



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**«ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΕ
ΜΕΓΑΛΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ
Α.Π.Ε»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σαρτζετάκης Αντώνιος

Εξεταστική Επιτροπή

Κανέλλος Φώτιος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΗΜΜΥ (Επιβλέπων)

Κουτρούλης Ευτύχιος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΗΜΜΥ

Σταυρακάκης Γεώργιος, Καθηγητής ΗΜΜΥ

Αθήνα, Ιανουάριος 2022

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο, εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί, ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η επίδραση που έχουν οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και οι σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και το πως διαμορφώνουν κάποια βασικά μεγέθη του συστήματος, όπως τάσεις και απώλειες, αλλά και το πως αυτά επηρεάζουν το ένα το άλλο. Δηλαδή, τη δυνατότητα συνεργασίας μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με σκοπό την αύξηση της διείσδυσής τους στο δίκτυο. Όπως γνωρίζουμε στις μέρες μας, η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια συνεχώς αυξάνεται και πλέον θεωρείται αναγκαία η μεγαλύτερη διείσδυση διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα των απωλειών ενέργειας, της υπερφόρτωσης των γραμμών μεταφοράς, αλλά και της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Προκειμένου να δούμε όλα αυτά τα οφέλη της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων και των Α.Π.Ε., χρησιμοποιούμε ένα δίκτυο 33 ζυγών πάνω στο οποίο γίνεται η τοποθέτηση αυτών των μονάδων και μετά την τοποθέτηση τους, γίνεται η προσομοίωση της ροής ισχύος κατά τη διάρκεια μίας ημέρας. Στα φωτοβολταϊκά όπως και στα αιολικά στοιχεία τα δεδομένα για την παραγόμενη ισχύ τους, είναι σε ημερήσια βάση και κατά προτίμηση η τοποθέτηση τους γίνεται στους ζυγούς του δικτύου, οι οποίοι είναι πιο ασθενείς. Οι σταθμοί φόρτισης που εγκαθίστανται στο δίκτυο, δεν λειτουργούν μόνο ως παθητικά φορτία, αλλά μπορούν και συνεισφέρουν στο δίκτυο, δίνοντας ισχύ όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο. Σημαντική παράμετρος για αυτό είναι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, βάση της οποίας γίνεται η βελτιστοποίηση για το κόστος των σταθμών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων. Η βελτιστοποίηση αυτή επιτυγχάνεται με την χρήση αλγορίθμων βελτιστοποίησης-ελαχιστοποίησης γραμμικού προγραμματισμού. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι ήδη υλοποιημένοι εντός του λογισμικού MATLAB, τους οποίους χρησιμοποιούμε προσαρμόζοντας τις παραμέτρους τους. Στην συνέχεια όταν έχουν πλέον τοποθετηθεί οι σταθμοί φόρτισης και οι Α.Π.Ε. στο δίκτυο, εκτελείται η ροή ισχύος, προκειμένου να δούμε την επίδραση αυτών των στοιχείων στις απώλειες του δικτύου, στις τάσεις των ζυγών του, αλλά και σε άλλα σημαντικά μεγέθη που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του δικτύου μας. Η συγκεκριμένη προσομοίωση της ροής φορτίου γίνεται κάτω από την ύπαρξη δύο σεναρίων. Στην πρώτη περίπτωση υπάρχει στους σταθμούς φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ελεγκτής αέργου ισχύος, ενώ στην άλλη περίπτωση όχι. Βάσει αυτών των δύο σεναρίων γίνεται σύγκριση για το ποιο από τα δύο σενάρια είναι πιο αποτελεσματικό, για τη λειτουργία του δικτύου. Στα πλαίσια των παραπάνω γίνεται μια εκτενής ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, τα πλεονεκτήματα και τα προβλήματα τα οποία επιλύουν, αλλά και δημιουργούν στο δίκτυο, καθώς και για τα ηλεκτρικά οχήματα

σχετικά με τον τρόπο, με τον οποίο θα επηρεάζουν τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Δίκτυα Διανομής , Διείσδυση Α.Π.Ε , Ηλεκτρικά Οχήματα, Σταθμοί Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων, Ροή Ισχύος (unpf), Αλγόριθμοι ελαχιστοποίησης-βελτιστοποίησης, MATLAB, MATPOWER , Ελεγκτής Αέργου Ισχύος, Πάρκινγκ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2020-2021 υπό την επίβλεψη του κ. Κανέλλου Φώτιου Αναπληρωτή Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης , της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την αμέριστη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, αλλά και για την ανάθεσή της .

Επίσης , ευχαριστώ τον Πατέρα μου, που δυστυχώς δεν βρίσκεται πια εν ζωή, και που πραγματικά θα αισθάνονταν απίστευτη χαρά και περηφάνεια, βλέποντάς με να παρουσιάζω τη διπλωματική μου εργασία, καθώς και τη μητέρα μου, για τη στήριξη τους και τις θυσίες τους, όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου. Τέλος, ευχαριστώ τη γιαγιά μου, για όλα αυτά που μου έχει προσφέρει, στηρίζοντάς με από την παιδική μου ηλικία, η οποία δυστυχώς δεν είναι πια μαζί μου, αλλά είμαι σίγουρος, πως θα είναι περήφανη για μένα από κει ψηλά που βρίσκεται.

Τέλος ,ευχαριστώ τους φίλους και συμφοιτητές μου, που σε κάθε δυσκολία ήταν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αντώνιος Σαρτζετάκης
Ιανουάριος 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	8
1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΟΣ Σ.Η.Ε.....	8
1.2 ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ Σ.Η.Ε.	9
1.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.2.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ Σ.Η.Ε	10
1.2.3 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ Σ.Η.Ε	11
1.3 ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	12
1.3.1 ΕΙΔΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	12
1.3.2 ΘΕΡΜΙΚΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ.....	12
1.3.3 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ.....	14
1.3.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ Α.Π.Ε	14
ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΕ Α.Π.Ε	16
2.1 ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ	16
2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΟΥ ΑΠΑΡΤΙΖΟΥΝ ΕΝΑ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ..	17
2.3 ΜΟΝΑΔΕΣ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ Α.Π.Ε.	19
2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ Α.Π.Ε ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΠΙΦΕΡΟΥΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	24
2.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ Α.Π.Ε. ΣΕ Σ.Η.Ε.....	27
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ	29
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	29
3.2 ΤΥΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	30
3.3 ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ Σ.Η.Ε	32
3.3.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΩΣ ΦΟΡΤΙΑ	32
3.3.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΩΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	34
3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ VEHICLE TO GRID	34
3.5 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	35
3.6 ΑΓΟΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	36

3.7 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	39
ΤΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ MATPOWER.....	41
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ MATPOWER	41
4.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ MATPOWER.....	41
4.2.1 ΚΛΑΔΟΙ ΔΙΚΤΥΟΥ	42
4.2.2 ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	43
4.2.3 ΦΟΡΤΙΑ	44
4.2.4 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	44
4.2.5 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	45
4.3 ΡΟΗ ΙΣΧΥΟΣ.....	46
4.4 ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΡΧΕΙΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	47
ΡΟΗ ΦΟΡΤΙΟΥ.....	52
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	52
5.2 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	52
5.3 ΤΥΠΟΙ ΖΥΓΩΝ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ	54
5.4 ΔΙΑΝΥΣΜΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ NEWTON RAPSHON.....	55
5.5 OPTIMAL POWER FLOW.....	58
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	60
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	60
6.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	60
6.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	68
6.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	71
ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	77
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	77
7.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	77
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	92
8.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ	92
8.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	100
8.3 ΚΟΣΤΟΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	109
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	114

Βιβλιογραφία	116
---------------------------	------------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΟΣ Σ.Η.Ε.

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και μέσων, τα οποία χρησιμεύουν στην εξυπηρέτηση ενός συνόλου καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια. Βασικές προϋποθέσεις για τη σωστή λειτουργία ενός Σ.Η.Ε., είναι η αξιοπιστία καθώς και η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Η αξιοπιστία συνδέεται με δύο πράγματα την επάρκεια, η οποία ουσιαστικά αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των πελατών του (ισχύς - ενέργεια), λαμβάνοντας υπόψη τυχαίες μεταβολές στο φορτίο ή βλάβες, καθώς και τις προγραμματισμένες διακοπές για τη συντήρηση του εξοπλισμού. Συνδέεται επίσης και με την ασφάλεια που αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος να λειτουργεί σε δυσμενείς συνθήκες, μετά από διαταραχές που μπορεί να συμβούν στο δίκτυο.

Η ηλεκτρική ενέργεια σε ένα Σ.Η.Ε., προκειμένου να φτάσει στον καταναλωτή απαρτίζεται από τρία στάδια: α) της παραγωγής β) της μεταφοράς και γ) της διανομής. Η ηλεκτρική ενέργεια από το σημείο που θα παραχθεί μέχρι το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μια συνεχή ροή και επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί σε μεγάλες ποσότητες με οικονομικό τρόπο, πρέπει να παράγεται τη στιγμή ακριβώς που χρειάζεται να καταναλωθεί.

Η παραγωγή γίνεται σε συμβατικές μονάδες παραγωγής, αλλά τα τελευταία χρόνια και σε μονάδες παραγωγής από Α.Π.Ε. Στις συμβατικές μονάδες περιλαμβάνονται σταθμοί παραγωγής όπως ατμοηλεκτρικοί, αεριοστροβιλικοί στους οποίους παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Στην παραγωγή συγκαταλέγονται οι σταθμοί ανύψωσης της τάσεως για τη μεταφορά του ρεύματος υπό υψηλή τάση.

Η μεταφορά περιλαμβάνει δίκτυα γραμμών υπέρ υψηλής και υψηλής τάσης, οι οποίες μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια σε κεντρικά σημεία του δικτύου όπως υποσταθμοί υποβίβασης τάσεων από υψηλή σε μέση τάση για να τροφοδοτηθούν τα δίκτυα διανομής και από εκεί η ενέργεια φτάνει στους καταναλωτές μέσω των γραμμών χαμηλής τάσης.



Εικόνα 1.1 : Γραμμές υψηλής τάσης υπεύθυνες για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς βάσης.[19]

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι τριφασικά εναλλασσόμενου ρεύματος, η συχνότητα τους είναι στα 50 Hz στην Ευρώπη και στην Αμερική είναι στα 60 Hz. Τα τριφασικά συστήματα έχουν πολλά πλεονεκτήματα για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ευρέως, αφού μπορούν και μεταφέρουν μεγάλα ποσά ενέργειας. Σε αυτά υπάρχει σταθερή ροή ισχύος, γίνεται εξοικονόμηση αγωγίμου υλικού και μπορούν και μεταφέρουν τριπλάσια ισχύ σε σχέση με την μονοφασική γραμμή μεταφοράς. Σε μεγάλα δίκτυα για τη διασύνδεση περιοχών που απέχουν μεγάλες χιλιομετρικές αποστάσεις χρησιμοποιείται και το συνεχές ρεύμα, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο με converter (μετατροπέα) από DC σε AC ρεύμα για τη μεταφορά και τη διανομή.

1.2 ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ Σ.Η.Ε.

1.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να είναι καλή και ασφαλής, αυτά τα δύο χαρακτηριστικά συνδέονται, το πρώτο με τις απαιτήσεις, που έχει ένας καταναλωτής από το δίκτυο και το δεύτερο σχετίζεται καθαρά με το σύστημα . Σε ένα Σ.Η.Ε. οι εγκαταστάσεις υφίστανται σημαντικές καταπονήσεις, οι οποίες μπορεί να είναι

δυναμικές ,θερμικές κυρίως σε γραμμές μεταφοράς και διηλεκτρικές. Η ασφάλεια η οποία συνδέεται άμεσα με την ευστάθεια και την αξιοπιστία ενός Σ.Η.Ε., η οποία θα αναλυθεί σε επόμενη παράγραφο , χαρακτηρίζεται από την ικανότητα του δικτύου να έχει ανοχή στις παραπάνω λειτουργικές καταπονήσεις, οι οποίες μπορούν να οριοθετηθούν για τη σωστή λειτουργία του δικτύου. Ουσιαστικά ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ελέγχει σε πραγματικό χρόνο τη διατήρηση των μέτρων των τάσεων και των ροών ισχύος, εντός προκαθορισμένων ορίων. Η διαδικασία ελέγχου περιλαμβάνει τη διόρθωση των επιπτώσεων εξέλιξης του φορτίου και τις συνέπειες που μπορεί να υπάρξουν από απρόβλεπτα γεγονότα.

1.2.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ Σ.Η.Ε

Οι απαιτήσεις ενός Σ.Η.Ε., σχετίζονται με την καλή λειτουργία και πιο πολύ με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις των καταναλωτών . Σκοπός κάθε συστήματος είναι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε περιοχή με οικονομικό τρόπο, έτσι ώστε να γίνεται σωστή εξυπηρέτηση των καταναλωτών, η οποία χαρακτηρίζεται από τους κατωτέρω παράγοντες:

α). Τη συνέχεια (μη διακοπή), της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διακοπή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να προκληθεί από την ταχεία αύξηση του φορτίου, η οποία μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στο δίκτυο, ως και την κατάρρευσή του. Επιπλέον πρόβλημα στην παροχή ενέργειας μπορούν να προκαλέσουν οι βυθίσεις τάσης λόγω βραχυκυκλωμάτων, οι κρουστικές υπερτάσεις στα δίκτυα χαμηλής τάσης και οι ατμοσφαιρικές υπερτάσεις, που ακολουθούν την πτώση ενός κεραυνού.

β). Το σύστημα πρέπει να μπορεί να ικανοποιεί τη συνεχώς μεταβαλλόμενη ζήτηση. Η κατάσταση στην οποία έχουμε πλήρη εξισορρόπηση μεταξύ των απαιτήσεων του φορτίου και της παραγωγής των γεννητριών, σε πραγματική και σε άεργη ισχύ, ονομάζεται μόνιμη κατάσταση λειτουργίας (steady state).

γ). Τη σταθερότητα τάσης τροφοδότησης. Ως τάση τροφοδότησης ενός καταναλωτή νοείται η μετρούμενη τάση στο σημείο διασύνδεσης με το δίκτυο, οι μεταβολές και οι αποκλίσεις της τάσης τροφοδότησης των καταναλωτών διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, σε αργές και σε ταχείς . Σε ότι αφορά τις πρώτες, δεδομένου ότι η τάση τροφοδότησης των συσκευών κατανάλωσης, δεν είναι εφικτό να διατηρηθεί σταθερή και ίση με την ονομαστική τους τάση, έχουν καθοριστεί κάποια αποδεκτά όρια διακυμάνσεως, όπως στη χαμηλή τάση της τάξεως του $\pm 10\%$. Οι ταχείς μεταβολές δημιουργούνται από τη ζεύξη, τη λειτουργία των συσκευών, σε όλα τα επίπεδα τάσεως του δικτύου.

δ). Την σταθερότητα της συχνότητας του δικτύου.

ε). Την καθαρότητα του κύματος τάσης τροφοδότησης. Αν το κύμα τάσης τροφοδότησης δεν είναι καθαρό, αυτό οφείλεται στη ροή αρμονικών στο δίκτυο, που προκαλεί παραμόρφωση του κύματος τάσης τροφοδότησης και όταν το μέγεθός του είναι αρκετά μεγάλο μπορούν να προκληθούν ανωμαλίες στη λειτουργία ορισμένων ηλεκτρικών συσκευών.

στ). Την απόκλιση από το καθαρά συμμετρικό σύστημα τάσεων, αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της ασυμμετρίας της φόρτισης των φάσεων. Οι επιπτώσεις αυτού του φαινομένου εμφανίζονται στους τριφασικούς κινητήρες .

ζ). Την ποιότητα της παραγόμενης ισχύος.

1.2.3 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ Σ.Η.Ε

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (Σ.Η.Ε.), σε κάθε χρονική στιγμή παρέχει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια στο φορτίο, υπό καθορισμένη τάση και συχνότητα. Δηλαδή, οι τιμές του μεγέθους της τάσης και της συχνότητας, θα πρέπει να κυμαίνονται εντός προκαθορισμένων ορίων που επιβάλλονται από τους κανονισμούς λειτουργίας των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού, εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο την αποδοτική λειτουργία των φορτίων των καταναλωτών. Όταν ένα σύστημα ικανοποιεί τα παραπάνω, σύμφωνα και με τον ορισμό που δόθηκε πριν, βρίσκεται σε κατάσταση μόνιμης λειτουργίας. Αν όμως σε αυτό εισέλθει μια διαταραχή, τότε μπορεί το σύστημά μας να εκτραπεί από τη μόνιμη κατάσταση που είχε πριν και να ακολουθήσει ένα μεταβατικό φαινόμενο από το οποίο μπορεί να επανέλθει σε αυτήν την κατάσταση, ή να μην επανέλθει. Εκεί έγκειται και η διαφορά μεταξύ ενός ευσταθούς και ασταθούς συστήματος. Σε ένα Σ.Η.Ε υπάρχουν διάφοροι τύποι διαταραχών οι οποίοι διαχωρίζονται σε εσωτερικές και εξωτερικές, όπως π.χ. η απότομη είσοδος/έξοδος ενός μεγάλου καταναλωτή, η απότομη (απρογραμματίστη) έξοδος ενός σταθμού παραγωγής σημαντικής ισχύος, η διακοπή της συνέχειας σε μια γραμμή μεταφοράς, βραχυκυκλώματα κλπ.

Ένα σύστημα χαρακτηρίζεται ως ευσταθές όταν κάτω από την επίδραση οποιασδήποτε διαταραχής τείνει να επανέλθει στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας του, ενώ ως ασταθές χαρακτηρίζεται το σύστημα στο οποίο όταν επέλθει κάποια διαταραχή, αδυνατεί να επανέλθει στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας του, αλλά λειτουργεί διαρκώς σε μία μεταβατική κατάσταση, με αποτέλεσμα τον αποσυγχρονισμό του. Οι διαταραχές οι οποίες

μπορούν να οδηγήσουν το σύστημα σε αστάθεια, είναι εκείνες που προκαλούν έντονες μεταβολές στις φορτίσεις των γεννητριών των σταθμών παραγωγής. Σε περίπτωση που κάποια από τις γεννήτριες ξεπεράσει το στατικό όριο ευστάθειάς της, για λόγους προστασίας τίθεται εκτός λειτουργίας. Σε περίπτωση διαταραχής, η έξοδος μίας γεννήτριας μπορεί να επηρεάσει τα στατικά όρια ευστάθειας και άλλων γεννητριών και αν αυτή η κατάσταση δεν μπορέσει να ελεγχθεί με γρήγορους χειρισμούς από τον διαχειριστή του δικτύου, μπορεί να οδηγήσει μέχρι και στην πλήρη διακοπή της ηλεκτροδότησης. Για την αποτροπή τέτοιων καταστάσεων και την εξασφάλιση της αξιοπιστίας και της ομαλής λειτουργίας του δικτύου, τα σύγχρονα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, είναι εξοπλισμένα με κατάλληλα συστήματα ελέγχου. Η ευστάθεια ενός Σ.Η.Ε. όπως φαίνεται από τα παραπάνω χαρακτηρίζει την ικανότητα του, να επιστρέφει μετά το τέλος μίας διαταραχής σε μία αποδεκτή σταθερή λειτουργική κατάσταση σε πεπερασμένο χρονικό διάστημα, χωρίς τον αποσυγχρονισμό των σύγχρονων γεννητριών των μονάδων παραγωγής.

1.3 ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.3.1 ΕΙΔΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ένα Σ.Η.Ε αποτελείται από πολλούς σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας, στους οποίους μέσα βρίσκονται μονάδες παραγωγής, που λειτουργούν παράλληλα και εκεί ουσιαστικά γίνεται η μετατροπή της πρωτογενούς μορφής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας των σταθμών διαχωρίζονται στις εξής κατηγορίες :

- A). **Τους σταθμούς βάσης** , αυτοί οι σταθμοί λειτουργούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα και καλύπτουν τις βασικές ανάγκες κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως οι σταθμοί αυτοί έχουν μεγάλο κόστος εκκίνησης και πολύπλοκη διαδικασία ρύθμισης ισχύος, αλλά και μεγάλο ποσοστό απόδοσης, καθώς έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος.
- B). **Τους σταθμούς αιχμής** , που λειτουργούν για μικρά χρονικά διαστήματα, κυρίως τις ώρες που το φορτίο ζήτησης είναι αρκετά μεγάλο (ώρες αιχμής). Αυτές οι μονάδες αρκετά συχνά έχουν ως μειονέκτημα το μικρό ποσοστό απόδοσης, καθώς έχουν αυξημένο κόστος λειτουργίας και ως πλεονέκτημα το μικρό κόστος εκκίνησης και τη γρήγορη διαδικασία ρύθμισης ισχύος.

1.3.2 ΘΕΡΜΙΚΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Στους σταθμούς αυτούς η θερμότητα, η οποία προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων ή την πυρηνική σχάση, στη συνέχεια μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια μέσω των κινητήριων μηχανών (στροβίλων) και μετέπειτα σε ηλεκτρική μέσω γεννητριών. Οι

θερμικοί σταθμοί ανάλογα με το μέσο (καύσιμο) και τις μηχανές που χρησιμοποιούν, κατατάσσονται σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, σε αεριοστροβιλικούς, σε σταθμούς συνδυασμένου κύκλου και σε πυρηνικούς.

Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί : Σε αυτούς τους σταθμούς, το καύσιμο καίγεται στην εστία ενός ατμοπαραγωγού (λέβητα) στον οποίο παράγεται ατμός. Ο παραγόμενος ατμός κινεί τον ατμοστρόβιλο, που μπορεί να αποτελείται από περισσότερες βαθμίδες (υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης), ο οποίος στη συνέχεια κινεί την ηλεκτρογεννήτρια. Μετά την εκτόνωση του στο στρόβιλο, ο ατμός οδηγείται σε ένα συμπυκνωτή (ψυγείο), όπου μετατρέπεται σε νερό αποδίδοντας θερμότητα στο ψυκτικό μέσο.[1] Οι συγκεκριμένες μονάδες είναι αρκετά αργές και κοστοβόρες στην εκκίνησή τους, για αυτό το λόγο λειτουργούν ως μονάδες βάσεις σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Ο βαθμός απόδοσης του θερμοδυναμικού κύκλου ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού, αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης του ατμού στην είσοδο του στροβίλου. Ο συνολικός βαθμός απόδοσής τους κυμαίνεται από 30% - 45%.

Αεριοστροβιλικό Σταθμοί : Στους αεριοστροβιλικούς σταθμούς η θερμότητα παράγεται από μηχανές εσωτερικής καύσης, χρησιμοποιεί πεπιεσμένο αέρα ή καύσιμο συνήθως πετρέλαιο και φυσικό αέριο . Οι αεριοστροβίλοι έχουν ισχύ μέχρι και 200 MW και χρησιμοποιούνται για την κάλυψη φορτίου στις ώρες αιχμής, κατά τις οποίες υπάρχει μεγάλη ζήτηση, καθώς αποτελούν μονάδες οι οποίες είναι οικονομικές στην εκκίνησή τους, αλλά παράλληλα αποδίδουν γρήγορα τη μέγιστη παραγωγή τους. Τα κύρια μέρη ενός τέτοιου σταθμού είναι ο συμπιεστής, ο θάλαμος καύσης, ο στρόβιλος και η γεννήτρια. Η λειτουργία του έχει ως εξής: Ο αέρας που απορροφάται από την ατμόσφαιρα πάει στο συμπιεστή και από εκεί στο θάλαμο καύσης, που πραγματοποιείται η καύση του καυσίμου. Τα καυσαέρια αποτονώνονται στο στρόβιλο ο οποίος κινεί τη γεννήτρια.[1] Μεγάλο ρόλο στο βαθμό απόδοσης της μονάδας του αεριοστροβίλου, έχουν η θερμοκρασία των καυσαερίων μετά την έξοδό τους από τον στρόβιλο και η ισχύς που απαιτείται για την λειτουργία του συμπιεστή.

Σταθμοί Συνδυασμένου Κύκλου : Αυτοί οι σταθμοί είναι συνδυασμός των ατμοηλεκτρικών και των αεριοστροβιλικών σταθμών, δηλαδή μία ένωση ενός σταθμού βάσης και ενός σταθμού αιχμής, που οδήγησε στη δημιουργία μονάδων με καλύτερο βαθμό απόδοσης, μεγαλύτερο του 50%. Ουσιαστικά τα καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας από τον αεριοστρόβιλο εισέρχονται σε έναν λέβητα αποκομιδής θερμότητας τα οποία παράγουν ατμό, ο οποίος μέσω του ατμοστροβίλου παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Πυρηνικοί Σταθμοί: Ο πυρηνικός σταθμός είναι ένας ατμοηλεκτρικός σταθμός, με τη διαφορά ότι σε αυτόν χρησιμοποιείται η θερμική ενέργεια που εκλύεται από τον πυρηνικό αντιδραστήρα για την παραγωγή ατμού. Κύριο καύσιμό του είναι μείγμα ουράνιου U_{233} και άλλων ισοτόπων του, καθώς και πλουτώνιο.

1.3.3 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Στους σταθμούς αυτούς γίνεται εκμετάλλευση της υδραυλικής ενέργειας του νερού, η οποία μέσω κατάλληλων διατάξεων (υδροστρόβιλος–γεννήτρια) μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγόμενη ενέργεια από έναν υδροηλεκτρικό σταθμό είναι ανάλογη της παροχής νερού, του χρόνου λειτουργίας, της καθαρής υψομετρικής διαφοράς, της υδατόπτωσης και του βαθμού απόδοσης.[1] Ανάλογα με τον τρόπο χρήσης του νερού διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες :

Φυσικής ροής : χρησιμοποιούν ως πρωτογενή μορφή ενέργειας το διερχόμενο υδάτινο ρεύμα.

Ρυθμιζόμενης ροής : χρησιμοποιούν το νερό, το οποίο συλλέγεται σε ταμιευτήρες (τεχνητές λίμνες – φράγματα), ώστε να δημιουργείται υψομετρική διαφορά και να γίνεται εκμετάλλευση ελεγχόμενης υδατόπτωσης.[1] Το νερό διέρχεται μέσα από υδροστρόβιλους οι οποίοι με την περιστροφική τους κίνηση παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Οι τύποι υδροστρόβιλων που χρησιμοποιούνται είναι δύο οι υδροστρόβιλοι Pelton και οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης στους οποίους ανήκουν οι Francis και Kaplan. Τα φράγματα που χρησιμοποιούνται είναι, είτε σκυροδέματος είτε γαιώδη.

Αντλητικοί : Οι σταθμοί αυτοί έχουν παρόμοια λειτουργία με τους σταθμούς ρυθμιζόμενης ροής, με τη διαφορά ότι έχουν δύο φράγματα, ένα σε υψηλότερη και ένα σε χαμηλότερη στάθμη και χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια, κατά τις ώρες χαμηλού φορτίου για να αντλούν νερό από τη χαμηλότερη στην υψηλότερη δεξαμενή.

1.3.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ Α.Π.Ε

Οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούν πηγές ενέργειας που βρίσκονται στη φύση πρακτικά ανεξάντλητες, τέτοιοι σταθμοί είναι :

- **Φωτοβολταϊκοί σταθμοί :** Ένας φωτοβολταϊκός σταθμός αποτελείται από ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων και μπορεί να περιλαμβάνει έναν μετατροπέα για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, ρυθμιστές τάσης και ρεύματος, διατάξεις ελέγχου και συστοιχίες συσσωρευτών, για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας.

- **Αιολικά πάρκα :** Τα αιολικά πάρκα αποτελούνται από συστοιχίες ανεμογεννητριών οι οποίες συνδέονται στον ίδιο ζυγό του δικτύου και εκμεταλλεύονται την αιολική ενέργεια, για να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Η ισχύς που παράγεται εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα του ανέμου.
- **Γεωθερμίας :** Σε αυτές τις μονάδες γίνεται η εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας του υπεδάφους με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Βιομάζας :** Μέσω κατάλληλης επεξεργασίας οργανικών υπολειμμάτων παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.
- **Μικρά υδροηλεκτρικά :** Οι συγκεκριμένοι σταθμοί εκμεταλλεύονται την φυσική ροή των υδάτων (κυρίως ποταμών) και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς να διαταράσσεται το οικοσύστημα, γι' αυτό το λόγο ανήκουν στις Α.Π.Ε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΕ Α.Π.Ε

2.1 ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Η ηλεκτρική ενέργεια, μεταφέρεται στις μείζονες περιοχές της καταναλώσεως με τα δίκτυα μεταφοράς και διανέμεται μέσα στις περιοχές αυτές με τα δίκτυα διανομής. Τα δίκτυα διανομής καλύπτουν όλη την εξυπηρετούμενη περιοχή και φτάνουν μέχρι τον τελευταίο καταναλωτή. Σε ένα Σ.Η.Ε υπάρχουν δύο βαθμίδες δικτύου διανομής :

- **Η πρωτεύουσα διανομή ή διανομή Μέσης Τάσης (MT) :** Η συγκεκριμένη τροφοδοτείται από τους υποσταθμούς υποβιβασμού ΥΤ/ΜΤ και τροφοδοτεί τους υποσταθμούς διανομής ΜΤ/ΧΤ και τους καταναλωτές ΜΤ. Η μέση τάση διανομής περιλαμβάνει τιμές από 6,6 KV έως 20 KV.
- **Η δευτερεύουσα διανομή ή διανομή Χαμηλής Τάσης (ΧΤ):** Σε αυτή την περίπτωση το ρεύμα αναχωρεί από τους ζυγούς ΧΤ των υποσταθμών διανομής και τροφοδοτεί τις παροχές των καταναλωτών ΧΤ.

Κατασκευαστικά τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τα εναέρια και υπόγεια. Τα εναέρια είναι ευκολότερα στη συντήρησή τους καθώς και στην επισκευή τους ,είναι λιγότερο δαπανηρά από τα υπόγεια ,αλλά έχουν σαν μειονέκτημα ότι καταλαμβάνουν πολύ χώρο, με αποτέλεσμα σε μια πυκνοκατοικημένη πόλη, να είναι δύσκολη η εφαρμογή τους. Μέσα σε αυτά τα δίκτυα υπάρχουν υποσταθμοί διανομής (Υ/Σ), οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τον υποβιβασμό της τάσης από μέση σε χαμηλή, μέσω μετασχηματιστών (Μ/Σ). Οι υποσταθμοί ΜΤ/ΧΤ των εναέριων δικτύων είναι μέχρι 400 KVA και είναι τοποθετημένοι σε δυο στύλους εναέρια. Επίσης τα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης έχουν συνήθως δενδροειδή μορφή. Αποτελούνται από τον κορμό που κατασκευάζεται από αγωγούς μεγάλης διατομής και στις διακλαδώσεις βρίσκονται οι υποσταθμοί με τους μετασχηματιστές ΜΤ/ΧΤ, που κατασκευάζονται από καλώδια μικρότερης διατομής. Τέλος τα δίκτυα αυτά λειτουργούν σχεδόν πάντα ακτινικά ,δηλαδή όλες οι γραμμές τροφοδοτούνται μόνο από το ένα τους άκρο.

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΟΥ ΑΠΑΡΤΙΖΟΥΝ ΕΝΑ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Ένα δίκτυο διανομής αποτελείται από διάφορες λειτουργικές μονάδες, όταν αυτές συνεργάζονται αρμονικά μεταξύ τους αλλά και με το υπόλοιπο σύστημα, εξασφαλίζοντας τη σωστή διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στους σταθμούς παραγωγής, προς τους καταναλωτές. Οι λειτουργικές μονάδες που χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο διανομής είναι οι εξής :

- **Υποσταθμοί Μεταφοράς :** Σε αυτούς τους υποσταθμούς όπως προαναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο γίνεται ο υποβιβασμός της τάσης, από υψηλή σε μέση τάση και ουσιαστικά σε αυτό το κομμάτι γίνεται η πρωτεύουσα διανομή του δικτύου, μέσα σε αυτό υπάρχουν και άλλες μονάδες όπως μετασχηματιστές, οι οποίοι έχουν τυποποιημένο μέγεθος της τάξεως των 150KV/20KV, αποζεύκτες, διακόπτες, γειώσεις και άλλες συσκευές ηλεκτρονικών ισχύος.
- **Υποσταθμοί Διανομής :** Σε αυτούς τους σταθμούς υλοποιείται το κομμάτι της δευτερεύουσας διανομής, δηλαδή η διαδικασία του υποβιβασμού της τάσης, από μέση σε χαμηλή. Μέσα σε αυτούς υπάρχουν μετασχηματιστές συγκεκριμένου μεγέθους της τάξης των 20KV/ 400V, οι οποίοι υλοποιούν αυτή τη διαδικασία, με στόχο τη διατήρηση της συνολικής ροής ισχύος στο σύστημα. Στην περίπτωση που η εγκατάσταση του δικτύου είναι εναέρια οι μετασχηματιστές αυτοί τοποθετούνται πάνω σε στύλους, ενώ σε περίπτωση που έχουμε υπόγειο δίκτυο αυτοί τοποθετούνται σε υπόγειους θαλάμους φρεάτια ακόμα και στο εσωτερικό των κτηρίων.
- **Γραμμές μεταφοράς και διανομής :** Οι γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται από ηλεκτρικούς αγωγούς οι οποίοι περιγράφονται από μια σύνθετη αντίσταση, η οποία προκαλεί πτώση τάσης, αλλά και ηλεκτρικές απώλειες. Στην ουσία αποτελούν μαζί με τα φορτία τις κύριες αιτίες απωλειών ενέργειας σε ένα δίκτυο. Οι γραμμές αυτές στη μεταφορά και στη διανομή είναι τριφασικές. Βέβαια στη διανομή υπάρχουν και μονοφασικές παροχές όταν η ηλεκτρική ενέργεια βρίσκεται πλέον στο επίπεδο του καταναλωτή.
- **Διακόπτες και Αποζεύκτες :** Οι διακόπτες χρησιμοποιούνται για την απομόνωση κάποιων τμημάτων των δικτύων, είτε για λόγους συντήρησης, είτε για την επίλυση πιθανών βλαβών στο δίκτυο διανομής. Υπάρχουν τρία είδη διακοπών: Οι αποζεύκτες, οι διακόπτες φορτίου και οι διακόπτες ισχύος. Οι αποζεύκτες είναι συσκευές, που απομονώνουν τμήματα του δικτύου, που έχουν τεθεί ήδη εκτός τάσης λειτουργίας ή διαρρέονται από αμελητέο ρεύμα και ελέγχουν την παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος σε μία ηλεκτρική εγκατάσταση, ενώ οι διακόπτες φορτίου έχουν την ικανότητα, να διακόπτουν το κανο-

νικό ρεύμα λειτουργίας του δικτύου και να αποκαθιστούν βραχυκυκλώματα. Σε ότι αφορά τους διακόπτες ισχύος αποτελούν μέσα προστασίας, τα οποία όμως σπανίως χρησιμοποιούνται για χειρισμούς στο δίκτυο διανομής. Οι διακόπτες αυτοί έχουν τη δυνατότητα διακοπής πολύ υψηλών ρευμάτων στα δίκτυα διανομής, στην περιοχή της μέσης τάσης σε περίπτωση βραχυκυκλωμάτων, οι οποίοι μέσω διατάξεων σβήνουν το τόξο που σχηματίζεται ανάμεσα στις επαφές τους.

- **Χωρητικές αντισταθμίσεις :** Στα δίκτυα διανομής μονάδες όπως οι υποσταθμοί διανομής και οι μετασχηματιστές διαθέτουν συστοιχίες πυκνωτών οι οποίοι είναι είτε συνδεδεμένοι παράλληλα (εγκάρσια αντιστάθμιση), είτε σε σειρά (σε σειρά αντιστάθμιση), προκειμένου να μπορέσει να αντισταθμιστεί ένα μέρος από την κατανάλωση της αέργου ισχύος, που γίνεται από τις αντιδράσεις των γραμμών. Οι χωρητικές αντισταθμίσεις μπορούν να γίνουν σε μία γραμμή μεταφοράς και διανομής ή σε υποσταθμούς μεταφοράς και διανομής, είναι δύο ειδών και είναι οι εξής :

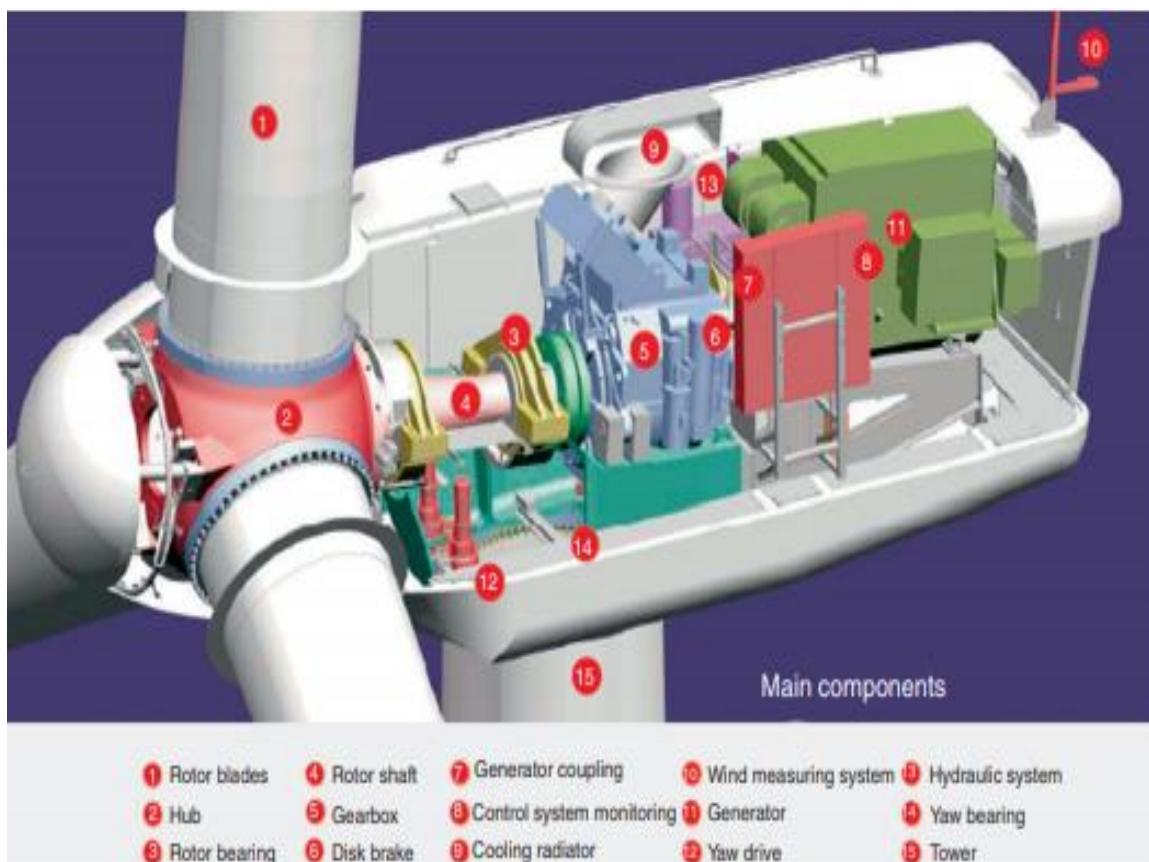
Εγκάρσιες αντισταθμίσεις : Η εγκάρσια χωρητική αντιστάθμιση με τη χρήση καταλλήλων ηλεκτρονικών ισχύος και φίλτρων, έχει μεγάλη εφαρμογή σε συστήματα διανομής, καθώς παρέχουν άεργο ισχύ στο δίκτυο, αντισταθμίζοντας έτσι μέρος της άεργου κατανάλωσης, που γίνεται από τις αντιδράσεις στις γραμμές μεταφοράς. Σε αυτή την περίπτωση οι πυκνωτές μπαίνουν σε παραλληλία με τις γραμμές μεταφοράς. Αν δεν υπήρχαν τα κατάλληλα ηλεκτρονικά ισχύος, θα υπήρχε διαταραχή στη συχνότητα του συστήματος, καθώς ο επαγωγικός χαρακτήρας, που έχει το δίκτυο σε συνδυασμό με τη συγκεκριμένη αντιστάθμιση, θα είχε ως αποτέλεσμα τον ηλεκτρικό συντονισμό του δικτύου σε μεγαλύτερη συχνότητα. Με τη χρήση της εγκάρσιας αντιστάθμισης στους ζυγούς, ουσιαστικά μειώνεται η πτώση τάσης, που θα μπορούσαμε να έχουμε χωρίς την παρουσία της.

Σε σειρά αντισταθμίσεις : Αυτό το είδος αντιστάθμισης δεν χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στα δίκτυα διανομής, γιατί η συνδεσμολογία των πυκνωτών σε σειρά, έχει την ανάγκη χρήσης συγκεκριμένου τύπου συσκευής, που έχει περιορισμένο εύρος εφαρμογής. Σε περίπτωση της σε σειρά αντιστάθμισης, χωρίς την χρήση των συγκεκριμένων συσκευών (ηλεκτρονικών ισχύος), μπορεί να προκληθεί το ακριβώς ανάποδο φαινόμενο στη συχνότητα του δικτύου, με αποτέλεσμα να υπάρξει αλληλεπίδραση, με τις μηχανικές ταλαντώσεις των γεννητριών, που τροφοδοτούν τη γραμμή και να προκληθούν ασύγχρονες ταλαντώσεις σε όλο το σύστημα.

2.3 ΜΟΝΑΔΕΣ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ Α.Π.Ε.

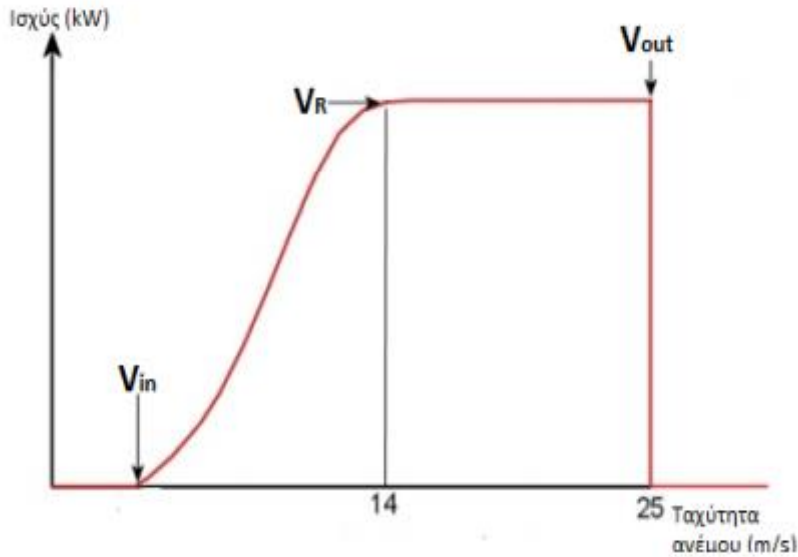
Διεσπαρμένη παραγωγή ορίζεται ως η παραγωγή ενέργειας μικρής κλίμακας, με τιμές που κατά κανόνα κυμαίνονται από 1 KW μέχρι και 100 MW και αποτελεί μια νέα τάση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μεγάλη διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, οι οποίες αποτελούνται κυρίως από Α.Π.Ε. και έχουν βελτιώσει σημαντικά την ενεργειακή αποδοτικότητα του συστήματος, την κάλυψη της καμπύλης του φορτίου ζήτησης και τη μείωση εκπομπών βλαβερών αερίων στην ατμόσφαιρα. Η τάση προς τη διείσδυση τέτοιων μονάδων παραγωγής δημιουργήθηκε λόγω της διαφαινόμενης εξάντλησης των ενεργειακών αποθεμάτων σε καύσιμα σε συνδυασμό με τη διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση και την επιδείνωση των περιβαλλοντολογικών συνθηκών. Αυτές οι μονάδες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια στο επίπεδο της διανομής δίνοντας έτσι επιπλέον ισχύ προς το δίκτυο, πράγμα το οποίο αποδεικνύει πως το δίκτυο διανομής δεν έχει μόνο παθητικό χαρακτήρα, δηλαδή δεν καταναλώνει μόνο ισχύ μέσω των φορτίων, αλλά παράγει κιόλας. Πολύ σημαντική είναι η διαστασιολόγηση και η τοποθέτησή τους στο δίκτυο, η οποία δεν θα πρέπει να είναι τυχαία αλλά θα πρέπει να πληροί τεχνικούς και οικονομικούς περιορισμούς, ώστε να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή διείσδυσή τους.

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιούνται δύο είδη μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Τα είδη αυτά είναι οι συστοιχίες φωτοβολταϊκών πλαισίων και τα Αιολικά Πάρκα, των οποίων τα χαρακτηριστικά για τον τρόπο λειτουργίας τους θα αναφερθούν παρακάτω. Τα Αιολικά Πάρκα και συγκεκριμένα οι ανεμογεννήτριες εκμεταλλεύονται μία πολύ καθαρή μορφή ενέργειας, την αιολική. Η αιολική ενέργεια είναι ουσιαστικά η κινητική ενέργεια που έχει ο άνεμος, είναι μια άφθονη και καθαρή μορφή ενέργειας, η οποία συνδράμει στην κάλυψη του φορτίου ζήτησης του δικτύου σε μεγάλο βαθμό σε χώρες του εξωτερικού, αλλά και στη χώρα μας. Η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται μέσω των ανεμογεννητριών σε ηλεκτρική. Η διαδικασία αυτή γίνεται σε στάδια. Αρχικά η κινητική ενέργεια του ανέμου κινεί τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι συνδεδεμένα πάνω σε ένα άξονα – δρομέα και με αυτόν τον τρόπο η ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική. Στη συνέχεια η χαμηλή ταχύτητα περιστροφής η οποία έχει αναπτυχθεί στο δρομέα, αυξάνεται μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων, το οποίο είναι συνδεδεμένο με ένα άλλο δρομέα, του οποίου η ταχύτητα είναι πλέον μεγαλύτερη και ο δρομέας με την σειρά του κινεί μία γεννήτρια, μετατρέποντας έτσι την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Επειδή η τιμή της ταχύτητας του ανέμου διέπεται από μια τυχαιότητα, σε περιπτώσεις όπου ο άνεμος έχει πολύ μεγάλες τιμές ταχύτητας, υπάρχουν διατάξεις φρένων, οι οποίες προστατεύουν τις ανεμογεννήτριες από πιθανή καταστροφή των πτερυγίων τους.



Εικόνα 2.1 : Κύρια μέρη Ανεμογεννήτριας.[3]

Για χαμηλές ταχύτητες ανέμου κάτω των 3,5 με 4 m/s που θεωρείται η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας της ανεμογεννήτριας V_{in} , τα περύγια της δεν μπορούν να κινούνται, με αποτέλεσμα να μην παράγεται ισχύς. Όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει τα 4m/s, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, έχουμε και αύξηση της ωφέλιμης ισχύος, που παράγει η ανεμογεννήτρια μέχρι μία ταχύτητα V_R , η οποία είναι η ονομαστική ταχύτητα της ανεμογεννήτριας και είναι περίπου στα 14m/s. Από αυτή την τιμή της ταχύτητας του ανέμου και μετά, η τιμή της παραγόμενης ισχύος παραμένει σταθερή για λειτουργικούς λόγους. Τέλος υπάρχει η ταχύτητα διακοπής V_{out} , η οποία αφορά τις πολύ υψηλές ταχύτητες του ανέμου, της τάξεως των 20 με 25 m/s, όπου εκεί για λόγους ασφάλειας διακόπτεται η λειτουργία της. Η εικόνα 2.2 παρουσιάζει την καμπύλη ισχύος μίας ανεμογεννήτριας για τις τρεις τυπικές ταχύτητες ανέμου.



