



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

«Ηλιακός Σταθμός Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων»

«Solar charging station for Electric Vehicles»

Υπό

Ουρανία Κάτσενου

Πτυχιακή Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Πτυχίου του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας

Λάρισα, 2024

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Δρ. Νταφόπουλος Βασίλειος

Επιβλέπων Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας,
Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Βαγρόπουλος Στυλιανός

Επίκουρος Καθηγητής Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας,
Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Λεκίδης Αλέξιος

Επίκουρος Καθηγητής Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας,
Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Με το παρόν κείμενο βεβαιώνω ότι ο κάτωθι υπογράφων είμαι συγγραφέας της παρούσης πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και η οποία παραδόθηκε, μετά από έγκριση του επιβλέποντας καθηγητή μου, σε έντυπη και ψηφιακή μορφή στη Γραμματεία του Τμήματος. Επίσης δηλώνω πως κάθε πηγή που χρησιμοποίησα (βιβλιογραφία, αρθρογραφία, δικτυογραφία), για την υποστήριξη των υποθέσεων της μελέτης και της ερευνάς μου, είναι πλήρως συμβατή με τα ακολουθούμενα επιστημονικά πρότυπα και, επιπλέον, αναφέρεται ρητά, υπό μορφή αναφοράς-παραπομπής, σε όλο το φάσμα κειμένων της παρούσης εργασίας. Το αυτό ισχύει για τη χρήση δευτερογενών δεδομένων (πινάκων, διαγραμμάτων και εικόνων), ιδεών και λέξεων, τα οποία και αναφέρονται είτε ακριβώς όπως υπάρχουν στις πηγές είτε μεθερμηνεύονται από εμένα.

ΕΠΩΝΥΜΟ: ΚΑΤΣΕΝΟΥ

ΟΝΟΜΑ: ΟΥΡΑΝΙΑ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: 2919073

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΚΑΤΣΕΝΟΥ ΟΥΡΑΝΙΑ

© 2024 ΟΥΡΑΝΙΑ ΚΑΤΣΕΝΟΥ

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2)

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου Βασίλειο Νταφόπουλο για την καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και την υποστήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια αυτής της ακαδημαϊκής μου προσπάθειας. Επίσης, ευχαριστώ όλους τους καθηγητές του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας που με συνόδευσαν κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων, προσφέροντάς μου γνώσεις και εμπειρίες που συνέβαλαν σημαντικά στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Μετά, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου και στους φίλους μου, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου με αγάπη και κατανόηση, υποστηρίζοντάς με σε κάθε βήμα.

Τέλος, αφιερώνω αυτή την εργασία στη μνήμη της πολυαγαπημένης μου μητέρας Βάγια Ντερέκα, η οποία έφυγε από κοντά μας κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της εργασίας. Ήταν για μένα πηγή έμπνευσης, δύναμης και υπομονής. Χωρίς την αγάπη, την υποστήριξη και τις αξίες που μου μετέδωσε, δεν θα είχα φτάσει ως εδώ. Αυτή η εργασία είναι αφιερωμένη στη μνήμη της και ελπίζω να την κάνει περήφανη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σύμφωνα με τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις, τα ηλεκτρικά οχήματα (EV) αναμένεται να γίνουν το κύριο μέσο μεταφοράς στο προσεχές μέλλον, ειδικά καθώς η τιμή των βενζινοκίνητων και των πετρελαιοκίνητων οχημάτων συνεχίζει να αυξάνεται. Ως άμεσο αποτέλεσμα, η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) στο σύστημα της δημόσιας συγκοινωνίας, θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε αύξηση της ζήτησης της ενέργειας.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, γίνεται η αξιολόγηση ενός σταθμού φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος ο οποίος έχει ως μέσο λειτουργίας την ηλιακή ενέργεια. Η φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος (EV) μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση φωτοβολταϊκών (PV) πάνελ με βιώσιμο τρόπο, δηλαδή με τη δέσμευση της ηλιακής ενέργειας η οποία διατίθεται από δημόσια και οικιστικά κτίρια, επαγγελματικά κτίρια καθώς και πάρκινγκ για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) κατά την αναμονή τους και με την αντίστοιχη μείωση του χρόνου στάθμευσης.

Στην εργασία αυτή, εξετάζεται η μέθοδος Vehicle to Grid (V2G), καθώς και διαφορετικές αρχιτεκτονικές συστημάτων για φορτιστές EV-PV. Παράλληλα, γίνεται σύγκριση των μετατροπών ισχύος για την περίπτωση της λειτουργίας του V2G, υπό το πρίσμα της αρχιτεκτονικής του συστήματος, της τοπολογίας του μετατροπέα, καθώς και της ενδεχόμενης δυνατότητας αμφίδρομης μεταφοράς ισχύος.

Στην παρούσα εργασία επιπλέον γίνεται μια ανασκόπηση της ορολογίας γύρω από τους σταθμούς φόρτισης, ενώ παράλληλα εξετάζονται διάφορες νέες τεχνολογίες και παρουσιάζεται μια συνοπτική περίληψη των μπαταριών ιόντων λιθίου οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά κόρον στις μεθόδους φόρτισης. Παράλληλα, πραγματοποιείται και μια παρουσίαση του Ενεργειακού Συστήματος Διαχείρισης των Μπαταριών (BMS).

Τέλος, γίνεται περιγραφή των πλεονεκτημάτων των ηλεκτρικών οχημάτων έναντι των συμβατικών, και εξετάζονται οι επιπτώσεις του λεγόμενου coil design καθώς και των συστημάτων ανίχνευσης coil (πηνίων) στα EV, καθώς επίσης και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των υπαρχουσών σύγχρονων τεχνολογιών οι οποίες αφορούν στην παραγωγή και στην παροχή αποτελεσματικών συστημάτων ασύρματης φόρτισης.

Λέξεις-κλειδιά: Ηλεκτρικό όχημα (EV), φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος, ασύρματη μετάδοση ισχύος, μπαταρία, ηλιακά πάνελ, ενέργεια, αποθήκευση, σύστημα, μετατροπέας.

ABSTRACT

According to new technological developments, electric vehicles (EVs) are expected to become the main way of transportation in the near future, especially as the price of gasoline and diesel vehicles continues to rise. As a direct result, the integration of electric vehicles (EVs) into the public transport system will lead to an increase in energy demand. In this thesis, an electric vehicle charging station from solar energy is evaluated. Charging an electric vehicle (EV) can be done by using photovoltaic (PV) panels in a sustainable way, i.e. capturing solar energy available from public and residential buildings, commercial buildings and parking lots to charge electric vehicles (EVs) while waiting and with the corresponding reduction in parking time. The Vehicle to Grid (V2G) method is considered, as well as different system architectures for EV-PV chargers. At the same time, a comparison is made of the power converters for the case of V2G operation, in the light of the system architecture, the topology of the converter, as well as the eventual possibility of bidirectional power.

This paper also reviews the terminology surrounding charging stations, while examining various technologies and presenting a brief overview of Li-ion batteries used in charging methods and the Battery Management System (BMS).

Finally, the advantages of electric vehicles over conventional ones are described, and the effects of the so-called coil design as well as coil detection systems in EVs are examined, as well as the advantages and disadvantages of existing modern technologies related to the production and providing efficient wireless charging systems.

Keywords: Electric vehicle (EV), electric vehicle charging, wireless power transmission, battery, solar panels, energy, storage, system, inverter.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	1
Κατάλογος εικόνων.....	VIII
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. Φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων από ηλιακή ενέργεια.....	7
2.1 Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος (EV).....	7
2.2 Ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα	11
2.3.EV-PV φόρτιση.....	13
2.3.1. Βιωσιμότητα και οικονομία	13
2.3.2 Σύστημα φόρτισης EV με φωτοβολταϊκά πάνελ.....	14
2.4 Σχεδιασμός σταθμού φόρτισης EV που τροφοδοτείται από ηλιακή ενέργεια.....	14
3. Αρχιτεκτονική του EV-PV συστήματος	18
3.1 Μετατροπείς PV και EV είναι ανεξάρτητα συνδεδεμένοι στο δίκτυο AC.....	19
3.2 Μετατροπείς PV EV ανεξάρτητα συνδεδεμένοι στο DC (micro) grid	20
3.3 Ένας μετατροπέας πολλαπλών θυρών συνδεδεμένος AC που ενσωματώνει PV, Grid, EV	20
3.4 Μετατροπέας πολλαπλών θυρών (MPC) που συνδέει το PV, EV ,Grid (microgrid DC)	21
3.5 Ροές ισχύος EV- PV	22
4. Ανάλυση και σύγκριση τοπολογιών μετατροπέων ισχύος για φορτιστές EV-PV.....	24
5. Βελτιστοποίηση φόρτισης EV με χρήση φωτοβολταϊκών και του δικτύου.....	27
5.1 Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος	28
5.1.1 Διάφορες Κατηγορίες Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων.....	29
5.1.2 Επίπεδα φόρτισης	30
5.1.3 Σύστημα φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος.....	31
5.1.4 Διάρκεια φόρτισης.....	33
6. Σύστημα ανίχνευσης πηνίου (coil detectors).....	34
6.1 Συντονιστές πηνίου(coil resonators)	36
6.2 Μείωση της σύνθετης αντίστασης του πηνίου	39
6.2.1 Αγωγός με χαμηλή αντίσταση AC	39
6.2.2. Εύκαμπτος αγωγός.....	41
7. Παράγοντες που εξετάζονται κατά την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων	43
7.1 .Βενζινοκίνητα οχήματα VS ηλεκτρικά οχήματα	44
7.2 Αναδυόμενα Τεχνολογικά Συστήματα	45
7.2.1 Τεχνολογία Έξυπνου Δικτύου	45
7.2.2 Τεχνολογία Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	46
Συμπεράσματα	50

Κατάλογος Πινάκων

<u>Πίνακας 1 Επίπεδα ισχύος και βύσματα φόρτισης AC και DC στην Ευρώπη, την Ιαπωνία και τις ΗΠΑ.....</u>	<u>11</u>
<u>Πίνακας 2 Ανάλυση για τη σύγκριση διαφορετικών αρχιτεκτονικών συστημάτων EV-PV σε κλίμακα. Η ανάλυση εξετάζει επίσης τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε αρχιτεκτονικής.....</u>	<u>26</u>
<u>Πίνακας 3 Ανάλυση της διάταξης του φορτιστή EV, της τοπολογίας και της αρχιτεκτονικής του συστήματος ..</u>	<u>28</u>
<u>Πίνακας 4 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για την έξυπνη φόρτιση συστημάτων EV-PV που συνδέονται με το δίκτυο</u>	<u>29</u>
<u>Πίνακας 5: Επίπεδα φόρτισης.....</u>	<u>33</u>
<u>Πίνακας 6 Χρόνοι φόρτισης οχημάτων.....</u>	<u>35</u>

Κατάλογος εικόνων

<u>Εικόνα 1 Οι εκπομπές των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζονται από το μείγμα παραγωγής καυσίμου ηλεκτρικής ενέργειας. Το «Rest» περιλαμβάνει την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα, γεωθερμικές πηγές και διάφορα ορυκτά καύσιμα. (Σύμφωνα με πληροφορίες από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ).....</u>	<u>5</u>
<u>Εικόνα 2 Απεικόνιση ενός σταθμού φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος (EV) με ηλιακή ενέργεια που βρίσκεται σε χώρο εργασίας. Τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά (PV) πάνελ που είναι εγκατεστημένα στην ταράτσα αλλά και ως ηλιακό υπόστεγο. (M. Leendertse).....</u>	<u>5</u>
<u>Εικόνα 3 Τα βύσματα φόρτισης AC από αριστερά προς τα δεξιά: US Type 1 SAE, European Type 2 Mennekes, Tesla (εικόνα από Mennekes, Michael Hicks στη Wikipedia, insideevs.com).....</u>	<u>9</u>
<u>Εικόνα 4 Το ChaDemo (αριστερά) και ο συνδυασμένος φορτιστής Sae (δεξιά) είναι δυο βύσματα φόρτισης DC τα οποία δεν είναι συμβατά.....</u>	<u>9</u>
<u>Εικόνα 5Οι επιλογές βυσμάτων φόρτισης DC περιλαμβάνουν φορτιστές CCS/Combo τόσο για την αγορά των ΗΠΑ (αριστερά) όσο και για την ευρωπαϊκή (δεξιά) αγορά. και ένα βύσμα CHAdeMO που βρίσκεται στο κάτω μέρος.Εικόνα απο: SAE, CHAdeMO.....</u>	<u>11</u>
<u>Εικόνα 6 Γεωμετρία ηλίου- γης.....</u>	<u>16</u>
<u>Εικόνα 7 Γωνία κλίσης σε ηλιακό πάνελ.....</u>	<u>17</u>
<u>Εικόνα 8 Παραγωγή ισχύος για διαφορετικές γωνίες κλίσης.....</u>	<u>18</u>
<u>Εικόνα 9 Η ποσοστιαία απώλεια ακτινοβολίας ανάλογα πάλι με τη γωνία κλίσης και τη γωνία αξιμουθίου.....</u>	<u>18</u>
<u>Εικόνα 10 Πλαίσιο φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος.....</u>	<u>20</u>
<u>Εικόνα 11 Αρχιτεκτονική 1 (πάνω) και 2 (κάτω).....</u>	<u>22</u>
<u>Εικόνα 12 Διάφορες αρχιτεκτονικές συστημάτων.....</u>	<u>23</u>
<u>Εικόνα 13 Πιθανοί τρόποι ροής ισχύος σε ένα σύστημα EV-PV.....</u>	<u>24</u>
<u>Εικόνα 14 Διάγραμμα ροής συστήματος ανίχνευσης πηνίου.....</u>	<u>37</u>
<u>Εικόνα 15 Διάγραμμα ροής συστήματος ανίχνευσης πηνίου.....</u>	<u>38</u>
<u>Εικόνα 16 Ένα παραδοσιακό συμμετρικό αντηχείο με τέσσερα πηνία.....</u>	<u>39</u>
<u>Εικόνα 17 MCM από κοίλους χάλκινους σωλήνες.....</u>	<u>41</u>
<u>Εικόνα 18 Litz wire.....</u>	<u>41</u>
<u>Εικόνα 19 Εύκαμπτο δίκτυο.....</u>	<u>43</u>
<u>Εικόνα 20 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.....</u>	<u>46</u>

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σχεδόν όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες εξαρτώνται από την ενέργεια. Με τη βοήθεια της ενέργειας παράγεται θέρμανση και φωτισμός, ενώ η ενέργεια είναι απαραίτητη και στο πεδίο των μεταφορών και των βιομηχανιών. Τυχόν μεταβολές είτε στην ενεργειακή παραγωγή ή στο κόστος της ενέργειας, θα μπορούσαν να παρουσιάσουν οικονομική επίδραση αλλά και κοινωνική σε μια χώρα. Ταυτοχρόνως, η κατανάλωση της ενέργειας μπορεί να συνδεθεί με ευθύ τρόπο με την κλιματική αλλαγή του πλανήτη.

Ο τρόπος με τον οποίο παράγεται η ενέργεια μπορεί να οδηγήσει στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Η όξινη βροχή, το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς και η τρύπα του όζοντος είναι κάποια από τα πιο σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα τα οποία έχουν προκύψει τα τελευταία πολλά χρόνια στη Γη.

Οι μελέτες και οι προβληματισμοί γύρω από την ενέργεια οι οποίοι προκύπτουν, αφορούν αρκετά στο κόστος της προς τον καταναλωτή, μιας και η τιμή της δε θα πρέπει να είναι σε υψηλά όρια αλλά παράλληλα θα πρέπει να είναι φιλική προς το περιβάλλον. Μεγάλος προβληματισμός υφίσταται επίσης όσον αφορά το ζήτημα της εξαντλησιμότητας των συμβατικών καυσίμων, δηλαδή του γαιάνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, αλλά και την εξαντλησιμότητα και των πυρηνικών.

Επί του πρακτέου, υπάρχουν διαφορετικές μορφές ενέργειας, όπως είναι για παράδειγμα η χημική ενέργεια, η ηλεκτρική ενέργεια, η πυρηνική και η ηλιακή ενέργεια. Ως πηγές ενέργειας χαρακτηρίζονται οι πηγές εκείνες από τις οποίες είναι δυνατόν να παραχθεί η απαιτούμενη ενέργεια για διάφορες χρήσεις, με απόλυτη πηγή τον ήλιο.

Το ενεργειακό πρόβλημα άρχισε να απασχολεί την ανθρωπότητα περίπου το 1950 ενώ η ενεργειακή κρίση του 1973 και του 1979, θεωρούνται ορόσημο στην ενεργειακή πολιτική.

Με τη φράση ρύπανση του περιβάλλοντος χαρακτηρίζεται η κατάσταση εκείνη κατά την οποία διάφορες επιβλαβείς ενώσεις, επιβαρύνουν τη φύση, τα ζώα και τον άνθρωπο και μπορούν να δημιουργήσουν άμεσο ή έμμεσο πρόβλημα στην ισορροπία του πλανήτη.

Η περιβαλλοντική ρύπανση μπορεί να έχει τις ρίζες της τόσο σε φυσικές όσο και σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Παράδειγμα αποτελεί η ρύπανση του περιβάλλοντος από βιομηχανίες, από διάφορες αστικές δραστηριότητες, από τις μεταφορές αλλά και από γεωργικές δραστηριότητες.

Περιπτώσεις ρύπανσης ουσιαστικά αποτελούν τα στερεά και τα υγρά απόβλητα των πόλεων, τα οποία ονομάζονται λύματα, τα απόβλητα από τις βιομηχανίες, είτε στερεά είτε υγρά είτε αέρια, καθώς

και τα απόβλητα που προκύπτουν από ατυχήματα, όπως είναι για παράδειγμα οι πετρελαιοκηλίδες, τα ραδιενεργά απόβλητα, αλλά και η ηχητική και η οπτική ρύπανση.

Οι κατηγορίες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τον τρόπο με τον οποίο παράγεται η ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα, είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η όξινη βροχή, η μείωση της στιβάδας του όζοντος, το φωτοχημικό νέφος, η ρύπανση των υδάτινων πόρων, οι πετρελαιοκηλίδες και διάφορες άλλες.

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Στους αέριους ρύπους και στους σωματιδιακούς ρύπους και χωρίζονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς ρύπους.

Οι πρωτογενείς ρύποι δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της καύσης των υγρών και στερεών ορυκτών καυσίμων. Σε αυτούς ανήκουν τα αιωρούμενα σωματίδια, το μονοξείδιο του αζώτου, το διοξείδιο του θείου, ο άνθρακα και κάποια ακόμη στοιχεία. Οι πρωτογενείς ρύποι οι οποίοι τελικά ευθύνονται για το πρόβλημα στο όζον της ατμόσφαιρας λέγονται και πρόδρομοι ρύποι.

Οι δευτερογενείς ρύποι είναι ρύποι οι οποίοι προέρχονται από τους πρωτογενείς ρύπους. οι οποίοι με κάποια συγκεκριμένη διαδικασία έχουν μετασχηματιστεί λόγω της ακτινοβολίας του ήλιου. Στην κατηγορία αυτή βρίσκεται το όζον, το νιτρικό υπεροξυακετύλιο, το θειικό αμμώνιο και κάποιες άλλες ενώσεις.

Το πρόβλημα της κλιματικής κρίσης και αλλαγής, έχει ως αποτέλεσμα πολλές επιστημονικές ομάδες να ενασχοληθούν με καινούρια τεχνολογία, πιο φιλική προς το περιβάλλον. Σε παγκόσμιο πλέον επίπεδο, γίνονται έρευνες οι οποίες έχουν ως αντικείμενο τη μείωση των στοιχείων τα οποία μολύνουν το περιβάλλον και επιταχύνουν την κλιματική αλλαγή.

Μεγάλο ποσοστό στις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα οφείλεται στη χρήση των συμβατικών καυσίμων, δηλαδή στο πετρέλαιο και στα υποπροϊόντα του. Οπότε άμεσο στόχο αποτελεί η όσο το δυνατόν λιγότερο αλόγιστη χρήση τους στους τομείς της ενέργειας και των μεταφορών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Τα ηλεκτρικά οχήματα (EV), μπορούν πλέον με σαφήνεια να χαρακτηριστούν ως τα οχήματα του μέλλοντος και ευρέως ως τα επερχόμενα μέσα μεταφοράς, με την υποστήριξη μάλιστα και παγκόσμιων πρωτοβουλιών. Εδώ εμφανίζεται η Διακήρυξη του Παρισιού για την Κλιματική Αλλαγή, η οποία κααθιερώθηκε στις 12 Δεκεμβρίου του 2015. Ανάμεσα στους στόχους της Διακήρυξης αυτής, βρίσκεται και ο στόχος της ανάπτυξης 100 εκατομμυρίων ηλεκτρικών οχημάτων μέχρι και το έτος 2030.

Τα ηλεκτρικά οχήματα (Evs), έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν πολλαπλά οφέλη σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συμβατικά βενζινοκίνητα ή πετρελαιοκίνητα οχήματα. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα αυτά, εντοπίζεται η ανώτερη ενεργειακή απόδοση που παρουσιάζουν, οι μηδενικές εκπομπές επιβλαβών ρύπων, τα πολύ πιο απλά συστήματα μετάδοσης κίνησης τα οποία φέρουν, τα μειωμένα επίπεδα θορύβου, καθώς και οι χαμηλότερες ανάγκες για τη συντήρησή τους.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων, τα καθιστούν αρκετά ανταγωνιστικά στο πλαίσιο της μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων οι οποίες προκαλούνται από τις μεταφορές, και κατά συνέπεια στην μερική αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Παρόλα αυτά, η μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο με τον οποίο παρήχθει η ηλεκτρική ενέργεια που είναι απαιτούμενη για την επαναφόρτισή τους.

Προκειμένου τα ηλεκτρικά οχήματα να καταφέρουν να χαρακτηριστούν ως βιώσιμα οχήματα, η ηλεκτρική ενέργεια η οποία χρησιμοποιούν θα πρέπει να παράγεται μέσα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και όχι από τους ήδη υπάρχοντες σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής οι οποίοι λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα, δηλαδή με άνθρακα και φυσικό αέριο. Η άμεση συσχέτιση μεταξύ της πηγής προέλευσης της ηλεκτρικής ενέργειας και των αντίστοιχων περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων, αποτελεί πλέον ένα καίριο ζήτημα.

Οι λεγόμενες “well to wheel” αναλύσεις των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου GreenHouse Gas Protocols (GHG) καταδεικνύουν ότι τα ηλεκτρικά οχήματα, συμπεριλαμβανομένων των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (HEV), των plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (PHEV) καθώς και των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων (PEV), παρουσιάζουν σταθερά χαμηλότερες εκπομπές ρύπων από τα αντίστοιχα συμβατικά οχήματα.

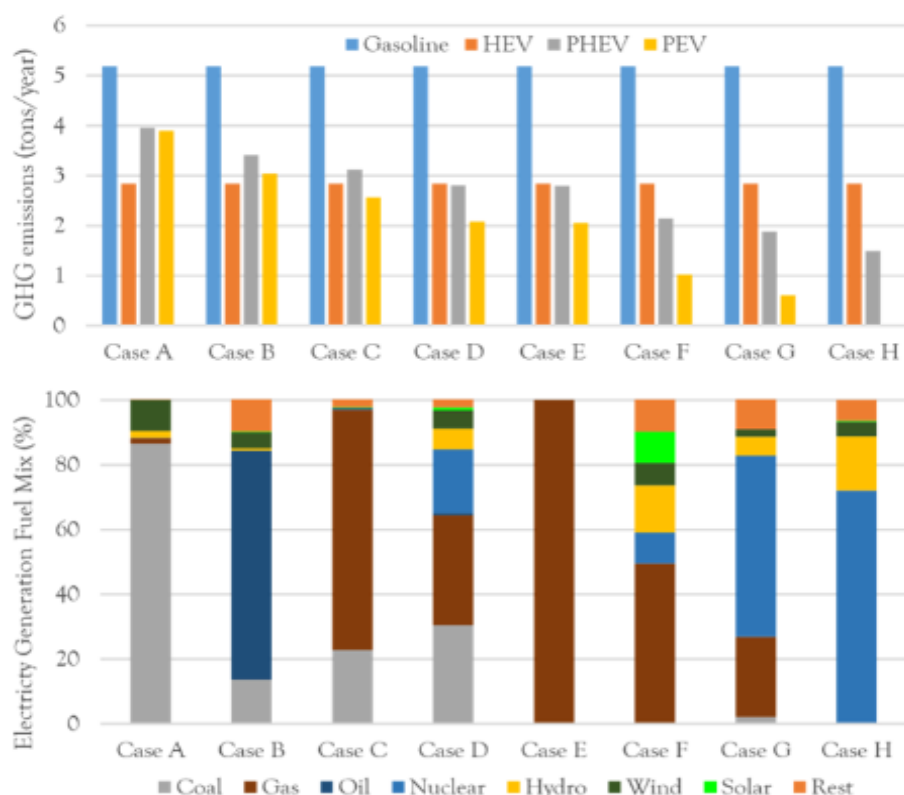
Η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η γεωθερμία, το βιοαέριο και η παλιρροιακή ενέργεια είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες έχουν ως κοινό τους χαρακτηριστικό το γεγονός ότι μπορούν να προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες για τη λεγόμενη βιώσιμη παραγωγή ενέργειας, χρήση της οποίας μπορεί να γίνει για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Από τις παραπάνω μορφές ενέργειας, θα μπορούσαν να ξεχωρίσουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ, δηλαδή η περίπτωση της χρήσης της ηλιακής ενέργειας ως ανανεώσιμη πηγή. Οι βασικοί λόγοι είναι οι ακόλουθοι:

1. Η σχέση απόδοσης - κόστους: Το κόστος της τεχνολογίας ηλιακών φωτοβολταϊκών (PV) μειώνεται σταθερά και συγκεκριμένα είναι κάτω από 0,93 ευρώ ανά watt, καθιστώντας τα μια οικονομικά εφικτή επιλογή για ευρύ πεδίο εφαρμογών.
2. Η ευκολία στην εγκατάσταση: Τα φωτοβολταϊκά (PV) πάνελ μπορούν να εγκατασταθούν άνετα και εύκολα σε στέγες σπιτιών αλλά και σε χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων.
3. Η επίδραση στο δίκτυο: Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη διαδικασία της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων μειώνει τόσο τη συνολική κατανάλωση ενέργειας όσο και τη μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος από το δίκτυο.
4. Η δυνατότητα αποθήκευση της ενέργειας: Συνήθως, τα συστήματα των φωτοβολταϊκών

χρησιμοποιούν μπαταρίες για την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας προκειμένου να μπορούν να ρυθμίζουν τις τυχόν διακυμάνσεις της τάσης του δικτύου. Η μπαταρία ενός EV μπορεί να λειτουργήσει ως χώρος αποθήκευσης για τα φωτοβολταϊκά και με τον τρόπο αυτό παύει η ανάγκη επένδυσης σε επιπλέον μπαταρίες.

