

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
« ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ-ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ »



Σπουδαστές: Μπαρλίκας Αλέξανδρος ΑΜ:7262
Μουγιολάρι Μανιολ ΑΜ:7239

Επιβλέπων Καθηγητής: Μαυρίδης Κωνσταντίνος

ΠΑΤΡΑ 2022

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται ως « **ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟ-ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ** »

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέπον αναπληρωτή καθηγητή **Μαυρίδη Κωνσταντίνο**, ο οποίος με την κατάλληλη καθοδήγησή του βοήθησε στη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω.....

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουν επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, 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.

Ο σπουδαστής

.....

.....

(Υπογραφή)

Ο σπουδαστής

.....

.....

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το εξάρτημα πρόωσης που είναι κοινό στις προηγμένες εναλλακτικές τεχνολογίες των συμβατικών οχημάτων με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICEV) είναι το ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Τα ηλεκτρικά οχήματα (EV), τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV), τα plug-in υβριδικά οχήματα (PHEV) και τα ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες καυσίμου (FCEV) έχουν όλα ένα εξάρτημα ηλεκτρικού συστήματος μετάδοσης της κίνησης. Η τοποθέτηση των διαφορετικών εξαρτημάτων του συστήματος μετάδοσης της κίνησης στα EV και τα υβριδικά οχήματα σε σχέση μεταξύ τους αναφέρεται ως η αρχιτεκτονική του οχήματος. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρονται οι λειτουργίες των ηλεκτρικών οχημάτων. Επιπλέον, δίνεται αρκετή έμφαση στη διαδικασία της φόρτισης και των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 13 -
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	- 13 -
1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	- 14 -
1.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	- 16 -
1.3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	- 17 -
1.4 ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	- 18 -
1.4.1 ΑΠΟ ΤΑ ΗΕV ΣΤΑ PLUG-IN ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	- 19 -
1.5 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ AC ΚΑΙ DC ΜΕ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ	- 22 -
1.5.1 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ AC	- 22 -
1.5.2 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ DC	- 23 -
1.5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ AC ΚΑΙ DC ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ	- 24 -
1.6 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ	- 26 -
1.7 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΓΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	- 27 -
1.8 ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΡΙΖΑ	- 27 -
1.9 ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ PLUG-IN HYBRID VEHICLES ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 27 -
2. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	- 28 -
2.1 ΒΑΣΙΚΑ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	- 28 -
2.1.1 ΔΟΜΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	- 28 -
2.1.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	- 29 -
2.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ	- 29 -
2.2.1 ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	- 29 -
2.2.2 ΤΑΣΗ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ	- 30 -

2.2.3 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	- 30 -
2.2.4 ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ	- 30 -
2.2.5 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΒΑΘΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ	- 30 -
2.2.6 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	- 30 -
2.2.7 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ RAGONE	- 30 -
2.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ ΓΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ	- 31 -
2.3.1 ΕΝΟΤΗΤΕΣ/ΠΑΚΕΤΑ	- 32 -
2.3.2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ	- 32 -
2.3.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ	- 33 -
2.3.4 ΘΕΡΜΙΚΑ	- 33 -
2.4 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΗΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΛΙΘΙΟΥ ΓΙΑ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	- 35 -
2.5 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	- 36 -
2.6 ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	- 38 -
2.6.1 ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 38 -
2.6.2 ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	- 43 -
3. ΦΟΡΤΙΣΤΕΣ	- 46 -
3.1 ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΥΠΟΔΟΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ	- 46 -
3.1.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	- 46 -
3.1.2 ΕΠΙΠΕΔΑ ΙΣΧΥΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΗ	- 48 -
3.1.3 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	- 48 -
3.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΒΥΣΜΑΤΙΚΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	- 51 -
3.2.1 ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΙ ΦΟΡΤΙΣΤΕΣ	- 52 -
3.2.2 ΦΟΡΤΙΣΤΕΣ ΕΚΤΟΣ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	- 56 -
3.2.3 ΚΟΙΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΝΟΝΙΚΗ ΑΣ	- 58 -
3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΓΙΑ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	- 58 -
4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΉΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ	- 61 -

4.1	ΓΕΝΙΚΑ	- 61 -
4.2	ΈΞΥΠΝΗ ΠΟΛΗ	- 62 -
4.3	ΥΠΟΔΟΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	- 63 -
4.3.1	ΕΠΙΠΕΔΑ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	- 64 -
4.3.2	ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ: ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΤΑΣΕΙΣ	- 66 -
4.3.3	ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	- 67 -
4.4	ΈΞΥΠΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ	- 67 -
4.4.1	ΣΤΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΞΥΠΝΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	- 69 -
4.4.2	ΈΞΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ	- 70 -
4.4.3	ΌΧΗΜΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	- 71 -
4.4.4	ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΌΧΗΜΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	- 73 -
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝ	- 74 -

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Μπαταρία ηλεκτρικού οχήματος	- 40 -
Εικόνα 2.2: Υπερπυκνωτές	- 42 -
Εικόνα 2.3: Σφόνδυλος για οχήματα Porsche και Volkswagen	- 43 -
Εικόνα 2.4: Κυψέλη καυσίμου	- 45 -
Εικόνα 3.1: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος	- 47 -
Εικόνα 3.2: Φορτιστές ηλεκτρικών οχημάτων	- 48 -
Εικόνα 3.3: Παράδειγμα επαγωγικής φόρτισης	- 50 -
Εικόνα 3.4: Διαφορετικοί τύποι βυσμάτων για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων	- 53 -
Εικόνα 4.1: Χαρακτηριστικά μιας έξυπνης πόλης	- 63 -
Εικόνα 4.2: Επίπεδα φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων	- 66 -
Εικόνα 4.3: Επικοινωνία του οχήματος με το δίκτυο	- 72 -

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αυτό το εισαγωγικό κεφάλαιο εστιάζει ιδιαίτερα στη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας ως πηγή ενέργειας για τις μεταφορές και περιγράφει πώς οι νέες, αλλά και οι υπάρχουσες τεχνολογίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν ένα διαφορετικό μείγμα για τα οχήματα και μια βελτιωμένη ενεργειακή υποδομή, που χρησιμεύει ως ο βασικός παράγοντας της αλληλεπίδρασης μεταξύ των οχημάτων και του δικτύου κοινής ωφέλειας. Επίσης αναφέρονται οι επεξηγήσεις για τα ηλεκτρικά οχήματα, οι διαφορετικές αρχιτεκτονικές κ.λπ.

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τις τελευταίες δεκαετίες, η αυξανόμενη ανησυχία για την κλιματική αλλαγή, την ενεργειακή ανεξαρτησία και την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού έχουν επιταχύνει την πορεία προς την απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές του τομέα των μεταφορών. Πιο συγκεκριμένα, οι οδικές μεταφορές αντιπροσώπευαν το 21% της παγκόσμιας κατανάλωσης της ενέργειας και το 17% των παγκόσμιων εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) το 2013. Οι εκπομπές του άνθρακα από τις οδικές μεταφορές αυξάνονται σταθερά και θα συνεχίσουν να αυξάνονται εάν οι οδικές μεταφορές δεν αποσυνδεθούν σταδιακά από τα ορυκτά καύσιμα. Είναι προφανές ότι η σταθεροποίηση της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από τους $2^\circ C$ σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα απαιτεί ένα συνδυασμό βελτιωμένης απόδοσης του καυσίμου και χρήσης εναλλακτικών καυσίμων στις οδικές μεταφορές, ιδιαίτερα κάποιων προηγμένων βιοκαυσίμων, ηλεκτρικής ενέργειας και υδρογόνου.

Για τους λόγους που αναφέρθηκαν, αυτή η αυξανόμενη ανησυχία για την κλιματική αλλαγή πυροδότησε συμφωνίες μεταξύ των χωρών της ΕΕ για μείωση των εκπομπών τους κατά 80% έως το 2050, για σταθεροποίηση του ατμοσφαιρικού CO_2 στα 450 ppm, προκειμένου να διατηρηθεί η υπερθέρμανση του πλανήτη κάτω από τους $2^\circ C$. Σημειώνεται ότι μέσω αυτών των συμφωνιών ο κλάδος των οδικών μεταφορών αναμένεται να μειώσει τις εκπομπές του κατά 95%. Επιπλέον, καθώς η αστική ρύπανση λόγω της χρήσης των οχημάτων ευθύνεται για σοβαρά προβλήματα υγείας, η δημιουργία ενός συστήματος μεταφοράς χαμηλών εκπομπών άνθρακα έχει μεγάλη σημασία για ένα βιώσιμο μέλλον [1]. Προς αυτή την κατεύθυνση, οι εναλλακτικές τεχνολογίες των οχημάτων (AVT), όπως τα ηλεκτρικά οχήματα (EV), είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που μπορεί να αντιμετωπίσει τις αυξημένες εκπομπές CO_2 και τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, καθώς και το θόρυβο που προέρχεται από τα επιβατικά αυτοκίνητα και ελαφρά επαγγελματικά οχήματα. Η ηλεκτροδότηση των οδικών μεταφορών αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη αυτών των στόχων, δεδομένου ότι το ηλεκτρικό σύστημα είναι σημαντικά πιο ενεργειακά αποδοτικό από το συμβατικό και η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται θα μπορούσε να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο εφαρμόζουν διαφορετικές πρωτοβουλίες, πολιτικές και προγράμματα για την ευρύτερη υιοθέτηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Τα κίνητρα για το κόστος αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων, η ανάπτυξη της υποδομής της φόρτισης και η αύξηση της ευαισθητοποίησης του κοινού για τα οφέλη των ηλεκτρικών οχημάτων είναι μεταξύ των δράσεων που λαμβάνονται για την προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων. Για παράδειγμα, προκειμένου να επιταχυνθεί η υιοθέτηση των AVTs, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) σχεδιάζει να συνοδεύσει την πολιτική της απόφαση με ένα κανονιστικό πλαίσιο, το οποίο θα συνδυάζει τους αποφασισμένους στόχους CO_2 για το 2025 και το 2030 με έναν τεχνολογικά ουδέτερο μηχανισμό κινήτρων για οχήματα με χαμηλές εκπομπές ρύπων, προκειμένου να επιταχυνθεί η διείσδυσή τους. Το κίνητρο καλύπτει τόσο τα οχήματα μηδενικών εκπομπών όσο και τα οχήματα χαμηλών εκπομπών (με εκπομπές κάτω από 50 g CO_2 ανά km). Σε αυτό το πλαίσιο, οι κατασκευαστές επιτυγχάνουν μερίδιο οχημάτων μηδενικών και χαμηλών εκπομπών, το οποίο είναι υψηλότερο από το συμφωνηθέν επίπεδο αναφοράς για το 2025 και το 2030 (οι προτεινόμενες τιμές αναφοράς είναι 15% και 30% για το 2025 και το 2030, αντίστοιχα).

Από τον 19ο αιώνα, οι τεχνολογίες των EV έχουν περάσει από μια σειρά τεχνολογικών εξελίξεων με στόχο να είναι ανταγωνιστικές με τα κυρίαρχα οχήματα με κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE). Η εφεύρεση του ηλεκτροκινητήρα ωφέλησε τη χρήση των ηλεκτροκίνητων οχημάτων. Ο Robert Anderson, κατά την περίοδο 1832-1839, εφηύρε το πρώτο πρωτότυπο ηλεκτροκίνητο βαγόνι, το οποίο τροφοδοτείτο από μη επαναφορτιζόμενες πρωτεύουσες κυψέλες [2]. Ωστόσο, μόνο στα τέλη του 19ου αιώνα ορισμένες μονάδες παρήχθησαν στη Βόρεια Αμερική, το Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γαλλία. Επιπλέον, το πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο αναφέρθηκε το 1899 από το ίδρυμα Pierer της Λιέγης στο Βέλγιο και το 1900 ο Δρ. Ferdinand Porsche ανέπτυξε το πρώτο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα της σειράς στον κόσμο (HEV). Λόγω των περιορισμών που επιβάλλονται από το υψηλό αρχικό κόστος και την περιορισμένη αυτονομία, τα EV αφαιρέθηκαν από την αγορά τη δεκαετία του 1930 και μόνο μετά τη δεκαετία του 1970 επέστρεψε το ενδιαφέρον για αυτήν την τεχνολογία.

Τις τελευταίες δεκαετίες, έχει δοθεί προσοχή στη βελτίωση των τεχνολογιών των EV, ευθυγραμμισμένες με τους περιορισμούς των εκπομπών του άνθρακα. Τα τελευταία 10 χρόνια οι τεχνολογίες των EV έχουν επωφεληθεί από ευρωπαϊκά και αμερικανικά προγράμματα για την ανάπτυξη καθαρών τεχνολογιών για τη μείωση του CO_2 . Το ηλεκτρικό τρένο, η μπαταρία, η υποδομή της φόρτισης, η παγκόσμια αγορά των οχημάτων, οι τιμές της ενέργειας, η κλιματική πολιτική και ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα κύρια στοιχεία που γνώρισαν μια σημαντική αλλαγή κατά τη διαδικασία της ανάπτυξης των EV. Η συνεχής ανάπτυξη των τεχνολογιών EV είναι κρίσιμης σημασίας για τη βελτίωση της απόδοσης των EV και την αύξηση της ανταγωνιστικότητάς τους. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί ότι η ηλεκτροδότηση του τομέα των μεταφορών είναι ευεργετική για τη μείωση των εκπομπών, αν και το πόσο βοηθά εξαρτάται σημαντικά από την πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των οχημάτων: ανανεώσιμες πηγές, πυρηνική ενέργεια, ή ορυκτά καύσιμα.

1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Τα ηλεκτρικά οχήματα, έχουν φορητή πηγή ενέργειας και η ελκτική προσπάθεια προέρχεται αποκλειστικά από μία ή περισσότερες ηλεκτρικές μηχανές. Το BEV (ηλεκτρικό όχημα μπαταρίας) που τροφοδοτείται από μόνο μία, ή περισσότερες ηλεκτρικές μηχανές έχει την πιο απλή αρχιτεκτονική χωρίς την ανάγκη ανάμειξης της ισχύος. Τα κύρια στοιχεία ενός συστήματος EV είναι ο κινητήρας, ο ελεγκτής, η πηγή ισχύος και η μετάδοση.

Οι ηλεκτροχημικές μπαταρίες είναι η παραδοσιακή πηγή ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα. Οι μπαταρίες μολύβδου/οξέος χρησιμοποιήθηκαν στο πρώτο εμπορικά διαθέσιμο EV Saturn EV1 το 1996, αλλά από τότε, η τεχνολογία έχει προχωρήσει προς τις μπαταρίες NiMH και Li-ion. Οι μπαταρίες χρειάζονται φορτιστή για να επαναφέρουν το αποθηκευμένο επίπεδο της ενέργειας μόλις η διαθέσιμη ενέργειά τους σχεδόν εξαντληθεί λόγω της χρήσης. Το πρόβλημα της περιορισμένης εμβέλειας των ηλεκτρικών οχημάτων με μπαταρίες ώθησε την αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, όπως τις κυψέλες καυσίμου και τους σφόνδουλους. Πρωτότυπα, έχει αναπτυχθεί ένας περιορισμένος αριθμός μοντέλων και οχημάτων του στόλου με κυψέλες καυσίμου τις τελευταίες δύο δεκαετίες, αλλά ταυτόχρονα η τεχνολογία των μπαταριών έχει επίσης προχωρήσει σημαντικά. Έχουν προκύψει αρκετοί διαφορετικοί τύποι χημείας των μπαταριών Li-ion που χρησιμοποιούνται τόσο σε EV όσο και σε HEV.

Τα EV που αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια βασίζονται σε επαγωγικές μηχανές, ή μηχανές μόνιμου μαγνήτη. Στα αρχικά στάδια ανάπτυξης των EV, χρησιμοποιήθηκαν μηχανές DC, αλλά τα πολλά μειονεκτήματά τους, έκαναν τους προγραμματιστές των EV να αναζητήσουν διάφορους τύπους μηχανών AC. Η φύση των επαγωγικών μηχανών χωρίς υλικά σπανίων γαιών, χωρίς συντήρηση και χαμηλό κόστος είναι ελκυστική για ορισμένους. Η λειτουργία των επαγωγικών μηχανών υψηλής ταχύτητας συνοδεύεται από ποινή ως προς το μέγεθος και το βάρος, αν και πρόσφατες μελέτες σχετικά με την επαναβαθμολόγηση των κινητήρων επαγωγής για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ανοίγουν νέες προοπτικές ακόμη και στο εύρος των υψηλών ταχυτήτων. Η υψηλή απόδοση μαζί με τα χαρακτηριστικά της υψηλής πυκνότητας ισχύος των μηχανών του μόνιμου μαγνήτη τα καθιστά μια ελκυστική λύση για εφαρμογές EV, αν και το κόστος των μόνιμων μαγνητών μπορεί να γίνει απαγορευτικό στο μέλλον, εκτός εάν αναπτυχθούν επιλογές χαμηλού κόστους για τους μόνιμους μαγνήτες υψηλής ενέργειας. Η υψηλή πυκνότητα ισχύος και το δυνητικά χαμηλό κόστος παραγωγής των μηχανών το καθιστούν ιδανικό για εφαρμογές EV. Ωστόσο, το πρόβλημα του ακουστικού θορύβου ήταν μέχρι στιγμής ο αποτρεπτικός παράγοντας για τη χρήση των εν λόγω μηχανών στα ηλεκτρικά οχήματα. Ο σχεδιασμός του ηλεκτροκινητήρα περιλαμβάνει όχι μόνο τις ηλεκτρομαγνητικές πτυχές της μηχανής αλλά και τις θερμικές και δομικές εκτιμήσεις. Οι σημερινές εργασίες σχεδίασης του κινητήρα υποστηρίζονται από μελέτες πεπερασμένων στοιχείων και διάφορα εργαλεία σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή που καθιστούν τη διαδικασία σχεδιασμού εξαιρετικά αποτελεσματική.

Ο ηλεκτροκινητήρας κινείται από μια μονάδα επεξεργασίας της ισχύος που βασίζεται σε ηλεκτρονικά ισχύος που μετατρέπει τη σταθερή τάση DC που είναι διαθέσιμη από την πηγή σε μια πηγή μεταβλητής τάσης, μεταβλητής συχνότητας που ελέγχεται για τη διατήρηση του επιθυμητού σημείου λειτουργίας του οχήματος. Το κύκλωμα των ηλεκτρονικών ισχύος περιλαμβάνει συσκευές ημιαγωγών ισχύος που

γνώρισαν τεράστια εξέλιξη τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Η τεχνολογία της ενεργοποίησης των ηλεκτρονικών ισχύος είναι μια βασική κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη αποδοτικής και υψηλής απόδοσης της μονάδας μετάδοσης της κίνησης για τα EV. Η πρόοδος των συσκευών στερεάς κατάστασης ισχύος και η τεχνολογία VLSI (ενσωμάτωση πολύ μεγάλης κλίμακας) είναι υπεύθυνες για την ανάπτυξη αποδοτικών και συμπαγών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ισχύος και ηλεκτρονικών μονάδων ελέγχου. Συσκευές υψηλής ισχύος σε συμπαγή συσκευασία είναι διαθέσιμες σήμερα, που επιτρέπουν την ανάπτυξη ελαφριών και αποτελεσματικών μονάδων επεξεργασίας ισχύος γνωστών ως ηλεκτρονικούς ηλεκτροκινητήρες ισχύος. Οι εξελίξεις σε επεξεργαστές ψηφιακού σήματος υψηλής ταχύτητας ή μικροεπεξεργαστές επιτρέπουν την υλοποίηση πολύπλοκων αλγορίθμων ελέγχου με υψηλό βαθμό ακρίβειας. Ο ελεγκτής περιλαμβάνει αλγόριθμους, τόσο για την κίνηση του κινητήρα στον εσωτερικό βρόχο, όσο και για τον έλεγχο σε επίπεδο συστήματος στον εξωτερικό βρόχο.

1.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν είτε να λειτουργούν με ηλεκτρική πρόωση είτε να έχουν μαζί τους έναν ICE. Η κινητήρια δύναμη και η βοηθητική ισχύς προέρχονται από την ισχύ που αποθηκεύεται στη μονάδα αποθήκευσης της ενέργειας, η οποία επαναφορτίζεται από την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου και την ανάκτηση της ενέργειας της πέδησης. Η ηλεκτρική ενέργεια, απαραίτητη για την κίνηση του οχήματος, μπορεί να προέρχεται από εγκαταστάσεις παραγωγής καθώς και από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αποθηκεύεται σε μπαταρίες, κυψέλες καυσίμου (FCs) και UC. Σε αντίθεση με τα συμβατικά οχήματα, το EV χρησιμοποιεί μια πιο αποδοτική πηγή ισχύος και ηλεκτρικό κινητήρα από το σύστημα ισχύος των ICE [3]. Η σπατάλη της ενέργειας μειώνεται με τη χρήση των αναγεννητικών φρένων και των θερμοηλεκτρικών γεννητριών. Η διαδικασία της πέδησης του οχήματος απορροφά την ενέργειά του, τη μετατρέπει ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια και επιστρέφει την ενέργεια στις μπαταρίες, ενώ η θερμοηλεκτρική γεννήτρια μετατρέπει αυτόματα τη θερμότητα από τον κινητήρα και τα συστήματα της μηχανής σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα EV κανονικά δεν χρειάζονται κιβώτιο ταχυτήτων, καθώς οι ηλεκτροκινητήρες έχουν υψηλή ροπή σε μεγάλο εύρος στροφών.

Η διαμόρφωση ενός συστήματος μετάδοσης της κίνησης EV αποτελείται από τρία κύρια υποσυστήματα: πρόωση ηλεκτροκινητήρα, πηγή ενέργειας και βοηθητικό υποσύστημα. Το υποσύστημα ηλεκτρικής πρόωσης περιλαμβάνει τον ελεγκτή του οχήματος, τον ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος, τον ηλεκτροκινητήρα, το μηχανικό κιβώτιο ταχυτήτων και τους κινητήριους τροχούς. Το υποσύστημα της πηγής ενέργειας περιλαμβάνει την πηγή της ενέργειας, τη μονάδα διαχείρισης της ενέργειας και τη μονάδα του ανεφοδιασμού της ενέργειας. Το βοηθητικό υποσύστημα αποτελείται από τη μονάδα του υδραυλικού τιμονιού, τη μονάδα του κλιματισμού και τη βοηθητική μονάδα της παροχής. Με βάση τις εισόδους του ελέγχου από τα πεντάλ του γκαζιού και των φρένων, ο ελεγκτής του οχήματος παρέχει σωστά σήματα ελέγχου στον ηλεκτρονικό μετατροπέα της ισχύος, ο οποίος λειτουργεί για να ρυθμίζει τη ροή της ισχύος μεταξύ του ηλεκτροκινητήρα και της πηγής της ενέργειας. Η προς τα πίσω ροή της ισχύος οφείλεται στο αναγεννητικό φρενάρισμα του EV και αυτή η αναγεννημένη ενέργεια μπορεί να αποκατασταθεί στην πηγή της ενέργειας, υπό την

προϋπόθεση ότι η πηγή της ενέργειας είναι δεκτική. Οι περισσότερες μπαταρίες των EV, καθώς και οι UC και οι σφόνδυλοι, έχουν την ικανότητα να δέχονται αναγεννητική ενέργεια. Η μονάδα διαχείρισης της ενέργειας συνεργάζεται με τον ελεγκτή του οχήματος για τον έλεγχο της πέδησης με ανάκτηση. Συνεργάζεται επίσης με τη μονάδα ανεφοδιασμού της ενέργειας για τον έλεγχο της μονάδας ανεφοδιασμού και την παρακολούθηση της χρησιμότητας της πηγής της ενέργειας. Το βοηθητικό τροφοδοτικό παρέχει την απαραίτητη ισχύ με διαφορετικά επίπεδα τάσης για όλα τα βοηθητικά ηλεκτρικά οχήματα, ειδικά τις μονάδες του κλιματισμού και του υδραυλικού τιμονιού.

Με βάση το συμπλήρωμα της ισχύος και τα χαρακτηριστικά της πρόωσης, τα EV είναι διαθέσιμα σε διάφορες αρχιτεκτονικές των συστημάτων μετάδοσης της κίνησης, επιτρέποντας διαφορετικά χαρακτηριστικά κινητικότητας και διαχείρισης της ενέργειας. Αυτές οι τεχνολογίες διαφέρουν ως προς τον τρόπο παραγωγής και/ή επαναφόρτισης της ηλεκτρικής ενέργειας επί του σκάφους και τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται ο εσωτερικός ηλεκτροκινητήρας και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης. Ο συνδυασμός χωρητικότητας των μπαταριών, δυνατοτήτων της φόρτισης και τεχνολογικής πολυπλοκότητας δίνει στους καταναλωτές τη δυνατότητα επιλογής όσον αφορά την εμβέλεια των οχημάτων, τις επιλογές ανεφοδιασμού και την τιμή. Αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως:

- Ηλεκτρικό όχημα με μπαταρία (BEV)
- Υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (HEV)
- Plug-in υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (PHEV)
- Ηλεκτρικό όχημα κυψελών καυσίμου (FCEV)

Το BEV τροφοδοτείται καθαρά από ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα αποθήκευσης της ισχύος, ενώ η πρόωσή του παρέχεται από τον ηλεκτροκινητήρα. Το σύστημα οδήγησης του HEV συνδυάζει τον ηλεκτροκινητήρα και τον κινητήρα, ενώ οι πηγές ισχύος περιλαμβάνουν τόσο την ηλεκτρική ενέργεια όσο και τη βενζίνη, ή ντίζελ. Το FCEV κινείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα και μπορεί να τροφοδοτηθεί άμεσα ή έμμεσα με χρήση υδρογόνου, μεθανόλης, αιθανόλης, ή βενζίνης.

1.3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Οι ηλεκτροκινητήρες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στις τεχνολογίες EV, καθώς ο κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια από την μπαταρία σε μηχανική ενέργεια, η οποία επιτρέπει στο όχημα να κινηθεί. Λειτουργεί επίσης ως γεννήτρια κατά τη διάρκεια της αναγεννητικής δράσης που στέλνει ενέργεια πίσω στην πηγή ενέργειας. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC) δε θεωρούνται ελκυστική επιλογή, λόγω της έλλειψης της απόδοσης, της ογκώδους δομής και της έλλειψης αξιοπιστίας [4]. Τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι ηλεκτροκινητήρων (AC και DC) για να καλύψουν τις ανάγκες του κλάδου της αυτοκινητοβιομηχανίας. Οι τύποι επαγωγής και μόνιμου μαγνήτη (PM) είναι οι πιο ευνοημένοι [5].

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος θεωρούνταν ως η καταλληλότερη τεχνολογία για τα ηλεκτρικά οχήματα λόγω των απλών ηλεκτρονικών ελέγχου τους. Ωστόσο, καθώς απαιτούν τακτική συντήρηση, δεν είναι κατάλληλοι για μαζική χρήση EV. Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος απαιτούν πολύπλοκα και δαπανηρά ηλεκτρονικά ισχύος,

συμπεριλαμβανομένου ενός μετατροπέα, καθώς η πηγή ενέργειας, δηλαδή οι μπαταρίες παρέχουν συνεχές ρεύμα. Το συνολικό κόστος των κινητήρων AC είναι υψηλότερο. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η υψηλότερη πυκνότητα ισχύος, η οποία είναι πολύ σημαντική σε μια εφαρμογή αυτοκινήτου, καθώς επιτρέπει τη χρήση μικρότερων και ελαφρύτερων κινητήρων και υψηλότερη απόδοση, η οποία μεγιστοποιεί την εμβέλεια για μια δεδομένη χωρητικότητα της μπαταρίας.

Διακρίνονται οι ακόλουθοι τύποι ηλεκτροκινητήρων που είναι κατάλληλοι για τις προαναφερθείσες τεχνολογίες EV:

- Κινητήρας συνεχούς ρεύματος
- Μοτέρ συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες μόνιμου μαγνήτη (BLDC)
- Σύγχρονος κινητήρας μόνιμου μαγνήτη (PMSM)
- Επαγωγικός κινητήρας (IM)
- Κινητήρας απροθυμίας μεταγωγής (SRM)
- Σύγχρονος κινητήρας απροθυμίας (SynRM)
- Σύγχρονος κινητήρας απροθυμίας με υποβοήθηση PM

Οι τυπικές απαιτήσεις για τεχνολογία του κινητήρα και μετάδοσης της κίνησης λαμβάνουν υπόψη τα ακόλουθα: υψηλή πυκνότητα ροπής και πυκνότητα ισχύος, ευρύ φάσμα στροφών, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργιών σταθερής ροπής και σταθερής ισχύος (CP), υψηλή απόδοση σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων, υψηλή αξιοπιστία και στιβαρότητα, με λογικό κόστος. Οι επαγωγικές μηχανές χρησιμοποιούνται για EV, HEV και FCV, λόγω της απλότητας, της στιβαρότητας και του μεγάλου εύρους των στροφών τους. Παρατηρείται ότι η απόδοση ενός IM είναι χαμηλότερη από αυτή ενός PM λόγω της εγγενούς απώλειας του ρότορα. Για το λόγο αυτό, το μέγεθος ενός IM είναι μεγαλύτερο από αυτό ενός PM (της ίδιας ισχύος και ταχύτητας). Από την άλλη πλευρά, τα PM χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, υψηλή ροπή και υψηλότερη πυκνότητα ισχύος, καθιστώντας τα έτσι μια προτιμώμενη επιλογή για πολλά EV. Παρόλα αυτά, οι κινητήρες PM έχουν εγγενώς μια μικρή εμβέλεια CP, που προέρχεται από την παρουσία του πεδίου PM, το οποίο μπορεί να εξασθενήσει μόνο μέσω της παραγωγής ενός στοιχείου πεδίου στάτορα, το οποίο αντιτίθεται στο μαγνητικό πεδίο του δρομέα. Σε περίπτωση σφάλματος και βραχυκυκλώματος της περιέλιξης του στάτορα, το σύστημα μπορεί να αντιμετωπίσει προβλήματα λόγω της ύπαρξης πεδίου PM του ρότορα. Το SRM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ηλεκτρική πρόωση για EV, HEV και FCV λόγω της απλής και στιβαρής κατασκευής, του απλού ελέγχου, της ικανότητας λειτουργίας, της εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας και της λειτουργίας χωρίς κινδύνους.

1.4 ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Ίσως δεν υπάρχει σύμβολο του εικοστού πρώτου αιώνα από το αυτοκίνητο, το κυρίαρχο μέσο μεταφοράς σε όλο τον κόσμο. Σήμερα, η ενέργεια για την προσωπική μεταφορά προέρχεται κυρίως από το πετρέλαιο, το οποίο χρησιμοποιείται, είτε με τη μορφή βενζίνης, είτε ντίζελ σε συμβατικά οχήματα που κινούνται με κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η εκτόπιση του πετρελαίου έχει καταστεί, ως εκ τούτου, κύριος στόχος για την αυτοκινητοβιομηχανία και για τις κρατικές υπηρεσίες παγκοσμίως.

Σήμερα, οι πιο βιώσιμες επιλογές περιλαμβάνουν βελτιώσεις στην οικονομία καυσίμου σε συμβατικά οχήματα, υβριδισμό/ηλεκτρισμό οχημάτων και προσφυγή σε εναλλακτικά καύσιμα (φυσικό αέριο, LPG, βιοντίζελ, κ.λπ.).

Τα επιβατικά αυτοκίνητα υποχρεούνται από τη νομοθεσία να γίνουν πιο αποδοτικά ως προς τα καύσιμα και γενικότερα, πιο φιλικά ως προς το περιβάλλον. Στις ΗΠΑ, η Εθνική Υπηρεσία Ασφάλειας Οδικής Κυκλοφορίας (NHTSA) έχει θέσει πρόσφατα πρότυπα για την ταχεία αύξηση των επιπέδων εταιρικής μέσης οικονομίας καυσίμου (CAFE) τα επόμενα χρόνια, ενώ σε άλλες χώρες τα πρότυπα απόδοσης του καυσίμου ρυθμίζονται μέσω εντολών εκπομπών CO_2 και είναι πολύ πάνω από αυτές των ΗΠΑ.

Ανεξάρτητα από τις τεχνολογικές βελτιώσεις και τις νομοθετικές απαιτήσεις, οι καταναλωτές θα είναι οι βασικοί μοχλοί στην ανάπτυξη οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων. Το υψηλότερο κόστος, η περιορισμένη εμβέλεια και ο μεγάλος χρόνος επαναφόρτισης αντιπροσωπεύουν σοβαρά μειονεκτήματα που περιορίζουν τη διείσδυση στην αγορά σχεδόν όλων των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των προσωπικών μεταφορών. Η επιλογή μιας συγκεκριμένης επιλογής οχήματος έναντι άλλων επιλογών είναι πολύπλοκη και περιλαμβάνει μια ποικιλία υποκειμενικών παραγόντων σχετικά με το εισόδημα, τη στάση απέναντι στις καθαρότερες τεχνολογίες, τις πρακτικές ανάγκες κ.λπ. Η αυτοκινητοβιομηχανία εστιάζει σε οχήματα εναλλακτικού καυσίμου και σε μια ποικιλία συγκεκριμένων τεχνολογιών και στρατηγικών, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης και ενίσχυσης του κινητήρα, του άμεσου ψεκασμού και της μεταβλητής ενεργοποίησης των βαλβίδων, της μείωσης του βάρους και του ήπιου υβριδισμού (συμπεριλαμβανομένου του κινητήρα τεχνολογίας start-stop) για την επίτευξη μεγαλύτερης οικονομίας καυσίμου στα συμβατικά οχήματα.