Εικόνα 2.2 : Διάγραμμα καμπύλης ισχύος ανεμογεννήτριας.[3]

Σημαντικό παράγοντα στη βέλτιστη απόδοση μίας ανεμογεννήτριας έχει το μέρος στο οποίο θα εγκατασταθεί, αλλά και η εγκατάσταση της να γίνει βάση της επικρατούσας διεύθυνσης του ανέμου που κυριαρχεί στην περιοχή. Η ισχύς η οποία παράγεται στα πτερύγια της ανεμογεννήτριας από μία αέρια μάζα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P_{air} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (2.1)$$

Όπου:

- ρ , η πυκνότητα του αέρα η οποία εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση και την απόλυτη θερμοκρασία T του μέρους εγκατάστασης. Για το οποίο ισχύει :

$$\rho = \frac{P_{atm}}{R \cdot T} \quad (2.2)$$

Οπού R , είναι η παγκόσμια σταθερά αερίων.

- A , το εμβαδό που καλύπτουν τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας
- V , η ταχύτητα του ανέμου

Η πραγματική ισχύς που εκμεταλλεύεται είναι ένα ποσοστό της ισχύος του αέρα, που προσπίπτει στα πτερύγια. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας, το οποίο χαρακτηρίζεται μέσω του συντελεστή ισχύος C_P της ανεμογεννήτριας. Αυτός ο συντελεστής μας δείχνει ποσό αποδοτικά η μηχανή μετατρέπει την αιολική ενέργεια σε μηχανική, ο οποίος σύμφωνα με τον Belts, δεν ξεπερνάει ποτέ τον αριθμό 0.593, δηλαδή η αποδοτικότητα αυτής της μετατροπής δεν ξεπερνά το 59,3%. Έτσι λοιπόν η ισχύς που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες έχει την παρακάτω μορφή:

$$P_{A/\Gamma} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot \eta_{H/X} \quad (2.3)$$

Όπου ρ η πυκνότητα του αέρα, A το εμβαδό που καλύπτουν τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, V η ταχύτητα του ανέμου και $\eta_{H/M}$ ο ηλεκτρομηχανικός βαθμός απόδοσης της Α/Γ.

Το δεύτερο είδος διεσπαρμένης παραγωγής που χρησιμοποιείται σε αυτή την διπλωματική εργασία, είναι η συστοιχία των φωτοβολταϊκών πλαισίων των οποίων η πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται είναι η ηλιακή. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί το λόγο ύπαρξης της ζωής στον πλανήτη, είναι ανεξάντλητη αφού προέρχεται από τον ήλιο και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Αποτελεί την πιο σημαντική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας καθώς συμβάλει εμμέσως και στη λειτουργία άλλων Α.Π.Ε. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών:

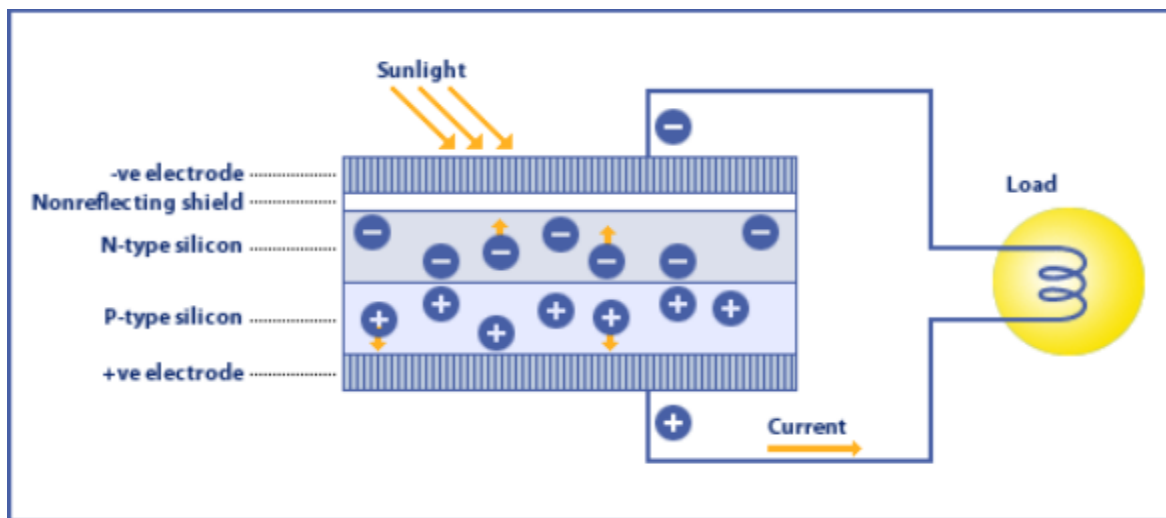
- **Παθητικά ηλιακά συστήματα** και **Ενεργητικά ηλιακά συστήματα** τα οποία εκμεταλλεύονται τη θερμότητα, που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας και χρησιμοποιούνται κυρίως σαν θερμαντικά μέσα.
- **Φωτοβολταϊκά συστήματα** τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια η οποία προσπίπτει πάνω στο πάνελ, απευθείας σε ηλεκτρική, πράγμα το οποίο οφείλεται στο Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.



Εικόνα 2.3: Συστοιχία Φωτοβολταϊκών πάνελ.[26]

Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο περιγράφεται ως η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων, που συμβαίνει σε συγκεκριμένα υλικά όταν αυτά εκτεθούν σε φωτεινή ακτινοβολία. Κάτι τέτοιο παρατηρείται στα φυσικά στοιχεία, που ανήκουν στην ομάδα των ημιαγωγών, καθώς και στις τεχνητές ημιαγωγικές διατάξεις.

Τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου, (δηλαδή η ένωση p-n εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου), που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Δημιουργείται έτσι μία περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές). Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n, οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου. Με αυτόν τον τρόπο, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα, να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.[32]



Εικόνα 2.4 : Εικονική αναπαράσταση φωτοβολταϊκού φαινομένου.[20]

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία, δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας, που δέχονται στην επιφάνειά τους. Ένα μέρος από την ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον. Από την ακτινοβολία που διεισδύει στον ημιαγωγό, προφανώς δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος ε-

κείνο, που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα. Έτσι η αντίστοιχη ακτινοβολία διαπερνά άθικτη το ημιαγωγίμο υλικό του στοιχείου και απορροφάται τελικά στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο, που καλύπτει την πίσω όψη του, με αποτέλεσμα να το θερμαίνει. Αλλά και από τα φωτόνια που απορροφά ο ημιαγωγός, μόνο το μέρος εκείνο της ενέργειάς τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο, συμβάλλει στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το υπόλοιπο μεταφέρεται σαν κινητική ενέργεια στο ηλεκτρόνιο, που ελευθερώθηκε από τον δεσμό και τελικά μετατρέπεται επίσης σε θερμότητα.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους. Η βασική μονάδα είναι το φωτοβολταϊκό στοιχείο, συνδέοντας πολλά τέτοια στοιχεία μαζί, δημιουργούνται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και εν συνεχεία η διασύνδεση αυτών, σε σειρά ή παράλληλα, δημιουργεί τις συστοιχίες των φωτοβολταϊκών. Προκειμένου ένα φωτοβολταϊκό πάνελ να αποδίδει σωστά πρέπει να έχει ανοικτό ορίζοντα. Η προϋπόθεση του ανοικτού ορίζοντα θεωρείται ότι εξασφαλίζεται, όταν η γωνία του ύψους των γειτονικών συστοιχιών, δέντρων, κτιρίων, ή άλλων εμποδίων, ικανοποιείται μέσα σε μια αζιμούθια γωνία από -60° μέχρι $+60^\circ$ προς το Νότο. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορούν να είναι σταθερά σε κλίση και προσανατολισμό ή και να μετακινούν την επιφάνειά τους, ακολουθώντας την πορεία του ήλιου, με στόχο την καλύτερη απόδοσή τους. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια συστοιχία φωτοβολταϊκών, είναι συνεχούς ρεύματος (DC), προκειμένου να γίνει η μετατροπή του ρεύματος σε AC ώστε να μπορέσει, να διοχετευθεί στο δίκτυο χρησιμοποιούνται μετατροπείς από DC σε AC. Οι συγκεκριμένες μονάδες παραγωγής μπορούν να μπουν και στο δίκτυο χαμηλής τάσης, αλλά και απευθείας στο δίκτυο μέσης τάσης και κυρίως σε αυτή την περίπτωση πρόκειται για φωτοβολταϊκά πάρκα μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος.

2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ Α.Π.Ε ΚΑΙ ΛΥΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΠΙΦΕΡΟΥΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Τα κυρία πλεονεκτήματα που έχει η διείσδυση των Α.Π.Ε. στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα παρακάτω :

- **Οφέλη στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας**
 - α) Βελτίωση του προφίλ της τάσης , η διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στις οποίες όπως έχουμε πει, κατά μεγάλη πλειοψηφία είναι Α.Π.Ε., βοηθούν στη μείωση των διακυμάνσεων της τάσης μεταξύ διαφόρων ζυγών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η

εισαγωγή Α.Π.Ε. στο σύστημα, θα μειώσει την ισχύ που απαιτείται να δίνουν οι συμβατικές μονάδες παραγωγής, αφού ένα μέρος των φορτίων καλύπτεται από την παραγωγή από τις Α.Π.Ε., πράγμα το οποίο οδηγεί και σε μικρότερες πτώσεις τάσεων, μεταξύ κάποιων ζυγών μέσα στο σύστημα. Επίσης δεν υπερφορτώνονται οι γραμμές διανομής του δικτύου.

β) Η εισαγωγή Α.Π.Ε. σε περιοχές οι οποίες είναι απομακρυσμένες, έχει βοηθήσει παρά πολύ τους διαχειριστές του συστήματος, αλλά και τους κατοίκους αυτών των περιοχών, αφού επωφελούνται και οι ίδιοι, καθώς πολλές φορές μπορεί να καταστεί αδύνατη η παροχή ενέργειας με γραμμές διανομής όπως συμβαίνει στα Ηπειρωτικά δίκτυα. Έτσι οι Α.Π.Ε., μπορούν και εξυπηρετούν το φορτίο ζήτησης των οικισμών αυτών, χωρίς την επιβάρυνση του δικτύου.

γ) Μια ακόμα θετική επίδραση των Α.Π.Ε. στο δίκτυο, είναι η βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος. Τον όρο της αξιοπιστίας τον έχουμε αναλύσει στο προηγούμενο κεφάλαιο και έχει να κάνει με την ικανότητα του δικτύου να έχει όσο το δυνατόν καλύτερη εξυπηρέτηση των καταναλωτών, χωρίς διακοπές. Έτσι σε περίπτωση διακοπής σε μία περιοχή στην οποία υπάρχει παρουσία Α.Π.Ε., αυτές μπορούν να συμβάλλουν παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια και να αποτελέσουν μια ασπίδα προστασίας για τους καταναλωτές.

δ) Ύπαρξη εγκατεστημένης ισχύος για παροχή εφεδρείας σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας ή και για ψαλιδισμό των αιχμών του καταναλωτή πράγμα το οποίο αποφέρει και οικονομικά οφέλη.

ε) Μείωση απωλειών στο δίκτυο, η είσοδος των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και Α.Π.Ε. στο δίκτυο μειώνει σημαντικά τις απώλειες και αυτό συμβαίνει επειδή αυτές οι μονάδες είναι εγκατεστημένες κοντά στην κατανάλωση, κατά συνέπεια να μη χρειάζεται η ενέργεια να διανύει μεγάλες αποστάσεις, με αποτέλεσμα μειωμένες ωμικές αντιστάσεις, άρα και απώλειες, αφού οι απώλειες δημιουργούνται κυρίως από τα ωμικά τμήματα των γραμμών μεταφοράς.

- **Περιβαλλοντολογικά οφέλη**

Η μείωση της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης .Η πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση αναφέρεται στις συμβατικές μονάδες παραγωγής οι οποίες καίνε καύσιμα, αναφορά έχουμε κάνει στο πρώτο κεφάλαιο, οι οποίες διοχετεύουν πολλούς ρύπους στην

ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να προκαλούν προβλήματα στο περιβάλλον και να αυξάνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα CO₂. Σύμφωνα με έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι για κάθε KWh που παράγεται από Α.Π.Ε., αποτρέπεται η έκλυση κατά μέσο όρο ενός κιλού CO₂. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται και εξοικονόμηση καυσίμων μειώνονται οι ρύποι πράγμα το οποίο συμβάλει στην εξασθένηση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

- **Οικονομικά οφέλη**

α) Σε ότι αφορά το δίκτυο, χωρίς τη διείσδυση των Α.Π.Ε. η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος από τις συμβατικές μονάδες θα ήταν πολύ μεγαλύτερη από αυτή που θα υπήρχε στην περίπτωση που το δίκτυο απαρτιζόταν από Α.Π.Ε. Επίσης με τη συνδρομή των Α.Π.Ε., οι οποίες μπορούν και βρίσκονται κοντά στο επίπεδο της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν το πλεονέκτημα να μην μεταφέρεται η ενέργεια αυτή σε μεγάλες αποστάσεις με αποτέλεσμα να προκύπτουν πολλά οικονομικά οφέλη. Από αυτό το γεγονός συμπεραίνουμε, πως μειώνονται οι απώλειες του συστήματος, αφού η εξάρτηση των απωλειών με το ρεύμα είναι άμεση και ανάλογη του τετραγώνου του ρεύματος αλλά και από το γεγονός ότι ωμικό φορτίο στις γραμμές είναι λιγότερο. Επομένως μειώνεται η παραγωγή των συμβατικών μονάδων, έτσι υπάρχει όφελος από την μη χρήση καυσίμου και δεν χάνονται τα ίδια ποσά πρωτογενούς ενέργειας.

β) Σε ότι αφορά τους καταναλωτές, η διείσδυση των Α.Π.Ε. έχει δώσει τη δυνατότητα για απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού με τη συμμετοχή ιδιωτών. Αυτό είναι κάτι πολύ σημαντικό αφού μπορεί να έχει κέρδος ο ιδιώτης, πωλώντας την ενέργεια την οποία παράγεται στη Δ.Ε.Η ή μπορεί να κάνει και συμψηφισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας με την παραγωγή από τις Α.Π.Ε. οι οποίες έχουν εγκατασταθεί και έτσι έχει κίνητρο να επενδύσει σε αυτό. Για τη δημιουργία μιας τέτοιας εγκατάστασης γίνεται και συγχρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

γ) Στις περιοχές που εγκαθίστανται πολλές φορές μπορούν να αποτελέσουν κινητήρια δύναμη, για την ανάπτυξη υποβαθμισμένων (οικονομικά και κοινωνικά) περιοχών και μπορούν να δημιουργήσουν πολλές θέσεις εργασίας σε τοπικό επίπεδο.

δ) Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος το οποίο δεν εξαρτάται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας.

2.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ Α.Π.Ε. ΣΕ Σ.Η.Ε.

Πέρα από τα σημαντικά οφέλη που έχει η διείσδυση των Α.Π.Ε. στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν και μειονεκτήματα, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την λειτουργία του Σ.Η.Ε. αλλά παράλληλα, υπάρχουν και οικονομικοί λόγοι, οι οποίοι μπορούν να αλλάξουν και τη γνώμη των ιδιωτών για μία τέτοια επένδυση.

Ας ξεκινήσουμε από το δεύτερο, από οικονομική άποψη η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεν έχει φτάσει σε σημείο να μπορεί να ανταγωνιστεί μεγάλες μονάδες παραγωγής. Έχουν ένα αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο, γι' αυτό το λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για την κάλυψη αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων. Επίσης μια τέτοια επένδυση καθίσταται μη βιώσιμη σε αρκετές περιπτώσεις, αν δεν υπάρχει κρατική επιχορήγηση.

Σε ότι αφορά το δίκτυο προκαλεί και εκεί προβλήματα τα οποία μπορεί να αποδειχθούν πολύ σοβαρά. Τα προβλήματα αυτά αναφέρονται παρακάτω :

- **Προβλήματά στην διαδικασία πρόβλεψης της παραγωγής των Α.Π.Ε.**

Υπάρχει αδυναμία πρόβλεψης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συγκεκριμένων εγκαταστάσεων. Αυτό οφείλεται στη στοχαστικότητα, η οποία διέπει αρκετές μονάδες παραγωγής Α.Π.Ε., καθώς μπορεί σε μικρά χρονικά διαστήματα, να υπάρξουν μεταβολές στη δυνατότητα παραγωγής, ακόμα και μηδενική παραγωγή εξαιτίας των φυσικών φαινομένων, που μπορεί να επικρατούν στη συγκεκριμένη περιοχή. Πολλές φορές λόγω άπνοιας ή χαμηλού ανέμου, μπορεί τα Αιολικά Πάρκα να μην παράγουν ηλεκτρική ισχύ, όπως και στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες μπορεί η επίδραση ενός σύννεφου, να επηρεάσει την παραγωγή κάποιων φωτοβολταϊκών πλαισίων τα οποία ανάλογα με τη συνδεσμολογία τους, μπορούν να επηρεάσουν τη συνολική συστοιχία πολύ ή λίγο. Έτσι υπάρχει περιορισμός στο κατά πόσο μπορούν να καλύψουν αυτές οι μονάδες το φορτίο ζήτησης και για αυτό θα πρέπει να υπάρχει στρεφόμενη εφεδρεία από τις συμβατικές μονάδες, οι οποίες έχουν σταθερή παραγωγή. Για την καλύτερη δυνατή πρόβλεψη παραγωγής των Α.Π.Ε. είναι αναγκαία η χρήση αξιόπιστων μετεωρολογικών δεδομένων.

- **Πρόβλημα αντίστροφης ροής ενέργειας στα δίκτυα διανομής**

Τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας έχουν φτιαχτεί με τέτοιο τρόπο, ώστε η ροή ενέργειας να είναι μονοκατευθυντική από τους σταθμούς παραγωγής προς τους καταναλωτές. Όμως η μεγάλη διείσδυση των Α.Π.Ε. έχει δημιουργήσει μια αντίστροφη ροή ενέργειας

προς το δίκτυο, καθώς ό,τι παράγεται από αυτές τροφοδοτεί το δίκτυο. Πέρα από τα οφέλη που δημιουργεί, προκαλεί και το φαινόμενο της αντίστροφης ροής ενέργειας, πράγμα το οποίο είναι αντίθετο με τον αρχικό σχεδιασμό του δικτύου. Αυτό το φαινόμενο έχει αρκετές συνέπειες στη λειτουργία του δικτύου, όπως στην ποιότητα της ισχύος, στα επίπεδα και στην ποιότητα της τάσης, καθώς μπορεί να υπάρχει η αύξηση των παραγόμενων αρμονικών στο δίκτυο. Όπως φαίνεται η παρουσία των Α.Π.Ε. δημιουργεί παράλληλα και προβλήματα στο ίδιο το σύστημα, με αποτέλεσμα να χρειάζεται τροποποίηση της προστασίας του δικτύου και αλλαγή του επιπέδου βραχυκύκλωσης λόγω της παρουσίας σφαλμάτων, εξαιτίας των μεταβολών των ρευμάτων. Τέλος μπορεί να παρατηρηθεί και ασυμμετρία μεταξύ των φάσεων.

- **Πρόβλημα ένταξης μονάδων κατά τη μεγάλη διείσδυση από Α.Π.Ε**

Η μεγάλη στροφή στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διείσδυση των Α.Π.Ε., σε δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας έχει προκαλέσει πρόβλημα στη διαδικασία ένταξης μονάδων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα συγκεκριμένα δίκτυα βασίζουν την κάλυψη του φορτίου ζήτησης σε μεγάλο βαθμό από τις Α.Π.Ε., με αποτέλεσμα σε περίπτωση που δεν υπάρχει αρκετή παραγωγή ενέργειας από αυτές, το σύστημα να έχει σοβαρό κίνδυνο κατάρρευσης. Έτσι οι κυριότεροι περιορισμοί που προκύπτουν για ένα Σ.Η.Ε με μεγάλη διείσδυση Α.Π.Ε. είναι :

α) Η στρεφόμενη εφεδρεία των σύγχρονων μονάδων, πράγμα στο οποίο κάναμε αναφορά και στο πρώτο πρόβλημα που μπορεί να δημιουργήσει η διείσδυση των Α.Π.Ε., δηλαδή η συνολική ισχύς των μονάδων αυτών να υπερκαλύπτει το φορτίο ζήτησης, ώστε να είναι δυνατή η αναπλήρωση της απώλειας ενεργείας στο δίκτυο, λόγω της μειωμένης παραγωγής των Α.Π.Ε.

β) Η υποχρεωτική λειτουργία μονάδων παραγωγής (σταθμοί βάσης) ,για τη στήριξη του συστήματος, την ευστάθεια του και τη στήριξη της τάσης του δικτύου, για αποφυγή βυθίσεων και άλλων φαινομένων όταν οι Α.Π.Ε. έχουν χαμηλή παραγωγή ενέργειας.

Ουσιαστικά αυτοί οι δύο περιορισμοί είναι αλληλένδετοι, καθώς όταν έχουμε την υποχρεωτική λειτουργία κάποιων σταθμών βάσης, αυτοί θα είναι υπεύθυνοι σε περίπτωση χαμηλής παραγωγής από τις Α.Π.Ε., για τη στήριξη του δικτύου μέσω της παραγωγής τους, αλλά και της στρεφόμενης εφεδρείας που υπάρχει σε αυτούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

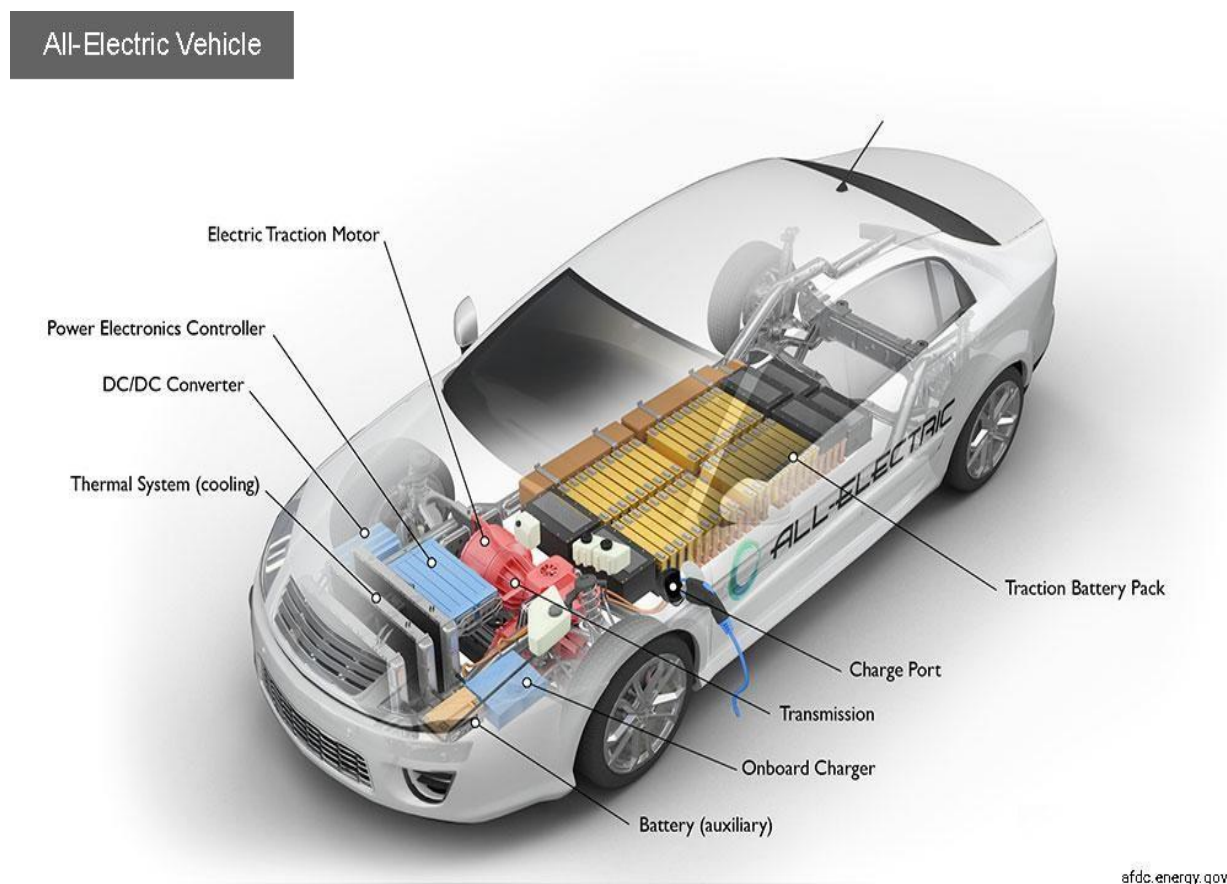
Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται η όλο και περισσότερη παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων από τις αυτοκινητοβιομηχανίες, καθώς πολλές χώρες έχουν υιοθετήσει την αναγκαία διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω του οικολογικού χαρακτήρα τους, αλλά και λόγω της σημαντικής λειτουργίας που μπορούν να έχουν για το σύστημα, καθώς μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία και την αποδοτικότητά του. Ο λόγος που επιφέρει αυτές τις βελτιωτικές αλλαγές στο σύστημα είναι ότι τα ηλεκτρικά οχήματα πέραν από τη λειτουργία τους ως φορτία, μπορούν να αποτελέσουν ταμιευτήρες ηλεκτρικής ενέργειας και να αποδώσουν στη συνέχεια αυτή την ενεργεία στο δίκτυο. Η συγκεκριμένη λειτουργία ονομάζεται Vehicle to Grid (V2G). Για να επιτευχθεί αυτή η λειτουργία κάθε όχημα διαθέτει ηλεκτρονικά ισχύος, που μετατρέπουν τη συνεχή τάση του ηλεκτρικού οχήματος στην εναλλασσόμενη τάση του δικτύου στα 50Hz. Αυτή η λειτουργία μπορεί να αποφέρει οφέλη πέραν του δικτύου και στους ιδιοκτήτες των οχημάτων, αφού θα πωλείται η ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο και θα αποτελεί ένα επιπλέον κίνητρο για κάποιον να πάρει ηλεκτρικό αυτοκίνητο. Σε ότι αφορά το δίκτυο τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να δώσουν ενέργεια στο σύστημα, όταν αυτή απαιτείται, ειδικά σε περιόδους που το φορτίο ζήτησης είναι μεγάλο (φορτίο αιχμής), με αποτέλεσμα να υπάρχει μια αποσυμφόρηση στο δίκτυο. Παράλληλα μειώνεται η κατανάλωση καυσίμων στους σταθμούς βάσης, με αποτέλεσμα, τη λιγότερη ρύπανση του περιβάλλοντος. Επίσης η είσοδος ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούσε να οδηγήσει στην αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς ένας μεγάλος στόλος ηλεκτρικών οχημάτων θα μπορούσε να αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από Α.Π.Ε., όπως τα φωτοβολταϊκά και τα αιολικά πάρκα, καθώς όπως γνωρίζουμε το μεγάλο πρόβλημα στην διείσδυση των Α.Π.Ε. είναι η έλλειψη μέσων αποθήκευσης.

3.2 ΤΥΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, με τον όρο ηλεκτρικά οχήματα εννοούμε κάθε όχημα το οποίο μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και συγκεκριμένα αυτό το οποίο παίρνει κινητήρια ενέργεια από τη μπαταρία ή κάθε όχημα, το οποίο θα μπορούσε μελλοντικά να συνδεθεί στο δίκτυο. Οι τύποι τέτοιου είδους οχημάτων είναι οι παρακάτω:

- **Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (Battery EVs)**

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας αποθηκεύουν ηλεκτροχημική ενέργεια στις μπαταρίες και εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους κατά την κίνησή τους. Οι μπαταρίες των συγκεκριμένων οχημάτων φορτίζονται από το δίκτυο, αλλά και από τη θερμότητα η οποία παράγεται κατά το φρενάρισμα του οχήματος, το οποίο ονομάζεται αναπαραγωγικό φρενάρισμα. Τα πιο συνηθισμένα είδη μπαταριών είναι οι μπαταρίες μολύβδου οξέος, οι οποίες αποτελούν την φθηνότερη επιλογή αλλά έχουν μικρό προσδόκιμο ζωής, σε σχέση με αυτές του νικελίου και του λιθίου, οι οποίες εξαιτίας του μεγάλου προσδόκιμου ζωής τους, έχουν γίνει πολύ ανταγωνιστικές στην αγορά πλέον.



Εικόνα 3.1: Ηλεκτρικό όχημα μπαταρίας.[21]

- **Ηλεκτρικά οχήματα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο (Plug-in EVs)**

Τα ηλεκτρικά οχήματα τα οποία ανήκουν σε αυτή την κατηγορία έχουν τη δυνατότητα να συνδέονται στο δίκτυο και να ανταλλάσσουν ενέργεια με αυτό, δηλαδή να λειτουργούν και σαν φορτία αλλά και σαν μονάδες παραγωγής σε περιόδους που κρίνεται αναγκαίο από τον διαχειριστή. Κάθε τέτοιο όχημα διαθέτει ειδικά ηλεκτρικά συστήματα και μηχανισμούς, οι οποίοι καθιστούν δυνατή τη σύνδεση του στο δίκτυο. Η εισαγωγή τέτοιου είδους αυτοκινήτων, αποτελεί σημαντική πρωτοβουλία για όλες τις ανεπτυγμένες χώρες, με τα κράτη να δίνουν και επιδοτήσεις για την αγορά των συγκεκριμένων οχημάτων, δίνοντας ένα επιπλέον κίνητρο για την απόκτηση τους.

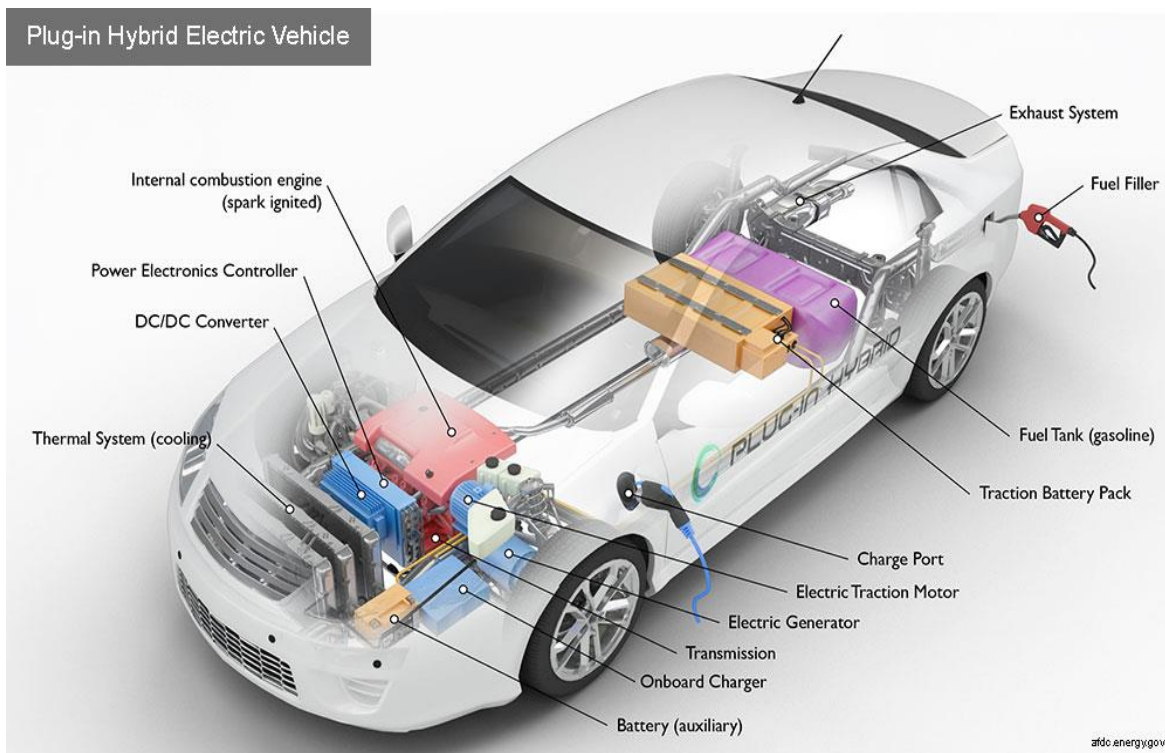


Εικόνα 3.2: Ηλεκτρικό όχημα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο.[22]

- **Υβριδικά αυτοκίνητα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο (Hybrid Plug-in EVs)**

Γενικά τα υβριδικά οχήματα έχουν και ηλεκτροκινητήρα και μηχανή εσωτερικής καύσης για την κίνησή τους, καθώς επίσης η μπαταρία τους φορτίζεται από το αναπαραγωγικό

φρενάρισμα που είπαμε προηγουμένως. Τα υβριδικά οχήματα τα οποία θα έχουν δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο, είναι μια υποενότητα των Plug-in EVs. Έχουν μεγαλύτερη μπαταρία από τα κλασσικά υβριδικά καθώς επίσης και μεγαλύτερη ηλεκτρική ισχύ κίνησης. Πράγμα το οποίο σημαίνει ότι ένα όχημα τέτοιου τύπου έχει μεγάλη ευελιξία στο ενδεχόμενο κατανάλωσης του καύσιμου που διαθέτει, καθώς αν η μπαταρία του είναι φορτισμένη μπορεί να κάνει το δρομολόγιο του, με την χρήση της αυτονομίας από ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 3.3: Υβριδικό αυτοκίνητο με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο.[23]

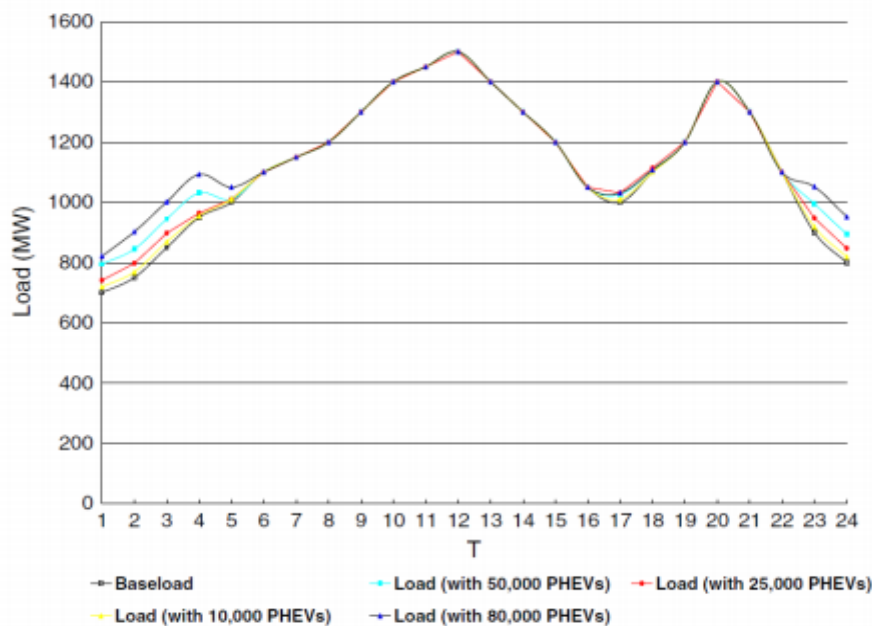
3.3 ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ Σ.Η.Ε

3.3.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΩΣ ΦΟΡΤΙΑ

Τα ηλεκτρικά οχήματα όταν συνδέονται στο σύστημα για τη φόρτιση των μπαταριών τους, λειτουργούν ως φορτία και μπορούν να συνδεθούν σε αυτό, είτε με τριφασική παροχή είτε με μονοφασική. Το πλεονέκτημα της τριφασικής σε σχέση με τη μονοφασική είναι ότι διατίθεται μεγαλύτερη ισχύς, με αποτέλεσμα την ταχύτερη φόρτιση του οχήματος, όμως δεν υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα στο δίκτυο για τέτοιου είδους παροχές, σε

αντίθεση με τη μονοφασική. Στη μονοφασική το ρεύμα είναι περίπου 16 A για αργή φόρτιση, η οποία κρατάει κατά μέσο όρο 6 με 8 ώρες και η πιο ταχεία φόρτιση, έχει ρεύμα της τάξεως των 32 A με χρόνο φόρτισης 4 με 6 ώρες.

Με τη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων στο σύστημα, αυξάνεται το συνολικό φορτίο ζήτησης του συστήματος, με αποτέλεσμα η παροχή ισχύος που χρειάζεται το σύστημα να γίνεται μεγαλύτερη. Έτσι αν τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται σε ώρες αιχμής ή σε ώρες που το φορτίο είναι σε αρκετά μεγάλα επίπεδα, το σύστημα θα αδυνατεί να υποστηρίξει όλη αυτή τη ζήτηση, με αποτέλεσμα να υπάρχει σοβαρό πρόβλημα και να είναι απαραίτητη η χρήση της στρεφόμενης εφεδρείας από τους σταθμούς βάσης, ίσως να ήταν απαραίτητη και η δημιουργία νέων μονάδων παραγωγής, προκειμένου μελλοντικά να μην υπάρχει πρόβλημα σε μία μεγάλη άνοδο της αγοράς των ηλεκτρικών οχημάτων. Σκοπός των διαχειριστών του συστήματος είναι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να φορτίζονται σε ώρες στις οποίες το φορτίο να είναι χαμηλό, ώστε να διατηρείται η αξιοπιστία και η ευστάθεια του συστήματος. Μέσω αυτής της ενέργειας επιτυγχάνεται η εξομάλυνση της καμπύλης του φορτίου σε ημερήσια βάση. Παρακάτω παρατηρούμε τη διαμόρφωση του συνολικού προφίλ ζήτησης με έξυπνη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων τις ώρες χαμηλής ζήτησης, με διαφορετικό αριθμό οχημάτων σε κάθε περίπτωση.



Εικόνα 3.4:Απεικόνιση διαμόρφωσης του συνολικού προφίλ ζήτησης με φόρτιση οχημάτων τις ώρες χαμηλής ζήτησης[18]

3.3.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΩΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η ιδέα της χρησιμοποίησης των ηλεκτρικών οχημάτων ως μονάδων παραγωγής για την υποστήριξη του δικτύου διανομής προέκυψε από το γεγονός, ότι το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και ο στόλος των ηλεκτρικών οχημάτων είναι δύο συμπληρωματικά συστήματα. Το κύριο πρόβλημα το οποίο υφίσταται στα Σ.Η.Ε , είναι ότι δεν υπάρχει μεγάλη δυνατότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, για αυτό και πρέπει κάθε στιγμή να ελέγχεται το ισοζύγιο παραγωγής και φορτίου ζήτησης. Επίσης η εγκατάσταση μεγάλων μπαταριών αποθήκευσης είναι υπερβολικά ακριβή. Αντιθέτως, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν μπαταρίες, καθώς αυτή είναι η κινητήρια δύναμή τους και το κόστος τους είναι σημαντικά μικρότερο. Ως γνωστόν η πλειονότητα των οχημάτων, το περισσότερο διάστημα της ημέρας παραμένει στάσιμη, πράγμα το οποίο είναι πολύ χρήσιμο για το δίκτυο, αφού μπορεί να αποθηκεύσει και στη συνέχεια να δώσει ενέργεια σε αυτό, όταν αυτό κριθεί αναγκαίο και έτσι να εξυπηρετηθεί καλύτερα το συνολικό φορτίο ζήτησης.

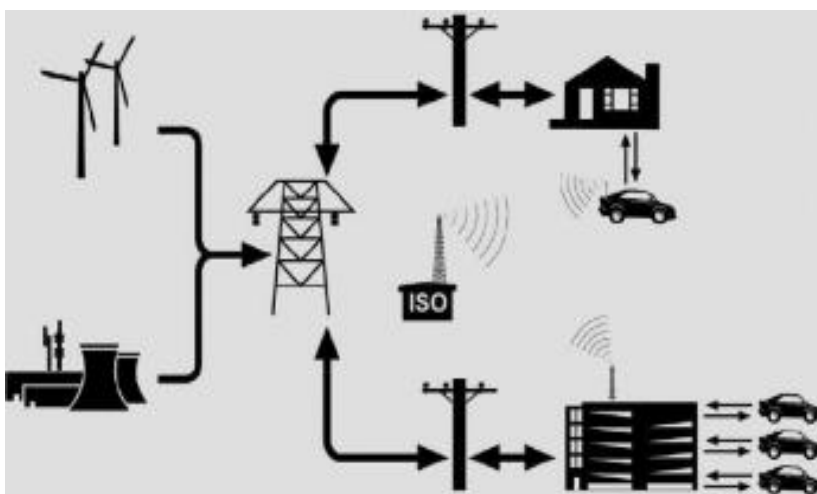
3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ VEHICLE TO GRID

Η συγκεκριμένη διαδικασία έχει να κάνει με αυτό που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, τη λειτουργία δηλαδή των ηλεκτρικών οχημάτων, σαν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ουσιαστικά αυτή η αντίστροφη ροή ισχύος από το όχημα προς το δίκτυο ονομάζεται διαδικασία Vehicle to Grid (V2G). Δυνατότητα σε αυτού του είδους τη διαδικασία, έχουν μόνο τα οχήματα για τα οποία είναι εξασφαλισμένη η σύνδεσή τους στο δίκτυο, σύμφωνα με τους παραπάνω τύπους οχημάτων της παραγράφου 3.2 , αυτά είναι τα plug-in στα οποία συγκαταλέγονται και τα υβριδικά και τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας. Στη συγκεκριμένη διαδικασία ακολουθείτε το πρωτόκολλο της έξυπνης φόρτισης, δηλαδή τα οχήματα να φορτίζονται σε ώρες χαμηλής ζήτησης και όχι σε περιόδους αιχμής, αφού έτσι εξασφαλίζεται η σταθερότητα των τιμών της τάσης και της συχνότητας, οι οποίες έχουν καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα παρεχόμενης ισχύος. Έχοντας λοιπόν ένα μεγάλο πλήθος ηλεκτρικών οχημάτων, εκμεταλλευόμενοι τη χωρητικότητα των μπαταριών και την ταχεία απόκρισή τους, μπορούμε να έχουμε διάφορες επικοινωνικές υπηρεσίες, κάλυψη των φορτίων αιχμής, καθώς και τη μεγαλύτερη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Όλα αυτά τα οφέλη αναλύονται στις παρακάτω παραγράφους διεξοδικά.

Μέσα σε αυτή τη διαδικασία συμπεριλαμβάνεται και το κομμάτι της επικοινωνίας των ηλεκτρικών οχημάτων και του δικτύου. Για αυτό απαιτούνται δύο συνδέσεις: 1^ο Η συνδεσμολογία με την οποία θα είναι εφικτή η ροή ισχύος από και προς τα οχήματα και 2^ο Η σύνδεση ελέγχου η

οποία θα είναι υπεύθυνη για το ποσό της ενέργειας που φτάνει στο όχημα, αλλά και για το ποσό της ενέργειας που διοχετεύεται από το όχημα στο δίκτυο. Η σύνδεση ελέγχου μπορεί να είναι εντός του οχήματος, σε ένα σταθμό φόρτισης ή να βρίσκεται υπό την επίβλεψη ενός διαχειριστή στόλου ηλεκτρικών οχημάτων (aggregator). Το σύστημα ελέγχου, θεωρείται πολύ σημαντικό, αφού είναι υπεύθυνο για την καταγραφή της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από V2G καθώς η τιμή της ενέργειας είναι πολύ ακριβότερη από το κόστος παραγωγής της και επίσης είναι σημαντική και η χρονική διάρκεια παροχής της στο δίκτυο.

Όπως προαναφέραμε ο στόλος των ηλεκτρικών οχημάτων, θα ελέγχεται από έναν διαχειριστή. Αυτός ο διαχειριστής θα αποτελεί το διαμεσολαβητή, μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και του κεντρικού διαχειριστή του δικτύου. Ο διαμεσολαβητής θα επικοινωνεί με τον κεντρικό διαχειριστή του συστήματος μέσω σημάτων, τα οποία στη συνέχεια θα διαβιβάζονται σε κάθε όχημα ξεχωριστά, με βάση κάποιον συγκεκριμένο κωδικό αποκλειστικά για κάθε όχημα.



Εικόνα 3.5: Απεικόνιση ροής ισχύος σε δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας με Α.Π.Ε και Ηλεκτρικά Οχήματα. [4]

3.5 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΟΧΗΜΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Η παραγόμενη ισχύς από ένα ηλεκτρικό όχημα προς το δίκτυο καθορίζεται από τρία χαρακτηριστικά και όποιο από αυτά τα τρία έχει τη μικρότερη τιμή, διαμορφώνει την τιμή της παραγόμενης ισχύος που δίνει το όχημα στο δίκτυο. Αυτά τα τρία κριτήρια αναφέρονται παρακάτω :

- **Περιορισμός Ισχύος της γραμμής :** Ουσιαστικά έχει να κάνει με το μέγιστο ρεύμα το

οποίο μπορεί να μεταφερθεί μέσω της γραμμής και των επιμέρους στοιχείων, που συνδέουν το όχημα με το δίκτυο. Αν μιλάμε για εγκατάσταση με παροχή μονοφασική σε ένα κτίριο η ισχύς υπολογίζεται από τον γνώριμο τύπο:

$$P_{line} = VI_{line} \quad (3.1)$$

Όπου V η τάση και I το μέγιστο ονομαστικό ρεύμα της γραμμής.

- **Περιορισμός ισχύος λόγω της αποθηκευμένης ενέργειας στο όχημα :** Ο περιορισμός αυτός τίθεται στην διαδικασία V2G (Vehicle to grid) και αφορά την αποθηκευμένη ενέργεια του εκάστοτε ηλεκτρικού οχήματος, διαιρεμένη στη μονάδα του χρόνου που απαιτήθηκε για την μεταφορά της. Σε αυτό τον περιορισμό η ισχύς δίνεται από τον τύπο:

$$P_{vehicle} = \frac{\left(E_s - \frac{d_d + d_{rb}}{n_{veh}}\right) n_{inv}}{t_{disp}} \quad (3.2)$$

Όπου E_s , είναι η αποθηκευμένη ενέργεια στο όχημα σε KWh , η συγκεκριμένη τιμή για τα οχήματα μπαταρίας ισούται με την ενέργεια, που μπορεί να αποθηκευτεί στη μπαταρία, d_d είναι η απόσταση που έχει διανυθεί σε km από τη στιγμή που η μπαταρία του οχήματος ήταν γεμάτη, d_{rb} η ελάχιστη απόσταση σε km που απαιτείται από τον οδηγό, για την κάλυψη των αναγκών του, n_{veh} η μεταβλητή η οποία εκφράζει την απόδοση του οχήματος σε km ανά KWh , n_{inv} η απόδοση του αντιστροφέα DC σε AC κατά την μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος και t_{disp} ο χρόνος που η αποθηκευμένη ενέργεια του οχήματος, μεταφέρεται στο δίκτυο σε ώρες.

- **Περιορισμός λόγω των ορίων ισχύος του οχήματος :** Αυτός ο παράγοντας είναι πάντοτε μεγαλύτερος από τους άλλους δύο, και δεν παίζει τόσο μεγάλο ρόλο, για την εύρεση της παραγόμενης ισχύος, από το όχημα στο σύστημα.