5. Η εξοικονόμηση κόστους: Η φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων με τη χρήση ηλιακής ενέργειας αποτελεί σαφώς πιο οικονομικό τρόπο σε σύγκριση με τη φόρτισή τους από το παραδοσιακό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των χαμηλών τιμολογίων τροφοδοσίας των φωτοβολταϊκών παρέχοντας παράλληλα αξιοσημείωτη μείωση του κόστους για τους ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών οχημάτων.
6. Το χαμηλό κόστος συντήρησης: Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρουσιάζουν μειωμένες ανάγκες για συντήρηση λόγω της πλήρους απουσίας κινούμενων εξαρτημάτων και μελών, γεγονός που τα καθιστά μια αρκετά συμφέρουσα επένδυση.



Εικόνα 1: Οι εκπομπές των ηλεκτρικών οχημάτων επηρεάζονται από το μείγμα παραγωγής καυσίμου ηλεκτρικής ενέργειας. Το «Rest» περιλαμβάνει την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα, γεωθερμικές πηγές και διάφορα ορυκτά καύσιμα. (Σύμφωνα με πληροφορίες από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ).



Εικόνα 2: Απεικόνιση ενός σταθμού φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος (EV) με ηλιακή ενέργεια που βρίσκεται σε χώρο εργασίας. Τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά (PV) πάνελ που είναι εγκατεστημένα στην ταράτσα αλλά και ως ηλιακό υπόστεγο. (M. Leendertse).

Η χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ στη διαδικασία φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να παρέχει όπως προειπώθηκε μια σημαντική δυνατότητα στη συγκεκριμένη τεχνολογία και αυτή δεν είναι άλλη από τη δυνατότητα να γίνουν τα ηλεκτρικά οχήματα πραγματικά βιώσιμα και να ελαχιστοποιηθούν οι συνολικές δαπάνες οι οποίες προκύπτουν από την κατασκευή της εκάστοτε υποδομής φόρτισης. Άρα το όφελος στην περίπτωση αυτή είναι διπλό, μιας και παρέχει οικονομικό όφελος παράλληλα με το περιβαλλοντικό.

Για να μπορέσει να διασφαλιστεί η συνεχής αλλά και η αξιόπιστη λειτουργία ενός συστήματος φόρτισης το οποίο είναι συνδεδεμένο με φωτοβολταϊκά πάνελ, είναι αναγκαία συνθήκη να διατηρηθεί μια σύνδεση με το συμβατικό δίκτυο παροχής ενέργειας εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Η σύνδεση αυτή θα μπορέσει να επιτρέψει τη μεταφορά της ενδεχόμενης πλεονάζουσας ισχύος στο δίκτυο στην περίπτωση της πλεονάζουσας παροχής ή αντίστοιχα τη χρήση της ισχύος του δικτύου για φόρτιση στην περίπτωση κατά την οποία η παραγωγή ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών αποδειχθεί ανεπαρκής.

Ένας πολύ βασικός λόγος για τον οποίο δεν υπάρχει ακόμα ευρεία αποδοχή της τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι η ανεπαρκής υποδομή φόρτισής τους. Στο πρόβλημα αυτό καλείται να βρεθεί μια λύση μέσω της κατάλληλης αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας, γεγονός που θα οδηγούσε στη δημιουργία πολλών νέων εγκαταστάσεων φόρτισης, οι οποίες θα μπορούσαν να βρίσκονται σε κατοικίες, σε χώρους εργασίας, σε ιατρικές εγκαταστάσεις, σε χώρους στάθμευσης αλλά και σε άλλους βολικούς για τους χρήστες χώρους. Η αποκεντρωμένη αυτή προσέγγιση, η οποία αναφέρεται ως Εξοπλισμός Προμήθειας Ηλεκτρικών Οχημάτων (EVSE), έχει την ικανότητα να διευκολύνει

διαφορετικά ηλεκτρικά οχήματα αλλά και διαφορετικές τεχνικές φόρτισης. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη βελτίωση της προσβασιμότητας και συνεπώς και στην ευκολία για τους χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων.

Επιπροσθέτως, η χρήση διαφόρων τύπων τεχνολογιών αιχμής, όπως είναι για παράδειγμα το Internet of Things (IoT), θα μπορούσε να βελτιώσει την επιτήρηση αλλά και τη διαχείριση της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι λύσεις της γρήγορης φόρτισης καθώς και οι σταθμοί εναλλαγής μπαταριών, μπορούν να παρέχουν στους χρήστες επιπρόσθετη άνεση, δυστυχώς όμως έχουν σαν αντίβαρο το υψηλό κόστος καθώς και ορισμένες δυσκολίες οι οποίες είναι καθαρά λειτουργικές.

Το Wireless Power Transfer (WPT) είναι μια καινοτόμος τεχνολογία η οποία έχει τη δυνατότητα να παρέχει μια αξιόπιστη και εναλλακτική λύση στις συμβατικές μεθόδους plug-in. Τα κύρια πλεονεκτήματά της είναι η μεγάλη ευελιξία που τη χαρακτηρίζει ως τεχνολογία, καθώς και η παροχή υψηλής ασφάλειας. Τα συστήματα ασύρματης μεταφοράς ισχύος (WPT) για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος (power converters), οι οποίοι έχουν ως κύριο ρόλο τους τη μετάδοση ισχύος από τον δέκτη στις μπαταρίες ή στη συσκευή οδήγησης. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι η μετάδοση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς να είναι αναγκαίο να υπάρχουν επιπλέον φυσικές συνδέσεις. Ως βασικό επακόλουθο, η τεχνολογία αυτή μειώνει στο ελάχιστο την πιθανότητα κλοπής ή καταστροφής του συστήματος.

Ένα ακόμα ζήτημα το οποίο έχει προκύψει και ίσως υπερπηδήσει τα εμπόδια τα οποία υφίστανται για την ευρεία αποδοχή της τεχνολογίας των ηλεκτρικών οχημάτων είναι καθαρά περιβαλλοντικό και πηγάζει από το γεγονός ότι τα συμβατικά οχήματα έχουν κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE), ο οποίος θεωρείται ως ο βασικός υπεύθυνος για την εκπομπή επιβλαβών ρύπων, οι οποίοι συμβάλλουν στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αλλά και στην κλιμάκωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Πρόβλημα επίσης εντοπίζεται και στον τομέα της τεχνολογίας των μπαταριών. Η ανεπαρκής ενεργειακή πυκνότητα και η περιορισμένη διάρκεια ζωής, οι περιορισμοί που έχουν οι μπαταρίες ιόντων λιθίου όσον αφορά το βάρος, το κόστος αλλά και το συνολικό χρόνο που απαιτείται για τη φόρτισή τους είναι εμπόδια που πρέπει να μελετηθούν και να ξεπεραστούν.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία λοιπόν, εξετάζεται ο πιο αποτελεσματικός σχεδιασμός καθώς και η εφαρμογή σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων οι οποίοι θα λειτουργούν με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας, δίνοντας βάση σε κρίσιμους παράγοντες, όπως είναι για παράδειγμα η τοποθέτηση, οι διαστάσεις, η δομή του συστήματος αλλά και η ενσωμάτωση των τεχνολογιών αιχμής. Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι να βελτιστοποιηθεί η βιωσιμότητα και η αποδοτικότητα της υποδομής φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, προωθώντας έτσι ένα πιο πράσινο και πιο βιώσιμο μέλλον στον τομέα των μεταφορών.

2. Φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων από ηλιακή ενέργεια

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να φορτιστούν με βιώσιμο τρόπο μέσω της χρήσης φωτοβολταϊκών (PV) πάνελ για τη διαδικασία της φόρτισής τους. Πριν από την κατασκευή μιας νέας υποδομής φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με ηλιακή ενέργεια (EV), είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί μια ενδελεχής και εμπεριστατομένη έρευνα για τα ηλεκτρικά φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΒ) τα οποία έχουν αναπτυχθεί τόσο από ακαδημαϊκούς όσο και από βιομηχανικούς φορείς και υπάρχουν ήδη στην αγορά.

Στο κεφάλαιο αυτό, πραγματοποιείται μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση των πιο πρόσφατων εξελίξεων στον τομέα της τεχνολογίας γύρω από τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας. Ο στόχος είναι να αναλυθούν τα οφέλη καθώς και οι περιορισμοί οι οποίοι σχετίζονται με αυτή τη συγκεκριμένη προσέγγιση.

2.1 Φόρτιση ηλεκτρικού οχήματος (EV)

Στη σημερινή εποχή, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να φορτιστούν χρησιμοποιώντας μεθόδους φόρτισης εναλλασσόμενου AC ή συνεχούς DC ρεύματος [1], [2]. Και οι δύο αυτές μέθοδοι φόρτισης περιλαμβάνουν τη μετατροπή της διαθέσιμης ισχύος από το δίκτυο μέσω της μετατροπής του ρεύματος από εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) σε συνεχές ρεύμα (DC), το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την επαναφόρτιση της μπαταρίας του εκάστοτε οχήματος. Μια μπαταρία ηλεκτρικού οχήματος έχει συνήθως χωρητικότητα λίγων κιλοβατώραν (kWh) για υβριδικά (HEV) και plug-in υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEV), ενώ έχει χωρητικότητα δεκάδων κιλοβατώραν (kWh) για τα πλήρως ηλεκτρικά οχήματα (PEV).

Η φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος (EV) επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός ενσωματωμένου μετατροπέα ισχύος AC / DC του οχήματος, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με μία μονοφασική ή με μια τριφασική πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος.

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες συστημάτων φόρτισης εναλλασσόμενου ρεύματος οι οποίες χρησιμοποιούνται σε παγκόσμια κλίμακα [3] –[6], όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3.

1. Ο φορτιστής τύπου 1, ειδικά σχεδιασμένος για μονοφασική φόρτιση, χρησιμοποιείται συνήθως στις Ηνωμένες Πολιτείες σύμφωνα με το πρότυπο SAE J1772-2009.
2. Ο φορτιστής τύπου 2 Mennekes είναι μια συσκευή φόρτισης που χρησιμοποιείται συνήθως στην Ευρώπη τόσο για μονοφασικά όσο και για τριφασικά ηλεκτρικά συστήματα σύμφωνα με το πρότυπο VDE-AR-E 2623-2-2.

3. Ο φορτιστής τύπου 3, ο οποίος μπορεί να φορτίζει τόσο μονοφασικά όσο και τριφασικά ηλεκτρικά οχήματα, από την EV Plug Alliance.

Ο διπλός φορτιστής της Tesla έχει σχεδιαστεί για να είναι συμβατός και με μονοφασικές πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος και συνεχούς ρεύματος και προορίζεται ειδικά για χρήση στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.



Εικόνα 3: Τα βύσματα φόρτισης AC από αριστερά προς τα δεξιά: US Type 1 SAE, European Type 2



Εικόνα 4: Το ChaDemo (αριστερά) και ο συνδυασμένος φορτιστής Sae (δεξιά)

Η φόρτιση συνεχούς ρεύματος (DC), χρησιμοποιείται για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων (EV) σε επίπεδα ισχύος άνω των 50 kW. Η φόρτιση DC χαρακτηρίζεται ως φόρτιση Mode 4 σύμφωνα με τις προδιαγραφές οι οποίες και περιγράφονται στο πρότυπο IEC 61851-1. Σε αυτή την περίπτωση λειτουργίας, ένας ξεχωριστός μετατροπέας AC / DC χρησιμοποιείται για την παροχή άμεσης ισχύος συνεχούς ρεύματος στην μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος. Οι φορτιστές οι οποίοι βρίσκονται

εκτός του οχήματος, μπορούν να παρέχουν ένα κύριο πλεονέκτημα που δεν είναι άλλο από την απουσία περιορισμών χώρου και βάρους των φορτιστών οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο όχημα. Το πλεονέκτημα αυτό τους επιτρέπει να φτάνουν σε επίπεδα ισχύος φόρτισης έως και 350 kW, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

PLUG	Number of Pins (communication)	Charging Level	Voltage, Current Power
Type 1 SAE J1772 USA/Japan	3 power pins- L1,N,E 2 control pins- CP,PP (PWM over CP)	AC LEVEL 1	1Φ 120V, ≤16A 1.9 KW
		AC LEVEL 2	1Φ 240V, ≤ 80A, 19.2kW
Type 2 Mennekes Europe	4 power pins L1,L2,L3,N,E 2 control pins CP, PP (PWM over CP)	AC LEVEL 1	1Φ 230V, ≤ 32A, 7.4kW
		AC LEVEL 2	3Φ 400V, ≤ 63A,43kW
Type 4 CHAdeMO	3 power -DC+, DC-,E 7 control pins (CANN com)	DC LEVEL 3	200-500V, ≤400A, 200kW
SAE CCS/Combo	3 power pins -DC+, DC-, E 2 control pins - CP,PP (PLC over CP,PE)	DC LEVEL 3	200-1000V ≤200A, 200kW
Tesla US	3 power pins -DC+, DC-,E or L1,N, E 2 control pins - CP,PP	DC LEVEL 2	Model S, 400V, ≤ 300A, 120kW

Πίνακας 1: Επίπεδα ισχύος και βύσματα φόρτισης AC και DC στην Ευρώπη, την Ιαπωνία και τις ΗΠΑ.

Προς το παρόν, υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες συστημάτων φόρτισης DC οι οποίες χρησιμοποιούνται παγκοσμίως [4] – [7], όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.

1. Το CCS/COMBO (Σύστημα Συνδυασμένης Φόρτισης) αναφέρεται σε ένα σύστημα φόρτισης

το οποίο συνδυάζει τα πρότυπα φόρτισης Combo 1 και Combo 2.

2. Η υποδοχή CHAdeMO είναι τύπου 4.
3. Ο διπλός φορτιστής Tesla έχει σχεδιαστεί για να είναι συμβατός τόσο με μονοφασική φόρτιση AC και DC στις ΗΠΑ. Στην Ευρώπη, το βύσμα Tesla Type 2 χρησιμοποιείται ειδικά για φόρτιση DC.



Εικόνα 5: Οι επιλογές βυσμάτων φόρτισης DC περιλαμβάνουν φορτιστές CCS/Combo τόσο για την αγορά των ΗΠΑ (αριστερά) όσο και για την ευρωπαϊκή (δεξιά) αγορά, και ένα βύσμα CHAdeMO που βρίσκεται στο κάτω μέρος. Εικόνα

Τα τρία συστήματα χρησιμοποιούν αντιστοίχως τρεις ακροδέκτες τροφοδοσίας για τη μετάδοση της ισχύος, και μάλιστα συγκεκριμένα δύο ακροδέκτες ισχύος DC με την αντίστοιχη ένδειξη DC+ και DC-, καθώς και έναν ακροδέκτη γείωσης ο οποίος συμβολίζεται με το γράμμα E. Ωστόσο, διαφέρουν ως προς το χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο επικοινωνίας και ελέγχου. Για παράδειγμα, το CHAdeMO χρησιμοποιεί επικοινωνία διαύλου CAN και χρησιμοποιεί συνολικά pins για τον έλεγχο και την επικοινωνία, ενώ το CCS χρησιμοποιεί την επικοινωνία Power Line Carrier (PLC) και μόνο 2 ακροδέκτες επικοινωνίας. Είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι τόσο η φόρτιση AC Τύπου 1 και Τύπου 2, όσο και η φόρτιση DC τύπου 4 μέσω CCS, χρησιμοποιούν την ίδια φυσική ακίδα για την επικοινωνία και τον έλεγχο.

Το σύστημα φόρτισης της Tesla είναι μοναδικό επειδή χρησιμοποιεί ένα ζεύγος ακίδων τροφοδοσίας τόσο για μονοφασικό AC όσο και για DC, καθώς και δύο επιπλέον ακροδέκτες για την επικοινωνία. Ο ξεύκτης και η διεπαφή Tesla έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να διευκολύνουν τη φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της φόρτισης μέσω συνεχούς ρεύματος, είναι το γεγονός ότι ο

φορτιστής μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να είναι αμφίδρομος, επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό την εφαρμογή της τεχνολογίας όχημα προς την πηγή ισχύος (V2X) [8], [9]. Το V2X είναι ένας ευρύς όρος ο οποίος πρακτικά αναφέρεται στη διαδικασία χρήσης ενός ηλεκτρικού οχήματος (EV) για την παροχή ρεύματος σε μια οικία (V2H), ένα κτίριο (V2B), ένα φορτίο (V2L) ή ένα δίκτυο (V2G) μέσω της διαδικασίας εκφόρτισης της μπαταρίας του. Το V2X δύναται να επιτρέπει στο εκάστοτε ηλεκτρικό όχημα να εξυπηρετεί διάφορους καινοτόμους σκοπούς, όπως για παράδειγμα το να μπορεί να λειτουργεί ως μονάδα αποθήκευσης για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και παράλληλα να μπορέσει να παρέχει βοηθητικές υπηρεσίες στο υπάρχον δίκτυο. Δηλαδή να μπορεί να ρυθμίζει την τάση και τη συχνότητα και επίσης να μειώνει τη μέγιστη ζήτηση στο δίκτυο. Προς το παρόν, τόσο το CHAdeMO όσο και το CCS διαθέτουν πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία και επιτρέπουν τη διαδικασία της αμφίδρομης φόρτισης.

2.2 Ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ορίζονται όλοι οι φυσικοί ανεξάντλητοι και ανανεώσιμοι πόροι και οι διαθέσιμες πηγές ενέργειας οι οποίοι μπορούν να γίνουν ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια.

Η ιδιαίτερη αξία και σημασία της χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας έγκειται σε δύο κυρίως λόγους. Αρχικά, είναι η προσπάθεια της επίλυσης του ενεργειακού προβλήματος, αφού τα αποθέματα των συμβατικών καυσίμων έχουν αρχίσει να μειώνονται δραματικά. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι πρόκειται για μορφές ενέργειας οι οποίες δεν προκαλούν περιβαλλοντική υποβάθμιση.

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την άμεση και έμμεση θέρμανση κατοικιών και κτιρίων γενικότερα με τη βοήθεια ενεργητικών ή παθητικών συστημάτων, όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους παρακάτω τρόπους: α) με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων τα οποία θα μπορούν να μετατρέπουν απευθείας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια και β) με τη χρήση συστημάτων για θέρμανση.

Η ενέργεια η οποία προέρχεται από τον ήλιο είναι ανεξάντλητη και αποτελεί μία «καθαρή» μορφή ενέργειας σε σύγκριση με την ενέργεια η οποία προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα, οι ρύποι από τη χρήση της οποίας συμβάλλουν στην ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου και συνεπώς και στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Για όλους τους προαναφερθέντες λόγους, η ηλιακή ενέργεια είναι μια αξιόλογη και βασική μορφή ενέργειας για να την εκμεταλλευτεί ο άνθρωπος.

Ένα φωτοβολταϊκό (ΦΒ) στοιχείο, είναι ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από δύο υλικά τα οποία και βρίσκονται σε άμεση επαφή, στο οποίο όταν προσπίπτει το ηλιακό φως δημιουργείται στα άκρα του μια συνεχής ηλεκτρική τάση. Στη σημερινή εποχή, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα οποία είναι πιο κυρίαρχα, είναι αυτά τα στοιχεία τα οποία βασίζονται στη δημιουργία δύο στρωμάτων τα οποία είναι

ημιαγωγικά και βρίσκονται σε άμεση επαφή. Τις περισσότερες των περιπτώσεων, τα δύο αυτά στρώματα είναι κατασκευασμένα από κοινό υλικό. Πιο συγκεκριμένα, το ένα στρώμα είναι ημιαγωγός τύπου n και το άλλο στρώμα ημιαγωγός τύπου p.

Στο εξωτερικό των στρωμάτων μπαίνουν ηλεκτρόδια, ενώ η κατασκευή ομοιάζει με μια πλάκας τετραγωνικής μορφής ώστε η επαφή εντός των ημιαγωγών να πιάνει όλη την επιφάνεια του πλακιδίου. Με τον τρόπο αυτό, όταν το φωτοβολταϊκό φωτίζεται δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα εντός του. Το ρεύμα αυτό είναι ανάλογο με την πυκνότητα ισχύος του ηλιακού φωτός το οποίο πέφτει στην επιφάνειά του.

Σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο η τάση η οποία αναπτύσσεται, παίρνει τιμές από 0.5 έως και 0.7 V. Η τεχνολογία των ΦΒ στοιχείων έγινε ιδιαίτερα δημοφιλής στα τέλη του 20ου αιώνα, ενώ οι πρώτες έρευνες είχαν γίνει από τον Becquerel το 1839. Το 1954 κατασκευάστηκε το πρώτο ηλιακό στοιχείο από πυρίτιο (Si), με σχηματισμό επαφής p-n με διάχυση και απόδοση 6% από τους Fuller, Pearson και Chapin.

Οι πρώτες κατασκευές που κυκλοφόρησαν στο εμπόριο ήταν αρκετά ακριβές, η απόδοσή τους κυμαινόταν από 5 έως και 10% και ήταν κατασκευασμένες από κρυσταλλικά υλικά, κυρίως κρυσταλλικό Πυρίτιο (c-Si).

Με τον όρο Φωτοβολταϊκά Πλαίσια, ορίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις οι οποίες μπορούν να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Λειτουργούν ως ηλεκτρογεννήτριες οι οποίες φέρουν πολλά ΦΒ στοιχεία σε επίπεδη διάταξη, ηλεκτρονικά συνδεδεμένα μεταξύ τους, τα οποία έχουν ως αφετηρία το ΦΒ φαινόμενο, δηλαδή τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Με τον όρο Φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell), χαρακτηρίζεται η κατασκευή η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν αυτή δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη. Η απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και η απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με άμεσο αποτέλεσμα τη δημιουργία ρεύματος είναι το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

Η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας υπό συγκεκριμένη γωνία, δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο με τη βοήθεια αντιστροφέων (inverters). Το φωτοβολταϊκό πάνελ (PV panel) περιλαμβάνει ένα ή και παραπάνω φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία έχουν κατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε μια ενιαία κατασκευή, η οποία είναι έτοιμη για να τοποθετηθεί σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

Η φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array) είναι ένα γκρουπ από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πάνελ τα οποία είναι συνδεδεμένα ηλεκτρικά μεταξύ τους και τοποθετημένα συνήθως σε μια κοινή κατασκευή στήριξης.

Τα φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα λοιπόν, έχουν γίνει όλο και πιο δημοφιλή την τελευταία δεκαετία ως μια ολοκληρωμένη μέθοδος κατανομής παραγωγής ενέργειας και ισχύος. Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς σε ηλιακά φωτοβολταϊκά έφτασε τα 300 GW μέχρι το τέλος του 2016, με τα 75 GW από αυτά να έχουν εγκατασταθεί μόνο σε εκείνο τον χρόνο [10].

Οι βασικοί λόγοι που οδήγησαν στη δημοφιλή των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ουσιαστικά δύο και είναι η συνεχής βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων και η σημαντική ελάττωση του κόστους των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων με την πάροδο του χρόνου. Το κόστος των οικιακών και εμπορικών ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων (ΦΒ) έχει μειωθεί κατά περισσότερο από 50% τα τελευταία 7 χρόνια. Επιπλέον, τα διάφορα project ηλιακής ενέργειας σε κλίμακα κοινής ωφέλειας πέτυχαν πρόσφατα τις χαμηλότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας που έχουν καταγραφεί ποτέ. Αυτό όχι μόνο έχει κάνει την ηλιακή ενέργεια μια εξαιρετική πηγή καθαρού ηλεκτρισμού, αλλά και μια εξαιρετική και αξιόπιστη πηγή προσιτής για το κοινό ηλεκτρικής ενέργειας.

Ταυτόχρονα, η παραγωγή ηλιακής ενέργειας επηρεάζεται από καθημερινές και ετήσιες διακυμάνσεις, οι οποίες απαιτούν τη χρήση αποθήκευσης της ενέργειας, η οποία είναι μια εξαιρετικά δαπανηρή διεργασία. Παράλληλα, αναμένεται ότι οι διαχειριστές των συστημάτων διανομής (DSO) παγκοσμίως θα μειώσουν τα τιμολόγια τροφοδοσίας για την ηλιακή ενέργεια τα προσεχή έτη, προκειμένου να επιτευχθεί μια ομαλοποίηση με τις τιμές χονδρικής της ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να επηρεάσει ουσιαστικά οικονομικές πτυχές της τιμολόγησης της ηλιακής ενέργειας για την ενσωμάτωση στο δίκτυο, κάτι που θα οδηγούσε στην ευρύτερη χρήση της ηλιακής ενέργειας τόσο για τα οικιακά φορτία καθώς και για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Όπως προαναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1, η ικανότητα παραγωγής ηλιακής ενέργειας σε αναξιόποιήτους προς το παρόν χώρους, όπως για παράδειγμα σε στέγες και χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων είναι αρκετά σημαντική και θα πρέπει να ερευνηθεί ως τέτοια. .

2.3.EV-PV φόρτιση

2.3.1. Βιωσιμότητα και οικονομία

Η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων με τη βοήθεια ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων, μπορεί να προσφέρει δύο βασικά πλεονεκτήματα: τη βιωσιμότητα και την οικονομία. Όταν εξετάζεται η χρήση καυσίμου και η προοπτική αξιολόγησης του κύκλου ζωής μιας υπό μελέτη εγκατάστασης, η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων με ηλιακή ενέργεια μπορεί να καταστεί ενεργειακά αποδοτικότερη και να έχει σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές ρύπων και κατά συνέπεια λιγότερες

περιβαλλοντικές επιπτώσεις [13]–[15].

Επιπλέον, λόγω του μειωμένου πλέον κόστους εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών συστημάτων, η ηλιακή φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια είναι ήδη οικονομικότερη από τη συμβατική σε αρκετές χώρες παγκοσμίως. Επιπλέον, το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι ήδη χαμηλότερο από αυτό ενός συμβατικού αυτοκινήτου με κινητήρα εσωτερικής καύσης, ανάλογα βέβαια και με το είδος του αυτοκινήτου. [16].

Με την εξάλειψη του net metering και τη δυνητική μείωση των τιμολογίων τροφοδοσίας της ηλεκτρικής ενέργειας, η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων (Evs) με τη χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ (PV) ισχύος μπορεί να αυξήσει την ποσότητα της ενέργειας η οποία καταναλώνεται επιτόπου και εγγυάται οικονομικό κέρδος από το φωτοβολταϊκό σύστημα μιας και δεν υφίσταται καμία ανάγκη αποθήκευσης. Ο συνδυασμός των προαναφερθέντων παραγόντων, καθιστά την φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων μέσω της ηλιακής ενέργειας ελκυστική από την άποψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας καθώς και λόγω των οικονομικών εκτιμήσεων.

