

Ασύρματη Φόρτιση Ηλεκτρικών Οχημάτων

Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα: Ανερχόμενη τεχνολογία

Με τη ραγδαία αύξηση των αυτοκινήτων τη δεκαετία του '80 έγινε φανερό ότι η χρήση ορυκτών καυσίμων αποτελεί έναν από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες για την όξυνση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Μάλιστα, στα τέλη του '80 και τις αρχές τις δεκαετίας του '90, διαπιστώθηκε ότι η υποβάθμιση του περιβάλλοντος δεν περιορίζεται μόνο στα αστικά κέντρα και γύρω από τις κύριες οδικές αρτηρίες, αλλά συστατικά που περιέχονται στα καυσαέρια συμβάλλουν σε ευρύτερη περιβαλλοντική υποβάθμιση.

Σήμερα, η αυξημένη περιβαλλοντική συνείδηση, η ακρίβεια των συμβατικών καυσίμων, καθώς και η προοπτική νέων επιχειρηματικών ευκαιριών είναι παράγοντες οι οποίοι ωθούν την ανάπτυξη της ηλεκτροκίνησης. Παράλληλα τίθενται ολοένα και περισσότεροι στόχοι για μείωση των εκπομπών ρύπων των οχημάτων. Στην κατεύθυνση αυτή, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει στόχους

σχετικά με την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα για το 2020, σύμφωνα με τους οποίους το 95% των νέων επιβατικών οχημάτων κάθε αυτοκινητοβιομηχανίας θα πρέπει να είναι οχήματα χαμηλών ρύπων (εκπομπές CO₂ μικρότερες από 95 g/km), με προοπτική συμμόρφωσης για το 100% των νέων επιβατικών οχημάτων των αυτοκινητοβιομηχανιών για το 2021¹. Στο πλαίσιο αυτό, πάνω από 7 εκατομμύρια πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων προβλέπονται για το 2020, ενώ πιο αισιόδοξα πλάνα έχουν ανακοινωθεί από τις εθνικές κυβερνήσεις των χωρών σε παγκόσμιο επίπεδο για πιο μακροπρόθεσμο διάστημα. Πιο συγκεκριμένα, προβλέπεται ότι το 2030 οι πωλήσεις ηλεκτρικών οχημάτων θα ανέρχονται σε περισσότερες από 30 εκατομμύρια, με τον αριθμό αυτό να εκτοξεύεται σε περισσότερες από 100 εκατομμύρια για το 2050.

Τα μειονεκτήματα της αντικατάστασης των συμβατικών κινητήρων εσωτερικής καύσης με ηλεκτρικούς κινητήρες είναι το σχετικά υψηλό κόστος της μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος, καθώς και η περιορισμένη ενεργειακή αυτονομία τους. Οι δυο αυτές παράμετροι είναι οι κυριότεροι παράγοντες της περιορισμένης σήμερα διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά της αυτοκινητοβιομηχανίας. Είναι προφανές ότι η αύξηση των πωλήσεων των ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα επιφέρει και τη σταδιακή μείωση του κόστους των μπαταριών. Ωστόσο, μέχρι αυτό να πραγματοποιηθεί, το υψηλό κόστος της μπαταρίας μπορεί να αντιμετωπιστεί με εναλλακτικές επιχειρηματικές μεθόδους όπως, η ενοικίαση της ηλεκτρικής μπαταρίας και όχι η αγορά της κατά την αγορά ενός νέου ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Όσον αφορά την ενεργειακή αυτονομία των ηλεκτρικών οχημάτων, οι σημερινές τεχνολογίες μπαταριών δεν μπορούν να ικανοποιήσουν την κάλυψη μεγάλων



¹http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm

αποστάσεων. Η μόνη διαφαινόμενη λύση στη βαρύνουσα σημασία ανησυχία των οδηγών για την περιορισμένη αυτονομία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων είναι η επάρκεια υποδομών φόρτισης.