3.6 ΑΓΟΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές αγορές ηλεκτρικής ισχύος ,στις οποίες θα μπορούσε να πωληθεί η ηλεκτρική ενέργεια, που παράγεται από ένα ηλεκτρικό όχημα, όπου η κάθε μία έχει ένα διαφορετικό καθεστώς σε ότι αφορά την τιμολόγηση ανά KWh, τη διάρκεια του συμβολαίου της συμφωνίας και τη διάρκεια αποστολής ισχύος στο δίκτυο. Οι τρεις αγορές αναλύονται παρακάτω:

- **Ισχύς για την κάλυψη του βασικού φορτίου :** Η ισχύς σε αυτή την περίπτωση παρέχεται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας με συμβόλαια μακροχρόνια για σταθερή παραγωγή και με σχετικά χαμηλή τιμή ανά KWh παραγωγής. Σε αυτού του είδους την κάλυψη αποδεικνύεται ότι τα ηλεκτρικά οχήματα δεν είναι τόσο ανταγωνιστικά, αφού έχουν περιορισμένη αποθηκευτική ικανότητα ισχύος, ο χρόνος ζωής ορισμένων στοιχείων του οχήματος είναι μικρός και παράλληλα δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί κάποια από τα δυνατά χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών οχημάτων, όπως το γρήγορο χρόνο απόκρισης, το μικρό κόστος κεφαλαίου ανά KW.
- **Ισχύς για την κάλυψη του φορτίου αιχμής :** Σε αυτό το είδος αγοράς τα ηλεκτρικά οχήματα ανταποκρίνονται πολύ καλά, αφού μπορούν και διοχετεύουν ενέργεια στο δίκτυο με πολύ καλό αντίτιμο ανά KWh, και με αυτό τον τρόπο μπορούν και να αποσυμφορήσουν το σύστημα σε στιγμές όπου υπάρχει μεγάλο φορτίο ζήτησης κατά την διάρκεια της ημέρας. Επίσης από την στιγμή που η ισχύς αυτή χρειάζεται μόνο κάποιες ώρες μέσα στην ημέρα, είναι οικονομικότερο να χρησιμοποιηθούν μονάδες με χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου παρά το γεγονός, ότι η τιμή της κιλοβατώρας πωλείται από τα οχήματα σε υψηλότερη τιμή από αυτή την οποία παρέχει το δίκτυο στους καταναλωτές.
- **Επικουρικές υπηρεσίες :** Σκοπός των επικουρικών υπηρεσιών είναι η μεγαλύτερη αξιοπιστία και ευστάθεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς η οποία παράγεται από αυτές τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, που στην προκειμένη περίπτωση είναι τα ηλεκτρικά οχήματα, αποθηκεύεται σε αυτά και είναι έτοιμη να προσφερθεί στο σύστημα όποτε κριθεί σκόπιμο από το διαχειριστή του συστήματος. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν υπάρχει πάντα το ισοζύγιο μεταξύ φορτίου ζήτησης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αν απουσίαζε αυτό το πρόβλημα τότε δεν θα είχε νόημα η ύπαρξη αυτών των υπηρεσιών. Έτσι οι επικουρικές υπηρεσίες οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω, λύνουν το ανωτέρω πρόβλημα αλλά παράλληλα εξασφαλίζουν και την καλύτερη ρύθμιση της συχνότητας και της ποιότητας της ισχύος του δικτύου.[18] Οι επικουρικές υπηρεσίες που συνδέονται άμεσα με την λειτουργία V2G είναι οι παρακάτω :

α) Η στρεφόμενη εφεδρεία : Για την στρεφόμενη εφεδρεία μιλήσαμε λίγο στο τέλος του 2^{ου} Κεφαλαίου και αναφερθήκαμε στην προσφορά των Α.Π.Ε. σε αυτό το φαινόμενο. Τώρα ήρθε η ώρα να αναφερθούμε στο πώς τα ηλεκτρικά οχήματα επιδρούν σε αυτό, αλλά και τα τρία είδη στρεφόμενης εφεδρείας τα οποία υπάρχουν. Όπως έχουμε αναφέρει γενικότερα, αυτός ο όρος έχει να κάνει με την επιπλέον παραγωγική ικανότητα που έχει μία γεννήτρια, η οποία παραμένει σε αναμονή και μπορεί να δοθεί στο δίκτυο

ανά πάσα στιγμή, όταν το δίκτυο βρίσκεται σε αδυναμία υποστήριξης του φορτίου ζήτησης ή σε περίπτωση που χαθεί κάποια μονάδα παραγωγής. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες στρεφόμενης εφεδρείας οι οποίες διαχωρίζονται ανάλογα με τη διάρκεια παραγωγής, επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας, η πρώτη είναι η πρωτεύουσα, η οποία αυξάνει την ενεργό ισχύ της μονάδας από 5 μέχρι και 15 δευτερόλεπτα. Από 15 μέχρι και 90 δευτερόλεπτα είναι η δευτερεύουσα και από 90 δευτερόλεπτα μέχρι και 20 λεπτά είναι η τριτεύουσα. Σε ότι αφορά τα ηλεκτρικά οχήματα, η άμεση απόκριση των ηλεκτρικών οχημάτων και η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας σε πολύ μικρό διάστημα, τα καθιστά ιδανικά για τέτοιου είδους υπηρεσίες. Επίσης το γεγονός ότι η πλειοψηφία των ηλεκτρικών οχημάτων παραμένει σταθμευμένη το περισσότερο διάστημα κατά την διάρκεια μίας ημέρας, οι ιδιώτες κάτοχοι ηλεκτρικών οχημάτων έχουν την δυνατότητα να κάνουν διακανονισμό με τον αρμόδιο φορέα (Δ.Ε.Η.) και να πληρώνονται για στρεφόμενη εφεδρεία με την μόνη υποχρέωση να παραμένουν συνδεδεμένα στο δίκτυο, έτσι ώστε ο διαχειριστής του δικτύου να μπορεί να καλύψει το ισοζύγιο παραγωγής- ζήτησης.

Β) Η ρύθμιση ή έλεγχος συχνότητας : Η ρύθμιση αναφέρεται συχνά ως έλεγχος συχνότητας και έχει ως σκοπό τη διατήρηση της συχνότητας και της τάσης του δικτύου σε κανονικά επίπεδα, ισοσταθμίζοντας την παραγωγή με τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαδικασία αυτή γίνεται σε πραγματικό χρόνο από το διαχειριστή του συστήματος ο οποίος μέσω ενός υπολογιστή στέλνοντας σήματα, επικοινωνεί με τη μονάδα παραγωγής, στην οποία αυξάνει ή μειώνει την έξοδό της μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα.

Υπάρχουν δύο είδη ρύθμισης συχνότητας είναι η πάνω ρύθμιση και η κάτω ρύθμιση. Η πρώτη σχετίζεται με την αύξηση της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, πράγμα το οποίο συμβαίνει όταν το συνολικό φορτίο ζήτησης ξεπερνάει την παραγωγή, με αποτέλεσμα η τάση και η συχνότητα να υφίστανται πτώση και επομένως να χρειάζεται η πάνω ρύθμιση. Το αντίστροφο συμβαίνει στην περίπτωση της κάτω ρύθμισης, η έξοδος ενός μεγάλου καταναλωτή από το δίκτυο μπορεί να επιφέρει μία τέτοια διαδικασία.

Σε σχέση με τη στρεφόμενη εφεδρεία η ρύθμιση συχνότητας καλείται πιο συχνά από το διαχειριστή του δικτύου. Μπορεί στη διάρκεια μίας μέρας να γίνει εκατοντάδες φορές, έχει ταχεία απόκριση της τάξεως των δευτερολέπτων και η διάρκεια της ρύθμισης κρατάει ελάχιστα, σε σχέση με τη διάρκεια της στρεφόμενης εφεδρείας. Τα ηλεκτρικά οχήματα φαίνονται κατάλληλα για τη συγκεκριμένη επικουρική αγορά ηλεκτρικής ισχύος, αφού μπορούν να ανταποκριθούν πολύ εύκολα σε σήματα ρύθμισης, μπορούν να κάνουν και πάνω ρύθμιση, η οποία επιτυγχάνεται με την λειτουργία των οχημάτων σαν μονάδες παραγωγής με τη λειτουργία V2G και κάτω ρύθμιση με τη λειτουργία τους ως φορτία. Η εναλλαγή αυτών των δύο καταστάσεων προκαλεί πολύ μικρή εκφόρτιση των μπαταριών

των οχημάτων.

3.7 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Η αιολική και η ηλιακή ενέργεια αντιμετωπίζεται σαν μια μορφή διακοπτόμενης παραγωγής ενέργειας, πράγμα το οποίο είναι ανεκτό για ένα Σ.Η.Ε., όταν σε αυτό η διείσδυση τους είναι μικρή, αλλά σε αντίθετη περίπτωση το σύστημα χρειάζεται την απαιτούμενη εφεδρεία από τις συμβατικές μονάδες, για να μπορέσουν να καλύψουν το φορτίο ζήτησης, αλλά και τα κατάλληλα συστήματα αποθήκευσης. Η μη δυνατότητα πρόβλεψης της παραγωγής από αιολικά στοιχεία, οφείλεται στη στοχαστικότητα που διέπει κυρίως τις ανεμογεννήτριες, των οποίων η παραγωγή εξαρτάται καθαρά από τις καιρικές συνθήκες, που υπάρχουν εκείνη την στιγμή, ενώ για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία η παραγωγή τους είναι σχετικά πιο προβλέψιμη, καθώς κατά κανόνα η αιχμή της φωτοβολταϊκής παραγωγής προηγείται λίγες ώρες από την αιχμή του φορτίου ζήτησης. Έτσι, ο τρόπος αύξησης των φωτοβολταϊκών στοιχείων στο δίκτυο θα ήταν να αποθηκευτεί η ενέργεια η οποία παράγεται την ώρα αιχμής των φωτοβολταϊκών και να παρέχεται στο σύστημα την ώρα αιχμής του φορτίου ζήτησης, πράγμα το οποίο μπορεί να γίνει εύκολα με τη βοήθεια ηλεκτρικών οχημάτων.

Ουσιαστικά τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να αποτελέσουν μονάδες διεσπαρμένης αποθήκευσης ηλιακής και αιολικής ενέργειας, έτσι στην περίπτωση των Αιολικών Πάρκων όταν υπάρχει περίσσεια παραγωγή αιολικής ενέργειας, θα μπορούν τα οχήματα να την αποθηκεύσουν και στη συνέχεια να την αποδώσουν στο δίκτυο, όποτε αυτό είναι απαραίτητο.

Γενικότερα, η αποθήκευση και η εφεδρεία αιολικής ενέργειας αποτελούν δυο διαφορετικές έννοιες. Η εφεδρεία παρέχει ισχύ όταν η παραγωγή από τις ανεμογεννήτριες δεν επαρκεί, για να καλύψει τη ζήτηση και παραμένει αχρησιμοποίητη, όταν η αιολική ενέργεια είναι ίση ή παραπάνω από το φορτίο ζήτησης. Η αποθήκευση παρέχει ισχύ, όταν η αιολική ενέργεια βρίσκεται σε επίπεδα παραγωγής κάτω από αυτό της ζήτησης. Επιπλέον αποθηκεύει την ενέργεια, που υπάρχει περίσσεια για την κάλυψη του φορτίου ζήτησης, από την αιολική παραγωγή.

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρικά οχήματα, η οποία είναι παραγόμενη από αιολικά και φωτοβολταϊκά, επιφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε ένα δίκτυο Σ.Η.Ε., τα οποία αναφέρονται παρακάτω :

- **Πλεονεκτήματα παραγωγικής ικανότητας :** Αυτά τα πλεονεκτήματα προέρχονται από την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς δεν θα χρειαστούν επιπλέον εγκαταστάσεις μονάδων παραγωγής ή άλλων στοιχείων για την κάλυψη του φορτίου αιχμής.
- **Δυναμικά πλεονεκτήματα :** Τα πλεονεκτήματα αυτά έχουν να κάνουν με τη δυναμική του συστήματος, καθώς η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρικά οχήματα

οδηγεί στη βελτιστοποίηση σημαντικών στοιχείων του συστήματος, όπως η στρεφόμενη εφεδρεία, η ακολούθηση του φορτίου, η βελτίωση της τάσης, της συχνότητας και του συντελεστή ισχύος.

- **Μείωση αβεβαιότητας κατά την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας :** Σύμφωνα με έρευνα αυτή η μείωση της αβεβαιότητας, μπορεί να είναι τέτοια ώστε η συνολική αξία ανά MW να είναι 40% μεγαλύτερη από κάθε άλλη εναλλακτική που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας.



Εικόνα 3.6: Αύξηση διείσδυσης Α.Π.Ε με την παρουσία ηλεκτρικών οχημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΤΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ MATPOWER

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ MATPOWER

Το MATPOWER αποτελεί ένα πακέτο λογισμικού ανοικτού κώδικα MATLAB, που λειτουργεί προσομοιώνοντας την ηλεκτρική ενέργεια, ενώ ταυτοχρόνως χρησιμοποιεί έναν κώδικα ο οποίος είναι εύκολα κατανοητός και προσαρμόσιμος. Αναπτύχθηκε από τους Ray D. Zimmerman, Carlos E. Murillo Sanchez και Deqiang Gan στο Πανεπιστήμιο Cornell υπό την καθοδήγηση του Robert Thomas (MATPOWER: Steady-State Operation, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education). Χρησιμοποιείται για την προσομοίωση τόσο της AC και DC Ροής Φορτίου, αλλά και της ροής ισχύος δικτύων για ερευνητικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς.[6]

Το συγκεκριμένο εργαλείο περιέχει ένα σύνολο αρχείων, κάποια από τα οποία αφορούν έτοιμα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας με πολλαπλούς ζυγούς και κάποια άλλα που αφορούν ένα σύνολο εντολών για την προσομοίωση της ροής ισχύος και της ροής φορτίου στο δίκτυο. Στα αρχεία που αφορούν τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, ο χρήστης έχει την ικανότητα να τα επεξεργαστεί και να προσθέσει επιπλέον περιορισμούς, καθώς επίσης και να ελέγξει τη λειτουργία του δικτύου μέσω μεθόδων, οι οποίες παράγουν τα αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο, πράγμα το οποίο παρέχει ευελιξία στο χρήστη.

Όσον αφορά το MATLAB, αποτελεί το ιδανικότερο εργαλείο για επιστημονικούς υπολογισμούς, καθώς συνδυάζει μια γλώσσα υψηλού επιπέδου ιδανική για υπολογισμούς διανυσμάτων και πινάκων, μια πλατφόρμα διασταύρωσης του χρόνου εκτέλεσης στηριζόμενη σε ισχυρές μαθηματικές βιβλιοθήκες, ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης και ένα γραφικό περιβάλλον με εξαιρετικές δυνατότητες απεικόνισης, αλλά και για το γεγονός ότι τα αρχεία του εργαλείου MATPOWER είναι .m αρχεία τα οποία έχουν άμεση διασύνδεση με αυτό.

4.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ MATPOWER

Το MATPOWER περιέχει όλα τα συνήθη μοντέλα μόνιμης κατάστασης που χρησιμοποιούνται τυπικά για ανάλυση ροής ισχύος. Συγκεκριμένα μεγέθη όπως είναι οι τάσεις και οι σύνθετες αντιστάσεις (ωμικά και επαγωγικά τμήματα) των γραμμών διανομής, εκφράζονται σε ανά μονάδα τιμές και οι γωνίες των τάσεων των ζυγών του δικτύου σε ακτίνια. Εντός του αρχείου σε πίνακες βρίσκονται αριθμημένοι οι ζυγοί ξεκινώντας από τον αριθμό 1 έως το μέγιστο αριθμό

ζυγών, που έχει το εκάστοτε δίκτυο και αντίστοιχα αριθμούνται και οι κλάδοι του δικτύου με όριο σε αυτή την περίπτωση το μέγιστο αριθμό κλάδων που υπάρχουν στο δίκτυο.

Τα αρχεία δεδομένων που χρησιμοποιούνται στο Matpower είναι αρχεία Matlab, M ή MAT τύπου, τα οποία ορίζουν και επιστρέφουν μια μόνο δομή Matlab. Τα αρχεία M έχουν δομή κειμένου και μπορούν να τροποποιηθούν με κάθε επεξεργαστή κειμένου.

Η δομή αυτή περιέχει τα παρακάτω στοιχεία:

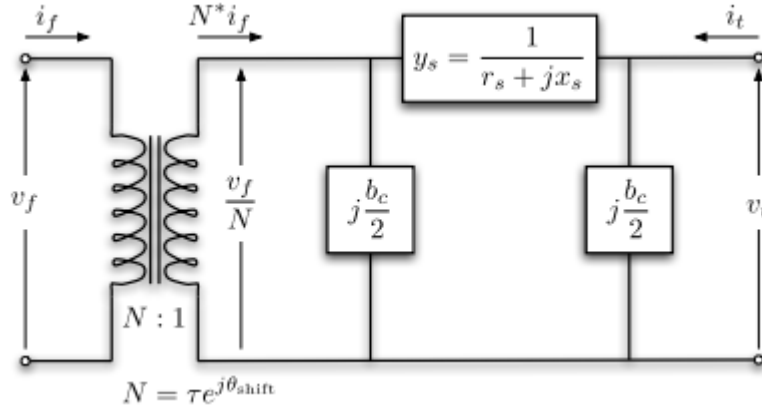
- **BaseMVA:** είναι ένας σταθερός αριθμός και για κάθε δίκτυο αφορά την ισχύ βάσης του.
- **Bus:** είναι ένας πίνακας εντός της δομής, η οποία περιέχει όλα τα δεδομένα για τους ζυγούς του συστήματος, όπου το πλήθος των ζυγών του συστήματος είναι n_b .
- **Branch:** είναι ένας πίνακας εντός της δομής, η οποία περιέχει όλα τα δεδομένα για τους κλάδους του δικτύου, όπου το πλήθος των κλάδων του δικτύου είναι n_{br} .
- **Gen:** ο συγκεκριμένος πίνακας αποτελείται από το σύνολο των ζυγών, οι οποίοι έχουν τοποθετημένη πάνω τους γεννήτρια και μέσα σε αυτόν περιγράφονται οι τιμές ισχύος της γεννήτριας. Το πλήθος των γεννητριών είναι ίσο με n_g .
- **Gencost:** Ο συγκεκριμένος πίνακας έχει n_g γραμμές όταν περιέχει στοιχεία μόνο για την ενεργό ισχύ ή 2ng γραμμές, όταν συμπεριλαμβάνεται και η άεργος ισχύς.

4.2.1 ΚΛΑΔΟΙ ΔΙΚΤΥΟΥ

Στο δίκτυο μας όλες οι γραμμές μεταφοράς με τις σύνθετες αντιστάσεις, οι μετασχηματιστές αλλά και οι μετατροπείς γωνίας φάσης, βασίζονται στο Π ισοδύναμο κύκλωμα των γραμμών με μιγαδική αντίσταση:

$$Z_s = r_s + j \cdot x_s \quad (4.1)$$

Και η συνολική επαγωγική (εγκάρσια) αγωγιμότητα b_c , συνδεδεμένη σειριακά με έναν ιδανικό μετασχηματιστή γωνίας φάσης. Ο μετασχηματιστής του οποίου η αναλογία ρύθμισης, έχει μέτρο τ και γωνία μετατόπισης θ_{shift} βρίσκεται στο αριστερό άκρο του κλάδου, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Οι παραπάνω προαναφερόμενες παράμετροι $r_s, x_s, b_c, \theta_{shift}$ ορίζονται απευθείας στις λίστες: BR_R, BR_X, BR_B, TAP και SHIFT, των αντίστοιχων γραμμών του πίνακα κλάδων.[6]



Εικόνα 4.1 : Απεικόνιση των γραμμών μεταφοράς μετασχηματιστών του δικτύου βάση του Π ισοδύναμου κυκλώματος.

Τα διανύσματα ροών ρεύματος στα άκρα αναχώρησης \mathbf{i}_f και στα άκρα άφιξης του κλάδου \mathbf{i}_t εκφράζονται από μια μήτρα αγωγιμοτήτων \mathbf{Y}_{br} διαστάσεων 2×2 και των αντίστοιχων τάσεων τερματισμού στα άκρα αναχώρησης \mathbf{u}_f και στα άκρα άφιξης των γραμμών \mathbf{u}_t . Παρακάτω επισυνάπτεται και η αντίστοιχη διανυσματική εξίσωση:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{i}_f \\ \mathbf{i}_t \end{bmatrix} = \mathbf{Y}_{br} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{u}_f \\ \mathbf{u}_t \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Με την εν σειρά αγωγιμότητα στο ισοδύναμο κύκλωμα Π να γράφεται:

$$y_s = \frac{1}{z_s} \quad (4.3)$$

Έτσι λοιπόν βάση της ανωτέρω εξίσωσης ο πίνακας των αγωγιμοτήτων του κλάδου μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\mathbf{Y}_{br} = \begin{bmatrix} \left(y_s + j \cdot \frac{b_c}{2} \right) \cdot \frac{1}{\tau^2} & -y_s \cdot \frac{1}{\tau e^{-j\theta_{shift}}} \\ -y_s \cdot \frac{1}{\tau e^{j\theta_{shift}}} & y_s + j \cdot \frac{b_c}{2} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

4.2.2 ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Οι γεννήτριες μοντελοποιούνται σαν σύνθετες εγχύσεις ισχύος σε κάποιους από τους ζυγούς του δικτύου. Ουσιαστικά μέσω αυτών γίνεται η έγχυση ενεργού και αέργου ισχύος στο σύστημά μας. Για την i -οστή γεννήτρια η ροή είναι:

$$\mathbf{S}_g^i = \mathbf{P}_g^i + j \cdot \mathbf{Q}_g^i \quad (4.5)$$

Όπου $S_g = P_g + j \cdot Q_g$ είναι το διάνυσμα μεγέθους $n_g \times 1$ όλων των εγχύσεων των γεννητριών. Τα ισοδύναμα των P_g^i σε MW και Q_g^i σε MVar, πριν τη μετατροπή σε ανά μονάδα σύστημα, ορίζονται στις στήλες PG και QG αντίστοιχα στη γραμμή i του πίνακα gen. Έτσι μπορεί να οριστεί ένας πίνακας C_g διαστάσεων $n_b \times n_g$, ώστε το (i, j) στοιχείο του να είναι 1 αν η γεννήτρια j βρίσκεται στο ζυγό i και 0 σε αντίθετη περίπτωση. Το διάνυσμα $n_b \times 1$ όλων των ροών ισχύος από γεννήτριες σε ζυγούς, μπορεί να εκφραστεί ως:

$$S_{g,bus} = C_g \cdot S_g \quad (4. 6)$$

4.2.3 ΦΟΡΤΙΑ

Τα φορτία σταθερής ισχύος εκφράζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να γνωρίζουμε το πόση ενεργός και άεργος ισχύς καταναλώνεται στον εκάστοτε ζυγό. Για τον i -οστό ζυγό το φορτίο είναι:

$$S_d^i = P_d^i + j \cdot Q_d^i \quad (4. 7)$$

Όπου $S_d = P_d + j \cdot Q_d$ είναι το διάνυσμα μιγαδικού φορτίου και έχει μέγεθος $n_b \times 1$, όπου n_b το πλήθος των ζύγων του δικτύου. Η ενεργός ισχύς P_d^i έχει μονάδα μέτρησης τα MW και η άεργος ισχύς Q_d^i τα MVar, πριν τη μετατροπή σε ανά μονάδα σύστημα ορίζονται στις στήλες PD και QD αντίστοιχα στη γραμμή i του πίνακα bus. Σταθερή αντίσταση και φορτία σταθερού ρεύματος δεν δηλώνονται άμεσα, αλλά τα τμήματα σταθερής αντίστασης περιγράφονται στο δίκτυο ως εγκάρσιο στοιχείο όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο. Τα κατανεμημένα φορτία μοντελοποιούνται σαν αρνητικές γεννήτριες και εμφανίζουν αρνητικές τιμές μιγαδικής ισχύος S_g . [6]

4.2.4 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ένα εγκάρσιο συνδεδεμένο στοιχείο όπως ένας πυκνωτής ή ένα πηνίο, μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν σταθερά γειωμένη αντίσταση ζυγού. Η αγωγιμότητα ενός τέτοιου στοιχείου στον i -οστό ζυγό, περιγράφεται από τον τύπο:

$$y_{sh}^i = g_{sh}^i + j \cdot b_{sh}^i \quad (4. 8)$$

Όπου η ποσότητα $y_{sh} = g_{sh} + j \cdot b_{sh}$ δηλώνει το διάνυσμα $n_b \times 1$ της εγκάρσιας αγωγιμότητας σε όλους τους ζυγούς. Οι παράμετροι g_{sh}^i και b_{sh}^i ορίζονται στις στήλες GS και BS, αντίστοιχα, της i -οστής γραμμής του πίνακα bus, σαν ισοδύναμη καταναλισκόμενη ενεργή ισχύς σε MW και εγγεόμενη άεργη σε MVar σε ονομαστικό μέτρο τάσης 1

ανά μονάδα και μηδενική γωνία φάσης.[6]

4.2.5 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Για ένα δίκτυο το οποίο έχει πλήθος ζυγών n_b , όλα τα στοιχεία σταθερής σύνθετης αντίστασης του μοντέλου ενσωματώνονται σε μια μήτρα αγωγιμοτήτων ζυγού, \mathbf{Y}_{bus} διαστάσεων $n_b \times n_b$, που συνδέει τις μιγαδικές εγχύσεις ρεύματος κάθε ζυγού \mathbf{I}_{bus} , με τις αντίστοιχες κομβικές τάσεις \mathbf{V} , ως εξής:

$$\mathbf{I}_{bus} = \mathbf{Y}_{bus} \cdot \mathbf{V} \quad (4.9)$$

Παρομοίως για δίκτυο με συνολικό αριθμό κλάδων n_l , ο πίνακας αγωγιμοτήτων στην άφιξη και στην αναχώρηση των κλάδων \mathbf{Y}_f και \mathbf{Y}_t αντίστοιχα μεγέθους $n_l \times n_b$ σε συνδυασμό με το πίνακα των τάσεων των ζυγών \mathbf{V} , μας παράγουν μέσω της παρακάτω σχέσης τον πίνακα ρευμάτων στην άφιξη και στην αναχώρηση του κλάδου \mathbf{I}_f και \mathbf{I}_t , αντίστοιχα συνολικών διαστάσεων $n_l \times 1$. [6]

$$\mathbf{I}_f = \mathbf{Y}_f \cdot \mathbf{V} \quad (4.10)$$

$$\mathbf{I}_t = \mathbf{Y}_t \cdot \mathbf{V} \quad (4.11)$$

Εάν το σύμβολο $[\cdot]$ χρησιμοποιείται για να δείξει τη διαδικασία με την οποία από ένα $n \times 1$ διάνυσμα, δημιουργείται ο αντίστοιχος $n \times n$ διαγώνιος πίνακας (με τα στοιχεία του διανύσματος να βρίσκονται στην διαγώνιο), τότε οι μήτρες αγωγιμότητας σχηματίζονται ως ακολούθως:

$$\mathbf{Y}_f = [\mathbf{Y}_{ff}] \cdot \mathbf{C}_f + [\mathbf{Y}_{ft}] \cdot \mathbf{C}_t \quad (4.12)$$

$$\mathbf{Y}_t = [\mathbf{Y}_{tf}] \cdot \mathbf{C}_f + [\mathbf{Y}_{tt}] \cdot \mathbf{C}_t \quad (4.13)$$

$$\mathbf{Y}_{bus} = \mathbf{C}_f^T \cdot \mathbf{Y}_f + \mathbf{C}_t^T \cdot \mathbf{Y}_t + [\mathbf{Y}_{sh}] \quad (4.14)$$

Οι ροές του ρεύματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστούν οι ροές μιγαδικής ισχύος, σε συνάρτηση με τις μιγαδικές τάσεις των ζυγών, το οποίο γίνεται βάσει των παρακάτω σχέσεων:

$$\mathbf{S}_{bus}(\mathbf{V}) = [\mathbf{V}] \cdot \mathbf{I}_{bus}^* = [\mathbf{V}] \cdot \mathbf{Y}_{bus}^* \cdot \mathbf{V}^* \quad (4.15)$$

$$\mathbf{S}_f(\mathbf{V}) = [\mathbf{C}_f \cdot \mathbf{V}] \cdot \mathbf{I}_f^* = [\mathbf{C}_f \cdot \mathbf{V}] \cdot \mathbf{Y}_f^* \cdot \mathbf{V}^* \quad (4.16)$$

$$S_t(V) = [C_t \cdot V] \cdot I_t^* = [C_t \cdot V] \cdot Y_t^* \cdot V^* \quad (4.17)$$

Οι κομβικές εγχύσεις μεταξύ ζυγών, αντιστοιχίζονται έτσι με τις ροές από τα φορτία και τις γεννήτριες, ώστε να σχηματιστούν οι AC εξισώσεις του ισοζυγίου ισχύος, εκφραζόμενες σαν συνάρτηση των σύνθετων τάσεων ζυγών και των εγχύσεων γεννητριών σε μορφή σύνθετων πινάκων ως εξής:

$$g_s(V, S_g) = S_{bus}(V) + S_d - C_g \cdot S_g \quad (4.18)$$

4.3 ΡΟΗ ΙΣΧΥΟΣ

Στο εργαλείο MATPOWER η επίλυση της ροής φορτίου στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, εκτελείται μέσω της εντολής *runpf*, στην οποία δίνεται σαν παράμετρος ένα αρχείο τύπου case struct ή case file name. Αυτό το αρχείο (casedata) αποθηκεύεται μέσω της εντολής *loadcase* σε μία μεταβλητή mpc, μέσα στην οποία βρίσκονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για το συγκεκριμένο αρχείο δικτύου διανομής. Εισάγοντας τη μεταβλητή mpc σαν παράμετρο στη συνάρτηση *runpf*, γίνεται η εκτέλεση της ροής ισχύος και προκειμένου να τυπωθούν τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε μία μεταβλητή result τύπου struct, η οποία είναι ένα υπερσύνολο της μεταβλητής mpc, καθώς περιέχει κάποια πρόσθετα πεδία και πρόσθετες στήλες σε κάποια από τα είδη υπάρχοντα πεδία, που βρίσκονται εντός της μεταβλητής mpc. Παρακάτω αναφέρεται η εντολή εκτέλεσης της ροής φορτίου:

```
>> results = runpf(casedata);
```

Επίσης η συγκεκριμένη συνάρτηση μπορεί να εκτελεστεί και με την εισαγωγή επιπρόσθετων παραμέτρων σαν είσοδο, όπως ένα πλήθος επιλογών (mpropt), καθώς και ένα αρχείο στο οποίο μπορεί να αποθηκευτεί το αποτέλεσμα της εκτέλεσης (fname) ή ακόμα και ένα αρχείο (solvecase), στο οποίο να αποθηκεύονται εκεί τα δεδομένα της εκτέλεσης της ροής φορτίου.

```
>> results = runpf(casedata, mpropt, fname, solvedcase);
```

Για να εξάγουμε τις πληροφορίες οι οποίες είναι σημαντικές για την επιτυχή εκτέλεση της ροής φορτίου αλλά και σημαντικών μεγεθών που αφορούν το δίκτυο από τη μεταβλητή result χρησιμοποιούμε την παρακάτω μεθοδολογία, στην οποία αναφέρεται αναλυτικά για κάθε εντολή η πληροφορία η οποία εξάγεται.

- results.success : Σήμα επιτυχίας εκτέλεσης ροής ισχύος, 1 = επιτυχία, 0 = αποτυχία
- results.et : Ο χρόνος που απαιτείται για τον υπολογισμό της λύσης
- results.iterations : Ο αριθμός των επαναλήψεων για την έκβαση του αποτελέσματος
- results.order : Πληροφορίες για την ext2int με λεπτομέρειες για το συγκεκριμένο πεδίο
- results.bus(:, VM)[†] : Πληροφορίες για το μέτρο των τάσεων των ζυγών σε ανά μονάδα τιμές.
- results.bus(:, VA) : Πληροφορίες για τις γωνίες των τάσεων των ζυγών σε ακτίνια.
- results.gen(:, PG) : Ενεργός ισχύς γεννητριών.
- results.gen(:, QG)[†] : Άεργος ισχύς γεννητριών.
- results.branch(:, PF) : Έγχυση ενεργού ισχύος από το τέλος του κλάδου.
- results.branch(:, PT) : Έγχυση ενεργού ισχύος στο τέλος του κλάδου.
- results.branch(:, QF)[†] : Έγχυση αέργου ισχύος από το τέλος του κλάδου.
- results.branch(:, QT)[†] : Έγχυση αέργου ισχύος στο τέλος του κλάδου. [6]

Σαν προεπιλογή η συνάρτηση *runpf* λύνει ένα AC πρόβλημα ροής ισχύος, χρησιμοποιώντας την πρότυπη μέθοδο Newton. Αν θέλουμε να αναλύσουμε ένα DC πρόβλημα θα πρέπει να αλλάξουμε το model σε DC από AC. Επίσης η *runpf* κάνει ορισμένες μετατροπές στα δεδομένα του προβλήματος πριν γίνει η κλήση της κατάλληλης ρουτίνας επίλυσης για τον επιλεγμένο αλγόριθμο ροής ισχύος. Αυτή η εξωτερική, σε εσωτερική μορφή μετατροπής στα δεδομένα, γίνεται μέσω της συνάρτησης ext2int και συμπεριλαμβάνει την εξάλειψη του εξοπλισμού, που βρίσκεται εκτός λειτουργίας και τη διαδοχική επαναρίθμηση των ζυγών. Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν χρησιμοποιώντας την εσωτερική ευρετηρίαση. Όταν ολοκληρωθεί η προσομοίωση μετατρέπονται στην εξωτερική μορφή μέσω της συνάρτησης int2ext, πριν εκτυπωθούν και επιστραφούν τα αποτελέσματα από την εκτέλεση της ροής φορτίου.

4.4 ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΡΧΕΙΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα εισόδου του Matpower καθορίζονται από πίνακες δεδομένων, δομημένα στη matlab και συμβολίζονται με τη μεταβλητή mpc. Η δομή αυτή ορίζεται τυπικά σε ένα case αρχείο ή μια συνάρτηση σε m αρχείο, που η επιστρεφόμενη τιμή είναι η δομή mpc ή ένα αρχείο MAT που ορίζει τη μεταβλητή mpc σε ισχύ. Τα πεδία αυτής της δομής είναι τα baseMVA, bus, branch, gen και προαιρετικά gencost. Το baseMVA είναι βαθμωτό μέγεθος και αφορά τη βάση ισχύος που έχει το δίκτυο, ενώ τα υπόλοιπα είναι πίνακες. Κάθε γραμμή των πινάκων αντιστοιχεί σε

ένα ζυγό, ένα κλάδο ή μια γεννήτρια αντίστοιχα, ενώ κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε στοιχεία σύμφωνα με τις προδιαγραφές του IEEE και των Power Technologies International (PTI) προτύπων όπως απεικονίζεται παρακάτω.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΖΥΓΩΝ (mpc.bus) [6]

ΟΝΟΜΑ	ΣΤΗΛΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
BUS I	1	bus number (positive integer)
BUS TYPE	2	bus type (1 = PQ, 2 = PV, 3 = ref, 4 = isolated)
PD	3	real power demand (MW)
QD	4	reactive power demand (MVA _r)
GS	5	shunt conductance (MW demanded at V = 1.0 p.u.)
BS	6	shunt susceptance (MVA _r injected at V = 1.0 p.u.)
BUS_ AREA	7	area number (positive integer)
VM	8	voltage magnitude (p.u.)
VA	9	voltage angle (degrees)
BASE KV	10	base voltage (kV)
ZONE	11	loss zone (positive integer)
V MAX	12	maximum voltage magnitude (p.u.)
V MIN	13	minimum voltage magnitude (p.u.)
LAM_P	14	Lagrange multiplier on real power mismatch (u/MW)
LAM_Q	15	Lagrange multiplier on reactive power mismatch (u/MVA _r)
MU_VMAX	16	Kuhn-Tucker multiplier on upper voltage limit (u/p.u.)
MU_VMIN	17	Kuhn-Tucker multiplier on lower voltage limit (u/p.u.)

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (mpc.gen) [6]

ΟΝΟΜΑ	ΣΤΗΛΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
GEN BUS	1	bus number
PG	2	real power output (MW)
QG	3	reactive power output (MVar)
QMAX	4	maximum reactive power output (MVar)
QMIN	5	minimum reactive power output (MVar)
VG ₊	6	voltage magnitude setpoint (p.u.)
MBASE	7	total MVA base of machine, defaults to baseMVA
GEN STATUS	8	machine status, > 0 = machine in-service ≤ 0 = machine out-of-service
PMAX	9	maximum real power output (MW)
PMIN	10	minimum real power output (MW)
PC1*	11	lower real power output of PQ capability curve (MW)
PC2*	12	upper real power output of PQ capability curve (MW)
QC1MIN*	13	minimum reactive power output at PC1 (MVar)
QC1MAX*	14	maximum reactive power output at PC1 (MVar)
QC2MIN*	15	minimum reactive power output at PC2 (MVar)
QC2MAX*	16	maximum reactive power output at PC2 (MVar)

RAMP AGC*	17	ramp rate for load following/AGC (MW/min)
RAMP 10*	18	ramp rate for 10 minute reserves (MW)
RAMP 30*	19	ramp rate for 30 minute reserves (MW)
RAMP Q *	20	ramp rate for reactive power (2 sec timescale) (MVar/min)
APF*	21	area participation factor
MU PMAX†	22	Kuhn-Tucker multiplier on upper Pg limit (u/MW)
MU PMIN	23	Kuhn-Tucker multiplier on lower Pg limit (u/MW)
MU QMAX†	24	Kuhn-Tucker multiplier on upper Qg limit (u/MVar)
MU QMIN†	25	Kuhn-Tucker multiplier on lower Qg limit (u/MVar)

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΛΑΔΩΝ (mpc.branch) [6]

ΟΝΟΜΑ	ΣΤΗΛΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
F BUS	1	“from” bus number
T BUS	2	“to” bus number
BR R	3	resistance (p.u.)
BR X	4	reactance (p.u.)
BR B	5	total line charging susceptance (p.u.)
RATE A *	6	MVA rating A (long term rating), set to 0 for unlimited
RATE B *	7	MVA rating B (short term rating), set to 0 for unlimited
RATE C *	8	MVA rating C (emergency rating), set to 0 for unlimited
TAP	9	transformer off nominal turns ratio, if non-zero (taps at “from” bus, impedance at “to” bus, i.e. if $r = x = b = 0$, $\text{tap} = V_f / V_t $; tap = 0 used to indicate transmission line rather than transformer, i.e.

		mathematically equivalent to transformer with tap = 1)
SHIFT	10	transformer phase shift angle (degrees), positive \Rightarrow delay
BR STATUS	11	initial branch status, 1 = in-service, 0 = out-of-service
ANGMIN [†]	12	minimum angle difference, $\theta_f - \theta_t$ (degrees)
ANGMAX [†]	13	maximum angle difference, $\theta_f - \theta_t$ (degrees)
PF [‡]	14	real power injected at “from” bus end (MW)
QF [‡]	15	reactive power injected at “from” bus end (MVar)
PT [‡]	16	real power injected at “to” bus end (MW)
QT [‡]	17	reactive power injected at “to” bus end (MVar)
MU SF	18	Kuhn-Tucker multiplier on MVA limit at “from” bus (u/MVA)
MU ST [§]	19	Kuhn-Tucker multiplier on MVA limit at “to” bus (u/MVA)
MU ANGMIN [§]	20	Kuhn-Tucker multiplier lower angle difference limit (u/degree)
MU ANGMAX [§]	21	Kuhn-Tucker multiplier upper angle difference limit (u/degree)

Για την δημιουργία του παρόντος κεφαλαίου υπήρξε, σε μεγάλο βαθμό αναφορά, στο εργαλείο MATPOWER [6].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΡΟΗ ΦΟΡΤΙΟΥ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάλυση ροών φορτίου (ή ροής ισχύος) έχει ως αντικείμενο τον υπολογισμό μεγεθών όπως η τάση κατά μέτρο και γωνιά των ζυγών του συστήματος καθώς και των ροών ενεργού και αέργου ισχύος σε όλες τις γραμμές ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας για ένα δεδομένο σημείο λειτουργίας, το οποίο ορίζεται από τις καταναλώσεις των φορτίων, την παραγωγή ενεργού ισχύος και τις τάσεις των γεννητριών. Μέσω αυτής της ανάλυσης μπορεί στο σύστημα να υπάρξει καλύτερος έλεγχος σε σημαντικά μεγέθη του συστήματος, όπως στις τάσεις αλλά και στις ροές ισχύος, ώστε να διατηρούνται εντός καθορισμένων ορίων λειτουργίας. Ιδιαίτερα ο έλεγχος ροών ισχύος έχει σημαντικό ρόλο στη μη υπέρβαση των θερμικών ορίων των γραμμών. Επίσης αυτή η ανάλυση συνεισφέρει στη μελέτη για την ανάπτυξη και την επέκταση του συστήματος παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και στις επιπτώσεις που μπορούν να προκληθούν σε αυτό από ενδεχόμενες διαταραχές. Τέλος απαραίτητη είναι η χρήση της ανάλυσης ροής φορτίου για την επιλογή της βέλτιστης οικονομικής λειτουργίας των γεννητριών του συστήματος. Όπως γνωρίζουμε το συνολικό φορτίο ζήτησης εντός του εικοσιτετράωρου μεταβάλλεται διαρκώς με αποτέλεσμα να απαιτείται συχνά ο εκ νέου υπολογισμός της παραγόμενης ισχύος κάθε γεννήτριας, ώστε τα φορτία να τροφοδοτούνται με τον πιο οικονομικό τρόπο.

5.2 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

Η ανάλυση ροής φορτίου βασίζεται σε μονοφασικά ισοδύναμα κυκλώματα, οι παράμετροι των οποίων εκφράζονται σε κοινό ανά μονάδα σύστημα, δηλαδή σε κοινή βάση ισχύος S_B και βασικές τάσεις V_B σύμφωνα με τους λόγους των μετασχηματιστών. Ένας ζυγός k μπορεί να είναι στη γενική περίπτωση συνδεδεμένος με γεννήτρια η οποία μπορεί να αναπαρασταθεί σαν πηγή ενεργού και αέργου ισχύος

$$S_{G_k} = P_{G_k} + jQ_{G_k} \quad (5.1)$$

Όπου S_{G_k} είναι η μιγαδική παραγόμενη ισχύς, P_{G_k} η παραγόμενη ενεργός ισχύς και Q_{G_k} η παραγόμενη άεργος ισχύς της γεννήτριας.

Επίσης στον ίδιο ζυγό μπορεί να υπάρχει και φορτίο σταθερής ισχύος του οποίου η μιγαδική ισχύς εκφράζεται ως :

$$S_{Dk} = P_{Dk} + jQ_{Dk} \quad (5.2)$$

Όπου P_{Dk} η ενεργός ισχύς και Q_{Dk} η άεργος ισχύς, που απορροφά το φορτίο που συνδέεται στον ζυγό k. Τέλος ο συγκεκριμένος ζυγός μπορεί να συνδέεται μέσω γραμμών μεταφοράς με άλλους ζυγούς. Έστω ότι στην προκειμένη περίπτωση συνδέεται με έναν ο οποίος ονομάζεται m. Μία γραμμή μεταφοράς στην ανάλυση ροής φορτίου αναπαρίσταται με βάσει το Π ισοδύναμο κύκλωμα στην οποία υπάρχει η αγωγιμότητα σειράς της γραμμής k-m (y_{km}) και οι εγκάρσιες αγωγιμότητες ως προς γη y_{skm} και y_{smk} .

Έστω τώρα, ότι έχουμε ένα σύστημα το οποίο περιέχει n πλήθος ζυγών και ο ζυγός k συνδέεται με κάποιους ζυγούς του συστήματος, για να μπορέσουμε να βρούμε το I_k , που είναι η καθαρή έγχυση ρεύματος στο ζυγό k, θα πρέπει να υπολογίσουμε το παρακάτω άθροισμα :

$$I_k = \sum_{m=1}^n y_{km} V_m \quad (5.3)$$

Όπου m παίρνει τιμές από 1 μέχρι τον συνολικό αριθμό των ζυγών $m=1,2,...,n$, y_{km} είναι η αγωγιμότητα της εκάστοτε γραμμής ξεχωριστή για κάθε τιμή του m, κάθε τέτοιο στοιχείο στον πίνακα αγωγιμοτήτων αποτελεί μη διαγώνιο στοιχείο και V_m είναι η τάση του εκάστοτε ζυγού. Εάν δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ κάποιων ζυγών τότε η τιμή της αγωγιμότητας για τους συγκεκριμένους ζυγούς θα είναι μηδενική. Οι μεταβλητές οι οποίες αναπαριστούν διανυσματικά μεγέθη είναι σε γραφή Bold καθ' όλη την διάρκεια του κεφαλαίου.

Στην ανάλυση ροής φορτίου οι μεταβλητές που μας ενδιαφέρουν ιδιαίτερα, είναι οι μιγαδικές ισχύεις παραγωγής και φορτίου σε κάθε ζυγό μέσω των οποίων μπορεί να βρεθεί, η καθαρή έγχυση μιγαδικής ισχύος σε ένα συγκεκριμένο ζυγό. Ακολουθώντας τα παραπάνω θα θεωρήσουμε πως αυτός ο ζυγός είναι ο k. Έτσι λοιπόν η παραγόμενη ισχύς στο ζυγό k εκφράζεται από τον τύπο:

$$S_{Gk} = V_k I_{Gk} \quad (5.4)$$

και η ισχύς φορτίου στον ζυγό k από τον τύπο:

$$S_{Dk} = V_k I_{Dk} \quad (5.5)$$

Η διαφορά αυτών των δυο εξισώσεων μας δίνει την μιγαδική εξίσωση ροής φορτίου του ζυγού k, η οποία εκφράζει την καθαρή έγχυση μιγαδικής ισχύος στον συγκεκριμένο ζυγό και είναι ίση με :

$$S_k = S_{Gk} - S_{Dk} \quad (5.6)$$

Αλλά επειδή οι παραπάνω εξισώσεις βρίσκονται σε μιγαδική μορφή και επειδή η δική μας ανάλυση ροής φορτίου θα γίνει σε πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή, είναι προτιμότερη η χρήση

των πραγματικών εξισώσεων ροής φορτίου, οι οποίες αναλύονται παρακάτω :

Για την ενεργό ροή ισχύος έχουμε:

$$P_k = P_{Gk} - P_{Dk} = V_k^2 G_{kk} - V_k \sum_{m \in A} V_m \alpha_{km} \quad (5.7)$$

Όπου:

$$\alpha_{km} = -G_{km} \cos(\delta_k - \delta_m) - B_{km} \sin(\delta_k - \delta_m) \quad (5.8)$$

Ενώ για την άεργο ισχύ οι αντίστοιχες εξισώσεις είναι :

$$Q_k = Q_{Gk} - Q_{Dk} = V_k^2 B_{kk} - V_k \sum_{m \in A} V_m \beta_{km} \quad (5.9)$$

Όπου :

$$\beta_{km} = -G_{km} \sin(\delta_k - \delta_m) + B_{km} \cos(\delta_k - \delta_m) \quad (5.10)$$

Το σύνολο A είναι το σύνολο που περιέχει τους δείκτες των ζυγών, οι οποίοι συνδέονται με το ζυγό k , οι μεταβλητές G_{km} και B_{km} είναι οι συνιστώσες της περιγραφής της αγωγιμότητας σε καρτεσιανή μορφή, οι οποίες συντάσσουν τα μη διαγώνια στοιχεία του πίνακα αγωγιμοτήτων ενώ ο συνδυασμός των στοιχείων σε καρτεσιανή μορφή G_{kk} και B_{kk} παράγει τα διαγώνια στοιχεία του πίνακα. Ο πίνακας αγωγιμοτήτων είναι ένας πίνακας τετραγωνικός, με διάσταση όσο ο αριθμός των ζυγών του συστήματος που εξετάζουμε στην προκειμένη περίπτωση n . Για ένα σύστημα n ζυγών υπάρχουν n εξισώσεις ενεργού και n εξισώσεις άεργου ισχύος αντίστοιχα.

