



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ
ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΜΟΝΙΜΗ
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ
ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΠΕ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΩΑΝΝΑ Π. ΚΑΡΚΑΤΣΟΥΛΗ

Επιβλέπων : Χατζηαργυρίου Νικόλαος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ
ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΜΟΝΙΜΗ
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ
ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΠΕ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΙΩΑΝΝΑ Π. ΚΑΡΚΑΤΣΟΥΛΗ

Επιβλέπων : Χατζηαργυρίου Νικόλαος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2010

.....
Χατζηαργυρίου Νικόλαος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Παπαθανασίου Σταύρος

Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
ΙΩANNA Π. ΚΑΡΚΑΤΣΟΥΛΗ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ιωάννα Π. Καρκατσούλη, 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 τον 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 Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στους γονείς μου και στον αδερφό μου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των βασικών μεγεθών των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, όταν σε αυτά συνδέονται ηλεκτρικά οχήματα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς επίσης και η εξέταση της δυνατότητας συνεργασίας μεταξύ των ηλεκτρικών οχημάτων και των ανανεώσιμων πηγών με σκοπό την αύξηση της διείσδυσης τους στο δίκτυο.

Για την πραγματοποίηση της μελέτης λαμβάνονται δυο γραμμές διανομής με πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά: μια αγροτική γραμμή διανομής, μέρος ενός νησιωτικού δικτύου και μια αστική γραμμή, μέρος του διασυνδεδεμένου συστήματος.

Αρχικά, υπολογίζεται η μέγιστη επιτρεπτή διείσδυση αιολικών και φωτοβολταϊκών στα δίκτυα που εξετάζονται προκειμένου να τηρούνται τα όρια των τάσεων και της ροής ισχύος των γραμμών στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Επειτα, μελετάται η δυνατότητα αύξησης της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών με τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων ως μονάδων διεσπαρμένης αποθήκευσης. Τα οχήματα φορτίζουν τις ώρες κατά τις οποίες η παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών είναι μεγάλη σε σχέση με τη ζήτηση κι εκφορτίζουν στην αντίθετη περίπτωση. Η εκφόρτιση αναφέρεται και με τον όρο “λειτουργία V2G (Vehicle-to-grid)”. Για τον προσδιορισμό των ωρών φόρτισης κι εκφόρτισης των οχημάτων κατασκευάζεται αλγόριθμος στα πλαίσια της εργασίας. Οι ροές φορτίου πραγματοποιούνται με τη βοήθεια του λογισμικού EUROSTAG.

Στη συνέχεια, προσδιορίζονται οι επιπτώσεις που θα έχει η διείσδυση των οχημάτων στο αστικό δίκτυο διανομής και υπολογίζεται ο μέγιστος δυνατός αριθμός οχημάτων που μπορούν να συνδεθούν σε αυτό, για δυο ακραίες περιπτώσεις φόρτισης: οικιακή φόρτιση κατά τη διάρκεια της νύχτας (ώρες νυχτερινού τιμολογίου) και φόρτιση σε χώρους στάθμευσης κατά τη διάρκεια της ημέρας (ώρες εργασίας). Παράλληλα, εξετάζεται η πραγματοποίηση αρχικά ελεγχόμενης κι έπειτα μη ελεγχόμενης φόρτισης και συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Ακολουθεί η σύνδεση φωτοβολταϊκών στο δίκτυο προκειμένου να εξεταστεί η δυνατότητα αύξησης των συνδεδεμένων οχημάτων.

Στα πλαίσια των παραπάνω πραγματοποιείται και μια εκτενής ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τα ηλεκτρικά οχήματα και τον τρόπο με τον οποίο θα αλληλεπιδρούν με τα μελλοντικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και σχετικά με τη διεσπαρμένη παραγωγή και ειδικότερα τις ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά τα οποία αναμένεται να παίζουν όλο και σημαντικότερο ρόλο στην ενεργειακή παραγωγή.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ηλεκτρικά οχήματα, δίκτυα διανομής, Vehicle-to-grid (V2G), αύξηση ΑΠΕ, μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, Eurostag

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is to study the basic variables that characterize the distribution networks during the steady state operation, when electric vehicles and renewable energy sources are connected to them, as well as to examine the possibility of ‘co-operation’ between the vehicles and the renewable energy sources, in order to increase the penetration of both in the electricity grid.

Two distribution lines with very different characteristics are considered: a rural line, part of an island grid, and an urban line, part of the inter-connected system.

Firstly, the amount of wind turbines and photovoltaics that can be safely integrated in the distribution lines is calculated. Technical restrictions like voltage limits and branches’ congestion levels during the steady state operation are taken into account. Then, the possibility of an increase in renewable energy sources’ integration is examined with the aid of electric vehicles that are used as distributed storage units. The vehicles charge during the hours of significant renewable energy production in relation to demand and discharge in the opposite case. The discharging from a vehicle to the grid is known under the term “V2G or Vehicle-to-grid”. In order to determine the exact charging and discharging hours during the year an algorithm is designed as part of the diploma thesis. The EUROSTAG software is used for the load flow computations.

Next, the impacts that a progressive deployment of electric vehicles will provoke in the urban distribution grid are evaluated, and their maximum accepted penetration to it is calculated. Two different charging cases are considered: domestic charging during the night (hours of minimum energy demand) and charging in public parking places during the day (working hours). In addition, both a dumb charging method and a smart charging one are examined and the results are compared. Then, photovoltaics are connected to the grid in order to examine the possibility of increasing the maximum number of connected vehicles.

Within the above framework, a detailed review of the existing literature related to electric vehicles and the way in which they are going to interact with the future electricity networks is provided, as well as information concerning distributed generation and especially wind turbines and photovoltaics that are expected to play a very important role in energy production.

KEY WORDS

Electric vehicles, distribution networks, Vehicle-to-grid (V2G), RES increase, steady state, Eurostag

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2009-2010 υπό την επίβλεψη του κ. Νικολάου Χατζηαργυρίου, καθηγητή του ΕΜΠ, της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεσή της.

Με την ευκαιρία θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το διδάκτορα Εμμανουήλ Βουμβουλάκη για τις πολύτιμες συμβουλές και την υποστήριξή του καθόλη τη διάρκεια της εργασίας, καθώς επίσης και την υποψήφια διδάκτορα Εριέττα Ζουντουρίδου για τη βοήθεια και τη συνεργασία.

Επίσης, δε θα μπορούσα να παραλείψω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένεια μου, για τη στηριξή και την ενίσχυση που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος, θέλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους φίλους και τους συμφοιτητές μου για τα τόσο όμορφα χρόνια που περάσαμε μαζί.

Ιωάννα Καρκατσούλη
Οκτώβριος 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	12
1.1 ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	12
1.2 ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....	13
1.3 ΦΟΡΤΙΑ.....	14
1.4 ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	14
1.5 ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	17
1.6 ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΑΣΕΩΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....	18
2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ.....	19
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	19
2.2 Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ.....	19
2.2.1 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	20
2.2.2 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ.....	21
2.3 ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ.....	22
2.3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ GAUSS-SEIDEL.....	22
2.3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ NEWTON-RAPHSON.....	23
3. ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	25
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	25
3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....	28
4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	33
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	33
4.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	34
4.3 ΤΥΠΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	37
4.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	40
4.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	42
4.5.1 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΩΣ ΦΟΡΤΙΑ.....	42
4.5.2 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΩΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	45
4.6 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ VEHICLE-TO-GRID (V2G).....	45
4.6.1 ΑΓΟΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	46
4.6.1.1 ΙΣΧΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ (BASELOAD POWER).....	46
4.6.1.2 ΙΣΧΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΛΥΨΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΙΧΜΗΣ (PEAK POWER).....	47

4.6.1.3 ΕΠΙΚΟΥΡΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ (ANCILLARY SERVICES).....	47
4.6.2 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ-ΥΠΟΔΟΜΕΣ.....	49
4.6.3 ΙΣΧΥΣ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΡΟΣΦΕΡΕΙ ΕΝΑ ΟΧΗΜΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	51
5. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	53
5.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	53
5.2 ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	55
5.3 ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	56
5.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	58
5.5 ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	59
5.6 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΙ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ.....	62
6. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ.....	65
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	65
6.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΚΥΨΕΛΕΣ.....	66
6.3 ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ.....	68
6.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	70
6.5 ΣΥΝΔΕΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	74
6.6 Η ΑΓΟΡΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ.....	75
6.7 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ.....	79
7. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EUROSTAG.....	80
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	80
7.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ EUROSTAG.....	80
8. ΔΙΚΤΥΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ.....	84
8.1 ΔΙΚΤΥΟ Α.....	84
8.2 ΔΙΚΤΥΟ Β.....	87
9. ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1: V2G ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΠΕ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....	91
9.1 ΔΙΚΤΥΟ Α.....	91
9.1.1 ΣΕΝΑΡΙΑ.....	92
9.1.2 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΙ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	94
9.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	96
9.2 ΔΙΚΤΥΟ Β.....	108
9.2.1 ΣΕΝΑΡΙΑ.....	108
9.2.2 ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΙ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	110
9.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	115
10. ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2: ΟΡΙΑ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....	123
10.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	123

10.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	124
10.2.1 ΦΟΡΤΙΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΝΥΧΤΑΣ.....	124
10.2.2 ΦΟΡΤΙΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ.....	131
10.2.3 ΣΥΝΔΕΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ.....	140
11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ.....	148
11.1 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	148
11.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ.....	150
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	151
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	153

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Δομή Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και μέσων, τα οποία χρησιμεύουν στην εξυπηρέτηση των αναγκών ενός συνόλου καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια.

Ενα τυπικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνεται στα ακόλουθα τμήματα:

A) το *σύστημα παραγωγής*, που περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής, όπου παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα, μαζί με τους σταθμούς ανυψώσεως της τάσεως για τη μεταφορά του υπό υψηλή τάση

B) το *σύστημα μεταφοράς*, που περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσης, τους υποσταθμούς ζεύξεως των δικτύων αυτών, τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων τάσεων του δικτύου, και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσεως σε μέση τάση προς τροφοδότηση των δικτύων διανομής. Με το σύστημα μεταφοράς η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από τους σταθμούς παραγωγής προς τις περιοχές καταναλώσεως

Γ) το *σύστημα διανομής*, που περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσεως (μερικές φορές όμως και υψηλής τάσεως), στα οποία δίκτυα υπάγονται και οι υποσταθμοί διανομής μέσω των οποίων η μέση τάση υποβιβάζεται στη χαμηλή τάση. Με τα δίκτυα διανομής η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στις μικρότερες περιοχές φορτίου, και παρέχεται στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσεως.

Τρία γενικά χαρακτηριστικά σχεδιάσεως και αναφοράς ενός ηλεκτρικού δικτύου είναι η *τάση*, η *ισχύς βραχυκυκλώσεως* και η *στάθμη μονώσεως* αυτού. Τάση του δικτύου είναι η μέγιστη τάση λειτουργίας των ηλεκτρικών γραμμών. Ισχύς βραχυκυκλώσεως του δικτύου είναι η συμβατική ισχύς που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ, η οποία

αποδίδεται στο δίκτυο σε περίπτωση τριφασικού βραχυκυκλώματος μέσα σε αυτό. Η στάθμη μονώσεως του δικτύου αναφέρεται συνήθως στην τιμή της κρουστικής αντοχής αυτού, δηλαδή της διηλεκτρικής αντοχής της μονώσεως του εξοπλισμού των υποσταθμών σε κρουστικές υπερτάσεις τυποποιημένης μορφής. [11]

1.2 Δίκτυα Διανομής

Η ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μεταφέρεται στις μείζονες περιοχές της καταναλώσεως με τα δίκτυα μεταφοράς, διανέμεται μέσα στις περιοχές αυτές με τα δίκτυα διανομής. Τα δίκτυα διανομής καλύπτουν όλη την εξυπηρετούμενη περιοχή και φτάνουν μέχρι και τον τελευταίο καταναλωτή. Διακρίνονται δυο βαθμίδες διανομής:

-Διανομή ΜΤ ή πρωτεύουσα διανομή

-Διανομή ΧΤ ή δευτερεύουσα διανομή

Το δίκτυο διανομής ΜΤ 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 6,6kV έως 20kV.

Οι υποσταθμοί διανομής αποτελούν κυρίως τους κόμβους του δικτύου διανομής ΜΤ και τα σημεία τροφοδοτήσεως και αφετηρίας του δικτύου χαμηλής τάσεως. Σε αυτούς υποβιβάζεται η τάση από τη μέση στη χαμηλή τάση διανομής. Ο υποβιβασμός γίνεται στους μετασχηματιστές διανομής, οι οποίοι αποτελούν το βασικό εξοπλισμό των υποσταθμών αυτών. [11]

Κατασκευαστικά τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες, τα *εναέρια* και τα *υπόγεια* δίκτυα. Τα *εναέρια* δίκτυα είναι λιγότερο δαπανηρά από τα υπόγεια και είναι ευκολότερα στη συντήρηση κι επισκευή τους. Καταλαμβάνουν όμως σημαντικό χώρο, η διάθεση του οποίου είναι συχνά αδύνατη σε σχετικά πυκνοκατοικημένες περιοχές. Οι υποσταθμοί (Υ/Σ) ΜΤ/ΧΤ των εναερίων δικτύων μέχρι 400KVA κατασκευάζονται συνήθως εναέριοι, επάνω σε έναν ή δυο στύλους. Μεγαλύτεροι υποσταθμοί κατασκευάζονται επίγειοι. Οι Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ του υπόγειου δικτύου εγκαθίστανται συχνά στα υπόγεια των πολυκατοικιών ή στην επιφάνεια του εδάφους σε κατάλληλα διαμορφωμένους οικίσκους. Στην Κατερίνη, που θα μελετηθεί σε αυτή τη διπλωματική, το δίκτυο είναι μερικώς υπόγειο και μερικώς εναέριο.

Τα εναέρια δίκτυα μέσης τάσης έχουν συνήθως δενδροειδή μορφή και αποτελούνται από τον κορμό που κατασκευάζεται με αγωγούς μεγάλης διατομής και τις διακλαδώσεις πάνω στις οποίες συνδέονται (κατά κανόνα) οι Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ και που κατασκευάζονται με αγωγούς μικρότερης διατομής. Επίσης, τα δίκτυα αυτά λειτουργούν σχεδόν πάντα *ακτινικά*, δηλαδή όλες οι γραμμές από τις οποίες αποτελείται το δίκτυο τροφοδοτούνται από το ένα μόνο άκρο τους. Η τροφοδότηση του κορμού της γραμμής στο ένα άκρο της γίνεται από τους ζυγούς ΜΤ του Υ/Σ

ΥΤ/ΜΤ μέσω ενός Διακόπτη Ισχύος εξοπλισμένου με τις κατάλληλες προστασίες, ενώ στο άλλο άκρο του ο κορμός μπορεί να διασυνδέεται, μετά από χειρισμό, με άλλη γραμμή του ίδιου ή και άλλου Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ. Τη βάση για την ανάλυση της φορτίσεως των δικτύων ΜΤ αποτελεί η καμπύλη φορτίου του Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ, όπως αντίστοιχα για το δίκτυο ΧΤ λαμβάνεται η καμπύλη φορτίου του καταναλωτή ΧΤ.

Τα δίκτυα διανομής ΧΤ αναχωρούν από τους ζυγούς ΧΤ των υποσταθμών διανομής και τροφοδοτούν τις παροχές των καταναλωτών ΧΤ. Τα αστικά δίκτυα διανομής, ιδίως των πυκνοκατοικημένων περιοχών είναι κατά κανόνα υπόγεια. [12]

1.3 Φορτία

Γενικά, ο όρος φορτίο αναφέρεται σε μια συσκευή ή ένα συγκρότημα συσκευών που τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια από το σύστημα. Στην πραγματικότητα οι συσκευές των φορτίων ποικίλλουν από μια λάμπα νυκτός ισχύος λίγων W έως έναν κινητήρα επαγωγικό πολλών MW. Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας καλά σχεδιασμένο μπορεί να παρέχει ενέργεια σε όλα αυτά τα διάφορα φορτία, τα οποία μπορούν να καταταγούν στις παρακάτω κατηγορίες:

α) Κινητήρες (πάσης φύσεως και τύπου)

β) Συσκευές θέρμανσης

γ) Ηλεκτρονικές συσκευές

δ) Φωτιστικά σώματα

Από ηλεκτρική άποψη υπάρχουν τεράστιες διαφορές μεταξύ των διαφόρων φορτίων σε ότι αφορά το μέγεθος, τη συμμετρία (μονοφασικό ή τριφασικό), τη σταθερότητα (ως προς το χρόνο, τη συχνότητα και την τάση), και την περίοδο λειτουργίας (συστηματική ή τυχαία λειτουργία). [11]

1.4 Κανονικές Συνθήκες Λειτουργίας

Η λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να είναι καλή και ασφαλής, οι δυο δε αυτές έννοιες χαρακτηρίζουν τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου. Ο όρος καλή λειτουργία αφορά κυρίως τους καταναλωτές, ενώ ο όρος ασφαλής το σύστημα.

Κατά τη λειτουργία του συστήματος οι εγκαταστάσεις του υφίστανται διηλεκτρικές, θερμικές και δυναμικές καταπονήσεις. Η ασφαλής λειτουργία απαιτεί να μπορούν οι εγκαταστάσεις και ο εξοπλισμός του όλου συστήματος να υφίστανται ακίνδυνα τις ανωτέρω λειτουργικές καταπονήσεις και οι τελευταίες να τηρούνται μέσα στα προκαθορισμένα για την ασφάλεια του δικτύου όρια.

Η καλή λειτουργία, από την άλλη, σχετίζεται με την ποιότητα εξυπηρέτησης των καταναλωτών, η οποία χαρακτηρίζεται κυρίως από τους ακόλουθους παράγοντες, κατά σειρά σπουδαιότητας:

- α) τη συνέχεια (μη διακοπή) της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας
- β) τη σταθερότητα της τάσης τροφοδότησης
- γ) τη σταθερότητα της συχνότητας
- δ) την καθαρότητα του κύματος της τάσης τροφοδότησης (περιορισμό αρμονικών)
- ε) την απόκλιση από το καθαρά συμμετρικό τριφασικό σύστημα τάσεων

Από τους παραπάνω παράγοντες ο (γ) δεν εξαρτάται από τα δίκτυα διανομής αλλά από το σύστημα παραγωγής, οι παράγοντες (β), (δ) και (ε) εξαρτώνται σχεδόν αποκλειστικά από τα δίκτυα διανομής, αλλά και ο (α) κυρίως από τα δίκτυα διανομής.

