

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΞΕΛΙΞΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ:
ΜΙΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΣΟΦΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ (Α.Μ. 7216)
ΣΤΕΦΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΤΙΜΟΛΕΩΝ (Α.Μ. 6829)**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΡΑΒΑΝΗΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2021

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και έχει ως θέμα τα ηλεκτρικά οχήματα.

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η παρουσίαση των βασικών αρχών λειτουργίας των ηλεκτρικών οχημάτων καθώς και οι τεχνικές σύνδεσής τους στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Θέλουμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Αραβανή Θεοφάνη για τη συνεχή καθοδήγηση και βοήθεια που μας προσέφερε.

Σοφός Αναστάσιος
Στεφανόπουλος Τιμολέων

Νοέμβριος 2021

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

.....
(Υπογραφή)

Σοφός Αναστάσιος

.....
(Υπογραφή)

Στεφανόπουλος Τιμολέων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η δομή και λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων. Επίσης αναφέρονται τα είδη των ηλεκτρικών οχημάτων. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα καθώς και οι διαθέσιμες μέθοδοι φόρτισης αυτών. Επίσης γίνεται και σύγκριση των χαρακτηριστικών των συμβατικών και των ηλεκτρικών οχημάτων. Το τρίτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στα έξυπνα δίκτυα και στους τρόπους σύνδεσης και επικοινωνίας των ηλεκτρικών οχημάτων με αυτά. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η ιδιαίτερα σημαντική ιδέα των ευφών συστημάτων μεταφοράς που αναμένεται να φέρει επανάσταση στον τομέα των μεταφορών. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	
1.1 Γενικά.....	3
1.2 Ιστορία των ηλεκτρικών οχημάτων.....	5
1.3 Τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων.....	6
1.4 Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας.....	10
1.5 Υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα.....	12
1.5.1 Αρχιτεκτονική υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων.....	14
1.5.2 Σε σειρά υβριδικά.....	15
1.5.3 Παράλληλα υβριδικά.....	16
1.5.4 Σε σειρά-παράλληλα υβριδικά.....	17
1.5.5 Σύνθετα υβριδικά.....	17
1.5.6 Υβριδικά κυψέλης καυσίμου.....	18
1.5.7 Plug-in υβριδικά.....	18
2. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΣΗ	
2.1 Γενικά.....	21
2.2 Μπαταρίες για ηλεκτρικά οχήματα.....	21
2.3 Μέθοδοι φόρτισης μπαταρίας.....	23
2.4 Συστήματα on-board και off-board.....	27
2.5 Ασύρματα συστήματα φόρτισης.....	28
2.6 Σύγκριση των συμβατικών και των ηλεκτρικών οχημάτων.....	32

3. ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ	
3.1 Γενικά.....	34
3.2 Τρόποι λειτουργίας φορτιστών on-board	35
3.2.1 Grid-to-Vehicle	35
3.2.2 Vehicle-to-Grid	38
3.2.3 Vehicle-to-Load.....	39
3.3 Τρόποι λειτουργίας φορτιστών off-board.....	41
3.3.1 Grid-to-Vehicle και Vehicle-to-Grid	42
3.3.2 Αντισταθμιστής ποιότητας ισχύος	43
3.3.3 Ενιαία λειτουργία αντισταθμιστή ποιότητας ισχύος με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	44
3.3.4 Ενιαία λειτουργία αντισταθμιστή ποιότητας ισχύος, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας	45
3.4 Έξυπνη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων	46
3.5 Προηγμένη υποδομή φόρτισης με ηλεκτρικά οχήματα	48
3.6 Προηγμένη υποδομή δικτύου επικοινωνίας και ελέγχου με ηλεκτρικά οχήματα	50
4. ΕΥΦΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	
4.1 Γενικά.....	54
4.2 Οφέλη	55
4.3 Μειονεκτήματα	58
4.4 Βασικές αρχές λειτουργίας	59
4.5 Σύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων	60
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	64

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στον κόσμο σήμερα τα ορυκτά καύσιμα είναι οι κυρίαρχες πηγές ενέργειας τόσο για τον τομέα των μεταφορών όσο και για τη βιομηχανία παραγωγής ενέργειας. Η εξάντληση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων μας αναγκάζει να αναζητήσουμε εναλλακτικές πηγές ενέργειας για αυτούς τους τομείς. Στην πραγματικότητα, το μέλλον της πετρελαϊκής οικονομίας, η οποία συνδέεται άρρηκτα με τους στόλους των οχημάτων κάθε είδους, δεν είναι μόνο μη βιώσιμο αλλά και πολύ περιορισμένο. Επιπλέον, η καύση ορυκτών καυσίμων παράγει αέρια θερμοκηπίου (greenhouse gases, GHGs) που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Έχει εκτιμηθεί ότι η κατανάλωση πετρελαίου στον τομέα των μεταφορών θα αυξηθεί κατά 54% έως το έτος 2035. Επίσης, η Energy Information Agency (EIA) προβλέπει ότι οι τιμές του πετρελαίου παρουσιάσουν σημαντική άνοδο τις επόμενες δύο δεκαετίες.

Στο πλαίσιο αυτό, έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου. Στον τομέα των μεταφορών, τα ηλεκτρικά οχήματα (electric vehicles, EVs) είναι η πολλά υποσχόμενη λύση και πράγματι έχουν αρχίσει να έχουν μία σημαντική θέση στην αγορά οχημάτων. Στο μέλλον, οι οικονομικές μελέτες προβλέπουν αντικατάσταση των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης (internal combustion engine vehicle, ICEV) με τα EVs. Η Australian Energy Market Commission (AEMC) σε έκθεσή της δείχνει ότι το μερίδιο των EVs στη διεθνή αγορά νέων οχημάτων συνεχώς αυξάνεται. Το έτος 2020 ήταν περίπου 10%. Η αύξηση θα συνεχιστεί και το μερίδιο των ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να φτάσει ακόμη και το 40% των πωλήσεων νέων ελαφρών οχημάτων τα επόμενα χρόνια. Πρέπει να αφιερωθεί μεγάλη προσπάθεια για να φτάσουμε στο σημείο τα EVs να είναι πλήρως ανταγωνιστικά των ICEVs, κυρίως λόγω του ότι τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν υψηλό αρχικό κόστος.

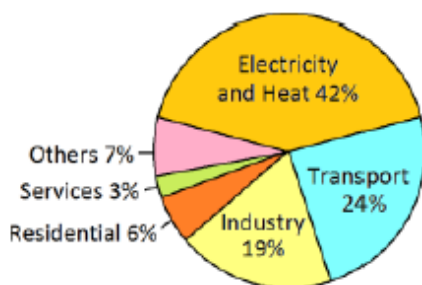
Από την άλλη πλευρά, η ηλεκτροκίνηση του τομέα των μεταφορών

φαίνεται να προσφέρει μία από τις εφικτές λύσεις σε πολύ σημαντικές προκλήσεις όπως η παγκόσμια κλιματική αλλαγή, η ενεργειακή ασφάλεια και οι γεωπολιτικές ανησυχίες σχετικά με τη διαθεσιμότητα των ορυκτών καυσίμων. Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν την δυναμική να αλληλεπιδρούν με το ηλεκτρικό δίκτυο ως ανεξάρτητες καταναεμημένες πηγές ενέργειας. Έχει δειχθεί από ορισμένες μελέτες ότι τα περισσότερα οχήματα είναι σταθμευμένα, σχεδόν το 95% του χρόνου ζωής τους. Σε αυτή την περίπτωση, τα EVs μπορούν να παραμείνουν συνδεδεμένα στο δίκτυο και να είναι έτοιμα να παραδώσουν την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στις μπαταρίες τους, σύμφωνα με την καινοτόμα θεώρηση vehicle to grid (V2G) που εισήχθη πριν περίπου 25 χρόνια από τους Kempton και Letendre [9].

1. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ανάπτυξη των αυτοκινήτων που κινούνται με κινητήρες εσωτερικής καύσης (ICE) ήταν ένα από τα μεγαλύτερα μηχανικά επιτεύγματα προς το τέλος του δέκατου ένατου αιώνα. Η διαθεσιμότητα καυσίμων χαμηλού κόστους, η ευκολία χρήσης, η αυξημένη αξιοπιστία και η μεγάλη αυτονομία οδήγησαν στην ευρεία αποδοχή αυτών των οχημάτων. Ωστόσο, τα οχήματα που προωθούνται από θερμικούς κινητήρες είναι πολύ φτωχά σε απόδοση καυσίμου (~ 20-25%) και εκτός από την καύση υδρογονανθράκων τα οχήματα αυτά απελευθερώνουν πολλά τοξικά αέρια. Σήμερα, μετά από περισσότερο από έναν αιώνα, η αυτοκινητοβιομηχανία και ο μεγάλος αριθμός οχημάτων που χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο προκαλούν σοβαρές ανησυχίες για τους ανθρώπους και το περιβάλλον.



Σχήμα 1.1 Παγκόσμιες εκπομπές CO₂ ανά δραστηριότητα το 2017 [1].

Ο τομέας των μεταφορών συνεισφέρει σημαντικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση, μαζί με τις βιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1, οι τομείς παραγωγής ενέργειας και θερμότητας συνεισφέρουν το 42% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂, ενώ ο τομέας των μεταφορών μόνο το 24% των εκπομπών CO₂ το 2015. Οι οδικές μεταφορές αντιπροσώπευαν το

75% των εκπομπών των μεταφορών. Ανάλογα με τον τύπο καυσίμου, τον τρόπο οδήγησης και τις συνθήκες του δρόμου, ένα τυπικό όχημα μεσαίου μεγέθους εκπέμπει κατά μέσο όρο περίπου 411 γραμμάρια CO₂ ανά μίλι διαδρομής, οδηγώντας σε περίπου 4,7 μετρικούς τόνους CO₂ ετησίως.

Εκτός από το CO₂, τα οχήματα με κινητήρες υγρών καυσίμων εκπέμπουν επίσης οξείδια του αζώτου (NO_x), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οξείδια του θείου (SO_x) και άκαυστους υδρογονάνθρακες (C_xH_y) από την εξάτμιση και υδροφθοράνθρακες (HFC) από διαρροές των κλιματιστικών. Οι ποσότητες αυτών των αερίων είναι μικρές σε σύγκριση με το CO₂. Ωστόσο, ο αντίκτυπος αυτών των εκπομπών μπορεί να είναι σημαντικός επειδή έχουν υψηλότερο Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη (Global Warming Potential, GWP) από το CO₂. Το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη ενός αερίου σχετίζεται με τις συνέπειες αυτού του αερίου σε ισοδύναμη ποσότητα CO₂. Διάφορες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (Green-House Gas, GHG) από την αυτοκινητοβιομηχανία και το GWP τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1. Οι εκπομπές CO₂ αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 95% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από ένα επιβατικό όχημα.

Πίνακας 1.1 GWP των αέριων εκπομπών από οχήματα [1]

Greenhouse Gas	GWP
Carbon Dioxide (CO ₂)	1
Methane (CH ₄)	25
Nitrous Oxide (N ₂ O)	298
AC Refrigerant (HFC-134a)	1,430

Οι κυριότερες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπίσει σήμερα ο τομέας της αυτοκινητοβιομηχανίας είναι

- (i) πώς να μειωθούν οι επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή και
- (ii) πώς να μειωθεί η εξάρτηση από τα καύσιμα πετρελαίου.

Αρκετές στρατηγικές εξετάζονται για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων. Αυτά περιλαμβάνουν τη μετάβαση σε οικολογικά βιοκαύσιμα, βελτιωμένο σχεδιασμό κινητήρα και χρήση ηλεκτρικών οχημάτων. Τα βιοκαύσιμα έχουν τη δυνατότητα να αφαιρέσουν τον άνθρακα από τον τομέα των μεταφορών. Στις αρχές του 2000, είχε προβλεφθεί ότι τα βιοκαύσιμα θα ήταν η απάντηση στα θέματα

ασφάλειας καυσίμων και εκπομπών. Ωστόσο, η βιωσιμότητα και οι αναμενόμενες μειωμένες εκπομπές από βιοκαύσιμα έχουν αμφισβητηθεί τα τελευταία χρόνια σε σχέση με την αντιστάθμιση τρόφιμα έναντι καυσίμων, τη λογιστική άνθρακα και τη χρήση γης.

Τα ηλεκτρικά οχήματα δίνουν την υπόσχεση μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τον τομέα των μεταφορών. Πολλές χώρες έχουν θέσει στόχους για να σταματήσουν την παραγωγή και την πώληση οχημάτων με καύσιμο πετρέλαιο. Όσον αφορά το μερίδιο αγοράς μέχρι τον Δεκέμβριο του 2016, η Νορβηγία διαθέτει 29% ηλεκτρικά αυτοκίνητα ακολουθούμενη από τις Κάτω Χώρες (6,4%), τη Σουηδία (3,4%) και την Κίνα (1,5%). Η Πρωτοβουλία Ηλεκτρικών Οχημάτων (EVI), ένα φόρουμ πολιτικής που εστιάζει στην υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων ξεκίνησε πρόσφατα την καμπάνια EV30@30, θέτοντας τους στόχους των ηλεκτρικών οχημάτων στο 30% έως το 2030. Στη Γερμανία, όλα τα νέα αυτοκίνητα θα είναι ηλεκτρικά μέχρι το 2030 και στη Γαλλία και τη Βρετανία. οι πωλήσεις βενζινοκίνητων και πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων θα απαγορευτούν έως το 2040. Η Κίνα, η μεγαλύτερη αγορά αυτοκινήτων στον κόσμο, σχεδιάζει να απαγορεύσει την παραγωγή και πώληση αυτοκινήτων και βαν βενζίνης στο εγγύς μέλλον.

Η Ινδία στοχεύει να έχει έναν πλήρως ηλεκτρικό στόλο αυτοκινήτων έως το 2030 με στόχο τη μείωση των εισαγωγών καυσίμων και το κόστος λειτουργίας των οχημάτων. Ως αφετηρία προς αυτή την κατεύθυνση, η κυβέρνηση της Ινδίας ξεκίνησε το National Electric Mobility Mission Plan (NEMMP) -2020 το 2013. Στοχεύει στην επίτευξη της εθνικής ασφάλειας καυσίμων προωθώντας υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα στη χώρα. Ο φιλόδοξος στόχος είναι να επιτευχθούν πωλήσεις 6-7 εκατομμυρίων υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων ετησίως από το 2020, εκ των οποίων 4-5 εκατομμύρια αναμένεται να είναι δίκυκλα.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Το πρώτο ηλεκτρικό όχημα που τροφοδοτείται από μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες κατασκευάστηκε το 1834, πολύ πριν από την ανάπτυξη των κινητήρων IC. Τα ηλεκτρικά οχήματα ήταν πολύ

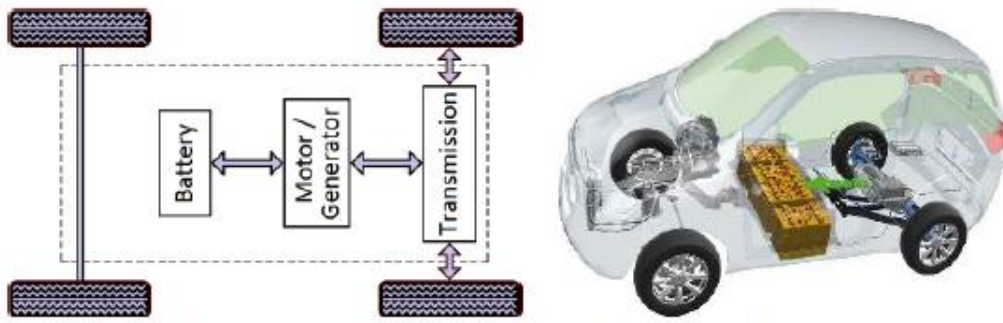
δημοφιλή κατά την περίοδο 1890 έως 1920 παρά το πολύ υψηλό κόστος τους. Το 1912, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν φτάσει στην ακμή τους, αποτελώντας σχεδόν το 28% των αυτοκινήτων στο δρόμο. Η πρόοδος στις τεχνολογίες κινητήρων IC σε συνδυασμό με τη μαζική παραγωγή οδήγησαν σε χαμηλού κόστους ελαφριά οχήματα. Μέχρι το 1920, η διαθεσιμότητα φθηνού πετρελαίου, ηλεκτρικών εκκινητήρων και η δυνατότητα να ταξιδεύουν μεγάλες αποστάσεις βοήθησαν τα βενζινοκίνητα να κυριαρχήσουν στην αγορά αυτοκινήτων και τελικά οδήγησαν στην κατάρρευση της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων. Η πτώση των ηλεκτρικών οχημάτων αποδόθηκε σε διάφορους παράγοντες, όπως η ανάγκη για μεγάλη διαδρομή, η περιορισμένη ισχύς του κινητήρα και η εύκολη διαθεσιμότητα φθηνής βενζίνης. Στη δεκαετία του 1970, ωστόσο, οι ανησυχίες για την αύξηση της τιμής του πετρελαίου λόγω του πετρελαϊκού σοκ του 1973 μαζί με τις αυξανόμενες ανησυχίες για παγκόσμια προειδοποίηση οδήγησαν στην ανανέωση του ενδιαφέροντος για τα ηλεκτρικά οχήματα.

1.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Τα ηλεκτρικά οχήματα χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες για πρόωση αντί για συμβατικούς κινητήρες IC. Τα κινητήρια οχήματα που λειτουργούν με την αρχή της καύσης λαμβάνουν την ενέργειά τους από ορυκτά καύσιμα με βάση τον άνθρακα. Αντίθετα, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μέσω ενός ευρέος φάσματος πόρων, όπως ορυκτών και μη ορυκτών υδρογονανθράκων, υδροηλεκτρικής ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταδίδεται στα οχήματα μέσω εναέριων γραμμών ρεύματος, απευθείας σύνδεση μέσω καλωδίων ή ασύρματης μεταφοράς ενέργειας. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα αποθήκευσης, η ενέργεια μπορεί στη συνέχεια να αποθηκευτεί στο όχημα.

Η βασική δομή ενός ηλεκτροκίνητου οχήματος φαίνεται στο σχήμα 1.2. Τα κύρια στοιχεία ενός ηλεκτρικού οχήματος περιλαμβάνουν μπαταρία αποθήκευσης, κινητήρα κίνησης, ελεγκτή κινητήρα, μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος, ελεγκτές φόρτισης και σύστημα

διαχείρισης μπαταρίας (Battery Management System, BMS). Ανάλογα με την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού, ο κινητήρας κίνησης του EV μπορεί να είναι ένας μόνο αναστρέψιμος κινητήρας/γεννήτρια ή μεμονωμένοι κινητήρες και γεννήτριες.



Σχήμα 1.2 Βασική δομή ενός ηλεκτρικού οχήματος [1].

Πίνακας 1.2 Σύγκριση των EV και IC [1]

IC Engine (ICE) Vehicles	Electric Vehicles (EV)
<ul style="list-style-type: none"> • Powertrain: IC engine • High specific energy of fuel • Power density: High • Emits greenhouse gases • Travels > 300 miles / fill • Short refilling time (< 5 min.) • Fuel tank takes less space • Fuel weight is very less • Higher maintenance costs • Braking energy not recovered • Running cost: high • Engine efficiency: ~ 30% • Needs complex gear system • Noisy operation • Ample refilling infrastructure • Need to pick up some speed to deliver maximum torque • Uses only hydrocarbons 	<ul style="list-style-type: none"> • Powertrain: Motor (+ Engine) • Low specific energy of battery • Power density: Low • No tailpipe emissions • Travels < 100 miles / charge • Long charging time (0.5-8 hr.) • Battery takes large space • Batteries are very heavy • Lesser maintenance costs • Can recover braking energy • Running cost: low • Motor efficiency: ~ 80% • Needs only one gear • Quiet operation • Lacks charging infrastructure • Produce maximum torque instantly after starting of motor • Uses electricity from many resources

Τα ηλεκτροκίνητα οχήματα έχουν σχετικά μικρότερη εμβέλεια οδήγησης σε σύγκριση με τα οχήματα με κινητήρα λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας αποθήκευσης ενέργειας. Μια σύντομη σύγκριση των οχημάτων με κινητήρα IC έναντι των ηλεκτρικών οχημάτων φαίνεται στον Πίνακα 1.2.

Με βάση τον τρόπο και τον τόπο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

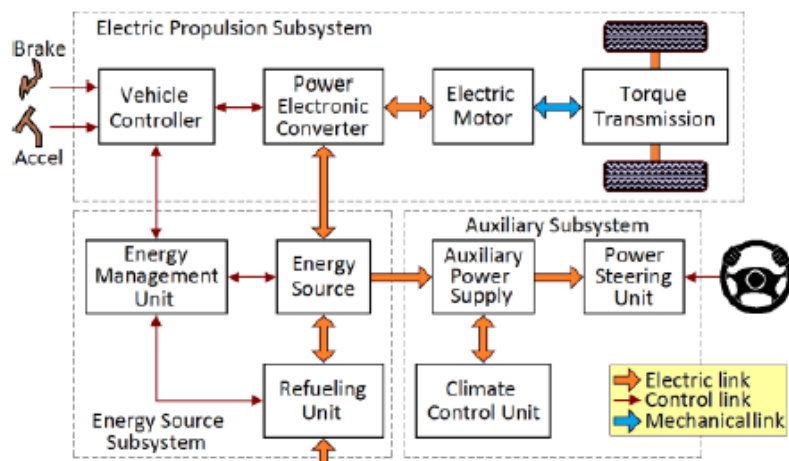
1. Οχήματα που χρησιμοποιούν συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από εξωτερική πηγή ενέργειας. Αυτά περιλαμβάνουν τρόλεϊ και ηλεκτρικά τραμ που τροφοδοτούνται από εναέρια γραμμή (εικόνα 1.1). Δεδομένου ότι χρειάζονται συνεχώς εξωτερική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, αυτά τα οχήματα είναι κατάλληλα μόνο για πολύ περιορισμένες εργασίες.
2. Οχήματα που βασίζονται στην αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια από μια πηγή ισχύος εκτός οχήματος. Αυτά περιλαμβάνουν οχήματα που χρησιμοποιούν μπαταρία, σφόνδυλους, υπερπυκνωτές κ.τ.λ.
3. Οχήματα που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια επί του οχήματος για να καλύψουν τις ανάγκες τους. Αυτά περιλαμβάνουν τα σε σειρά ηλεκτρικά υβριδικά, τα παράλληλα ηλεκτρικά υβριδικά και τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου.



Εικόνα 1.1 Τρόλεϊ και ηλεκτρικό τρένο [1].

Το σύστημα κίνησης ενός ηλεκτρικού οχήματος (σχήμα 1.3) αποτελείται από τρία κύρια υποσυστήματα: την κινητήρια πρόωση, την πηγή ενέργειας και το βοηθητικό. Το σύστημα πρόωσης αποτελείται από τον ελεγκτή, τον ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος, τον κινητήρα, τη μετάδοση ροπής και τους τροχούς. Το τμήμα της πηγής ενέργειας περιλαμβάνει την πηγή ενέργειας, τη μονάδα διαχείρισης ενέργειας και

τη μονάδα επαναπλήρωσης ενέργειας. Το βοηθητικό υποσύστημα αποτελείται από μονάδα υδραυλικού τιμονιού, μονάδα ελέγχου κλιματισμού και βοηθητική μονάδα τροφοδοσίας.