5.3 ΤΥΠΟΙ ΖΥΓΩΝ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

Οι ζυγοί ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- **Ζυγός ταλάντωσης ή ζυγός αναφοράς :** Είναι ο ζυγός παραγωγής στον οποίο η ενεργός και η άεργος ισχύς που παράγεται, δίνεται στο σύστημα και στον οποίο, το μέτρο της τάσης και η φασική γωνία είναι γνωστά. Επίσης προσδιορίζονται η ενεργός και η άεργος ισχύς παραγωγής του. Συνήθως η φασική γωνία της τάσης δ ορίζεται μηδέν μοίρες ($\delta=0^\circ$).
- **Ζυγός φορτίου ή Ζυγός PQ :** Ζυγός φορτίου είναι οποιοσδήποτε ζυγός για τον οποίο είναι γνωστή η έγχυση πραγματικής και άεργου ισχύος. Ακόμα και κάποιος ζυγός ο οποίος είναι απλά συνδεδεμένος στο σύστημα, αλλά δεν έχει πάνω του εγκατεστημένο φορτίο ή γεννήτρια, θεωρείται ζυγός PQ, με μηδενική ενεργό και άεργο ισχύ.
- **Ζυγός παραγωγής ή ζυγός PV :** Ζυγός παραγωγής είναι οποιοσδήποτε ζυγός για τον οποίο είναι γνωστό το μέτρο της τάσης, αλλά και η παραγωγή ενεργού ισχύος (P) του ζυγού. Ο ζυγός αυτός πρέπει να έχει τη δυνατότητα παραγωγής και άεργου ισχύος.

5.4 ΔΙΑΝΥΣΜΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ NEWTON RAPHSON

Όπως είπαμε προηγουμένως οι τύποι ζυγών είναι τρεις, θα θεωρήσουμε στο σύστημα των n ζυγών ότι ο πρώτος είναι ο ζυγός ταλάντωσης, οι υπόλοιποι μέχρι τον ζυγό $n-m$ είναι ζυγοί PV και οι υπόλοιποι μέχρι τον n είναι ζυγοί PQ. Άρα όπως γίνεται αντιληπτό οι ζυγοί φορτίου είναι m . Το πρόβλημα της ανάλυσης ροής φορτίου είναι να βρούμε τις τάσεις και τις φασικές γωνίες σε όλους τους ζυγούς του συστήματος. Έτσι λοιπόν στην προκειμένη περίπτωση θα πρέπει να υπολογιστούν μόνο τα μέτρα των τάσεων στους ζυγούς φορτίου, (καθώς τα μέτρα των τάσεων στους PV ζυγούς, αλλά και στο ζυγό ταλάντωσης είναι γνωστά) και η φασική γωνία σε όλους τους ζυγούς, πλην του ζυγού ταλάντωσης, που είναι γνωστή. Οι μεταβλητές των τάσεων και των φασικών τους γωνιών αποτελούν το διάνυσμα κατάστασης x . Το διάνυσμα κατάστασης έχει διάσταση $n-1+m$ και απαιτούνται $n-1+m$ ανεξάρτητες εξισώσεις. Αυτές οι εξισώσεις διαχωρίζονται σε :

- $n-1$ εξισώσεις πραγματικής ροής ισχύος για κάθε ζυγό, αφού για όλους αυτούς τους ζυγούς πλην του ζυγού ταλάντωσης γνωρίζουμε το μετρό της ενεργού ισχύος, οι εξισώσεις είναι της μορφής :

$$b_p = f_p(x) \quad (5.11)$$

Όπου b_p, f_p είναι διανύσματα διάστασης $n-1$, με ο στοιχείο που αντιστοιχεί στο ζυγό k να ορίζεται ως εξής :

$$b_{pk} = P_{Gk} - P_{Dk} \quad (5.12)$$

$$f_{pk} = V_k^2 G_{kk} - V_k \sum_{m \in A} V_m \alpha_{km} \quad (5.13)$$

Όπως είπαμε το διάνυσμα κατάστασης περιέχει μέσα τις τάσεις και τις φασικές γωνίες για κάθε ζυγό, έτσι λοιπόν βάζοντας σαν παράμετρο το ζυγό k , με το διάνυσμα αυτό υπολογίζουμε την έγχυση ισχύος στο ζυγό k . [1]

- m είναι οι εξισώσεις της αέργου ισχύος, για ζυγό PQ. Οι εξισώσεις σε αυτή την περίπτωση έχουν τη μορφή :

$$b_Q = f_Q(x) \quad (5.14)$$

Όπου b_Q, f_Q είναι διανυσμάτα διάστασης m , με ο στοιχείο που αντιστοιχεί στο ζυγό k να ορίζεται ως εξής :

$$b_{Qk} = P_{Gk} - P_{Dk} \quad (5.15)$$

$$f_{Qk} = -V_k^2 B_{kk} - V_k \sum_{m \in A} V_m \beta_{km} \quad (5.16)$$

ενώ τα α_{km} και β_{km} έχουν οριστεί πιο πάνω, για αυτό το λόγο δεν γίνεται περαιτέρω αναφορά σε αυτά.[1]

Οι παραπάνω εξισώσεις που αναφέρονται στην πραγματική ροή ισχύος και οι εξισώσεις αέργου ισχύος του δικτύου μαζί συνιστούν τις $n-l+m$ πραγματικές εξισώσεις, που συμβάλλουν στην επίλυση του προβλήματος ροών φορτίου και μπορούν να γραφούν και σε μορφή πινάκων η οποία φαίνεται παρακάτω :

Η βασική εξίσωση του προβλήματός της ροής φορτίου όπως προαναφέραμε είναι :

$$\mathbf{b} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) \quad (5.17)$$

Όπου το διάνυσμα \mathbf{b} , είναι η σύνθεση των διανυσμάτων που περιέχει την καθαρή έγχυση της ενεργού ισχύος που έχουν οι ζυγοί, πλην του ζυγού ταλάντωσης και την καθαρή έγχυση της αέργου ισχύος η οποία υπάρχει στους ζυγούς φορτίου (εξίσωση 5.18). Ενώ η δεξιά πλευρά της εξίσωσης (5.17) περιέχει τη συνάρτηση με το διάνυσμα κατάσταση \mathbf{x} (εξίσωση 5.20), το οποίο περιέχει το σύνολο των μεταβλητών οι οποίες είναι προς επίλυση.

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_p \\ \mathbf{b}_q \end{bmatrix} \quad (5.18) \quad , \quad \mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \mathbf{f}_p \\ \mathbf{f}_q \end{bmatrix} \quad (5.19)$$

και

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \delta \\ \mathbf{V} \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

με τα διανύσματα δ και \mathbf{V} να περιέχουν τα στοιχεία

$$\boldsymbol{\delta} = [\delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n]^T \quad (5.21)$$

$$\mathbf{V} = [V_{n-m+1}, \dots, V_n]^T \quad (5.22)$$

Αυτή η μορφή των εξισώσεων χρησιμοποιείται στη μέθοδο Newton-Raphson, που θα αναλύσουμε παρακάτω και η οποία χρησιμοποιείται στην ανάλυση ροής φορτίου λόγω της ταχείας σύγκλισής της.

Στη μέθοδο Newton-Raphson γίνεται η επίλυση ενός συστήματος N μη γραμμικών εξισώσεων, με N αγνώστους όπου $N = n-l+m$. Ουσιαστικά πρόκειται για σύστημα το οποίο περιγράψαμε προηγουμένως στην εξίσωση 5.17 που υπολογίζει το άγνωστο διάνυσμα κατάστασης \mathbf{x} , στο οποίο υπάρχουν οι φασικές γωνίες και οι τάσεις για κάθε ζυγό. Για την επίλυση του συγκεκριμένου συστήματος χρησιμοποιούμε μία αρχική εκτίμηση για το διάνυσμα κατάστασης, αλλά και τη χρήση μερικών παραγώγων προκειμένου να παράγουμε τη λύση του συστήματος. Το σύστημα αυτών των εξισώσεων μπορεί να γραφεί αναλυτικά ως εξής:

$$\begin{aligned}
f_1(x_1, x_2, \dots, x_N) &= b_1 \\
f_2(x_1, x_2, \dots, x_N) &= b_2 \\
&\vdots \\
&\vdots \\
&\vdots
\end{aligned}
\tag{5. 23}$$

$$f_N(x_1, x_2, \dots, x_N) = b_N$$

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια αρχική εκτίμηση $\mathbf{x}^{(0)}$ των N μεταβλητών του διανύσματος \mathbf{x} και ότι οι εκτιμήσεις αυτές δεν ικανοποιούν τις εξισώσεις που έχουμε παραπάνω. Συνεπώς αυτό το οποίο μας ζητείται είναι μια καλύτερη εκτίμηση των N μεταβλητών του διανύσματος κατάστασης. Η μέθοδος αυτή συνίσταται στη γραμμικοποίηση του συστήματος γύρω από το σημείο $\mathbf{x}^{(0)}$. Η γραμμικοποίηση αυτή γίνεται μέσω αναπτύγματος Taylor μιας συνάρτησης πολλών μεταβλητών, στο οποίο συμμετέχει μόνο ο όρος πρώτης τάξης του αναπτύγματος.[1]

$$\begin{aligned}
f_1(x_1, x_2, \dots, x_N) &\cong f_1(x_1^{(0)}, \dots, x_N^{(0)}) + \sum_{j=1}^N \frac{\partial f_1}{\partial x_j} [x_j - x_j^{(0)}] \\
&\vdots \\
&\vdots \\
&\vdots
\end{aligned}
\tag{5. 24}$$

$$f_N(x_1, x_2, \dots, x_N) \cong f_N(x_1^{(0)}, \dots, x_N^{(0)}) + \sum_{j=1}^N \frac{\partial f_N}{\partial x_j} [x_j - x_j^{(0)}]$$

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφτεί και σε μορφή πινάκων με την ακόλουθη μορφή :

$$\mathbf{b} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) \cong \mathbf{f}(\mathbf{x}^{(0)}) + \mathbf{J}(\mathbf{x}^{(0)})[\mathbf{x} - \mathbf{x}^{(0)}] \tag{5. 25}$$

Όπου,

$$\mathbf{J}(\mathbf{x}^{(0)}) = \left[\frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right] \tag{5. 26}$$

Ο πίνακας \mathbf{J} είναι ο Ιακωβιανός (Jacobian) της διανυσματικής συνάρτησης \mathbf{f} , υπολογισμένος στο σημείο $\mathbf{x}^{(0)}$. Αυτό που μας ενδιαφέρει να βρούμε είναι το διάνυσμα κατάστασης και προκειμένου να συμβεί αυτό, θα πρέπει να λύσουμε την παρακάτω εξίσωση ως προς \mathbf{x} . Έτσι λοιπόν η εξίσωση θα έχει τη μορφή :

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}^{(l)} + \mathbf{J}(\mathbf{x}^{(l)})^{-1} [\mathbf{b} - \mathbf{f}(\mathbf{x}^{(l)})] \tag{5. 27}$$

Αυτή η εξίσωση εκτελείται για κάθε επανάληψη μέχρι να βρεθεί η καλύτερη δυνατή εκτίμηση για το διάνυσμα κατάστασης \mathbf{x} , η παράμετρος l , που συμβολίζει τον αριθμό των επαναλήψεων, παίρνει τιμές από 0 μέχρι τον τελικό αριθμό επαναλήψεων.

5.5 OPTIMAL POWER FLOW

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρούνται αλλαγές στη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως έχουμε πει υπάρχουν διάφορες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όμως ένα μεγάλο ζήτημα είναι η ηλεκτρική ενέργεια, να διανέμεται με βέλτιστο τρόπο, γιατί αν δεν συμβαίνει αυτό, το σύστημα δεν δουλεύει με οικονομικό τρόπο και παράλληλα χάνει την αποδοτικότητά του. Η λειτουργία της βέλτιστης ροής φορτίου είναι ένα πρόβλημα ελέγχου, που μπορεί να εξασφαλίσει την ορθή λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, ουσιαστικά αυτό το οποίο κάνει είναι, μέσω μεταβλητών ελέγχου, να ελαχιστοποιεί το κόστος λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ή τις απώλειες μεταφοράς της ενέργειας στο δίκτυο.

Στο πρόβλημα της βέλτιστης λειτουργίας υπολογίζονται όλες οι τάσεις στους ζυγούς του συστήματος που έχουμε φορτία, αλλά και οι ισχύεις εισόδου μαζί με τις αντίστοιχες τάσεις στους ζυγούς παραγωγής. Η επίλυση αυτού του προβλήματος στην αρχή ήταν αρκετά δύσκολη, αφού δεν υπήρχαν αλγόριθμοι για να το επιλύσουν. Με την πάροδο των χρόνων όμως αναπτυχθήκαν κάποιες μέθοδοι, οι οποίες κατάφεραν να λύσουν αυτό το πρόβλημα και αναφέρονται παρακάτω:

- **Μέθοδος Newton-Raphson :** Η μέθοδος αυτή έχει αναλυθεί πλήρως στην ενότητα 5.4 και έχει ως πλεονέκτημα ότι είναι απλή και έχει ταχεία σύγκλιση.
- **Μέθοδος κλίσης:** Αυτές οι μέθοδοι είναι πολύ αργές στην απόκρισή τους και είναι δύσκολο να επιλυθούν αν υπάρχουν ανισοτικοί περιορισμοί. Σε αυτή χρησιμοποιείται μια συνάρτηση LaGrange. Συγκεκριμένα στη μέθοδο μειούμενης κλίσης ξεκινάμε από ένα σημείο πάνω στην καμπύλη και προχωράμε με καθοδική πορεία σε ένα κατώτατο σημείο που έχουμε ορίσει, μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη λύση, η οποία αν πληροί κάποιους περιορισμούς, τότε επιλύει το πρόβλημα μας.
- **Μέθοδος γραμμικού προγραμματισμού :** Η μέθοδος γραμμικού προγραμματισμού (Linear Programming), είναι μια μέθοδος για την επίτευξη του βέλτιστου αποτελέσματος, στη προκειμένη περίπτωση στη ροή φορτίου. Στη μέθοδο αυτή η βελτιστοποίηση γίνεται σε μια γραμμική συνάρτηση δεδομένων, η οποία έχει γραμμικούς περιορισμούς ισότητων ή ανισοτήτων. Πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η γραμμικοποίηση έχει πολύ μικρό χρόνο επίλυσης και αξιοπιστία.
- **Μέθοδος εσωτερικού σημείου :** Η μέθοδος εσωτερικού σημείου είναι μια πλήρως ανεπτυγμένη μέθοδος, με μεγάλη εφαρμογή στα προβλήματα επίλυσης ροής ισχύος στη μόνη κατάσταση λειτουργίας του συστήματος και δεν παρουσιάζει προβλήματα με τους

περιορισμούς ανισοτήτων.

Υπάρχουν βέβαια και άλλες μέθοδοι με τις οποίες γίνεται η επίλυση της ροής φορτίου, όπως ο μη γραμμικός προγραμματισμός, η μέθοδος εξελικτικού προγραμματισμού και οι γενετικοί αλγόριθμοι. Σε όλες αυτές τις μεθόδους προκειμένου να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση της ανάλυσης ροής φορτίου, χρησιμοποιείται μια αντικειμενική συνάρτηση, η οποία είναι προς ελαχιστοποίηση και ελαχιστοποιεί δύο παράγοντες. Στην πρώτη περίπτωση μπορεί να ελαχιστοποιεί το κόστος παραγωγής του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο στα αγγλικά ονομάζεται Economic Dispatch. Στη δεύτερη περίπτωση μπορεί να ελαχιστοποιεί τις ενεργές απώλειες στο δίκτυο μεταφοράς, αλλά και τους ζυγούς του δικτύου λαμβάνοντας υπόψη τις ενεργούς ισχύεις των ζυγών. Παρακάτω θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά σε αυτούς τους δύο τύπους αντικειμενικών συναρτήσεων :

- **Ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής :** Σε αυτές τις αντικειμενικές συναρτήσεις γίνεται η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής των γεννητριών. Οι καμπύλες οι οποίες εκφράζουν το κόστος παραγωγής των γεννητριών είναι κοίλες, με αποτέλεσμα να είναι αρκετά δύσκολη η βελτιστοποίησή τους, για αυτό το λόγο γίνονται τμηματικά τετραγωνικές, που αντιστοιχούν στις τμηματικά γραμμικές καμπύλες οριακού κόστους. Ουσιαστικά αυτό που γίνεται είναι ο έλεγχος των εξόδων των γεννητριών σε MW και τάση. Σε αυτή τη διαδικασία παίζουν σημαντικό ρόλο και οι περιορισμοί των άνω και κάτω ορίων των γεννητριών καθώς δεν πρέπει οι τιμές της παραγόμενης ισχύος να υπερβαίνουν ή να βρίσκονται κάτω από αυτά τα όρια.
- **Ελαχιστοποίηση των ενεργών απωλειών του συστήματος :** Οι ενεργές απώλειες μεταφοράς σχετίζονται με :
 - A) την άθροιση των απωλειών γραμμής των γραμμών μεταφοράς (ωμικά τμήματα των γραμμών μεταφοράς) και
 - B) την άθροιση των ενεργών ισχύων των κόμβων, οι οποίες αναφέρονται σε φορτία τα οποία είναι τοποθετημένα σε κόμβους στο δίκτυο.

Για να βρεθούν οι συνολικές ενεργές απώλειες του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, προστίθεται το άθροισμα των απωλειών όλων των γραμμών και των μετασχηματιστών στην περιοχή του δικτύου, με το άθροισμα της ενεργού ισχύος των ζυγών. Μέσω της εκτέλεσης αντικειμενικής συνάρτησης γίνεται η ελαχιστοποίηση των απωλειών και επιτυγχάνεται η βέλτιστη ροή φορτίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία υλοποιήθηκαν τέσσερις σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, προκειμένου να υπάρχει μια ποικιλομορφία, καθώς οι σταθμοί φόρτισης οι οποίοι επρόκειτο να δημιουργηθούν ή αυτοί οι οποίοι έχουν δημιουργηθεί ήδη, έχουν διαφορετικό μέγεθος μεταξύ τους και υπάρχει και διαφορετικό πλήθος οχημάτων, το οποίο εισέρχεται σε αυτούς. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, κάθε σταθμός φόρτισης, απαρτίζεται από πενήντα σημεία φόρτισης και αυτό το οποίο διαφοροποιείται είναι ο αριθμός των οχημάτων. Κάθε σταθμός κατά την εισαγωγή κάποιου οχήματος καταγράφει απαραίτητα στοιχεία, που χαρακτηρίζουν το όχημα, όπως την ισχύ του και την ενέργεια, που υπάρχει μέσα στην μπαταρία του, καθώς και την εξέλιξη της φόρτισης της μπαταρίας του ανά λεπτό. Πέρα από τα στοιχεία του οχήματος που αποθηκεύει, καταγράφει και την ωριαία ισχύ που καταναλώνει ο σταθμός και τη συνολική ωριαία ενέργεια που καταναλώνει, καθώς και ποια σημεία φόρτισης εντός του σταθμού είναι κατειλημμένα. Στη συγκεκριμένη προσομοίωση όλοι οι σταθμοί λειτουργούν σαν φορτία αλλά και ως γεννήτριες, με την ιδιαιτερότητα ότι έχουν αρνητική ισχύ και δημιουργούν αντίστροφη ροή ισχύος για κάποιες ώρες της ημέρας, όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Η εισαγωγή και η εξαγωγή των οχημάτων γίνεται μέσω κατάλληλων δομών αφίξεων - αναχωρήσεων, οι οποίες έχουν επιλεγεί ανάλογα με τον τύπο του σταθμού φόρτισης, αλλά και με το κριτήριο του πλήθους των οχημάτων που έχει συνολικά ο σταθμός. Μέσω αυτών των δομών, υπολογίζονται η ισχύς ανά λεπτό που καταναλώνει κάθε όχημα, καθώς και η ενέργεια που βρίσκεται στη μπαταρία του (φόρτιση ανά λεπτό) και αυτά τα μεγέθη μας οδηγούν, στη δημιουργία των διαγραμμάτων ενέργειας και ισχύος από τα οποία προκύπτουν συμπεράσματα για την ορθή λειτουργία των σταθμών, πράγματα τα οποία θα επεξηγηθούν εκτενώς στα επόμενα υποκεφάλαια.

6.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Σε κάθε σταθμό φόρτισης όπως προαναφέραμε εισάγονται οχήματα, κάθε όχημα όμως έχει διαφορετική ισχύ, αλλά και διαφορετική χωρητικότητα μπαταρίας στον πραγματικό κόσμο. Για αυτόν το λόγο, δημιουργήθηκαν τρεις διαφορετικοί τύποι ηλεκτρικών οχημάτων, οι οποίοι διαχωρίστηκαν βάσει της μέγιστης ισχύος, αλλά και βάσει του μέγιστου ορίου φόρτισης που μπορεί

να έχει η μπαταρία τους. Οι τιμές οι οποίες επιλέχθηκαν έγιναν βάση ρεαλιστικών δεδομένων κατόπιν έρευνας στο διαδίκτυο. Έτσι για τον πρώτο τύπο οχήματος (Α) σαν ανώτατο όριο ισχύος επιλέχθηκε η τιμή των 5 KW και σαν μέγιστο όριο φόρτισης οι 25 KWh. Για το δεύτερο τύπο οχήματος (Β) το ανώτερο όριο ισχύος της μπαταρίας είναι 7 KW και το αντίστοιχο μέγιστο όριο φόρτισης είναι 40 KWh. Και τέλος για τον τύπο (Γ) η μέγιστη ισχύς της μπαταρίας του είναι τα 7,5 KW και το μέγιστο όριο φόρτισης της μπαταρίας οι 45 KWh. Αυτές οι τιμές εισάγονται σε συγκεκριμένα διανύσματα, το ένα αναφέρεται στις μέγιστες ισχύεις και το άλλο στα μέγιστα όρια φόρτισης, από τα οποία σε κάθε εκτέλεση του αλγορίθμου επιλέγεται τυχαία ο τύπος του οχήματος και παράλληλα παίρνει αυτά τα όρια του συγκεκριμένου τύπου που επιλέχθηκε, για να ξεκινήσει η διαδικασία της φόρτισης του οχήματος. Το κατώτερο όριο ενέργειας SoC_{min} σε (kWh) για κάθε όχημα ορίζεται ως το 30% του μεγίστου ορίου φόρτισης, που μπορεί να έχει ο συγκεκριμένος τύπος οχήματος και ο τύπος από τον οποίο υπολογίζεται αυτή η ελάχιστη τιμή για κάθε όχημα, αναφέρεται παρακάτω και είναι η εξής:

$$SoC_{min} = 0.3 \times SoC_{max} \quad (6.1)$$

Κατά την εισαγωγή ενός οχήματος στο σταθμό φόρτισης, το όχημα δεν είναι αφόρτιστο εντελώς, μέσα στη μπαταρία του υπάρχει ένα ποσό ενέργειας SoC_0 σε (kWh). Αυτή η τιμή της ενέργειας που βρίσκεται μέσα στην μπαταρία του ηλεκτρικού οχήματος, είναι πάνω από το κατώτατο όριο ενέργειας, που αναφέρθηκε παραπάνω και κυμαίνεται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μεταξύ του 40% και 65% του μεγίστου ορίου φόρτισης, που έχει το κάθε όχημα. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήσαμε δύο μεταβλητές την k_1 και την k_2 αντίστοιχα, όπου $k_1=0.4$ και $k_2=0.65$.

$$k_1 \times SoC_{max} \leq SoC_0 \leq k_2 \times SoC_{max} \quad (6.2)$$

Επίσης, δεν απαιτούμε το όχημα κατά την παρουσία του στο σταθμό φόρτισης να φορτίζει πλήρως, κατά σύμβαση το όχημα φορτίζει μέχρι το 90% του μεγίστου ορίου φόρτισης το οποίο αποτελεί το SoC_{Target} (kWh), που έχει κάθε όχημα, το οποίο προκύπτει από τον τύπο:

$$SoC_{Target} = 0.9 \times SoC_{max_{car}} \quad (6.3)$$

Βάσει αυτών των τιμών και του χρονικού διαστήματος σε ώρες που φορτίζει το όχημα, προκύπτουν, η ισχύς που τραβάει το όχημα από το δίκτυο το λεπτό, αλλά και το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του ανά λεπτό. Το χρονικό διάστημα το οποίο φορτίζει ένα όχημα καθορίζεται από τις δομές αφίξεων και αναχωρήσεων οι οποίες ορίζονται στον εκάστοτε σταθμό φόρτισης. Σε

κάθε σταθμό φόρτισης τη χρονική στιγμή μηδέν εισάγεται ένα πλήθος οχημάτων, το οποίο διαφέρει από σταθμό σε σταθμό ανάλογα με τη χρήση που έχει. Η ώρα εισαγωγής των οχημάτων προκύπτει από την δομή αφίξεων *ingoingcars*, η οποία είναι ένα διάνυσμα μεγέθους εικοσιτεσσάρων κελιών, όπου κάθε κελί αναφέρεται στο πλήθος των οχημάτων που μπαίνουν στο σταθμό τη συγκεκριμένη ώρα. Επίσης κάθε σταθμός εξ' αρχής περιέχει οχήματα, το πλήθος των οχημάτων το οποίο υπάρχει καθορίζεται ανάλογα με τον τύπο που έχει κάθε σταθμός φόρτισης. Η ώρα εξαγωγής των οχημάτων γίνεται βάσει της δομής αναχωρήσεων *outgoingcars*, που έχει δημιουργηθεί, η οποία είναι και αυτή ένα διάνυσμα εικοσιτεσσάρων κελιών και απεικονίζει το πλήθος των οχημάτων, που εξάγονται κάθε ώρα στο εικοσιτετράωρο. Στον αλγόριθμο συγκεκριμένα έχουμε δημιουργήσει μια κατανομή για την ώρα που εξάγονται τα οχήματα, η λογική σε αυτό είναι ότι βλέποντας τον αριθμό των οχημάτων, που εξάγονται κάθε ώρα από το διάνυσμα *outgoingcars*, μπορούμε να αποθηκεύουμε την ώρα εξόδου σε ένα πίνακα, ο οποίος θα αναπαριστά την κατανομή μας, δηλαδή αν έχουμε την έβδομη πρωινή ώρα την έξοδο δύο οχημάτων, τότε στον πίνακα της κατανομής εξόδου των οχημάτων θα δημιουργηθούν δύο κελιά με περιεχόμενο τον αριθμό επτά. Έχοντας δημιουργήσει αυτή την κατανομή πλήρως, μπορεί να ακολουθήσει η διαδικασία της φόρτισης του εκάστοτε οχήματος.

Οι σταθμοί φόρτισης πρέπει όλες αυτές τις πληροφορίες που προαναφέραμε, να τις αποθηκεύουν σε ένα σύστημα, προκειμένου να υπάρχει μια πλήρης εικόνα για κάθε όχημα, το οποίο εισάγεται εντός του σταθμού, αλλά και τις γενικές πληροφορίες για τον ίδιο το σταθμό. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία μίας δομής *struct*. Η δομή αυτή περιέχει τον τύπο του οχήματος, την ώρα εισαγωγής και την ώρα εξαγωγής του οχήματος, τη μέγιστη ισχύ της μπαταρίας του οχήματος, την αρχική ενέργεια που έχει κατά την εισαγωγή του το όχημα εντός του σταθμού, το στόχο της φόρτισης του οχήματος, το μέγιστο όριο φόρτισής του, καθώς και πληροφορίες, οι οποίες συνδέονται άμεσα με το σταθμό, όπως η ισχύς που τραβάει το όχημα κάθε λεπτό, πράγμα το οποίο μας οδηγεί στον υπολογισμό της μέσης ωριαίας ισχύος, που καταναλώνει ο σταθμός φόρτισης. Επίσης συμπεριλαμβάνει τη φόρτιση που έχει κάθε λεπτό το όχημα στη μπαταρία του, καθώς και πληροφορίες για το ποια σημεία φόρτισης του σταθμού είναι κατειλημμένα ή όχι κάθε ώρα. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε τη δυνατότητα με την εκτέλεση του προγράμματος να δούμε κάθε πληροφορία η οποία χρειάζεται. Σημαντικό παράγοντα στην εύρυθμη λειτουργία και στις σωστές πληροφορίες που περιέχει η συγκεκριμένη δομή είναι, το ότι ο αλγόριθμος έχει φροντίσει να μην υπάρχουν χρονικές επικαλύψεις σε κάθε σημείο φόρτισης εντός του σταθμού. Κάθε αμάξι το οποίο εισέρχεται σε κάποιο σημείο φόρτισης, εισέρχεται αφού έχει φορτίσει το προηγούμενο όχημα και το σημείο δεν είναι πλέον κατειλημμένο.

Όπως είπαμε προηγουμένως μέσα στη δομή αποθήκευσης πληροφοριών του σταθμού, συμπερι-

λαμβάνεται και το ποσό της ισχύος, που τραβάει το όχημα από το δίκτυο το λεπτό. Θα διαπιστώσουμε στη συνέχεια, πως οι τιμές αυτές για κάθε όχημα είναι καθοριστικές για τον υπολογισμό της συνολικής ωριαίας ισχύος, αλλά και της μέσης ωριαίας ισχύος. Ο υπολογισμός της ισχύος ανά λεπτό για κάθε τύπο οχήματος γίνεται εύκολα, από την στιγμή που γνωρίζουμε το στόχο φόρτισης που έχει το όχημα, το επίπεδο φόρτισης που έχει η μπαταρία του κατά την εισαγωγή του στο σταθμό και το χρονικό διάστημα σε ώρες που γίνεται η φόρτιση. Αυτοί οι παράγοντες είναι αυτοί που καθορίζουν την συγκεκριμένη ισχύ και η μορφή της εξίσωσης είναι η εξής :

$$P_t = \frac{SoC_{Target} - SoC_0}{(t_{exit} - t_{entr})} \quad (6.4)$$

Οπου SoC_{Target} ο στόχος φόρτισης που έχει το όχημα (που όπως έχουμε αναφέρει είναι το 90% του μέγιστου ορίου φόρτισης της μπαταρίας του οχήματος), SoC_0 η ενέργεια που έχει η μπαταρία τη στιγμή εισαγωγής στο σταθμό και t_{exit} , t_{entr} (h) είναι οι χρόνοι εξαγωγής και εισαγωγής του οχήματος αντίστοιχα. Είναι σημαντικό ο παρονομαστής να είναι σε ώρες, καθώς η ισχύς θέλουμε να έχει μέγεθος σε KW. Μια άλλη παράμετρος η οποία αποθηκεύεται και καθορίζεται άμεσα από την τιμή της ισχύος ανά λεπτό, που τραβάει κάθε όχημα ξεχωριστά, είναι το ποσό της ενέργειας που δίνεται στη μπαταρία του οχήματος το λεπτό. Η τιμή αυτή είναι σταθερή για κάθε όχημα ίδιου τύπου από τη στιγμή που η εξίσωση η οποία διέπει αυτή την τιμή έχει σταθερούς όρους. Η εξίσωση έχει τη μορφή :

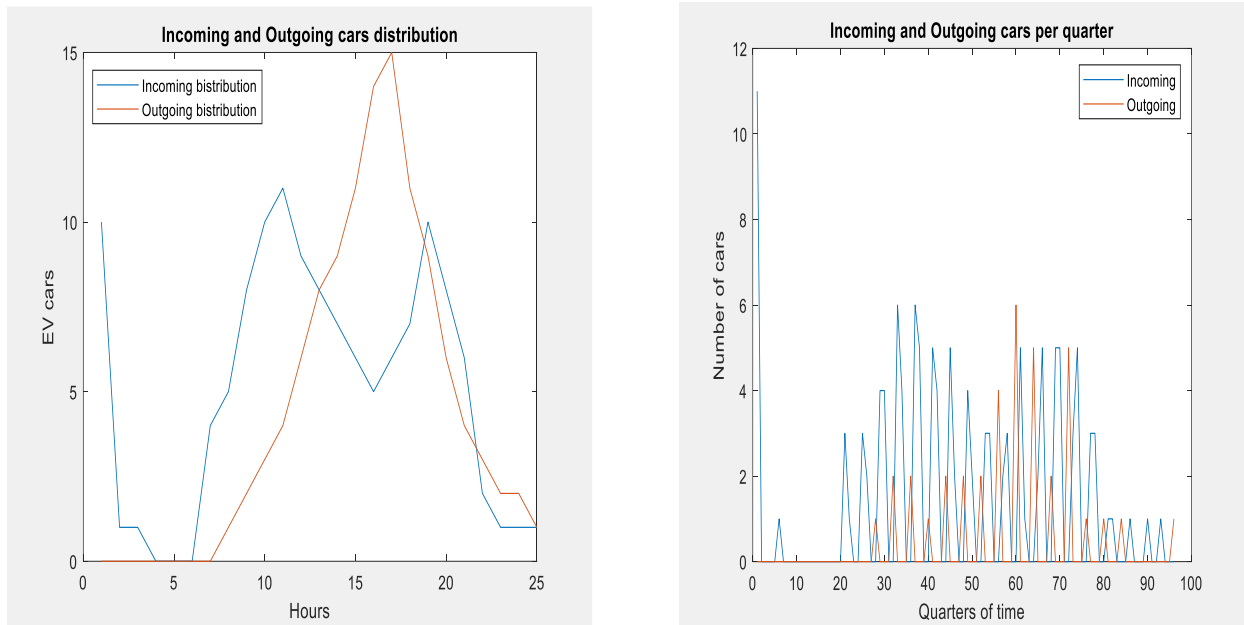
$$E_t = P_t \times nch \times dt \quad (6.5)$$

Όπου το P_t είναι η ισχύς σε (KW), που τραβάει το όχημα το λεπτό, το nch είναι ένας συντελεστής της τάξεως του 0.92 και το dt είναι ο χρόνος ο οποίος είναι το ένα εξηκοστό της ώρας. Το ποσό αυτό της ενέργειας που δίνεται στη μπαταρία του οχήματος το λεπτό, παίζει σημαντικό ρόλο στη φόρτιση του εκάστοτε οχήματος, καθώς επίσης συμβάλει άμεσα στον υπολογισμό της συνολικής ενέργειας του σταθμού ανά ώρα. Στην επόμενη παράγραφο θα αναφερθούμε εκτενώς για τα είδη ισχύος και ενέργειας τα οποία υπάρχουν στο σταθμό, καθώς και για τη γενικότερη συμπεριφορά του σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων.

Κάθε σταθμός φόρτισης όπως είπαμε στην αρχή είναι διαφορετικός από τον άλλο. Η διαφορά αυτή έγκειται στις δομές αφίξεων-αναχωρήσεων, που έχει ο κάθε σταθμός, στο πλήθος των οχημάτων των οποίων εξυπηρετεί, αλλά και ποιος είναι ο λόγος και το σημείο κατασκευής του. Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκαν τέσσερις σταθμοί φόρτισης, οι οποίοι λειτουργούν ακριβώς όπως

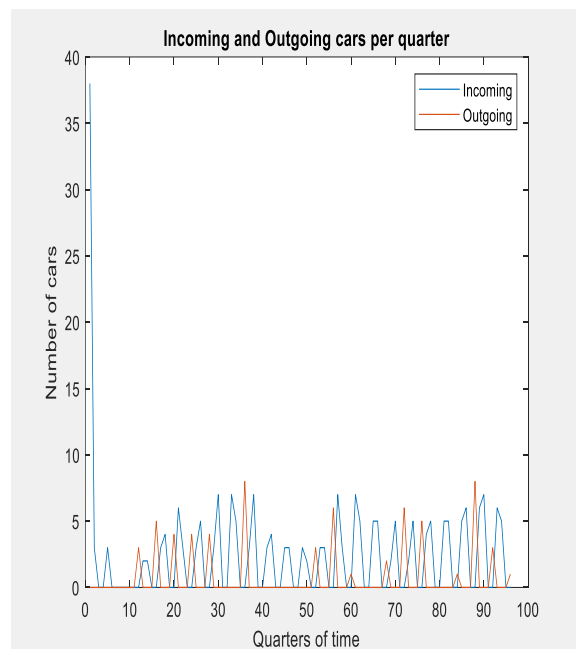
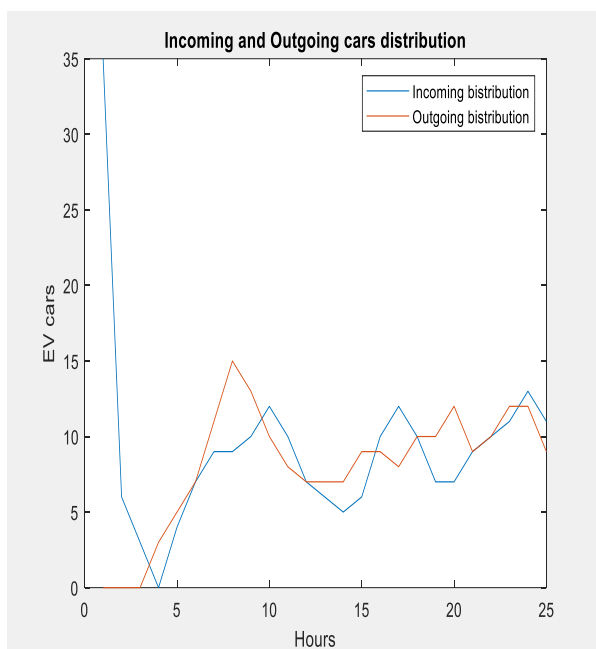
έχουμε αναφέρει παραπάνω και διέπονται ακριβώς από τους ίδιους κανόνες. Οι σταθμοί οι οποίοι δημιουργήθηκαν είναι ένας σταθμός φόρτισης σε κάποιο σημείο εντός του Εθνικού δικτύου μεσαίου μεγέθους, ένας σταθμός φόρτισης ταξί, ένας σταθμός σε μία μικρή γειτονιά μιας πόλης και ένας σταθμός σε μια μεγαλύτερη γειτονιά μιας πόλης. Για κάθε έναν ξεχωριστά θα αναφέρουμε τα χαρακτηριστικά του, που τον διαφοροποιούν από τους υπόλοιπους.

Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε κάποιο σημείο στο Εθνικό δίκτυο: Αρχικά στο σταθμό φόρτισης είναι δέκα οχήματα, τα οποία βρίσκονται εντός του σταθμού και εισάγονται την χρονική στιγμή, $t = 0$. Στο συγκεκριμένο σταθμό φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων οι δομές αφίξεων (incomingcars) έχουν το εξής χαρακτηριστικό, οι περισσότερες εισαγωγές παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας και συγκεκριμένα από την έκτη πρωινή μέχρι το μεσημέρι και είναι λιγότερες κυρίως τις βραδινές ώρες και τις ώρες μετά τα μεσάνυχτα. Όπως βλέπουμε ο συγκεκριμένος σταθμός είναι λογικό να έχει περισσότερα εισερχόμενα οχήματα κατά τη διάρκεια της ημέρας, αφού η κινητικότητα των πολιτών είναι πιο αισθητή εκείνες τις ώρες στο οδικό δίκτυο. Το αντίστοιχο διάνυσμα εξαγωγών εμφανίζει και αυτό τις περισσότερες εξαγωγές οχημάτων τις μεσημβρινές ώρες, ενώ τις υπόλοιπες ώρες οι εξαγωγές είναι λιγότερες. Αυτό το οποίο παρατηρούμε στο συγκεκριμένο σταθμό, είναι ότι πρόκειται για ένα σταθμό γρήγορης φόρτισης, αφού οι περισσότερες εξαγωγές γίνονται λίγες ώρες μετά τη μεγάλη αύξηση των εισαγωγών. Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα της κατανομής των αφίξεων και των αναχωρήσεων που διέπει τη λειτουργία του συγκεκριμένου σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και στο αμέσως επόμενο διάγραμμα απεικονίζονται οι εισαγωγές και οι εξαγωγές των οχημάτων ανά τέταρτο της ημέρας.



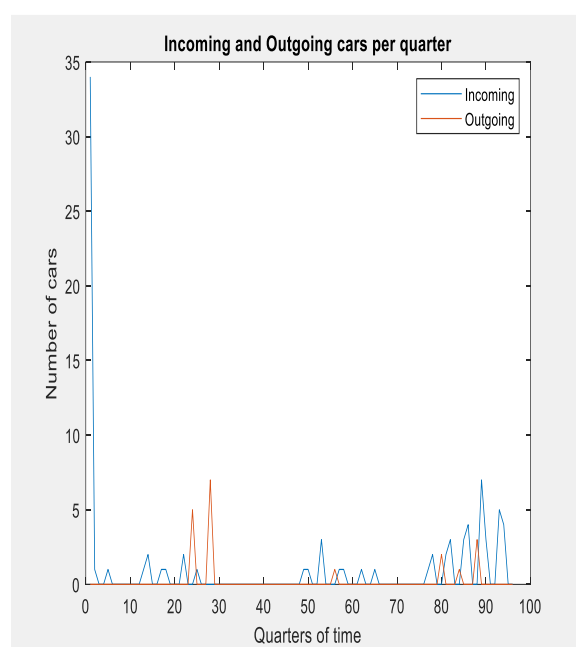
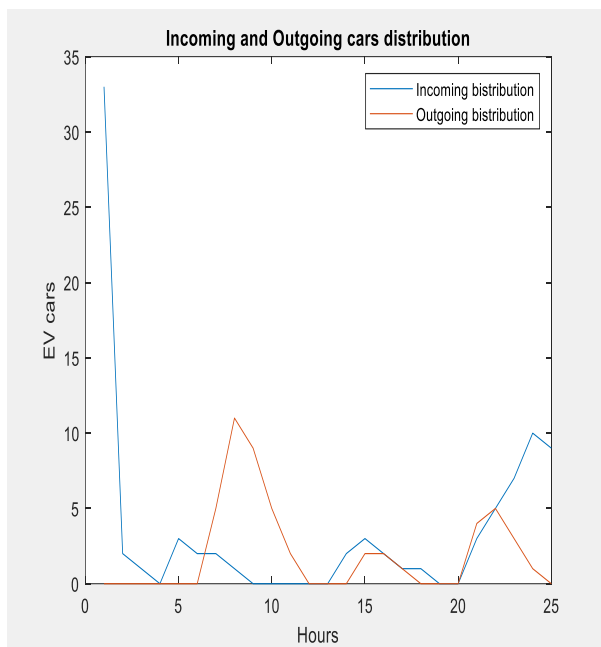
Εικόνα 6.1 και 6.2 : Γράφημα δομών αφίξεων αναχωρήσεων και εισαγωγών και εξαγωγών οχημάτων του σταθμού φόρτισης σε κάποιο σημείο στο Εθνικό δίκτυο.

Σταθμός φόρτισης Ταξί: Ο συγκεκριμένος σταθμός φόρτισης, είναι ο μεγαλύτερος σταθμός φόρτισης, ο οποίος έχει δημιουργηθεί στην παρούσα προσομοίωση. Ο συνολικός αριθμός οχημάτων που εισάγεται εντός μίας ημέρας ξεπερνά τα διακόσια. Τη χρονική στιγμή μηδέν, τα οχήματα τα οποία είναι στο σταθμό, είναι τριανταπέντε. Σε ότι αφορά τις δομές αφίξεων - αναχωρήσεων και στις δύο περιπτώσεις, έχουμε μεγάλο όγκο αφίξεων τις ώρες λίγο πριν το μεσημέρι και το βράδυ, καθώς πολλά οχήματα ταξί εισέρχονται προκειμένου να φορτίσουν για να συνεχιστεί η βάρδια τους. Ο μεγαλύτερος αριθμός εξαγωγών γίνεται τις πρωινές ώρες, αλλά και κατά τη διάρκεια της ημέρας και ιδιαίτερα τις απογευματινές ώρες. Τις υπόλοιπες ώρες το φαινόμενο των εξαγωγών είναι σε λογικά πλαίσια αλλά, όχι τόσο έντονο όσο στις άλλες ώρες, που προαναφέρθηκαν. Λόγω του μεγάλου πλήθους οχημάτων, μεγέθη όπως είναι η ισχύς και ενέργεια του σταθμού είναι πολύ μεγαλύτερα από τους υπόλοιπους σταθμούς. Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα της κατανομής των αφίξεων και των αναχωρήσεων, που διέπει τη λειτουργία του συγκεκριμένου σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και στο αμέσως επόμενο διάγραμμα απεικονίζονται οι εισαγωγές και οι εξαγωγές των οχημάτων ανά τέταρτο της ημέρας.



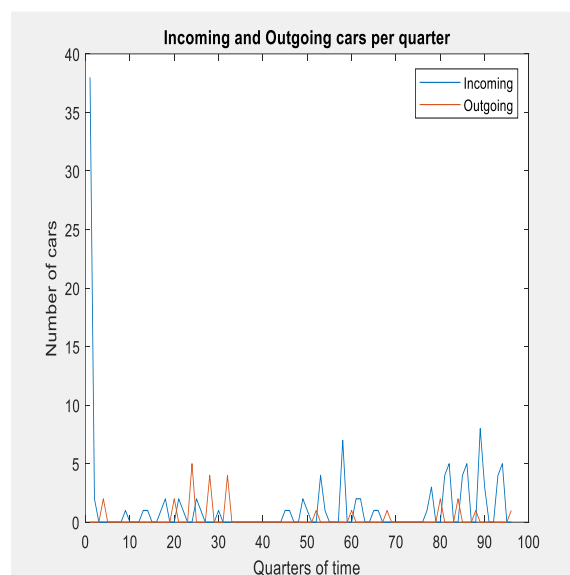
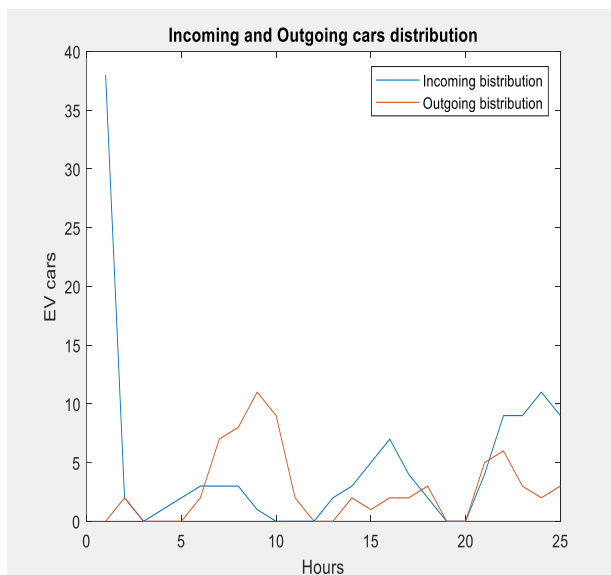
Εικόνα 6.3 και 6.4 : Γράφημα δομών αφίξεων αναχωρήσεων και εισαγωγών και εξαγωγών οχημάτων του σταθμού φόρτισης ταξί.

Σταθμός φόρτισης σε μια μικρή γειτονιά μιας πόλης: Ο συγκεκριμένος σταθμός φόρτισης είναι ο μικρότερος, ο οποίος υπάρχει στην προσομοίωση μας και ο συνολικός αριθμός οχημάτων είναι ογδόντα επτά. Ο συγκεκριμένος σταθμός φόρτισης ακολουθεί τη λογική της καθημερινότητας των πολιτών. Το πρωί ο αριθμός των εξαγωγών είναι μεγάλος ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής, από την έκτη πρωινή ώρα μέχρι και την ενδεκάτη πρωινή ώρα, που ο κόσμος πηγαίνει στις δουλειές του. Κάποιες εξαγωγές γίνονται σε μικρό αριθμό και το μεσημέρι, σε σύγκριση με το βράδυ όπου ο αριθμός των εξαγωγών είναι πολύ μικρότερος. Σε αντίθεση με τις εξαγωγές η πλειοψηφία των εισαγωγών γίνεται τις βραδινές ώρες, καθώς επιστρέφει ο κόσμος από τις υποχρεώσεις του και φορτίζει το όχημα του. Κατά τη διάρκεια της ημέρας οι εισαγωγές είναι λίγες, όπως τις απογευματινές ώρες και μετά τα μεσάνυχτα είναι και μηδενικές. Ο αριθμός οχημάτων που εισάγεται τη χρονική στιγμή μηδέν στο σταθμό, είναι της τάξεως των τριάντα τριών οχημάτων, ουσιαστικά αυτά τα οχήματα θα βγουν τις πρωινές ώρες. Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα της κατανομής των αφίξεων και των αναχωρήσεων που διέπει τη λειτουργία του συγκεκριμένου σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και στο αμέσως επόμενο διάγραμμα απεικονίζονται οι εισαγωγές και οι εξαγωγές των οχημάτων ανά τέταρτα της ημέρας.