Σχετικά με τη σταθερότητα της τάσης τροφοδότησης, που ενδιαφέρει περισσότερο στη συγκεκριμένη διπλωματική ισχύουν τα εξής:

Οι μεταβολές και οι αντίστοιχες αποκλίσεις της τάσης τροφοδότησης των καταναλωτών από την ονομαστική μπορούν να διακριθούν στις αργές και τις ταχείες μεταβολές της τάσης.

Αργές μεταβολές της τάσης

Δεδομένου ότι η τάση τροφοδοτήσεως των συσκευών κατανάλωσης δεν είναι πρακτικά εφικτό να τηρείται συνεχώς ίση με την ονομαστική τους τιμή, με βάση την οποία κατασκευάζονται, έχουν καθοριστεί ορισμένα αποδεκτά όρια διακυμάνσεως της τάσης τροφοδοτήσεως των καταναλωτών. Ως τάση τροφοδοτήσεως ενός καταναλωτή νοείται η μετρούμενη στο σημείο σύνδεσης του καταναλωτή στο δίκτυο.

Στη χαμηλή τάση για τις αστικές περιοχές (άνω των 2000 κατοίκων), το όριο έχει τεθεί στο $\pm 10\%$ της ονομαστικής τάσης (δηλαδή 207V-253V).

Για το δίκτυο μέσης τάσης, τα τιθέμενα όρια πρέπει να είναι συμβατά προς τα οριζόμενα για τους καταναλωτές XT, λαμβανομένης υπόψη και της πτώσης τάσης στους Μ/Σ ΜΤ/XT, αλλά και της δυνατότητας ρύθμισης της λήψης των Μ/Σ. Συγκεκριμένα, οι Μ/Σ που διαθέτουν λήψεις έχουν τη δυνατότητα αλλαγής της σχέσης μετασχηματισμού τους, συμβάλλοντας έτσι στον έλεγχο της τάσεως του δικτύου. Στην περίπτωση Μ/Σ ΥΤ/ΜΤ του δικτύου ο έλεγχος αυτός γίνεται με αλλαγή της τάσεως υπο φορτίο. Έτσι, μπορεί να διατηρηθεί μια κατά προσέγγιση σταθερή τάση στους ζυγούς που εμείς επιλέγουμε. Για παράδειγμα, μια πτώση κατά 5% της πρωτογενούς τάσεως ενός μετασχηματιστή εφοδιασμένου με σύστημα μεταβολής της τάσεως υπό φορτίο μπορεί να αντισταθμιστεί πλήρως με μια μείωση κατά 5% της σχέσης μετασχηματισμού. Στη χώρα μας οι τυποποιημένες λήψεις των Μ/Σ ΜΤ/XT είναι -5%, -2,5%, 0, 2,5%, 5%, ενώ τα καθιερωμένα όρια για τα δίκτυα ΜΤ είναι :

- η διακύμανση της τάσης να μην υπερβαίνει το $\pm 3\%$ της μέσης τιμής της μετρούμενης τάσης
- η μέση τιμή της τάσης να βρίσκεται εντός των ορίων $\pm 5\%$ της ονομαστικής τάσης του δικτύου

Στη συνέχεια εξετάζονται αναλυτικότερα οι αργές μεταβολές της τάσης και τα τιθέμενα όριά τους.

Επομένως, ενώ το όριο του $\pm 5\%$ της μέσης τιμής όπως εξηγήθηκε, συνδέεται με το γεγονός ότι οι Μ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ τυποποίησης της ΔΕΗ διαθέτουν ρυθμιζόμενες λήψεις -5% έως $+5\%$, με βήμα 2.5% , και συνεπώς μπορούν να αντισταθμίσουν τέτοιες αποκλίσεις της τάσης πρωτεύοντος. Από την άλλη, ο περιορισμός του $\pm 3\%$ όσον αφορά τη διακύμανση περί τη μέση τιμή επιβάλλεται έτσι ώστε να διασφαλίζεται η διατήρηση της τάσης εντός των ορίων κατά μήκος του δικτύου ΧΤ που τροφοδοτεί ο κάθε Μ/Σ διανομής.

Ταχείες μεταβολές της τάσης

Οι μεταβολές αυτές συνήθως προκαλούνται από τη ζεύξη ή τη λειτουργία των συσκευών κατανάλωσης σε όλα τα επίπεδα τάσεως του δικτύου. Διακρίνονται σε *συχνές*, που εμφανίζονται με συχνότητα τουλάχιστον μιας ανά ώρα και σε *μη συχνές*. Οι συχνές μεταβολές, ακόμα κι αν το εύρος τους είναι μικρό (π.χ. 1% της ονομαστικής τάσης) προκαλούν ενοχλητικές διακυμάνσεις στην ένταση φωτισμού των ηλεκτρικών λαμπτήρων (flicker), καθώς και σε άλλες συσκευές όπως π.χ. τις συσκευές τηλεοράσεως, τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές κ.α.

Άλλες διαταραχές της τάσης που συνήθως οφείλονται σε παροδικά αίτια είναι οι εξής:

-*βυθίσεις (ή μικροδιακοπές) της τάσης λόγω βραχυκυκλωμάτων*

-*κρουστικές υπερτάσεις στα δίκτυα ΧΤ λόγω της λειτουργίας μέσω ζεύξεως και προστασίας των καταναλωτών ή του δικτύου ή λόγω ατμοσφαιρικών υπερτάσεων που ακολουθούν την πτώση ενός κεραυνού*

-*ασυμμετρία των τριφασικών τάσεων λόγω κυρίως της ασυμμετρίας της φόρτισης των φάσεων. Επιπτώσεις από την ασυμμετρία αυτή εμφανίζονται κυρίως στους τριφασικούς κινητήρες*

Αρμονικές

Λόγω της ύπαρξης μη γραμμικών στοιχείων και φορτίων (ηλεκτρονικές διατάξεις, φαινόμενα κορεσμού κλπ), η τάση του δικτύου παρουσιάζει πάντοτε απόκλιση από την ιδεατή καθαρά ημιτονοειδή κυματομορφή, ενώ το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και με την κυματομορφή των ρευμάτων. Η κυματομορφή της τάσης ή του ρεύματος μπορεί να αναλυθεί κατά Fourier σε σειρά ημιτονοειδών συνιστωσών διαφόρων συχνοτήτων, οι οποίες αποτελούν τις αρμονικές συνιστώσες του εξεταζόμενου μεγέθους.

Επομένως, η ροή αρμονικών στο δίκτυο προκαλεί παραμόρφωση του κύματος της τάσης και όταν το μέγεθός τους είναι αρκετά μεγάλο μπορούν να προκληθούν ανωμαλίες στη λειτουργία ορισμένων ηλεκτρονικών συσκευών, υπερθέρμανση πυκνωτών ισχύος ή και κινητήρων, παράσιτα στα τηλεφωνικά δίκτυα, υπερτάσεις λόγω συντονισμού κ.α. [12]

1.5 Ανωμαλίες λειτουργίας του συστήματος

Κατά τη λειτουργία ενός συστήματος δημιουργούνται πολλές φορές ανώμαλες συνθήκες, οφειλόμενες είτε σε βλάβες αυτού είτε σε εξωτερικά τυχαία αίτια, είτε σε ατμοσφαιρικές επιδράσεις. Σε περίπτωση ανωμαλίας στο σύστημα είναι δυνατόν να διαταραχθεί η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ή να μη γίνει καν αντιληπτή η ανωμαλία στην κατανάλωση. Σε οποιαδήποτε όμως ανωμαλία το σύστημα αντιδρά προς αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας, είτε αυτόματα μέσω ειδικών συστημάτων προστασίας και ελέγχου, είτε με επέμβαση του προσωπικού εκμεταλλεύσεως.

Οι ανώμαλες συνθήκες αποτελούν μεταβατικές καταστάσεις λειτουργίας του συστήματος – σε αντίθεση με την κανονική ή μόνιμη κατάσταση, που εξετάστηκε παραπάνω – κατά τις οποίες στο σύστημα εκδηλώνονται μεταβατικά φαινόμενα ταχείας ή βραδείας εξέλιξης, ανάλογα με την περίπτωση. Κατά τα μεταβατικά αυτά φαινόμενα δημιουργούνται ταλαντώσεις τάσεων και εντάσεων στο σύστημα κατά τις οποίες τα μεγέθη αυτά είναι δυνατόν να αποκτήσουν τιμές επικίνδυνες για την ασφάλεια του συστήματος.

Τα βραχυκυλώματα είναι οι συνηθέστερες ανωμαλίες ενός ηλεκτρικού δικτύου. Βραχυκύκλωμα λέγεται η επαφή οποιουδήποτε υπό τάση τμήματος του συστήματος προς γη ή προς γειωμένα μεταλλικά μέρη των εγκαταστάσεων ή των συσκευών όπως επίσης και η επαφή δυο διαφορετικών υπό τάση τμημάτων με διαφορετικές τάσεις. Τα βραχυκυκλώματα εκδηλώνονται ως απότομες υπερεντάσεις πολλαπλάσιες των κανονικών ρευμάτων φορτίου και η διέλευση των υπερεντάσεων αυτών από τους αγωγούς του συστήματος, αλλά κυρίως από τη θέση του σφάλματος προκαλεί τις δυναμικές και θερμικές καταπονήσεις στις οποίες οφείλονται οι επιζήμιες συνέπειες.

Όπως τα βραχυκυκλώματα αποτελούν ανώμαλες υπερεντάσεις, οι υπερτάσεις αποτελούν ανώμαλες τάσεις πολλαπλασίου μεγέθους των κανονικών τάσεων λειτουργίας. Αυτές διακρίνονται στις ατμοσφαιρικές ή εξωτερικές και τις λειτουργικές ή εσωτερικές υπερτάσεις. Οι ατμοσφαιρικές υπερτάσεις οφείλονται στον ηλεκτρισμό της ατμόσφαιρας, ενώ οι λειτουργικές οφείλονται στο ίδιο το σύστημα, με σημαντικότερες τις υπερτάσεις χειρισμών οι οποίες προκαλούνται κατά τις ζεύξεις – αποζεύξεις στοιχείων του κυκλώματος.

Η προστασία του ηλεκτρικού δικτύου από τις ανώμαλες καταστάσεις (και κυρίως από τα βραχυκυκλώματα) εξασφαλίζεται χάρη στο σύστημα προστασίας. Αυτό διεγείρεται αυτόματα κατά την εμφάνιση του βραχυκυκλώματος και δίνει εντολή

ανοίγματος των πλησιέστερων προς το σφάλμα αυτόματων διακοπών οι οποίοι απομονώνουν το βλαβέν στοιχείο από το σύστημα και εξουδετερώνουν το βραχυκύκλωμα. [11]

1.6 Ρύθμιση Τάσεως των Δικτύων Διανομής

Τα κύρια στοιχεία με τα οποία επιτυγχάνεται η ρύθμιση της τάσεως των δικτύων διανομής (δηλαδή η διατήρησή της στα όρια που έχουν αναφερθεί) είναι οι ρυθμιστές τάσεως υπό φορτίο και οι λήψεις των μετασχηματιστών MT/XT. Οι ρυθμιστές τάσεως μεταβάλλουν την τάση εξόδου τους αυτόματα, σε χρονικά διαστήματα δευτερολέπτων, ενώ οι μεταβολές των λήψεων γίνονται χειροκίνητα σε πολύ αραιά διαστήματα και μόνο όταν ο μετασχηματιστής είναι αποσυνδεδεμένος από το δίκτυο.

Οι ρυθμιστές τάσεως υπό φορτίο μπορούν να διακριθούν στους ενσωματωμένους στους μετασχηματιστές YT/MT και στους ανεξάρτητους, οι οποίοι εγκαθίστανται στην αρχή ή κατά μήκος των γραμμών MT.

Η ρύθμιση πραγματοποιείται βασιζόμενη σε κάποια συγκεκριμένη λογική. Εάν, για παράδειγμα υπάρχουν πολλά φορτία κατά μήκος μιας γραμμής, όπως συνήθως συμβαίνει, τότε με την παραδοχή ότι τα φορτία μεταβάλλονται αναλογικά μεταξύ τους, μπορεί να επιλεγούν τα στοιχεία της αντισταθμίσεως, έτσι ώστε η τάση να παραμένει σταθερή σε ένα ορισμένο σημείο της γραμμής, δηλαδή το σημείο ρυθμίσεως. Ανάλογα με τα κριτήρια που τίθενται προκειμένου να θεωρηθεί ως βέλτιστη η επιταχυνόμενη ρύθμιση, εφαρμόζονται δυο αντίστοιχες μεθοδολογίες για την επιλογή του σημείου ρυθμίσεως:

α) με κριτήριο τη διατήρηση της τάσεως όλων των καταναλωτών μέσα σε προκαθορισμένα όρια

β) με κριτήριο την ελαχιστοποίηση της ανομοιομορφίας της τάσεως, δηλαδή της μέσης τετραγωνικής απόκλισης των σχετικών αποκλίσεων της τάσεως από την ονομαστική, για το σύνολο των καταναλωτών που τροφοδοτούνται από τη γραμμή [12].

Στο Δίκτυο Α που εξετάζεται στη συνέχεια της εργασίας πραγματοποιείται ρύθμιση της τάσης στη γραμμή διανομής με κριτήριο τη διατήρηση της τάσης των ζυγών εντός των προκαθορισμένων ορίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Σχετικά με τη λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνουμε τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας ή κανονική λειτουργία και τη μεταβατική και ασύμμετρη κατάσταση λειτουργίας ή γενικότερα μη κανονική ή ανώμαλη λειτουργία. Ο κύριος προορισμός ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι να προμηθεύει την πραγματική και άεργο ισχύ τις οποίες ζητούν τα διάφορα φορτία τα συνδεδεμένα στο σύστημα. Η ροή της ισχύος ή φορτίου στο δίκτυο για την τροφοδότηση της ζήτησης αποτελεί τη χαρακτηριστικότερη εκδήλωση της μόνιμης κατάστασης λειτουργίας για ένα σύστημα. Ταυτόχρονα η τάση και η συχνότητα στους ζυγούς πρέπει να τηρούνται μέσα σε προδιαγεγραμμένα όρια παρά το γεγονός ότι τα φορτία υπόκεινται σε σημαντικές και ως ένα σημείο απρόβλεπτες μεταβολές.

Το πρόβλημα των ροών φορτίου συνίσταται στον προσδιορισμό των μεταβλητών του συστήματος (ισχύων, ρευμάτων, τάσεων), σε μια δεδομένη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Η μόνιμη κατάσταση λειτουργίας αντιστοιχεί σε μια ορισμένη εικόνα φορτίων, μια αντίστοιχη εικόνα παραγόμενης ισχύος και αντίστοιχη εικόνα τάσεων και ροών στο δίκτυο. Κάθε άλλη εικόνα φορτίων ή ροών συνιστά μια άλλη κατάσταση λειτουργίας και περιγράφεται από άλλες τιμές μεταβλητών.

2.2 Η μελέτη των ροών φορτίου

Βασικά στοιχεία ενός δικτύου παραγωγής και μεταφοράς είναι οι ζυγοί και οι γραμμές του. Η ισχύς διακινείται μεταξύ των διαφόρων ζυγών, από τις θέσεις παραγωγής προς τα φορτία, ανάλογα με τις διαθέσιμες γραμμές και τις τάσεις των ζυγών. Οι διαδρομές των γραμμών μεταφοράς, με τις οποίες γίνεται η διακίνηση της

ισχύος διαμορφώνονται ανάλογα με τα μεγέθη και τις θέσεις των φορτίων, με δεδομένες τις θέσεις και τα μεγέθη των σταθμών παραγωγής. Άλλοι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι η σχετική σημασία των φορτίων και οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ παραγόμενης ισχύος, απωλειών και φορτίων και η ισορροπία αυτή διέπεται από σταθερή συχνότητα λειτουργίας και σταθερές τάσεις ζυγών.

2.2.1 Μεταβλητές Συστήματος

Θεωρώντας τη γενική περίπτωση ενός ζυγού του συστήματος με παραγωγή και φορτίο, που εκφράζονται ως ισχείς, διακρίνουμε τα ακόλουθα 6 μεγέθη:

P_G = παραγόμενη ενεργός ισχύς, Q_G = παραγόμενη άεργος ισχύς, P_D = ενεργός ισχύς φορτίου, Q_D = άεργος ισχύς φορτίου, V = τάση ζυγού (μέτρο), δ = γωνία (τάσεως) ζυγού

Τα ηλεκτρικά αυτά μεγέθη αποτελούν τις μεταβλητές του προβλήματος και είναι 6 ανά ζυγό. Σε ένα σύστημα με N ζυγούς υπάρχουν συνολικά $6N$ μεταβλητές, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες. Τα φορτία ή μεταβλητές διαταραχής (P_D , Q_D), οι ισχείς παραγωγής ή μεταβλητές ελέγχου (P_G , Q_G) και οι εξαρτημένες μεταβλητές ή μεταβλητές καταστάσεως (V , δ).

Η συνισταμένη ισχύς ζυγού, η οποία μπορεί να οριστεί σαν ισχύς ζυγού είναι:

$$\tilde{S} = \tilde{S}_G + \tilde{S}_D = P_G - P_D + j(Q_G - Q_D) = P + jQ,$$

και μπορεί να έχει χαρακτήρα παραγωγής ή φορτίου.

Η μελέτη των ροών φορτίου συνίσταται στον υπολογισμό των ισχύων και τάσεων σε κάθε κόμβο ενός δικτύου για δεδομένες συνθήκες. Ορίζονται οι ακόλουθοι τρεις τύποι ζυγών:

α) *ζυγοί φορτίου*, στους οποίους είναι γνωστές οι ισχείς ζήτησης και άγνωστη η τάση (μέτρο, γωνία)

β) *ζυγοί παραγωγής*, όπου είναι γνωστά η παραγόμενη ενεργός ισχύς και το μέτρο της τάσεως και προσδιορίζονται η άεργος ισχύς και η γωνία της τάσεως

γ) *ζυγός ταλάντωσης ή ζυγός αναφοράς*, ο οποίος είναι ζυγός παραγωγής χρησιμοποιούμενος για να αντισταθμίσει τις απώλειες του δικτύου, που δεν είναι γνωστές εξ αρχής και γενικά για άμεση αντιμετώπιση των μεταβολών ισχύος. Στο ζυγό αυτό επιβάλλεται σταθερή τάση κατά μέτρο και γωνία και προσδιορίζονται οι ισχείς παραγωγής.