Σαφώς, καθώς η ζήτηση για κινητικότητα συνεχίζει να αυξάνεται σε όλο τον κόσμο, τα περιβαλλοντικά και ενεργειακά προβλήματα καθιστούν ταχύτατα τις μεταφορές των αυτοκινήτων, όπως τις ξέρουμε, μη βιώσιμες για την κοινωνία. Επομένως, ο ρόλος του αυτοκινήτου στο μέλλον πρέπει να επανεξεταστεί αυστηρά. Τα οχήματα γίνονται μέρος ενός πολύ μεγαλύτερου «δικτύου ενέργειας», στο οποίο οι πληροφορίες, η επικοινωνία και η βελτιστοποίηση παίζουν βασικό ρόλο. Κατά συνέπεια, η έρευνα κινείται γρήγορα προς την ηλεκτροκίνηση των οχημάτων που συμβάλλει στην ενίσχυση τόσο του τομέα των μεταφορών, όσο και του ηλεκτρισμού. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η μόνη πιθανή πηγή ενέργειας για τις μεταφορές που αντιμετωπίζει την ταυτόχρονη ανάγκη για ποικιλομορφία καυσίμων, ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, μειώσεις των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα και η οποία είναι ευρέως διαθέσιμη και παράγεται εγχώρια. Ωστόσο, ο αντίκτυπος της φόρτισης εκατομμυρίων οχημάτων από το ηλεκτρικό δίκτυο θα μπορούσε να είναι σημαντικός, π.χ. με τη μορφή αυξημένης φόρτωσης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, γραμμών μεταφοράς και διανομής, εκπομπών ρύπων και οικονομίας. Επομένως, αυτό το αποτέλεσμα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με έξυπνο τρόπο, ελέγχοντας και προγραμματίζοντας τη φόρτιση μέσω ενός καταναλωμένου συστήματος ελέγχου που βασίζεται στην επικοινωνία.

Η τρέχουσα ενεργειακή κατάσταση οδηγεί σε κοινωνικά, περιβαλλοντικά, πολιτικά και οικονομικά προβλήματα που έχουν τεράστιες και κρίσιμες επιπτώσεις στην καθημερινή ζωή. Η επιστημονική κοινότητα καταβάλλει μεγάλη προσπάθεια για τον περιορισμό και τον εξορθολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας προκειμένου να μετριάσει την εξάρτηση από το πετρέλαιο και τα περιβαλλοντικά ζητήματα. Την

τελευταία δεκαετία, η επιθυμία μείωσης των εκπομπών άνθρακα που προέρχονται από πηγές μεταφοράς οδήγησε στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών πρόωσης, ορισμένες από τις οποίες επικεντρώνονται στην ηλεκτροκίνηση των οχημάτων. Τα plug-in ηλεκτρικά οχήματα (PEV) παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της ενεργειακής τους απόδοσης, των βολικών και χαμηλού κόστους δυνατοτήτων επαναφόρτισης και της μειωμένης χρήσης πετρελαίου. Ο όρος PEV περιλαμβάνει όλα τα μηχανοκίνητα οχήματα που μπορούν να επαναφορτιστούν από οποιαδήποτε εξωτερική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως πρίζες τοίχου και όπου η ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, είτε οδηγεί, είτε συμβάλλει στην κίνηση των τροχών. Το PEV είναι ένα υπερσύνολο ηλεκτρικών οχημάτων που περιλαμβάνει ηλεκτρικά οχήματα πλήρως ηλεκτρικά, ή με μπαταρία (BEV), οχήματα με κυψέλες καυσίμου (FCV) και plug-in υβριδικά οχήματα (PHEV).

1.4.1 ΑΠΟ ΤΑ HEV ΣΤΑ PLUG-IN ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV) επωφελοούνται από έναν αποτελεσματικό συνδυασμό τουλάχιστον δύο πηγών ισχύος για την κίνηση του οχήματος. Γενικά, ένας ή περισσότεροι ηλεκτροκινητήρες μαζί με έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE), ή μια κυψέλη καυσίμου ως κύρια πηγή ενέργειας, λειτουργούν το σύστημα πρόωσης. Μια μπαταρία ή ένας υπερπυκνωτής ως αμφίδρομη πηγή ενέργειας παρέχει ισχύ στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης και επίσης ανακτά ένα μέρος της ενέργειας της πέδησης που διαχέεται στα συμβατικά οχήματα ICE. Σε γενικές γραμμές, ο όρος HEV χρησιμοποιείται για ένα όχημα που συνδυάζει έναν κινητήρα με έναν ηλεκτροκινητήρα. Τα κύρια πλεονεκτήματα του συστήματος μετάδοσης της κίνησης HEV μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Μείωση του μεγέθους του ICE: Δεδομένου ότι η μέγιστη ζήτηση ισχύος μπορεί να παρέχεται από έναν συνδυασμό του ICE και της μπαταρίας, το ICE θα μπορούσε να έχει μέγεθος για τη μέση ζήτηση ισχύος του οχήματος. Αυτό μειώνει το βάρος και βελτιώνει την απόδοση του ICE όταν λειτουργεί με το ίδιο φορτίο ενός μεγαλύτερου κινητήρα.
- Αναγεννητική πέδηση: Η ενσωματωμένη μπαταρία ή ο υπερπυκνωτής ενός HEV μπορεί να επαναφορτιστεί ενώ ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί σε λειτουργία γεννήτριας, παρέχοντας δύναμη πέδησης αντί για φρένο τριβής.
- Λειτουργία ενεργοποίησης/απενεργοποίησης του κινητήρα: Ο κινητήρας μπορεί να σβήσει όταν το όχημα είναι ακινητοποιημένο, ή η ζήτηση ισχύος του οχήματος είναι χαμηλή. Αυτό αποτρέπει το περιττό ρελαντί του κινητήρα ή τη λειτουργία του σε χαμηλή ισχύ, η οποία είναι γενικά αναποτελεσματική.
- Ευελιξία ελέγχου: Ο πρόσθετος βαθμός ελευθερίας για την παροχή της ζήτησης ισχύος του οχήματος από οποιαδήποτε από τις δύο πηγές ισχύος δίνει την ευελιξία να πραγματοποιείται χειρισμός των εξαρτημάτων του συστήματος μετάδοσης της κίνησης με πιο ενεργειακά αποδοτικό τρόπο.

Τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) επωφελοούνται από τα χαρακτηριστικά τόσο των συμβατικών HEV όσο και των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) έχοντας μια μεγάλη μπαταρία που μπορεί να επαναφορτιστεί όταν συνδεθεί σε μια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το PHEV είναι μια βιώσιμη λύση για την αντικατάσταση

ενός μέρους της ενέργειας που χρησιμοποιείται στις μεταφορές των οχημάτων με ηλεκτρική ενέργεια, μέχρι να ωριμάσει η πλήρης ηλεκτροδότηση των οχημάτων. Επιπλέον, τα PHEV μπορούν να εξαλείψουν τις ανησυχίες σχετικά με το χρόνο επαναφόρτισης των EV και το άγχος της εμβέλειας. Τα PHEV μπορούν να υπερβούν την περιορισμένη αυτονομία των 100 μιλίων (160 km) ανά φόρτιση των περισσότερων ηλεκτρικών οχημάτων και έχουν τη δυνατότητα να περιορίσουν τις εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων σχεδόν στο μηδέν. Ένα PHEV μπορεί να επιτύχει την εμβέλεια και τα πλεονεκτήματα της απόδοσης των συμβατικών οχημάτων με τα οφέλη χαμηλού θορύβου, των χαμηλών εκπομπών των καυσαερίων και της ενεργειακής ανεξαρτησίας των ηλεκτρικών οχημάτων. Επίσης, τα PHEV έχουν σημαντική επίδραση στην προώθηση της στροφής από τα ορυκτά καύσιμα σε πηγές ηλεκτρικής ενέργειας για ένα σημαντικό μέρος των καθημερινών μετακινήσεων.

Τα ηλεκτρικά οχήματα εκτεταμένης εμβέλειας (EREV) είναι PHEV που μπορούν να λειτουργήσουν σε λειτουργία καθαρού ηλεκτρικού οχήματος. Τόσο η μπαταρία όσο και ο κινητήρας των PHEV είναι ικανοί να παρέχουν μέγιστη ελκτική και βοηθητική ζήτηση ισχύος για το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Το μέγιστο εύρος που μπορεί να καλυφθεί στη λειτουργία των EV για έναν τυπικό κύκλο ισχύος ονομάζεται «all-electric range» (AER) για τον συγκεκριμένο κύκλο. Η αγορά των EREV επικεντρώνεται στους καθημερινούς μετακινούμενους που προτιμούν τα οφέλη της οδήγησης στη λειτουργία EV για καθημερινά ταξίδια ρουτίνας, ενώ ταυτόχρονα απολαμβάνουν την οδήγηση χωρίς το άγχος της αυτονομίας για μακρύτερα ταξίδια που είναι ακόμα συνηθισμένο στα αμιγώς ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

Η βοηθητική μονάδα ισχύος (APU) ενός PHEV παρέχει την απαιτούμενη βασική ισχύ στο όχημα, επαναφορτίζει τις μπαταρίες και τροφοδοτεί εξοπλισμό όπως το κλιματιστικό και το θερμαντήρα. Συνήθως, η APU αποτελείται από μια συμβατική μηχανή εσωτερικής καύσης, αλλά μπορεί να είναι οποιουδήποτε είδους μηχανικού τύπου κινητήρα ή κυψέλη καυσίμου και θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν και διάφορα εναλλακτικά υγρά.

Οι συνδυασμοί των συνδέσεων μεταξύ των εξαρτημάτων του συστήματος πρόωσης καθορίζουν την αρχιτεκτονική των PHEV ή των HEV γενικότερα. Συμβατικά, τα HEV κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις βασικές αρχιτεκτονικές συστήματος μετάδοσης της κίνησης: σειριακή, παράλληλη, διάσπαση ισχύος και σειριακή-παράλληλη.

Η σειριακή διαμόρφωση αναγνωρίζεται συνήθως ως ένα ηλεκτρικό όχημα που διαθέτει κινητήρα και γεννήτρια για την επαναφόρτιση της μπαταρίας, έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η αναβάθμισή του σε PHEV. Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης της σειριακής αρχιτεκτονικής έχει έναν ηλεκτρικό κινητήρα με μέγεθος που να ικανοποιεί τη σχεδιασμένη μέγιστη ισχύ έλξης του οχήματος. Η αύξηση της χωρητικότητας ισχύος της μπαταρίας επιτρέπει το AER και τη λειτουργία μηδενικών εκπομπών της σειριακής αρχιτεκτονικής. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει μηχανική σύζευξη μεταξύ των τροχών και του κινητήρα σε αυτήν την αρχιτεκτονική, ο κινητήρας μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα γύρω από την πιο αποτελεσματική περιοχή ροπής-στροφών του. Ωστόσο, το γνωστό μειονέκτημα του σειριακού συστήματος μετάδοσης της κίνησης είναι η μετατροπή της μηχανικής ισχύος του κινητήρα σε ηλεκτρική και μετά πίσω σε μηχανική ενέργεια στον ηλεκτροκινητήρα. Αυτή η αλυσίδα απόδοσης μειώνει τη συνολική απόδοση του συστήματος μετάδοσης της κίνησης. Για παράδειγμα, το GM Volt είναι ένα EREV μήκους 64 km με βασική πλατφόρμα ενός σειριακού συστήματος μετάδοσης της κίνησης. Το Volt επωφελείται από μια αρχιτεκτονική που αλλάζει τον τρόπο λειτουργίας χρησιμοποιώντας ένα πλανητικό σετ ταχυτήτων και

δύο φρένα. Ο μηχανισμός επιτρέπει στο όχημα να μετατοπιστεί από τη σειριακή στη σειριακή-παράλληλη αρχιτεκτονική και έτσι επιλύει το προαναφερθέν μειονέκτημα. Σε αυτή τη λειτουργία, ο κινητήρας μπορεί να μεταφέρει μηχανικά την ισχύ στην τελική μετάδοση της κίνησης σε περιόδους υψηλότερων ταχυτήτων και απαιτήσεων ισχύος. Επίσης, έχει δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας EV στους οποίους η λειτουργία EV μετατοπίζεται από έναν σε δύο ηλεκτροκινητήρες προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες που σχετίζονται με τη λειτουργία υψηλής ταχύτητας των ηλεκτροκινητήρων.

Στο παράλληλο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, τόσο ο κινητήρας, όσο και ο ηλεκτροκινητήρας μπορούν να ωθήσουν απευθείας τους τροχούς. Ένας ηλεκτρικός κινητήρας και μια μπαταρία κατάλληλου μεγέθους είναι απαραίτητα για την αναβάθμιση ενός παράλληλου συστήματος μετάδοσης της κίνησης σε EREV. Στην παράλληλη αρχιτεκτονική πριν από τη μετάδοση, παρόμοια με αυτή των Honda Insight, Civic και Accord HEV, ένας μικρός ηλεκτροκινητήρας βρίσκεται ανάμεσα στον κινητήρα και το κιβώτιο ταχυτήτων, αντικαθιστώντας το σφόνδυλο. Είναι επίσης δυνατό για ένα παράλληλο HEV να χρησιμοποιεί τον κινητήρα του για να οδηγεί έναν από τους άξονες του οχήματος, ενώ ο ηλεκτροκινητήρας του κινεί τον άλλο άξονα. Το Daimler Chrysler PHEV Sprinter έχει αυτή τη διαμόρφωση συστήματος μετάδοσης της κίνησης. Από τη μία πλευρά, μια άμεση μηχανική σύνδεση μεταξύ των τροχών και του κινητήρα εξαλείφει τις απώλειες μετατροπής από τις οποίες υποφέρει η σειριακή αρχιτεκτονική. Από την άλλη πλευρά, μειώνει το βαθμό ελευθερίας του ελέγχου των στροφών του κινητήρα στην επιλογή της σχέσης μετάδοσης.

Η αρχιτεκτονική της σειριακής παράλληλης ή διαιρούμενης ισχύος είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο σύστημα μετάδοσης της κίνησης για τα HEV. Το Toyota Prius, το HEV με τις περισσότερες πωλήσεις, τα υβριδικά Toyota Camry και Highlander, το Lexus RX 400 h και τα υβριδικά Ford Escape και Mariner, όλα επωφελούνται από τα χαρακτηριστικά αυτής της αρχιτεκτονικής. Το σειριακό-παράλληλο υβριδικό σύστημα μετάδοσης της κίνησης συνδυάζει τη σειριακή με την παράλληλη υβριδική αρχιτεκτονική για να επιτύχει το μέγιστο πλεονέκτημα και των δύο συστημάτων. Σε αυτό το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, η μηχανική ενέργεια διέρχεται μέσω της κατανομής της ισχύος σε σειριακές και παράλληλες διαδρομές. Στη σειριακή διαδρομή, η ισχύς εξόδου του κινητήρα μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας γεννήτριας. Στην παράλληλη διαδρομή, αντίθετα, δεν υπάρχει μετατροπή της ενέργειας και η μηχανική ενέργεια του κινητήρα μεταφέρεται απευθείας στην τελική μετάδοση μέσω του διαχωρισμού της ισχύος, που είναι ένα σύστημα πλανητικού γρναζιού. Γενικά, όπως και το σύστημα παράλληλης μετάδοσης της κίνησης, η σειριακή-παράλληλη αρχιτεκτονική δεν έχει ηλεκτρικό κινητήρα σχεδιασμένο για τη μέγιστη ζήτηση ισχύος έλξης του οχήματος. Η καθαρή λειτουργία EV είναι δυνατή για το σειριακό-παράλληλο σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Ωστόσο, εκτός από την ικανότητα ισχύος του ηλεκτροκινητήρα, υπάρχει ένας μηχανικός περιορισμός που προκύπτει από τη δυναμική του πλανητικού σετ γρναζιών. Δεν υπάρχει συμπλέκτης για την απελευθέρωση του ηλεκτροκινητήρα από το πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων στη σειριακή-παράλληλη αρχιτεκτονική.

Ένα άλλο σχέδιο για το HEV με διαχωρισμό ισχύος είναι το Allison Hybrid System, γνωστό και ως AHSII. Αυτό το σύστημα είναι ένα σύστημα διπλής λειτουργίας με δύο πλανητικά σετ ταχυτήτων, σχεδιασμένο από την GM και χρησιμοποιείται επί του παρόντος για πολλά μεσαίου μεγέθους SUV και φορτηγά, αντίστοιχα.

1.5 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ AC ΚΑΙ DC ΜΕ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ

1.5.1 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ AC

Οι προκύπτουσες ανησυχίες για τα θέματα του περιβάλλοντος και της αιφόρου ενέργειας έχουν προωθήσει την ανάπτυξη της κατανεμημένης παραγωγής της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την εμφάνιση των μικροδικτύων. Δεδομένου ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι φυσικά διασκορπισμένες, είναι πολύ δύσκολο για το σύστημα της ηλεκτρικής ενέργειας να διαχειριστεί μια αμέτρητη, αλλά ακόμα αυξανόμενη, διακοπτόμενη κατανεμημένη παραγωγή της ενέργειας με παραδοσιακό τρόπο. Για την αποτελεσματική διαχείριση των κατανεμημένων πηγών της παραγωγής, του φορτίου και ενδεχομένως, των αποθηκευτικών χώρων της ενέργειας, πρέπει να ληφθεί μια συστηματική άποψη. Με την ενσωμάτωση όλων αυτών των κατανεμημένων μονάδων, σχηματίζεται ένα σύστημα μικροηλεκτρικής ενέργειας από την πλευρά της διανομής, όπου από εκεί προκύπτει και η ονομασία μικροδίκτυο. Δεδομένου ότι το σύστημα ισχύος της διανομής θεωρούνταν παλαιότερα ως μόνο φορτίο, η συμπερίληψη μονάδων παραγωγής και αποθήκευσης στα μικροδίκτυα αλλάζει θεμελιωδώς τον έλεγχο και τη λειτουργική δομή του παραδοσιακού συστήματος της ηλεκτρικής ενέργειας.

Καθώς το παραδοσιακό σύστημα ισχύος βασίζεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα, τα μικροδίκτυα θεωρούνται ότι βασίζονται φυσικά σε εναλλασσόμενο ρεύμα σε αρχικό στάδιο. Ένας τριφασικός δίαυλος AC χρησιμοποιείται συνήθως ως σημείο κοινής σύζευξης (PCC) [6]. Το PCC συνήθως ορίζεται ως η μόνη διεπαφή ισχύος μεταξύ ενός δικτύου κοινής ωφέλειας και του μικροδικτύου. Ένα μικροδίκτυο μπορεί, είτε να λειτουργήσει σε κατάσταση συνδεδεμένο με το δίκτυο, είτε σε ορισμένες περιπτώσεις, να μεταβεί στο στάδιο της απομόνωσης. Ένας γρήγορος διακόπτης μπορεί να τοποθετηθεί μεταξύ του PCC και του δικτύου κοινής ωφέλειας ως σημείο αποκοπής μεταξύ του μικροδικτύου και του δικτύου κοινής ωφέλειας.

Σε σύγκριση με το παραδοσιακό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, η εμφάνιση DG¹ και ESS (συστήματα αποθήκευσης ενέργειας) είναι η κύρια διαφορά. Σε ένα μικροδίκτυο, οι ανανεώσιμες DG και τα ESS διασυνδέονται με μετατροπείς ηλεκτρονικών ισχύος με κατανεμημένο έλεγχο.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξάγουν ενέργεια από το φυσικό περιβάλλον, τον άνεμο, ή τον ήλιο, για παράδειγμα και προσπαθούν να μεγιστοποιήσουν την εξαγωγή της ενέργειας και την ενσωμάτωσή της στο δίκτυο. Υπό αυτή την έννοια, η πραγματική ισχύς που παράγεται εξαρτάται κυρίως από τις στιγμιαίες φυσικές συνθήκες. Ως εκ τούτου, οι DG ΑΠΕ γενικά θεωρούνται μη ντετερμινιστικές από την άποψη του διαχειριστή του δικτύου. Η μόνη εξαίρεση συμβαίνει όταν η ανανεώσιμη ενέργεια πρέπει να περιοριστεί, ή να απενεργοποιηθεί, ωστόσο, με ένα ορισμένο κόστος.

Τα ESS θεωρούνται ως μια ελεγχόμενη αμφίδρομη πηγή σε ένα μικροδίκτυο. Μια διεπαφή ηλεκτρονικών ισχύος υψηλής απόδοσης επιτρέπει σε ένα ESS να παρέχει άμεση υποστήριξη στο ηλεκτρικό δίκτυο εκτός από τη διαχείριση της ενέργειας

¹ Η κατανεμημένη παραγωγή (DG) αναφέρεται σε μια ποικιλία τεχνολογιών παραγωγής της ενέργειας που είναι εγκατεστημένες στο σημείο κατανάλωσης της ενέργειας, ή κοντά, όπως σε συστήματα αιολικής ενέργειας, συστήματα ηλιακής ενέργειας, μικροτουρμπίνες, τεχνολογίες περιορισμού του φορτίου, συστήματα αποθήκευσης μπαταριών, κινητήρες ντίζελ, εσωτερικά σε κινητήρες εσωτερικής καύσης κ.λπ.

αποθήκευσης. Αυτό το ειδικό χαρακτηριστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση του προβλήματος που προκαλείται από τις διαλείπουσες ανανεώσιμες DG. Για παράδειγμα, ο σταθμός φόρτισης των EV μπορεί να χρησιμοποιήσει την μπαταρία του ως μια προσωρινή αποθήκευση της ενέργειας για να απορροφήσει τη διακοπτόμενη ισχύ για να αποφύγει την αστάθεια της τάσης και να την εκφορτίσει σε ώρες αιχμής για να μειώσει τη ζήτηση. Πρέπει να σημειωθεί ότι μια μπαταρία ενός οχήματος με φορτιστή μίας κατεύθυνσης δεν αποτελεί απαραίτητα ένα σύστημα ESS. Ένα σύστημα μπαταρίας μόνο για φόρτιση, αν και ελεγχόμενο, συμπεριφέρεται περισσότερο σαν ένα ελεγχόμενο φορτίο στο σύστημα ισχύος της διανομής λόγω της έλλειψης ικανότητας εκφόρτισης. Ωστόσο, μια μπαταρία οχήματος, ή πιο πιθανό μια ομάδα μπαταριών οχήματος σε ένα σταθμό φόρτισης, με αμφίδρομους «φορτιστές» υπό συγκεκριμένο έλεγχο μπορεί να παίξει το ρόλο του ESS σε ένα μικροδίκτυο.

Ένα σχήμα συντονισμού, είτε κατακεντρωμένο είτε συγκεντρωμένο, συνήθως σχεδιάζεται για να συνδυάζει όλα τα προαναφερθέντα DG, φορτία, ESS και ρελέ μαζί για να σχηματίσουν ένα υποσύστημα. Αυτό το χαρακτηριστικό αποκλίνει επίσης από ένα παθητικό σύστημα διανομής της ισχύος με απομονωμένα DG και ESS. Ένα ψηφιακό δευτερεύον σύστημα ελέγχου χρησιμοποιείται συνήθως για την επίβλεψη, τη διαχείριση και την παρακολούθηση ολόκληρου του συστήματος. Μπορεί να εφαρμοστούν πρόσθετα συστήματα επικοινωνιών και διαχείρισης της ενέργειας με το σχετικό σύστημα εποπτικού ελέγχου και απόκτησης δεδομένων (SCADA) ανώτερης ιεραρχίας των συστημάτων ισχύος.

1.5.2 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ DC

Η ιδέα του μικροδικτύου συνεχούς ρεύματος DC προέκυψε αμέσως μετά την πρόταση της έννοιας του μικροδικτύου. Είναι συνήθως σχεδιασμένο για μια κατακεντρωμένη πηγή ισχύος DC που συνδέει διακοπτόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποθήκες ενέργειας και φορτία συνεχούς ρεύματος. Αυτό, οφείλεται στο γεγονός ότι πολλές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, π.χ. απευθείας αιολική παραγωγή και φωτοβολταϊκό σύστημα, αλλά και συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας, π.χ. μπαταρία και υπερ-πυκνωτής, έχουν συνήθως συνδέσεις DC στα στάδια του μετατροπέα της διεπαφής.

Με τη σύνδεση όλων των ζεύξεων DC των πηγών και των φορτίων, σχηματίζεται ένα μικροδίκτυο DC. Σε αντίθεση με την ιδέα των μικροδικτύων εναλλασσόμενου ρεύματος, ένα μικροδίκτυο συνεχούς ρεύματος δε συνδέεται απευθείας με το διαδεδομένο τριφασικό ηλεκτρικό δίκτυο αλλά μέσω ενός αμφίδρομου μετατροπέα DC/AC για κοινή ενσωμάτωση.

1.5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ AC ΚΑΙ DC ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΩΝ

(α) Αποδοτικότητα μετατροπής

Τα μικροδίκτυα συνεχούς ρεύματος θεωρείται ότι διαθέτουν το πλεονέκτημα της απόδοσης έναντι του εναλλασσόμενου ρεύματος και αντιστοιχούν σε απομονωμένη λειτουργία όταν η αποθήκευση της ενέργειας εμπλέκεται στη ροή ισχύος λόγω λιγότερων επιπέδων μετατροπής. Συνήθως, για μια θήκη φόρτισης από Φ/Β σε

μπαταρία, η ροή της ισχύος σε ένα μικροδίκτυο AC πρέπει να περάσει από τη διαδικασία παραγωγής DC-Διανομής AC-Αποθήκευσης DC με μετατροπές DC/AC και AC/DC. Ωστόσο, η ροή της ισχύος σε ένα μικροδίκτυο DC παρακάμπτει το στάδιο AC, εξαλείφοντας έτσι τις απώλειες που προκαλούνται από τις μετατροπές DC/AC και AC/DC. Μια πιθανή πρόσθετη απώλεια στο μικροδίκτυο DC είναι από την πλευρά του φορτίου. Ενδέχεται να ισχύουν πρόσθετες απώλειες της μετατροπής DC/AC, εάν τοποθετηθούν μετατροπείς διασύνδεσης μεταξύ του διαύλου DC και των τοπικών φορτίων AC. Ως αποτέλεσμα, η συνολική απόδοση της μετατροπής μεταξύ των μικροδικτύων συνεχούς ρεύματος και εναλλασσόμενου ρεύματος εξαρτάται από την αντιστάθμιση μεταξύ της μειωμένης μετατροπής και των πρόσθετων απωλειών της μετατροπής.

(β) Εφάπαξ κόστος για μετατροπείς

Ένας κοινός μετατροπέας DC/AC χρησιμοποιείται συνήθως για τη διασύνδεση του DC από το μικροδίκτυο σε ηλεκτρικό δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος, ενώ σε ένα μικροδίκτυο AC, οι μετατροπείς DC/AC πρέπει να είναι εξοπλισμένοι με κάθε καταναλωμένη πηγή, καθώς η ονομαστική ισχύς του κοινού μετατροπέα DC/AC σε ένα μικροδίκτυο DC είναι κανονικά μικρότερη από τη συνολική ονομαστική ισχύ, αλλά μεγαλύτερη από οποιαδήποτε μεμονωμένη ονομαστική μονάδα σε αντίστοιχα AC. Το εφάπαξ κόστος κατασκευής και εγκατάστασης μειώνεται στα DC μικροδίκτυα λόγω του υψηλότερου κόστους ανά κιλοβάτ σε μετατροπείς χαμηλότερης ονομαστικής ισχύος.

(γ) Αποδοτικότητα μετάδοσης/διανομής

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της μετάδοσης του συνεχούς ρεύματος είναι ότι δεν υπάρχει ανησυχία για άεργη ισχύ. Ως αποτέλεσμα, η απώλεια της μετάδοσης που προκαλείται από το ρεύμα στα συστήματα AC εξαλείφεται. Επιπλέον, ένα σταθερό ρεύμα συνεχούς ρεύματος τείνει να παράγει λιγότερες απώλειες χαλκού στη γραμμή ισχύος από το εναλλασσόμενο ρεύμα στην ίδια αντίσταση γραμμής όταν παρέχει την ίδια ποσότητα πραγματικής ισχύος.

(δ) Αξιοπιστία της τροφοδοσίας

Ένα πολλά υποσχόμενο χαρακτηριστικό των μικροδικτύων είναι ότι μπορούν να παρέχουν αδιάλειπτα τροφοδοσία ρεύματος κατά τη διάρκεια της διακοπής του δικτύου κοινής ωφέλειας. Για το σύστημα του μικροδικτύου εναλλασσόμενου ρεύματος, είναι δύσκολο να καθοριστεί πότε θα αλλάξει ο μετατροπέας αποθήκευσης της ενέργειας σε μια απομονωμένη λειτουργία νησίδας, καθώς υπάρχει αντίφαση μεταξύ της απαίτησης για το δίκτυο της χαμηλής τάσης μετακίνησης (LVRT) και του απρόσκοπτου διακόπτη.

Παρόλο που το παρόν πρότυπο IEEE 1547 δεν απαιτεί από καταναμημένες πηγές να πραγματοποιούν διαρροή της τάσης και επίσης απαιτεί την ενεργοποίηση των ανανεώσιμων πηγών για αποκλίσεις της τάσης και ο διακόπτης PCC ενός μικροδικτύου AC μπορεί να σχεδιαστεί και να εφαρμοστεί ανάλογα με την απαίτηση αυτή, είναι αμφίβολο αν είναι κατάλληλο στο μέλλον. Ο λόγος είναι ότι μια πτώση της τάσης που προκαλείται από το επίπεδο της μετάδοσης τείνει να προκαλεί χαμηλές τάσεις σε μια τεράστια περιοχή των συστημάτων διανομής. Οι στιγμιαίες και ταυτόχρονες διαδρομές των μικροδικτύων εναλλασσόμενου ρεύματος μαζί με τις

πηγές του DG μπορούν ενδεχομένως να προκαλέσουν περαιτέρω πρόβλημα μετά το σφάλμα.

(ε) Δυνατότητα ελέγχου

Ένα καλό χαρακτηριστικό των συστημάτων ισχύος DC είναι ότι μια σταθερή τάση DC θα εξασφάλιζε τη σταθερότητα του συστήματος. Ως αποτέλεσμα, η ρύθμιση της τάσης DC είναι το μόνο ουσιαστικό μέλημα για τη διατήρηση ενός σταθερού συστήματος ισχύος DC. Για ένα σύστημα ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος, ωστόσο, δεν πρέπει να ρυθμίζεται μόνο η τάση (πλάτος) αλλά και η συχνότητα (γωνία) και να εκτελούνται και οι δύο ρυθμίσεις ταυτόχρονα. Επιπλέον, καθώς τα δίκτυα κοινής ωφέλειας εναλλασσόμενου ρεύματος είναι τριφασικά συστήματα, θα χρησιμοποιούνται εξελιγμένες τεχνικές για την αντιμετώπιση μη ισορροπημένων στοιχείων που προέρχονται κυρίως από την τεράστια υιοθέτηση μονοφασικών DG και φορτίων σε συστήματα ισχύος χαμηλής τάσης. Όλοι αυτοί οι προαναφερθέντες παράγοντες υποδεικνύουν καλύτερη δυνατότητα ελέγχου για μικροδίκτυα συνεχούς ρεύματος μέσω AC.

(στ) Ρύθμιση προστασίας

Η προστασία είναι επί του παρόντος το κύριο πλεονέκτημα του μικροδικτύου AC έναντι του DC. Για την προστασία του εναλλασσόμενου ρεύματος, η θεωρία και ο εξοπλισμός προστασίας AC έχουν αναπτυχθεί ώριμα και η φύση της μηδενικής διέλευσης του ρεύματος AC επιτρέπει στους διακόπτες του κυκλώματος AC να διακρίνουν εύκολα το τόξο. Ωστόσο, η μηδενική διασταύρωση δεν συμβαίνει φυσικά σε ένα σύστημα DC. Επομένως, πρέπει να εφαρμοστεί πολύπλοκη τεχνική με αποτέλεσμα υψηλότερο κόστος για τους διακόπτες του κυκλώματος DC.

(ζ) Διαθεσιμότητα φορτίου

Καθώς το σύστημα τροφοδοσίας βασίζεται κυρίως σε εναλλασσόμενο ρεύμα, ο ηλεκτρικός εξοπλισμός έχει σχεδιαστεί κυρίως για τυπική παροχή ρεύματος του εναλλασσόμενου ρεύματος. Ωστόσο, το φορτίο συνεχούς ρεύματος έχει τεράστιες δυνατότητες. Ο ψηφιακός εξοπλισμός όπως υπολογιστές, δρομολογητές, LED και τηλεοράσεις είναι φυσικά πιο συμβατοί με την παροχή ρεύματος DC. Επιπλέον, οι ηλεκτροκινητήρες, συμπεριλαμβανομένων των EV, είναι πιθανό να έχουν συνδέσεις DC. Ένας κοινός δίαυλος συνεχούς ρεύματος θα βοηθούσε να μειώσει σημαντικά το κόστος του από την πλευρά της ανόρθωσης. Τα σχετικά φορτία, όπως οι ηλεκτρικοί ανεμιστήρες, οι αντλίες και τα κλιματιστικά που τροφοδοτούνται με μετατροπή, μπορούν να σχεδιαστούν για την τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος, αντί για εναλλασσόμενο ρεύμα, με χαμηλότερο κόστος κατασκευής και αυξημένη απόδοση.

1.6 ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

Η πρόκληση για τα επόμενα χρόνια στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι η βελτίωση της οικονομίας καυσίμου των οχημάτων και η ανεξαρτησία τους από την παροχή

πετρελαίου, καθώς και η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Για να επιτευχθούν αυτοί οι αυστηροί βιομηχανικοί στόχοι, η τάση στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι να κινηθεί προς την ηλεκτροδότηση των μεταφορών, με την εισαγωγή βιώσιμων και μη ρυπογόνων ηλεκτρικών και plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (EVs/PHEVs). Η καινοτόμος διεξόδυση των μεταφορών έχει επηρεάσει σημαντικά την παραγωγή της ενέργειας. Η παραγωγή της ενέργειας φτάνει ήδη στο απόγειό της. Ως εκ τούτου, έχει καταστεί επιτακτική η ανάγκη να βρεθεί μια λύση, να διαχειριστεί με ακρίβεια την παραγωγή και τη χρήση της ενέργειας, ειδικά στο πλαίσιο των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας EV/PHEV.