Εικόνα 6.5 και 6.6 : Γράφημα δομών αφίξεων αναχωρήσεων και εισαγωγών και εξαγωγών οχημάτων του σταθμού φόρτισης σε μικρή γειτονία μίας πόλης.

Σταθμός φόρτισης σε μια μεγαλύτερη γειτονιά μίας πόλης: Ο σταθμός αυτός έχει ακριβώς την ίδια λογική με τον σταθμό φόρτισης σε μια μικρή γειτονία μιας πόλης. Ακολουθεί το ίδιο μοντέλο στις εισαγωγές και στις εξαγωγές των οχημάτων, απλά ο αριθμός τους είναι μεγαλύτερος κάποιες ώρες, όπως οι απογευματινές. Ο σταθμός τη χρονική στιγμή μηδέν έχει τριάντα οκτώ οχήματα των οποίων η πλειοψηφία εξάγεται τις πρώτες πρωινές ώρες. Παρακάτω απεικονίζεται το διάγραμμα της κατανομής των αφίξεων και των αναχωρήσεων που διέπει τη λειτουργία του συγκεκριμένου σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και στο αμέσως επόμενο διάγραμμα απεικονίζονται οι εισαγωγές και οι εξαγωγές των οχημάτων ανά τέταρτο της ημέρας.



Εικόνα 6.7 και 6.8 : Γράφημα δομών αφίξεων αναχωρήσεων και εισαγωγών και εξαγωγών οχημάτων του σταθμού φόρτισης σε μία μεγαλύτερη γειτονία μία πόλης.

6.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η εισαγωγή και η εξαγωγή των οχημάτων από το σταθμό φόρτισης επηρεάζει μεγέθη, όπως είναι η ισχύς και η ενέργεια του σταθμού φόρτισης. Μεγέθη τα οποία είναι καθοριστικά για να δούμε αν ο σταθμός λειτουργεί σωστά. Η έννοια της σωστής λειτουργίας ενός σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, έγκειται στην τήρηση των ορίων ισχύος και ενέργειας, τα οποία έχουν καθοριστεί από το πλήθος των οχημάτων, που βρίσκονται εντός του σταθμού σε κάθε ώρα λειτουργίας του. Μέσω αυτών των ορίων ισχύος και με τη μέση ωριαία ισχύ, που έχει ο σταθμός μπορεί να κατασκευαστεί το συνολικό διάγραμμα της ισχύος του σταθμού, από το οποίο μπορούμε να δούμε σε γραφική απεικόνιση, το πώς είναι η καμπύλη φορτίου του σταθμού που καταναλώνει από το δίκτυο, αλλά και το αν τηρεί τις προϋποθέσεις για την ορθή του λειτουργία. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και στο ενεργειακό κομμάτι του σταθμού μέσω του συνολικού ενεργειακού διαγράμματος, το οποίο περιλαμβάνει τα ενεργειακά όρια λειτουργίας του κάθε σταθμού, καθώς και τη μέση ωριαία συνολική ενέργεια η οποία καταναλώνεται. Παρακάτω θα αναλυθεί διεξοδικά ο ορισμός του κάθε μεγέθους που προαναφέρθηκε, προκειμένου να γίνει κατανοητή η σημασία του καθενός ξεχωριστά.

Ξεκινώντας με την ισχύ, όπως έχουμε προαναφέρει υπάρχουν τρεις συνιστώσες στο γενικό διάγραμμα που απεικονίζει την ισχύ του σταθμού, οι δύο από αυτές αποτελούν τα όρια ισχύος και η τρίτη είναι η μέση ωριαία ισχύς. Τα όρια διακρίνονται στην ελάχιστη ισχύ και στη μέγιστη ισχύ του σταθμού φόρτισης. Η ελάχιστη ισχύς του εκάστοτε σταθμού φόρτισης για κάθε ώρα, είναι ίση με το αρνητικό πρόσημο της μέγιστης ισχύος του σταθμού, καθώς ο σταθμός φόρτισης

μπορεί να τραβάει την ενέργεια, που βρίσκεται εντός των μπαταριών των οχημάτων σε περίπτωση που το δίκτυο βρίσκεται σε κατάσταση ανάγκης.

$$P_{min} = -P_{max} \quad (6.6)$$

Σε ότι αφορά την μέγιστη ωριαία ισχύ (P_{max}) σε (KW) που έχει ο κάθε σταθμός, ο υπολογισμός της προκύπτει από τον αριθμό των οχημάτων, που φορτίζουν εντός του σταθμού και συγκεκριμένα από την μέγιστη ισχύ της μπαταρίας των συγκεκριμένων οχημάτων σε κιλοβάτ. Όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενη παράγραφο υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι οχημάτων με διαφορετική ισχύ στη μπαταρία τους. Αν κάποια ώρα βρίσκονται δέκα οχήματα εντός του σταθμού, τότε η μέγιστη ισχύς, θα είναι το άθροισμα της μέγιστης ισχύος των μπαταριών των δέκα οχημάτων. Όμως το συγκεκριμένο μέγεθος δεν επηρεάζεται μόνο από το αριθμό των οχημάτων, που είναι εντός του σταθμού ή και των εισαγωγών που μπορεί να γίνουν κάποια συγκεκριμένη ώρα, αλλά και από τις εξαγωγές οχημάτων, καθώς όταν ένα όχημα εξέλθει του σταθμού αποσύρεται και η μπαταρία του, άρα και ισχύς της μπαταρίας του. Παρόμοια επιρροή ασκεί η εισαγωγή και η εξαγωγή οχημάτων στη μέση ωριαία ισχύ του σταθμού φόρτισης. Η συγκεκριμένη ποσότητα προκύπτει άμεσα από τον υπολογισμό της ισχύος που καταναλώνει κάθε όχημα το λεπτό. Για αυτό το μέγεθος έχει γίνει εκτενής αναφορά στην παράγραφο 6.2. Προφανώς η μέση ωριαία ισχύς εμπεριέχει μέσα της και την έννοια της ώρας, κατά συνέπεια τα πράγματα έχουν μια περαιτέρω πολυπλοκότητα. Όταν ένα αμάξι εισέρχεται εντός του σταθμού καταγράφεται το λεπτό εισαγωγής του, από εκεί βρίσκεται πολύ εύκολα η ώρα της ημέρας, στην οποία ανήκει αυτό το λεπτό εισαγωγής, μέσω του τύπου :

$$hour = floor\left(\frac{t_{entr}}{60}\right) + 1 \quad (6.7)$$

Με αυτόν τον τρόπο γνωρίζουμε από ποια ώρα και μετά κάθε όχημα επηρεάζει με τη συνεισφορά του την ισχύ και την ενέργεια του σταθμού. Όσο τα λεπτά της φόρτισης περνούν, η τιμή της ισχύος που καταναλώνει το όχημα ανά λεπτό αθροίζεται στη συνολική ωριαία ισχύ του σταθμού φόρτισης, τη συγκεκριμένη ώρα. Πιο συγκεκριμένα η ώρα στην οποία θα προσμετρηθεί η τιμή της ισχύος που καταναλώνει το όχημα το συγκεκριμένο λεπτό, γίνεται με γνώμονα, σε ποια ώρα της ημέρας ανήκει αυτό το λεπτό. Αυτό επιτυγχάνεται με έναν έλεγχο για κάθε λεπτό φόρτισης κάθε οχήματος ξεχωριστά και αυτό μας βοηθάει στο σωστό υπολογισμό της συνολικής ωριαίας ισχύος του σταθμού για κάθε ώρα. Η συγκεκριμένη ποσότητα, δεν επηρεάζεται μόνο από το αριθμό των οχημάτων που είναι εντός του σταθμού ή και των εισαγωγών που μπορεί να γίνουν κάποια συγκεκριμένη ώρα, αλλά και από τις εξαγωγές οχημάτων, καθώς όταν ένα όχημα εξέλθει του σταθμού, αποσύρεται και η μπαταρία του, άρα και ισχύς της μπαταρίας του. Ότι ακριβώς συμβαίνει και στη μέγιστη ωριαία ισχύ του σταθμού. Στη συνέχεια έχοντας υπολογίσει τη συνολική ωριαία ισχύ του σταθμού, είναι πολύ εύκολο να υπολογίσουμε και τη μέση ωριαία ισχύ, η

οποία δεν είναι κάτι άλλο από τη διαίρεση της συνολικής ισχύος κάθε ώρας ξεχωριστά, με τον αριθμό εξήντα που αντικατοπτρίζει, τα εξήντα λεπτά της ώρας.

Σε ότι αφορά το ενεργειακό διάγραμμα του σταθμού οι συνιστώσες που το απαρτίζουν είναι η ελάχιστη και μέγιστη ωριαία συνολική ενέργεια του σταθμού, καθώς και η μέση ωριαία συνολική ενέργεια που καταναλώνεται εντός αυτού. Η λογική η οποία επικρατεί στον υπολογισμό αυτών των μεγεθών ωριαία, είναι παρόμοια με αυτή του υπολογισμού της ισχύος, αλλά υπάρχουν διαφορές, καθώς πρόκειται για διαφορετικά ποσοτικά μεγέθη.

Η ελάχιστη ενέργεια του σταθμού φόρτισης προκύπτει, από την άθροιση του ελαχίστου ορίου φόρτισης που έχει οριστεί για κάθε όχημα που βρίσκεται εντός του σταθμού, το οποίο στην περίπτωση μας είναι το 30% του μέγιστου επιπέδου φόρτισης του οχήματος. Ο υπολογισμός της συγκεκριμένης τιμής για κάθε ώρα γίνεται αθροίζοντας όλα τα *SoCmin* των οχημάτων που εισάγονται ή βρίσκονται ήδη εντός του σταθμού, καθώς το καθένα από αυτά επηρεάζει ανάλογα με την ώρα παραμονής του και τον τύπο του, την ελάχιστη τιμή ενέργειας του σταθμού. Όπως γίνεται αντιληπτό οι τιμές της ελάχιστης ενέργειας του σταθμού επηρεάζονται άμεσα από τις δομές αφίξεων αναχωρήσεων του σταθμού φόρτισης, καθώς εκείνες είναι οι υπεύθυνες για τον χρόνο παραμονής του κάθε οχήματος στο παρκινγκ. Η αρχική ποσότητα ενέργειας τη χρονική στιγμή μηδέν, δηλαδή τη στιγμή εκκίνησης της λειτουργίας του σταθμού $SoC(t_0)$ είναι το άθροισμα των SoC_0 των οχημάτων που εισάγονται τη χρονική στιγμή μηδέν. Έτσι ανάλογα με το πλήθος των οχημάτων που εισέρχονται και τον τύπο του κάθε οχήματος, διαμορφώνεται η τιμή της συνολικής ενέργειας του σταθμού κατά την εκκίνηση της λειτουργίας του.

Το μέγιστο όριο φόρτισης (*SoCmax*), που έχει ένα όχημα, διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του οχήματος και είναι υπεύθυνο για τον υπολογισμό της μέγιστης συνολικής ενέργειας του σταθμού φόρτισης. Ο υπολογισμός της μέγιστης συνολικής ενέργειας του σταθμού (*SoCmax*), προκύπτει από τον αριθμό των οχημάτων που φορτίζουν εντός του σταθμού σε ωριαία βάση και συγκεκριμένα από το μέγιστο όριο φόρτισης της μπαταρίας, των συγκεκριμένων οχημάτων σε κιλοβατώρες. Όπως είναι λογικό, το συγκεκριμένο μέγεθος δεν επηρεάζεται μόνο από το αριθμό των οχημάτων που είναι εντός του σταθμού ή και των εισαγωγών που μπορεί να γίνουν κάποια συγκεκριμένη ώρα, αλλά και από τις εξαγωγές οχημάτων, καθώς όταν ένα όχημα εξέλθει του σταθμού αποσύρεται και η μπαταρία του, άρα φεύγει από το σταθμό και το μέγιστο επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του και αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όταν εξέρχονται πολλά οχήματα, αυτή η καμπύλη της μέγιστης ωριαίας ισχύος να είναι φθίνουσα, ειδικά αν οι εισαγωγές δεν είναι αρκετές.

Σε ότι αφορά την μέση ωριαία ενέργεια του σταθμού φόρτισης, ο υπολογισμός της είναι παρεμ-

φερής με τον υπολογισμό της μέσης ωριαίας συνολικής ισχύος, απλά εδώ αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η ενέργεια. Το συγκεκριμένο μέγεθος προκύπτει από το ποσό της ενέργειας που δίνεται στη μπαταρία του οχήματος το λεπτό, το οποίο όπως είχαμε αναφέρει στην παράγραφο 6.2 συνδέεται άμεσα με την ισχύ, που καταναλώνει κάθε όχημα το λεπτό. Κάθε όχημα από την στιγμή που εισέρχεται στο σταθμό φορτίζει. Γνωρίζοντας ουσιαστικά το ρυθμό με τον οποίο φορτίζει το όχημα, μπορούμε να ξέρουμε κάθε λεπτό το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας του, ποσό το οποίο αποθηκεύεται σε ένα πίνακα αλλά και στο struct, δηλαδή τη δομή αποθήκευσης, που έχει δημιουργηθεί για το σταθμό. Μέσω του επιπέδου φόρτισης της μπαταρίας ανά λεπτό μπορεί να υπολογιστεί η συνολική ωριαία ενέργεια του σταθμού με γνώμονα, σε ποια ώρα της ημέρας αντιστοιχεί αυτό το λεπτό φόρτισης. Για την αποφυγή λαθών στο διάνυσμα της συνολικής ωριαίας ενέργειας του σταθμού, γίνεται ακριβώς η ίδια μεθοδολογία με τον υπολογισμό της συνολικής ωριαίας ισχύος, ώστε να γνωρίζουμε από ποια ώρα και μετά κάθε όχημα επηρεάζει με τη συνεισφορά του, την ενέργεια του σταθμού. Όπως και η συνολική ωριαία ισχύς έτσι και η συνολική ωριαία ενέργεια δεν επηρεάζεται μόνο από τις εισαγωγές των οχημάτων κάποια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας, αλλά και από τις εξαγωγές οχημάτων. Κατά την εξαγωγή των οχημάτων αυτό το οποίο συμβαίνει είναι ότι ακριβώς γίνεται και στη μέγιστη συνολική ενέργεια του σταθμού, όπου από τη στιγμή που το αμάξι εξέρχεται, εξέρχεται και η μπαταρία του, με αποτέλεσμα αυτό το κομμάτι της ενέργειας, να φεύγει από το σταθμό. Στη συνέχεια έχοντας υπολογίσει τη συνολική ωριαία ενέργεια του σταθμού είναι πολύ εύκολο να υπολογίσουμε και τη μέση ωριαία ενέργεια, η οποία δεν είναι κάτι άλλο από τη διαίρεση της συνολικής ενέργειας κάθε ώρας ξεχωριστά, με τον αριθμό εξήντα που αντικατοπτρίζει, τα εξήντα λεπτά της ώρας.

6.4 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

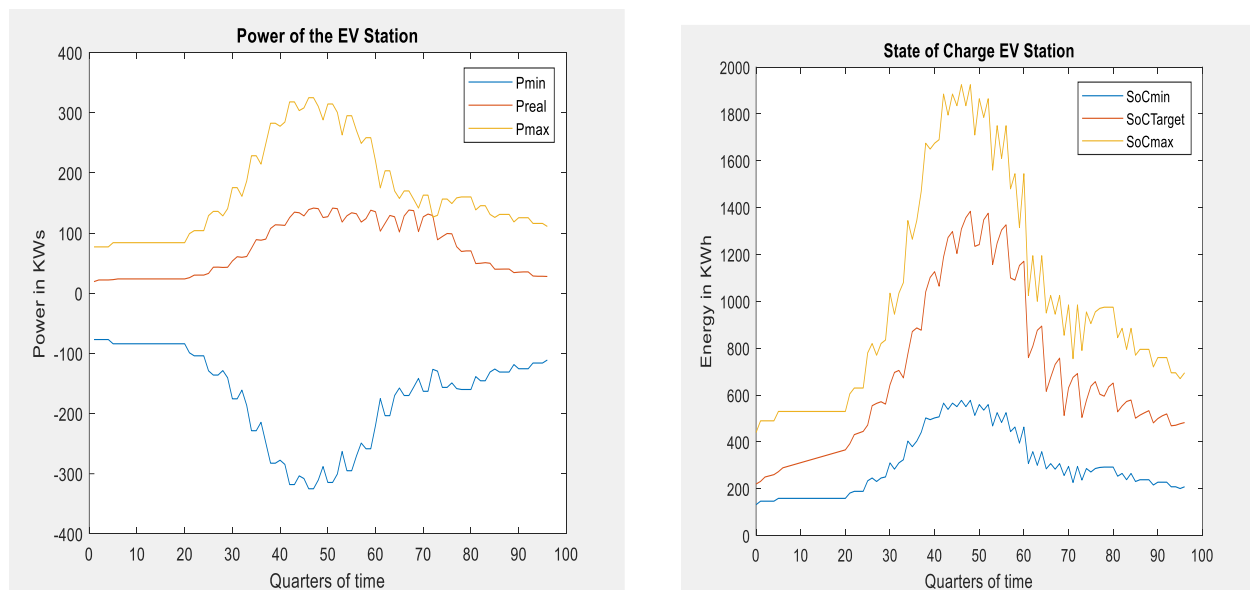
Όπως έχουμε αναφέρει και στην προηγούμενη παράγραφο τα διαγράμματα συνολικής ισχύος και ενέργειας, τα οποία παράγονται από την προσομοίωση της λειτουργίας κάθε σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων είναι αυτά τα οποία μας δείχνουν, αν ο σταθμός λειτουργεί εντός των προδιαγραφών που έχουν τεθεί. Ως προδιαγραφές για την ισχύ των σταθμών, ορίζονται, το γράφημα της ελάχιστης ωριαίας ισχύς και της μέγιστης ωριαίας ισχύς και για την ενέργεια του σταθμού η ελάχιστη και η μέγιστη ωριαία ενέργεια που καταναλώνει ο σταθμός. Αυτό το οποίο πρέπει να συμβαίνει είναι η γραφική παράσταση της μέσης ωριαίας ισχύος, αλλά και της μέσης ωριαίας ενέργειας, που υπάρχει στον σταθμό να είναι ανάμεσα στα διαγράμματα της μέγιστης και ελάχιστης ισχύος και ενέργειας αντίστοιχα. Σε περίπτωση που αυτές οι καμπύλες υπερβαίνουν αυτά τα όρια, τότε σημαίνει πως ο εκάστοτε σταθμός δεν λειτουργεί σωστά και ότι κάποιο σφάλμα έχει προκύψει. Το πλάτος που έχει κάθε καμπύλη, εξαρτάται από τον αριθμό των οχημάτων που εξυπηρετούνται από το σταθμό φόρτισης τη συγκεκριμένη ώρα. Τα μόνα από τα

γραφήματα τα οποία δεν έχουν την ίδια ακριβώς λογική είναι αυτό της ελάχιστης ισχύος, που έχει οριστεί να είναι η μέγιστη ισχύς με αρνητικό πρόσημο, αλλά και το γράφημα της ελάχιστης ενέργειας το οποίο έχει δημιουργηθεί από το ελάχιστο επίπεδο φόρτισης των οχημάτων που εισάγονται και παραμένουν στο σταθμό κάθε ώρα. Σε κάθε σταθμό η μορφή των διαγραμμάτων ενέργειας και ισχύος είναι διαφορετική. Αυτό συμβαίνει λόγω των δομών αφίξεων και αναχωρήσεων, που έχει ο κάθε σταθμός. Προκειμένου να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματά μας με την ίδια λογική που όλα τα αποτελέσματα υπολογίζονταν ωριαία, υπολογίστηκαν ανά τέταρτο. Πέραν του λόγου της καλύτερης ακρίβειας στους υπολογισμούς, αυτό γίνεται γιατί όλη η διαδικασία που ακολουθείται παρακάτω και στα επόμενα κεφάλαια βασίζεται σε τέταρτα της ημέρας και όχι ωριαία. Ουσιαστικά η λογική είναι παρόμοια, απλά σε αυτή την περίπτωση κοιτάμε κάθε λεπτό, σε ποιο τέταρτο της ημέρας ανήκει. Αναλυτικότερα βάσει του παρακάτω τύπου μπορούμε να κατανοήσουμε, σε ποιο τέταρτο της ημέρας ανήκει κάθε λεπτό κατά την προσομοίωσή μας και ανάλογα, όπως λειτουργήσαμε για τον υπολογισμό των ωριαίων τιμών, να λειτουργήσουμε και για τον υπολογισμό αυτών των τιμών ανά τέταρτα της ημέρας.

$$\text{quarter} = \text{floor}\left(\frac{t_{\text{entr}}}{15}\right) + 1 \quad (6.8)$$

Παρακάτω επισυνάπτονται τα διαγράμματα για κάθε σταθμό φόρτισης και οι επεξηγήσεις τους ανά τέταρτα της ημέρας.

Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε κάποιο σημείο στο Εθνικό δίκτυο:

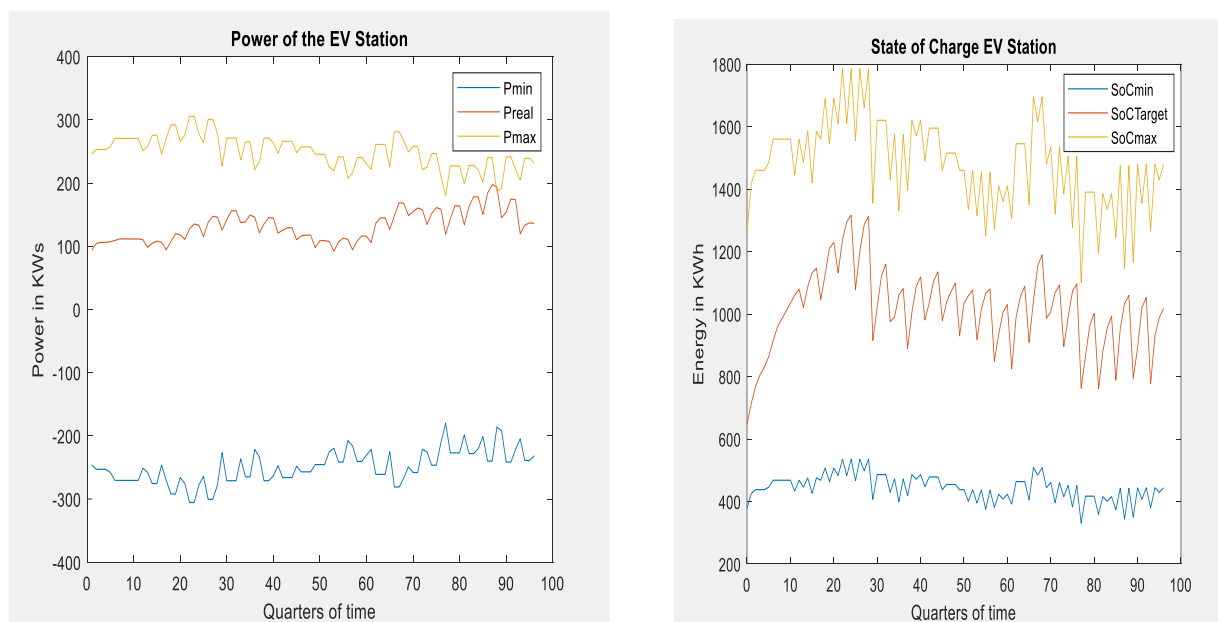


Εικόνα 6.9 και 6.10 : Γραφήματα ισχύος και ενέργειας αντίστοιχα του σταθμού φόρτισης σε κάποιο σημείο στο Εθνικό δίκτυο.

Το πρώτο διάγραμμα αναφέρεται στην ισχύ του σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με τη

μέθοδο της «χαζής» φόρτισης. Η μπλε καμπύλη αναπαριστά την ελάχιστη ωριαία ισχύ του σταθμού, η κόκκινη τη μέση ωριαία ισχύ και η κίτρινη τη μέγιστη ωριαία ισχύ αντίστοιχα. Το δεύτερο διάγραμμα αναφέρεται στην ενέργεια που υπάρχει στο σταθμό φόρτισης, οι χρωματικές ενδείξεις που αναπαριστούν τα γραφήματα, είναι ακριβώς ίδιες με αυτές του διαγράμματος της ισχύος, μόνο που αναφέρονται σε ενεργειακά μεγέθη, συγκεκριμένα η μπλε γραμμή αναφέρεται στην ελάχιστη ωριαία ενέργεια, η κόκκινη στη μέση ωριαία ενέργεια και η κίτρινη στη μέγιστη ωριαία ενέργεια του σταθμού. Όπως βλέπουμε και στα δύο διαγράμματα τηρούνται τα όρια ενέργειας και ισχύος του σταθμού. Επίσης παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα peak και στο διάγραμμα της μέσης ωριαίας ισχύος και της μέσης ωριαίας ενέργειας, πράγμα το οποίο συμβαίνει εξαιτίας του γεγονότος ότι εντός του σταθμού τις μεσημβρινές ώρες είναι πολλά τα οχήματα, αφού οι περισσότερες εισαγωγές οχημάτων παρατηρούνται πριν και μετά το μεσημέρι. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει στα αντίστοιχα διαγράμματα μέγιστης ισχύος και ενέργειας. Αντίθετα παρατηρούνται πιο χαμηλές τιμές ισχύος και ενέργειας τις πρώτες πρωινές ώρες αλλά και το βράδυ, οι οποίες οφείλονται στο μεγάλο αριθμό εξαγωγών που γίνονται. Τέλος παρατηρούμε πως και στα δύο διαγράμματα τα αρχικά και τελικά επίπεδα ισχύος και ενέργειας του σταθμού είναι σε ίδια κλίμακα.

Σταθμός φόρτισης Ταξί:

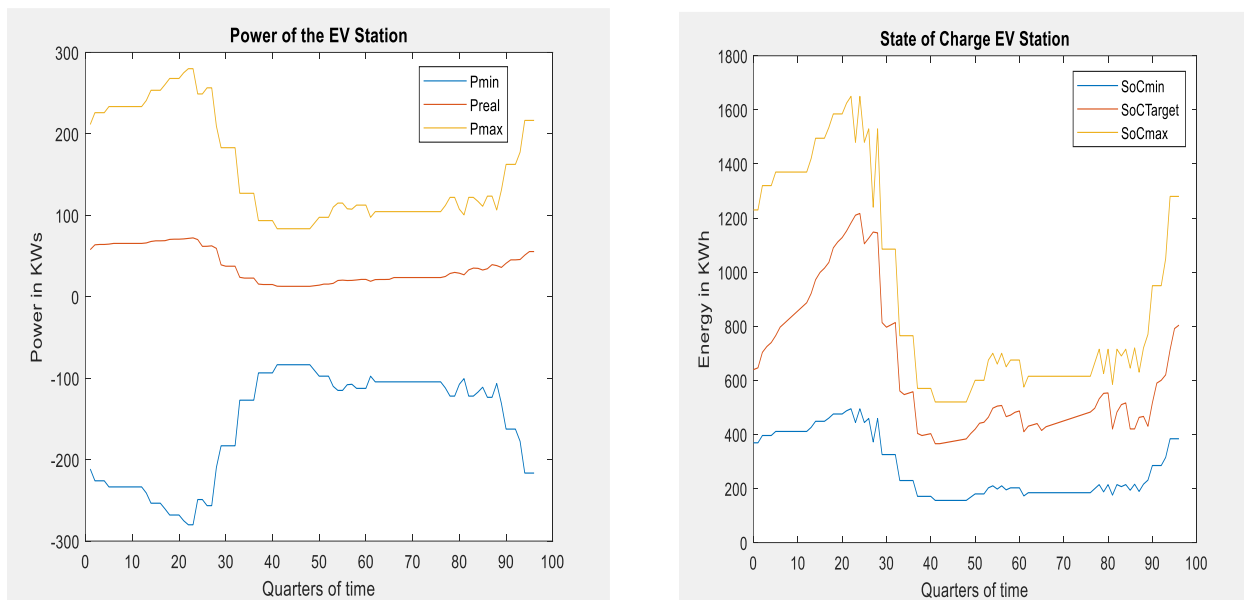


Εικόνα 6.11 και 6.12 : Γραφήματα ισχύος και ενέργειας αντίστοιχα του σταθμού φόρτισης ταξί.

Παραπάνω αναπαρίστανται τα διαγράμματα ισχύος και ενέργειας του σταθμού φόρτισης ταξί με

τη μέθοδο της «χαζής φόρτισης». Το πρώτο διάγραμμα από αριστερά αναφέρεται στην ισχύ του σταθμού και το δεύτερο στην ενέργεια του σταθμού. Οι χρωματικές ενδείξεις των καμπύλων είναι ίδιες με αυτές που έχουν προαναφερθεί στον πρώτο σταθμό φόρτισης και για κάθε σταθμό φόρτισης παραμένουν ίδιες. Στο συγκεκριμένο σταθμό φόρτισης παρατηρούμε, ότι τα μεγαλύτερα πλάτη υφίστανται τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες, πράγμα το οποίο απορρέει από τις δομές αφίξεων και αναχωρήσεων. Όπως και οι εισαγωγές έτσι και οι εξαγωγές οχημάτων επηρεάζουν αυτά τα διαγράμματα, οι εισαγωγές είναι πολλές τις πρωινές ώρες και συγκεκριμένα από την όγδοη πρωινή μέχρι και την ενδεκάτη πρωινή, αλλά γενικότερα στο συγκεκριμένο σταθμό καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας παραμένουν σε φυσιολογικά επίπεδα, με αρκετές από αυτές να γίνονται όταν νυχτώσει. Σε ότι αφορά τις εξαγωγές, οι περισσότερες από αυτές γίνονται κατά τις πρωινές ώρες, που αρχίζουν τα ταξί να βρίσκονται σε κυκλοφορία για να εκτελεστεί η πρωινή τους βάρδια και τις απογευματινές και βραδινές ώρες καθώς υπάρχουν οχήματα στο σταθμό τα οποία φόρτιζαν για να μπορούν να εκτελέσουν τη βραδινή τους βάρδια. Γενικότερα στο συγκεκριμένο σταθμό οι αφίξεις και οι αναχωρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας είναι αρκετές, αφού ο συγκεκριμένος σταθμός απαρτίζεται από οχήματα τα οποία λόγω της μεγάλης χρήσης που έχουν, είναι απαραίτητο να φορτίζουν με μεγάλη συχνότητα. Αυτό το οποίο παρατηρούμε βάσει των παραπάνω διαγραμμάτων είναι, ότι στο συγκεκριμένο σταθμό υπάρχουν δύο αιχμές, τις πρωινές ώρες και μετά τις μεσημβρινές ώρες, όπου ο αριθμός των οχημάτων που βρίσκονται εντός του σταθμού αλλά και ο αριθμός των εισαγωγών των οχημάτων σε σχέση με αυτά που εξέρχονται είναι μεγαλύτερος, με αποτέλεσμα να καταγράφεται εκείνες τις ώρες το peak. Γενικότερα στο συγκεκριμένο σταθμό τα επίπεδα της ισχύος καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας είναι σε υψηλότερα επίπεδα. Τέλος όπως συμβαίνει και στον προηγούμενο σταθμό, τα αρχικά και τα τελικά επίπεδα της ισχύος και της ενέργειας του σταθμού είναι σε ίδια κλίμακα.

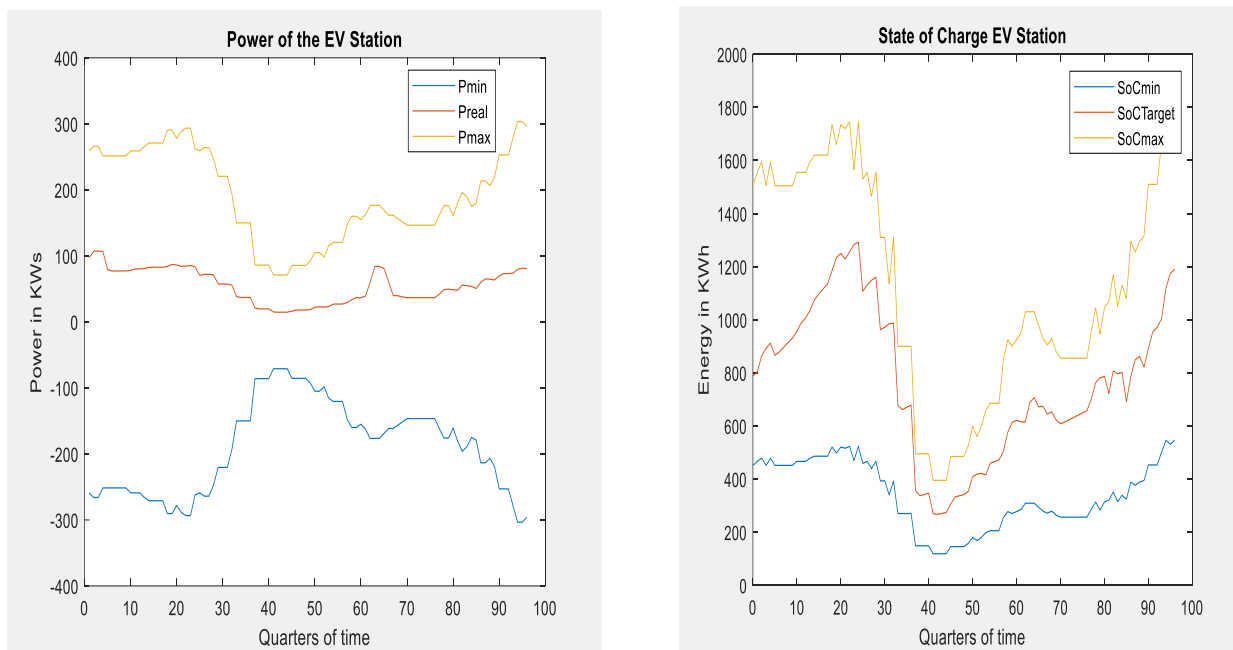
Σταθμός φόρτισης σε μια μικρή γειτονιά μιας πόλης:



Εικόνα 6.13 και 6.14 : Γραφήματα ισχύος και ενέργειας αντίστοιχα του σταθμού φόρτισης σε μία μικρή γειτονιά μίας πόλης.

Στο συγκεκριμένο σταθμό το πρώτο διάγραμμα από αριστερά αφορά την ισχύ του σταθμού φόρτισης και το δεύτερο την ενέργεια που καταναλώνεται εντός του σταθμού, σε μία μικρή γειτονιά μίας πόλης με τη μέθοδο της «χαζής φόρτισης». Στο συγκεκριμένο σταθμό υπάρχουν οχήματα τα οποία εξέρχονται τις πρώτες πρωινές ώρες, καθώς κατά την εκκίνησή του ο σταθμός έχει αρκετά οχήματα τα οποία είναι έτοιμα για φόρτιση, σε αντίθεση με τις αφίξεις που είναι περισσότερες τις βραδινές ώρες. Έτσι λοιπόν παρατηρούμε, ότι συμβαίνει το μεγαλύτερο peak τις πρώτες πρωινές ώρες και συγκεκριμένα την πέμπτη πρωινή ώρα, καθώς από την έκτη πρωινή και μετά αρχίζουν οι αναχωρήσεις από το σταθμό φόρτισης. Επίσης αύξηση στην ισχύ και την ενέργεια του σταθμού φόρτισης παρατηρείται και το βράδυ, πράγμα το οποίο οφείλεται στις εισαγωγές οι οποίες γίνονται εκείνες τις ώρες, λόγω της επιστροφής των πολιτών στα σπίτια τους. Κατά τη διάρκεια της ημέρας οι εισαγωγές είναι λιγότερες από αυτές που συμβαίνουν το βράδυ, όπως και οι εξαγωγές μετά το μεσημέρι είναι λίγες, για αυτό το λόγο παρατηρούμε αυτή την πτώση στο πλάτος των διαγραμμάτων της ενέργειας και της ισχύος. Ο συγκεκριμένος σταθμός έχει το μικρότερο συνολικό αριθμό οχημάτων προς φόρτιση σε σχέση με τους υπόλοιπους. Για αυτό το λόγο σε σχέση με τους δυο προηγούμενους σταθμούς τα επίπεδα της ισχύος και της ενέργειας είναι πιο χαμηλά. Τέλος και σε αυτόν το σταθμό φόρτισης τα αρχικά και τα τελικά επίπεδα της ισχύος και της ενέργειας είναι σε ίδια κλίμακα.

Σταθμός φόρτισης σε μια μεγαλύτερη γειτονιά μίας πόλης:



Εικόνα 6.15 και 6.16 : Γραφήματα ισχύος και ενέργειας αντίστοιχα του σταθμού φόρτισης σε μία μεγαλύτερη γειτονιά μίας πόλης.

Παραπάνω αναπαρίστανται τα διαγράμματα ισχύος και ενέργειας του σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε μία μεγάλη γειτονιά μίας πόλης εφαρμόζοντας τη μέθοδο της «χαζής φόρτισης». Το πρώτο διάγραμμα από αριστερά αναφέρεται στην ισχύ του σταθμού και το δεύτερο στην ενέργεια του σταθμού. Η λογική είναι ίδια με αυτή που έχει ο σταθμός φόρτισης σε μία μικρή γειτονιά μιας πόλης, αλλά ο όγκος των οχημάτων είναι μεγαλύτερος πράγμα το οποίο φαίνεται, βλέποντας τα επίπεδα ισχύος και ενέργειας στα διαγράμματα. Σε αυτόν το σταθμό, στο διάγραμμα της ισχύος και της ενέργειας υπάρχει ένα peak, το οποίο παρατηρείται μέχρι τις πρώτες πρωινές ώρες, όπου και ξεκινούν οι εξαγωγές των οχημάτων από το σταθμό. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχουν οχήματα τα οποία έχουν εισαχθεί εντός του σταθμού τη χρονική στιγμή μηδέν και φορτίζουν. Στη συνέχεια βλέπουμε πως τις απογευματινές ώρες αρχίζει και αυξάνεται η ισχύς και η ενέργεια λόγω της αύξησης των εισαγωγών, σε σχέση με το αριθμό των εξαγωγών. Τέλος όπως και στους προηγούμενους σταθμούς τα αρχικά και τελικά επίπεδα ισχύος και ενέργειας του σταθμού βρίσκονται σε ίδια κλίμακα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

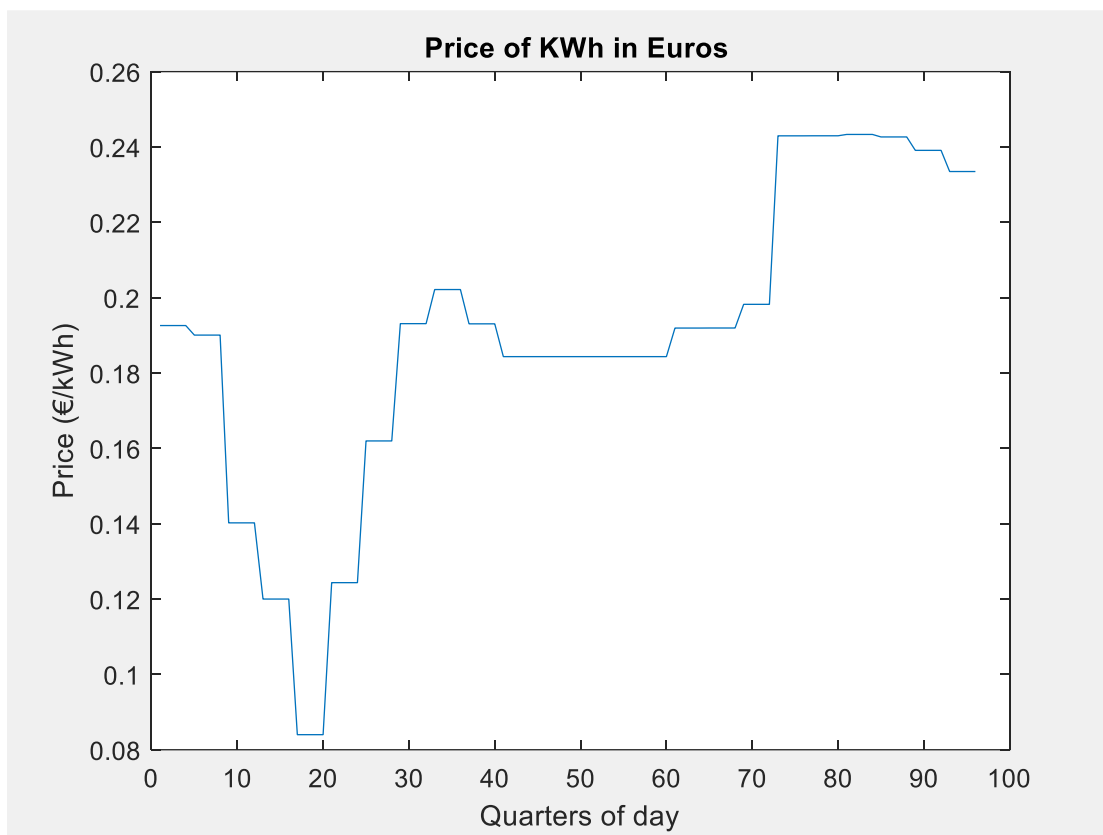
Σκοπός στο συγκεκριμένο κεφάλαιο είναι η υλοποίηση της βέλτιστης λειτουργίας των σταθμών φόρτισης και συγκεκριμένα η ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας αυτών των σταθμών. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται η χρήση αλγορίθμων βελτιστοποίησης, καθώς και η συλλογή δεδομένων από την προσομοίωση της λειτουργίας του σταθμού. Επειδή αυτό το πρόβλημα είναι γραμμικό χρησιμοποιήσαμε για την επίλυση του τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού. Πιο συγκεκριμένα αυτό επιτυγχάνεται μέσω των συναρτήσεων του γραμμικού προγραμματισμού που εμπεριέχονται στο εργαλείο MATLAB την `fmincon` και `linprog`, οι οποίες χρησιμοποιούνται για ελαχιστοποίηση προβλημάτων και στις οποίες κάνοντας τις κατάλληλες παραμετροποιήσεις, παίρνουμε το αποτέλεσμα της βέλτιστης λειτουργίας του εκάστοτε σταθμού φόρτισης. Οι παραμετροποιήσεις οι οποίες γίνονται στις ανωτέρω συναρτήσεις συμπεριλαμβάνουν τη συνάρτηση, βάσει της οποίας γίνεται η ελαχιστοποίηση. Στη προκειμένη περίπτωση επειδή έχει να κάνει με τη βελτιστοποίηση του κόστους των σταθμών φόρτισης η συνάρτηση της ελαχιστοποίησης είναι η τιμή της κιλοβατώρας κατά τη διάρκεια μίας ημέρας. Επίσης στις παραμέτρους συμπεριλαμβάνονται τα όρια ισχύος κάθε σταθμού, καθώς και οι τιμές οι οποίες αφορούν την ενέργεια του σταθμού. Μετά την εκτέλεση των παραπάνω συναρτήσεων παράγονται οι βέλτιστες τιμές ισχύος που μπορεί να έχει ο σταθμός φόρτισης, βάση της τιμής της κιλοβατώρας, από τις οποίες στη συνέχεια παράγονται οι τιμές της ενέργειας του εκάστοτε σταθμού και τα αντίστοιχα διαγράμματα ισχύος και ενέργειας, τα οποία πλέον είναι τα βέλτιστα. Στη συνέχεια μέσω αυτών των διαγραμμάτων προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα για τη λειτουργία των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία θα αναφερθούν σε επόμενη παράγραφο.

7.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο κατά την υλοποίηση των σταθμών φόρτισης υπάρχουν παράμετροι, οι οποίες έχουν να κάνουν με την ισχύ και την ενέργεια του εκάστοτε σταθμού. Αυτές οι παράμετροι είναι πολύ σημαντικές για την προσομοίωση της βέλτιστης λει-

τουργίας του σταθμού φόρτισης, καθώς χρησιμοποιούνται, εντός της συνάρτησης του γραμμικού προγραμματισμού, που μας κάνει την ελαχιστοποίηση του κόστους των σταθμών. Προκειμένου όμως να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς, οι παράμετροι υπολογίζονται ανά τέταρτο της ώρας και όχι πλέον ανά ώρα.

Σε ότι αφορά τις τιμές της κιλοβατώρας στο εικοσιτετράωρο οι οποίες αποτελούν και παράμετρο στη συνάρτηση, βάσει της οποίας γίνεται η βελτιστοποίηση του κόστους των σταθμών, είναι ρεαλιστικές τιμές σε (€ / kWh) και είναι για τη διάρκεια μίας ημέρας, τις οποίες τις έχουμε κατανείμει ανά τέταρτο και το διάγραμμα το οποίο προκύπτει είναι το παρακάτω:



Εικόνα 7.1 : Γραφική αναπαράσταση της μεταβαλλόμενης τιμής της κιλοβατώρας στη διάρκεια μίας ημέρας.

Παρατηρούμε πως η τιμή της ενέργειας είναι μικρότερη κατά τις πρώτες πρωινές ώρες, μέσα στην ημέρα αυξάνεται και το βράδυ η τιμή της είναι η μέγιστη. Οι τιμές αυτές της ενέργειας θα είναι καθοριστικές και για τη βέλτιστη λειτουργία του σταθμού καθώς, θα επηρεάσουν σημαντικά τις τιμές της ισχύος του εκάστοτε σταθμού που συνδέονται άμεσα με το βέλτιστο κόστος λειτουργίας του.

Έχοντας όλα τα απαραίτητα δεδομένα από την υλοποίηση του σταθμού, καθώς και τις τιμές της κιλοβατώρας μπορούμε να εκτελέσουμε τη συνάρτηση `fmincon`, η οποία κάνει και τη βελτιστοποίηση των τεσσάρων σταθμών φόρτισης. Η συγκεκριμένη συνάρτηση κάνει την ελαχιστοποίηση βάσει της τιμής της κιλοβατώρας και επιλύει δύο γραμμικά συστήματα, το πρώτο έχει να κάνει με γραμμικούς περιορισμούς ανισότητας :

$$\mathbf{A} * \mathbf{x} \leq \mathbf{b} \quad (7.1)$$

Όπου ο \mathbf{A} είναι ένας πίνακας διαστάσεων $m \times n$, όπου m είναι το πλήθος των ανισοτήτων και n ο αριθμός των μεταβλητών, ο οποίος συνδέεται με το μέγεθος X_0 που αποτελεί παράμετρο της συνάρτησης `fmincon`, η οποία κάνει την αρχικοποίηση για το μέγεθος το οποίο θα έχει το διάνυσμα των λύσεων \mathbf{x} που παράγει η συνάρτηση και \mathbf{b} είναι ο πίνακας των γραμμικών περιορισμών στις ανισότητες m . Για τη δημιουργία του πίνακα \mathbf{A} χρησιμοποιούνται δύο υπό-πίνακες τριγωνικοί, οι οποίοι έχουν τέτοια μορφή προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι η ενέργεια του εκάστοτε σταθμού για κάθε τέταρτο της ημέρας, είναι εντός των ορίων που έχουν οριστεί. Ο πρώτος από τους δύο πίνακες έχει τη συγκεκριμένη μορφή:

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (7.2)$$

Οι συνολικές διαστάσεις του συγκεκριμένου πίνακα είναι 96×96 αριθμός ο οποίος αντιστοιχεί στα τέταρτα που έχει μία ημέρα και ο άλλος αντίστοιχος υπό-πίνακας που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του \mathbf{A} είναι ο \mathbf{A}_1 με αρνητικό πρόσημο.

$$\mathbf{A}_2 = -\mathbf{A}_1 \quad (7.3)$$

Έχοντας αυτούς του δύο υπό-πίνακες μπορούμε να αποτυπώσουμε τη μορφή την οποία έχει ο πίνακας \mathbf{A} , ο οποίος προέρχεται από την συνένωση αυτών των δύο υπό-πινάκων και είναι ο εξής:

$$\mathbf{A} = \frac{T}{96} \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 \\ \mathbf{A}_2 \end{bmatrix} = \frac{T}{96} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ -1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & -1 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -1 & -1 & -1 & \dots & -1 \end{bmatrix} \quad (7.4)$$

Όπου $T=24$, ο αριθμός των ωρών στο εικοσιτετράωρο και 96 ο συνολικός αριθμός των τετάρτων

που υπάρχουν εντός μίας ημέρας.