2.3.2 Σύστημα φόρτισης EV με φωτοβολταϊκά πάνελ

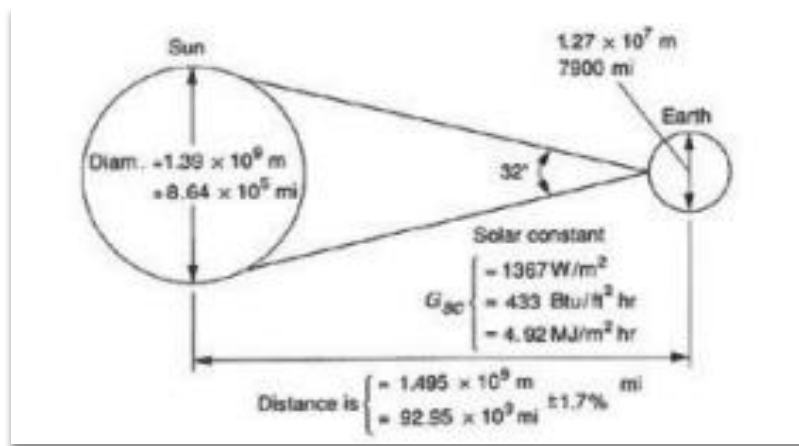
Το σύστημα φόρτισης το οποίο και χρησιμοποιείται συνήθως στην Ευρώπη για τη φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων με εναλλασσόμενο ρεύμα, βασίζεται κυρίως στο βύσμα Mennekes Type 2, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Το σύστημα αυτό μπορεί να υποστηρίξει τόσο την μονοφασική όσο και την τριφασική φόρτιση AC στο επίπεδο ισχύος 2 [2]. Ωστόσο, στο μέλλον, το πιο διαδεδομένο σύστημα φόρτισης από φωτοβολταϊκές (PV) πηγές σε δημόσιους χώρους θα είναι η φόρτιση DC χρησιμοποιώντας το σύστημα CHAdeMO και το Combined Charging Standard (CCS). Το γεγονός αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στους ακόλουθους παράγοντες:

1. Τόσο τα ηλεκτρικά οχήματα όσο και τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι συστήματα τα οποία λειτουργούν εγγενώς με συνεχές ρεύμα (DC).
2. Το smart charging των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) είναι εφικτό, επιτρέποντας τη ρύθμιση της ισχύος φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων με την πάροδο του χρόνου.
3. Το συνεχές ρεύμα DC διευκολύνει το πρωτόκολλο Vehicle-to-Grid (V2G)

2.4 Σχεδιασμός σταθμού φόρτισης EV που τροφοδοτείται από ηλιακή ενέργεια.

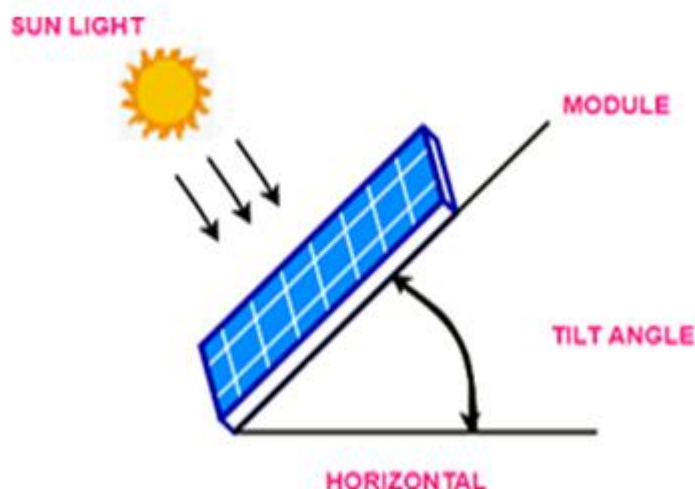
2.4.1 Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια

Ο ήλιος είναι ο βασικότερος αστέρας του ηλιακού - πλανητικού συστήματος στο οποίο ανήκει η Γη. Με τον όρο ηλιακή ακτινοβολία ή ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται η ακτινοβολία ή η ενέργεια την οποία δέχεται ο κάθε πλανήτης από τον ήλιο. Οι δύο βασικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ηλιακή εκπομπή στην επιφάνεια του εδάφους είναι η άμεση πηγή ηλιακού φωτός χωρίς καμία διάχυση, δηλαδή η δέσμη η οποία παράγεται από την ηλιακή εκπομπή και η διάσπαρτη ηλιακή εκπομπή η οποία και προκαλείται από ατμοσφαιρικές ανωμαλίες.



Εικόνα 6: Γεωμετρία ήλιου- γης.

Η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας η οποία προσπίπτει σε ένα ηλιακό πάνελ καθορίζεται αποκλειστικά από δύο παράγοντες, την κεκλιμενη ηλιακή ακτινοβολία και τη γωνία κλίσης η οποία σχηματίζεται μεταξύ του ήλιου και του πανελ. Στη συνέχεια, η Εικόνα 7 απεικονίζει τη γωνία κλίσης για ένα ηλιακό πάνελ. Η γωνία κλίσης θα πρέπει να ρυθμίζεται τακτικά έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη παραγωγή ισχύος [13].

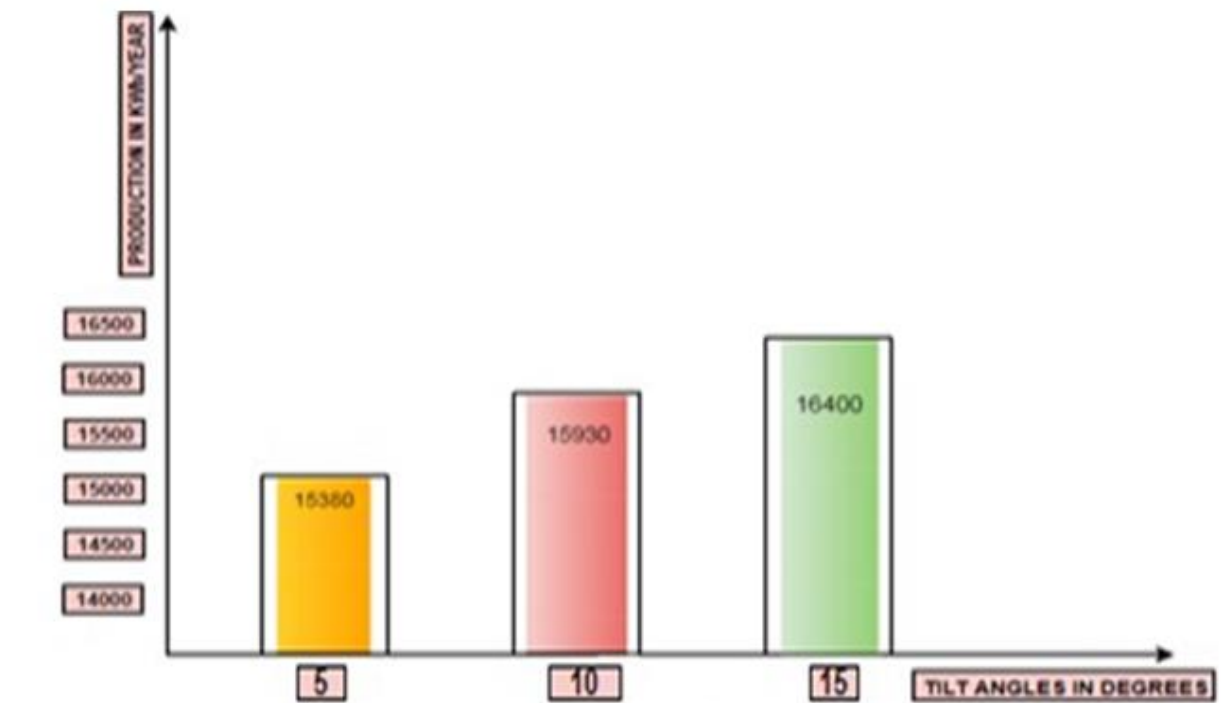


Εικόνα 7: Γωνία κλίσης σε ηλιακό πάνελ.

2.4.2 Εκτίμηση Παραγωγής Ενέργειας σε Διάφορες Γωνίες Κλίσης

Η καθημερινή παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με τη χρήση συστοιχίας ηλιακών φωτοβολταϊκών πάνελ, εξαρτάται αποκλειστικά από την ηλιακή εκπομπή ή αλλιώς την ηλιακή ακτινοβολία και τη γωνία κλίσης του ηλιακού πάνελ. Αυτοί οι δύο παράγοντες είναι καθοριστικοί για την απόδοση της εκάστοτε εγκατάστασης. Η αρχική κρίσιμη γωνία η οποία σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου και του ηλιακού πάνελ είναι η γωνία αζιμουθίου.

Η γωνία του αζιμουθίου μπορεί να καθορίζει τα κύρια σημεία στα οποία προορίζεται να προσπίψει το ηλιακό φως. Η γωνία αζιμουθίου ακολουθεί μια βασική διαδρομή, όπου η θέση του Βορρά βρίσκεται στις 0° και η θέση του Νότου στις 180° . Η άλλη σημαντική γωνία είναι γνωστή ως γωνία κλίσης, η οποία δείχνει την κλίση ή αλλιώς τον προσανατολισμό της συστοιχίας. Το διάγραμμα στην Εικόνα 8 απεικονίζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μια συστοιχία φωτοβολταϊκών πάνελ ισχύος 10 kW για διάφορες γωνίες κλίσης, ενώ στην Εικόνα 9 παρουσιάζεται η ποσοστιαία απώλεια ακτινοβολίας ανάλογα πάλι με τη γωνία κλίσης και τη γωνία αζιμουθίου.



Εικόνα 8: Παραγωγή ισχύος για διαφορετικές γωνίες κλίσης.

	Απώλεια ακτινοβολίας (%) συγκριτικά με το ετήσιο μέγιστο										
Κλίση Φ/Β Πάνελ (μοίρες)	90°	41.7	42.5	41.0	41.2	40.3	41.1	41.4	43.5	45.3	48.3
	80°	30.7	30.6	30.6	30.6	31.1	31.9	33.5	35.6	38.2	41.5
	70°	20.6	20.7	20.9	21.5	22.4	23.9	25.9	28.4	31.6	35.3
	60°	12.2	12.4	12.9	13.7	15.1	16.9	19.2	22.2	25.6	29.4
	50°	5.7	6.1	6.5	7.8	9.2	11.2	13.9	16.7	20.1	24.0
	40°	1.6	1.8	2.6	3.6	5.2	7.3	9.6	12.5	15.7	19.3
	30°	0.0	0.1	0.7	1.8	3.2	5.0	7.1	9.6	12.3	15.3
	20°	0.7	0.8	1.3	2.1	3.2	4.6	6.2	8.0	10.1	12.2
	10°	3.8	3.9	4.2	4.6	5.3	6.1	6.9	7.9	9.0	10.1
	0°	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4
Αζιμούθιο (μοίρες)	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	-50°	-60°	-70°	-80°	-90°	

Εικόνα 9: Η ποσοστιαία απώλεια ακτινοβολίας ανάλογα πάλι με τη γωνία κλίσης και τη γωνία αζιμουθίου.

Για να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο της κλίσης του εκάστοτε ηλιακού συλλέκτη, θα πρέπει στον υπολογισμό αυτό να συμπεριληφθούν συγκεκριμένοι ανηγμένοι συντελεστές, οι οποίοι για παράδειγμα είναι διαφορετικοί για κάθε νομό της χώρας. Η ολική ηλιακή ακτινοβολία, την οποία δέχεται ένας συλλέκτης ο οποίος είναι κατάλληλα τοποθετημένος με συγκεκριμένη κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, αποτελείται από τρεις διαφορετικές συνιστώσες.

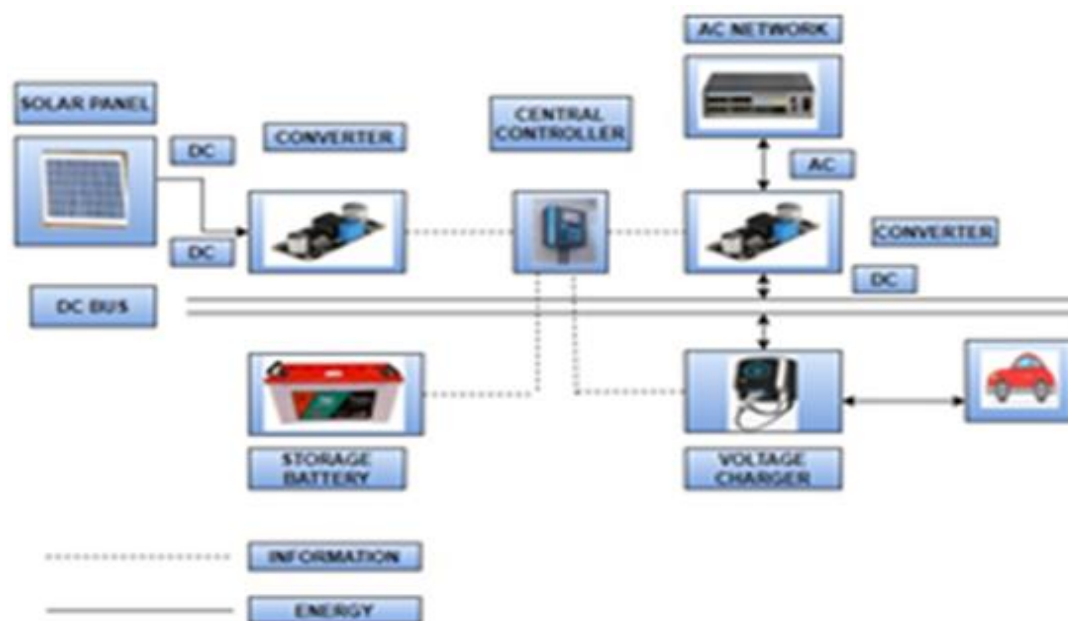
Η πρώτη συνιστώσα είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η ηλιακή ακτινοβολία η οποία και προέρχεται απευθείας από τον ήλιο και εξαρτάται κατά ένα μεγάλο βαθμό από τη γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων του ηλίου. Η δεύτερη συνιστώσα είναι η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, η οποία και πηγάζει από το μέρος εκείνο της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο και διαχέεται μέσω μικρών σωματιδίων και μορίων αέρα σε ακανόνιστες διευθύνσεις. Η τρίτη συνιστώσα είναι η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, η οποία και προέρχεται από το έδαφος της γύρω περιοχής. Η ανακλώμενη ακτινοβολία εξαρτάται από τα μορφολογικά στοιχεία του εδάφους της γύρω περιοχής και σχετίζεται με ένα συντελεστή ανάκλασης ο οποίος παίρνει τιμές από 0,05 για τις περιοχές με ασφαλτο έως και 0,95 για τις περιοχές οι οποίες έχουν χιόνι.

2.4.3 Μπαταρία αποθήκευσης και ελεγκτής

Οι μπαταρίες οι οποίες είναι σχεδιασμένες να αποθηκεύουν την ενέργεια η οποία προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία, με την κατάλληλη επιλογή, είναι απαραίτητο να μπορούν να ικανοποιούν τις εκάστοτε απαιτήσεις του ηλεκτρικού δικτύου, αλλά και να μπορούν να παρέχουν τη δυνατότητα φόρτισης και εκφόρτισης. Στο εμπόριο, κυκλοφορούν διάφοροι τύποι μπαταριών οι οποίες είναι

κατάλληλα σχεδιασμένες ούτως ώστε να ικανοποιούν τις αντίστοιχες απαιτήσεις της υπό μελέτης εγκατάστασης.

Οι μπαταρίες οι οποίες και χρησιμοποιούνται συνήθως στα φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι μπαταρίες μολύβδου -θειϊκού οξέος βαθειάς εκφόρτισης, καθώς και μπαταρίες λιθίου. Προκειμένου να μπορέσει να αποθηκευτεί το τυχόν πλεόνασμα της ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένας mid- controller ελεγκτής, ο οποίος θα καταφέρει να ανακατευθύνει την περίσσεια ποσότητα ενέργειας στην μπαταρία, όπως φαίνεται στην εικόνα 10.



Εικόνα 10: Πλαίσιο φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος.

3. Αρχιτεκτονική του EV-PV συστήματος

Ένας φορτιστής EV-PV περιλαμβάνει το Φ/Β σύστημα, τον εξοπλισμό των ηλεκτρικών οχημάτων (EVSE) και το δίκτυο, έχοντας ως βασικό του στόχο την άμεση φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος με τη χρήση της ενέργειας η οποία προέρχεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ της εγκατάστασης. Το σύστημα φόρτισης DC link χρησιμοποιεί το σύστημα CHAdeMO και το Combined Charging Standard (CCS) στην Ευρώπη. Αυτό θα μπορεί να επιτρέψει την δυναμική αλλά και την ταχεία φόρτιση και τη συμβατότητα της τεχνολογίας V2X στο μέλλον [14], [15].

Με τον όρο δυναμική φόρτιση, περιγράφεται η διαδικασία χρήσης μεταβαλλόμενης ισχύος φόρτισης ή η διαδικασία τροποποίησης του εύρους της ισχύος φόρτισης για μια μεγάλη χρονική περίοδο. Κατά συνέπεια, η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων θα έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί με μεγάλη

ακρίβεια την εκάστοτε παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος μέσω της χρήσης της ηλιακής ενέργειας. Υπάρχουν δύο διαφορετικές διαμορφώσεις συστημάτων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συμπεριλάβουν τα ηλεκτρικά οχήματα (EV), τα φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα καθώς και το ηλεκτρικό δίκτυο [16]:

1. Τα συστήματα EV, PV και Grid ενοποιούνται σε έναν ενιαίο μετατροπέα πολλαπλών θυρών (MPC).
2. Οι μετατροπείς ισχύος Grid Network, Φωτοβολταϊκών (PV) και Ηλεκτρικών Οχημάτων (EV) οι οποίοι και συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός κοινού διαύλου συνεχούς ρεύματος (DC).

Η ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια κατανέμεται μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και η ισχύς ανταλλάσσεται μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και του δικτύου χρησιμοποιώντας έναν κοινόχρηστο δίαυλο. Η σχεδίαση του συστήματος μπορεί να ποικίλλει μεταξύ των διαθέσιμων εκδόσεων, ανάλογα με το αν ο δίαυλος της διασύνδεσης λειτουργεί σε AC ή σε DC δίκτυο (1 230V 50Hz ή 3 400V, 50Hz), χρησιμοποιώντας τις δύο διατάξεις συστήματος που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

3.1 Μετατροπείς PV και EV είναι ανεξάρτητα συνδεδεμένοι στο δίκτυο AC.

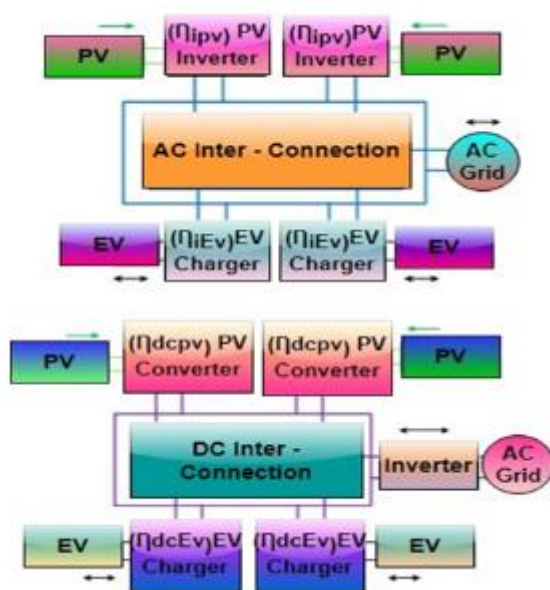
Το σχηματικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής της προαναφερθείσας περίπτωσης 1, απεικονίζεται στην Εικόνα 3.1. Η διαχείριση των ηλιακών φωτοβολταϊκών συλλεκτών και της διαδικασίας της φόρτισης και της εκφόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, πραγματοποιείται με τη βοήθεια συγκεκριμένων διακριτών μετατροπέων. Ένας μετατροπέας σε φωτοβολταϊκά συστήματα, λειτουργεί ως μετατροπέας DC / AC με ταυτόχρονη παρακολούθηση του σημείου της μέγιστης ισχύος (MPPT), ενώ ο φορτιστής του ηλεκτρικού οχήματος λειτουργεί μόνο ως μετατροπέας AC / DC.

Η θεμελιώδης δομή της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής βασίζεται στο υπάρχον δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος και συχνότητας 50 Hz, το οποίο λειτουργεί ως μονοπάτι για τη μετάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, ένα βασικό μειονέκτημα της περίπτωσης αυτής είναι ότι το ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο προέρχεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, δεν γίνεται να χρησιμοποιηθεί απευθείας για τη διαδικασία της φόρτισης ενός ηλεκτρικού οχήματος (EV) με τη μορφή του συνεχούς ρεύματος (DC). Το πρόβλημα αυτό έρχεται να λύσει ένας μετατροπέας.

3.2 Μετατροπείς PV EV ανεξάρτητα συνδεδεμένοι στο DC (micro) grid

Η δομή του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού για την αρχιτεκτονική 2 που αναφέρθηκε προηγουμένως, απεικονίζεται στην Εικόνα 11 Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται ένα Δίκτυο Grid (micro) DC για τη συνδεσιμότητα μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος, των φωτοβολταϊκών πλαισίων και του ηλεκτρικού δικτύου.

Και οι δύο μετατροπείς είναι μετατροπείς DC / DC κατάλληλα εξοπλισμένοι με την τεχνολογία MPPT και με αυξημένες δυνατότητες διαχείρισης της φόρτισης. Η σύνδεση του διαύλου DC επιτρέπει την άμεση χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας PV DC για τη φόρτιση EV DC, οδηγώντας με τον τρόπο αυτό σε βελτιωμένη απόδοση του συστήματος [17] –[19]. Ο εγκατεστημένος μετατροπέας mid-inverter, ο οποίος συνδέει τα δίκτυα AC και DC, επιτρέπει τη λειτουργία της τεχνολογίας Vehicle-to-Grid (V2G). Με τον τρόπο αυτό, διευκολύνεται η μεταφορά της ενέργειας μεταξύ των φωτοβολταϊκών συστημάτων και της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Το βασικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής είναι η απαιτούμενη χρήση ενός microgrid συνεχούς ρεύματος (DC).



Εικόνα 11: Αρχιτεκτονική 1 (πάνω) και 2 (κάτω).

3.3 Ένας μετατροπέας πολλαπλών θυρών συνδεδεμένος AC που ενσωματώνει PV, Grid, EV

Στην Εικόνα 12.α, απεικονίζεται το σχηματικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής 3. Στην περίπτωση

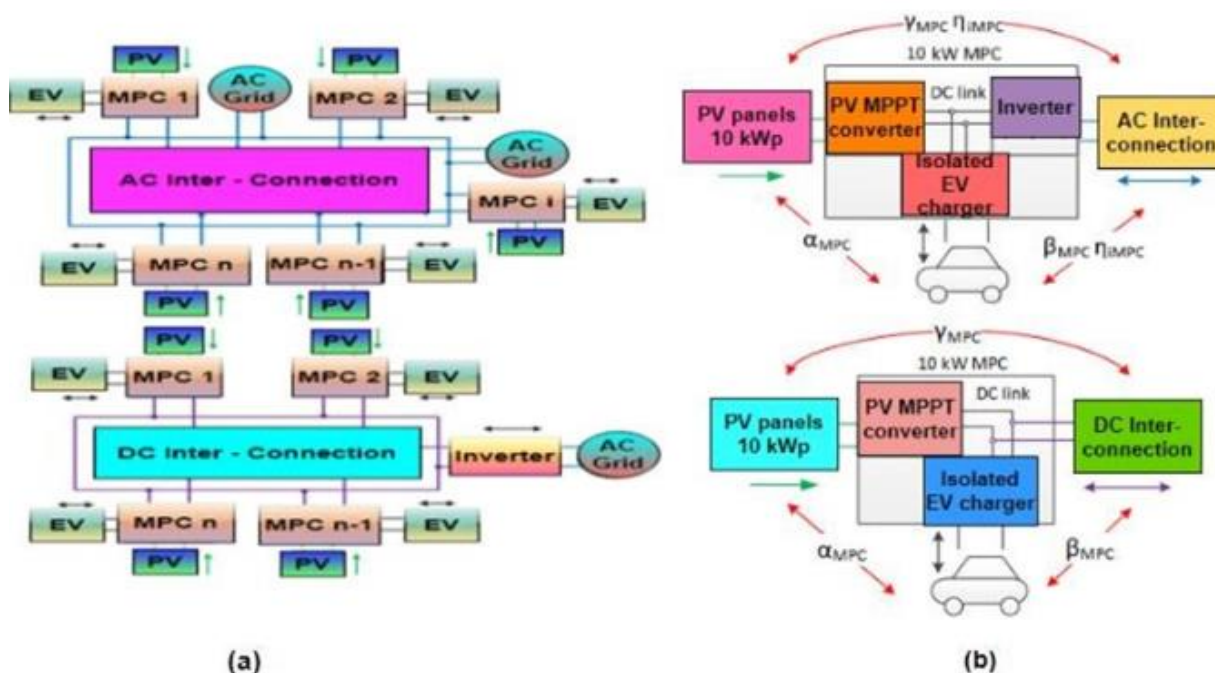
αυτή, το σύστημα χρησιμοποιεί ένα μετατροπέα πολλαπλών θυρών (MPC) όπως φαίνεται συγκεκριμένα στην Εικόνα 12.β. Ο μετατροπέας πολλαπλών θυρών, καταφέρει να δημιουργεί μια σύνδεση μεταξύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, του ηλεκτρικού οχήματος και του network grid (AC) χρησιμοποιώντας μια σύνδεση mid-DC. Το δίκτυο AC χρησιμεύει ως μέσο διασύνδεσης μεταξύ των πολλαπλών MPC.

Η ενσωμάτωση των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος PV, EV και network grid σε ένα ενιαίο MPC οδηγεί το σύστημα σε υψηλότερη πυκνότητα ισχύος, σε μειωμένο κόστος αλλά και σε απλοποιημένο έλεγχο [20], [21]. Ο ελεγκτής MPC είναι σε θέση να μπορεί να διαχειριστεί αποτελεσματικά τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων χρησιμοποιώντας ισχύ η οποία παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ωστόσο, στις δύο προηγούμενες αρχιτεκτονικές, ήταν απαραίτητο να δημιουργηθεί ένα ξεχωριστό σύστημα επικοινωνίας μεταξύ του φωτοβολταϊκού μετατροπέα (inverter) και του μετατροπέα EV. Ο μόνος περιορισμός ο οποίος προκύπτει είναι ότι η ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια DC Link η οποία παράγεται από έναν τύπο MPC δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για τη φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος ενός άλλου MPC χωρίς να μετατραπεί πρώτα σε AC και να τροφοδοτηθεί στο Grid AC.