Σχήμα 1.3 Η δομή του συστήματος κίνησης ενός ηλεκτρικού οχήματος [1].

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να ταξινομηθούν ως ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (BEV) και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV). Τα καθαρά ηλεκτρικά οχήματα έχουν μόνο μπαταρία ως πηγή ενέργειας. Ένα όχημα που έχει δύο ή περισσότερες πηγές ενέργειας και μετατροπείς ενέργειας ονομάζεται υβριδικό όχημα (HV). Ένα HV με ηλεκτρική παροχή ενέργειας ονομάζεται υβριδικό EV. Οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται στα HEVs μπορεί να είναι ένας συνδυασμός πολλών πηγών όπως μπαταρία, βενζίνη, βιοκαύσιμα και κυψέλες καυσίμου. Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία έχουν συνήθως μεγαλύτερες μπαταρίες αποθήκευσης από τα HEV. Το εύρος ταξιδιού είναι μια από τις σημαντικότερες διαφορές μεταξύ BEV και HEV.

Ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των ηλεκτρικών οχημάτων είναι η δυνατότητα αναγεννητικής πέδησης (regenerative braking ή πιο σύντομα regen-braking). Το regen-braking είναι μια διαδικασία με την οποία η κινητική ενέργεια του κινούμενου οχήματος μετατρέπεται σε ηλεκτρική αντιστρέφοντας τη λειτουργία του κινητήρα σε γεννήτρια. Η μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια επιβραδύνει το όχημα, το οποίο διαφορετικά θα είχε χάσει τη θερμότητα λόγω τριβής στα μηχανικά φρένα.

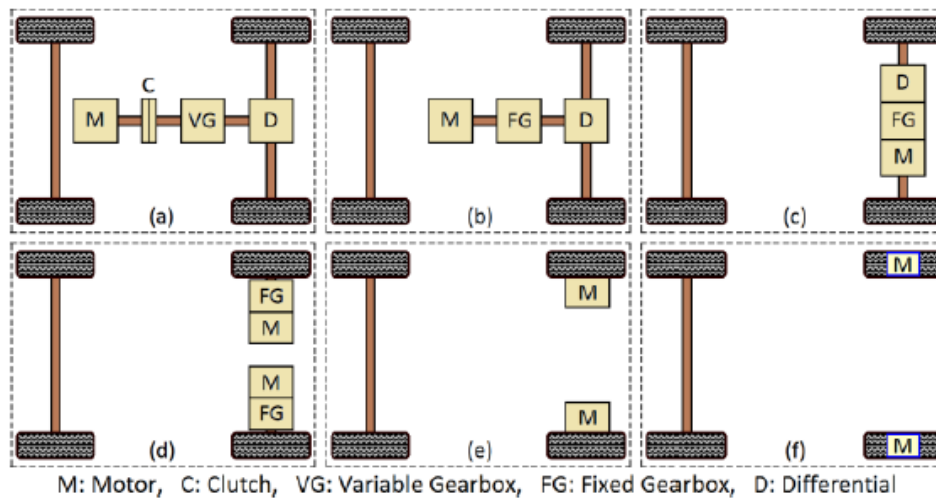
1.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία κινούνται από ηλεκτρικούς κινητήρες που χρησιμοποιούν την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε μπαταρίες στο όχημα. Υπάρχουν πολλές ομοιότητες μεταξύ ενός οχήματος με κινητήρα IC και ενός EV μπαταρίας. Οι μπαταρίες του BEV αντιστοιχούν στην δεξαμενή καυσίμου του IC. Για την επαναφόρτιση των μπαταριών ενός BEV, αυτές πρέπει περιοδικά να συνδέονται σε μία εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Με βάση τον τύπο μετάδοσης, τον συμπλέκτη, το κιβώτιο ταχυτήτων, το διαφορικό και τον αριθμό των κινητήρων, μπορούμε να έχουμε μια μεγάλη ποικιλία διαμορφώσεων EV. Αυτό φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 1.4, ξεκινώντας από το παλαιότερο σχέδιο (α) έως τον πιο προηγμένο σχεδιασμό (f).

- (a) Οχήματα με συμπλέκτη, κιβώτιο ταχυτήτων πολλαπλών ταχυτήτων και διαφορικό. Αυτά τα EV είναι τροποποιημένες εκδόσεις των οχημάτων ICE με ηλεκτρικούς κινητήρες στη θέση των κινητήρων IC.
- (b) EV με κιβώτιο ταχυτήτων σταθερής αναλογίας και διαφορικό. Δεν χρησιμοποιούν συμπλέκτη αφού ο ηλεκτροκινητήρας έχει σταθερή ισχύ σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μειωμένο μέγεθος και βάρος καθώς και αυξημένη ευκολία οδήγησης.
- (c) Παρόμοιο με το σύστημα κίνησης στο (b) αλλά ο κινητήρας, το κιβώτιο ταχυτήτων σταθερής αναλογίας και το διαφορικό ενσωματώνονται σε ένα σύνολο. Το αποτέλεσμα είναι ένα πιο απλοποιημένο σύστημα κίνησης.
- (d) Το διαφορικό αντικαθίσταται με τη χρήση δύο κινητήρων έλξης που οδηγούν τους μπροστινούς τροχούς και οι οποίοι λειτουργούν με διαφορετικές ταχύτητες όταν το όχημα κινείται σε καμπύλη διαδρομή.
- (e) Το σύστημα in-wheel με ένα λεπτό κιβώτιο ταχυτήτων. Ο κινητήρας έλξης τοποθετείται στο εσωτερικό του τροχού. Το κιβώτιο χρησιμοποιείται για την αύξηση της ροπής κίνησης.
- (f) Παρόμοιο με το σύστημα κίνησης στο (e) εκτός από το ότι ο κινητήρας είναι τοποθετημένος μέσα στον τροχό χωρίς κανένα

γρανάζι. Αυτός ο σχεδιασμός είναι σχετικά λιγότερο πολύπλοκος από τον (e).



Σχήμα 1.4 Διάφορες διαμορφώσεις των ηλεκτρικών οχημάτων [1].

Η τελευταία καινοτομία στα ηλεκτρικά οχήματα είναι η διαμόρφωση in-wheel. Σε αυτό το σχέδιο, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5, εγκαθίστανται σε κάθε τροχό χωριστοί κινητήρες (γνωστοί ως in-wheel motors). Η τοποθέτηση του κινητήρα και των ηλεκτρονικών ισχύος σε ένα συγκρότημα τροχού μπορεί να βελτιώσει την απόδοση, να εξοικονομήσει χώρο και να δώσει στους σχεδιαστές μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό του αμαξώματος. Είναι δυνατόν να ρυθμίζει τη ροπή κίνησης και τη δύναμη πέδησης ανεξάρτητα σε κάθε έναν τροχό χωρίς την ανάγκη περίπλοκου συστήματος μετάδοσης κίνησης.



Σχήμα 1.5 Διάταξη κινητήρα στον τροχό [1].

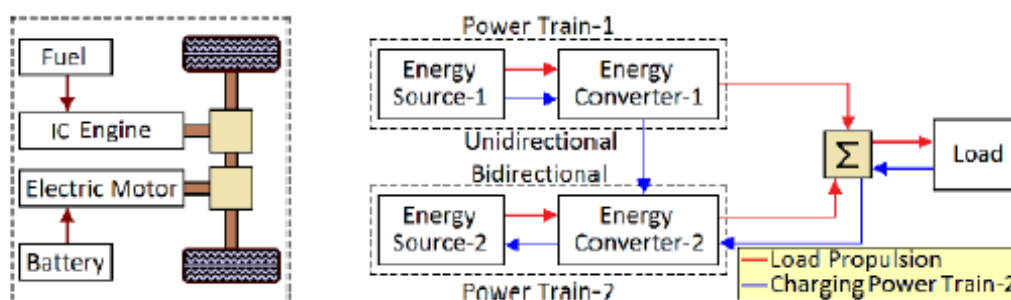
Η ικανότητα της αναγεννητικής πέδησης των τροχών είναι πολύ υψηλή, περίπου 85%. Αυτός ο σχεδιασμός απαιτεί κινητήρες κίνησης με

υψηλότερη ροπή εκκίνησης και επιτάχυνσης του οχήματος. Κινητήρες in-wheel είναι διαθέσιμοι με ισχύ έως 75 kW.

1.5 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των οχημάτων με κινητήρα IC είναι η μεγάλη αυτονομία οδήγησης λόγω της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας του πετρελαϊκών καυσίμων. Αν και τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρίες έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης, όπως μηδενική ρύπανση, υψηλή απόδοση κ.τ.λ., το εύρος ταξιδιού τους ανά φόρτιση μπαταρίας είναι πολύ λιγότερο από τα οχήματα με κινητήρα IC λόγω του χαμηλότερου ενεργειακού περιεχομένου των μπαταριών. Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα έχουν τα οφέλη και των οχημάτων ICE και των ηλεκτρικών οχημάτων, και μπορούν να ξεπεράσουν τα μειονεκτήματά τους.

Ένα HEV τυπικά περιέχει έναν κινητήρα βενζίνης με δεξαμενή καυσίμου, έναν ηλεκτρικό κινητήρα και μία τράπεζα μπαταριών. Η ηλεκτρική πρόωση παρέχει υψηλότερη απόδοση επιτάχυνσης σε χαμηλές ταχύτητες, κάτι που δεν μπορεί να επιτευχθεί σε οχήματα IC λόγω πολλών μηχανικών περιορισμών. Η ροή ισχύος στη μονάδα ICE είναι μονής κατεύθυνσης από τον κινητήρα στον τροχό ενώ στην ηλεκτρική κίνηση, η ροή ισχύος μπορεί να είναι αμφίδρομη: από τον κινητήρα στον τροχό και από τον τροχό στη μπαταρία.



Σχήμα 1.6 Η διάταξη ενός HEV και οι διαδρομές ροής ισχύος [1].

Η ιδέα ενός οχήματος υβριδικής κίνησης και οι πιθανές διαδρομές ροής ισχύος φαίνονται στο σχήμα 1.6. Υπάρχουν πέντε μοναδικά γενικά

κοινά χαρακτηριστικά στα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα: idle stop, αναγεννητική πέδηση, υποβοήθηση ισχύος, μόνο ηλεκτρική κίνηση και επέκταση αυτονομίας.

Για να αναπαραστήσουμε πόσο είναι το μερίδιο της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα HEV σε σύγκριση με τη συνολική ισχύ, ορίζεται ο συντελεστής υβριδισμού (hybridization factor, HF) ως:

$$HF = \frac{\text{ισχύς ηλεκτρικών κινητήρων}}{\text{ισχύς ηλεκτρικών κινητήρων} + \text{ισχύς IC}} \quad (1.1)$$

Με βάση τον βαθμό υβριδισμού, τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να ταξινομηθούν ως (i) Micro Hybrid, (ii) Mild Hybrid και (iii) Full Hybrid.

Micro Hybrid (μHV): Το μικροϋβριδικό είναι ο λιγότερο «ηλεκτρικός» τύπος HEV. Είναι ένα συμβατικό όχημα ICE με υπερμεγέθη κινητήρα εκκίνησης περίπου 3 έως 5 kW στα 12 V για να βοηθήσει την εκκίνηση του κινητήρα IC. Ο κινητήρας δεν μπορεί να ωθήσει το όχημα, αλλά μπορεί να χρησιμοποιείται για διάφορες βοηθητικές ενέργειες όπως το υδραυλικό τιμόνι και ο κλιματισμός. Αυτός ο τύπος EV χρησιμοποιείται γενικά για συχνά idlestop ή stop-start. Κατά το ρελαντί ενός μHV, ο κινητήρας IC είναι σβηστή και κατά την αναγεννητική πέδηση, ο ηλεκτρικός κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια για τη φόρτιση της μπαταρίας. Η αναγεννητική πέδηση, ωστόσο, μπορεί να μην είναι ένα τυπικό χαρακτηριστικό σε όλα τα μHV. Τα μικροϋβριδικά έχουν συνήθως συντελεστή υβριδισμού 5%-10% με εξοικονόμηση ενέργειας περίπου 3%-10% στην οδήγηση στην πόλη. Ο σχεδιασμός μHV βρίσκεται συνήθως σε ελαφρά οχήματα και είναι πιο κατάλληλος για αστικές εφαρμογές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Mercedes Smart.

Mild Hybrid (MHV): Αυτό το υβριδικό χρησιμοποιεί κινητήρα 7-15 kW στα 60-200 V. Ο κινητήρας δεν προωθεί μόνο το όχημα, αλλά υποστηρίζει μόνο την εκκίνηση του κινητήρα IC, την αναγεννητική πέδηση και επίσης παρέχει συμπληρωματική ροπή όταν απαιτείται μέγιστη ισχύς κατά την επιτάχυνση. Στο MHV, ο κινητήρας IC θα λειτουργεί πάντα, εκτός εάν το όχημα έχει σταματήσει ή η ταχύτητα είναι πολύ χαμηλή οπότε σταματάει τελείως. Ο συντελεστής υβριδισμού των ήπιων υβριδίων είναι περίπου 10%-30%. Το μέγεθος της μπαταρίας είναι υψηλότερο από το μικροϋβριδικό. Η εξοικονόμηση ενέργειας στην

οδήγηση στην πόλη είναι περίπου 20%-30%. Παραδείγματα είναι το Honda Civic και το Honda Insight.

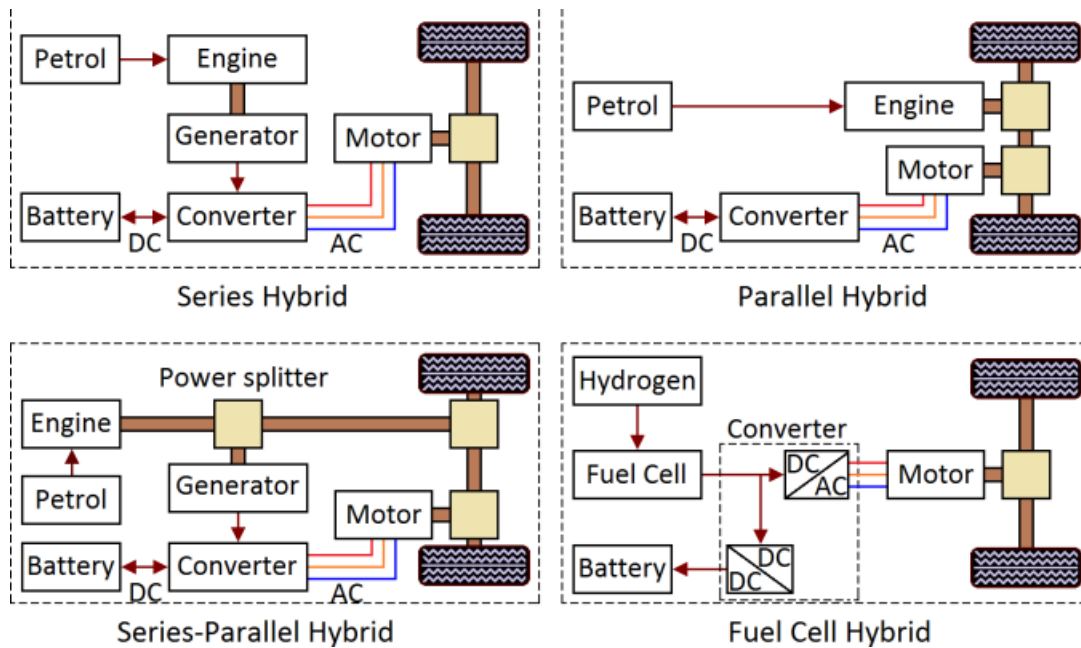
Full Hybrid (FHV): Ένα υβριδικό EV που μπορεί να κινείται μόνο με ηλεκτρικό ρεύμα είναι ένα πλήρες υβριδικό. Δεδομένου ότι ένα FHV μπορεί να λειτουργήσει μόνο σε ηλεκτρική λειτουργία, χρειάζεται έναν κινητήρα μεγάλης χωρητικότητας, περίπου 30-50 kW στα 200-600 V. Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι της τάξης του 30%-50%. Παράδειγμα FHV είναι το Toyota Prius.

Όταν ο κινητήρας ενός HEV είναι σε λειτουργία, ο έξυπνος έλεγχος διασφαλίζει ότι ο κινητήρας λειτουργεί πάντα στη βέλτιστη ζώνη απόδοσης, κατευθύνοντας την περίσσεια ενέργειας στην μπαταρία. Παρόλο που η αναγεννητική πέδηση είναι ένα κοινό χαρακτηριστικό σε όλα τα HEV, τα οχήματα στην κατηγορία micro και τα ήπια υβριδικά δεν μπορούν να απορροφήσουν πλήρως την κινητική ενέργεια των οχημάτων στο απότομο φρενάρισμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μικρά και τα ήπια HV έχουν μικρότερο συντελεστή υβριδισμού, που σημαίνει μικρή γεννήτρια. και ως εκ τούτου δεν μπορούν να μετατρέψουν όλα τη διαθέσιμη κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Για την πλήρη ανάκτηση της ενέργειας πέδησης, ο συντελεστής υβριδισμού πρέπει να είναι περίπου 40% ή υψηλότερος. Αυτός είναι ο λόγος της αύξησης της εξοικονόμησης ενέργειας καθώς αυξάνεται το επίπεδο υβριδισμού.

1.5.1 Αρχιτεκτονική υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα είναι δημοφιλή για τη βελτιωμένη απόδοσή τους σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα. Η βελτιωμένη απόδοση των HEV αποδίδεται στους ακόλουθους λόγους:

1. Βέλτιστη λειτουργία της ICE ανεξάρτητα από την ταχύτητα του οχήματος
2. Αναγεννητική πέδηση
3. Απενεργοποίηση της ICE σε χαμηλές ταχύτητες για τη μείωση των απωλειών στο ρελαντί
4. Ελαχιστοποίηση του φορτίου των βοηθητικών συστημάτων του οχήματος καθώς και του οδικού φορτίου.



Σχήμα 1.7 Αρχιτεκτονική των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων [1].

Με βάση τον τρόπο με τον οποίο συνδυάζονται οι μετατροπές ενέργειας (δηλαδή κινητήρας IC, ηλεκτροκινητήρας κ.τ.λ.) ενός HEV για να προωθήσουν το όχημα, είναι δυνατές πολλές διαμορφώσεις κινητήρων:

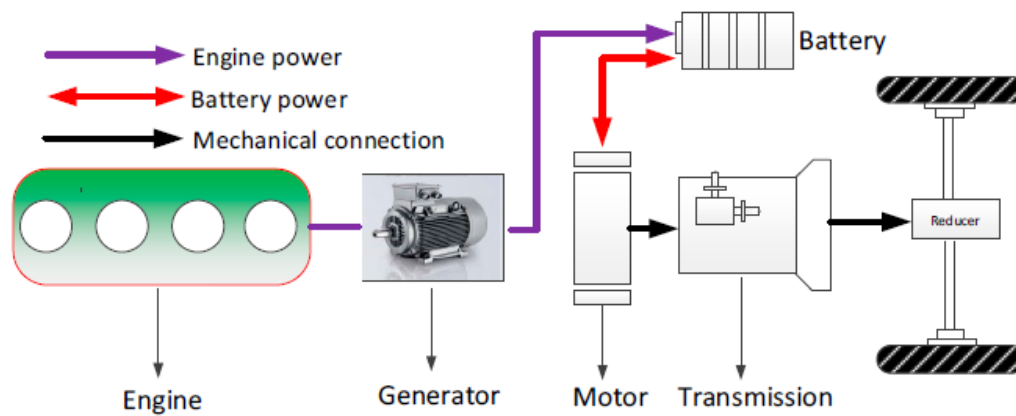
- i. Σε σειρά υβριδικό (SHEV)
- ii. Παράλληλο υβριδικό (PHEV)
- iii. Σε σειρά-παράλληλο υβριδικό (SPHEV)
- iv. Σύνθετα υβριδικά (CHEV)
- v. Υβριδικά κυψέλης καυσίμου (FCHEV)
- vi. Plug-in υβριδικά (PHEV)

Οι κύριες διαμορφώσεις των HEVs φαίνονται στο σχήμα 1.7.

1.5.2 Σε σειρά υβριδικά

Η σε σειρά μετάδοσης κίνησης είναι η απλούστερη υβριδική διαμόρφωση. Σε αυτόν τον σχεδιασμό, ο ηλεκτροκινητήρας από μόνος του παρέχει την ικανότητα πρόσφυσης του οχήματος καθώς ο κινητήρας IC δεν είναι συνδεδεμένος στο σύστημα κίνησης. Ο κινητήρας έλξης τροφοδοτείται από μια μπαταρία ή από μια ηλεκτρική γεννήτρια που κινείται από τον μικρότερο IC κινητήρα. Η γεννήτρια τροφοδοτεί τον κινητήρα κίνησης όταν η ζήτηση φορτίου έλξης είναι μεγάλη ή φορτίζει τις μπαταρίες όταν η ζήτηση φορτίου κινητήρα είναι μικρή. Ο κινητήρας

μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως γεννήτρια κατά το φρενάρισμα και το coasting (κίνηση με νεκρό ή με πατημένο τον συμπλέκτη).



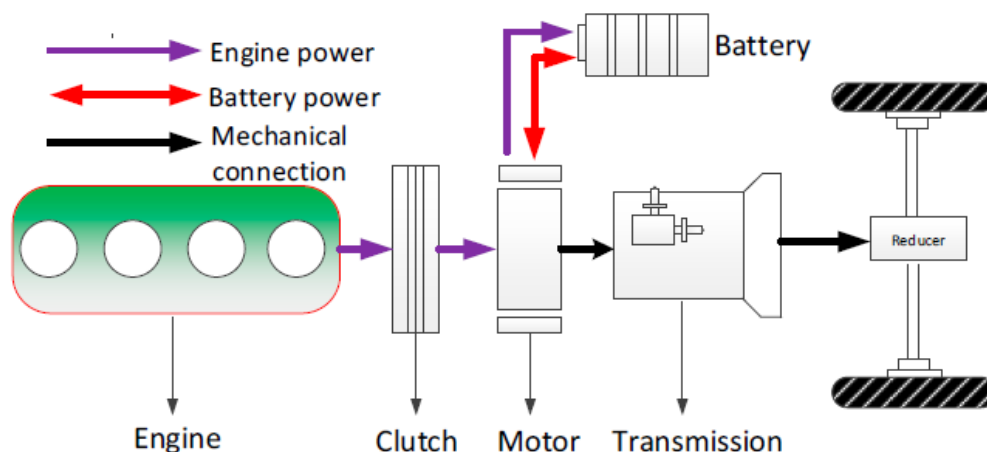
Σχήμα 1.8 Σε σειρά υβριδικό ηλεκτρικό όχημα [3].