Η ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να ληφθεί με τη χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ένας από τους ευκολότερους τρόπους, εφόσον ο ήλιος είναι διαθέσιμος. Μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν σε στέγες κτιρίων, ή στέγες θέσεων στάθμευσης, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια για τη φόρτιση της μπαταρίας των ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ παράλληλα παρέχουν σκιά στα αυτοκίνητα. Δεδομένου ότι η ηλιακή ενέργεια είναι διακοπτόμενη και μεταβλητή, το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να εμπλέκεται για να διασφαλιστεί ότι υπάρχει αρκετή ισχύς. Οι συμβατικοί ηλιακοί φορτιστές διοχετεύουν ισχύ στο δίκτυο και χρησιμοποιούν το δίκτυο ως κύρια πηγή λόγω της αξιοπιστίας του. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιούν το δίκτυο ως ένα είδος συστήματος αποθήκευσης της ενέργειας. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα σταθερότητας του δικτύου εάν τα ηλιακά πάνελ χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα συγκρίσιμα με το δίκτυο.

Τα συμβατικά οχήματα (CV), τα οποία χρησιμοποιούν το πετρέλαιο ως μοναδική πηγή ενέργειας, αντιπροσωπεύουν την πλειοψηφία των υπαρχόντων οχημάτων σήμερα. Καθώς η έλλειψη πετρελαίου θεωρείται ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα παγκοσμίως, το ακριβό καύσιμο γίνεται μια μεγάλη πρόκληση για τους χρήστες. Επιπλέον, εκπέμπονται αέρια του θερμοκηπίου (GHG), καθιστώντας έτσι δυσκολότερη την τήρηση των αυστηρών περιβαλλοντικών κανονισμών.

Μία από τις πιο ελκυστικές εναλλακτικές λύσεις περιλαμβάνουν τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) ή τα οχήματα μηδενικών εκπομπών (ZEV), τα οποία καταναλώνουν μόνο ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, λόγω της περιορισμένης ενεργειακής πυκνότητας των σημερινών εμπορικά διαθέσιμων μπαταριών, η απόδοση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι περιορισμένη ως οχήματα γειτονιάς, με περιορισμούς χαμηλής ταχύτητας, μικρής αυτονομίας και βαριών συστοιχιών μπαταριών. Ως επιτυχημένο παράδειγμα, το εμπορευματοποιημένο EV της ZENN με έδρα τον Καναδά έχει μέση ταχύτητα 25 mph και εμβέλεια οδήγησης 30–40 μίλια ανά φόρτιση.

Επί του παρόντος, η πιο πολλά υποσχόμενη και πρακτική λύση είναι τα υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (HEV). Η προωστική τους ενέργεια προέρχεται συνήθως από περισσότερους από δύο τύπους συσκευών, ή πηγών αποθήκευσης ενέργειας και ένας από αυτούς πρέπει να είναι ηλεκτρική. Τα HEV βασικά χωρίζονται σε σειριακά και παράλληλα υβριδικά. Τα υβριδικά της σειράς είναι οχήματα υψηλής έντασης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς ο ηλεκτροκινητήρας είναι η μόνη πηγή έλξης και ο κινητήρας εσωτερικής καύσης (ICE) λειτουργεί απλώς με τη μέγιστη απόδοση, ως μια ενσωματωμένη γεννήτρια, για να φορτίζει την μπαταρία.

Λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους της δημιουργίας μιας ενεργειακά, οικονομικά αποδοτικής και συνολικά βιώσιμης κοινωνίας, τα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) διαφημίζονται πρόσφατα ως μια ευρέως βιώσιμη εναλλακτική λύση τόσο στα συμβατικά όσο και στα κανονικά υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Τα PHEV είναι εξοπλισμένα με επαρκή ενσωματωμένη ηλεκτρική ισχύ, για να υποστηρίξουν την

καθημερινή οδήγηση (κατά μέσο όρο 40 μίλια την ημέρα) σε μια πλήρως ηλεκτρική λειτουργία, χρησιμοποιώντας μόνο την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στις μπαταρίες, χωρίς να καταναλώνεται σταγόνα καυσίμου. Αυτό, με τη σειρά του, αναγκάζει τον ενσωματωμένο κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE) να χρησιμοποιεί μόνο μια ελάχιστη ποσότητα ορυκτών καυσίμων για να υποστηρίξει περαιτέρω οδήγηση πέραν των 40 μιλίων, γεγονός που οδηγεί περαιτέρω σε μειωμένες εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (GHG).

Τα PHEV μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση του καυσίμου φορτίζοντας την μπαταρία τους από το δίκτυο. Είναι, επομένως, μια έγκυρη υπόθεση ότι, στο μέλλον, θα υπάρχει σίγουρα ένας μεγάλος αριθμός χρηστών PHEV και η συνολική επίδραση της φόρτισης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας επί του σκάφους (ESS) δε θα μπορεί να παραμεληθεί. Η σχετική βιβλιογραφία των L. Eudy και A. Burke δήλωνε σταθερά ότι το μερίδιο αγοράς των PHEV θα είχε αυξηθεί σε περίπου 25 %. Με βάση αυτά τα δεδομένα, η πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται από το δίκτυο διανομής για πέντε εκατομμύρια PHEV θα είναι περίπου 50 GWh την ημέρα [7] [8]. Ο τυπικός χρόνος φόρτισης θα ήταν 7–8 ώρες, γεγονός που μπορεί να δυσκολέψει την προσαρμογή αυτών των πρόσθετων φορτίων στην καμπύλη του φορτίου χωρίς αύξηση του φορτίου αιχμής. Επίσης, η απαιτούμενη πρόσθετη ενέργεια φόρτισης θα είχε πιθανό αντίκτυπο στο σύστημα κοινής ωφέλειας. Η επέκταση του ηλεκτρικού συστήματος με τον συμβατικό τρόπο, με μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής που βρίσκονται μακριά από τα κέντρα φόρτωσης, θα απαιτούσε επίσης την αναβάθμιση των συστημάτων μεταφοράς και διανομής. Εκτός από το υψηλό κόστος, αυτό μπορεί να διαρκέσει πολλά χρόνια πριν από την απόκτηση του δικαιώματος διέλευσης. Εναλλακτικά, μικρότεροι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια, μπορούν να εγκατασταθούν σε ένα κλάσμα αυτού του χρόνου στο σύστημα διανομής, το οποίο συνήθως αναφέρεται ως «κατανεμημένη παραγωγή (DG)».

2. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

2.1 ΒΑΣΙΚΑ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Οι μπαταρίες είναι κατασκευασμένες από μονάδες που περιέχουν την αποθηκευμένη χημική ενέργεια που μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα ή περισσότερα από αυτά τα ηλεκτροχημικά στοιχεία συνδέονται σε σειρά για να σχηματίσουν μία μπαταρία. Τα ομαδοποιημένα κελιά περικλείονται σε ένα περίβλημα για να σχηματίσουν μια μονάδα μπαταρίας. Ένα πακέτο μπαταριών είναι μια συλλογή από αυτές τις μεμονωμένες μονάδες μπαταρίας συνδεδεμένες σε σειρά ή/και παράλληλο συνδυασμό για την παροχή της επιθυμητής τάσης και ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα μετάδοσης της κίνησης.

2.1.1 ΔΟΜΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία είναι η διαφορά στην ελεύθερη ενέργεια μεταξύ των χημικών συστατικών σε κατάσταση φόρτισης και εκφόρτισης. Αυτή η διαθέσιμη χημική ενέργεια σε ένα στοιχείο μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, μόνο κατόπιν της ζήτησης, χρησιμοποιώντας τα βασικά στοιχεία μιας μονάδας κυψέλης. Αυτά τα συστατικά είναι τα θετικά και αρνητικά ηλεκτρόδια, οι διαχωριστές και οι ηλεκτρολύτες. Το ηλεκτροχημικά ενεργό συστατικό του θετικού, ή αρνητικού ηλεκτροδίου ονομάζεται ενεργό υλικό. Χημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα στα δύο ηλεκτρόδια, το ένα εκ των οποίων απελευθερώνει ηλεκτρόνια, ενώ το άλλο τα καταναλώνει. Τα ηλεκτρόδια πρέπει να είναι ηλεκτρονικά αγωγίμα και να βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις διαχωρισμένες μεταξύ τους με διαχωριστή. Τα σημεία σύνδεσης μεταξύ των ηλεκτροδίων και του εξωτερικού κύκλωματος ονομάζονται ακροδέκτες της μπαταρίας. Το εξωτερικό κύκλωμα διασφαλίζει ότι η αποθηκευμένη χημική ενέργεια απελευθερώνεται μόνο κατόπιν ζήτησης και χρησιμοποιείται ως ηλεκτρική ενέργεια.

Τα εξαρτήματα του στοιχείου μπαταρίας περιγράφονται στα ακόλουθα:

1. Θετικό ηλεκτρόδιο: Το θετικό ηλεκτρόδιο είναι ένα οξειδίο ή σουλφίδιο, ή κάποια άλλη ένωση που μπορεί να αναχθεί κατά την εκκένωση του στοιχείου. Αυτό το ηλεκτρόδιο καταναλώνει ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα κατά την εκφόρτιση του στοιχείου. Παραδείγματα θετικών ηλεκτροδίων είναι το οξειδίο του μολύβδου (PbO_2) και το οξυϋδροξείδιο του νικελίου ($NiOOH$). Τα υλικά των ηλεκτροδίων βρίσκονται σε στερεά κατάσταση.

2. Αρνητικό ηλεκτρόδιο: Το αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι ένα μέταλλο, ή ένα κράμα που μπορεί να οξειδωθεί κατά την εκκένωση του στοιχείου. Αυτό το ηλεκτρόδιο απελευθερώνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα κατά την εκφόρτιση του στοιχείου. Παραδείγματα αρνητικών ηλεκτροδίων είναι ο μόλυβδος (Pb) και το κάδμιο (Cd). Τα υλικά των αρνητικών ηλεκτροδίων βρίσκονται σε στερεή κατάσταση μέσα στο στοιχείο της μπαταρίας.

3. Ηλεκτρολύτης: Ο ηλεκτρολύτης είναι το μέσο που επιτρέπει την ιοντική αγωγιμότητα μεταξύ θετικών και αρνητικών ηλεκτροδίων ενός στοιχείου. Ο ηλεκτρολύτης πρέπει να έχει υψηλή και επιλεκτική αγωγιμότητα για τα ιόντα που συμμετέχουν στις αντιδράσεις των ηλεκτροδίων, αλλά πρέπει να είναι μη αγωγός για τα ηλεκτρόνια προκειμένου να αποφευχθεί η αυτοεκφόρτιση των μπαταριών. Ο ηλεκτρολύτης μπορεί να είναι υγρό, ή στερεό υλικό. Επίσης, ο ηλεκτρολύτης μπορεί να είναι όξινος ή αλκαλικός ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας. Οι παραδοσιακές μπαταρίες όπως το οξύ του μολύβδου και το νικέλιο κάδμιο χρησιμοποιούν υγρούς ηλεκτρολύτες. Στις μπαταρίες μολύβδου οξέος, ο ηλεκτρολύτης είναι το υδατικό διάλυμα θειικού οξέος ($H_2SO_4(aq)$). Οι προηγμένες μπαταρίες για ηλεκτρικά οχήματα, όπως οι μπαταρίες σφραγισμένου οξέος μολύβδου, υδριδίου νικελίου-μετάλλου (NiMH) και ιόντων λιθίου χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρολύτη που είναι γέλη, πάστα ή ρητίνη. Οι μπαταρίες λιθίου-πολυμερούς χρησιμοποιούν στερεό ηλεκτρολύτη.

4. Διαχωριστής: Ο διαχωριστής είναι το ηλεκτρικά μονωτικό στρώμα υλικού, το οποίο διαχωρίζει φυσικά ηλεκτρόδια αντίθετης πολικότητας. Οι διαχωριστές πρέπει να είναι διαπερατοί στα ιόντα του ηλεκτρολύτη και μπορεί επίσης να έχουν τη λειτουργία αποθήκευσης ή ακινητοποίησης του ηλεκτρολύτη. Οι σημερινοί διαχωριστές κατασκευάζονται από συνθετικά πολυμερή.

2.1.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Κατά τη λειτουργία της μπαταρίας, οι χημικές αντιδράσεις σε καθένα από τα ηλεκτρόδια είναι βιώσιμες μόνο εάν τα ηλεκτρόνια που παράγονται στα ηλεκτρόδια μπορούν να ρέουν μέσω ενός εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος που συνδέει τα δύο ηλεκτρόδια. Όταν ένα στοιχείο παθητικού ηλεκτρικού κυκλώματος συνδέεται στους ακροδέκτες του ηλεκτροδίου μιας μπαταρίας, τα ηλεκτρόνια απελευθερώνονται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο και καταναλώνονται στο θετικό ηλεκτρόδιο με αποτέλεσμα τη ροή του ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα. Σε αυτή τη διαδικασία, η μπαταρία αποφορτίζεται. Η παροχή των ηλεκτρονίων οφείλεται στις χημικές αντιδράσεις στις επιφάνειες των ηλεκτροδίων μέσα στο στοιχείο της μπαταρίας, οι οποίες είναι συλλογικά γνωστές ως αντιδράσεις αναγωγής και οξειδωσης (οξειδοαναγωγής). Κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας, το θετικό ηλεκτρόδιο μειώνεται χημικά καθώς απορροφά ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα. Το αρνητικό ηλεκτρόδιο οξειδώνεται καθώς απελευθερώνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα. Για τη φόρτιση της μπαταρίας, πρέπει να εφαρμοστεί μια πηγή με τάση μεγαλύτερη από την τάση του ακροδέκτη της μπαταρίας, έτσι ώστε το ρεύμα να μπορεί να ρέει στην μπαταρία προς την αντίθετη κατεύθυνση. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης, τα ηλεκτρόνια απελευθερώνονται στο θετικό ηλεκτρόδιο και καταναλώνονται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Κατά συνέπεια, το θετικό ηλεκτρόδιο οξειδώνεται και το αρνητικό ηλεκτρόδιο μειώνεται.

2.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

2.2.1 ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Η ποσότητα του φορτίου που απελευθερώνεται από το ενεργοποιημένο υλικό σε ένα ηλεκτρόδιο που σχετίζεται με την πλήρη εκφόρτιση μιας μπαταρίας ονομάζεται χωρητικότητα της μπαταρίας. Η χωρητικότητα μετριέται σε Ah ($1 \text{ Ah} = 3.600 \text{ C}$ ή Coulomb, όπου 1 C είναι το φορτίο που μεταφέρεται σε 1 s από 1 A ρεύμα στη μονάδα φόρτισης SI).

2.2.2 ΤΑΣΗ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ

Η τάση των ακροδεκτών της μπαταρίας V_t είναι η διαθέσιμη τάση στους ακροδέκτες όταν συνδέεται φορτίο στην μπαταρία. Η τάση των ακροδεκτών είναι στην τάση πλήρους φόρτισης VFC όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη. Για παράδειγμα, με μπαταρία μολύβδου οξέος σημαίνει ότι δεν υπάρχει άλλο PbSO_4 διαθέσιμο για να αντιδράσει με το H_2O για την παραγωγή ενεργού υλικού. Το V_{cut} είναι η τάση διακοπής της μπαταρίας, όπου πρέπει να τερματιστεί η εκφόρτιση της μπαταρίας.

2.2.3 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η πρακτική χωρητικότητα Q_P μιας μπαταρίας είναι το πραγματικό φορτίο που απελευθερώνεται από το ενεργοποιημένο υλικό σε ένα ηλεκτρόδιο που σχετίζεται με την πλήρη εκφόρτιση της μπαταρίας. Η πρακτική χωρητικότητα είναι πάντα πολύ χαμηλότερη σε σύγκριση με τη θεωρητική χωρητικότητα Q_T λόγω πρακτικών περιορισμών.

2.2.4 ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ

Ο ρυθμός εκφόρτισης είναι το ρεύμα στο οποίο αποφορτίζεται μια μπαταρία υπό τα χαρακτηρισικά σταθερού ρεύματος. Ο ρυθμός είναι επίσης γνωστός ως C-rate.

2.2.5 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΒΑΘΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η κατάσταση φόρτισης (SoC) αντιπροσωπεύει την τρέχουσα χωρητικότητα της μπαταρίας. Είναι η ποσότητα χωρητικότητας που παραμένει μετά την εκφόρτιση από μια κατάσταση κορυφαίας φόρτισης. Η κατάσταση εκφόρτισης (SoD) είναι ένα μέτρο της φόρτισης που έχει αντληθεί από μια μπαταρία κατά την εκφόρτιση. Το βάθος εκφόρτισης (DoD) είναι το ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας της μπαταρίας στο οποίο αποφορτίζεται μια μπαταρία.

2.2.6 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Η ενέργεια μιας μπαταρίας μετριέται ως προς τη χωρητικότητα και την τάση εκφόρτισης. Για τον υπολογισμό της ενέργειας, η χωρητικότητα της μπαταρίας πρέπει να εκφραστεί σε Coulomb. Το 1 Ah ισοδυναμεί με 3.600 C , ενώ το 1 V αναφέρεται σε

1 J (J για joule) της εργασίας που απαιτείται για τη μετακίνηση φορτίου 1 C από το αρνητικό στο θετικό ηλεκτρόδιο. Επομένως, η αποθηκευμένη ηλεκτρική δυναμική ενέργεια σε μια μπαταρία 12 V, 100 Ah είναι $(12) (3,6 \times 10^5) \text{ J}$ ισούται με 5,32 MJ.

2.2.7 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ RAGONE

Στις ηλεκτροχημικές μπαταρίες, υπάρχει μείωση της χωρητικότητας φόρτισης (εξαιρουμένων των επιπτώσεων τάσης) με την αύξηση των ρευμάτων. Αυτό αναφέρεται συχνά ως σχέση Ragone και περιγράφεται από τα διαγράμματα του Ragone. Τα διαγράμματα Ragone λαμβάνονται συνήθως από δοκιμές εκφόρτισης σταθερής ισχύος, ή διαγράμματα εκφόρτισης σταθερού ρεύματος.

2.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ ΓΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου δίνουν τη δυνατότητα σε μια νέα γενιά ηλεκτροκίνητων οχημάτων να διατίθενται στο εμπόριο από παγκόσμιες αυτοκινητοβιομηχανίες. Διάφορες κυβερνήσεις, συμπεριλαμβανομένων των ΗΠΑ, της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της Κίνας και της Ιαπωνίας, έχουν ανακοινώσει όλο και πιο αυστηρούς κανονισμούς για την οικονομία καυσίμου για τις αντίστοιχες αγορές τους. Το σύγχρονο αυτοκίνητο που κινείται με ορυκτά καύσιμα αποτελεί αντικείμενο συνεχούς μηχανικής βελτίωσης για πάνω από εκατό χρόνια. Συγκριτικά, τα σύγχρονα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία, ωστόσο οι δυνατότητές τους για τη μετατόπιση του πετρελαίου τα καθιστά βασικό συστατικό σχεδόν όλων των σημερινών και μελλοντικών χαρτοφυλακίων προϊόντων των αυτοκινητοβιομηχανιών.

Οι μηχανικοί μπαταριών μπορούν να σχεδιάσουν πακέτα για να ικανοποιήσουν το εύρος των απαιτήσεων ενέργειας και ισχύος που απαιτεί κάθε χαρακτηριστικό του οχήματος, χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε χημεία μπαταρίας. Διάφορες χημικές μπαταρίες (μόλυβδος-οξύ, νικέλιο-υδρίδιο μετάλλου και ιόν λιθίου) έχουν επιδοθεί στο εμπόριο σε συγκεκριμένους τύπους ηλεκτροκίνητων οχημάτων με βάση τις απαιτήσεις κόστους, ενέργειας, ισχύος, βάρους και όγκου. Ως αποτέλεσμα, έχουν προκύψει διάφορες τάσεις για την εφαρμογή της τεχνολογίας των ιόντων λιθίου.

Τα ιόντα λιθίου βοήθησαν στην εμπορευματοποίηση του τύπου PHEV ως κατηγορίας οχημάτων, καθώς το βάρος παλαιότερων χημικών ουσιών (όπως νικέλιο-υδρίδιο μετάλλου ή μόλυβδος-οξύ) που απαιτούνταν για να επιτευχθεί οποιαδήποτε αξιόλογη ηλεκτρική αυτονομία μαζί με έναν κινητήρα δεν ήταν πρακτικό. Η βελτιωμένη ενεργειακή βαρυμετρική και ογκομετρική πυκνότητα του ιόντος λιθίου του επέτρεψε να αντικαταστήσει πλήρως άλλες χημικές ουσίες για εφαρμογές EV. Το ιόν λιθίου παρέχει πολλές φορές μεγαλύτερη ειδική ενέργεια από χημικές ουσίες νικελίου-μετάλλου ή υδριδίου μολύβδου-οξέος, χωρίς τις οποίες τα σύγχρονα ηλεκτρικά οχήματα θα ήταν ανέφικτα.

Οι χαμηλότερες ανάγκες ενέργειας και ισχύος οδήγησαν στον ανταγωνισμό των ιόντων λιθίου με τις χημικές ουσίες μολύβδου-οξέος και νικελίου-υβριδίου μετάλλου βραχυπρόθεσμα. Στο μέλλον, αναμένεται ότι όλα τα HEV θα στραφούν σε μπαταρίες χημείας ιόντων λιθίου με αξιοσημείωτη εξαίρεση την Toyota που αναμένεται να αποσβέσει τη σημαντική επένδυσή της στην παραγωγή νικελίου-υδριδίου μετάλλου.

Τα πακέτα των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων απαιτείται να πληρούν μια ποικιλία τεχνικών απαιτήσεων του αυτοκινήτου, εκτός από την κάλυψη της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας και της ενέργειας του οχήματος. Η συναρμολόγηση των κυψελών σε μονάδες και στη συνέχεια σε πακέτα είναι αυτό που κάνει το υλικό σχετικό με ένα σχεδιαστή και χρήστη των αυτοκινήτων. Μηχανικά, τα πακέτα των μπαταριών απαιτείται να ενσωματωθούν στην υπάρχουσα δομή του οχήματος. Απαιτούνται επίσης πακέτα για τη διαχείριση της διεπαφής του ηλεκτρονικού ελέγχου με τις υπόλοιπες μονάδες ελέγχου του οχήματος και για τη διατήρηση των κυψελών τους, εντός προκαθορισμένων παραμέτρων λειτουργίας για ζωή και ασφάλεια. Επιπλέον, τα πακέτα των μπαταριών συνήθως διαθέτουν ειδικά, ή προερχόμενα από το όχημα εξαρτήματα θερμικού ελέγχου, επίσης για λόγους απόδοσης και ασφάλειας. Η ευαισθησία των χημικών ουσιών των ιόντων λιθίου σε μηχανικά, ηλεκτρικά και θερμικά στοιχεία εκτός των προδιαγραφών σχεδιασμού δίνει πρόσθετη σημασία στο στιβαρό σχεδιασμό της μπαταρίας.

2.3.1 ΕΝΟΤΗΤΕΣ/ΠΑΚΕΤΑ

Σε εφαρμογές αυτοκινήτων, πρέπει να ληφθούν υπόψη όχι μόνο τα στοιχεία σε επίπεδο κυψέλης, αλλά και τα στοιχεία της μονάδας γενικότερα (μηχανική συναρμολόγηση κυψελών, που συχνά περιέχει ηλεκτρική/θερμική ανίχνευση και διεπαφές) και το επίπεδο της μπαταρίας (μηχανική διάταξη των μονάδων, που συχνά περιέχουν υλικό και λογισμικό ηλεκτρικού και θερμικού ελέγχου). Αν και τα σχέδια των μονάδων και των πακέτων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά, όλα προσθέτουν επιπλέον βάρος και όγκο που μειώνει αποτελεσματικά τις τιμές απόδοσης σε επίπεδο κυψέλης.

Οι τάσεις των μεμονωμένων κυψελών είναι ανεπαρκείς για την παροχή κιλοβάτ της ισχύος που απαιτείται για τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, καθώς οι πρακτικοί λόγοι με τους ηλεκτρικούς κινητήρες, την καλωδίωση και τα ηλεκτρονικά ισχύος περιορίζουν τη ροή του ρεύματος σε λιγότερο από 500 A. Χρησιμοποιείται μια μονή σειρά, ή μια σειρά παράλληλης διάταξης κυψελών για ηλεκτρικά και σχηματίζουν μηχανικά ένα δομικό στοιχείο υποσυγκρότησης γνωστό ως μονάδα μπαταρίας. Οι μονάδες των μπαταριών συνήθως περιέχουν διατάξεις κυψελών έτσι ώστε η τάση να είναι 50 V και το βάρος τους να είναι 22 kg για ευκολία χειρισμού και ασφάλεια.

Οι μονάδες των μπαταριών συνδυάζονται ηλεκτρικά (τις περισσότερες φορές σε σειρά) για να παρέχουν την πλήρη ισχύ και ενέργεια που χρειάζεται για τα ηλεκτρικά οχήματα. Ανάλογα με τον τύπο και το σχεδιασμό του οχήματος, οι ηλεκτροχημικές κυψέλες μπορεί να αντιπροσωπεύουν μεταξύ 50 και 75% του κόστους, του βάρους και του όγκου της συσκευασίας. Έτσι, η ειδική απόδοση του συστήματος της μπαταρίας είναι πάντα μικρότερη από αυτή των μονάδων και των μονάδων μικρότερη από αυτή των κυψελών. Ως εκ τούτου, οι στόχοι της απόδοσης της μπαταρίας των ηλεκτρικών οχημάτων τίθενται συνήθως σε επίπεδο πακέτου ώστε να είναι πιο σχετικοί με αυτούς των σχεδιαστών των αυτοκινήτων.

2.3.2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ

Οι μπαταρίες πρέπει επίσης να περιέχονται φυσικά μέσα στο όχημα με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ασφαλείς σε περίπτωση ατυχημάτων και κατά τη διάρκεια της κανονικής χρήσης του οχήματος και των δονήσεων. Μια τυπική ζώνη των επιβατών του οχήματος ορίζεται ως η περιοχή μεταξύ των αξόνων των τροχών και του εσωτερικού των πλαισίων παλινδρόμησης εκατέρωθεν. Η τοποθέτηση μιας μπαταρίας εκτός αυτής της ζώνης είναι δυνατή, αλλά συνήθως απαιτεί την προσθήκη μιας σημαντικής δομικής ενίσχυσης για να διασφαλιστεί η ακεραιότητά της σε περίπτωση σύγκρουσης, προσθέτοντας σημαντικές επιβαρύνσεις κόστους, βάρους και όγκου στο συνολικό πακέτο. Λόγω της περιοριστικής φύσης του όγκου στο πακέτο των μπαταριών, η μηχανική της συσκευασίας της μπαταρίας είναι πάντα ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό στο σχεδιασμό ενός ηλεκτρικού οχήματος.

Η μηχανική θέση της συσκευασίας επηρεάζει επίσης το επίπεδο στιβαρότητας κατά τη διείσδυσης νερού και σκόνης, με αποτέλεσμα οι επιφάνειες της συσκευασίας να απαιτούν το μέγιστο έλεγχο εξωτερικά σε σχέση με τη δομή του οχήματος. Επιπλέον, η θέση της συσκευασίας και ο χημικός τύπος της μπαταρίας θα επηρεάσουν εάν είναι απαραίτητο ένα σύστημα δρομολόγησης αερίου ως προς το εξωτερικό του οχήματος σε περίπτωση εξαερισμού της κυψέλης κατά τη διάρκεια κάποιας δυσλειτουργίας (δεδομένου ότι τα στοιχεία των ιόντων λιθίου είναι σφραγισμένα σε αντίθεση με τους τύπους υδριδίου νικελίου-μετάλλου).

2.3.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ

Τα ηλεκτρονικά χειριστήρια βοηθούν το πακέτο των μπαταριών να παρέχει την απαιτούμενη ισχύ πρόωσης, ενώ διατηρεί το πακέτο των μπαταριών στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Μια παραδοσιακή μπαταρία μολύβδου-οξέος 12 V χρησιμοποιείται συνήθως για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών βοηθητικών φορτίων των οχημάτων (φώτα, συστήματα συναγερμού, ραδιόφωνο κ.λπ.) κατά τις συνθήκες σβησίματος του κινητήρα για να αποφευχθεί η τυχαιά υπερφόρτιση της μπαταρίας υψηλής τάσης. Με τη λήψη ενός σήματος του κινητήρα, η τροφοδοσία 12 V θα κλείσει αρκετές επαφές του συστήματος για να συνδέσει ηλεκτρονικά τη μπαταρία υψηλής τάσης στο όχημα. Τα πακέτα συνήθως περιέχουν επίσης χειροκίνητες αποσυνδέσεις σέρβις (MSD) για την ηλεκτρονική απενεργοποίηση ενός πακέτου σε περίπτωση δυσλειτουργίας (δηλ. συγκολλημένοι επαφές), ή κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Τα πακέτα των μπαταριών χαμηλής τάσης είναι συνήθως γειωμένα στο πλαίσιο του οχήματος, ενώ τα συστήματα υψηλής τάσης απαιτείται να είναι ηλεκτρονικά απομονωμένα. Για πρόσθετη ασφάλεια, τα πακέτα περιέχουν συχνά κυκλώματα διακλάδωσης υψηλής τάσης (HVIL) που όταν «σπάσουν» θα ειδοποιήσουν το όχημα για πιθανή διαρροή.

Οι τάσεις και τα ρεύματα του πακέτου της μονάδας της κυψέλης μετρώνται και ελέγχονται από το σύστημα διαχείρισης των πακέτων των μπαταριών (BMS). Το BMS θα παραπέμπει συχνά σε πίνακες αναζήτησης ή/και προκαθορισμένους αλγόριθμους για να ορίσει την τάση/ρεύμα της κυψέλης καθώς και να συσκευάσει τα όρια της ενέργειας/ισχύος για τη μπαταρία με βάση διάφορους παράγοντες όπως η κατάσταση της φόρτισης (SOC), η ηλικία και η θερμοκρασία. Το BMS είναι επίσης υπεύθυνο για την επικοινωνία με τους ελεγκτές του οχήματος της κατάστασης των επαφών του πακέτου, των πληροφοριών HVIL, MSD και θερμοκρασίας, εκτός από το μετριάσμο της συνολικής ηλεκτρικής εξόδου και εισόδου του πακέτου. Για οχήματα που

φορτίζονται εξωτερικά (PHEV και EV), το BMS απαιτείται επίσης να επιβλέπει και να ελέγχει τη διεπαφή του φορτιστή και του εξωτερικού βύσματος. Με την πάροδο του χρόνου, τα μεμονωμένα στοιχεία θα έχουν το SOC τους από μια κοινή, ή μέση τιμή λόγω ατελειών στη συναρμολόγηση, τη χωρητικότητα, την ισχύ και το θερμικό ιστορικό τους. Περιοδικά, το BMS μπορεί να επιχειρήσει να εκτελέσει συμβάντα εξισορρόπησης των κυψελών είτε παθητικά (δηλ. εκφόρτιση σε αντίσταση), είτε ενεργά (δηλαδή ανακατανομή της ενέργειας μεταξύ των κυψελών υψηλού και χαμηλού SOC).

2.3.4 ΘΕΡΜΙΚΑ

Τα πακέτα των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιούν συνήθως ένα σύστημα διαχείρισης της θερμότητας που έχει σχεδιαστεί για να διατηρεί τις θερμοκρασίες των κυψελών εντός ενός κανονικού εύρους λειτουργίας. Οι παράμετροι του σχεδιασμού των κυψελών της μπαταρίας ιόντων λιθίου, όπως η σύνθεση του ηλεκτρολύτη, θα επηρεάσουν έντονα το προτιμώμενο εύρος της θερμοκρασίας λειτουργίας. Ως πρακτικό θέμα, οι περισσότερες χημικές ουσίες είναι σε θέση να επιτύχουν μια επιθυμητή ισορροπία της διαθέσιμης ενέργειας και ισχύος στην περιοχή των 10–40 °C. Ευτυχώς, για τα αερόψυκτα συστήματα, αυτό το εύρος της θερμοκρασίας είναι παρόμοιο με αυτό που θα προτιμούσε φυσικά ο χειριστής του οχήματος για την καμπίνα με την οποία το πακέτο μοιράζεται τη ροή του αέρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια μικρή διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ του θερμικού περιβάλλοντος του χρήστη και της μπαταρίας. Δυστυχώς, για τα συστήματα υγρής ψύξης, αυτό το εύρος της θερμοκρασίας είναι διαφορετικό από το υπάρχον ψυκτικό κινητήρα/κιβωτίου ταχυτήτων (100 °C) και των ηλεκτρονικών ισχύος (80 °C). Αυτή η διαφορά της θερμοκρασίας σημαίνει ότι δεν είναι επί του παρόντος δυνατό να κοινοποιηθούν οι υπάρχοντες βρόχοι ψυκτικού υγρού για να αξιοποιηθεί το υπάρχον υλικό ψύξης του οχήματος.

Τα υβριδικά ηλεκτροκίνητα οχήματα έχουν συνήθως μεγάλες ποσότητες σπατάλης της θερμικής ενέργειας από τις θερμικές ανεπάρκειες του κινητήρα για την εκτέλεση των λειτουργιών θέρμανσης. Δεδομένου ότι τα ηλεκτρικά οχήματα δε διαθέτουν κινητήρα για την παροχή υπερβολικής θερμότητας, χρησιμοποιούν συνήθως θερμαντήρες θετικού θερμικού συντελεστή (PTC) για να ζεστάνουν την καμπίνα των επιβατών και ενδεχομένως την μπαταρία. Αυτές οι πηγές θερμότητας, η εξώθερμη φύση της εκφόρτισης/φόρτισης της μπαταρίας ιόντων λιθίου και η θέρμανση Joule των εξαρτημάτων της συσκευασίας (της τάξης του 10% της παρεχόμενης ισχύος του πακέτου) σημαίνει ότι τα περισσότερα συστήματα ελέγχου της θερμοκρασίας επικεντρώνονται στην ψύξη του πακέτου αντί για τη θέρμανση.