2.2.2 Εξισώσεις Ροών Φορτίου

Η μαθηματική ανάλυση καταλήγει στη διαμόρφωση ενός συστήματος $2N$ μη γραμμικών εξισώσεων, όπου N ο αριθμός των κόμβων (ζυγών) του δικτύου. Ειδικότερα, για τον κάθε ζυγό, ξεκινώντας από την εξίσωση των ρευμάτων σε αυτόν, προκύπτει η εξίσωση:

$$\tilde{J}_i = y_{i1}\tilde{V}_1 + y_{i2}\tilde{V}_2 + \dots + y_{ii}\tilde{V}_i + \dots + y_{iN}\tilde{V}_N = \sum_{j=1}^N y_{ij}\tilde{V}_j \quad (\text{Εξ.1})$$

Με $y_{ii} = Y_{i0} + \sum_{i \neq j}^N Y_{ij}$ και $y_{ij} = -Y_{ij} = -Y_{ji}$, όπου $Y_{i1}, Y_{i2}, \dots, Y_{iN}$ είναι οι αγωγιμότητες σειράς των γραμμών οι οποίες συνδέονται στο ζυγό i και $\tilde{V}_1, \tilde{V}_2, \dots, \tilde{V}_N$, οι τάσεις προς γη των ζυγών του δικτύου.

Δεδομένου ότι $\tilde{J}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\tilde{V}_i^*}$, η τυπική εξίσωση ροών φορτίου γράφεται:

$$P_i - jQ_i = y_{i1}\tilde{V}_1\tilde{V}_i^* + y_{i2}\tilde{V}_2\tilde{V}_i^* + \dots + y_{ii}\tilde{V}_i\tilde{V}_i^* + \dots + y_{iN}\tilde{V}_N\tilde{V}_i^* = \tilde{V}_i^* \sum_{j=1}^N y_{ij}\tilde{V}_j \quad (\text{Εξ.2})$$

Χωρίζοντας πραγματικά και φανταστικά μέρη προκύπτουν από την παραπάνω σχέση δυο εξισώσεις και συνεπώς για ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας N ζυγών έχουμε $2N$ εξισώσεις ροών φορτίου της μορφής:

$$P_i = |V_i| \sum_{j=1}^N |V_j| [g_{ji} \cos(\delta_j - \delta_i) - b_{ji} \sin(\delta_j - \delta_i)] \quad (\text{Εξ.3})$$

$$-Q_i = |V_i| \sum_{j=1}^N |V_j| [g_{ji} \sin(\delta_j - \delta_i) + b_{ji} \cos(\delta_j - \delta_i)] \quad (\text{Εξ.4})$$

Όπου $y_{ji} = g_{ji} + jb_{ji}$

Όπως παρατηρείται, οι εξισώσεις ροών φορτίου συνδέουν ισχείς, τάσεις και γωνίες, δηλαδή τις τρεις χαρακτηριστικές μεταβλητές του προβλήματος. Τα ρεύματα δεν ενδιαφέρουν ποτέ απευθείας και υπολογίζονται εύκολα μετά την απόκτηση των τάσεων και των γωνιών. Επίσης, οι εξισώσεις είναι αλγεβρικές, εφόσον αναφέρονται στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και μη γραμμικές. Το τελευταίο δυσχεραίνει την αναλυτική επίλυση του συστήματος, αλλά όχι και την αριθμητική επίλυση με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

2.3 Ψηφιακές Μέθοδοι χρησιμοποιούμενες για την Επίλυση του Προβλήματος των Ροών Φορτίου

Οι ψηφιακές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς των ροών φορτίου μπορούν να λύσουν τις μη γραμμικές αλγεβρικές εξισώσεις των ροών φορτίου για μεγάλα συστήματα με εκατοντάδες ζυγούς, με απώλειες, με ικανοποιητική ακρίβεια. Οι δυο βασικές μέθοδοι που εφαρμόζονται στις μελέτες των ροών φορτίου είναι, (α) η μέθοδος Gauss-Seidel και (β) η μέθοδος Newton-Raphson.

Και οι δυο αυτές μέθοδοι ξεκινούν από μια αρχική λύση και με διαδοχικές ανακυκλώσεις προσεγγίζουν την τελική ως εξής: Η αρχική λύση χρησιμοποιείται στις εξισώσεις του προβλήματος για να βρεθεί μια καινούρια καλύτερη λύση. Η δεύτερη λύση χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να βρεθεί μια τρίτη καλύτερη λύση κ.ο.κ. Μια τέτοια συγκλίνουσα διαδικασία λέγεται μέθοδος ή διαδικασία ανακύκλωσης και η ποιότητά της κρίνεται από την ταχύτητα συγκλίσεώς της.

2.3.1 Μέθοδος Gauss – Seidel

Υποθέτουμε γνωστή μια αρχική σειρά τιμών όλων των τάσεων των ζυγών (μόνο του ζυγού ταλάντωσης η τάση είναι επιβεβλημένη) και έστω \tilde{V}_k η αρχική αυτή τιμή για το ζυγό k. Θεωρώντας τη γενική μορφή των εξισώσεων ροών φορτίου (2), συστήματος N ζυγών, για το ζυγό k και λύνοντας ως προς \tilde{V}_k έχουμε:

$$\tilde{V}_k = \frac{1}{y_{kk}} \left\{ \frac{P_k - jQ_k}{\tilde{V}_k^*} - \sum_{j=1, j \neq k}^N y_{kj} \tilde{V}_j \right\}, j=1, 2, \dots, N \quad (\text{Εξ.5})$$

Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται επαναληπτικά σύμφωνα με τη διαδικασία Gauss – Seidel. Για τον προσδιορισμό της \tilde{V}_k στο βήμα (n+1) χρησιμοποιούνται οι προσεγγίσεις του βήματος (n+1) των τάσεων \tilde{V}_1 έως \tilde{V}_{k-1} . Με τον τρόπο αυτό, κατά τη (n+1) επανάληψη η Εξ.5 θα είναι:

$$\tilde{V}_k = \frac{1}{y_{kk}} \left\{ \frac{P_k^{(n)} - jQ_k^{(n)}}{\tilde{V}_k^{(n)*}} - \sum_{j=1}^{k-1} y_{kj} \tilde{V}_j^{(n+1)} - \sum_{j=k+1}^N y_{kj} \tilde{V}_j^{(n)} \right\} \quad (\text{Εξ.6})$$

Στους ζυγούς φορτίου η Εξ.6 εφαρμόζεται κατευθείαν, δεδομένου ότι τα P_k , Q_k είναι γνωστά. Στους ζυγούς παραγωγής όμως δεν είναι γνωστό το Q_k και χρειάζεται να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$Q_k^{(n)} = -\text{Im} \left\{ \tilde{V}_k^{(n)*} \left[\sum_{j=1}^{k-1} y_{kj} \tilde{V}_j^{(n+1)} + \sum_{j=k}^N y_{kj} \tilde{V}_j^{(n)} \right] \right\} \quad (\text{Εξ.7})$$

Την τιμή του $Q_k^{(n)}$ από την Εξ.7 την αντικαθιστούμε στην Εξ.6 απ'όπου υπολογίζεται το $\tilde{V}_k^{(n+1)}$. Από την τιμή που θα προκύψει όμως κρατάμε μόνο τη γωνία $\delta_k^{(n+1)}$ γιατί το

μέτρο V_k είναι καθορισμένο (όπως επίσης είναι και το P_k για τους ζυγούς παραγωγής).

2.3.2 Μέθοδος Newton – Raphson

Η μέθοδος αυτή ανακυκλώσεως είναι πιο σύνθετη αλλά και ασφαλέστερη. Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν έχει πρόβλημα συγκλίσεως και κατά κανόνα συγκλίνει ταχύτερα από τη μέθοδο Gauss-Seidel.

Ο αλγόριθμος της Newton – Raphson είναι ο εξής:

α) δίνονται αρχικές τιμές στα $|\tilde{V}|$ και δ όπου αυτά δεν είναι καθορισμένα.

β) υπολογίζονται οι ισχείς των ζυγών από τις εξισώσεις:

$$P_i = |\tilde{V}_i^2 y_{ii}| \sigma \nu \theta_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^N |\tilde{V}_i y_{ij} \tilde{V}_j| \sigma \nu (\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad (\text{Εξ.8})$$

$$Q_i = |\tilde{V}_i^2 y_{ii}| \eta \mu \theta_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^N |\tilde{V}_i y_{ij} \tilde{V}_j| \eta \mu (\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad (\text{Εξ.9})$$

Οι παραπάνω σχέσεις προκύπτουν από την εξίσωση:

$$P_i - jQ_i = \tilde{V}_i^* \sum_{j=1}^N y_{ij} \tilde{V}_j = |\tilde{V}_i|^2 y_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^N \tilde{V}_i^* y_{ij} \tilde{V}_j \quad (\text{Εξ.10})$$

Θεωρώντας ότι $\tilde{V}_i = |\tilde{V}_i| \langle \delta_i$ και $\tilde{y}_{ij} = |\tilde{y}_{ij}| \langle -\theta_{ij}$ και χωρίζοντας τα πραγματικά και φανταστικά μέρη.

Είναι γνωστά τα P για όλους τους ζυγούς (πλην του ζυγού αναφοράς) και τα Q για τους ζυγούς φορτίου. Συνεπώς, χρειάζεται ο υπολογισμός των P και Q για τους υπόλοιπους ζυγούς.

γ) υπολογίζεται η Ιακωβιανή μήτρα του συστήματος, η οποία έχει τη μορφή:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial |V|} \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \frac{\partial Q}{\partial |V|} \end{bmatrix}$$

Παρότι οι πλήρεις διαστάσεις της Ιακωβιανής μήτρας είναι $2N \times 2N$ για ένα σύστημα N ζυγών, στην πραγματικότητα δε χρειάζεται να υπολογιστούν όλες οι παράγωγοι,

καθώς στο ζυγό αναφοράς τα $|V|$ και δ είναι γνωστά, ενώ δτους ζυγούς παραγωγής τα $|V|$ είναι γνωστά.

δ) Επιλύεται το ακόλουθο σύστημα και υπολογίζονται οι αποκλίσεις $[\Delta V]$ και $[\Delta \delta]$:

$$[\Delta P] = \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] [\Delta \delta] + \left[\frac{\partial P}{\partial V} \right] [\Delta V]$$

$$[\Delta Q] = \left[\frac{\partial Q}{\partial \delta} \right] [\Delta \delta] + \left[\frac{\partial Q}{\partial V} \right] [\Delta V]$$

ε) Αν οι αποκλίσεις είναι μεγαλύτερες από τα όρια ανοχής επανερχόμαστε στο βήμα (β)

στ) Μετά τη σύγκλιση των αποτελεσμάτων υπολογίζονται τα P_1, Q_1 του ζυγού αναφοράς και κατόπιν οι ροές φορτίου στις γραμμές.

Οι απώλειες για κάθε κλάδο ij είναι ίσες με:

$$P_{Lij} = \operatorname{Re} \{ \tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji} \}$$

$$Q_{Lij} = \operatorname{Im} \{ \tilde{S}_{ij} + \tilde{S}_{ji} \}$$

Το άθροισμα των απωλειών θα πρέπει να ισούται με τη συνολική ισχύ που εισέρχεται στο σύστημα. [12]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

3.1 Εισαγωγή

Όλα τα προηγούμενα χρόνια, το ηλεκτρικό δίκτυο είχε μια πολυ συγκεκριμένη μορφή. Βασικό χαρακτηριστικό ήταν η ανάπτυξη εθνικών διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών συστημάτων με ολοένα και μεγαλύτερους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής, υδροηλεκτρικούς, θερμικούς ή πυρηνικούς για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης. Μεγάλες, κεντρικά ελεγχόμενες γεννήτριες βρίσκονται στην πλευρά υψηλής τάσης του δικτύου, ενώ τα φορτία στην πλευρά χαμηλής τάσης. Επομένως, η ενέργεια ρέει από την πλευρά υψηλής τάσης προς την πλευρά χαμηλής τάσης, όπου είναι συνδεδεμένα τα φορτία μικρού και μεσαίου μεγέθους. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, λόγω της ενεργειακής κρίσης του '70 καθώς και της αυξημένης ανησυχίας για την κλιματική αλλαγή και κατά συνέπεια του μεγάλου ενδιαφέροντος για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την ενεργειακή αποδοτικότητα, παρατηρείται μια συνεχής αύξηση του αριθμού των γεννητριών που συνδέονται στο δίκτυο διανομής κι όχι στο δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης. Αυτό συνήθως αφορά σε γεννήτριες μεγέθους από 1kW έως 5MW, που εγκαθίστανται κατά κανόνα κόντα στα σημεία κατανάλωσης και αναφέρεται με τον όρο διεσπαρμένη παραγωγή (DG). Αυτή τη στιγμή η διεσπαρμένη παραγωγή αποτελεί ένα μικρό μόνο ποσοστό της συνολικής παραγωγής ενέργειας, ωστόσο η διεξόδυση της στα δίκτυα διανομής αυξάνεται παγκοσμίως.

Ορισμένα βασικά πλεονεκτήματα της διεσπαρμένης παραγωγής είναι:

-μείωση της συνολικής πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης

-ύπαρξη εγκατεστημένης ισχύος για παροχή εφεδρείας σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας ή και για ψαλιδισμό των αιχμών του καταναλωτή

-αυξημένη αξιοπιστία και βελτίωση της παρεχόμενης ποιότητας ισχύος σε τοπικό επίπεδο

-μείωση των απωλειών κατά τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας αφού μικραίνει σημαντικά η απόσταση που διανύει η ενέργεια

-υποστήριξη του δικτύου με βοηθητικές υπηρεσίες όπως είναι η παροχή αέργου ισχύος και υποστήριξης τάσης, η παροχή παραγωγής με γρήγορη απόκριση για αποφυγή διακοπής της κατανάλωσης και η δυνατότητα επανεκκίνησης μετά τη διακοπή

-αποτελεσματική χρήση των δυνατοτήτων για φθηνά, τοπικά παραγόμενα καύσιμα και η επι τόπου αξιοποίησή τους

-εξοικονόμηση αρχικού κόστους κεφαλαίου και χρόνου από τη δημιουργία ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής

-μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα) με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εξευγενισμένων καυσίμων

-δυνατότητα για απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού και συμμετοχή ιδιωτών στην παραγωγή

-τέλος, πολύ σημαντική είναι η ενσωμάτωσή της διεσπαρμένης παραγωγής στα μελλοντικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας SmartGrids. Τα SmartGrids, για τα οποία η συζήτηση στην Ευρώπη ξεκίνησε στα τέλη του 2004, αποτελούν ηλεκτρικά δίκτυα που μπορούν έξυπνα να ενοποιοούν όλες τις ενέργειες των συνδεδεμένων σε αυτά χρηστών, με σκοπό τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας με ασφαλή, αποδοτικό και οικονομικό τρόπο.



Εικόνα 1: Απεικόνιση μελλοντικής εξέλιξης δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας

Το βασικά *μειονέκτηματα* της διεσπαρμένης παραγωγής είναι τα εξής:

-από οικονομική άποψη η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές δεν έχει φτάσει ακόμα στο σημείο να μπορεί να ανταγωνιστεί τις μεγάλες μονάδες παραγωγής, με αποτέλεσμα να απαιτείται επιχορήγηση από το κράτος για να καταστεί βιώσιμη η επένδυσή σ'αυτές

- έχει αποδειχθεί ότι ευρεία εφαρμογή διεσπαρμένης παραγωγής μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία του δικτύου. Συγκεκριμένα, μπορεί να δημιουργήσει αντίστροφη ροή ενέργειας στα δίκτυα διανομής, η οποία ενδέχεται να έχει αρνητικές συνέπειες στην ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος, στα επίπεδα της τάσης (αργές και γρήγορες μεταβολές της τάσης), στην ποιότητα της τάσης (αρμονική παραμόρφωση). Γενικά, η παρουσία μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής αυξάνει την τάση στην περιοχή όπου εγκαθίσταται. Αλλα προβλήματα που μπορεί να προκληθούν λόγω της διεσπαρμένης παραγωγής είναι αυξημένα ρεύματα βραχυκύκλωσης, δυσλειτουργία των διατάξεων προστασίας του δικτύου και ασυμμετρία φάσεων.

Στη Μέση Τάση ο κρίσιμος παράγοντας για τη σύνδεση νέων διεσπαρμένων πηγών είναι συνήθως οι μεταβολές της τάσης στο σημείο κοινής σύνδεσης στο δίκτυο, ενώ στη Χαμηλή Τάση ένα από τα πιο βασικά ζητήματα είναι η ποιότητα της τάσης που παρέχεται στους καταναλωτές ιδιαίτερα όσον αφορά φαινόμενα υπερτάσεων που προκαλούνται από συνδέσεις πηγών. Επίσης, η τήρηση των ορίων της μέγιστης τάσης και της χωρητικότητας των γραμμών είναι απαραίτητη και πραγματοποιείται με τον έλεγχο μέσω πραγματοποίησης ροής φορτίου στο δίκτυο.

-υπάρχει αδυναμία πρόβλεψης και συνεχούς παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, με αποτέλεσμα να απαιτείται εφεδρεία

Η αύξηση των αιολικών και των Φ/Β θα έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση των προβλημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ωστόσο, σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν ηλεκτρικά οχήματα για την αποθήκευση της επιπλέον αιολικής ισχύος που παράγεται, την οποία θα προσφέρουν όταν τη χρειάζεται το δίκτυο, τότε θα εξεταστεί κατά πόσο είναι δυνατή η αύξηση της αιολικής διείσδυσης χωρίς την παραβίαση των διαφόρων ορίων που έχουν τεθεί.

