοκινητήρα για να κινεί γεννήτρια η οποία παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα σε δυο μοτέρ που βρίσκονται τοποθετημένα στον καθένα από τους πίσω τροχούς.....	16
Σχήμα 1.4: Toyota Sports 800, το πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο της Toyota.....	16
Σχήμα 2.1: Σύστημα σειριακής μετάδοσης ισχύος.....	20
Σχήμα 2.2: Σύστημα παράλληλης μετάδοσης ισχύος.....	20
Σχήμα 2.3: Επαναφορτιζόμενο από το δίκτυο υβριδικό όχημα (PHEV).....	21
Σχήμα 2.4: Ηλεκτρικό όχημα με συσσωρευτή (BEV).....	22
Σχήμα 2.5: Ηλεκτρικό όχημα με κυψέλες καυσίμου.....	23
Σχήμα 3.1 Συσσωρευτής νικελίου – υδριδίου μετάλλου.....	31
Σχήμα 3.2: Κινητήρας συνεχούς ρεύματος με ψήκτρες.....	35
Σχήμα 4.1: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος κατά Mode 1.....	39
Σχήμα 4.2: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος κατά Mode 2.....	40
Σχήμα 4.3: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος κατά Mode 3.....	40
Σχήμα 4.4: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος κατά Mode 4 ή Ταχεία DC φόρτιση.....	41
Σχήμα 4.5: Σύνδεση ηλεκτρικού οχήματος τύπου A.....	41
Σχήμα 4.6: Σύνδεση ηλεκτρικού οχήματος τύπου B.....	41
Σχήμα 4.7: Σύνδεση ηλεκτρικού οχήματος τύπου C.....	41
Σχήμα 4.8: Γραμμή ηλεκτροδότησης για φόρτιση κατά Mode 1 ή Mode 2.....	43
Σχήμα 4.9: Γραμμή ηλεκτροδότησης για φόρτιση Mode 3.....	44
Σχήμα 5.1: Αναπαράσταση λειτουργίας του Ευφυούς Ενεργειακού Δικτύου.....	45
Σχήμα 5.2: Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου ZigBee.....	47
Σχήμα 5.3: Κυψελωτές Επικοινωνίες με Μικροκυψέλες.....	48
Σχήμα 5.4: Power Line Communications – PLC.....	49
Σχήμα 5.5: Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή - DSL.....	50
Σχήμα 5.6 Σχηματική αναπαράσταση διασύνδεσης διαφόρων οντοτήτων στο V2G.....	52
Σχήμα 5.7: Αρχιτεκτονική του V2G.....	53
Σχήμα 5.8: Πρότυπα επικοινωνίας στα EV κατά SAE.....	55
Σχήμα 5.9: Το Διαδίκτυο των Οχημάτων (Internet of Vehicles – IOV).....	58

Σχήμα 5.10: Διάγραμμα ρυθμού μετάδοσης δεδομένων με κινητικότητα.....	59
Σχήμα 5.11: Αρχιτεκτονική δικτύου του WINSmartEVTM.....	61
Σχήμα 5.12: Τα τέσσερα βασικά τμήματα της ευφυούς υποδομής φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.....	63
Σχήμα 5.13: Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου διαμοιρασμού ρεύματος του τοπικού ελεγκτή...	63
Σχήμα 5.14: Σχηματική αναπαράσταση ενός τυπικού συγκροτήματος Level 2 φόρτισης.....	64
Σχήμα 5.15: Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος ψηφιακών μετρητών του WINSmartEV TM	65
Σχήμα 5.16: RFID δίκτυο πλέγματος της ευφυούς υποδομής φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων..	66
Σχήμα 5.17: Ηλεκτρονική πλακέτα ενός CC2530ZNP ή συντονιστή ZigBee.....	67
Σχήμα 5.18: Σχηματική αναπαράσταση του εσωτερικού της VMM μονάδας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.....	68
Σχήμα 5.19: Ολοκληρωμένο κύκλωμα ελεγκτή σταθμού φόρτισης.....	69
Σχήμα 5.20: Διάγραμμα ροής υλικό-λογισμικού (firmware) που παράγει το πιλοτικό σήμα ελέγχου.....	70

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 3.1 : Σύγκριση τεχνολογιών συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων.....	28
Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά ηλεκτροδότησης AC φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.....	42
Πίνακας 4.2: Χρόνοι φόρτισης σε σχέση με την απαιτούμενη ισχύ του συστήματος φόρτισης και το είδος της ηλεκτροδότησης.....	43
Πίνακας 5.1: Σύγκριση τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών του Ευφυούς Δικτύου.....	50
Πίνακας 5.2: Προεπισκόπηση πρωτόκολλων επικοινωνίας του V2G.....	58
Πίνακας 5.3: Πίνακας εντολών του ελεγκτή προς τους σταθμούς φόρτισης.....	67
Πίνακας 5.4: Εντολές πρωτοκόλλου χειραψίας του συντονιστή ZigBee.....	68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια ιστορική αναδρομή. Θα παρουσιαστούν χρονολογικά όλες οι αξιοσημείωτες κατασκευές υβριδικών και αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων από το 1839 μέχρι τη παρούσα εποχή.



Σχήμα 1.1: To Lohner - Porscher M9te hybrid. Ένα από τα πρώτα αξιόλογα υβριδικά βενζινοκίνητα – ηλεκτροκίνητα.

- [1839] Ο Robert Anderson, από το Αμπερντίν της Σκωτίας, καταγράφεται από την ιστορία ως ο εφευρέτης που κατασκεύασε το πρώτο ηλεκτρικό όχημα.
- [1870] Ο σερ David Salomon κατασκεύασε ένα αυτοκίνητο με ηλεκτρικό μοτέρ όμως οι μπαταρίες ήταν πολύ βαριές . Η ταχύτητα ταξιδιού και η αυτονομία ήταν κακές.
- [1888] Η Immisch & Company κατασκεύασε για τον Σουλτάνο της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας μια άμαξα με μπαταρία 24 στοιχείων. Την ίδια χρονιά ο Magnus Volk, στο Μπράιτον της Αγγλίας, κατασκεύασε ένα ηλεκτρικό τρίκυκλο.
- [1890-1910] Περίοδος σημαντικών βελτιώσεων στην τεχνολογία των μπαταριών. Ήταν η εποχή που αναπτύχθηκαν οι μπαταρίες μολύβδου – οξέως, από τον H.Tudor. Σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, έκαναν και την εμφάνιση τους οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου από τους Edison και Junger.
- [1897] Η London Electric Cab Company (Εταιρεία Ηλεκτρικών Ταξί του Λονδίνου) ξεκίνησε τακτικά **δρομολόγια** χρησιμοποιώντας αυτοκίνητα που σχεδιάστηκαν από τον Walter Bersey. Το Bersey Cab ήταν ένα είδος ταξί, το οποίο χρησιμοποιούσε μία μπαταρία 40 διασυνδεδεμένων στοιχείων και ηλεκτρικό μοτέρ ικανό να αποδώσει 3 ίππους. Η αυτονομία του έφτανε τα 50 μίλια μεταξύ των φορτίσεων.
- [1897] Η Pope Manufacturing Company του Χάρτφορντ, στο Κονέτικατ, κατασκεύασε περίπου 500 ηλεκτρικά αυτοκίνητα σε διάστημα δύο ετών.

[1900] Το 1900 ο Ferdinand Porsche, ενώ ήταν υπάλληλος της Lohner Coach Factory, εξέλιξε το M9te, μια τετρακίνητη έκδοση της υβριδικής σε σειρά άμαξας «System LohnerPorsche», που είχε εμφανιστεί νωρίτερα το 1900, στην Παγκόσμια Έκθεση του Παρισιού. Το M9te περιλάμβανε ένα ζεύγος γεννητριών που τροφοδοτούνταν από κινητήρες εσωτερικής καύσης 2,5 hp της Daimler, ώστε να επεκτείνει την εμβέλεια λειτουργίας και να μπορεί να ταξιδέψει 40 σχεδόν μίλια μόνο με την μπαταρία, και παρουσιάστηκε το 1901 στην Έκθεση Αυτοκινήτων του Παρισιού. Το M9te έσπασε πολλά αυστριακά ρεκόρ ταχύτητας και κέρδισε στο Ράλι Έξελμπερκ το 1901 με τον ίδιο τον Porsche στο τιμόνι. Το M9te χρησιμοποιούσε έναν κινητήρα βενζίνης που τροφοδοτούσε μία γεννήτρια, η οποία με τη σειρά της κινούσε τα ηλεκτρικά μοτέρ που ήταν τοποθετημένα στα μπουαγιέ των τροχών, με μια μικρή συστοιχία μπαταριών για αξιοπιστία. Είχε μέγιστη ταχύτητα 50 km/h και ισχύ 5,22 kW για διάρκεια 20 λεπτών. Την ίδια χρονιά οι αμερικανικές εταιρείες αυτοκινήτων κατασκεύασαν 1.681 ατμοκίνητα, 1.575 ηλεκτροκίνητα και 936 βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Σε δημοσκόπηση που έγινε κατά την πρώτη Εθνική Έκθεση Αυτοκινήτου της Νέας Υόρκης, οι υποστηρικτές ανέδειξαν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ως πρώτη επιλογή τους, ακολουθούμενα στενά από τα ατμοκίνητα.

[1913] Χρονιά-σταθμός για την αυτοκίνηση. Μέσα στα πρώτα χρόνια του 20ού αιώνα, παρήχθησαν χιλιάδες ηλεκτρικά και υβριδικά αυτοκίνητα, όμως, με τη γραμμή



Σχήμα 1.2: Αυτοκίνητο που κατασκευάστηκε από την Krieger το 1903 και χρησιμοποιεί έναν βενζινοκινητήρα για να υποστηρίξει συστοιχία τριών μπαταριών.

συναρμολόγησης του Henry Ford και με τον ερχομό του αυτο-εκκινούμενου βενζινοκινητήρα, τα ατμοκίνητα και τα ηλεκτροκίνητα σχεδόν εξαφανίστηκαν. Τη χρονιά εκείνη οι πωλήσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων έπεσαν στις 6.000, ενώ το Μοντέλο T της Ford πούλησε 182.809 βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Τα επόμενα χρόνια σηματοδότησαν την ταχεία μείωση των υβριδικών αυτοκινήτων.



Σχήμα 1.3: Το Owen Magnetic Model 60 Touring του 1921 χρησιμοποιεί βενζινοκινητήρα για να κινεί γεννήτρια η οποία παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα σε δυο μοτέρ που βρίσκονται τοποθετημένα στον καθένα από τους πίσω τροχούς.

[1920-1965] Αδρανής περίοδος για μαζική παραγωγή ηλεκτρικών και υβριδικών αυτοκινήτων. Τα επονομαζόμενα εναλλακτικά αυτοκίνητα έγιναν αντικείμενο έρευνας και κατασκευής για μικρούς οικοτέχνες κατασκευαστές και βραχύβιους επιχειρηματίες. 1966 Το Κογκρέσο των Ηνωμένων Πολιτειών παρουσίασε τα πρώτα σχέδια νόμου, συνιστώντας τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων ως μέσο για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Μια νέα περίοδος ξαναρχίζει για την ηλεκτρική και την υβριδική τεχνολογία.

[1977-1979] Το 1977 η Toyota επέλεξε, για να καταδείξει τις μελλοντικές προθέσεις της, το υβριδικό Toyota Sports 800 με αεροστρόβιλο. Χρησιμοποιώντας ένα спор αυτοκίνητο υψηλών επιδόσεων, η Toyota πρότεινε μια έξυπνη και περιβαλλοντικά συμβατή λύση και δημιούργησε μια φιλοσοφία που μετέπειτα θα εξελισσόταν σε αυτό που σήμερα ονομάζεται «Hybrid Synergy Drive». Είκοσι χρόνια μετά, το 1997, η Toyota παρουσίασε ένα υβριδικό λεωφορείο παραγωγής, το Coaster Hybrid, και το Prius, το πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο.



Σχήμα 1.4: Toyota Sports 800, το πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο της Toyota.

[1989] Η Audi παρουσίασε την πρώτη γενιά του πειραματικού οχήματος Audi Duo βασισμένο στο Audi 100 Avant Quattro. Το αυτοκίνητο είχε έναν ηλεκτρικό κινητήρα 12,6 hp, ο οποίος κινούσε τους πίσω τροχούς αντί για έναν κεντρικό άξονα. Η

μπαταρία νικελίου-καδμίου παρείχε την ενέργεια. Η μπροστινή κίνηση τροφοδοτούνταν από έναν κινητήρα πέντε κυλίνδρων 2,3 L με απόδοση 136 hp. Δύο χρόνια αργότερα η Audi παρουσίασε τη δεύτερη γενιά του Duo, επίσης βασισμένη στο Audi 100 Avant Quattro.

- [1997] Το Toyota Prius παρουσιάστηκε στην ιαπωνική αγορά δύο χρόνια πριν από την ημερομηνία του επίσημου λανσαρίσματός του και πριν από την παγκόσμια διάσκεψη για την υπερθέρμανση του πλανήτη στο Κιότο, που πραγματοποιήθηκε τον Δεκέμβριο του ίδιου έτους. Οι πωλήσεις του πρώτου χρόνου έφτασαν σχεδόν τις 18.000.
- [1997] Η Audi έγινε ο πρώτος κατασκευαστής στην Ευρώπη που έβαλε ένα υβριδικό όχημα στη μαζική παραγωγή: το Audi Duo βασισμένο στο A4 Avant. Το όχημα κινούνταν από έναν κινητήρα TDI 1,9 L, 90 hp σε συνδυασμό με ένα ηλεκτρικό μοτέρ 29 hp. Και οι δύο πηγές ισχύος κινούσαν τους μπροστινούς τροχούς. Μία μπαταρία ζελέ μολύβδου στο πίσω μέρος αποθήκευε την ηλεκτρική ενέργεια. Το Duo δεν υπήρξε εμπορική επιτυχία και για τον λόγο αυτό καταργήθηκε, παρακινώντας τους Ευρωπαίους κατασκευαστές αυτοκινήτων να εστιάσουν τις επενδύσεις έρευνας και ανάπτυξης στα ντίζελ.
- [1997-1999] Στην Καλιφόρνια παρουσιάστηκε από τους μεγάλους κατασκευαστές αυτοκινήτων ένας μικρός αριθμός εξ ολοκλήρου ηλεκτρικών οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των: EV Plus της Honda, EV1 της GM, το ηλεκτρικό μικρό ανοιχτό φορτηγό S-10, ένα μικρό ανοιχτό φορτηγό Ford Ranger και το RAV4 EV της Toyota. Παρά τον αρχικό ενθουσιασμό αυτών που υιοθέτησαν αυτή την τεχνολογία, τα ηλεκτρικά απέτυχαν να προσελκύσουν περισσότερους από μερικές εκατοντάδες οδηγούς για το κάθε μοντέλο. Μέσα σε λίγα χρόνια τα προγράμματα της εξ ολοκλήρου ηλεκτροκίνησης εγκαταλείφθηκαν.
- [1999] Η Honda παρουσίασε το δίπορτο Insight, το πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο που θα «χτυπούσε» τη μαζική αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών. Το Insight κέρδισε πλήθος βραβείων και έλαβε βαθμολογίες χιλιομετρικής διάνυσης της EPA των 61 μιλίων ανά γαλόνι (m/g) στην πόλη και 70 m/g στον αυτοκινητόδρομο.
- [2000] Η Toyota παρουσίασε το Toyota Prius, το πρώτο υβριδικό τετράπορτο sedan που διατέθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες.
- [2002] Η Honda παρουσίασε το Honda Civic Hybrid, το δεύτερο εμπορικά διαθέσιμο υβριδικό βενζινοκίνητο-ηλεκτροκίνητο αυτοκίνητο. Η εμφάνιση και η απόδοση του Civic Hybrid ήταν (και εξακολουθούν να είναι) πανομοιότυπες με αυτές του συμβατικού Civic. 2004 Το Toyota Prius II κέρδισε τα βραβεία Αυτοκινήτου της Χρονιάς του 2004 από το περιοδικό Motor Trend Magazine και από την Έκθεση Αυτοκινήτου της Βόρειας Αμερικής. Η Toyota εξεπλάγη από τη ζήτηση και αύξησε την παραγωγή της από 36.000 σε 47.000 αυτοκίνητα για την αγορά των ΗΠΑ. Οι ενδιαφερόμενοι αγοραστές περίμεναν έως και έξι μήνες για να αγοράσουν το Prius του 2004. Ο πρόεδρος πωλήσεων της Toyota Motor των ΗΠΑ Jim Press το αποκάλεσε ως «το πιο καυτό αυτοκίνητο που είχαμε ποτέ».

- [2009] Νέα εξελιγμένα μοντέλα κάνουν την εμφάνισή τους στις γραμμές παραγωγής Toyota. Τα Prius III, Lexus RX 450h, Honda Insight και άλλα διεκδικούν μερίδιο στην αγορά του αυτοκινήτου και στην Ελλάδα.
- [2010] Νέα μοντέλα, όπως τα Honda Jazz, Auris hybrid, Porsche Cayenne, VW Touareg και άλλα, που εμφανίζονται συνεχώς, αποδεικνύουν ότι οι τεχνολογίες της εναλλακτικής αυτο-κίνησης, λόγω των συνεχώς αυξανόμενων αυστηρών περιβαλλοντικών προϋποθέσεων για την αυτοκινητοβιομηχανία, έχει γίνει μονόδρομος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

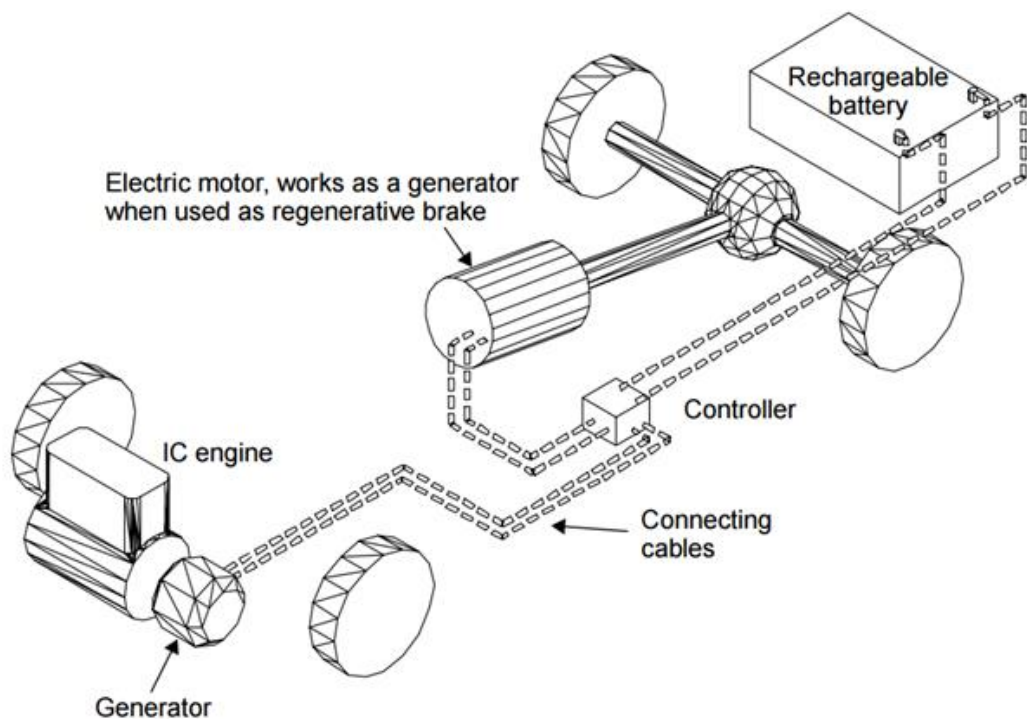
2.1 Εισαγωγή στα υβριδικά οχήματα

Στην απλούστερη μορφή του, ένα υβριδικό σύστημα συνδυάζει τα καλύτερα χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης και ενός ηλεκτρικού μοτέρ. Χρησιμοποιεί δύο πηγές ενέργειας: τη θερμοδυναμική, που προέρχεται από τον κινητήρα εσωτερικής καύσης και την ηλεκτρική, που προέρχεται από τον ηλεκτροκινητήρα. Για τη συνδυασμένη λειτουργία αυτών των δύο πηγών ενέργειας είναι απαραίτητη η ύπαρξη και άλλων βοηθητικών διατάξεων, όπως οι συσσωρευτές, η γεννήτρια και ο μετασχηματιστής. Ένα υβριδικό αυτοκίνητο μπορεί να κινείται είτε με τον έναν από τους δύο κινητήρες είτε με το συνδυασμό τους. Ιδανικά, ο ηλεκτροκινητήρας αναλαμβάνει την κίνηση σε κάθε ξεκίνημα του αυτοκινήτου, στην κυκλοφορία μέσα στην πόλη και σε πορεία χαμηλής ταχύτητας, ενώ σε ανοιχτό δρόμο και σε ταχεία κίνηση τον έλεγχο έχει ο βενζινοκινητήρας. Όταν, όμως, απαιτείται η μέγιστη ισχύς, όπως σε ένα προσπέρασμα ή σε μια ανηφόρα, αυτή εξασφαλίζεται από τη συνδυασμένη λειτουργία και των δύο κινητήρων, θερμικού και ηλεκτρικού. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες έχουν το σοβαρό μειονέκτημα της μικρής αυτονομίας στην κίνηση του οχήματος. Η πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν είναι οι συσσωρευτές που δεν μπορούν να προσδώσουν μεγάλη αυτονομία στο όχημα. Στο υβριδικό αυτοκίνητο οι μπαταρίες φορτίζονται από μία γεννήτρια, η οποία λειτουργεί χάρη στον βενζινοκινητήρα. Αναλυτικότερα: η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται από το βενζινοκινητήρα σε κινητική ενέργεια. Η κινητική ενέργεια μετατρέπεται με τη σειρά της από τη γεννήτρια σε ηλεκτρική. Η ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στον ηλεκτροκινητήρα που τη μετατρέπει ξανά σε κινητική ενέργεια κινώντας τους τροχούς. Η ηλεκτρική ενέργεια που περισσεύει αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Έτσι ένα υβριδικό όχημα συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της ηλεκτροκίνησης με τη μεγάλη αυτονομία, που παρέχουν τα ορυκτά καύσιμα.

2.2 Συστήματα υβριδικής μετάδοσης ισχύος

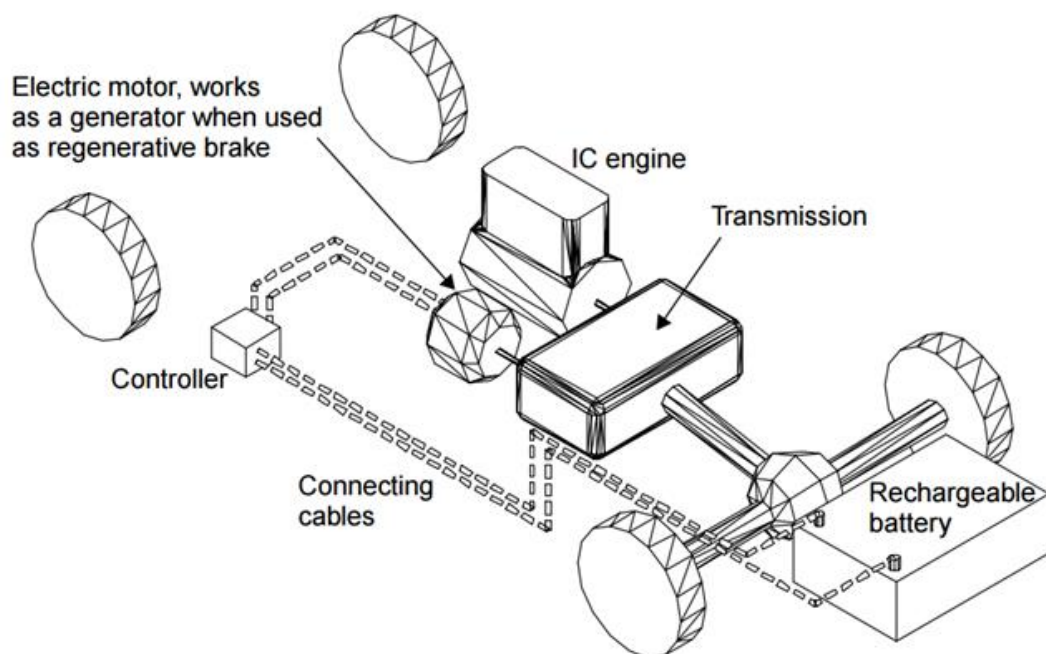
Τα υβριδικά συστήματα μετάδοσης ισχύος μπορούν να ταξινομηθούν, με βάση τη συνδεσμολογία τους, σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- i. **Σειριακό σύστημα μετάδοσης ισχύος:** Σε ένα σειριακό υβριδικό σύστημα μετάδοσης ισχύος, την κίνηση δίνει αποκλειστικά ο ηλεκτροκινητήρας, ο οποίος δέχεται ηλεκτρική ενέργεια είτε από συστοιχία μπαταριών είτε από μηχανή εσωτερικής καύσης μέσω γεννήτριας. Σε ένα σειριακό σύστημα μετάδοσης ισχύος ο ηλεκτροκινητήρας είναι συνήθως μικρότερος, καθώς έχει να αντιμετωπίσει μέτριες σε ισχύ απαιτήσεις οδήγησης



Σχήμα 2.1: Σύστημα σειριακής μετάδοσης ισχύος.

- ii. *Παράλληλο σύστημα μετάδοσης ισχύος.* Σε ένα παράλληλο υβριδικό σύστημα μετάδοσης ισχύος, ο κινητήρας και ο ηλεκτροκινητήρας παράγουν την ισχύ για την κίνηση των τροχών, ενώ βρίσκονται μόνιμα και ανεξάρτητα συνδεδεμένοι με το κιβώτιο ταχυτήτων. Επειδή σε αυτόν το σχηματισμό ο κινητήρας είναι συνδεδεμένος απευθείας στους τροχούς, εξαλείφεται η μείωση της απόδοσης κατά τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει στα σειριακά συστήματα μετάδοσης ισχύος, καθιστώντας αυτό το σύστημα μετάδοσης ισχύος κατάλληλο για οδήγηση σε αυτοκινητόδρομους.



Σχήμα 2.2: Σύστημα παράλληλης μετάδοσης ισχύος

- iii. *Μεικτό σύστημα μετάδοσης ισχύος.* Μεικτό σύστημα μετάδοσης ισχύος είναι ουσιαστικά ο συνδυασμός σειριακού και παράλληλου. Το μεικτό σύστημα έχει δυνατότητα καλύτερης απόδοσης από αυτήν που έχει το κάθε ένα από τα προαναφερθέντα συστήματα ξεχωριστά.

2.3 Κατηγορίες Υβριδικών Αυτοκινήτων

Στη συνέχεια γίνεται κατηγοριοποίηση των υβριδικών αυτοκινήτων με βάση τη πηγή ενέργειάς τους.

2.3.1 Επαναφορτιζόμενα από το δίκτυο υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα

Τα επαναφορτιζόμενα από το δίκτυο υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα (Plug-in hybrid electric vehicles ή PHEVs) είναι εφοδιασμένα με συστοιχία μπαταριών μεγάλης χωρητικότητας που τους επιτρέπει να κινούνται αμιγώς ηλεκτρικά, με μηδενική ρύπανση, για αρκετές δεκάδες χιλιόμετρα. Διαθέτουν όμως και μηχανή εσωτερικής καύσης. Επομένως επιλέγεται βέλτιστα από το σύστημα το στοιχείο που παρέχει την κίνηση στους τροχούς κάθε χρονική στιγμή. Συνήθως, κατά την εκκίνηση του αυτοκινήτου και στις



Σχήμα 2.3: Επαναφορτιζόμενο από το δίκτυο υβριδικό όχημα (PHEV)

χαμηλές ταχύτητες (που ο βενζινοκινητήρας είναι πολύ ρυπογόνος και μη αποδοτικός) χρησιμοποιείται ο ηλεκτροκινητήρας, ενώ στις υψηλές ταχύτητες αναλαμβάνει δράση η μηχανή εσωτερικής καύσης. Επίσης, τα είναι εφοδιασμένα με κατάλληλη ηλεκτρική υποδοχή που τους επιτρέπει τη σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να φορτίζονται απευθείας από αυτό.

Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδότηση των PHEVs καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας τους υπολογίστηκε ότι είναι μικρότερο από το ένα τέταρτο του κόστους της βενζίνης που θα χρησιμοποιούσαν στη συμβατική τους μορφή. Σε σύγκριση με τα συμβατικά αυτοκίνητα, τα PHEVs συμβάλλουν στη μείωση της ρύπανσης, της εξάρτησης από

το πετρέλαιο και την ελάττωση του φαινομένου του θερμοκηπίου που οδηγούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Τα PHEVs δεν χρησιμοποιούν κάποιο φυσικό καύσιμο κατά τη διάρκεια της ηλεκτρικής τους λειτουργίας, εφόσον, βέβαια, οι συσσωρευτές τους φορτίζονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μπορεί να θεωρηθεί ότι τα PHEVs αποτελούν την εξέλιξη των σημερινών πλήρως υβριδικών οχημάτων. Ένα πλήρως υβριδικό αυτοκίνητο έχει τη δυνατότητα να εκκινεί και να επιταχύνει σε χαμηλές ταχύτητες χωρίς τη χρήση του μηχανικού του κινητήρα. Η μπαταρία του, ωστόσο, φορτίζεται αποκλειστικά από τον κινητήρα και το σύστημα αναγεννητικής πέδησης. Ένα PHEVs λειτουργεί κατά τον ίδιο τρόπο αλλά:

- i. έχει μεγαλύτερη μπαταρία και
- ii. παρέχει στον οδηγό την επιλογή να τη φορτίζει χρησιμοποιώντας μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος ώστε να μπορεί να κινεί το όχημα του μόνο με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας.