3.4 Μετατροπέας πολλαπλών θυρών (MPC) που συνδέει το PV, EV ,Grid (microgrid DC)

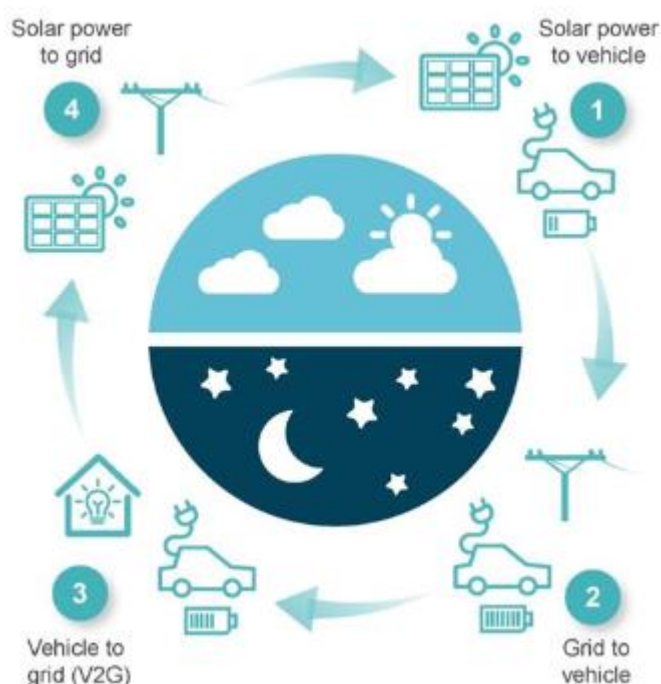
Το διάγραμμα το οποίο αντιπροσωπεύει την αρχιτεκτονική 4, η οποία ουσιαστικά συνδυάζει τις προηγούμενες αρχιτεκτονικές 2 και 3, απεικονίζεται στο Εικόνα. 12.α. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία και το ηλεκτρικό όχημα, συνδέονται μέσω ενός μετατροπέα πολλαπλών θυρών. Η χρήση αυτού μόνο του μετατροπέα είναι αρκετά πιο συμφέρουσα από τη χρήση των πολλαπλών μικρών μετατροπέων ενσωματωμένων στο MPC στην αρχιτεκτονική 3.



Εικόνα 12: Διάφορες αρχιτεκτονικές συστημάτων.

3.5 Ροές ισχύος EV- PV

Το σύστημα φόρτισης EV-PV που χρησιμοποιεί μετατροπείς πολλαπλών θυρών ή χωριστούς μετατροπείς μπορεί να έχει τέσσερις διακριτές ροές ισχύος, οι οποίες και αναφέρονται ως EVPV Model 1 έως 4, όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13: Πιθανοί τρόποι ροής ισχύος σε ένα σύστημα EV-PV

Όπως λοιπόν απεικονίζεται και στο παραπάνω σχήμα, υπάρχουν τέσσερις δυνατότητες ροής ισχύος σε ένα σύστημα EV-PV.

- ✓ · Το Mode 1, περιλαμβάνει ρεύμα το οποίο ρέει από το φωτοβολταϊκό σύστημα στο ηλεκτρικό όχημα.
- ✓ Το Mode 2 περιλαμβάνει τη μεταφορά ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο σε ηλεκτρικά οχήματα
- ✓ Το Mode 3 περιλαμβάνει τη μεταφορά ενέργειας από τα ηλεκτρικά οχήματα πίσω στο ηλεκτρικό δίκτυο και
- ✓ · Το Mode 4 περιλαμβάνει τη μεταφορά ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα στο ηλεκτρικό δίκτυο.

3.6 Ανάλυση Σύγκρισης Αρχιτεκτονικών Συστήματος

Η υλοποίηση των αρχιτεκτονικών 2 και 4 οι οποίες παρουσιάστηκαν προηγουμένως, παρεμποδίζονται εξαιτίας της απαίτησης που έχουν για κατασκευή ενός χωριστού δικτύου DC και για τη δημιουργία των αντίστοιχων συστημάτων διαχείρισης αλλά και συστημάτων ασφάλειας. Η απευθείας χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας PV DC για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων σε ένα MPC, έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη βελτιωμένη πυκνότητα της ενέργειας καθώς και μειωμένες μέγιστες απώλειες, όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα .

Από τα στοιχεία του Πίνακα, είναι εμφανές ότι ο σχεδιασμός 3 μπορεί να προσφέρει πολλά περισσότερα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις άλλες αρχιτεκτονικές. Αυτά περιλαμβάνουν την απαίτηση για ένα MPC, τη σύνδεση DC μεταξύ EV και PV, ειδικά σε απευθείας λειτουργία, μια απλή μέθοδο ελέγχου και τη δυνατότητα της σύνδεσης πολλαπλών φορτιστών EV-PV στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο AC. Η Αρχιτεκτονική 3 είναι ανώτερη από τις άλλες αρχιτεκτονικές δηλαδή όσον αφορά την ποιοτική σύγκριση μεταξύ τους.

	ARCHI1	ARCHI2	ARCHI3	ARCHI4
DC (micro)grid structure	LOW	HIGH	LOW	HIGH
DC(micro) grid security and control	LOW	HIGH	LOW	HIGH
Direct correlation of EV and PVDC electricity results in increased efficiency (with NO AC conversion)	LOW	HIGH	HIGH	HIGH
Potential of charging EVs directly utilizing PVDC electricity between several EV-PV chargers	LOW	HIGH	LOW	HIGH
Because of MPC, there is a higher power density and a lower cost.	LOW	LOW	HIGH	HIGH
Controlling EV charging using a solar panel with minimal communication infrastructure is simple.	LOW	LOW	HIGH	HIGH

Πίνακας 2 Ανάλυση για τη σύγκριση διαφορετικών αρχιτεκτονικών συστημάτων EV-PV σε κλίμακα. Η ανάλυση εξετάζει επίσης τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε αρχιτεκτονικής.

4. Ανάλυση και σύγκριση τοπολογιών μετατροπών ισχύος για φορτιστές EV-PV.

Το ζήτημα της ελαχιστοποίησης του αριθμού των ενδιάμεσων βημάτων για τη μετατροπή της ενέργειας μεταξύ των ηλιακών φωτοβολταϊκών πλαισίων και των ηλεκτρικών οχημάτων, είναι ένα ζήτημα ζωτικής σημασίας κατά τη διαδικασία σχεδιασμού ενός φορτιστή EV-PV υψηλής απόδοσης. Μια ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδος για να επιτευχθεί αυτό το ζητούμενο, είναι μέσω της σύνδεσης του συνεχούς ρεύματος (DC) μεταξύ των φωτοβολταϊκών (PV) συστημάτων και των ηλεκτρικών οχημάτων (EV).

Τα πρότυπα φόρτισης EV [14], [15], απαιτούν από τον φορτιστή του εκάστοτε ηλεκτρικού οχήματος να έχει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή για τον έλεγχο της φόρτισής τους χρησιμοποιώντας τόσο το ηλιακό πάνελ όσο και το ηλεκτρικό δίκτυο. Η συμπερίληψη ενός φορτιστή ηλεκτρικού οχήματος (EV) ο οποίος θα υποστηρίζει την αμφίδρομη φόρτιση, διευκολύνει ιδιαίτερα την ευρύτερη υιοθέτηση της τεχνολογίας από το όχημα στο δίκτυο (V2G). Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τα συγκριτικά ευρήματα των φορτιστών EV-PV τα οποία και παρουσιάστηκαν προηγουμένως, εστιάζοντας σε διάφορες πτυχές, όπως είναι για παράδειγμα ο σχεδιασμός του συστήματος, οι ονομαστικές ισχύεις EV και PV, η απομόνωση του φορτιστή του EV, οι δυνατότητες αμφίδρομης ροής της ισχύος και τέλος, η τοπολογία του μετατροπέα ισχύος.

Η έρευνα για τους φορτιστές EV-PV έχει επικεντρωθεί πλήρως και στις τέσσερις πιθανές αρχιτεκτονικές, όπως καταδεικνύεται από το Πίνακα 3. Στην περίπτωση της αρχιτεκτονικής 1, τα κοινά χρησιμοποιούμενα πρότυπα περιλαμβάνουν αυτά τα οποία και βρίσκονται στους εμπορικά διαθέσιμους φορτιστές AC Electric Vehicle και στους ηλιακούς μετατροπείς των φωτοβολταϊκών πάνελ. Αυτή η θεμελιώδης αρχιτεκτονική χρησιμοποιείται σε πολυάριθμους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων τα οποία και φορτίζονται με τη βοήθεια των φωτοβολταϊκών συστημάτων και είναι προσβάσιμα στο κοινό, όπως αποδεικνύεται από τις παραπομπές [24] και [25]. Η αρχιτεκτονική 4 έχει μικρότερη σημασία και βαρύτητα, λόγω της χρήσης ενός μελλοντικού πλέγματος DC. Η χρήση της αρχιτεκτονικής 4 εξαρτάται έμμεσα από τις απαιτήσεις των [20], [21], όπου χρησιμοποιείται ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα για να επιτευχθεί η επαναφόρτιση των μπαταριών.

Η θύρα του φορτίου DC του μετατροπέα που αναφέρεται στις παραπομπές [20] και [21] μπορεί να συνδεθεί σε ένα δίκτυο μεσαίου DC. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ένας ξεχωριστός μετατροπέας DC για το φορτιστή της μπαταρίας, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σκοπό να ενεργοποιήσει τη φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος. Ένας μετατροπέας buck ή boost είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη αρχιτεκτονική για τους μετατροπείς των φωτοβολταϊκών και τους εκάστοτε φορτιστές EV.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, με εξαίρεση τα σχέδια [28]-[30], κανένα από τα δύο δεν έχει ενσωματώσει έναν ξεχωριστό αμφίδρομο φορτιστή ηλεκτρικού οχήματος. Η πλειονότητα των ερευνητικών προσπαθειών, με εξαίρεση τα [28] -[30]- [37], έχουν παραβλέψει τα κριτήρια τα οποία είναι απαραίτητα για την απομόνωση των ηλεκτρικών οχημάτων (Evs). Η απομόνωση στις

περιπτώσεις [28] και [37] είναι αποτέλεσμα της χρήσης ενός μετασχηματιστή air-core για την ανέπαφη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.

Archite- cture	PV-EVpower (kw)	EVisolation/Bidirectional charging		Design & Topology for power converter	paper
1	[2.0 , 2.3]	-	-	The inverter is a standard 93% efficient PV inverter. The charger is a standard electrical AC EV charger	{22}
1	[2,-]	-	-	EV charging station with on-site storage	{23}
1	[51.4, 3.7]	-	-	SMA sunny boysolar PV inverters and standardized electrical AC EV chargers are employed	{24}
1	[46,-]	-	-	Solar PV inverters and standard AC EV chargers wereused	{25}
2	[4x1.4, 2x6]	low	low	PV powered EV charging through Direct DC. On a 210V DCbus, a ZVT-PWM buck converter for PV EV, as well as a distinct 5kw inverter & 8kw rectifier for the grid network are all interconnected. When compared to arch1, efficiency increased up to 5%	{17,18}
2	[100,-]	-	-	Direct DC charging of an electric vehicle from a solar panel utilization using a common DC bus	{26.27}
2	[-,3]	high	high	For EVs 3k bidirectional contactless charging is available. Because of the air-core transformer employed there is inherent isolation	{28}
2	[9.8, 10}	low	-	A shared DC-link connects the batteries and the Ev. PV is connected to DC-link via buck converter with MPPT	{29}
4	-	low	high	PV, battery and load are all connected by a 3port converter. The load has been isolated. Designed for use in the charging of batteries(not only for evs)	{21}
4	-	low	high	PV, battery, wind and a 4port load converter. The load has benn isolated.designed for use in the charging of batteries (not only for evs)	{20}
4	-	high	high	By enhancing a high frequency AC transformer link, a 3port isolated DC-DC-DC converter is created	{36}4
3	[2,2]	low	high	With a 350V DC link and 3 grid connections, this is a qua-Z- source inverter. Convertor for charhing batteries (not for ev)	{32}

3	[5.5,4.5]	low	low	MPC is made up of a boost converter after PV, a 1phase H-bridge inverter for the network grid and a buck converter for the EV, all of which are interconnected by a 400V DC link.	{33,34}
3	[-,10]	low	high	Charge a EV with a Z-source sonverter	[35]

Πίνακας 3 Ανάλυση της διάταξης του φορτιστή EV, της τοπολογίας και της αρχιτεκτονικής του συστήματος

5. Βελτιστοποίηση φόρτισης EV με χρήση φωτοβολταϊκών και του δικτύου

Έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες με σκοπό να εξεταστούν τα πλεονεκτήματα ενός σταθμού φόρτισης με φωτοβολταϊκά πάνελ για τα ηλεκτρικά οχήματα. Η αναφορά [38] καταδεικνύει τα πλεονεκτήματα της χρήσης της φωτοβολταϊκών για την έναρξη της διαδικασίας της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) και ποσοτικοποιεί τη σημαντική συμβολή της χρήσης αυτής στη βελτιωμένη ολοκλήρωση μεταξύ των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των ηλεκτρικών οχημάτων. Επιπλέον, τα οχήματα μπορούν να βοηθήσουν στη ελάττωση των δυσμενών επιπτώσεων της τυχόν πλεονάζουσας παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα [39].

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποδεικνύονται λοιπόν σημαντικά πιο οικονομικά και έχουν μειωμένο αποτύπωμα άνθρακα σε σύγκριση με τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων απευθείας από το ηλεκτρικό δίκτυο. Μια συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης η οποία πραγματοποιήθηκε στην παραπομπή [41], συγκρίνει διαφορετικούς μηχανισμούς φόρτισης EV. Η μελέτη αυτή, καταλήγει με ασφάλεια στο συμπέρασμα ότι το συνδεδεμένο στο δίκτυο Φ/Β σύστημα είναι σαφώς ανώτερο από τις υπόλοιπες μεθόδους φόρτισης. Οι ερευνητές στην αναφορά [42] διευκρινίζουν ότι η χρήση των ηλιακών φωτοβολταϊκών πάνελ και των ηλεκτρικών αυτοκινήτων ως ένα σύστημα τεχνολογίας αποθήκευσης της ενέργειας έχει ως βασικό στόχο τη μείωση της μέγιστης χωρητικότητας του φορτίου του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου.

Αυτή η μελέτη λοιπόν όπως προειπώθηκε, καταδεικνύει ότι η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων με βάση τα φωτοβολταϊκά πάνελ υπερέχει από τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων η οποία βασίζεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Υπάρχει πληθώρα βιβλιογραφίας διαθέσιμη για τις διαφορετικές μεθόδους φόρτισης για την κατάδειξη των διαφόρων οικονομικών αλλά και κοινωνικοοικονομικών στόχων. Οι κύριες έξυπνες επαναφορτιζόμενες τάσεις οι οποίες λειτουργούν για το ενσωματωμένο στο δίκτυο σύστημα EVPV περιγράφονται λεπτομερώς στον Πίνακα 4

References	Objectives	Model of optimization	Implementation of Software	Important Conclusions
------------	------------	-----------------------	----------------------------	-----------------------

[38]	Valley filling and peak shaving	Linear programming formulation	MATLAB Programming	The suggested algorithm's efficiency is dependent on a wide amount of possible parking spaces.
[39]	Profit potential and PV consumption	Linear Programming formulation in Multiple Integers	GAMS Programming	V2G is not economically viable due to the cost of battery degradation unless there is a high level of PV production.
[40]	System cost reduction	Linear Mixture Programming	CPLEX Programming	Smart charging has the potential to save you money. charging and PV operational expenses parking lot owner's usage
[41]	lowering the cost of charging	Fuzzy logical system	MATLAB Programming	Because the algorithm is not based on optimization, it aims to achieve several goals: deduction in charging costs and system losses, and improvement level in voltage profile.
[42]	Increasing PV consumption	Met heuristic	MATLAB	The suggested heuristic algorithm produced the best goals at a low operating complexity without the need for forecasting unknown parameters.

Πίνακας 4 Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για την έξυπνη φόρτιση συστημάτων EV-PV που συνδέονται με το δίκτυο

5.1 Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος

Ένας σταθμός φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος (EVCS) αποτελεί μια καθορισμένη εγκατάσταση, η οποία και είναι εξοπλισμένη με τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας, τις κατάλληλες συσκευές παρακολούθησης καθώς και τα απαιτούμενα συστήματα μετατροπών, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η πιο αποτελεσματική φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Θα πρέπει παράλληλα η εγκατάσταση αυτή να είναι κατάλληλα σχεδιασμένη έτσι ώστε να μπορεί να παρέχει υψηλά επίπεδα ρεύματος και τάσης για τη γρήγορη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Παρακάτω, παρατίθενται μερικοί από τους θεμελιώδεις όρους οι οποίοι και σχετίζονται με τους σταθμούς φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων.

5.1.1 Διάφορες Κατηγορίες Σταθμών Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων

5.1.1.1 Σταθμός φόρτισης οικιακών ηλεκτρικών οχημάτων

Η κατασκευή σταθμών φόρτισης οικιακών οχημάτων είναι μια διαδικασία η οποία είναι εξέχουσας σημασίας στην σημερινή εποχή στην οποία η τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης γίνεται όλο και πιο δημοφιλής. Η ύπαρξη τέτοιων σταθμών φόρτισης, θα οδηγούσε σε σημαντική μείωση της πίεσης στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο η οποία προκαλείται στην περίπτωση που η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι αρκετά υψηλή. Η φόρτιση των αυτοκινήτων στον οικιακό χώρο του κάθε χρήστη μπορεί να επιτευχθεί με τη μείωση της ροής ρεύματος από το network grid DC. Αυτό βοηθά το δίκτυο DC να καλύψει την αυξημένη ζήτηση ισχύος κατά τις ώρες αιχμής.

Επιπλέον, σύμφωνα με την παραπομπή [43], η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι μια αρκετά πιο οικονομική επιλογή για τον χρήστη και έχει τον μικρότερο αντίκτυπο στο ηλεκτρικό δίκτυο. Κατά τις ώρες αιχμής του βασικού φορτίου, η νυχτερινή φόρτιση των οχημάτων ουσιαστικά μειώνει τη ζήτηση του φορτίου στο ηλεκτρικό δίκτυο και κατά συνέπεια οδηγεί σε χαμηλότερο κόστος ισχύος ανά μονάδα ισχύος. Ο Πίνακας 5 δείχνει ότι η φόρτιση στο level 1 σε έναν οικιακό σταθμό φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος μπορεί να φορτίσει αποτελεσματικά οχήματα εντός χρονικού πλαισίου το οποίο κυμαίνεται από 7 έως και 8 ώρες.

5.1.1.2 Σταθμός φόρτισης βάσει στάθμευσης

Η φόρτιση ενός ηλεκτρικού οχήματος έχει συγκεκριμένες χρονικές απαιτήσεις. Για να μη λειτουργήσει ο χρόνος αυτός επιβαρυντικά για το ημερήσιο πρόγραμμα του εκάστοτε χρήστη, θα μπορούσε να γίνει η εκμετάλλευση του χρόνου κατά τον οποίο το εκάστοτε όχημα είναι σταθμευμένο ούτως ώστε να πραγματοποιείται τότε η διαδικασία της φόρτισης. Επιπλέον, σύμφωνα με την National Household Travel Survey, τα οχήματα γενικά είναι σταθμευμένα στη δουλειά του κάθε ατόμου κατά μέσο όρο σχεδόν πέντε ώρες την ημέρα [44]. Εκτός από τους χώρους εργασίας, αυτή η υπηρεσία θα ήταν ωφέλιμο να είναι προσβάσιμη σε εστιατόρια, σε εμπορικά κέντρα, σε βιβλιοθήκες καθώς και σε άλλες εγκαταστάσεις οι οποίες συμμορφώνονται με τους απαραίτητους κανονισμούς υποδομής.

Η μετατροπή υφιστάμενων χώρων στάθμευσης σε έξυπνους χώρους στάθμευσης οι οποίοι θα λειτουργούν με χρέωση και θα συμπεριλαμβάνουν και τη χρέωση για τη χρήση σύνδεσης στο διαδίκτυο θα ήταν μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση [45]. Η φόρτιση level 2, η οποία περιλαμβάνει τόσο μονοφασικές όσο και τριφασικές υποδοχές, χρησιμοποιείται συχνά σε αυτές τις συγκεκριμένες θέσεις [46].

5.1.1.3. Σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων

Οι δημόσιοι σταθμοί φόρτισης είναι προσβάσιμοι σε όλους τους χρήστες και μάλιστα προσφέρονται για την ταχεία φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων, σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους φόρτισης που απαιτούν πολύ περισσότερο χρόνο για την πλήρη φόρτιση μιας μπαταρίας. Η γρήγορη φόρτιση μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση διαφορετικών τοπολογιών φόρτισης αλλά και διαμορφώσεων ταχέων φορτιστών. Ένας σταθμός φόρτισης αποτελείται συνήθως από έναν μετατροπέα AC-DC στο μπροστινό του άκρο και έναν μετατροπέα DC-DC στο πίσω του άκρο. Και οι δύο μετατροπείς συνδέονται μέσω ενός πυκνωτή σύνδεσης συνεχούς ρεύματος (DC) [47].

5.1.1.4 Σταθμός ανταλλαγής μπαταριών

Για να αντιμετωπιστεί επιτυχώς το πρόβλημα της απαίτησης για μεγάλη χρονική διάρκεια της φόρτισης στα ηλεκτρικά οχήματα, αναπτύχθηκε ο Σταθμός Ανταλλαγής Μπαταριών (BSS). Σε ένα όχημα με σύστημα ανταλλαγής μπαταριών, μια πλήρως αφόρτιστη ή αδύναμη μπαταρία μπορεί να αντικατασταθεί αμέσως από μια άλλη, η οποία και θα είναι πλήρως φορτισμένη, ελαχιστοποιώντας έτσι τον χρόνο αναμονής για την επαναφόρτισή της. Επομένως, το Σύστημα Ανταλλαγής Μπαταρίας (BSS) μπορεί να διασφαλίζει τη μακροζωία της εκάστοτε μπαταρίας μέσω του Συστήματος Διαχείρισης Μπαταρίας (BMS) για την επίβλεψη αλλά και την αξιολόγηση της κατάστασής της. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει την αξιολόγηση τόσο της πυκνότητας ισχύος όσο και του επιπέδου της κατάστασης φόρτισης (SOC) της μπαταρίας [47]. Η τεχνολογία αυτή οδηγεί άμεσα στην υπέρβαση πολλών εμποδίων.

Ένα από τα πιο βασικά εμπόδια που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η ανάπτυξη των packs μπαταριών τα οποία θα μπορούν εύκολα και γρήγορα να αποσπαστούν από τα οχήματα και να επανασυνδεθούν. Ένα άλλο πρόβλημα το οποίο προκύπτει αφορά τη συμβατότητα των μπαταριών με διαφορετικές κατασκευαστικές εταιρίες. Οι κατασκευαστές θα έπρεπε να μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα ενιαίο πλαίσιο για να παράγουν εναλλάξιμα packs μπαταριών τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τα BSS όσο και για τα EV. Τέλος, το σύστημα αυτό αντιμετωπίζει επίσης προκλήσεις που σχετίζονται με την υποβάθμιση και την αυτονομία της μπαταρίας.

5.1.2 Επίπεδα φόρτισης

Τα διαφορετικά επίπεδα φόρτισης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5[48] με βάση τα διαφορετικά διεθνή

πρότυπα καθώς και τους εκάστοτε κανονισμούς οι οποίοι ισχύουν για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων.

5.1.3 Σύστημα φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος

Τα συστήματα φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες με γνώμονα τη μέθοδο της μετάδοσης της ενέργειας την οποία και χρησιμοποιούν. Η πρώτη κατηγορία είναι τα αγωγίμα ασύρματα συστήματα φόρτισης, και η δεύτερη κατηγορία τα επαγωγικά ασύρματα συστήματα φόρτισης.

5.1.3.1 Σύστημα ασύρματης φόρτισης με αγωγή τεχνολογία

Σε ένα αγωγίμο ασύρματο σύστημα φόρτισης, η διαδικασία της φόρτισης θα πρέπει να περιλαμβάνει τη χρήση ενός καλωδίου ή μιας σύνδεσης για την άμεση επαφή μεταξύ του οχήματος και του σταθμού φόρτισης. Επί του παρόντος, αυτή είναι η θεμελιώδης υποδομή ενός σταθμού φόρτισης. Η φόρτιση εντός ή εκτός του οχήματος είναι διαθέσιμη ανάλογα με το επίπεδο της φόρτισης. Αυτή η μέθοδος φόρτισης είναι εξαιρετικά αποδοτική και σχεδόν κάθε κατασκευαστής ηλεκτρικών οχημάτων μπορεί να την παρέχει. Τα Nissan Leaf, τα Chevrolet Volt, τα Mitsubishi i-MiEV και τα Tesla Roadster οχήματα είναι παραδείγματα οχημάτων τα οποία και χρησιμοποιούν τα λεγόμενα αγωγίμα συστήματα φόρτισης [48], [49].

Charging levels	Type of Phase Level	Type Of Charger	Usage And Location	Power(kW) and current(A)
Asper SAE standard for AC and DC charging				
Level1: Vac=220V (EU) Vac=130V(US)	Single	On board type	Residential and commercial facilities	1.5 kW/13 A, 1.8kW/20 A
Level2: Vac=400V (EU) Vac=220V(US)	Single/ three	On-board type	Both the public and private sectors	5kW/18 A, 6kW/33 A
Level3-Fast: Vac:=207- 600V	three	Off-board type	Fuel Station and Commercial	50 kW, 100 kW

Level of DC Power 1 : Vdc=220-450 V		Off board type	Stations for Specialized Charging	40 kW/80 A
Level of DC Power 2 : Vdc=220-400 V		Off board type	Stations for Specialized Charging	90kW/200A
Level of DC Power 3 : Vdc=220-600 V		Off board type	Stations for Specialized Charging	240 kW/400 A
Asper IEC standard for AC and DC charging				
Level of AC Power 1	Single	On-board type	Residential and commercial facilities	4-8.5kW/17 A
Level of AC Power 2	Three/single	On -board type	Public and Private	8-16kW/33 A
Level of AC Power 3	three	On-board type	Fuel Station and Commercial	60-120kW/250A
Dynamic DC Charging		Off-board type	Stations for Specialized Charging	1000-2000kW/400A
CHAdeMO Charging Standard				
Dynamic DC Charging		Off-board type	Stations for Specialized Charging	63.5kW/125A

Πίνακας 5: Επίπεδα φόρτισης

Η επαγωγική φόρτιση, η οποία αναφέρεται επίσης και με τον όρο ασύρματη φόρτιση, είναι μια καινοτόμος τεχνολογική πρόταση η οποία ουσιαστικά εξαλείφει την ανάγκη για τη φυσική επαφή ή για την αλληλεπίδραση μεταξύ του ηλεκτρικού οχήματος και του σταθμού φόρτισης. Η λειτουργία της επαγωγικής φόρτισης, βασίζεται στην αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, όπως αυτή εμφανίζεται και στο παράδειγμα των μετασχηματιστών 49 και 50. Η φόρτιση της ασύρματης μετάδοσης, μπορεί να καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος πηνίου και η απαιτούμενη ενέργεια για τη φόρτιση μεταδίδεται μέσω της ατμόσφαιρας με τη βοήθεια ενός μαγνητικού πεδίου.