Ο πίνακας b για κάθε σταθμό φόρτισης στο οποίον εφαρμόζεται η μέθοδος της βελτιστοποίησης περιέχει όλους τους περιορισμούς που έχουν να κάνουν με την ενέργεια του σταθμού στη διάρκεια μίας ημέρας. Συγκεκριμένα είναι ένα διάνυσμα διαστάσεων 1×192 στο οποίο οι πρώτες 96 τιμές περιέχουν τους περιορισμούς για κάθε τέταρτο της ημέρας, που σχετίζονται με τα άνω όρια φόρτισης του σταθμού, ενώ οι υπόλοιπες τιμές αναφέρονται στους περιορισμούς που υπάρχουν για τα κάτω όρια της ενέργειας του σταθμού για κάθε τέταρτο της ημέρας. Οι πρώτες 96 τιμές αποτελούν το πίνακα b_1 και οι υπόλοιπες 96 των πίνακα b_2 . Οι εξισώσεις για αυτούς τους δύο πίνακες αναφέρονται παρακάτω:

$$b_1(t) = SoCmax(t) - SoC0 \quad (7.5)$$

$$b_2(t) = SoCmin(t) - SoC0 \quad (7.6)$$

Όπου το t παίρνει τιμές από 1 έως 96, το $SoCmax(t)$ η μέγιστη συνολική ενέργεια που έχει ο σταθμός φόρτισης ανά τέταρτο σε (kWh), $SoCmin(t)$ το κατώτατο όριο φόρτισης που μπορεί να έχει ο σταθμός ανά τέταρτο σε (kWh) και $SoC0$ η αρχική συνολική τιμή ενέργειας που έχει ο σταθμός την χρονική στιγμή μηδέν.

Η τελική μορφή που αποκτά ο πίνακας b είναι η παρακάτω η οποία προκύπτει με την συνένωση των δύο πινάκων :

$$b = \begin{bmatrix} b_1(1) \\ b_1(2) \\ b_1(3) \\ \vdots \\ b_1(96) \\ -b_2(1) \\ -b_2(2) \\ -b_2(3) \\ \vdots \\ -b_2(96) \end{bmatrix} \quad (7.7)$$

Τέλος η πλήρης μαθηματική έκφραση για αυτό το πρόβλημα έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\frac{T}{96} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ -1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & -1 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -1 & -1 & -1 & \dots & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ \vdots \\ x_{96} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} SoCmax(1) - SoC0 \\ SoCmax(2) - SoC0 \\ SoCmax(3) - SoC0 \\ \vdots \\ SoCmax(96) - SoC0 \\ -SoCmin(1) + SoC0 \\ -SoCmin(2) + SoC0 \\ -SoCmin(3) + SoC0 \\ \vdots \\ -SoCmin(96) + SoC0 \end{bmatrix} \quad (7.8)$$

Επίσης επιλύει και ένα σύστημα το οποίο έχει να κάνει με γραμμικούς περιορισμούς ισότητας το οποίο είναι το παρακάτω:

$$A_{eq} * x = b_{eq} \quad (7.9)$$

Στο συγκεκριμένο σύστημα οι πίνακες A και b έχουν την ίδια μορφή με παραπάνω και το γραμμικό σύστημα έχει την ακόλουθη πλήρη μαθηματική μορφή:

$$\frac{T}{96} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ -1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & -1 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -1 & -1 & -1 & \dots & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ \vdots \\ x_{96} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} SoC_{max}(1) - SoC_0 \\ SoC_{max}(2) - SoC_0 \\ SoC_{max}(3) - SoC_0 \\ \vdots \\ SoC_{max}(96) - SoC_0 \\ -SoC_{min}(1) + SoC_0 \\ -SoC_{min}(2) + SoC_0 \\ -SoC_{min}(3) + SoC_0 \\ \vdots \\ -SoC_{min}(96) + SoC_0 \end{bmatrix} \quad (7.10)$$

Όπου A_{eq} , είναι ο πίνακας με τον αριθμό των εξισώσεων διαστάσεων $q \times n$, x ο πίνακας των λύσεων που προκύπτουν από τη λύση του συστήματος και b_{eq} είναι ο πίνακας περιορισμών ισότητας. Επίσης εντός της συνάρτησης μπαίνουν και τα άνω και κάτω όρια της ισχύος ub και lb αντίστοιχα, τα οποία ουσιαστικά οριοθετούν τις λύσεις του διάνυσματος x . Αυτά τα άνω και κάτω όρια είναι η μέγιστη και η ελάχιστη ισχύς, που έχει ο κάθε σταθμός φόρτισης, καθώς το διάνυσμα κατάστασης x , που αποτελεί το διάνυσμα εξόδου και είναι η βέλτιστη ισχύς ανά τέταρτο της ημέρας, που προκύπτει μετά την εκτέλεση της `fmincon` και περιέχει 96 στοιχεία. Έτσι λοιπόν για κάθε σταθμό έχουμε το διάνυσμα της ισχύος και με κατάλληλους υπολογισμούς προκύπτει το αντίστοιχο διάνυσμα ενέργειας βάση του τύπου:

$$SoC_i = SoC_0 + \sum_{i=1}^{96} P_i * Dt \quad (7.11)$$

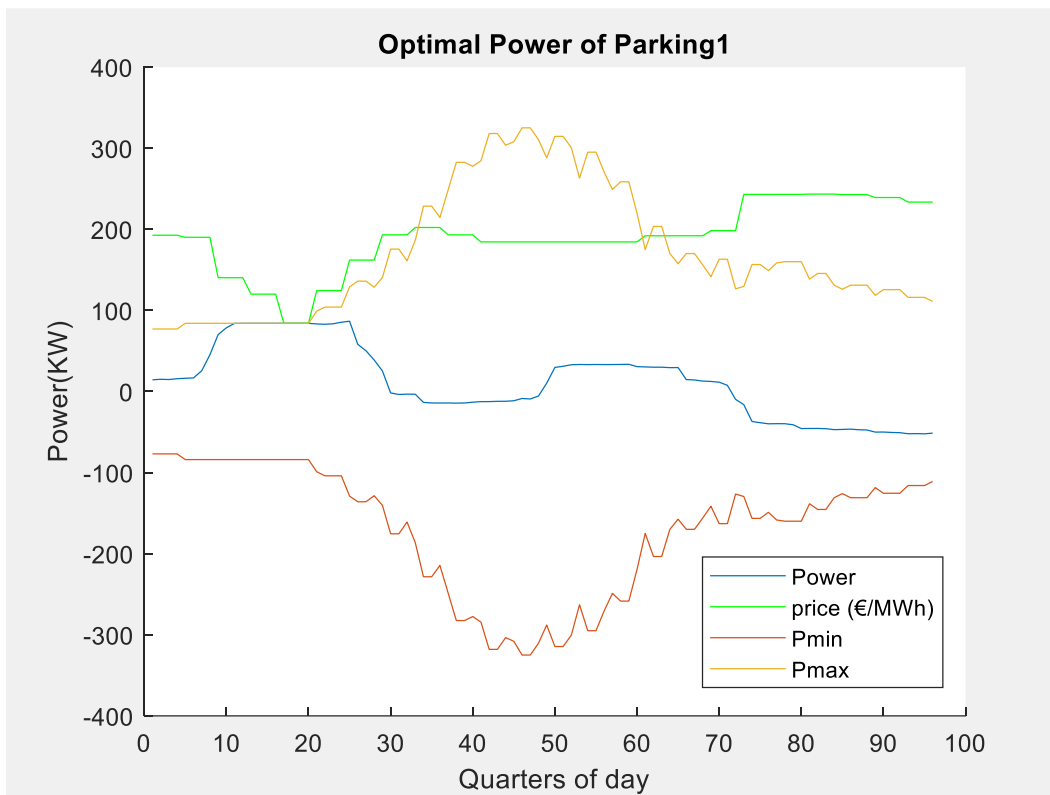
Όπου:

- SoC_0 , η ελάχιστη τιμή της ενέργειας που έχει ο σταθμός τη χρονική στιγμή μηδέν σε (kWh).
- $\sum_{i=1}^{96} P_i * Dt$, ο υπολογισμός της ενέργειας του σταθμού για όλη τη διάρκεια της ημέρας σε (kWh). Όπου το P_i είναι η τιμή από τα στοιχεία του πίνακα x και συγκεκριμένα το i -οστό του στοιχείο. Το i εκφράζει τέταρτο της ημέρας.

Βάσει του διανύσματος x που παράγεται και αποτελεί την ισχύ και μέσω του υπολογισμού της ενέργειας μπορούν να παραχθούν και τα αντίστοιχα βέλτιστα διαγράμματα ισχύος και ενέργειας των σταθμών. Στα παρακάτω διαγράμματα θα δούμε για κάθε σταθμό, ότι τηρούνται κανονικά τα όρια ισχύος και ενέργειας των σταθμών, καθώς το διάγραμμα βέλτιστης ισχύος που παράγεται από το διάνυσμα x και η αντίστοιχη βέλτιστη ενέργεια των σταθμών είναι ανάμεσα στα ανώτατα και κατώτατα όρια ισχύος και ενέργειας αντίστοιχα. Τέλος, εντός της συνάρτησης `fmincon` μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεταβλητή `option`, σύμφωνα με την οποία επιλέγεται ο αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος, που στην προκειμένη περίπτωση είναι ο SQP. Αυτή είναι η λεγόμενη μέθοδος διαδοχικού τετραγωνικού προγραμματισμού, που αποτελεί μία από τις αποτελεσματικότερες μεθόδους επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει γραμμικούς ή μη γραμμικούς περιορισμούς και να εφαρμόζεται σε γραμμικές και μη γραμμικές αντικειμενικές συναρτήσεις. Η μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη μέθοδος για την επίλυση των προβλημάτων βελτιστοποίησης είναι η παρακάτω:

Υπολογίζει αρχικά μία προσεγγιστική λύση σε μία σειρά από τετραγωνικά υποπροβλήματα στα οποία ελαχιστοποιείται ένα τετραγωνικό μοντέλο της αντικειμενικής συνάρτησης, υπό τους γραμμικοποιημένους περιορισμούς του αρχικού προβλήματος. Στη μέθοδο αυτή υπάρχουν δύο είδη επαναλήψεων οι εσωτερικές, οι οποίες αναφέρονται στις επαναλήψεις που απαιτούνται για την επίλυση του τετραγωνικού προβλήματος και οι εξωτερικές οι οποίες είναι υπεύθυνες για την ανανέωση του τετραγωνικού προβλήματος. Βρισκόμενοι, στη διαδικασία της εκτέλεσης των εξωτερικών επαναλήψεων το εκάστοτε τετραγωνικό υποπρόβλημα αρχικοποιείται λαμβάνοντας ως τιμή την βέλτιστη τιμή του προηγούμενου υποπροβλήματος και για αυτό το λόγο η συγκεκριμένη μέθοδος χαρακτηρίζεται από την ταχεία σύγκλισή της.

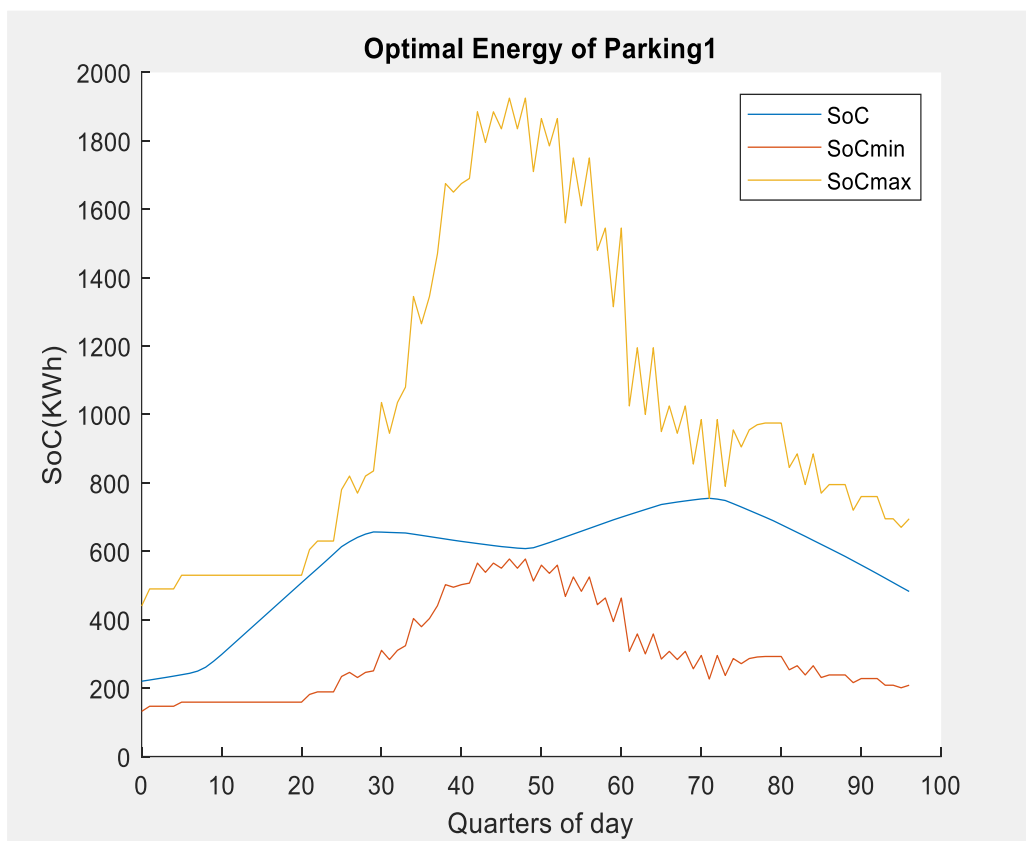
Σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε κάποιο σημείο στο Εθνικό δίκτυο:



Εικόνα 7.2 : Διάγραμμα ισχύος του υφιστάμενου σταθμού φόρτισης μετά τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του σταθμού.

Το παραπάνω είναι το διάγραμμα ισχύος του σταθμού φόρτισης, με πράσινο χρώμα είναι οι τιμές της κιλοβατώρας, με μπλε το διάνυσμα της ισχύος, το οποίο προκύπτει από την εκτέλεση του αλγορίθμου και τα γραφήματα με το κίτρινο και το κόκκινο χρώμα αποτελούν τα όρια ισχύος του σταθμού. Αρχικά στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως η καμπύλη της ισχύος που προκύπτει από την εκτέλεση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, δεν παραβιάζει τα θεσμοθετημένα όρια ισχύος του συγκεκριμένου σταθμού. Επίσης η καμπύλη ισχύος που παράγεται βλέπουμε πως έχει μια ιδιαίτερη ιδιομορφία, για ένα αρκετά μεγάλο διάστημα τις πρώτες πρωινές ώρες βλέπουμε, πως υπάρχει το peak της καμπύλης, μετά παρατηρείται πτώση στις τιμές ισχύος καθώς παρατηρούμε και αρνητικές τιμές στην ισχύ, οι οποίες αυξάνονται για ένα μικρό διάστημα, που η τιμή της κιλοβατώρας δεν έχει φτάσει στην μέγιστη τιμή της και όταν πλέον φτάσει στην μέγιστη τιμή, τότε η ισχύς πέφτει υπό του μηδενός. Η συμπεριφορά που βγάζει αυτή η καμπύλη έχει εξάρτηση, από την καμπύλη της τιμής της κιλοβατώρας. Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα η τιμή της κιλοβατώρας είναι χαμηλή τις πρώτες πρωινές ώρες και μετά αρχίζει η

άνοδος της τιμής της μέχρι και το peak τις απογευματινές ώρες. Έτσι λοιπόν παρατηρείται ότι τις ώρες τις οποίες η τιμή της κιλοβατώρας είναι χαμηλή είναι βέλτιστο να φορτίζουν τα ηλεκτρικά οχήματα, για αυτό το λόγο και υπάρχει αυτό το peak στην ισχύ τις πρώτες πρωινές ώρες. Κάτι τέτοιο θα περιμέναμε να μας δείξει η συγκεκριμένη βελτιστοποίηση, καθώς αν τα οχήματα δεν φόρτιζαν όταν η τιμή της κιλοβατώρας ήταν χαμηλή, θα επηρεαζόταν πολύ το κόστος του σταθμού.

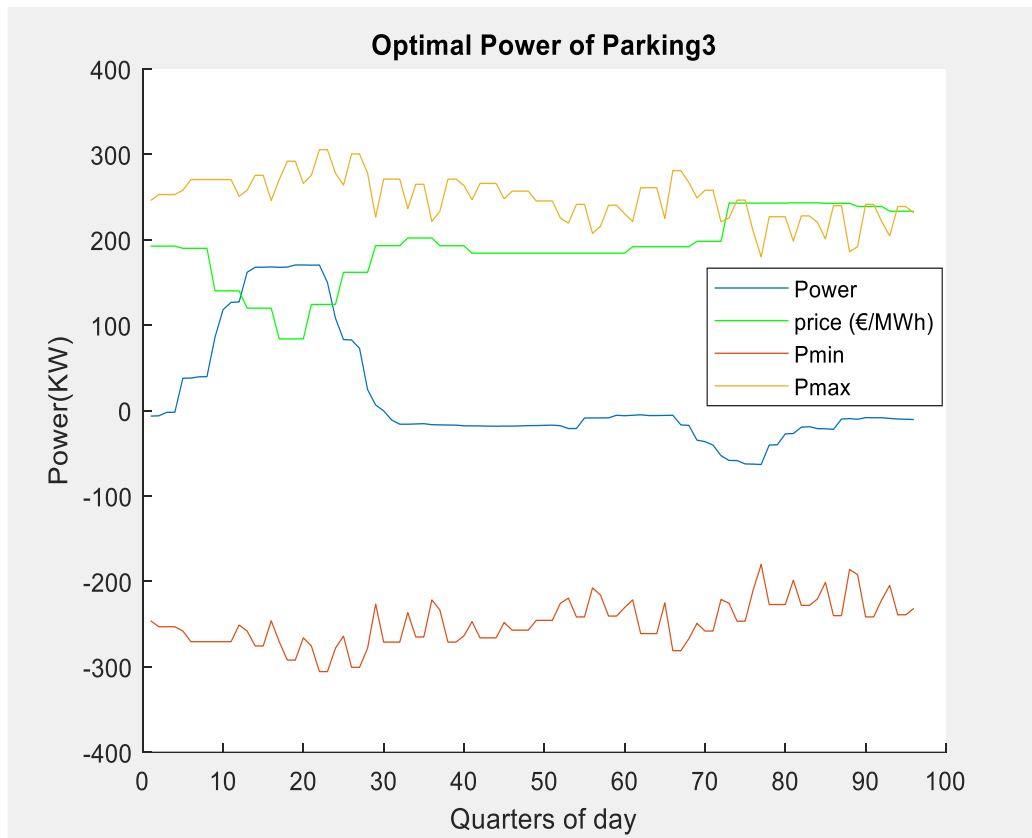


Εικόνα 7.3: Διάγραμμα ενέργειας του υφιστάμενου σταθμού φόρτισης μετά τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του σταθμού.

Το διάγραμμα αυτό αναφέρεται στην ενέργεια του σταθμού φόρτισης, με μπλε χρώμα είναι η ενέργεια, η οποία υπάρχει στο σταθμό υπολογισμένη βάσει του διανύσματος ισχύος, που έχει παραχθεί από τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού και με κόκκινο και κίτρινο χρώμα τα όρια φόρτισης του συστήματος. Η συγκεκριμένη καμπύλη της ενέργειας που παράγεται από τη βελτιστοποίηση έχει άμεση συσχέτιση με το διάγραμμα της ισχύος. Παρατηρούμε ότι, στην αρχή υπάρχει αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας εντός του σταθμού (θετική κλίση στην καμπύλη της ενέργειας που παράγεται), πράγμα το οποίο μας δείχνει ότι ο σταθμός φορτίζει τα οχήματα. Στη

συνέχεια μετά το τριακοστό τέταρτο της ημέρας, παρατηρείται μία αρνητική κλίση στην καμπύλη της ενέργειας, που φανερώνει ότι ο σταθμός εκφορτίζεται, στη συνέχεια ακολουθεί ένα χρονικό διάστημα στο οποίο ο σταθμός βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης, μέχρι και τις βραδινές ώρες που παρατηρείται εκφόρτιση στο σταθμό. Τέλος βλέπουμε πως τηρούνται τα προβλεπόμενα όρια ενέργειας του συγκεκριμένου σταθμού.

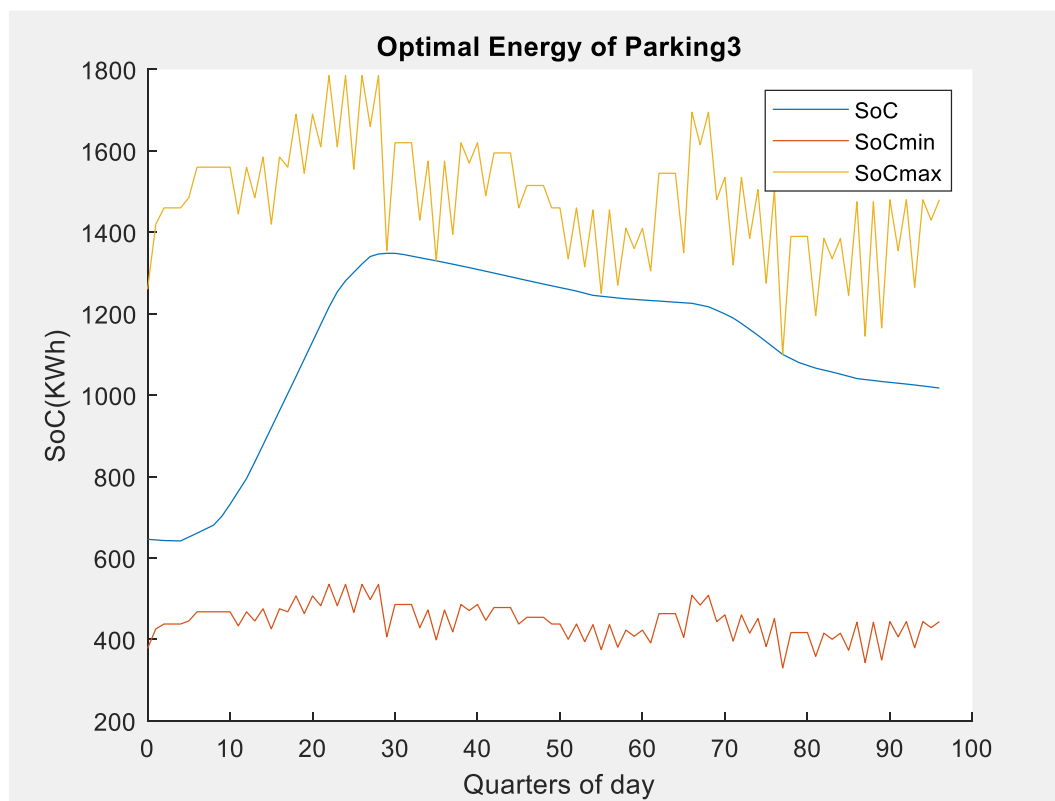
Σταθμός φόρτισης Ταξί:



Εικόνα 7.4 : Διάγραμμα ισχύος του υφιστάμενου σταθμού φόρτισης μετά τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του σταθμού

Το παραπάνω είναι το διάγραμμα ισχύος του σταθμού φόρτισης μετά τη μέθοδο της βελτιστοποίησης που εφαρμόστηκε, με πράσινο χρώμα είναι οι τιμές της κιλοβατώρας, με μπλε το διάγραμμα της ισχύος, το οποίο προκύπτει από την εκτέλεση του αλγορίθμου και τα γραφήματα με το κίτρινο και το κόκκινο χρώμα αποτελούν τα όρια ισχύος του σταθμού. Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε κάτι παρόμοιο με αυτό που συναντήσαμε και στο σταθμό φόρτισης στο Εθνικό δίκτυο. Βλέπουμε, πως τις πρώτες πρωινές ώρες που η τιμή της κιλοβατώρας έχει τις πιο χαμηλές τιμές στο εικοσιτετράωρο, ο σταθμός φόρτισης είναι βέλτιστο να φορτίζει τα οχήματα

πράγμα το οποίο αποτυπώνεται και στο μπλε γράφημα της ισχύος που παράγεται μετά την εκτέλεση της βελτιστοποίησης. Μετά τις πρώτες πρωινές ώρες ακολουθεί μια αρνητική κλίση στην καμπύλη της ισχύος και τις υπόλοιπες ώρες υπάρχουν μικρές διακυμάνσεις, αλλά οι τιμές της ισχύος διατηρούνται σε πιο χαμηλά επίπεδα. Τέλος, τηρούνται κανονικά τα όρια ισχύος του σταθμού φόρτισης, με την καμπύλη που παράγεται από τον αλγόριθμο, να βρίσκεται ανάμεσά τους.

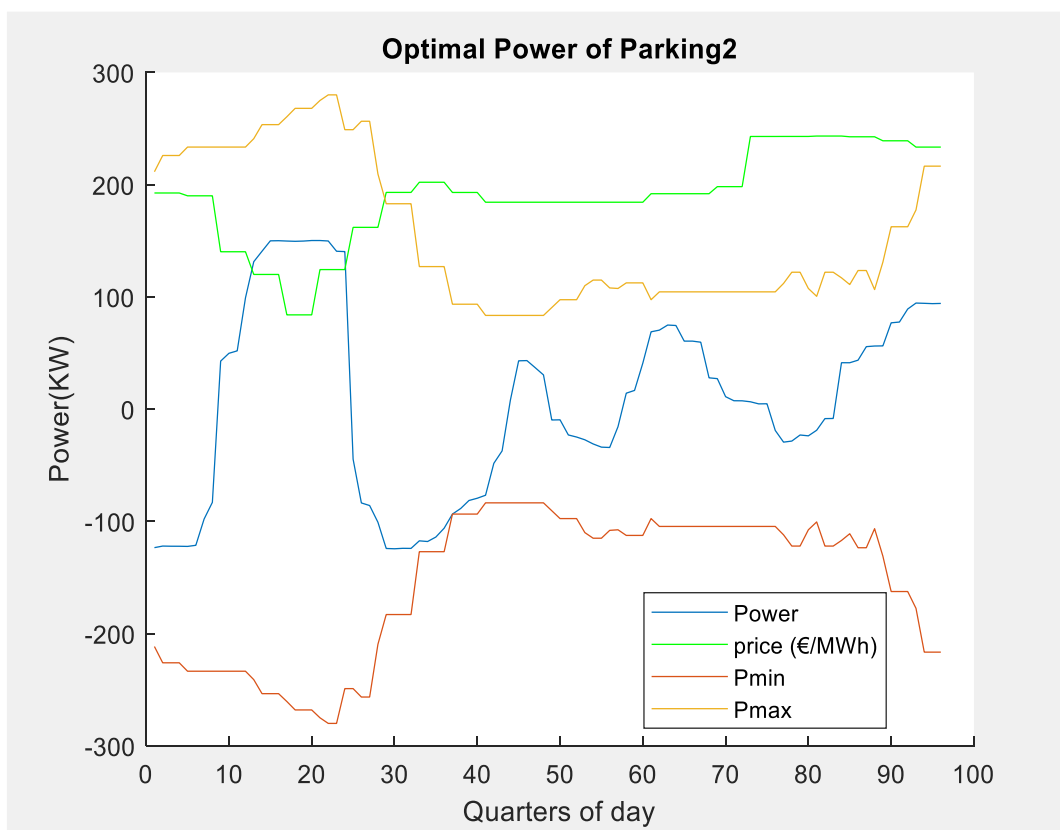


Εικόνα 7.5: Διάγραμμα ενέργειας του υφιστάμενου σταθμού φόρτισης μετά την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του σταθμού.

Το διάγραμμα αυτό αναφέρεται στην ενέργεια του σταθμού φόρτισης, με μπλε χρώμα είναι η ενέργεια που προκύπτει μετά τη χρήση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, η οποία υπάρχει στο σταθμό υπολογισμένη βάσει του διανύσματος ισχύος και με κόκκινο και κίτρινο χρώμα τα όρια φόρτισης του συστήματος. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρούμε πώς κατά την εκκίνηση της λειτουργίας του σταθμού φόρτισης έχουμε μια θετική κλίση στο μπλε γράφημα της ενέργειας που παράγεται από τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης, πράγμα το οποίο μας δείχνει ότι ο σταθμός εξυπηρετεί τα οχήματα που βρίσκονται σε αυτόν φορτίζοντας τα. Σε κάποια σημεία εντός του γραφήματος παρατηρούνται και μικρού μεγέθους αρνητικές κλίσεις οι οποίες αντικατοπτρίζουν ένα είδος εκφόρτισης στη λειτουργία του σταθμού. Τέλος είναι αντιληπτό, πως τα

άνω και κάτω όρια φόρτισης του συγκεκριμένου σταθμού τηρούνται κανονικά, καθώς η καμπύλη που παράγεται από την βελτιστοποίηση δεν τα παραβιάζει.

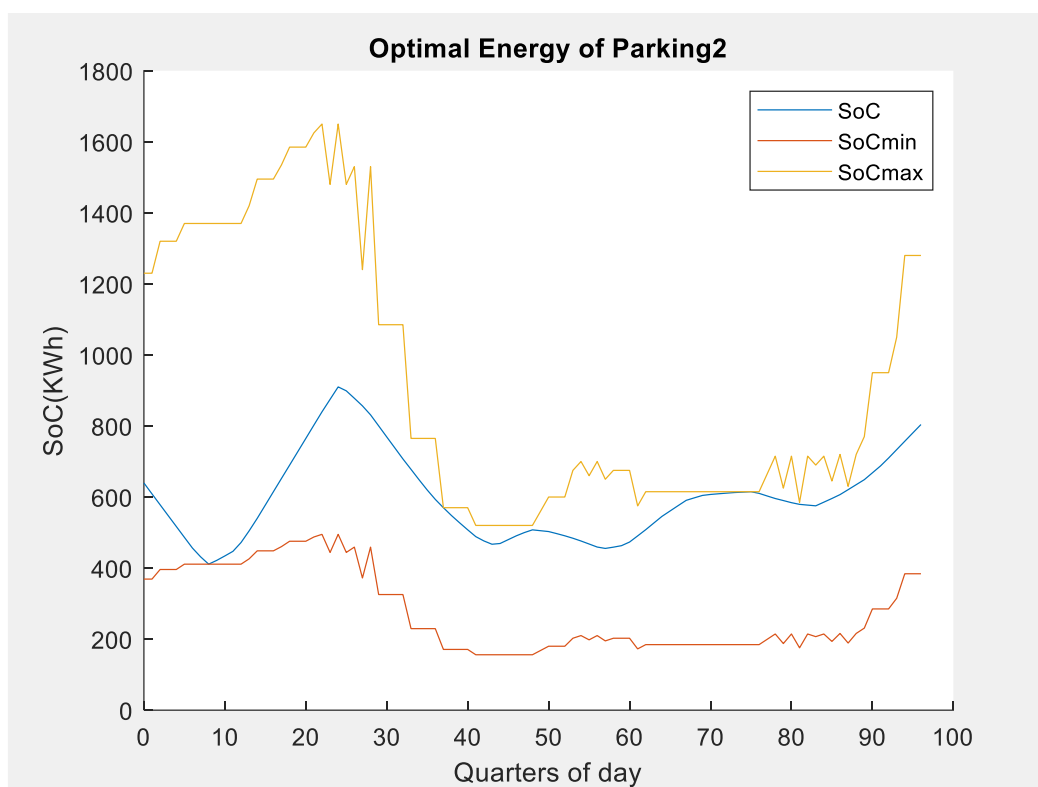
Σταθμός φόρτισης σε μια μικρή γειτονιά μιας πόλης:



Εικόνα 7.6 : Διάγραμμα ισχύος του υφιστάμενου σταθμού φόρτισης μετά την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του σταθμού

Το παραπάνω είναι το διάγραμμα ισχύος του σταθμού φόρτισης, με πράσινο χρώμα είναι οι τιμές της κιλοβατώρας, με μπλε χρώμα το διάνυσμα της ισχύος, το οποίο προκύπτει από την εκτέλεση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης και τα γραφήματα με το κίτρινο και το κόκκινο χρώμα αποτελούν τα όρια ισχύος του σταθμού. Στο παραπάνω διάγραμμα και στο μπλε γράφημα το οποίο όπως αναφέραμε αφορά την ισχύ, αρχικά βλέπουμε πως ο σταθμός μέχρι τα δέκα πρώτα τέταρτα της ημέρας, βρίσκεται σε μία κατάσταση εκφόρτισης. Στη συνέχεια από το σημείο αυτό και μέχρι το εικοστό πέμπτο τέταρτο της ημέρας ο σταθμός βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης και μάλιστα στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα έχουμε και το peak της κατανάλωσης ισχύος του σταθμού, πράγμα το οποίο συμβαίνει στο διάστημα στο οποίο οι τιμές της κιλοβατώρας είναι

χαμηλές. Μετά από αυτή την κατάσταση φόρτισης και με την αύξηση που υπάρχει στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, ακολουθεί μια κατάσταση εκφόρτισης, η οποία διατηρείται μέχρι και το τεσσαρακοστό έκτο τέταρτο της ημέρας και από εκεί και πέρα ακολουθεί μία κατάσταση φόρτισης η οποία συνοδεύεται από στάδιο εκφόρτισης και έτσι οδηγούμαστε, μέχρι το τέλος του εικοσιτετράωρου. Στον συγκεκριμένο σταθμό με τη χρήση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης παρατηρούμε πως εξαιτίας των δομών αφίξεων/ αναχωρήσεων ο σταθμός βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης ακόμα και τις ώρες που η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλή. Τέλος, παρατηρείται πως όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις σταθμών φόρτισης έτσι και σε αυτόν τα όρια ισχύος δεν παραβιάζονται.

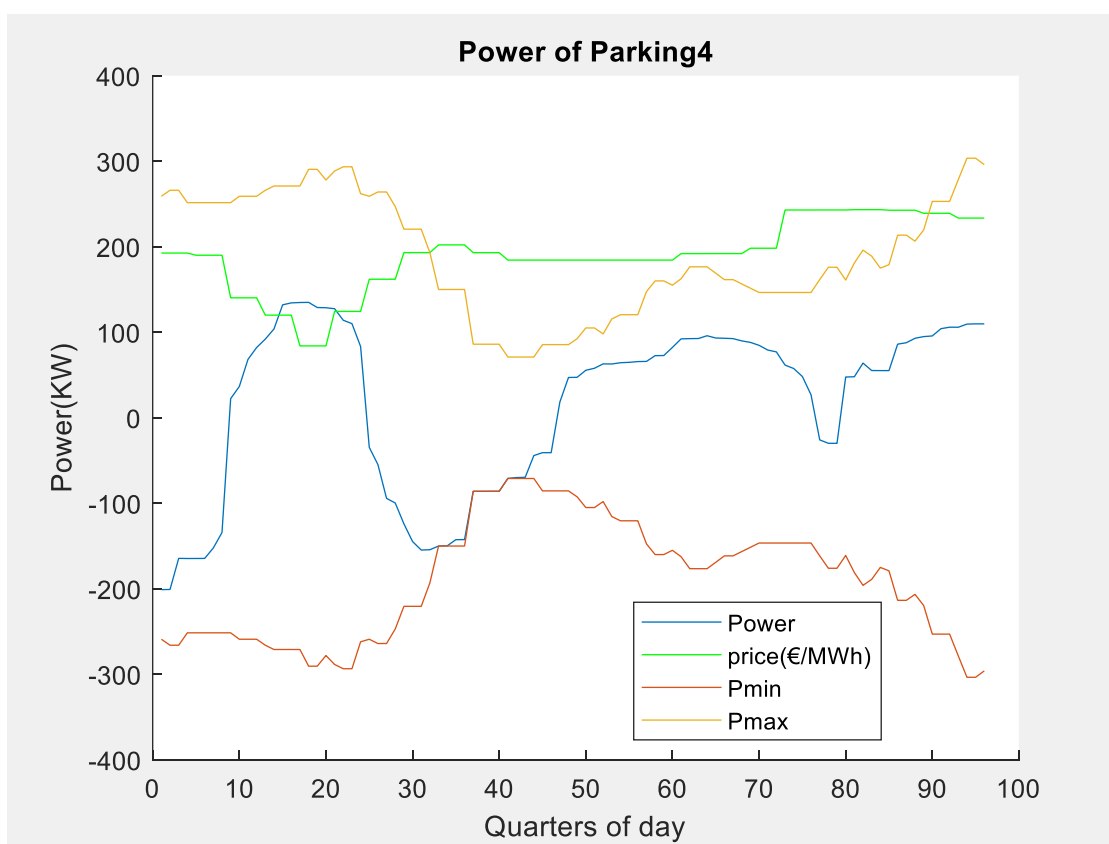


Εικόνα 7.7: Διάγραμμα ενέργειας του υφιστάμενου σταθμού φόρτισης μετά τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του σταθμού.

Το διάγραμμα αυτό αναφέρεται στην ενέργεια του σταθμού φόρτισης, με μπλε χρώμα είναι η ενέργεια, η οποία υπάρχει στο σταθμό υπολογισμένη βάσει του διανύσματος ισχύος, που έχει παραχθεί από τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού και με κόκκινο και κίτρινο χρώμα τα όρια φόρτισης του συστήματος. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρούμε ότι δεν παραβιάζονται τα άνω και κάτω όρια της ενέργειας του σταθμού από το ενεργειακό διάγραμμα που παράγεται μέσω της βελτιστοποίησης. Όπως φαίνεται ο σταθμός φόρτισης στην αρχή βρίσκεται σε

μία κατάσταση εκφόρτισης, στη συνέχεια ακολουθεί ένα διάστημα στο οποίο ο σταθμός βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης μέχρι περίπου και το εικοστό πέμπτο τέταρτο της ημέρας, μετά το διαδέχεται ένα διάστημα εκφόρτισης και στη συνέχεια μέχρι και το τέλος της ημέρας ο σταθμός βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης πλην μικρών χρονικών διαστημάτων, καθώς οι εισαγωγές των οχημάτων είναι περισσότερες και οι εξαγωγές των οχημάτων κατά πολύ λιγότερες. Όπως βλέπουμε το διάγραμμα της ενέργειας βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης (θετική κλίση) όταν οι τιμές της ισχύος είναι θετικές ενώ στην αντίθετη περίπτωση έχουμε κατάσταση εκφόρτισης.

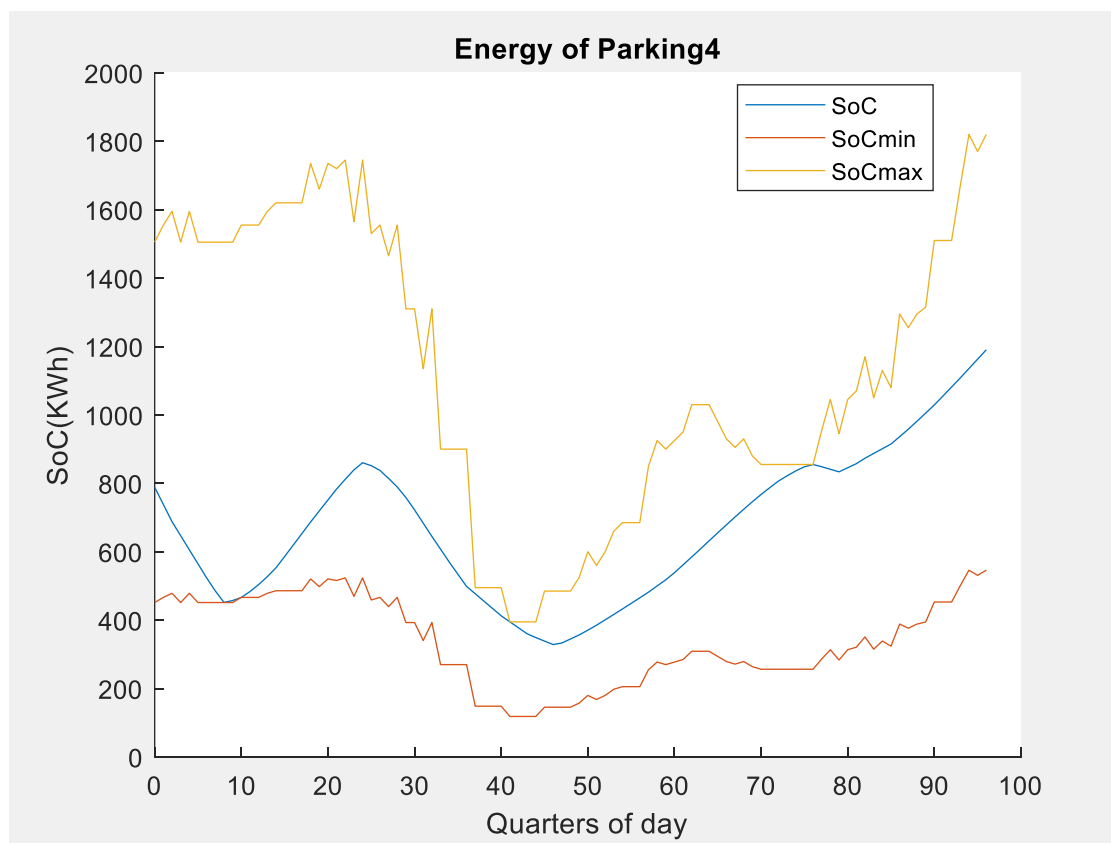
Σταθμός φόρτισης σε μια μεγαλύτερη γειτονιά μίας πόλης:



Εικόνα 7.8 : Διάγραμμα ισχύος του υφιστάμενου σταθμού φόρτισης μετά τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του σταθμού

Το παραπάνω είναι το διάγραμμα ισχύος του σταθμού φόρτισης, με πράσινο χρώμα είναι οι τιμές της κιλοβατώρας, με μπλε το διάνυσμα της ισχύος το οποίο προκύπτει από την εκτέλεση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης και τα γραφήματα με το κίτρινο και το κόκκινο χρώμα αποτελούν τα όρια ισχύος του σταθμού. Στο συγκεκριμένο γράφημα βλέπουμε πως το διάγραμμα της ισχύος ξεκινάει από μια αρνητική τιμή και παρατηρείται ένα μικρό στάδιο εκφόρτισης μέχρι το

όγδοο τέταρτο του εικοσιτετράωρου, πράγμα το οποίο φαίνεται και στο διάγραμμα που βρίσκεται παρακάτω και αναφέρεται στην ενέργεια του σταθμού, καθώς για το συγκεκριμένο διάστημα η κλίση της καμπύλης της ενέργειας είναι αρνητική. Στη συνέχεια η τιμή της ισχύος έχει ανοδική πορεία και τίς ώρες που η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή, βλέπουμε πως ο σταθμός βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης. Όταν ξεκινάει η αύξηση της τιμής της κιλοβατώρας το μπλε γράφημα της ισχύος πέφτει κάτω από το μηδέν και έτσι ο σταθμός βρίσκεται πάλι σε κατάσταση εκφόρτισης αντίστοιχα αυτό φαίνεται στο διάγραμμα της ενέργειας με την αρνητική κλίση που έχει το γράφημα της, μέχρι περίπου το τεσσαρακοστό έκτο τέταρτο της ημέρας. Από το σημείο αυτό και μετά ο σταθμός βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης, πράγμα το οποίο φαίνεται από την θετική κλίση που υπάρχει στο διάγραμμα της ενέργειας και τις θετικές τιμές που έχει πλέον το γράφημα της ισχύος, πλην ενός μικρού χρονικού διαστήματος εκφόρτισης.



Εικόνα 7.9: Διάγραμμα ενέργειας του υφιστάμενου σταθμού φόρτισης μετά τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του σταθμού.

Το διάγραμμα αυτό αναφέρεται στην ενέργεια του σταθμού φόρτισης, με μπλε χρώμα είναι η ενέργεια, η οποία υπάρχει στο σταθμό υπολογισμένη βάσει του διανύσματος ισχύος, που έχει παραχθεί από τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού και με κόκκινο και κίτρινο χρώμα

τα όρια φόρτισης του συστήματος.

Το συμπέρασμα το οποίο προκύπτει από όλα τα παραπάνω διαγράμματα των σταθμών φόρτισης, είναι κατά πρώτον, ότι σε όλα τα διαγράμματα τηρούνται τα όρια ισχύος και ενέργειας του εκάστοτε σταθμού, χωρίς να γίνεται καμία υπέρβαση και κατά δεύτερον παρατηρούμε το εξής φαινόμενο, το οποίο ουσιαστικά αποτελεί το λόγο για τον οποίο κάναμε αυτή τη βελτιστοποίηση. Όπως είπαμε και στην αρχή του κεφαλαίου, ο σκοπός μας είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους των σταθμών φόρτισης. Αυτό το οποίο παρατηρείται μετά την εκτέλεση των αλγορίθμων, είναι ότι στις ώρες τις οποίες η τιμή της κιλοβατώρας είναι χαμηλή, είναι βέλτιστο να φορτίζουν τα οχήματα, ενώ στις ώρες που η τιμή της είναι υψηλή, είναι καλύτερο να μη φορτίζουν και να δίνεται ισχύς στο δίκτυο. Αν παρατηρήσουμε το διάγραμμα των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας, θα δούμε πώς από το όγδοο τέταρτο της ημέρας, μέχρι το τριακοστό τέταρτο, υπάρχει μια βύθιση της τιμής της κιλοβατώρας πράγμα που ο εκάστοτε σταθμός φόρτισης το εκμεταλλεύεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του. Στα διαγράμματα της ισχύος βλέπουμε ότι το peak στα πάρκινγκ είναι τις πρώτες πρωινές ώρες. Σε ότι αφορά τα διαγράμματα της ενέργειας των σταθμών, η γραφική τους παράσταση προκύπτει βάσει του τύπου της ενέργειας που αναφέραμε στην αρχή της υποενότητας 7.2. Από αυτά απορρέουν τα συμπεράσματα που δείχνουν σε ποια κατάσταση βρίσκεται ο σταθμός, δηλαδή αν βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης ή εκφόρτισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

8.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

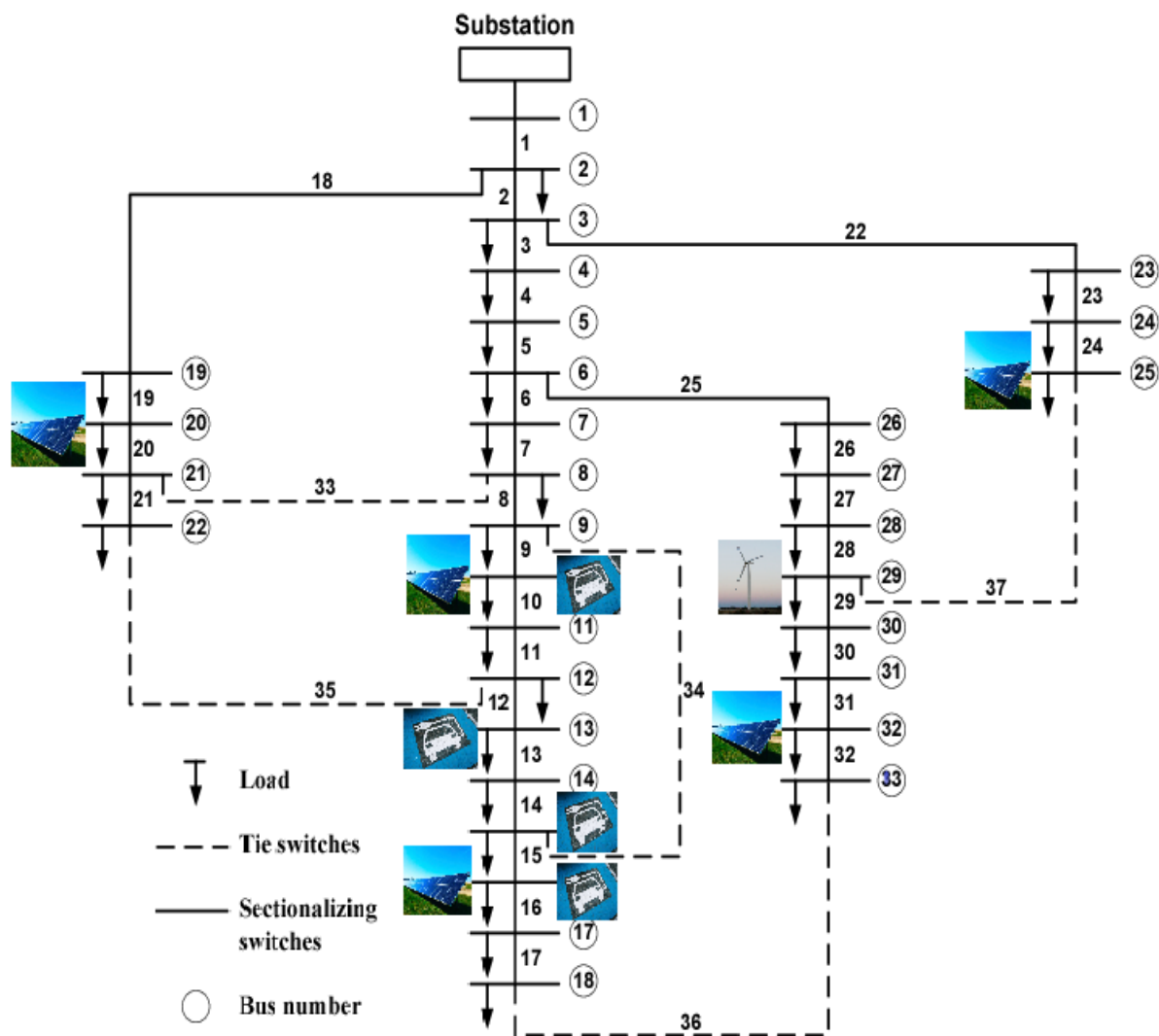
Το δίκτυο το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι ένα δίκτυο διανομής 33 ζυγών, το οποίο περιγράφεται αναλυτικά στο case33bw του εργαλείου MATPOWER. Η ισχύς βάσης του συγκεκριμένου δικτύου είναι στα 100 MVA ενώ η ονομαστική τάση λειτουργίας του ανέρχεται στα 12,66 kV.