Συνήθως, η φόρτιση του αυτοκινήτου θα πραγματοποιείται κατά τις νυχτερινές ώρες. Επομένως, τα PHEVs κάνουν χρήση τόσο ηλεκτροκινητήρων που τροφοδοτούνται από μπαταρίες, όσο και μηχανικών κινητήρων, ωστόσο έχουν την δυνατότητα να αναβάλλουν τη χρήση καυσίμου με τη φόρτιση του οχήματος. Επίσης, τα PHEVs έχουν πλεονέκτημα έναντι των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων δεδομένου ότι οι οδηγοί τους δεν χρειάζεται να ανησυχούν για το ενδεχόμενο “αποφόρτισης” του οχήματος τους. Αυτό συμβαίνει γιατί αν η μπαταρία αποφορτιστεί, τα PHEVs λειτουργούν όπως και τα συμβατικά κάνοντας χρήση του μηχανικού κινητήρα τους και του συστήματος αναγεννητικής πέδησης για τη φόρτιση της μπαταρίας. Αφού χρησιμοποιούν τόσο μηχανικό κινητήρα όσο και ηλεκτροκινητήρα, τα PHEVs διαθέτουν μικρότερες και φτηνότερες συστοιχίες μπαταριών σε σχέση με τα αντίστοιχα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα. Τα σημερινά εμπορικά υβριδικά οχήματα χρησιμοποιούν μπαταρίες κυρίως Νικελίου-Μετάλλου υδριδίου, που επιτρέπουν να διανυθούν μικρές αποστάσεις με αποκλειστική χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Για τα PHEVs, όμως, η μεγαλύτερη αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και οι μεγαλύτερες απαιτήσεις αυτής θα επιτευχθούν με την τεχνολογία των μπαταριών lithium-ion (Li ion), όπως αναμένεται.

2.3.2 Ηλεκτρικά οχήματα που κινούνται αποκλειστικά με συσσωρευτές

Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα που κινούνται αποκλειστικά με την βοήθεια των συσσωρευτών (Battery Electric Vehicles ή BEVs) δεν έχουν εφεδρική πηγή καυσίμου και φορτίζουν τους συσσωρευτές από το ηλεκτρικό δίκτυο. Ανήκουν στην ίδια κατηγορία με τα PHEVs. Όμως, για την κίνηση τους τα BEVs βασίζονται αποκλειστικά στις μπαταρίες και τον ηλεκτροκινητήρα.

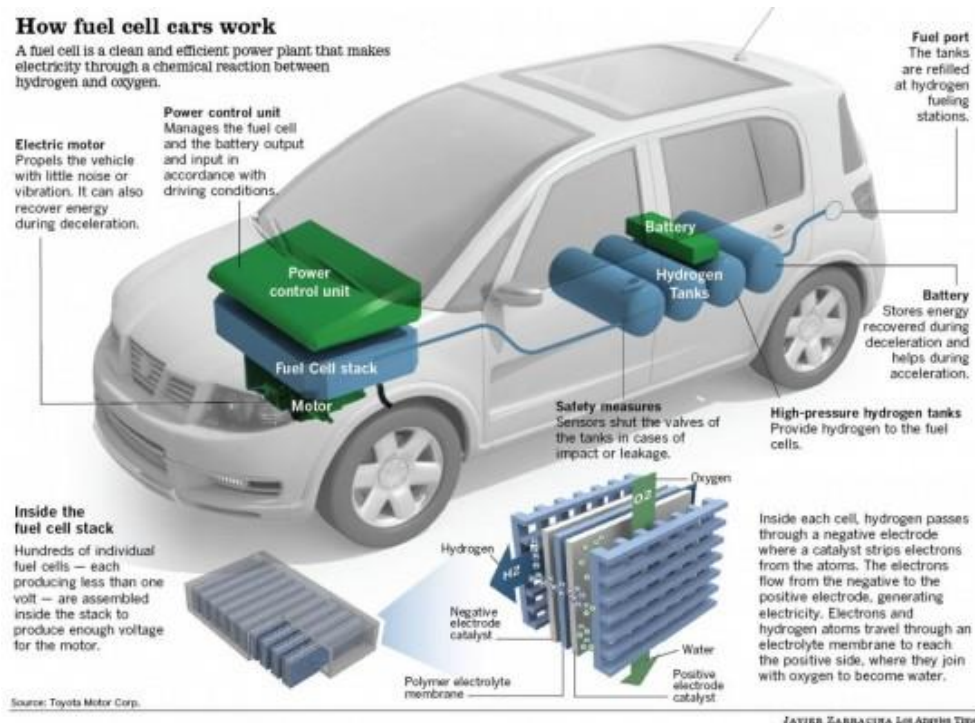


Σχήμα 2.4: Ηλεκτρικό όχημα με συσσωρευτή (BEV)

Αυτό σημαίνει ότι μειώνεται δυνητικά η αυτονομία τους, αφού η απόσταση που μπορεί να διανύσει ένα αυτοκίνητο με αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια στην μπαταρία του είναι πολύ μικρότερη από αυτήν που θα διένυε αν η κίνηση επιτυγχανόταν μέσω του βενζινοκινητήρα. Αυτό είναι απολυτά κατανοητό αν ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί που χαρακτηρίζουν την τρέχουσα τεχνολογία των συσσωρευτών στην αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας.

2.3.3 Ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου

Τα ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου (Fuel cells electric vehicles ή FCEVs) κινούνται με την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η μονάδα κυψελών καυσίμου (fuel cells) του οχήματος την οποία αποθηκεύουν σε συσσωρευτές. Η μονάδα λειτουργεί με καθαρό υδρογόνο που αποθηκεύεται στο όχημα και με οξυγόνο που λαμβάνεται από την ατμόσφαιρα.



Σχήμα 2.5: Ηλεκτρικό όχημα με κυψέλες καυσίμου

Η βασική αρχή των FCEVs είναι σχεδόν η ίδια με αυτήν των ηλεκτρικών οχημάτων που χρησιμοποιούν μόνο συσσωρευτή, αλλά διαθέτουν κυψέλη καυσίμου ή μπαταρία τύπου αέρα-μετάλλου που αντικαθιστά την επαναφορτιζόμενη ηλεκτρική μπαταρία. Οι περισσότερες από τις μεγάλες εταιρείες κινητήρων αυτοκινήτου έχουν αναπτύξει πολύ προχωρημένα αυτοκίνητα που τροφοδοτούνται με κυψέλες καυσίμου. Η Daimler Chrysler, για παράδειγμα, έχει αναπτύξει αυτοκίνητα κυψελών καυσίμου με βάση τις Mercedes σειράς A και τα έχει εφοδιάσει με κυψέλες καυσίμου Ballard που λειτουργεί με υδρογόνο το οποίο είναι αποθηκευμένο σε υγρή μορφή.

2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων

2.4.1 Πλεονεκτήματα

Τα ηλεκτρικά οχήματα (Electric Vehicles – EV) εμφανίζουν αρκετά πλεονεκτήματα αλλά και ορισμένα μειονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά οχήματα:

- i. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες, ιδιαίτερα όταν η λειτουργία τους συνδυάζεται με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε αντίθεση με τους μηχανικούς κινητήρες, δεν παράγουν αέρια κατάλοιπα, ενώ διαθέτουν και πολλά κατασκευαστικά αλλά και λειτουργικά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα, έχουν καλύτερο τρόπο λειτουργίας, ελέγχονται καλύτερα, έχουν πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης, δεν απαιτούν συχνή συντήρηση κλπ. Πάντως το κυριότερο πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η συνεισφορά του στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας οφείλεται στους ρύπους των συμβατικών οχημάτων. Το ηλεκτρικό όχημα έχει πρακτικά μηδενικούς ρύπους προκαλώντας ελάχιστη ρύπανση του αέρα και μηδενική ρύπανση του χώρου που κινείται.
- ii. Μείωση της ηχορύπανσης. Το ηλεκτρικό όχημα είναι σχεδόν αθόρυβο συγκρινόμενο με τα οχήματα που λειτουργούν με μηχανές εσωτερικής καύσεως. Μάλιστα, λόγω μη εκπομπής ρύπων και πρόκλησης θορύβου, επιτρέπεται η κίνηση του σε περιοχές «ιστορικά ευαίσθητες» π.χ. όπως στο ιστορικό κέντρο των πόλεων.
- iii. Η ηλεκτρική τεχνολογία προσφέρει τη δυνατότητα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την επαναφόρτιση των οχημάτων. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να αποτελέσουν μέρος ενός συστήματος που θα περιλαμβάνει σταθμούς ανεφοδιασμού τροφοδοτούμενους από ένα έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο.
- iv. Μείωση στις εκπομπές CO₂, εφόσον η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων εξαπλωθεί και γίνει ευρεία. Αυξημένη απόδοση στο σύστημα μετάδοσης ισχύος αυτών των οχημάτων οδηγεί σε σημαντικές μειώσεις των ρύπων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ακόμα και αν ληφθούν υπόψη οι απώλειες ενέργειας κατά την παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου και οι απώλειες κατά τη φόρτιση της μπαταρίας. Σύμφωνα με μελέτη του Αμερικανικού Συμβουλίου Αποδοτικής Ενεργειακής Οικονομίας (American Council for an Energy Efficient Economy - ACCEDE) προβλέπεται περίπου 15% μείωση στις καθαρές εκπομπές CO₂, ανα οδηγό, σε σχέση με τη χρήση συμβατικών οχημάτων. Επιπλέον, για τα ηλεκτρικά οχήματα που φορτίζονται σε περιοχές όπου το δίκτυο τροφοδοτείται από πηγές ενέργειας που εκπέμπουν CO₂ σε χαμηλότερα επίπεδα από το μέσο όρο, οι καθαρές εκπομπές CO₂ που σχετίζονται με τα αυτοκίνητα αυτά μειώνονται αντίστοιχα. Αντίθετα, η ίδια μελέτη προβλέπει ότι, σε περιοχές όπου περισσότερο από το 80% της ενέργειας του δικτύου προέρχεται από τον άνθρακα, οι τοπικές καθαρές εκπομπές CO₂ θα αυξηθούν λόγω χρήσης των EVs. Αυτό αποτελεί και το βασικό μειονέκτημα των EVs πέραν του επιπρόσθετου κόστους και βάρους λόγω των συστοιχιών από μπαταρίες. Τα EVs προσφέρουν τη δυνατότητα αποδοτικής διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα οχήματα αυτά θα φορτίζονται κατά κύριο λόγο σε περιόδους όπου υπάρχει χαμηλή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ τη νύχτα) ή εξοπλίζονται με τεχνολογία διακοπής της φόρτισης κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής της ζήτησης. Η plug-in τεχνολογία προσφέρει τη δυνατότητα χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την επαναφόρτιση του οχήματος. Στην περίπτωση αυτή, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της χρήσης ενός

EV οχήματος είναι σημαντικά μικρότερο σε σχέση με ένα συμβατικό όχημα της ίδιας κατηγορίας. Ωστόσο, αν ένα EV χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από ένα θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο με καύσιμη ύλη άνθρακα ή λιγνίτη, τότε η ρύπανση που προκαλεί ενδεχομένως να είναι μεγαλύτερη από αυτήν που προκαλεί ένα συμβατικό όχημα.

- v. Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των PHEVs, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αυτόνομων δικτύων όπως π.χ. στα νησιά του Αιγαίου, είναι η δυνατότητα που παρέχουν για την εξισορρόπηση του φορτίου επιστρέφοντας την αποθηκευμένη ενέργεια στο δίκτυο σε περιόδους αιχμής. Αυτό επιτυγχάνεται με την τεχνολογία μεταφοράς ενέργειας από το όχημα στο δίκτυο μέσω της οποίας η πλεονάζουσα ενέργεια από τις μπαταρίες επιστρέφεται πίσω στο δίκτυο, και τα PHEVs μπορούν να επαναφορτιστούν αργότερα όταν εξομαλυνθεί η ροή ηλεκτρικής ενέργειας.
- vi. Τα ηλεκτρικά οχήματα θεωρούνται περισσότερο αξιόπιστα από τα συμβατικά οχήματα. Είναι ευκολότερη η κατασκευή ενός ηλεκτρικού οχήματος γιατί ο ηλεκτροκινητήρας είναι πολύ απλός στη δομή του, σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Εφόσον τροφοδοτείται μέσω ηλεκτρονικών μετατροπών ισχύος, οι οποίοι ελέγχονται εύκολα ηλεκτρονικά, δεν απαιτείται συνήθως νερό για την ψύξη τους και δεν χρησιμοποιεί φίλτρα και λάδι, με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζει προβλήματα που δημιουργούνται από χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Καταναλώνει ενέργεια μόνο όταν κινείται. Όταν δεν κινείται π.χ. στάση σε σηματοδότες ή σε μεγάλη κυκλοφοριακή συμφόρηση, δεν καταναλώνει ενέργεια. Άρα είναι πολύ καλή επιλογή για χρήση σε αστικά κέντρα. Σύμφωνα με υπολογισμούς των General Motors και Chrysler, το κόστος λειτουργίας του, είναι πολύ μικρότερο από αυτό των συμβατικών οχημάτων. Η ηλεκτρική μηχανή έχει πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής συγκρινόμενη με του συμβατικού. Υπολογίζεται μάλιστα ίση με 1.000.000 μίλια σε αντίθεση με τα 100.000 μίλια του συμβατικού.

2.4.2 Μειονεκτήματα

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα όμως, τα PHEVs εμφανίζουν και σημαντικά μειονεκτήματα που αποτελούν αντικείμενο έρευνας. Τα μειονεκτήματα αυτά προέρχονται κυρίως από τους συσσωρευτές, και αυτό γιατί, μέχρι σήμερα, παρά τη μακρόχρονη πορεία τους παρουσιάζουν αδύνατα σημεία.

- i. Το πρώτο σχετίζεται με την πυκνότητα ενέργειας - δηλαδή το λόγο της αποθηκευμένης ενέργειας του συσσωρευτή προς τον όγκο και το βάρος του - η οποία είναι πολύ χαμηλή σε σχέση με τη πυκνότητα ενέργειας της βενζίνης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να περιορίζεται η αυτονομία ενός ηλεκτρικού οχήματος αφού καθώς αυξάνει η ενεργειακή ζήτηση απαιτείται και μεγαλύτερος όγκος και βάρος συσσωρευτών. Για παράδειγμα, 1 kgf βενζίνης έχει ειδική ενέργεια της τάξης των 12 KWh. Αντίθετα, 1 kgf από τον καλύτερο συσσωρευτή Νατρίου – Θείου έχει ειδική ενέργεια της τάξης των 80-85 Wh. Το μέγεθος αυτό διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο του συσσωρευτή, εμφανίζοντας τις υψηλότερες τιμές για συσσωρευτές Αλουμινίου-Αέρα και τις χαμηλότερες για συσσωρευτές Μολύβδου-Οξέος. Σήμερα, αν και έχει βελτιωθεί σημαντικά σε ορισμένα πειραματικά μοντέλα συσσωρευτών, η πυκνότητα ενέργειας παραμένει ένα από τα βασικά μειονεκτήματα αυτών των στοιχείων αποθήκευσης.
- ii. Άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η διάρκεια φόρτισης των συσσωρευτών καθώς μια πλήρης επαναφόρτιση με χαμηλό ρεύμα φόρτισης – ώστε να γίνεται

αξιοποίηση του νυκτερινού τιμολογίου κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας – διαρκεί μερικές ώρες.

- iii. Επιπλέον, υπάρχουν και άλλα προβλήματα όπως η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών που εμποδίζουν την ευρεία εξάπλωση των οχημάτων. Εκτός των άλλων η έρευνα στον τομέα των ηλεκτρικών οχημάτων εστιάζεται στο αδύνατο αυτό σημείο. Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών έχουν προταθεί διάφορες λύσεις όπως νέοι τύποι συσσωρευτών, κατάλληλες κυκλωματικές τοπολογίες φόρτισης, εναλλακτικές μέθοδοι φόρτισης, μέθοδοι διαχείρισης της συστοιχίας των συσσωρευτών. Επίσης για το μέλλον η επιστημονική κοινότητα συνεχίζει με εντατικό ρυθμό την έρευνα για ανάπτυξη και εναλλακτικών πηγών ενέργειας όπως οι ενεργειακές κυψέλες.
- iv. Περαιτέρω, το ηλεκτρικό όχημα έχει μικρότερες επιδόσεις από το συμβατικό και πολύ μικρότερη αυτονομία σε σχέση με τα συμβατικά.
- v. Τέλος, το κόστος των συσσωρευτών είναι υψηλό. Μάλιστα, αυτό επηρεάζει αισθητά το συνολικό κόστος του ηλεκτρικού οχήματος, και κάνει δυσκολότερη την αγορά του. Σημαντική δυσκολία στη χρήση του ηλεκτρικού οχήματος είναι η δυσκολία πρόσβασης σε φορτιστή, σε αντίθεση με τους σταθμούς καυσίμων. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τους φορητούς φορτιστές ή τη δημιουργία σταθμών φόρτισης, που πλέον συναντώνται όλο και συχνότερα σε κάποιες πόλεις του εξωτερικού.

Παρά τα πλεονεκτήματα που εμφανίζουν οι ηλεκτρικοί κινητήρες, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι ακόμα σε θέση να ανταγωνιστούν τα συμβατικά οχήματα. Η έρευνα, λοιπόν, εστιάζεται στην επίλυση των προβλημάτων ώστε τα ηλεκτρικά οχήματα να καταστούν ικανά να λειτουργούν ανταγωνιστικά προς τα συμβατικά οχήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΣΗ

Το ηλεκτροκίνητο όχημα διαφέρει σημαντικά από ένα αντίστοιχο συμβατικό όσον αφορά τη δομή του κινητήριου συστήματος. Από τεχνική άποψη, τα ηλεκτρικά οχήματα απαντώνται σε διάφορες παραλλαγές είτε ως προς την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας, είτε ως προς τον τρόπο που παράγεται η κίνηση. Ωστόσο, όλα έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό την ύπαρξη ενός τουλάχιστον ηλεκτρικού κινητήρα για την προώθηση του οχήματος. Υπάρχουν δύο κατηγορίες ηλεκτροκίνητων οχημάτων όσον αφορά τις εκπομπές ρύπων που παράγουν: i) τα οχήματα μηδενικών ρύπων (αμιγώς ηλεκτροκίνητα οχήματα) και ii) τα οχήματα χαμηλών ρύπων, στα οποία ανήκουν τα υβριδικά οχήματα. Η ειδοποιός διαφορά των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων από τα υβριδικά είναι η απουσία βενζινοκινητήρα. Στο κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται η μελέτη των αμιγώς ηλεκτρικών αυτοκινήτων και περιγράφονται ορισμένα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

3.1 Συσσωρευτές Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκε ότι υπάρχουν διαφορετικά είδη και μεγέθη ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο, σε όλες τις περιπτώσεις ο συσσωρευτής (μπαταρία) αποτελεί βασικό στοιχείο. Στο αμιγώς ηλεκτρικό όχημα, ο συσσωρευτής είναι το μοναδικό μέσο αποθήκευσης της ενέργειας, και το στοιχείο με το μεγαλύτερο κόστος, βάρος και όγκο. Στα υβριδικά οχήματα ο συσσωρευτής έχει επικουρικό ρόλο και αποτελεί επίσης ένα στοιχείο μεγάλης σημασίας. Ορισμένα οχήματα κυψελών καυσίμου διαθέτουν συσσωρευτές που δεν υπερβαίνουν σε μέγεθος εκείνους που χρησιμοποιούν τα αυτοκίνητα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Υπολογίζεται, ωστόσο, ότι τα περισσότερα οχήματα τεχνολογίας κυψελών καυσίμου θα χρησιμοποιούν αρκετά μεγάλους συσσωρευτές και θα λειτουργούν με υβριδική χρήση κυψελών καυσίμου - μπαταρίας. Συνεπώς, μια καλή κατανόηση της τεχνολογίας μπαταριών και της απόδοσης τους είναι κρίσιμη για την περαιτέρω ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων.

Ένας συσσωρευτής αποτελείται από δύο ή περισσότερες ηλεκτρικές στήλες που συνδέονται μεταξύ τους. Οι στήλες αποτελούνται από θετικά και αρνητικά ηλεκτρόδια που ενώνονται με ένα ηλεκτρολύτη και μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Η χημική αντίδραση μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη παράγει συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα. Στην περίπτωση των επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών, η χημική αντίδραση μπορεί να αντιστραφεί μέσω της αντιστροφής του ρεύματος, οπότε η μπαταρία επιστρέφει στη φορτισμένη κατάσταση. Ο συσσωρευτής Μολύβδου-Οξέος είναι ο γνωστότερος συσσωρευτής επαναφορτιζόμενου τύπου, όμως εμπορικά διατίθενται διάφορα είδη συσσωρευτών. Σχετικά μικρός αριθμός συνδυασμών έχουν αναπτυχθεί για εμπορική χρήση σε επαναφορτιζόμενες ηλεκτρικές μπαταρίες κατάλληλες για χρήση σε οχήματα. Προς το παρόν, οι συνδυασμοί αυτοί περιλαμβάνουν μπαταρίες: μολύβδου-οξέος, νικελίου-σιδήρου, νικελίου-καδμίου, νικελίου-υδριδίου μετάλλου, πολυμερών λιθίου, σιδήρου-λιθίου και θείου-νάτριου. Υπάρχουν, επίσης, πρόσφατες εξελίξεις συσσωρευτών που είναι δυνατό να ανεφοδιαστούν μηχανικά, όπως είναι οι αλουμινίου-αέρα και ψευδαργύρου-αέρα. Παρά τις προσπάθειες, μετά από 150 χρόνια ανάπτυξης, εξακολουθεί να μην έχει αναπτυχθεί κατάλληλη μπαταρία που να συμβάλλει καθοριστικά στην ευρεία χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων. Ωστόσο, πρόσφατα υπήρξαν ορισμένες σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών που είναι ελπιδοφόρες για το μέλλον. Από την πλευρά της σχεδίασης ηλεκτρικών οχημάτων η μπαταρία μπορεί να

αντιμετωπίζεται ως μια κλειστή διάταξη που ικανοποιεί μια σειρά από κριτήρια απόδοσης. Τα κριτήρια αυτά σχετίζονται με: προσφερόμενη ενέργεια, ενεργειακή πυκνότητα, προσφερόμενη δύναμη, τυπικές τιμές τάσεις, αποδοτικότητα όσον αφορά τα αμπερώρια, ενεργειακή απόδοση, εμπορική διαθεσιμότητα, κόστος, θερμοκρασίες λειτουργίας, ρυθμός εκφόρτισης, αριθμός των κύκλων ζωής και ρυθμός επαναφόρτισης. Ο σχεδιαστής πρέπει να λάβει υπόψη ότι η διαθέσιμη ενέργεια ποικίλλει με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τα ποσοστά φόρτισης και εκφόρτισης, τη γεωμετρία των στοιχείων στο εσωτερικό της μπαταρίας, τις μεθόδους χρέωσης, τις ανάγκες ψύξης κτλ. Ωστόσο, θεωρείται πολύ σημαντική η βασική κατανόηση της χημείας του συσσωρευτή, ώστε να γίνουν κατανοητές οι απαιτήσεις επιδόσεων και συντήρησης των διαφόρων τύπων, καθώς και οι περισσότερες από τις αστοχίες που συνδέονται με τη χρήση της μπαταρίας, όπως η περιορισμένη ζωή τους, η αυτοεκφόρτιση, η μειωμένη αποδοτικότητα σε υψηλότερες ρεύματα. Επίσης η βασική αυτή γνώση είναι απαραίτητη ώστε να αναγνωρίζονται και να εντοπίζονται οι ενδεχόμενοι κίνδυνοι ατυχημάτων και ο συνολικός αντίκτυπος της χρήσης των χημικών ουσιών της μπαταρίας για το περιβάλλον.

Οι συσσωρευτές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες :

- i. Υδατοειδείς συσσωρευτές : Σε αυτούς ανήκουν οι μπαταρίες μολύβδου/οξέος, νικελίου σε διάφορους συνδυασμούς και οι μπαταρίες ροής με κυρίαρχες αυτές του ψευδαργύρου/βρωμίου .
- ii. Συσσωρευτές περιρρέουσας θερμοκρασίας Λιθίου: Το σημαντικότερο πλεονέκτημά τους είναι το μικρό τους βάρος και η υψηλή τάση κελιού που μπορούν να αναπτύξουν. Μειονεκτήματά τους είναι το μεγάλο κόστος και η ταχεία φθορά του θετικού ηλεκτροδίου.
- iii. Συσσωρευτές υψηλής θερμοκρασίας: Σε αυτούς ανήκουν οι συσσωρευτές λιθίου/θεικού άλατος, νατρίου/χλωριδίου μετάλλου και νατρίου/θείου. Πρόκειται για συσσωρευτές υψηλής ενεργειακής αποδοτικότητας. Ωστόσο, η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας τους σε συνδυασμό με τα διαβρωτικά διαλύματα που περιέχουν προκαλούν τεχνικές δυσκολίες και εγείρουν θέματα ασφάλειας.

Η επιστημονική έρευνα με αντικείμενο τους συσσωρευτές είναι διαρκής, η τεχνολογία τους αναπτύσσεται ταχύτατα, ενώ και το επίπεδο ωρίμανσης κάθε τεχνολογίας μεταβάλλεται συνεχώς. Επιπλέον, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών είναι μεταβαλλόμενα κατά το χρόνο ζωής τους, αφού η απόδοση τους μεταβάλλεται σημαντικά με το χρόνο και τη χρήση.

Στον Πιν.3.1 παρουσιάζεται σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών συσσωρευτών που έχουν χρησιμοποιηθεί για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα υπό τις ίδιες συνθήκες φόρτισης.

Battery Type	Energy Density W-h/kg	Power Density W/kg	Cycle Life	Recycle % of Materials	Energy Efficiency
Lead/Acid	40	130	750	97%	65%
Aluminum/Air	200	150		75%	35%
Lithium/Iron Disulfide	>130	>120	1000	50%	
Lithium/Polymer	100	100	400	50%	
Nickel/Cadmium	56	200	2000	99%	65%
Nickel/Iron	55	130	1500	99%	60%
Nickel/Metal-Hydride	80	200	1000	100%	90%
Nickel/Zinc	80	150	200		65%
Sodium/Sulfur	100	120	500	50%	85%
Vanadium Redox	50	110	400	100%	89%
Zinc/Air	120	120	135	75%	60%
Zinc/Bromine	70	100	500		65%

Πίνακας 3.1 : Σύγκριση τεχνολογιών συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων

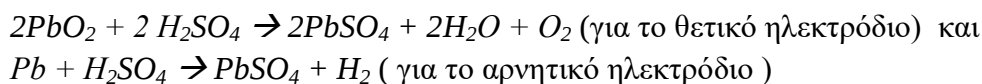
Κατηγορίες Συσσωρευτών

a) Συσσωρευτές Οξέος-Μόλυβδου

Οι μπαταρίες οξέος-μόλυβδου έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα, δεδομένου ότι αποτελούν μια ώριμη και δοκιμασμένη τεχνολογία ήδη από το 1859. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο της μπαταρίας καλύπτεται από σπογγώδη μόλυβδο ενώ το θετικό είναι επιστρωμένο με διοξείδιο του μόλυβδου. Τα δύο ηλεκτρόδια βυθίζονται στον ηλεκτρολύτη της μπαταρίας, που είναι διάλυμα θεικού οξέος σε μορφή ζελέ (gel), ή σε υδαρή μορφή. Όταν η μπαταρία εκφορτίζεται, σημειώνεται αντίδραση μεταξύ του θεικού οξέος του ηλεκτρολύτη και των στοιχείων με τα οποία είναι επιστρωμένα τα δύο ηλεκτρόδια (μόλυβδος και διοξείδιο του μόλυβδου). Έτσι, εκλύεται ηλεκτρική ενέργεια και παράγονται νερό και θεικός μόλυβδος, όπως προκύπτει από την χημική αντίδραση :



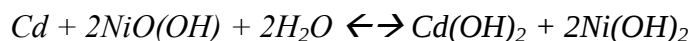
Κατά τη φόρτιση του συσσωρευτή, η διαδικασία αντιστρέφεται και τα ηλεκτρόδια μετατρέπονται πάλι σε μόλυβδο και διοξείδιο του μόλυβδου ενώ ο ηλεκτρολύτης σε θεικό οξύ. Οι συσσωρευτές μόλυβδου-οξέος έχουν μικρό κόστος, είναι αρκετά αξιόπιστοι, εύκολα ανακυκλώσιμοι, και δεν χρειάζεται ανανέωση του ηλεκτρολύτη τους. Ωστόσο εμφανίζουν αρκετά μειονεκτήματα, όπως i) ότι έχουν μεγάλο βάρος, που μπορεί να φτάσει το 20% του συνολικού βάρους του οχήματος, και ii) ότι καταστρέφονται μερικώς σε περίπτωση πλήρους εκκένωσης. Επίσης, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 3.1, έχουν την χαμηλότερη πυκνότητα ενέργειας, μόλις 40Wh/kg. Η χημική τους σύνθεση είναι ασταθής και για το λόγο αυτό αντιμετωπίζουν το θέμα μέτριας προς υψηλή αυτό-εκφόρτισης. Το πρόβλημα είναι ότι τα υλικά των ηλεκτροδίων εκφυλίζονται όσο η μπαταρία δεν χρησιμοποιείται σύμφωνα με τις αντιδράσεις :



Όπως φαίνεται από τις ανωτέρω αντιδράσεις, οι συσσωρευτές εκπέμπουν υδρογόνο, οξυγόνο και θείο. Επομένως, είναι ιδιαίτερα τοξικοί και επικίνδυνοι για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. (π.χ σε περίπτωση αντικατάστασής τους). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο να μην υπάρχει διαρροή του ηλεκτρολύτη, στην περίπτωση όπου το κέλυφος της μπαταρίας δεν είναι κλειστό και για κάποιο λόγο ανατραπεί.

b) Συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου

Οι συσσωρευτές νικελίου-καδμίου (NiCd) χρησιμοποιούν στο θετικό ηλεκτρόδιο τους οξείδιο και υδροξείδιο του νικελίου ($\text{NiO}(\text{OH})$) και μεταλλικό κάδμιο στο αρνητικό. Ο ηλεκτρολύτης αποτελείται από υδατικό διάλειμμα υδροξειδίου του καλίου όταν η μπαταρία προορίζεται για λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες. Στην περίπτωση όπου καλείται να λειτουργήσει σε υψηλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιείται ηλεκτρολύτης από υδατικό υδροξείδιο του νατρίου. Η χημική αντίδραση, που πραγματοποιείται για την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι:



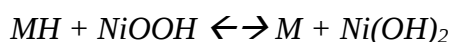
Οι συσσωρευτές αυτοί έχουν καλύτερη πυκνότητα ενέργειας (περίπου 56Wh/kg) σε σχέση με τους συσσωρευτές οξέος-μόλυβδου, αλλά αυτό – λαμβάνοντας υπόψη τις νεότερες τεχνολογίες – δεν αποτελεί ικανοποιητική βελτίωση. Η λειτουργία τους είναι ικανοποιητική σε χαμηλές θερμοκρασίες και εμφανίζουν αντοχή σε πολλούς κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης , αρκετά καλή αξιοπιστία και χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης. Εφόσον υπάρξει υπερφόρτιση του συσσωρευτή

επί μεγάλο χρονικό διάστημα, εμφανίζονται απώλειες νερού. Για το λόγο αυτό τα κελιά στο εσωτερικό των συσσωρευτών είναι σχεδιασμένα να περιέχουν μεγάλη ποσότητα ηλεκτρολύτη. Έτσι, λοιπόν, δεν απαιτείται η συχνή συντήρησή τους. Οι συσσωρευτές νικελίου-καδμίου επίσης έχουν αρκετά μεγάλο βάθος εκφόρτισης. Σε αντιδιαστολή με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, διαθέτουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να μη χρησιμοποιηθούν για μεγάλες χρονικές περιόδους χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να υποστούν βλάβες. Όπως οι συσσωρευτές μολύβδου-οξέος, έτσι και οι συσσωρευτές νικελίου-καδμίου λόγω του καδμίου που περιέχουν χαρακτηρίζονται από τοξικότητα. Επομένως, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την αντικατάστασή τους. Επίσης, λόγω του ότι το κάδμιο είναι δυσεύρετο υλικό, η κατασκευή των κελιών είναι ακριβή. Αντιστοίχως, το κόστος κατασκευής των κελιών τους υπερβαίνει κατά πολύ αυτό των μπαταριών μολύβδου-οξέως. Στο σημείο αυτό, αξίζει να υπογραμμιστεί ότι αυτή η κατηγορία συσσωρευτών εμφανίζει το φαινόμενο «μνήμης». Που σημαίνει ότι, αν δεν εκφορτιστούν πλήρως πριν την επομένη φόρτιση, μετά την πραγματοποίηση πολλαπλών φορτίσεων μειώνεται η χωρητικότητά τους. Ο αρχικός πλήρης κύκλος φόρτισης αντικαθίσταται από μειωμένο που οδηγεί στη μη πλήρη ή σε μερική αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους. Υφίστανται μια παροδική πτώση τάσης, η οποία παρεμπιπτόντως, εμφανίζεται και στις περιπτώσεις όπου το αρνητικό ηλεκτρόδιο υπερφορτίζεται σε υψηλή θερμοκρασία. Τέλος, το κάδμιο θεωρείται βλαβερό για το περιβάλλον και καρκινογόνο, χαρακτηριστικό που δυσχεραίνει την ευρεία παραγωγή και ανακύκλωση των συσσωρευτών NiCd.