Υποδομές Φόρτισης

Η ανάπτυξη κατάλληλων υποδομών φόρτισης είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που θα δώσει ώθηση στην αγορά των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η επάρκεια του δικτύου ηλεκτρικής φόρτισης εξαρτάται από τρεις παραμέτρους: τον κατάλληλο αριθμό φορτιστών, την κατάλληλη τοποθεσία εγκατάστασης των φορτιστών και τον απαιτούμενο χρόνο φόρτισης. Ο αριθμός και η τοποθεσία εγκατάστασης των σταθμών φόρτισης απαιτεί ένα οργανωμένο στρατηγικό πλάνο που θα λαμβάνει υπόψη του τόσο τις ανάγκες και συνθήκες των οδηγών, όσο και την επάρκεια των υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να μην διαταράσσεται βραχυπρόθεσμα η ομαλή λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας (υπερφορτίσεις, μεγάλες πτώσεις τάσεως). Όσον αφορά τον χρόνο φόρτισης, είναι αδύνατη σήμερα η μείωσή του σε επίπεδα αντίστοιχα του χρόνου ανατροφοδότησης των συμβατικών αυτοκινήτων. Οι σημερινές τεχνολογίες υποδομών φόρτισης για οικιακή χρήση (3.6kW) απαιτούν περίπου 7 ώρες για την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας. Ο χρόνος αυτός μειώνεται στο μισό για τεχνολογίες σταθμών ισχύος 7kW που προορίζονται για σταθμούς φόρτισης δημόσιας χρήσης. Τέλος, υπάρχουν και οι σταθμοί ταχείας φόρτισης (άνω των 30kW), το κόστος των οποίων είναι πολλαπλάσιο των απλών σταθμών φόρτισης, που επιτρέπουν την πλήρη φόρτιση της μπαταρίας σε λιγότερο από 30 λεπτά.



Πηγή: Infiniti

Μια ιδιαίτερα υποσχόμενη μέθοδος ταχείας φόρτισης είναι η επαγωγική φόρτιση. Η επαγωγική φόρτιση επιτρέπει την ασύρματη μεταφορά μεγάλων ποσών ισχύος μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και της μπαταρίας του ηλεκτρικού οχήματος. Το όχημα αρχίζει να φορτίζει όταν τοποθετηθεί πάνω από τον φορτιστή. Ο συγκεκριμένος τρόπος

φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων απαλλάσσει τον οδηγό από τη χρήση καλωδίων απλοποιώντας τη διαδικασία της φόρτισης. Οι επαγωγικοί σταθμοί φόρτισης εξαλείφουν επίσης κάθε είδους κίνδυνο σχετικό με τη χρήση καλωδίων, όπως η χρήση φθαρμένων καλωδίων ή η χρήση καλωδίων σε βροχερό ή χιονισμένο περιβάλλον. Επιπλέον το επαγωγικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος είναι τοποθετημένο υπογείως, εξασφαλίζοντας τη μη έκθεσή του σε άσχημες καιρικές συνθήκες, συμβάλλοντας παράλληλα και στην αποφυγή βανδαλισμών, όπως η κλοπή του καλωδίου φόρτισης.