Τα υβριδικά σειράς είναι τα πιο αποτελεσματικά στους κύκλους οδήγησης που απαιτούν συχνές στάσεις και εκκινήσεις, όπως για οχήματα παράδοσης, αστικά λεωφορεία και γενικά κίνηση στην πόλη. Τα μειονεκτήματα των SHEV είναι: (i) χρειάζονται ξεχωριστά τμήματα γεννήτριας και κινητήρα (που σημαίνει αυξημένο κόστος και μειωμένη απόδοση λόγω περισσότερων συστημάτων), (ii) χρειάζεται ηλεκτροκινητήρα μεγάλου μεγέθους, που να μπορεί να ικανοποιήσει μεγάλες ανάγκες ισχύος, όπως π.χ. στην ανηφόρα. Ωστόσο, δεδομένου ότι τα υβριδικά σειράς χρησιμοποιούν μεγαλύτερη ηλεκτρική μηχανή στο σύστημα πρόωσης, η ικανότητα ανάκτησης ενέργειας τους είναι πολύ υψηλότερη από άλλα HEV. Παράδειγμα: Nissan e-Power.

1.5.3 Παράλληλα υβριδικά

Στα παράλληλα υβριδικά, τόσο ο κινητήρας IC όσο και ο ηλεκτροκινητήρας συνδέονται άμεσα με το σύστημα μετάδοσης κίνησης, έτσι ώστε να μπορούν να προωθούν το όχημα μεμονωμένα (σε χαμηλή ζήτηση ισχύος έλξης) ή από κοινού (κατά τη ζήτηση υψηλής ισχύος). Τα περισσότερα σχέδια PHEV συνδυάζουν τη γεννήτρια και τον κινητήρα σε μία μονάδα. Στην παράλληλη λειτουργία μετάδοσης κίνησης, οι παρεχόμενες ροπές προστίθενται. Όταν λειτουργεί μόνο ένας από τους δύο δίσκους, ο άλλος αποσυνδέεται μέσω συμπλέκτη. Τα PHEV είναι σχετικά πιο συμπαγή καθώς χρησιμοποιούν μικρότερη μπαταρία από

άλλα υβριδικά και χρειάζεται μικρότερο κινητήρα έλξης. Το μειονέκτημα του PHEV είναι η ανάγκη για πολύπλοκα μηχανικά συστήματα και αλγόριθμους ελέγχου. Παραδείγματα: Honda Insight και Civic.



Σχήμα 1.9 Παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα [3].

1.5.4 Σε σειρά-παράλληλα υβριδικά

Τα σε σειρά – παράλληλα υβριδικά (ή υβριδικά διάσπασης ισχύος) συνδυάζουν τα οφέλη τόσο της σε σειρά όσο και της παράλληλης αρχιτεκτονικής. Η συσκευή διαίρεσης ισχύος διαιρεί την έξοδο από τον κινητήρα σε μηχανικές και ηλεκτρικές διαδρομές μετάδοσης. Αυτός ο σχεδιασμός είναι σε θέση να παρέχει συνεχή υψηλή ισχύ εξόδου σε σύγκριση με τη σειρά ή τον παράλληλο κινητήρα. Χρησιμοποιούν μικρότερους κινητήρες. Τα παράλληλα υβριδικά σειράς μπορούν να επιτύχουν παρόμοιους τρόπους λειτουργίας με τα υβριδικά οχήματα σειράς. Ωστόσο, απαιτεί πολύ περίπλοκο σύστημα ελέγχου. Παράδειγμα: Toyota Prius.

1.5.5 Σύνθετα υβριδικά

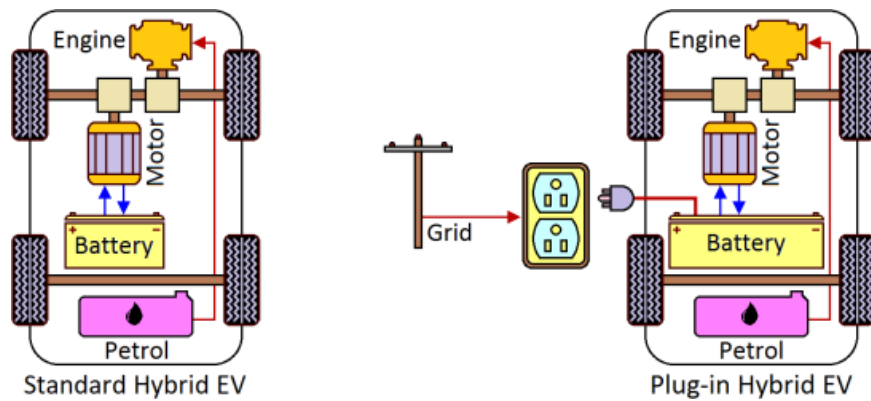
Τα σύνθετα υβριδικά είναι παρόμοια με τα σε σειρά-παράλληλα υβριδικά αλλά χρησιμοποιούν πιο περίπλοκα σχέδια ανάλογα με τον αριθμό των κινητήρων/γεννητριών και τη διαμόρφωσή τους. Η ροή ισχύος του κινητήρα σε αυτά τα σχέδια είναι αμφίδρομη σε σύγκριση με τη ροή μιας κατεύθυνσης στο σε σειρά-παράλληλο υβριδικό. Παράδειγμα: Ford Escape.

1.5.6 Υβριδικά κυψέλης καυσίμου

Η κυψέλη καυσίμου (FC) HEV είναι μια σειρά υβριδικών διαμορφώσεων στην οποία η κυψέλη καυσίμου είναι το σύστημα μετατροπής ενέργειας και μια μπαταρία (ή ένας υπερπυκνωτής) είναι το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας για την παροχή μέγιστης ισχύος επιτάχυνσης. Η αρχή λειτουργίας των κυψελών καυσίμου είναι η αντίστροφη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης κατά την οποία τα αέρια υδρογόνου και οξυγόνου συνδυάζονται για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με νερό και θερμότητα ως υποπροϊόντα. Τα οχήματα FC είναι πραγματικά οχήματα μηδενικών εκπομπών, καθώς δεν εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου. Δεδομένου ότι οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να προσφέρουν υψηλή ειδική ενέργεια αλλά δεν μπορούν να δεχτούν αναγεννητική ενέργεια, συνήθως συνδυάζεται με μπαταρία ή άλλα συστήματα αποθήκευσης. Προς το παρόν, η τεχνολογία FCHEV είναι πολύ πρόωρη και είναι πολύ ακριβή σε σύγκριση με άλλα HEV. Παράδειγμα: Honda Clarity.

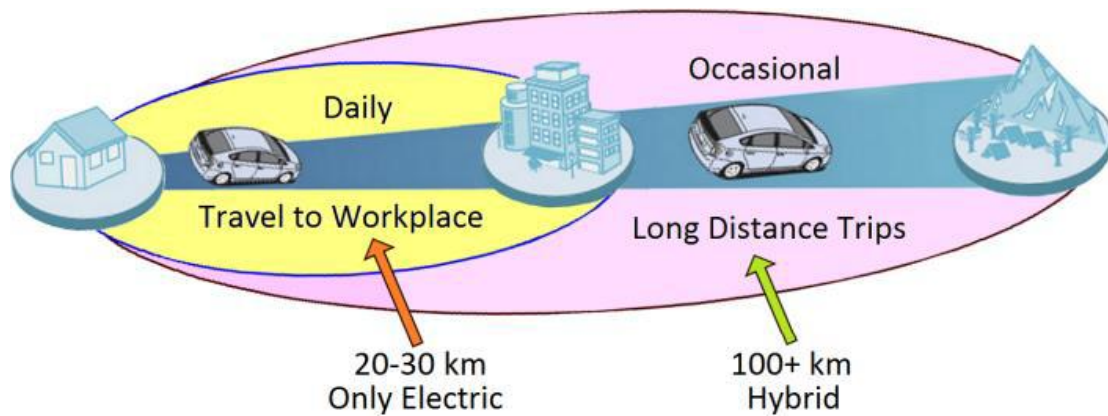
1.5.7 Plug-in υβριδικά

Η βασική διαφορά μεταξύ ενός τυπικού HEV και ενός plug-in HEV φαίνεται στο σχήμα 1.10. Τα plug-in υβριδικά EV είναι πλήρως υβριδικά που χρησιμοποιούν μικρότερο κινητήρα IC, μεγαλύτερη μπαταρία και μεγαλύτερο ηλεκτροκινητήρα. Οι μπαταρίες PHEV μπορούν να επαναφορτιστούν από οποιαδήποτε εξωτερική πηγή ενέργειας, σε αντίθεση με τις τυπικές HEV, στις οποίες οι μπαταρίες επαναφορτίζονται μόνο μέσω γεννήτριας κινητήρα ή φρεναρίσματος. Αυτό το χαρακτηριστικό του PHEV έχει το πλεονέκτημα ότι αντλεί ηλεκτρική ενέργεια από οποιονδήποτε πόρο, όπως ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο, συμπεριλαμβανομένης της οικιακής παροχής, αυτόνομα συστήματα ή ακόμη και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα PHEV έχουν μικρότερο ηλεκτρικό εύρος οδήγησης ανά επαναφόρτιση σε σύγκριση με τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας, αλλά έχουν μεγαλύτερη ηλεκτρική εμβέλεια σε σύγκριση με τα τυπικά HEV, επειδή ο συνδυασμός κινητήρα IC-γεννήτριας μπορεί να βοηθήσει το σύστημα όταν εξαντληθούν οι μπαταρίες. Επίσης, λόγω του μεγάλου ηλεκτρικού κινητήρα, τα PHEV έχουν υψηλότερη ικανότητα πέδησης σε σύγκριση με τα παραδοσιακά HEV.



Σχήμα 1.10 Σύγκριση των HEV και PHEV [1].

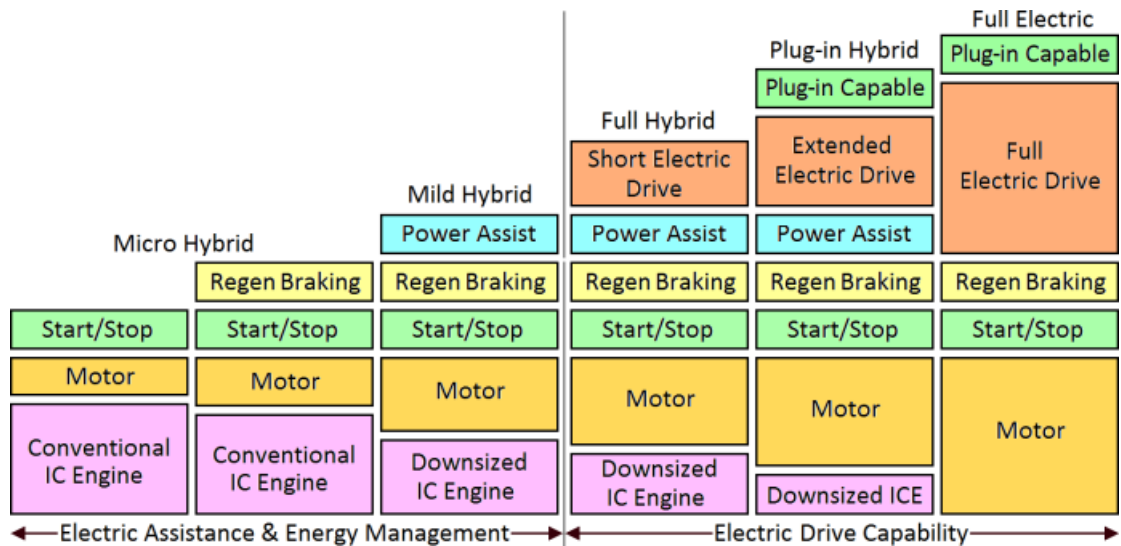
Τα οφέλη του PHEV περιλαμβάνουν: καλύτερη απόδοση καυσίμου από το κανονικό HEV, μεγαλύτερη αυτονομία οδήγησης από τα EV, δυνατότητες κατανεμημένης αποθήκευσης ενέργειας, χαμηλό κόστος λειτουργίας σε σύγκριση με τη βενζίνη και επίσης είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι: υψηλό κόστος και μη διαθεσιμότητα σταθμών γρήγορης φόρτισης. Παραδείγματα: Chevy Volt, Toyota Prius, Ford CMax Energi.



Σχήμα 1.11 Εύρος ταξιδιού ενός τυπικού PHEV σε διαφορετικές λειτουργίες [1].

Ένα υβριδικό όχημα είναι πολύ πιο περίπλοκο αφού διαθέτει δύο κινητήρες. Αυτό καθιστά το όχημα πιο ακριβό εκτός από το αυξημένο κόστος συντήρησης σε σύγκριση με τα οχήματα με μπαταρίες και τα οχήματα βενζίνης που βασίζονται σε ένα μόνο σύστημα μετάδοσης κίνησης. Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα είναι ελκυστικά επειδή είναι ικανά για αποκλειστικά ηλεκτρικά ταξίδια μικρών αποστάσεων (20-50

km) ανά φόρτιση μπαταρίας, όπως καθημερινά ταξίδια στον χώρο εργασίας, ή περιστασιακή οδήγηση μεγάλων αποστάσεων σε κανονική υβριδική λειτουργία (> 500 km). Η τυπική εφαρμογή ενός καθαρού EV και ενός PHEV φαίνεται στο σχήμα 1.11. Η ταξινόμηση και η σύγκριση των διαφόρων χαρακτηριστικών των υβριδικών EV παρουσιάζονται στο σχήμα 1.12.



Σχήμα 1.12 Σύγκριση των χαρακτηριστικών των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων [1].

2. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΣΗ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η μπαταρία έλξης σε ένα EV είναι το αντίστοιχο με τη βενζίνη ή το ντίζελ σε ένα όχημα με κινητήρα IC. Είναι το πιο κρίσιμο μεμονωμένο στοιχείο του EV με το μεγαλύτερο βάρος και όγκο. Οι δυνατότητες της μπαταρίας καθορίζουν το εύρος ταξιδιού, την ικανότητα επιτάχυνσης, τον χρόνο επαναφόρτισης και το κόστος του EV. Δεδομένου ότι οι μπαταρίες, εκτός από το σύστημα μετάδοσης κίνησης, πρέπει επίσης να τροφοδοτούν τις βοηθητικές λειτουργίες του οχήματος, πρέπει να είναι αρκετά ικανές να χειρίζονται υψηλή ισχύ (έως 100 kW) και υψηλή ενεργειακή χωρητικότητα (μερικές δεκάδες kWh).

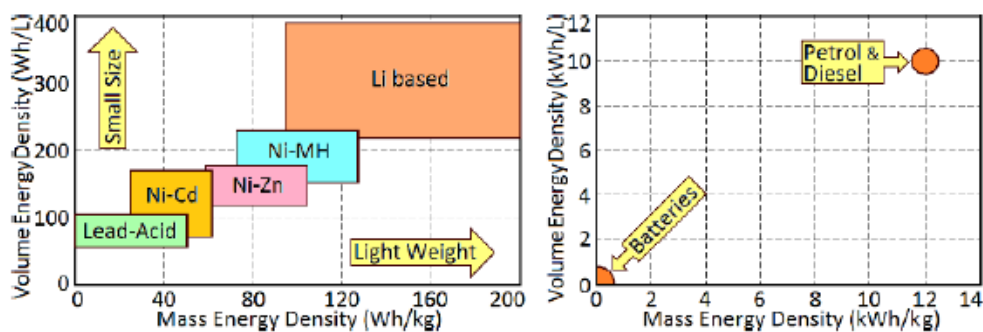
2.2 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Ανάλογα με τον τρόπο οδήγησης, την κατάσταση του δρόμου, τον τύπο και την ηλικία του οχήματος, η εμβέλεια οδήγησης των ηλεκτρικών οχημάτων κυμαίνεται μεταξύ 5 έως 7 km/kWh. Η τυπική κατανάλωση ενέργειας ενός μεσαίου μεγέθους EV κυμαίνεται μεταξύ 165 Wh/km (π.χ. BMW i3) έως 240 Wh/km (π.χ. Tesla S85). Τα μικρά ηλεκτρικά οχήματα κατασκευάζονται με μπαταρίες χωρητικότητας 12-18 kWh, τα μεσαίου μεγέθους έχουν μπαταρίες 22–32 kWh και τα πολυτελή μοντέλα μπορεί να έχουν μπαταρίες 60–85 kWh για να παρέχουν εκτεταμένο εύρος οδήγησης και υψηλές επιδόσεις.

Οι μπαταρίες διαθέτουν πολύ χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα (Wh/kg) σε σύγκριση με τα υγρά καύσιμα. Η ενεργειακή πυκνότητα για τη βενζίνη είναι 12500 Wh/kg, ενώ για τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος (LA) είναι 35-45 Wh/kg, και για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου (LI), είναι 200 Wh/kg. Οι μπαταρίες είναι μεγάλες σε μάζα και όγκο σε σύγκριση με μια δεξαμενή βενζίνης/ντίζελ που φέρει την ίδια ποσότητα ενέργειας. Για

να πάρουμε την ίδια ισχύ εξόδου από μια μπαταρία με αυτήν που θα παίρναμε από μια δεξαμενή καυσίμου, απαιτείται πολύ μεγάλη μπαταρία. Για παράδειγμα, για να πάρουμε την ισοδύναμη ενέργεια 4 λίτρων βενζίνης, χρειάζεται μια μπαταρία LA 275 κιλών. Αυτό είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα των ηλεκτρικών οχημάτων που επηρεάζουν τη μέγιστη ηλεκτρική αυτονομία αυτών των οχημάτων.

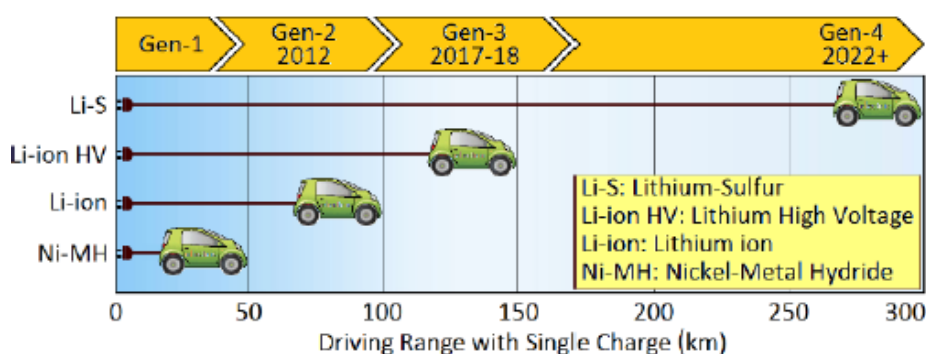
Σήμερα υπάρχουν πολλές τεχνολογίες μπαταριών έλξης. Οι μπαταρίες LA, που είναι οι φθηνότερες, χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρά ηλεκτρικά οχήματα, όπως π.χ. αμαξίδια του γκολφ. Σε μικρότερο βαθμό, χρησιμοποιούνται επίσης μπαταρίες νικελίου-καδμίου (NiCd). Ωστόσο, οι δύο σημερινές σημαντικές τεχνολογίες μπαταριών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα είναι το υδρίδιο νικελίου-μετάλλου (Ni-MH) και το ιόν λιθίου (Li-ion). Λόγω της υψηλότερης ειδικής ενέργειας και πυκνότητας ενέργειας, η υιοθέτηση μπαταριών ιόντων λιθίου αναμένεται να αναπτυχθεί γρήγορα στα ηλεκτρικά οχήματα. Η πυκνότητα ενέργειας όγκου και η πυκνότητα ενέργειας μάζας για διάφορους τύπους μπαταριών παρουσιάζονται στο σχήμα 2.1. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι σχετικά μικρότερες σε μέγεθος και ελαφρύτερες σε βάρος σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών με πανομοιότυπες δυνατότητες.



Σχήμα 2.1 Πυκνότητα ενέργειας όγκου και μάζας για διάφορους τύπους μπαταριών και για τα υγρά καύσιμα [1].

Εκτός από τα ιόντα λιθίου, άλλες τεχνολογίες μπαταριών που διερευνώνται περιλαμβάνουν: Μπαταρίες στερεάς κατάστασης, μπαταρίες ιόντων αλουμινίου, μπαταρίες λιθίου-θείου και μπαταρίες μετάλλου-αέρα. Οι μπαταρίες στερεάς κατάστασης μπορούν να λειτουργήσουν σε επίπεδα υπερ-πυκνωτών, καθώς μπορούν να

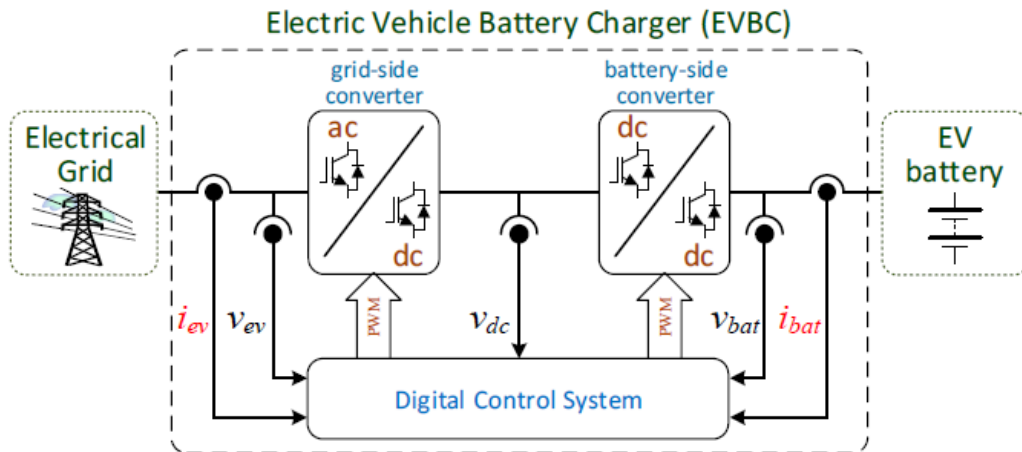
φορτιστούν πλήρως ή να αποφορτιστούν σε λιγότερο από περίπου 8 λεπτά, γεγονός που τις καθιστά ιδανικές για ηλεκτρικά οχήματα. Ωστόσο, αυτές οι τεχνολογίες βρίσκονται ακόμη σε εργαστηριακό επίπεδο και θα χρειαστούν πολλά ακόμη χρόνια για να γίνουν εμπορικά διαθέσιμες. Με βάση την τρέχουσα τεχνολογία μπαταριών, δεν είναι πρακτικό να θεωρήσουμε ότι ένα καθαρό BEV μπορεί να έχει αυτονομία 300-400 μίλια με μία μόνο φόρτιση, καθώς απαιτεί μπαταρία μεγαλύτερη από 100 kWh που μπορεί να ζυγίζει πάνω από 900 κιλά. Διάφορες γενιές μπαταριών και το αναμενόμενο εύρος οδήγησής τους με μία μόνο φόρτιση φαίνονται στο σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Εύρος οδήγησης με μία μόνο φόρτιση για διάφορους τύπους μπαταριών [1].

2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Η φόρτιση ενός EV είναι ανάλογη με την πλήρωση της δεξαμενής καυσίμου ενός οχήματος ICE. Οι μπαταρίες μπορούν να φορτιστούν μέσω αγωγίων και επαγωγικών (ή ασύρματων) μεθόδων. Η αγωγική φόρτιση χρησιμοποιώντας καλώδια είναι το τρέχον βιομηχανικό πρότυπο και για το σκοπό αυτό τα ηλεκτρικά οχήματα διαθέτουν ενσωματωμένο φορτιστή. Το όχημα λαμβάνει τροφοδοσία AC μέσω ενός εξοπλισμού προμήθειας ηλεκτρικών οχημάτων (electric vehicle supply equipment, EVSE), συνήθως γνωστού ως σταθμός φόρτισης EV.