γ) Συσσωρευτές Νικελίου-Υδριδίου Μετάλλου

Οι συσσωρευτές νικελίου-μετάλλου υδριδίου (NiMH) αποτελούν δοκιμασμένη λύση δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται, ήδη, σε υβριδικά οχήματα όπως το TOYOTA PRIUS και διάφορα μοντέλα της LEXUS. Διαφοροποιούνται από τους συσσωρευτές νικελίου-καδμίου επειδή το αρνητικό ηλεκτρόδιο τους δεν περιέχει κάδμιο αλλά κατασκευάζεται από υδρίδιο μετάλλου. Η διαφορά έγκειται στο ότι το υδρίδιο μετάλλου αυτό δεσμεύει υδρογόνο, λειτουργώντας κατά την εκφόρτιση σαν κυψέλη υδρογόνου. Στο θετικό ηλεκτρόδιο εξελίσσεται η ίδια χημική αντίδραση με αυτή των συσσωρευτών NiCd. Στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, το υδρογόνο, που δεσμεύτηκε από το μέταλλο, απελευθερώνεται και αντιδρά, οπότε παράγεται νερό και ηλεκτρόνια.

Η αρχή λειτουργίας των συσσωρευτών νικελίου-υδριδίου μετάλλου βασίζεται σε μια χημική αντίδραση κατά την οποία το υδρογόνο άλλοτε δεσμεύεται από το μέταλλο και άλλοτε απελευθερώνεται. Το υδρογόνο πρέπει να διατηρείται σε συγκεκριμένη πίεση. Στο εσωτερικό των πλακών, επομένως, πρέπει να επικρατεί σταθερή πίεση αλλά και να μην έχει πρόσβαση ο αέρας, αφού τότε θα απορροφηθεί από το υδρίδιο του μετάλλου, καταλαμβάνοντας το χώρο που προορίζονταν για το υδρογόνο. Η χημική αντίδραση που πραγματοποιείται είναι :



Σε σχέση με τους συσσωρευτές νικελίου-καδμίου, οι συσσωρευτές NiMH χαρακτηρίζονται από αρκετά μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, αφού όπως προκύπτει από τον πίνακα 3.1 ανέρχεται περίπου στα 80Wh/kg. Ένα πρόσθετο συγκριτικό πλεονέκτημα των συσσωρευτών NiMH είναι ότι η φόρτιση τους γίνεται ταχύτατα (σημαντικό σε περιπτώσεις όπου το ρεύμα φόρτισης διαρκεί λίγο). Όμως, καίτοι οι συσσωρευτές αυτοί εμφανίζουν μικρή εσωτερική αντίσταση, εκλύεται αρκετή θερμότητα. Αν ληφθεί υπόψη ότι και η εξώθερμη αντίδραση της ένωσης του μετάλλου με το υδρογόνο εκλύει πρόσθετη θερμότητα, γίνεται αντιληπτό πόσο αναγκαία είναι η ψύξη του συγκεκριμένου τύπου συσσωρευτή. Ένας τρόπος ψύξης είναι η προσάρτηση ανεμιστήρων στο κάλυμμα του συσσωρευτή. Η διαδικασία φόρτισης είναι ίδια με αυτήν της φόρτισης των συσσωρευτών NiCd. Μία σημαντική ιδιότητα της κατηγορίας αυτής συσσωρευτών είναι ότι η ποσότητα του ηλεκτρολύτη δεν μεταβάλλεται κατά τη διαδικασία

φόρτισης – εκφόρτισης. Συνεπώς η τάση στα άκρα της μπαταρίας αλλά και η εσωτερική της αντίσταση παραμένουν αμετάβλητες, σε σύγκριση με άλλα είδη συσσωρευτών. Μειονέκτημα της είναι το υψηλό κόστος κατασκευής τους και ο ταχύς ρυθμός αυτό-εκφόρτισης (self-discharge).

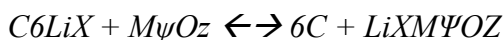


Σχήμα 3.2 Συσσωρευτής νικελίου – υδριδίου μετάλλου

δ) Συσσωρευτές Ιόντων-Λιθίου Και Λιθίου-Πολυμερούς

Οι συσσωρευτές λιθίου προσφέρουν τη μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα αλλά χαρακτηρίζονται από το υψηλότερο κόστος. Θεωρούνται οι συσσωρευτές που πιθανώς να εκτοπίσουν τα υπόλοιπα είδη συσσωρευτών στα ηλεκτρικά οχήματα. Βρίσκονται στα πρώτα στάδια εξέλιξης, οπότε η τιμή τους είναι ακόμη αρκετά υψηλή. Δύο είδη μπαταριών λιθίου που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι οι *Λιθίου - Πολυμερούς* και *Ιόντων-Λιθίου*.

Οι συσσωρευτές λιθίου-πολυμερούς περιέχουν λίθιο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο και μία στρώση οξειδίου μετάλλου στο θετικό. Το λίθιο αντιδρά με το οξύδιο του μετάλλου παράγοντας οξύδιο του λιθίου και εκλύοντας ενέργεια. Το λίθιο λειτουργεί ως αντιδρούν και, ταυτόχρονα, κινείται μέσα στον ηλεκτρολύτη. Η χημική εξίσωση, που περιγράφει το φαινόμενο αυτό είναι:



Ο συσσωρευτής ιόντων-λιθίου έχει στο θετικό της ηλεκτρόδιο μία στρώση οξειδίου μετάλλου ενώ στο αρνητικό ηλεκτρόδιο έχει λιθιούχο άνθρακα. Ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται υγρό οργανικό διάλυμα ή στερεό πολυμερές.

Ο τύπος αυτός συσσωρευτή είναι ο καταλληλότερος για τα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς δεν παρουσιάζει πολλά από τα μειονεκτήματα των προαναφερθέντων συσσωρευτών. Συγκεκριμένα, εκτός από μεγάλη πυκνότητα ενεργείας (υψηλότερη των 100 Wh/kg), οι συσσωρευτές αυτοί παρέχουν και σχετικά υψηλή ισχύ. Έχουν αυξημένη διάρκεια ζωής, ειδικά οι συσσωρευτές ιόντων-λιθίου, ενώ δεν εμφανίζουν το καταστροφικό φαινόμενο μνήμης που τους αναγκάζει να χάνουν την χωρητικότητά τους. Μεγάλο πλεονέκτημα αποτελεί η ταχεία επαναφόρτιση τους (ειδικά στα νεότερα μοντέλα), απαιτεί ωστόσο συγκεκριμένο είδος φορτιστή, που παρέχει στην έξοδο του σταθερό ρεύμα. Παρόλα τα θετικά στοιχεία τους, οι συσσωρευτές ιόντων-λιθίου εμφανίζουν και μειονεκτήματα, όπως το μεγάλο κόστος τους, αλλά και το ότι μπορούν να υποστούν αυτανάφλεξη αν η θερμοκρασία τους υπερβεί κάποια τιμή. Για το λόγο αυτό,

χρησιμοποιούνται συστήματα διαχείρισης του συσσωρευτή προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία και να αποτραπούν φαινόμενα υπερφόρτισης.

ε) Υπερπυκνωτές

Ο υπερπυκνωτής (supercapacitor), είναι ένα μέσο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, που προορίζεται να αντικαταστήσει στο μέλλον τους κλασσικούς συσσωρευτές, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που εμφανίζει έναντι των συσσωρευτών. Αντί των χημικών ουσιών που κάνουν τους συσσωρευτές δύσκολα διαχειρίσιμους, για την αποθήκευση ενέργειας οι υπερπυκνωτές χρησιμοποιούν ένα είδος στατικού ηλεκτρισμού. Αυτό σημαίνει ότι οι επιδόσεις τους είναι i) προβλέψιμες ii) τα υλικά τους περισσότερο αξιόπιστα και λιγότερο ευάλωτα στις μεταβολές της θερμοκρασίας και iii) μπορούν να αποφορτιστούν πλήρως για μια ασφαλέστερη αποστολή.

Από τις αρχές τις δεκαετίας του '50, οι ερευνητές είχαν ήδη αρχίσει να πειραματίζονται με τους υπερπυκνωτές, κατασκευάζοντας διάφορα είδη και παραλλαγές αυτών. Οι επικρατέστερες παραλλαγές κατασκευής υπερπυκνωτών είναι τρεις με τη διαφορά τους να έγκειται στον τρόπο κατασκευής των ηλεκτροδίων τους:

- i. Υπερπυκνωτές διπλού στρώματος με ηλεκτρόδια από ενεργό άνθρακα ή παραγώγων του άνθρακα, τοποθετημένα στο εσωτερικό ηλεκτρολύτη
- ii. Ψευδοπυκνωτές με ηλεκτρόδια οξειδίων μετάλλων πάνω σε φορέα ενεργού άνθρακα τοποθετημένα στο εσωτερικό ηλεκτρολύτη
- iii. Υβριδικοί υπερπυκνωτές όπου το ένα ηλεκτρόδιο είναι κατασκευασμένο από ενεργό άνθρακα και το άλλο από οξείδια μετάλλων τοποθετημένα σε ηλεκτρολύτη. Αυτή η παραλλαγή αποτελεί συνδυασμό των δυο προαναφερθέντων.

Οι υπερπυκνωτές αποτελούν συνδυασμό απλών πυκνωτών και συσσωρευτών, και εμφανίζουν μεγάλες χωρητικότητες που τους επιτρέπουν να θεωρούνται αξιόπιστοι αντικαταστάτες των κοινών συσσωρευτών σε συστήματα εφεδρικής λειτουργίας, όπου απαιτείται άμεση τροφοδοσία του κινητήρα. Συγκεκριμένα, οι χωρητικότητες των υπερπυκνωτών φτάνουν μέχρι και τα 10000F, με τάση λειτουργίας παραπλήσια με αυτή των αντίστοιχων στοιχείων των κοινών συσσωρευτών. Έτσι, συνδυάζοντας πολλούς υπερπυκνωτές σε σειρά, μπορεί να επιτευχτεί ονομαστική τάση λειτουργίας ίδια με αυτή που συναντάται στους κοινούς συσσωρευτές αυτοκινήτων.

ϋ) Σφόνδυλοι

Οι σφόνδυλοι (flywheels) αποθηκεύουν την κινητική ενέργεια του αυτοκίνητου σε ένα δρομέα (rotor). Αποτελούν δηλαδή ένα είδος μηχανικής μπαταρίας. Η αρχή λειτουργίας τους έγκειται στο ότι με την κινητική ενέργεια του αυτοκίνητου επιταχύνεται ο δρομέας του σφονδύλου, και στην συνέχεια, διατηρεί την ενέργεια αυτή υπό τη μορφή περιστροφικής ενέργειας μέχρι να χρειαστεί να την αποδώσει. Η διάμετρος του δρομέα ποικίλλει από μερικά cm μέχρι μερικά m, με ταχύτητες περιστροφής που υπερβαίνουν τις 200000rpm. Οι σφόνδυλοι μπορεί να λειτουργήσουν άλλοτε ως γεννήτριες και άλλοτε ως κινητήρες. Χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά και στη περίπτωση όπου υπάρχει απότομα διαθέσιμη ενέργεια (π.χ. φρενάρισμα). Προηγμένα συστήματα σφονδύλων διαθέτουν δρομείς κατασκευασμένους από ανθρακονήματα υψηλής αντοχής, που είναι αναρτημένοι πάνω σε μαγνητικά έδρανα και

στρέφονται με ταχύτητες που κυμαίνονται μεταξύ 20000 και 200000 rpm, τοποθετημένοι σε ένα περίβλημα κενού. Τέτοιου τύπου σφόνδυλοι μπορούν να φθάσουν την ονομαστική ταχύτητα τους σε πολύ λίγα min, φθάνοντας στο μέγιστο της ενεργειακής τους ικανότητας πολύ ταχύτερα σε σχέση με άλλες μορφές αποθήκευσης. Έχουν προταθεί για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Μέχρι τώρα, βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο, είναι αντί-οικονομικοί και δεν έχουν βρει εφαρμογή σε μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Τα βασικά μέρη ενός σφονδύλου είναι: i) ο δρομέας, ii) ο άξονας, iii) το δοχείο κενού που το περιβάλλει και iv) η γεννήτρια.

Ο δρομέας κατασκευάζεται από υλικό χαμηλής πυκνότητας και μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό (π.χ. Kevlar - είδος carbon fiber-, πυρίτιο).

Η μεγίστη ενεργειακή πυκνότητα του δρομέα του σφονδύλου εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες: i) η γεωμετρία του δρομέα, και ii) τις ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται. Αν υποθεθεί ότι χρησιμοποιούνται ισοτροπικοί δρομείς που αποτελούνται από ένα μόνο υλικό, ισχύει η σχέση:

$$E/m = K(\sigma/\rho) \quad (3.1)$$

Όπου E η κινητική ενέργεια του δρομέα [J], m η μάζα του δρομέα [kg], K γεωμετρική σταθερά του δρομέα [αδιάστατο μέγεθος], σ η τάση εφελκυσμού του υλικού [Pa] και ρ η πυκνότητα του υλικού [kg/m^3].

Ένα σύστημα σφονδύλου που χρησιμοποιεί ρουλεμάν, μπορεί να χάσει το 20% με 50% της ενεργείας του σε 2h. Μεγάλο μέρος της τριβής που ευθύνεται για την ενεργειακή απώλεια αυτή προέρχεται από την αλλαγή προσανατολισμού του σφονδύλου λόγω της περιστροφής της γης (παρόμοια περίπτωση με το εκκρεμές του Φουκώ) . Η αλλαγή προσανατολισμού βρίσκει αντίσταση από τις γυροσκοπικές δυνάμεις λόγω της στροφορμής του σφονδύλου, με αποτέλεσμα να ασκείται δύναμη στα ρουλεμάν που αυξάνει την τριβή. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί εφόσον ο άξονας περιστροφής του σφονδύλου καταστεί παράλληλος με τον άξονα περιστροφής της γης. Αντίθετα με τους σφονδύλους που χρησιμοποιούν ρουλεμάν, οι σφόνδυλοι με μαγνητικά έδρανα σε αυστηρές συνθήκες κενού, μπορούν να διατηρήσουν την αποδοτικότητα τους στο 97%.

3.2 Ηλεκτρικοί κινητήρες

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι ίσως το σημαντικότερο τμήμα ενός ηλεκτρικού οχήματος. Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους εφαρμογές είναι τόσο κινητήρες συνεχούς ρεύματος (Σ.Ρ.) όσο και κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος (Ε.Ρ.) Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι οι πρώτοι που χρησιμοποιήθηκαν στην ηλεκτροκίνηση λόγω αδυναμίας μετατροπής του συνεχούς ρεύματος του συσσωρευτή σε εναλλασσόμενο.

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

3.2.1 Γενικά για τους κινητήρες

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες ή ηλεκτροκινητήρες, είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, με την βοήθεια του μαγνητικού πεδίου. Χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο στην καθημερινή ζωή (π.χ. σε ηλεκτρικές συσκευές, ρολόγια)

όσο και στην βιομηχανία και άλλες δραστηριότητες. Μαζί με τις ηλεκτρικές γεννήτριες ανήκουν στην κατηγορία των ηλεκτρικών μηχανών που είναι ηλεκτρομηχανικές διατάξεις μετατροπής ενέργειας. Χρησιμοποιούνται για συνεχή μετατροπή ενέργειας και μεγάλες, συνήθως κυκλικές, μετατοπίσεις. Τα βασικότερα μέρη του ηλεκτροκινητήρα είναι: i) το ηλεκτρικό σύστημα, ii) το μηχανικό σύστημα, iii) το μαγνητικό πεδίο που εμπλέκει τα ανωτέρω. Κατασκευαστικά, ένας ηλεκτροκινητήρας αποτελείται από το δρομέα και το στάτη.

Ο δρομέας είναι το κινούμενο μέρος της μηχανής και μπορεί να μετατοπίζεται γραμμικά ή να περιστρέφεται. Σε αυτόν προσαρμόζονται κατάλληλα πυρήνας και τυλίγματα, μόνιμος μαγνήτης ή μαλακός σίδηρος.

Ο στάτης παραμένει ακίνητος. Αποτελεί το πλαίσιο του κινητήρα και σε αυτόν είναι προσαρμοσμένοι ηλεκτρομαγνήτες ή μόνιμοι μαγνήτες μέσω των οποίων δημιουργείται μαγνητικό πεδίο. Οι ηλεκτρομαγνήτες αποτελούνται από ρευματοφόρους αγωγούς (τυλίγματα) που έχουν περιελιχτεί γύρω από κάποιο σιδηρομαγνητικό υλικό (πυρήνα). Μεταξύ δρομέα και στάτη υπάρχει ένα διάκενο, που επιτρέπει τη σχετική κίνηση των δύο μερών και ρυθμίζει τη μαγνητική ροή που διαρρέει το μαγνητικό κύκλωμα της μηχανής. Οι πυρήνες είναι κατασκευασμένοι από σιδηρομαγνητικό υλικό, που διαμορφώνονται συνήθως υπό μορφή παράλληλων ελασμάτων, ώστε να ελαττώνεται η μαγνητική αντίσταση και να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες πυρήνα. Οι συνδέσεις των στρεφόμενων τυλιγμάτων γίνονται με δακτυλίους ολίσθησης και ψήκτρες. Οι ψήκτρες (brushes) κατασκευάζονται από μαλακό άνθρακα, επιτρέπουν στο ρεύμα να διέρχεται ελεύθερα, ενώ εμφανίζουν χαμηλή τριβή. Ο συλλέκτης αποτελείται από ένα κύλινδρο, στην περιφέρεια του οποίου υπάρχουν σφηνοειδείς τομείς από χαλκό. Οι δακτύλιοι ολίσθησης είναι κατασκευασμένοι από μέταλλο και προσαρμόζονται στην άτρακτο του δρομέα, με την παρεμβολή μόνωσης. Οι δακτύλιοι βρίσκονται σε συνεχή επαφή με τις ψήκτρες. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν οι διατάξεις αυτές, η παραγωγή συνεχούς ρεύματος τάσης γίνεται με οδήγηση από μικροελεγκτή (motor drive). Οι κινητήρες μπορούν να τροφοδοτηθούν είτε από συνεχές ρεύμα, δηλαδή από κάποιου είδους συσσωρευτή, είτε από εναλλασσόμενο ρεύμα,.

Στη συνέχεια θα εξεταστούν τα διαφορά είδη κινητήρων που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Πρέπει να σημειωθεί ότι όσο περισσότερο προηγμένος είναι ένας ηλεκτρικός κινητήρας, τόσο περισσότερο περίπλοκος ελεγκτής απαιτείται.

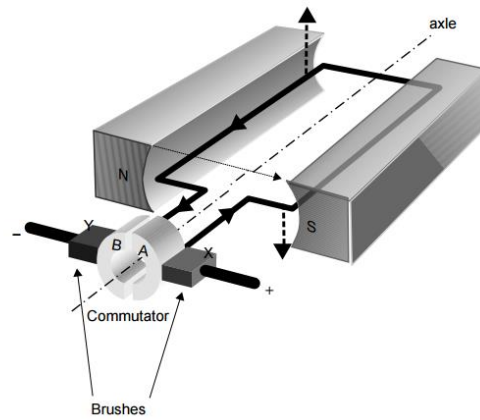
3.2.2 Κινητήρας συνεχούς ρεύματος με ψήκτρες

Τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν ποικίλα είδη ηλεκτρικών κινητήρων. Το απλούστερο από αυτά είναι ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC) με ψήκτρες. Ο τύπος κινητήρα αυτός αποτελεί μια καλή εισαγωγή στη μελέτη των κινητήρων, γιατί εκτός του ότι χρησιμοποιείται ευρύτατα, μπορούν, με βάση αυτόν, να εξηγηθούν τα βασικά ζητήματα ελέγχου ενός κινητήρα.

Η βασική αρχή λειτουργίας του DC κινητήρα είναι ότι, όταν ένας αγωγός που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, αναπτύσσεται επί αυτόν δύναμη από το μαγνητικό πεδίο που τείνει να τον κινήσει προς ορισμένη κατεύθυνση. Η δύναμη αυτή είναι η συνισταμένη των δυνάμεων Laplace, στις οποίες υπόκεινται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, τα οποία κινούνται μέσα στον αγωγό. Η δύναμη δίνεται από τη σχέση:

$$F = I \cdot L \cdot B \cdot \eta\mu\alpha \quad (3.2)$$

Όπου B η μαγνητική επαγωγή του πεδίου [T], I η ένταση ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό [A], l το μήκος του αγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο [m] και α η γωνία μεταξύ του αγωγού και του μαγνητικού πεδίου [μοίρες]



Σχήμα 3.3: Κινητήρας συνεχούς ρεύματος με ψήκτρες

Στο ανωτέρω σχήμα παρουσιάζεται ο απλούστερος κινητήρας συνεχούς ρεύματος. Το ρεύμα που διαρρέει το καλώδιο και διέρχεται πλησίον του μαγνήτη δημιουργεί μια δύναμη στον αγωγό. Το ρεύμα διέρχεται από την ψήκτρα χ, τον ημιδαχτύλιο του συλλέκτη Α, γύρω από τον αγωγό, μέσα από το δεύτερο ημιδαχτύλιο Β και καταλήγει στη ψήκτρα Υ. Στη μια πλευρά του αγωγού, όπως φαίνεται στο σχήμα, η δύναμη έχει φορά προς τα πάνω ενώ στην άλλη πλευρά έχει φορά προς τα κάτω. Οι δυο δυνάμεις αυτές αναγκάζουν τον αγωγό να στραφεί. Στο σημείο που ο αγωγός είναι κάθετος στις μαγνητικές γραμμές του πεδίου, η ορμή που έχει αναπτύξει τον αναγκάζει να συνεχίσει μέχρι να τοποθετηθεί πάλι υπό γωνία στο μαγνητικό πεδίο, όπου του ασκείται από την αρχή η δύναμη.

3.2.3. Ροπή των κινητήρων συνεχούς ρεύματος

Η ροπή T , η οποία ασκείται σε ένα πραγματικό κινητήρα συνεχούς ρεύματος, δίνεται από τη σχέση:

$$T = P \cdot S \cdot W / (2 \cdot \pi \cdot \alpha) \quad (3.3)$$

Όπου P ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων της μηχανής, S ο αριθμός των στοιχείων του τυλίγματος, W ο αριθμός των αγωγών κάθε στοιχείου, α ο αριθμός των ζευγών των παράλληλων κλάδων, Φ η μαγνητική ροή κάθε μαγνητικού πόλου, I_T η ένταση του ρεύματος του τυμπάνου (σε Α).

Το μέγεθος $k = P \cdot S \cdot W / (2 \cdot \pi \cdot \alpha)$ περιέχει τα σταθερά μεγέθη κάθε μηχανής, οπότε η 3.2 γράφεται:

$$T = k \cdot \Phi \cdot I_T$$

3.2.4. Ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων Σ.Ρ.

Η ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων Σ.Ρ. μπορεί να ρυθμιστεί με μεγάλη ακρίβεια με απλό τρόπο. Η σχέση που δίνει την ταχύτητα της περιστροφής του κινητήρα είναι η εξής:

$$n = \frac{V - I_T \cdot R_T}{k \cdot \Phi} \text{ (στρ/min)} \quad (3.4)$$

Όπου V η τάση της πηγής που τροφοδοτεί τον κινητήρα [V], I_T η ένταση του ρεύματος μέσα από το τυλίγμα του επαγωγικού τυμπάνου [A], R_T η αντίσταση του τυλίγματος του επαγωγικού

τυμπάνου και των ψηκτρών $[\Omega]$, $V - I_T \cdot R_T = E_a$ η (ΑΗΕΔ - αντιηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα) και Φ η μαγνητική ροή κάθε πόλου $[\text{Wb}]$.

3.2.5. Μέθοδοι ρύθμισης της ταχύτητας περιστροφής κινητήρων Σ.Ρ.

Από την 3.3 φαίνεται ότι οι δύο παράγοντες που προσδιορίζουν την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα είναι η τάση V - που εφαρμόζεται στα άκρα του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου - και η μαγνητική ροή Φ των πόλων, δηλαδή η ένταση διέγερσης. Έτσι, με βάση αυτούς τους παράγοντες οι μέθοδοι ρύθμισης της ταχύτητας περιστροφής είναι:

- i. με ρυθμιστική αντίσταση στο παράλληλο τύλιγμα διέγερσης
- ii. με ρυθμιστική αντίσταση στο επαγωγικό τύμπανο
- iii. με μεταβολή της τάσης τροφοδότησης του επαγωγικού τυμπάνου.

3.2.6. Ισχύς, απώλειες και βαθμός απόδοσης των κινητήρων Σ.Ρ.

Η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά ένας κινητήρας από την πηγή τροφοδοσίας του είναι ίση προς:

$$P_{in} = V \cdot I \quad (3.5)$$

Η ισχύς P που αποδίδει ο κινητήρας στον άξονά του υπό μορφή μηχανικής ενέργειας είναι πάντοτε μικρότερη από την ηλεκτρική ισχύ P_{in} που απορροφά από το δίκτυο. Αν P_L είναι η ισχύς των απωλειών, ισχύει:

$$P = P_{in} - P_L \quad (3.6)$$

Ο λόγος της ισχύος P , στον άξονά του κινητήρα, προς την ισχύ P_{in} , ονομάζεται βαθμός απόδοσης και είναι πάντοτε μικρότερος της μονάδας.

$$\eta = P/P_{in} \quad (3.7)$$

Ο βαθμός απόδοσης δεν είναι σταθερός, αλλά εξαρτάται από το φορτίο και μειώνεται, όταν το φορτίο του κινητήρα μειωθεί σημαντικά. Ο βαθμός απόδοσης στους κινητήρες γίνεται μέγιστος στην τιμή φορτίου που οι μεταβλητές απώλειες γίνονται ίσες με τις σταθερές. Αυτό συμβαίνει, όταν ο κινητήρας αποδίδει ισχύ ίση με την ονομαστική του ή και ελαφρώς μικρότερη αυτής.