Στη βιβλιογραφία απαντώνται αρκετοί ορισμοί για τη διεσπαρμένη παραγωγή. Με βάση κάποιους από αυτούς θα μπορούσαν να προσδιοριστούν τα βασικά χαρακτηριστικά της διεσπαρμένης παραγωγής τα οποία είναι:

α) δεν είναι κεντρικά σχεδιαζόμενη και ανπτυσσόμενη

β) η ισχύς των μονάδων δεν υπερβαίνει τα 50-100MW και συνήθως είναι της τάξης των kW

γ) είναι συνήθως συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής [23]

Οι τεχνολογίες της διανεμημένης παραγωγής είναι οι εξής:

1. Μονάδες με συμβατικά καύσιμα:
 - Αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου (35-450MW)
 - Μηχανή εσωτερικής καύσης (5kW-10MW)
 - Γεννήτρια καύσης (1-250MW)
 - Μικροτουρπίνα (35kW-1MW)
 - Κυψέλες καυσίμου (1kW-5MW)

2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:
 - Πολύ μικρό υδροηλεκτρικό (25kW-1MW)
 - Μικρό υδροηλεκτρικό (1-100MW)
 - Ανεμογεννήτρια (200W-3MW)
 - Φωτοβολταϊκή συστοιχία (20W-100kW)
 - Ηλιακό θερμικό, κεντρικό δέκτης (1-10MW)
 - Βιομάζα (αεριοποίηση) (100kW-20MW)
 - Γεωθερμία (5-100MW)
 - Ενέργεια Ωκεανών (100kW-1MW)
 - Μηχανή Stirling (2-10kW)
 - Συσσωρευτές (500kW-5MW)

Μερικές τυπικές χρήσεις της διεσπαρμένης παραγωγής είναι οι εξής:

- Οικιακή (ηλεκτρισμός, θέρμανση)
- Εμπορική (ηλεκτρισμός, θέρμανση)
- Θερμοκήπια
- Βιομηχανική (ηλεκτρισμός, ατμός)
- Περιφερειακή θέρμανση
- Ισχύς δικτύου (μόνο ηλεκτρισμός που παρέχεται στο δίκτυο)

3.2 Τεχνικές Προϋποθέσεις για τη Σύνδεση Παραγωγών στα Δίκτυα Διανομής

Η διείδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται συνεχώς, ως αποτέλεσμα των νέων τεχνολογιών, αλλά και των ριζικών ανακατατάξεων στο θεσμικό πλαίσιο των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξη σχετικών επιχειρηματικών πρωτοβουλιών. Κατά τη σύνδεση νέων εγκαταστάσεων παραγωγής στα δίκτυα πρέπει να τηρούνται μια σειρά από τεχνικούς όρους και προϋποθέσεις ώστε να εξασφαλίζεται ότι η λειτουργία των μονάδων δεν προκαλεί ανεπίτρεπτες διαταραχές στην τάση του δικτύου κι άρα δεν επηρεάζει τη λειτουργία των λοιπών συνδεδεμένων στο δίκτυο.

Βασικά κριτήρια και προϋποθέσεις τα οποία εξετάζονται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση νέων εγκαταστάσεων παραγωγής σε συγκεκριμένο σημείο του δικτύου είναι τα ακόλουθα:

- *Επάρκεια του δικτύου (γραμμών, μετασχηματιστών κλπ)*

Η βασικότερη προϋπόθεση για τη σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής είναι η επάρκεια των στοιχείων του δικτύου (υποσταθμού, μετασχηματιστών, και γραμμών). Επομένως είναι απαραίτητο να ελεγχθεί αν οι συνδεδεόμενες εγκαταστάσεις παραγωγής προκαλούν υψηλότερες από τις επιτρεπόμενες φορτίσεις στα στοιχεία του δικτύου. Στη βάση του θερμικού υπολογισμού των στοιχείων του δικτύου λαμβάνεται η μέγιστη φαινομένη ισχύς εξόδου της εγκατάστασης παραγωγής.

Εαν οι υφιστάμενες γραμμές δεν επαρκούν τότε εξετάζονται διάφορες λύσεις, όπως για παράδειγμα η ενίσχυση του υφιστάμενου δικτύου MT.

Ο τρόπος σύνδεσης μιας δεδομένης εγκατάστασης παραγωγής δεν προκύπτει μονοσήμαντα από την ονομαστική ισχύ της. Ωστόσο, υπάρχουν οι ακόλουθοι δυο περιορισμοί ως προς το επίπεδο τάσης στο οποίο μπορεί να συνδεθεί μια εγκατάσταση παραγωγής, οι οποίοι εφαρμόζονται κατά την εξέταση ασχέτως των λοιπών τεχνικών κριτηρίων:

- εγκαταστάσεις συμφωνημένης ισχύος μεγαλύτερης των 100kW δεν μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο XT
- εγκαταστάσεις συμφωνημένης ισχύος μεγαλύτερης των 20MW δεν μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο MT
- *Συμβολή στη στάθμη βραχυκύκλωσης*
- *Αργές μεταβολές της τάσης (μόνιμης κατάστασης)*

Κατά τη σύνδεση μοναδων παραγωγής σε εναέρια δίκτυα διανομής, ο καθοριστικότερος περιορισμός είναι συνήθως οι προκαλούμενες διακυμάνσεις της τάσης. Παραδοσιακά οι ηλεκτρικές εταιρείες επιβάλλουν όρια μέγιστης διακύμανσης της τάσης τα οποία δεν πρέπει να υπερβαίνονται κατά την κανονική λειτουργία. Την τελευταία δεκαετία έχει αναγνωριστεί ο στατιστικός χαρακτήρας της τάσης, θεώρηση που ενσωματώθηκε στο πρότυπο EN50160 της CENELEC, το οποίο έχει υιοθετηθεί από τον ΕΛΟΤ και από τη ΔΕΗ (Οδηγία Διανομής 120). Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, η τάση δημοσίων δικτύων MT πρέπει να μην αποκλίνει περισσότερο από το $\pm 10\%$ της ονομαστικής τιμής για το 95% του χρόνου, μετρούμενη ως μέση τιμή 10min κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας. Η τήρηση του παραπάνω στατιστικού ορίου (το οποίο αποτελεί το ανεκτό όριο διακυμάνσεων κι έχει χαρακτήρα ορίου συμβατότητας κατά IEC) κατά την κανονική λειτουργία δικτύων συνιστά υποχρέωση των ηλεκτρικών εταιρειών. Παρολαυτά, ο σχεδιασμός των δικτύων βασίζεται σε επιθυμητά όρια διαταραχών (όρια σχεδιασμού – planning levels), τα οποία λαμβάνονται πάτοτε αρκετά αυστηρότερα από τα όρια συμβατότητας, ώστε να

αντιμετωπίζονται αβεβαιότητες της πράξης και να δίνεται επαρκές περιθώριο ασφαλείας κατά τη λειτουργία του δικτύου και τον προγραμματισμό των εργασιών ενίσχυσης και επέκτασής του που θα απαιτηθούν μελλοντικά. Επίσης, η ανάλυση πραγματικών καταστάσεων με θεώρηση της τάσης ως τυχαίας μεταβλητής εισάγει εξαιρετική πολυπλοκότητα, καθώς συνιστά αναγκαία την εφαρμογή τεχνικών πυανωτικής ροής φορτίου. Με βάση τα παραπάνω, τα επιθυμητά όρια διακύμανσης της τάσης κατά τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας (όρια σχεδιασμού) που θέτει η ΔΕΗ κατά την ανάπτυξη των δικτύων διανομής MT είναι τα ακόλουθα:

- Η μέση τιμή της τάσης οποιουδήποτε κόμβου δεν πρέπει να αποκλίνει άνω του $\pm 5\%$ από την ονομαστική τιμή, ώστε να είναι δυνατή η διόρθωσή της μέσω των μεταβλητών λήψεων (taps) των μετασχηματιστών διανομής MT/XT.
- Η διακύμανση της τάσης περί τη μέση τιμή δεν πρέπει να υπερβαίνει το $\pm 3\%$ της ονομαστικής τιμής. Με την απαίτηση αυτή γενικά εξασφαλίζεται ότι η διακύμανση της τάσης σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου XT δε θα υπερβαίνει το όριο του $\pm 10\%$.

Για την ακριβή και αξιόπιστη εξέταση των επιπέδων της τάσης μετά τη σύνδεση των εγκαταστάσεων παραγωγής απαιτείται ο υπολογισμός ροής φορτίου σιι δίκτυο MT λαμβάνοντας υπόψη τα υφιστάμενα και προβλεπόμενα φορτία των υποσταθμών διανομής, όπως επίσης και άλλες εγκαταστάσεις που ενδεχομένως συνδέονται ή πρόκειται να συνδεθούν.

Ο ακριβής υπολογισμός των προκαλούμενων μεταβολών της τάσης περιλαμβάνει τον υπολογισμό ροών φορτίου στο δίκτυο για τις ακόλουθες τέσσερις ακραίες λειτουργικές καταστάσεις, συνεκτιμώντας την επίδραση όλων των φορτίων και εγκαταστάσεων παραγωγής του δικτύου:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| A. Μέγιστο φορτίο-Ελάχιστη παραγωγή | B. Μέγιστο φορτίο-Μέγιστη παραγωγή |
| Γ. Ελάχιστο φορτίο-Ελάχιστη παραγωγή | Δ. Ελάχιστο φορτίο-Μέγιστη παραγωγή |

Οι καταστάσεις A και Δ δίνουν γενικά τα ελάχιστα και μέγιστα αναμενόμενα επίπεδα τάσεων στο δίκτυο. Η σύγκριση των υπολογιζόμενων τάσεων για τις καταστάσεις A και B ή για τις Γ και Δ δίνει τη μέγιστη μεταβολή των τάσεων στους κόμβους του δικτύου εξαιτίας μεταβολών της ισχύος εξόδου των εγκαταστάσεων παραγωγής, για δεδομένο φορτίο. Από τις ροές φορτίου για τις παραπάνω τέσσερις καταστάσεις προκύπτουν η ελάχιστη και η μέγιστη αναμενόμενη τιμή της τάσης κάθε κόμβου κι ελέγχονται άμεσα τα κριτήρια που περιγράφηκαν παραπάνω.

- *Ταχείες μεταβολές της τάσης*

Οι ταχείες μεταβολές της τάσης οφείλονται αφενός σε αντίστοιχες διακυμάνσεις της ισχύος εξόδου των μονάδων παραγωγής και αφετέρου σε χειρισμούς στις εγκαταστάσεις. Συνήθως σημαντικότερες μεταβολές είναι οι βυθίσεις τάσεων που προκαλούνται από χειρισμούς ζεύξης. Προκειμένου να μην παρενοχλούνται άλλοι

πελάτες το μέγεθος των μεταβολών αυτών στο Σημείο Κοινής Σύνδεσης (ΣΚΣ) και η συχνότητά τους πρέπει να περιορίζονται κατάλληλα.

Μέγιστη επιτρεπόμενη μεταβολή της τάσης στο ΣΚΣ, d_{max} (%), εξαιτίας χειρισμών στις εγκαταστάσεις παραγωγής:

Συχνότητα χειρισμών r (h^{-1} :ανά ώρα)	Επιτρεπόμενη μεταβολή τάσης d_{max} (%)
$r > 10 h^{-1}$	$\leq 2\%$
$1 h^{-1} < r \leq 10 h^{-1}$	$\leq 3\%$
$r \leq 1 h^{-1}$	$\leq 4\%$

Πίνακας 1: Μέγιστη επιτρεπόμενη μεταβολή της τάσης στο ΣΚΣ, d_{max} (%), εξαιτίας χειρισμών στις εγκαταστάσεις παραγωγής

Ο υπολογισμός της προκαλούμενης μεταβολής d_{max} (%) γίνεται με εφαρμογή της σχέσης:

$$d_{max} (\%) = 100 * k * \frac{S_E}{S_k}$$

όπου S_E : ονομαστική φαινομένη ισχύς των μονάδων που εκκινούν ταυτόχρονα, S_k : συντελεστής β/κ του δικτύου στο ΣΚΣ, k : συντελεστής ρεύματος ζεύξης

- *Εκπομπές flicker*

Με τον όρο flicker ορίζεται η προκαλούμενη οπτική ενόχληση από τις διακυμάνσεις της φωτεινότητας λαμπτήρων πυρακτώσεως εξαιτίας αντίστοιχων διακυμάνσεων της τάσης τροφοδοσίας τους. Κατά τη λειτουργία εγκαταστάσεων παραγωγής προκαλούνται μεταβολές της τάσης στο ΣΚΣ, λόγω διακυμάνσεων της ισχύος εξόδου κατά την κανονική λειτουργία των εγκαταστάσεων αλλά και εξαιτίας χειρισμών, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν παρενόχληση λόγω flicker σε άλλους καταναλωτές. Μέτρο του flicker που προκαλείται από τις διακυμάνσεις της τάσης είναι οι δείκτες flicker βραχείας και μακράς διάρκειας, P_{st} και P_{lt} , οι οποίοι αποτιμούν το αίσθημα οπτικής διαταραχής για χρονικό διάστημα παρατήρησης 10min και 120min, αντίστοιχα (γενικά το όριο της οπτικής ενόχλησης είναι η τιμή $P_{st}=1$). Οι τιμές των δεικτών αυτών εξαρτώνται από το μέγεθος, τη μορφή και τη συχνότητα των διαταραχών της ενδεικνύμενης τιμής της τάσης, ο δε υπολογισμός τους είναι δυνατός μέσω μετρήσεων με τη βοήθεια ειδικού οργάνου (φλικερόμετρου) ή με τη χρήση ημιεμπειρικών σχέσεων.

- *Εκπομπές αρμονικών*

Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται σταθερά το ποσοστό των διατάξεων ΑΠΕ οι οποίες διαθέτουν μετατροπείς ισχύος (πλέον συνήθεις οι Α/Γ μεταβλητών στροφών), καθιστώντας αναγκαίο τον έλεγχο και περιορισμό των εκπομπών αρμονικών από αυτές. Η προσέγγιση η οποία ακολουθείται είναι αυτή των σχετικών προτύπων της IEC για δίκτυα MT και YT, η οποία περιλαμβάνει 3 βασικά στάδια:

α) Καθορισμός των αποδεκτών ορίων αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης του δικτύου

β) Επιμερισμός του στις διάφορες εγκαταστάσεις που συνδεόνται στα δίκτυα

γ) Προσδιορισμός ορίων αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος εξόδου της εγκατάστασης

Οι τέσσερις παραπάνω προϋποθέσεις (αργές και ταχείες μεταβολές της τάσης, εκπομπές flicker και αρμονικών) σχετίζονται με την ποιότητα της τάσης του δικτύου.

- *Διαμόρφωση των προστασιών της διασύνδεσης εγκαταστάσεων-δικτύου*

Τα μέσα ζεύξης απόζευξης και προστασίας της διασύνδεσης παραγωγού-δικτύου έχουν ιδιαίτερη σημασία για την εξασφάλιση της συνεργασίας με τις διατάξεις προστασίας του δικτύου και την αποφυγή επικίνδυνων καταστάσεων. Συγκεκριμένα, το σύστημα προστασίας του παραγωγού πρέπει να συνεργάζεται με το σύστημα προστασίας του δικτύου ώστε σφάλματα σε οποιαδήποτε πλευρά να ανιχνεύονται σωστά και να εκκαθαρίζονται. Οι ρυθμίσεις των προστασιών θα πρέπει να εξασφαλίζουν την άμεση απόζευξη των γεννητριών σε περίπτωση σφάλματος ώστε να μην υφίσταται κίνδυνος απομονωμένης λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

- *Επίπτωση στη λειτουργία συστημάτων Τηλεχειρισμού Ακουστικής Συχνότητας (ΤΑΣ), [8]*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

4.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες χώρες ανά τον κόσμο ακολουθούν πολιτικές με τις οποίες ενθαρρύνουν την ανάπτυξη και την εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων. Πρωταρχικός τους στόχος είναι η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από τις μεταφορές. Ωστόσο, η υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων αναμένεται να έχει πολλαπλά οφέλη, ένα από τα οποία θα είναι η αύξηση της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Η ευκαιρία αυτή που εμφανίζεται βασίζεται στη χρησιμοποίηση της δυνατότητας της μπαταρίας του οχήματος να αποθηκεύει και στη συνέχεια να αποδίδει ενέργεια και ονομάζεται 'V2G λειτουργία'. Η V2G λειτουργία με τη σειρά της θα συμβάλει στην περαιτέρω μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων στην ατμόσφαιρα με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Πρώτον, καθώς η λειτουργία αυτή θα προσφέρει έσοδα στον κάτοχο του οχήματος, εφόσον θα πωλείται ηλεκτρική ενέργεια προς το δίκτυο, αυτό θα αποτελεί κίνητρο για την υιοθέτηση επιπλέον ηλεκτρικών οχημάτων. Δεύτερον, η παραγωγή της ισχύος αιχμής, καθώς και της ισχύος που εξυπηρετεί έκτακτες ανάγκες του δικτύου, γίνεται συνήθως από εργοστάσια που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα και κυρίως σε περιοχές με αυξημένο πληθυσμό. Επομένως, προσφορά των παραπάνω τύπων ισχύος από τα ηλεκτρικά οχήματα θα οδηγούσε ενδεχομένως σε μείωση των εκπομπών που σχετίζονται με αυτές. Τρίτον, σύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο θα μπορούσε να οδηγήσει σε αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτό. Η έλλειψη αποθήκευσης είναι ένα βασικό εμπόδιο στην εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πηγές διακοπτόμενης παραγωγής όπως είναι τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά. Έχοντας ένα μεγάλο στόλο οχημάτων που θα προσφέρει αποθήκευση και παραγωγή ενέργειας όταν ζητηθεί, το κύριο αυτό εμπόδιο στην εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών θα ξεπεραστεί και το κόστος τους θα μειωθεί. [3]

Στη συνέχεια περιγράφεται μια ιστορική αναδρομή των ηλεκτρικών οχημάτων κι ακολουθεί ανάλυση της λειτουργίας τους κυρίως σε σχέση με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

4.2 Ιστορική Αναδρομή

Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν αποτελούν μια σημερινή ανακάλυψη. Στην πραγματικότητα έχουν κατασκευαστεί εδώ και πάνω από 100 χρόνια και συνεχώς εξελίσσονται. Στη συνέχεια αναφέρονται τα σημαντικότερα σημεία της εξέλιξης αυτής:

- 1831: ο Joseph Henry, Καθηγητής Μαθηματικών στο Albany NY, εφευρίσκει τον ηλεκτροκινητήρα στην προσπάθειά του να κατανοήσει τους ηλεκτρομαγνήτες
- 1834: ο Thomas Davenport, ένας σιδηρουργός από το Vermont, χρησιμοποιεί την ιδέα του Henry για να κατασκευάσει ένα μικρό ηλεκτρικό όχημα κινούμενο σε ράγες, με σκοπό να αντικαταστήσει τον ατμό στην κίνηση των αμαξοστοιχιών
- Μεταξύ του 1832 και 1839 ο Robert Anderson από τη Σκωτία εφευρίσκει την πρώτη ηλεκτρική άμαξα
- 1842: οι Thomas Davenport και Robert Anderson, ανεξάρτητα, κατασκευάζουν με επιτυχία ηλεκτρικά οχήματα που χρησιμοποιούν μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες
- 1865: ο Γάλλος φυσικός Gaston Plante ανακαλύπτει την επαναφορτιζόμενη μπαταρία οξέος-μολύβδου, την οποία βελτιώνει το 1881 ο επίσης Γάλλος Camille Faure, ανοίγοντας το δρόμο για εμπορική παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων
- 1890: ο William Morrison από την Iowa κατασκευάζει το πρώτο επιτυχημένο ηλεκτρικό αυτοκίνητο στις Η.Π.Α. Μπορεί να κινήθει με 22km/h για 13 ώρες
- Τα επόμενα χρόνια τα ηλεκτρικά οχήματα κατέχουν τα ρεκόρ ταχύτητας και μέγιστης διανυόμενης απόστασης. Μάλιστα το 1898 το βελγικής κατασκευής αγωνιστικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο “La Jamais Contente” φτάνει τα 108km/h. Ο Ferdinand Porsche σχεδιάζει το πρώτο του αυτοκίνητο, που είναι ηλεκτρικό και φτάνει τα 56km/h. Στη Νέα Υόρκη το 90% των ταξί είναι ηλεκτρικά.
- 1900: ο Thomas Edison κατασκευάζει τη μπαταρία Νικελίου-Σιδήρου με σκοπό να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρικά οχήματα, αλλά μια δεκαετία αργότερα λόγω εμφανιζόμενων προβλημάτων εγκαταλείπει την προσπάθεια. Την ίδια χρονιά η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων βρίσκεται στην ακμή της. Το 1/3 περίπου των οχημάτων που συναντώνται στους δρόμους της Νέας Υόρκης, της Βοστώνης και του Σικάγο είναι ηλεκτροκίνητα

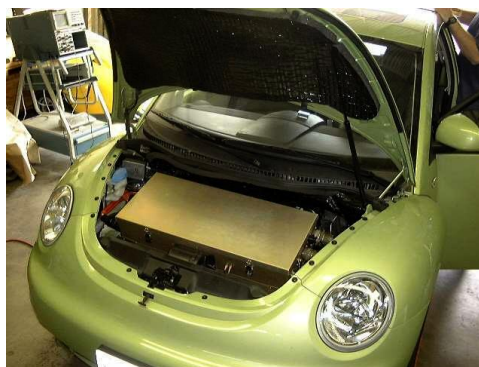


- 1908: ο Henry Ford εισάγει το πρώτο βενζινοκίνητο όχημα μαζικής παραγωγής, το Model T, που επιδρά σημαντικά στην αγορά αυτοκινήτων των ΗΠΑ
- 1920: Η παραγωγή ηλεκτρικών αυτοκινήτων σταματά να είναι βιώσιμη, οι πωλήσεις ελαχιστοποιούνται, χαρακτηριστικά η Detroit Electric Car Company από 1139 μονάδες το 1918 φτάνει να πουλά μόνο 191 το 1920.
- 1920-1990: Τα βενζινοκίνητα οχήματα προτιμώνται λόγω των μεγαλύτερων αποστάσεων που μπορούν να διανύσουν, της μεγαλύτερης ιπποδύναμης και της χαμηλής τιμής της βενζίνης σε σχέση με τον ηλεκτρισμό. Μόνο η Βρετανία διατηρεί ένα σχετικά μεγάλο αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων, χρησιμοποιώντας τα για τη διανομή γάλακτος, ψωμιού και αλληλογραφίας.
- Δεκαετία 1970: Η ανησυχία για την αύξηση των τιμών του πετρελαίου, που κορυφώθηκε με την πετρελαϊκή κρίση του 1973, καθώς και το διαρκώς εντονότερο περιβαλλοντικό κίνημα οδηγούν σε αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος για τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα τόσο από τη μεριά των καταναλωτών όσο και των παραγωγών
- 1972: ο Victor Wouk κατασκευάζει το πρώτο υβριδικό αυτοκίνητο κανονικού μεγέθους
- 1974: Το ηλεκτρικό όχημα Vanguard-Sebring's CitiCar εμφανίζεται στο Συμπόσιο Ηλεκτρικών Οχημάτων στην Washington D.C. Έχει μέγιστη ταχύτητα περίπου 50km/h και μπορεί να διανύσει απόσταση 60km.



- 1976: Το Κογκρέσο περνάει νόμο για την προώθηση της έρευνας της σχετικής με τα ηλεκτρικά και τα υβριδικά οχήματα

- 1988: Η General Motors χρηματοδοτεί ερευνητικές προσπάθειες για την ανάπτυξη ενός πρακτικού ηλεκτρικού οχήματος προς κατανάλωση και σε συνεργασία με την AeroVironment της California κατασκευάζει το EV1.
- 1990: Η California εκδίδει την εντολή ZEV (Zero Emission Vehicle Mandate), σύμφωνα με την οποία μέχρι το 1998, 2% των οχημάτων της πολιτείας και μέχρι το 2003, 10% των οχημάτων πρέπει να έχουν μηδενικές εκπομπές ρύπων. Στην πορεία ωστόσο ο νόμος αυτός γίνεται πιο ελαστικός.
- 1997-2000: Μερικές χιλιάδες ηλεκτρικά οχήματα παράγονται από τις μεγάλες αυτοκινητοβιομηχανίες, όπως για παράδειγμα το Prius και το RAV4-EV (με μπαταρίες NiMH, αυτονομία 190km και μέγιστη ταχύτητα 126km/h) της Toyota, το EV Plus της Honda (με μπαταρίες NiMH και αυτονομία 160km), το οποίο χρησιμοποιείται και στην παρούσα εργασία, το Ranger pickup EV της Ford, το Altra EV της Nissan, το S-10 EV της Chevy. Ωστόσο τα περισσότερα από αυτά διατίθενται μόνο για ενοικίαση
- 2002: οι εταιρείες G.M. και DaimlerChrysler μηνύουν το CARB (California Air Resources Board), ζητώντας την απόσυρση του νόμου για τα οχήματα μηδενικών εκπομπών που είχε περάσει το 1990. Ένα χρόνο αργότερα η G.M. ανακοινώνει ότι μέχρι το τέλος του 2004 θα έχει αποσύρει τα EV1 από την αγορά, εξαιτίας της αδυναμίας της να παρέχει ανταλλακτικά, γεγονός που προκαλεί μεγάλες αντιδράσεις
- 2003: Το CARB υποκύπτει στις αυτοβιομηχανίες και ανακοινώνει ένα «εναλλακτικό σχέδιο», προωθώντας και την τεχνολογία κυψελών καυσίμου. Αυτή τη φορά οι κατασκευαστές οχημάτων έχουν περιθώριο προσαρμογής μέχρι το 2018
- 2007: Μικρή παραγωγή ηλεκτρικών οχημάτων γίνεται από διάφορες εταιρείες όπως η Tesla Motors που παρουσιάζει το Tesla Roadster το οποίο θα πουληθεί ένα χρόνο αργότερα στην τιμή των \$98,950.
- Με βελτιώσεις στην τεχνολογία φόρτισης, στη μπαταρία, στους ηλεκτρονικούς ελεγκτές και στο σχεδιασμό τα νέα οχήματα ανταγωνίζονται σε διανύμενη απόσταση και ταχύτητα τα βενζινοκίνητα. Μετά το Πρωτόκολλο του Kyoto και σε μια προσπάθεια επίτευξης των στόχων που τίθενται απ' αυτό αναζωπυρώνεται το ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα



- 2008: Σε πολλές χώρες όπως Ισραήλ, Δανία, Καναδάς, Ιαπωνία, Αυστραλία, ΗΠΑ υιοθετούνται προγράμματα υποστήριξης ηλεκτρικών οχημάτων. Λόγω της αυξημένης τιμής του πετρελαίου οι πωλήσεις βενζινοκίνητων οχημάτων φτάνουν στα χαμηλότερα επίπεδα της δεκαετίας.
- 2009: Στις ΗΠΑ \$ 2 δις διατίθενται για την ανάπτυξη μπαταριών για τα ηλεκτρικά οχήματα καθώς κι άλλων σχετικών τεχνολογιών, ενώ άλλα \$ 400 εκατ. για την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών που απαιτούνται για τη χρήση των οχημάτων αυτών. Η βρετανική κυβέρνηση προωθεί τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων δίνοντας επιχορήγηση 2000 λιρών σε κάθε αγοραστή.
- Παρότι λίγα ηλεκτρικά οχήματα διατίθενται αυτή τη στιγμή στην αγορά, αρκετά νέα μοντέλα όπως το LEAF της Nissan, το VOLT της Chevrolet, το i MiEV της Mitsubishi, αναμένονται να κυκλοφορήσουν στο κοντινό μέλλον. Ωστόσο, τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν ακόμα αρκετό δρόμο να διανύσουν προκειμένου να αποτελέσουν μια συμφέρουσα επιλογή για πολλούς οδηγούς. Το υψηλό κόστος κατασκευής, ο περιορισμένος χρόνος ζωής της μπαταρίας και η περιορισμένη διανυόμενη απόσταση, καθώς και η κατασκευή σταθμών φόρτισης κι άλλων υποδομών που απαιτούνται, αποτελούν μερικές από τις προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν ώστε να επιτευχθεί η επικράτηση των οχημάτων αυτών [16].

4.3 Τύποι Ηλεκτρικών Οχημάτων (EV)

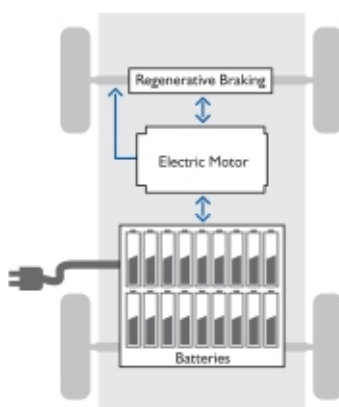
Με τον όρο ηλεκτρικά οχήματα, στην παρούσα διπλωματική δεν αναφερόμαστε μόνο στα οχήματα που χρησιμοποιούν αποκλειστικά μπαταρίες ως αποθήκευση (electric vehicles), αλλά σε οποιοδήποτε όχημα χρησιμοποιεί ηλεκτροκινητήρα για τη δημιουργία κίνησης, ανεξάρτητα του εάν η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από μπαταρίες, βενζίνη, φυσικό αέριο ή υδρογόνο (electric drive vehicles). Υπάρχει περίπτωση τα ηλεκτρικά οχήματα να μην εξαρτώνται από το δίκτυο, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με τα κοινά υβριδικά οχήματα που τροφοδοτούνται με υγρά καύσιμα. Άλλη περίπτωση είναι τα οχήματα να φορτίζονται από το δίκτυο αλλά να μην παρέχουν ενέργεια σε αυτό, όπως συμβαίνει με τα οχήματα μπαταρίας που κυκλοφορούν αυτή τη στιγμή. Πάντως, για όλα τα ηλεκτρικά οχήματα ισχύει ότι μπορούν να προσφέρουν ενέργεια στο δίκτυο με τις κατάλληλες διασυνδέσεις.

Στη συνέχεια αναφέρονται κάποια βασικά στοιχεία των διαφόρων τύπων ηλεκτρικών οχημάτων:

1) Ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας (Battery EVs)

Τα οχήματα μπαταρίας αποθηκεύουν ηλεκτροχημική ενέργεια στις μπαταρίες, εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους κατά την κίνησή τους. Αυτή τη στιγμή οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος (lead-acid) αποτελούν τη φθηνότερη επιλογή, ωστόσο οι υδριδίου μετάλλων νικελίου (NiMH), ιόντος λιθίου (Li-ion) και λιθίου-ιόντων πολυμερών

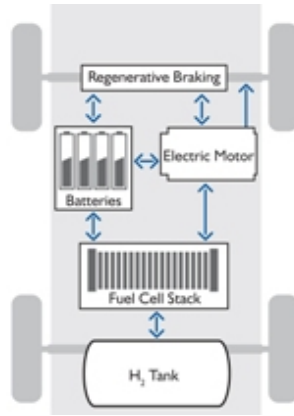
γίνονται όλο και πιο ανταγωνιστικές λόγω του ότι έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, μικρότερο μέγεθος και είναι πιο ελαφριές. Οι μπαταρίες φορτίζονται με σύνδεση στο δίκτυο καθώς και με το λεγόμενο «αναπαραγωγικό φρενάρισμα», που είναι στην ουσία η χρησιμοποίηση μέρους της θερμότητας που παράγεται κατά το φρενάρισμα για την επαναφόρτιση της μπαταρίας. Σήμερα, ορισμένοι τύποι ηλεκτρικών οχημάτων μπαταρίας που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι τα χαμηλής ταχύτητας, τα ηλεκτρικά οχήματα γειτονιάς (NEV's), τα οχήματα που αποτελούν τον εξοπλισμό εδάφους των αεροδρομίων, καθώς και οχήματα βιομηχανικού εξοπλισμού, όπως για παράδειγμα περνοφόρους ανυψωτές.



Εικόνα 2: Ηλεκτρικό όχημα μπαταρίας (Battery EV)

2) Ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell EVs)

Τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου αποθηκεύουν ενέργεια με τη μορφή υδρογόνου (H_2), το οποίο τροφοδοτεί μια κυψέλη καυσίμου μαζί με ατμοσφαιρικό οξυγόνο (O_2), παράγοντας ηλεκτρισμό, με τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης, με μόνα παραπροϊόντα θερμότητα και νερό. Ούτε κι αυτά επομένως δεν εκπέμπουν ρύπους. Διάφοροι τρόποι για την αποθήκευση ή την παραγωγή υδρογόνου πάνω στο ίδιο το όχημα μελετώνται, στους οποίους περιλαμβάνεται η συμπίεση του αερίου H_2 , η δέσμευσή του σε μέταλλα, καθώς και η παραγωγή επί του οχήματος από φυσικό αέριο, μεθανόλη, βενζίνη ή άλλο καύσιμο. Σήμερα, ένας αριθμός ηλεκτρικών οχημάτων κυψελών καυσίμου κυκλοφορεί στους δρόμους παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένων επιβατικών αυτοκινήτων, φορτηγών διανομής, λεωφορείων και στρατιωτικών οχημάτων. Ωστόσο, η απαιτούμενη υποδομή για τη διανομή του H_2 , η επί του οχήματος αποθήκευσή του H_2 και οι απώλειες μετατροπής αποτελούν σημαντικά προβλήματα που αφήνουν ανοιχτό το ερώτημα κατά πόσο τα ηλεκτρικά οχήματα κυψελών καυσίμου θα αποτελέσουν μια πρακτική και συμφέρουσα λύση στο μέλλον.

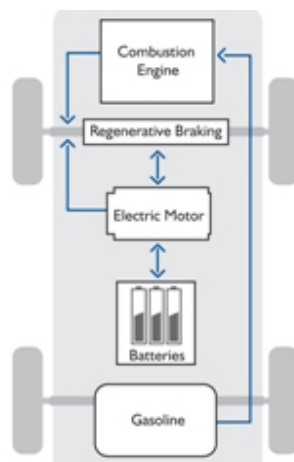


Εικόνα 3: Ηλεκτρικό όχημα κυψελών καυσίμου (Fuel Cell EV)

3) Υβριδικά οχήματα (Hybrid EVs)

Τα σύγχρονα υβριδικά οχήματα χρησιμοποιούν και ηλεκτροκινητήρα και μηχανή εσωτερικής καύσης για την κίνηση τους. Κάθε υβριδικό είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να φορτίζει τις μπαταρίες του μέσω του «αναπαραγωγικού φρεναρίσματος» όπως εξηγήθηκε παραπάνω. Την ενέργεια αυτή τη χρησιμοποιεί στη συνέχεια για τη λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα χωρίς να χρειάζεται να συνδεθεί στο δίκτυο.

Ένα υβριδικό «παράλληλης» λειτουργίας χρησιμοποιεί τον ηλεκτροκινητήρα ή τη μηχανή εσωτερικής καύσης για την κίνηση του οχήματος. Ένα υβριδικό «σειριακής» λειτουργίας χρησιμοποιεί τον ηλεκτροκινητήρα για να παράγει την επιπλέον ενέργεια στη μηχανή εσωτερικής καύσης όταν τη χρειάζεται, για παράδειγμα κατά την εκκίνηση ή την επιτάχυνση. Όλα έχουν τη δυνατότητα να πετύχουν μεγαλύτερη οικονομία καυσίμων σε σχέση με τα συμβατικά βενζινοκίνητα οχήματα. Η αγορά υβριδικών οχημάτων μεγαλώνει συνεχώς, με όλο και περισσότερα μοντέλα να διατίθενται στους καταναλωτές.

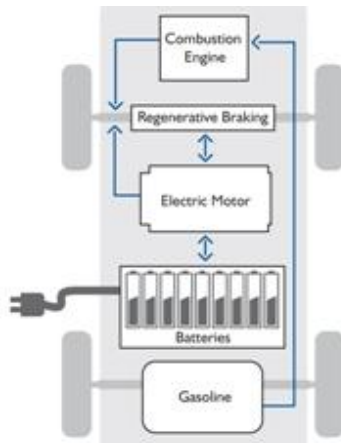


Εικόνα 4: Υβριδικό όχημα (Hybrid EV)

Τα υβριδικά οχήματα που παράγονται μαζικά μέχρι τώρα έχουν μεγαλύτερη μηχανική παρά ηλεκτρική ισχύ κίνησης (περίπου 75-25%), μικρές μπαταρίες (1-2kWh), και δε διαθέτουν τη δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο.

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

Με τον όρο 'Plug-in EV's' εννοούμε τα ηλεκτρικά οχήματα που έχουν τη δυνατότητα να συνδέονται στο δίκτυο και να ανταλλάσσουν ηλεκτρική ενέργεια με αυτό. Κάθε ένας από τους τύπους οχημάτων που προαναφέρθηκαν μπορεί με την προσθήκη του κατάλληλου εξοπλισμού να αποκτήσει αυτή τη δυνατότητα. Συγκεκριμένα, τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας έχουν από κατασκευής τους τον εξοπλισμό που απαιτείται για σύνδεση στο δίκτυο καθώς έτσι φορτίζουν τις μπαταρίες τους (ή τις εκφορτίζουν σε περίπτωση που το δίκτυο έχει ανάγκη την αποθηκευμένη σε αυτές ενέργεια). Τα υβριδικά οχήματα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο έχουν μεγαλύτερη μπαταρία από τα απλά υβριδικά και χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο, ενέργειας από το «αναπαραγωγικό φρενάρισμα» καθώς και ενέργειας από μηχανή εσωτερικής καύσης ή κυψέλη καυσίμου για να κινηθούν. Στην ουσία, φορτίζουν όσο είναι σταθμευμένα κι έτσι για μικρές διαδρομές δε χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν καθόλου καύσιμο [1,3,17].