Σχήμα 2.3 Δομή ενός φορτιστή μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων [4].

Εσωτερικά, ένας φορτιστής EV (electric vehicle battery charger, EVBC) αποτελείται από ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος και τα συστήματα ελέγχου τους, που είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο της φόρτισης της μπαταρίας EV και σε συνδυασμό με τα άλλα στοιχεία του EV, για τη δημιουργία επικοινωνίας με το σύστημα διαχείρισης ενέργειας με συγκεκριμένο στόχο τον καθορισμό καθορισμένων σημείων της λειτουργίας. Το σχήμα 2.3 δείχνει τη βασική και κλασική δομή ενός EVBC, που αποτελείται από δύο μετατροπείς ισχύος (από την πλευρά του δικτύου που διασυνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο και από την πλευρά της μπαταρίας που διασυνδέεται με την μπαταρία EV) και από το σύστημα ψηφιακού ελέγχου κοινό και στους δύο μετατροπείς ισχύος.

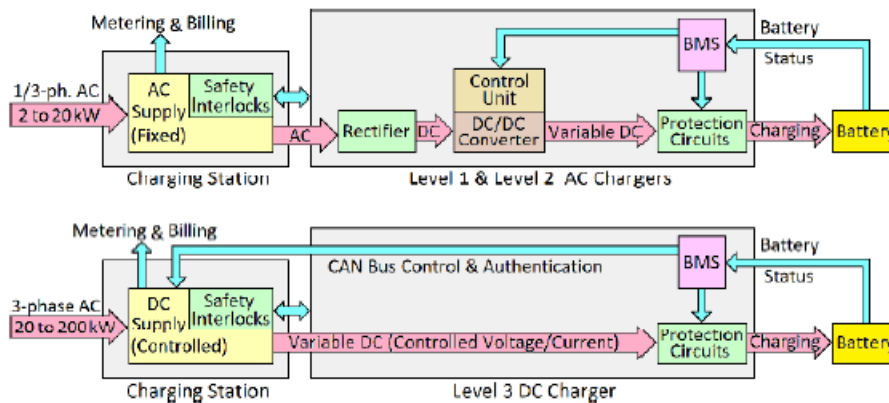
Αφού ο έλεγχος γίνεται με αλγόριθμο κλειστού βρόχου, αυτό το σχήμα δείχνει επίσης τις κύριες μεταβλητές ελέγχου που είναι απαραίτητες, καθώς και τα σήματα ελέγχου εξόδου για τους ημιαγωγούς των μετατροπέων ισχύος.

Οι EVBC διατίθενται σε τρία διαφορετικά επίπεδα ισχύος: Επίπεδο 1 (L1), Επίπεδο 2 (L2) και Επίπεδο 3 (L3), όπως συνοψίζεται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 Επίπεδα φόρτισης και χωρητικότητες [1]

Level	Connector	AC/DC	Max. V & I	Power (kW)
Level 1	Type 1	1 phase AC	120 V/16 A	1.9
Level 2	Type 1	1/3 ph. AC	240 V/80 A	14 - 19
Level 3	Type 2	3 phase AC	480 V/63 A	43 - 52
Level 3	CHAdeMO	DC	500 V/125 A	63
Combo	Type 3	AC and DC	1 kV/400 A	36 - 200+

Οι σταθμοί φόρτισης μπορεί να είναι τύπου AC ή DC. Οι διαφορές τους φαίνονται στο σχήμα 2.4. Οι φορτιστές επιπέδου 1 είναι γενικά φορητές συσκευές που μπορούν να μεταφερθούν στο όχημα. Οι φορτιστές επιπέδου 2 είναι συνήθως τοποθετημένοι σε τοίχο. Η φόρτιση μέσω του φορτιστή L1 του οχήματος αναπληρώνει την αυτονομία οδήγησης περίπου 6-8 km/ώρα, ενώ ένας φορτιστής L2 προσφέρει αυτονομία 14-35 km/ώρα. Ένας γρήγορος φορτιστής DC μπορεί να παρέχει περίπου 150 km αυτονομίας ανά 20-30 λεπτά φόρτισης. Ο τύπος φόρτισης επηρεάζει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η φόρτιση L1 προκαλεί τη μικρότερη πίεση σε μια μπαταρία, ενώ η γρήγορη φόρτιση L3 έχει ως αποτέλεσμα τη μέγιστη καταπόνηση της μπαταρίας.



Σχήμα 2.4 Βασική διάταξη των σταθμών φόρτισης AC και DC για ηλεκτρικά οχήματα [1].

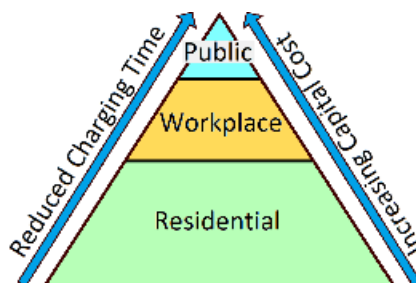
Δύο τύποι συνδέσεων AC χρησιμοποιούνται γενικά σε ηλεκτρικά οχήματα. Ο τύπος 1 (SAE J1772), ένας μονοφασικός που χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ και την Ασία, και ο Τύπος 2 (IEC 618515), είναι τριφασικός και χρησιμοποιείται στην Ευρώπη. Διατίθεται σύστημα συνδυασμένης φόρτισης (CCS) για γρήγορη φόρτιση (DC) και αργή

φόρτιση (AC). Για γρήγορη φόρτιση DC, το CHAdeMO είναι το πιο κοινό πρότυπο σύνδεσης. Αυτά φαίνονται στο σχήμα 2.5. Φορείς όπως η Society of Automotive Engineers (SAE) και η International Electrotechnical Commission (IEC) κ.τ.λ. εργάζονται για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών φόρτισης EV.



Σχήμα 2.5 Τύποι συνδέσεων για φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων [1].

Η πλειοψηφία των σημερινών συστημάτων φόρτισης EV βρίσκονται σε κατοικημένες περιοχές. Άλλες πιθανές τοποθεσίες για φόρτιση EV περιλαμβάνουν χώρους εργασίας και δημόσιους χώρους. Μια πυραμίδα φόρτισης, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6, αντιπροσωπεύει τη σχετική θέση της φόρτισης στην κατοικία, στην εργασία και σε δημόσιους χώρους. Δείχνει ότι η περισσότερη φόρτιση θα πραγματοποιηθεί σε κατοικίες, ακολουθούμενη από τη φόρτιση στο χώρο εργασίας και ο ελάχιστος δυνατός χρόνος για φόρτιση είναι σε δημόσια προσβάσιμες τοποθεσίες.

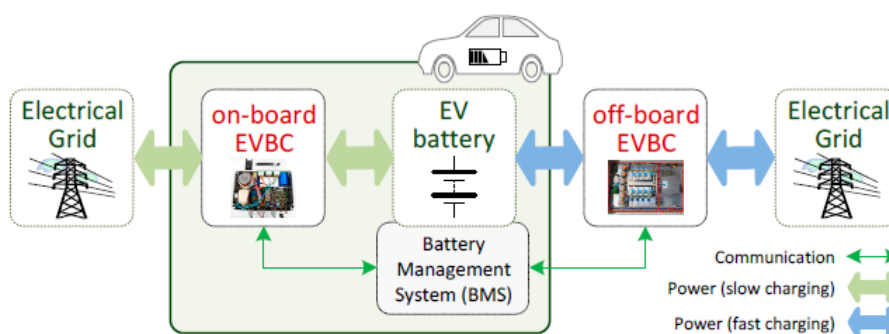


Σχήμα 2.6 Πυραμίδα φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων [1].

2.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ON-BOARD ΚΑΙ OFF-BOARD

Οι EVBC μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τη διάταξή του σε σχέση με το ηλεκτρικό όχημα, δηλαδή επί του σκάφους (on-board) και εκτός σκάφους (off-board).

Ένας EVBC ταξινομείται ως on-board όταν τα ηλεκτρονικά ισχύος που απαιτούνται για τη φόρτιση της μπαταρίας EV βρίσκονται μέσα στο EV, δηλαδή ο μετατροπέας που είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο των σταδίων φόρτισης της μπαταρίας είναι μέσα στο EV (συνήθως περισσότερα από ένα ελεγχόμενα στάδια τάσης και ρεύματος). Το σχήμα 2.7 δείχνει τη διασύνδεση ενός EV με το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω ενός EVBC on-board και ενός EVBC off-board. Οι μετατροπείς ισχύος του ενσωματωμένου EVBC είναι υπεύθυνοι για την αμφίδρομη ροή ισχύος μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και της μπαταρίας EV. Για την πλευρά του δικτύου, ο μετατροπέας ac-dc μπορεί να ελεγχθεί με ρεύμα ή τάση σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας και για την πλευρά της μπαταρίας, ο μετατροπέας dc-dc μπορεί επίσης να ελεγχθεί με ρεύμα ή τάση ανάλογα με τον προβλεπόμενο τρόπο λειτουργίας για το σύστημα φόρτισης.



Σχήμα 2.7 Διασύνδεση ενός EV με το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω ενός EVBC on-board και ενός EVBC off board [4].

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7, ο τρόπος λειτουργίας ορίζεται από συγκεκριμένους αλγόριθμους ελέγχου, των οποίων η διαχείριση είναι σύμφωνη με τις πληροφορίες από το σύστημα διαχείρισης μπαταριών (battery management system, BMS), δηλαδή, το BMS καθορίζει τα όρια τάσης και ρεύματος κατά τη διαδικασία φόρτισης ή εκφόρτισης.

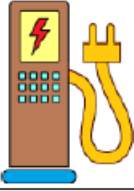

Από την άλλη πλευρά, ένας EVBC είναι off-board όταν τα ηλεκτρονικά τροφοδοσίας που απαιτούνται για τη φόρτιση της μπαταρίας EV βρίσκονται εκτός του EV, δηλαδή οι μετατροπείς που είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο των σταδίων φόρτισης της μπαταρίας (συνήθως ένα ελεγχόμενο από το ρεύμα στάδιο) βρίσκονται εκτός του EV. Ένας off-board EVBC αποτελείται από έναν μετατροπέα στην πλευρά του πλέγματος (με έλεγχο ρεύματος) και από έναν μετατροπέα στην πλευρά της μπαταρίας EV (επίσης με ρεύμα). Δηλαδή, και στις δύο περιπτώσεις, είναι παρόμοιος με τον on-board EVBC που παρουσιάστηκε προηγουμένως. Επιπλέον, για τη διάταξη off-board, ο έλεγχος του τρόπου λειτουργίας καθορίζεται επίσης σύμφωνα με τις πληροφορίες που παρέχονται από το BMS.

Λόγω περιορισμών βάρους και όγκου, τα on-board EVBC συνήθως σχεδιάζονται για πολύ χαμηλότερες επιδόσεις ισχύος από τα off-board EVBC. Και στις δύο περιπτώσεις, τα EVBC μπορούν να έχουν γαλβανική μόνωση ή όχι, είτε για λόγους ασφαλείας είτε για ευκολία, προκειμένου να μειωθούν τα επίπεδα τάσης λειτουργίας (δηλαδή, η τάση μεταξύ του δικτύου και της μπαταρίας).

2.5 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Υπάρχει και η ασύρματη (ή επαγωγική) φόρτιση (wireless charging, WC). Σε αντίθεση με τη φόρτιση αγωγής (conduction charging, CC), η οποία απαιτεί έναν αγωγό για να τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ενέργεια, η ενέργεια στο WC μεταδίδεται μέσω ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Στο WC, η ενέργεια ρέει από ένα πηνίο πομπού που βρίσκεται στο πεζοδρόμιο σε ένα πηνίο δέκτη κάτω από το όχημα. Τα συστήματα WC βρίσκονται σε αρχικά στάδια ανάπτυξης και είναι πολύ ακριβά. Ο Πίνακας 2.2 συγκρίνει διάφορα χαρακτηριστικά της φόρτισης αγωγιμότητας και επαγωγής.

Πίνακας 2.2 Σύγκριση ασύρματης φόρτισης και φόρτισης αγωγής [1]

	Conduction	Induction
		
Power Rating	2 – 50 kW	3 – 40 kW
Typical Efficiency	90 – 95%	80 – 90%
Charging Time	Fast: 20 – 30 min. Slow: 6 – 8 hr.	Fast: ~ 30 min. Slow: 6 – 8 hr.
Weight added to EV	Nil (for Level 3)	4 – 20 kg

Συνήθως, σε ένα ασύρματο σύστημα, ένα μέρος του μετατροπέα ηλεκτρονικών ισχύος βρίσκεται έξω από το EV (off-board) και το άλλο μέρος είναι μέσα στο EV (on-board).

Ένα βασικό σύστημα ασύρματης φόρτισης αποτελείται από ένα σταθερό μαξιλάρι γείωσης που παραμένει κάτω από το EV κατά τη φόρτιση και το σύστημα λήψης που παραμένει ενσωματωμένο στο κατώτερο τμήμα του EV. Εκτός από την ανάγκη αύξησης της απόδοσης της μεταφοράς ισχύος μεταξύ της γείωσης και του EV, η οποία περιλαμβάνει τη χρήση μετατροπέων ισχύος τελευταίας τεχνολογίας, η πλήρης υιοθέτηση των συστημάτων ασύρματης φόρτισης έχει να κάνει με τα βιομηχανικά πρότυπα, την επικοινωνία με οποιοδήποτε EV και το μαξιλάρι φόρτισης καθώς και θέματα ασφάλειας για ανθρώπους και ζώα.

Αν και η φόρτιση DC εξακολουθεί να είναι η ταχύτερη επιλογή, μπορούμε ήδη να βρούμε εμπορικούς ασύρματους φορτιστές 11 kW, οι οποίοι θα μπορούσαν να παρέχουν έναν βολικό χρόνο φόρτισης επίσης.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει αυτή η τεχνολογία είναι πολλά. Τα πιο σημαντικά είναι:

- ❖ Αυτόματη λειτουργία χωρίς παρέμβαση του οδηγού. Η διαδικασία μπορεί να προγραμματιστεί και μπορεί να συμβεί ακόμη και χωρίς την παρουσία του οδηγού του οχήματος. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα βολικό για την προώθηση της συμμετοχής των ηλεκτρικών οχημάτων στις λειτουργίες V2G. Ορισμένες εφαρμογές λογισμικού μπορούν να σχεδιαστούν και να εφαρμοστούν για τον προγραμματισμό των χρεώσεων και τον καθορισμό των προτιμήσεων του χρήστη.

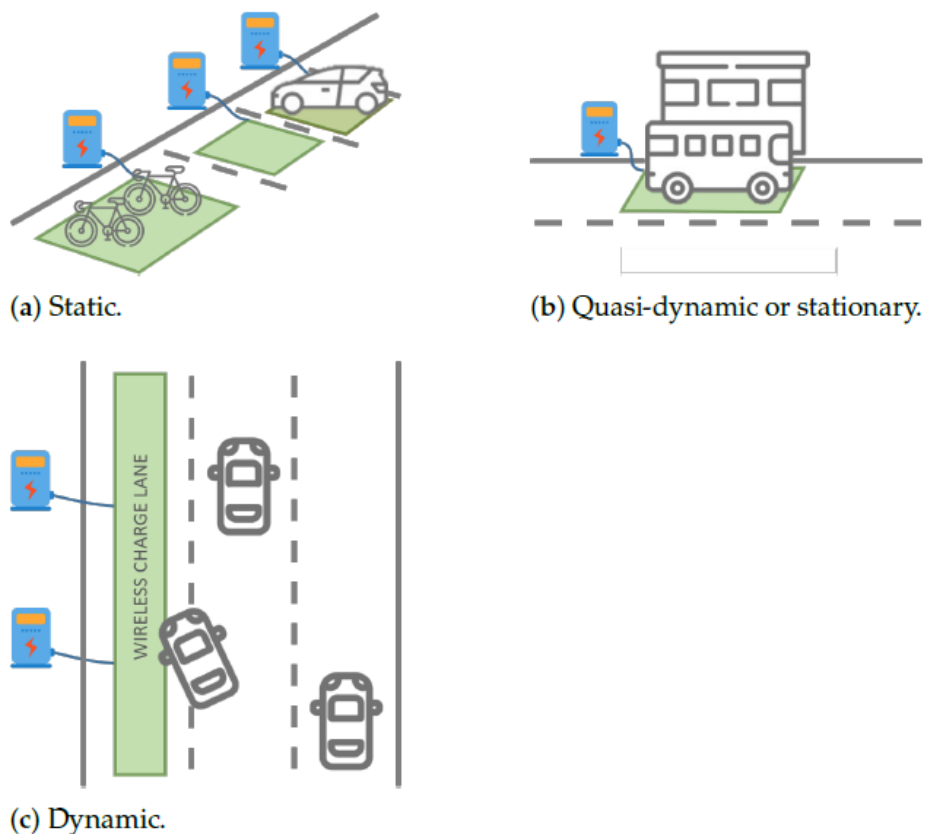
- ❖ Ασφαλέστερη χρέωση. Σε περίπτωση ηλεκτρικών αυτοκινήτων, η αγωγίμη φόρτιση υποστηρίζεται από καλώδια μεταφοράς με υψηλό ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό θα μπορούσε να αποτελεί σοβαρό κίνδυνο, ειδικά όταν οι καιρικές συνθήκες είναι δυσμενείς. Οι ασύρματοι φορτιστές είναι ασφαλέστεροι από την άποψη του οδηγού αφού δεν χρησιμοποιούν αυτόν τον αγωγό. Επίσης, τα μαγνητικά ή ηλεκτρικά πεδία που εμπλέκονται στην ασύρματη μεταφορά ισχύος πρέπει να είναι περιορισμένα στα προκαθορισμένα επίπεδα για να διασφαλιστεί ότι δεν είναι επιβλαβή.
- ❖ Δυναμική φόρτιση ή φόρτιση εν κινήσει. Καθώς η πηγή ισχύος και ο δέκτης δεν είναι φυσικά συνδεδεμένα, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να φορτιστούν σε περισσότερες περιπτώσεις εάν χρησιμοποιούν ασύρματους φορτιστές. Έτσι, η χρήση ασύρματων φορτιστών επεκτείνει τη δυνατότητα εκτέλεσης στατικής φόρτισης (όταν το EV είναι σταθμευμένο) σε σενάρια όπου το αυτοκίνητο είναι προσωρινά σταματημένο (π.χ. αναμονή σε φανάρι) ή εν κινήσει. Εάν αυτό το είδος φόρτισης είναι διαθέσιμο σε περισσότερους δρόμους, αυτό σημαίνει ότι η μπαταρία των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να φορτίζεται συχνότερα ενώ μετακινείται και η μπαταρία και συνεπώς και το EV θα μπορούσε να είναι μικρότερο και φθηνότερο.

Αυτά τα πλεονεκτήματα είναι σημαντικά για όλους τους τύπους ηλεκτρικών οχημάτων. Κατά συνέπεια, μπορούμε να βρούμε εφαρμογές των ασύρματων φορτιστών σε αυτοκίνητα, ποδήλατα, λεωφορεία, τρένα, σκάφη, σκούτερ, αναπηρικά αμαξίδια και μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV). Μερικές από αυτές τις υλοποιήσεις είναι εμπορικά διαθέσιμες, ενώ άλλες υπάρχουν για την ώρα μόνο ως προοπτικές για το μέλλον.

Μπορούν να προσδιοριστούν τρεις λειτουργίες ασύρματης φόρτισης: στατική (static), σταθερή (stationary) ή οιοειδώς δυναμική (quasi-dynamic) και δυναμική (dynamic). Και οι τρεις αναπαριστώνται στο σχήμα 2.8.

Η στατική ασύρματη φόρτιση λαμβάνει χώρα όταν το EV βρίσκεται στη θέση στάθμευσης και ο κινητήρας πρέπει να είναι σβηστός για να προχωρήσει στην πλήρη φόρτιση. Αυτός είναι ο συνηθισμένος

τρόπος φόρτισης σε δημόσιο πάρκινγκ ή σπίτια. Λαμβάνοντας υπόψη την υποδομή φόρτισης και το χρόνο, η στατική WC είναι παρόμοια με τη συμβατική αγωγή φόρτιση.



Σχήμα 2.8 Τρόποι λειτουργίας της ασύρματης φόρτισης [5].

Από την άλλη πλευρά, η δυναμική και η σταθερή (ή οιονεί δυναμική) λειτουργία ασύρματης φόρτισης επιτρέπουν τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη μεταφορά. Αυτές οι διαμορφώσεις θέτουν τεχνικές σχεδιαστικές και λειτουργικές προκλήσεις που δεν υπάρχουν στην κλασική αγωγή φόρτιση.

Η σταθερή ασύρματη φόρτιση έχει τις δύο ακόλουθες ιδιαιτερότητες (i) το όχημα είναι ακινητοποιημένο, αλλά ο κινητήρας εξακολουθεί να λειτουργεί και (ii) αυτή η κατάσταση διατηρείται για μικρό χρονικό διάστημα και αυτός ο χρόνος δεν επαρκεί για να επιτευχθεί πλήρης φόρτιση. Αυτός ο τύπος φόρτισης είναι χρήσιμος για μέσα μαζικής μεταφοράς, τα οποία μπορούν να φορτίζονται όταν σταματούν σε στάσεις επιβατών. Αυτός ήταν ένας από τους τρόπους φόρτισης του project Victoria στην πόλη της Μάλαγα (Ισπανία) το 2018.

Για ιδιωτικά οχήματα η σταθερή φόρτιση μπορεί επίσης να λάβει χώρα όταν σταματούν στα φανάρια.

Ο πιο απαιτητικός τρόπος λειτουργίας είναι ο δυναμικός τρόπος, ο οποίος επιτρέπει σε ένα EV να φορτίζεται ασύρματα καθώς κινείται κατά μήκος του δρόμου. Σε αυτή την περίπτωση, ορισμένα τμήματα του δρόμου είναι εξοπλισμένα με πομπούς WC και ηλεκτρονικό εξοπλισμό ισχύος για την ενεργοποίηση του WC για τα EVs. Αυτός ο τύπος φόρτισης ουσιαστικά προωθεί τα ηλεκτρικά οχήματα που κινούνται στο δρόμο. Παρόλο που το κόστος της υποδομής είναι υψηλό, τα οφέλη αυτής της υποδομής αναμένεται να είναι αξιοσημείωτα λόγω του χαμηλού αριθμού φορτιστών που διατίθενται στους αυτοκινητόδρομους.

Υπάρχουν αρκετές πόλεις όπου η δυναμική φόρτιση έχει ήδη δοκιμαστεί. Για παράδειγμα, σε ορισμένες πόλεις της Νότιας Κορέας στο πλαίσιο του έργου OLEV, στη Μάλαγα (Ισπανία) στο project Victoria ή στην πόλη Douai της Γαλλίας με το έργο FastinCharge. Στο Τορίνο (Ιταλία), η Conductix-Wampfler έχει εφαρμόσει ένα πρωτότυπο σχέδιο για τη φόρτιση ενός λεωφορείου κατά τη στάση και στο τέλος της διαδρομής του λεωφορείου με τεχνολογία μαγνητικού συντονισμού.