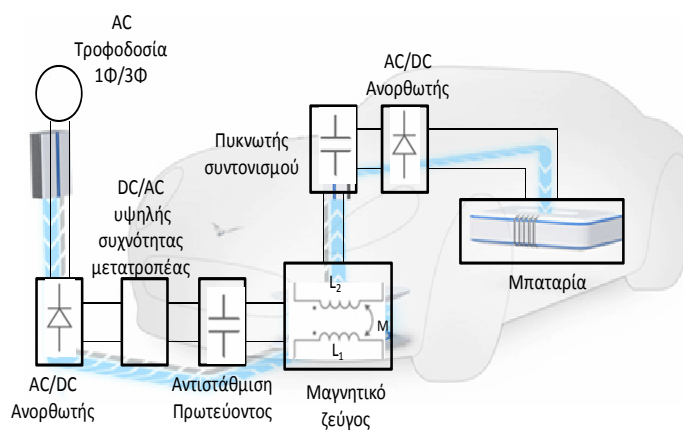
Ασύρματη Φόρτιση ηλεκτρικών αυτοκινήτων

Η επαγωγική φόρτιση διακρίνεται περαιτέρω σε δύο κατηγορίες: τη στατική φόρτιση, όπου το όχημα σταθμεύει πάνω από το φορτιστή, ώστε να ξεκινήσει η φόρτιση της μπαταρίας

του, και τη δυναμική φόρτιση, όπου το όχημα φορτίζει καθώς κινείται στο δρόμο. Πιο συγκεκριμένα, σταθμοί δυναμικής φόρτισης προσφέρουν τη δυνατότητα της ασύρματης μεταφοράς ισχύος στα οχήματα κατά τη διάρκεια σύντομων στάσεων, π.χ. κοντά σε ένα φανάρι ή ακόμη και δυναμικά καθώς το όχημα κινείται. Με τη χρήση αυτή της τεχνολογίας τα ηλεκτρικά οχήματα είναι ικανά να φορτίζουν την μπαταρία τους σε διάφορα σημεία κατά τη διάρκεια του ταξιδιού τους, μειώνοντας την ανάγκη να σταματούν σε σταθμούς φόρτισης. Η δυναμική φόρτιση, επομένως δύναται να επιλύσει επιτυχώς τα όποια προβλήματα σχετίζονται με την περιορισμένη ικανότητα των ηλεκτρικών οχημάτων για κάλυψη μεγάλων αποστάσεων. Μάλιστα η ικανότητα φόρτισης σε πολλαπλά σημεία κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής επιτρέπει τη χρήση μπαταριών μικρότερης χωρητικότητας, συμβάλλοντας έτσι σε σημαντική μείωση του κόστους των ηλεκτρικών οχημάτων.



Η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος επαγωγικής φόρτισης είναι παρόμοια με εκείνη των μετασχηματιστών, όπου ενέργεια μεταφέρεται από ένα πρωτεύον σε ένα δευτερεύον πηνίο. Κατά την επαγωγική φόρτιση ωστόσο, τα πηνία μετάδοσης και λήψης λειτουργούν



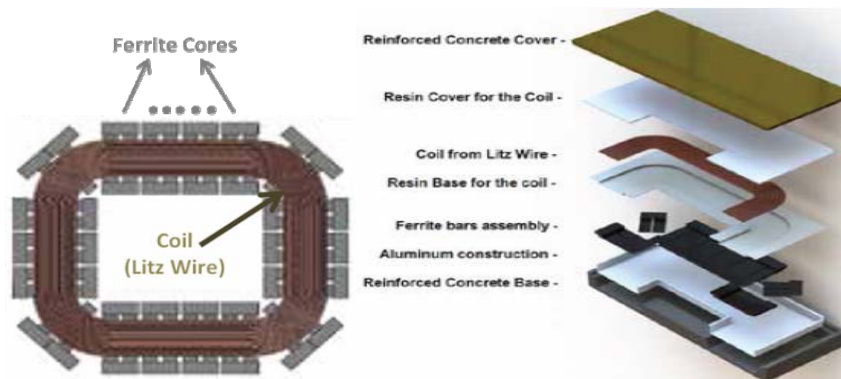
σαν ένας ασθενώς συζευγμένος μετασχηματιστής που επιτρέπει τη μετάδοση της ισχύος μέσω ενός σχετικά μεγάλου διακένου. Η γενική περιγραφή της επαγωγικής φόρτισης καθώς και τα επιμέρους στάδια για την ασύρματη φόρτιση του ηλεκτρικού οχήματος, απεικονίζονται στη διπλανή