Στο συγκεκριμένο δίκτυο έγιναν κάποιες αλλαγές στο φορτίο του συστήματος σε σχέση με το αρχικό φορτίο, το οποίο υπήρχε σαν πρότυπο αρχικά στο case33bw, πράγμα το οποίο έγινε έτσι ώστε το φορτίο του συστήματος να μην είναι σταθερό κατά τη διάρκεια μίας ημέρας. Επίσης σε κάποιους ζυγούς του δικτύου προστέθηκαν οι τέσσερις σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, τους οποίους έχουμε αναφέρει και αναλύσει διεξοδικά στα προηγούμενα κεφάλαια. Συγκεκριμένα οι σταθμοί φόρτισης τοποθετήθηκαν στους ζυγούς 10,13,15 και 16. Με την εισαγωγή των σταθμών φόρτισης επηρεάζεται το συνολικό φορτίο των αντίστοιχων ζυγών, καθώς η ισχύς η οποία παράγεται από τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού διαφοροποιεί το φορτίο. Στο δίκτυο πέρα από τους σταθμούς φόρτισης, εισάγονται σαν αρνητικά φορτία ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά πάνελς και αιολικά (ανεμογεννήτριες). Πιο συγκεκριμένα στο δίκτυο μας εισάγονται πέντε φωτοβολταϊκά στους ζυγούς 10,16,20,25 και 32 και ένα αιολικό το οποίο βρίσκεται στο ζυγό 29 του συστήματος μας. Είναι προφανές πως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως και οι σταθμοί φόρτισης, επηρεάζουν σημαντικά το φορτίο των ζυγών στους οποίους έχουν τοποθετηθεί, αλλά και του ίδιου του συστήματος.

Συγκεντρωτικά λοιπόν έχουμε:

- Ζυγό Ταλάντωσης (Ζυγός 1)
- Ζυγοί Φορτίου (Ζυγοί 2 έως 33)
- Σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (Ζυγοί 10,13,15 και 16)
- Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Ζυγοί 10,16,20,25και 32)
- Αιολικό Πάρκο (Ζυγός 29)

Η γραφική αναπαράσταση του δικτύου με όλα τα παραπάνω στοιχεία που υπάρχουν στο δίκτυο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 8.1: Συνολική αναπαράσταση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας με ΑΠΕ και τους σταθμούς φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων.

Στο παρόν δίκτυο το φορτίο του συστήματος, χωρίς την παρουσία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των σταθμών φόρτισης, προέρχεται από μια εικοσιτετράωρη χρονολογική σειρά, η οποία αποτελείται από ενενήντα έξι τιμές, που αντιπροσωπεύουν τα τέταρτα μιας ημέρας. Αυτή η χρονολογική σειρά έχει μέγιστη τιμή τα 3,5 MW, παρουσιάζεται τις απογευματινές ώρες και

έχει ελάχιστη τιμή κατά προσέγγιση τα 2 MW και παρουσιάζεται τις πρώτες πρωινές ώρες. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε ως άνω όριο τα 3,5 MW, είναι το γεγονός ότι το πρότυπο δίκτυο είχε συνολικό φορτίο περίπου στα 3,5 MW. Οι ενενήντα έξι (96) τιμές, οι οποίες παράγονται από αυτή την κατανομή διαιρούνται με το αριθμό 33, που είναι το σύνολο των ζυγών του δικτύου, έτσι ώστε οι τιμές αυτές να είναι κατανεμημένες ομοιόμορφα σε κάθε ζυγό. Ο αριθμός των τιμών του διανύσματος του φορτίου ζήτησης είναι ενενήντα έξι όπως προαναφέραμε, γιατί η προσομοίωση του δικτύου μας γίνεται ανά τέταρτο. Στο συγκεκριμένο δίκτυο αυτό που συμβαίνει ουσιαστικά είναι ότι η συνολική ισχύς, η οποία υπάρχει το συγκεκριμένο τέταρτο της ημέρας και η οποία είναι υπολογισμένη βάσει της εικοσιτετράωρης χρόνο-σειράς, μοιράζεται ισόποσα σε κάθε ζυγό του δικτύου. Έτσι λοιπόν το φορτίο που υπάρχει σε ένα ζυγό, είναι το ίδιο με το φορτίο των υπολοίπων ζυγών του δικτύου το συγκεκριμένο τέταρτο της ημέρας. Ο τύπος με τον οποίο υπολογίζεται το φορτίο ζήτησης για κάθε ζυγό είναι ο εξής:

$$P_{D_i} = \frac{P_{total}(t)}{33} \quad (8.1)$$

Παράλληλα έχοντας τον υπολογισμό της ενεργού ισχύος για κάθε ζυγό, υπολογίζουμε και την τιμή της αέργου ισχύος, την οποία έχει ο εκάστοτε ζυγός ανά τέταρτο και η οποία υπολογίζεται από τον τύπο :

$$Q_{D_i}(t) = P_{D_i}(t) \times 0.4834 \quad (8.2)$$

Όπου :

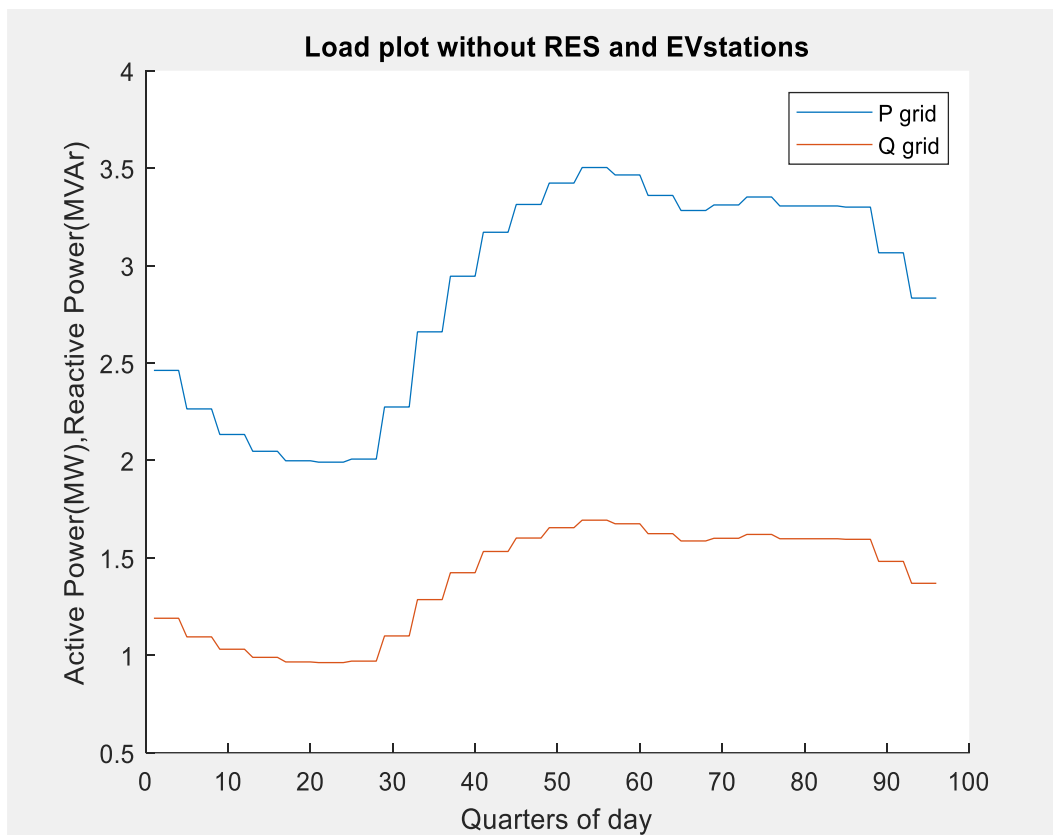
- $Q_{D_i}(t)$, είναι άεργος ισχύς του ζυγού i για το t τέταρτο της ημέρας σε (kVAr).
- $P_{D_i}(t)$, είναι ενεργός ισχύς του ζυγού i για το t τέταρτο της ημέρας σε (KW).

Ο αριθμός 0.4834 ο οποίος πολλαπλασιάζει την ενεργό ισχύ του εκάστοτε ζυγού, χρησιμοποιήθηκε γιατί θεωρούμε, ότι το δίκτυο τροφοδοτεί τα φορτία με 0,9 επαγωγικό συντελεστή ισχύος. Με αυτόν τον τρόπο, αυτό το οποίο επιτυγχάνεται είναι ότι και η άεργος ισχύς μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου.

Η μέγιστη ισχύς την οποία έχουν οι ζυγοί μέσα στο εικοσιτετράωρο είναι της τάξης των 110 KW, η τιμή αυτή εντοπίζεται κατά τις απογευματινές ώρες της ημέρας και η ελάχιστη ισχύς, η οποία εντοπίζεται στους ζυγούς του δικτύου τις πρώτες πρωινές ώρες και έχει μέγεθος της τάξης των 60 KW και στη συνέχεια υπάρχει αύξηση του φορτίου στο δίκτυο.

Στο παρακάτω γράφημα βλέπουμε τη συνολική ημερήσια καμπύλη της ενεργού και αέργου ισχύος του συστήματος μας. Με μπλε χρώμα είναι το διάγραμμα της ενεργού ισχύος και με κόκκινο χρώμα το διάγραμμα της αέργου ισχύος. Όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα οι μέγιστες

ισχύεις του δικτύου μας εντοπίζονται τις απογευματινές και πριν τα μεσάνυχτα ώρες, πράγμα το οποίο είναι πολύ αντιπροσωπευτικό με την πραγματικότητα, καθώς στα δίκτυα διανομής το μεγαλύτερο φορτίο ζήτησης εντοπίζεται αυτές τις ώρες. Σημαντικό είναι να επισημανθεί, πως το συγκεκριμένο διάγραμμα αφορά το συνολικό φορτίο ζήτησης ενεργού και αέργου ισχύος του δικτύου, χωρίς να έχει γίνει ακόμα η ένταξη των Α.Π.Ε. και των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο.



Εικόνα 8.2 :Γράφημα συνολικής ημερήσιας καμπύλης της ενεργού και αέργου ισχύος του συστήματος μας.

Σε ότι αφορά τις διασυνδέσεις μεταξύ των ζυγών αυτές γίνονται μέσω των γραμμών διανομής, οι οποίες έχουν μια σύνθετη αντίσταση ,η οποία ορίζεται ως εξής:

$$Z = R + j * X \quad (8.3)$$

Πέραν του φορτίου που υπάρχει σε κάθε ζυγό του δικτύου, εξίσου σημαντική για το δίκτυο είναι η σύνθετη αντίσταση που έχει κάθε κλάδος του. Στην περίπτωση που η σύνθετη αντίσταση είναι αυξημένη σε κάποιο κλάδο του συστήματος μας, τόσο αυξάνεται η πτώση τάσης πράγμα το οποίο έχει άμεση συνέπεια την αύξηση των απωλειών που έχει το δίκτυο. Όπως προαναφέραμε

στη γενική μορφή του δικτύου υπάρχουν ζυγοί στους οποίους δεν βρίσκονται μονό φορτία, αλλά υπάρχουν και ζυγοί στους οποίους εκτός των φορτίων τοποθετούνται σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων. Όμως όπως έχουμε επισημάνει σε προηγούμενο κεφάλαιο, ένας σταθμός φόρτισης μπορεί να δέχεται ισχύ από το δίκτυο προκειμένου να γίνει η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων, αλλά επίσης μπορεί και να δίνει ισχύ στο δίκτυο, την οποία την απορροφά από τα ηλεκτρικά οχήματα και την προσφέρει στο δίκτυο, όταν αυτό είναι αναγκαίο. Επί του προκειμένου, θα μπορούσαμε να πούμε πως οι σταθμοί φόρτισης μπορούν μέσα στη διάρκεια της ημέρας να λειτουργούν και ως γεννήτριες και όχι μόνο ως παθητικά φορτία, οι οποίες αντιστρέφουν τη ροή ισχύος, η οποία θα γίνεται πλέον από τα ηλεκτρικά οχήματα προς το δίκτυο. Ουσιαστικά πρόκειται για γεννήτριες οι οποίες έχουν μια ιδιαιτερότητα που έγκειται στο γεγονός ότι λειτουργούν με αρνητική ισχύ. Αυτό προκαλεί μεγάλη μεταβλητότητα στην τιμή του φορτίου του ζυγού, στον οποίο έχει τοποθετηθεί κάποιος σταθμός φόρτισης, καθώς η αρνητική ισχύ που μπορεί να υπάρχει κάποια χρονικά διαστήματα, μπορεί να αλλάξει και το ίδιο το πρόσημο του συνολικού φορτίου του ζυγού. Η διακύμανση αυτή εξαρτάται κάθε χρονική στιγμή από το πλήθος των οχημάτων που βρίσκονται συνδεδεμένα στο δίκτυο, από τη συνολική κατάσταση του δικτύου, από το κόστος λειτουργίας των γεννητριών, καθώς και από το κόστος λειτουργίας των σταθμών φόρτισης, λαμβάνοντας υπόψη την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα για τις ώρες στις οποίες οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλές, οι σταθμοί φορτίζουν κανονικά τα οχήματα και λειτουργούν ως παθητικά φορτία, ενώ όταν οι τιμές είναι υψηλές, καταναλώνουν ενέργεια από τα οχήματα και τη δίνουν στο δίκτυο, καθώς δεν είναι βέλτιστο για το κόστος λειτουργίας του σταθμού, να φορτίζουν οχήματα τη στιγμή που η τιμή της κιλοβατώρας είναι ακριβή. Επίσης καθοριστικό ρόλο στη συμπεριφορά του δικτύου έχουν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες εισάγονται στους επιλεγμένους ζυγούς του δικτύου, και οι οποίες διαφοροποιούν το συνολικό φορτίο σε (KW) του εκάστοτε ζυγού που είναι τοποθετημένες με την εξής σχέση :

$$P'_{D_i}(t) = P_{D_i}(t) - P_{RES_i}(t) \quad (8.4)$$

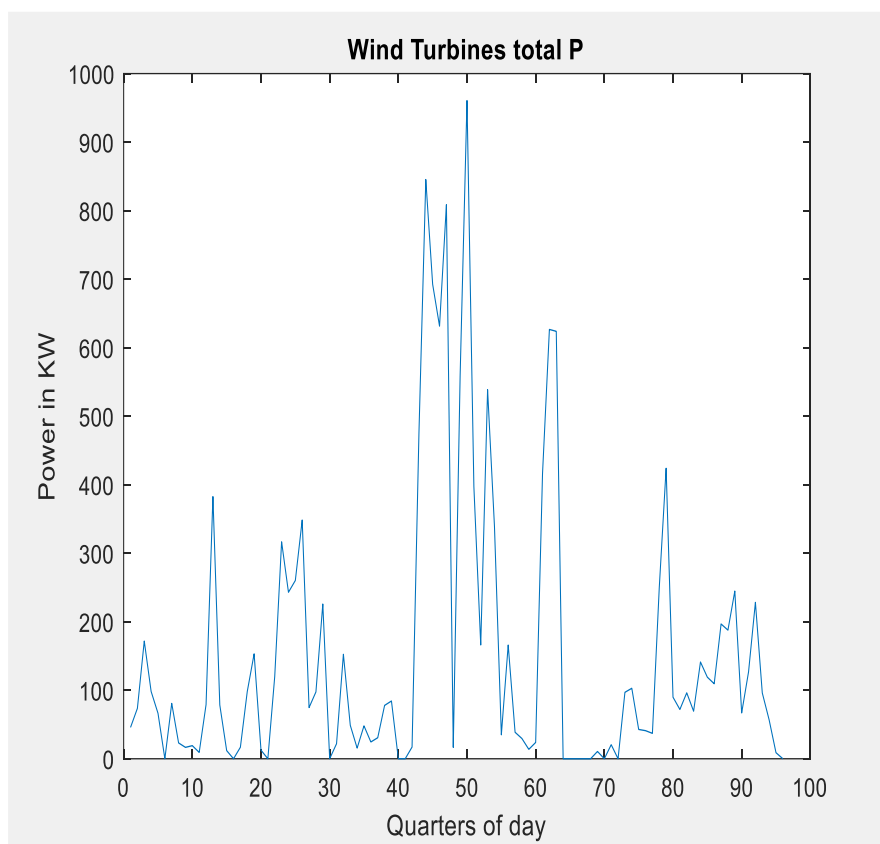
Όπου:

- $P_{D_i}(t)$ είναι η τιμή ζήτησης του φορτίου που έχει ο ζυγός i σε (KW).
- $P_{RES_i}(t)$ είναι η ισχύς που παράγουν οι Α.Π.Ε. στο ζυγό i σε (KW).

Το i παίρνει τιμές από 1 έως 33 όσοι δηλαδή και οι ζυγοί του συστήματος και το t που είναι ο χρόνος παίρνει τιμές από 1 έως 96 όσα δηλαδή είναι και τα τέταρτα στα οποία χωρίζεται ένα εικοσιτετράωρο.

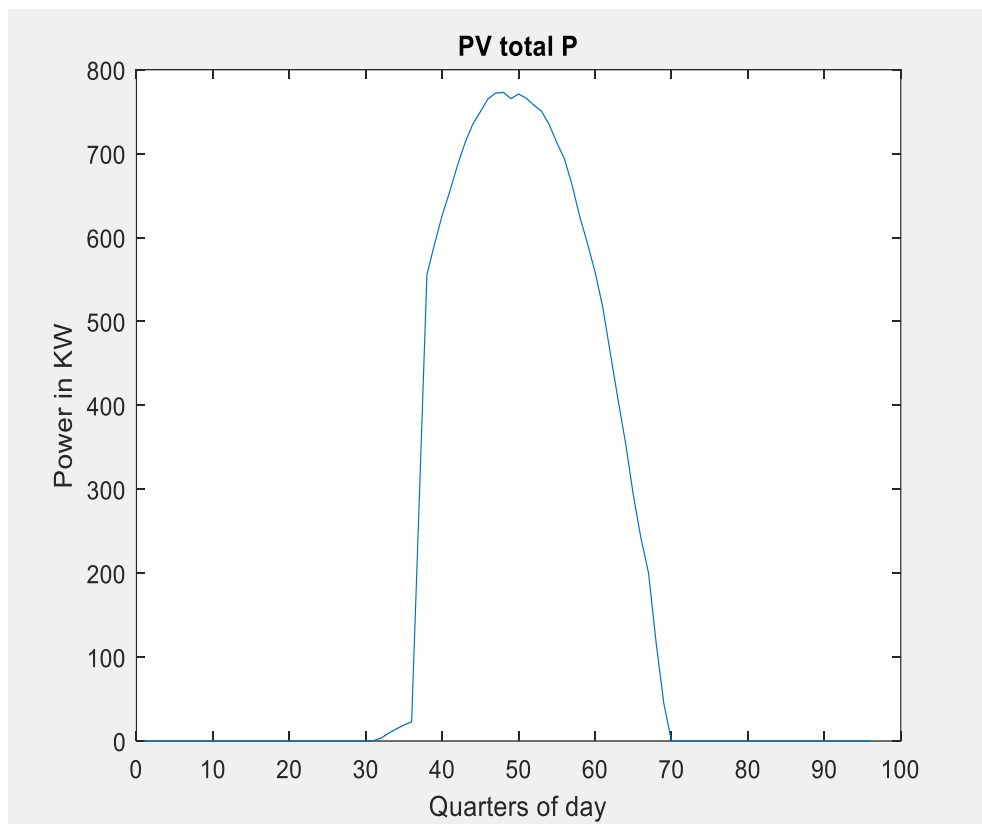
Η εικόνα η οποία βρίσκεται παρακάτω αναφέρεται στο διάγραμμα της ημερήσιας παραγωγής ισχύος, που έχει το αιολικό μας πάρκο το οποίο τοποθετήθηκε στο ζυγό 29 του δικτύου μας.

Λόγω της τυχειότητας η οποία διέπει γενικότερα τα ανεμολογικά δεδομένα και συγκεκριμένα την ένταση του ανέμου, παρατηρούνται στο διάγραμμα έντονες διακυμάνσεις. Το σημείο στο οποίο υπάρχει η αιχμή της παραγωγής ενεργού ισχύος προς το δίκτυο είναι κατά τις μεσημεριανές ώρες, το οποίο κατά προσέγγιση είναι της τάξεως του 1 MW. Θεωρήθηκε ότι ο συντελεστής ισχύος του Αιολικού Πάρκου είναι μηδενικός $\cos\phi=0$, το οποίο σημαίνει ότι η παραγόμενη αεργος ισχύς είναι μηδενική.



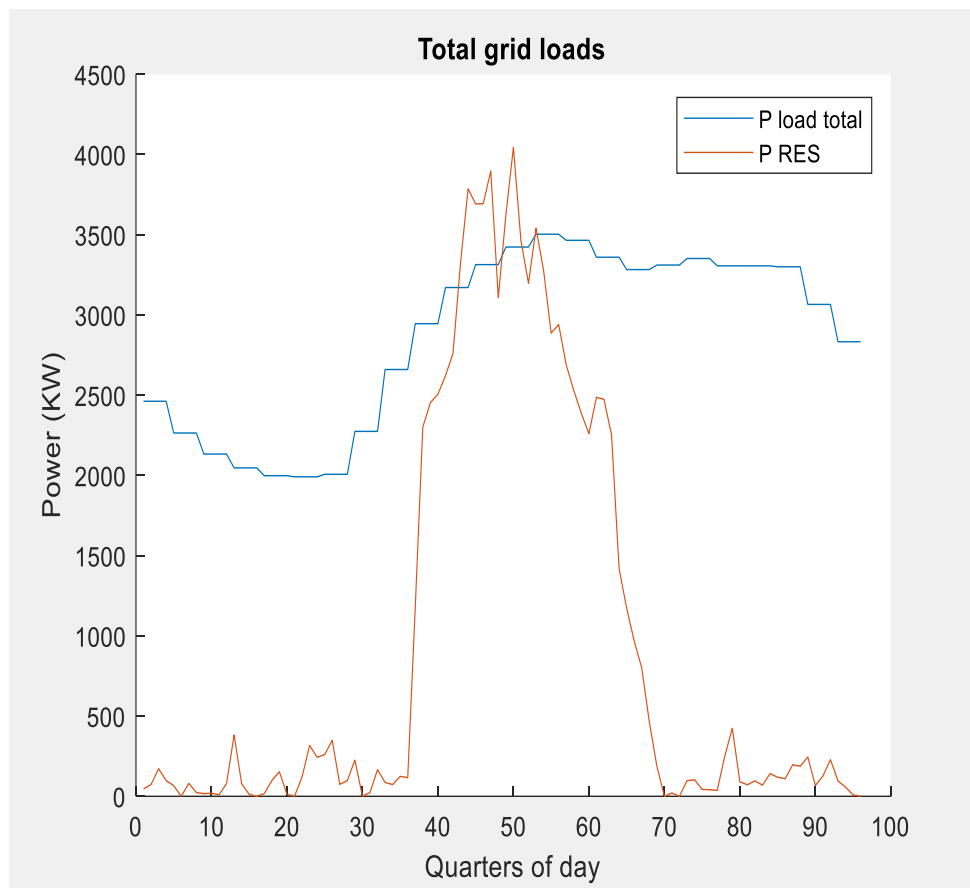
Εικόνα 8.3 :Διάγραμμα της ημερήσιας παραγωγής ισχύος που έχει το Αιολικό Πάρκο.

Αντίστοιχα η εικόνα που ακολουθεί αφορά την ημερήσια καμπύλη ενεργού ισχύος που παράγει το φωτοβολταϊκό μας πλαίσιο, το οποίο έχει ενταχθεί σε πέντε ζυγούς του συστήματος μας. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση με το Αιολικό Πάρκο, θεωρούμε πως δεν παράγεται αεργος ισχύς από το φωτοβολταϊκό μας πλαίσιο. Σε ότι αφορά το διάγραμμα της παραγόμενης ισχύος, όπως είναι αναμενόμενο τις πρώτες πρωινές ώρες και τις βραδινές ώρες δεν παράγεται ισχύς από την στιγμή που δεν έχουμε την ύπαρξη του ήλιου. Η ισχύς η οποία παράγεται μοιάζει με μία καμπανοειδή καμπύλη η οποία έχει μέγιστη τιμή κατά προσέγγιση στα 800 KW.



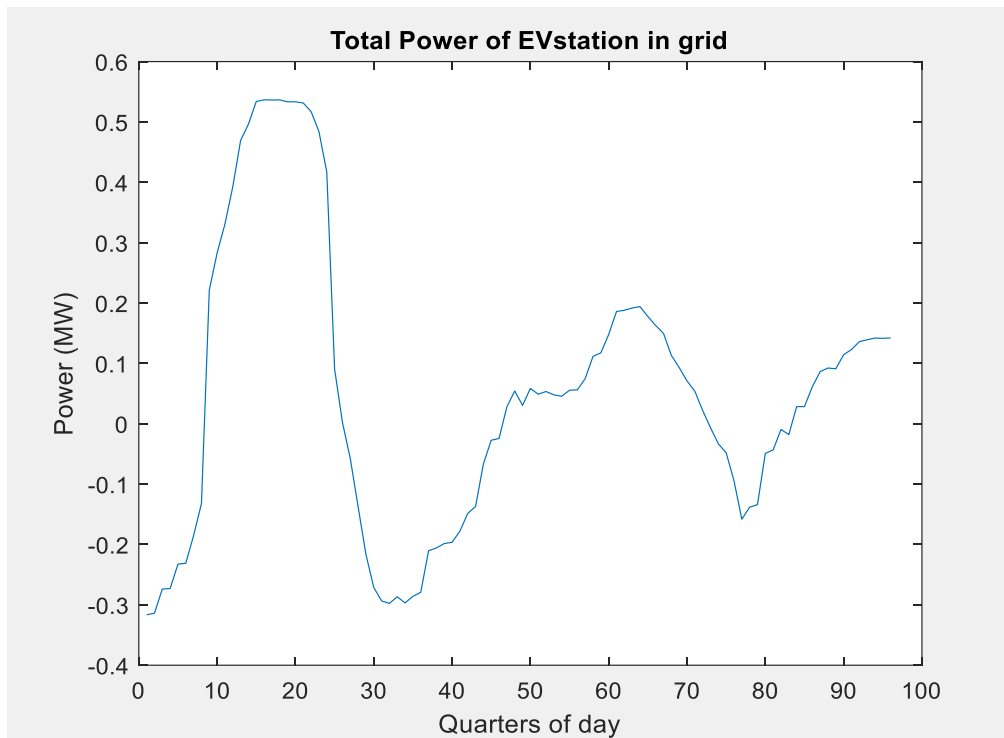
Εικόνα 8.4 :Διάγραμμα ημερήσιας καμπύλης παραγωγής ενεργού ισχύος των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Τέλος η εικόνα που αναφέρεται παρακάτω περιλαμβάνει το συνολικό φορτίο ζήτησης σε KW, του δικτύου και τη συνολική ημερήσια παραγωγή ενεργού ισχύος των Α.Π.Ε., δηλαδή των πέντε φωτοβολταϊκών πλαισίων και του ενός Αιολικού Πάρκου.



Εικόνα 8.5 :Γράφημα συνολικού φορτίου ζήτησης του δικτύου σε αντιστοιχία με την συνολική παραγόμενη ισχύ από Α.Π.Ε.

Για να ολοκληρωθεί η περιγραφή του δικτύου διανομής των 33 ζυγών, έχοντας πλέον τελειώσει με την περιγραφή των Α.Π.Ε. στο δίκτυο, δεν έχει αναφερθεί ακόμα η συνεισφορά που έχουν οι τέσσερις σταθμοί φόρτισης συνολικά στο δίκτυο. Ουσιαστικά πρόκειται για το συνδυασμό των διαγραμμάτων ισχύος, που παράγονται για τα τέσσερα παρκινγκ από τη βελτιστοποίηση-ελαχιστοποίηση του κόστους των σταθμών φόρτισης, μέσω της μεθόδου του γραμμικού προγραμματισμού. Αυτό το οποίο παρατηρείται σε αυτό το διάγραμμα, όπως και στα τέσσερα διαγράμματα τα οποία με το άθροισμά τους απαρτίζουν το συνολικό, στο οποίο και αναφερόμαστε, είναι ότι στις τιμές που η KWh ελαχιστοποιείται, τόσο περισσότερο φορτίζουν οχήματα στους σταθμούς, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος. Ενώ στις περιπτώσεις που η τιμή της KWh είναι ακριβή, δεν είναι βέλτιστο να φορτίζουν οχήματα, με αποτέλεσμα να δίνεται ισχύς προς το δίκτυο κάποιες από αυτές τις ώρες.



Εικόνα 8.6 :Συνολικό διάγραμμα ενεργού ισχύος των σταθμών φόρτισης μετά τη διαδικασία της βελτιστοποίησης τους.

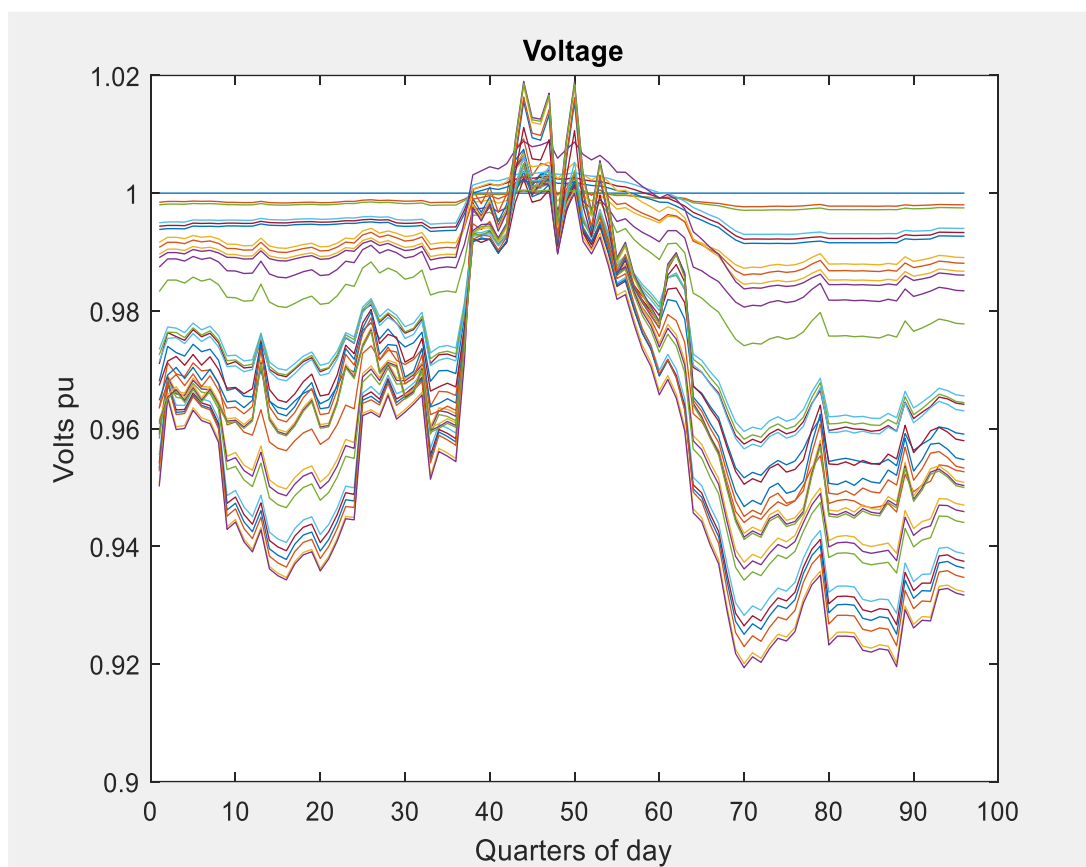
8.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ροής ισχύος του συστήματος μας και οι επιδράσεις που προκαλεί η τοποθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, σε σημαντικά μεγέθη του δικτύου διανομής, όπως οι τάσεις των ζυγών, οι απώλειες της ενεργού και αέργου ισχύος του δικτύου στο εικοσιτετράωρο, καθώς και η συνολική επίδραση που υπάρχει στο συνολικό φορτίο ζήτησης, αλλά και η συνολική άεργος ισχύς του συστήματος.

Στο δίκτυο μας η εκτέλεση της ροής ισχύος του δικτύου γίνεται μέσω της συνάρτησης του εργαλείου MATPOWER runpf, στην οποία μέσα εισάγουμε σαν παράμετρο το case file, το οποίο στην προκειμένη περίπτωση είναι το case33bw του MATPOWER. Μετά την εκτέλεση της συνάρτησης, παράγονται αποτελέσματα τα οποία αποθηκεύονται σε μια μεταβλητή result η οποία είναι struct και εντός αυτής περιέχονται πληροφορίες για την τάση, την ισχύ, αλλά και άλλα μεγέθη χρήσιμα για να εξάγουμε συμπεράσματα για την λειτουργία του δικτύου. Η συνάρτηση runpf στη συγκεκριμένη εργασία, εκτελείται συνολικά 96 φορές, δηλαδή για κάθε τέταρτο της ημέρας, αφού τα δεδομένα μας στο συνολικό φορτίο ζήτησης του δικτύου, η ενεργός ισχύς που παράγεται από Α.Π.Ε. καθώς και η παραγωγή ισχύος των σταθμών φόρτισης, διαφοροποιούνται

ανά τέταρτο. Με αυτόν τον τρόπο συλλέγουμε τις πληροφορίες- αποτελέσματα τα οποία εξάγονται, προκειμένου στο τέλος να παρουσιάσουμε τη συνολική συμπεριφορά του δικτύου κατά τη διάρκεια μίας ημέρας.

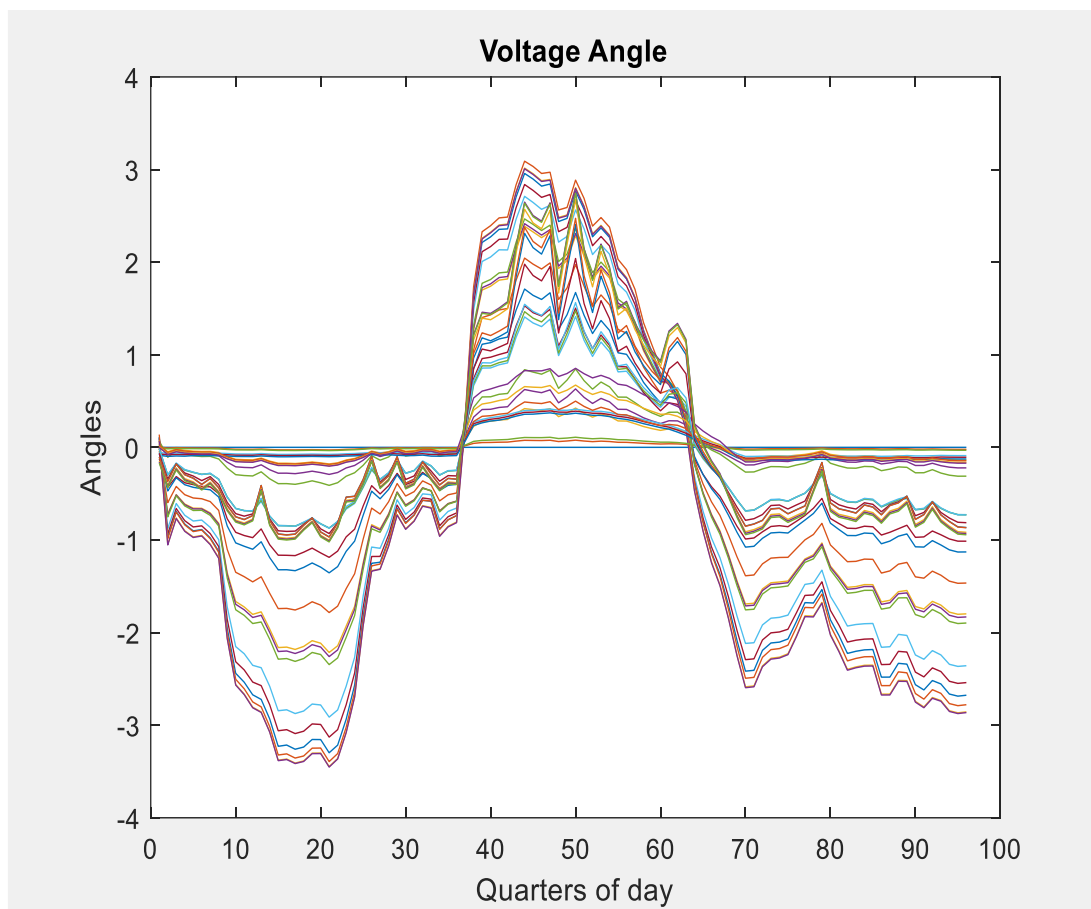
Ξεκινώντας με την επεξεργασία των αποτελεσμάτων θα μιλήσουμε για τις τάσεις των ζυγών του δικτύου. Στην εικόνα που ακολουθεί αναπαρίστανται οι τάσεις σε κάθε ζυγό του δικτύου καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 8.7 :Διάγραμμα τάσεων των ζυγών του δικτύου κατά τη διάρκεια μίας ημέρας.

Όπως βλέπουμε οι τάσεις κυμαίνονται από 0.92 α.μ. μέχρι και 1.02 α.μ. ,οι τιμές αυτές αποτελούν την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή αντίστοιχα, που αναπτύσσονται στους ζυγούς του συστήματος μετά την εκτέλεση της ροής ισχύος στο δίκτυο. Η ανύψωση των τάσεων των ζυγών παρατηρείται κατά τις μεσημεριανές ώρες, πράγμα το οποίο οφείλεται στο γεγονός ότι εκείνη τη χρονική περίοδο γίνεται και η μεγαλύτερη διείσδυση ηλεκτρικής ισχύος από τις Α.Π.Ε. προς το δίκτυο, καθώς πέρα από τον ζυγό στον οποίο είναι τοποθετημένες οι Α.Π.Ε., επηρεάζονται και οι τάσεις των γειτονικών ζυγών, αλλά και εξαιτίας του ότι συνεισφέρουν και οι ίδιοι οι σταθμοί φόρτισης στο δίκτυο. Σε ότι αφορά τις πτώσεις τάσης που παρατηρούνται σε κάποια τέταρτα της

ημέρας, αυτές οφείλονται στην αυξημένη ζήτηση ισχύος που έχει το δίκτυο, παράλληλα με τη μειωμένη παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εκείνες τις ώρες λειτουργίας του δικτύου. Στο παρακάτω διάγραμμα θα δούμε το πώς συμπεριφέρονται οι γωνίες των τάσεων του δικτύου, οι οποίες όπως βλέπουμε τη χρονική περίοδο, που υπάρχει μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις Α.Π.Ε., τότε οι γωνίες των τάσεων των ζυγών αντίστοιχα μεγαλώνουν.



Εικόνα 8.8 :Διάγραμμα γωνιών των τάσεων των ζυγών του δικτύου, κατά τη διάρκεια μίας ημέρας.

Επίσης σημαντική επίδραση στις τάσεις των ζυγών, που είναι τοποθετημένοι οι σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, έχει η παρουσία του ελεγκτή αέργου ισχύος των πάρκινγκ την οποία θα αναλύσουμε παρακάτω. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο σενάρια. Το πρώτο σενάριο είναι η παρουσία ελεγκτή αέργου ισχύος στα πάρκινγκ και το δεύτερο αναφέρεται στη λειτουργία του σταθμού χωρίς αυτόν. Ουσιαστικά αυτός ο ελεγκτής αέργου ισχύος χρησιμοποιήθηκε, ώστε τα πάρκινγκ να μπορούν να απορροφούν ή να παράγουν άεργο ισχύ προς το δίκτυο. Στην περίπτωση που βρισκόμαστε στο πρώτο σενάριο ο τύπος με τον οποίο εισάγεται ο ελεγκτής αέργου ισχύος των πάρκινγκ είναι ο εξής:

$$Q_{parking_i}(t) = 10 \times P_{max_i}(t) \times (V(t-1) - 1) \quad (8.5)$$

Όπου :

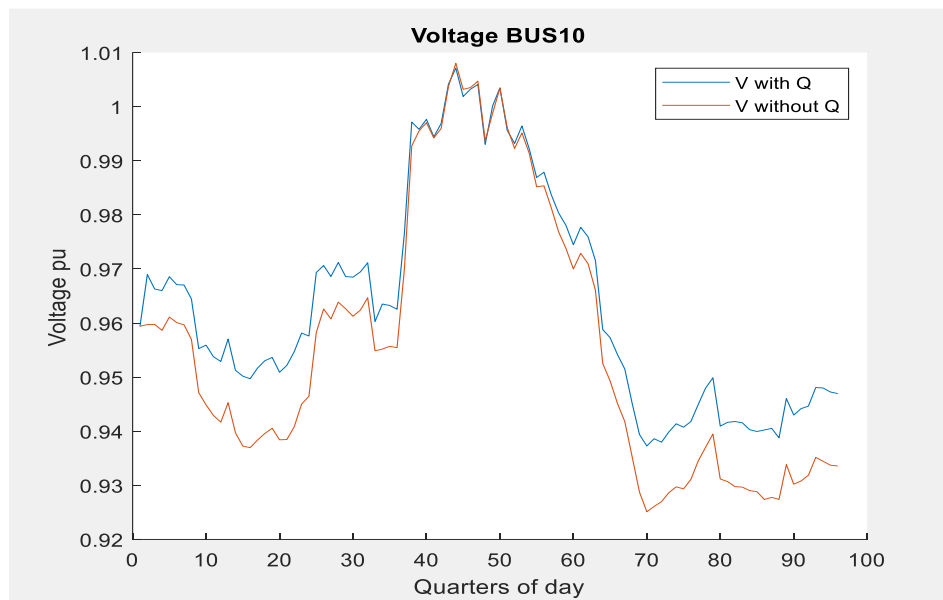
- $Q_{parking_i}(t)$,είναι η άεργος ισχύς σε (kVAr) που παράγει η απορρόφα ο i -οστός σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, το t αντιπροσωπεύει το τέταρτο της ημέρας, όπου το t παίρνει τιμές από 1 έως 96. Στην περίπτωση που η τιμή είναι θετική σημαίνει, ότι ο σταθμός φόρτισης απορροφά άεργο ισχύ, πράγμα το οποίο συμβαίνει όταν η τάση V είναι μεγαλύτερη του 1 α.μ. Σε αντίθετη περίπτωση ο σταθμός φόρτισης παράγει άεργο ισχύ. Η τιμή που υπολογίζεται , αθροίζεται κάθε φορά στην άεργο ισχύ, που έχει ο ζυγός ανάλογα το τέταρτο της ημέρας.
- $P_{max_i}(t)$, είναι η μέγιστη ισχύς σε (KW) η οποία έχει ο i -οστός σταθμός φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων το t τέταρτό της ημέρας.
- $V(t-1)$, είναι η τάση σε (p.u) την οποία έχει ο ζυγός το προηγούμενο τέταρτο της ημέρας, η οποία έχει υπολογιστεί από την επίλυση της ροής ισχύος στο δίκτυο που έχει προηγηθεί.

Ο ελεγκτής άεργου ισχύος επειδή εισάγεται στο δίκτυο σαν φορτίο επηρεάζοντας την άεργο ισχύ του εκάστοτε ζυγού, διέπεται από το παραπάνω τύπο που διατυπώσαμε. Τέλος, ο αριθμός 10 που υπάρχει στον τύπο, τοποθετήθηκε για να υπάρχει καλύτερη αντιστάθμιση.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει ελεγκτής άεργου ισχύος στους σταθμούς φόρτισης, τότε η άεργος ισχύς που έχουν τα πάρκινγκ είναι μηδενική, αυτό σημαίνει πώς ούτε απορροφούν, ούτε παράγουν άεργο ισχύ. Έτσι λοιπόν ο τύπος είναι:

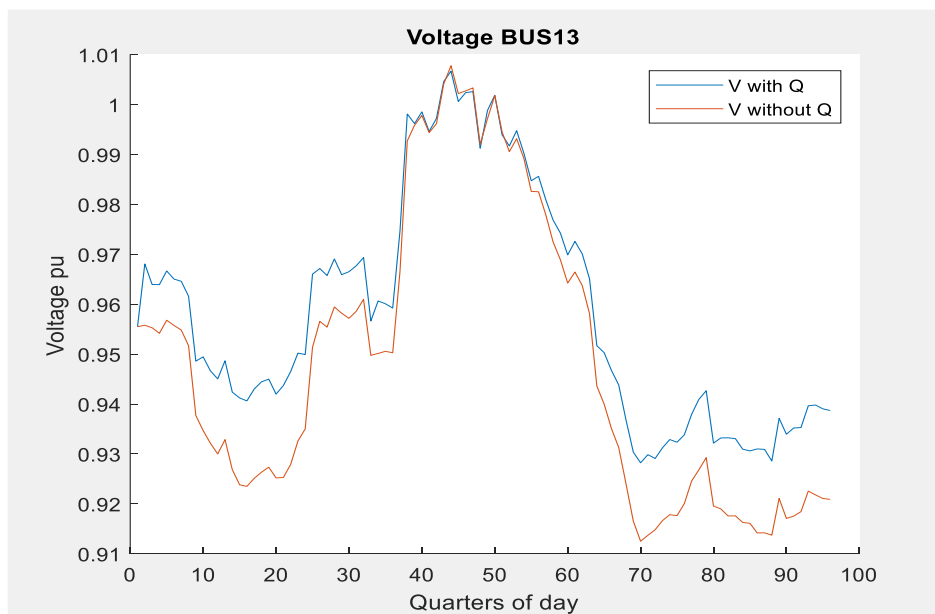
$$Q_{parking_i}(t) = 0 \text{ για } \forall t \quad (8.6)$$

Έχοντας αυτά τα δύο σενάρια για τους σταθμούς φόρτισης μπορούμε να κάνουμε σύγκριση αποτελεσμάτων για τη συμπεριφορά την οποία έχουν οι τάσεις των ζυγών, στους οποίους είναι τοποθετημένα τα πάρκινγκ μας. Η σύγκριση αυτή γίνεται μέσω των τεσσάρων διαγραμμάτων τα οποία ακολουθούν παρακάτω και τα οποία αναφέρονται στους τέσσερις ζυγούς, που έχουν τοποθετηθεί τα πάρκινγκ. Σε αυτά τα διαγράμματα αναπαρίστανται δύο γραφήματα, ένα για την περίπτωση που υπάρχει ελεγκτής άεργου ισχύος και ένα χωρίς ελεγκτή. Αυτό το οποίο παρατηρείται είναι ότι στο γράφημα χωρίς την παρουσία του ελεγκτή, οι τάσεις είναι πιο χαμηλές κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου, πλην των τέταρτων της ημέρας, που η τάση ξεπερνάει το 1 α.μ., που εκεί είναι λίγο μεγαλύτερες σε σχέση με το γράφημα των τάσεων με την παρουσία του ελεγκτή άεργου ισχύος. Αυτό συμβαίνει γιατί στην περίπτωση που οι σταθμοί απορροφούν άεργο ισχύ όταν οι τάσεις υπερβαίνουν το 1 α.μ , ο έλεγχος της άεργου ισχύος προσπαθεί να επαναφέρει τις τάσεις στο 1 α.μ ,οπότε είναι λογικό να είναι λίγο μικρότερες, σε σχέση με την εκτέλεση όταν το $Q_{parking}$ είναι ίσο με μηδέν.