2.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Στον πίνακα που ακολουθεί γίνεται μία σύγκριση ανάμεσα στα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης (IC) και των ηλεκτρικών οχημάτων (EV).

Πίνακας 2.3 Σύγκριση των συμβατικών και των ηλεκτρικών οχημάτων

IC	EV
Κινητήρας εσωτερικής καύσης	Ηλεκτροκινητήρας (και ενδεχομένως και κινητήρας εσωτερικής καύσης)
Υψηλή ειδική ενέργεια καυσίμου	Χαμηλή ειδική ενέργεια μπαταρίας
Υψηλή πυκνότητα ισχύος	Χαμηλή πυκνότητα ισχύος
Εκπέμπει αέρια θερμοκηπίου και	Δεν εκπέμπει καυσαέρια

σωματίδια που μολύνουν το περιβάλλον και βλάπτουν άμεσα τον άνθρωπο	
Αυτονομία 400-600 km	Αυτονομία <200 km
Σύντομος χρόνος επαναπλήρωσης (<5 min)	Μεγάλος χρόνος φόρτισης (0,5-8 ώρες)
Η δεξαμενή καυσίμου καταλαμβάνει λιγότερο χώρο. Συνεπώς προσφέρουν περισσότερο ωφέλιμο εσωτερικό χώρο	Η μπαταρία καταλαμβάνει μεγάλο χώρο
Το βάρος του καυσίμου είναι πολύ μικρότερο. Αυτό, εκτός των άλλων σημαίνει και ότι παρουσιάζουν λιγότερη αδράνεια κατά την επιτάχυνση	Οι μπαταρίες είναι πολύ βαριές
Υψηλότερο κόστος συντήρησης	Χαμηλότερο κόστος συντήρησης
Η ενέργεια φρεναρίσματος δεν ανακτάται	Μπορεί να ανακτήσει την ενέργεια του φρεναρίσματος
Υψηλό κόστος λειτουργίας	Χαμηλό κόστος λειτουργίας
Απόδοση κινητήρα ~ 30%	Απόδοση κινητήρα ~ 80%
Χρειάζεται πολύπλοκο σύστημα ταχυτήτων	Χρειάζεται μόνο μία ταχύτητα
Υψηλά επίπεδα θορύβου κατά τη λειτουργία	Χαμηλά επίπεδα θορύβου κατά τη λειτουργία
Υπάρχουν οι υποδομές επαναπλήρωσης. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι τα πρατήρια βενζίνης αποτελούν περιβαλλοντικό κίνδυνο και κίνδυνο για την ασφάλεια, αφού σε αυτά αποθηκεύονται μαζικά, εκρηκτικά τοξικά καύσιμα	Λείπει η υποδομή φόρτισης. Υπάρχει όμως η δυνατότητα φόρτισης κατά την κίνηση.
Για την επίτευξη μέγιστης ροπής είναι απαραίτητο να έχει κάποια ταχύτητα	Επιτυγχάνει μέγιστη ροπή αμέσως μετά την εκκίνηση του κινητήρα
Χρησιμοποιεί μόνο υδρογονάνθρακες	Χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια από πολλούς πόρους. Για παράδειγμα η ενσωμάτωση ηλιακών πάνελ στο όχημα επιτρέπει την επαναφόρτισή του καθώς κινείται και χωρίς κόστος

3. ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

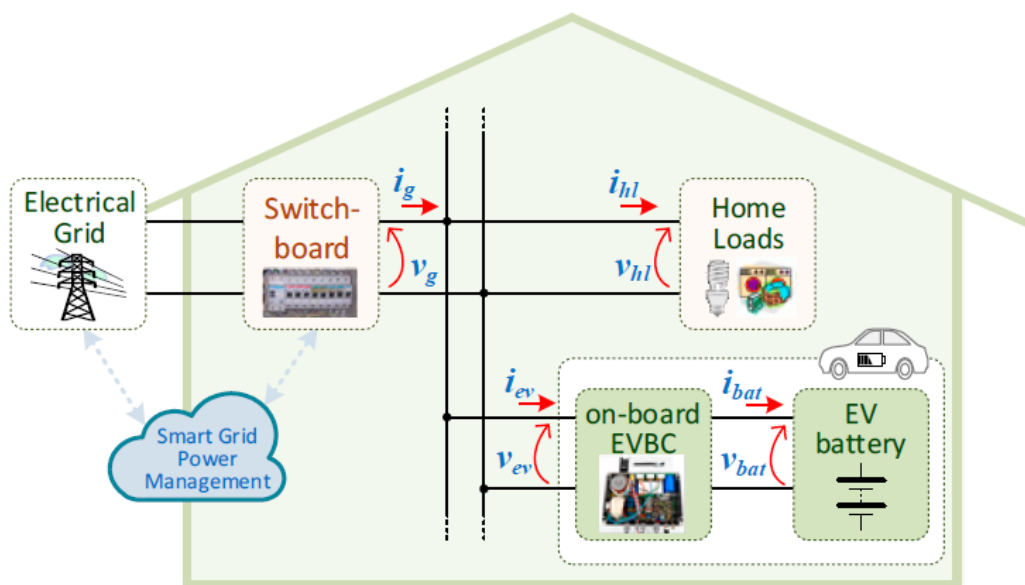
Η διείσδυση περισσότερο κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (distributed energy resources DERs) στην ενεργειακή αγορά μεταβάλλει τις βιομηχανίες παραγωγής και διανομής ενέργειας. Το βασικό χαρακτηριστικό των DERs είναι η χρονική και χωρική μεταβλητότητα στην παραγωγή και κατανάλωση της ενέργειας. Αυτό κάνει την διαχείριση ενέργειας του συμβατικού δικτύου πιο πολύπλοκη και απαιτητική.

Τα έξυπνα δίκτυα έχουν σκοπό την παραγωγή και διανομή ενέργειας, η οποία είναι περισσότερο ευέλικτη, αποτελεσματική, αξιόπιστη και ασφαλής. Το έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνει προηγμένες τεχνολογίες στην επικοινωνία, την έξυπνη μέτρηση ενέργειας και τον προηγμένο έλεγχο. Έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες για την αξιολόγηση και την πραγματοποίηση των υποδομών έξυπνων πλεγμάτων για την προώθηση της διείσδυσης του EV στην ενεργειακή αγορά. Η τυποποίηση τεχνολογιών και πρωτοκόλλων στη διανομή ηλεκτρικής ισχύος είναι το κλειδί για την υλοποίηση των διαδραστικών συστημάτων έξυπνων δικτύων. Έχουν κυκλοφορήσει πρότυπα και προδιαγραφές για τη λειτουργικότητα και την απρόσκοπτη ενσωμάτωση των EVs στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Επιπλέον, ένα EV μέσω του συστήματος διαχείρισης ηλεκτρικών οχημάτων (electric vehicle management, EVM) λαμβάνει και στέλνει πληροφορίες στον aggregator και το αντίστροφο. Ο aggregator είναι ο σύνδεσμος μεταξύ παρόχου ενέργειας και ηλεκτρικού οχήματος. Το EVM μπορεί να ενσωματώσει τον έξυπνο μετρητή (SM) ως ένα από τα σημαντικά του εξαρτήματα που διευκολύνουν τη μέτρηση της ενέργειας, την επικοινωνία και τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Μπορεί να εφαρμοστεί έξυπνος προγραμματισμός για τη βελτιστοποίηση της διαθέσιμης τροφοδοσίας του δικτύου μέσω της προηγμένης αμφίδρομης ανταλλαγής δεδομένων στο πλαίσιο του έξυπνου δικτύου.

3.2 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΤΩΝ ON-BOARD

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να λειτουργήσει ένας on-board φορτιστής μπαταρίας ηλεκτρικού αυτοκινήτου, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς και τις ευκαιρίες που μπορούν να προσφέρουν τα έξυπνα δίκτυα τα έξυπνα σπίτια. Αυτές αφορούν, εκτός από τον έλεγχο της ισχύος, και κάποιες νέες δυνατότητες που μπορεί να προσφέρει η εγκατάσταση όπου το EV είναι συνδεδεμένο. Ως παράδειγμα, το Σχήμα 3.1 απεικονίζει την ενσωμάτωση ενός EV (συμπεριλαμβανομένου του on-board EVBC) σε ένα έξυπνο σπίτι. Όπως φαίνεται, η μπαταρία EV φορτίζεται μέσω ενός ενσωματωμένου EVBC, το οποίο είναι συνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο παράλληλα με τα φορτία του σπιτιού. Δηλαδή, όταν υπάρχει, το EV αντιμετωπίζεται ως πρόσθετο φορτίο στο σπίτι. Όπως απεικονίζεται, υπάρχει μία αμφίδρομη επικοινωνία ανάμεσα στο έξυπνο σπίτι και το ηλεκτρικό δίκτυο αυξάνοντας τις δυνατότητες ελέγχου.



Σχήμα 3.1 Σχηματική αναπαράσταση της ενσωμάτωσης ενός on-board EVBC σε ένα έξυπνο σπίτι [4].

3.2.1 Grid-to-Vehicle

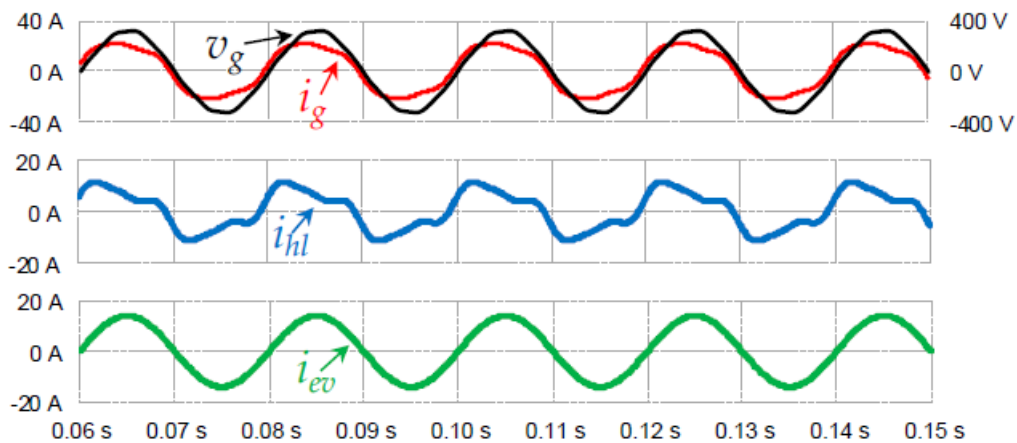
Ο τρόπος λειτουργίας Grid-to-Vehicle (G2V) αφορά αποκλειστικά τη φόρτιση της μπαταρίας EV απευθείας από το δίκτυο. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2, το ενσωματωμένο EVBC συνδέεται με το ηλεκτρικό

δίκτυο μέσω του έξυπνου σπιτιού με ροή ισχύος μιας κατεύθυνσης και αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και του on-board EVBC.



Σχήμα 3.2 Ένας on-board EVBC σε λειτουργία G2V [4].

Με αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, η τιμή του ρεύματος (i_{ev}) του EVBC από την πλευρά του πλέγματος δεν λαμβάνει υπόψη τα άλλα φορτία που συνδέονται στην ίδια ηλεκτρική εγκατάσταση (π.χ., στην περίπτωση ενός σπιτιού, το συνολικό ρεύμα περιορίζεται από τον κύριο διακόπτη, ο οποίος μπορεί να ενεργοποιηθεί εάν το όριο ξεπεραστεί). Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας του τρόπου G2V σε ένα έξυπνο σπίτι, όπου η τάση δικτύου (v_g), το ρεύμα δικτύου (i_g), το ρεύμα των οικιακών φορτίων (i_{hl}) και το ρεύμα του EVBC από την πλευρά του πλέγματος (i_{ev}) σχεδιάζονται συναρτήσες του χρόνου.

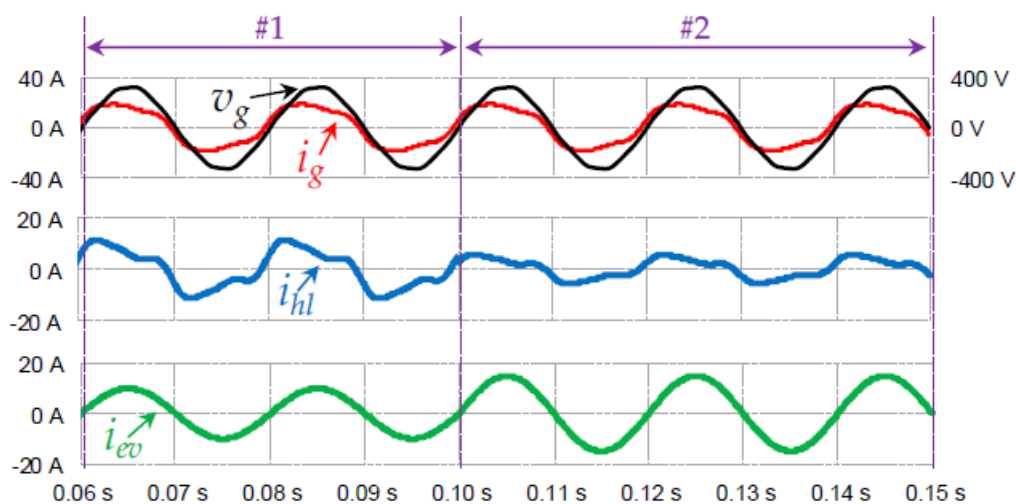


Σχήμα 3.3 Αρχή λειτουργίας του τρόπου G2V [4].

Προκειμένου να αποφευχθεί η επιδείνωση των συντελεστών ποιότητας ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο, το ρεύμα του EVBC είναι

ημιτονοειδές και σε φάση με την τάση του δικτύου. Στο σχήμα 3.3 η τάση του δικτύου (v_g) και το ρεύμα των οικιακών φορτίων εμφανίζονται παραμορφωμένα για να είναι πιο ρεαλιστικές.

Παρόμοια με τον βασικό τρόπο λειτουργίας G2V, η ελεγχόμενη λειτουργία G2V αναφέρεται στη φόρτιση της μπαταρίας EV απευθείας από το δίκτυο, αλλά με προσαρμογή της τιμής της ισχύος σύμφωνα με τα άλλα συνδεδεμένα φορτία. Εκτός αυτού, με αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, η ισχύς λειτουργίας του EVBC μπορεί για παράδειγμα να προσαρμοστεί σύμφωνα με την ισχύ που προσφέρεται από ΑΠΕ, με στόχο την εξισορρόπηση της παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας από το έξυπνο σπίτι, και χωρίς να βλάπτεται η ποιότητα ισχύος στην πλευρά του πλέγματος (π.χ. αποκλίσεις συχνότητας και πλάτους στην τάση του δικτύου). Προκειμένου να υλοποιηθεί σωστός ο τρόπος λειτουργίας, είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί μια επικοινωνία μεταξύ του EVBC και του δικτύου (ή του συστήματος διαχείρισης ενέργειας στο σπίτι, όταν εξετάζεται η ενσωμάτωση του EV σε ένα έξυπνο σπίτι). Η αρχή λειτουργίας της ελεγχόμενης λειτουργίας G2V παρουσιάζεται παραδειγματίζεται στο σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4 Αρχή λειτουργίας του ελεγχόμενου τρόπου G2V [4].

Ομοίως με την προαναφερθείσα λειτουργία G2V, το EVBC λειτουργεί με ημιτονοειδές ρεύμα στην πλευρά του πλέγματος. Ωστόσο, το πλάτος του προσαρμόζεται σε πραγματικό χρόνο σύμφωνα με τα άλλα φορτία του σπιτιού. Στη μετάβαση από την περίπτωση #1 στην περίπτωση #2, ένα οικιακό φορτίο απενεργοποιήθηκε (η τρέχουσα

κατανάλωση, i_{hl} , μειώθηκε), έτσι το EVBC αυξάνει τη λειτουργική του ισχύ (αυξάνει την τρέχουσα κατανάλωση, δηλαδή). Παρόλα αυτά, η μέγιστη ισχύς του EVBC, η οποία ελέγχεται εσωτερικά, δεν μπορεί να ξεπεραστεί σε οποιαδήποτε περίπτωση. Εφαρμόζοντας αυτή την στρατηγική ελέγχου στη φόρτιση της μπαταρίας του EV, η μέγιστη ισχύς του έξυπνου σπιτιού δεν ξεπερνιέται ποτέ, διατηρώντας την ίδια τιμή. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί στο πλάτος του ρεύματος του δικτύου (i_g).

3.2.2 Vehicle-to-Grid

Ο τρόπος λειτουργίας Vehicle-to-Grid (V2G) αναφέρεται στην επιστροφή μέρους της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία του EV, στο δίκτυο, παρέχοντας ευελιξία στο σύστημα διαχείρισης του δικτύου. Η επιστροφή αυτή της ισχύος αντιπροσωπεύει ένα όφελος για το ηλεκτρικό δίκτυο, επειδή επιτρέπει τη χρήση του EV ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας (energy storage system, ESS) για την υποστήριξη της σταθερότητας του δικτύου.

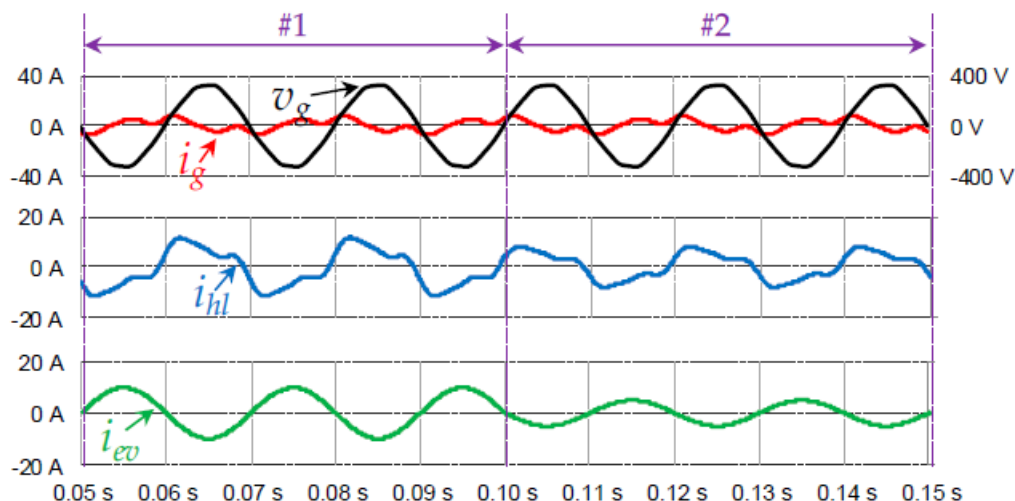
Σε αντίθεση με το G2V, σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, οι μετατροπείς στην πλευρά του πλέγματος και στην πλευρά της μπαταρίας πρέπει να χρησιμοποιούνται σε αμφίδρομη λειτουργία, κάτι που αντιπροσωπεύει μια νέα προοπτική για τα EVBC των μελλοντικών EV. Εξάλλου, αυτή η λειτουργία απαιτεί επικοινωνία με έναν aggregator του πλέγματος, προκειμένου να καθοριστούν τα χρονοδιαγράμματα στα οποία το EVBC λειτουργεί σε αυτήν τη λειτουργία, καθώς και η ποσότητα ισχύος που είναι απαραίτητο να επιστραφεί στο δίκτυο.



Σχήμα 3.5 Ένας on-board EVBC σε λειτουργία V2G [4].

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας, που απεικονίζεται στο σχήμα 3.5, ελέγχεται με βάση την ισχύ που εγχέεται στο δίκτυο, αλλά μπορεί επίσης να ελεγχθεί με βάση τα φορτία που συνδέονται στην ίδια ηλεκτρική εγκατάσταση. Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζονται μερικά αποτελέσματα που

απεικονίζουν τη λειτουργία V2G. Αρχικά, στην περίπτωση #1, το EVBC λειτουργεί σε V2G παρέχοντας ισχύ στο δίκτυο χωρίς έλεγχο στα άλλα φορτία, ενώ στην περίπτωση #2 το EVBC παρέχει ισχύ στο δίκτυο εξαρτώμενη από τα άλλα φορτία.



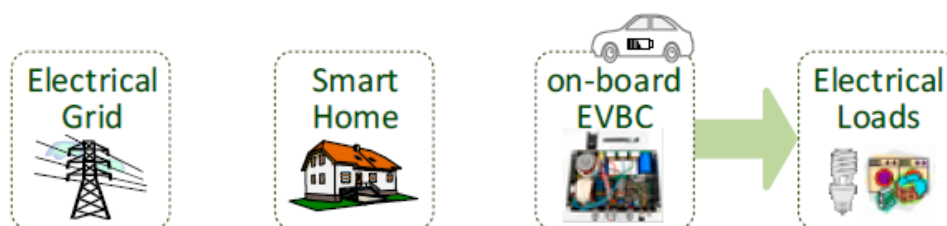
Σχήμα 3.6 Αρχή λειτουργίας του τρόπου V2G [4].

Όπως φαίνεται στο σχήμα, και στις δύο περιπτώσεις το ρεύμα του EVBC στην πλευρά του δικτύου είναι σε αντίθεση φάσης με την τάση, κάτι που σημαίνει ότι η ισχύς παρέχεται στο δίκτυο.

3.2.3 Vehicle-to-Load

Στους τρόπους λειτουργίας που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, το EVBC ελέγχεται προκειμένου να απορροφηθεί ή να εγχυθεί ισχύς στο δίκτυο, όπου ο μετατροπέας από την πλευρά του δικτύου λειτουργεί με ένα ρεύμα ελέγχου ανάδρασης, δηλαδή, η τάση επιβάλλεται από το δίκτυο και το EVBC καθορίζει την τρέχουσα κυματομορφή. Στην κατάσταση λειτουργίας ως πηγή τάσης, το EVBC λειτουργεί ανεξάρτητα από το δίκτυο, δηλαδή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή τάσης στα φορτία ανάλογα με την θέληση του χρήστη. Η αρχή λειτουργίας του τρόπου Vehicle-to-load (V2L), δηλαδή, ως πηγή τάσης (Voltage source), παρουσιάζεται στο σχήμα 3.7. Αυτή η λειτουργία είναι χρήσιμη, για παράδειγμα, σε απομακρυσμένες τοποθεσίες όπου μια πηγή τάσης είναι απαραίτητη μόνο για σύντομο χρονικό διάστημα. Μπορεί επίσης να είναι χρήσιμη σε κάμπινγκ ή σε ακραίες καταστάσεις καταστροφικών

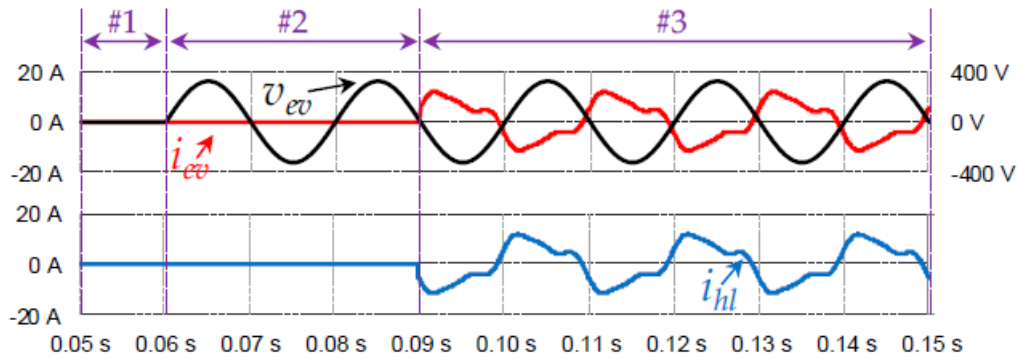
γεγονότων όπου το δίκτυο μπορεί να μην είναι διαθέσιμο. Έτσι, σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, ο μετατροπέας από την πλευρά του δικτύου λειτουργεί με έλεγχο τάσης ανάδρασης, δηλαδή, η τάση επιβάλλεται από το EVBC και η τρέχουσα κυματομορφή ορίζεται από τα γραμμικά ή μη γραμμικά φορτία που συνδέονται με το EVBC. Καθώς ο τρόπος λειτουργίας χρησιμοποιεί την ενέργεια από την μπαταρία του EV, ο κάτοχος του EV είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας, π.χ. την ελάχιστη αποδεκτή κατάσταση φόρτισης για το επόμενο ταξίδι.