3.2.7. Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος

Ασύγχρονοι κινητήρες

Ονομάζονται ασύγχρονοι κινητήρες, καθώς δεν κινούνται με τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής, όπως οι σύγχρονοι κινητήρες, αλλά με διαφορετική ταχύτητα. Οι ασύγχρονοι κινητήρες διακρίνονται σε i) επαγωγικούς που είναι είτε δακτυλιοφόροι κινητήρες, είτε κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα (μονοφασικοί ή πολυφασικοί), ii) κινητήρες με συλλέκτη, που διακρίνονται σε κινητήρες σειράς, κινητήρες Universal, κινητήρες αντίδρασης (ή απωστικοί κινητήρες).

Στους επαγωγικούς κινητήρες το ρεύμα που κινεί το δρομέα αναπτύσσεται από επαγωγή. Τα επαγωγικά ρεύματα αναπτύσσονται από την αλληλεπίδραση των μαγνητικών πεδίων. Στην προκειμένη περίπτωση το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο είναι ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο ονομάζεται το μαγνητικό πεδίο το οποίο διατηρεί σταθερό μέτρο (στιγμιαία τιμή), αλλά η διεύθυνση του μεταβάλλεται με μια ορισμένη γωνιακή ταχύτητα

ω. Αντίθετα, ένα εναλλασσόμενο πεδίο διατηρεί σταθερή τη διεύθυνσή του, ενώ η στιγμιαία τιμή του (το μέτρο του) μεταβάλλεται αρμονικά.

3.2.8 Ολίσθηση

Όπως αναφέρθηκε, η κίνηση στους επαγωγικούς κινητήρες επιτυγχάνεται από τα επαγωγικά ρεύματα που αναπτύσσονται στο δρομέα τους. Αυτά τα επαγωγικά ρεύματα δημιουργούνται από τη σχετική διαφορά της ταχύτητας μεταξύ του στρεφόμενου πεδίου και του δρομέα.

Εάν η ταχύτητα του δρομέα φθάσει την ταχύτητα του πεδίου, τότε δεν υπάρχει εμφάνιση επαγωγικών ρευμάτων, ούτε δυνάμεων Laplace, και κατά συνέπεια δεν υπάρχει κίνηση. Συνεπώς, ο δρομέας δεν στρέφεται ποτέ με τη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής, δηλαδή με την ταχύτητα του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου, αλλά πάντοτε με μικρότερη ταχύτητα. Η διαφορά της ταχύτητας στροφής του δρομέα από την ταχύτητα στροφής του πεδίου, καλείται ολίσθηση. Η ολίσθηση συμβολίζεται με το γράμμα S , και συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό της σύγχρονης ταχύτητας:

$$S = (n_s - n) / n_s \quad (3.8)$$

όπου: n_s οι στρ/min του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου και n οι στρ/min του δρομέα.

Διευκρινίζεται ότι η ολίσθηση του κινητήρα είναι η ταχύτητα με την οποία οι μαγνητικές γραμμές του στρεφόμενου πεδίου τέμνουν τους αγωγούς του δρομέα.

3.2.9 Βηματικοί κινητήρες μεταβλητής αντίδρασης

Οι κινητήρες αυτοί κατασκευάζονται με ένα τμήμα δρομέα (single stack rotor) ή με πολλαπλά τμήματα δρομέα (multiple stack rotor) προσαρμοσμένα στην ίδια άτρακτο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η βελτίωση της αποδιδόμενης ροπής.

Στους βηματικούς κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης, ο οδοντωτός στάτης και ο οδοντωτός δρομέας κατασκευάζονται από μαλακό χάλυβα που διατηρεί πολύ λίγο παραμένοντα μαγνητισμό. Πηνία περιελιγμένα γύρω από τις οδοντώσεις του στάτη παρέχουν μαγνητική έλξη η οποία καθορίζει τη θέση του δρομέα. Η ονομασία του συγκεκριμένου κινητήρα προκύπτει από το γεγονός ότι η μαγνητική αντίσταση του μαγνητικού κυκλώματος που σχηματίζεται από τις οδοντώσεις δρομέα και στάτη μεταβάλλεται με τη γωνιακή θέση του δρομέα. Με την ενεργοποίηση ενός ή περισσότερων πηνίων του στάτη ο δρομέας κάνει ένα βήμα μπροστά (ή πίσω) στη θέση ελάχιστης μαγνητικής αντίστασης της διαδρομής που περιλαμβάνει το δρομέα και τη μαγνητισμένη οδόντωση του στάτη. Ο στάτης αποτελείται από οκτώ πηνία, που έχουν συνδεθεί σε σειρά ανά ομάδες των δύο, αντιδιαμετρικά. Έτσι, όταν ένα από αυτά είναι ο βόρειος πόλος (N) το αντιδιαμετρικό του είναι ο νότιος πόλος (S). Κατά αυτόν τον τρόπο προκύπτουν τέσσερα ανεξάρτητα κυκλώματα, γνωστά ως φάσεις, η καθεμία από τις οποίες ενεργοποιείται μέσω ξεχωριστού διακόπτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πολικότητα του ρεύματος που ενεργοποιεί τις φάσεις δεν είναι σημαντική. Μια διαφορετική μορφή του κινητήρα μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης είναι ο τύπος με πολλαπλά τμήματα-στοίβες δρομέα (multi-stack), αποτελούμενος από αρκετά (συνήθως τρία) μαγνητικά ανεξάρτητα τμήματα (stacks). Σε τέτοιου είδους βηματικούς κινητήρες ο δρομέας αποτελείται από τρία ξεχωριστά οδοντωτά τμήματα, έκαστο των οποίων έχει ίσο αριθμό ισαπέχοντων δοντιών. Οι οδοντώσεις ανά τμήμα απέχουν απόσταση ίση με το 1/3 του κενού μεταξύ δύο δοντιών. Ο στάτης έχει επίσης τρία ξεχωριστά τμήματα, έκαστο των οποίων έχει οδοντώσεις, ευθυγραμμισμένες όμως, και κάθε τμήμα έχει ένα τύλιγμα που ενεργοποιεί όλους τους πόλους του. Για λειτουργία one-phase-on, κάθε τμήμα του στάτη ενεργοποιείται διαδοχικά, κατά τρόπο τέτοιο ώστε τα δόντια του δρομέα να έλκονται από τα αντίστοιχα του στάτη. Ο βηματισμός επιτυγχάνεται καθώς διαδοχικά ζευγάρια δοντιών του δρομέα είναι μη-ευθυγραμμισμένα. Η θεμελιώδης διαφορά μεταξύ των απλών βηματικών

κινητήρων μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης (VR) και των βηματικών πολλαπλών τμημάτων δρομέα είναι ότι στους τελευταίους, όλα τα δόντια κάθε τμήματος συμβάλλουν στην ανάπτυξη ροπής όταν αυτό το τμήμα ενεργοποιείται. Συνολικά όμως, από άποψη απόδοσης δεν διαφέρει από την πρώτη κατηγορία αφού μόνο ένα τμήμα ενεργοποιείται κάθε φορά. Κάθε τμήμα του δρομέα συμβάλλει στην ανάπτυξη ροπής. Στην πραγματικότητα τα τμήματα είναι παραλληλισμένα. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένας δρομέας πέντε οδοντώσεων και ένας στάτης τεσσάρων οδοντώσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστούν οι τρόποι και τα πρότυπα με τα οποία δύναται να γίνει η φόρτιση των συσσωρευτών στα ηλεκτρικά οχήματα. Με τον όρο ηλεκτρικά οχήματα νοούνται κυρίως τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα χωρίς αυτό να σημαίνει ότι οι τεχνολογίες φόρτισης που περιγράφονται κατωτέρω δεν είναι συμβατές και με τύπους υβριδικών οχημάτων.

Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι οι τεχνολογίες φόρτισης παίζουν κρίσιμο ρόλο στην εξελικτική πορεία των ηλεκτροκινήτων οχημάτων. Συγκεκριμένα, αν γίνεται λόγος για την περίπτωση που τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν προοπτική να αντικαταστήσουν τα συμβατικά βενζινοκίνητα, τότε πρέπει οι μέθοδοι και οι διατάξεις φόρτισης να παρουσιάζουν τα κατωτέρω χαρακτηριστικά:

- i. Να είναι εύκολοι στην υλοποίηση τους
- ii. Να διαθέτουν τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας
- iii. Να είναι αποδοτικές, για όσο το δυνατό ταχύτερη και οικονομικότερη φόρτιση
- iv. Να είναι ευέλικτοι, να υποστηρίζουν ποικίλες προδιαγραφές και πρότυπα
- v. Να είναι εύρωστες ως προς το δίκτυο διανομής ενέργειας, δηλαδή να υπάρχει έξυπνος έλεγχος που να ρυθμίζει τα επίπεδα φόρτισης ώστε να μην προκληθεί κατάρρευση του ηλεκτρικού δικτύου.

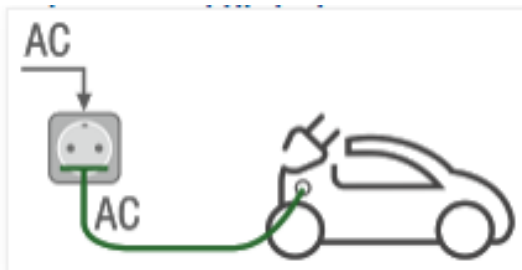
Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, εφόσον ενυπάρχουν στη διαδικασία φόρτισης, ανοίγουν το δρόμο στη διάδοση των ηλεκτρικών οχημάτων, εξασφαλίζοντας τη συμβατότητα και τη συνεκτικότητα με το ηλεκτρικό δίκτυο, που αποτελεί το επιστήλιο στις καθημερινές λειτουργίες και ζωή των ανθρώπων του σύγχρονου πολιτισμού. Επιπλέον, αν προσδοθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο και ευφυνείς τηλεπικοινωνιακές λειτουργίες με στόχο τη μετατροπή του σε ευφυνές τότε οι εξελίξεις στο εγχείρημα της φόρτισης ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα είναι ραγδαίες.

4.1 Τρόποι φόρτισης συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων

Οι τρόποι φόρτισης αναφέρονται στη σύνδεση του οχήματος με το ηλεκτρικό δίκτυο. Περιλαμβάνουν τον αναγκαίο εξοπλισμό, τα μέτρα ασφαλείας που έχουν εφαρμοστεί, και τις προδιαγραφές τάσης, ρεύματος και ισχύος που απορροφά το όχημα κατά την διαδικασία φόρτισης. Σύμφωνα με το πρότυπο *IEC 61851-1* ορίζονται οι ακόλουθοι τέσσερις τρόποι φόρτισης (modes) συσσωρευτών ηλεκτροκίνητων οχημάτων:

Φόρτιση κατά Mode 1

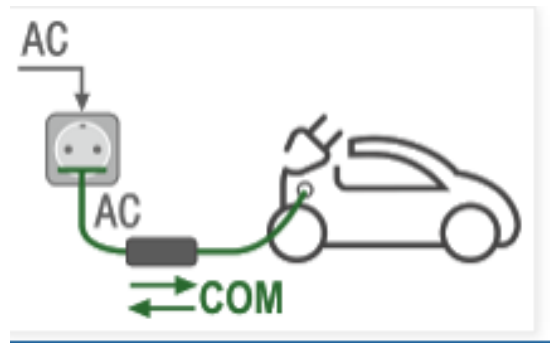
Άμεση φόρτιση από ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση μέσω ρευματοδότη (μονοφασικού ή τριφασικού), κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας και προστασίας. Η φόρτιση πραγματοποιείται με εύκαμπτο καλώδιο. Ο τρόπος αυτός προτείνεται για οικιακή χρήση.



Σχήμα 4.1: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος κατά Mode 1

Φόρτιση κατά Mode 2

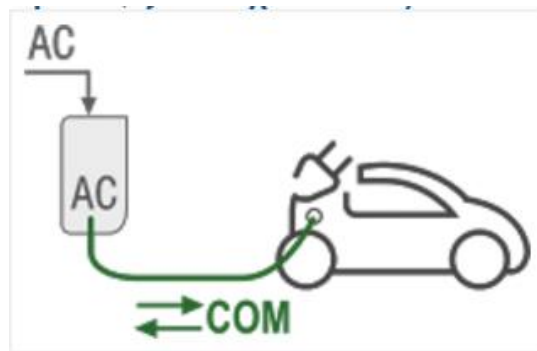
Άμεση φόρτιση από ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση μέσω κλασσικού ρευματοδότη (μονοφασικού ή τριφασικού) κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας και προστασίας, με τη διαφορά ότι το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης διαθέτει ειδικό μηχανισμό προστασίας. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα παροχής πληροφοριών σχετικών με τη φόρτιση μέσω δύο πρόσθετων αγωγών επικοινωνίας ενσωματωμένων στο καλώδιο σύνδεσης. Προτείνεται για οικιακή χρήση.



Σχήμα 4.2: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος κατά Mode 2

Φόρτιση κατά Mode 3

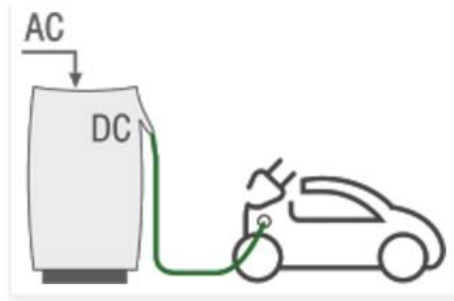
Έμμεση σύνδεση σε ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση με το καλώδιο παροχής να καταλήγει σε ξεχωριστό, ειδικό σύστημα σταθμού φόρτισης, κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας, προστασίας και ελέγχου λειτουργίας. Το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο ειδικό σύστημα φόρτισης και καταλήγει σε - ειδικών προδιαγραφών - ακροδέκτες σύνδεσης (μονοφασικούς ή τριφασικούς) με το όχημα. Και πάλι υπάρχει η δυνατότητα παροχής πληροφοριών για τα στοιχεία της φόρτισης μέσω δυο πρόσθετων αγωγών επικοινωνίας ενσωματωμένων στο καλώδιο σύνδεσης. Ενδείκνυται για οικιακή χρήση αλλά είναι προτείνεται για επαγγελματική χρήση (σε κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία κ.λπ.).



Σχήμα 4.3: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος κατά Mode 3

Φόρτιση κατά Mode 4

Έμμεση σύνδεση σε ανεξάρτητη ηλεκτρική γραμμή με καλή γείωση με το καλώδιο παροχής να καταλήγει σε ξεχωριστό ειδικό σύστημα σταθμού φόρτισης κατάλληλων προδιαγραφών ασφαλείας, προστασίας και ελέγχου λειτουργίας. Στο σύστημα φόρτισης αυτό, το AC του δικτύου μετατρέπεται σε DC. Το εύκαμπτο καλώδιο φόρτισης είναι μόνιμα συνδεδεμένο στο σύστημα φόρτισης και καταλήγει σε ειδικών προδιαγραφών ακροδέκτες σύνδεσης. Υπάρχει η δυνατότητα παροχής πληροφοριών περί της φόρτισης από το ίδιο το σύστημα. Προτείνεται για επαγγελματική χρήση, κυρίως σε σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

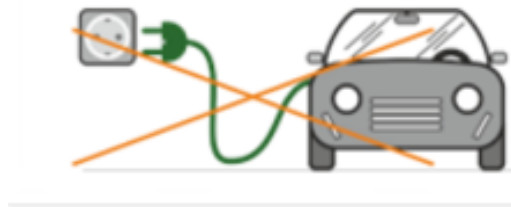


Σχήμα 4.4: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος κατά Mode 4 ή Ταχεία DC φόρτιση

4.2 Τύποι σύνδεσης ηλεκτρικών οχημάτων

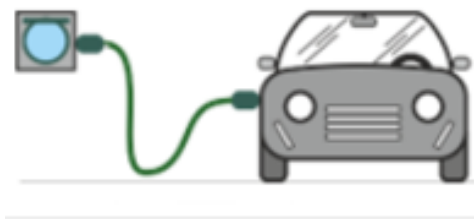
Η σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά ένα ή περισσότερους από τους ακόλουθους τρεις τρόπους σύνδεσης:

Σύνδεση τύπου Α. Στη περίπτωση αυτή η σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος στο ηλεκτρικό δίκτυο πραγματοποιείται με χρήση καλωδίου παροχής ρεύματος μόνιμα συνδεδεμένου με το ηλεκτρικό όχημα. Το καλώδιο καταλήγει σε ρευματοδότη για τη σύνδεση με το δίκτυο. Ο τρόπος αυτός δεν προτιμάται και δεν έχει εφαρμογή στη παρούσα φάση.



Σχήμα 4.5: Σύνδεση ηλεκτρικού οχήματος τύπου Α

Σύνδεση τύπου Β. Η σύνδεση μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και του ηλεκτρικού δικτύου πραγματοποιείται με χρήση καλωδίου παροχής ρεύματος που έχει τη δυνατότητα να αποσπάται. Αποτελείται από βύσμα ειδικής μορφής ρευματολήπτη για τη σύνδεση στο όχημα και βύσμα



Σχήμα 4.6: Σύνδεση ηλεκτρικού οχήματος τύπου Β

ρευματολήπτη για τη σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Σύνδεση τύπου C. Η σύνδεση μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και του ηλεκτρικού δικτύου



Σχήμα 4.7: Σύνδεση ηλεκτρικού οχήματος τύπου C

πραγματοποιείται με χρήση καλωδίου παροχής ρεύματος μόνιμα συνδεδεμένου με το ηλεκτρικό δίκτυο που καταλήγει σε βύσμα ειδικής μορφής ρευματολήπτη για τη σύνδεση με το όχημα.

Όταν γίνεται λόγος για φόρτιση Mode 2 ή Mode 3, πρέπει να τονιστεί ότι τα καλώδια που χρησιμοποιούνται περιέχουν ένα πρόσθετο ζεύγος αγωγών διατομής $0,50 \text{ mm}^2$ που έχουν αποκλειστικό σκοπό τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ του σταθμού φόρτισης και του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Μέσω της ανταλλαγής δεδομένων, εξασφαλίζουν ότι η φόρτιση δεν θα εκκινήσει αν δεν πληρούνται τρία απαραίτητα κριτήρια ασφαλείας. Αυτά είναι :

- i. Να έχει γίνει σωστά η σύνδεση σταθμού φόρτισης και οχήματος
- ii. Να υπάρχει γείωση του οχήματος
- iii. Να έχει υπολογιστεί η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς από το φορτιστή

Περισσότερες πληροφορίες επί των προαναφερθέντων υπάρχουν στο κεφάλαιο 5 που θα εξεταστούν αναλυτικά τα πρωτόκολλα και συστήματα επικοινωνίας που καθίστανται αναγκαία για την ομαλή λειτουργία και διαχείριση της φόρτισης.

4.3 Χαρακτηριστικά φόρτισης και απαιτήσεις οικιακών εγκαταστάσεων

Κατωτέρω αναφέρονται οι απαιτήσεις που έχουν οι διάφοροι τρόποι φόρτισης σε ισχύ αλλά και σε χρονική διάρκεια

4.3.1 Ισχύς φόρτισης

Η ισχύς φόρτισης καθορίζεται από την τάση τροφοδοσίας και το ρεύμα που προσφέρεται στην μπαταρία του οχήματος. Επομένως :

- i. Μονοφασική παροχή: 230V , 16A

$$\text{Η ισχύς υπολογίζεται από τον τύπο: } P_{\text{φορτισης}} = V_{(230V)} \cdot I_{(16A)} \quad (4.1)$$

- ii. Τριφασική παροχή: 400V , 32A

Στη τριφασική φόρτιση το κύκλωμα που τροφοδοτεί το όχημα μπορεί να είναι είτε σε συνδεσμολογία αστέρα ή συνδεσμολογία τριγώνου. Οπότε ισχύει ανάλογα :

- I. Συνδεσμολογία Αστέρα (Y)

$$\text{Ο τύπος είναι : } P_{\text{φορτισης}} = 3 \cdot V_{(230V)} \cdot I_{(32A)} \quad (4.2)$$

- II. Συνδεσμολογία Τριγώνου (Δ)

$$\text{Ο τύπος της ισχύος γίνεται: } P_{\text{φορτισης}} = \sqrt{3} \cdot V_{(400V)} \cdot I_{(32A)} \quad (4.3)$$

Στον Πιν. 4.1 φαίνονται ενδεικτικά, η τάση, το ρεύμα και η ισχύς που εμπλέκονται σε κάθε τρόπο ac φόρτισης, καθώς και η προτεινόμενη διατομή των καλωδίων της γραμμής.

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά ηλεκτροδότησης φόρτισης (modes) ηλεκτρικών οχημάτων (για AC)					
Τρόπος φόρτισης	Αριθμός φάσεων ηλεκτροδότησης	Ισχύς φόρτισης [KW]	Max ρεύμα [A]	Max τάση [V]	Διατομή αγωγών γραμμής [mm ²]
Mode 1	1	3,7	16	230	2,5
	3	7,4	32	400	6
Mode 2	1	3,7	16	230	2,5
	3	7,4	32	400	6
Mode 3	1	7,4	32	230	6
	3	11	16	400	2,5
	3	22	32	400	6

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά ηλεκτροδότησης AC φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

4.3.2 Διάρκεια Φόρτισης

Ο χρονική διάρκεια που απαιτείται για να φορτιστεί ο συσσωρευτής εξαρτάται από δυο βασικούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, εξαρτάται από i)τη χωρητικότητα του συσσωρευτή και ii) την ισχύ με την οποία θα τροφοδοτηθεί. Άρα μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος φόρτισης με βάση τη σχέση 4.4 :

$$t_{\text{φορτισης}} = \frac{X_{\text{χωρητικότητα συσσωρευτη (KWh)}}}{P_{\text{φορτισης (KW)}}} \quad (4.4)$$

Στο Πιν. 4.2 φαίνονται οι ενδεικτικοί χρονικές διάρκειες φόρτισης για κάθε τύπο φόρτισης:

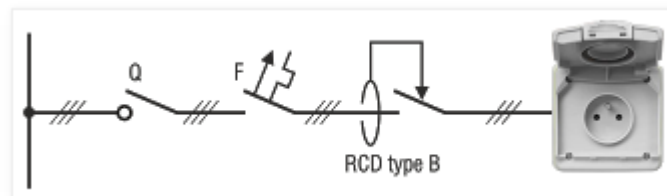
Πίνακας 2. Χαρακτηρισμός χρόνου φόρτισης σε σχέση με την απαιτούμενη ισχύ του συστήματος φόρτισης και το είδος ηλεκτροδότησης				
Χαρακτηρισμός φόρτισης	Συμβολισμός	Διάρκεια φόρτισης	Ισχύς [KW]	Ηλεκτροδότηση
Αργή AC		(6 + 8) ώρες	3,7	1φ
Γρήγορη AC		(3 + 4) ώρες	7,4 + 22	3φ
Ταχεία AC		(30 + 60) λεπτά	23 + 50	3φ
Ταχεία DC		(20 + 40) λεπτά	50	DC

Πίνακας 4.2: Χρόνοι φόρτισης σε σχέση με την απαιτούμενη ισχύ του συστήματος φόρτισης και το είδος της ηλεκτροδότησης.

4.3.3 Απαιτήσεις οικιακής ηλεκτρικής εγκατάστασης για φόρτιση κατά Mode 1 και Mode 2

Η ηλεκτρική γραμμή στην οποία θα συνδεθεί το όχημα είναι αναγκαίο να έχει αντοχή ισχύος 3.7 kW, διατομή $3 \times 2.5 \text{ mm}^2$, και μήκος όχι μεγαλύτερο από 40m. Η γραμμή πρέπει να αναχωρεί κανονικά από τον πίνακα της εγκατάστασης και να καταλήγει σε ρευματοδότη βασικών προδιαγραφών. Στη γραμμή πρέπει να υπάρχουν τα απαραίτητα στοιχεία για την αντιμετώπιση μεταβατικών φαινομένων και αρμονικών των ρευμάτων. Συγκριμένα, πρέπει να υπάρχουν :

- Αποζεύκτης ισχύος
- Διπολικός διακόπτης 2 x 25 A
- Ασφάλεια 16 η 20 A
- Ανίχνευση διαφορικού ρεύματος στα 30mA / 20 A με RCD (Γνωστό και ως Ρελέ Ηλεκτροπληξίας).



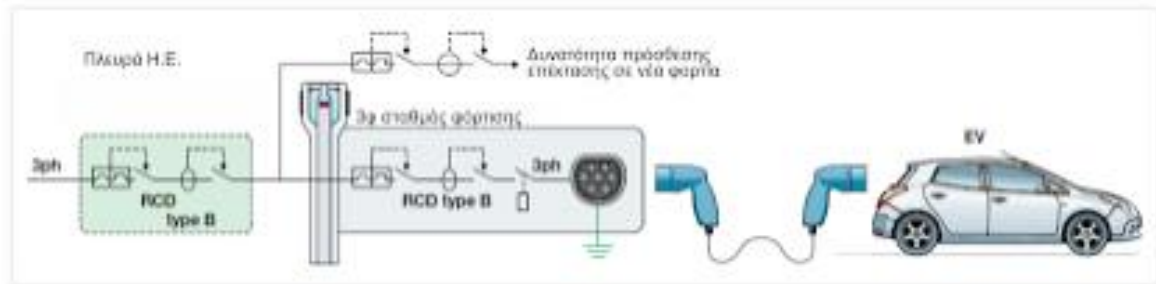
Σχήμα 4.8: Γραμμή ηλεκτροδότησης για φόρτιση κατά Mode 1 ή Mode 2

4.3.4 Απαιτήσεις οικιακής ηλεκτρικής εγκατάστασης για φόρτιση κατά Mode 3

Η ηλεκτρική γραμμή στην οποία θα συνδεθεί το όχημα, διατομής 6 mm^2 πρέπει να έχει μήκος το πολύ 40 m, και να έχει αντοχή ρεύματος 32A. Στη περίπτωση αυτή, η ηλεκτρική γραμμή αναχωρεί από τον πίνακα της εγκατάστασης και καταλήγει σε ειδικό σταθμό φόρτισης που εγκαθίσταται σε τοίχο (wall mounted). Πρέπει να διατίθεται και το πρόσθετο ζεύγος αγωγών για την επικοινωνία μεταξύ του οχήματος και του σταθμού. Η δυνατότητα μετάδοσης

πληροφορίας εντάσσει το σύστημα φόρτισης κατά Mode 3 στο έξυπνο δίκτυο. Όπως και στη προηγούμενη περίπτωση, είναι απαραίτητο η γραμμή να διαθέτει τα ακόλουθα στοιχεία προστασίας:

- i. Ασφαλειοαποξεύκτη με ονομαστική τιμή 32A
- ii. Τριπολικό διακόπτη φορτίου (το όχημα τροφοδοτείται από τριφασική παροχή)
- iii. Ανίχνευση διαφορικού ρεύματος στα 30mA/40A με RCD (Γνωστό και ως Ρελέ Ηλεκτροπληξίας).



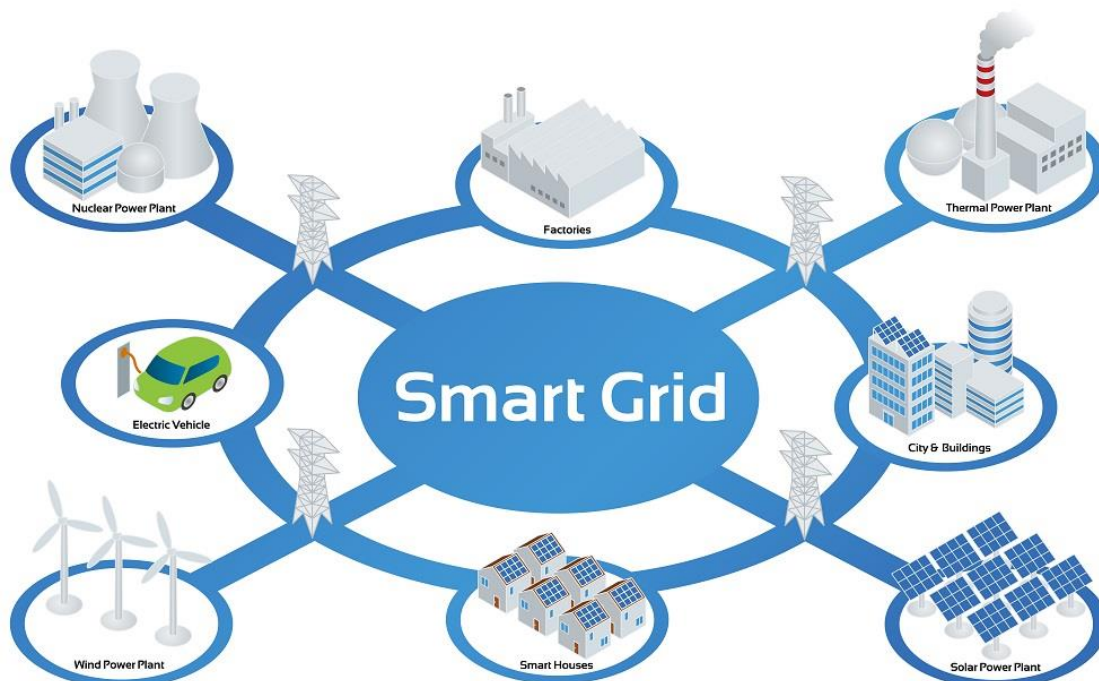
Σχήμα 4.9: Γραμμή ηλεκτροδότησης για φόρτιση Mode 3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ Η ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΈΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ.

Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ VEHICLE-TO-GRID (V2G)

5.1 Επισκόπηση του Έξυπνου δικτύου ενέργειας



Σχήμα 5.1: Αναπαράσταση λειτουργίας του Ευφυούς Ενεργειακού Δικτύου.