Εικόνα 5: Ηλεκτρικό όχημα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο (Plug-in EV)

4.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ηλεκτρικών Οχημάτων

Τα βασικά πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών οχημάτων είναι τα εξής:

- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον, δηλαδή δεν εκπέμπουν ρύπους κι έτσι δε συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ωστόσο, σε περίπτωση που η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη φόρτισή τους προέρχεται για παράδειγμα από την καύση ορυκτών καυσίμων, τότε εκπέμπονται ρύποι κατά την

παραγωγή του ηλεκτρισμού που τροφοδοτεί τα οχήματα αυτά. Επομένως, ιδανικά, θα πρέπει ο ηλεκτρισμός να προέρχεται από πυρηνική, υδροηλεκτρική, ηλιακή ή αιολική ενέργεια.

-Είναι *ενεργειακά αποδοτικότερα*. Οι ηλεκτροκινητήρες μετατρέπουν το 75% της χημικής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στις μπαταρίες για την κίνηση των τροχών, ενώ αντίθετα οι μηχανές εσωτερικής καύσης μετατρέπουν μόνο το 20% της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στη βενζίνη.

-Οι ηλεκτροκινητήρες παρέχουν *αθόρυβη, ομαλή λειτουργία και καλύτερη επιτάχυνση* κι απαιτούν *λιγότερη συντήρηση* σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης.

-*Μειώνουν την ενεργειακή εξάρτηση*, καθώς ο ηλεκτρισμός είναι μια εγχώρια πηγή ενέργειας.

-Τέλος, είναι δυνατόν τα ηλεκτρικά οχήματα να προσφέρουν πολύτιμες *υπηρεσίες στο ηλεκτρικό δίκτυο*, και να αυξήσουν την αξιοπιστία και την αποδοτικότητά του. Όπως θα εξηγηθεί αναλυτικά στη συνέχεια, όταν τα ηλεκτρικά οχήματα συνδέονται στο δίκτυο μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως φορτία, είτε ως συσκευές αποθήκευσης. Αν οι Ρυθμιστικές Αρχές μπορέσουν να ελέγξουν τις ώρες φόρτισης των οχημάτων (προκαλώντας για παράδειγμα τη φόρτιση τους κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης), τότε μιλάμε για ένα ελεγχόμενο φορτίο που επιτρέπει την εξομάλυνση της καμπύλης της ζήτησης. Από την άλλη, ως αποθηκευτικά μέσα τα οχήματα αυτά μπορούν να προσφέρουν επικουρικές υπηρεσίες στο δίκτυο, όπως είναι η εφεδρεία ή η συμμετοχή στη ρύθμιση της τάσης και της συχνότητας του δικτύου. Παράλληλα, μπορούν να αποθηκεύσουν ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές επιτρέποντας τη μεγαλύτερη διείσδυση αυτών στο δίκτυο.

Ωστόσο, για την επικράτηση των ηλεκτρικών οχημάτων χρειάζεται περαιτέρω έρευνα ώστε να αντιμετωπιστούν σημαντικές προκλήσεις που σχετίζονται κυρίως με την τεχνολογία των συσσωρευτών:

-*Μέγιστη διανύσιμη απόσταση*. Τα περισσότερα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να κινηθούν μόνο 100-200 μίλια πριν χρειαστεί η επαναφόρτισή τους, ενώ τα βενζινοκίνητα οχήματα μπορούν να κινηθούν πάνω από 300 μίλια πριν απαιτηθεί ο ανεφοδιασμός τους με βενζίνη.

-*Χρόνος επαναφόρτισης*. Πλήρης επαναφόρτιση της συστοιχίας μπαταριών μπορεί να διαρκέσει από 4 έως 8 ώρες. Ακόμα και μια *ταχεία φόρτιση* στο 80% της χωρητικότητας διαρκεί 30 λεπτά.

-*Κόστος μπαταριών*. Οι μεγάλες συστοιχίες μπαταριών είναι ακριβές και μπορεί να χρειαστούν αντικατάσταση μια ή περισσότερες φορές.

-*Όγκος και βάρος*. Οι συστοιχίες μπαταριών είναι βαριές και καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο στο όχημα.

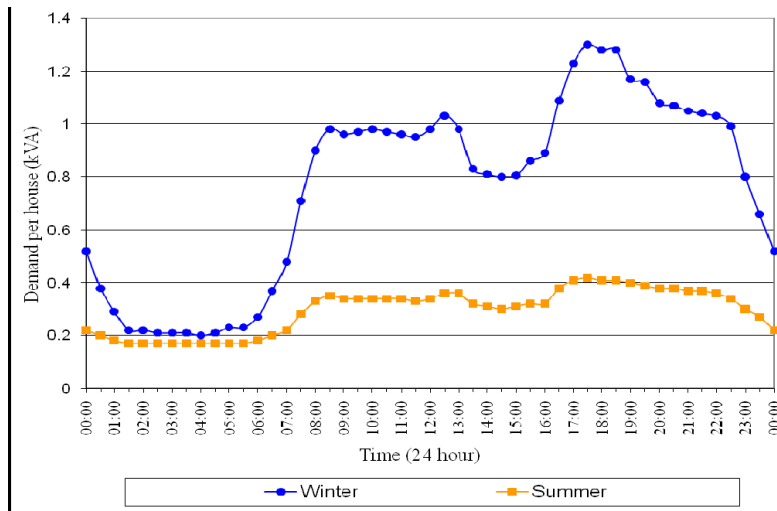
4.5 Ηλεκτρικά Οχήματα και Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας

Γενικά, ο ρόλος των ηλεκτρικών οχημάτων σε ένα δίκτυο είναι διπλός. Κατά τη φόρτισή τους από το δίκτυο συμπεριφέρονται ως *φορτία*, αυξάνοντας τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Από τη στιγμή όμως που διαθέτουν μπαταρίες και τη δυνατότητα σύνδεσης τους με το δίκτυο μπορούν να λειτουργήσουν κι ως *μονάδες αποθήκευσης*, προσφέροντας ενέργεια στο δίκτυο όταν αυτό τη χρειάζεται.

4.5.1 Τα ηλεκτρικά οχήματα ως φορτία

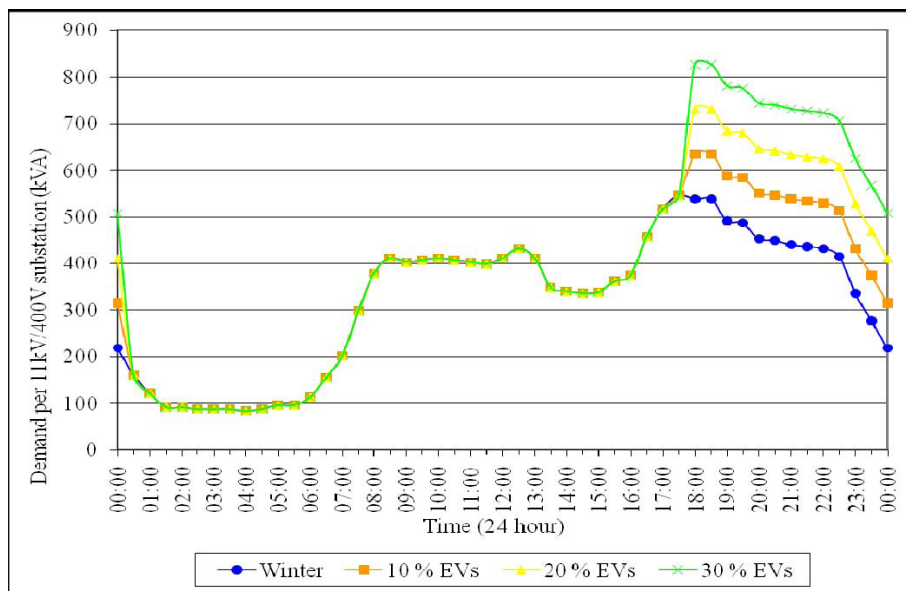
Όταν τα ηλεκτρικά οχήματα συνδέονται στο δίκτυο με σκοπό τη φόρτιση των μπαταριών τους λειτουργούν ως φορτία. Μπορούν να συνδεθούν είτε σε τριφασική είτε σε μονοφασική παροχή. Στην περίπτωση τριφασικής παροχής διατίθεται μεγαλύτερη ισχύς κι επομένως η φόρτιση είναι ταχύτερη. Ωστόσο, η διαθεσιμότητα των τριφασικών σημείων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυτή τη στιγμή περιορισμένη. Από τη άλλη, η μονοφασική παροχή είναι ευρέως διαθέσιμη κι επομένως αναμένεται ότι η φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων θα γίνεται με αυτόν τον τρόπο. Το ρεύμα φόρτισης είναι περίπου 10A για μια αργή φόρτιση και 30A για ταχεία φόρτιση. Η αργή φόρτιση διαρκεί κατά μέσο όρο 6 ώρες. Ένα βασικό ερώτημα είναι κατά πόσο η υπάρχουσα υποδομή για την παροχή ηλεκτρικής ισχύος μπορεί να καλύψει την επιπλέον ζήτηση που θα προκύψει από τη σύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο. Σύμφωνα με αποτελέσματα μελετών που έχουν διεξαχθεί, με τη λήψη των κατάλληλων ρυθμιστικών μέτρων σε κάθε χώρα είναι δυνατόν να πραγματοποιείται η φόρτιση των οχημάτων κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης, έτσι ώστε να μην αυξάνεται η αιχμή του συστήματος κι επομένως να μην απαιτείται η κατασκευή νέων σταθμών παραγωγής. Με τον τρόπο αυτό, τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν ένα ελεγχόμενο φορτίο και μέσω της μείωσης των διακυμάνσεων της ζήτησης, συμβάλλουν στην εξομάλυνση της καμπύλης της ζήτησης, δηλαδή στην προσέγγιση της ιδανικής της μορφής.

Σαν παράδειγμα των παραπάνω αναφέρεται μια έρευνα που έχει γίνει για το Σύστημα της Βρετανίας. Παρακάτω φαίνεται μια τυπική καμπύλη ζήτησης οικιακών καταναλωτών για μια χειμωνιάτικη και μια καλοκαιρινή ημέρα. Για την υπόλοιπη μελέτη θεωρήθηκε μόνο η χειμερινή ημέρα καθώς σε αυτή παρατηρείται η μέγιστη ζήτηση.



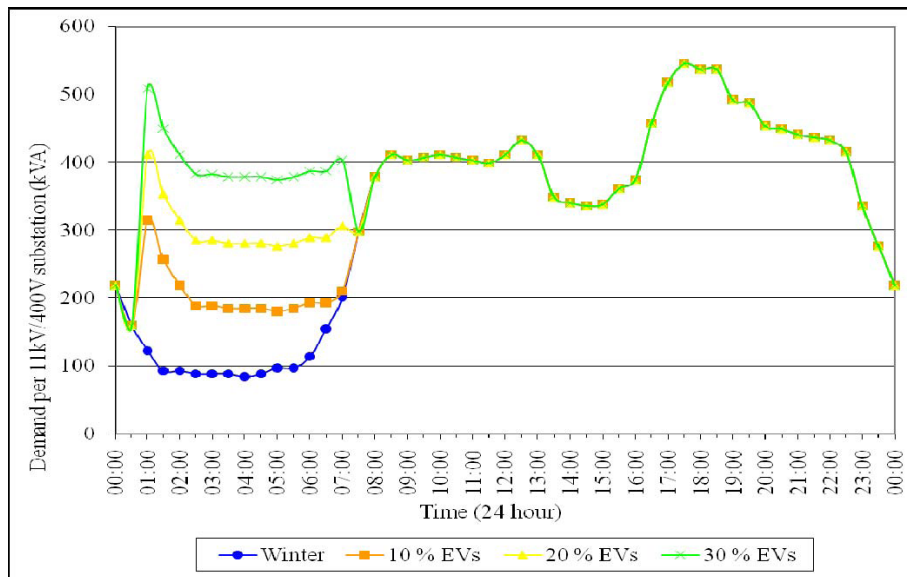
Διάγραμμα 1: Τυπική καμπύλη φορτίου για οικιακό καταναλωτή

Στο πρώτο σενάριο που μελετήθηκε στη συγκεκριμένη έρευνα θεωρήθηκε μη ελεγχόμενη φόρτιση των οχημάτων, δηλαδή πλήρης απουσία ελέγχων/κινήτρων προκειμένου να μετατεθεί η ζήτηση σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές της ημέρας. Επομένως, σε αυτή την περίπτωση οι καταναλωτές πιθανότατα φορτίζουν τα οχήματά τους όταν επιστρέφουν από τη δουλειά τους, δηλαδή για παράδειγμα στις βμ.μ. Το αποτέλεσμα είναι αύξηση της αιχμής του φορτίου όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, για διάφορα ποσοστά διείσδυσης οχημάτων:



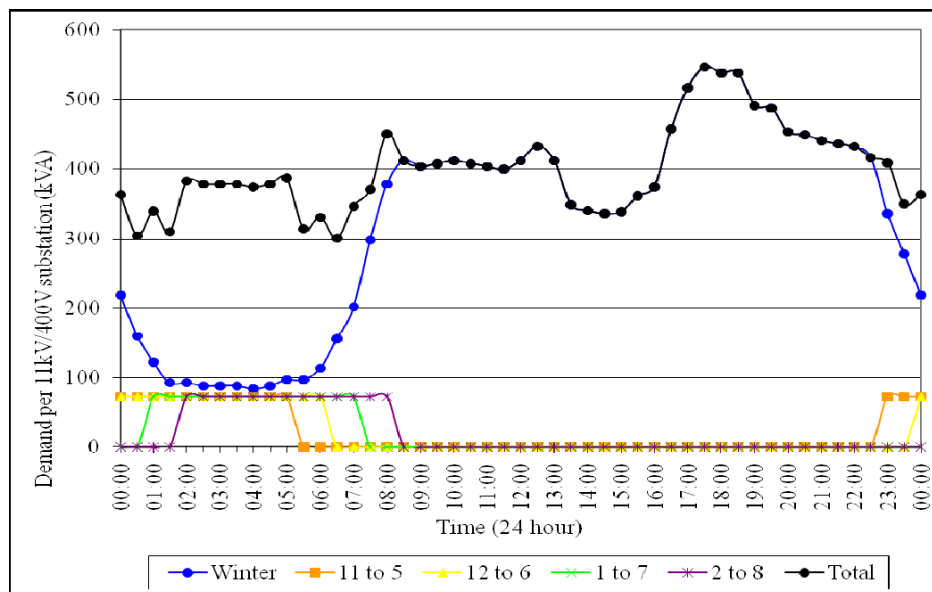
Διάγραμμα 2: Χειμερινή καμπύλη φορτίου, ανεξέλεγκτη φόρτιση οχημάτων

Σύμφωνα με το επόμενο σενάριο πραγματοποιείται φόρτιση κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης απλά με την τοποθέτηση ενός χρονισμένου ελεγκτή στο κύκλωμα φόρτισης, ο οποίος προγραμματίζει την έναρξη της φόρτισης στη 1π.μ. και τη λήξη της στις 7π.μ. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η βελτίωση στην καμπύλη φορτίου του δικτύου και η απουσία επίδρασης στην αιχμή του:



Διάγραμμα 3: Χειμερινή καμπύλη φορτίου, ελεγχόμενη φόρτιση οχημάτων

Και βέβαια με περαιτέρω έλεγχο για παράδειγμα με διαμοιρασμό των οχημάτων μεταξύ των ωραρίων: 11μμ-5πμ, 12-6πμ, 1πμ-7πμ, 2πμ-8πμ εξομαλύνεται ακόμα περισσότερο η καμπύλη της ζήτησης καθώς αποφεύγεται μια αιχμή μετά τα μεσάνυχτα και μια βύθιση στις 7πμ. Αυτό ονομάζεται «έξυπνη φόρτιση» και φαίνεται παρακάτω:



Διάγραμμα 4: χειμερινή καμπύλη φορτίου, έξυπνη φόρτιση

Παράλληλα, μεγάλη διείσδυση ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο μπορεί να επηρεάσει και την τάση του δικτύου. Για παράδειγμα σε περιπτώσεις φόρτισης των οχημάτων σε ώρα μέγιστης ζήτησης ή εκφόρτισης τους στο δίκτυο σε ώρα ελάχιστης ζήτησης μπορεί να προκληθούν τάσεις εκτός των καθορισμενων ορίων. Ωστόσο, οι περιπτώσεις αυτές μπορούν να αποφευχθούν με τα κατάλληλα ρυθμιστικά μέτρα [4].

4.5.2 Τα ηλεκτρικά οχήματα ως μονάδες παραγωγής

Η ιδέα της χρησιμοποίησης των ηλεκτρικών οχημάτων ως μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής για την υποστήριξη του δικτύου διανομής προέκυψε από την παρατήρηση ότι το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και ο στόλος των ελαφρών οχημάτων αποτελούν δυο συμπληρωματικά συστήματα. Το ηλεκτρικό δίκτυο γενικά δεν έχει μεγάλη αποθηκευτική δυνατότητα, γι' αυτό γενικά η παραγωγή και μεταφορά της ενέργειας θα πρέπει να ελέγχονται με τρόπο ώστε να ακολουθούν συνεχώς τις διακυμάνσεις του φορτίου που ζητείται. Αντίθετα, τα οχήματα από τη φύση τους πρέπει να διαθέτουν αποθήκευση εφόσον κινούνται. Μάλιστα, είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε να επιδέχονται μεγάλες και συχνές διακυμάνσεις ισχύος, καθώς κάτι τέτοιο απαιτεί εξ' ορισμού η οδήγηση. Επίσης, το υψηλό κόστος κεφαλαίου των μεγάλων γεννητριών αποτελεί κίνητρο για αυξημένη χρησιμοποίησή τους (μέσος συντελεστής χρησιμοποίησης 57%). Από την άλλη, τα προσωπικά οχήματα είναι φτηνά ανά μονάδα ενέργειας και χρησιμοποιούνται μόνο το 4% του ημερήσιου χρόνου για μετακινήσεις (1 ώρα την ημέρα). Αυτό σημαίνει ότι το υπόλοιπο 96% (23 ώρες την ημέρα) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κάποια δευτερεύουσα λειτουργία.