Σχήμα 3.7 Ένας on-board EVBC σε λειτουργία V2L [4].

Δεδομένου ότι αυτός ο τρόπος λειτουργίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές τοποθεσίες και για διάφορους σκοπούς (π.χ. έξυπνα σπίτια, απομακρυσμένες τοποθεσίες ή νησιά), αντιπροσωπεύει μια νέα συνεισφορά για τα μελλοντικά έξυπνα δίκτυα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Nissan έχει ήδη ένα σύστημα με όνομα "LEAF-to-Home", όπου ο «σταθμός ηλεκτρικής ενέργειας EV» διασυνδέει ένα EV και ένα σπίτι. Ωστόσο, το βασικό μειονέκτημα του παρουσιάζει το σύστημα της Nissan είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όπου είναι εγκατεστημένο, δηλαδή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί γενικά με το EV σε οποιοδήποτε άλλο μέρος εκτός από το σπίτι που είναι εγκατεστημένο.

Στο Σχήμα 3.8 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας αυτής της λειτουργίας, όπου το i_g αντιπροσωπεύει το ηλεκτρικό ρεύμα στο σπίτι, το i_{ev} αντιπροσωπεύει το ρεύμα του EVBC από την πλευρά του πλέγματος και i_{hl} το ρεύμα των φορτίων. Όπως φαίνεται στο σχήμα, όταν το EVBC λειτουργεί ως πηγή τάσης, το ρεύμα EVBC είναι το ίδιο με το ρεύμα φορτίου και η τάση που εφαρμόζεται στα φορτία είναι η τάση που παράγεται από το EVBC, της οποίας η τιμή είναι ίση με την ονομαστική τιμή της τάσης δικτύου.



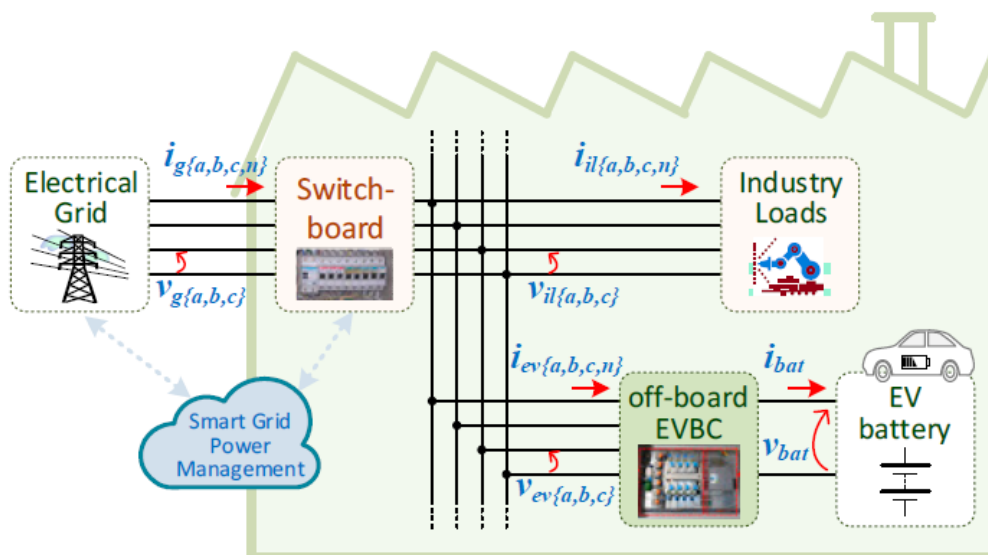
Σχήμα 3.8 Αρχή λειτουργίας του τρόπου V2L [4].

Στο διάγραμμα 3.8 διακρίνουμε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις. Στην περίπτωση #1, το EVBC δεν λειτουργεί με κανένα τρόπο. Στην περίπτωση #2, το EVBC δεν είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο και αρχίζει να παράγει μία ημιτονοειδή τάση, αλλά δεν έχει συνδεθεί ακόμη φορτίο στο EVBC. Στην περίπτωση #3, το EVBC παράγει μια ημιτονοειδή τάση και ένα φορτίο συνδέεται με το EVBC. Σε αυτή την περίπτωση, δεδομένου ότι συνδέεται ένα μη γραμμικό φορτίο, έχει ως αποτέλεσμα το καταναλισκόμενο ρεύμα να έχει υψηλό αρμονικό περιεχόμενο.

3.3 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΤΩΝ OFF-BOARD

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται οι κύριοι τρόποι λειτουργίας ενός off-board EVBC. Οι φορτιστές αυτοί μπορούν να προσφέρουν σημαντικές ευκαιρίες για αποδοτική λειτουργία με έξυπνα δίκτυα και έξυπνα σπίτια, τόσο όσον αφορά τη δυνατότητα ελέγχου όσο και σε σχέση με κάποια νέα χαρακτηριστικά που μπορούν να αποκτηθούν για την εγκατάσταση όπου το EV είναι συνδεδεμένο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ένα off-board EVBC μπορεί να ταξινομηθεί ως αργό, ημι-γρήγορο, γρήγορο ή εξαιρετικά γρήγορο. Ωστόσο, οι τρόποι λειτουργίας που παρουσιάζονται είναι ανεξάρτητοι από αυτήν την ταξινόμηση. Επιπλέον, ένα off-board EVBC μπορεί να εγκατασταθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω μιας μονοφασικής ή τριφασικής διασύνδεσης. Για παράδειγμα, το σχήμα 3.9 απεικονίζει την ενσωμάτωση ενός off-board EVBC σε μία βιομηχανία. Όπως φαίνεται, η μπαταρία του EV φορτίζεται μέσω του off-board EVBC, που συνδέεται στο ηλεκτρικό δίκτυο

παράλληλα με τα φορτία της βιομηχανίας. Ως εκ τούτου, το off-board EVBC συνδέεται συνεχώς με το ηλεκτρικό δίκτυο ανεξάρτητα από την παρουσία του EV. Θεωρείται αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ της βιομηχανίας και του ηλεκτρικού δικτύου γεγονός που προσφέρει μια έξυπνη προοπτική όσον αφορά τη δυνατότητα ελέγχου.



Σχήμα 3.9 Σχηματική αναπαράσταση της ενσωμάτωσης ενός off-board EVBC σε μία βιομηχανία [4].

3.3.1 Grid-to-Vehicle και Vehicle-to-Grid

Όπως και με ένα on-board EVBC, ένα off-board EVBC επιτρέπει επίσης τη λειτουργία G2V, ανεξάρτητα από τη λειτουργία του δικτύου όσον αφορά τη διαχείριση ισχύος. Επομένως, η κεντρική διαφορά μεταξύ ενός on-board και ενός off-board EVBC είναι η ισχύς λειτουργίας, όπου, συνήθως, το off-board EVBC λειτουργεί με σημαντικά υψηλότερη ισχύ. Εκτός από τον τρόπο λειτουργίας G2V, ο τρόπος λειτουργίας V2G είναι επίσης εφικτός σε ένα off-board EVBC. Ωστόσο, αυτή η λειτουργία θεωρείται ως μια μελλοντική ευκαιρία για τα off-board EVBC, δεδομένου ότι για την ώρα, τα off-board EVBC είναι μονοκατευθυντικά, ενώ για λειτουργία σε V2G, η λειτουργία πρέπει να είναι αμφίδρομη.

Η αρχή λειτουργίας ενός EVBC σε λειτουργίες G2V και V2G παρουσιάζεται στο σχήμα 3.10, όπου θεωρούμε ότι το EVBC λειτουργεί σε αμφίδρομη λειτουργία ως προς την ισχύ λειτουργίας και ως προς την επικοινωνία με το ηλεκτρικό δίκτυο. Κατά τη φόρτιση της μπαταρίας του

EV χρησιμοποιώντας ένα off-board EVBC, ο σκοπός είναι να πραγματοποιηθεί η διαδικασία το συντομότερο δυνατό. Ωστόσο, καθώς το EV είναι συνδεδεμένο με ένα off-board EVBC μόνο για σύντομες περιόδους, το EV μπορεί να επιστρέψει ένα μικρό μέρος της αποθηκευμένης ενέργειας.



Σχήμα 3.10 Ενσωμάτωση ενός off-board EVBC για λειτουργία G2V και V2G [4].

Για παράδειγμα, εάν το EV είναι συνδεδεμένο για γρήγορη φόρτιση περίπου 30 λεπτών λειτουργώντας με ισχύ 30 kW, αλλά για 30 δευτερόλεπτα, επιστρέφει ισχύ 10 kW πίσω στο ηλεκτρικό δίκτυο, τότε ο συνολικός χρόνος θα ξεπεραστεί κατά μόλις 1 λεπτό και 40 δευτερόλεπτα. Αυτό αντιπροσωπεύει μια μικρή ποσότητα ισχύος για το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά λαμβάνοντας υπόψη ένα στόλο από EV με αυτή τη δυνατότητα και ένα ηλεκτρικό δίκτυο με αλγόριθμους πρόβλεψης και διαχείρισης, αυτός ο τρόπος λειτουργίας είναι αρκετά ελκυστικός για τα off-board EVBC.

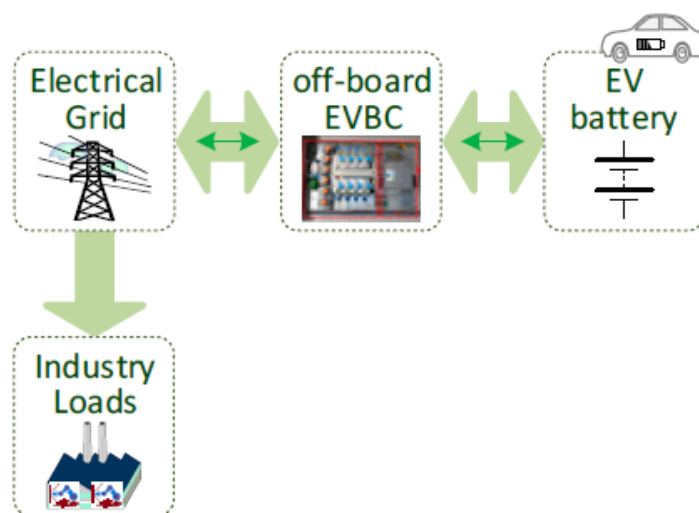
3.3.2 Αντισταθμιστής ποιότητας ισχύος

Τα off-board EVBC εγκαθίστανται εξωτερικά στο EV και χρησιμοποιούνται μόνο όταν είναι απαραίτητα για τη φόρτιση της μπαταρίας του EV, μια εργασία που συμβαίνει μόνο για λίγα λεπτά. Έτσι, προβλέπουμε ότι αυτά τα συστήματα μπορεί να είναι εκτός λειτουργίας κατά τη διάρκεια διαφόρων περιόδων κατά τη διάρκεια της ημέρας. Υπό αυτή την έννοια, αφού ένα off-board EVBC είναι εγκατεστημένο σε συγκεκριμένη ηλεκτρική εγκατάσταση, υπάρχει μια νέα ευκαιρία λειτουργίας για το off-board EVBC που σχετίζεται με τη δυνατότητα αντισταθμίστη προβλημάτων ποιότητας ισχύος για το ηλεκτρικό δίκτυο (που προκαλείται από τα μη γραμμικά φορτία που καταναλώνουν παραμορφωμένα ρεύματα). Είναι πολύ σημαντικό ότι αυτός ο τρόπος

λειτουργίας μπορεί να επιτευχθεί εάν υπάρχει ή όχι το EV, δηλαδή, η αντιστάθμιση ποιότητας ισχύος μπορεί να πραγματοποιηθεί ταυτόχρονα με τη φόρτιση των μπαταριών (λειτουργία G2V) χωρίς αρνητικές επιδράσεις στην μπαταρία του EV ή στη λειτουργία του EVBC.

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός ο τρόπος λειτουργίας μπορεί επίσης να συνδυαστεί με τη λειτουργία V2G. Αφού η αντιστάθμιση συμβαίνει από την πλευρά του δικτύου, δεν είναι απαραίτητο να μεταφερθεί ενεργός ισχύς μεταξύ του off-board EVBC και του ηλεκτρικού δικτύου, κάτι που είναι ένα σχετικό όφελος για αυτόν τον τρόπο λειτουργίας. Επιπλέον, δεν απαιτείται επιπλέον hardware για τη λειτουργία σε αυτόν τον τρόπο.

Στο σχήμα 3.11 φαίνεται η διάταξη ενός off-board EVBC που λειτουργεί σε αυτόν τον τρόπο. Είναι δυνατή η αντιστάθμιση προβλημάτων ποιότητας ισχύος που σχετίζονται με τον συντελεστή ισχύος και τις αρμονικές ρεύματος. Αυτά τα προβλήματα προκαλούνται από τα φορτία που είναι παρόντα στη βιομηχανία στην οποία θα συνδεθεί το off-board EVBC.



Σχήμα 3.11 Ενσωμάτωση ενός off-board EVBC σε ηλεκτρικό δίκτυο για λειτουργία αντιστάθμισης της ποιότητας της ισχύος [4].

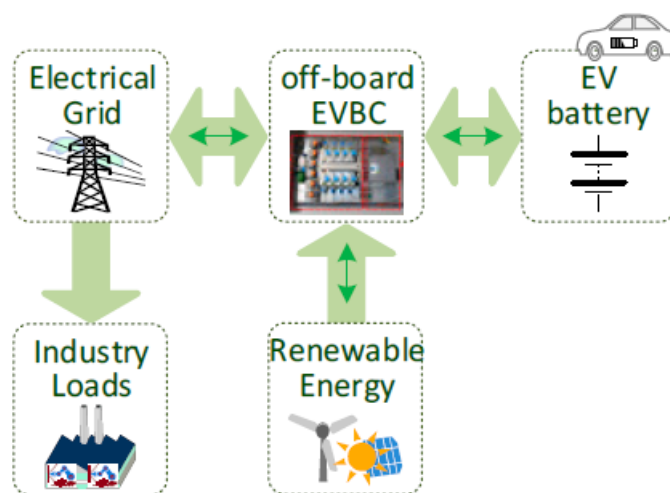
3.3.3 Ενιαία λειτουργία ανισταθμιστή ποιότητας ισχύος με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ΑΠΕ έχουν πολύ σημαντική επιρροή στην εξέλιξη και την ωρίμανση των έξυπνων δικτύων, καθώς και για την ελαχιστοποίηση του

αντίκτυπου που αντιπροσωπεύει η φόρτιση της μπαταρίας του EV. Για παράδειγμα, τα ηλιακά φωτοβολταϊκά πάνελ, ως παράδειγμα ΑΠΕ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ηλιακή οροφή σε σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ή σε βιομηχανίες προκειμένου να επιτευχθεί η προοπτική που παρουσιάζεται σε αυτήν την ενότητα.

Επιπλέον, δεδομένου ότι τόσο τα off-board EVBC όσο και οι ΑΠΕ διασυνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο χρησιμοποιώντας έναν μετατροπέα από την πλευρά του πλέγματος και κάθε σύστημα έχει το δικό του σύνδεσμο dc, δίνεται η ευκαιρία ενοποίησης και των δύο συστημάτων με μία μόνο διασύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Επιπλέον, με αυτήν την ενοποιημένη στρατηγική, που απεικονίζεται στο σχήμα 3.12, είναι πιθανό να αυξηθεί η απόδοση σε σύγκριση με την συνηθισμένη λύση στην οποία χρησιμοποιούνται δύο διεπαφές με το ηλεκτρικό δίκτυο, αφού η ισχύς που έρχεται από τις ΑΠΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας από τον μετατροπέα στην πλευρά της μπαταρίας για τη φόρτιση της μπαταρίας του EV, χωρίς να χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί ο μετατροπέας από την πλευρά του δικτύου.

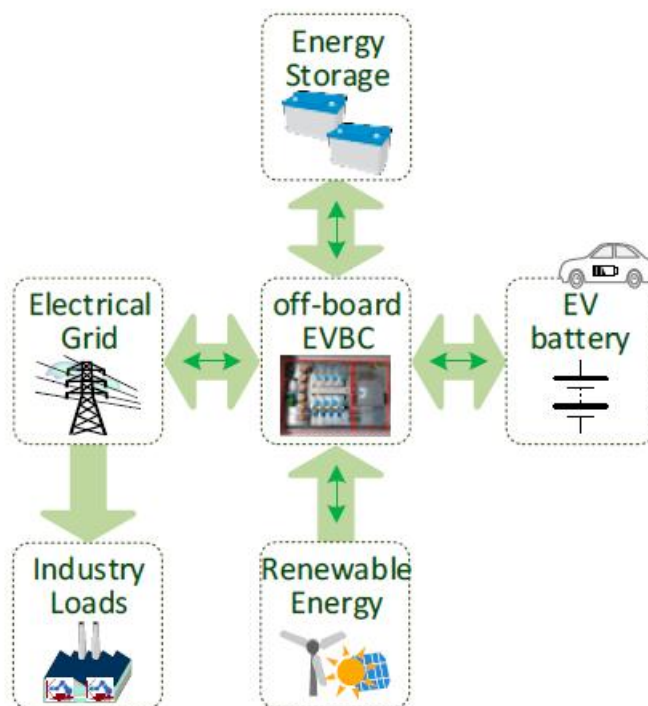


Σχήμα 3.12 Ενοποιημένη λειτουργία ενός off-board EVBC σαν αντισταθμιστή ποιότητα ισχύος με ΑΠΕ [4].

3.3.4 Ενιαία λειτουργία αντισταθμιστή ποιότητας ισχύος, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας

Ακολουθώντας την ευκαιρία που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, παρέχοντας στον off-board EVBC μια άλλη

διεπαφή στον σύνδεσμο dc, για ένα ESS, οδηγούμαστε σε μια νέα προοπτική. Στο σχήμα 3.13 απεικονίζεται αυτή η νέα δυνατότητα, στην οποία είναι δυνατό να υπάρξει μια ενιαία διασύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο των μετατροπέων για φόρτιση της μπαταρίας του EV, των ΑΠΕ και του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας (ESS).



Σχήμα 3.13 Ενοποιημένη λειτουργία ενός off-board EVBC σαν αντισταθμιστή ποιότητα ισχύος με ΑΠΕ και ESS [4].

3.4 ΕΞΥΠΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Οι πιθανές ανεπιθύμητες επιπτώσεις της ανεξέλεγκτης φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων είναι πολλές, όπως η υπερφόρτωση των δυνατοτήτων του συστήματος και η αύξηση της ζήτησης ισχύος που οδηγεί σε λιγότερο αποδοτική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, έχει προταθεί η χρήση των έξυπνων σχημάτων φόρτισης (έξυπνη φόρτιση). Με την έξυπνη φόρτιση είναι δυνατό να επιτευχθούν διάφοροι στόχοι. Μερικές μελέτες εστιάζουν στην ελαχιστοποίηση του κόστους του συστήματος φόρτισης και της

ηλεκτρικής φόρτισης. Άλλες μελέτες δεν προσπαθούν να προσομοιώσουν ρητά τη διαδικασία φόρτισης, αλλά προσπαθούν να βρουν έξυπνους τρόπους για την αποφυγή ανεπιθύμητων επιπτώσεων στο ηλεκτρικό δίκτυο. Παρατηρήθηκε ότι ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης είναι πολύ σημαντικός για τον αποτελεσματικό προγραμματισμό και την εκμετάλλευση, με έξυπνο τρόπο, του οφέλους από τα EV. Με τη μεγάλη διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στα συστήματα ισχύος, συνυπάρχουν πολλοί περιορισμοί στην υλοποίηση των πραγματικών σεναρίων, που πρέπει να βελτιστοποιηθούν για την εύρεση των καλύτερων λύσεων. Οι περιορισμοί δεν είναι σταθεροί αλλά ποικίλλουν ανάλογα με τους στόχους του αναπτυγμένου συστήματος EV, όπως η ελαχιστοποίηση του κόστους φόρτισης, των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των απωλειών στο σύστημα ισχύος.

Έχουν παρουσιαστεί μελέτες για έναν προγραμματισμό ενεργειακών πόρων για το έξυπνο δίκτυο εξετάζοντας τη συμμετοχή των DER και του V2G. Η συνολική μείωση του λειτουργικού κόστους καταδεικνύει την αποτελεσματικότητα του προγραμματισμού των έξυπνων ηλεκτρικών οχημάτων στο περιβάλλον του έξυπνου δικτύου. Για να διευκολυνθεί αυτή η έξυπνη φόρτιση, χρησιμοποιείται επίσης η τεχνολογία ετικετών ταυτοποίησης ραδιοσυχνοτήτων (radio frequency identification, RFID). Ο ιδιοκτήτης του EV εμπλέκεται μέσω εφαρμογής για κινητά στο διαδίκτυο για την απόκτηση πληροφοριών και τον έλεγχο της φόρτισης χρησιμοποιώντας παραμέτρους όπως η επιθυμητή κατάσταση φόρτισης (state of charge, SOC), ώρες άφιξης και αναχώρησης ή η επιλογή των υπηρεσιών V2G για τη μεγιστοποίηση του κέρδους. Το προγραμματισμένο σύστημα χρέωσης αποδείχθηκε ότι είναι οικονομικά αποδοτικό. Οδήγησε σε εξοικονόμηση 10% και 7% για οδηγούς με ευέλικτο σύστημα χρέωσης και επιχειρηματικές μετακινήσεις, αντίστοιχα. Επιπλέον, επιτυγχάνεται μείωση κατά 56% της αιχμής της ζήτησης ισχύος με το σχήμα μεταβλητής φόρτισης του οδηγού.

Επίσης, έχει προταθεί ένα ιδεατό σύστημα έξυπνης φόρτισης που βασίζεται στα ιστορικά στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης με προσεγγίσεις που βασίζονται στις τεχνικές εξόρυξης δεδομένων. Η εγκατάσταση φόρτισης και το EV διασυνδέονται από τις διαδικτυακές εφαρμογές που μπορούν να λειτουργούν σε φορητές συσκευές όπως τα smartphones. Μια φορητή συσκευή που υποστηρίζει GPS,

χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των οδηγικών χαρακτηριστικών του EV. Έτσι, είναι δυνατή η γνώση του SOC της μπαταρίας. Παρόλα αυτά, υπάρχει μια αργή επικοινωνιακή απόκριση σε αυτήν την αρχιτεκτονική. Θα ήταν προτιμότερο όλη η επεξεργασία της πληροφορίας να γίνεται αυτόματα, σε επίπεδο μηχανής, χωρίς να εμπλέκεται πολύ ένα τρίτο μέρος (δηλαδή ο οδηγός) για την πιο αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία.