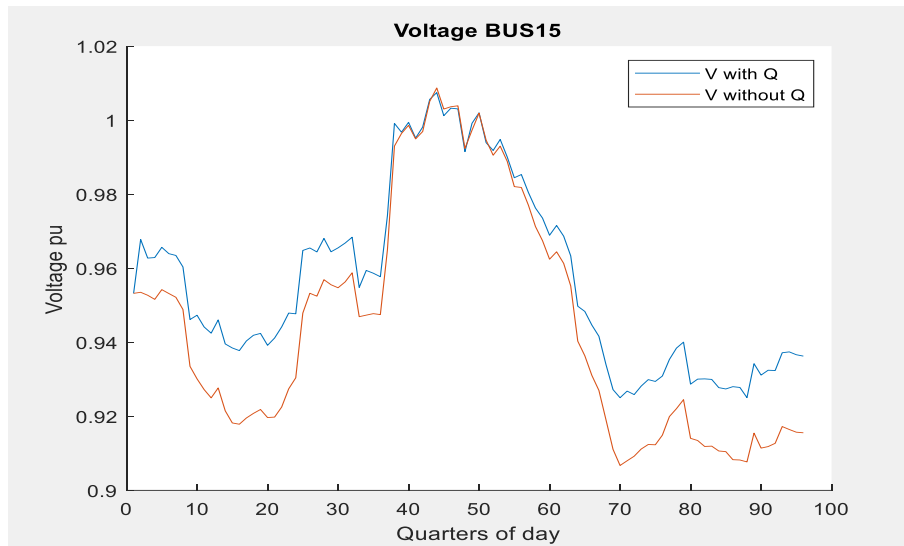
Εικόνα 8.9 :Σύγκριση γραφημάτων του ζυγού 10 του δικτύου με την παρουσία ή μη ελεγκτή αέργου ισχύος στο πάρκινγκ, στη διάρκεια μίας ημέρας

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα με μπλε χρώμα αναπαρίσταται η γραφική παράσταση της τάσης του ζυγού 10 καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου με την παρουσία του ελεγκτή αέργου ισχύος και με κόκκινο χρώμα χωρίς την παρουσία του. Όπως βλέπουμε οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο γραφημάτων των τάσεων κυμαίνονται στο 1%.



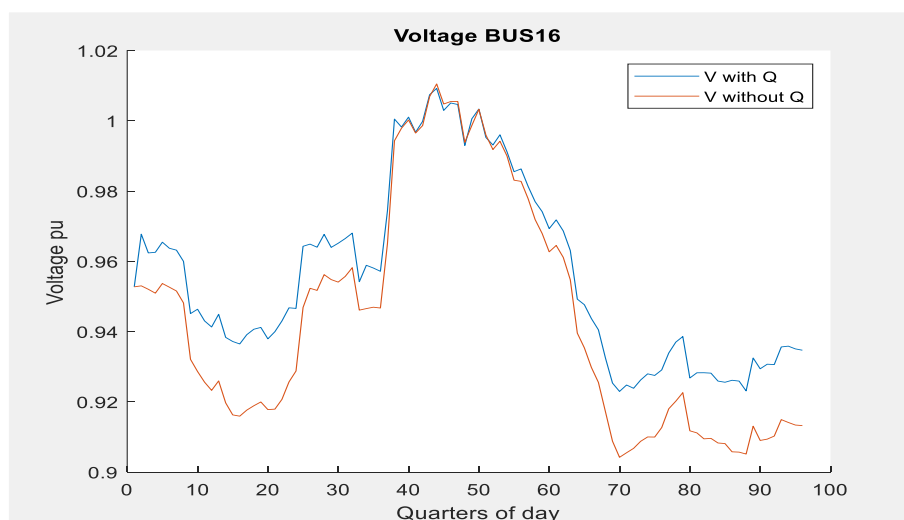
Εικόνα 8.10 :Σύγκριση γραφημάτων του ζυγού 13 του δικτύου με την παρουσία ή μη ελεγκτή αέργου ισχύος στο πάρκινγκ, στη διάρκεια μίας ημέρας

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα με μπλε χρώμα αναπαρίσταται η γραφική παράσταση της τάσης του ζυγού 13 καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου με την παρουσία του ελεγκτή αέργου ισχύος και με κόκκινο χρώμα χωρίς την παρουσία του. Όπως βλέπουμε οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο γραφημάτων των τάσεων κυμαίνονται στο 1%.



Εικόνα 8.11 :Σύγκριση γραφημάτων του ζυγού 15 του δικτύου με την παρουσία ή μη ελεγκτή αέργου ισχύος στο πάρκινγκ, στη διάρκεια μίας ημέρας

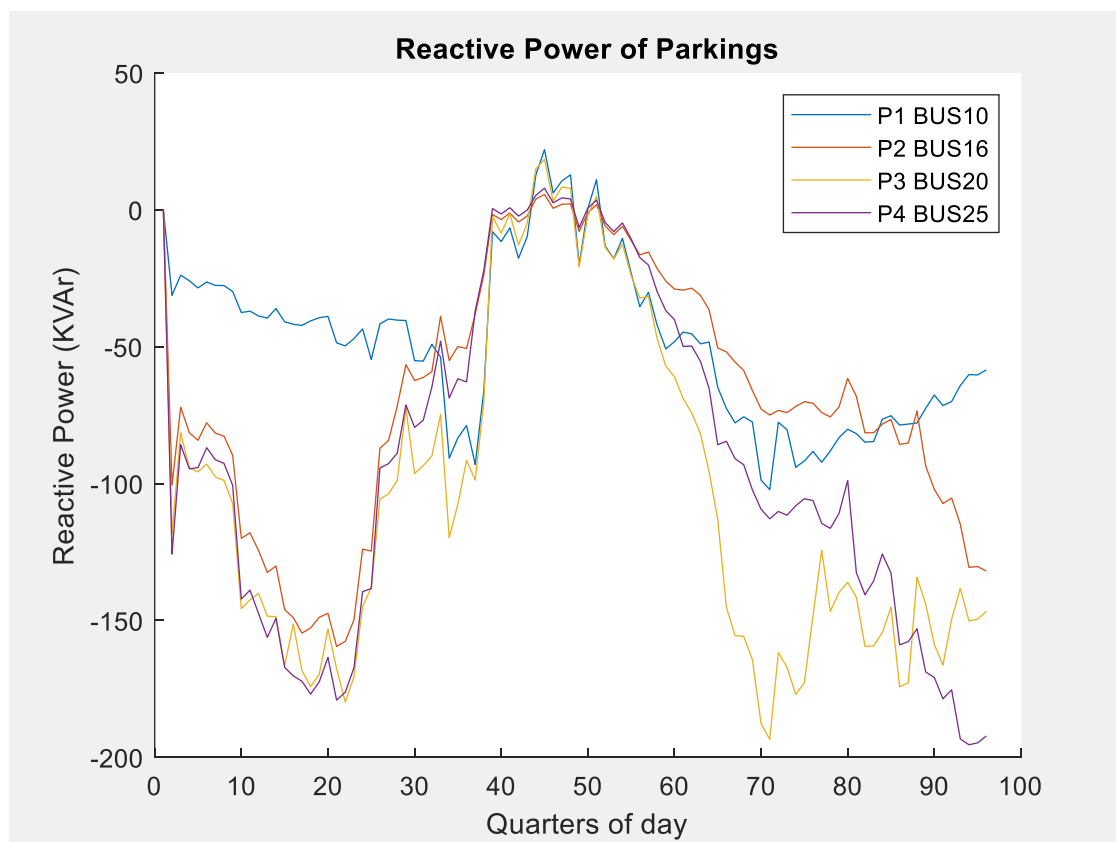
Στο συγκεκριμένο διάγραμμα με μπλε χρώμα αναπαρίσταται η γραφική παράσταση της τάσης του ζυγού 16 καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου με την παρουσία του ελεγκτή αέργου ισχύος και με κόκκινο χρώμα χωρίς την παρουσία του. Όπως βλέπουμε οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο γραφημάτων των τάσεων κυμαίνονται στο 1%.



Εικόνα 8.12 :Σύγκριση γραφημάτων του ζυγού 16 του δικτύου με την παρουσία ή μη ελεγκτή αέργου ισχύος στο πάρκινγκ, στη διάρκεια μίας ημέρας

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα με μπλε χρώμα αναπαρίσταται η γραφική παράσταση της τάσης του ζυγού 16 καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου με την παρουσία του ελεγκτή αέργου ισχύος και με κόκκινο χρώμα χωρίς την παρουσία του. Όπως βλέπουμε οι αποκλίσεις μεταξύ των δύο γραφημάτων των τάσεων κυμαίνονται στο 1%.

Για να ολοκληρωθεί η περιγραφή των διαγραμμάτων του ελεγκτή αέργου ισχύος, θα πρέπει να παρουσιαστεί και το διάγραμμα της αέργου ισχύος κάθε σταθμού φόρτισης. Σε αυτό το διάγραμμα παρουσιάζεται για κάθε σταθμό η συνεισφορά του ελεγκτή. Όταν οι τιμές είναι θετικές, σημαίνει πώς ο σταθμός απορροφά άεργο ισχύ, ενώ όταν είναι αρνητικές σημαίνει πώς παράγει. Από το παρακάτω διάγραμμα είναι εμφανές, πώς τα τέταρτα της ημέρας, που οι σταθμοί απορροφούν άεργο ισχύ είναι, όταν οι τάσεις υπερβαίνουν το 1 α.μ.



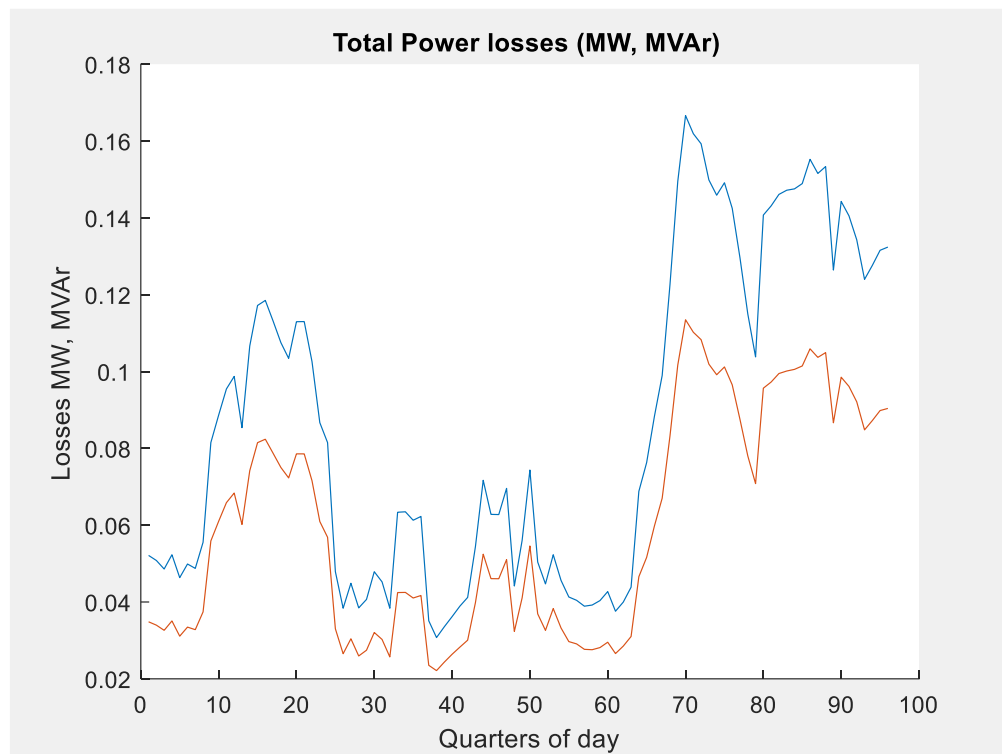
Εικόνα 8.13 :Γραφικές παραστάσεις των διαγραμμάτων αέργου ισχύος κάθε πάρκινγκ που είναι εγκατεστημένο στο δίκτυο.

Στο ανωτέρω διάγραμμα με μπλε χρώμα αναπαρίσταται το γράφημα της αέργου ισχύος σε (kVAr) του σταθμού φόρτισης στο Εθνικό Δίκτυο, με κόκκινο χρώμα του σταθμού φόρτισης σε μία μικρή γειτονιά μίας πόλης, με κίτρινο χρώμα του σταθμού φόρτισης ταξί και με μωβ χρώμα του σταθμού φόρτισης σε μία μεγαλύτερη γειτονιά μίας πόλης. Παρατηρείται πως η μεγαλύτερη

απορρόφηση αέργου ισχύος γίνεται στους σταθμούς φόρτισης στο Εθνικό Δίκτυο και στον σταθμό φόρτισης ταξί. Πράγμα το οποίο οφείλεται στο ότι αυτοί οι σταθμοί έχουν πολλά περισσότερα οχήματα να εξυπηρετούν από τους υπόλοιπους δύο και το P_{max} τους είναι μεγαλύτερο τις περισσότερες ώρες στη διάρκεια της ημέρας, καθώς και στα πλάτη των τάσεων που έχουν οι ζυγοί που είναι τοποθετημένα.

Στη συνέχεια της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, θα μιλήσουμε για τις ενεργές και άεργες απώλειες του δικτύου μας. Συγκεκριμένα θα δούμε σε γραφήματα τις συνολικές απώλειες του δικτύου ανά τέταρτο στη διάρκεια μίας ημέρας, με τοποθετημένους τους σταθμούς φόρτισης και τις Α.Π.Ε. Επίσης θα γίνει η ανάλυση των δύο σεναρίων στα πάρκινγκ με την παρουσία ή μη του ελεγκτή της αέργου ισχύος και θα δούμε πιο από τα δύο αυτά σενάρια είναι το βέλτιστο για το δίκτυο μας. Κριτήριο για το καλύτερο σενάριο θα αποτελέσουν οι μέσες συνολικές ενεργές και άεργες απώλειες του δικτύου, από τις οποίες θα γίνει η σύγκριση των δύο σεναρίων.

Στα παρακάτω διαγράμματα έχουμε τις συνολικές απώλειες του δικτύου χωρίς την παρουσία του ελεγκτή αέργου ισχύος.



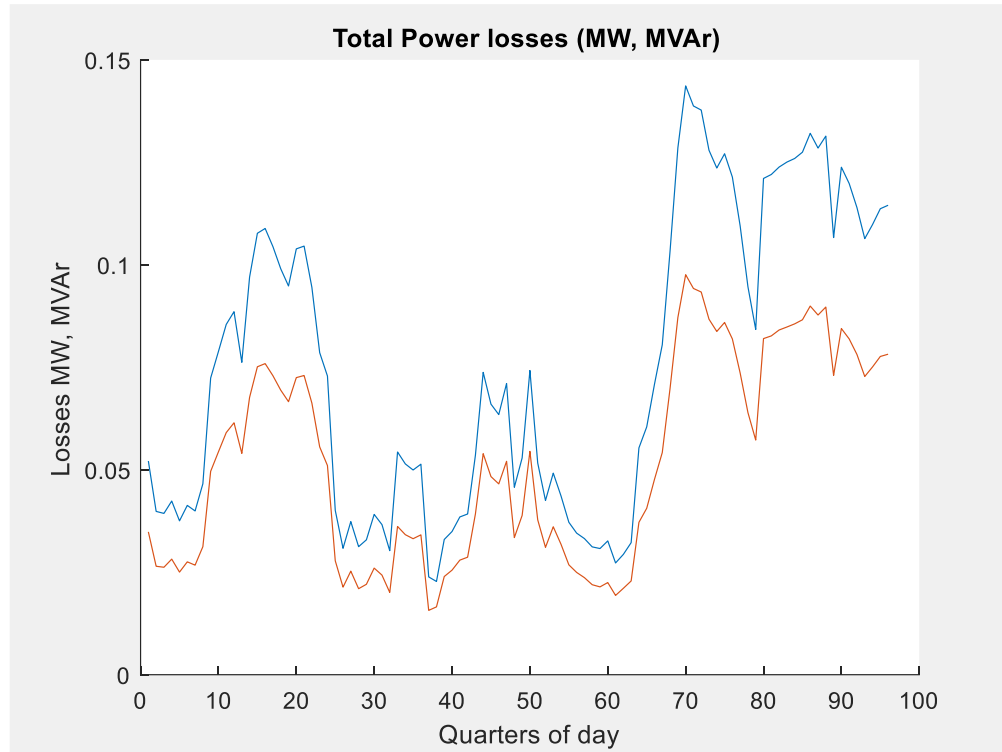
Εικόνα 8.14 :Απώλειες ενεργού και αέργου ισχύος του δικτύου διανομής χωρίς την παρουσία του ελεγκτή αέργου ισχύος στα πάρκινγκ.

Από το συγκεκριμένο διάγραμμα οι μέσες τιμές οι οποίες προκύπτουν είναι οι παρακάτω:

- $P_{L\mu} = 86.47KW$

- $Q_{L_{\mu}} = 59.59 \text{ KVar}$

Στη συνέχεια παρουσιάζεται και το διάγραμμα των συνολικών απωλειών του δικτύου με την παρουσία του ελεγκτή αέργου ισχύος.



Εικόνα 8.15 :Απώλειες ενεργού και αέργου ισχύος του δικτύου διανομής με την παρουσία του ελεγκτή αέργου ισχύος στα πάρκινγκ.

Από το συγκεκριμένο διάγραμμα οι μέσες τιμές οι οποίες προκύπτουν είναι οι παρακάτω:

- $P_{L_{\mu}} = 75.15 \text{ KW}$
- $Q_{L_{\mu}} = 51.79 \text{ KVar}$

Όπως βλέπουμε και από τα διαγράμματα οι μέσες τιμές των απωλειών ενεργού και αέργου ισχύος χωρίς την παρουσία του ελεγκτή στα πάρκινγκ είναι μεγαλύτερες. Βάσει των παραπάνω διαγραμμάτων γίνεται αντιληπτό ότι, η παρουσία των ελεγκτών αέργου ισχύος στα πάρκινγκ, συνεισφέρει στη μείωση των απωλειών της ενεργού και αέργου ισχύος του δικτύου μας. Προκειμένου να υπάρχει μία σαφέστερη εικόνα για την αποτελεσματικότητα στη μείωση των απωλειών του δικτύου, παρακάτω υπολογίζονται και τα αντίστοιχα ποσοστά της μείωσης των απωλειών ενεργού και αέργου ισχύος με τη χρήση του συγκεκριμένου σεναρίου. Έτσι λοιπόν η μείωση στις απώλειες ενεργού ισχύος του δικτύου με το σενάριο της παρουσίας του ελεγκτή αέργου

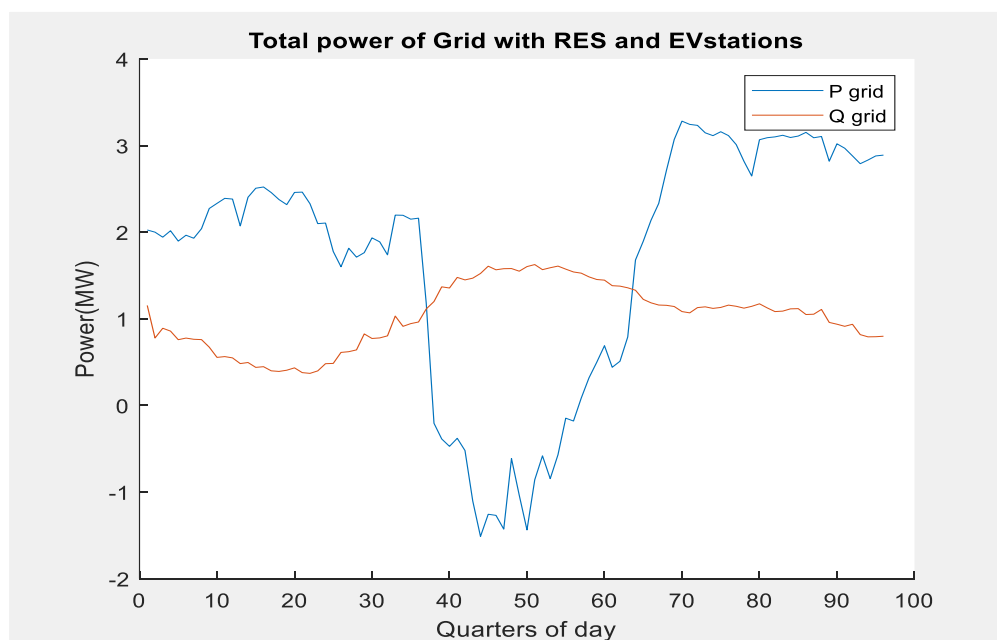
ισχύος, σε σχέση με τα δεδομένα χωρίς την παρουσία του είναι σε ποσοστό:

$$P_{\text{losses}}\% = \frac{86.47-75.15}{86.47}\% = 13.09\% \quad (8.7)$$

Ενώ το αντίστοιχο ποσοστό μείωσης των απωλειών αέργου ισχύος του δικτύου είναι:

$$Q_{\text{losses}}\% = \frac{59.59-51.79}{59.59}\% = 13.09\% \quad (8.8)$$

Έτσι λοιπόν παρατηρείται περίπου το ίδιο ποσοστό μείωσης, στις συνολικές απώλειες αέργου και ενεργού ισχύος του δικτύου. Τέλος, για να κλείσει αυτό το κεφάλαιο, επισυνάπτεται παρακάτω το συνολικό διάγραμμα του φορτίου ζήτησης του δικτύου διανομής, ουσιαστικά αναφέρεται στην συνολική ισχύ ενεργό και άεργο, την οποία έχουν οι ζυγοί του συστήματος ανά τέταρτο της ημέρας, με την παρουσία των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, την παρουσία του ελεγκτή και με τη συνεισφορά των Α.Π.Ε. στο δίκτυο.



Εικόνα 8.16 :Συνολικό διάγραμμα φορτίου ζήτησης δικτύου διανομής μετά την εισαγωγή των Α.Π.Ε. και των πάρκινγκ με τον ελεγκτή αέργου ισχύος.

Σε αυτό το διάγραμμα η βύθιση η οποία παρατηρείται στην ενεργό ισχύ του δικτύου, οφείλεται στο γεγονός ότι εκείνες τις ώρες γίνεται η μέγιστη συνεισφορά των πέντε φωτοβολταϊκών πλαισίων, καθώς και το σημείο αιχμής της παραγωγής του Αιολικού Πάρκου στο δίκτυο.

8.3 ΚΟΣΤΟΣ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Σε αυτή την παράγραφο θα αναφερθούμε στο κόστος που έχει ο κάθε σταθμός φόρτισης στις

περιπτώσεις της «έξυπνης» - ελεγχόμενης φόρτισης και της «χαζής» - μη ελεγχόμενης φόρτισης, καθώς και τα ποσοστά σε κέρδος τα οποία μπορεί να εκμεταλλευτεί ο διαχειριστής των συγκεκριμένων σταθμών, με τη χρήση της ελεγχόμενης φόρτισης. Με τον όρο ελεγχόμενη φόρτιση αναφερόμαστε στον τρόπο φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων λαμβάνοντας υπόψιν την τιμή της κιλοβατώρας που μεταβάλλεται εντός του εικοσιτετράωρου. Στο συγκεκριμένο είδος φόρτισης η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων γίνεται κυρίως τις ώρες, που η τιμή της κιλοβατώρας είναι χαμηλή, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιείται σε αρκετές περιπτώσεις το κόστος των σταθμών φόρτισης. Αντίθετα, με τον όρο μη ελεγχόμενη φόρτιση αναφερόμαστε στη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων η οποία ξεκινάει με την ώρα άφιξης τους στο σταθμό, λειτουργώντας στο επίπεδο ισχύος που καθορίζουν εκείνα χωρίς να λαμβάνουν καθόλου υπόψιν την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Παρακάτω θα αναλυθεί πλήρως για κάθε σταθμό αλλά και συνολικά η επίδραση, που υπάρχει στο κόστος των σταθμών, κάνοντας χρήση των δύο αυτών μεθόδων φόρτισης και ποια από αυτές είναι πιο αποτελεσματική.

Σταθμός Φόρτισης στο Εθνικό Δίκτυο

Ξεκινώντας με τον σταθμό φόρτισης στο Εθνικό Δίκτυο, το κόστος το οποίο παράγεται από την **μη ελεγχόμενη φόρτιση** είναι της τάξης των **343,28 (€)**, ενώ στην περίπτωση της **ελεγχόμενης-«έξυπνης» φόρτισης** το αντίστοιχο κόστος ανέρχεται στο πόσο των **295,34 (€)**. Έτσι λοιπόν παρατηρούμε πως στη συγκεκριμένη περίπτωση η μέθοδος της ελεγχόμενης φόρτισης λειτουργεί πολύ αποδοτικά για τη μείωση του κόστους λειτουργίας του σταθμού, σε συνολικό ποσοστό:

$$\text{PercentOfprofit}_{\text{parking1}} \% = \frac{343,28 - 295,34}{343,28} \% = 13,97\% \quad (8.9)$$

Όπως βλέπουμε στη συγκεκριμένη περίπτωση το ποσοστό μείωσης του κόστους του σταθμού φόρτισης, είναι πολύ σημαντικό καθώς πρόκειται για μία σημαντική μείωση του συνολικού κόστους που δεν θα είχαμε αν η φόρτιση γινόταν μη ελεγχόμενα.

Σταθμός Φόρτισης Ταξί

Στον σταθμό φόρτισης ταξί το κόστος λειτουργίας μέσω της μεθόδου της **μη ελεγχόμενης φόρτισης** ανέρχεται στο χρηματικό αντίτιμο των **613,88 (€)**, ενώ στην περίπτωση της **«έξυπνης» - ελεγχόμενης φόρτισης** το κόστος λειτουργίας του σταθμού είναι της τάξεως των **544,61 (€)**.

Από τους συγκεκριμένους αριθμούς του κόστους του σταθμού στα δύο διαφορετικά είδη φόρτισης γίνεται αντιληπτό ότι η ελεγχόμενη φόρτιση είναι πολύ πιο αποδοτική από την μη ελεγχόμενη, καθώς το κόστος λειτουργίας μειώνεται αισθητά. Το ποσοστό της μείωσης στο κόστος του συγκεκριμένου σταθμού υπολογίζεται παρακάτω και είναι ίσο με:

$$\text{PercentOfprofit}_{\text{parking3}} \% = \frac{613.88 - 544.61}{613.88} \% = 11.28\% \quad (8. 10)$$

Παρατηρούμε πώς υπάρχει ποσοστιαία μείωση στο κόστος της τάξεως του 11.28% πράγμα το οποίο μας δείχνει πως με την χρήση της ελεγχόμενης φόρτισης έχουμε μία σημαντική μείωση στο κόστος, την οποία δεν θα επιτυγχάναμε στην περίπτωση της μη ελεγχόμενης φόρτισης.

Σταθμός φόρτισης σε μία μικρή γειτονιά μίας πόλης

Στον συγκεκριμένο σταθμό φόρτισης το κόστος λειτουργίας με την μέθοδο της **μη ελεγχόμενης φόρτισης** ανέρχεται στο ποσό των **160,6 (€)** ενώ στην περίπτωση της φόρτισης με την μέθοδο της «**έξυπνης**» – **ελεγχόμενης φόρτισης** είναι **141,96 (€)** . Κατά την διενέργεια της συγκεκριμένης εκτέλεσης του κώδικα για τον συγκεκριμένο σταθμό φόρτισης, το κόστος της έξυπνης φόρτισης προκύπτει μικρότερο από αυτό της μη ελεγχόμενης φόρτισης. Το ποσοστό της μείωσης του κόστους στην προκειμένη περίπτωση, είναι ικανοποιητικό και σε τάξη μεγέθους κοντά στα ποσοστά που προκύπτουν στους δύο σταθμούς που αναλύσαμε παραπάνω. Συγκεκριμένα το ποσοστό κέρδους ανέρχεται:

$$\text{PercentOfprofit}_{\text{parking2}} \% = \frac{160,6 - 141,96}{160,6} \% = 11,6\% \quad (8. 11)$$

Σε κάποιες περιπτώσεις εκτέλεσης του προγράμματος για τον συγκεκριμένο σταθμό, παρατηρούμε πως και οι δύο μέθοδοι φόρτισης προσεγγιστικά έχουν το ίδιο περίπου κόστος, πράγμα το οποίο σηματοδοτεί ότι η μέθοδος της έξυπνης φόρτισης δεν λειτουργεί τόσο αποδοτικά, όσο θα θέλαμε. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις δομές αφίξεων - αναχωρήσεων που διέπουν τη λειτουργία του σταθμού και στην εικοσιτετράωρη χρονοσειρά της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς ο σταθμός δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί πλήρως με τις συγκεκριμένες δομές αφίξεων αναχωρήσεων, τις ώρες κατά τις οποίες η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων είναι πιο οικονομική. Επίσης επηρεάζει σημαντικά το γεγονός ότι τα οχήματα φορτίζουν σχετικά γρήγορα με αποτέλεσμα να μην παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα εντός του σταθμού. Συνέπεια των ανωτέρω γεγονότων, είναι ότι μπορεί να παρατηρηθεί από τις εκτελέσεις του αλγορίθμου βελτιστοποίησης του κόστους του σταθμού, ότι η μέθοδος της ελεγχόμενης – «έξυπνης» φόρτισης, έχει λίγο μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με αυτή της μη ελεγχόμενης.

Σταθμός φόρτισης σε μία μεγαλύτερη γειτονία μίας πόλης

Σε αυτό το είδος σταθμού φόρτισης του οποίου η λογική των δομών αφίξεων αναχωρήσεων είναι παρόμοια με αυτή του ανώτερου σταθμού φόρτισης, παρατηρούμε μια διαφορετική συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα το κόστος στη συγκεκριμένη εκτέλεση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης το οποίο υπολογίστηκε για την **μη ελεγχόμενη φόρτιση** ανέρχεται στο ποσό των **242,22(€)**, ενώ για την περίπτωση της **ελεγχόμενης φόρτισης** το ποσό είναι της τάξεως των **236,35 (€)**. Το ποσοστό της μείωσης του κόστους στην προκειμένη περίπτωση είναι αρκετά μικρότερο σε σύγκριση με τα ποσοστά που προκύπτουν στους τρεις ανωτέρω σταθμούς που αναλύσαμε. Συγκεκριμένα το ποσοστό κέρδους ανέρχεται:

$$\text{PercentOfprofit}_{\text{parking2}} \% = \frac{242,22 - 236,35}{242,22} \% = 2.42\% \quad (8. 12)$$

Όπως και στον προηγούμενο σταθμό έτσι και σε αυτόν παρατηρείται σε κάποιες εκτελέσεις του προγράμματος ότι η ελεγχόμενη φόρτιση είναι αποδοτική καθώς μειώνει το κόστος λειτουργίας του σταθμού, αλλά όχι σε μεγάλο βαθμό. Πράγμα το οποίο οφείλεται στο γεγονός ότι τα οχήματα με τις δομές αφίξεων και αναχωρήσεων που διέπουν την λειτουργία του σταθμού δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν πλήρως την εικοσιτετράωρη χρονοσειρά της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, τις στιγμές που οι τιμές της κιλοβατώρας είναι χαμηλές. Επίσης άλλος ένας παράγοντας ο οποίος επηρεάζει και οδηγεί στο συγκεκριμένο αποτέλεσμα, είναι το γεγονός ότι τα οχήματα δεν παραμένουν πολύ ώρα εντός του σταθμού φόρτισης. Εξαιτίας των ανωτέρω γεγονότων υπάρχουν και εκτελέσεις του αλγορίθμου βελτιστοποίησης του κόστους του σταθμού, που παρατηρείται ότι η μέθοδος της ελεγχόμενης – «έξυπνης» φόρτισης έχει λίγο μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με αυτή της μη ελεγχόμενης.

Συνολικό Κόστος σταθμών φόρτισης

Έχοντας το κόστος λειτουργίας του εκάστοτε σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, με την χρήση των δύο μεθόδων φόρτισης είναι πολύ εύκολο να προβούμε σε μια συνολική ανάλυση για την επιτακτική ανάγκη της χρήσης της ελεγχόμενης φόρτισης, στους σταθμούς των ηλεκτρικών οχημάτων γενικότερα, καθώς ο διαχειριστής των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, μπορεί να πετύχει τη μείωση του κόστους των σταθμών αυτών. Σύμφωνα με τις ανωτέρω τιμές του κόστους στους σταθμούς φόρτισης, το συνολικό κόστος το οποίο προκύπτει με την μέθοδο της **μη ελεγχόμενης φόρτισης** στο εικοσιτετράωρο, ανέρχεται στο ποσό των **1.359,98 (€)**, ενώ το αντίστοιχο συνολικό κόστος που προέρχεται από την μέθοδο της **ελεγχόμενης φόρτισης** είναι

της τάξεως των **1.218,26 (€)**. Όπως φαίνεται συνολικά το κόστος φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων με τη μέθοδο της ελεγχόμενης – «έξυπνης» φόρτισης είναι αισθητά χαμηλότερο από αυτό της μεθόδου της μη ελεγχόμενης φόρτισης, ακόμα και στην προκειμένη περίπτωση που ο ένας από τους τέσσερις σταθμούς εξαιτίας των λόγων που αναφέρθηκαν παραπάνω δεν μπορεί στην συγκεκριμένη εκτέλεση του αλγορίθμου να είναι αποδοτικός στη μέθοδο αυτή. Έτσι λοιπόν προκύπτει η διαφορά των 141,72 (€) το οποίο αποτελεί και το συνολικό κέρδος που έχει ο διαχειριστής των σταθμών αυτών, κατά την διάρκεια μίας ημέρας. Ποσοστιαία η μείωση του κόστους υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο και το ποσοστό αυτό είναι το εξής:

$$\text{TotalPercentOfprofit}_{\text{parkings}} \% = \frac{1.359,98 - 1.218,26}{1.359,98} \% = 0.1042 \% = 10,42\% \quad (8.13)$$

Παρατηρούμε πως πρόκειται για ένα σημαντικό ποσοστό μείωσης, στο συνολικό κόστος λειτουργίας των σταθμών φόρτισης. Προφανώς αυτό το ποσοστό μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερο στην περίπτωση που γινόταν χρήση σταθμών, όπως οι δύο πρώτοι ή παρόμοιου τύπου, καθώς όπως βλέπουμε τα ποσοστά κέρδους είναι σημαντικά. Επίσης το μεγαλύτερο πλήθος σταθμών φόρτισης θα μας βοηθούσε περισσότερο να δούμε τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου, καθώς τα ποσοστά κέρδους που θα υπήρχαν, θα ήταν κατά πολύ μεγαλύτερα από το συγκεκριμένο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εισαγωγή των ηλεκτρικών οχημάτων στις μέρες που ζούμε γίνεται όλο και πιο έντονη. Αυτό αποδεικνύεται και από την πλευρά των αυτοκινητοβιομηχανιών, αλλά και από τις ίδιες τις κυβερνήσεις. Από την πλευρά τους οι βιομηχανίες αυτοκινήτων οδηγούνται στη δημιουργία ηλεκτρικών οχημάτων, ενώ από την άλλη πλευρά οι κυβερνήσεις προσφέρουν επιχορηγήσεις, σε όσους κάνουν την ενέργεια της αγοράς ενός ηλεκτρικού οχήματος και παράλληλα διαμορφώνουν τους αντίστοιχους χώρους, οι οποίοι θα εξυπηρετούν τα οχήματα στο κομμάτι της φόρτισης τους. Σε ένα δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας η παρουσία των ηλεκτρικών οχημάτων, θα αποτελεί ένα επιπρόσθετο φορτίο, που θα μεταβάλλει την καμπύλη του φορτίου του συστήματος μας. Έτσι λοιπόν η ένταξη των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο και κατά συνέπεια των σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, θα πρέπει να γίνει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, έτσι ώστε πέρα από την λειτουργία τους σαν παθητικά φορτία, να μπορούν να συνεισφέρουν στο δίκτυο, όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο από το διαχειριστή του δικτύου.

Προκειμένου λοιπόν η εισαγωγή των σταθμών φόρτισης να γίνεται με το καλύτερο δυνατό τρόπο στην παρούσα διπλωματική εργασία δημιουργήθηκαν σταθμοί φόρτισης, οι οποίοι λειτουργούν βέλτιστα εκμεταλλευόμενοι τη χαμηλή τιμή της κιλοβατώρας σε ημερήσια βάση, προκειμένου να φορτίζουν τα οχήματα εκείνες τις ώρες λειτουργίας, έτσι ώστε το κόστος λειτουργίας των πάρκινγκ να ελαχιστοποιείται και όταν η τιμή της κιλοβατώρας είναι ακριβή, τότε να συνεισφέρει στην κάλυψη των υπηρεσιών του δικτύου διανομής.

Η παρουσία των Α.Π.Ε., σε συνδυασμό με τους σταθμούς φόρτισης, αποφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε ένα δίκτυο διανομής, αλλά αν στους σταθμούς αυτούς προσαρμοστεί ένας ελεγκτής αέργου ισχύος, τότε η λειτουργία του είναι ακόμα καλύτερη. Η παρουσία αυτού του ελεγκτή στα πάρκινγκ συνεισφέρει σε δύο σημαντικά μεγέθη του δικτύου.

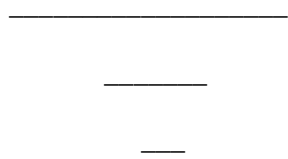
- Τα επίπεδα τάσεων των ζυγών και
- Τις συνολικές απώλειες ενεργές και άεργες

Ξεκινώντας με τις τάσεις του δικτύου. Τα επίπεδα τάσεων του δικτύου με την παρουσία του ελεγκτή αέργου ισχύος των πάρκινγκ, παρατηρείται πώς κυμάνθηκαν στα επιθυμητά όρια τιμών μεταξύ 0.92 και 1.02 α.μ. Όταν οι τιμές αυτές υπερβαίνουν το 1 α.μ., προσπαθεί να επαναφέρει τα μέτρα των τάσεων στο 1 α.μ. και έτσι παρατηρούμε ότι οι τάσεις των ζυγών στους οποίους έχουν εγκατασταθεί τα πάρκινγκ, στο σενάριο χωρίς την παρουσία του ελεγκτή, είναι κατά λίγο υψηλότερες, από αυτές με το σενάριο της εφαρμογής του ελεγκτή αέργου ισχύος. Γενικότερα πλην της ανωτέρω περίπτωσης, οι τιμές τάσεων στο σενάριο της μη παρουσίας του ελεγκτή ήταν πιο χαμηλές κατά 1% ή και περισσότερο, εντός κάποιων ωρών στη διάρκεια της ημέρας, σε

κάποιους από τους τέσσερις ζυγούς, στους οποίους έχει γίνει η εγκατάσταση των σταθμών φόρτισης. Στο γεγονός αυτό συνέβαλε ενεργά η ευελιξία που παρείχαν τα ηλεκτρικά οχήματα στο διαχειριστή, για τη διαχείριση της αέργου ισχύος του δικτύου.

Σε ότι αφορά το κόστος των σταθμών φόρτισης, αποδείχτηκε πως η μέθοδος της ελεγχόμενης – «έξυπνης» φόρτισης είναι αποδοτικότερη, καθώς μπορεί και φορτίζει τα οχήματα με τέτοιο τρόπο, ώστε να διασφαλίζεται η ελαχιστοποίηση του κόστους των σταθμών. Συγκεκριμένα λαμβάνει υπόψη της, τις διακυμάνσεις που έχει η τιμή της κιλοβατώρας στο εικοσιτετράωρο και προσπαθεί να πετύχει τη φόρτιση όσο το δυνατόν περισσότερων οχημάτων, τις ώρες που η τιμή της κιλοβατώρας είναι σε χαμηλά επίπεδα. Όπως είδαμε και στο συνολικό διάγραμμα ισχύος των σταθμών φόρτισης με τη συγκεκριμένη μέθοδο (διάγραμμα 8.6) το μέγιστο peak στην κατανάλωση ισχύος των σταθμών, υπάρχει τις ώρες που η τιμή της κιλοβατώρας είναι χαμηλή. Έτσι βάση του κόστους που προκύπτει από την ελεγχόμενη – «έξυπνη» φόρτιση σε κάθε σταθμό και συνολικά, σε σύγκριση με το κόστος το οποίο προκύπτει από την μη ελεγχόμενη φόρτιση παρατηρούμε, ότι πιο αποδοτική μέθοδος φόρτισης είναι η ελεγχόμενη, καθώς μειώνει το κόστος λειτουργίας των σταθμών.

Τέλος, πολύ σημαντική ήταν η συνεισφορά στην μείωση των ενεργών και άεργων απωλειών του δικτύου, με το σενάριο της παρουσίας του ελεγκτή αέργου ισχύος στα πάρκινγκ, να παρουσιάζει ποσοστό μείωσης και στα δύο είδη απωλειών 13.09%. Έτσι βλέπουμε πως η διείσδυση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο, μπορεί να συνεισφέρει αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση σημαντικών ζητημάτων και ότι πέρα από τη μείωση των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας και την επίτευξη των επιθυμητών τάσεων στους ζυγούς, η χρήση των μπαταριών των ηλεκτρικών οχημάτων ως αποθηκευτικό μέσον, θα μπορέσει να συνεισφέρει στο δίκτυο όταν υπάρχει ανάγκη, για την κάλυψη του φορτίου ζήτησης ειδικά στις ώρες αιχμής του φορτίου.-



Βιβλιογραφία

- [1] Βουρνάς Κ. & Κονταξής Γ. (2010). Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Αθήνα: ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ
- [2] Νικόλαος Α. Βοβός & Γαβλιήλ Β. Γιαννακόπουλος (2008). Ανάλυση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας. Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ
- [3] Stavrakakis GS (2012) Electrical Parts of Wind Turbines. In: Sayigh A, (ed.) Comprehensive Renewable Energy, Vol 2, pp. 269–328. Oxford: Elsevier.
- [4] Βελτισιακάκης Κωνσταντίνος Καπαρός – Τσάφος Δημήτριος «V2G :Τα ηλεκτρικά οχήματα στην αγορά ενέργειας». Διπλωματική Εργασία.
- [5] Πάσχου Δροσιά (Σεπτέμβριος 2016). «Ανάλυση μοντέλου ενεργειακής διαχείρισης στόλου ηλεκτρικών οχημάτων σύμφωνα με την ελαστικότητα που προσφέρουν οι χρήστες ηλεκτρικών οχημάτων» Αθήνα, Μεταπτυχιακή Εργασία
- [6] Ray D. Zimmerman & Carlos E. Murillo-Sanchez (December 2016). Matpower 6.0 User's Manual.
- [7] Evangelos L. Karfopoulos & Nikos D. Hatziaargyriou (May 2013). A Multi-Agent System for Controlled Charging of a Large Population of Electric Vehicle. IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 28, No. 2
- [8] Ιωάννης Στ. Ψαρράς (Μάρτιος 2018) . «Σύστημα Ελέγχου Φόρτισης Ηλεκτρικών Οχημάτων με Βέλτιστη Λειτουργία του Δικτύου Διανομής» Χανιά, Διπλωματική Εργασία.
- [9] Παύλος Σ. Γεωργιάκης (2015). Σύγχρονα Συστήματα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας .
- [10] Φωτοβολταϊκό φαινόμενο –Wikipedia
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8C%CF%86%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF>
- [11] Φωτοβολταϊκά συστήματα – Wikipedia
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8C%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1>
- [12] Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ). Online:
<https://www.admie.gr/>.
- [13] Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ). Online:
<https://www.deddie.gr/>
- [14] Ray D. Zimmerman, Member IEEE, Carlos E. Murillo-Sanchez, Member IEEE, and Robert J. Thomas, Life Fellow IEEE. MATPOWER: Steady-State Operation, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education
- [15] Χατζηγεωργίου Δημήτριος (Χανιά 2015). « Βέλτιστη διαστασιολόγηση και επιλογή θέσεων σύνδεσης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής με χρήση ευρετικού αλγορίθμου». Διπλωματική Εργασία.
- [16] Ευάγγελος-Ιάσων Πολύδωρος (Χανιά, Απρίλιος 2017). «Βέλτιστος προγραμματισμός λειτουργίας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με μεγάλη διείσδυση αιολικής παραγωγής». Διπλωματική Εργασία.

- [17] Δρ. Ηλίας Κυριακίδης. «Βέλτιστη ροή ισχύος/ Optimal power flow»
- [18] Ιωάννα Π. Καρκατσούλη (Αθήνα, Οκτώβριος 2010). «Επιδράσεις της σύνδεσης ηλεκτρικών οχημάτων σε δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και μελέτη αύξησης της διείσδυσης ΑΠΕ». Διπλωματική Εργασία.
- [19]<https://energyin.gr/2013/01/04/%CE%B1%CE%B4%CE%BC%CE%B7%CE%B5-%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1-%CF%83%CF%8D%CE%BD%CE%B4%CE%B5%CF%83%CE%B7%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%BF-%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC/>
- [20] <http://roscovnicoff.blogspot.com/2010/10/blog-post.html>
- [21] <https://www.fleetcarma.com/how-electric-vehicle-batteries-work/>
- [22]<https://www.americanprogress.org/issues/green/reports/2018/06/07/451722/plug-electric-vehicle-policy/>
- [23] <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work>
- [24]<http://www.eng.ucy.ac.cy/elias/Courses/ECE445/presentations/Lectures2010/Distributed%20Generation1.pdf>
- [25] Κωνσταντίνος Β. Καραμήτρος (Αθήνα, Οκτώβριος 2019). «Εφαρμογή αλγορίθμων βελτιστοποίησης λειτουργίας του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της Θεσσαλονίκης». Διπλωματική Εργασία.
- [26] <https://aboutelectric.gr/index.php/fotovoltaiika-systimata>
- [27] Κωνσταντίνα Χαραλαμπάκη. «Τεχνικές απαιτήσεις – λύσεις για την επίτευξη μεγάλης κλίμακας αξιοποίησης των Α.Π.Ε.». Διπλωματική Εργασία.
- [28] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε), www.rae.gr
- [29] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, www.ypen.gov.gr
- [30] Διαχειριστής Α.Π.Ε. & Εγγυήσεων Προέλευσης, www.dapeep.gr
- [31] Καραμπέκιος Αναστάσιος (Αθήνα, 2017). « Επίλυση Προβλημάτων Βελτιστοποίησης με Χρήση της Μεθόδου του Διαδοχικού Τετραγωνικού Προγραμματισμού (SQP) και εφαρμογές». Διπλωματική Εργασία.
- [32]http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHOTES/SEMINARIA/PALAIOTERA_SEMINARIA/FWTOVOLTAIKA_MARCH_11/DAY1.pdf
- [33] Wikipedia. The free encyclopedia <http://en.wikipedia.org> .-