Η παραπάνω σύγκριση αποκτά πρακτική σημασία με την εμφάνιση των ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία όπως αναφέρθηκε παραπάνω διαθέτουν έναν ηλεκτροκινητήρα που τροφοδοτείται π.χ. από μπαταρίες ή κυψέλες καυσίμου. Τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να παράγουν ή να αποθηκεύσουν ηλεκτρική ενέργεια όταν είναι παρκαρισμένα, και με τις κατάλληλες συνδέσεις μπορούν να τροφοδοτήσουν με ενέργεια το δίκτυο. Αυτό ονομάζεται ενέργεια από το όχημα προς το δίκτυο ή vehicle-to-grid power ή V2G και αναλύεται στη συνέχεια.

4.6 Λειτουργία Vehicle-to-grid (V2G)

Η βασική ιδέα της ενέργειας V2G είναι τα ηλεκτρικά οχήματα να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο όσο είναι σταθμευμένα. Τα ηλεκτρικά οχήματα που θεωρούμε εδώ μπορεί να είναι μπαταρίας, κυψελών καυσίμου ή υβριδικά οχήματα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο (plug-in hybrid). Ολα χρησιμοποιούν ηλεκτροκινητήρα που τους παρέχει ολόκληρη ή μέρος από τη μηχανική ενέργεια που απαιτείται για την κίνησή τους. Ολα διαθέτουν ηλεκτρονικά ισχύος που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου σε συνεχή για τη φόρτιση της μπαταρίας του οχήματος ή μπορούν να λειτουργήσουν κι αντίστροφα, μετατρέποντας τη συνεχή τάση από το όχημα στην εναλλασσόμενη τάση του δικτύου και στη συχνότητα του δικτύου (50Hz για την Ελλάδα). Τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας μπορούν να φορτίσουν κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης και να εκφορτίσουν όταν το δίκτυο χρειάζεται ισχύ. Τα οχήματα κυψελών καυσίμου παράγουν ενέργεια από καύσιμα σε υγρή ή αέρια μορφή. Τα plug-in υβριδικά μπορούν να λειτουργήσουν με οποιονδήποτε από τους παραπάνω τρόπους.

4.6.1 Αγορές Ηλεκτρικής Ισχύος

Υπάρχουν τρεις αγορές ηλεκτρικής ισχύος στις οποίες θα μπορούσε να πουληθεί η ενέργεια από ηλεκτρικά οχήματα, με διαφορετικό καθεστώς ελέγχου η καθεμία. Αυτές είναι: η ισχύς βασικού φορτίου (baseload power), η ισχύς αιχμής (peak power), και οι επικουρικές υπηρεσίες (ancillary services) που διακρίνονται στην στρεφόμενη εφεδρεία (spinning reserves), και τη ρύθμιση (regulation). Οι αγορές αυτές διαφέρουν ως προς τη μέθοδο ελέγχου που χρησιμοποιείται, το χρόνο απόκρισης, τη διάρκεια της αποστολής ισχύος, τους όρους των συμβολαίων και την τιμή. Μια πρόσθετη μελλοντική αγορά ηλεκτρισμού, που προκύπτει ως συνδυασμός των παραπάνω και που θα μελετηθεί αργότερα, είναι και η αποθήκευση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Πιο αναλυτικά:

4.6.1.1 Ισχύς για την κάλυψη του βασικού φορτίου (Baseload Power)

Παρέχεται όλο το εικοσιτετράωρο και πωλείται συνήθως μέσω μακροχρόνιων συμβολαίων για σταθερή παραγωγή σε σχετικά χαμηλή τιμή ανα kW. Η ισχύς αυτή παρέχεται κυρίως από μεγάλα εργοστάσια άνθρακα ή πυρηνικά, ενώ έχει αποδειχθεί ότι η λειτουργία V2G δεν μπορεί να δώσει ισχύ βασικού φορτίου σε ανταγωνιστική τιμή. Αυτό συμβαίνει γιατί η αγορά αυτή βγάζει στην επιφάνεια τις αδυναμίες των ηλεκτρικών οχημάτων (περιορισμένη αποθήκευση ενέργειας, σχετικά μικρός χρόνος ζωής των διαφόρων συσκευών, και υψηλό κόστος ενέργειας ανα kWh), ενώ δεν εκμεταλλεύεται τα δυνατά τους σημεία (γρήγορος χρόνος απόκρισης, χαμηλό κόστος αναμονής (standby), και χαμηλό κόστος κεφαλαίου ανα kW).

4.6.1.2 Ισχύς για την κάλυψη του φορτίου αιχμής (Peak Power)

Παράγεται ή αγοράζεται σε στιγμές της ημέρας όπου αναμένονται υψηλά επίπεδα κατανάλωσης ισχύος (για παράδειγμα σε ζεστά μεσημέρια καλοκαιριού). Εφόσον η ισχύς αυτή χρειάζεται μόνο λίγες εκατοντάδες ώρες το χρόνο, είναι οικονομικότερο να χρησιμοποιηθούν μονάδες με χαμηλό κόστος κεφαλαίου ακόμα και αν η κάθε kWh που παράγεται είναι πιο ακριβή. Αποδεικνύεται ότι η λειτουργία V2G μπορεί να είναι συμφέρουσα στην περίπτωση του φορτίου αιχμής, μόνο υπό ορισμένες συνθήκες.

4.6.1.3 Επικουρικές Υπηρεσίες (Ancillary Services)

Ο βασικός σκοπός των επικουρικών υπηρεσιών είναι να συμβάλλουν στη διατήρηση της αξιοπιστίας και της ευστάθειας του συστήματος. Οι επικουρικές υπηρεσίες δεν είναι απ'ευθείας kWh ενέργειας. Αποτελούν ηλεκτρική ισχύ που βρίσκεται σε αναμονή, έτοιμη να προσφερθεί στο σύστημα όταν αυτό τη χρειάζεται, π.χ. για προσαρμογή της τάσης ή της συχνότητας. Εάν η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας ήταν πάντα σε πλήρη ισορροπία οι επικουρικές υπηρεσίες δε θα ήταν

απαραίτητες. Κάτι τέτοιο όμως δε συμβαίνει, κι έτσι οι επικουρικές υπηρεσίες χρησιμοποιούνται για να εξισορροπήσουν την παραγωγή και τη ζήτηση ενέργειας, και να εξασφαλίσουν τη ρύθμιση και την ποιότητα ισχύος. Οι επικουρικές υπηρεσίες ευθύνονται για το 5-10% του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας με το 80% αυτού να οφείλεται στη ρύθμιση. Παρακάτω αναλύονται δυο επικουρικές υπηρεσίες που σχετίζονται άμεσα με την ενέργεια V2G.

α) Στρεφόμενη εφεδρεία (Spinning Reserves)

Ο όρος αυτός αναφέρεται στην επιπλέον παραγωγική ικανότητα, που βρίσκεται κάθε στιγμή σε αναμονή, και που μπορεί να δώσει ισχύ άμεσα, για παράδειγμα μέσα σε 10 λεπτά από το αίτημα του διαχειριστή του δικτύου. Ο λόγος ύπαρξης της στρεφόμενης εφεδρείας είναι η εξυπηρέτηση του φορτίου σε περίπτωση που συμβεί κάποιο αναπάντεχο γεγονός, όπως για παράδειγμα η απώλεια κάποιας γεννήτριας του δικτύου. Οι γεννήτριες που παρέχουν στρεφόμενη εφεδρεία στρέφονται με ταχύτητα χαμηλότερη της ονομαστικής τους κι έτσι είναι ήδη συγχρονισμένες στο δίκτυο. Η στρεφόμενη εφεδρεία πληρώνεται με βάση το χρόνο που είναι διαθέσιμη για χρήση. Για παράδειγμα, μια γεννήτρια 1MW που κρατείται σε εφεδρεία για ένα 24ωρο πωλείται ως 1MW-day, παρότι καθόλου ενέργεια δεν παράχθηκε στην πραγματικότητα. Εάν τύχει να κληθεί η γεννήτρια να παράγει και κάποια ποσότητα ενέργειας, τότε πληρώνεται ένα επιπλέον ποσό για την ενέργεια που διαθέτει.

Οι παραπάνω διακανονισμοί είναι ευνοϊκοί για τα ηλεκτρικά οχήματα καθώς πληρώνονται ως στρεφόμενη εφεδρεία για πολλές ώρες, απλά με το να παραμένουν συνδεδεμένα στο δίκτυο, ενώ στην ουσία είναι πολύ περιορισμένο το διάστημα κατά το οποίο παράγουν ενέργεια. Τα συμβόλαια σχετικά με τη στρεφόμενη εφεδρεία περιορίζουν τον αριθμό των κλήσεων σε 20 το χρόνο και τη διάρκειά τους σε 1 ώρα ανα κλήση το μέγιστο.

β) Ρύθμιση (Regulation)

Η ρύθμιση, που επίσης αναφέρεται και ως έλεγχος συχνότητας, χρησιμοποιείται για να διατηρεί στα σωστά επίπεδα τη συχνότητα και την τάση του δικτύου ισοσταθμίζοντας την παραγωγή ενέργειας με τη ζήτηση. Η ρύθμιση πρέπει να είναι υπο τον άμεσο έλεγχο σε πραγματικό χρόνο του διαχειριστή του δικτύου, με τη μονάδα παραγωγής να είναι ικανή να δέχεται τα σήματα από τον υπολογιστή του διαχειριστή και να απαντά μέσα σε ένα λεπτό ή λιγότερο αυξάνοντας ή μειώνοντας την έξοδό της.

Μερικές αγορές χωρίζουν τη ρύθμιση σε δυο επιμέρους στοιχεία: το ένα σχετίζεται με τη δυνατότητα αύξησης της παραγωγής ενέργειας από ένα επίπεδο βάσης και το άλλο με τη μείωση από ένα επίπεδο βάσης. Συχνά, αναφέρονται ως *πάνω ρύθμιση* και *κάτω ρύθμιση* αντίστοιχα. Για παράδειγμα, αν το φορτίο ξεπερνάει την παραγωγή η τάση και η συχνότητα πέφτουν, επομένως χρειάζεται *πάνω ρύθμιση*. Η ρύθμιση

ελέγχεται αυτόματα μέσω μιας άμεσης σύνδεσης από το διαχειριστή του δικτύου. Σε σύγκριση με τη στρεφόμενη εφεδρεία καλείται πολύ πιο συχνά (για παράδειγμα 400 φορές την ημέρα), απαιτεί ταχύτερη απόκριση (λιγότερο από 1 λεπτό) και έχει μικρότερη διάρκεια (μερικά λεπτά τη φορά). Τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας φαίνονται να είναι κατάλληλα για τη συγκεκριμένη αγορά, καθώς 1) μπορούν να ανταποκριθούν πολύ γρήγορα σε σήματα ρύθμισης, 2) μπορούν να πραγματοποιήσουν τόσο πάνω ρύθμιση (V2G), όσο και κάτω ρύθμιση (φόρτιση) και 3) συνδυασμός πάνω και κάτω ρύθμισης προκαλεί πολύ μικρή εκφόρτιση της μπαταρίας.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι διασυνδέσεις κάθε τύπου οχήματος με το δίκτυο και η πιθανή χρήση τους από το αυτό. Οι τέσσερις αγορές ηλεκτρικής ισχύος που αναπτύχθηκαν παραπάνω φαίνονται στις δεξιότερες στήλες. Το σύμβολο "×" σημαίνει ότι το όχημα δεν αναμένεται να συμμετέχει στη συγκεκριμένη αγορά, το σύμβολο "√" υποδηλώνει ότι αναμένεται να συμμετέχει και το σύμβολο "?" δείχνει ότι υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες στον υπολογισμό και δεν μπορεί να γίνει πρόβλεψη εκ των προτέρων. Χαρακτηριστικό είναι πως κανένα όχημα δεν αναμένεται να είναι οικονομικά αποδοτικό για την ισχύ βασικού φορτίου, ότι τόσο τα οχήματα μπαταρίας, όσο και τα οχήματα κυψελών καυσίμου θα μπορούσαν να προσφέρουν ισχύ σε όλες τις υπόλοιπες αγορές εκτός από αυτή του βασικού φορτίου, ενώ τα υβριδικά σε άλλες αγορές είναι οικονομικά αποδοτικά και σε άλλες όχι.

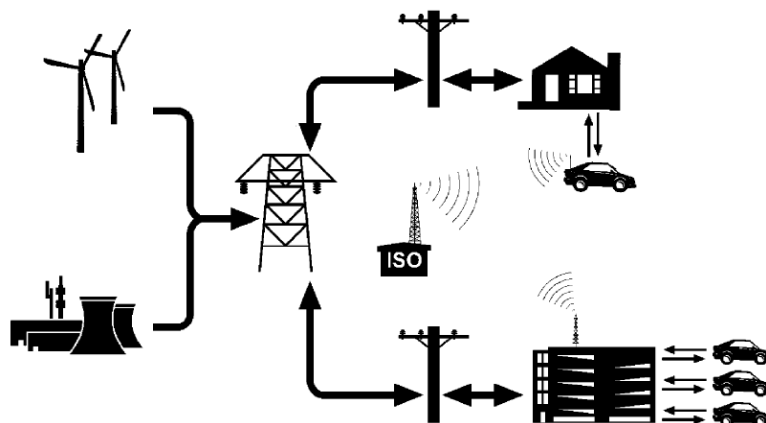
EDV Type	Interconnection	Potential electricity markets			
		Base-load	Peak	Spinning reserves	Regulation up/down
Battery	Two-way electrical (low cost logic modification to conductive charger)	×	√	√	√
Hybrid using storage	Two-way electrical	×	?	?	√
Hybrid using motor-generator	Electric from vehicle to grid; possible natural gas to vehicle	×	?	?	?
Fuel cell	Electric from vehicle; natural gas/H ₂ to vehicle	×	√	√	√

Πίνακας 2: Τύποι ηλεκτρικών οχημάτων, οι τρόποι διασύνδεσης τους με τα συστήματα ενέργειας και οι αναμενόμενες δυνατές αγορές για την ισχύ τους.

4.6.2 Απαιτούμενες Διασυνδέσεις-Υποδομές

Το κάθε όχημα πρέπει να διαθέτει τρία συγκεκριμένα στοιχεία για να μπορεί να συμμετάσχει στη V2G λειτουργία: α) μια σύνδεση στο δίκτυο για τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας, β) δυνατότητα ελέγχου ή λογική σύνδεση απαραίτητη για την επικοινωνία

με το διαχειριστή του δικτύου, γ) συσκευές ελέγχου και μετρητικές συσκευές πάνω στο όχημα. Το σήμα ελέγχου είναι ιδιαίτερης σημασίας καθώς η ισχύς που προέρχεται από το όχημα έχει αξία μεγαλύτερη από το κόστος παραγωγής της μόνο εάν ο φορέας που δέχεται την ισχύ αυτή μπορεί να καθορίσει την ακριβή στιγμή απόδοσης της. Για τα οχήματα που διαθέτουν και καύσιμα μια ακόμα σύνδεση θα μπορούσε να προστεθεί, ώστε να εξασφαλίζεται ότι το καύσιμο επί του οχήματος δε θα εξαντληθεί. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται σχηματικά οι συνδέσεις μεταξύ των οχημάτων και του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια ρέει προς μια κατεύθυνση από τις γεννήτριες, μέσω του δικτύου, προς τους χρήστες. Επίσης ρέει προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή προς το δίκτυο από τα ηλεκτρικά οχήματα. Αν πρόκειται για οχήματα με μπαταρία όπως αναφέρθηκε η ροή είναι αμφίδρομη (φόρτιση-εκφόρτιση μπαταρίας), που δείχνεται στο σχήμα με δυο αντίρροπα βέλη. Το σήμα ελέγχου από το διαχειριστή του δικτύου θα μπορούσε να είναι ένα σήμα που εκπέμπεται στη ραδιοσυχνότητα ή μεταφέρεται μέσω ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας, μέσω απευθείας σύνδεσης στο Ιντερνετ ή μέσω των ηλεκτρικών καλωδίων (power line carrier). Σε οποιαδήποτε περίπτωση ο διαχειριστής του δικτύου στέλνει αιτήματα για ισχύ σε μεγάλο αριθμό οχημάτων. Το σήμα μπορεί να πάει απευθείας σε κάθε μεμονωμένο όχημα, όπως φαίνεται στο σχήμα πάνω και δεξιά ή να σταλεί σε κάποιον διαχειριστή στόλου οχημάτων, ο οποίος με τη σειρά του ελέγχει τα οχήματα που βρίσκονται σε κάποιον συγκεκριμένο χώρο στάθμευσης, όπως φαίνεται κάτω και δεξιά στο σχήμα.



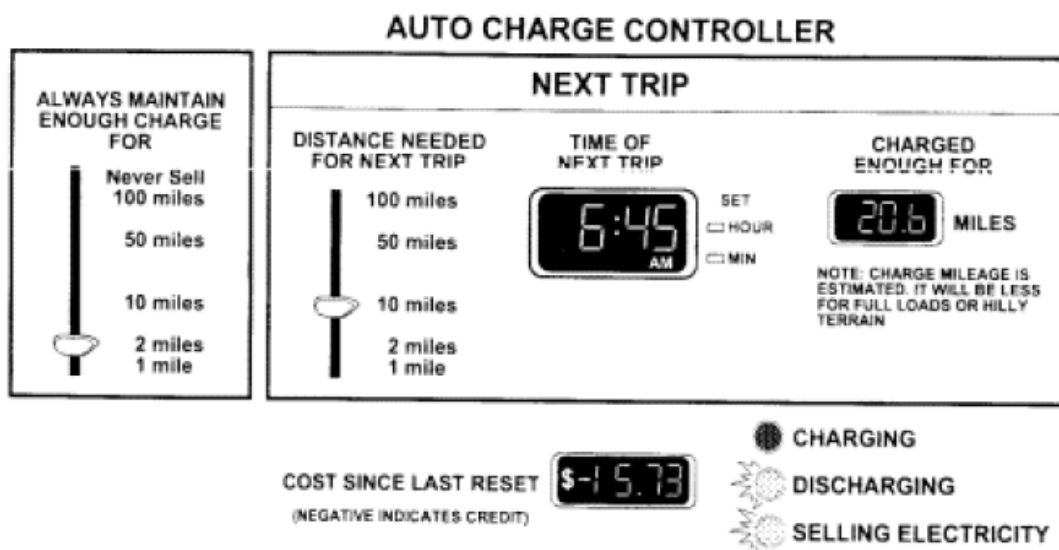
Εικόνα 6: Απεικόνιση της ροής ισχύος και των ασύρματων συνδέσεων ελέγχου μεταξύ των οχημάτων και του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας πρέπει να έχουν από την κατασκευή τους τη δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο για τη φόρτισή τους, κι επομένως το επιπλέον κόστος και οι λειτουργικές προσαρμογές που απαιτούνται για την προσθήκη της λειτουργίας V2G είναι ελάχιστες. Αυτό δε συμβαίνει στα οχήματα κυψελών καυσίμου, ούτε στα υβριδικά οχήματα, τα οποία χρειάζονται την τοποθέτηση πρόσθετου εξοπλισμού κι επομένως απαιτούν πρόσθετο κόστος προκειμένου να

λειτουργήσουν σε V2G. Ο εξοπλισμός αυτός συνίσταται στην προσθήκη κυκλωμάτων για το συγχρονισμό με το δίκτυο, για ελέγχους και για την προστασία από την ενεργοποίηση μιας νεκρής γραμμής. Το επιπλέον κόστος για την προσθήκη της δυνατότητας V2G ανέρχεται περίπου στα 400 € ανά όχημα, το οποίο είναι λιγότερο δαπανηρό σε σχέση με άλλες επιλογές αποθήκευσης αν θεωρήσουμε το κόστος κεφαλαίου ανα kW.