Το Ευφύες Δίκτυο (Smart Grid) αποτελεί αναβάθμιση του παραδοσιακού ηλεκτρικού δικτύου. Χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνιών και αυτομάτου ελέγχου σε συνδυασμό με συσκευές μέτρησης και, γενικότερα, αξιοποιεί τις τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνιών. Είναι ένας συνδυασμός του ενεργειακού δικτύου, της διακίνησης πληροφορίας και εφαρμογής των κανόνων της αγοράς (τιμολογιακή πολιτική). Όλα αυτά συνδυάζονται σε μια ολοκληρωμένη διαδικασία με σκοπό την καλύτερη παροχή, έλεγχο και διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας (ΗΕ). Ένα έξυπνο δίκτυο επιτρέπει σε διάφορες συσκευές να επικοινωνούν με ένα κεντρικό σύστημα και να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες, σε *πραγματικό χρόνο*, ώστε να μπορούν να λειτουργούν όσο το δυνατόν αποδοτικότερα. Με τη χρήση έξυπνων συσκευών και μετρητών οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν και να ελέγχουν το φορτίο τους με αποτέλεσμα να εξοικονομούν ενέργεια. Επιπλέον, λόγω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών στη διακίνηση της πληροφορίας, καθίσταται δυνατή η άμεση ενημέρωση για την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι σταθερή αλλά εμφανίζει διακυμάνσεις. Έτσι, χρειάζεται να μουν σε εφαρμογή οι λεγόμενες στρεφόμενες εφεδρείες για να καλύψουν την επιπλέον ζήτηση. Αυτός ο τρόπος διαχείρισης έχει υψηλό κόστος, τόσο γιατί το 10% της ηλεκτρικής ενέργειας που είναι διαθέσιμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για το 1% του χρόνου στο οποίο είναι διαθέσιμο όσο και επειδή

οι διακοπές παροχής ρεύματος και τα σφάλματα είναι ζημιογόνα για τους χρήστες. Το ευφυές δίκτυο προσφέρει αλληλεπίδραση μεταξύ φορτίου και παραγωγής ΗΕ σε πραγματικό χρόνο. Αυτό παρέχει δυνατότητα για υπολογισμό του ισοζυγίου σε πραγματικό χρόνο και επιτρέπει στους χειριστές να ανιχνεύουν σφάλματα και να προσδιορίζουν ταχύτατα εναλλακτική διαδρομή για τη ροή της ΗΕ παρακάμπτοντας το σφάλμα, αυξάνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την αξιοπιστία. Επίσης, επιδρώντας στο μηχανισμό κοστολόγησης (υψηλές τιμές ενέργειας τις ώρες αιχμής και χαμηλότερες τις υπόλοιπες ώρες) γίνεται μετατόπιση φορτίων και μειώνονται οι ανάγκες για εφεδρεία. Ενθαρρύνεται, επίσης, και η χρήση "πράσινης ενέργειας" που μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε ένα τέτοιο σύστημα καθώς κάθε καταναλωτής ΗΕ μπορεί να γίνει και παραγωγός χρησιμοποιώντας τεχνολογίες ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μικρά υδροηλεκτρικά, κυψέλες υδρογόνου, συμπαραγωγή) και να προσφέρει την ΗΕ στο δίκτυο ή απλά να καλύπτει μέρος της ζήτησής του.

Με χρήση έξυπνων μετρητών, οι χρήστες γνωρίζουν άμεσα ποια ισχύ απορροφούν η προσφέρουν στο δίκτυο. Συνοψίζοντας, το ευφυές δίκτυο συνδυάζοντας τεχνολογίες Smart Metering, Energy Storage και πολιτικών DR/DSM αλλά και on-line υπηρεσιών πληροφορικής (EIS) αποτελεί ένα βέλτιστο σύστημα διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας. Μέσω του ευφυούς δικτύου προσφέρονται οι εξής :

- i. Συνύπαρξη της κεντρικής και δεσπαρμένης παραγωγής, με αποτέλεσμα την μείωση της χρήσης άνθρακα και την αποτελεσματική διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας.
- ii. Εμπορία ενέργειας και μείωση κόστους ΗΕ μέσω χρονομεταβλητών τιμολογίων και παροχής κινήτρων εξαρτώμενων από το μεταβαλλόμενο φορτίο.
- iii. Ενεργός συμμετοχή των χρηστών στην εμπορία ΗΕ, με βάση την αμφίδρομη επικοινωνία και την αξιοποίηση μεγάλης ροής πληροφορίας.

5.2 Επισκόπηση Τηλεπικοινωνιακών Τεχνολογιών του Ευφυούς Δικτύου

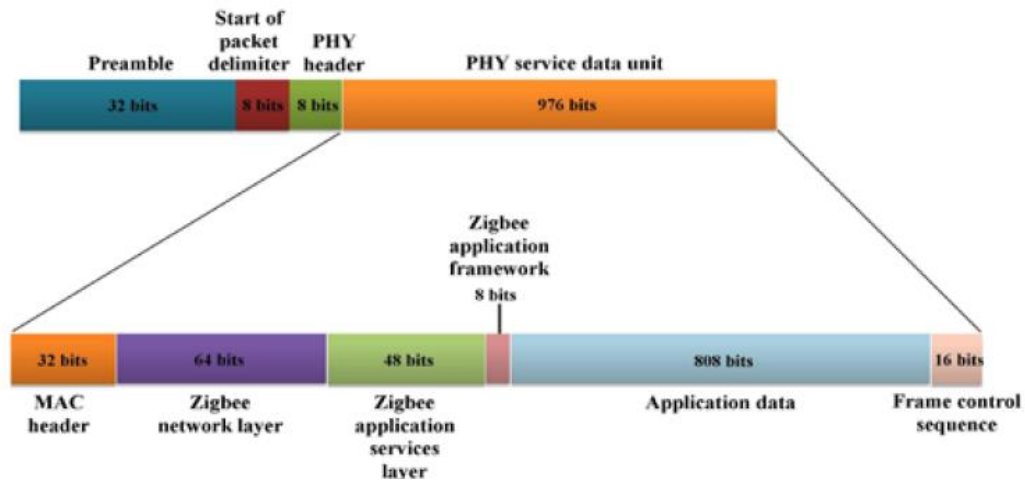
Στα έξυπνα δίκτυα ενέργειας, οι τηλεπικοινωνιακές ανάγκες και οι προδιαγραφές τους απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Οι δύο σημαντικότεροι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι :

- i. η διεκπεραιωτική ικανότητα του καναλιού (throughput), που σχετίζεται με το διαθέσιμο εύρος ζώνης
- ii. η καθυστέρηση μετάδοσης (latency).

Αν οι στόχοι που τεθούν για αυτές τις παραμέτρους δεν επιτευχθούν, το εγχείρημα του ευφυούς δικτύου θα αποτύχει. Πάντως πρέπει να λαμβανονται υπόψη και άλλοι παράγοντες, όπως η αξιοπιστία και η ασφάλεια των δεδομένων.

Επισημαίνεται ότι πολλές τεχνολογίες δικτύου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα έξυπνο δίκτυο για διάφορους τομείς (μεταφοράς, διανομής, οικιακό χώρο) αλλά καμία από αυτές δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο αποδοτικά για όλες τις εφαρμογές . Συνήθως υποσύνολο τεχνολογιών είναι κατάλληλο για εφαρμογές συγκεκριμένου τομέα ή για εφαρμογές που έχουν παρόμοιες επικοινωνιακές ανάγκες. Ποιες τεχνολογίες θα χρησιμοποιηθούν κάθε φορά εξαρτάται τελικά από τους στόχους και από το συγκεκριμένο τμήμα του ευφυούς δικτύου (π.χ V2G). Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά σε διάφορα επικοινωνιακά πρότυπα που είναι ιδιαιτέρως ελκυστικά να χρησιμοποιηθούν για διασύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων με το δίκτυο.

5.2.1 Zigbee



Σχήμα 5.2: Αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου ZigBee.

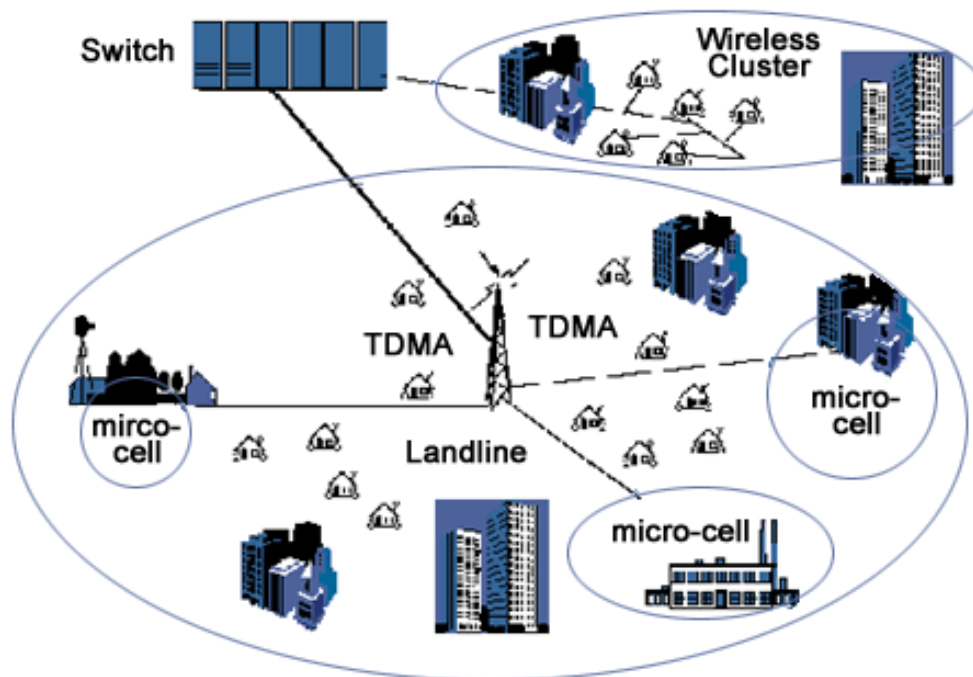
Το Zigbee είναι πρωτόκολλο φυσικού στρώματος και στρώματος ζεύξης δεδομένων βασισμένο πρότυπο IEEE 802.15.4 για ασύρματες επικοινωνίες μικρών αποστάσεων 10-50m, με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων περί τα 250 kbps. Λειτουργεί στις φασματικές περιοχές 2.4 GHz και 868-915 MHz και χρησιμοποιεί διαμόρφωση OQPSK με μέγιστη ισχύ εκπομπής 1mW.

Πλεονεκτήματα: Το Zigbee χαρακτηρίζεται από χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ικανότητα να έρχεται σε αδρανή κατάσταση (sleepy mode) για εξοικονόμηση ενέργειας, ικανοποιητικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, μικρή πολυπλοκότητα και φθινό κόστος εγκατάστασης. Η επεκτασιμότητα του δικτύου επιτυγχάνεται μέσω πολυβηματικής επικοινωνίας και δρομολόγησης. Ο χρόνος απόκρισης από αδρανή κατάσταση είναι μόλις 15ms, ενώ απαιτούνται 30ms για πρόσβαση στο δίκτυο. Τέλος, χαρακτηρίζεται από δυνατότητα αυτοοργάνωσης μέσω πρωτοκόλλου δυναμικής δρομολόγησης, ενώ διαθέτει και υψηλό επίπεδο ασφάλειας. Τέλος, με τεχνολογία Zigbee μπορούν να σχηματιστούν δίκτυα επικοινωνιών που περιλαμβάνουν μέχρι και 65.000 κόμβους, δυνατότητα που μπορεί να συμβάλει στην επεκτασιμότητα ενός δικτύου επικοινωνιών.

Μειονεκτήματα: Το κύριο ελάττωμα της τεχνολογίας Zigbee είναι οι μικρές υπολογιστικές δυνατότητες των συσκευών που τη χρησιμοποιούν. Αυτό οφείλεται στο μικρό μέγεθος πλαισίου που υποστηρίζει το Zigbee λόγω της απαίτησης για μικρή κατανάλωση ενέργειας από τους κόμβους. Επίσης, λόγω του μικρού μήκους πακέτου υπάρχει καθυστέρηση στην επεξεργασία και την αποστολή των δεδομένων ενώ, λόγω της μικρής ισχύος εκπομπής, εμφανίζονται προβλήματα παρεμβολής από άλλες τεχνολογίες που συνυπάρχουν στην ίδια φασματική ζώνη, όπως IEEE 802.11 και IEEE 802.15.1.

5.2.2 Κυψελωτές Επικοινωνίες

Η αμφίδρομη ροή δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί μέσω των διαθέσιμων τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών GSM, GPRS/EDGE, UMTS, LTE. Οι δύο πρώτες τεχνολογίες



Σχήμα 5.3: Κυψελωτές Επικοινωνίες με Μικροκυψέλες

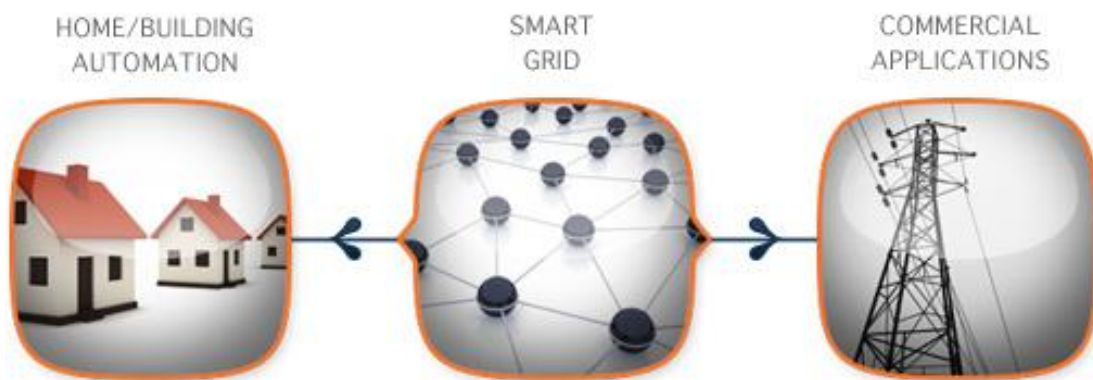
υποστηρίζουν μόνο μετάδοση δεδομένων, ενώ οι δύο τελευταίες είναι ευρυζωνικού χαρακτήρα και υποστηρίζουν υπηρεσίες πολυμέσων. Αν και οι προαναφερθείσες τεχνολογίες μπορούν να εξυπηρετήσουν το ευφρές δίκτυο στο αρχικό στάδιο, μόνο οι δύο τελευταίες είναι βέβαιο ότι είναι σε θέση να υποστηρίξουν ενδεχόμενες μελλοντικές εφαρμογές με ανάγκη για μεγαλύτερο εύρος ζώνης.

Πλεονεκτήματα: Η αξιοποίηση της υπάρχουσας υποδομή των δικτύων κινητών επικοινωνιών είναι η επικρατέστερη επιλογή για την υλοποίηση του δικτύου ευφών μετρητών, αποφεύγοντας το πρόσθετο κόστος για τη εγκατάσταση της τηλεπικοινωνιακής υποδομής του εξελιγμένου συστήματος ψηφιακών μετρήσεων (Advanced Metering Infrastructure - AMI). Επίσης, τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών παρέχουν σχεδόν 100% πληθυσμιακή κάλυψη, όντας σε θέση να εξυπηρετήσουν ακόμα και μετρητές εγκατεστημένους σε αραιοκατοικημένες περιοχές. Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών έχουν τη δυνατότητα να διαχειριστούν υπηρεσίες και εφαρμογές που δημιουργούν μεγάλο όγκο δεδομένων, όπως π.χ. η καταγραφή της κατανάλωσης ΗΕ των πελατών με συχνότητα 15 λεπτών. Επιπλέον, επιβάλλεται η κλιμακωτή χρήση των προτύπων ανάλογα με τις απαιτήσεις ποιότητας. Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα ασφάλειας δεδομένων, υιοθετώντας διαδικασίες όπως η πιστοποίηση της αυθεντικότητας των χρηστών, η χρήση κρυπτογραφίας και αποστολή πακέτων σηματοδότησης.

Μειονεκτήματα: Οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας πιθανώς να θέσουν υψηλό κόστος μίσθωσης των δικτύων τους, ενδεχόμενο που μπορεί να επηρεάσει τη μελλοντική ανάπτυξη των συστημάτων AMI. Η μετάδοση πληροφορίας κρίσιμων εφαρμογών μπορεί να απορριφθεί σε ώρες αιχμής των δικτύων κινητών επικοινωνιών, δεδομένου ότι τα δίκτυα χρησιμοποιούνται ήδη από τους πελάτες των εταιριών κινητής τηλεφωνίας. Άρα οι σχεδιαστές του ευφούς δικτύου πρέπει να λάβουν υπόψη ότι κατά τις ώρες αιχμών κίνησης αυξάνεται η πιθανότητα απόρριψης

κάποιων αιτήσεων πρόσβασης στο δίαυλο. Σοβαρό ζήτημα αποτελεί η προβλεπόμενη συμφόρηση των δικτύων κινητών επικοινωνιών αφού για πρόσβαση στα διαθέσιμα κανάλια επικοινωνιών αναμένεται να ανταγωνίζονται εκατομμύρια έξυπνοι μετρητές και διατάξεις, χιλιάδες συγκεντρωτές, εκατομμύρια έξυπνα τηλέφωνα, ταμπλέτες και Η/Υ. Η μεγαλύτερη πρόκληση είναι η διαχείριση συσκευών που έχουν διαφορετικό προσανατολισμό. Οι μεν ευφυείς συσκευές προσανατολίζονται για τις μετρητικές εφαρμογές και, κατ' επέκταση, για την αυτόματη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, τα δε έξυπνα τηλέφωνα προσανατολίζονται για ανθρώπινη επικοινωνία. Αυτό επιβάλλει διαφορετικό χαρακτηρισμό της τηλεπικοινωνιακής κίνησης που παράγουν, από τη μια πλευρά, οι έξυπνες διατάξεις και, από την άλλη πλευρά, οι συσκευές που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος. Για παράδειγμα, σε δίκτυο AMI υπάρχει μεγάλος όγκος δεδομένων στη ζεύξη uplink, ενώ ο όγκος δεδομένων για ανθρώπινη επικοινωνία συγκεντρώνεται κυρίως στη ζεύξη downlink. Άρα, είναι αναγκαίος χαρακτηρισμός της κίνησης δεδομένων για υπηρεσίες ευφυούς μέτρησης, ώστε να εξειδικευτούν και οι κατάλληλοι αλγόριθμοι κατανομής πόρων, με στόχο την αποτελεσματική και αρμονική διαχείριση όλων των συσκευών που έχουν πρόσβαση στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών.

5.2.3 Powerline Communications (PLC)



Σχήμα 5.4: Power Line Communications – PLC.

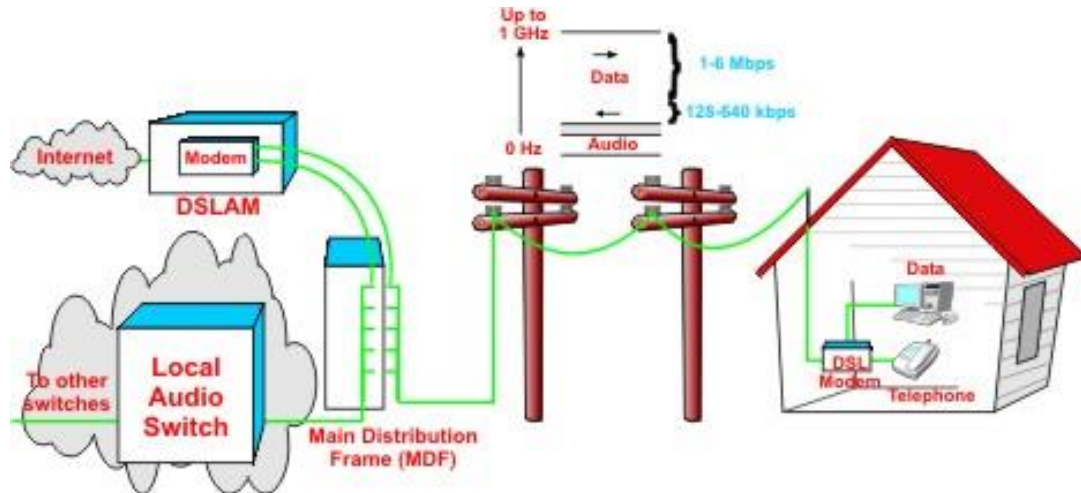
Είναι η ενσύρματη τεχνολογία που χρησιμοποιεί τα καλώδια παροχής ηλεκτρικού ρεύματος για τη μετάδοση τηλεπικοινωνιακών σημάτων. Το πρότυπο στενής ζώνης PLC (NB-PLC) χρησιμοποιεί τη φασματική ζώνη 1-500 KHz παρέχοντας ρυθμούς δεδομένων μέχρι 1Mbps με μέγιστη απόσταση μετάδοσης 1.5 km. Η τεχνολογία PLC είναι από τις επικρατέστερες για τη διασύνδεση μετρητών και συγκεντρωτών στο ηλεκτρικό δίκτυο χαμηλής τάσης, ενώ είναι δυνατή και η δικτύωση μεταξύ οικιακών ευφυών συσκευών.

Πλεονεκτήματα: Μεγάλο πλεονέκτημα είναι η ύπαρξη των καλωδίων ισχύος (φυσικό στρώμα), ώστε να αποφεύγεται από τις εταιρίες ηλεκτρισμού το κόστος εγκατάστασης της αναγκαίας τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Επίσης, παρέχεται μεγάλη γεωγραφική κάλυψη. Επομένως η διαμόρφωση ενός δικτύου PLC στο δίκτυο πρόσβασης απαλλάσσει τις εταιρίες ηλεκτρισμού από το κόστος ενοικίασης και χρήσης δικτυακού εξοπλισμού και της εξάρτησης από διαχειριστές δικτύων επικοινωνιών.

Μειονεκτήματα: Το καλώδιο ισχύος είναι ιδιαίτερα θορυβώδες μέσο, που, επιπλέον, εισάγει μεγάλη εξασθένιση και παραμόρφωση. Παράλληλα, η παρεμβολή είναι ανάλογη του αριθμού

των μετρητών που είναι συνδεδεμένοι σε ένα τοπικό δίκτυο. Για τους ανωτέρω λόγους, είναι αναγκαία η χρήση επαναληπτών για την επικοινωνία σε αποστάσεις μεγαλύτερες του 1km, χαρακτηριστικό που αυξάνει το κόστος υλοποίησης του δικτύου πρόσβασης. Επιπλέον, λόγω της τοπολογίας διαύλου που χαρακτηρίζει το ηλεκτρικό δίκτυο χαμηλής τάσης και του θορυβώδους καλωδίου ισχύος, η μετάδοση δεδομένων είναι ευάλωτη σε πτώση τάσης, δεν προσφέρεται εναλλακτική δρομολόγηση δεδομένων, ενώ με δυσκολία μπορούν να επιτευχθούν υψηλοί ρυθμοί δεδομένων.

5.2.4 Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή (DSL)



Σχήμα 5.5: Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή – DSL.

Είναι η ενσύρματη τεχνολογία μετάδοσης, όπου το χάλκινο τηλεφωνικό καλώδιο χρησιμοποιείται για ευρυζωνικές υπηρεσίες, με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μέχρι 52Mbps στο φυσικό στρώμα. Ο ρυθμός μετάδοσης μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση, που, πάντως, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 3.5 km.

Πλεονεκτήματα: Όπως και με την PLC τεχνολογία, υπάρχει διαθέσιμη τηλεπικοινωνιακή υποδομή, οπότε το κόστος εγκατάστασης ενός AMI δικτύου μειώνεται. Η DSL τεχνολογία, σε συνδυασμό με δίκτυα οπτικών ινών και Ethernet (που χρησιμοποιούνται ως υποδομή δικτύων τηλεφωνίας/ευρυζωνικών υπηρεσιών), προσφέρεται για την από άκρο σε άκρο σύνδεση μετρητών και συστημάτων διαχείρισης δεδομένων των μετρήσεων (Meter Data Management Systems – MDMS), αλλά και για τη σύνδεση του MDMS με μονάδες επεξεργασίας των υπόλοιπων οντοτήτων του Ευφυούς Δικτύου.

Μειονεκτήματα: Η συγκεκριμένη τεχνολογία αδυνατεί να εξυπηρετήσει μετρητές και συγκεντρωτές που βρίσκονται σε αραιοκατοικημένες περιοχές. Μέσω του τηλεφωνικού καλωδίου μεταδίδονται κυρίως δεδομένα ευρυζωνικών διαδικτυακών υπηρεσιών, οπότε ελλοχεύει ο κίνδυνος συμφόρησης δεδομένων. Τέλος, οι εταιρίες ηλεκτρισμού πρέπει να καταβάλλουν κόστος ενοικίασης και χρήσης εξοπλισμού στις εταιρίες παροχής τηλεφωνικών και ευρυζωνικών υπηρεσιών.

Technology	Spectrum	Data Rate	Coverage Range	Applications	Limitations
GSM	900 - 1800 MHz	Up to 14.4 Kbps	1-10 km	AMI, Demand Response, HAN	Low data rates
GPRS	900 - 1800 MHz	Up to 170 kbps	1-10 km	AMI, Demand Response, HAN	Low data rates
3G	1.92-1.98 GHz 2.11-2.17 GHz (licensed)	384 Kbps-2 Mbps	1-10 km	AMI, Demand Response, HAN	Costly spectrum fees
WiMAX	2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz	Up to 75 Mbps	10-50 km (LOS) 1-5 km (NLOS)	AMI, Demand Response	Not widespread
PLC	1-30 MHz	2-3 Mbps	1-3 km	AMI, Fraud Detection	Harsh, noisy channel environment
ZigBee	2.4 GHz- 868 - 915 MHz	250 Kbps	30-50 m	AMI, HAN	Low data rate, short range

Πίνακας 5.1: Σύγκριση τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών του Ευφυούς Δικτύου.

5.3 Ζητήματα που ανακύπτουν από την ενσωμάτωση των Ηλεκτρικών Οχημάτων

Στο εδάφιο αυτό θα μελετηθούν τα συστήματα, οι διατάξεις και τα διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται σήμερα κατά τη διαδικασία φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Η επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων συστημάτων αλλά και μεταξύ του συστήματος φόρτισης και των χρηστών είναι κρίσιμη και άκρως απαραίτητη. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει η επιτακτική ανάγκη για ομαλή και ασφαλή λειτουργία φόρτισης, τόσο ως προς την εγκατάσταση όσο και ως προς το χρήστη. Εξίσου σημαντικός λόγος είναι η διαχείριση της φόρτισης μεγάλου πλήθους οχημάτων που φορτίζεται στην ίδια εγκατάσταση κατά το ίδιο χρονικό διάστημα. Καθίσταται, λοιπόν, σαφές ότι, χωρίς διατάξεις επικοινωνίας ενσωματωμένες στα υπάρχοντα συστήματα φόρτισης αλλά και στο ηλεκτρικό δίκτυο, δεν μπορεί να γίνεται λόγος για διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στις αγορές στα επόμενα χρόνια. Άλλωστε, τα στοιχεία επικοινωνίας αυτά αποτελούν το σημαντικό τμήμα του αναπτυσσόμενου Smart Grid.

i. Ασφάλεια κατά τη φόρτιση

Είναι σημαντικό θέμα, που αφορά την προστασία της ανθρώπινης ζωής από ηλεκτροπληξία, κατά τη ζεύξη και απόζευξη του οχήματος στο ηλεκτρικό δίκτυο. Καίτοι διατίθενται τα στοιχεία προστασίας της ηλεκτρικής γραμμής, αν η φόρτιση εκκινήσει χωρίς να έχουν συνδεθεί ορθά οι ακροδέκτες – είτε από την πλευρά του οχήματος είτε από την πλευρά της παροχής – υπάρχει σοβαρός κίνδυνος ηλεκτροπληξίας ή πυρκαγιάς. Άρα, χρειάζεται σύστημα που ανιχνεύει ότι οι ακροδέκτες έχουν συνδεθεί σωστά και ότι υπάρχει γείωση στο όχημα. Τότε και μόνον τότε θα επιτρέπεται η έναρξη της φόρτισης.

ii. Προστασία του Δικτύου Διανομής ή του εκάστοτε Κέντρου Φόρτισης

Ας υποθεθεί ότι στο χώρο στάθμευσης μιας πολυκατοικίας υπάρχουν πολλαπλοί κάτοχοι ηλεκτρικών οχημάτων και επιθυμούν να φορτίσουν ταυτόχρονα τα οχήματά τους. Στα προηγούμενα κεφάλαια μελετήθηκαν οι απαιτήσεις σε ρεύμα για κάθε EV. Επομένως, δεν θα αργήσει να επέλθει η κατάρρευση του δικτύου, αφού η απαίτηση για τόσο μεγάλη παροχή υπερβαίνει τα όρια λειτουργίας οποιουδήποτε μετασχηματιστή διανομής. Αυτό θα συμβεί ακόμα και αν ο μετασχηματιστής διανομής λειτουργεί 40% πάνω από την ονομαστική του τιμή. Άρα είναι αναγκαίος ένας μηχανισμός ελέγχου, που να παρακολουθεί την κατάσταση στο χώρο φόρτισης και να επεμβαίνει όπου και όταν χρειάζεται για να διακόπτει την παροχή ή να διαμοιράζει το διαθέσιμο φορτίο σε όλα τα οχήματα που βρίσκονται υπό φόρτιση. Το ίδιο σενάριο ισχύει και στα ιδιωτικά κέντρα φόρτισης.

iii. Ευκολία πληρωμής των υπηρεσιών φόρτισης

Καθώς αυτή είναι μια εποχή που η τεχνολογία προσφέρει ολοένα και περισσότερες δυνατότητες για ταχεία και αυτόματη μεταφορά πληροφοριών (π.χ. M2M τεχνολογία), είναι επιθυμητό οι οικονομικές συναλλαγές που αφορούν τη φόρτιση των οχημάτων να διεξάγονται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους αυτόματα, χωρίς να μεσολαβεί ανθρώπινη παρέμβαση. Σε αυτό μπορεί συμβάλει καθοριστικά η υποδομή του Smart Grid, καθώς καθιστά δυνατή τη μεταφορά σημαντικού όγκου δεδομένων ταυτόχρονα με την παροχή ισχύος στους καταναλωτές. Οι τεχνολογίες μέσω των οποίων υλοποιείται ο σκοπός αυτός θα αναφερθούν στη συνέχεια.

iv. Παροχή επικουρικών υπηρεσιών έγχυσης ηλεκτρικής ισχύος στο Δίκτυο – Πραγματοποίηση του εγχειρήματος V2G

Η ραγδαία διείσδυση που εκτιμάται ότι θα έχουν τα ηλεκτρικά οχήματα τα επόμενα χρόνια δεν οφείλεται μόνο στο ότι ο ηλεκτρισμός αποτελεί πολύ καλή εναλλακτική πηγή ενέργειας. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων είναι ότι μπορούν να θεωρηθούν και ως συσσωρευτές ηλεκτρικής ενέργειας την οποία μπορούν να επιστρέψουν στο ηλεκτρικό δίκτυο όταν παραστεί ανάγκη, δηλαδή όταν η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια είναι τόσο αυξημένη ώστε η κύρια παραγωγή ενέργειας δεν επαρκεί για να την καλύψει άμεσα. Αυτό είναι πολύ σημαντικότερο από ότι φαίνεται αρχικά. Όταν η ζήτηση ενέργειας υπερβεί την προσφορά (ή και στην περίπτωση όπου συμβεί το αντίστροφο) μεταβάλλεται η συχνότητα λειτουργίας του δικτύου (50Hz στην Ευρώπη, 60Hz στην Αμερική), γεγονός που μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες για το δίκτυο αλλά και για διάφορες συσκευές και συστήματα που τροφοδοτούνται από αυτό. Αυτό έχει φυσικά προβλεφθεί μέχρι τώρα, χρησιμοποιώντας εφεδρικές γεννήτριες που είναι συνεχώς έτοιμες να εγχύσουν ή να απορροφήσουν περίσσεια ισχύ.