Το μόνο μειονέκτημα της τεχνολογίας αυτής, είναι ότι παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερη απόδοση και μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα σε σύγκριση με την αγωγική φόρτιση, καθώς και υψηλότερο κόστος [48]. Παρόλα αυτά, δεν παύει να είναι μια βολική διαδικασία φόρτισης, χωρίς να χρειαστεί ο

χρήστης να εισάγει και να αφαιρεί το βύσμα του φορτιστή κάθε φορά. Τα αυτοκίνητα στην περίπτωση αυτή ενδέχεται να επιβαρύνονται με επιπλέον χρεώσεις με βάση το μέγεθος των συνδέσμων ή και τη βιωσιμότητά τους.

Η τοποθέτηση strips φόρτισης κατά μήκος ενός δρόμου, θα μπορεί να επιτρέπει στα οχήματα να φορτίζονται κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Η τεχνολογία αυτή αναφέρεται ως δυναμική ασύρματη φόρτιση. Οι ηλεκτροδοτημένοι δρόμοι, γνωστοί και ως λωρίδες φόρτισης, είναι αυτοκινητόδρομοι εξοπλισμένοι με τεχνολογία ασύρματης ενέργειας (WPT) η οποία μπορεί να παρέχει στα ηλεκτρικά οχήματα ισχύ υψηλής έντασης. Η διάρκεια φόρτισης των ακίνητων αυτοκινήτων μπορεί επίσης να μειωθεί σημαντικά εφαρμόζοντας τη μέθοδο φόρτισης κατά την οδήγηση [48]. Αυτή η προσέγγιση βρίσκεται επί του παρόντος υπό δοκιμή σε πολλές χώρες και διεξάγεται πρόσθετη έρευνα για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας αλλά και της απόδοσής της [52].

5.1.4 Διάρκεια φόρτισης

Μια πολύ σημαντική πρόκληση η οποία καλείται να αντιμετωπιστεί από τους κατασκευαστές των ηλεκτρικών οχημάτων (EV), είναι η διάρκεια η οποία απαιτείται για τη φόρτιση του εκάστοτε οχήματος. Ο χρόνος επαναφόρτισης της μπαταρίας στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον χρόνο που χρειάζεται για να ξαναγεμίσει ένα ντεπόζιτο με βενζίνη ή με πετρέλαιο. Υπάρχουν τέσσερεις κύριοι παράγοντες οι οποίοι και καθορίζουν την ταχύτητα με την οποία ένα ηλεκτρικό σύστημα μπορεί να φορτιστεί σε όσο το δυνατόν πιο σύντομο χρόνο [53]. Με την εστίαση στη βελτίωση των παραγόντων αυτών, θα μπορούσε να μειωθεί σημαντικά ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι ακόλουθοι.

1. Η χωρητικότητα της μπαταρίας: Καθώς η ποσότητα ενέργειας η οποία αποθηκεύεται στην μπαταρία, μετρημένη σε κιλοβατώρες (kWh), αυξάνεται, βελτιώνεται και ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για τη φόρτιση της μπαταρίας. Ο χρόνος φόρτισης μιας μπαταρίας μεγάλης χωρητικότητας, παρατείνεται σε σύγκριση με τον χρόνο φόρτισης ο οποίος και απαιτείται για μια μικρότερη μπαταρία λόγω της ανάγκης για αυξημένη διάρκεια φόρτισης.
2. Η κατάσταση φόρτισης (SOC): Το SOC μιας μπαταρίας ενός οχήματος δείχνει το επίπεδο της φόρτισής της, είτε είναι πλήρως φορτισμένη ή αποφορτισμένη, είτε είναι μερικώς φορτισμένη ή αποφορτισμένη. Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για τη φόρτιση της μπαταρίας ποικίλλει ανάλογα με το είδος της.

3. Ο μέγιστος ρυθμός φόρτισης του οχήματος: Ένα ηλεκτρικό όχημα μπορεί να φορτίσει μόνο μέχρι μια συγκεκριμένη ποσότητα πριν χρειαστεί να απενεργοποιηθεί. Για παράδειγμα, μια μπαταρία με μέγιστη χωρητικότητα 22 kW δεν μπορεί να φορτιστεί σε σταθμό φόρτισης των 50 kW.
4. Ο μέγιστος ρυθμός φόρτισης του σημείου φόρτισης: Ο ρυθμός αυτός καθορίζεται κυρίως από την ισχύ της πρίζας στην οποία είναι συνδεδεμένη η μπαταρία του οχήματος. Αυτή η ισχύς επηρεάζει άμεσα τη διάρκεια του συνολικού χρόνου φόρτισης. Για παράδειγμα, όταν χρησιμοποιείται μια πρίζα 7 kW για τη φόρτιση μιας μπαταρίας 22 kW, ο ρυθμός φόρτισης περιορίζεται σε αυτόν που θα αντιστοιχούσε σε μια μπαταρίας των 7 kW. Αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την επέκταση του χρόνου φόρτισης [53]. Όταν η μπαταρία ενός οχήματος φορτίζεται με φορτιστή ισχύος 7 kW, χρειάζονται συνήθως 8 ώρες για μια πλήρη φόρτιση και η μπαταρία μπορεί να τροφοδοτήσει το όχημα για απόσταση έως και 60 χιλιόμετρα. Ο Πίνακας 6 δείχνει τη διάρκεια η οποία και απαιτείται για την επαναφόρτιση μιας μπαταρίας σε διαφορετικά επαγγελματικά οχήματα χρησιμοποιώντας διαφορετικούς ρυθμούς φόρτισης. Το Nissan Leaf 2018 αναφέρεται ως Model I, το Tesla Model S 2019 αναφέρεται ως Model II και το Mitsubishi Outlander PHEV 2018 αναφέρεται ως Model III.

	kWh		3.7 kW	7 kw	22 kw	43-50kw	150kw
I	41	144	12	7	7	2	NA
II	76	237	22	12	6	3	I
III	13.7	23	5	5	5	0.67	NA

Πίνακας 6: Χρόνοι φόρτισης οχημάτων.

6. Σύστημα ανίχνευσης πηνίου (coil detectors)

Ένα σύστημα ανίχνευσης πηνίου, χρησιμοποιεί τεχνολογία η οποία βασίζεται σε αισθητήρες και σε τεχνολογία χωρίς αισθητήρες. Η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος ανίχνευσης πηνίου με αισθητήρα, εξαρτάται από τον τύπο του αισθητήρα ο οποίος χρησιμοποιείται και καθορίζει τόσο την ελάχιστη ανθεκτικότητα όσο και τον μέγιστο χρόνο απόκρισης ο οποίος απαιτείται για τη σωστή λειτουργία του συστήματος. Ένα σύστημα ανίχνευσης πηνίου το οποίο λειτουργεί χωρίς αισθητήρα, επιτρέπει την ακριβή ρύθμιση και αναγνώριση της περιέλιξης του πηνίου εντός ενός ελάχιστου εύρους τιμών.

Κατά συνέπεια, το σύστημα υφίσταται σημαντικές απώλειες ενώ παράλληλα θα πρέπει να λειτουργεί

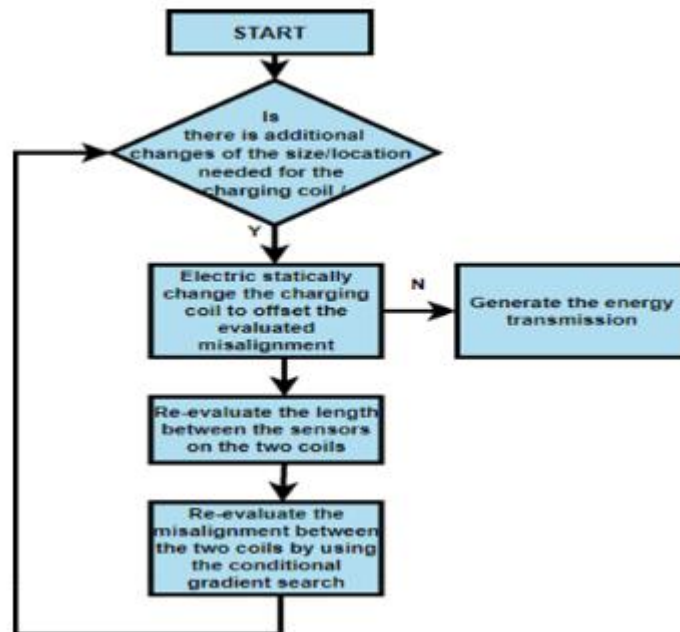
αυτόνομα και με συνεχή ρυθμό. Οι θεμελιώδεις απαιτήσεις για το σύστημα ανίχνευσης πηνίου που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ασύρματης μεταφοράς ισχύος μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Το πηνίο μπορεί να ανιχνευθεί στην στοιχειώδη θέση και να ενεργοποιήσει αυτόματα το πρωτεύον πηνίο και την εφαρμογή της Δυναμικής Ασύρματης Μεταφοράς Ισχύος (DWPT).
- Παρουσιάζεται βελτιωμένη σταθερότητα σε ένα σύστημα ανίχνευσης πηνίου
- Ο τύπος της ανίχνευσης δεν απαιτεί μετάδοση.
- Δίνεται η δυνατότητα ανίχνευσης του ηλεκτρικού οχήματος (EV) και προσδιορισμού πότε το όχημα πλησιάζει σε ανάγκη φόρτισης.
- Η ελάχιστη ποσότητα ενέργειας χρησιμοποιείται για να μειωθούν οι απώλειες οι οποίες προκύπτουν κατά τη συντήρηση.

Ένα σύστημα ανίχνευσης και παρατήρησης πηνίου ηλεκτρικού οχήματος (EV) αποτελείται από δύο περιελίξεις πηνίου. Αυτές οι περιελίξεις είναι τοποθετημένες με ασφάλεια σε ένα βασικό pad. Επιπλέον, υπάρχει ένα τύλιγμα ενός πηνίου εκπομπής το οποίο και βρίσκεται στο άκρο ενός δευτερεύοντος ενεργειακού pad. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θέσης του ηλεκτρικού οχήματος (EV) και τη μέτρηση της τιμής που μεταδίδεται στο βασικό pad, όπως φαίνεται στην εικόνα 14.

Η περιέλιξη του πηνίου είναι σφιχτά στερεωμένη στο δευτερεύον ενεργειακό pad, το οποίο έχει ονομαστική τάση 5V και ονομαστική ισχύ 1W. Έχει σχεδιαστεί για να μπορεί να χειρίζεται συχνότητες στην περιοχή περίπου των 460 kHz. Η περιέλιξη του πηνίου στο πηνίο ενέργειας του δευτερεύοντος πηνίου συνδέεται ηλεκτρικά με τις δύο περιελίξεις του πηνίου στο επίθεμα στοιχειώδους ενέργειας μέσω ηλεκτροστατικών μέσων. Στη συνέχεια, οι δύο περιελίξεις πηνίου τυλίγονται σφιχτά γύρω από το στοιχειώδες ενεργειακό pad, με αποτέλεσμα ένα επίπεδο τάσης που ισοδυναμεί με τη διασταύρωση στις ενδείξεις X και Y.

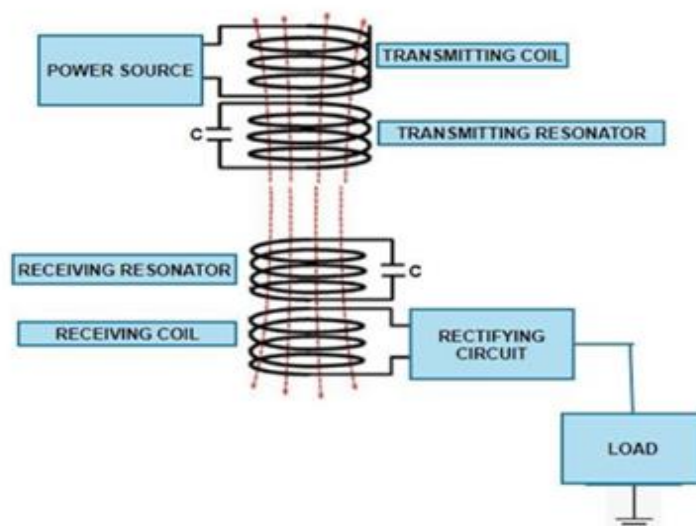
Κατά συνέπεια, ο προτιμώμενος χαρακτήρας στην περιέλιξη του πηνίου X και Y είναι το πηνίο X, το οποίο δημιουργεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο τάσης όταν ένα ηλεκτρικό όχημα μεταβεί στη λειτουργία X. Ομοίως, στην περιέλιξη του πηνίου Y, δημιουργείται τάση και αυτό συμβαίνει όταν το ηλεκτρικό όχημα συνδέεται στον δείκτη Y. Επιπλέον, η τάση περιέλιξης του πηνίου που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία ενεργοποίησης και απενεργοποίησης πρέπει επίσης να υποβληθεί σε επεξεργασία προκειμένου να παρέχεται η αναγκαία και αποτελεσματική ισχύς στο ηλεκτρικό όχημα [50]-[55].



Εικόνα 14: Διάγραμμα ροής συστήματος ανίχνευσης πηνίου.

6.1 Συντονιστές πηνίου(coil resonators)

Ο σχεδιασμός της προηγμένης τεχνολογίας της ασύρματης μεταφοράς ισχύος (WPT) βασίζεται αποκλειστικά στη μαγνητική αλληλεπίδραση μεταξύ των επαγωγέων ή των μονωτών οι οποίοι είναι γεμάτοι με μεταλλικές περιελίξεις. Επί του παρόντος, το πηνίο του μαγνητισμένου συντονισμού της μεθόδου της ασύρματης μεταφοράς της ισχύος (WPT) γίνεται όλο και πιο γνωστό και σημαντικό. Χρησιμοποιείται κυρίως σε συνδυασμό με ένα σύστημα περιέλιξης τεσσάρων στροφών [56] , [57]. Επομένως, το προωθητικό αυτό πηνίο λειτουργεί σε συντονισμό με τον αποστολέα και με τον δέκτη.

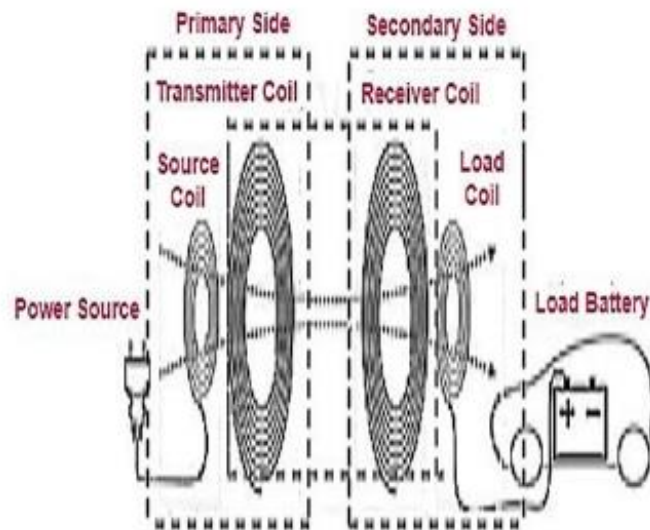


Εικόνα 15: Διάγραμμα ροής συστήματος ανίχνευσης πηνίου.

Η Εικόνα 15, απεικονίζει το μέσο του συντονισμού το οποίο και χρησιμοποιείται στην περίπτωση της ασύρματης μεταφοράς ισχύος (WPT). Αυτό περιλαμβάνει διάφορα πηνία, όπως για παράδειγμα πηνία με περιέλιξη αυτοσυντονισμού και πηνία με περιέλιξη συντονισμού μεταξύ του επαγωγέα και του πυκνωτή (LC). Επιπλέον, εξετάζονται οι διαφορετικές διαμορφώσεις της αυτοσυντονιζόμενης περιέλιξης και των αντηχείων, ακολουθούμενη από την ανάλυση των παραμέτρων για την ασύρματη μεταφορά της ισχύος (WPT).

Το πρωτεύον πηνίο το οποίο και χρησιμοποιείται σε αντηχεία για την ασύρματη μεταφορά της ισχύος (WPT) αποτελείται από ένα πηνίο έλικας με επίπεδη σπειροειδή μορφή και από ένα τετράγωνο πηνίο έλικας. Επιπλέον, ενώ η παράμετρος της απόδοσης αυτών των περιπτώσεων παραμένει σχετικά σταθερή, το επίπεδο της συνοχής κατά τη μεταβολή του μήκους κύματος τείνει να διαφέρει. Η μείωση του μήκους κύματος για τα πηνία έλικας, τα επίπεδα σπειροειδή πηνία και για τα τετράγωνα πηνία έλικας είναι περίπου 3%, 8% και 13% αντίστοιχα, όταν η διακύμανση είναι 200 kHz γύρω από το μήκος κύματος συντονισμού.

Η αυτοσυντονιζόμενη περιέλιξη του πηνίου και οι συνήθως μεγάλοι μεγέθους συντονιστές είναι στοιχεία τα οποία είναι ζωτικής σημασίας, λόγω της ικανότητάς τους να δημιουργούν έναν ηλεκτρικό συμπακνωτή μέσω μιας εξειδικευμένης διάταξης κατά την περιστροφή. Επί του παρόντος, πρόσθετοι στόχοι έχουν τοποθετηθεί στη διάσταση του ελάχιστου μεγέθους του πηνίου συντονισμού WPT. Η κύρια εφαρμογή ενός προστατευτικού πηνίου είναι να αντηχεί σε διαμόρφωση ανοιχτού κυκλώματος για την ασύρματη μεταφορά της ισχύος (WPT).



Εικόνα 16: Ένα παραδοσιακό συμμετρικό αντηχείο με τέσσερα πηνία.

Η Εικόνα 16, απεικονίζει μια θεμελιώδη δομή μιας λειτουργίας ενός ασφαλούς πηνίου συντονισμού, η οποία περιλαμβάνει ένα τμήμα ομοαξονικού ηλεκτρικού καλωδίου. Επομένως, η παρουσία ενός πηνίου συνδεδεμένου με τη συχνότητα αυτοσυντονισμού, η οποία περιέχεται στο πηνίο, και η μέτρηση που λαμβάνεται όταν το κύκλωμα είναι ανοιχτό, παρέχουν συνήθως χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την επαγωγή και την χωρητικότητα (LC) του συστήματος.

Ένα σύστημα WPT, αποτελείται από δύο χωριστούς συντονιστές προστατευτικού πηνίου περιστροφής. Αυτοί οι συντονιστές, μαζί με μια ακτίνα πηνίου 10,7 cm, τοποθετούνται με πλάτος 35 cm. Η αξιολογούμενη απόδοση μετάδοσης της ενέργειας είναι περίπου 41%, η οποία και είναι κοντά στο μήκος κύματος συντονισμού το οποίο αντιστοιχεί στα 38 MHz. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε προηγούμενες μελέτες [58] ,[59] προτάθηκαν συντονιστές επίπεδων πηνίων για συστήματα WPT. Αυτό το σύστημα έχει ως βασικό του πλεονέκτημα ότι τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της αντίστασης μπορούν εύκολα να ρυθμιστούν μέσω της παρακολούθησης της απόδοσης του πηνίου, η οποία μπορεί να επιτευχθεί εύκολα χρησιμοποιώντας την προηγμένη τεχνική καθόδου ορίου των μικροστρώσεων.

Αυτό καθιστά εξαιρετικά εύκολο τον χειρισμό αλλά και την ευθυγράμμιση του πλέγματος της σύζευξης της αντίστασης στη διάταξη του πηνίου, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό ένα ολοκληρωμένο δίκτυο το οποίο μπορεί να προσφέρει μια βελτιωμένη άνεση. Αυτό οφείλεται στην αναλυτική κατασκευή των δύο αυτοζευγοποιημένων επίπεδων πηνίων συντονισμού τα οποία έχουν εύρος ακτίνας 9 cm. Αυτά τα πηνία μπορούν να στερεωθούν σε μήκος 15 cm. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, η αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας της ασύρματης μεταφοράς της ισχύος (WPT) προσδιορίστηκε στο 91% σε συχνότητα 38 MHz, όπως αναφέρεται και στις παραπομπές [60]-[63].

6.2 Μείωση της σύνθετης αντίστασης του πηνίου

6.2.1 Αγωγή με χαμηλή αντίσταση AC

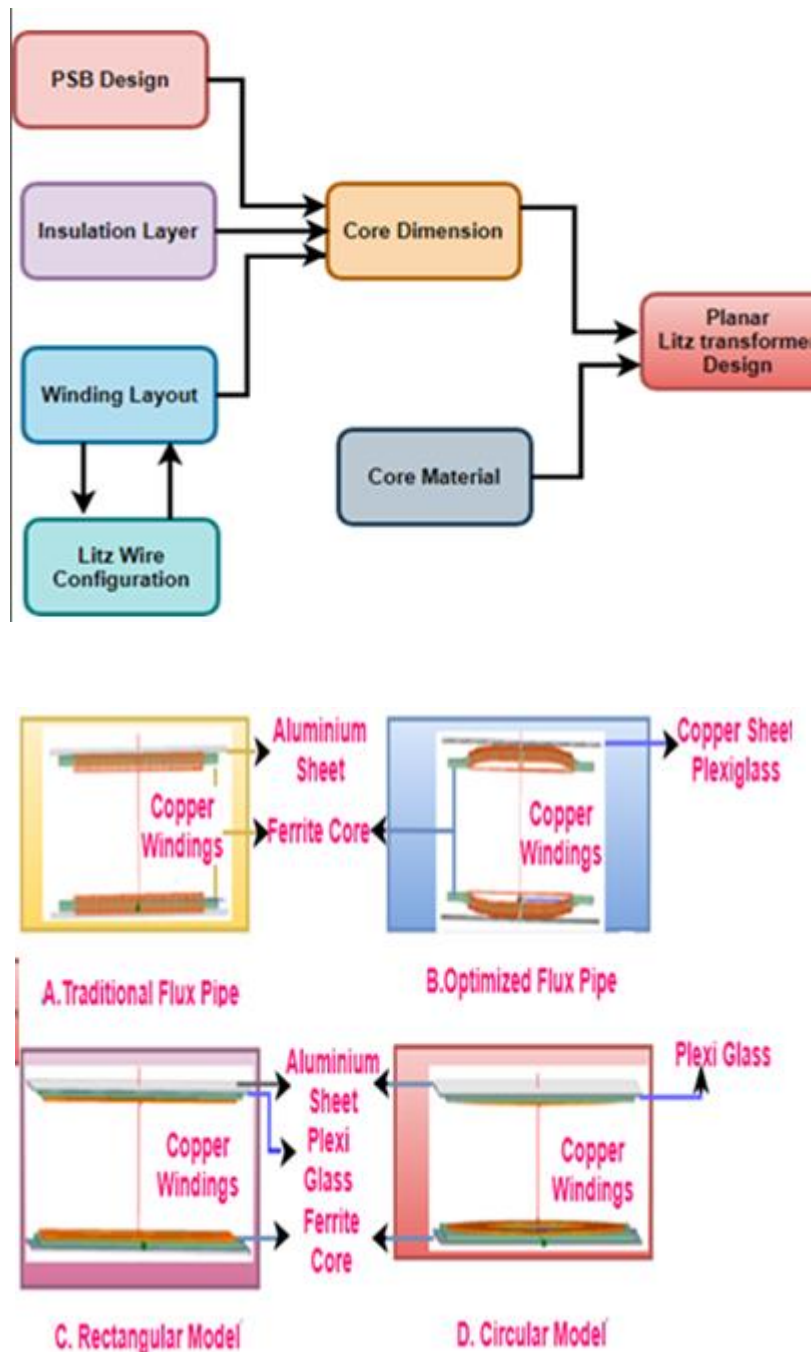
Ο βασικός σκοπός του προγραμματισμού μιας μονάδας πολλαπλών τσιπ (MCM), συμπεριλαμβανομένων συγκεκριμένων υλικών, είναι να πραγματοποιηθεί η βελτιστοποίηση των παραμέτρων των βρόχων. Με τον όρο βελτιστοποίηση θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η μείωση των σφαλμάτων και η τροποποίηση των υπό όρους παραλλαγών των βρόχων. Ένας βασικός τρόπος προσέγγισης της μεθόδου αυτής είναι η δημιουργία βρόχων, κάτι που μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ημιαγωγικών εξαρτημάτων. Τα ημιαγωγά αυτά εξαρτήματα, όπως είναι για παράδειγμα οι ημιαγωγά αγωγοί, μπορούν να οδηγήσουν στην εμφάνιση μειωμένης σύνθετης αντίστασης, σε μειωμένο κίνδυνο υπερθέρμανσης του τυλίγματος αλλά και σε αυξημένους παράγοντες χωρητικότητας, δηλαδή να ενισχύουν τελικά το TE και το TD [64] – [72].

Η απόδοση μιας μονάδας πολλαπλών τσιπ (MCM) η οποία φέρει ημιαγωγά περιέλιξη και περιελίξεις σιδήρου αναλύεται και αξιολογείται στο [73]. Επιπλέον, η περιέλιξη του κιβωτίου ταχυτήτων περιλαμβάνει ημιαγωγικούς αγωγούς, οι οποίοι αποδεικνύονται ιδιαίτερα αποτελεσματικοί στην παραγωγή ισχυρότερων και μεγαλύτερων μαγνητισμένων πηνίων. Η ικανότητα μαγνητισμένης σύζευξης περιλαμβάνει το MCM, το οποίο αποτελείται από περιελίξεις μετάδοσης με διάφορα σύνθετα υλικά σιδήρου και από το τύλιγμα υποδοχής με τους ημιαγωγικούς αγωγούς.

Η συγκεκριμένη διαμόρφωση δύναται να επεκταθεί περαιτέρω από το MCM, το οποίο και δημιουργεί βρόχο πηνίου και δέχεται βρόχο πηνίου, και που όλα περιέχουν αγωγούς σιδήρου. Για το λόγο αυτό, οι περιελίξεις οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία και την αποδοχή ηλεκτρικών ρευμάτων είναι κατασκευασμένες από ημιαγωγικούς αγωγούς.

Το MCM παρουσιάζει την υψηλότερη δυνατή χωρητικότητα η οποία μπορεί να εμφανιστεί σε συζευγμένες καταστάσεις. Οι παράμετροι οι οποίες μπορούν να βελτιωθούν αρκετά σημαντικά με τη χρήση των ημιαγωγικών αγωγών τόσο στους βρόχους του πηνίου μετάδοσης όσο και στη λήψη παρουσιάζονται στις παραπομπές [74]-[77].