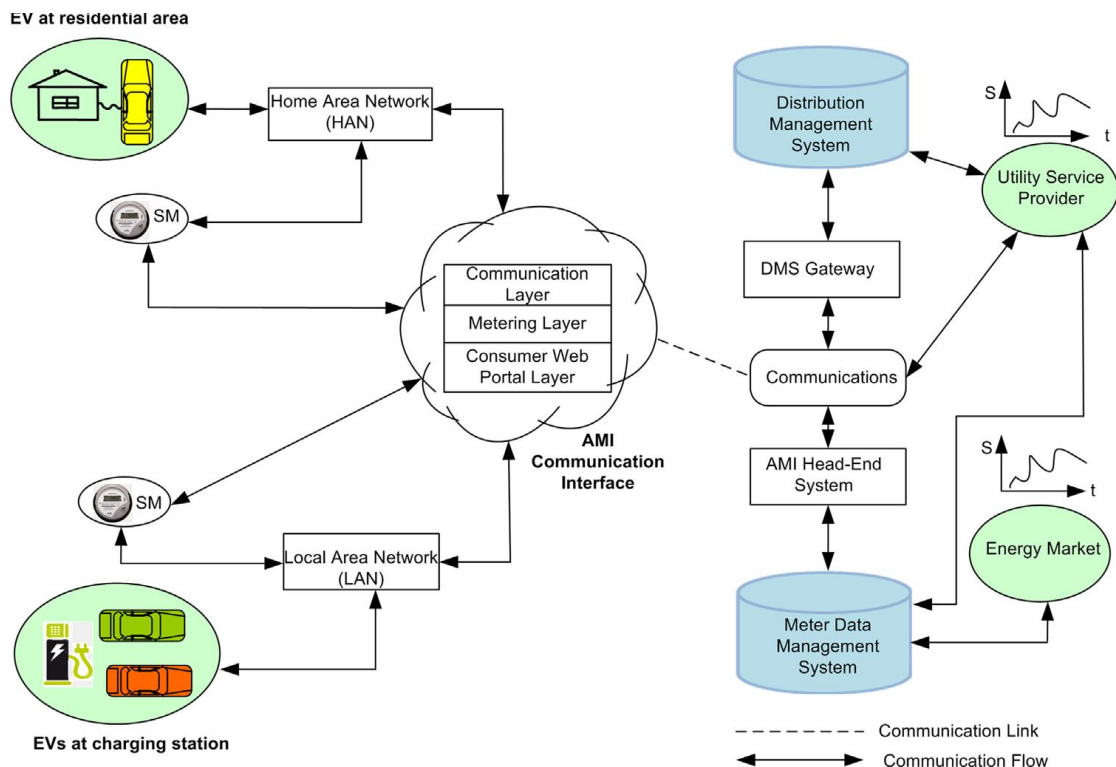
3.5 ΠΡΟΗΓΜΕΝΗ ΥΠΟΔΟΜΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας EMS (EMS) ολοκληρώνεται με τη μέτρηση, την ανάλυση και την αναφορά της ενέργειας που χρησιμοποιείται ή ζητείται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Η έξυπνη μέτρηση είναι μία συνιστώσα που βρίσκεται στον πυρήνα της προσπάθειας υλοποίησης διαδικτυακών λειτουργιών EMS στο έξυπνο δίκτυο. Στην ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο, ο έξυπνος μετρητής (SM) παίζει σημαντικό ρόλο στην απόκτηση πληροφοριών σε σχεδόν πραγματικό χρόνο για την ισχύ που απαιτείται ή καταναλώνεται. Ως εκ τούτου, οι SM κάνουν τη διαδικασία της πρόβλεψης της ενέργειας, είτε πρόκειται για την επόμενη ημέρα είτε για ενδοημερήσια πρόβλεψη, καθώς και την τιμολόγηση της ενέργειας περισσότερο εφικτή. Αυτοί είναι οι θεμελιώδεις ρόλοι των SM στη λειτουργία του έξυπνου δικτύου.

Για το σκοπό αυτό, είναι απαραίτητη η χρήση προηγμένων τεχνολογιών στην έξυπνη μέτρηση για την προσαρμογή των EV ως δυναμικά φορτία που είναι. Ως εκ τούτου, η προηγμένη μετρητική υποδομή (advanced metering infrastructure, AMI) είναι ένα πλαίσιο που συνδέει την έξυπνη μέτρηση και την επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο ως μία απλή μονάδα. Τα συστήματα AMI περικλείουν διάφορες τεχνολογίες και εφαρμογές που ενσωματώνονται ως μία ενιαία λειτουργική μονάδα. Περιλαμβάνουν το σύστημα διαχείρισης δεδομένων μέτρησης (meter data management system, MDMS), οικιακό δίκτυο (home area network, HAN), SMs, υλικό και λογισμικό υπολογιστών, προηγμένα δίκτυα αισθητήρων και διαφορετικές τεχνολογίες

επικοινωνίας. Οι τεχνολογίες επικοινωνίας στο AMI μπορεί να είναι ασύρματες ή ευρυζωνικές που παρέχουν αμφίδρομη σύνδεση επικοινωνίας μεταξύ του δικτύου κοινής ωφέλειας, των έξυπνων μετρητών, των διαφόρων αισθητήρων και του συστήματος διαχείρισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVMS).

Οι πληροφορίες που συλλέγονται από το AMI μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή ευφυούς συστήματος αποφάσεων και ελέγχου. Χρησιμοποιώντας ένα αποτελεσματικό AMI είναι δυνατός ο έξυπνος προγραμματισμός του ηλεκτρικού οχήματος στο έξυπνο δίκτυο. Έχουν προσομοιωθεί συστήματα AMI κάτω από συνθήκες μεταβλητής τιμολόγησης και μεταβλητών χρονοδιαγραμμάτων φόρτισης. Έχει δειχθεί ότι η ανάπτυξη ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιώντας πλατφόρμα AMI μπορεί να επιφέρει μείωση της μέγιστης κατανάλωσης ενέργειας κατά 36%. Επιτυγχάνει τη μετατόπιση του 54% της ζήτησης ενέργειας σε περιόδους εκτός αιχμής. Ως εκ τούτου, απελευθερώνει το σύστημα ισχύος από τις πιέσεις που αναμένονται κατά την περίοδο αιχμής της ζήτησης.



Σχήμα 3.14 Σχηματική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής AMI σε πλαίσιο V2G [2].

Το σχήμα 3.14 απεικονίζει μια επισκόπηση των λύσεων AMI για τη διασύνδεση των EV με το έξυπνο δίκτυο. Αναπαριστά τη συλλογή πληροφοριών για την κατανάλωση ή τη ζήτηση ενέργειας με χρήση SMs. Οι SMs επικοινωνούν δεδομένα που συλλέγονται μέσω των τεχνολογιών επικοινωνίας όπως BPLC ή WiMAX σε ένα field area network (FAN), local area network (LAN) ή HAN. Στην πραγματικότητα, αυτά τα δεδομένα λαμβάνονται από το σύστημα AMI πριν από το MDMS που είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση, αποθήκευση και ανάλυση των δεδομένων.

Οι λύσεις AMI στο πλαίσιο V2G θα αποτελέσουν μια αποτελεσματική διέξοδο για την υλοποίηση λειτουργιών που περιλαμβάνουν τόσο μέτρηση όσο και επικοινωνία έτσι ώστε να επιτυγχάνεται διαχείριση ενέργειας σε υψηλό επίπεδο ευφυΐας.

3.6 ΠΡΟΗΓΜΕΝΗ ΥΠΟΔΟΜΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Ένα αμφίδρομο δίκτυο επικοινωνίας μέσα στη δομή του έξυπνου δικτύου επιτρέπει την εκμετάλλευση τεχνολογιών για τον έλεγχο ενός τεράστιου αριθμού κατανεμημένων ενεργειακών πόρων σε διασκορπισμένες γεωγραφικές περιοχές. Σε αυτή την περίπτωση, η ασύρματη επικοινωνία είναι η πλέον φιλόδοξη λύση για τις εφαρμογές V2G. Χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος και μεγάλη κάλυψη περιοχής.

Στην αλληλεπίδραση των EV με το έξυπνο δίκτυο, αναμένουμε συχνά αιτήματα και αποδοχές επικοινωνίας με διάφορες συσκευές του συστήματος, όπως SMs. Ανάλογα με το σχήμα ενσωμάτωσης των EV στο έξυπνο δίκτυο, έχουν προβλεφθεί δύο διαφορετικά σενάρια για τη λύση του προβλήματος της επικοινωνίας. Το πρώτο έχει να κάνει με την επικοινωνία των προηγμένων αισθητήρων και του EVMS με τα SMs. Το δεύτερο είναι μεταξύ των SMs και των κέντρων επεξεργασίας δεδομένων.

Το πρώτο μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας PLC ή τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας, ενώ το δεύτερο χρησιμοποιεί προηγμένα τεχνολογίες κινητών δικτύων όπως 3G, WiMAX και 4G LTE.

Ωστόσο, με την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στη βιομηχανία ενέργειας, νέες προκλήσεις τίθενται στην αρχιτεκτονική της παρακολούθησης, της επικοινωνίας και του ελέγχου λόγω της δυναμικής φύσης της κινητικότητας.

Για παράδειγμα, ένα προηγμένο SM θα μπορούσε να επιτρέψει στο EV να συνδέεται με διαφορετικό aggregator, προμηθευτή ενέργειας ή δίκτυο όταν βρίσκεται μακριά από το HAN του ή το LAN του. Για να συμβεί αυτό πρέπει να υπάρχει μια αξιόπιστη και αποτελεσματική επικοινωνία με ευρεία κάλυψη. Αυτή είναι μια ελκυστική περίπτωση για τις εφαρμογές EV, αφού τα περισσότερα EV είναι χωρικά διασκορπισμένα στον πραγματικό κόσμο. Για να είναι επιτυχημένη η λειτουργία, πρέπει τα ηλεκτρικά οχήματα να μπορούν να συνδεθούν ανά πάσα στιγμή (οπουδήποτε διατίθεται σημείο φόρτισης) για την επαναφόρτιση των μπαταριών τους ή παροχή ισχύος στο δίκτυο (δηλαδή V2G). Σε αυτή την περίπτωση, ο aggregator πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίσει ένα συγκεκριμένο ηλεκτρικό όχημα σε περιβάλλον σχεδόν πραγματικού χρόνου για τη χρέωση της απαιτούμενης ισχύος. Από την άλλη πλευρά, το EV πρέπει να λάβει το χρόνο χρήσης ή την τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο από την αγορά ενέργειας για την παροχή ενέργειας στο δίκτυο.

Επιπλέον, το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (wireless sensor network, WSN) είναι ένα αναδυόμενο δίκτυο ελέγχου που θεωρείται πολλά υποσχόμενο στο έξυπνο δίκτυο. Έχει δειχθεί ότι το WSN μπορεί να ενισχύσει τη διεύθυνση των ηλεκτρικών οχημάτων.

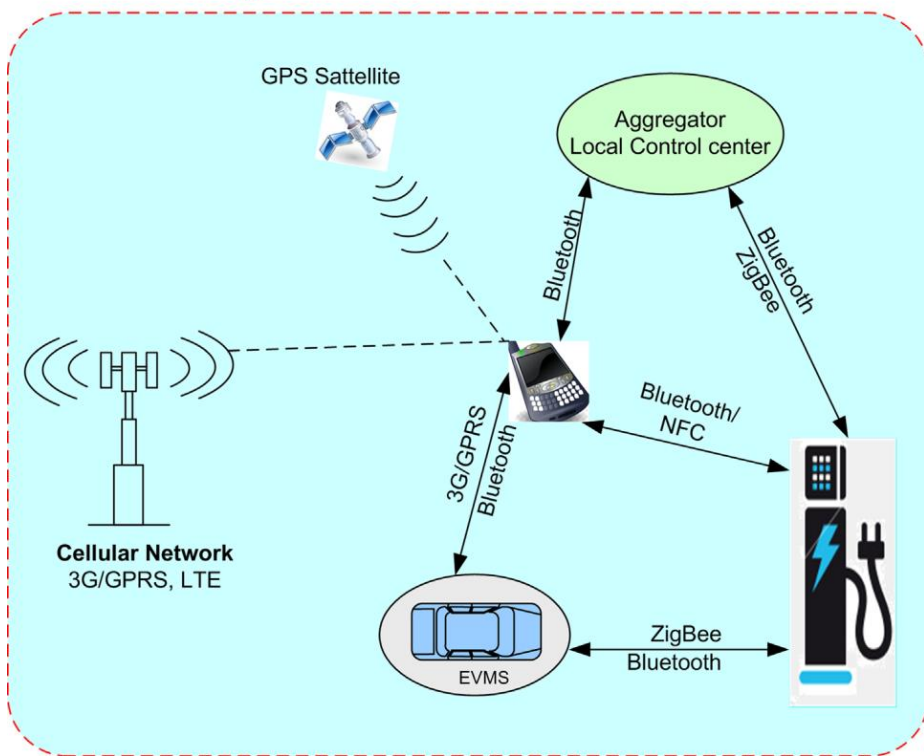
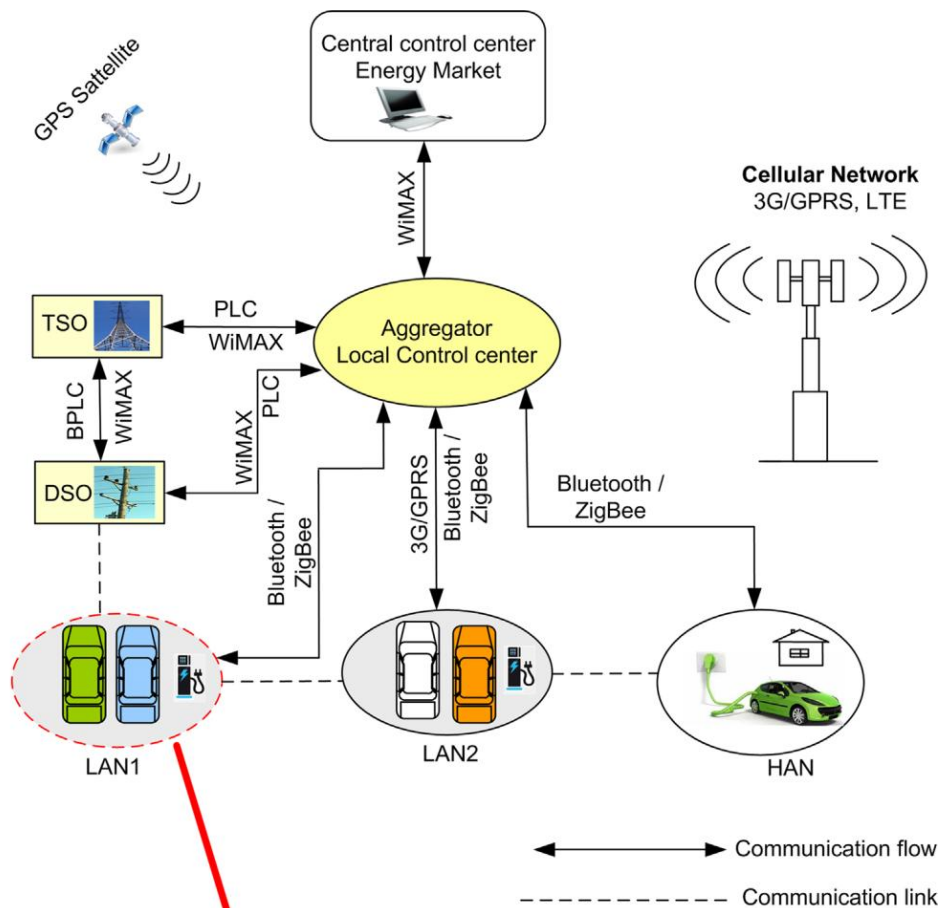
Εκτός από αυτό, η τεχνολογία ZigBee έχει ερευνηθεί και δοκιμαστεί από διάφορους ερευνητές, ιδίως για τις εφαρμογές της ηλεκτροκίνησης. Η τεχνολογία ZigBee είναι απλή και απαιτεί χαμηλό εύρος ζώνης για την εφαρμογή της. Ωστόσο, πρέπει να αντιμετωπιστούν θέματα όπως οι παρεμβολές επικοινωνίας με άλλες συσκευές που μοιράζονται την ίδια γραμμή μετάδοσης, η μικρή μνήμη και οι καθυστερήσεις στην επικοινωνία, έτσι ώστε η τεχνολογία ZigBee να μπορεί να είναι αξιόπιστη και αποτελεσματική για εφαρμογές V2G. Ο Πίνακας 3.1 δείχνει τα χαρακτηριστικά ορισμένων ασύρματων τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές EV όπως οι υπηρεσίες V2G.

Πίνακας 3.1 Τα βασικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας για εφαρμογές V2G [2]

S/N	Technology	Operating frequency	Covered distance
1	ZigBee	868 MHz (Europe) 915 MHz (North America) 2.4 GHz (Worldwide)	10–100 m
2	Near Field Communication (NFC)	13.56 MHz	5–10 cm
3	Bluetooth	2.4 GHz	1–100 m
4	IEEE 802.11p	5.85–5.925 GHz	500–1000 m
5	WiMAX	2–6 GHz	2–5 km

Από την άλλη πλευρά, η κυβερνο-ασφάλεια του δικτύου επικοινωνίας μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων και του παρόχου ενέργειας πρέπει να διασφαλίζεται για να αποτραπούν κυβερνο-επιθέσεις στο έξυπνο δίκτυο όπως παραβίαση των τιμών και συμφόρηση του συστήματος από κακόβουλο λογισμικό. Αυτά είναι κρίσιμα ζητήματα καθώς το δίκτυο θα είναι γενικά ευάλωτο καθώς μπορεί εύκολα να βρεθούν ανοικτές πόρτες για κυβερνο-επιθέσεις. Εάν αυτά τα ζητήματα δεν αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά μπορούν να μειώσουν τα οφέλη και την αξιοπιστία των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά ενέργειας.

Το σχήμα 3.15 δείχνει την αρχιτεκτονική του δικτύου επικοινωνίας και τις διάφορες λειτουργίες για την αλληλεπίδραση του EV με το έξυπνο πλέγμα. Η τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των επικοινωνούντων hotspots και τον όγκο των δεδομένων που θα διαβιβαστούν. Σε αυτό το σχήμα, το έξυπνο κινητό τηλέφωνο χρησιμοποιείται ως διασύνδεση μεταξύ του EVMS, του σημείου φόρτισης και του aggregator μέσω λειτουργιών GPS ή/και Bluetooth. Το πρωτόκολλο WiMAX αντιπροσωπεύει ένα σενάριο επικοινωνίας μεγάλων αποστάσεων που καλύπτει την επικοινωνία μεταξύ του aggregator και του παρόχου ενέργειας. Για να αυξηθεί η αξιοπιστία του έξυπνου δικτύου, το πρωτόκολλο Near Field Communication (NFC) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτόματη υποστήριξη της σύζευξης Bluetooth.



Σχήμα 3.15 Αρχιτεκτονική δικτύου επικοινωνίας ηλεκτρικού οχήματος με έξυπνο πλέγμα [2].

4. ΕΥΦΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι έξυπνες μεταφορές και η έξυπνη διαχείριση της κυκλοφορίας των πόλεων φέρνουν επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο οι πόλεις προσεγγίζουν την κινητικότητα και την αντιμετώπιση μιας έκτακτης ανάγκης, μειώνοντας παράλληλα τη συμφόρηση στους δρόμους της πόλης. Αυτό συμβαίνει με χρήση αισθητήρων, προηγμένων τεχνολογιών επικοινωνίας, αυτοματοποίησης και δικτύων υψηλής ταχύτητας.

Σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ, "Τα Έξυπνα Συστήματα Μεταφορών (intelligent transportation system, ITS) εφαρμόζουν μια ποικιλία τεχνολογιών για την παρακολούθηση, την αξιολόγηση και τη διαχείριση συστημάτων μεταφοράς για την ενίσχυση της αποδοτικότητας και της ασφάλειας". Βάζοντας στην άκρη τα οράματα των μεταφορών του στυλ επιστημονικής φαντασίας, αυτός ο ορισμός μπορεί να απλοποιηθεί στις ακόλουθες έννοιες για το τι συνθέτει τις έξυπνες μεταφορές: διαχείριση, αποδοτικότητα και ασφάλεια. Με άλλα λόγια, οι έξυπνες μεταφορές χρησιμοποιούν νέες και αναδυόμενες τεχνολογίες για να κάνουν τη μετακίνηση σε μια πόλη πιο βολική, πιο οικονομική (τόσο για την πόλη όσο και για το άτομο) και ασφαλέστερη.

Οι αναδυόμενες τεχνολογίες που διευκολύνουν αυτές τις νέες ευκαιρίες είναι κυρίως το διαδίκτυο των πραγμάτων (internet of things, IoT) και η τεχνολογία επικοινωνίας 5G. Το πρώτο προβλέπει φθηνούς αισθητήρες και ελεγκτές που μπορούν να ενσωματωθούν σε σχεδόν οποιοδήποτε φυσικό μηχάνημα για έλεγχο και διαχείριση από απόσταση. Το τελευταίο παρέχει την επικοινωνία υψηλής ταχύτητας που απαιτείται για τη διαχείριση και τον έλεγχο των συστημάτων μεταφοράς σε πραγματικό χρόνο με ελάχιστη καθυστέρηση.

Οι έξυπνες μεταφορές δεν είναι μόνο μια θεωρία για το μέλλον. Εφαρμόζονται σήμερα σε αρκετές πόλεις με τις επιτυχίες και τις αποτυχίες τους να χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των συστημάτων σε νέες τοποθεσίες. Ανάμεσα στις πόλεις που εφαρμόζουν νέες τεχνολογίες μεταφοράς κάποιες είναι αναμενόμενες και κάποιες όχι. Φυσικά, παγκόσμιοι κόμβοι όπως η Νέα Υόρκη έχουν υιοθετήσει έξυπνες μεταφορές, ανάμεσα στα άλλα που έχουν κάνει, για να κάνουν την πόλη τους να λειτουργεί συνολικά με ολοένα πιο έξυπνο και αποδοτικό τρόπο. Ωστόσο, η αγροτική πολιτεία του Wyoming είναι επίσης ένας κορυφαίος χώρος δοκιμής για συνδεδεμένα οχήματα. Αυτό οφείλεται στο ότι η καουμπόικη πολιτεία είναι ένας σημαντικός εμπορευματικός διάδρομος. Η αυτόνομη μεταφορά εμπορευμάτων σε όλη τη χώρα μπορεί να βελτιώσει δραστικά την αποδοτικότητα της αλυσίδας εφοδιασμού και να μειώσει την ανάγκη για οδηγούς μεγάλων αποστάσεων που αναγκάζονται να εξισορροπήσουν τα αυστηρά χρονοδιαγράμματα με την ανθρώπινη ανάγκη τους για ξεκούραση.