Τα συστήματα ψύξης μπορεί να διαφέρουν ως προς την πολυπλοκότητα και το σχεδιασμό, αλλά συνήθως εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες: παθητικός αέρας, ενεργός αέρας, ή έλεγχος της θερμοκρασίας του υγρού. Μερικά οχήματα (π.χ. Nissan Leaf) εξαρτώνται από τη φυσική μεταφορά. Ωστόσο, τα περισσότερα σχέδια ενσωματώνουν έναν ή πολλούς ανεμιστήρες για να παρέχουν επαρκή μεταφορά της θερμότητας. Μια παθητική προσέγγιση του αέρα, λαμβάνει αέρα από την καμπίνα των επιβατών και βασίζεται στο χειριστή του οχήματος για να καθορίσει τη στρατηγική κλιματισμού (δηλαδή ψύξη το καλοκαίρι και θέρμανση το χειμώνα). Αυτή η προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα της απλότητας και ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται

στα περισσότερα εμπορικά ηλεκτρικά αερόψυκτα οχήματα (π.χ. Toyota Prius). Η προσέγγιση του ενεργού αέρα θα συνδέει απευθείας τον κλιματιζόμενο αέρα από το σύστημα κλιματισμού των οχημάτων με τη μπαταρία, ή θα προσθέτει ένα δεύτερο, αποκλειστικό σύστημα κλιματισμού αποκλειστικά για τη μπαταρία. Με αυτόν τον τρόπο, η προσέγγιση του ενεργού αέρα θα παρακάμπτει την προτίμηση της θερμοκρασίας του χειριστή υπέρ της βέλτιστης θερμοκρασίας εισόδου για τη μπαταρία. Λόγω των πρόσθετων καναλιών αέρα που εμπλέκονται ή/και του δεύτερου συστήματος ψύξης και του σχετικού βάρους, όγκου και κόστους που προκύπτει, η προσέγγιση του ενεργού αέρα είναι πολύ λιγότερο κοινή από την παθητική προσέγγιση.

Η υγρή ψύξη επιτρέπει συνήθως μεγαλύτερο βαθμό θερμικού ελέγχου από την ψύξη με αέρα, δεδομένης της ανάγκης χρήσης αποκλειστικού εναλλάκτη θερμότητας και βρόχου του ψυκτικού. Επιπλέον, η υγρή ψύξη είναι πολύ πιο ογκομετρικά αποτελεσματική από την ψύξη με αέρα, λόγω της πολύ μεγαλύτερης ειδικής θερμικής ικανότητας του ψυκτικού μέσου (συνήθως μίγμα νερού/αιθυλενογλυκόλης 50/50%) και των καναλιών. Δυστυχώς, η υγρή ψύξη αυξάνει το βάρος, το κόστος, τον αριθμό των εξαρτημάτων και την πολυπλοκότητα της κατασκευής σε σύγκριση με την παθητική ψύξη αέρα. Ως αποτέλεσμα, μόνο τα οχήματα που απαιτούν το μεγαλύτερο βαθμό θερμικού ελέγχου από την υγρή ψύξη (συνήθως μεγάλες μπαταρίες EV ή PHEV) εφαρμόζουν αυτήν τη λύση (π.χ. Ford Focus EV, Chevrolet Volt PHEV).

Στόχος όλων των συστημάτων διαχείρισης της θερμότητας είναι η διατήρηση της μέσης θερμοκρασίας της μπαταρίας εντός του κανονικού εύρους λειτουργίας και η παροχή ομοιόμορφων θερμοκρασιών σε ολόκληρο το πακέτο μπαταριών. Απαιτούνται ομοιόμορφες θερμοκρασίες των στοιχείων της μπαταρίας για να ελαχιστοποιηθούν οι διακυμάνσεις της τάσης της κυψέλης λειτουργίας που προκαλούνται από διαφορές στην αντίσταση, οι οποίες μπορεί να έχουν σημαντική εξάρτηση από τη θερμοκρασία. Είναι εξίσου σημαντικό να αποφεύγονται οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας από κυψέλη σε κυψέλη για να διατηρηθεί μια ομοιόμορφη κατάσταση φόρτισης, καθώς η αυτοεκφόρτιση εξαρτάται επίσης σημαντικά από τη θερμοκρασία.

2.4 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΗΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΛΙΘΙΟΥ ΓΙΑ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Πολλές μελέτες στο παρελθόν έχουν προβλέψει μια σχετικά γρήγορη και ευρεία διείσδυση στην αγορά των πλήρως ηλεκτρικών οχημάτων και υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (EVs και HEVs) [9]. Ωστόσο, η πραγματικότητα σήμερα είναι πολύ διαφορετική.

Στο παρελθόν, οι δαπανηρές μπαταρίες NiMH χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή των HEV. Ωστόσο, στην πιο πρόσφατη πρόβλεψη της Avicenne Energy για τα μελλοντικά μερίδια αγοράς των διαφορετικών χημικών συσσωρευτών, οι μπαταρίες NiMH (σε αντίθεση με προηγούμενες προβλέψεις) δεν αναφέρονται, πιθανώς λόγω της ανακοίνωσης του ηγέτη της αγοράς HEV Toyota να χρησιμοποιεί μπαταρίες ιόντων λιθίου (LIB) και για τα HEVs [10]. Σε μεσοπρόθεσμη και (πιθανώς) μακροπρόθεσμη προοπτική, τα LIB θα είναι κατά πάσα πιθανότητα η προτιμώμενη τεχνολογία αποθήκευσης της ενέργειας για τα EV και τα HEV λόγω της καλής τεχνικής τους απόδοσης.

Εάν πραγματοποιηθούν οι προβλέψεις και οι εκτιμήσεις, ο τομέας της κινητικότητας των αυτοκινήτων στο σύνολό του θα απαιτήσει τεράστια χωρητικότητα αποθήκευσης της ενέργειας για τους μελλοντικούς στόλους. Η παραγωγή των αντίστοιχων ποσοτήτων των μπαταριών για EV και HEV θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στα παγκόσμια αποθέματα και τους πόρους. Στην πραγματικότητα, οι απαιτήσεις σε πόρους και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μπαταριών EV αποτελούν σημαντικό μερίδιο των συνολικών απαιτήσεων των πόρων των οχημάτων σε όλη τη διάρκεια ζωής τους, με το μερίδιο να είναι σαφώς υψηλότερο από αυτό των συγκρίσιμων κινητήρων καύσης.

Λόγω της σημασίας του λιθίου για τα συστήματα LIB, υπήρξε έντονη ερευνητική εστίαση στη μελλοντική διαθεσιμότητα του λιθίου ως βασικής πρώτης ύλης [11]. Άλλα μέταλλα, παρά το γεγονός ότι έχουν πολύ υψηλότερα ποσοστά μάζας στις μπαταρίες, συχνά αγνοούνται.

Η ποσότητα των μετάλλων που περιέχονται σε κάθε τύπο μπαταρίας προσδιορίζεται ποσοτικά με βάση τις υπάρχουσες μελέτες αξιολόγησης του κύκλου ζωής του LIB. Από αυτά εξάγονται και ενοποιούνται τα δεδομένα του αποθέματος (λεπτομερή ισοζύγια μάζας και απαιτούμενα μέταλλα), υποθέτοντας τον ίδιο τύπο δοχείου κυψέλης, περιβλήματος συσκευασίας και συστήματος διαχείρισης των μπαταριών (BMS) για όλους τους τύπους των μπαταριών. Διαφορετικά, μια σύγκριση θα έδινε μια διαφορετική εικόνα, καθώς διαφορετικά δοχεία κυψελών έχουν διαφορετικές μάζες και επομένως επηρεάζουν σημαντικά την ισορροπία του υλικού των στοιχείων της μπαταρίας. Για μελλοντική εφαρμογή σε ηλεκτρικά οχήματα, θεωρούνται μπαταρίες θήκης που συναρμολογούνται μαζί με το BMS, την καλωδίωση, τη μόνωση και τη στερέωση σε ένα χαλύβδινο κουτί για να σχηματίσουν ένα πακέτο μπαταριών αυτοκινήτου 20 kWh. Με βάση το αντίστοιχο ποσοστό της μάζας των εξαρτημάτων της μπαταρίας και τις ποσότητες των μετάλλων που απαιτούνται για την κατασκευή τους, οι απαιτήσεις των μετάλλων κάθε τύπου μπαταρίας μπορούν να προσδιοριστούν συγκεκριμένα. Η ενεργειακή πυκνότητα που υπολογίζεται για κάθε ένα από τα διαφορετικά πακέτα των μπαταριών δίνεται με συγκεκριμένους υπολογισμούς, επιτρέποντας στη συνέχεια τον υπολογισμό της ποσότητας του μετάλλου που απαιτείται για την παροχή μιας συγκεκριμένης χωρητικότητας αποθήκευσης της ενέργειας (π.χ. ποσότητα μετάλλου ανά kWh). Είναι ενδιαφέρον ότι η περιεκτικότητα σε μέταλλα των διαφορετικών LIB κυμαίνεται μόνο μεταξύ 43 και 56%, συμπεριλαμβανομένων των συνεισφορών του περιβλήματος της κυψέλης και της συσκευασίας και των κύριων μετάλλων που περιέχονται στο BMS. Αυτό, οφείλεται στο ότι σημαντικές αναλογίες των μπαταριών είναι οργανικά συστατικά, όπως διαλύτες για τον ηλεκτρολύτη, ή το διαχωριστή, ανθρακούχα υλικά, συνδετικά και πλαστικά, τα οποία δε συμβάλλουν στη ζήτηση των μετάλλων. Εκτός από αυτό, τα ενεργά ως προς την κάθοδο υλικά είναι οξειδία των μετάλλων και επομένως περιέχουν επίσης ένα σημαντικό ποσοστό μη μεταλλικών στοιχείων (οξυγόνο). Τα «παθητικά» εξαρτήματα της μπαταρίας, όπως το πακέτο και το BMS, συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στη ζήτηση για αλουμίνιο, σίδηρο και χαλκό, όπου προσθέτουν μεταξύ των άλλων 2% (Cu) και 7–8% (Al και Fe) στις συνολικές απαιτήσεις των μετάλλων ανά πακέτο μπαταριών.

Η πρόβλεψη των μελλοντικών τάσεων σχετικά με τη συνάφεια των διαφορετικών χημικών ουσιών LIB είναι δύσκολη και εξαιρετικά αβέβαιη. Πολύ λίγες πληροφορίες μπορούν να βρεθούν σχετικά με τις μελλοντικές τάσεις των διαφορετικών χημικών προϊόντων LIB στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Οι λίγες μελέτες που είναι διαθέσιμες για το θέμα αυτό δεν κάνουν διάκριση μεταξύ των τομέων και έτσι δίνουν

μη ρεαλιστικά σενάρια για εφαρμογές των αυτοκινήτων, όπου οι μπαταρίες οξειδίου του κοβαλτίου λιθίου (LCO) δεν αποτελούν επιλογή λόγω ανησυχιών για την ασφάλεια.

2.5 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Η ανακύκλωση των μπαταριών για ηλεκτρικά οχήματα, οι οποίες είναι κυρίως μπαταρίες ιόντων λιθίου (LIB), είναι μια τεράστια πρόκληση, όχι μόνο για τους ανακυκλωτές των οχημάτων και τις αυτοκινητοβιομηχανίες αλλά και για τους μετέπειτα ανακυκλωτές των μπαταριών και αφορούν τόσο την πολιτική, όσο και τη νομοθεσία. Οι προκλήσεις πηγάζουν, μεταξύ άλλων, από μια υποδομή ανακύκλωσης που δεν έχει ακόμη δημιουργηθεί, πολύπλοκα συγκροτήματα και σύνθετα υλικά, προς το παρόν με χαμηλούς όγκους με πολύ διαφορετικά σχέδια και χημικές συνθέσεις, καθώς και από υψηλά ενεργειακά περιεχόμενα και βάρη [12]. Ωστόσο, στην περίπτωση μιας μαζικής εφαρμογής των EV, οι εξελιγμένες τεχνολογίες ανακύκλωσης που αντιμετωπίζουν αυτές τις δυναμικές εξελίξεις έχουν μεγάλη σημασία, όχι μόνο για περιβαλλοντικούς λόγους και λόγους ασφαλείας, αλλά και για την εξασφάλιση της μεσοπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης προμήθειας των απαιτούμενων πρώτων υλών, όπως για παράδειγμα το λίθιο και το κοβάλτιο. Τα τελευταία χρόνια, έχει ξεκινήσει ένας σημαντικός αριθμός εθνικών και διεθνών προσπάθειών από τον ιδιωτικό και το δημόσιο τομέα για την ανακύκλωση LIB.

Στην ΕΕ, υπάρχουν δύο σημαντικές οδηγίες σχετικά με την ανακύκλωση των μπαταριών. Αυτές είναι η οδηγία 2000/53/EK για τα οχήματα EOL (τέλος ζωής του οχήματος) και η οδηγία 2006/66/EK για τις μπαταρίες και τους συσσωρευτές και τα απόβλητα των μπαταριών και των συσσωρευτών.

Η οδηγία 2000/53/EK αφορά την πρόληψη των αποβλήτων από οχήματα και την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των οχημάτων EOL και των εξαρτημάτων τους. Αυτά τα μέτρα σκοπεύουν να μειώσουν τη διάθεση των απορριμμάτων και ως εκ τούτου, να διασφαλίσουν ότι τα οχήματα EOL απορρίπτονται χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο το περιβάλλον. Το 2015, το ποσοστό επαναχρησιμοποίησης και ανάκτησης οχημάτων EOL ορίστηκε σε ελάχιστο 95% κατά μέσο βάρος ανά όχημα, ενώ η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση στο ελάχιστο 85%. Σύμφωνα με το άρθρο 6, τα επικίνδυνα εξαρτήματα, συμπεριλαμβανομένων των απορριμμάτων των μπαταριών, πρέπει να αφαιρούνται και να υποβάλλονται σε επεξεργασία χωριστά.

Μετά την αφαίρεση, η οδηγία 2006/66/EK ρυθμίζει την περαιτέρω επεξεργασία των μπαταριών. Η παρούσα οδηγία αφορά την κατασκευή των μπαταριών και των συσσωρευτών καθώς και την απόρριψή τους. Η οδηγία 2006/66/EK τέθηκε σε ισχύ το 2006 για την εναρμόνιση των εθνικών μέτρων και την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων των μπαταριών EOL στο περιβάλλον. Ωστόσο, τα κράτη μέλη διατηρούν κάποια ελευθερία στον τρόπο μεταφοράς των απαιτήσεων της οδηγίας στο εθνικό δίκαιο.

Σύμφωνα με την Οδηγία 2006/66/EK, οι μπαταρίες για τα ηλεκτρικά οχήματα είναι βιομηχανικές μπαταρίες. Όσον αφορά την ανακύκλωση των βιομηχανικών μπαταριών, οι σημαντικότεροι κανονισμοί είναι η διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού και ο ορισμός της ελάχιστης απόδοσης της ανακύκλωσης. Οι διαδικασίες ανακύκλωσης των LIB πρέπει να επιτυγχάνουν την ελάχιστη απόδοση ανακύκλωσης 50% κατά μέσο βάρος. Οι παραγωγοί των μπαταριών, ή τα τρίτα μέρη που ενεργούν

για λογαριασμό τους, πρέπει να χρηματοδοτήσουν κάθε καθαρό κόστος που προκύπτει από τη συλλογή, την επεξεργασία και την ανακύκλωση όλων των απορριμμάτων των βιομηχανικών μπαταριών που συλλέγονται.

Μέσα στα επόμενα χρόνια αναμένεται η αναθεώρηση της Οδηγίας 2006/66/EK. Λόγω του αυξανόμενου τομέα της ηλεκτροκίνησης, οι μπαταρίες των οχημάτων πιθανότατα θα αντιμετωπιστούν πιο συγκεκριμένα.

Από το 2009, η κινεζική κυβέρνηση προωθεί έντονα την ηλεκτροκίνηση. Εκείνο το έτος, η κυβέρνηση δημιούργησε το Πρόγραμμα «Χιλιάδες Οχήματα, Δεκάδες Πόλεις» (TVTC) για να επιδείξει τα HEV, BEV και FCEV σε στόλους οχημάτων δημόσιας υπηρεσίας, συμπεριλαμβανομένων λεωφορείων και ταξί. Η διαχείριση των απορριμμάτων των μπαταριών, ωστόσο, παραμένει σε πρώιμο στάδιο παρά το γεγονός ότι η κυβέρνηση έχει αρχίσει να προετοιμάζει την εφαρμογή των νομοθετικών ρυθμίσεων.

Με βάση το πρόγραμμα TVTC, το 2012, η κυβέρνηση διατύπωσε το «Πρόγραμμα Ανάπτυξης Βιομηχανίας των Οχημάτων Εξοικονόμησης Ενέργειας και Νέας Ενέργειας (2012–2020)». Διακηρύσσονται πολιτικές διαχείρισης για την ανακύκλωση μπαταριών και η βιομηχανία ενθαρρύνεται να αναπτύξει εξειδικευμένες διαδικασίες ανακύκλωσης των μπαταριών.

Το 2014, το Κρατικό Συμβούλιο εξέδωσε τις «Καθοδηγητικές γνωμοδοτήσεις του Γενικού Γραφείου του Κρατικού Συμβουλίου για τη Δημοσίευση και την Εφαρμογή των Ηλεκτρικών Οχημάτων» για την προώθηση και τη θέσπιση μιας πολιτικής ανακύκλωσης των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων. Αυτό περιλαμβάνει τη διερεύνηση ενός συστήματος απόθεσης για μπαταρίες καθώς και την εισαγωγή κεφαλαίων για τη χρηματοδότηση της ανακύκλωσης. Για την εφαρμογή αυτού του πλαισίου, κυκλοφόρησε το 2015 η «Πολιτική τεχνολογίας για την ανακύκλωση των μπαταριών ισχύος για τα ηλεκτρικά οχήματα».

Στις ΗΠΑ, οι κανονισμοί για την ανακύκλωση των LIB είναι λιγότερο αυστηροί από ό,τι στην ΕΕ. Σε ομοσπονδιακό επίπεδο, οι καθολικοί κανονισμοί για τα απόβλητα εκσυγχρονίζουν τη διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων για μπαταρίες (Τίτλος 40 του Κώδικα Ομοσπονδιακών Κανονισμών Μέρος 273), οι οποίοι εκδόθηκαν από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος το 1995. Οι καθολικοί κανονισμοί για τα απόβλητα τέθηκαν σε ισχύ και στις 50 πολιτείες μέσω του νόμου περί διαχείρισης του υδραργύρου και επαναφορτιζόμενων μπαταριών το 1996. Οι καθολικοί κανονισμοί για τα απόβλητα δε θεωρούν τα LIB επικίνδυνα. Επομένως, αυτές οι μπαταρίες εξαιρούνται.

Από τις 50 πολιτείες, οι 30 έχουν σε ισχύ πρόσθετες απαιτήσεις ανακύκλωσης των μπαταριών κατά κατάσταση. Μόνο τρεις πολιτείες έχουν κανονισμούς διαχείρισης των απορριμμάτων των επαναφορτιζόμενων μπαταριών που ενσωματώνουν LIB: ο νόμος της Καλιφόρνια για την ανακύκλωση επαναφορτιζόμενων μπαταριών του 2006, ο νόμος της πολιτείας Νέας Υόρκης για τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες του 2010 και ο νόμος της Μινεσότα για τις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες και τα προϊόντα του 1994. Η νομοθεσία επικεντρώνεται στη συλλογή, αποθήκευση και μεταφορά των απορριμμάτων των μπαταριών. Η ανακύκλωση ενθαρρύνεται μόνο και δεν καθορίζονται στόχοι ανακύκλωσης, ή αποδοτικότητας των διεργασιών. Οι LIB απαγορεύονται από χώρους υγειονομικής ταφής στην Καλιφόρνια, τη Νέα Υόρκη και τη Μινεσότα, αλλά οι κυρώσεις για μη συμμόρφωση δεν υπάρχουν, ή είναι αναποτελεσματικές. Η αποτέφρωση είναι ακόμα δυνατή. Επιπλέον, οι κανονισμοί δεν αφορούν ρητά τις μπαταρίες των ηλεκτρικών οχημάτων, αλλά γενικότερα τις μπαταρίες.

2.6 ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

2.6.1 ΜΟΝΑΔΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για την ανάπτυξη της ηλεκτρικής κινητικότητας είναι η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά ESS (συστήματα αποθήκευσης ενέργειας) υψηλής ενέργειας και πυκνότητας ισχύος προκειμένου να ληφθεί η απαιτούμενη ενέργεια. Η γρήγορη φόρτιση, η μεγάλη διάρκεια ζωής και ο κύκλος ζωής, το χαμηλό κόστος αγοράς και συντήρησης είναι σημαντικοί παράγοντες για την επιλογή τους. Απαιτείται υψηλή ειδική ενέργεια από μια πηγή για την παροχή μεγάλης αυτονομίας της οδήγησης, ενώ η υψηλή ειδική ισχύς βοηθά στην αύξηση της επιτάχυνσης. Επιπλέον, το ESS θα πρέπει να έχει κάποιο μέγεθος ώστε να αποθηκεύει επαρκή ενέργεια (σε κιλοβατώρες) και να παρέχει επαρκή ισχύ αιχμής (σε κιλοβάτ) ώστε τα EV να έχουν καθορισμένη απόδοση της επιτάχυνσης και την ικανότητα να ανταποκρίνονται σε κατάλληλους κύκλους οδήγησης. Από τα παραπάνω, είναι προφανές ότι μια «τέλεια» πηγή ενέργειας πρέπει να έχει πολλά και διαφορετικά χαρακτηριστικά, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικούς συνδυασμούς, με στόχο την ικανοποίηση των επιθυμητών αναγκών. Ως εκ τούτου, λαμβάνονται υπόψη πολλές απαιτήσεις για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας στα ηλεκτρικά οχήματα. Το σύστημα διαχείρισης, η διεπαφή των ηλεκτρονικών ισχύος, η μετατροπή ισχύος, η ασφάλεια και η προστασία είναι οι σημαντικές απαιτήσεις για την αποτελεσματική διαχείριση της αποθήκευσης και της διανομής της ενέργειας των εφαρμογών των EV [13]. Το ESS ταξινομείται σε μηχανικό, ηλεκτροχημικό, χημικό, ηλεκτρικό, θερμικό και υβριδικό. Οι σφόνδυλοι, οι δευτερεύουσες ηλεκτροχημικές μπαταρίες, FC, UC, τα υπεραγώγιμα μαγνητικά πηνία και τα υβριδικά ESS χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές τροφοδοσίας των ηλεκτρικών οχημάτων.

Μπαταρίες

Οι μπαταρίες (Εικόνα 2.1) είναι συσκευές αποθήκευσης που αποτελούνται από μία, ή περισσότερες ηλεκτροχημικές κυψέλες που μετατρέπουν την αποθηκευμένη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι μπαταρίες ταξινομούνται ως πρωτεύουσες, ή δευτερεύουσες. Οι κύριοι τύποι δεν είναι επαναφορτιζόμενες, αλλά οι δευτερεύουσες μπαταρίες, οι οποίες προτιμώνται για εφαρμογές οχημάτων. Η χωρητικότητα των μπαταριών μετριέται σε αμπέρ-ώρες (Ah) και η ενέργεια στις μπαταρίες μετριέται σε βατώρες (Wh).



Εικόνα 2.1: Μπαταρία ηλεκτρικού οχήματος

Πηγή: renaultgroup.com

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η ενέργεια που αποθηκεύεται στην μπαταρία (χωρητικότητα, μέση τάση κατά την εκφόρτιση), η οποία μετράται σε Wh, θα πρέπει να υπολογιστεί προσεκτικά. Το χρησιμοποιήσιμο SOC της μπαταρίας, το οποίο αντιπροσωπεύεται σε ποσοστό, είναι εξίσου σημαντικό καθώς υποδεικνύει την κατάσταση φόρτισης που είναι διαθέσιμη στην μπαταρία. Η διαχείριση της μπαταρίας έχει μεγάλη σημασία για τη λειτουργία στο παράθυρο SOC ή SOC swing προκειμένου να παραταθεί ο κύκλος ζωής της μπαταρίας. Η χωρητικότητα είναι ανάλογη με το μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης. Το μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης τυπικά αντιπροσωπεύεται από το δείκτη C. Για παράδειγμα, ένας ρυθμός εκφόρτισης 1 C υποδηλώνει ότι η μπαταρία εξαντλείται σε 1 ώρα, ενώ 2 C υποδηλώνει ότι η μπαταρία εξαντλείται μόνο σε μισή ώρα.

Οι μπαταρίες είναι η κύρια πηγή ενέργειας για τα EV για μεγάλο χρονικό διάστημα, αν και τις τελευταίες δεκαετίες έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές καθώς εφευρέθηκαν και υιοθετήθηκαν νέες τεχνολογίες μπαταριών, επιδιώκοντας με αυτόν τον τρόπο νέους στόχους απόδοσης. Διατίθενται διάφοροι τύποι μπαταριών rf με διαφορετική χωρητικότητα και χαρακτηριστικά. Από αυτά οι ακόλουθοι τύποι είναι κατάλληλοι για οχήματα: μπαταρίες μολύβδου οξέος, μπαταρίες νικελίου, μπαταρίες ψευδαργύρου, μπαταρίες λιθίου και μπαταρίες αέρα μετάλλου.

Η αρχική τεχνολογία μπαταρίας που χρησιμοποιήθηκε στις μεταφορές ήταν η μπαταρία μολύβδου οξέος (Pb acid). Το όνομα του μολύβδου οξέος προέρχεται από το συνδυασμό ηλεκτροδίων μολύβδου και οξέος που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η μπαταρία μολύβδου οξέος είναι μια ωριμασμένη και προσιτή τεχνολογία, με εμφανή μειονεκτήματα που σχετίζονται με το χειρισμό όξινων ουσιών, την παρουσία μολύβδου στην κατασκευή της, τη χαμηλή αναλογία αποθηκευμένης ενέργειας/βάρους και τη χαμηλή αναλογία αποθηκευμένης ενέργειας/όγκου. Η μπαταρία μολύβδου οξέος αντικαταστάθηκε από μπαταρίες με βάση το νικέλιο, όπως το νικέλιο κάδμιο (Ni Cd) και το υδρίδιο μετάλλου νικελίου (Ni MH). Το νικέλιο κάδμιο (NiCd) χαρακτηρίζεται από μεγάλο κύκλο ζωής (περίπου 1500

κύκλους). Ωστόσο, η χρήση ενός βαρέος μετάλλου (καδίου) στην κατασκευή του οδήγησε σε οδηγίες της ΕΕ που περιορίζουν τη χρήση αυτού του τύπου μπαταριών, έτσι ώστε να προστατεύεται η υγεία των ανθρώπων και των ζώων. Επιπλέον, μειονεκτήματα όπως η κακή απόδοση της φόρτισης και της εκφόρτισης, ο υψηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης, το φαινόμενο της μνήμης και η κακή απόδοση σε κρύο καιρό καθιστούν αυτόν τον τύπο τεχνολογίας ακατάλληλο για τα ηλεκτρικά οχήματα.

Η μπαταρία της ερευνητικής δραστηριότητας μπαταριών μηδενικών εκπομπών (ZEBRA), ή το χλωριούχο νικέλιο του νατρίου (Na NiCl_2) εισήχθη στη βιομηχανία των ηλεκτρικών οχημάτων ταυτόχρονα με την μπαταρία Ni MH . Αυτός ο τύπος μπαταρίας χρησιμοποιεί αλάτι νατρίου ως ηλεκτρολύτη και έχει το πλεονέκτημα ότι έχει υψηλή πυκνότητα αποθηκευμένης ενέργειας. Οι μπαταρίες ZEBRA έχουν χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής από αυτές των μπαταριών μολύβδου οξέος. Έχουν επίσης πλεονεκτήματα όπως υψηλότερη ή ίση ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με τις μπαταρίες λιθίου, χαμηλότερο κόστος από οποιαδήποτε σύγχρονη τεχνολογία μπαταριών EV, υψηλή ημερολογιακή διάρκεια ζωής, ανθεκτικότητα, αστοχία σε κυψέλη (υπερφόρτιση) και ανθεκτικότητα σε υπερφόρτιση. Ωστόσο, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας τους ($245^\circ\text{C} - 350^\circ\text{C}$), έχουν προκύψει σημαντικά ζητήματα λειτουργικής ασφάλειας [14].

Οι μπαταρίες λιθίου είναι πολλά υποσχόμενες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας για τα EV, καθώς έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως ελαφρύ βάρος, υψηλή ειδική ενέργεια, υψηλή ειδική ισχύ και υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Επιπλέον, οι μπαταρίες λιθίου δεν περιέχουν δηλητηριώδη μέταλλα, όπως μόλυβδος, υδράργυρος, ή κάδμιο. Κάθε μπαταρία λιθίου χρειάζεται ένα κύκλωμα προστασίας σε κάθε πακέτο προκειμένου να διατηρείται η ασφαλής λειτουργία. Τα ιόντα λιθίου (ιόν λιθίου), το πολυμερές ιόντων λιθίου (LiPo) και ο φωσφορικός σίδηρος λιθίου είναι οι πιο κοινές μπαταρίες με βάση το λίθιο. Το κύριο μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος παραγωγής σε σύγκριση με τα πακέτα των μπαταριών NiCad και Ni MH. Σε μια μπαταρία λιθίου, το μέταλλο λιθίου είναι το πιο ακριβό, αλλά είναι λιγότερο ασφαλές από μια μπαταρία Li-ion. Το LiPo μπορεί να προσαρμοστεί σε μια μεγάλη ποικιλία σχημάτων συσκευασίας, έχει καλή αξιοπιστία και ανθεκτικότητα, αλλά έχει κακή αγωγιμότητα και χαμηλή πυκνότητα ισχύος. Για μια μπαταρία λιθίου υψηλής πυκνότητας ισχύος, ο φωσφορικός σίδηρος λιθίου είναι μια δημοφιλής επιλογή, με άλλα λόγια έχει υψηλότερο ρεύμα εκφόρτισης από τις περισσότερες άλλες μπαταρίες λιθίου.

Οι τεχνολογίες των μπαταριών στην πειραματική φάση, όπως το θείο λιθίου (Li S), ο αέρας ψευδάργυρου (αέρας Zn) και ο αέρας λιθίου (αέρας Li) είναι ελπιδοφόρες λύσεις για υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και μειωμένο κόστος. Ωστόσο, η μπαταρία Li S έχει υψηλό ρυθμό εκφόρτισης και σύντομο κύκλο ζωής [15]. Από την άλλη πλευρά, η μπαταρία Zn έχει πολύ υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, ωστόσο χαρακτηρίζεται από χαμηλή πυκνότητα ισχύος και σύντομο κύκλο ζωής. Ομοίως, η μπαταρία Li βρίσκεται ακόμα στο στάδιο του πρωτοτύπου και δεν έχει κυκλοφορήσει ακόμη στο εμπόριο.

Υπερπυκνωτές

Τα UC ή SC, γνωστά και ως πυκνωτές διπλής στρώσης (Εικόνα 2.2), είναι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές υψηλής πυκνότητας ισχύος (σε σύγκριση με άλλες συσκευές αποθήκευσης της ενέργειας). Αποτελούνται από ένα ηλεκτρικό διπλό στρώμα και ένα διαχωριστικό. Τα διαχωρισμένα φορτία παρέχουν μια μικρή ποσότητα δυναμικής ενέργειας, τόσο χαμηλή όσο 2-3 V. Το διπλό στρώμα είναι κατασκευασμένο από ένα νανοπορώδες υλικό, όπως ο ενεργός άνθρακας που μπορεί να βελτιώσει την πυκνότητα της αποθήκευσης.



Εικόνα 2.2: Υπερπυκνωτές

Πηγή: cleantechnica.com

Οι τιμές της χωρητικότητας των SC μπορούν να φτάσουν τα 3000 F. Τα χαρακτηριστικά τους περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, λειτουργία χωρίς συντήρηση, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του κύκλου λειτουργίας (500.000 κύκλοι) και έλλειψη ευαισθησίας στη διακύμανση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Επιπλέον, λόγω του μεγαλύτερου κύκλου ζωής τους, του υψηλού ρυθμού φόρτισης/εκφόρτισης και της χαμηλής εσωτερικής αντίστασης, τα UC έχουν ελάχιστη απώλεια θερμότητας και καλή αναστρεψιμότητα. Ανάλογα με τους διαφορετικούς μηχανισμούς αποθήκευσης της ενέργειας και τα υλικά ηλεκτροδίων, χρησιμοποιούνται τρεις τύποι τεχνολογιών UC στα ηλεκτρικά οχήματα:

- Ηλεκτρικοί πυκνωτές διπλής στρώσης (EDLC)
- Άνθρακας, ψευδοπυκνωτές
- Υβριδικοί πυκνωτές

Η ειδική πυκνότητα ισχύος για αυτούς τους τρεις τύπους UC είναι περίπου 1000-2000 kW/kg για 95% απόδοση, αλλά το EDLC έχει μεγαλύτερη πυκνότητα

ισχύος από άλλους τύπους UC. Η ειδική ενεργειακή πυκνότητα του EDLC είναι η χαμηλότερη (5-7 Wh/kg). Θα πρέπει να τονιστεί ότι η ποσότητα της ενέργειας που αποθηκεύεται ανά μονάδα βάρους των SC είναι μεταξύ 3 και 5 Wh/kg, ενώ αυτή μιας μπαταρίας Li-ion είναι περίπου 130-140 Wh/kg [16]. Επομένως, ο συνδυασμός SC με FC, που έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος αλλά υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, είναι μια πρακτική εναλλακτική για τη βελτίωση της απόδοσης των HEV. Επιπλέον, τα SC έχουν υψηλό ρυθμό φόρτισης, που επιτρέπει την αποτελεσματικότερη χρήση του αναγεννητικού φρεναρίσματος.

Αποθήκευση ενέργειας σε σφόνδυλο

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας σφονδύλου ή FES (Εικόνα 2.3) είναι κατάλληλα για την εφαρμογή των ηλεκτρικών οχημάτων και των συστημάτων ισχύος λόγω της προηγμένης ηλεκτρονικής ισχύος και της μηχανικής των υλικών [17]. Η απόδοση και η ονομαστική ισχύς των FES εμπίπτουν στο εύρος 90% - 95% και 0 - 50 MW, αντίστοιχα [18]. Ο σφόνδυλος περιλαμβάνει ένα περιστρεφόμενο κυλινδρικό σώμα σε ένα θάλαμο, συζευγμένα ρουλεμάν και μια συσκευή μετάδοσης της ενέργειας, δηλαδή γεννήτρια/κινητήρα τοποθετημένα μαζί με έναν κοινό άξονα.