Το λειτουργικό εύρος των συχνοτήτων της διαδικασίας της ασύρματης μεταφοράς της ισχύος εκτείνεται από μερικά kHz έως κάποια MHz. Δηλαδή, παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών. Στην περίπτωση αυτή, η χρησιμοποίηση αγωγικών υλικών θα είχε ως αποτέλεσμα μια αρκετά χαμηλή απόδοση του συστήματος, κάτι το οποίο προφανώς θα ήταν μη επιθυμητό.



Εικόνα 17: MCM από κοίλους χάλκινους σωλήνες.

Η σύνθετη αντίσταση του εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να φτάσει στο μέγιστο εύρος της, και ταυτόχρονα, το σφάλμα της θέρμανσης να κλιμακωθεί [78]-[84]. Στην περίπτωση αυτή, η χρήση των καλωδίων σιδήρου υψηλής ποιότητας ή ενός καλωδίου litz είναι συνήθως επαρκής για τη δημιουργία της απαιτούμενης περιέλιξης του πηνίου του MCM, επιλύοντας με τον τρόπο αυτό το πρόβλημα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 17.

Ένα ιδανικό πηνίο με βρόχο σιδήρου, αποτελείται από ιδανικές περιελίξεις σιδήρου και από ένα

Εικόνα 18: Litz wire.

πηνίο βρόχου μίας στροφής. Η διάσταση της πυκνότητας των φραγμάτων των σωλήνων χρησιμοποιείται για να διαπιστωθεί η συμπιεστότητα, η αντοχή των αγωγών καθώς και η αναφορά του μήκους κύματος του χειρισμού. Τα πηνία με βρόχους σιδήρου χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον στον τομέα της συμβατικής έρευνας η οποία πραγματοποιείται γύρω από την ασύρματη μετάδοση της ισχύος.

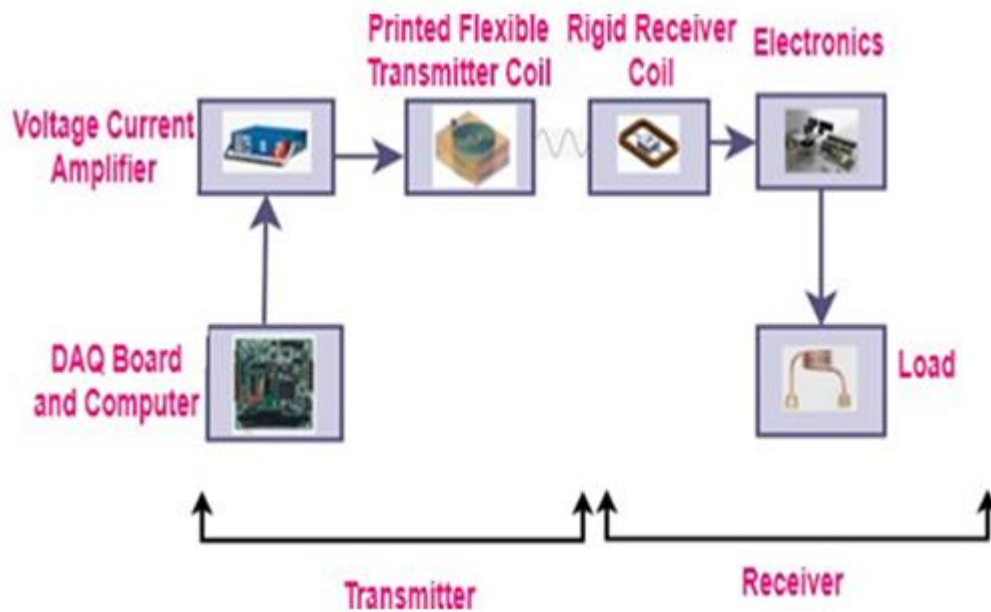
Η κατασκευή των βέλτιστων πηνίων με βρόχους από σίδηρο και οι περιορισμοί TE και TP μπορούν να εντοπιστούν στις παραπομπές [85]- [90]. Μετά από όλη αυτή τη διαδικασία, το πλαίσιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τυπικά στη συσκευή της ασύρματης μεταφοράς της ισχύος με χαμηλή ένταση ισχύος. Το καλώδιο Litz, είναι ένα καλώδιο το οποίο είναι καλυμμένο με ένα στρώμα μονωτικών επιφανειών σπειρώματος και περιέχει πολλά λεπτά καλώδια όπως φαίνεται στην Εικόνα 18. Ενώ τα φωτιζόμενα κανάλια χρησιμοποιούνται για την ασύρματη μεταφορά της ισχύος (WPT), το πλάτος κάθε μεμονωμένου φωτιζόμενου καλωδίου εξαρτάται από το μήκος κύματος το οποίο και χρησιμοποιείται. Η εκτίμηση της εκλογής του κατάλληλου αριθμού των αγωγικών καλωδίων βασίζεται συνήθως στις εκάστοτε απαιτήσεις του δυναμικού της αντίστασης και του ηλεκτρικού ρεύματος. Σε σύγκριση με τους ιδανικούς σωλήνες σιδήρου, τα καλώδια Litz παρουσιάζουν σαφή πλεονεκτήματα όσον αφορά στην ευελιξία τους αλλά και στην ενεργειακή τους αντοχή. Στο πλαίσιο του MCM, τα καλώδια Litz παρουσιάζουν υψηλότερο συσχετισμό μεταξύ του ρυθμού και της συνάρτησης. Το συγκεκριμένο πλεονέκτημα, τα καθιστά επαρκή και χρησιμοποιούνται συνήθως στο καλώδιο το οποίο βρίσκεται στα πηνία βρόχου του MCM.

Το WPT MCM σχεδιάζεται συνήθως χρησιμοποιώντας υλικά τα οποία εμφανίζουν την ελάχιστη αντίσταση του εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο λόγος για την επιλογή αυτή είναι ξεκάθαρα η προσπάθεια για τη μείωση των σφαλμάτων που εμφανίζονται στα πηνία βρόχου. Το φαινόμενο της υπερθέρμανσης μπορεί επίσης να επιλυθεί μέσω της τεχνολογίας litz. Με εξαίρεση την ασύρματη μεταφορά ισχύος μικρο-ηλεκτρικής έντασης (WPT), τα αγωγή υλικά σύνθετης αντίστασης ελάχιστου εναλλασσόμενου ρεύματος (ac) χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές WPT μικρής, μέσης αλλά και υψηλής έντασης ισχύος, όπως για παράδειγμα σε κινητά τηλέφωνα, σε μηχανήματα αυτόματης πώλησης, σε ηλεκτρικά οχήματα (EV) και ούτω καθεξής [91]- [93].

6.2.2. Εύκαμπτος αγωγός

Επιπλέον, η προηγμένη τεχνική της ασύρματης μεταφοράς ισχύος (WPT) χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα όπως είναι για παράδειγμα οι ιατρικές συσκευές για τα εμφυτεύματα και η φορητή τεχνολογία. Τα πηνία βρόχου της μονάδας πολλαπλών τσιπ (MCM), θα πρέπει απαραίτητως να πληρούν συγκεκριμένες απαιτήσεις και προδιαγραφές. Τέτοιες απαιτήσεις είναι η μεγάλη αντοχή, το χαμηλό βάρος, καθώς και η συμβατότητά τους [94], [95]. Τα πηνία βρόχου πηγής

και προορισμού αποτελούνται συνήθως από διάφορα υπεραγώγιμα υλικά. Το σχήμα στην αναφορά [96] δείχνει ένα εύκαμπτο πηνίο το οποίο και έχει σχέδιο λειτουργίας σφραγισμένου βρόχου.



Εικόνα 19: Εύκαμπτο δίκτυο.

Στην Εικόνα 19 γίνεται ξεκάθαρο το πόσο προσαρμόσιμη φύση μπορεί να έχει ένα πηνίο. Μεταξύ των παραπομπών [97] και [99], παρουσιάζεται ένα καλώδιο το οποίο και περιέχει ένα συνδυασμό σπειρωμάτων αλλά και αγωγίμων υλικών. Αυτό το καλώδιο επιτρέπει τη δημιουργία ελατών νημάτων τα οποία αποτελούνται από πηνία βρόχου τα οποία και εντοπίζονται σε διαφορετικά μεταξύ τους μεγέθη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 19. Κατά συνέπεια, τα πηνία βρόχου καθίστανται ιδιαίτερα βολικά για τη χρήση, για την ανάλυση και για την υλοποίηση από τους κατάλληλους ειδικούς.

Τα πηνία βρόχου μπορούν να ενσωματωθούν κανονικά σε ένα σύστημα, και μάλιστα αυτό μπορεί να συμβεί χωρίς να προκληθούν τυχόν ανεπιθύμητες διαταραχές, ενώ παράλληλα μπορούν να επιτρέπουν τη δημιουργία ισχύος υψηλής έντασης. Η συγκεκριμένη ανάλυση έχει ως βασικό σκοπό να καταδείξει ότι ένα πηνίο κυκλικού βρόχου μπορεί να δημιουργήσει μια ένταση ισχύος μεγαλύτερη από αυτή που δημιουργείται από ένα πηνίο ορθογώνιου βρόχου.

Η χρήση ενός εύπλαστου αγωγίμου υλικού θα ήταν στην περίπτωση αυτή η καταλληλότερη επιλογή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα προαναφερθέντα υλικά παρουσιάζουν μεγάλη καταλληλότητα σε συγκεκριμένες καταστάσεις ή σε συγκεκριμένους προσανατολισμούς, καθώς είναι ικανά να παράγουν ηλεκτρική ισχύ αρκετά υψηλής έντασης, ενώ συγχρόνως παρουσιάζουν αξιοσημείωτη ελαστικότητα. Οι διατάξεις ενός αγωγού θα μπορούσαν να συνδυάσουν συγκεκριμένους παράγοντες ούτως ώστε να μειώσουν την αντίσταση των πηνίων βρόχου και να εξασφαλίσουν την αντοχή τους, άρα και την αξιοπιστία τους.

Η ανατροφοδότηση η οποία λαμβάνεται από το σύστημα, χρησιμοποιείται συνήθως στο πλαίσιο της

ασύρματης μεταφοράς ισχύος για ηλεκτρικό εξοπλισμό. Το MCM μπορεί να βελτιωθεί μέσω της εφαρμογής της μαγνητισμένης θωράκισης, των μεταγωγών αλλά και των υπεραγωγίων υλικών. Σε τυπικές προηγμένες μεθοδολογίες, διάφορες προσεγγίσεις συνδέονται συνήθως με τη βελτίωση των παραμέτρων του MCM. Μια μέθοδος βελτιστοποίησης περιλαμβάνει τον συνδυασμό πηνίων βρόχου τα οποία και περιέχουν καλώδια Litz με μαγνητισμένο κάλυμμα κατασκευασμένο από σιδηρομαγνητικά αγωγίμα υλικά. Η χρήση ημιαγωγίων σωματιδίων απαιτεί τη ρύθμιση αλλά και τη μεγαλύτερη ποσότητα του υλικού, ενώ η εφαρμογή και η επίβλεψη των αποτελεσματικών μέτρων απόκρυψης είναι ιδιαίτερα απαιτητικές σαν διαδικασίες. Οι μεταλλικοί αγωγοί διαθέτουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και παρουσιάζουν συγκεκριμένους περιορισμούς στη διαχείριση του μήκους κύματος και της έντασης της παραγωγής της ενέργειας [100].

7. Παράγοντες που εξετάζονται κατά την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων

Ίσως το πιο βασικό κίνητρο το οποίο μπορεί να οδηγήσει έναν καταναλωτή στην αγορά ενός ηλεκτρικού οχήματος, είναι η ενεργειακή απόδοση των οχημάτων αυτών. Υπάρχουν επίσης διάφοροι παράγοντες που εξετάζουν οι καταναλωτές και υποψήφιοι αγοραστές όταν αξιολογούν το κόστος κατοχής ενός ηλεκτρικού οχήματος στην παγκόσμια αγορά, συμπεριλαμβανομένων των εξόδων καυσίμου, του κόστους συντήρησης, το φορολογικό κόστος καθώς και τη συνολική τιμή της αγοράς. Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν υψηλότερη τιμή από τα αντίστοιχα βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα και πλέον υπάρχει ένα ευρύ φάσμα επιλογών μοντέλων για να επιλέξει ο κάθε αγοραστής [101]-[107]. Επιπλέον, η γεωγραφική θέση επηρεάζει σημαντικά το κόστος της αγοράς και της λειτουργίας ενός ηλεκτρικού οχήματος, καθώς επίσης και η φήμη της μάρκας της εκάστοτε εταιρίας.

Ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας ο οποίος διακρίνει τα ηλεκτρικά οχήματα από τα παραδοσιακά συμβατικά οχήματα, είναι η ταχύτητα με την οποία μπορούν να μεταβούν μεταξύ δύο πηγών ισχύος και σημείων φόρτισης. Τα ηλεκτρικά οχήματα παράγουν περισσότερη ισχύ, γεγονός που τους επιτρέπει να επιτυγχάνουν υψηλότερες ταχύτητες. Η κύρια διάκριση μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων, που συνήθως αναφέρονται ως EVs, και των οχημάτων που κινούνται με καύσιμο, τα οποία εμπίπτουν στην κατηγορία των οχημάτων Standard Internal Combustion Engine, είναι η πηγή ενέργειάς τους. Τα συμβατικά οχήματα κινούνται με βενζίνη, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο, ενώ τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτούν φόρτιση για την κίνησή τους.

Η έννοια των λίτρων ανά χιλιόμετρο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της απόδοσης του καυσίμου των οχημάτων τα οποία διαθέτουν κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE). Επιπλέον, η τιμή της βενζίνης, του πετρελαίου και του αερίου ποικίλλει ανά περιοχή και ανά χώρα. Επομένως, τα συμβατικά οχήματα θα πρέπει να ανεφοδιάζονται περίπου κάθε 450-550 χιλιόμετρα ταξιδιού

τουλάχιστον. Στη σημερινή εποχή, υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες πηγές για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η ηλεκτρική αυτή ενέργεια παράγεται μέσω της διαδικασίας της θέρμανσης του αερίου ή του άνθρακα ή με χρήση πόρων βιοαερίου όπως είναι για παράδειγμα η υδροηλεκτρική ενέργεια, η αιολική ενέργεια και στην παρούσα εργασία η ηλιακή ενέργεια [108]-[113].

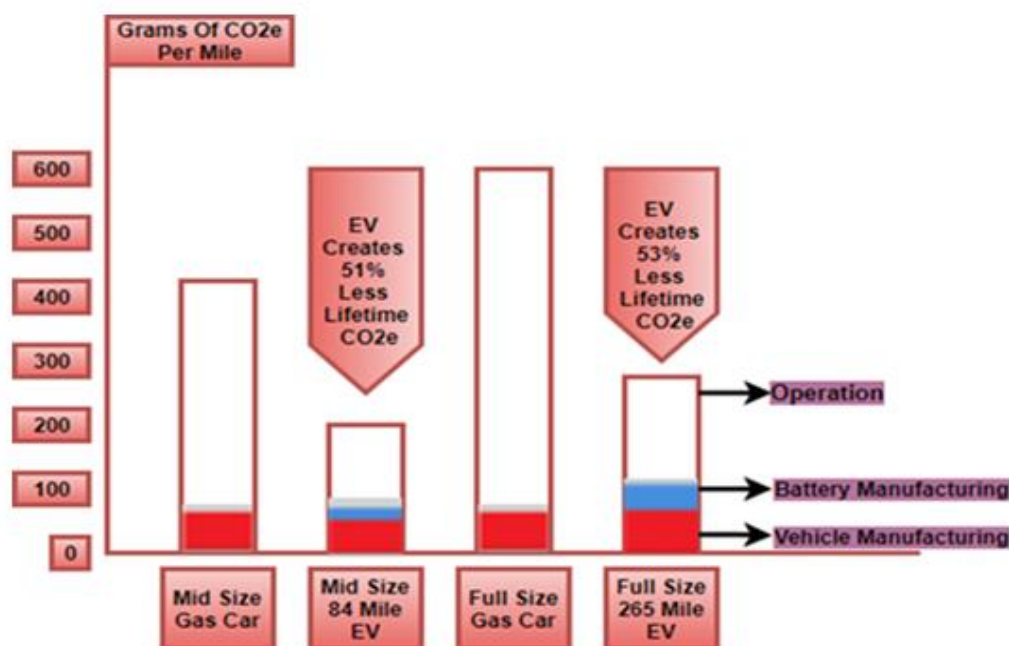
7.1 .Βενζινοκίνητα οχήματα VS ηλεκτρικά οχήματα

Τα ηλεκτρικά οχήματα βρίσκονται συνήθως σε μη αγροτικές περιοχές, δηλαδή σε αστικά κέντρα όπου θα πρέπει να μπορούν εύκολα να εντοπίσουν σταθμούς φόρτισης σε κοινόχρηστους χώρους ή σε στάσεις στην άκρη του δρόμου. Σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές των αρμόδιων υπουργείων, απαιτείται η εφαρμογή διαφόρων ομάδων φόρτισης σε δημόσιους σταθμούς φόρτισης προκειμένου να βελτιωθούν τα πρότυπα της φόρτισης. Η εφαρμογή του σχεδίου Ανάπτυξης Βαρέων Βιομηχανιών για τη δημιουργία πάνω από 2.600 δημόσιων σταθμών φόρτισης σε διάφορες πόλεις και σε περισσότερους από 1.700 σταθμούς φόρτισης στους δημόσιους δρόμους, θα ήταν μια πολύ καλή εξέλιξη.

Συνεπώς, η ανάπτυξη, ο σχεδιασμός και η εφαρμογή αντίστοιχων σχεδίων και στρατηγικών θα μπορούσε να δώσει σημαντική ώθηση στη διεύρυνση της αγοράς και χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων στη χώρα, όπως υποδεικνύεται από τις παραπομπές [114]-[116]. Ωστόσο, για αρκετά μεγάλες διαδρομές, θα είναι πάντα απαραίτητο να χρειαστεί κανείς ίσως και πάνω από δύο φορτίσεις.

Στην Εικόνα 20, απεικονίζεται η εξέλιξη των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια ζωής ενός οχήματος. Τα αέρια του θερμοκηπίου θεωρούνται υπεύθυνα για την υπερθέρμανση του πλανήτη και την ευρύτερη κλιματική αλλαγή.

Ένα ηλεκτρικό όχημα προσφέρει επίσης το βασικό πλεονέκτημα, το οποίο είναι οι μειωμένες ανάγκες για τη συντήρησή του σε σύγκριση με τα οχήματα τα οποία φέρουν κινητήρα εσωτερικής καύσης (ICE) και τα οποία απαιτούν τακτική αναπλήρωση καυσίμου, ψυκτικού υγρού και λαδιού στον κινητήρα τους.



Εικόνα 20: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

7.2 Αναδυόμενα Τεχνολογικά Συστήματα

Όταν σε έναν σταθμό φόρτισης πραγματοποιείται η εγκατάσταση ενός μεγάλου αριθμού ενδιάμεσων σταδίων (stages), αυξάνεται αναγκαστικά και η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό έχει ως άμεση συνέπεια την αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο, γεγονός που πιθανό να οδηγήσει σε υπερφόρτωση του δικτύου. Η υπερφόρτωση αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα ανεπιθύμητες καταστάσεις, όπως για παράδειγμα διακυμάνσεις της τάσης, προκλήσεις στον έλεγχο τάσης, ανησυχίες σχετικά με τη ζήτηση αιχμής, αλλά και αμφισβήτηση της αξιοπιστίας και της πρόβλεψης του φορτίου.

Ως άμεση συνέπεια των παραπάνω, θα μειωθεί η συνολική απόδοση του συστήματος, καθιστώντας το ασύμβατο με την ανάπτυξη των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVCS). Συνεπώς, έχουν αναπτυχθεί αρκετές νέες τεχνολογίες για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων οι οποίες αναλύονται στις παρακάτω υποενότητες.

7.2.1 Τεχνολογία Έξυπνου Δικτύου

Η τεχνολογία του έξυπνου δικτύου μπορεί να μειώσει σε κάποιο βαθμό το ζήτημα της ανυσηχίας που προκύπτει γύρω από τον ανεπαρκή συντονισμό και την αξιοπιστία στην παροχή ρεύματος. Στην

περίπτωση αυτή, δημιουργείται μια διαδρομή, ένας διάυλος επικοινωνίας μεταξύ του δικτύου και του χρήστη στο έξυπνο δίκτυο για να επιτρέψει τον ακριβή έλεγχο του φορτίου σε αυτήν την περιοχή [117]. Η ανάπτυξη ενός έξυπνου δικτύου (smart grid) είναι σε θέση να εξασφαλίσει την αξιόπιστη λειτουργία του εκάστοτε συστήματος.

Απαραίτητη προϋπόθεση λοιπόν είναι η εγκατάσταση τερματικών μονάδων τηλεχειρισμού σε κάθε τροφοδοσία. Οι μονάδες αυτές έχουν ως κύρια λειτουργία τους την παροχή πληροφοριών με μεγάλη ακρίβεια, οι οποίες αφορούν σε τυχόν σφάλματα κατά τη χρήση ισχύος κάθε τροφοδοσίας. Αυτή η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να παρέχει στο δίκτυο δεδομένα με παραμέτρους του παρελθόντος φορτίου, δηλαδή κρατάει κάτι σαν ιστορικό, τα οποία με την κατάλληλη ανάγνωση μπορούν να βοηθήσουν στη διασφάλιση της αποδοτικής παραγωγής ενέργειας καθώς και στην πρόληψη τυχόν προβλημάτων αξιοπιστίας [118], [119].

Επιπλέον, αυτή η τεχνολογία μπορεί να επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ του αυτοκινήτου και του δικτύου, επιτρέποντας την παρακολούθηση της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας (SOC). Το δίκτυο μπορεί επίσης να παρακολουθεί τον τοπικό σταθμό φόρτισης των οχημάτων, όπου αποστέλλεται το μεταβλητό φορτίο στο όχημα, και να το υπολογίζει με βάση το ποσοστό SOC [120]. Στη σημερινή εποχή, με μια σημαντική αύξηση της καταναεμμένης παραγωγής ενέργειας, χρησιμοποιείται ένα προηγμένο δίκτυο microgrid για τον ακριβή προσδιορισμό του τύπου παραγωγής δικτύου αλλά και του διαθέσιμου φορτίου.

7.2.2 Τεχνολογία Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Τα ορυκτά καύσιμα, παρόλο που προς το παρόν αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, θεωρούνται πλέον αποδεδειγμένα ότι οδηγούν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος και στην ευρύτερη κλιματική αλλαγή. Η ολοένα και μεγαλύτερη υιοθέτηση νέων τεχνολογιών που σχετίζονται με τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτεί πλέον μεγαλύτερη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια. Επομένως, δεν θα ήταν καθόλου σκόπιμο να βασιστεί κανείς σε αυτές τις συμβατικές πηγές ενέργειας για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως είναι για παράδειγμα η ηλιακή ενέργεια, η οποία χρησιμοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία, θα μπορούσε να είναι μια εξαιρετική επιλογή για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων. Με τον τρόπο αυτό, θα μειώνονταν αισθητά οι εκπομπές του μονοξειδίου και του διοξειδίου του άνθρακα, καθώς επίσης και η ενδεχόμενη καταπόνηση του ηλεκτρικού δικτύου [121], [122].

Η ηλιακή ενέργεια είναι προς το παρόν μια από τις πιο απλές και οικονομικά αποδοτικές μορφές ενέργειας που υπάρχει και, το βασικότερο, είναι διαθέσιμη στις περισσότερες περιοχές του κόσμου.

Η εγκατάσταση ενός ηλιακού πάνελ σε μια οικία σε ένα γραφείο, ή σε μια ήδη υπάρχουσα και μη υποδομή είναι ίσως η πιο απλή και ασφαλής μέθοδος απόκτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV) πάνελ μπορούν να εγκατασταθούν στις στέγες δημόσιων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (EVCS), μεγάλων καταστημάτων λιανικής, γραφείων και άλλων κατασκευών με σημαντική επιφάνεια. Αυτή η εγκατάσταση συμβάλλει στη μείωση της ζήτησης από το ηλεκτρικό δίκτυο άμεσα.

Ενώ το αρχικό κόστος εγκατάστασης ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού πάνελ σε μια οροφή είναι υψηλότερο, τα τρέχοντα έξοδα είναι ελάχιστα, με αποτέλεσμα μειωμένο κόστος λειτουργίας για τα ηλεκτρικά οχήματα σε σύγκριση με οχήματα τα οποία βασίζονται σε κινητήρες εσωτερικής καύσης και είναι είτε πετρελαιοκίνητα είτε βενζινοκίνητα.

7.2.3 Τεχνολογία Vehicle-to-Grid (V2G)

Σε κάποιες περιπτώσεις, υπάρχει το ενδεχόμενο να πρέπει να γίνει εξισορρόπηση της έντασης αλλά και της συχνότητας της ενεργού ισχύος προκειμένου να διατηρηθεί η σταθερότητα του συστήματος παροχής ισχύος. Η υπερφόρτωση και η υποφόρτωση είναι προβλήματα τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε κακή ευθυγράμμιση των συχνοτήτων του δικτύου. Κάτι τέτοιο θα είχε άμεσο αντίκτυπο στη σταθερότητα του συστήματος.

Για τους λόγους αυτούς, συνιστάται η εφαρμογή ενός συστήματος το οποίο θα δύναται να επιτρέπει την ταυτόχρονη και αμφίδρομη ροή ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή, το δίκτυο συνεχούς ρεύματος θα μπορεί να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στο εκάστοτε όχημα και το όχημα θα μπορεί να επιστρέφει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο όταν δεν χρησιμοποιείται. Το G2V, γνωστό και ως V2G, είναι ένας εναλλακτικός όρος για αυτή την τεχνολογία [123].

Διάφορες στατιστικές δείχνουν ότι ένα σημαντικό μέρος, συγκεκριμένα το 90%, των ηλεκτρικών αυτοκινήτων δεν χρησιμοποιείται σε καθημερινή βάση. Αυτά τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα τα οποία βρίσκονται σε αδράνεια, έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν στην κάλυψη της υψηλής ενεργειακής ζήτησης παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο δίκτυο. Ο αυτόματος έλεγχος παραγωγής (AGC) δημιουργήθηκε για να μπορέσει να διασφαλίσει μια ισορροπία του μεταβλητού αυτού φορτίου στα σύγχρονα δίκτυα ισχύος. Ο AGC χρησιμοποιεί έναν κατάλληλο μηχανισμό ο οποίος έχει ως βασική του λειτουργία τον αποτελεσματικό χειρισμό των διακυμάνσεων του φορτίου σε μια μονάδα παραγωγής ενέργειας, η οποία λειτουργεί με συμβατικό τρόπο.