Τα μειονεκτήματα αυτού του τρόπου είναι δυο :

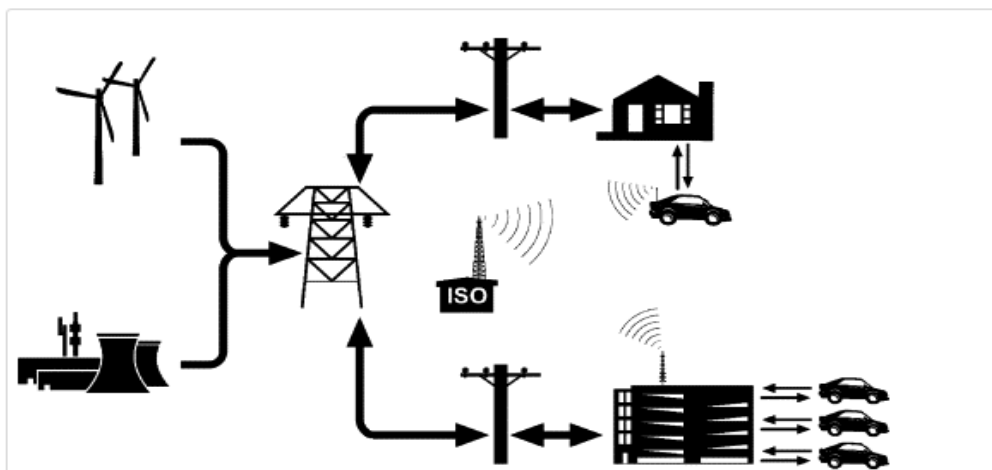
- i. Οι εφεδρικές γεννήτριες έχουν μεγάλο κόστος, γιατί πρέπει να είναι ενεργές και σε συνεχή ετοιμότητα.
- ii. Ακόμα και όταν χρειαστούν οι υπηρεσίες τους, οι εφεδρικές μονάδες χρειάζονται μερικά min μέχρι να είναι έτοιμες να προσφέρουν την απαραίτητη ισχύ στο δίκτυο

Επομένως η εισαγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο με στόχο τη σταθεροποίηση της συχνότητας αλλά και τάσης του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο είναι ευκολότερο να υποστηριχτεί η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ανεμογεννήτριες κτλ.) που παρά τα θετικά τους χαρακτηριστικά, αναπόφευκτά προκαλούν διακυμάνσεις και διαταραχές στη συχνότητα του δικτύου.

5.4 Η Τεχνολογία V2G

Η βασική ιδέα του V2G (Vehicle to Grid) είναι ότι τα οχήματα προσφέρουν ισχύ στο δίκτυο όταν είναι σταθμευμένα. Για το σκοπό αυτό κάθε όχημα χρειάζεται :

- i. Σύνδεση με το δίκτυο για την ανταλλαγή της ηλεκτρικής ενέργειας
- ii. Εξοπλισμό ελέγχου και επικοινωνίας με το διαχειριστή του δικτύου
- iii. Ενσωματωμένο μετρητή ηλεκτρικής ισχύος.



Σχήμα 5.6 Σχηματική απεικόνιση της διασύνδεσης διαφόρων οντοτήτων στο V2G.

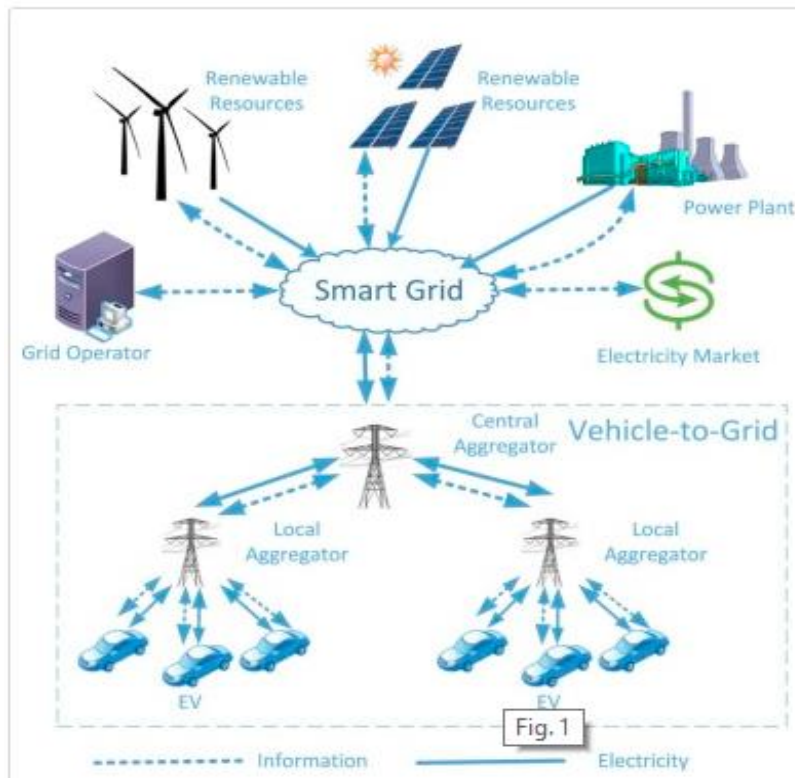
Το V2G είναι απαραίτητο γιατί επιτρέπει το λεπτομερή σχεδιασμό της προσφοράς ηλεκτρικής ισχύος στο δίκτυο, όταν αυτό την χρειάζεται. Για να μπορέσει να σχεδιαστεί οποιαδήποτε εκχώρηση ισχύος στο δίκτυο, πρέπει ο χειριστής του δικτύου να βασιστεί στο γεγονός ότι υπάρχουν πολλά οχήματα συνδεδεμένα συνεχώς στο δίκτυο. Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει, κατά μέσο όρο ένα αυτοκίνητο κινείται μόνο κατά το 4-5% σε ημερήσια βάση που σημαίνει ότι την υπόλοιπη ημέρα είναι σταθμευμένο. Επιπλέον, εκτενείς έρευνες έχουν δείξει ότι το 90% των οχημάτων είναι παρκαρισμένα, κατά τις ώρες αιχμής του ηλεκτρικού δικτύου. Επομένως, το ότι η κατάσταση των οχημάτων είναι σε μεγάλο βαθμό προβλέψιμη, αναμένεται να συμβάλει στην επιτυχία του V2G.

Για να έχει ένα ηλεκτρικό όχημα τη δυνατότητα να συμμετάσχει στο εγχείρημα V2G, είναι απαραίτητες δύο βασικές προϋποθέσεις.

- i. Η πρώτη είναι να υπάρχουν ενσωματωμένα στο όχημα ειδικά ηλεκτρονικά ισχύος που υποστηρίζουν V2G.
- ii. Το δεύτερο είναι επικοινωνία, σε πραγματικό χρόνο, με το χειριστή του δικτύου, ώστε να μπορεί ο χειριστής του δικτύου να ζητήσει ισχύ από το όχημα οπότε την χρειάζεται.

Η πρόβλεψη της ενέργειας που χρειάζεται το δίκτυο είναι σημαντική, καθώς το εγχείρημα V2G θα είναι επιτυχές μόνο αν γίνει κατά τρόπο που θα διασφαλίζει ότι υπάρχει πάντα μεγάλος αριθμός αυτοκινήτων και με αρκετή ενέργεια αποθηκευμένη στη μπαταρία τους. Από την άλλη πλευρά, ο ιδιοκτήτης των οχημάτων ωφελούνται παρέχοντας αυτές τις υπηρεσίες, είτε με μειώσεις στο λογαριασμό του ρεύματος είτε λαμβάνοντας διάφορα οικονομικά οφέλη.

5.5 Αρχιτεκτονική του V2G



Σχήμα 5.7: Αρχιτεκτονική του V2G.

Το V2G περιλαμβάνει τα ηλεκτρικά οχήματα και συστήματα-οντότητες που συγκεντρώνουν δεδομένα από μεγάλο αριθμό οχημάτων και τα διαβιβάζουν στο διαχειριστή του δικτύου ώστε να πραγματοποιείται ή να σχεδιάζεται αποδοτικότερα οποιαδήποτε διεργασία χρειάζεται το δίκτυο. Αντίστοιχα, οι φορείς συγκέντρωσης (aggregators) μεταφέρουν χρήσιμες πληροφορίες και από την πλευρά του δικτύου στα ηλεκτρικά οχήματα, π.χ. την τιμή της κιλοβατώρας κατά τη φόρτιση κτλ. Ένα απλοποιημένο διάγραμμα της όλης λειτουργίας του V2G δίνεται στο Σχ.5.7. Οι φορείς συγκέντρωσης παρακολουθούν την κατάσταση φόρτισης των μπαταριών των EV ή, όπως αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία SoC (State of Charge), και τα ομαδοποιούν. Συνήθως, χρειάζονται χιλιάδες οχήματα για να εγχύσουν/απορροφήσουν ενέργεια επιπέδου MWh ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες του δικτύου.

Ένας κεντρικός φορέας συγκέντρωσης (Central Aggregator- CA) είναι υπεύθυνος για τη συνολική παρακολούθηση των οχημάτων και αναλαμβάνει συναλλαγές ηλεκτρικής ισχύος εκ μέρους των EV με βάση τη μεταβαλλόμενη τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, τοπικοί φορείς συγκέντρωσης (LAs) οργανωμένοι σε ιεραρχική δομή, κατανέμονται σε διάφορες περιοχές. Κάθε LA είναι υπεύθυνος να παρακολουθεί τα οχήματα που βρίσκονται στην περιοχή δικαιοδοσίας του και μεταφέρει τα δεδομένα στον CA άμεσα και αυτόματα. Ένα τέτοιο σχήμα είναι πολύ αποδοτικό για την επιτήρηση μεγάλου αριθμού οχημάτων. Όπως φαίνεται και από το Σχ.5.7 στο Έξυπνο Δίκτυο υπάρχουν δύο είδη ροών, η *ροή ενέργειας* και η *ροή πληροφορίας*. Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί έκπληξη, αφού η ορθή και αποδοτική ανταλλαγή ισχύος με το δίκτυο απαιτεί ανταλλαγή πλήθους πληροφοριών διαφορετικού τύπου όπως :

- i. Τεχνικά δεδομένα όπως το SoC της μπαταρίας των οχημάτων.
- ii. Οικονομικά δεδομένα όπως η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας.
- iii. Στατιστικά δεδομένα όπως η διαθεσιμότητα ισχύος από πλευράς οχημάτων.

Στη συνέχεια, ο χειριστής του δικτύου μπορεί να στείλει σήμα στον CA, ζητώντας ηλεκτρική ισχύ, και αυτός ειδοποιεί το στόλο των οχημάτων να παράσχει την απαιτούμενη ισχύ.

5.6 Ανταλλαγή πληροφοριών στο V2G

Οι ανάγκες και τα πρότυπα επικοινωνίας κατηγοριοποιούνται σε τρία σύνολα. Το πρώτο, περιλαμβάνει τις τεχνολογίες που είναι απαραίτητες για εφαρμογές οικιακής φόρτισης και τα μηνύματα που ανταλλάσσονται μεταξύ του οχήματος και του εξοπλισμού φόρτισής του. Το δεύτερο περιλαμβάνει τις τεχνολογίες για επικοινωνία μεταξύ των EV. Το τρίτο περιλαμβάνει τα πρότυπα για τις επικοινωνίες με το κέντρο ελέγχου.

5.6.1 Επικοινωνίες V2G στον Οικιακό Χώρο

5.6.1.1 Επικοινωνία ηλεκτρικού οχήματος με τον εξοπλισμό φόρτισης

Η επικοινωνία V2G σε οικιακού χώρους, πραγματοποιείται σε πολλαπλά επίπεδα. Καταρχήν, υπάρχουν τα πρότυπα και οι τεχνολογίες επικοινωνίας μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και του εξοπλισμού φόρτισής τους (Electric Vehicle Supply Equipment ή EVSE), που είναι απαραίτητα για:

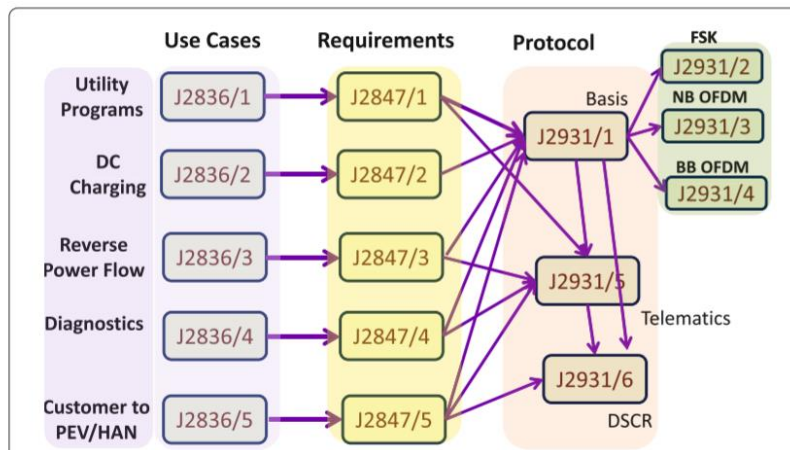
- i. τη μεταφορά ενέργειας,
- ii. την επιτήρηση και τη διαχείριση της φόρτισής
- iii. την ανταλλαγή πληροφοριών κοστολόγησης
- iv. την άμεση ταυτοποίηση του χρήστη και την εξουσιοδότηση φόρτισης

Η σχετική προτυποποίηση είναι απαραίτητη για την ταχεία διείσδυση των EV και την εύρυθμη λειτουργία των στοιχείων του ηλεκτρικού δικτύου. Η κοινότητα των μηχανικών αυτοκίνησης (Society of Automotive Engineers ή SAE) έχει καθορίσει τα πρότυπα επικοινωνίας όταν φορτίζεται ένα EV τα οποία είναι :

- i. SAE J2293: Το πρότυπο αυτό καλύπτει τη λειτουργικότητα και τις αρχιτεκτονικές που απαιτούνται για το σύστημα μεταφοράς ενέργειας του ηλεκτρικού οχήματος
- ii. SAE J2836/1 και J2847/1: Προσδιορίζουν τις περιπτώσεις χρήσης και ότι είναι απαραίτητο για την επικοινωνία μεταξύ του EV και του ηλεκτρικού δικτύου, κυρίως σε ό,τι αφορά τη μεταφορά ενέργειας. Τα πρωτόκολλα αυτά επικεντρώνονται στη βέλτιστη μεταφορά ενέργειας από το δίκτυο και εγγυώνται ότι οι χρήστες θα λάβουν την απαιτούμενη ενέργεια, κρατώντας στο ελάχιστο την επιβάρυνση που δέχεται το δίκτυο.
- iii. SAE J2836/2 και J2847/2: Προσδιορίζουν τα αναγκαία πρότυπα επικοινωνίας του ηλεκτρικού οχήματος με το σταθμό φόρτισης του.
SAE J2836/3 και J2847/3: Τα πρότυπα αυτά λειτουργούν επικουρικά ως προς τα SAE J2836/1 και J2847/1 και έχουν σκοπό να διασφαλίσουν ότι η διαδικασία της μεταφοράς ενέργειας από το όχημα στο ηλεκτρικό δίκτυο (V2G-Vehicle to Grid) είναι συμβατή και δεν συγκρούεται με λοιπές λειτουργίες όπως V2H-Vehicle to Home, V2L-Vehicle to Load, V2V- Vehicle to Vehicle.
- iv. SAE J2931: Καθορίζει τις ανάγκες ψηφιακής επικοινωνίας μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και εξωτερικών συσκευών, όπως ο ψηφιακός μετρητής ισχύος.

- v. SAE J2931/1: Καλύπτει τα θέματα της επικοινωνίας των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας με το όχημα.
- vi. SAE J2931/2: Προσδιορίζει τα απαραίτητα στοιχεία του φυσικού επιπέδου επικοινωνιών (physical layer) για τα σήματα που ανταλλάσσονται μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και του σταθμού φόρτισης στη προκαθορισμένη ζώνη συχνοτήτων.

Στο Σχ.5.8 απεικονίζεται η συνολική λειτουργικότητα των προτύπων. Για παράδειγμα, τα λειτουργικά προγράμματα που στεγάζονται κάτω από το J2836/1 μπορεί να περιλαμβάνουν διαχείριση του χρόνου χρήσης, επιτήρηση τιμολογιακής πολιτικής σε πραγματικό χρόνο, διαχείριση τιμολογιακής πολιτικής σε περιπτώσεις φόρτισης στις ώρες αιχμής κ.ο.κ



Σχήμα 5.8: Πρότυπα επικοινωνίας στα EV κατά SAE.

5.6.1.2 Επικοινωνία μονάδα διαχείρισης ενέργειας με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Η οπτικοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης βοηθά το χρήστη να αντιληφθεί το κόστος της ενεργειακής χρήσης. Όμως, βέλτιστες αποφάσεις μπορούν να ληφθούν μόνο από αυτόματα συστήματα διαχείρισης ενέργειας (Energy Management Systems - EMS). Για την διεπαφή τους με το χρήστη τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν μονάδες διαχείρισης ενέργειας (Energy Management Units). Τα EMU κάνουν δυνατή την αλληλεπίδραση των καταναλωτών με το δίκτυο ενέργειας. Οι καταναλωτές μπορούν να παρακολουθούν, ελέγχουν και βελτιστοποιούν την ενεργειακή κατανάλωση. Καίτοι τα συστήματα διαχείρισης ενέργειας είναι εμπορικά διαθέσιμα εδώ και μερικές δεκαετίες, σήμερα γνωρίζουν μεγαλύτερη ανάπτυξη λόγω των πρόσφατων εξελίξεων στο ευφυές δίκτυο.

1) Επικοινωνία EVSE με EMU

Το EVSE (δηλαδή ο εξοπλισμός φόρτισης του οχήματος) συνδέεται με το EMU μέσω HAN (home area network). Οι πλέον δημοφιλείς τεχνολογίες για το HAN είναι i) το ZigBee, ii) η τεχνολογία WLAN (δηλαδή η τεχνολογία που βασίζεται στο πρότυπο 802.11, κοινώς το Wi-fi) και iii) οι φεμτοκυψέλες των κυψελωτών δικτύων.

Το ZigBee προσφέρει ικανοποιητική τηλεπικοινωνιακή κάλυψη (εμβέλεια 30 έως 40m) και ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (256kbps). χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλό κόστος εγκατάστασης. Το γεγονός ότι η τεχνολογία WLAN έχει εγκατασταθεί σήμερα παντού την καθιστά και αυτήν εξαιρετική επιλογή για HAN. Οι φεμτοκυψέλες χρησιμοποιούνται ως σημεία πρόσβασης για τα κυψελωτά δίκτυα. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί την ευρυζωνική σύνδεση του καταναλωτή π.χ DSL κτλ, για συνδεθεί στο δίκτυο κορμού

(backbone network) του ασύρματου φορέα. Με αυτό τον τρόπο οι φεμτοκυψέλες προσφέρουν την απαιτούμενη κάλυψη, σε εσωτερικούς χώρους, για εφαρμογές του Smart Grid.

2) Επικοινωνία EMU με το ηλεκτρικό δίκτυο

Η επικοινωνία μεταξύ του EMU και του ηλεκτρικού δικτύου μπορεί να διεκπεραιωθεί από την υπάρχουσα υποδομή AMI. Για το σκοπό αυτό, υπάρχουν οι εξής υποψήφιες τεχνολογίες:

- i. Power line Communication: Η τεχνολογία PLC αποτελεί μια από τις καταλληλότερες τεχνολογίες για την αλληλεπίδραση της EMU με το ηλεκτρικό δίκτυο. Το κίνητρο για τη χρήση PLC είναι ότι έχει ήδη εγκατασταθεί η απαραίτητη υποδομή. Υπάρχουν τρεις τύποι τεχνολογιών PLC που κατηγοριοποιούνται αντίστοιχα με τη ζώνη συχνοτήτων και το ρυθμό μετάδοσης.
 - a. Broadband PLC: Λειτουργεί στις συχνότητες 1,8 – 250MHz και ο ρυθμός μετάδοσης κυμαίνεται μεταξύ λίγων Mbps και μερικών εκατοντάδων Mbps.
 - b. Narrowband PLC: Λειτουργεί στα 3 – 500 KHz και έχει χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.
 - c. Ultra Narrowband PLC: Αποτελεί παλαιότερη τεχνολογία από τις προαναφερθείσες, και ο ρυθμός μετάδοσης της είναι της τάξης των μερικών εκατοντάδων bps

Εντούτοις, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μετάδοση PLC εμφανίζει και μειονεκτήματα του PLC. Το φυσικό μέσο μετάδοσης εξασθενεί σημαντικά και είναι ιδιαίτερα θορυβώδες. Επίσης, οι μετασχηματιστές προκαλούν σημαντική εξασθένηση, γεγονός που περιορίζει τις αποστάσεις επικοινωνίας. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν επαναλήπτες (repeaters) αλλά πρέπει να ληφθεί εξ αρχής υπόψη το σχετικό πρόσθετο κόστος. Τέλος, οι κανονισμοί σε κάποιες χώρες περιορίζουν τη χρήση της τεχνολογίας PLC. Για παράδειγμα στην Ιαπωνία δεν επιτρέπεται σε εσωτερικά περιβάλλοντα.

- ii. White-space Networking: Η απόδοση τηλεπικοινωνιακού φάσματος για ευρυεκπομπή ψηφιακής τηλεόρασης απελευθερώνει τμήματα του φάσματος συχνοτήτων. Το IEEE 802.22 είναι το πρότυπο για τα ασύρματα δίκτυα περιφερειακής εμβέλειας (Wireless Regional Area Network - WRAN) που χρησιμοποιεί τις ελεύθερες αυτές θέσεις στο φάσμα. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας προσφέρει τα κατωτέρω πλεονεκτήματα:

- Επιτρέπει υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων με οικονομικό τρόπο. Το whitespace networking έχει βαθιά διείσδυση και μεγάλη εμβέλεια μετάδοσης, πράγμα που εξαλείφει την ανάγκη για σύνθετες αρχιτεκτονικές.
- Ευζωνική σύνδεση καταναλωτή: Εναλλακτικά, δύναται να χρησιμοποιηθεί μια ευρυζωνική τεχνολογία, όπως το DSL, που είναι ήδη εγκατεστημένη στον προσωπικό χώρο του καταναλωτή. Οι ευρυζωνικές αυτές τεχνολογίες χρησιμοποιούν το δικτυακό πρωτόκολλο IP και μπορούν να συνδεθούν εύκολα με

άλλα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, που έχουν ως βάση τους το IP, τα οποία βρίσκονται διάσπαρτα σε κάθε σημείο.

Υπάρχουν, βεβαίως, μειονεκτήματα:

- Ο αριθμός των ευρυζωνικών συνδέσεων, εν γένει, είναι μικρότερος από τον αριθμό των εγκατεστημένων ψηφιακών μετρητών ενέργειας. Αυτό παρατηρείται κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες
- Ο χρόνος μη λειτουργίας (down time) συσκευών ή υπηρεσιών σε κάποιες περιστάσεις μπορεί να είναι πολύ μεγάλος και μη αποδεκτός για κρίσιμες εφαρμογές του ευφυούς δικτύου.

iii. Λοιπές Τεχνολογίες : Δίκτυα με οργάνωση πλέγματος (Mesh Networks) έχουν προταθεί ως εναλλακτική τεχνολογία για την AMI υποδομή. Τα δίκτυα πλέγματος έχουν την τάση να χρησιμοποιούν πολλές και διαφορετικές μορφές ασύρματης δικτύωσης όπως το IEEE 802.11, 3G / 4G / 5G κτλ. Η επιλογή υπόκειται σε τεχνικούς, στρατηγικούς και νομικούς περιορισμούς. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται επισκόπηση των τεχνολογιών αυτών.

Η επισκόπηση των τεχνολογιών επικοινωνίας για φόρτιση σε οικιακό και δημόσιο χώρο

Table 5

Overview of communication standards for IoEVs

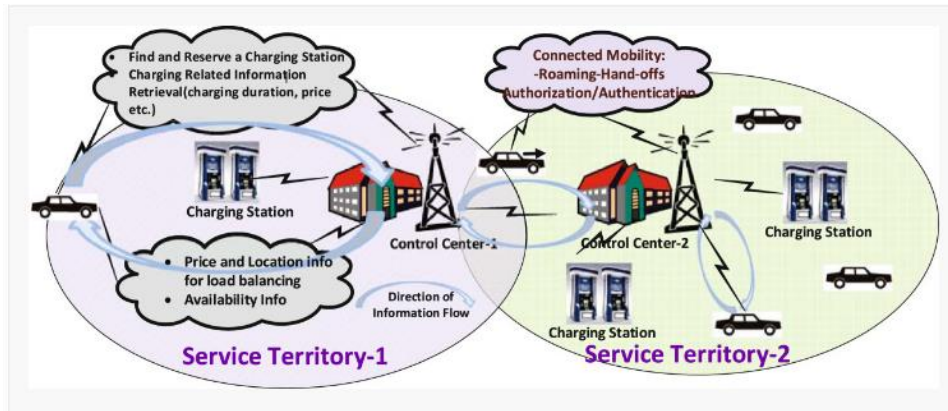
End users	Application	Name of standards and technologies
EV-EVSE	Energy transfer - garage charging	SAE J2293, SAE J2836/1, J2847/1, SAE J2836/2, J2847/2, SAE J2836/3, SAE J2847/3, SAE J2836/4, J2847/4, SAE J2931, IEC 61851-23, IEC 61851-24
EVSE - Energy Management Unit (EMU)	Home area network	Zigbee, 802.11, HomePlug
Customer (EMU) - grid	Garage charging, load shifting, valley filling, energy trading	PLC, 3G/4G/WiMAX/LTE/5G, WMN, TV white space, DSL, cable
Mobile EV - control center	Public charging	3G/4G/WiMAX/LTE/5G, WMN
Inter-control center	Public charging	IEC 60870-6/TASE.2

Πίνακας 5.2: Προεπισκόπηση πρωτόκολλων επικοινωνίας του V2G.

στάθμευσης έχει δοθεί στον Πιν.5.2. Να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι η επικοινωνία μεταξύ EV και EVSE είναι της τάξης των ms, ενώ η επικοινωνία του EVSE με το EMU λαμβάνει χώρα σε μερικά δευτερόλεπτα. Τελικώς, το EMU χρειάζεται μερικά min για να επικοινωνήσει με το ηλεκτρικό δίκτυο (μια τυπική τιμή είναι τα 15 min).

5.6.2 Επικοινωνία κινούμενου οχήματος (Mobile EV) με το κέντρο διαχείρισης

Τα ηλεκτρικά οχήματα που βρίσκονται σε κίνηση χρησιμοποιούν δημοσίους σταθμούς ταχείας φόρτισης για να φορτίσουν τους συσσωρευτές τους. Η σχετική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μέγεθος τοπικά και χρονικά μεταβαλλόμενο. Είναι κατανοητό, επομένως, ότι σε διάφορες περιπτώσεις μπορεί να προκύψει η αδυναμία του ηλεκτρικού δικτύου να εξυπηρετήσει, τοπικά, αριθμό οχημάτων μεγαλύτερο από κάποιο οριακό αριθμό. Είναι αναγκαίο, λοιπόν, η συσσωρευμένη ζήτηση να κατανέμεται σε γειτονικούς σταθμούς με χρήση κατάλληλων τηλεπικοινωνιακών υποδομών. Στο Σχ.5.9 απεικονίζεται το είδος των μηνυμάτων που πρέπει να



Σχήμα 5.9: Το Διαδίκτυο των Οχημάτων (Internet of Vehicles – IOV)

ανταλλάγουν για μια τυπική περίπτωση κινούμενου οχήματος. Υπάρχουν ορισμένες ασύρματες τεχνολογίες που εκτιμάται ότι θα υποστηρίξουν ικανοποιητικά την κινητικότητα των ηλεκτρικών οχημάτων, οι δύο επικρατέστερες από τις οποίες είναι οι κυψελωτές επικοινωνίες και τα ασύρματα δίκτυα τοπολογίας πλέγματος.