εικόνα. Αρχικά, η εναλλασσόμενη (AC) τάση του δικτύου μετατρέπεται σε συνεχή (DC) με τη χρήση ενός AC/DC ανορθωτή. Στη συνέχεια, ένας DC/AC μετατροπέας υψηλής συχνότητας παρέχει ρεύμα υψηλής συχνότητας στο πρωτεύον πηνίο. Ακολούθως, το ρεύμα στο πηνίο εκπομπής δημιουργεί ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο, το οποίο επάγει μια εναλλασσόμενη τάση στο πηνίο-δέκτη. Για την αντιστάθμιση της αέργου ισχύος από την πηγή τροφοδοσίας χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα αντιστάθμισης στο πρωτεύον του μαγνητικού ζεύγους, ενώ για την αύξηση της δυνατότητας μεταφοράς ισχύος του συστήματος χρησιμοποιείται ένας πυκνωτής συντονισμού στο δευτερεύον. Τέλος, ένας AC/DC ανορθωτής συμβάλλει στη μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης του δευτερεύοντος πηνίου σε συνεχή, ώστε να επιτευχθεί η φόρτιση της μπαταρίας του οχήματος.

FastInChargeproject: Πρότυπος Σταθμός ασύρματης Φόρτισης

Η ερευνητική ομάδα SmartRue του Εργαστηρίου Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας του ΕΜΠ συμμετείχε στο Ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα FastInCharge¹ (No. 314284), ο κύριος στόχος του οποίου είναι η προώθηση της χρήσης ηλεκτρικών αυτοκινήτων με την ανάπτυξη μιας εύκολα υλοποιήσιμης και εύχρηστης υποδομής φόρτισης. Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύχθηκε μια πλήρης υποδομή επαγωγικής φόρτισης, επιτρέποντας τόσο τη στατική όσο και τη δυναμική επαγωγική φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων. Οι υποδομές φόρτισης εγκαταστάθηκαν στην πόλη Douaίτης Γαλλίας, ενώ στις 17 Ιουνίου 2015 πραγματοποιήθηκε η επίδειξη της τεχνολογίας επαγωγικής φόρτισης στο ευρύ κοινό.

Ο μαγνητικός συζευκτής που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος FastInChargeείναι μια ορθογώνια διάταξη με διαστάσεις 700mm x 800mm x 90mm για το πρωτεύον και 700mm x 800mm x 60mm για το δευτερεύον (Εικόνα 1). Η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος στο πρωτεύον και δευτερεύον πηνίο κυμαίνεται μεταξύ 15 και 25 kHz, ενώ επιτρέπεται η μεταφορά ισχύος 30kW σε ένα διάκενο (κατακόρυφη απόσταση) μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ίσο με 20cmκαι μια οριζόντια μετατόπιση ίση με 8±1cm.



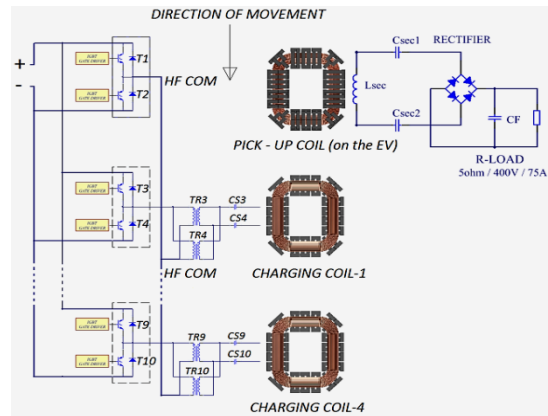
Εικόνα 1: Ο μαγνητικός συζευκτής που αναπτύχθηκε στοπλαίσιο του προγράμματος FastInCharge