Εικόνα 2.3: Σφόνδυλος για οχήματα Porsche και Volkswagen

Πηγή: evwest.com

Η ενέργεια που διατηρεί ο συνεχώς περιστρεφόμενος σφόνδυλος μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια από μια συσκευή μετάδοσης. Τα πλεονεκτήματα του FES σε σύγκριση με άλλες μορφές αποθήκευσης για χρήση EV μπορούν να συνοψιστούν ως εξής: είναι ελαφρύτερα, ταχύτερα και πιο αποτελεσματικά στην απορρόφηση ισχύος από το αναγεννητικό φρενάρισμα και είναι οικονομικά προσιτά. Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και θεωρητικά υπάρχουν άπειροι κύκλοι φόρτισης και εκφόρτισης. Ωστόσο, τα υψηλά χαρακτηριστικά αυτοεκφόρτισης αποδίδονται σε απώλειες του αέρα και της τριβής. Υπάρχουν δύο τύποι FES: συστήματα FES υψηλής και χαμηλής ταχύτητας. Ένα σύστημα FES υψηλής ταχύτητας μεταδίδει ενέργεια για να οδηγήσει το φορτίο μέσω μιας γεννήτριας, ενώ ένα σύστημα FES χαμηλής ταχύτητας λαμβάνει ενέργεια για φόρτιση από την πηγή ισχύος μέσω ενός κινητήρα. Επισημαίνεται ότι με προηγμένες τεχνολογίες υλικών και σχεδίων, χρησιμοποιούνται συστήματα FES για την εφαρμογή αποθήκευσης της ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων.

2.6.2 ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μετά τη χρήση μιας μπαταρίας ως αποθήκευση της ενέργειας, αντί για μια δεξαμενή καυσίμου, μπορεί να ενσωματωθεί επιπρόσθετη ηλεκτρική γεννήτρια στο όχημα, προκειμένου να επεκταθεί η εμβέλεια ενός οχήματος. Υπάρχουν διάφοροι τύποι γεννητριών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των FC, της θερμοηλεκτρικής γεννήτριας αυτοκινήτων (ATEG), καθώς και της αναγεννητικής πέδησης.

Κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου (FC) παράγουν ηλεκτρισμό με ηλεκτροχημική αντίδραση, καθώς η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της διαδικασίας της ηλεκτρόλυσης (Εικόνα 2.4). Μία κυψέλη καυσίμου έχει μια άνοδο (A), μια κάθοδο (C) και έναν ηλεκτρολύτη (E). Το καύσιμο εισάγεται στην άνοδο, οξειδώνεται εκεί, τα ιόντα που δημιουργούνται περνούν μέσω του ηλεκτρολύτη στην κάθοδο και συνδυάζονται με το άλλο αντιδραστήριο.



Εικόνα 2.4: Κυψέλη καυσίμου

Πηγή: *blue.world*

Τα ηλεκτρόνια που παράγονται από την οξείδωση στην άνοδο παράγουν ηλεκτρισμό. Το υποπροϊόν ενός FC είναι η θερμότητα και το νερό. Το DMFC χρησιμοποιείται σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές (κινητά τηλέφωνα, τάμπλετ, φορητούς υπολογιστές και άλλα) λόγω της λειτουργίας του σε χαμηλή θερμοκρασία, της γρήγορης επαναφόρτισης και της μεγαλύτερης ενεργειακής του χωρητικότητας. Η ενεργειακή πυκνότητα της μεθανόλης είναι 4390 Wh/L σε σύγκριση με μια μπαταρία Li-ion με πυκνότητα 620 Wh/L. Υπάρχουν FC που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος σε μεταφορές, όπως το λεωφορείο κυψελών καυσίμου Citaro και το Honda FCX Clarity (επιβατικό όχημα).

Θερμοηλεκτρική γεννήτρια αυτοκινήτου (ATEG)

Το ATEG είναι μια συσκευή που μετατρέπει τη θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική χρησιμοποιώντας το φαινόμενο «Seebeck». Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε ICE είτε σε EV, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη οικονομία καυσίμου. Ένα τυπικό ATEG αποτελείται από τέσσερα κύρια στοιχεία: έναν εναλλάκτη θερμότητας θερμής πλευράς, έναν εναλλάκτη θερμότητας ψυχρής πλευράς, θερμοηλεκτρικά υλικά και ένα σύστημα συναρμολόγησης συμπίεσης. Η διάρκεια ζωής του ATEG είναι περίπου 10 με 20 χρόνια χωρίς συντήρηση με χαμηλή εγκατεστημένη ικανότητα.

Αναγεννητική πέδηση

Η αναγεννητική πέδηση είναι ένας μηχανισμός ανάκτησης της ενέργειας, ο οποίος επιβραδύνει ένα όχημα με τη χρήση της ορμής του οχήματος για ανάκτηση της ενέργειας που διαφορετικά θα χανόταν στους δίσκους των φρένων ως θερμότητα. Όταν ένα όχημα βρίσκεται σε λειτουργίες οδήγησης και πέδησης, η κινητική ενέργεια από ένα κινούμενο αυτοκίνητο παράγει ηλεκτρική ενέργεια πίσω στην πλευρά της τροφοδοσίας, γνωστή ως αναγεννητική πέδηση. Υπάρχουν τέσσερις τρόποι για να συλληφθεί η ενέργεια που παράγεται από την αναγεννητική πέδηση:

1. Αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας στο ESS.
2. Οι υδραυλικοί κινητήρες αποθηκεύουν ενέργεια σε ένα μικρό δοχείο μέσω πεπιεσμένου αέρα.
3. Αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε FES ως περιστρεφόμενη ενέργεια.
4. Αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ως βαρυτική ενέργεια (δυναμική ενέργεια).

Η πέδηση με ανάκτηση λειτουργεί μαζί με το φρένο τριβής σε κάποια αναλογία όταν το όχημα αρχίζει να επιβραδύνει. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το αναγεννητικό σύστημα πέδησης δεν παράγει αρκετή ενέργεια για να σταματήσει φυσικά το όχημα. Χρησιμεύει επίσης ως σκοπός ασφάλειας του οχήματος.

3. ΦΟΡΤΙΣΤΕΣ

3.1 ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΥΠΟΔΟΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

3.1.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Η προώθηση κοινών ανοικτών προτύπων, διαλειτουργικότητας και αποτελεσματικής ανταλλαγής των δεδομένων είναι ένα από τα πιο σημαντικά βήματα προς τη διευκόλυνση της υιοθέτησης των EV. Οι πάροχοι υπηρεσιών ενέργειας και ηλεκτρικής κινητικότητας θα πρέπει να συνεργαστούν με τη βιομηχανία EV προκειμένου να δημιουργήσουν μια τεχνολογική γλώσσα στον τομέα της φόρτισης των EV, που θα διαμορφώσει τη νέα συμπεριφορά και κουλτούρα της ηλεκτροκίνησης. Προς αυτή την κατεύθυνση, οι διεθνείς οργανισμοί τυποποίησης έχουν εκδώσει μια σειρά προτύπων που μελετούν, προτείνουν, ρυθμίζουν και συντονίζουν την ανάπτυξη της τεχνολογίας φόρτισης των EV παγκοσμίως. Προς αυτή την κατεύθυνση, το Ινστιτούτο Ερευνών Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPRI) καθώς και η Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτου (SAE) έχουν θέσει συγκεκριμένες προδιαγραφές όσον αφορά τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω συστημάτων DC, ή AC (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος

Πηγή: istockphoto.com

Διαφορετικές διαμορφώσεις ρεύματος και τάσης για φόρτιση, που αναφέρονται ως "Επίπεδα" καθορίζουν το χρόνο που απαιτείται για μια πλήρη φόρτιση. Αυτά τα επίπεδα διαφέρουν σε κάθε χώρα ανάλογα με τη συχνότητα, την τάση, τη σύνδεση του ηλεκτρικού δικτύου και τα πρότυπα μετάδοσης. Η ασύρματη φόρτιση έχει επίσης

διερευνηθεί. Η φόρτιση ακολουθεί πρότυπα που σχετίζονται με την ασφάλεια, την εγκατάσταση και τη σύνδεση του εξοπλισμού τροφοδοσίας των EV. Το EVSE είναι η υποδομή του «σημείου τροφοδοσίας» που χρησιμοποιείται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από μια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας σε έναν φορτιστή EV. Το EVSE είναι επίσης γνωστό ως ένα σημείο ηλεκτρικής επαναφόρτισης που περιλαμβάνει καλώδια, συνδέσμους και διεπαφές στην ηλεκτρική ενέργεια για την παροχή ενέργειας σε μια μπαταρία EV. Τα ηλεκτρικά φορτίζονται συνήθως από συμβατικές πρίζες, ή ειδικούς σταθμούς φόρτισης, κάτι το οποίο αποτελεί μια χρονοβόρα διαδικασία. Ωστόσο, αυτό μπορεί να γίνει το βράδυ.



Εικόνα 3.2: Φορτιστές ηλεκτρικών οχημάτων

Πηγή: istockphoto.com

Τα πρότυπα ασφαλείας με τα οποία πρέπει να συμμορφώνονται οι φορτιστές είναι τα ακόλουθα [19]:

- SAE J2929: Πρότυπο ασφαλείας για ηλεκτρικό και υβριδικό σύστημα μπαταρίας αυτοκινήτων
- ISO 26262: Οδικά οχήματα - Λειτουργική ασφάλεια
- ISO 6469-3: Ηλεκτρικά Οδικά Οχήματα - Προδιαγραφές Ασφαλεία. Προστασία προσώπων εναντίον ηλεκτρικών κινδύνων
- ECE R100: Προστασία από ηλεκτροπληξία
- IEC 61000: Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC)
- IEC 61851-21: EV Σύστημα αγωγίμης φόρτισης. Απαιτήσεις για αγωγή σύνδεση σε παροχή AC/DC
- IEC 60950: Ασφάλεια εξοπλισμού πληροφορικής
- UL 2202: EV Εξοπλισμό φόρτισης
- FCC Μέρος 15 Κατηγορία B: Ο ομοσπονδιακός κώδικας κανονισμών (CFR)
- Κλάση προστασίας IP6K9K, IP6K7

Επισημαίνεται ότι επί του παρόντος, τα δίκτυα φόρτισης προσφέρουν συμβατικές πρίζες φόρτισης εναλλασσόμενου ρεύματος, με βάση τις επικρατούσες εθνικές προδιαγραφές, πρότυπα και πρωτόκολλα φόρτισης των οχημάτων. Κατά τη διάρκεια

της συμβατικής φόρτισης AC, η ενέργεια μεταφέρεται στον ενσωματωμένο φορτιστή του οχήματος. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το πρότυπο φόρτισης AC που χρησιμοποιείται είναι το πρότυπο SAE J1772, το οποίο είναι το ίδιο πρότυπο που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικές πρίζες σε σπίτια στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία και είναι είτε 120 V 16 A, που ονομάζεται Επίπεδο 1, είτε 220 V 32 A, που ονομάζονται πρίζες επιπέδου 2. Στην Ευρώπη, το πρότυπο φόρτισης AC που χρησιμοποιείται είναι το IEC62196, Mode 1, το οποίο είναι μια πρίζα 230 V 16 A. Στην Αυστραλία, το πρότυπο που χρησιμοποιείται είναι το AS 3112 με πρίζες 230 V 15 A. Τέλος, στο Ηνωμένο Βασίλειο, οι σταθμοί φόρτισης χρησιμοποιούν τις τυπικές πρίζες 230 V 13 A BS 1363.

3.1.2 ΕΠΙΠΕΔΑ ΙΣΧΥΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΔΟΜΗ

Σύμφωνα με τις οδηγίες της EPRI και της SAE, η φόρτιση μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε AC Επίπεδο 1, AC Επίπεδο 2 και ταχεία φόρτιση DC (DCFC) Επίπεδο 3, μαζί με τις επακόλουθες απαιτήσεις λειτουργικότητας και το σύστημα ασφάλειας [20]. Σύμφωνα με τη νέα αναθεώρηση των προτύπων SAE, οι DCFC κατηγοριοποιούνται σε DC Επίπεδο 1 και DC Επίπεδο 2 [21]. Επιπλέον, σύμφωνα με τις οδηγίες της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (IEC) μπορούν να διακριθούν τέσσερις τρόποι φόρτισης των EV, συγκεκριμένα, AC λειτουργία 1 (αργή), AC λειτουργία 2 (αργή), AC λειτουργία 3 (αργή/γρήγορη) και DC λειτουργία 4 (γρήγορη) βασισμένη στο IEC 61851-1. Η μετατροπή από εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές ρεύμα για αυτά τα επίπεδα φόρτισης πραγματοποιείται στον ενσωματωμένο φορτιστή του οχήματος [22].

3.1.3 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Ο φορτιστής της μπαταρίας είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της ενέργειας σε μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία EV μέσω της επεξεργασίας και του ελέγχου του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω αυτής. Ένας φορτιστής EV ενσωματώνει έναν ανορθωτή για την επαναφόρτιση μιας μπαταρίας EV μετατρέποντας το AC σε DC. Επί του παρόντος, η φόρτιση των μπαταριών EV γίνεται με τις ακόλουθες μεθόδους [23]:

1. Αγωγή με μέθοδο φόρτισης με σύνδεση βύσματος, η οποία είναι η πιο χρησιμοποιούμενη μέθοδος σήμερα.
2. Μέθοδος επαγωγικής φόρτισης.
3. Αλλαγή μπαταρίας.

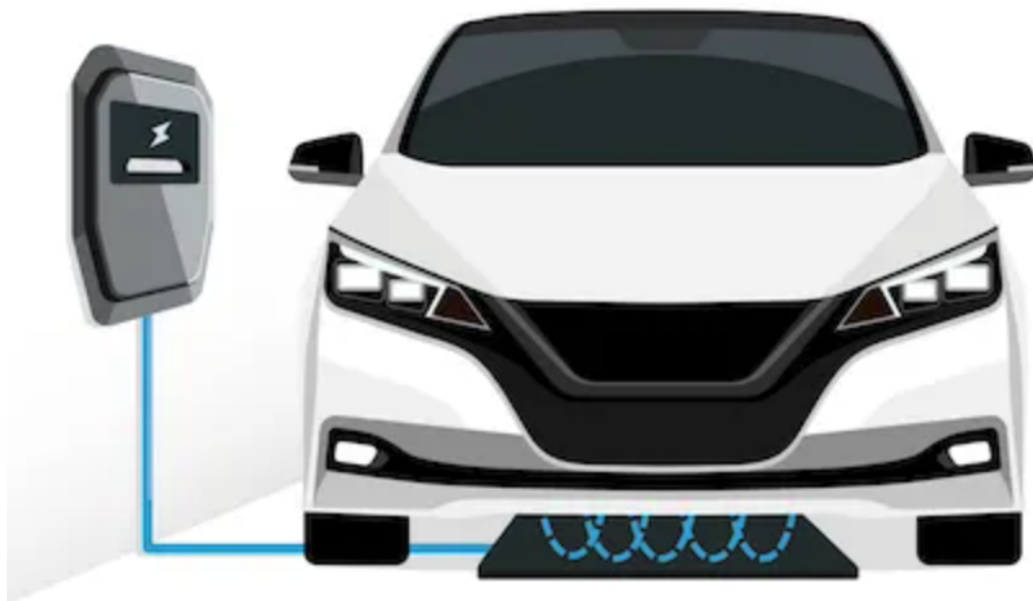
Αγωγή φόρτιση

Η αγωγή φόρτιση υποδηλώνει την απευθείας σύνδεση του φορτιστή και του οχήματος. Η φόρτιση επιτυγχάνεται μέσω της καλωδιακής σύνδεσης που επιτρέπει την επαφή μεταξύ του τροφοδοτικού και της μπαταρίας. Αποτελείται από έναν ανορθωτή και ένα μετατροπέα με κάποια διόρθωση του συντελεστή ισχύος και

ταξινομούνται ως φορτιστές εντός και εκτός του οχήματος. Ο ενσωματωμένος φορτιστής, ο οποίος είναι ενσωματωμένος στο όχημα, περιέχει τον ανορθωτή και το σύστημα ρύθμισης της μπαταρίας, ενώ στο φορτιστή εκτός του οχήματος αυτά τα συστήματα τοποθετούνται στο σταθμό φόρτισης, ή στο EVSE. Η αγωγή φόρτιση για παράδειγμα είναι διαθέσιμη στα Nissan Leaf, Tesla Roadster και Chevy Volt.

Επαγωγική φόρτιση

Η επαγωγική φόρτιση, γνωστή και ως ασύρματη φόρτιση, χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια μπαταρία EV. Αυτό το σύστημα δεν απαιτεί τα βύσματα και τα καλώδια που απαιτούνται στα ενσύρματα συστήματα φόρτισης, δε χρειάζεται δηλαδή να συνδεθεί το καλώδιο στο αυτοκίνητο. Το πλεονέκτημα της επαγωγικής φόρτισης είναι ότι παρέχει ηλεκτρική ασφάλεια κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες. Ωστόσο, αυτή η τεχνολογία δεν είναι προς το παρόν διαθέσιμη για τα εμπορικά EV λόγω των ανησυχιών για την υγεία και την ασφάλεια. Οι προδιαγραφές καθορίζονται από διαφορετικούς οργανισμούς τυποποίησης σε διάφορες χώρες, όπως για παράδειγμα Καναδικός Κώδικας Ασφάλειας 6 στον Καναδά, IEEE C95.1 στις Ηνωμένες Πολιτείες, ICNIRP στην Ευρώπη και ARPANSA στην Αυστραλία.



Εικόνα 3.3: Παράδειγμα επαγωγικής φόρτισης

Πηγή: ipwatchdog.com

Ανάλογα με τη συχνότητα λειτουργίας, την απόδοση και άλλους παράγοντες, υπάρχουν διαφορετικές τεχνολογίες για την παροχή της ασύρματης φόρτισης. Αυτές, περιλαμβάνουν την επαγωγική μεταφορά ισχύος (IPT), η οποία είναι μια ώριμη τεχνολογία, αλλά είναι ανέπαφη, όχι ασύρματη, χωρητική μεταφορά ισχύος, η οποία

έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε χαμηλότερα επίπεδα ισχύος λόγω του χαμηλού κόστους και μεγέθους (αλλά δεν είναι κατάλληλη για εφαρμογές υψηλότερης ισχύος όπως η φόρτιση των EV). Μεταφορά ισχύος μόνιμου μαγνήτη, χαμηλής απόδοσης. συντονισμένη επαγωγική μεταφορά ισχύος (RIPT) και on-line επαγωγική μεταφορά ισχύος (OLPT), που φαίνεται να είναι οι πιο υποσχόμενες τεχνικές. Ωστόσο, η υποδομή τους είναι αρκετά απαιτητική. Η μεταφορά της ισχύος των κεραιών συντονισμού έχει παρόμοια ιδέα με το RIPT, αλλά η συχνότητα συντονισμού σε αυτήν την περίπτωση βρίσκεται στην περιοχή των MHz και μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας, εάν δε θωρακιστεί σωστά.

Αλλαγή της μπαταρίας

Η αλλαγή της μπαταρίας είναι ένα σχέδιο που χρησιμοποιείται, έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν να ανταλλάξουν την άδεια μπαταρία τους με μια πλήρως φορτισμένη από ένα σταθμό ανταλλαγής μπαταριών (BSS). Τα BSS έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και λιγότερο χρονοβόρο και συγκριτικά ελάχιστο κόστος διαχείρισης, δεδομένου ότι οι μπαταρίες συλλέγονται και διαχειρίζονται σε κεντρικές τοποθεσίες. Διατίθενται διαφορετικές τεχνικές φόρτισης για τη φόρτιση μιας μπαταρίας EV. Οι συμβατικές μέθοδοι φόρτισης είναι το σταθερό ρεύμα (CC), η σταθερή τάση (CV), κωνική φόρτιση κ.λπ. Η προηγμένη χρέωση περιλαμβάνει συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων, όπως CC/CV. Η φόρτιση με ρεύμα παλμού (PC) και η φόρτιση αρνητικού παλμού είναι επίσης καλές στρατηγικές φόρτισης για γρήγορη φόρτιση της μπαταρίας των EV.

Η φόρτιση CC είναι η απλούστερη τεχνική καθώς χρησιμοποιεί ένα μόνο ρεύμα χαμηλής στάθμης στην αποφορτισμένη μπαταρία. Στην πράξη, το τρέχον επίπεδο ορίζεται ως το 10% της μέγιστης ονομαστικής χωρητικότητας της μπαταρίας. Αυτός ο τύπος φόρτισης ταιριάζει καλύτερα σε μπαταρίες νικελίου καδμίου και νικελίου υδριδίου μετάλλου. Το CV εφαρμόζει σταθερή τάση φόρτισης στην μπαταρία μεταβάλλοντας το ρεύμα φόρτισης, έως ότου το ρεύμα φόρτισης πέσει σχεδόν στο μηδέν. Αυτό το σύστημα φόρτισης χρησιμοποιείται συνήθως για συστήματα εφεδρικής ισχύος έκτακτης ανάγκης και είναι κατάλληλο για μπαταρίες μολύβδου οξέος. Η κωνική φόρτιση γίνεται μέσω μιας μη ρυθμισμένης πηγής σταθερής τάσης και το ρεύμα φόρτισης μειώνεται με ανεξέλεγκτο τρόπο λόγω της αύξησης της τάσης του στοιχείου καθώς συσσωρεύεται το φορτίο [24]. Σημειώνεται ότι η μέθοδος της κωνικής φόρτισης εγκυμονεί κινδύνους για την μπαταρία σε περίπτωση κάποιας υπερφόρτισης.

Η τεχνική φόρτισης CC CV χρησιμοποιείται για την πλειονότητα των εμπορικών φορτιστών, προκειμένου να φορτιστεί μια μπαταρία Li-ion, καθώς αυτή η μπαταρία έχει υψηλότερη ισχύ και πυκνότητα ενέργειας από άλλες. Τα πλεονεκτήματα της τεχνικής CC CV περιλαμβάνουν το περιορισμένο ρεύμα και την τάση φόρτισης μέσω της χρήσης ενός ελεγκτή μπαταρίας. Έτσι, αποτρέπονται οι υπερτάσεις και μειώνεται η θερμική καταπόνηση. Αρχικά, εφαρμόζεται ένα CC για τη φόρτιση μιας μπαταρίας μέχρι να επιτευχθεί ένα προκαθορισμένο επίπεδο τάσης και στη συνέχεια χρησιμοποιείται ένα CV μέχρι να επιτευχθεί μια συνθήκη τερματισμού. Η λειτουργία φόρτισης CC είναι ταχύτερη από τη λειτουργία φόρτισης CV. Η λειτουργία CV χρησιμοποιείται για την πρόληψη της φόρτισης υπέρτασης, η οποία μπορεί να αυξήσει την απώλεια ζωής της μπαταρίας.

Η φόρτιση PC φορτίζει μια μπαταρία τροφοδοτώντας ρεύμα φόρτισης σε παλμούς. Ο ρυθμός φόρτισης μπορεί να ελεγχθεί αλλάζοντας το πλάτος των παλμών. Ο ακριβής έλεγχος των παλμών παίζει σημαντικό ρόλο σε αυτή τη μέθοδο φόρτισης. Υπολογίζεται ότι η ταχύτητα φόρτισης του PC είναι περισσότερο από δύο φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα του συστήματος φόρτισης CC CV [25]. Μια νέα μέθοδος παλμικής φόρτισης, είναι η παλμική φόρτιση με μεταβλητή τάση. Αυτή η μέθοδος αντί να χρησιμοποιεί το σταθερό πλάτος παλμού, ανιχνεύει και παρέχει τον κατάλληλο παλμό φόρτισης με ποικίλο πλάτος παλμού στην μπαταρία για να αυξήσει την ταχύτητα φόρτισης και την απόδοση.

3.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΒΥΣΜΑΤΙΚΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Ένα από τα πιο κρίσιμα εξαρτήματα στα ηλεκτρικά οχήματα (EV) και στα plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV) είναι το σύστημα αποθήκευσης μπαταρίας, όπως αναφέρεται και διεξοδικά στο δεύτερο κεφάλαιο. Η ενεργειακή πυκνότητα, ο χρόνος φόρτισης, η διάρκεια ζωής και το κόστος είναι επί του παρόντος οι κύριοι μοχλοί για την ανάπτυξη της τεχνολογίας των EV για την αύξηση της διείσδυσής τους στην αγορά. Η ενεργειακή πυκνότητα και ο χρόνος φόρτισης σχετίζονται στενά με την εμβέλεια του EV και θεωρούνται ως οι κύριοι περιορισμοί από ένα ευρύ τμήμα της αγοράς για την υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων έναντι των αυτοκινήτων που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, ο χρόνος φόρτισης και η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας συνδέονται στενά με τα χαρακτηριστικά του φορτιστή της μπαταρίας. Ως εκ τούτου, κατ' επέκταση, ο φορτιστής των μπαταριών έχει επίσης γίνει βασικός παράγοντας για το παρόν και το μέλλον των EV και την ευρεία αποδοχή τους.

Για αυτούς τους λόγους η έρευνα και η ανάπτυξη των διαφορετικών αρχιτεκτονικών φόρτισης είναι ένα από τα πιο σημαντικά θέματα στην εξέλιξη των EV. Η δομή, η ονομαστική ισχύς, οι χρόνοι φόρτισης και ο τύπος σύνδεσης μπορεί να οδηγήσουν σε διαφορετικές ταξινομήσεις. Ωστόσο, η πιο συμβατική ταξινόμηση που είναι αποδεκτή αυτή τη στιγμή για τους φορτιστές βασίζεται στις ονομαστικές ονομασίες ισχύος τους. Η διαίρεση ανάλογα με τα επίπεδα ισχύος που μπορεί να προσφέρει ο φορτιστής στην μπαταρία δίνεται από το επίπεδο 1 για ισχύ κάτω από 1,92 kW, το επίπεδο 2 έως 19,2 kW και το επίπεδο 3 για τους φορτιστές που αποδίδουν ισχύ άνω των 20 kW. Επιπλέον, ανάλογα με τη φύση της ηλεκτρικής εισόδου στο όχημα, αυτοί οι φορτιστές μπορεί να είναι είτε AC είτε DC. Επιπλέον, με βάση τη θέση των εξαρτημάτων, ή των σταδίων του φορτιστή, χωρίζονται επίσης μεταξύ φορτιστών εντός και εκτός οχήματος.

Οι ενσωματωμένοι φορτιστές, όπως υποδηλώνει το όνομα, βρίσκονται στο εσωτερικό του οχήματος και παρέχουν ευελιξία και απλότητα, καθώς απαιτούν ελάχιστο εξωτερικό εξοπλισμό εκτός από την πρίζα. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι ενσωματωμένων φορτιστών, ανάλογα με το εάν χρησιμοποιείται αποκλειστικός μετατροπέας ισχύος για τη φόρτιση των μπαταριών, ή εάν είναι ενσωματωμένος, χρησιμοποιώντας τους ήδη διαθέσιμους μετατροπείς ισχύος στο σύστημα ισχύος που οδηγεί την ισχύ από τις μπαταρίες στον κινητήρα.

Οι αποκλειστικοί ενσωματωμένοι φορτιστές έχουν συνήθως μικρή ισχύ λόγω περιορισμών του μεγέθους και του βάρους, λόγω της προσθήκης πρόσθετου εξοπλισμού στο όχημα, και επομένως λαμβάνονται υπόψη ως αργοί φορτιστές

επιπέδου 1. Οι αποκλειστικοί φορτιστές είναι συνήθως μονοφασικοί και προορίζονται για φόρτιση AC κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Οι ενσωματωμένοι φορτιστές, με τη σειρά τους, χρησιμοποιούν τους μετατροπείς κίνησης του κινητήρα, επομένως οι ονομασίες ισχύος τους αυξάνονται, χωρίς να προσθέτουν κόστος, μέγεθος και βάρος, ενώ μειώνεται ο χρόνος φόρτισης. Αυτή η αρχιτεκτονική μπορεί να βρεθεί με μονοφασική και τριφασική σύνδεση δικτύου. Αυτοί οι φορτιστές θεωρούνται τόσο αργοί, όσο και ημι-γρήγοροι φορτιστές επιπέδου 2. Ο χρόνος φόρτισής τους μπορεί να κυμαίνεται από δέκα έως μερικές ώρες και ως εκ τούτου προορίζονται για χρήση στο σπίτι, στη δουλειά ή σε κάποια στάθμευση (για παράδειγμα ψώνια κ.λπ.).

Τέλος, οι φορτιστές εκτός οχήματος αποτελούνται από αποκλειστικές αρχιτεκτονικές φόρτισης που βρίσκονται έξω από το όχημα. Για αυτόν το λόγο δεν υπάρχουν αυστηροί περιορισμοί σχετικά με το βάρος και τον όγκο, σε σύγκριση με τους αντίστοιχους επί του αυτοκινήτου. Η σύνδεση με το όχημα πραγματοποιείται απευθείας με την μπαταρία. Ως εκ τούτου, το βύσμα του οχήματος είναι DC φύσης. Η υψηλότερη χωρητικότητα ισχύος του μετατροπέα επιτρέπει την παράδοση μικρότερων χρόνων φόρτισης μικρότερης της μίας ώρας, εξ' ου και η ονομασία «DC-fast chargers» και η ταξινόμηση ως επιπέδου 3. Λόγω του μεγέθους και των επιπέδων ισχύος τους, έχουν σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη μια τριφασική σύνδεση με το δίκτυο, και ως εκ τούτου δεν μπορούν να φιλοξενηθούν εύκολα στο σπίτι, ή ακόμα και στη δουλειά. Αντίθετα, εγκαθίστανται σε χώρους στάθμευσης και δημόσιους χώρους που μοιάζουν με τα συμβατικά πρατήρια βενζίνης.

	N. America	Japan	EU and the rest of markets	China	All Markets except EU
AC	 J1772 (Type 1)	 J1772 (Type 1)	 Mennekes (Type 2)	 GB/T	 Tesla
DC	 CCS1	 CHAdeMO	 CCS2	 GB/T	

Εικόνα 3.4: Διαφορετικοί τύποι βυσμάτων για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων

Πηγή: evstations.gr

3.2.1 ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΙ ΦΟΡΤΙΣΤΕΣ

Οι ενσωματωμένοι φορτιστές παρέχουν ευελιξία στους οδηγούς, καθώς δεν απαιτούν ειδικό εξοπλισμό εκτός από μια παραδοσιακή πρίζα. Αυτό επιτρέπει τη

φόρτιση οπουδήποτε, με το μειονέκτημα ότι οι αυστηρές ανησυχίες για το κόστος, τον όγκο και το βάρος των οχημάτων συνήθως περιορίζουν το μέγεθος και τη χωρητικότητα του φορτιστή. Ως εκ τούτου, συνήθως εντοπίζονται φορτιστές επί του οχήματος για επίπεδα ισχύος κάτω των 3,5 kW και διαθέτουν μεγάλους χρόνους φόρτισης. Μπορεί να φανεί ότι αποτελείται από μια βαθμίδα ανορθωτή που διαθέτει επίσης διόρθωση του συντελεστή ισχύος (PFC), για λειτουργία μονάδας συντελεστή ισχύος. Στη συνέχεια, αυτή η ενδιάμεση τάση DC προσαρμόζεται χρησιμοποιώντας μια βαθμίδα DC–DC στα επίπεδα τάσης που απαιτούνται από το σύστημα διαχείρισης της μπαταρίας (BMS), το οποίο ρυθμίζει τη διαδικασία της φόρτισης. Επιπλέον, το τελευταίο στάδιο διαθέτει απομόνωση υψηλής συχνότητας, προκειμένου να απομονωθεί η μπαταρία από το δίκτυο AC για θέματα ασφαλείας.

Επίπεδο 1: Αποκλειστικός μετατροπέας (αργή φόρτιση)

Η απλούστερη και πιο απλή ιδέα για τους φορτιστές μπαταριών είναι η χρήση ενός αποκλειστικού μετατροπέα ισχύος, ο οποίος εκτελεί αποκλειστικά τις εργασίες φόρτισης της μπαταρίας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αυτοί οι μετατροπείς βασίζονται σε μια δομή μετατροπής ισχύος δύο σταδίων, όπου ο πρώτος παράγει μια ενδιάμεση τάση συνεχούς ρεύματος ενώ παράγει ρεύμα χαμηλής παραμόρφωσης και συντελεστή ισχύος μονάδας στην πλευρά του δικτύου AC και ο δεύτερος ρυθμίζει το ρεύμα φόρτισης της μπαταρίας. Επιπλέον, αυτοί οι ενσωματωμένοι φορτιστές περιλαμβάνουν γαλβανική απομόνωση ως προς το κύριο δίκτυο διανομής προκειμένου να συμμορφώνονται με τους κανονισμούς ασφαλείας.