4.2 ΟΦΕΛΗ

Τα οφέλη της έξυπνης τεχνολογίας και τα πλεονεκτήματα που φέρνουν στις μεταφορές σε μια έξυπνη πόλη είναι πολλά. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι:

- ❖ Η έξυπνη μεταφορά είναι ασφαλέστερη: Συνδυάζοντας μηχανική μάθηση με IoT και 5G, τα αυτόνομα συστήματα μεταφοράς (τόσο σε οχήματα όσο και σε στάσιμες υποδομές όπως διασταυρώσεις) έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν τον «ανθρώπινο παράγοντα» στα ατυχήματα. Οι υπολογιστές δεν αποσπούν την προσοχή τους, δεν κουράζονται ή δεν συγκινούνται.
- ❖ Η έξυπνη μεταφορά διαχειρίζεται καλύτερα: Η συλλογή δεδομένων είναι ένα σημαντικό κλειδί για την υπεύθυνη δημόσια διαχείριση της υποδομής. Η έξυπνη μεταφορά δεν παρέχει μόνο λεπτομερή σημεία δεδομένων για κάθε πτυχή του συστήματος μεταφοράς, αλλά επιτρέπει στους διαχειριστές να παρακολουθούν καλύτερα τις λειτουργίες, να εντοπίζουν τις ανάγκες συντήρησης

και να εντοπίζουν βασικές πηγές προβλημάτων που πρέπει να διορθωθούν.

- ❖ Η έξυπνη μεταφορά είναι πιο αποτελεσματική: Με καλύτερη διαχείριση έρχεται πιο αποτελεσματική χρήση. Τα ποιοτικά δεδομένα μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό περιοχών όπου η αποτελεσματικότητα μπορεί να βελτιωθεί. Ίσως μια μικρή προσαρμογή στα δρομολόγια των τρένων να παρέχει καλύτερες τιμές πλήρωσης, ίσως τα δρομολόγια των λεωφορείων να εξυπηρετούν καλύτερα την κοινότητα εάν οι στάσεις κατανέμονταν διαφορετικά.
- ❖ Η έξυπνη μεταφορά είναι οικονομικά αποδοτική: Επειδή η έξυπνη μεταφορά χρησιμοποιεί καλύτερα τους διαθέσιμους πόρους, μπορεί να μειώσει το κόστος χάρη στην προληπτική συντήρηση, τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και τους λιγότερους πόρους που χρησιμοποιούνται για ατυχήματα. Εξοικονόμηση κόστους μπορεί επίσης να επιτευχθεί από τους επιβάτες όταν η φθνή δημόσια συγκοινωνία είναι αρκετά αποτελεσματική για να ανταγωνιστεί τα ιδιωτικά οχήματα.
- ❖ Οι Έξυπνες Μεταφορές παρέχουν γρήγορες πληροφορίες: Τα κέντρα διαχείρισης της κυκλοφορίας των πόλεων (traffic management center, TMC) μπορούν να λάβουν γρήγορη προβολή και ειδοποιήσεις για προβληματικά σημεία ή προβλήματα σε όλη την πόλη που επηρεάζουν τη συμφόρηση στους δρόμους της πόλης, τα συστήματα δημόσιας ασφάλειας και αντιμετώπισης μιας έκτακτης ανάγκης, προκειμένου να αναλάβουν δράση ή να επικοινωνήσουν πιο αποτελεσματικά με άλλες υπηρεσίες.

Ένας μεγάλος φόβος μεταξύ των σκεπτικιστών των έξυπνων πόλεων είναι η ευπάθειά του συστήματος διαχείρισης σε κυβερνοεπιθέσεις. Άλλωστε, καθώς ο κόσμος συνδέεται περισσότερο, οι κυβερνοεπιθέσεις έχουν γίνει σχεδόν συνηθισμένες μεταξύ των εγκληματιών και ακόμη και των εθνικών κρατών, καθώς στοχεύουν σε κρίσιμες υποδομές, όπως δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας συνδεδεμένα στο διαδίκτυο και τραπεζικά συστήματα.

Ωστόσο, οι ίδιες οι επιθέσεις δεν είναι κάτι καινούργιο, μόνο τα εργαλεία είναι καινοτόμα. Οι τράπεζες, τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και άλλες κρίσιμες υποδομές συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών

ήταν ευάλωτες σε φυσικές επιθέσεις πολύ πριν κυκλοφορήσουν υπολογιστές. Οι φυσικές απειλές, όπως εγκληματίες που κλέβουν αυτοκίνητα, τρομοκράτες που χρησιμοποιούν οχήματα ως όπλα και οι κακοποιοί που κρατούν ομήρους τα μέσα μαζικής μεταφοράς μπορούν όλες να μετριαστούν όταν τα οχήματα και οι υποδομές είναι ενσωματωμένα, δικτυωμένα και αυτόνομα.

Όσο για τον κίνδυνο κυβερνοεπιθέσεων, είναι πολύ πιο εύκολο να αμυνθούμε σε αυτές από ότι από τις φυσικές απειλές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι σωστές ενημερώσεις λογισμικού, οι κρυπτογραφημένες επικοινωνίες μέσω διαύλων εικονικού ιδιωτικού δικτύου (VPN) και άλλες πολυεπίπεδες πρακτικές ασφάλειας μπορούν να μετριάσουν τον κίνδυνο κυβερνοεπιθέσεων. Αυτό σημαίνει ότι οι έξυπνες μεταφορές για έξυπνες πόλεις μπορούν να κάνουν τις σύγχρονες δημόσιες συγκοινωνίες ασφαλέστερες συνολικά μειώνοντας τις ευκαιρίες τόσο για φυσικές επιθέσεις όσο και για κυβερνοεπιθέσεις.

Η ιστορία των μεταφορών είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το περιβάλλον. Από τα ατμοκίνητα οχήματα που έκαιγαν κάρβουνο και ξύλο μέχρι τους σημερινούς κινητήρες εσωτερικής καύσης που απαιτούν βενζίνη ή πετρέλαιο, η μεταφορά επιβαρύνει τους πόρους και την ατμόσφαιρα του πλανήτη. Ενώ γίνονται καθημερινά επιστημονικές μελέτες για τον εντοπισμό εναλλακτικών πηγών ενέργειας για την τροφοδοσία του τομέα των μεταφορών, ένα άλλο πλεονέκτημα της τεχνολογίας έξυπνων μεταφορών είναι ότι επιτρέπει στις πόλεις να χρησιμοποιούν τους σημερινούς πόρους τους πιο υπεύθυνα.

Η μαζική μεταφορά είναι καλύτερη για το περιβάλλον από τα ιδιωτικά οχήματα, αλλά δεν χρησιμοποιείται ευρέως στις ΗΠΑ και σε άλλες χώρες, επειδή είναι συχνά ανέφικτη σε ορισμένες περιοχές. Ωστόσο, με την αύξηση της αποδοτικότητας που προέρχεται από έξυπνες λύσεις μεταφορών, οι σύγχρονες δημόσιες συγκοινωνίες μπορούν να γίνουν προσοδοφόρες για περισσότερα τμήματα του πληθυσμού. Καθώς η τεχνολογία αστικών μεταφορών βελτιώνεται στις μεγάλες πόλεις, οι αποδεδειγμένες μέθοδοι μπορούν να επαναληφθούν και να εξαπλωθούν σε περιοχές που πραγματικά θέλουν τα οφέλη μιας έξυπνης πόλης.

Παγκόσμιες κρίσεις όπως η πανδημία του κορονοϊού έχουν αποδείξει ότι οι παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού είναι ευάλωτες σε διαταραχές. Όταν οι εργαζόμενοι και οι οδηγοί είναι άρρωστοι και τα ταξίδια από τη μια περιοχή στην άλλη γίνονται κίνδυνοι για τη δημόσια

υγεία, η αυτόνομη μεταφορά εμπορευμάτων μπορεί να γίνει κυριολεκτικά σωτήρια.

Έργα όπως το έργο συνδεδεμένων οχημάτων του Wyoming μπορεί να είναι το κλειδί για τη διαμόρφωση μιας αυτόνομης αλυσίδας εφοδιασμού που θα τροφοδοτείται από έξυπνα συστήματα μεταφοράς και συστήματα εφοδιαστικής από πόλη σε πόλη για τη μεταφορά ζωτικών αγαθών όπως τρόφιμα και προμήθειες έκτακτης ανάγκης χωρίς να χρειάζεται να διακινδυνεύσουν οδηγούς. Ελάχιστα, το εργατικό δυναμικό της ανθρώπινης αλυσίδας εφοδιασμού μπορεί να αυξηθεί οπουδήποτε μπορεί να βελτιωθεί η ασφάλεια και η αποδοτικότητα χρησιμοποιώντας αυτοματοποίηση, τεχνητή νοημοσύνη και ρομποτική. Τα καλά νέα είναι ότι οι ειδικοί πιστεύουν ότι αυτές οι καινοτομίες θα υποστηρίξουν τη δημιουργία περισσότερων και ασφαλέστερων θέσεων εργασίας καθώς οι προγραμματιστές, οι τεχνικοί, οι αναλυτές και οι διαχειριστές συμβάλλουν στην προώθηση των προϊόντων στην αγορά και στη διατήρησή τους.

4.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Παρόλα τα οφέλη τους, ορισμένα μειονεκτήματα μπορεί να βγουν στην επιφάνεια καθώς εφαρμόζονται συστήματα έξυπνων μεταφορών πόλεων. Αυτά τα προβλήματα επικεντρώνονται κυρίως στην κατανάλωση ενέργειας και την υπεύθυνη διαχείριση δεδομένων.

Οι έξυπνες πόλεις απαιτούν αισθητήρες, και μάλιστα πολλούς, και όλοι αυτοί οι αισθητήρες απαιτούν ισχύ. Για αισθητήρες προσαρτημένους σε κινούμενα αντικείμενα, αυτό απαιτεί μπαταρίες. Οι σταθεροί αισθητήρες ίσως να μπορούν να χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια, αλλά τις περισσότερες φορές θα χρειαστεί να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο της πόλης. Ο τεράστιος αριθμός αισθητήρων που απαιτείται για τη μετάβαση του κόσμου σε έξυπνες πόλεις (εκτιμάται σε τρισεκατομμύρια) καθιστά την τροφοδοσία τόσων πολλών συσκευών ένα τρομακτικό πρόβλημα. Ακόμη και για τους αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, η απαραίτητη ποσότητα πρώτης ύλης (όπως ο χαλκός) είναι σημαντικά υψηλή σε σύγκριση με αυτήν που έχει συνηθίσει να παράγει ο παγκόσμιος πληθυσμός.

Εκτός από την ισχύ, γίνεται σήμερα στον κόσμο μια μεγάλη και σημαντική συζήτηση σχετικά με τα προσωπικά δεδομένα στο διαδίκτυο. Τα δεδομένα είναι η ζωτική δύναμη που χρειάζονται οι έξυπνες πόλεις για να λειτουργήσουν. Ενώ πολλές από τις πληροφορίες που απαιτούνται είναι ανώνυμες σε σύγκριση με τα διαδικτυακά δεδομένα, αναμένεται ότι η συλλογή και χρήση αυτών των πληροφοριών θα απαιτήσει μια αλλαγή στάσης του κόσμου όσον αφορά τη σκέψη και τη συμπεριφορά. Τα αυτοκίνητα θα πρέπει να συλλέγουν πληροφορίες θέσης και οι αισθητήρες γύρω από μια πόλη θα πρέπει να συλλέγουν παθητικά τα σήματα που εκπέμπει ένα έξυπνο τηλέφωνο όλη την ημέρα. Για να ευδοκιμήσουν οι έξυπνες πόλεις στο μέλλον θα πρέπει να θεσπιστούν υπεύθυνοι νόμοι και πολιτικές για τη διαχείριση των δεδομένων, όσο ανώνυμα και αν είναι αυτά.

4.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Οι έξυπνες μεταφορές μπορούν γενικά να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τη δημόσια υποδομή και την αυτοκινητοβιομηχανία. Αυτοί οι δύο τομείς γίνονται «έξυπνοι» όταν οι δικτυωμένοι αισθητήρες ενσωματώνονται σε υποδομές και οχήματα σε μια προσπάθεια να επιτευχθούν οι στόχοι της απομακρυσμένης διαχείρισης και ελέγχου, της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας. Φανταστείτε μια πολυσύχναστη διασταύρωση πόλης. Οι πεζοί προσπαθούν να περάσουν. Τα φανάρια ρυθμίζουν τη ροή της κυκλοφορίας. Οι οδηγοί στα οχήματα προσπαθούν πολύ να φτάσουν στον προορισμό τους. Στα παραδοσιακά συστήματα μεταφοράς, τα φανάρια ενεργοποιούνται είτε μέσω χρονοδιακόπτη, πινακίδων πίεσης κάτω από το δρόμο ή κουμπιών πεζών στο πεζοδρόμιο. Τόσο οι οδηγοί όσο και οι πεζοί είναι υπεύθυνοι για την προσοχή (και την παρακολούθηση) των σημάτων κυκλοφορίας. Εάν οτιδήποτε από όλα αυτά αποτύχει, τόσο η αποτελεσματικότητα όσο και η ασφάλεια μειώνονται. Ένας απρόσεκτος οδηγός περνάει με κόκκινο. Ένας πεζός δεν καταφέρνει να πατήσει το κουμπί της διάβασης πεζών, χάνοντας έτσι τη σειρά του και πρέπει να περιμένει περισσότερο. Ο φωτεινός σηματοδότης αρνείται να αλλάξει παρά το γεγονός ότι υπάρχει μόνο ένα αυτοκίνητο που περιμένει και καθόλου κίνηση.

Σε μια έξυπνη διασταύρωση, όμως, όλα αυτά αλλάζουν. Ένα όχημα μπορεί να χρησιμοποιήσει συνδυασμό bluetooth και LIDAR (light detection and ranging) για τον εντοπισμό πεζών και μπορεί αυτόματα να αρχίσει να φρενάρει για να αποφύγει ατύχημα. Οι φωτεινοί σηματοδότες μπορούν να λαμβάνουν τα μεμονωμένα σήματα που αποστέλλονται από τα οχήματα για να καθορίσουν πόσα αυτοκίνητα περιμένουν και προς ποια κατεύθυνση, πολύ πιο σωστά και αποτελεσματικά από τις πινακίδες πίεσης και τα χρονόμετρα. Τα αυτοκίνητα και οι σηματοδότες μπορούν ακόμη και να επικοινωνούν στο επίπεδο που, όταν το φως ανάψει πράσινο (ή στείλει το σήμα "go" στον υπολογιστή του αυτοκινήτου), το αυτοκίνητο αρχίζει αυτόματα να κινείται και όταν γίνεται κόκκινο (ή στέλνει σήμα "stop"), το αυτοκίνητο επιβραδύνει και σταματά. Όλα αυτά καθίστανται δυνατά χάρη στην εφαρμογή της τεχνολογίας στις μεταφορές, όπως IoT και ταχύτητες επικοινωνίας 5G για ενέργειες σε πραγματικό χρόνο και τηλεπισκόπηση.

Ανεξάρτητα από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των έξυπνων πόλεων, η τεχνολογία είναι εδώ και χρησιμοποιείται σήμερα. Σε όλες τις ΗΠΑ και τον κόσμο, έξυπνοι αισθητήρες και ελεγκτές εφαρμόζονται σε δίκτυα τρένων, συστήματα πληροφοριών επιβατών και αποστολές δημόσιων συγκοινωνιών. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα έξυπνων μεταφορών πόλης:

- ❖ Έξυπνη διαχείριση κυκλοφορίας στο Miami Dade
- ❖ Αρχή Μεταφορών της Νότιας Πενσυλβάνια (SEPTA) Θετικός έλεγχος τρένων (PTC)
- ❖ Σύστημα Αποστολής Ταχείας Προαστιακής Κινητικότητας για Ταχεία Διαμετακόμιση (SMART)

4.5 ΣΥΝΔΕΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) είναι το κλειδί για τα μελλοντικά έξυπνα και πράσινα συστήματα μεταφοράς. Με τις πανταχού παρούσες τεχνολογίες Internet of Things συμπεριλαμβανομένων των τεχνολογιών επικοινωνίας από όχημα σε όχημα και από όχημα σε υποδομή, η σύνδεση του διαδικτύου, των ηλεκτρικών οχημάτων, των σταθμών φόρτισης και του έξυπνου δικτύου αποτελεί μια τέλεια δέσμη ευκαιριών για

μελλοντικά πράσινα και έξυπνα συστήματα μεταφοράς. Σε αυτήν την περίπτωση, οι αξιόπιστες και αποτελεσματικές ανταλλαγές πληροφοριών μεταξύ ηλεκτρικών οχημάτων, μετρητών, σταθμών φόρτισης και δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και έξυπνων υπηρεσιών φόρτισης, είναι βασικά ζητήματα, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια. Για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων, προωθούνται σχεδιασμοί υβριδικών δικτύων επικοινωνίας από όχημα σε υποδομή και από όχημα σε όχημα, που διευκολύνονται από πανταχού παρόντα συστήματα επικοινωνίας. Θεωρείται σίγουρο ότι τα δικτυωμένα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί όχι μόνο να φέρουν επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο κινούνται οι άνθρωποι και τα αγαθά, αλλά και στον τρόπο με τον οποίο ρέει η ενέργεια, οδηγώντας σε μελλοντικά πράσινα και ευφυή συστήματα μεταφοράς και αντικειμένων και ενέργειας.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το μέλλον είναι ηλεκτρικό για τις χερσαίες μεταφορές στη Γη, καθώς τα καύσιμα πετρελαίου αναμένεται να εξαντληθούν εντός 50 έως 60 ετών. Τα ηλεκτρικά οχήματα προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα: αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας της χώρας με μείωση της κατανάλωσης πετρελαίου, υποστήριξη πρωτοβουλιών για την αλλαγή του κλίματος με μείωση των επιβλαβών εκπομπών, μείωση των κινδύνων για τη δημόσια υγεία λόγω της κακής ποιότητας του αέρα και της μακροπρόθεσμης οικονομικής ανάπτυξης μέσω της εισαγωγής νέων τεχνολογιών και υποδομών. Υπάρχουν, ωστόσο, πολλές τεχνικές και κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν πριν από την ευρεία αποδοχή των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτές περιλαμβάνουν το υψηλό κόστος κεφαλαίου, τις μικρότερες διαδρομές οδήγησης, το μεγάλο χρόνο φόρτισης, το μεγάλο βάρος και το μεγάλο μέγεθος μπαταριών και την ανάγκη για εγκαταστάσεις γρήγορης φόρτισης.

Τα ηλεκτρικά οχήματα είναι καθαρά μόνο στο σημείο χρήσης. Η μείωση της ρύπανσης των οχημάτων μέσω της ανάπτυξης ηλεκτρικών οχημάτων θα είναι πιο ουσιαστική εάν τροφοδοτούνται από ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από καθαρούς πόρους για να αποφευχθεί η ρύπανση που προκαλείται διαφορετικά από σταθμούς παραγωγής που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα.

Έτσι, ο ρόλος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα των μεταφορών είναι καθοριστικός στην παρούσα φάση. Προκειμένου να αυξηθεί το μερίδιο των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών, αναπτύσσονται σταθμοί επαναφόρτισης με ηλιακή ενέργεια από πολλά κράτη. Αρκετοί από αυτούς τους σταθμούς επαναφόρτισης L1 ή L2 έχουν ήδη αναπτυχθεί σε περιοχές με υψηλή συγκέντρωση οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων χώρων γραφείων, εμπορικών κέντρων και άλλων δημόσιων χώρων όπου τα αυτοκίνητα μπορούν να σταθμεύσουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Διάφορες πρωτοβουλίες για την αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ στις οδικές μεταφορές έχουν προταθεί. Αυτές περιλαμβάνουν σταθμούς φόρτισης ηλιακών φωτοβολταϊκών και

ανεμογεννητριών, τόσο σε κατοικημένες περιοχές όσο και σε χώρους εργασίας.

Μια επερχόμενη τεχνολογία στη φόρτιση EV είναι η φόρτιση εν κινήσει. Αυτή χρησιμοποιεί δυναμική φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων μέσω επαγωγής ενώ κινούνται σε ειδικές λωρίδες. Το πλεονέκτημα αυτού του σχεδιασμού είναι ότι τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να έχουν μικρότερες μπαταρίες που οδηγούν σε ελαφρύτερο και αποδοτικότερο όχημα εκτός από εξοικονόμηση χρόνου για φόρτιση. Μια έξυπνη εφαρμογή των ηλεκτρικών οχημάτων είναι οι έννοιες Grid-to-Vehicle (G2V) και Vehicle-to-Grid (V2G), στις οποίες η ενέργεια ρέει από και προς το όχημα, μετατρέποντάς το σε καταναμημένο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Κατά τη διάρκεια των λίγων ωρών ζήτησης ενέργειας, οι μπαταρίες του EV φορτίζονται με τη χρήση δικτύου (G2V) και κατά τις ώρες αιχμής, οι μπαταρίες αποφορτίζουν την ισχύ στο δίκτυο (V2G). Με αυτούς τους τρόπους λειτουργίας, το EV μπορεί να λειτουργήσει είτε ως φορτίο (φόρτιση) είτε ως γεννήτρια (εκφόρτιση), όπως απαιτείται. Όταν ο αριθμός των EVs γίνει αρκετά μεγάλος, αυτή η ικανότητα των ηλεκτρικών οχημάτων θα γίνει ένα σημαντικό μέρος των λεγόμενων έξυπνων δικτύων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. K.V. Vidyanandan, Overview of Electric and Hybrid Vehicles, https://www.researchgate.net/publication/323497072_Overview_of_Electric_and_Hybrid_Vehicles
2. Francis Mwasilu, Jackson John Justo, Eun-Kyung Kim, Ton Duc Do, Jin-Woo Jung, Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 34 (2014) 501–516.
3. Fengqi Zhang, Lihua Wang, Serdar Coskun, Hui Pang, Yahui Cui and Junqiang Xi, Energy Management Strategies for Hybrid Electric Vehicles: Review, Classification, Comparison, and Outlook, *Energies* (2020), 13, 3352.
4. Vitor Monteiro, Jose A. Afonso, Joao C. Ferreira and Joao L. Afonso, Vehicle Electrification: New Challenges and Opportunities for Smart Grids, *Energies* (2019), 12, 118.
5. Alicia Triviño, José M. González-González and José A. Aguado, Wireless Power Transfer Technologies Applied to Electric Vehicles: A Review, *Energies* (2021), 14, 1547.
6. <https://www.digi.com/blog/post/introduction-to-smart-transportation-benefits>
7. Lin Cai, Jianping Pan, Lian Zhao, and Xuemin Shen, Networked Electric Vehicles for Green Intelligent Transportation, *IEEE Communications Standards Magazine* June 2017, 77-83.
8. Jobann Andersen and Steve Sutcliffe, INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS (ITS)-AN OVERVIEW, *IFAC Technology Transfer in Developing Countries*, Pretoria, South Africa, (2000), 99-106.
9. Kempton W, Letendre S., Electric vehicles as a new power source for electric utilities. *J Transp Res Part D* (1997) 2 (3) 157-175.