Η προσέγγιση του FastInChargeστη δυναμική φόρτιση περιλαμβάνει τέσσερα διαδοχικά τοποθετημένα πρωτεύοντα πηνία, όπως απεικονίζονται στην Εικόνα2α, πανομοιότυπα με αυτά που χρησιμοποιούνται στη στατική φόρτιση. Η τοπολογία των ηλεκτρονικών ισχύος απεικονίζεται στην Εικόνα2β και αποτελείται από ένα ζεύγοςIGBT που είναι κοινό για όλη τη διάταξη (T1, T2 στην Εικόνα2β)και τέσσερα ζεύγη IGBT, ένα για καθένα από τα τέσσερα πρωτεύοντα πηνία (T3-T4 ... T9-T10 στην Εικόνα2β). Το κοινό ζεύγοςIGBTβρίσκεται σε συνεχή λειτουργία, ενώ κάθε ένα από τα υπόλοιπα ζεύγη IGBTενεργοποιείται όταν το όχημα περνάει πάνω από το εκάστοτε πηνίο. Μια τέτοια κατασκευή επιτρέπει τη λειτουργία ενός μόνο πρωτεύοντος πηνίου κάθε φορά, ωστόσο περιορίζει σημαντικά το οικονομικό κόστος, χρησιμοποιώντας έναν κοινό DC/ACμετατροπέα για όλη τη διάταξη.

¹<http://www.fastincharge.eu/>



(α)



(β)

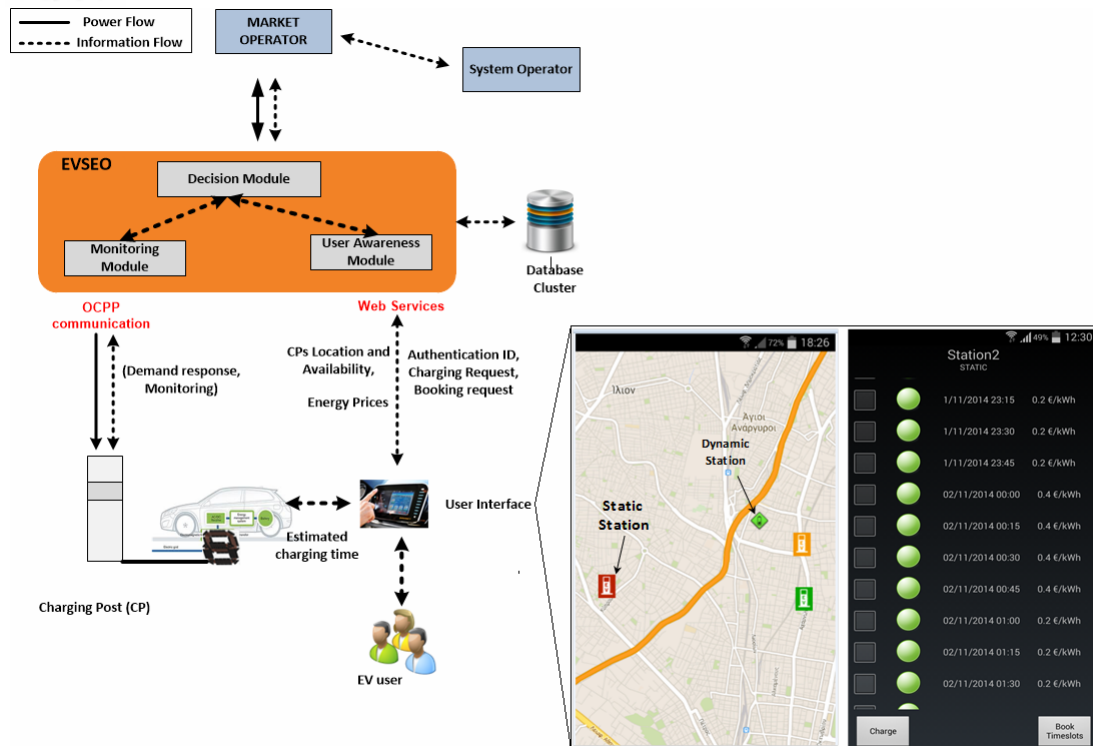
Εικόνα2: (α) Δυναμική φόρτιση με διάταξη 4 μαγνητικών συζευκτών (β) Τοπολογία ηλεκτρονικών ισχύος [Πηγή: FastInChargeproject]