Η εγκατάσταση μικρών οικιακών συστημάτων ηλιακής ενέργειας τα οποία δεν φορτίζουν οχήματα ταυτόχρονα, μπορεί επίσης να βοηθήσει στην μείωση της απαίτησης ισχύος από το ηλεκτρικό δίκτυο, επιτρέποντας την επιστροφή της τροφοδοσίας της περίσσειας ενέργειας ξανά πίσω στο δίκτυο. Η τεχνολογία αυτή θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια βιώσιμη και οικονομικά αποδοτική πηγή

ηλεκτρικής ενέργειας [125].

7.2.4 Ευφυές Σύστημα Μεταφορών

Η εισαγωγή του Ευφυούς Συστήματος Μεταφορών (ITS) είχε ως βασικό του στόχο να ενισχύσει τα πλεονεκτήματα και την απόδοση του ήδη υπάρχοντος συστήματος μεταφορών. Αυτό το σύστημα, το οποίο αποτελείται από ηλεκτρικούς αισθητήρες, ενεργοποιητές και μια ενσωματωμένη CPU, μπορεί να οδηγήσει στην ευκολότερη παρακολούθηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης η οποία λαμβάνει χώρα σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Στην πραγματικότητα, με την χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας δημιουργήθηκε ένα μέσο επικοινωνίας μεταξύ πολλών διαφορετικών οχημάτων και του συγκεκριμένου τύπου σταθμού φόρτισης ή στάθμευσης.

Ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η επικοινωνία αυτή, είναι είτε μέσω του διαδικτύου είτε μέσω των διαθέσιμων δικτύων κινητής τηλεφωνίας, με τη βοήθεια ενσωματωμένων Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), Συστημάτων Παγκόσμιας Εντοπισμού Θέσης (GPS) και προηγμένων τεχνικών μοντελοποίησης της ροής κυκλοφορίας [126], [127].

Το Internet of Things (IoT) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και τον έλεγχο διαφόρων διαδικασιών οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τη λειτουργία και χρήση ηλεκτρικών οχημάτων. Το Internet of Things (IoT) μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να εξακριβώσει την κατάσταση φόρτισης (SOC) μιας μπαταρίας ενός ηλεκτρικού οχήματος και να μεταδώσει τις πληροφορίες για αυτές τις παραμέτρους στο δίκτυο, επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό την ακριβή παρακολούθηση του φορτίου του οχήματος.

Η προαναφερθείσα τεχνολογία, γίνεται επίσης να χρησιμοποιηθεί για να πραγματοποιηθεί κράτηση μιας θέσης σε έναν σταθμό φόρτισης ο οποίος είναι διαθέσιμος καθώς και για τον έλεγχο της διαθεσιμότητας μιας μη κατειλημμένης υποδοχής [127], [128]. Το άμεσο πλεονέκτημα της χρήσης της τεχνολογίας αυτής είναι η βελτίωση της πρόβλεψης φορτίου αλλά και η διευκόλυνση της αλληλεπίδρασης με τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας οι οποίες λειτουργούν με τη βοήθεια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είτε αυτές βρίσκονται σε κατοικημένες περιοχές, σε χώρους εργασίας, σε χώρους στάθμευσης, σε εμπορικά κέντρα ή σε οργανωμένους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

Εκτεταμένες σχετικές έρευνες και αναλύσεις έχουν αποδείξει ότι στο εγγύς μέλλον θα αυξηθούν σημαντικά οι σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, και μάλιστα ειδικά αυτών που θα τροφοδοτούνται από ηλιακή ενέργεια. Με τον τρόπο αυτό, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από το ήδη υπάρχον δίκτυο θα μειωθεί, οι εκπομπές άνθρακα θα μειωθούν και η περιβαλλοντική ρύπανση θα περιοριστεί. Παράλληλα, η διαφορά η οποία αρκετές φορές προκύπτει μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης της ενέργειας θα πρέπει να εξαιρεθεί, διασφαλίζοντας με την μέθοδο αυτή την καθολική

πρόσβαση στην καθημερινή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για όλους τους πολίτες μιας χώρας. Καθώς ο αριθμός των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων θα γίνεται όλο και μεγαλύτερος, θα αυξάνεται και η ζήτηση για την αγορά τους από τους καταναλωτές, οδηγώντας στην ίδρυση περισσότερων μονάδων παραγωγής. Το ιδανικό σενάριο θα ήταν η ανάπτυξη ολοκληρωμένων σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, οι οποίοι θα περιλαμβάνουν ηλιακές φωτοβολταϊκές συστοιχίες, επαναφορτιζόμενες μπαταρίες αποθήκευσης, ανανεώσιμο δίκτυο και ,τέλος, εφεδρικό σετ γεννήτριας.

Ο μελλοντικός τρόπος μεταφοράς, καθορίζεται από την ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και των βιώσιμων πηγών ενέργειας. Καθώς θα αυξάνεται η υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων (EV) και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (RCI), θα παρουσιάζεται επίσης αντίστοιχη μείωση στις εκπομπές μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα καθώς και στη χρήση ορυκτών συμβατικών καυσίμων.

Η υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων απαιτεί όπως προειπώθηκε την εφαρμογή έξυπνων στρατηγικών φόρτισης αλλά και εκφόρτισης. Σύμφωνα με τις στρατηγικές αποτίμησης χρέωσης, μόνο ένας περιορισμένος αριθμός αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να καλυφθεί μέσω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αυτές οι επιλογές προς το παρόν είναι αποκλειστικά διαθέσιμες σε οικιακούς χρήστες. Προκειμένου να διευκολυνθεί η φόρτιση μεγάλων οχημάτων κρίνεται επιτακτική η εφαρμογή νέων προγραμμάτων φόρτισης σε σταθμούς φόρτισης και σε μεγάλη κλίμακα.

Συμπεράσματα

Η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων στη σύγχρονη εποχή, παρουσιάζει λοιπόν αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα. Από την παραπάνω ανάλυση στην παρούσα εργασία, θα μπορούσε να συμπεράνει κανείς ότι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα δεν παράγουν καθόλου επιβλαβείς για την ατμόσφαιρα ρύπους κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και συμβάλλοντας άμεσα στη μείωση της ρύπανσης στα μεγάλα αστικά κέντρα κατά κύριο λόγο. Επιπλέον, οι μπαταρίες που φέρουν τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πλήρως ανακυκλώσιμες, μειώνοντας έτσι ακόμα περισσότερο το ενεργειακό τους αποτύπωμα.

Παρά το γεγονός ότι η τιμή για την αγορά ενός ηλεκτρικού οχήματος είναι σχετικά υψηλή σε σύγκριση με την αγορά ενός αντίστοιχου συμβατικού οχήματος, το λειτουργικό τους κόστος είναι αισθητά μικρότερο. Αυτό πηγάζει από το γεγονός ότι η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι πιο χαμηλή σε σύγκριση με την τιμή της βενζίνης ή του πετρελαίου καθιστώντας το έναν πολύ οικονομικό τρόπο μετακίνησης.

Τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν επίσης αρκετά χαμηλό κόστος συντήρησης και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στη συγκεκριμένη τεχνολογία υπάρχει απουσία μηχανής εσωτερικής καύσης, οπότε η συντήρηση είναι πολύ πιο απλή.

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η μείωση της ηχορύπανσης, μιας και τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν αθόρυβη οδήγηση. Επίσης, οι κινητήρες των ηλεκτρικών οχημάτων παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση αλλά και επιτάχυνση σε σχέση με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης των συμβατικών οχημάτων.

Ένας από τους προβληματισμούς που προκύπτει αφορά τον τρόπο και τον τόπο της φόρτισής τους, που αποτελεί και βασικό αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας. Ένα από τα πιο συνηθισμένα μειονεκτήματα κατά τη σύγκριση ηλεκτρικών και παραδοσιακών αυτοκινήτων είναι η αυτονομία τους και ο χρόνος φόρτισης. Συνήθως απαιτούν 5 έως 7 ώρες σύνδεσης όταν η μπαταρία είναι εντελώς άδεια. Όσον αφορά το δίκτυο των σταθμών φόρτισης, αυτό εξαρτάται από την υποδομή που έχει η κάθε χώρα, μιας και δε διαθέτουν όλα τα κράτη σημεία φόρτισης. Στις Ηνωμένες Πολιτείες για παράδειγμα, η εταιρεία Tesla είναι υπεύθυνη για την αύξηση αυτού του αριθμού των σταθμών φόρτισης.

Μεταξύ του έτους 2019 και του έτους 2021, παρουσιάστηκε πολύ μεγάλη αύξηση των πωλήσεων των ηλεκτρικών οχημάτων, κυρίως σε χώρες όπως είναι η Ισπανία, το Μεξικό και οι Ηνωμένες Πολιτείες. Στη σημερινή εποχή, η αγορά των ηλεκτρικών οχημάτων αποτελεί περίπου το 2% της

συνολικής αγοράς οχημάτων σε παγκόσμιο επίπεδο, με τις προβλέψεις να δείχνουν ότι η αύξηση αυτή θα αγγίξει το 10% για το έτος 2025. Γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό ότι θα πρέπει απαραίτητα να δημιουργηθούν νέοι σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ούτως ώστε να μπορούν να εξυπηρετηθούν οι χρήστες των οχημάτων αυτών.

Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε η συγκεκριμένη μελέτη πάνω στις προαναφερθείσες αρχιτεκτονικές οι οποίες αφορούν σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων οι οποίοι λειτουργούν με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας. Συμπερασματικά λοιπόν, η αξιολόγηση καθώς και η ανάλυση των διαφόρων προαναφερθέντων αρχιτεκτονικών των συστημάτων EV-PV και των τοπολογιών των μετατροπέων ισχύος οι οποίοι διεξάγονται για ένα σταθμό φόρτισης ο οποίος θα βασίζεται κυρίως στη χρήση της ηλιακής ενέργειας για να μπορέσει να φορτιστεί ένα ηλεκτρικό όχημα (EV), οδήγησε στα ακόλουθα ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Στην Αρχιτεκτονική Συστήματος 3, το επιλεγέν σύστημα, χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικούς τύπους μετατροπέων θυρών για τη σύνδεση του ηλεκτρικού οχήματος, του φωτοβολταϊκού πίνακα καθώς και του έξυπνου δικτύου. Αυτή η συγκεκριμένη προσέγγιση μπορεί να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις άλλες υπό μελέτη αρχιτεκτονικές. Πρώτον, μπορεί να εξαλείψει την ενδεχόμενη απαίτηση για τροφοδοσία φωτοβολταϊκού συνεχούς ρεύματος για την απευθείας φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος. Δεύτερον, μπορεί να προσφέρει μια απλή και ακριβή μέθοδο ελέγχου του συστήματος. Τέλος, μπορεί να επιτυγχάνει τη μέγιστη ενεργειακή πυκνότητα μέσω της ενσωμάτωσης του μετατροπέα. Επιπλέον, αυτή η αρχιτεκτονική επιτρέπει τη χρήση του υπάρχοντος δικτύου AC για τη σύνδεση πολλαπλών φορτιστών EV-PV.

Στην Ευρώπη, το μέλλον της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων (EV) θα υποστηριχθεί από την εφαρμογή της φόρτισης DC μέσω του προτύπου CHAdeMO και του Συνδυασμού του Προτύπου Φόρτισης. Αυτό θα μπορέσει να επιτρέψει τη δυναμική ασύρματη φόρτιση, τη γρήγορη φόρτιση, καθώς και τη συμβατότητα με την τεχνολογία V2X. Μια ανάλυση η οποία και διεξήχθη σε δημοσιευμένο ερευνητικό άρθρο σχετικά με τα ηλεκτρικά οχήματα και τη φόρτιση με τη βοήθεια φωτοβολταϊκών, δείχνει ότι η πλειονότητα των μελετών αποτυγχάνει να εξετάσει τις δυνατότητες της απομόνωσης και της αμφίδρομης κατεύθυνσης των φορτιστών EV.

Οι Αρχιτεκτονικές¹ και 2 που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιούν ξεχωριστούς μετατροπείς τόσο για τα φωτοβολταϊκά πάνελ (PV) όσο και για τα ηλεκτρικά οχήματα (EV). Αυτή η μελέτη αναλύει τις προκλήσεις οι οποίες σχετίζονται με την εγκατάσταση ενός σταθμού φόρτισης, εστιάζοντας συγκεκριμένα σε διάφορα σημαντικά ζητήματα, όπως είναι για παράδειγμα η υπερφόρτωση του ηλεκτρικού δικτύου, η διάρκεια της φόρτισης της εκάστοτε μπαταρίας αλλά και η αυξημένη κυκλοφοριακή συμφόρηση η οποία ενδεχομένως να προκύπτει από τους μεγαλύτερους χρόνους αναμονής στους σταθμούς φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων (EVCS).

Στην παρούσα εργασία, εξετάστηκαν παράλληλα διάφορες τεχνολογίες για την αντιμετώπιση αυτών

των σημαντικών για τους ειδικούς προκλήσεων. Η εφαρμογή αυτών των νέων τεχνολογιών έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει την αξιοπιστία αλλά και την αποτελεσματικότητα ολόκληρου του ηλεκτρικού συστήματος μεταφοράς. Αυτή η μελέτη στην ουσία προσπαθεί να προσφέρει μια ολοκληρωμένη εξέταση των κρίσιμων στοιχείων των συστημάτων της ασύρματης μεταφοράς της ισχύος (WPT) για τη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων (EV), καθώς και μια συνοπτική εισαγωγή στην τεχνική της ανίχνευσης των πηνίων, στην κατασκευή των πηνίων και στους διάφορους τύπους πηνίων που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα.

Κάνοντας ένα βήμα μπροστά στην τεχνολογία της ηλεκτροκίνησης, με ένα πλήρως ηλεκτρικό όχημα, μπορεί κανείς να παρατηρήσει μια ουσιαστική διαφορά στο περιβάλλον. Το γεγονός αυτό θα έχει ουσιαστικό αντίκτυπο στη δημιουργία ενός πιο βιώσιμου μέλλοντος για την ανθρωπότητα. Πριν από την καθολική υιοθέτηση της νέας τεχνολογίας της ηλεκτροκίνησης, είναι επιτακτική η ανάγκη για τους αρμόδιους να δημιουργήσουν πρόσθετους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, οι οποίοι θα πρέπει να μπορούν να επαναφορτίζουν γρήγορα τις μπαταρίες των οχημάτων και να βασίζονται ως επί το πλείστον σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επί του παρόντος βρίσκεται σε εξέλιξη εκτεταμένη έρευνα για την ενίσχυση της συνολικής αξιοπιστίας του συστήματος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ιστορική αναδρομή στα Ηλεκτρικά Οχήματα

1830: Ο Joseph Henry παρουσίασε τον πρώτο κινητήρα συνεχούς ρεύματος

1830-1835: Αρκετοί εφευρέτες στην Ουγγαρία, την Ολλανδία και τις ΗΠΑ κατασκεύασαν τα πρώτα τους πρωτότυπα ηλεκτρικών αυτοκινήτων μικρής κλίμακας

1832: Ο Robert Anderson αναπτύσσει το πρώτο ακατέργαστο ηλεκτρικό όχημα στη Βρετανία χρησιμοποιώντας μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες

1834: Το πρώτο (σιδηροδρομικό) ηλεκτρικό όχημα μελετήθηκε και προτάθηκε το 1834 από τον Thomas Davenport στις ΗΠΑ (ο οποίος υπέβαλε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας «Βελτίωση στην προωθητική μηχανή με μαγνητισμό και ηλεκτρομαγνητισμό»)

1859: Ο Γάλλος φυσικός Gaston Planté εφευρίσκει την επαναφορτιζόμενη μπαταρία αποθήκευσης μολύβδου- οξέος. Αργότερα βελτιώθηκε από τον Camille Faure το 1881

1874: Με την έλευση της μπαταρίας μολύβδου-οξέος, ο David Salomons κατασκεύασε με επιτυχία ένα επαναφορτιζόμενο ηλεκτρικό ηλεκτρικό ρεύμα με μπαταρία

1884: Ο Άγγλος εφευρέτης Thomas Parker κατασκευάζει το πρώτο πρακτικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο παραγωγής στο Λονδίνο

1889: Ο William Morrison από την Αϊόβα δημιουργεί το πρώτο επιτυχημένο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στις ΗΠΑ, ένα ηλεκτρικό βαγόνι για 6 επιβάτες με τελική ταχύτητα 14 mph

1900: Το Baker Electric, το πρώτο ηλεκτρικό αυτοκίνητο παραγωγής παράγεται από την Baker Motor Vehicle Company. Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα κερδίζουν δημοτικότητα καθώς είναι αθόρυβα, εύκολα στην οδήγηση και δεν έχουν εκπομπές ρύπων. Μέχρι το 1900, τα ηλεκτρικά οχήματα

αντιπροσωπεύουν περίπου το ένα τρίτο όλων των οδικών οχημάτων στις Η.Π.Α

1901: Ο Ferdinand Porsche δημιουργεί το Lohner-Porsche Mixte το πρώτο υβριδικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο στον κόσμο, που τροφοδοτείται από μπαταρία και κινητήρα αερίου

1908: Η Ford παρουσιάζει το Model-T και δίνει πλήγμα στα ηλεκτρικά οχήματα λόγω της υψηλής αυτονομίας και της οικονομικής προσιτότητας. Με την εφεύρεση του κινητήρα εκκίνησης αυτοκινήτου από τον Ketter το 1911, η ανάγκη για λειτουργία χειροκίνητου στρόφαλου για την εκκίνηση του οχήματος ICE εξαφανίστηκε.

1920-1935: Μείωση των ηλεκτρικών οχημάτων και πλήρης εξαγορά από βενζινοκίνητα οχήματα λόγω φθηνότερων αυτοκινήτων και χαμηλής τιμής πετρελαίου

1968-1973 : Οι τιμές του φυσικού αερίου εκτοξεύονται δημιουργώντας ανανεωμένο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη και τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων μεταξύ πολλών κατασκευαστών αυτοκινήτων. Οι κυβερνήσεις θεσπίζουν νομοθεσία που συνιστά τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων ως μέσο μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τα πρωτότυπα EV που αναπτύχθηκαν την περίοδο περιορίζονταν από τη χαμηλή εμβέλεια και την τελική ταχύτητα.

1971: Το Lunar rover της NASA οδηγεί στο φεγγάρι και λειτουργεί με ηλεκτρισμό

1969-1972 Η BMW έκανε το ντεμπούτο της πρώτης ιδέας για ηλεκτρικό αυτοκίνητο, BMW 1602E στους Θερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες του 1972 με μπαταρία μολύβδου και με κινητήρα 32 kW.

1974-1977: Η REVA Electric Car Company ιδρύθηκε στην Ινδία για να κατασκευάζει αποκλειστικά EVs. Το πρώτο αυτοκίνητο REVAi κυκλοφόρησε το 2001 με αυτονομία 50 μιλίων

1994 : Η GM κυκλοφορεί το EV1, ένα EV με αυτονομία 80 μιλίων χρησιμοποιώντας μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Χρησιμοποιεί ένα προσαρμοσμένο σύστημα ασύρματης φόρτισης.

1996: Η Toyota παρουσιάζει το πρώτο υβριδικό μαζικής παραγωγής, το Prius στην Ιαπωνία, το οποίο χρησιμοποιούσε μπαταρία νικελίου μετάλλου-υδριδίου. Τελικά θα γινόταν το υβρίδιο με τις περισσότερες πωλήσεις στον κόσμο.

1997: Η έρευνα για τη βελτίωση των ηλεκτρικών οχημάτων και των μπαταριών ενισχύεται μεταξύ

πολλών κατασκευαστών αυτοκινήτων και ερευνητικών ιδρυμάτων. Αρκετά ηλεκτρικά οχήματα όπως το EV Plus της Honda, το pickup EV της Ford, το Altra EV της Nissan, το S-10 EV της Chevy και το RAV4 EV της Toyota παράγονται από μεγάλους κατασκευαστές αυτοκινήτων

1997-2000: Η νεοσύστατη Tesla της Silicon Valley αποκαλύπτει το Tesla Roadster που ήταν το πρώτο EV με αυτονομία 200 μιλίων χρησιμοποιώντας μπαταρία 53 kWh. Το αυτοκίνητο ήρθε 3 χρόνια μετά την ίδρυση της Tesla το 2003 και οι πωλήσεις ξεκίνησαν το 2008.

2008 : Η BYD κυκλοφορεί το F3DM, το πρώτο plug-in υβριδικό συμπαγές sedan μαζικής παραγωγής στον κόσμο στην Κίνα με μπαταρία 16 kWh. Το ηλεκτρικό αυτοκίνητο Th!nk City από τη Νορβηγία και το Mitsubishi i-MiEV παρουσιάζονται με αυτονομία έως και 100 μιλίων. Η GM κυκλοφορεί το Chevy Volt, ένα plug-in υβριδικό ηλεκτρικό όχημα που θα γίνει τελικά το PHEV με τις μεγαλύτερες πωλήσεις στον κόσμο. Οι δημόσιες πωλήσεις του i-MiEV ξεκίνησαν το 2009 ενώ του F3DM και του Volt το 2010.

2010: Η Nissan ξεκινά την πώληση του LEAF, ενός πλήρως ηλεκτρικού αυτοκινήτου με αυτονομία 100 μιλίων με μπαταρία 24 kWh. Το Leaf που θα γίνει το EV με τις περισσότερες πωλήσεις όλων των εποχών.

2012: Αφού αποκαλύφθηκε το 2009, η Tesla ξεκίνησε τις πωλήσεις του Model S EV με μπαταρία ιόντων λιθίου 85 kWh και αυτονομία EPA 265 μιλίων. Την ίδια χρονιά, η Tesla αποκαλύπτει το Model X, ένα ηλεκτρικό SUV/crossover με παρόμοιες επιδόσεις με το Model S.

2011-13: Η τεράστια πτώση των τιμών των μπαταριών EV οδηγεί στην εμπορική κυκλοφορία πολλών EV.

2014: Πολλά 100% ηλεκτρικά και plug-in ηλεκτρικά οχήματα κυκλοφορούν στην αγορά από BMW, BYD, Cadillac, Chevy, Citroën, Fiat, Ford, Honda, Kia, Mercedes-Benz, Mia, Mitsubishi, Nissan, Opel, Peugeot, Porsche, Renault, Smart, Tesla, Toyota, Via, Volvo, Volkswagen, Wheego.

2016: Η GM λανσάρει το Chevy Bolt, το πρώτο EV 40.000\$ στον κόσμο με αυτονομία μεγαλύτερη από 200 μίλια. Η Tesla ανακοινώνει το προσιτό Tesla Model III με αυτονομία περίπου 200 μιλίων και βασική τιμή περίπου 35.000 \$

2017: Οι παγκόσμιες πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων φτάνουν τα 1,2 εκατομμύρια εκ των οποίων

το 66% είναι αμιγώς ηλεκτρικά και τα υπόλοιπα είναι plug-in υβριδικά. Η Κίνα είναι η μεγαλύτερη παγκόσμια αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η Κίνα, η Ινδία, η Γερμανία, η Γαλλία, η Βρετανία, η Νορβηγία και οι Κάτω Χώρες δεσμεύονται να εξαλείψουν τις πωλήσεις νέων αυτοκινήτων ορυκτών καυσίμων έως το 2040 ή νωρίτερα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] M. Akil, E. Dokur, R.Bayindir, “The SOC Based Dynamic Charging Coordination of EVs in the PV-Penetrated Distribution Network Using Real-World Data”, *Energies*, 14, 8508, December 2021.
- [2] M.Ekramul Kabir, C.Assi, M.Hossain Kamal Tushar, Jun Yan, “Optimal Scheduling of EV Charging at a Solar Power-Based Charging Station”, *IEEE Systems Journal*, Vol. 14, pp. 4221 – 4231, Sept. 2020
- [3] H.-Y. Mak, Y. Rong, and Z.-J. M. Shen, “Infrastructure planning for electric vehicles with battery swapping”, *Manage. Sci.*, vol. 59, no. 7, pp. 1557–1575, July 2013.
- [1] M. Messagie, F. S. Boureima, T. Coosemans, C. Macharis, and J. Van Mierlo, “A rangebased vehicle life cycle assessment incorporating variability in the environmental assessment of different vehicle technologies and fuels,” *Energies*, vol. 7, no. 3, pp. 1467– 1482, 2014.
- [2] A. Nordelöf, M. Messagie, A. M. Tillman, M. Ljunggren Söderman, and J. Van Mierlo, “Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment?,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 19, no. 11. pp. 1866–1890, 2014.
- [3] S. Rangaraju, L. De Vroey, M. Messagie, J. Mertens, and J. Van Mierlo, “Impacts of electricity mix, charging profile, and driving behavior on the emissions performance of battery electric vehicles: A Belgian case study,” *Appl. Energy*, vol. 148, pp. 496–505, 2015.
- [4] “Photovoltaic (PV) Pricing Trends: Historical, Recent, and Near-Term Projections,” *Natl. Renew. Energy Lab. Lawrence Berkeley Natl. Lab.*, pp. 1–30, 2012.
- [5] P. Denholm, M. Kuss, and R. M. Margolis, “Co-benefits of large scale plug-in hybrid electric vehicle and solar PV deployment,” *J. Power Sources*, vol. 236, pp. 350–356, 2013.
- [6] D. P. Birnie, “Solar-to-vehicle (S2V) systems for powering commuters of the future,” *J. Power Sources*, vol. 186, no. 2, pp. 539–542, Jan. 2009.
- [7] X. Li, L. A. C. Lopes, and S. S. Williamson, “On the suitability of plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) charging infrastructures based on wind and solar energy,” in *2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2009, pp. 1–8.
- [8] G. R. Chandra Mouli, P. Bauer, and M. Zeman, “Comparison of system architecture and converter topology for a solar powered electric vehicle charging station,” in *2015 9th International Conference*

on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE-ECCE Asia), 2015, pp. 1908–1915.

[9] G. R. Chandra Mouli, P. Bauer, and M. Zeman, “System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces,” *Appl. Energy*, vol. 168, pp. 434–443, Apr. 2016.

[10] G. Carli and S. S. Williamson, “Technical Considerations on Power Conversion for Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicle Battery Charging in Photovoltaic Installations,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 12, pp. 5784–5792, Dec. 2013.

[11] P. Goli and W. Shireen, “PV powered smart charging station for PHEVs,” *Renew. Energy*, vol. 66, pp. 280–287, Jun. 2014.

[12] G. R. C. Mouli, M. Leendertse, V. Prasanth, P. Bauer, S. Silvester, S. van de Geer, and M. Zeman, “Economic and CO₂ Emission Benefits of a Solar Powered Electric Vehicle Charging Station for Workplaces in the Netherlands,” in *2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, 2016, pp. 1–7.

[13] P. J. Tulpule, V. Marano, S. Yurkovich, and G. Rizzoni, “Economic and environmental impacts of a PV powered workplace parking garage charging station,” *Appl. Energy*, vol. 108, pp. 323–332, Aug. 2013.