5.6.2.1 Κυψελωτές Επικοινωνίες

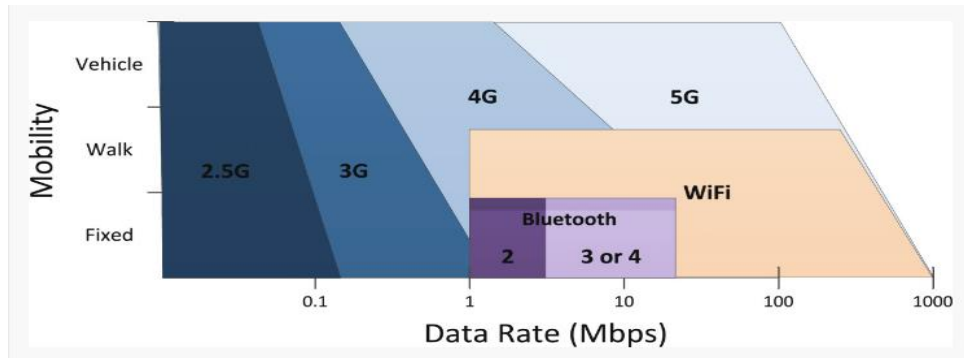
Βραχυπρόθεσμα, το γεγονός ότι τα δημόσια κυψελωτά δίκτυα υπάρχουν παντού παρέχει την απαραίτητη τηλεπικοινωνιακή κάλυψη με οικονομικό τρόπο. Οι κατασκευαστές ψηφιακών μετρητών ενέργειας ενσωματώνουν τηλεπικοινωνιακές διατάξεις στις συσκευές που τους επιτρέπουν την επικοινωνία με τα κυψελωτά δίκτυα. Για τις ανάγκες της φόρτισης και άλλες V2G εφαρμογές (πχ πληροφόρηση για κατανάλωση ενέργειας, τιμή), τα δεδομένα ανταλλάσσονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (περίπου κάθε 10 με 15 min). Τα περισσότερα κυψελωτά δίκτυα έχουν επαρκείς δυνατότητες ώστε να ανταπεξέλθουν και να λειτουργήσουν ικανοποιητικά ως προς το σκοπό αυτό. Επιπλέον, τα κυψελωτά δίκτυα εμφανίζουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Η τεχνολογία των κυψελωτών τεχνολογιών είναι ώριμη ώστε να ανταπεξέλθει στις ανάγκες του Ευφυούς Δικτύου.
- Εφόσον όλα τα κυψελωτά δίκτυα λειτουργούν σε αδειοδοτημένο φάσμα, δεν απαιτείται μίσθωση μη αδειοδοτημένων ζωνών συχνοτήτων.
- Τα κυψελωτά δίκτυα είναι επεκτάσιμα ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν τη σύνδεση μεγάλου αριθμού από EV.

Η παγκόσμια διαλειτουργικότητα της μικροκυματικής πρόσβασης (WIMAX) την καθιστά πολύ καλή υποψήφια τεχνολογία για το V2G. Το WIMAX προσφέρει υψηλή χωρητικότητα, ευρεία κάλυψη, χαμηλή καθυστέρηση, χαμηλό κόστος ανά bit, και την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών (QoS).

Ενδεικτικά, καίτοι η φόρτιση EV σε δημόσιους σταθμούς φόρτισης παράγει μικρή κίνηση δεδομένων, ο εκτιμώμενος αριθμός συνδέσεων είναι πολύ μεγάλος. Για τα EV που βρίσκονται σε κίνηση, ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι απαραίτητος για την πραγματοποίηση εφαρμογών που βασίζονται στη γεωγραφική θέση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι εφαρμογές που λαμβάνουν μέρος μέσα σε ένα όχημα απαιτούν ευρεία κάλυψη, υψηλή κινητικότητα, και διασφάλιση ποιότητας υπηρεσιών (QoS). Το WIMAX έχει τις απαιτούμενες δυνατότητες για να χειριστεί την μετάδοση τέτοιων δεδομένων.

Οι δημόσιοι σταθμοί φόρτισης και όποιες εφαρμογές πραγματοποιούνται σε αυτούς χρειάζονται υποστήριξη κινητικότητας. Όσο ταχύτερα κινείται ένας χρήστης τόσο ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να υποστηριχθεί μειώνεται. Στο Σχ.5.10 παρουσιάζονται διάφορες τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών με βάση την κινητικότητα και το ρυθμό



Σχήμα 5.10: Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων με υποστήριξη κινητικότητας.

μετάδοσης δεδομένων που προσφέρουν. Η σύνδεση με τον κεντρικό ελεγκτή ή τον πάροχο τηλεματικών υπηρεσιών μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση επικοινωνιών ευρείας περιοχής.

5.6.2.2 Ασύρματα δίκτυα πλέγματος

Τα ασύρματα δίκτυα που είναι οργανωμένα σε πλέγμα (WMN) είναι κατάλληλα για να προσφέρουν την απαραίτητη συνδεσιμότητα μεταξύ των οδηγών των ηλεκτρικών οχημάτων και του ηλεκτρικού δικτύου. Επιπλέον, το χαμηλό κόστος, η υψηλή επεκτασιμότητα, η δυνατότητα αυτό-ίασης και αυτό-οργάνωσης που διαθέτουν, σε συνδυασμό με ότι υποστηρίζουν την κινητικότητα, καθιστά τα WMN ένα ισχυρό υποψήφιο. Τα WMN παρέχουν επαρκές εύρος ζώνης και ικανότητα εύκολης διαπομπής (handover) με υψηλές ταχύτητες. Επίσης, τα WMN έχουν δομή που καθιστά εύκολη την ενσωμάτωσή τους σε άλλα υπάρχοντα δίκτυα (πχ IEEE 802.15, IEEE 802.16, κυψελωτά δίκτυα, κτλ).

Από την άλλη πλευρά τα WMN έχουν ορισμένα μειονεκτήματα:

- Σε αστικά περιβάλλοντα η κάλυψη μπορεί να επηρεαστεί από παρεμβολές και διαλείψεις.
- Το διαθέσιμο εύρος ζώνης μπορεί να μειωθεί σε περιπτώσεις προβλημάτων στους βρόχους.

5.6.3 Επικοινωνία μεταξύ των κέντρων ελέγχου

Διαφορετικές περιοχές εξυπηρετούνται από διαφορετικούς φορείς υπηρεσιών. Κάθε κέντρο ελέγχου επιτηρεί και διαχειρίζεται τις ανάγκες των χρηστών κάθε σταθμού φόρτισης που συνδέεται σε αυτό. Επιπλέον, όταν ένας χρήστης από διαφορετική περιοχή ζητήσει υπηρεσία, τα κέντρα ελέγχου πρέπει να είναι σε θέση να ανταλλάσσουν πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν για εξακρίβωση, χρέωση, και γεωγραφική θέση. Στην παρούσα φάση η

εμβέλεια των EV είναι μεγαλύτερη από μερικές εκατοντάδες μίλια. Η εμβέλεια αυτή παρέχει τη δυνατότητα στους οδηγούς να μεταβαίνουν σε διαφορετικές περιοχές και να εξυπηρετούνται από άλλες υπηρεσίες. Επομένως, το δίκτυο επικοινωνίας πρέπει να είναι σε θέση να διαχειριστεί πιθανές περιπτώσεις διαπομπής (hand-off). Στην παρούσα φάση, οι υπηρεσίες χρησιμοποιούν το πρότυπο επικοινωνίας IEC 60870-6/TASE.2 (International Electrotechnical Commission Tele-control Applications Service Element), για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των κέντρων ελέγχου και των διαφόρων υπηρεσιών. Εντούτοις, πιθανώς να χρειαστούν πρόσθετα τηλεπικοινωνιακά χαρακτηριστικά για την καλύτερη παρακολούθηση των κινητών χρηστών.

5.6.4 Πρόσθετες τηλεπικοινωνιακές ανάγκες

Τηλεπικοινωνιακές ανάγκες προκύπτουν μεταξύ του EV και του σταθμού φόρτισης στις ακόλουθες χρονικές περιόδους: i) πριν τη φόρτιση, ii) κατά τη διάρκεια της φόρτισης, iii) μετά το τέλος της φόρτισης.

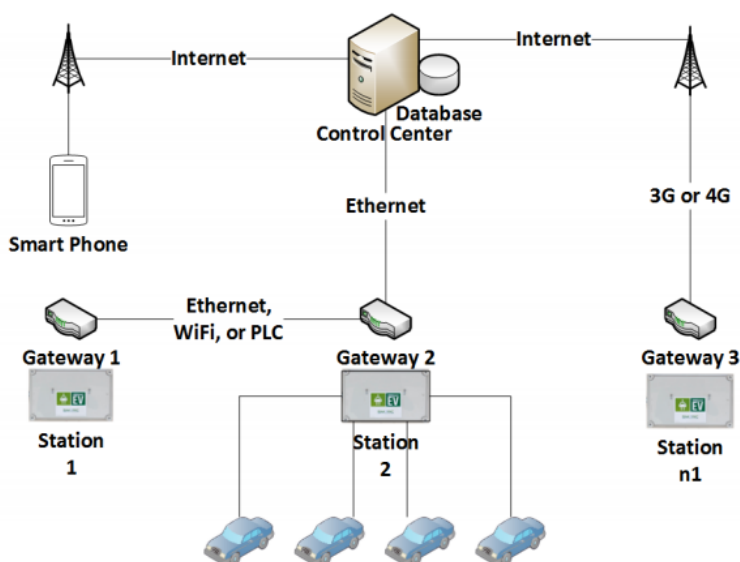
Για να εκκινήσει η διαδικασία φόρτισης, το όχημα και ο εξοπλισμός φόρτισης πρέπει να έχουν φυσική σύνδεση. Μηνύματα πρέπει να ανταλλάγουν για ταυτοποίηση καθώς και έγκριση από το σταθμό φόρτισης.

Κατά τη διάρκεια της φόρτισης ορισμένες παράμετροι όπως η διάρκεια φόρτισης, η κατεύθυνση της ενεργειακής ροής, η διαθέσιμη ενέργεια και ισχύς, πληροφορίες για την κατάσταση του οχήματος (πχ η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας, η διαθέσιμη ενέργεια της μπαταρίας), χρειάζεται να ανταλλάγουν μεταξύ του οχήματος και του EVSE. Ακριβής μέτρηση της μεταφερόμενης ενέργειας είναι επίσης σημαντική για το σκοπό της χρέωσης.

5.7 Μελέτη του πραγματικού συγκροτήματος φόρτισης WINSmartEV

Για να γίνει κατανοητό ποιοί μηχανισμοί ελέγχου επιλύουν τα θέματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως και ποια τηλεπικοινωνιακά πρότυπα χρησιμοποιούνται πρακτικά στο V2G, κρίνεται απαραίτητη η μελέτη ενός πραγματικού συστήματος φόρτισης. Αφού το εγχείρημα των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και η υλοποίηση του V2G είναι υπό μελέτη και ανάπτυξη, δεν υπάρχουν συγκεκριμένες μεθοδολογίες για τη διαχείριση και επικοινωνία ενός συνόλου οχημάτων σε ένα συγκρότημα φόρτισης. Το σύστημα που παρουσιάζεται στη συνέχεια και η διάρθρωση του είναι από τα καλύτερα που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό.

Η μελέτη επικεντρώνεται στο WINSmartEVTM, μια πλήρη υποδομή φόρτισης, επίβλεψης



Σχήμα 5.11: Αρχιτεκτονική δικτύου του WINSmartEVTM

και διαχείρισης στόλου οχημάτων, που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε στο UCLA. Αποτελείται από τρία υποσυστήματα:

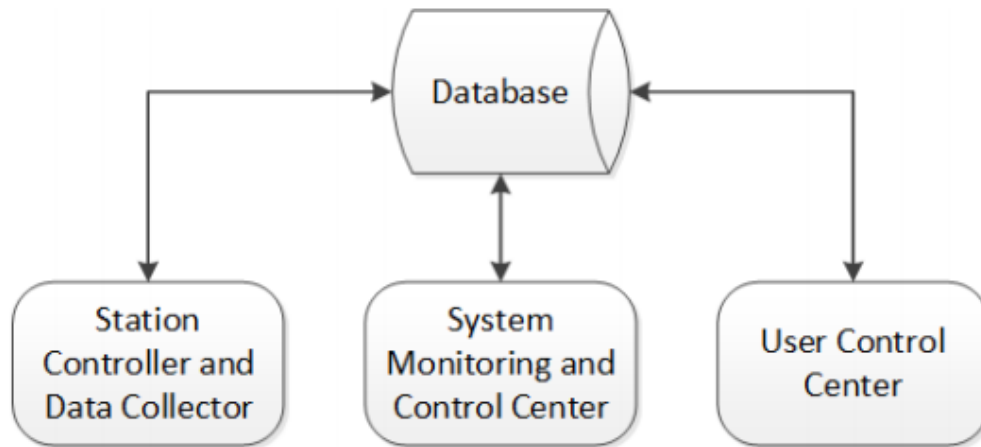
1) Σύστημα Ελέγχου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το εγχείρημα της φόρτισης των EV μπορεί να γίνει συγκεντρωτικά ή αποκεντρωμένα. Σε κάθε περίπτωση, απαιτείται η συνεργασία ενός κύριου ελεγκτή (master controller) με τους ελεγκτές που βρίσκονται μέσα στους σταθμούς φόρτισης (slave controllers) για τη διαχείριση της διαδικασίας φόρτισης των EV και τον έλεγχο του ρεύματος τροφοδοσίας τους.

a) Κύριος Ελεγκτής

Είναι ένας εξυπηρετητής (server) που επιτελεί έλεγχο του συστήματος. Ενεργεί συγκεντρωτικά επί όλων των σταθμών φόρτισης της περιοχής που επιβλέπει, χρησιμοποιώντας δικτυακές πύλες (gateways) και τεχνολογίες 4G, Ethernet και Wi-Fi. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί και ελέγχει τις εγκαταστάσεις φόρτισης χρησιμοποιώντας τέσσερα τμήματα λογισμικού:

- i. **Βάση Δεδομένων (Database)**
Η βάση δεδομένων αποθηκεύει όλα τα δεδομένα από τις πύλες (gateways), τους σταθμούς φόρτισης, τους αλγορίθμους φόρτισης, τους χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων, την κατάσταση φόρτισης κτλ.
- ii. **Ελεγκτή Σταθμού (Station Controller) και συλλέκτη πληροφοριών (Data Collector)**
Σκοπός των οντοτήτων αυτών είναι να αποστέλλουν εντολές στους σταθμούς και να ελέγχουν τις διαδικασίες που έχουν σχέση με τη φόρτιση, ενώ παράλληλα συσσωρεύουν πληροφορίες σχετικά με την ισχύ που απορροφούν τα οχήματα. Ο ελεγκτής του σταθμού χρησιμοποιεί προκαθορισμένους έξυπνους αλγορίθμους φόρτισης, οι οποίοι μπορούν να τροποποιηθούν και να αναβαθμιστούν με στόχο τη βελτίωση της όλης διαδικασίας. Ενώ ο ελεγκτής διαχειρίζεται τους σταθμούς, ο συλλέκτης συλλέγει πληροφορίες για την κατάσταση κάθε σταθμού.
- iii. **Επιτήρηση συστήματος (System Monitoring) σε συνεργασία με το κέντρο ελέγχου (Control Center)**
Το λογισμικό αυτό έχει σχεδιαστεί για να επιτελεί διάφορες λειτουργίες. Μέσω των διεπαφών αυτών, οι σταθμοί φόρτισης μπορούν να ελέγχονται χειροκίνητα και γενικά να επιτηρούνται από το διαχειριστή του συστήματος. Ο διαχειριστής μπορεί να μεταβάλλει τις παραμέτρους των σταθμών, δηλαδή τη διεύθυνση IP τους, την επιλογή του αλγορίθμου φόρτισης κτλ
- iv. **Κέντρο ελέγχου χρηστών (User Control Center)**
Το κέντρο ελέγχου χρηστών επιτρέπει στους εξουσιοδοτημένους χρήστες να βρίσκουν διαθέσιμους σταθμούς φόρτισης στις πόλεις, να εκκινούν και να σταματούν τη διαδικασία φόρτισης, να παρακολουθούν αλλά και να ελέγχουν την κατάσταση φόρτισης και να διαχειρίζονται τις πληροφορίες που τους αφορούν μέσω κινητού τηλεφώνου.

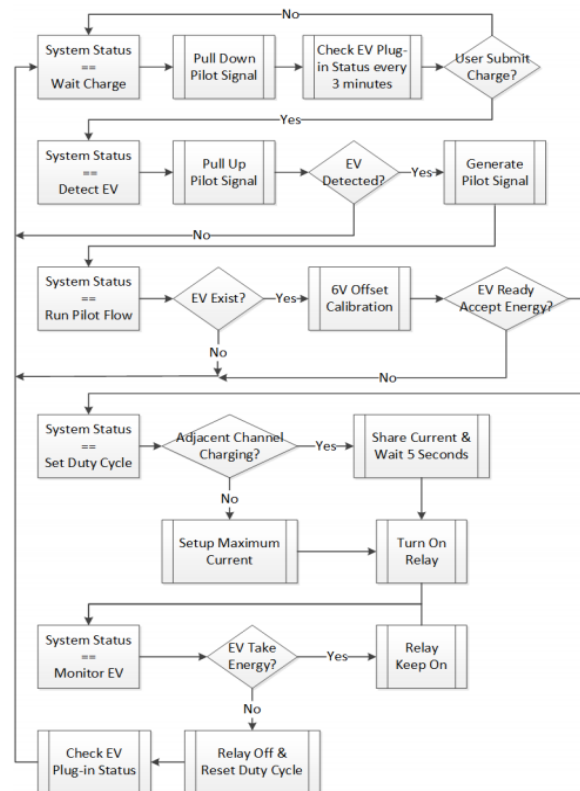


Σχήμα 5.12: Τα τέσσερα βασικά τμήματα της ευφυούς υποδομής φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

b) Τοπικοί ελεγκτές στους σταθμούς φόρτισης

Στην πλευρά της εγκατάστασης φόρτισης, οι σταθμοί είναι εξοπλισμένοι με υλικό (hardware) που υποστηρίζει επικοινωνία μέσω ZigBee και αποτελείται από ένα αριθμό μικροεπεξεργαστών για τη διεκπεραίωση όλων των ζητημάτων ελέγχου που θα εμφανιστούν κατά τη διαδικασία της σύνδεσης του οχήματος, της φόρτισης και ,τέλος, της αποσύνδεσης του. Περισσότερα για το υλικό αυτό θα αναφερθούν σε επομένη ενότητα.

Όταν ένα EV συνδεθεί για παροχή ρεύματος, λαμβάνει από το σταθμό φόρτισης ένα πιλοτικό σήμα ελέγχου που είναι διαμορφωμένο κατά PWM (Pulse Width Modulation). Ανάλογα με τον κύκλο λειτουργίας (duty cycle) του παλμού, το EV διαμορφώνει το εσωτερικό φορτίο του συσσωρευτή του κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να απορροφήσει το



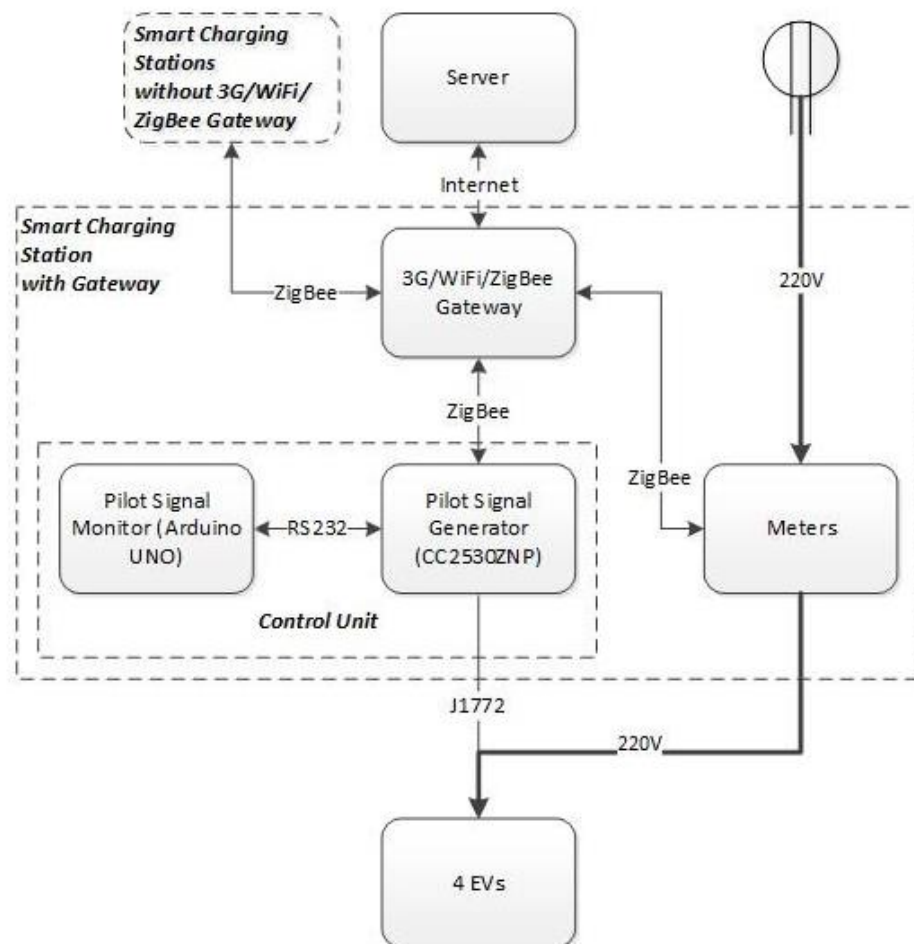
Σχήμα 5.13: Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου διαμοιρασμού ρεύματος του τοπικού ελεγκτή.

κατάλληλο ρεύμα. Έτσι ο σταθμός ελέγχει την ταχύτητα φόρτισης του EV μεταβάλλοντας το duty cycle του πιλοτικού σήματος. Αυτό είναι σημαντικό επειδή σημαίνει ότι ο κώδικας που είναι υπεύθυνος για τη σύνδεση υλικού-λογισμικού (firmware) των σταθμών μπορεί, σε

περίπτωση συρροής μεγάλου αριθμού οχημάτων προς φόρτιση, να εμπλουτιστεί με αλγορίθμους διαμοιρασμού ρεύματος. Στο Σχ.5.13 παρουσιάζεται το προαναφερθέν firmware σε μορφή διαγράμματος ροής. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται ακόμη ότι ο τοπικός ελεγκτής τροφοδοτεί με ρεύμα μια θέση φόρτισης, ρυθμίζοντας το duty cycle πριν το στάδιο “System Status = Monitor EV”. Έτσι, αν δεν υπάρχει άλλο EV να φορτίζεται σε διπλανή θέση, όλο το διαθέσιμο ρεύμα θα διατεθεί στην προκαθορισμένη θέση αυτή. Άλλως, το ρεύμα θα διαιρεθεί για να το μοιραστούν τα EV. Όταν ένα όχημα αποσυνδεθεί, η ισχύς διατίθεται εξ ολοκλήρου στα υπόλοιπα EV.

2) Σύστημα Επικοινωνίας

Μέσα στο σταθμό φόρτισης υπάρχει μία δικτυακή πύλη (gateway) που υποστηρίζει πολλαπλά πρωτοκόλλα για να παρέχει τις απαιτούμενες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Για να συνδεθεί στο Διαδίκτυο υπάρχουν τρεις μέθοδοι διαθέσιμες, συγκεκριμένα, μέσω: i) 3G/4G, ii) Ethernet και iii) Wi-Fi. Το 3G/4G χρησιμοποιείται λόγω της ευελιξίας και της προσβασιμότητας του, αφού υπάρχει παντού όπου υπάρχει κυψελωτή κάλυψη, ειδικά εκεί όπου μια ενσύρματη σύνδεση ή το Wi-Fi δεν είναι διαθέσιμα. Όταν η πύλη χρησιμοποιεί το Ethernet μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο Διαδίκτυο με στατική ή δυναμική IP διεύθυνση, που της αποδίδει ένας DHCP ρούτερ. Στη περίπτωση όπου η σύνδεση μέσω Ethernet ή 3G/4G δεν είναι διαθέσιμη, τότε η πύλη χρησιμοποιεί τεχνολογία PLC (ή ακόμα και Wi-Fi) για να συνδεθεί σε δρομολογητή που έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Η πύλη του EVSE μπορεί να χρησιμοποιήσει μια μονάδα PLC για να



Σχήμα 5.14: Σχηματική απεικόνιση ενός τυπικού συγκροτήματος Level 2 φόρτισης.

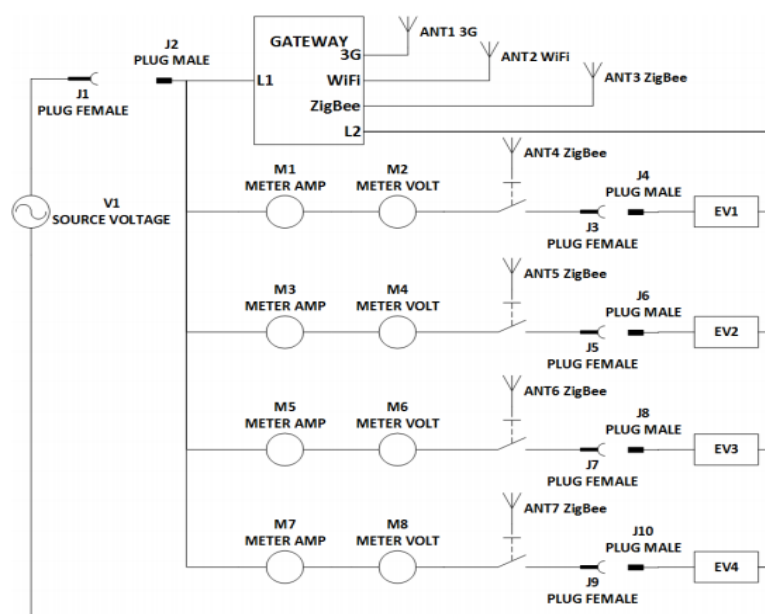
συνδεθεί σε άλλες πύλες ή δρομολογητές που βρίσκονται σε ηλεκτρικά κυκλώματα του ίδιου μετασχηματιστή. Όταν η πύλη χρησιμοποιεί Wi-Fi για τοπική επικοινωνία, πρέπει να λειτουργεί ως client για να συνδεθεί σε άλλες πύλες ή δρομολογητές. Σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιείται μια μέθοδος προώθησης (port forwarding) στις άλλες πύλες ή στους δρομολογητές, ώστε ο εξυπηρετητής να μπορεί να προσπελάσει την πύλη που είναι δηλωμένη ως client.

Η ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ της πύλης, των μετρητών και της μονάδας ελέγχου γίνεται μέσω ZigBee. Ο ρόλος του συντονιστή ZigBee είναι να διαχειρίζεται τα μηνύματα μεταξύ της πύλης και των τερματικών συσκευών ή μεταξύ της πύλης και των δρομολογητών, συμπεριλαμβανομένων των ψηφιακών μετρητών, της μονάδας ελέγχου και των VMM's στα EV. Για να στείλει τις εντολές και τις παραμέτρους στις διάφορες συσκευές, ο συντονιστής ZigBee χρειάζεται να αναγνωρίσει και να καταγράψει τις μοναδικές MAC διευθύνσεις των τερματικών συσκευών ή των δρομολογητών. Επειδή όλες οι συσκευές στο συγκρότημα φόρτισης επικοινωνούν χρησιμοποιώντας ZigBee, είναι αναγκαία μόνο μια πύλη. Το υπό εξέταση σύστημα διαθέτει δύο είδη ελεγκτών, το ένα με σύστημα επικοινωνίας ZigBee και το άλλο χωρίς. Ο ελεγκτής που δεν έχει ενσωματωμένη μονάδα ZigBee επικοινωνεί με την πύλη μέσω της USB θύρας του και με χρήση καλωδίου RS-232. Ο ελεγκτής που χρησιμοποιεί ZigBee αποτελείται από ένα συντονιστή και ένα τερματικό. Η πύλη επικοινωνεί με το συντονιστή για να στείλει ή να λάβει μηνύματα από το τερματικό.

3) Σύστημα Μέτρησης

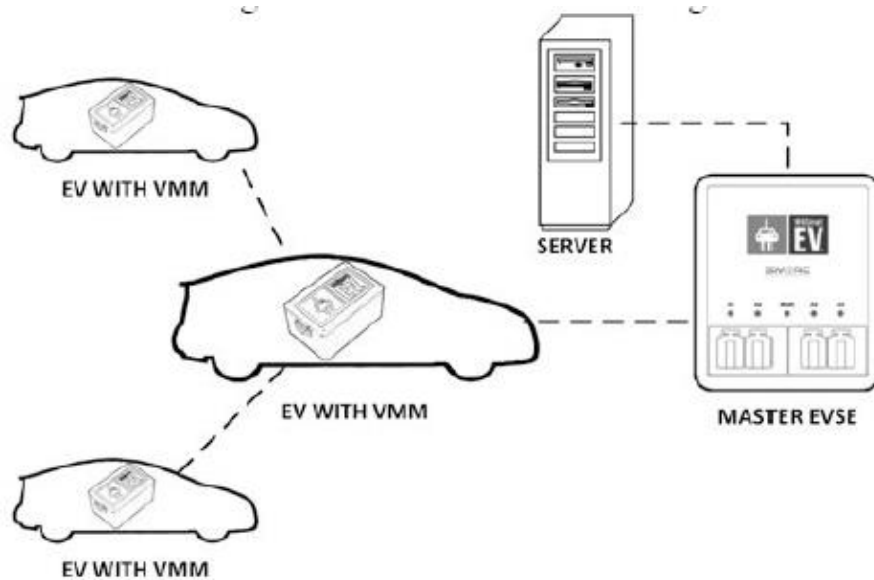
Το σύστημα μέτρησης αποτελείται από μια πύλη (gateway) και τους ψηφιακούς μετρητές. Οι μετρητές κάθε σταθμού φόρτισης αποστέλλουν τις πληροφορίες σχετικές με την ισχύ φόρτισης στην πύλη μέσω ZigBee, όταν αυτό τους ζητηθεί. Οι πληροφορίες ισχύος αφορούν i) τάση, ii) ρεύμα, iii) συχνότητα, iv) συντελεστή ισχύος και v) ενεργειακή κατανάλωση.