Η απόδοση της διάταξης εξαρτάται σημαντικά από την κατακόρυφη απόσταση μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Στο πλαίσιο αυτό κατασκευάστηκε ένας κινούμενος μηχανισμός τοποθέτησης του δευτερεύοντος πηνίου που βρίσκεται στο όχημα στην κατάλληλη απόσταση από το πρωτεύον πηνίο του φορτιστή. Ο μηχανισμός αυτός, μαζί με το δευτερεύον πηνίο, τοποθετήθηκε στην πίσω πλευρά του αυτοκινήτου που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος FastInCharge. Μόλις το όχημα πλησιάσει το σταθμό δυναμικής φόρτισης ή σταθμεύσει πάνω από το σταθμό στατικής φόρτισης και ο οδηγός απαιτήσει τη φόρτιση του οχήματος, το δευτερεύον πηνίο κατεβαίνει μέχρι να εξασφαλισθεί η λειτουργία στο επιθυμητό διάκενο όπως φαίνεται στην **Error! Unknown switch argument.**



Εικόνα 3: Ο μηχανισμός τοποθέτησης που αναπτύχθηκε στο FastInCharge

Προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν προβλήματα σχετικά με τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, λόγω της αυξημένης ενεργειακής ζήτησης των σταθμών επαγωγικής φόρτισης, η ερευνητική ομάδα SmartRue του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου ανέπτυξε επίσης ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Σύστημα διαχείρισης ενέργειας στο πλαίσιο του προγράμματος FastInCharge

Το συγκεκριμένο σύστημα διαχείρισης ενέργειας παρέχει στον διαχειριστή των σταθμών φόρτισης και στον λειτουργό του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας τη δυνατότητα εποπτείας της κατανάλωσης των σταθμών, ενώ επίσης επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο του μέγιστου επιπέδου φόρτισης των σταθμών, σε περίπτωση που παρουσιαστεί κάποια ανεπιθύμητη κατάσταση στη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου. Ταυτόχρονα, το σύστημα διαχείρισης ενέργειας ενημερώνει τους χρήστες των ηλεκτρικών οχημάτων σε πραγματικό χρόνο για την τοποθεσία των σταθμών γρήγορης επαγωγικής φόρτισης, καθώς και τη διαθεσιμότητά τους. Επιπλέον οι οδηγοί των ηλεκτρικών οχημάτων έχουν τη δυνατότητα να κάνουν προ-κράτηση σε κάποιον σταθμό ώστε να φορτίσουν στο πιο βολικό για αυτούς χρονικό διάστημα. Ένα κατάλληλο γραφικό περιβάλλον διεπαφής εξασφαλίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και του συστήματος διαχείρισης ενέργειας.

Προκλήσεις της Ασύρματης Φόρτισης

✓ Τοποθέτηση αυτοκινήτου στο σταθμό επαγωγικής φόρτισης

Για να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία ενός συστήματος επαγωγικής φόρτισης, θα πρέπει το πρωτεύον και το δευτερεύον πηνίο να είναι κατάλληλα τοποθετημένα, όσον αφορά τόσο την κατακόρυφη όσο και την οριζόντια μεταξύ τους θέση. Στο πρόγραμμα FastInCharge, το ζήτημα της κατακόρυφης μετατόπισης επιλύθηκε με τη χρήση του μηχανισμού τοποθέτησης που περιγράφηκε παραπάνω. Επιπλέον, λωρίδες τοποθετήθηκαν στο δρόμο, όπως φαίνεται στην Εικόνα5, ώστε να βοηθήσουν τον οδηγό του οχήματος να μειώσει στο ελάχιστο την οριζόντια μετατόπιση μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος πηνίου.