Η τοπολογία των 3,3 kW αποτελείται από δύο κανάλια που εκτελούν την ανόρθωση και PFC, η οποία επιτρέπει τη μείωση των κυματισμών του ρεύματος εισόδου και εξόδου και την κοινή χρήση της ισχύος εισόδου μεταξύ των δύο καναλιών. Αυτό, επιτυγχάνεται με μια μετατόπιση της φάσης που εισάγεται μεταξύ των σημάτων του PWM που ελέγχει και τους δύο μετατροπείς ενίσχυσης. Ο μειωμένος κυματισμός του ρεύματος επιτρέπει τη μείωση του μεγέθους του επαγωγέα ώθησης και του πυκνωτή εξόδου, καθώς και την επέκταση της διάρκειας ζωής του. Επειδή η ισχύς κατανέμεται μεταξύ δύο μετατροπέων ώθησης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συσκευές ημιαγωγών με χαμηλότερη ονομαστική ένταση του ρεύματος, οι οποίες διαθέτουν μικρότερους χρόνους εναλλαγής, υψηλότερη συχνότητα μεταγωγής και επομένως μικρότερα μαγνητικά στοιχεία, όπως ο πυρήνας του επαγωγέα. Οι φορτιστές υψηλότερης χωρητικότητας μπορούν να περιλαμβάνουν ακόμη περισσότερα κανάλια μετατροπέα ενίσχυσης σε παρεμβαλλόμενη σύνδεση για να επιτρέψουν περισσότερη ισχύ χωρίς να αυξηθεί το μέγεθος του μετατροπέα. Το δεύτερο στάδιο του φορτιστή είναι ένας μετατροπέας DC-DC με πλήρη γέφυρα υψηλής συχνότητας (HF) με μεταγωγή της μηδενικής τάσης. Αυτή η λειτουργία ασυνεχούς λειτουργίας της μεταγωγής μειώνει σημαντικά τις απώλειες της μεταγωγής, αυξάνοντας την απόδοση του φορτιστή. Λειτουργώντας με ονομαστικό φορτίο, η συνολική αναφερόμενη απόδοση του συστήματος είναι έως και 93,6 %.

Σε μια άλλη παρόμοια τοπολογία, η απομονωμένη βαθμίδα DC–DC υψηλής συχνότητας έχει αλλάξει σε μετατροπέα DC–DC με πλήρη γέφυρα συντονισμού, ενώ η βαθμίδα PFC αποτελείται από μια μονοφασική ανορθωτική γέφυρα και μετατροπέα

ενίσχυσης. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, ο μετατροπέας διαθέτει μονοκατευθυντική ροή ισχύος που επιβάλλεται από τον ανορθωτή διόδου και το μετατροπέα ενίσχυσης. Η δυνατότητα PFC που παρέχεται από το μετατροπέα ενίσχυσης επιτρέπει τη ρυθμιζόμενη λειτουργία του συντελεστή ισχύος έως και 0,995. Ο μετατροπέας DC-DC με απομόνωση HF απαιτεί μια ειδική μέθοδο ελέγχου της συχνότητας για το χαρακτηριστικό του συντονισμού που μειώνει τις απώλειες της μεταγωγής. Η αναφερόμενη απόδοση για αυτήν την τοπολογία σε ονομαστικό φορτίο είναι 93 %.

Μια διαφορετική προσέγγιση αποτελείται από το στάδιο ενίσχυσης PFC που έχει μετατοπιστεί στο άκρο της χαμηλότερης τάσης προκειμένου να μειωθεί το μέγεθος του πυκνωτή DC-link και να παραταθεί η διάρκεια ζωής του. Ο φορτιστής 3 kW έχει αντίστροφη δομή σε σύγκριση με τις συμβατικές τοπολογίες των δύο σταδίων. Χρησιμοποιεί ένα παθητικό μπροστινό άκρο που ακολουθείται από ένα μετατροπέα συντονισμού πλήρους γέφυρας LLC που λειτουργεί με σταθερή συχνότητα μεταγωγής και τέλος, μια βαθμίδα ενίσχυσης PFC χαμηλής τάσης που εκτελεί τη ρύθμιση της τάσης εξόδου και τον αρμονικό έλεγχο. Αυτό το σχήμα επιτρέπει την επίτευξη της απόδοσης στο 93,6 % με συντελεστή ισχύος 0,996 που λειτουργεί με πλήρες φορτίο.

Η μείωση της τάσης DC-link επιτρέπει την αντικατάσταση του ηλεκτρολυτικού πυκνωτή με έναν πυκνωτή φιλμ, επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής του μετατροπέα. Όπως μπορεί να εκτιμηθεί από όλες τις τοπολογίες ένα κοινό χαρακτηριστικό των φορτιστών είναι η γαλβανική απομόνωση που επιτυγχάνεται με τη χρήση μετασχηματιστών υψηλής συχνότητας, αντί μετασχηματιστών χαμηλής συχνότητας, που θα πρόσθεταν υπερβολικό βάρος και όγκο στο όχημα. Ωστόσο, η απομόνωση HF απαιτεί περισσότερα στάδια μετατροπέα ισχύος μέσω των οποίων μεταδίδεται όλη η ισχύς, με αποτέλεσμα πρόσθετες μεταγωγές, αγωγιμότητα και μαγνητικές απώλειες που μειώνουν την απόδοση του μετατροπέα.

Επίπεδο 2: Ενσωματωμένος μετατροπέας (Ημι-ταχεία φόρτιση)

Μια διαφορετική προσέγγιση για τους ενσωματωμένους φορτιστές είναι η χρήση μέρους του μετατροπέα μετάδοσης της κίνησης και των περιελίξεων του μηχανήματος για σκοπούς φόρτισης, δεδομένου ότι σε κανονική λειτουργία η κίνηση και η φόρτιση δε συμβαίνουν ταυτόχρονα, με εξαίρεση την πέδηση με ανάκτηση. Αυτό έδωσε το κίνητρο για την ανάπτυξη του ενσωματωμένου συστήματος κίνησης και του φορτιστή της μπαταρίας. Αυτή η ενσωμάτωση προσφέρει τη δυνατότητα μείωσης των προβλημάτων του πρόσθετου κόστους, του χώρου και του βάρους, χρησιμοποιώντας έναν μόνο μετατροπέα, τόσο για την οδήγηση, όσο και για τη φόρτιση. Δεδομένου ότι ο μετατροπέας της ισχύος που χρησιμοποιείται για το σύστημα μετάδοσης της κίνησης έχει ονομαστική ισχύ μηχανής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ίδια χωρητικότητα ισχύος για φόρτιση, αυξάνοντας το επίπεδο ισχύος σε σύγκριση με αποκλειστικούς φορτιστές. Ωστόσο, ανάλογα με το επίπεδο ολοκλήρωσης, την προσαρμογή της τάσης και τους παλμούς της ροπής στον κινητήρα κατά τη φόρτιση, θα πρέπει να συζητηθούν τα ζητήματα της απόδοσης. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη η τυχαία σύνδεση αυτών των φορτιστών υψηλότερης ισχύος σε διαφορετικά σημεία της πόλης, έτσι ώστε το δίκτυο να απορροφά σωστά το φορτίο της φόρτισης των EV.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα ολοκλήρωσης σχετικά με τους φορτιστές των μπαταριών. Αυτό το επίπεδο ολοκλήρωσης θα εξαρτηθεί από το εάν χρησιμοποιούνται αποκλειστικά οι ηλεκτρονικές συσκευές ισχύος του ηλεκτροκινητήρα, ή αν χρησιμοποιούνται επίσης οι περιελίξεις του κινητήρα.

Μεταξύ των μερικώς ολοκληρωμένων τοπολογιών, οι οποίες χρησιμοποιούν κλασματικά τα ηλεκτρονικά ισχύος επί του οχήματος ως μέρος του κυκλώματος φόρτισης, έχουν προταθεί αρκετές άλλες τοπολογίες. Η ιδέα είναι να μεγιστοποιηθεί η χρήση των εξαρτημάτων, οδηγώντας σε μείωση του κόστους, του μεγέθους και του βάρους. Σε αυτήν την κατηγορία, το κύκλωμα της φόρτισης μειώνεται σε μια μονοβάθμια τοπολογία που συνδυάζεται με το αμφίδρομο στάδιο DC-DC, το οποίο χρησιμοποιείται επίσης από το σύστημα ισχύος. Αυτό οδηγεί σε περαιτέρω μείωση του μεγέθους του μετατροπέα και του αριθμού των εξαρτημάτων. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αυτό θέτει τον περιορισμό ότι το όχημα δε μπορεί να φορτιστεί κατά την οδήγηση, ή δεν μπορεί να οδηγηθεί ενώ φορτίζεται η μπαταρία.

Παρά το γεγονός ότι η διαμόρφωση του μετατροπέα ισχύος δύο σταδίων με την προσέγγιση του μετασχηματιστή HF εμφανίζεται ως μια κύρια λύση για τους ενσωματωμένους φορτιστές στα οχήματα, δεν υπάρχει ρητή απαίτηση για τέτοια χαρακτηριστικά στα πρότυπα για την ασφάλεια των ηλεκτρικών οχημάτων όπως ορίζεται στο SAE J1772. Αυτό έχει δώσει κίνητρο για την έρευνα και την ανάπτυξη διαφορετικών υψηλής απόδοσης μη απομονωμένων τοπολογιών ενός σταδίου, οι οποίες διαθέτουν σημαντικά πλεονεκτήματα στην αύξηση της πυκνότητας ισχύος και της απόδοσης του μετατροπέα μέσω της εξάλειψης του μετασχηματιστή HF.

Ένα μέρος του μετατροπέα DC-DC που εμφανίζεται στην τοπολογία είναι ήδη μέρος του συστήματος ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, παρέχεται μια μετατροπή της αναλογίας της τάσης, μεταξύ της τάσης DC της μπαταρίας και της τάσης του συνεχούς ρεύματος του μετατροπέα κίνησης του κινητήρα. Δε χρησιμοποιούν το μετατροπέα πλήρους ισχύος και τις περιελίξεις του κινητήρα ως ενσωματωμένους φορτιστές (εξ' ου και το όνομα).

Ο μη απομονωμένος ενσωματωμένος φορτιστής διαθέτει έναν ανορθωτή γέφυρας διόδου, που ακολουθείται από ένα παρεμβαλλόμενο στάδιο ενίσχυσης buck-boost. Η ενδιάμεση σύνδεση των δύο καναλιών επιτρέπει τη μείωση των κυματισμών του ρεύματος και της τάσης, ενώ μειώνεται το μέγεθος των επαγωγών του μετατροπέα. Ο μετατροπέας buck-boost παρέχει επίσης μεγαλύτερο εύρος της τάσης εισόδου και εξόδου. Αυτή η τοπολογία έχει αναφερθεί ότι έχει ονομαστική ισχύ 3,7 kW, με μέγιστη απόδοση το 97,6 % και συντελεστή ισχύος 0,99. Δεδομένου ότι ο μετατροπέας δεν έχει απομόνωση HF, απαιτεί λιγότερα στάδια και επομένως έχει μειωμένο αριθμό εξαρτημάτων σε σύγκριση με τους φορτιστές που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Επιπλέον, υπάρχει ένας άλλος μη απομονωμένος ενεργός ανορθωτής buck-boost που χρησιμοποιείται ως φορτιστής της μπαταρίας. Η τοπολογία αυτή μοιράζεται τον επαγωγέα Lf με έναν ενσωματωμένο αμφίδρομο μετατροπέα DC-DC. Αυτή η δομή επιτρέπει την κάλυψη των τριών απαιτήσεων του συστήματος PHEV, δηλαδή τη λειτουργία buck-boost για τη φόρτιση της μπαταρίας, την ενίσχυση της λειτουργίας από τη μπαταρία στο δίαυλο συνεχούς ρεύματος υψηλότερης τάσης του ηλεκτρικού συστήματος έλξης και τη λειτουργία «buck» από το όχημα στην μπαταρία για αναγεννητική πέδηση. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι αυτή η προσέγγιση προϋποθέτει ότι κανένας από τους τρεις προηγούμενους τρόπους λειτουργίας δε συμβαίνει ταυτόχρονα. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τοπολογίες, αυτή η προσέγγιση έχει το μειονέκτημα των πρόσθετων απωλειών λόγω των επιπλέον

συσκευών μεταγωγής και επίσης της κακής αρμονικής απόδοσης στην πλευρά AC εάν δε χρησιμοποιείται κάποιο φίλτρο. Με στόχο τη βελτίωση της αρμονικής απόδοσης στην πλευρά του δικτύου, ένα ενεργό μπροστινό μέρος τριών επιπέδων ενσωματώνεται στο φορτιστή, το οποίο μαζί με τη μείωση της συνολικής αρμονικής παραμόρφωσης (THD) κάτω από το 3%, παρέχει αμφίδρομη ροή της ισχύος που επιτρέπει στο όχημα να λειτουργεί σε δίκτυο (V2G). Αυτό γίνεται εις βάρος του αυξημένου αριθμού των συσκευών μεταγωγής και της ανάγκης ελέγχου της τάσης.

Ένα υψηλότερο επίπεδο ενσωματωμένων φορτιστών χρησιμοποιεί το μετατροπέα έλξης μαζί με τις περιελίξεις του κινητήρα. Για αυτήν την κατηγορία, το κύριο μέλημα είναι η ελάχιστη προσθήκη εξωτερικών στοιχείων για να επιτραπεί η αναδιαμόρφωση του κυκλώματος με στόχο τη μείωση του μεγέθους και του βάρους των ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιούνται στο όχημα. Επιπλέον, καθώς ο κινητήρας είναι συνήθως σχεδιασμένος για υψηλότερες ονομασίες ισχύος, αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη χρήση υψηλότερων επιπέδων ισχύος φόρτισης (δηλαδή μικρότερους χρόνους φόρτισης) και είτε μονοφασικών είτε τριφασικών πριζών.

Η ιδέα πίσω από τον ενσωματωμένο φορτιστή είναι η χρήση επαγωγικών διαρρών στάτορα (IM) ως σύνολο φίλτρων, τα οποία μαζί με το μετατροπέα λειτουργούν ως μετατροπείς ενίσχυσης. Μπορεί να φανεί πώς το σύστημα μετάδοσης της κίνησης αναδιαμορφώνεται με τη χρήση φθηνών ρελέ για να λειτουργούν ως φορτιστές της μπαταρίας.

Αυτός ο φορτιστής μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε από μια μονοφασική παροχή, είτε από τις τρεις φάσεις του μετατροπέα ως παρεμβαλλόμενος μετατροπέας ενίσχυσης τριών καναλιών, με το μειονέκτημα της δημιουργίας ροπής στο μηχάνημα κατά τη φόρτιση. Αναφέρεται ότι η μονοφασική εναλλακτική έχει τάση εισόδου στην περιοχή των 100–250 V και ονομαστική έως 20 kW.

Υπάρχει μια παρόμοια μονοφασική ιδέα που βασίζεται σε σύστημα διπλού IM, είτε με δύο μηχανές είτε με χρήση ενός μόνο με διαχωρισμένες φάσεις και δύο μετατροπείς. Σε αυτήν την τοπολογία, τα τριφασικά σετ των επαγωγών συνδέονται με το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω του ουδέτερου σημείου, λειτουργώντας ως στάδιο διόρθωσης του συντελεστή ισχύος DC–DC που επαναφορτίζει την μπαταρία. Αυτή η προσέγγιση έχει τα πλεονεκτήματα ότι επιτρέπει μια αμφίδρομη διαδρομή της ισχύος και λειτουργία του συντελεστή ισχύος της μονάδας. Ωστόσο, δεν παρέχεται γαλβανική μόνωση.

Υπάρχει ένας διαφορετικός ενσωματωμένος φορτιστής στον οποίο κάθε μία από τις διαχωρισμένες φάσεις ενός σύγχρονου κινητήρα μόνιμου μαγνήτη (PMSM) είναι συνδεδεμένη σε ένα διπλό σύνολο μετατροπέων της πηγής τάσης δύο επιπέδων. Αυτό δημιουργεί μια ενδιάμεση τάση σύνδεσης DC που φτάνει έως και τα 900 V. Αυτή η τάση μετατρέπεται από μια αμφίδρομη βαθμίδα DC-DC τύπου buck που εκτελεί τη φόρτιση της μπαταρίας. Συνήθως προστίθεται ένα επιπλέον φίλτρο για τη βελτίωση της ποιότητας των ρευμάτων του δικτύου. Παρά το γεγονός ότι έχει συνολική ισχύ έλξης 40 kW, αυτό το σχέδιο περιορίζει την ισχύ φόρτισης της μπαταρίας μόνο στα 30 kW.

Η χρήση της διαμόρφωσης «split-winding» οδηγεί στην ακύρωση του περιστροφικού μαγνητικού πεδίου στον κινητήρα κατά τη φόρτιση. Επιπλέον, αυτό το σχήμα δεν απαιτεί πρόσθετα ρελέ ή επαφές, μειώνοντας έτσι τις απαιτήσεις υλικού. Αυτό το σχήμα είναι επίσης διαθέσιμο σε μονοφασική έκδοση.

Η επιπρόσθετη προσέγγιση βασίζεται σε έναν εσωτερικό σύγχρονο κινητήρα μόνιμου μαγνήτη (IPMSM) με επαναδιαμορφώσιμες περιελίξεις του στάτορα. Η χρήση των συσκευών μεταγωγής που βασίζονται σε ρελέ και ενός μηχανικού

συμπλέκτη επιτρέπουν τη χρήση του μηχανήματος ως μετασχηματιστή απομόνωσης συνδεδεμένο στο δίκτυο και τα εξαρτήματα έλξης λειτουργούν ως φορτιστής της μπαταρίας. Το IPMSM έχει έξι περιελίξεις στάτορα, τα οποία συνδέονται σε σειρά ώστε να αποτελούν ένα τριφασικό σύνολο, ενώ η φόρτιση ενός ρελέ επαναδιαμορφώνει αυτές τις περιελίξεις. Μπορεί να φανεί ότι σε αυτήν τη διαμόρφωση, ο μετατροπέας της κίνησης λειτουργεί ως ενεργό μπροστινό άκρο, επιτρέποντας τον έλεγχο της τάσης της μπαταρίας, ενώ παράγει ρεύματα υψηλής ποιότητας στην πλευρά AC. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι αυτό το σχήμα δεν απαιτεί μηχανικό φρένο, καθώς το μηχάνημα περιστρέφεται ελεύθερα με σύγχρονη ταχύτητα, ενώ προκαλεί τάσεις στη δευτερεύουσα πλευρά. Για ένα σύστημα μετάδοσης κίνησης 25 kW, αυτός ο φορτιστής περιορίζεται να λειτουργεί στα 12,5 kW.

Η μηχανή μεταγωγής απροθυμίας (SRM) έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για το IM, ή το PMSM σε εφαρμογές μετάδοσης της κίνησης, λόγω του απλού ελέγχου και της στιβαρότητάς του. Κατά τη λειτουργία της φόρτισης, ο διακόπτης Sm συνδέεται στο σημείο της φόρτισης, ενώ το Sd παραμένει μόνιμα απενεργοποιημένο (το στάδιο ώθησης που είναι συνδεδεμένο με το πακέτο της μπαταρίας δε χρησιμοποιείται κατά τη λειτουργία φόρτισης). Τρεις από τις τέσσερις φάσεις του SRM έχουν επαναδιαμορφωθεί ώστε να συνθέτουν έναν φορτιστή PFC buck-boost. Οι δύο πρώτες περιελίξεις του κινητήρα λειτουργούν ως φίλτρα εισόδου, ενώ η τρίτη λειτουργεί ως αποθήκευση της ενέργειας για τον μετατροπέα SRM. Αυτό οδηγεί σε βελτιωμένη ποιότητα ισχύος στην πλευρά AC.

3.2.2 ΦΟΡΤΙΣΤΕΣ ΕΚΤΟΣ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Οι προηγούμενες ενότητες κάλυψαν τις διάφορες τοπολογίες φόρτισης με έναν αποκλειστικό, ή ενσωματωμένο μετατροπέα ισχύος εγκατεστημένο στο εσωτερικό του οχήματος, υπεύθυνο για τη φόρτιση των μπαταριών. Αυτοί οι ενσωματωμένοι φορτιστές παρέχουν ευελιξία και διαθεσιμότητα, καθώς απαιτούν μόνο μια συμβατική πρίζα και ελάχιστο πρόσθετο υλικό για την επαναφόρτιση της μπαταρίας. Ωστόσο, ο πρόσθετος όγκος και το βάρος του οχήματος περιορίζουν τις ονομαστικές τιμές ισχύος του, αυξάνοντας έτσι τους χρόνους φόρτισης. Μια εναλλακτική λύση για την επαναφόρτιση της μπαταρίας ενός EV ή PHEV είναι η χρήση μιας αποκλειστικής υποδομής που βρίσκεται εξωτερικά. Αυτό αντισταθμίζει το βάρος και τον όγκο από το αυτοκίνητο στον εξοπλισμό των ηλεκτρικών οχημάτων (EVSE) που παρέχει ισχύ από το δίκτυο στο όχημα.

Επιπλέον, η παρουσία ενός τεράστιου δικτύου υποδομής της φόρτισης στο μέλλον θα υποστηρίξει την υιοθέτηση των PEV, καθώς η διαθεσιμότητα σταθμών γρήγορης φόρτισης σε διάφορα μέρη των πόλεων θα παρέχει στους οδηγούς μεγαλύτερη ευελιξία στη χρήση του αυτοκινήτου τους, θα αντιμετωπίσει το άγχος της εμβέλειας και θα επιτρέψει περιστασιακά μεγαλύτερα ταξίδια, χωρίς την ανάγκη μπαταριών μεγαλύτερης χωρητικότητας. Αυτό, αναμένεται να συμβεί ανεξάρτητα από το ότι η γρήγορη φόρτιση γίνεται η κύρια εναλλακτική για την αναπλήρωση των μπαταριών, ή παραμένει ως συμπληρωματική διαδικασία της συμβατικής φόρτισης επιπέδου 1 και 2.

Ανάλογα με την αρχιτεκτονική, οι φορτιστές συνδέονται στο δίκτυο μέσω ενός μετασχηματιστή, ακολουθούμενο από μια βαθμίδα ανορθωτή που αποτελείται από το

φίλτρο εισόδου για τον μετριασμό της αρμονικής έγχυσης στην πλευρά του δικτύου και τη βαθμίδα AC–DC για τον έλεγχο των ρευμάτων εισόδου και τη δημιουργία της ρυθμιζόμενης DC τάσης. Στη συνέχεια, σε αυτήν τη ρυθμιζόμενη τάση DC συνδέεται ένας μετατροπέας DC-DC, προκειμένου να ρυθμίσει την τάση της μπαταρίας και να ελέγξει τα ρεύματα φόρτισής της, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του BMS του οχήματος. Το τελευταίο στάδιο δεν απαιτεί γαλβανική απομόνωση παρουσία μετασχηματιστή από την πλευρά του δικτύου. Τέλος, περιλαμβάνεται ένα φίλτρο εξόδου για τη ρύθμιση του ρεύματος της μπαταρίας και των κυματισμών της τάσης.

Σε περίπτωση που η γαλβανική απομόνωση είναι μέρος της βαθμίδας DC–DC, τότε ο φορτιστής εκτός οχήματος μπορεί να εξαλείψει το μετασχηματιστή της συχνότητας. Στη συνέχεια συζητούνται οι διαφορές μεταξύ της θέσης της απομόνωσης και των διαφορετικών τοπολογιών του μετατροπέα για τα στάδια AC–DC και DC–DC.

Επίπεδο 3: Αποκλειστικοί φορτιστές συνεχούς ρεύματος εκτός του οχήματος (Γρήγορη φόρτιση)

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες, η γρήγορη φόρτιση των EV και των PHEV ενδέχεται να μην είναι νοητή ως λύση επί του οχήματος, λόγω των περιορισμών του κόστους, του μεγέθους και του βάρους στο όχημα. Ως εκ τούτου, η μελέτη της έννοιας μιας δημόσιας εγκατάστασης με εγκατεστημένους εκτός του οχήματος φορτιστές υψηλής ισχύος που λειτουργούν ως πρατήριο καυσίμων είναι σχετική. Αυτοί οι σταθμοί θα παρέχουν στα EV το ισοδύναμο μιας στάσης καυσίμου, τροφοδοτώντας τις μπαταρίες τους απευθείας με συνεχές ρεύμα, τα οποία θα ανεφοδιάζουν το αυτοκίνητο στο συντομότερο δυνατό χρόνο. Αυτή η ιδέα, μαζί με τις αναδυόμενες τεχνολογίες των μπαταριών που δέχονται υψηλότερους ρυθμούς φόρτισης και αρκετές χιλιάδες κύκλους φόρτισης, καθιστά τη γρήγορη φόρτιση μια ρεαλιστική δυνατότητα.

Μπορούν να εντοπιστούν δύο δυνατότητες για αρχιτεκτονικές των σταθμών ταχείας φόρτισης (FCS). Η πρώτη χρησιμοποιεί τις δευτερεύουσες περιελίξεις του μετασχηματιστή υποβάθμισης/απομόνωσης ως δίαυλο AC, όπου κάθε φορτίο συνδέεται με το δίαυλο μέσω ανεξάρτητων σταδίων AC–DC. Η δεύτερη χρησιμοποιεί ένα μόνο στάδιο AC–DC προκειμένου να παρέχει έναν κοινό δίαυλο DC για όλα τα φορτία του συστήματος.

3.2.3 ΚΟΙΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΝΟΝΙΚΗ AC

Μια εναλλακτική λύση για την αρχιτεκτονική FCS είναι η χρήση ενός κοινού διαύλου AC. Σε αυτή τη δομή, κάθε μονάδα φόρτισης έχει τη δική της βαθμίδα ανορθωτή που συνδέεται με ένα κοινό σημείο σύζευξης AC στις δευτερεύουσες περιελίξεις του μετασχηματιστή υποβάθμισης. Αυτή η αρχιτεκτονική αντιπροσωπεύει μια απλή ιδέα και χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια, ενώ διατίθενται καλά ανεπτυγμένα πρότυπα και τεχνολογίες. Επιπλέον, χρειάζεται χαμηλότερη βαθμίδα ισχύος η οποία μπορεί να λειτουργεί είτε παθητικά είτε ενεργά.

Ωστόσο, η παρουσία αρκετών φορτιστών των μπαταριών, με ανεξάρτητα στάδια ανορθωτή και εγγενή λειτουργία χαμηλού συντελεστή ισχύος, μπορεί να προκαλέσει

ανεπιθύμητα αρμονικά αποτελέσματα στο δίκτυο κοινής ωφέλειας, ιδιαίτερα για γρήγορους φορτιστές υψηλής ισχύος. Επιπλέον, το κόστος πολλών μονάδων μετατροπεία με χαμηλότερες ονομασίες ισχύος είναι υψηλότερο από αυτό μιας μεμονωμένης μονάδας μετατροπεία υψηλής ισχύος, λόγω της ανάγκης πολλών σετ φίλτρων, σταδίων ελέγχου και αισθητήρων.

Επιπλέον, παρουσία κατανεμημένων μονάδων παραγωγής στο σταθμό, όπως φωτοβολταϊκά πάνελ, ή κυψέλες καυσίμου, ή ακόμη και η χρήση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, θα απαιτηθεί επίσης το ανεξάρτητο στάδιο AC–DC, αυξάνοντας έτσι περαιτέρω τον αριθμό των σταδίων μετατροπής στο σύστημα και κατά συνέπεια, το κόστος και την πολυπλοκότητα της αρχιτεκτονικής του διαύλου AC.

3.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΓΙΑ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούνται ευρέως σε ηλεκτρικές συσκευές και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας λόγω της υψηλής πυκνότητας ενέργειας, της καλής απόδοσης του κύκλου ζωής και του χαμηλού ρυθμού αυτοεκφόρτισης. Ωστόσο, η στρατηγική φόρτισης για τις μπαταρίες Li-ion έχει γίνει εμπόδιο για την ευρύτερη εφαρμογή τους, λόγω της χαμηλής ταχύτητας φόρτισης και των επιπτώσεων της αβεβαιότητας στη διάρκεια ζωής τους. Η διαδικασία της φόρτισης σχετίζεται στενά με την κατάσταση της υγείας μιας μπαταρίας. Οι μπαταρίες Li-ion power που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα (EV) αποτελούνται από πολλά στρώματα κυψελών και έχουν μεγάλη χωρητικότητα, συνήθως δεκάδες αμπέρ σε ώρες. Ωστόσο, η τεχνολογία βελτιστοποίησης της φόρτισης για μπαταρίες Li-ion power είναι μια πρόκληση.

Πολλές μέθοδοι φόρτισης έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία, με διάφορους στόχους όπως η αύξηση της ταχύτητας της φόρτισης, η βελτίωση της απόδοσης της φόρτισης και η μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας. Οι Vo T et al. (2015) πρότειναν μια στρατηγική φόρτισης που βασίζεται στην ενσωμάτωση της μεθόδου Taguchi και της εκτίμησης της κατάστασης φόρτισης (SOC) για την αναζήτηση ενός βέλτιστου προφίλ ρεύματος φόρτισης [26]. Οι Guo Z. et al. (2015) πρότειναν μια βέλτιστη τεχνική φόρτισης για μπαταρίες Li-ion χρησιμοποιώντας ένα παγκόσμιο πρωτόκολλο τάσης, το οποίο έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την απόδοση της φόρτισης και τη διάρκεια ζωής του κύκλου [27]. Οι Hu X. et al. (2014) ανέπτυξαν μια στρατηγική βέλτιστης φόρτισης δύο στόχων που βασίζεται σε ισοδύναμα μοντέλα κυκλωμάτων, όπου ο χρόνος της φόρτισης και η απώλεια της ενέργειας της φόρτισης αντισταθμίζονται βέλτιστα [28]. Οι Zhang S. et al. (2014) χρησιμοποίησαν έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης δυναμικού προγραμματισμού για να βρουν ένα μη βέλτιστο πρωτόκολλο φόρτισης κάτω από μια ορισμένη ισορροπία μεταξύ του χρόνου φόρτισης και της απώλειας της φόρτισης [29]. Οι Hussein A. et al. (2016) πρότειναν ένα διαδικτυακό αλγόριθμο παρακολούθησης για την κατανομή και παρακολούθηση της βέλτιστης συχνότητας φόρτισης για κοινές μπαταρίες σε πραγματικό χρόνο υπό οποιεσδήποτε συνθήκες [30]. Οι Ji L. et al. (2016) παρουσίασαν ένα πλαίσιο για τη βελτιστοποίηση της φόρτισης της μπαταρίας ιόντων λιθίου που υπόκειται σε περιορισμούς της πλευρικής αντίδρασης, που μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή φαινομένων ζημιάς [31].

Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης της φόρτισης της μπαταρίας μπορούν κυρίως να κατηγοριοποιηθούν ως βελτιωμένες μέθοδοι βασισμένες σε κυματομορφή ρεύματος φόρτισης, μέθοδοι που βασίζονται σε μοντέλα μπαταρίας, μέθοδοι που βασίζονται στην πόλωση και βελτιωμένες μέθοδοι που βασίζονται σε υλικά της μπαταρίας. Οι βελτιωμένες μέθοδοι που βασίζονται σε κυματομορφή ρεύματος φόρτισης είναι γενικά απλές στον έλεγχο και την εφαρμογή. Ωστόσο, είναι συχνά ευρετικές και δε διαθέτουν τα θεωρητικά θεμέλια για την επιλογή του ρεύματος φόρτισης της μπαταρίας με το βέλτιστο τρόπο. Οι μέθοδοι που βασίζονται σε μοντέλο μπαταρίας μπορούν να προβλέψουν το ρεύμα φόρτισης χρησιμοποιώντας για παράδειγμα ένα μοντέλο ισοδύναμου κυκλώματος ομαδοποιημένου κυκλώματος, ένα μοντέλο αντίστασης εναλλασσόμενου ρεύματος, ή ένα ηλεκτροχημικό μοντέλο. Συνδυάζουν την εξωτερική ηλεκτρική συμπεριφορά με εσωτερικούς μηχανισμούς αντίδρασης, αναζητώντας το βέλτιστο ρεύμα φόρτισης. Ποικίλες μέθοδοι μοντελοποίησης και αναγνώρισης αναπτύσσονται για την απόκτηση παραμέτρων με υψηλή ακρίβεια. Ωστόσο, οι επιπτώσεις της εξασθένησης της θερμοκρασίας και της υγείας της μπαταρίας στις παραμέτρους του μοντέλου πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω. Οι μέθοδοι που βασίζονται στην πόλωση παρέχουν αποδεκτό ρεύμα φόρτισης με περιορισμούς στην τάση πόλωσης της μπαταρίας. Η μοντελοποίηση της πόλωσης και οι ποσοτικές επιπτώσεις της στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας χρειάζονται και αυτές περαιτέρω εξέταση.

Αρκετά μοντέλα μπαταριών έχουν αναφερθεί ότι πληρούν κρίσιμες απαιτήσεις διαφοροποιημένων περιστάσεων τις τελευταίες δεκαετίες. Τα μοντέλα μπαταριών που χρησιμοποιούνται συνήθως εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, δηλαδή ηλεκτροχημικά μοντέλα, αναλυτικά μοντέλα και μοντέλα ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Τα ηλεκτροχημικά μοντέλα χαρακτηρίζουν με ακρίβεια τις ιδιότητες του υλικού και το μηχανισμό αντίδρασης μέσα στη μπαταρία, χρησιμεύοντας ως βάση για το βέλτιστο σχεδιασμό των συστημάτων των μπαταριών. Ωστόσο, τα ηλεκτροχημικά μοντέλα περιέχουν πολύπλοκες μη γραμμικές διαφορικές εξισώσεις με πολλές άγνωστες μεταβλητές, οι οποίες όχι μόνο αυξάνουν την πολυπλοκότητα του μοντέλου αλλά είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα ελέγχου της ισχύος. Τα αναλυτικά μοντέλα είναι συνήθως απλοποιημένες μορφές ηλεκτροχημικών μοντέλων και παραμένουν πολύ περίπλοκα για την ακριβή πρόβλεψη της δυναμικής απόδοσης κατά τη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας της μπαταρίας. Τα μοντέλα των ηλεκτρικών κυκλωμάτων μπορούν να συλλάβουν τα χαρακτηριστικά ρεύματος-τάσης της μπαταρίας ($I-V$) μέσω ενός συνδυασμού ηλεκτρικών στοιχείων, όπως πηγές τάσης, αντιστάσεις και πυκνωτές. Αυτά τα μοντέλα έχουν απλούστερες δομές και λιγότερες άγνωστες μεταβλητές από τα άλλα δύο είδη μοντέλων και μπορούν επίσης να ενσωματωθούν εύκολα σε μοντέλα ελέγχου των συστημάτων με μπαταρίες.

Για να ικανοποιηθούν διάφορες απαιτήσεις ισχύος και ενέργειας διαφορετικών εφαρμογών, οι μπαταρίες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες-σχεδιασμούς υψηλής ισχύος και σχέδια υψηλής ενέργειας.