Οι ψηφιακοί μετρητές συμμετέχουν επίσης στο δίκτυο (mesh network) ZigBee που δημιουργείται από το συντονιστή ZigBee. Τέλος, για την ορθή και αποδοτική λειτουργία των μετρητών είναι απαραίτητος ο συσχετισμός μεταξύ της θέσης που θα είναι συνδεδεμένο ένα EV και του ID του αντίστοιχου μετρητή. Ένα διάγραμμα λειτουργίας των μετρητών φαίνεται στο



Σχήμα 5.15: Σχηματική περιγραφή του συστήματος ψηφιακών μετρητών του WINSmartEV™

5.8 Σύστημα Αυτόματης Αναγνώρισης EV Μέσω RFID



Σχήμα 5.16: RFID δίκτυο πλέγματος της ευφυούς υποδομής φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

Στο παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί μια αρχιτεκτονική, που μέσω RFID θα προσφέρει στον οδηγό ενός ηλεκτρικού οχήματος ταυτοποίηση και έγκριση για φόρτιση, άμεσα και αυτόματα, καθώς το όχημα θα εισέρχεται στο σταθμό φόρτισης. Η όλη διαδικασία, επομένως, θα πραγματοποιείται χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Η διαδικασία αυτή γίνεται εφικτή με χρήση της τεχνολογίας ZigBee και των δικτύων πλέγματος (Mesh Network).

Το ασύρματο δίκτυο αποτελείται από ένα κεντρικό συντονιστή ZigBee, που βρίσκεται μέσα στο σταθμό, και από ZigBee δρομολογητές (routers), που είναι εγκατεστημένοι στα οχήματα και συγκριμένα στο VMM των οχημάτων. Ο συντονιστής, που είναι ενσωματωμένος στην πύλη (gateway) του δικτύου του σταθμού, αναλαμβάνει την ανάγνωση των RFID ετικετών λειτουργώντας ως RFID reader. Οι δρομολογητές που βρίσκονται μέσα στα οχήματα λειτουργούν ως RFID ετικέτες χάρη στη μοναδική 64-bit διεύθυνση MAC που χαρακτηρίζει κάθε συσκευή ZigBee.

Τα δεδομένα από τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να ακολουθήσουν οποιαδήποτε διαδρομή μέσα στο δίκτυο για να φθάσουν στο συντονιστή. Αυτό παρέχει εύρωστη (robust) επικοινωνία μεταξύ των οχημάτων και του σταθμού βάσης, σε ένα περιβάλλον που υπόκειται εύκολα σε εξασθένηση και εμπλοκή των RF σημάτων. Καίτοι κάθε EV απορροφά ισχύ από το δικό του σταθμό φόρτισης, όλα τα EV αποστέλλουν τα δεδομένα σε ένα κεντρικό σταθμό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της πολυπλοκότητας αλλά και του κόστους. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα της δικτύωσης αυτής είναι ότι τα όργανα ελέγχου κάθε σταθμού φόρτισης έχουν επίσης πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο πλέγματος (των συσκευών ZigBee), με αποτέλεσμα και οι σταθμοί φόρτισης να μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι μόνο με μια πύλη δικτύου σε κάθε συγκρότημα φόρτισης εξυπηρετούνται όλοι οι τοπικοί σταθμοί φόρτισης και τα αντίστοιχα EV.

Ταυτοποίηση (authentication) για την διαδικασία φόρτισης μέσω RFID

Η ταυτοποίηση προ της φόρτισης – για ένα άρτι αφιχθέν EV – με το σύστημα αυτό περιλαμβάνει ορισμένες διαδικασίες όπως:

- i. την ανάκτηση της διεύθυνσης MAC του δρομολογητή ZigBee του οχήματος
- ii. Έλεγχος αδειοδότησης (authorization) φόρτισης του χρηστή
- iii. Ανίχνευση από το σύστημα ότι το όχημα έχει συνδεθεί με το σταθμό φόρτισης μέσω του εγκεκριμένου καλωδίου κατάλληλων προδιαγραφών.

Το σύστημα ελέγχει για άφιξη καινούριου οχήματος περιοδικά. Ο εξυπηρετητής στέλνει μια εντολή “rgst” για να διαπιστώσει αν έχει γίνει καταχώρηση νέας διεύθυνσης MAC νεοεισαχθέντος EV. Επίσης, στέλνει μια εντολή “stat” για να μάθει σε ποιον σταθμό φόρτισης

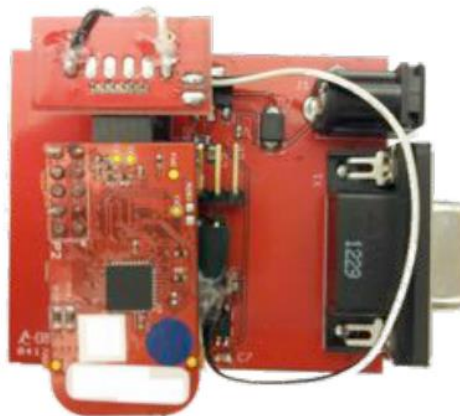
Command	Description and Example
rgst	Return all registered ZigBee MAC address
	comdrgst0000 [return]: rgst01[MAC address][approach/leave/stay] rgst02[MAC address][approach/leave/stay]
stat	Charging station status request
	comdstat0100 request channel 1 status [return]: duty0150rely0101plug0101stat0100

Πίνακας 5.3: Εντολές του ελεγκτή προς τους σταθμούς φόρτισης.

συνδέθηκε το εισερχόμενο EV. Η διεύθυνση MAC που ανακτήθηκε νωρίτερα ελέγχεται σε μια βάση δεδομένων και αν αντιστοιχεί σε κάποιον εγκεκριμένο χρήστη, ο εξυπηρετητής στέλνει εντολή για να αρχίσει η φόρτιση του οχήματος. Οι εντολές του εξυπηρετητή προς του σταθμούς φόρτισης είναι στη μορφή: *comd[command][channel][parameter]*. Μια επισκόπηση των εντολών και των τιμών που επιστρέφουν φαίνεται στον Πιν.5.3 Για να καταστεί σαφέστερη η λειτουργία του συστήματος θα εξεταστούν τα στοιχεία που το αποτελούν με περισσότερη λεπτομέρεια.

Συντονιστής ZigBee : Ο RFID Reader

Ο συντονιστής λειτουργεί ως αναγνώστης ετικετών (RFID reader) και διαχειρίζεται τα μηνύματα μεταξύ της κεντρικής πύλης του δικτύου (gateway) και των τερματικών συσκευών, δηλαδή των δρομολογητών στα οχήματα. Όταν ένας δρομολογητής ZigBee εισέλθει στο δίκτυο, ο συντονιστής του αναθέτει μια 16 bit δυναμική διεύθυνση και την συσχετίζει με την μοναδική διεύθυνση MAC της συσκευής. Ο συντονιστής ,πρακτικά, υλοποιείται με έναν CC2530ZNP (ZigBee Network Processor-ZNP) που απεικονίζεται στο Σχ.5.17.



Σχήμα 5.17: Ηλεκτρονική πλακέτα ενός CC2530ZNP ή συντονιστή ZigBee.

Ο συντονιστής αναγνωρίζει αν ένα όχημα πλησιάζει ή απομακρύνεται από το σταθμό, μέσω ενός σήματος που εκπέμπει το ZigBee router του οχήματος και ονομάζεται RSSI (Received Signal Strength Indication). Για να διασφαλιστεί μια σθεναρή σύνδεση μεταξύ των συσκευών ZigBee του δικτύου χρησιμοποιείται πρωτόκολλο χειραψίας (handshake protocol) μεταξύ του συντονιστή και του εκάστοτε δρομολογητή (ή ισοδύναμα, μεταξύ του RFID Reader και του RFID tag). Το πρωτόκολλο φαίνεται στον πίνακα 5.4:

Command	Initiating Device	Format
Request	ZigBee router	“comdtest[MAC address]”
Response	ZigBee coordinator	“comdresp[MAC address]”

Πίνακας 5.4: Εντολές πρωτοκόλλου χειραψίας του συντονιστή ZigBee.

Vehicle Monitoring/Identification Module (VMM) : To RFID Tag

Ο ρόλος της ετικέτας (RFID tag) επιτελείται από μια υπολογιστική μονάδα, με δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου μέσω ZigBee, την λεγόμενη VMM. Αυτή βρίσκεται ενσωματωμένη μέσα σε κάθε ηλεκτρικό όχημα. Όπως ένα συμβατικό RFID τσιπ, η μονάδα αυτή προσφέρει την δυνατότητα αναγνώρισης του EV στο οποίο βρίσκεται αφού φέρει μοναδική διεύθυνση MAC. Επιπλέον το VMM προσφέρει την δυνατότητα παρακολούθησης της κατάστασης του EV μέσω του CAN (Controller Area Network) διαύλου του οχήματος. Το εσωτερικό ενός VMM και τα μέρη από τα οποία αποτελείται, φαίνονται στο Σχ.5.18:



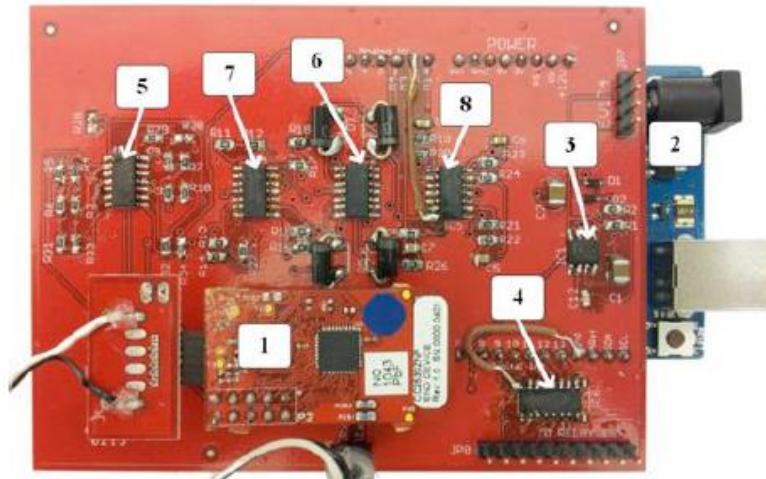
Σχήμα 5.18: Ανάλυση του VMM μονάδας των ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Η VMM μονάδα αποτελείται από έναν μικροεπεξεργαστή και έναν RF πομποδέκτη που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με τον συντονιστή ZigBee. Για να παρακολουθεί τον δίαυλο CAN του οχήματος, η συσκευή χρησιμοποιεί ένα τσιπ που υλοποιεί έναν CAN πομποδέκτη (MCP2551) σε συνεργασία με έναν μικροεπεξεργαστή (Atmega328).

Το firmware της παραπάνω μονάδας είναι υπεύθυνο για την δημιουργία σύνδεσης με τον συντονιστή, για να απάντησε σε ID requests και για τη διατήρηση της ασύρματης σύνδεσης με το δίκτυο στο οποίο βρίσκεται, μέσω εκπομπής περιοδικών μηνυμάτων χειραψίας. Ακόμη έχει τη δυνατότητα να επανεκκινεί τον κόμβο αν δεν λάβει απάντηση στη χειραψία.

Ανίχνευση σύνδεσης του οχήματος

Με την ανίχνευση σύνδεσης του οχήματος σε έναν σταθμό φόρτισης, ο κεντρικός εξυπηρετητής του συγκροτήματος αντιστοιχεί το ID του οχήματος σε ένα σημείο φόρτισης. Η κυκλωματική υλοποίηση της μονάδας έλεγχου που επιτυγχάνει κάτι τέτοιο φαίνεται στο Σχ.5.19

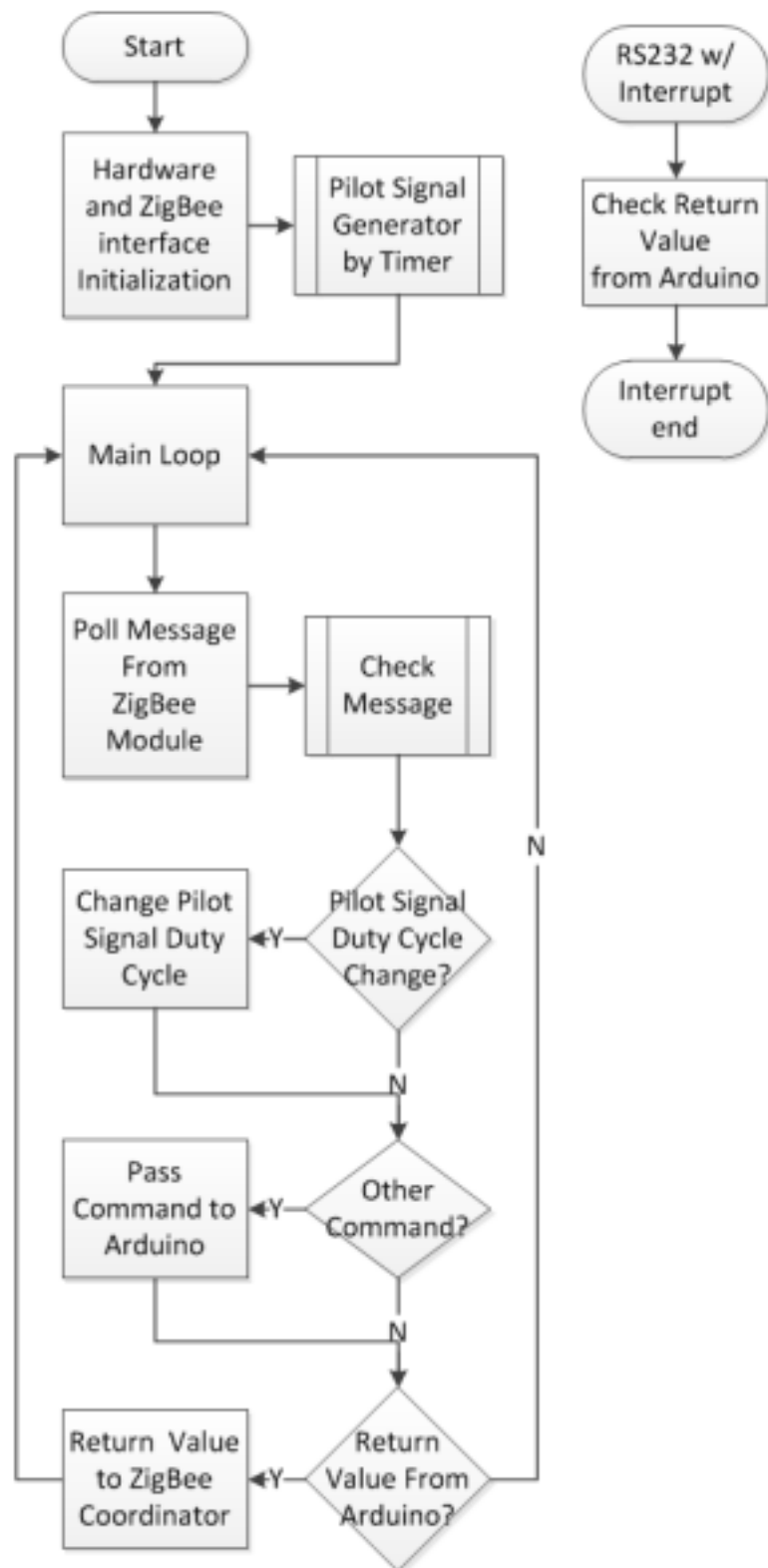


Σχήμα 5.19: Ολοκληρωμένο κύκλωμα ελεγκτή σταθμού φόρτισης.

Το κύκλωμα που είναι υπεύθυνο για την παραγωγή του πιλοτικού σήματος ελέγχει αν συνδέθηκε καινούριο EV σε σταθμό, ανιχνεύοντας αλλαγή στο επίπεδο τάσης του πιλοτικού σήματος όπως καθορίζεται από το EV όταν συνδέεται στον σταθμό φόρτισης. Το πιλοτικό σήμα εξασθενείται για να εισέλθει στον μετατροπέα A/D. Από εκεί τροφοδοτείται μέσω χαμηλοπερατού φίλτρου (LPF) για να παραχθεί DC τάση.

Υστέρα από την λήψη του πιλοτικού σήματος, το κύκλωμα παράγει δικό του παλμό, μεταβλητού κύκλου λειτουργίας (duty cycle), που γνωστοποιεί το διαθέσιμο ρεύμα φόρτισης στο EV, κατά τις προδιαγραφές του προτύπου J1772. Ο παλμός αυτός, που αποτελεί το γνωστό **PWM** (Pulse Width Modulation), μετατρέπεται από 3.3 V σε +/- 12V, μέσω ενός συγκριτή υστέρησης (Schmitt trigger), και τροφοδοτεί το EV. Στο Σχ.5.20 φαίνεται το διάγραμμα ροής της μηχανής κατάστασης (state machine) του κυκλώματος που παράγει το PWM παλμό:

Συμπερασματικά, στην ενότητα αυτή είδαμε μια προσέγγιση αυτόματης αναγνώρισης οχήματος και αδειοδότησης για φόρτιση σε μια ολοκληρωμένη υποδομή όπως είναι το WINSmartEV του πανεπιστημίου UCLA. Επειδή στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα υπάρχουν ενσωματωμένα προηγμένα ηλεκτρονικά – όπως τα VMMs, που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της κατάστασης φόρτισης – η εισαγωγή δυνατότητας ταυτοποίησης και αδειοδότησης/έγκρισης είναι απλά θέμα προσθήκης καινούριου υλικό-λογισμικού ή αλλιώς firmware, πάνω στο υπάρχον υλικό (hardware). Στον σκοπό αυτό, ακρογωνιαίο λίθο αποτελούν τα δίκτυα πολλαπλών σημείων ή δίκτυα πλέγματος (mesh networks) που επιτρέπουν την σθεναρή (robust) επικοινωνία μεταξύ EV και σταθμού, σε ένα θορυβώδες περιβάλλον που υπόκειται εύκολα σε παρεμβολές.



Σχήμα 5.20: Διάγραμμα ροής υλικό-λογισμικού (firmware) που παράγει το πιλοτικό σήμα ελέγχου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΝΟΨΗ,ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

6.1 Σύνοψη και Συμπεράσματα

Στόχος της εργασίας αυτής ήταν η παρουσίαση των τεχνολογιών επικοινωνιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς και η μελέτη του εγχειρήματος Vehicle-to-Grid. Αρχικά παρουσιάστηκαν οι τεχνολογίες που κατέστησαν δυνατή την κατασκευή υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων. Έπειτα, έγινε επισκόπηση των τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών που στελεχώνουν το ευφύες ηλεκτρικό δίκτυο. Τέλος, παρουσιάστηκε η αρχιτεκτονική του V2G και μελετήθηκε η δομή ενός πραγματικού συγκροτήματος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, που υλοποιεί το V2G στην πράξη. Κεντρική ιδέα του V2G αποτελεί η προσφορά ενεργείας από τους συσσωρευτές των ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο, σε περιόδους αυξημένης ενεργειακής ζήτησης. Για να λειτουργήσει σωστά και εύρυθμα ένα τέτοιο σύστημα στηρίζεται στις τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες που ενσωματώνονται στο ηλεκτρικό δίκτυο και το καθιστούν «Ευφύες». Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν, για τον σκοπό αυτό, τόσο ενσύρματες τεχνολογίες (όπως DSL, PLC κτλ.) όσο και ασύρματες (όπως κυψελωτές επικοινωνίες, WiMAX κτλ.) Ιδιαίτερης αναφοράς χρήζει η ασύρματη τεχνολογία Zigbee, που αποτελεί την καταλληλότερη τεχνολογία επικοινωνίας, τοπικής εμβέλειας, για εφαρμογές Machine-to-Machine (M2M). Μέσω της τεχνολογίας Zigbee θα πραγματοποιείται η επικοινωνία των ηλεκτρικών οχημάτων με άλλες ηλεκτρονικές συσκευές, τόσο σε οικιακό χώρο, όσο και σε δημόσιο.

Συμπερασματικά, το εγχείρημα Vehicle-to-Grid βρίσκεται ακόμη σε πρόωρο στάδιο. Δεν υπάρχουν συγκεκριμένα πρότυπα διασύνδεσης και επικοινωνίας των διαφόρων τμημάτων που το απαρτίζουν. Αυτό συμβαίνει γιατί: i) το Ευφύες Δίκτυο δεν έχει υλοποιηθεί ακόμη σε τέτοιο βαθμό ώστε να αντικαταστήσει πλήρως το παλιό ηλεκτρικό δίκτυο, και ii) τα ηλεκτρικά οχήματα δεν έχουν επιτύχει ικανοποιητική διείσδυση στη παγκόσμια αγορά, επί του παρόντος.

6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Το V2G αποτελεί ένα πολυδιάστατο θέμα. Η υλοποίηση ενός τέτοιου εγχειρήματος απαιτεί έρευνα και ανάπτυξη σε πολλά επίπεδα. Από το είδος των τεχνολογιών τηλεπικοινωνιών που θα χρησιμοποιηθούν, μέχρι την ανάπτυξη κατάλληλων αλγορίθμων που θα διεκπεραιώνουν τις λειτουργίες του V2G.

Για την ακρίβεια, το λογισμικό που θα πραγματοποιεί το V2G, είναι απαραίτητο να αποτελείται από ευφύς και αποδοτικούς αλγορίθμους. Στη παρούσα διπλωματική, το V2G δεν εξετάστηκε καθόλου από πλευράς αλγορίθμων, πάρα μόνο αναλύθηκε η δομή του και μελετήθηκε η αρχιτεκτονική του. Κάτι τέτοιο μπορεί να οδηγήσει στην εσφαλμένη εντύπωση ότι οι αλγόριθμοι δεν αποτελούν τόσο σημαντικό μέρος της λειτουργίας του V2G. Στη πράξη, συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Σε ένα σύστημα τόσο πολύπλοκο, οι αποφάσεις πρέπει να λαμβάνονται έγκαιρα και αποδοτικά. Η διεξαγωγή των απαιτούμενων ενεργειών πρέπει να γίνεται με βέλτιστο και συστηματικό τρόπο. Επομένως απαιτείται επιπλέον ερευνητική δραστηριότητα στον τομέα των αλγορίθμων. Δυο κατηγορίες αλγορίθμων που χρήζουν ιδιαίτερης αναφοράς, είναι οι Ευρετικοί αλγόριθμοι (Heuristic Algorithms) και οι αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης με Σμήνος Σωματιδίων (Particle Swarm Optimization Algorithms). Η

φιλοσοφία σχεδίασης των αλγορίθμων αυτών είναι τέτοια, ώστε να διαχειρίζονται καταγιισμό πληροφοριών και να αντιμετωπίζουν με βέλτιστο και αποδοτικό τρόπο σύνθετα προβλήματα σε πραγματικό χρόνο.

Επιπλέον ερευνητικής δραστηριότητας χρήζει και ο τομέας των ηλεκτρικών οχημάτων, όσον αφορά την τεχνολογία των συσσωρευτών αλλά και τις τεχνολογίες διασύνδεσης τους με άλλες ηλεκτρονικές συσκευές. Συγκριμένα, πρέπει να σχεδιαστούν και χρηματοδοτηθούν κατάλληλα προγράμματα έρευνας, ανάπτυξης, επίδειξης και ενημέρωσης στο γενικότερο γνωστικό αντικείμενο της ηλεκτροκίνησης τα οποία θα έχουν τα ακόλουθα γνωστικά αντικείμενα:

- i. Ανάπτυξη συσσωρευτών για χρήση στα Η/Ο με κύρια χαρακτηριστικά την υψηλή πυκνότητα ενέργειας, τη χρησιμοποίηση μη τοξικών και φθηνών υλικών και το χαμηλό κόστος παραγωγής.
- ii. Ανάπτυξη ηλεκτρονικών συστημάτων διαχείρισης των συσσωρευτών, φόρτισης και εκφόρτισής τους, ηλεκτρικών κινητήρων, κλπ. με κύρια χαρακτηριστικά τη χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών υψηλής ενεργειακής απόδοσης και την ανάπτυξη εξοπλισμού υψηλής αξιοπιστίας.
- iii. Ανάπτυξη και κατασκευή φορτιστών για τους συσσωρευτές των EV σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα που διαρκώς εξελίσσονται.
- iv. Ανάπτυξη εφαρμογών που αφορούν τα ευφυή δίκτυα με κατάλληλες διεπαφές (υποδομές, λογισμικό, επικοινωνία) των σταθμών φόρτισης των EV για τη διαχείριση της διαδικασίας φόρτισης τους σε συνδυασμό με την αξιοποίηση συστημάτων ΑΠΕ. Θα επιζητείται η κατάλληλη ένταξη της διαχείρισης των EV και των συστημάτων ΑΠΕ με σκοπό τη βελτίωση της διαχείρισης των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, τις μειωμένες επενδύσεις σε νέες υποδομές και τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και αέριων ρύπων.
- v. Προσδιορισμός των σημαντικότερων και καταλληλότερων χρήσεων των EV και ανάπτυξη των κατάλληλων υποδομών για τη διείσδυσή τους. Εκπόνηση μελέτης μετακινήσεων και χρήσεων των EV (ομάδες χρηστών) σε μεγάλες πόλεις (οικία, εργασία, δημόσιοι χώροι).
- vi. Οδικός χάρτης για την ένταξη των EV σε ομάδες χρηστών και στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με συστήματα ΑΠΕ.
- vii. Επιδεικτικά προγράμματα ενημέρωσης του κοινού σε θέματα ηλεκτροκίνησης.
- viii. Ανάπτυξη επιχειρησιακού μοντέλου για τη διαχείριση των σταθμών φόρτισης των Η/Ο που θα συνδέονται στο ηλεκτρικό λαμβάνοντας υπόψη τις κατηγορίες των υποδομών και τις θέσεις των σταθμών φόρτισης, τα απαιτούμενα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, τους εμπλεκόμενους φορείς και τα σχετικά τιμολόγια ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος για την ηλεκτροκίνηση.

Βιβλιογραφία

- [1] E. Tate, M. Harpster, P. Savagian, “The Electrification of the Automobile: From Conventional Hybrid, to Plug-in Hybrids, to Extended-Range Electric Vehicles,” 2008 SAE International World Congress, 2008.
- [2] McKinsey and Company, “The Role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles - A Portfolio of Power-trains for Europe: A Fact Based Analysis”,2010.
- [3] M. Ehsani, “Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory and Design”, CRC Press LLC, USA, 2005.
- [4] Electric vehicle smart charging and vehicle-to-grid operation, International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, vol. 27, no. 3. March 2012.
- [5] S. Shao, M. Pipattanasomporn, S. Rahman, "Challenges of PHEV penetration to the residential distribution network," Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES '09. IEEE , vol., no., pp.1-8, 26-30, July 2009.
- [6] K. Qian, C. Zhou, M. Allan, Y. Yuan, "Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems," Power Systems, IEEE Transactions on , vol.26, no.2, pp.802-810, May 2011.
- [7] C. Guille, G. Gross, "A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation," Energy Policy, Volume 37, Issue 11, pp. 4379- 4390, November 2009
- [8] Coordinated Electric Vehicle Charging Control with Aggregator Power Trading and Indirect Load Control. James J.Q. Yu, Student Member, IEEE, Junhao Lin, Student Member, IEEE, Albert Y.S. Lam, Member, IEEE, and Victor O.K. Li, Fellow, IEEE
- [9] E. Sortomme and M. a. El-Sharkawi, “Optimal charging strategies for unidirectional vehicle to-grid,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 2, no. 1, pp. 119–126, 2011.
- [10] Bayram and Papapanagiotou: A survey on communication technologies and requirements for internet of electric vehicles. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2014 2014:223.
- [11] Ching-Yen Chung, Aleksey Shepelev, Charlie Qiu, Chi-Cheng Chu, Rajit Gadh, “Design of RFID Mesh Network for Electric Vehicle Smart Charging Infrastructure” Department of Mechanical and Aerospace Engineering University of California, Los Angeles Los Angeles, USA
- [12] S. Mal, A. Chattopadhyay, A. Yang, R. Gadh, “Electric vehicle smart charging and vehicle to-grid operation”, International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, vol. 27, no. 3. March 2012.
- [13] Rajit Gadh et al., “Intelligent Electric Vehicle Charging System”, PCT International Patent, Ser. No. PCT/US12/49393, August 2, 2012
- [14] Ching-Yen Chung, “Electric Vehicle Smart Charging Infrastructure” ,University Of California, Los Angeles
- [15] C. Chung, J. Chynoweth, C. Qiu, C. Chu, and R. Gadh, "Design of Fast Response Smart Electric Vehicle Charging Infrastructure," IEEE Green Energy and Systems Conference, IGESC 2013, Long Beach, U.S.A., Nov. 25, 2013.

[16] Fang, Satyajayant Misra, Guoliang Xue, Dejun Yang: Smart Grid – The New and Improved Power Grid, A Survey

[17] Multi-objective optimization control of plug-in electric vehicles in low voltage distribution networks J. García-Villalobos a,†, I. Zamora a, K. Knezovic' b, M. Marinelli b