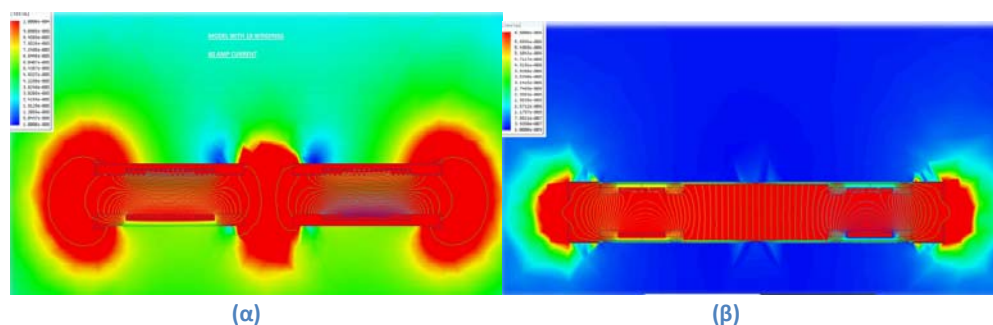


Εικόνα5: Ειδική διαγράμμιση για την ελαχιστοποίηση της οριζόντιας μετατόπισης των μαγνητικών συζευκτών [Πηγή: FastInChargeProject]

✓ **Ασφάλεια λόγω ηλεκτρομαγνητικών πεδίων**

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα που εγείρεται από τη χρήση συστημάτων επαγωγικής φόρτισης είναι η ασφάλεια της χρήσης τους λόγω των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που αναπτύσσονται. Ειδικές οδηγίες έχουν εκδοθεί από την ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) για τους περιορισμούς που πρέπει να ισχύουν κατά την έκθεση σε χρονομεταβλητά ηλεκτρικά, μαγνητικά και ΗΜ πεδία για το εύρος συχνοτήτων 1-100 kHz ("ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields, 1-100kHz¹). Σύμφωνα με τις οδηγίες αυτές, σε περίπτωση έκθεσης ατόμων σε ΗΜ ακτινοβολία, απαιτείται το Μαγνητικό Πεδίο να είναι μικρότερο από 27μΤ.

Μια τακτική για τον περιορισμό του μαγνητικού πεδίου είναι η χρήση αλουμινίου στη διάταξη της επαγωγικής φόρτισης. Στο πλαίσιο του προγράμματος FastInCharge, η χρήση αλουμινίου φαίνεται να περιορίζει σημαντικά τη διαρροή της μαγνητικής ροής, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 6*. Μάλιστα μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διάταξη που υλοποιήθηκε για το πρόγραμμα FastInCharge έδειξαν ότι το μαγνητικό πεδίο είναι σημαντικά μικρότερο από το όριο των 27μΤ που τίθεται από τις οδηγίες της ICNIRP¹, ακόμα και σε μια απόσταση 60cm από το κέντρο της διάταξης.

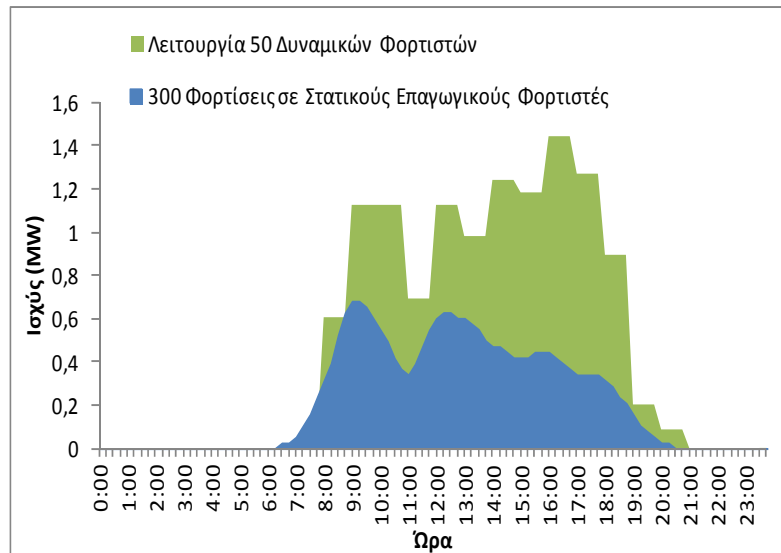


Εικόνα 6: Κατανομή του μαγνητικού πεδίου (α) χωρίς και (β) με τη χρήση ειδικής προστασίας αλουμινίου [Πηγή: FastInChargeProject]