Υπάρχουν δύο μοναδικά φαινόμενα που προκαλούνται από τη διακύμανση του ρυθμού, συγκεκριμένα η επίδραση της ικανότητας του ρυθμού και η επίδραση της ανάκτησης. Το φαινόμενο της χωρητικότητας αναφέρεται στην αλλαγή της χωρητικότητας της μπαταρίας λόγω αλλαγής των ρυθμών, η οποία είναι πιο ορατή σε υψηλούς ρυθμούς. Μετά την αποφόρτιση μιας μπαταρίας με συγκεκριμένο ρυθμό, εξακολουθεί να είναι σε θέση να αποφορτιστεί για μια περίοδο με χαμηλότερο ρυθμό, ο οποίος είναι γνωστός ως αποτέλεσμα ανάκτησης. Για να βελτιώσουν τη

σκοπιμότητα του μοντέλου για μπαταρίες με σχέδια υψηλής ισχύος, οι ερευνητές έχουν αναπτύξει πολλά βελτιωμένα μοντέλα των ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΞΕΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

Αυτό το κεφάλαιο στοχεύει να παρουσιάσει τους διαφορετικούς μηχανισμούς και στρατηγικές φόρτισης καθώς και τα εργαλεία εντός της έννοιας της έξυπνης πόλης. Ο στόχος είναι να παρουσιαστεί η τελευταία λέξη της τεχνολογίας, να εντοπιστούν οι προκλήσεις. Παρουσιάζεται η έννοια της έξυπνης φόρτισης και οι δύο κύριες αρχιτεκτονικές ελέγχου της έξυπνης φόρτισης (κεντρικός και αποκεντρωμένος έλεγχος). Αναφέρονται επίσης καινοτόμες ιδέες όπως το κτίριο-to-grid (B2G), V2G, ήλιος-προς-όχημα (S2V) και όχημα σε υποδομή (V2I). Παρουσιάζεται επίσης μια σύντομη επισκόπηση ορισμένων υφιστάμενων έργων έξυπνης φόρτισης σε όλο τον κόσμο. Επισημαίνονται επίσης ανοιχτά ζητήματα, προκλήσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις της έρευνας που σχετίζονται με τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Την τελευταία δεκαετία, η αυξανόμενη ανησυχία για την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων καθώς και οι δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ώθησαν τη μετάβαση σε ενεργειακά συστήματα μηδενικών εκπομπών άνθρακα. Ειδικά στην περίπτωση των ενεργειακών συστημάτων μεταφορών, τα ηλεκτρικά οχήματα θεωρούνται αποτελεσματική τεχνολογία μεταφοράς, προκειμένου να μετριάσουν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (GHGs) και οι περιφερειακές εκπομπές σε αστικές περιοχές όπως οι πόλεις. Πολλές κυβερνήσεις έχουν λάβει μέτρα για να ενθαρρύνουν τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων τόσο στον ιδιωτικό όσο και στο δημόσιο τομέα. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η ανάπτυξη της αγοράς ήταν υψηλότερη από το 30% για 5 συνεχόμενα χρόνια, οδηγώντας σε συσσωρευμένο αριθμό 5 εκατομμυρίων ηλεκτρικών οχημάτων στους δρόμους μέχρι το 2019. Η επιτυχής ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων συνεπάγεται την ανάπτυξη μιας υποδομής φόρτισης που είναι προσβάσιμη, εύκολη στη χρήση και σχετικά φθηνή.

Ωστόσο, η ηλεκτροδότηση των μεταφορών αποτελεί σημαντικό πρόσθετο φορτίο για το ηλεκτρικό δίκτυο, που οδηγεί σε προβλήματα στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (δηλαδή πτώση της τάσης, απώλειες ισχύος κ.λπ.). Στην πραγματικότητα, ο αντίκτυπος της ηλεκτρικής κινητικότητας μπορεί να ανέλθει σε ένα επιπλέον 15% της μέσης ετήσιας ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας των νοικοκυριών [32]. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τα προφίλ της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων τείνουν να αλληλεπικαλύπτονται με τα προφίλ της κατανάλωσης της οικιακής χρήσης, οι κορυφές της κατανάλωσης της ενέργειας αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά ως αποτέλεσμα της φόρτισης των EV που φτάνει τα όρια της χωρητικότητας του δικτύου [33]. Ως εκ τούτου, η ηλεκτρική κινητικότητα αποτελεί σημαντική πρόκληση για τους φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου να διευκολύνουν την επαρκή χωρητικότητα για τη φόρτιση των EV και να διατηρήσουν τη σταθερότητα και την ασφάλεια του δικτύου, περιορίζοντας παράλληλα τις επενδύσεις σε ενισχύσεις δικτύου.

Σε αυτό το πλαίσιο, για τη βελτιστοποίηση της φόρτισης των EV απαιτείται μια καλά συντονισμένη και ελεγχόμενη υποδομή. Η ελεγχόμενη φόρτιση του μεγάλου αριθμού των EV μπορεί να υποστηριχθεί καλά με τη βοήθεια του έξυπνου δικτύου. Η ενίσχυση της ζήτησης αιχμής και των διακυμάνσεων της τάσης, απαιτούν έξυπνες προσεγγίσεις φόρτισης για τον έλεγχο της ηλεκτροδότησης των ηλεκτρικών

οχημάτων. Η έξυπνη φόρτιση αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως η σταθερότητα, οι τροποποιήσεις της υποδομής και η διαχείριση του φορτίου. Οι έξυπνες πόλεις, που βασίζονται στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των πληροφοριών και επικοινωνιών, παρέχουν μια νέα ευκαιρία για την ανάπτυξη έξυπνων προσεγγίσεων χρέωσης. Τα βέλτιστα φορτισμένα EV όχι μόνο βελτιώνουν την απόδοση της ισχύος του έξυπνου δικτύου, αλλά μπορούν επίσης να παρέχουν άλλες προηγμένες λειτουργίες, όπως βοηθητικές υπηρεσίες, όπως από όχημα σε δίκτυο (V2G).

4.2 ΞΥΠΝΗ ΠΟΛΗ

Η έννοια της έξυπνης πόλης έχει λάβει μεγάλη προσοχή την τελευταία δεκαετία. Οι έξυπνες πόλεις είναι βασικοί παράγοντες για την ενεργειακή μετάβαση σε πόλεις με μηδενικές εκπομπές άνθρακα. Έχουν προταθεί πολλοί ορισμοί, συμπεριλαμβανομένων των όρων της έξυπνης πόλης, της ψηφιακής πόλης, της μελλοντικής πόλης, της συνδεδεμένης πόλης κ.λπ. Παρά τον μεγάλο αριθμό όρων, μπορεί να ειπωθεί ότι μια έξυπνη πόλη ενσωματώνει τη χρήση έξυπνων τεχνολογιών με στόχο για τη βελτίωση των οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών προτύπων.



Εικόνα 4.1: Χαρακτηριστικά μιας έξυπνης πόλης

Για να γίνει πιο συγκεκριμένο, μια έξυπνη πόλη δίνει έμφαση στα εξής:

- Τη χρήση δικτυωμένων υποδομών για τη βελτίωση της οικονομικής και πολιτικής αποτελεσματικότητας και την παροχή κοινωνικής, πολιτιστικής και αστικής ανάπτυξης.
 - Αστική ανάπτυξη με γνώμονα τις επιχειρήσεις.
 - Ο στόχος της επίτευξης της κοινωνικής ένταξης διάφορων κατοίκων των αστικών κέντρων.
 - Ο κρίσιμος ρόλος των βιομηχανιών υψηλής τεχνολογίας και δημιουργικότητας στη μακροπρόθεσμη αστική ανάπτυξη.
 - Ο ρόλος του κοινωνικού και σχεσιακού κεφαλαίου στην αστική ανάπτυξη.
 - Ο ρόλος της κοινωνικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας.

Με αυτόν τον τρόπο, ο κύριος στόχος των έξυπνων πόλεων είναι η βελτίωση της ποιότητας της ζωής μέσω της ανάπτυξης και χρήσης έξυπνων τεχνολογιών, υποστηρίζοντας παράλληλα την οικονομική παραγωγικότητα μέσω μιας βιώσιμης βιομηχανικής ανάπτυξης του οικοσυστήματος.

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή πρωτοβουλία των Έξυπνων Πόλεων, τα έξι βασικά χαρακτηριστικά των έξυπνων πόλεων περιλαμβάνουν την έξυπνη διακυβέρνηση, τους έξυπνους ανθρώπους, την έξυπνη κινητικότητα, την έξυπνη οικονομία, το έξυπνο περιβάλλον και την έξυπνη διαβίωση [34]. Πολλές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει αυτά τα χαρακτηριστικά, προκειμένου να αναπτύξουν δείκτες καθώς και πλαίσια και στρατηγικές.

Με βάση τα παραπάνω, μπορεί να ειπωθεί ότι τα χαρακτηριστικά της έξυπνης πόλης είναι εκείνα που μπορούν να αντιμετωπίσουν με «έξυπνο τρόπο» τις προκλήσεις της αστικοποίησης όπως τη διαχείριση των απορριμμάτων, την ατμοσφαιρική ρύπανση, την κυκλοφοριακή συμφόρηση, τις επιπτώσεις στην υγεία, τη σπανιότητα των πόρων, και τη γήρανση των υποδομών. Τέλος, επισημαίνεται ότι η διαδικασία ανάπτυξης των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ανάγκη για κυβερνητική ηγεσία και οργανωτική αλλαγή, το σχέδιο της πόλης, την ύπαρξη ενός ισχυρού νομικού πλαισίου, την παρουσία ενός τεχνολογικού μοντέλου και την ενίσχυση των επιχειρηματικών μοντέλων που θα διασφαλίζουν την αποτελεσματικότητα των μέτρων που λαμβάνονται.

4.3 ΥΠΟΔΟΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο γίνεται ακόμα πιο εξειδικευμένη αναφορά σε σχέση με το τρίτο κεφάλαιο, στα πλαίσια των έξυπνων πόλεων. Η υποδομή της φόρτισης έχει μεγάλη σημασία για την επιτυχή ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων σε αστικές περιοχές. Οι σταθμοί φόρτισης, τα σημεία φόρτισης και οι τρόποι φόρτισης αποτελούν τα βασικά μέρη της αρχιτεκτονικής της φόρτισης. Ο όρος «σταθμός φόρτισης» αναφέρεται συνήθως σε ένα μόνο κομμάτι του εξοπλισμού φόρτισης των

PEV, ενώ το «σημείο φόρτισης» αναφέρεται στους μεμονωμένους συνδέσμους που μπορούν να φορτίσουν ένα PEV ανά πάσα στιγμή.

Οι τρόποι φόρτισης, οι οποίοι καθορίζονται στο IEC 61851, περιλαμβάνουν το επίπεδο επικοινωνίας μεταξύ του οχήματος και του σταθμού φόρτισης. Όσον αφορά τους συνδέσμους, αυτοί ρυθμίζονται από το IEC 62196 και τροποποιούνται από το IEC 62196-2 και το IEC 62196-3. Ο σύνδεσμος Schuko χρησιμοποιείται ευρέως για τη φόρτιση ηλεκτρικών μοτοσυκλετών και ποδηλάτων.

Τα σημεία φόρτισης περιλαμβάνουν όλες τις απαραίτητες προστασίες και μία ή περισσότερες βάσεις εξόδου ή σετ συνδετήρων καλωδίων για φόρτιση στη λειτουργία 1 ή 2, ενώ ένα σύστημα φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος (EVCS) περιλαμβάνει ένα σύνολο εξοπλισμού εγκατεστημένο για την παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας για την επαναφόρτιση ενός EV, συμπεριλαμβανομένων των προστασιών του σταθμού φόρτισης, του καλωδίου σύνδεσης και της πρίζας, ή του βύσματος. Αυτό το σύστημα επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ του EV και της σταθερής εγκατάστασης και χρησιμοποιείται για φόρτιση στη λειτουργία 3. Το πρότυπο UNE/EN 61851 ενσωματώνει τα προαναφερθέντα στοιχεία. Επισημαίνεται ότι τα EVCS μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε στύλους φόρτισης (εξωτερική χρήση) και σε κιβώτια τοίχου (εσωτερική χρήση).

Γενικά συνοψίζονται τα εξής:

- **Θέση φόρτισης:** μια εγκατάσταση όπου ένα ηλεκτρονικό αυτοκίνητο μπορεί να φορτιστεί με ηλεκτρισμό. Μια θέση φόρτισης μπορεί να έχει πολλαπλά (συχνά δύο) σημεία φόρτισης.
- **Σημείο φόρτισης:** μια σύνδεση plug-in (ένας σταθμός φόρτισης έχει γενικά δύο).
- **Κανονική φόρτιση:** φόρτιση σε σχετικά χαμηλή τάση με το φορτιστή στο αυτοκίνητο, κατάλληλο για φόρτιση ενώ είναι σταθμευμένο (δηλαδή στο χώρο εργασίας).
- **Φόρτιση υψηλής ταχύτητας:** φόρτιση με υψηλή τάση κατά την οποία ο φορτιστής βρίσκεται στη θέση φόρτισης υψηλής ταχύτητας. Η ισχύς φόρτισης ξεκινά από τα 50 kW και ανεβαίνει στα 350 kW για εξαιρετικά γρήγορη φόρτιση. Ιδιαίτερα κατάλληλο όταν παρκάρετε για μικρότερες περιόδους (περίπου 20 λεπτά).
- **Ευέλικτη φόρτιση:** η ταχύτητα με την οποία φορτίζεται ένα αυτοκίνητο κατά τη διάρκεια μιας συνεδρίας ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι θέσεις φόρτισης λαμβάνουν υπόψη τις αναμενόμενες αιχμές και βυθίσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο.
- **Έξυπνη φόρτιση:** η ταχύτητα φόρτισης εξαρτάται από τη συνολική ζήτηση ενέργειας στο δίκτυο και την παροχή τοπικά παραγόμενης ανανεώσιμης ενέργειας. Η μπαταρία του οχήματος μπορεί επίσης να συμβάλει στο δίκτυο κατά τη διάρκεια της αιχμής της ζήτησης. Αυτό απαιτεί επίσης έξυπνες θέσεις φόρτισης όπου ο ιδιοκτήτης του οχήματος μπορεί να ελέγχει τη διαδικασία, συμπεριλαμβανομένου του επιπέδου του τιμολογίου.

4.3.1 ΕΠΙΠΕΔΑ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Ο εξοπλισμός της φόρτισης, ή ο «εξοπλισμός παροχής των ηλεκτρικών οχημάτων» (EVSE) διαφοροποιείται με βάση την ισχύ φόρτισης που χρησιμοποιείται για τη φόρτιση των PEV και των BEV (η χωρητικότητα των οποίων κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 5-15 kWh και 25-40 kW, αντίστοιχα). Οι κατηγορίες είναι οι εξής:

- Επίπεδο 1 (<3,7 kW): Αυτός ο τύπος φόρτισης επιτρέπει στο όχημα να συνδεθεί απευθείας σε μια τυπική πρίζα AC και ο ενσωματωμένος εξοπλισμός φόρτισης του οχήματος μετατρέπει την ισχύ σε DC. Στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, η ισχύς φόρτισης φτάνει τα 3,7 kW, δηλαδή τα 230 V και τα 16 A. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες ευρωπαϊκές χώρες με χαμηλότερη ισχύ, όπως το Ηνωμένο Βασίλειο (230 V και 13 A) και η Ελβετία (230 V και 10 A). Αυτός ο τύπος φόρτισης χρησιμοποιείται συχνά για τη φόρτιση των οχημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας στο σπίτι, ή στο χώρο εργασίας. Η φόρτιση μπορεί να διαρκέσει 8-10 ώρες. Η αργή φόρτιση μερικές φορές ονομάζεται φόρτιση Λειτουργίας 2.
- Επίπεδο 2 (>3,7 kW και <22 kW): Αυτοί οι τύποι φορτιστών συνήθως εγκαθίστανται σε χώρους στάθμευσης των αυτοκινήτων, σούπερ μάρκετ, κέντρα αναψυχής και σπίτια με χώρο στάθμευσης εκτός δρόμου. Η φόρτιση απαιτεί περίπου 3-4 ώρες.
- Επίπεδο 3 (>0,22 kW και <43,5 kW για AC) και (<400 kW για συνεχές ρεύμα): Αυτός ο τύπος φόρτισης εκτελείται με χρήση εξωτερικών φορτιστών, λόγω του μεγέθους του φορτιστή και των απαιτήσεων ψύξης των ενσωματωμένων ηλεκτρονικών. Αυτός ο τύπος φόρτισης μπορεί να χρησιμοποιεί, είτε έναν τριφασικό φορτιστή AC, είτε έναν DC. Ο στόχος ενός φορτιστή DC είναι να μπορεί να παρέχει έως και το 80% των επιπέδων φόρτισης του PEV σε 20 λεπτά, ή λιγότερο. Με τις μπαταρίες να γίνονται μεγαλύτερες (δηλαδή, αυξημένη χωρητικότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας), η φόρτιση DC θα μετακινηθεί σε υψηλότερα επίπεδα ισχύος για να συνεχίσει να επιτυγχάνει αυτόν το στόχο. Προς το παρόν, η γρήγορη φόρτιση επιβαρύνει τις μπαταρίες, ειδικά εάν η γρήγορη φόρτιση γίνεται συχνά. Στην πραγματικότητα, μόνο ένας περιορισμένος αριθμός αυτοκινήτων έχει μπαταρίες που επιτρέπουν την εξαιρετικά γρήγορη φόρτιση, ή φόρτιση υψηλής ισχύος, γεγονός που ενδεχομένως οδηγεί σε διαφορετικό κόστος της μπαταρίας. Μέχρι στιγμής, μόνο η Porsche Taycan έχει μπαταρία που μπορεί να χειριστεί 800 V ή 240 kW (στα 300 A).

Μια διαφοροποίηση των παραπάνω με σχετικά μικρές διαφορές ανάμεσα στα διαστήματα των KW αποτυπώνεται για τα διαφορετικά επίπεδα στην Εικόνα 4.2.

Level 1	Level 2	Level 3 (DC Fast Charge)
<p>VOLTAGE 120V 1-Phase AC</p> <p>AMPS 12-16 Amps</p> <p>CHARGING LOADS 1.4 to 1.9 KW</p> <p>CHARGING TIME 3-5 Miles of Range Per Hour</p> <p>PRICE PER MILE 2¢-6¢ per mile</p>	<p>VOLTAGE 208V or 240V 1-Phase AC</p> <p>AMPS 12-80 Amps (Typ. 32 Amps)</p> <p>CHARGING LOADS 2.5 to 19.2 KW (Typ. 7 KW)</p> <p>CHARGING TIME 10-20 Miles of Range Per Hour</p> <p>PRICE PER MILE 2¢-6¢ per mile</p>	<p>VOLTAGE 208V or 480V 3-Phase AC</p> <p>AMPS <125 Amps (Typ. 60 Amps)</p> <p>CHARGING LOADS <90 KW (Typ. 50 KW)</p> <p>CHARGING TIME 80% Charge in 20-30 Minutes</p> <p>PRICE PER MILE 12¢-25¢ per mile</p>

Εικόνα 4.2: Επίπεδα φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων

Πηγή: *lifewire.com*

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η γρήγορη φόρτιση θέτει σημαντικές προκλήσεις για τους φορείς εκμετάλλευσης του τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς τα πρόσθετα φορτία στο δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να αυξήσουν τα φορτία αιχμής, υπογραμμίζοντας έτσι την ευελιξία του συστήματος ισχύος. Προς αυτή την κατεύθυνση, εξετάζονται μέτρα που στοχεύουν στον περιορισμό των επιπτώσεων των ταχυφορτιστών κατά τις ώρες αιχμής. Για παράδειγμα, η πόλη του Άμστερνταμ στοχεύει να περιορίσει τη μέγιστη χωρητικότητα των φορτιστών κατά τις ώρες αιχμής και η Tesla σχεδιάζει να αντισταθμίσει μέρος των πιθανών περιορισμών του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, προσθέτοντας μεγάλες ηλιακές συστοιχίες στο δίκτυο υπερσυμπιεστών της και τους επερχόμενους υπερ-φορτιστές (mega).

4.3.2 ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ: ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Τα εναρμονισμένα πρότυπα φόρτισης είναι ζωτικής σημασίας για την ενεργειακή μετάβαση σε πόλεις με μηδενικές εκπομπές, καθώς διασφαλίζουν την προσβασιμότητα για τα δίκτυα φόρτισης EV και μειώνουν δραστικά τους επενδυτικούς κινδύνους για τους ενδιαφερόμενους. Επί του παρόντος, 41 χώρες έχουν καθορίσει ένα πρότυπο φόρτισης του υλικού. Οι τάσεις όσον αφορά τη φόρτιση του υλικού περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τα εξής:

- Ένα Μνημόνιο Συνεννόησης (MoU) μεταξύ της Ιαπωνικής Ένωσης CHAdeMO και του Συμβουλίου Ηλεκτρισμού της Κίνας (Πρότυπο GB/T) (CHAdeMO, 2018b), όπου υπογράφηκε το 2018 και περιλαμβάνει την

ανάπτυξη ενός κοινού προτύπου υπερταχείας φόρτισης (έως 900 kW) συμπεριλαμβανομένης της λειτουργικότητας V2G, καθώς και της ανάπτυξης ενός νέου προτύπου για δίδροχα και ηλεκτρικά οχήματα χαμηλής ταχύτητας.

- Τα CCS Combo 2 και CHAdeMO έχουν γίνει τα υποχρεωτικά βύσματα για γρήγορους φορτιστές DC στην Ινδία. Το IEC 62196-2 Type 2 διατηρείται ως το κύριο πρότυπο γρήγορης φόρτισης AC, καθώς και το πρότυπο Bharat για AC (IEC 60309) και αργή φόρτιση DC.
- Οι Ηνωμένες Πολιτείες κυκλοφόρησαν το πρότυπο J3068 της Εταιρείας Μηχανικών Αυτοκινήτου (SAE) που στοχεύει συγκεκριμένα φορτηγά μεσαίου και βαρέως φορτηγού (SAE International, 2018).
- Η Σιγκαπούρη επιβεβαίωσε το IEC 62196-2 Type 2 ως πρότυπο για τη φόρτιση AC και το CCS Combo2 ως στάνταρ για τη φόρτιση DC.
- Η CHAdeMO κυκλοφόρησε το νέο της πρωτόκολλο (CHAdeMO 2.0) που επιτρέπει τη φόρτιση υψηλής ισχύος έως και 400 kW (CHAdeMO, 2018a).
- Η Tesla κυκλοφόρησε την έκδοση 3 (V3) του δικτύου υπερσυμπιεστών, η οποία επιτρέπει τη φόρτιση έως και 250 kW (διπλασιάζοντας την ταχύτητα επαναφόρτισης σε σχέση με το δίκτυο V2). Τα νέα οχήματα Tesla Model 3 μπορούν να φορτιστούν μέσω του δικτύου V3, ενώ άλλα μοντέλα Tesla μπορούν να αναβαθμιστούν μέσω ενημέρωσης του λογισμικού. Εκτός από την τρέχουσα προσβασιμότητα στο πρότυπο CHAdeMO μέσω προσαρμογών, η Tesla καθιστά το πρότυπο συνδυασμένου συστήματος φόρτισης (CCS), προσβάσιμο σε πολλές χώρες και περιοχές. Στην Ευρώπη, όπου το CCS Combo 2 είναι υποχρεωτικό σύμφωνα με τις διατάξεις της Οδηγίας της ΕΕ για την Υποδομή Εναλλακτικών Καυσίμων (AFI), το νέο Tesla Model 3 κάνει χρήση του CCS Combo 2 για γρήγορη φόρτιση.

4.3.3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Τα τυπικά πρωτόκολλα επικοινωνίας πραγματοποιούν την επικοινωνία μεταξύ του οχήματος, των σταθμών φόρτισης, του δικτύου και των πλατφορμών περιαγωγής. Οι λειτουργίες της επικοινωνίας περιλαμβάνουν την αναγνώριση, εξουσιοδότηση, κατάσταση μπαταρίας κ.λπ. Οι μέθοδοι της επικοινωνίας των διαφόρων πρωτοκόλλων φόρτισης βασίζονται σε διαφορετικές φυσικές συνδέσεις. Έτσι, μια ποικιλία διαφορετικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας μπορεί να συναντηθεί παγκοσμίως. Το πρότυπο IEC 61815 προέρχεται από το SAEJ177 που υιοθετήθηκε σε ασιατικά και ευρωπαϊκά επίπεδα τάσης. Το IEC 61815 διαθέτει τρεις τρόπους λειτουργίας που αντιστοιχούν σε τρία επίπεδα SAEJ1772. Η λειτουργία 1 του IEC 61815 σχετίζεται με την οικιακή φόρτιση με μοναδικές απαιτήσεις γείωσης, καθώς το ρεύμα είναι ελαφρώς υψηλότερο σε αυτό το πρότυπο, σε σύγκριση με το SAEJ1772. Η λειτουργία χρησιμοποιεί τα ίδια επίπεδα τάσης με τη λειτουργία 1 με ρεύμα 32 A, ενώ η λειτουργία 3 επιτρέπει ρεύμα έως και 250 A.

Γενικά, το πρότυπο IEC 61851-1 (IEC, 2017) συνοψίζει τις βασικές απαιτήσεις φόρτισης για όλους σχεδόν τους φορτιστές. Οι υποδοχές του εναλλασσόμενου ρεύματος επιπέδου 1, επιπέδου 2 και Tesla δεν έχουν άμεση επικοινωνία στα καλώδιά τους και απαιτούν εξωτερικά χειριστήρια για τον έλεγχο της ταυτότητας, την πληρωμή και την έξυπνη φόρτιση, όπως μέσω μιας εφαρμογής. Οι φορτιστές AC επιπέδου 3 απαιτούν επίσης εξωτερικά χειριστήρια για την επικοινωνία καθώς διαθέτουν βασική σηματοδότηση. Στην περίπτωση των ταχέων φορτιστών συνεχούς ρεύματος, οι υποδοχές CCS συνδέονται με πρωτόκολλα επικοινωνίας γραμμής ισχύος (PLC), ενώ τα CHAdeMO, Tesla και GB/T χρησιμοποιούν επικοινωνία δικτύου ελεγκτή (CAN).

Επιπλέον, οι πρόσφατες εξελίξεις όσον αφορά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας περιλαμβάνουν το πρωτόκολλο ISO/IEC 15118, το οποίο παρέχει περισσότερη λειτουργικότητα για την ενεργοποίηση της επικοινωνίας V2G. Σημειώνεται ότι η επικοινωνία CAN, η οποία απαιτεί ένα ελάχιστο για την περιφερειακή επικοινωνία (π.χ. έλεγχος ταυτότητας, επαλήθευση και πληρωμή) στη φόρτιση DC, δίνει έμφαση στον φορτιστή, ενώ η χρήση του πιο περίπλοκου πρωτοκόλλου PLC στο πρότυπο CCS δίνει έμφαση στο ρόλο του οχήματος.

Επί του παρόντος έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός προσαρμογών (συσκευή μετατροπής μεταξύ προτύπων) μεταξύ των προτύπων φόρτισης (και επομένως και της ικανότητας για τα EV να χειρίζονται τα σχετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας), με στόχο την αντιμετώπιση του ζητήματος της διπλής τυποποίησης και των σχετικών διαφορών στα πρωτόκολλα επικοινωνίας (CAN εναντίον PLC).

4.4 ΞΥΠΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Η αυξημένη ηλεκτροδότηση του τομέα των μεταφορών αναμένεται να επηρεάσει το προφίλ του φορτίου του δικτύου της ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου ότι τα EV είναι πρόσθετα φορτία που συνδέονται με το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας για να φορτιστούν. Έχει υπολογιστεί ότι η φόρτιση των μεγάλων στόλων των EV θα αυξήσει το φορτίο αιχμής του προφίλ φορτίου του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Προς αυτή την κατεύθυνση, η έννοια της έξυπνης φόρτισης προσφέρει βιώσιμες λύσεις και στρατηγικές φόρτισης που στοχεύουν στην παρακολούθηση, τη διαχείριση και τον περιορισμό της χρήσης των συσκευών φόρτισης και στη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης της ενέργειας. Στην πραγματικότητα, η έξυπνη φόρτιση συνεπάγεται τη συνεργιστική προσέγγιση της διαθέσιμης τεχνολογίας, των κανονισμών και των λειτουργιών προκειμένου να επιτευχθεί η αξιόπιστη λειτουργία ενός δικτύου με περιβαλλοντικά και οικονομικά βιώσιμο τρόπο. Με αυτόν τον τρόπο, η έξυπνη φόρτιση μπορεί να διαχειριστεί το χρόνο φόρτισης και την ισχύ του χρήστη ή/και άλλες αλληλεπιδράσεις με το ηλεκτρικό σύστημα μέσω της ρύθμισης της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό, μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση βελτιστοποίησης, ή ευρετικών αλγορίθμων που στοχεύουν στην αποφυγή του κορεσμού των μετασχηματιστών και των γραμμών, στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, στην ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής κ.λπ.

Με αυτόν τον τρόπο, η έξυπνη φόρτιση διευκολύνει ένα ορισμένο επίπεδο ελέγχου στη διαδικασία της φόρτισης. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η ιδέα του έξυπνου δικτύου, ο αυτόματος έλεγχος και η αμφίδρομη επικοινωνία είναι ύψιστης σημασίας. Η προηγμένη υποδομή διαδραματίζει βασικό ρόλο στην παρακολούθηση του δικτύου,

η οποία επιτρέπει στους πελάτες να ενεργούν ως προμηθευτές και να συμμετέχουν σε διάφορα λειτουργικά σχήματα (δηλαδή, απόκριση ζήτησης, τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας, κατανεμημένη αυτοματοποίηση). Η ευελιξία της ζήτησης είναι μια επιδιωκόμενη αλληλεπίδραση μεταξύ των πελατών και των εταιρειών προμήθειας. Σύμφωνα με αυτή την αλληλεπίδραση, οι πελάτες μπορεί να διαφοροποιήσουν το προφίλ της ζήτησης, ή οι εταιρείες μπορεί να έχουν πρόσβαση να τροποποιήσουν το προφίλ της ζήτησης των πελατών προκειμένου να βελτιστοποιήσουν τη λειτουργία του δικτύου ακολουθώντας μια προκαθορισμένη σύμβαση. Με αυτόν τον λειτουργικό τρόπο, τα ηλεκτρικά οχήματα, είτε μπορούν να απορροφούν ενέργεια που ενεργεί ως τυπικές παθητικές μονάδες (φορτία DC) σε μια συνάρτηση G2V, είτε μπορεί να απελευθερώνουν ενέργεια που ενεργεί ως ενεργές μονάδες (πηγές DC) σε μια συνάρτηση V2G. Με βάση τα παραπάνω, είναι προφανές ότι τα ηλεκτρικά οχήματα όχι μόνο αποφεύγουν να προσθέτουν πίεση στο τοπικό δίκτυο αλλά παρέχουν επίσης υπηρεσίες για την κάλυψη κενών ευελιξίας τόσο σε τοπικό όσο και σε επίπεδο συστήματος. Κατά συνέπεια, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως ελεγχόμενα ηλεκτρικά φορτία, ή ελεγχόμενες ηλεκτρικές πηγές και ως εκ τούτου μπορεί να προσφέρουν υποστηρικτικές υπηρεσίες στην ιδέα του ηλεκτρικού έξυπνου δικτύου.

Υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις, οι οποίες ενσωματώνουν διαφορετικές επιλογές τιμολόγησης και φόρτισης, ως προς την έξυπνη φόρτιση. Διαφορετικές προσεγγίσεις έξυπνης φόρτισης, είναι η εξής:

- Χρόνος χρήσης (TOU), που ενθαρρύνει τους καταναλωτές να μετακινήσουν τη χρέωση τους από την ώρα αιχμής σε ώρα εκτός αιχμής. Στην πραγματικότητα, αυτό είναι ένα από τα πιο χρησιμοποιούμενα συστήματα της αγοράς στο οποίο μπορεί να ενσωματωθεί το EV. Αυτό το σύστημα αναλύει την ημέρα σε μια σειρά από διαστήματα, συνήθως τρία (αιχμής, και εκτός αιχμής), ορίζοντας διαφορετική τιμή σε κάθε ένα. Τα οχήματα μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με την προτεραιότητα της χρέωσης, υποθέτοντας υψηλότερες τιμές σε υψηλότερη προτεραιότητα. Αυτός ο έλεγχος επιτρέπει τη μικρότερη διακύμανση των τάσεων στους κόμβους και τις απώλειες μετάδοσης στο δίκτυο [35].

- Μηχανισμοί άμεσου ελέγχου, όπως ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της φόρτισης. Αυτοί οι μηχανισμοί που ενεργοποιούνται από το EV και το σημείο της φόρτισης θα είναι απαραίτητοι ως μακροπρόθεσμη λύση σε υψηλότερα επίπεδα διείσδυσης και για την παροχή εξισορρόπησης και βοηθητικών υπηρεσιών σχεδόν σε πραγματικό χρόνο.

- Μονόδρομος έλεγχος οχημάτων (V1G) που επιτρέπει την αύξηση, ή τη μείωση του ρυθμού φόρτισης. Σε αυτόν τον τύπο λειτουργίας μεταξύ του PEV και του δικτύου, η κατεύθυνση είναι από το δίκτυο στο όχημα. Το V1G ή «Grid to Vehicle» (G2V) επιτρέπει συμπληρωματικές υπηρεσίες δικτύου χρησιμοποιώντας ένα μεταβλητό ρυθμό φόρτισης των EV που εξαρτάται από τις ανάγκες παραγωγής της ενέργειας. Αυτό, το διαχειρίζονται οι συσσωρευτές των EV που λειτουργούν ως ενδιάμεσοι φορείς μεταξύ του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και της συλλογής των EV. Αυτές οι συμπληρωματικές υπηρεσίες επιτρέπουν στα EV να λειτουργούν ως κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι. Οι υπηρεσίες περιλαμβάνουν τη διαχείριση του δικτύου μέσω της ρύθμισης της συχνότητας, ιδιοποίηση του αποθεματικού ως εφεδρικό για την απροσδόκητη απώλεια ισχύος, αντιστάθμιση της άεργου ισχύος κ.λπ.