[4] J.Ebrahimi, O.Salari, K.Hashttrudi-Zaad, A.Bakhshai, “Efficiency Improved Multi-Source Inverter for Hybrid Energy Storage Systems in Electric Vehicle Application”, *IEEE Transactions On Power Electronics*, Vol. 37, No. 2, February 2022.

[5] A.Emadi, M.Ehsani, and J.M.Miller, “Vehicular Electric Power Systems”, Land, Sea, Air, and Space Vehicles, Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Aug. 2003.

[6] M.Yilmaz, P.T.Krein, “Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, no. 5, pp. 2151–2169, May 2013.

[7] C.Duan, C.Wang, Z.Li, J.Chen, S.Wang, A.Snyder, C. Jiang, “A Solar Power Assisted Battery Balancing System For Electric Vehicles”, *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, Vol. 4, Issue 2, pp. 432 – 443, June 2018.

[8] D.Ji, Mingsong, J.Yang, W.Yi, “Optimizing the Locations and Sizes of Solar Assisted Electric Vehicle Charging Stations in an Urban Area”, *IEEE transaction*, Vol. 8, pp. 112772 – 112782, June 2020.

[9] D.Ranawat, M.P.R.Prasad, “A Review on Electric Vehicles with the perspective of Battery Management System”, *Third International Conference on Electrical and Electronics, Communication, Computer Technologies, and Optimization Techniques (ICEECCOT)* pp.14-15, December 2018.

[10] J.Traube, F.Lu, D.Maksimovic, J.Mossoba, M.Kromer, P.Faill, S.Katz, B.Borowy, S.Nichols, L.Casey, “Mitigation of Solar Irradiance Intermittency in Photovoltaic Power Systems With

Integrated Electric Vehicle Charging Functionality”, IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 28, No. 6, June 2013.

[11] G.Alkawsi, Y.Baashar, D.Abbas, A.Ahmed Alkahtani, S.KiongTiong, “Review of Renewable Energy-Based Charging Infrastructure for Electric Vehicles” Appl. Sci., Vol. 11, pp. 3847, Apr. 2021.

[12] G.Zhang¹, J.Lai¹, S.Feng¹, W.Shi, “Green Solar Electric Vehicle Changing the Future Lifestyle of Human”, Land, Sea, Air, and Space Vehicles, Boca Raton, FL, USA: CRC Press, June 2003.

[13] Md.Sohail Tanveer, S.Gupta, R.Rai, N.Kumar Jha, “Solar based electric vehicle charging station”, 2nd International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC), doi. 978-1-7281-1793- 5/19/IEEE, 2019.

[14] SAE Standard J1772, “SAE Electric Vehicle and Plugin Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler,” Oct. 2010.

[15] “Standard IEC 62196 - Plugs, socket-outlets, vehicle connectors, and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles,” doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.110, 2014

[16] K.Tsamaase, J.Sakala, E.dward Rakgati, S.Zibani, K.Motshidisi, “Solar PV Module Voltage Output and Maximum Power Yearly profile using Simulink-based Model”, 2021 10th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), Sept. 2021.

[17] G. Gamboa, C. Hamilton, R. Kerley, S. Elmes, A. Arias, J. Shen, and I. Batarseh, “Control strategy of a multi-port, grid-connected, direct-DC PV charging station for plugin electric vehicles,” IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, pp. 1173–1177, 2010.

[18] C. Hamilton, G. Gamboa, J. Elmes, R. Kerley, A. Arias, M. Pepper, J. Shen, and I. Batarseh, “System architecture of a modular direct-DC PV charging station for plug-in electric vehicles,” IECON-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, pp. 2516–2520, June 2010.

[19] M. Vaidya, E. K. Stefanakos, B. Krakow, H. C. Lamb, T. Arbogast, and T. Smith, “Direct DC-DC electric vehicle charging with a grid-connected photovoltaic system,” Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 1505–1508, Sept. 1996.

[20] Z. Qian, O. Abdel-Rahman, C. Hamilton, M. Batarseh, and I. Batarseh, “An integrated four-port converter for compact and efficient hybrid power systems,” IEEE International Symposium on Circuits and Systems, pp. 2207–2210, June 2010.

[21] Z. Qian, O. Abdel-Rahman, H. Hu, and I. Batarseh, “An integrated three-port inverter for stand-alone PV applications,” IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, pp. 1471–1478, July 2010.

[22] J. G. J. G. Ingersoll and C. A. Perkins, “The 2.1 kW photovoltaic electric vehicle charging station in the city of Santa Monica, California,” IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 1509–1512, Jan. 1996.

[23] S. Mesentean, W. Feucht, H.-G. Kula, and H. Frank, “Smart charging of electric scooters for a

home to work and home to education transports from grid-connected photovoltaic-systems,” IEEE International Energy Conference, pp. 73–78, March 2010.

[24] M. Akil, E. Dokur, R. Bayindir, “Energy Management for EV Charging Based on Solar Energy in an Industrial Microgrid”, In Proceedings of the 2020 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), Glasgow, UK, pp. 489–493, 27–30 September 2020.

[25] Laboratory Oak Ridge National, “Solar-Assisted Electric Vehicle Charging Stations,” Sept. 2011.

[26] P. J. Tulpule, V. Marano, S. Yurkovich, and G. Rizzoni, “Economic and environmental impacts of a PV powered workplace parking garage charging station”, Appl. Energy, vol. 108, pp. 323–332, Aug. 2013.

[27] P. Tulpule, V. Marano, S. Yurkovich, and G. Rizzoni, “Energy economic analysis of PV-based charging station at the workplace parking garage,” IEEE, EnergyTech, pp. 1–6, DOI:10.1109/EnergyTech.2011.5948504,

2011. [28] F. Turki, A. Guetif, and C. Sourkounis, “Contactless charging electric vehicles with renewable energy,” 5th International Renewable Energy Congress (IREC), pp. 1–6, March 2014.

[29] M. Benaouadj, A. Aboubou, M. Becher, M. Y. Ayad, and M. Bahri, “Recharging of batteries/supercapacitors hybrid source for electric vehicles application using photovoltaic energy in a stand-alone point,” First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology, pp. 161–166, Sept. 2012.

[30] G. Carli and S. S. Williamson, “Technical Considerations on Power Conversion for Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicle Battery Charging in Photovoltaic Installations”, IEEE Trans. Power Electron., vol. 28, no. 12, pp. 5784–5792, Dec. 2013.

[31] Z. Rasinab and M. F. Rahman, “Grid-connected quasiZ-source PV inverter for an electric vehicle charging station,” International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), pp. 627–632, May 2013.

[32] Z. Rasin, K. Ahsanullah, and M. F. Rahman, “Design and simulation of quasi-Z-source grid-connected PV inverter with bidirectional power flow for battery storage management,” IECON - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 1589–1594, May 2013.

[33] P. Goli and W. Shireen, “PV Integrated Smart Charging of PHEVs Based on DC-Link Voltage Sensing,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 5, no. 3, pp. 1421–1428, May 2014.

[34] A. Nagarajan and W. Shireen, “Grid-connected residential photovoltaic energy systems with Plug-In Hybrid Electric Vehicles (PHEV) as energy storage”, IEEE PES General Meeting, pp. 1–5, DOI:10.1109/PES.2010.5589387, 2010.

[35] M. Akil, E. Dokur, R. Bayindir, “Impact of electric vehicle charging profiles in the data-driven framework on distribution network”, In Proceedings of the 2021 9th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid), Setubal, Portugal, pp. 220–225, 29 June–1 July 2021.

- [36] H. Krishnaswami and N. Mohan, "Three-Port Series Resonant DC-DC Converter to Interface Renewable Energy Sources With Bidirectional Load and Energy Storage Ports," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 10, pp. 2289–2297, Oct. 2009
- [37] T.-E. Stamati and P. Bauer, "On-road charging of electric vehicles," *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, pp. 1–8, May 2013.
- [38] C.S.Loakimidis, D. Thomas, P. Rycerski, K.N. Genikomsakis, "Peak shaving and valley filling of power consumption profile in non-residential buildings using an electric vehicle parking lot", *Energy*, Vol. 148, pp. 148–158, Sept. 2018.
- [39] D. Van Der Meer, G.R.C.Mouli, G. Morales-Espana, L.R. Elizondo, P.Bauer, "Erratum to energy management a system with PV power forecast to optimally charge evs at the workplace", *IEEE Trans. Ind. Inform.*, Vol. 14, pp. 3298, March 2018.
- [40] A.Ivanova, J.A.Fernandez, C.Crawford, P.C.Sui," Coordinated charging of electric vehicles connected to a net-metered PV parking lot", *IEEE PES Innovative Smart Grid.Technologies Conference Europe (ISGTEurope)*, Torino, pp. 1–6, 26–29 September 2017.
- [41] A.A.Mohamed, V.Salehi, T.Ma, O.A.Mohammed, " Real-time energy management algorithm for plug-in hybrid electric vehicle charging parks involving sustainable energy", *IEEE Trans. Sustain. Energy*, Vol. 5, pp. 577–586, March 2014.
- [42] M. Mujahid Rafique, "Design and Economic Evaluation of a Solar Household Electrification System," *INTERNATIONAL JOURNAL of SMART GRID*, Vol. 2, No. 2, June 2018.
- [43] S. Divyapriya, R. Vijayakumar, "Design of residential plugin electric vehicle charging station with a time of use tariff and IoT technology", *International Conference on Soft-computing and Network Security (ICSNS)*, IEEE, pp. 1–5, March 2018.
- [44] J.Solis, T.Oka, J.Ericsson, M.Nilsson, " Forecasting of Electric Energy Consumption for Housing Cooperative with a Grid-Connected PV Systems," *7th IEEE International Conference on Smart Grid*,Newcastle, AUSTRALIA, December 9-11, 2019.
- [45] J. Babic, A. Carvalho, W. Ketter, and V. Podobnik, "Evaluating policies for parking lots handling electric ehicles", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 944–961, Oct. 2017.
- [46] S. Habib, M. M. Khan, F. Abbas, L. Sang, M. U. Shahid, and H. Tang, "A comprehensive study of implemented international standards, technical challenges, impacts and prospects for electric vehicles," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 13 866–13 890, May 2018.
- [47] A. S. Varghese, P. Thomas, and S. Varghese, "An efficient voltage control strategy for fast charging of plug in electric vehicle," *Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (I-PACT)*, IEEE, pp. 1–4, April 2017. [48] D. Zhang, F. Wen, and J. Huang, "Optimal planning of battery swap stations," Jan 2012.
- [49] S. Habib, M. M. Khan, F. Abbas, L. Sang, M. U. Shahid, and H. Tang, "A comprehensive study

of implemented international standards, technical challenges, impacts and prospects for electric vehicles”, IEEE Access, vol. 6, pp. 13 866–13 890, May 2018.

[50] F. Zhang, X. Zhang, M. Zhang, and A. S. Edmonds, “Literature review of electric vehicle technology and its applications”, 5th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT), IEEE, pp. 832–837, June 2016.

[51] M. Yilmaz and P. Krein, “Review of charging power levels and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles and commentary on unidirectional charging,” IEEE International Electrical Vehicle Conference, March 2012.

[52] Y. J. Jang, “Survey of the operation and system study on wireless charging electric vehicle systems”, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 95, pp. 844–866, Feb 2018.

[53] N. Shinohara, “Wireless power transmission progress for electric vehicle in Japan,” IEEE Radio and Wireless Symposium. IEEE, pp. 109–111, Sept. 2013.

[54] L.Qingquan, J.Zhang, K.Ding, Z.Zhang, H.Zhu, R. Hou,” The Output Power Smoothing Method and Its Performance Analysis of Hybrid Energy Storage System for Photovoltaic Power Plant,” 2021 10th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), pp.36 – 39, September 2021.

[55] N.M.L.Tan, T.Abe, H.Akagi, “Design and Performance of a Bidirectional Isolated DC-DC Converter for a Battery Energy Storage System” IEEE Trans. Power Electron, Vol.27, pp.1237–1248, July 2012.

[56] J.N.Ingole, M.A.Choudhary, R.D.Kanphade, “Pic Based Solar Charging Controller for Battery”, Int. J. Eng. Sci. Technol., Vol.4, pp.384–390, June 2012.

[57] X. Liang, E.Tanyi, X.Zou, “Charging Electric Cars from Solar Energy (Dissertation)”, Available online: <http://urn.kb.se/resolve?Urn=urn:NBN:se:bth-11919> (accessed on 10 June 2016).

[58] M.Abdullah Al Mamun, M.Istiak, K.Abdulla Al Mamun, S.Akter Rukaia, “Design and Implementation of a Wireless Charging System for Electric Vehicles” IEEE, Power Electron, April 2020.

[59]D.Patil, J.Miller, B.Fahimi, T.Poras Balsara, V. Galigerkere, “A Coil Detection System for Dynamic Wireless Charging of Electric Vehicle” IEEE Transaction, Vol. 11-0275 pp. 1-16, Feb. 2019.

[60] M.Miyashita, “Evaluation of Wireless Communication for Maintenance of Underground Power Transmission Lines,” 7th IEEE International Conference on Smart Grid, Newcastle, Australia, December 9-11, 2019. [

61] M.Akil, E.Dokur, R.Bayindir, “Impact of Electric Vehicle Charging Profiles in Data-Driven Framework on Distribution Network,” 9th IEEE International Conference on Smart Grid, Setubal, Portugal, June 29-July 1, 2021.

[62] Resonators for wireless power transfer systems In IEEE Transaction in Feb. 2017

[63] S. Cheon, Y. H. Kim, “Antennas Propag”, IEEE Trans. Ind. Electron, Vol. 58, pp. 2906-2914,

Jan. 2011.

[64] I. Sasada, *J. Appl. Phys.*, Vol. 111, pp. 07E733, Sept., 2012.

[65] X. Wang, X.Nie, Y.Lu, F.Yan, Z.Wang, Yu, “Analysis and experimental study of wireless power transfer with HTS coil and copper coil as the intermediate resonators system,” *Phys. C, Supercond. Appl.*, vol. 532: pp. 6–12, June 2017.

[66] H. Yu, Shi, Z.Hai, Qiu, Z.Cai, Chen, X.Yuan, Li, M. Yao, “Asymmetry in wireless power transfer between a superconducting coil and a copper coil,” *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 28, no. 3, Art. No. 0600606, Apr 2018.

[67] X. Wang, Yu, Hu, Yanwen, He, Yingda, Yan, Zhongming, “Experimental and numerical study of a magnetic resonance wireless power transfer system using superconductor and ferromagnetic metamaterials,” *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 28, no. 5, Art. no. 1800206, Aug. 2018.

[68] I. Jong, H-W.Choi, H-S.Choi, D-C.Chung, “Analysis of S-parameter using different materials for the WPT resonance coil,” *IEEE Trans. Appl. Superconductors.*, vol. 28, no. 3, Art. No. 0500405, Apr. 2018.

[69] E. Heo, K.Y. Choi, J. Kim, J.H. Park, and H. Lee, “A wearable textile antenna for wireless power transfer by magnetic resonance,” *Textile Res. J.*, vol. 88, no. 8, pp. 913–921, June 2017.

[70] S. H. Kang and C. W. Jung, “Textile resonators with thin copper wire for wearable MR-WPT system,” *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.* vol. 27, no. 1, pp. 91–93, Jan. 2017

[71] M. Bissannagari, “Fully-inkjet-printed Ag-coil/NiZn ferrite for flexible wireless power transfer module: Rigid sintered ceramic body into flexible form,” *Adv. Funct. Mater.* vol. 27, no. 31, Art. No. 1701766, May 2017.

[72] N. J. Grabham, Yi Li, L. R. Clare, B.H. Stark, and S.P. Beeby “Fabrication techniques for manufacturing flexible coils on textiles for inductive power transfer,” *IEEE Sens. J.*, vol. 18, no. 6, pp. 2599–2606, Mar. 2018.

[73] M.Kaouane, A.Boukhelifa, A.Chériti, “Regulated output voltage double switch Buck-Boost converter for photovoltaic energy application”, *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 41(45), pp. 20847-57, Apr. 2016

[74] H.R-Murillo, “An efficiency comparison of fuel-cell hybrid systems based on the versatile buck-boost converter”, *IEEE Trans Power Electron*, doi. 33(4):1237- 46), Jan. 2017

[75] V.Best, B.Singh, “An adjustable-speed PFC bridgeless buck-boost converter-fed BIDC motor drive”, *IEEE Trans Ind Electron*, doi. 61(6):2665-77, Feb. 2014.

[76] J.M.Alonzo, J.Villa, D.C.Vaquero, C.Martinez, Osorio, “It Analysis and design of the integrated double buckboost converter as a high-power-factor driver for powered lamps”, *IEEE Trans Ind Electron*, doi.59(4):1689- 97, April 2012. [77] J.M.Blanes, R.Gutierrez, A.Garrig6s, J.L.Lizan, J.M.Cuadrado, “Electric vehicle battery life extension using ultracapacitors and an FPGA controlled

- interleaved buck-boost converter”, IEEE Trans Power Electron, Vol.28 (12), pp.5940-8, May 2013.
- [78] YJ.Lee, A.Khaligh, A.Emadi, “A compensation technique for smooth transitions in a noninverting buckboost converter”, IEEE Trans Power Electron, Vol.24 (4), pp.1002-15, Sept. 2009.
- [79] M. Brandl, H. Gall, M. Wenger, V. Lorentz, M. Giegerich, F. Baronti, G. Fantechi, L. Fanucci, R. Roccella, R. Saletti, S. Saponara, A. Thaler, M. Crain, W. Prochazka, ”Batteries and Battery Management Systems for Electric Vehicles,” Conference: Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE) Germany, March 2012.
- [80] J.Dixon, “Energy Storage for Electric Vehicles,” IEEE International Conference on Industrial Technology Chile, March 2010.
- [81] A.Cooper, P.Moseley, “Progress in the Development of Lead Acid Batteries for Hybrid Electric Vehicles,” IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference Windsor, UK, September 2006.
- [82] F.Einwächter, C.Sourkounis, “Accessing Flexibility of Electric Vehicles for Smart Grid Integration,” IEEE Ninth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER) Monte Carlo, March 2014.
- [83] S.Vazquez, M.Srdjan, E.Galvan, L.G. Franquelo, J.M. Carrasco,” Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, pp. 3881 – 3895, September 2010.
- [84] The Boston Consulting Group (BCG), “Batteries for Electric Cars,” Sept. 2010.
- [85] S.M. Lukic, J.Cao, R.C. Bansal, F.Rodriguez, A. Emadi, “Energy Storage Systems for Automotive Applications,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, pp. 2258 – 2267, May 2008.
- [86] C.Yin, Y.Wang, “Research on battery management system in an electric vehicle,” 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet) Yichang, China, April 2012.
- [87] A.Belkaid, I.Colak, K.Kayışlı, R.Bayındır, “Design and Implementation of a Cuk Converter Controlled by a Direct Duty Cycle INC-MPPT in PV Battery System,” International Journal Of Smart Grid, Vol.3, No.1, March 2019.
- [88] B.Pattipati, K.Pattipati, J.P.Christopherson, S.M..Namburu, D. V.Prokhorov, and L.Qiao, “Automotive Battery Management Systems,” IEEE autotestconusa, September 2008.
- [89] J.Cao, N.Schofield, A.Emadi, “Battery balancing methods: A comprehensive review,” IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference China, September 2008.
- [90] Hu, Rui, “Battery Management System for Electric Vehicle Applications”, Electronic Theses and Dissertations, April 2011.
- [91] C.Alaoui, “Solid-State Thermal Management for Lithium-Ion EV Batteries,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, pp. 98-107, January 2018.
- [92] K. Yang, D.H. Li, S. Chen, and F. Chen, “Thermal model of batteries for electrical vehicles,”

Transactions of Beijing Institute of Technology, pp. 782-784, Feb. 2008.

[93] Y.Chen, L.Song, J.W. Evans, “Modeling studies on battery thermal behavior, thermal runaway, thermal management, and energy efficiency,” IECEC 96. Proceedings of the 31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference Washington, DC, USA, August 1996.

[94] P.Qingfeng, Z.Han, L.Xinwen, F.Yunzhou, and Z. Xiangbing, “Battery thermal management system design and control strategy study for hybrid electric vehicles,” IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific China, September 2014.

[95] The Automotive Research Association of India, “Electric Vehicle Conductive DC Charging System”, Jan. 2018

[96] Y.Kobayashi, M.Hamanaka, K.Niimi, K.Yukita, T. Matsumura, Y.Goto, “Power Quality Improvement Method Using EV for PV Output Fluctuation,” 6th IEEE International Conference on Smart Grid, Nagasaki, JAPAN, December 4-6, 2018.

[97] G.R.C.Mouli, P. Bauer, M. Zeman “System design for a solar-powered electric vehicle charging station”, May 2016

[98] K.Markam¹, K.Sudhakar², “Estimation of optimal tilt angle for solar photovoltaic installations in India”, Vol. 03, Sept. 2016.

[99] P.Kumar and K.Das, “Potential Need for Electric Vehicles, Charging Station Infrastructure and its Challenges for the Indian Market”, Vol. 3, March 2016.

[100] N.Nayak, “Growth of Electric Vehicle in Indian market by increasing the EV public charging”, Mechanical Department, B.V. College, India, Volume 1, Oct. 2015.

[101] B.Ye and J.Jiang “Feasibility Study of a SolarPowered Electric Vehicle Charging Station Model”, Jan. 2015.

[102] G.Badea, R-A.Felseghi “Design and Simulation of Romanian Solar Energy Charging Station for Electric Vehicles”, Feb. 2018

[103] H.Zhao and A.Burke “An Intelligent Solar Powered Battery Buffered EV Charging Station with Solar Electricity Forecasting” University of California, USA, May 2014.

[104] B.Ye and J.Jiang, “Feasibility Study of a SolarPowered Electric Vehicle Charging Station Model”, April 2015.

[105] P.K.Joseph and D.Elangovan, “A review on renewable energy powered wireless power transmission techniques for light electric vehicle charging applications,” J. Energy Storage, vol. 16, pp. 145–155, Sept. 2018.

[106] F. Lu, H. Zhang and C. Mi, “A two-plate capacitive wireless power transfer system for electric vehicle charging applications,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 33, no. 2, pp. 964–969, Feb. 2018

[107] F. Lu, H.Zhang, H.Hofmann, C.C.Mi, “A dynamic charging system with reduced output power pulsation for electric vehicles,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 63, no. 10, pp. 6580–6590, Oct. 2016.

- [108] R. Tavakoli and Z. Pantic, "Analysis, design, and demonstration of a 25-kW dynamic wireless charging system for roadway electric vehicles," *IEEE J. Emerg. Sel. Topics Power Electron.* vol. 6, no. 3, pp. 1378–1393, Sep. 2018
- [109] S. Y. R. Hui, W. Zhong, and C. K. Lee, "A critical review of recent progress in mid-range wireless power transfer," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 9, pp. 4500–4511, Sep. 2014.
- [110] F. Liu, "Modeling and optimization of magnetically coupled resonant wireless power transfer system with varying spatial scales," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 32, no. 4, pp. 3240–3250, Apr. 2017.
- [111] A. Gamawanto, M. U. Qinthara, F. S. Rahman, K. M. Banjar-Nahor, N. Hariyanto, "Pricing Scheme for EV Charging Load Penetration in Distribution Network: Study Case Jakarta," 7th IEEE International Conference on Smart Grid, Newcastle, AUSTRALIA, December 9- 11, 2019.
- [112] Y. D. Chung, C. Lee, Y. G. Park., "Design considerations of superconducting wireless power transfer for an electric vehicle at different inserted resonators," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 26, no. 4, Art. No. 0603605, Jun. 2016.
- [113] B. Zafar, "Design of a Renewable hybrid photovoltaic Electrolyze-PEM/Fuel Cell System using Hydrogen Gas,"
- [114] D. Patil, M. K. McDonough, J. M. Miller, B. Fahimi, P. T. Balsara, "Wireless power transfer for vehicular applications: Overview and challenges," *IEEE Trans. Transportation. Electric.* vol. 4, no. 1, pp. 3–37, Mar. 2018.
- [115] Z. Dai, "A Witricity-based high-power device for wireless charging of electric vehicles," *Energies*, vol. 10, no. 3, Art. No. 323, Jan. 2017.
- [116] A. Ibrahim and M. Kiani, "A figure-of-merit for design and optimization of inductive power transmission links for millimeter-sized biomedical implants," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 10, no. 6, pp. 1100–1111, Dec. 2016.
- [117] C. Zhang, X. Wei, "A novel electric insulation string structure with high voltage insulation and wireless power transfer capabilities," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 33, no. 1, pp. 87–96, Jan. 2018.
- [118] Z. Luo and X. Wei, "Analysis of square and circular planar spiral coils in wireless power transfer system for electric vehicles," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 1, p. 331–341, Jan. 2018
- [119] B. Deng and Z. Wang, "Research on electric-vehicle charging station technologies based on smart grid," *AsiaPacific Power and Energy Engineering Conference*, IEEE, pp. 1–4, Jan. 2011.
- [120] M. Yilmaz and P. T. Krein, "Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles," *IEEE transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 5, pp. 2151–2169, Sept. 2012.
- [121] Y.-M. WI, J.-U. Lee, and S.-K. Joo, "Electric vehicle charging method for smart

- homes/buildings with a photovoltaic system,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 59, no. 2, pp. 323–328, June 2013.
- [122] G. Mauri and A. Valsecchi, “The role of fast-charging stations for electric vehicles in the integration and optimization of the distribution grid with renewable energy sources,” Sept. 2012.
- [123] W. Tian, J. He, L. Niu, W. Zhang, X. Wang, and Z. Bo, “Simulation of vehicle-to-grid (v2g) on power system frequency control,” *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*. IEEE, pp. 1–3, Feb. 2012.
- [124] S. Kori, “Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy,” *Journal Current Science*, vol. 18, no. 12, Jan. 2017
- [125] S. Divyapriya, R. Vijayakumar, R. Amutha, “Design of residential plugin electric vehicle charging station with a time of use tariff and IoT technology,” *International Conference on Soft-computing and Network Security (ICSNS)*. IEEE, pp. 1–5, Sept. 2018.
- [126] G. Dimitrakopoulos, “Intelligent transportation systems based on internet-connected vehicles: Fundamental research areas and challenges,” *11th International Conference on ITS Telecommunications*, IEEE, pp. 145–151, June 2011.
- [127] Q. Gong, Y. Li, and Z.-R. Peng, “Optimal power management of plugin hev with the intelligent transportation system,” *IEEE/ASME international conference on advanced intelligent mechatronics*. IEEE, pp. 1–6, March 2007.
- [128] J.P. Ortiz, G.P. Ayabaca, A.R. Cardenas, D. Cabrera, “Continual Reinforcement Learning Using Real-World Data for Intelligent Prediction of SOC Consumption in Electric Vehicles,” *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 20, Issue. 4, April 2022.