✓ **Επίδραση της επαγωγικής φόρτισης στο δίκτυο διανομής**

¹ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (1-100kHz), PUBLISHED IN: HEALTH PHYSICS 99(6):818-836; 2010

Αν και η γρήγορη επαγωγική φόρτιση αναμένεται να συμβάλει σημαντικά στην προώθηση της χρήσης των ηλεκτρικών οχημάτων, οι υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις των σταθμών ενδέχεται να προκαλέσουν σημαντικές μεταβολές στην καμπύλη φορτίου του ηλεκτρικού δικτύου. Ας θεωρήσουμε, για παράδειγμα, ότι πραγματοποιούνται καθημερινά 300 φορτίσεις σε στατικούς επαγωγικούς φορτιστές. Για τις φορτίσεις αυτές λαμβάνουμε υπόψη την πιθανότητα φόρτισης ενός οχήματος κάποια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας και τη διάρκεια της φόρτισης. Με βάση αυτές τις δύο παραμέτρους, είναι δυνατόν να υπολογιστεί η ζήτηση των 300 φορτίσεων και να προσδιορισθεί ο



αριθμός στατικών φορτιστών που απαιτούνται για την κάλυψη της συγκεκριμένης ζήτησης. Η ζήτηση των φορτίσεων αυτών, η οποία απεικονίζεται με την μπλε καμπύλη του διπλανού σχήματος παρουσιάζεται αυξημένη κατά τη διάρκεια των πρωινών και μεσημεριανών ωρών. Θεωρώντας στο ίδιο παράδειγμα, τη λειτουργία επιπλέον 50 δυναμικών φορτιστών, η ζήτηση των οποίων απεικονίζεται με πράσινο χρώμα στο παραπάνω σχήμα, παρατηρείται μια ιδιαίτερα μεγάλη αύξηση στη ζήτηση των φορτιστών, η οποία παρουσιάζει μια αιχμή τις πρωινές ώρες και διατηρείται σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα τις μεσημεριανές και απογευματινές ώρες.

Είναι, επομένως, φανερό ότι η υψηλή ζήτηση των επαγωγικών φορτιστών αναμένεται να μεταβάλει σημαντικά την καμπύλη φορτίου του ηλεκτρικού δικτύου. Δίκτυα διανομής που ήδη εξυπηρετούν ένα μεγάλο φορτίο ενδέχεται να παρουσιάσουν προβλήματα στη λειτουργία τους, όπως υπερφόρτιση των γραμμών ή των μετασχηματιστών, λόγω της αυξημένης ζήτησης των σταθμών επαγωγικής φόρτισης. Η ικανοποίηση της αυξημένης αυτής ζήτησης θα απαιτήσει σημαντικές επενδύσεις για την τοπική ενίσχυση των υποδομών των δικτύων διανομής. Ωστόσο, με την ανάπτυξη κατάλληλων τεχνικών μπορούν να αποφευχθούν τέτοιες καταστάσεις χωρίς την πραγματοποίηση μεγάλων επενδύσεων. Μια τέτοια τεχνική είναι η εφαρμογή ενός αποδοτικού συστήματος διαχείρισης ενέργειας όπως αυτό που αναπτύχθηκε στο πρόγραμμα FastInCharge και περιγράφηκε προηγουμένως.

Συγγραφείς:

Ιωάννης Καρακίτσιος, Ευάγγελος Καρφόπουλος, Νίκος Χατζηαργυρίου