- Αμφίδρομη φόρτιση, η οποία αναφέρεται σε μια ροή ισχύος που μπορεί να δοθεί από το δίκτυο στο όχημα, να χρησιμοποιηθεί για τη φόρτιση των μπαταριών του, ή να δοθεί από το όχημα σε άλλη οντότητα (δίκτυο, κτίριο, σπίτι κ.λπ.). Μια αμφίδρομη ελεγχόμενη προσέγγιση όπως το V2G επιτρέπει στο EV να παρέχει υπηρεσίες στο δίκτυο στη λειτουργία εκφόρτισης, ενώ στο V2H και στο V2B, τα EV χρησιμοποιούνται ως εφεδρική τροφοδοσία οικιακής χρήσης σε περιόδους διακοπής του ρεύματος, ή για την αύξηση της ιδιοκατανάλωσης της ενέργειας που παράγεται επί τόπου.

4.4.1 ΣΤΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΞΥΠΝΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η ενοποίηση των αναγκών της φόρτισης με τη ζήτηση της ενέργειας είναι μια αναγκαιότητα, ειδικά όταν η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας μεταβαίνει προς την υψηλή ενοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Σε αυτή την κατεύθυνση, η ελεγχόμενη φόρτιση του μεγάλου αριθμού των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) μπορεί να παρέχει συγκεντρωτικές υπηρεσίες των συστημάτων ισχύος, υποστηρίζοντας την ομαλή ενσωμάτωσή τους. Οι συγκεντρωτές EV στοχεύουν στη διευκόλυνση των υπηρεσιών έξυπνης φόρτισης EV (διαχείριση βέλτιστης φόρτισης μεγαλύτερου αριθμού EV, ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου, ευελιξία όταν αυξάνεται ο αριθμός των EV), ενώ συμμετέχουν στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας μέσω πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων με άλλες οντότητες της αγοράς.

Πιο συγκεκριμένα, η μονάδα συγκέντρωσης (AU), η οποία χρησιμοποιείται ως κεντρική συσκευή ελέγχου, παρέχει επίσης τις βοηθητικές υπηρεσίες (όπως ρύθμιση της συχνότητας, ρύθμιση της τάσης, μείωση των απωλειών ισχύος και ελαχιστοποίηση της διακύμανσης του φορτίου) και συμβάλλει στο κέρδος του έξυπνου δικτύου. Η AU ρυθμίζεται από το DSO, το οποίο λειτουργεί ως η κεντρική μονάδα μεταξύ του συστήματος ισχύος μετάδοσης και διανομής [36].

Οι στρατηγικές που μπορούν να ακολουθηθούν, προκειμένου να καλυφθεί βέλτιστα η απόκριση της ζήτησης μέσω της έξυπνης φόρτισης είναι οι ακόλουθες [37]:

- Κεντρική στρατηγική: Αυτή η προσέγγιση εστιάζει στη συγκέντρωση των λειτουργιών χρέωσης, όπου οι οντότητες των αναδυόμενων αγορών διαχειρίζονται χρονικά και χωρικά το φορτίο φόρτισης ενός μεγάλου στόλου EV με προηγμένα μοντέλα βελτιστοποίησης [38]. Σε αυτή τη στρατηγική, η AU συλλέγει όλες τις πληροφορίες σχετικά με τη φόρτιση, όπως το SOC των μπαταριών, την τοποθεσία των EV και το χρόνο στάθμευσης τους, με τη βοήθεια του υπεύθυνου φόρτισης (CPM). Το CPM διευκολύνει το AU στον έλεγχο του αριθμού των διαφορετικών αυτοκινήτων στο χώρο στάθμευσης. Σε αυτή την προσέγγιση, το AU συμμετέχει στη διαχείριση του δικτύου της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και στη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του συστήματος διανομής (σε περίπτωση οποιασδήποτε βλάβης στο σύστημα διανομής, το AU διακόπτει όλες τις συνεδρίες φόρτισης και λαμβάνει μέρος στην ενέργειες για την άρση των βλαβών στο σύστημα διανομής). Σημειώνεται ότι η κεντρική προσέγγιση παρέχει και βοηθητικές υπηρεσίες. Ωστόσο, υπάρχουν ζητήματα όπως η εξελιγμένη

υποδομή της επικοινωνίας, η οποία προσθέτει πολυπλοκότητα στο σύστημα. Η παροχή εναλλακτικής διευθέτησης (σε περίπτωση που αποτύχει το AU), η οποία αυξάνει το κόστος και η διασφάλιση της ασφάλειας και της ιδιωτικής ζωής αποτελούν τα μειονεκτήματα αυτής της προσέγγισης χρέωσης.

- **Αποκεντρωμένη στρατηγική:** Αυτή η προσέγγιση εστιάζει στον ατομικό προγραμματισμό και την απόκριση της ζήτησης των πρακτόρων EV. Αυτή η στρατηγική απαιτεί κάποιο είδος υπολογιστικής ευφυΐας από την πλευρά του EV, ή του πελάτη. Αντιμετωπίζει τα ζητήματα ασφάλειας των δεδομένων που αντιμετωπίζει η κεντρική προσέγγιση κατά τη χρέωση των ηλεκτρικών οχημάτων. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε όχημα εκτελεί τη λειτουργία του με βάση μια σειρά εσωτερικών ή/και εξωτερικών σημάτων. Αυτή η προσέγγιση προσθέτει περισσότερη ευελιξία και επεκτασιμότητα στο σύστημα. Καθώς ο αριθμός των αυτοκινήτων αυξάνεται, αυτή η προσέγγιση κατανέμει το υπολογιστικό φορτίο στον πελάτη, όπου ελαχιστοποιεί το συνολικό φορτίο της επεξεργασίας και υπολογισμού στο δίκτυο φόρτισης. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι αυτή η προσέγγιση χρέωσης επιτρέπει στον πελάτη να αποφασίσει την προσέγγιση της χρέωσης (δηλαδή σε ποιο βαθμό και πότε θα φορτιστεί το όχημα), αυτή η προσέγγιση έχει κερδίσει μεγάλη προσοχή από τους χρήστες σε σύγκριση με την κεντρική προσέγγιση. Ο κύριος περιορισμός αυτής της προσέγγισης είναι το φαινόμενο της χιονοστιβάδας που ελαχιστοποιεί την απόδοση του συστήματος. Το φαινόμενο της χιονοστιβάδας είναι η αύξηση του φορτίου όταν ένας μεγάλος αριθμός αυτοκινήτων φορτίζεται με χαμηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Υβριδική στρατηγική:** Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί και τις δύο προαναφερθείσες προσεγγίσεις (δηλαδή, κεντρική και κατανεμημένη, ή αποκεντρωμένη) για τη χρέωση των ηλεκτρικών οχημάτων. Το κύριο πλεονέκτημα της φόρτισης των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων είναι ότι αντιμετωπίζει τους διάφορους περιορισμούς των κεντρικών και κατανεμημένων προσεγγίσεων φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων.

4.4.2 ΞΕΥΠΝΟ ΔΙΚΤΥΟ

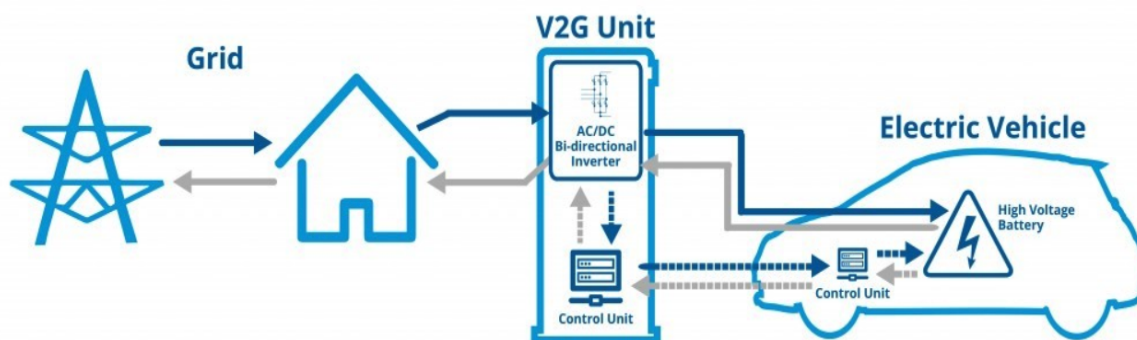
Ένα ηλεκτρικό δίκτυο, το οποίο χρησιμοποιεί αυτοματισμό και τηλεχειρισμό προκειμένου να βελτιώσει την αξιοπιστία, την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα του τροφοδοτικού μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα έξυπνο δίκτυο [39]. Τα έξυπνα δίκτυα χαρακτηρίζονται από μια αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και των πελατών που επιτρέπουν σε διαφορετικούς ενεργειακούς δρόμους να παρέχουν μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος [40]. Οι πληροφορίες που συλλέγονται μαζί με τον αυτόνομο και έξυπνο έλεγχο της παρακολούθησης χρησιμοποιούνται για την επίβλεψη και τη βελτιστοποίηση των συνολικών λειτουργιών των διασυνδεδεμένων εξαρτημάτων. Το έξυπνο δίκτυο επιτρέπει στους καταναλωτές να συμμετέχουν στη λειτουργία του δικτύου, καθώς μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, τα τιμολόγια και τα κίνητρα μέσω της

χρήσης προηγμένης υποδομής μέτρησης. Με αυτόν τον τρόπο, οι καταναλωτές διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο για την εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης της ενέργειας αποφασίζοντας τα μοτίβα και τις προτιμήσεις τους για τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Επισημαίνεται ότι σε σύγκριση με το συμβατικό δίκτυο, το κρίσιμο χαρακτηριστικό ενός έξυπνου δικτύου είναι η συμπερίληψη των εκτεταμένων διαδρομών αμφίδρομης επικοινωνίας που συνδέουν τα διάφορα εξαρτήματα. Αυτές οι αμφίδρομες διαδρομές επικοινωνίας επέτρεψαν την ανάπτυξη διαφόρων εφαρμογών σε ένα έξυπνο δίκτυο, όπως η προηγμένη υποδομή μέτρησης, το δίκτυο οικιακού αυτοματισμού (HAN), η απόκριση της ζήτησης, η ενσωμάτωση καταναλωμένων γενεών και το V2G. Η εφαρμογή του έξυπνου δικτύου μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία του δικτύου και την ποιότητα της ισχύος.

4.4.3 ΟΧΗΜΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Η τεχνολογία V2G (όχημα στο δίκτυο) προτάθηκε από τον Amory Lovins το 1995 και περαιτέρω έρευνα διεξήχθη από τον καθηγητή William Kempton [41]. Η ιδέα V2G αποτελεί μια μορφή έξυπνης φόρτισης που επιτρέπει στα EV να παρέχουν και να εξαγάγουν ενέργεια από το δίκτυο. Στην πραγματικότητα, η τεχνολογία V2G μπορεί να μεταφέρει ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς και να αποφορτίσει τη φόρτιση των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο για την υποστήριξη του δικτύου. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται για την πώληση των υπηρεσιών απόκρισης της ζήτησης μειώνοντας το ποσοστό της φόρτισης, μετατοπίζοντας το χρόνο φόρτισης, ή επιστρέφοντας την ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, οι υπηρεσίες που μπορούν να παρέχονται στο έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την αντιστάθμιση της άεργου ισχύος, τη ρύθμιση του έξυπνου δικτύου, την ισοστάθμιση του φορτίου κ.λπ.



Εικόνα 4.3: Επικοινωνία του οχήματος με το δίκτυο

Πηγή: cleantech.com

Σε αυτόν τον τύπο φόρτισης, το EV λαμβάνει φόρτιση από το ηλεκτρικό δίκτυο όποτε το επίπεδο της φόρτισης της μπαταρίας EV είναι χαμηλό. Στη λειτουργία V2G,

το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας EV παρακολουθείται συνεχώς και μπορεί να αποφορτιστεί στο έξυπνο δίκτυο. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να θεωρηθούν ως δυναμικές καταναλωμένες αποθήκες ενέργειας. Σε αυτόν τον τύπο έξυπνης φόρτισης, ο φορτιστής, ο οποίος λαμβάνει (σε λειτουργία φόρτισης EV) και παρέχει (λειτουργία εκφόρτισης EV) ηλεκτρική ενέργεια από και προς το δίκτυο, συνδέεται αμφίδρομα στο δίκτυο. Ο συσσωρευτής διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε αυτόν τον τύπο χρέωσης, καθώς οι ΑΥ μπορούν να λειτουργήσουν ως νέοι προμηθευτές τόσο πρωτογενών όσο και δευτερευουσών αποθεματικών υπηρεσιών σε TSO. Επιπλέον, οι TSO μπορούν να χρησιμοποιούν ηλεκτρικά οχήματα ως δωρεάν αποθήκευση για υπηρεσίες καθαρού υπολοίπου σε τοπικό επίπεδο, παράγοντας με αυτόν τον τρόπο αποκεντρωμένη βιώσιμη ενέργεια. Η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων για την ανταπόκριση στη ζήτηση σημαίνει ότι τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο δίκτυο τοπικά σε στιγμές έλλειψης. Τα οχήματα μπορούν να λειτουργήσουν ως προσωρινή αποθήκευση κάποιας τοπικά παραγόμενης ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας που χρησιμοποιείται το βράδυ για να συμβάλουν στην κάλυψη της μέγιστης ζήτησης της ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η έννοια του V2G συνδέεται με σημαντικά οικονομικά οφέλη, μπορεί να θεωρηθεί ως μια εναλλακτική επιλογή έναντι των οικονομικών κινήτρων για την προώθηση της ανάπτυξης των EV.

Η τεχνολογία V2G προσφέρει ευκαιρίες και νέα επιχειρηματικά μοντέλα για TSO, DSO και τοπικά ιδιωτικά ενεργειακά δίκτυα. Τα ηλεκτρικά οχήματα μέσω του V2G μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας στο σπίτι βοηθώντας τους ιδιοκτήτες των κατοικιών να εκτελούν οικονομικά αποδοτική διαχείριση των πόρων ενέργειας. Επιπλέον, μέσω της εγκατάστασης της εκφόρτισης, μπορούν να παρέχονται βοηθητικές υπηρεσίες (π.χ. έλεγχος συχνότητας, ισοζύγιο φορτίου και υπηρεσίες αποθήκευσης) διασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο τη διατήρηση της ισορροπίας στο δίκτυο. Επιπλέον, η χρήση ενός τέτοιου συστήματος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην άντληση ισχύος σε περιόδους χαμηλής ζήτησης του δικτύου και αντίστοιχα για τη μείωση της ζήτησης της ενέργειας αιχμής στο δίκτυο. Επιπλέον, το V2G μπορεί να χρησιμοποιηθεί, προκειμένου να αντισταθμίσει τις αποκλίσεις που προκαλούνται από τις διαλείπουσες ΑΠΕ, όπως η αιολική ενέργεια και τα ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV). Το V2G μπορεί επίσης να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αποφυγή της εκκίνησης μονάδων άνθρακα, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση της χρήσης άνθρακα για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Επισημαίνεται ότι τα οικονομικά κέρδη είναι ανάλογα με την ισχύ, αφού η αγορά της προσφοράς βασίζεται στην ισχύ, αντί για την ενέργεια.

Ωστόσο, το V2G έχει μειονεκτήματα όσον αφορά το επιπλέον κόστος ενέργειας που προκύπτει από την επιπλέον φόρτιση, το οποίο θα απαιτούνταν για τη διατήρηση της απαιτούμενης κατάστασης της φόρτισης (SOC). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ιδέα του V2G απαιτεί εργασίες ολοκλήρωσης και δυνητικά πρόσθετες επενδύσεις στα οχήματα και στο σύστημα ισχύος, καθώς η συχνή λειτουργία του V2G θα αυξήσει την ηλεκτρική καταπόνηση στις μπαταρίες, μειώνοντας τη διάρκεια ζωής τους. Προς αυτή την κατεύθυνση, η ενσωμάτωση της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας αναμένεται να καταστήσουν οικονομικά ελκυστική την ιδέα της μεγάλης κλίμακας V2G.

Η ενεργειακή μετάβαση σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα μπορεί να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο. Παρά τα περιβαλλοντικά οφέλη που παρουσιάζει η ενσωμάτωση των ΑΠΕ, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι διακοπτόμενη και εξαρτάται από τις

καιρικές συνθήκες. Για παράδειγμα, οι διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου και της ηλιακής ακτινοβολίας έχουν ως αποτέλεσμα διακυμάνσεις στην παραγωγή της ενέργειας για τις ανεμογεννήτριες και τα ηλιακά φωτοβολταϊκά. Προκειμένου να βρεθεί μια λύση για αυτό το ζήτημα, η στατική ενέργεια έχει προταθεί ως πιθανή λύση. Ωστόσο, αυτή η λύση για το ζήτημα των ΑΠΕ απαιτεί υψηλό επενδυτικό κόστος, το οποίο προκαλεί την καθυστέρηση της ανάπτυξης των ΑΠΕ.

Μια βιώσιμη λύση σε αυτό το ζήτημα είναι η υιοθέτηση μιας κατάλληλης στρατηγικής ελέγχου των V2G, ενώ τα EV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δώσουν μια λύση στο ζήτημα της διακοπής της ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές. Για να γίνει πιο συγκεκριμένο, τα EV χρεώνονται από το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας όταν η ανανεώσιμη καταναεμημένη παραγωγή παράγει υπερβολική ισχύ και αποφορτίζονται στο δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας όταν η διανεμημένη παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές δεν παράγει αρκετή ισχύ. Επιπλέον, η μπαταρία του EV μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας για τη ρύθμιση της τάσης ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας με ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Συνοψίζοντας, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να φορτίζουν και να εκφορτίζουν ισχύ από το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της τεχνολογίας V2G, μπορούν να θεωρηθούν καταναεμημένα συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας. Προς αυτή την κατεύθυνση, οι αποθήκες της ενέργειας των ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να σταθεροποιήσουν την ασυνεπή παραγωγή των ΑΠΕ. Από την άλλη πλευρά, τα ηλεκτρικά οχήματα που φορτίζουν από το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας με την υψηλή διείσδυση των ΑΠΕ θα είναι ευεργετικά για τις εκπομπές. Ως εκ τούτου, η αλληλεπίδραση των ηλεκτρικών οχημάτων με τις ΑΠΕ μπορεί να επιτύχει αμοιβαία οφέλη επιτρέποντας στο ηλεκτρικό δίκτυο να κινηθεί προς τη βιωσιμότητα.

4.4.4 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΟΧΗΜΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Τα οφέλη από την εφαρμογή της τεχνολογίας V2G είναι σημαντικά, ωστόσο η αλληλεπίδραση ενός εκατομμυρίου EV που οδηγούνται από το V2G θέτει ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Αυτά τα ζητήματα σχετίζονται με τη στρατηγική της φόρτισης και της εκφόρτισης καθώς και με αμφίδρομη φόρτιση και αποδίδονται σε αρμονική ρύπανση και διακύμανση του φορτίου [42]. Το σύστημα της επικοινωνίας και η υποδομή είναι επίσης ύψιστης σημασίας για την επιτυχή εφαρμογή οποιασδήποτε τεχνολογίας V2G και για τη διασφάλιση της προστασίας της ιδιωτικής ζωής στα V2G EV.

Άλλα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τα ακόλουθα:

- Ασφάλεια και αξιοπιστία επικοινωνίας V2G
- Στόχοι μοντελοποίησης V2G
- Αρχιτεκτονική και λογισμικό ολοκλήρωσης.

Επιπλέον, οι προκλήσεις τεχνικής πτυχής στα EV που οδηγούνται από V2G περιλαμβάνουν:

- Απαίτηση επικοινωνίας V2G
- Απειλές ασφαλείας και πρωτόκολλο ελέγχου ταυτότητας
- Πρωτόκολλα δρομολόγησης
- Ασύρματη φόρτιση

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝ

Καθώς οι πόλεις συνεχίζουν να αναπτύσσονται, η ανάγκη για μια ασφαλή, αξιόπιστη και οικονομικά προσιτή βιώσιμη μεταφορά είναι μια αναγκαιότητα. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα ζητήματα της κλιματικής αλλαγής και της αστικής ανάπτυξης, είναι επιτακτική ανάγκη να επιτευχθεί η στροφή σε ευέλικτα και μακροπρόθεσμα βιώσιμα μέσα πολιτικής. Η ενεργειακή μετάβαση σε ένα μέλλον μηδενικών εκπομπών άνθρακα απαιτεί την ανάπτυξη και υιοθέτηση καινοτόμων στρατηγικών σχεδίων με στόχο την ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών, τη μοντελοποίηση τεχνικών, τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και τη δημιουργία ενός βιώσιμου συστήματος μεταφορών που θα υποστηρίξει την οικονομική ανάπτυξη και θα επιφέρει άλλα κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Προς αυτή την κατεύθυνση, τα τελευταία χρόνια, υπήρξε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις τεχνολογίες, όπως η αυτόνομη οδήγηση, η συνδεσιμότητα, το υδρογόνο, η ηλεκτροκίνηση κ.λπ.

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η μετάβαση σε πόλεις μηδενικών/χαμηλών εκπομπών άνθρακα χαρακτηρίζεται από υψηλότερο μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ηλεκτρικών οχημάτων (EV), επισημαίνεται ότι η ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας και της ηλεκτροκίνησης πρέπει να αποτελεί προτεραιότητα για τους τομείς της ενέργειας και των μεταφορών. Προς αυτή την κατεύθυνση, οι κυβερνήσεις έχουν θεσπίσει προγράμματα επιδοτήσεων, υποστηρίζοντας την εγκατάσταση της υποδομής φόρτισης και έχουν αναπτύξει ρυθμιστικές πρωτοβουλίες για την υποστήριξη της εγκατάστασης και διαχείρισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Στην πραγματικότητα, ορισμένες κυβερνήσεις συμπεριλαμβανομένου του Ηνωμένου Βασιλείου, έχουν ανακοινώσει ότι θα απαγορεύσουν την πώληση νέων αυτοκινήτων με ορυκτά καύσιμα μετά το 2035, 5 χρόνια νωρίτερα από ό,τι είχε αρχικά προγραμματιστεί, σε μια προσπάθεια να μετριάσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επιπλέον, οι κατασκευαστές των αυτοκινήτων που αρχικά ήταν δύσπιστοι σχετικά με τα EV τώρα δεσμεύουν δισεκατομμύρια χρήματα για την παραγωγή τους. Υπολογίζεται ότι μέχρι το τέλος του 2022 θα υπάρχουν 127 διαφορετικά μοντέλα πλήρως ηλεκτρικών αυτοκινήτων με μπαταρία διαθέσιμα προς αγορά στις Ηνωμένες Πολιτείες. Επιπλέον, η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών επιτρέπει την εκμετάλλευση της ανανεώσιμης ενέργειας καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να φορτιστούν χρησιμοποιώντας ηλιακή, ή αιολική ενέργεια.

Σε αυτό το πλαίσιο, μπορεί να ειπωθεί ότι οι μελλοντικές τάσεις της κινητικότητας θα διαμορφωθούν από τις τεχνολογικές εξελίξεις στην υποδομή των EV και τις σχετικές επενδύσεις από αυτοκινητοβιομηχανίες, οδηγώντας με αυτόν τον τρόπο την ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων. Επιπλέον, η συμπεριφορά των καταναλωτών, οι τεχνολογικές εξελίξεις στην τεχνολογία των μπαταριών, οι οικονομίες κλίμακας στην παραγωγή EV, ο εγγενής σχεδιασμός των EV, καθώς και η συνεργασία μεταξύ των κατασκευαστών πρωτότυπου εξοπλισμού (OEM) είναι υψίστης σημασίας για την ενεργειακή μετάβαση στην κινητικότητα χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Κατά τη διάρκεια των επόμενων ετών η αγορά και ο ανταγωνισμός θα είναι κρίσιμοι παράγοντες για την επιτυχή ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης, καθώς οι ενδιαφερόμενοι θα λειτουργήσουν σε μια οικονομική επιβράδυνση, αλλά ταυτόχρονα θα πρέπει να αναδιαμορφώσουν τα επιχειρηματικά τους μοντέλα σε μια νέα εποχή με επιπρόσθετες ρυθμίσεις, τεχνολογικές διαταραχές και μεταβαλλόμενες ανάγκες των καταναλωτών.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρά το γεγονός ότι οι πωλήσεις των EV αυξήθηκαν σε περισσότερες από δύο εκατομμύρια μονάδες παγκοσμίως το 2018 (αύξηση 63% σε ετήσια βάση), εξακολουθούν να αντιπροσωπεύουν ένα κλάσμα της συνολικής αγοράς των ελαφρών οχημάτων (με ποσοστό διείσδυσης 2,2%). Επιπλέον, το ξέσπασμα του COVID-19, το οποίο οδήγησε σε σημαντικό περιορισμό της παραγωγής των ηλεκτρικών οχημάτων, πρόκειται να επηρεάσει τις παγκόσμιες πωλήσεις των ηλεκτρικών οχημάτων σε μεγάλες αγορές. Ο ρόλος των κυβερνητικών πακέτων τόνωσης (δηλαδή μέσω αποκατάστασης των υποδομών) στο μέλλον αναμένεται να υποστηρίξει και να τονώσει την αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων.

Όσον αφορά το μέλλον της κινητικότητας, η καθοριστική επιρροή των πόλεων υπογραμμίζεται στην ενεργειακή μετάβαση στην κινητικότητα μηδενικών εκπομπών άνθρακα, δεδομένου ότι αποτελούν τους σημαντικότερους φορείς, καθώς οι κυβερνήσεις τους μπορούν να ανακατασκευάσουν και να αναδιαμορφώσουν τα συστήματα κινητικότητάς τους. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για πόλεις στο πλαίσιο των έξυπνων πόλεων, οι οποίες συνεπάγονται και ενσωματώνουν, μεταξύ άλλων, τις έννοιες της βιώσιμης αστικής κινητικότητας, του βιώσιμου δομημένου περιβάλλοντος, των υποδομών και των διαδικασιών στην ενέργεια, τις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών και τις μεταφορές, την πολιτική και τη ρύθμιση, τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό και διαχείριση, τα πρότυπα, καθώς και επιχειρηματικά μοντέλα και τη χρηματοδότηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Nanaki, E.A., Koroneos, C.J., «Climate change mitigation and deployment of electric vehicles in urban areas. *J. Renew. Energ.* 99, 1153–1160.,» 2016.
- [2] Guarnieri, M., , «When cars went electric, part one [historical]. *IEEE Ind. Electron. Mag.* 5 (1), 61–62.,» 2011.
- [3] Hannan, M.A., Azidin, F.A., Mohamed, A., "Hybrid electric vehicles and their challenges: a review. *Renew. Sustain. Energ. Rev.* 29, 135–150.," 2014.
- [4] Chan, C.C., Chau, K.T., "Modern Electric Vehicle Technology. Oxford University Press, New York.," 2002.
- [5] Rajashekara, K., "Present status and future trends in electric vehicle propulsion technologies. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.* 1, 3–10.," 2013.
- [6] Li Y, Vilathgamuwa DM, Loh, "Design, analysis, and real-time testing of a controller for multibus microgrid system. *IEEE Trans Power Electron* 19(5):1195–1204," 2004.
- [7] Eudy L., Zuboy J. , "Overview of advanced technology transportation, 2004 update. Technical report on advanced vehicle testing activity, energy efficiency and renewable energy. U.S. Department of Energy, DOE/GO-102004-1849, Aug 2004," 2004.
- [8] Burke A., "Present status and marketing prospects of the emerging hybrid-electric and diesel technologies to reduce CO₂ emissions of new light-duty vehicles in California. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis. <http://repositories.cdli.org>," 2004.
- [9] E. Heymann, O. Koppel, T. Puls, " Electromobility—Falling Costs Are a Must (Deutsche Bank AG, DB Research, Frankfurt am Main, Germany," 2011.
- [10] Avicenne, "Worldwide Rechargeable Battery Market 2015–2025, Avicenne Energy, Paris, France," 2016.
- [11] B. Simon, S. Ziemann, M. Weil, "*Resour. Conserv. Recy.* 104, 300," 2015.
- [12] T. Elwert, D. Goldmann, F. Römer, M. Buchert, C. Merz, D. Schueler, J. Sutter, "Recycling 1, 25," 2015.
- [13] Madanipour, V., Montazeri-Gh, M., Mahmoodik, M., "Multi-objective component sizing of plug-in hybrid electric vehicle for optimal energy management. *Clean. Technol. Env. Policy* 18 (4), 1189–1202.," 2016.
- [14] Cluzel, C., Douglas, C., "Cost and performance of EV batteries. Final Report Element Energy Limited, Cambridge, p. 21.," 2012.
- [15] Kolosnitsyn, V.S., Karaseva, E.V., "Lithium-sulfur batteries: problems and solutions. *Russ. J. Electrochem.* 44 (5), 506–509.," 2008.

- [16] Farcas, C., Petreus, D., Ciocan, I., Palaghita, N., "Modeling and simulation of supercapacitors. Design and technology of electronics packages (SIITME), Gyula, Hungary.," 2009.
- [17] Liu, H., Jiang, J., "Flywheel energy storage an upswing technology for energy sustainability. Energy Build. 39 (5), 599 604.," 2007.
- [18] Xu, Y., Pi, H.W., Ren, T.Q., Yang, Y., Ding, H.F., Peng, T., et al., "Design of a multipulse high-magnetic-field system based on flywheel energy storage. IEEE Trans. Appl. Supercond. 26 (4), 5207005.," 2016.
- [19] Williamson, S.S., Rathore, A.K., Musavi, F., "Industrial electronics for electric transportation: current state of-the-art and future challenges. IEEE Trans. Ind. Electron. 62, 3021 3032.," 2015.
- [20] Electric Transportation Engineering Corporation, "EV Charging Infrastructure Deployment Guidelines, BC, pp. 1 51.," 2009.
- [21] Massachusetts Division of Energy Resource, "Installation Guide for Electric Vehicle Supply Equipment, pp. 1 26.," 2014.
- [22] Metha, S., "Electric plug-in vehicle/electric vehicle status report. Electr. Eng. 1 15.," 2010.
- [23] Nguyen, T.D., Li, S., Li, W., Mi, C.C., "Feasibility study on bipolar pads for efficient wireless power chargers. In: Proceedings of the Twenty-Ninth Annual IEEE Applied Power Electronic Conference and Exposition (APEC), pp. 1676 1682.," 2014.
- [24] Lynch, W.A., Salameh, Z.M., "Taper charge method for a Nickel-Cadmium electric vehicle traction battery. In: Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 24 28, pp. 1 5.," 2007.
- [25] Hu, J., You, S., Lind, M., Ostergaard, J., "Coordinated charging of electric vehicles for congestion prevention in the distribution grid. IEEE Trans. Smart Grid 5 (2), 703 711.," 2014.
- [26] T.T. Vo, X.P. Chen, W.X. Shen, A. Kapoor, J., " Power Sources 271, 413," 2015.
- [27] Z. Guo, B.Y. Liaw, X.P. Qiu, L. Gao, C.S. Zhang, J., "Power Sources 274, 957," 2015.
- [28] X. Hu, R. Xiong, E. Bo, "IEEE Trans. Ind. Inform. 10, 1948," 2014.
- [29] S. Zhang, C.N. Zhang, R. Xiong, W. Zhou, "Energies 7, 6783," 2014.
- [30] A.A. Hussein, A.A. Fardoun, S.S. Stephen, "IEEE Trans. Sustain. Energy 7, 32," 2016.
- [31] L. Ji, L. Guang, H.K. Fathy, J. , "Dyn. Syst. Meas. Control 138, 021009," 2016.
- [32] Figenbaum, E., "Perspectives on Norway's supercharged electric vehicle policy. Environ. Innov. Soc. Trans. 25, 14 34.," 2017.
- [33] Muratori, M., "Impact of uncoordinated plug-in electric vehicle charging on residential power demand. Nat. Energy 3, 193 201.," 2018.

- [34] Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, R., Kalasek, N., Pichler-Milanović, E.M., "Ranking of European medium-sized cities. Centre of Regional Science, Vienna UT, October ,http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf," 2007.
- [35] Chunlin, G., Dequan, H., Qinbo, Y., Zhou, M., , "Dynamic sorting intelligent charging control strategy of electric vehicles based on time-of-use price. In: Proceedings of the 2017 China International Electrical and Energy Conference (CIEEC), October 25 27, 2017, Beijing, China, pp. 199 204.," 2017.
- [36] Lopes, J.A.P., Soares, F.J., Almeida, P.M.R., "Integration of electric vehicles in the electric power system. Proc. IEEE 99, 168 183.," 2011.
- [37] García-Villalobos, I., Zamora, J.I., San Martín, F.J., Asensio, V., Aperribay, " Plug-in electric vehicles in electric distribution networks: a review of smart charging approaches. Renew. Sustain. Energy Rev. 38, 717 731.," 2014.
- [38] Nguyen, D.T., Le, L.B., "Joint optimization of electric vehicle and home energy scheduling considering user comfort preference. IEEE Trans. Smart Grid 5 (1), 188 199.," 2014.
- [39] Ancillotti, E., Bruno, R., Conti, M., "The role of communication systems in smart grids: architectures, technical solutions and research challenges. Comput. Commun. 36 (17 18), 1665 1697.," 2013.
- [40] Bhatt, J., Shah, V., Jani, O., "An instrumentation engineer's review on smart grid: critical applications and parameters. Renew. Sustain. Energy Rev. 40 (2014), 1217 1239.," 2014.
- [41] Lam, A.Y., Leung, K.-C., Li, V.O., "Capacity management of vehicle-to-grid system for power regulation services. In: Proceedings of the 2012 IEEE Third International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm).," 2012.
- [42] Ma, Y., Bin, Z., Xuesong, Z., Zhiqiang, G., Yanjuan, W., Jinliang, Y., "An overview on V2G strategies to impacts from EV integration into power system. In: Proceedings of Control and Decision Conference (CCDC), IEEE, Chinese, pp. 2895 900.," 2016.