Σχετικά με τη φόρτιση-εκφόρτιση των οχημάτων, η ισχύς της ηλεκτρικής σύνδεσης προς το όχημα καθορίζεται από το ρεύμα και την τάση της γραμμής. Τυπική τιμή για ένα δημόσιο σταθμό φόρτισης θα ήταν $208V \cdot 32A = 6.6kW$, ενώ για τάση 240V η ισχύς αυτή γίνεται 7.7kW. Για όλους τους τύπους ηλεκτρικών οχημάτων που έχουν αναφερθεί 7kW είναι αρκετά τόσο για την προσφορά ισχύος αιχμής όσο και για στρεφόμενη εφεδρεία. Για χρήσεις των οχημάτων που απαιτούν μεγαλύτερη ισχύ όπως είναι για παράδειγμα οι υπηρεσίες ρύθμισης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τριφασικός σταθμός φόρτισης που θα έδινε ισχύ $80A \cdot 208V = 16.6kW$ ή $80A \cdot 240V = 19.2kW$.

Προκειμένου να εξασφαλίζεται ότι ανά πάσα στιγμή θα υπάρχει αρκετή ενέργεια στη μπαταρία του οχήματος ή αρκετό καύσιμο στο ντεπόζιτό του, ο οδηγός θα έχει τη δυνατότητα να καθορίζει ο ίδιος τη μέγιστη ποσότητα ενέργειας που θέλει να διαθέσει για V2G, ανάλογα με τις ανάγκες του. Ένα παράδειγμα πιθανής οθόνης ελέγχου για ένα όχημα μπαταρίας φαίνεται στη συνέχεια.



Εικόνα 7: Προτεινόμενος σχεδιασμός του πίνακα ελέγχου του οχήματος.

Ο οδηγός πρέπει να ορίσει δυο παραμέτρους, το μήκος της επόμενης διαδρομής του (στην προκειμένη περίπτωση είναι 10 μίλια στις 6.45 το πρωί και την ελάχιστη απόσταση για την οποία θα πρέπει πάντα να υπάρχει ενέργεια στο όχημα, ενδεχομένως για κάποια έκτακτη ανάγκη, η οποία εδώ έχει οριστεί σε 2 μίλια)

Ένα μελλοντικό όραμα για τα οχήματα σαν πηγή ενέργειας για το δίκτυο θα μπορούσε να είναι το εξής:

Ένας στόλος οχημάτων θα είναι διαθέσιμος το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας για την παροχή ενέργειας. Οι οδηγοί θα συνδέουν τα οχήματά τους στο δίκτυο στο σπίτι, στη δουλειά και πιθανόν όταν βρίσκονται σε εμπορικά καταστήματα για πολλή ώρα (π.χ. πάνω από μισή ώρα). Τα οχήματα δε θα παράγουν ισχύ την περισσότερη ώρα που είναι συνδεδεμένα. Αντίθετα, θα δίνουν ενέργεια στο δίκτυο σε στιγμές που αυτό τη χρειάζεται, λόγω τυχόν βλάβης του εξοπλισμού, απρόσμενης υψηλής ζήτησης, ή – σε περίπτωση μελλοντικών δικτύων με υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας – σε ώρες χαμηλού ανέμου ή μικρής ηλιακής ακτινοβολίας. Ο οδηγός θα θέτει περιορισμούς ως προς την ενέργεια V2G ανάλογα με τις ανάγκες του. Το όχημα θα λαμβάνει και θα στέλνει σήματα μέσω κυκλωμάτων πάνω σε αυτό. Αυτά τα σήματα ενδεχομένως να περιλαμβάνουν περιοδικά ερωτήματα σχετικά με την τοποθεσία του, αν είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο κι εάν έχει επαρκή φόρτιση (ή καύσιμο) ώστε να παρέχει ισχύ στο δίκτυο. Όταν χρειάζεται, το σήμα θα ζητά παροχή ισχύος ή επικουρικών υπηρεσιών. Το σύστημα που είναι εγκατεστημένο πάνω στο όχημα θα καταγράφει την ισχύ που καταναλώθηκε και που παράχθηκε από το όχημα, μέσω ποιών μετρητών και ποιές ώρες.

4.6.3 Ισχύς που μπορεί να προσφέρει ένα ηλεκτρικό όχημα στο δίκτυο

Η παρεχόμενη ισχύς από το όχημα στο δίκτυο περιορίζεται από τρεις παράγοντες: α) το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να μεταφερθεί μέσω των καλωδίων και των υπόλοιπων κυκλωμάτων που συνδέουν το όχημα με το δίκτυο, β) την αποθηκευμένη ενέργεια στο όχημα, διαιρεμένη με το χρόνο που χρησιμοποιείται, και γ) το όριο ισχύος των ηλεκτρονικών ισχύος του οχήματος. Το μικρότερο από τα τρία παραπάνω όρια καθορίζει και τη μέγιστη μεταφερόμενη ισχύ από το όχημα προς το δίκτυο. Ο παράγοντας (γ) έχει γενικά μεγαλύτερη τιμή από τους (α) και (β) και γι' αυτό δεν αναλύεται παρακάτω.

A) περιορισμός ισχύος λόγω της γραμμής: Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να διέλθει από μια γραμμή της καλωδίωσης ενός κτιρίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{line} = V \cdot I,$$

όπου V η τάση της γραμμής και I το μέγιστο ονομαστικό ρεύμα της γραμμής σε Amperes. Η τιμή αυτή κυμαίνεται περίπου στα 10-15kW, ενώ για εμπορικά κτίρια ή για κατοικίες μετά από αναβάθμιση της γραμμής μπορεί να αποκτήσει μεγαλύτερη τιμή (π.χ. 25kW).

B) περιορισμός ισχύος λόγω της αποθηκευμένης ενέργειας στο όχημα: Σε αυτή την περίπτωση η μέγιστη ισχύς δίνεται από τη σχέση:

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

Όπου E_s είναι η αποθηκευμένη ενέργεια στο όχημα σε kWh (π.χ. για τα οχήματα μπαταρίας η E_s ισούται με την ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί στη μπαταρία, ενώ για τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου ισούται με την ηλεκτρική ενέργεια που θα μπορούσε να παραχθεί από ένα γεμάτο ντεπόζιτο καυσίμου) , 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 miles που απαιτείται από τον οδηγό για την κάλυψη των αναγκών του (για τα υβριδικά οχήματα με δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο η τιμή αυτή είναι μηδενική, καθώς μπορούν να χρησιμοποιήσουν καύσιμα για να κινηθούν σε περίπτωση που η μπαταρία τους είναι άδεια), n_{veh} είναι η απόδοση του οχήματος σε miles/kWh, n_{inv} είναι η απόδοση του αντιστροφέα DC σε AC κατά τη μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος και t_{disp} είναι ο χρόνος που η αποθηκευμένη ενέργεια του οχήματος μεταφέρεται στο δίκτυο σε ώρες.

Η μικρότερη από τις δυο παραπάνω τιμές P_{line} και $P_{vehicle}$ καθορίζει και τη δυνατότητα μεταφοράς ισχύος από το όχημα στο δίκτυο [1,2,6].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

5.1 Τεχνολογία Ανεμογεννητριών

Η αιολική ενέργεια αξιοποιείται μέσω των ανεμογεννητριών. Αυτές μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική με πληθώρα εφαρμογών.

Χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες ως προς τη θέση του δρομέα τους σε σχέση με το έδαφος:

- τις *A/Γ οριζόντιου άξονα*, των οποίων ο δρομέας είναι συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του αέρα και του εδάφους

- τις *A/Γ κατακόρυφου άξονα*, με δρομέα κάθετο στην επιφάνεια του εδάφους

Μέχρι σήμερα, στην αγορά έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα. Τα μέρη από τα οποία απαρτίζεται μια τέτοια ανεμογεννήτρια είναι:

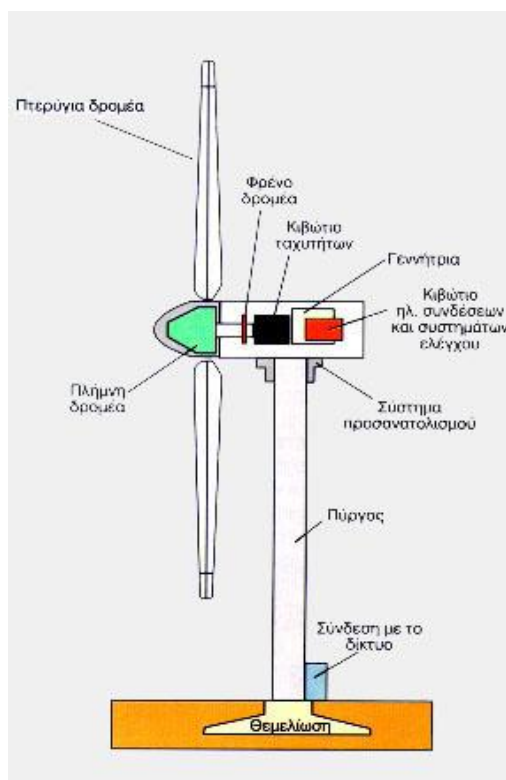
- ο *δρομέας*, που αποτελείται από 2 ή 3 πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα
- το *σύστημα μετάδοσης της κίνησης*, που αποτελείται από τον κύριο άξονα, τα έδρανά του και το κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας
- η *ηλεκτρική γεννήτρια*, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται συνήθως πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας. Υπάρχει και

το σύστημα πέδης το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας.

Συνήθως οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται ανήκουν μεταξύ των παρακάτω τύπων:

- γεννήτρια επαγωγής βραχυκυκλωμένου δρομέα
 - γεννήτρια επαγωγής διπλής τροφοδότησης (DFIG), που ελέγχεται από μετατροπείς συχνότητας
 - πολύπλοκη σύγχρονη γεννήτρια με μετατροπείς συχνότητας πλήρους φορτίου
-
- το σύστημα προσανατολισμού που αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου
 - ο πύργος, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση
 - ο ηλεκτρονικός πίνακας και ο πίνακας ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα μέρη της Α/Γ που περιγράφηκαν:



Εικόνα 8: Μέρη από τα οποία αποτελείται μια Α/Γ.

Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται όλο και περισσότερο το μέγεθος των Α/Γ με σκοπό τη μείωση του κόστους παραγωγής. Έτσι, τόσο το ύψος της πλήμνης όσο και η διάμετρος του δρομέα φτάνουν ακόμα και τα 100m.

5.2 Απόδοση ανεμογεννητριών

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθός της και την ταχύτητα του ανέμου. Μια τυπική ανεμογεννήτρια 500kW έχει διάμετρο δρομέα 40m και ύψος 40-50m.

Η σχέση που συνδέει την ταχύτητα του ανέμου με την αεροδυναμική ισχύ του δρομέα είναι η εξής:

$$P_{αερ} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_{p,opt} \cdot A \cdot v_w^3,$$

όπου ρ η πυκνότητα του αέρα, $A = \pi R^2$ η επιφάνεια του δρομέα, v_w η ταχύτητα του ανέμου, $C_{p,opt}$ ο αεροδυναμικός συντελεστής που εξαρτάται από τα λ και β . Το λ

με τη σειρά του δίνεται από τη σχέση $\lambda = \frac{R \cdot \omega_R}{v_w}$, με R την ακτίνα και ω_R τη γωνιακή

ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων, ενώ το β είναι η γωνία του βήματος της έλικας των πτερυγίων.

Ανάλογα με τις αρχές λειτουργίας κι ελέγχου τους, οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε:

1) α) *σταθερών στροφών*, οι οποίες λειτουργούν με σχεδόν σταθερή ταχύτητα περιστροφής λίγο πάνω από τη σύγχρονη ταχύτητα

β) *μεταβλητών στροφών*, οι οποίες λειτουργούν σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων περιστροφής. Ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου υπάρχει κάθε φορά μια βέλτιστη ταχύτητα περιστροφής του δρομέα που μεγιστοποιεί την παραγόμενη ισχύ. Προφανώς, στην ταχύτητα αυτή κινείται ο δρομέας.

2) α) *σταθερού βήματος έλικας (stall control)*, όπου η γωνία βήματος παραμένει σταθερή

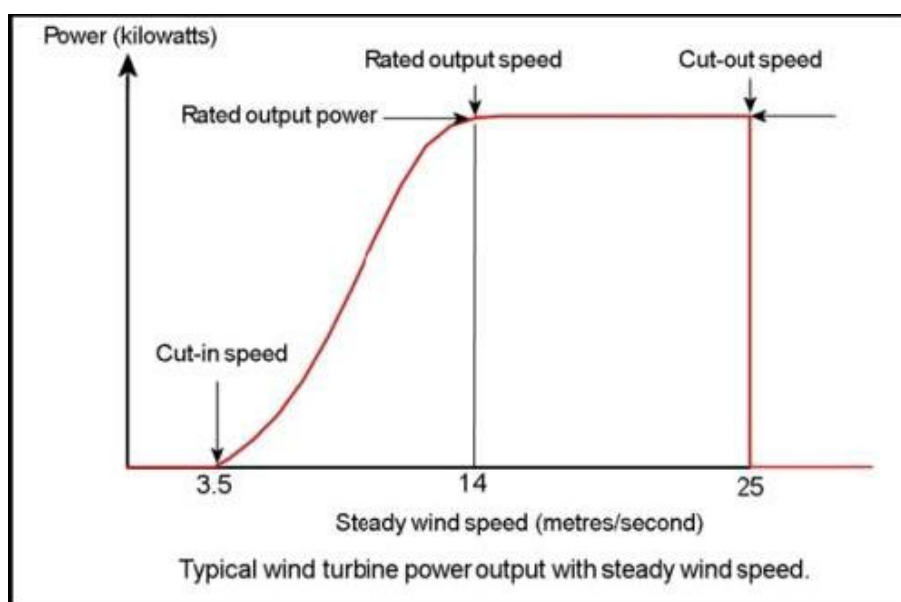
β) *μεταβλητού βήματος (pitch control)*, όπου η γωνία βήματος μεταβάλλεται έτσι ώστε η ισχύς εξόδου να μεγιστοποιείται.

Τα πλεονεκτήματα των Α/Γ τύπου stall είναι η απλότητα, η αξιοπιστία, το χαμηλό κόστος και η έλλειψη συντήρησης. Τα μειονεκτήματα είναι τα υψηλότερα φορτία σε

δρομέα και δομικό σύστημα, η ελλιπής κατανόηση του δυναμικού φαινομένου stall, η αδυναμία ρύθμισης της ισχύος εξόδου και το ότι η καμπύλη ισχύος μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο.

Για τον τύπο pitch, τα πλεονεκτήματα είναι η καλύτερη απόδοση σε χαμηλό άνεμο, η δυνατότητα περιορισμού της ισχύος (χωρίς διακοπή λειτουργίας), και τα χαμηλότερα φορτία σε πτερύγια και δομικό σύστημα. Παρουσιάζουν όμως πολυπλοκότητα και ανάγκες συντήρησης, διακυμάνσεις ισχύος σε υψηλό άνεμο και κόπωση πτερυγίων λόγω αδρανειακής φόρτισης.

Στη συνέχεια φαίνεται η καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας, η οποία δείχνει τη σχέση μεταξύ της παραγόμενης ισχύος και της ταχύτητας του ανέμου. Όπως φαίνεται η ανεμογεννήτρια αρχίζει να λειτουργεί όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει μια ελάχιστη τιμή περίπου 4m/s, παράγει την ονομαστική ισχύ της σε ταχύτητα ανέμου 12-14m/s και σταματάει να λειτουργεί περίπου στα 25m/s. (στο σχήμα, για ανεμογεννήτρια τύπου stall η παραγόμενη ισχύς μεταξύ των ταχυτήτων 14 και 25m/s δεν είναι ίση με την ονομαστική, αλλά σταδιακά μειώνεται) [14].



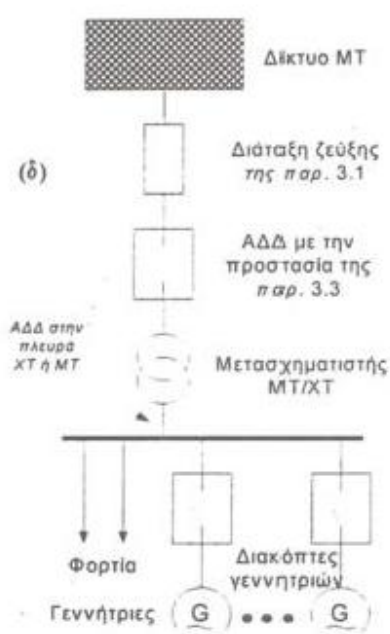
Διάγραμμα 5: Καμπύλη ισχύος εξόδου τυπικής Α/Γ

5.3 Σύνδεση ανεμογεννητριών στο δίκτυο

Η σύνδεση μιας εγκατάστασης παραγωγής στο δίκτυο ΜΤ γίνεται μέσω διάταξης ζεύξης, η οποία πρέπει να διαθέτει τη δυνατότητα διακοπής του ρεύματος φορτίου, να περιλαμβάνει μέσο ορατής απόζευξης και να είναι ανά πάσα στιγμή προσιτή στο προσωπικό της Ηλεκτρικής Επιχείρησης. Για την επιλογή των στοιχείων και τη διαμόρφωση της διάταξης ζεύξης, η οποία βρίσκεται συνήθως στον Υ/Σ ζεύξης της συνδεδεμένης εγκατάστασης εφαρμόζονται οι σχετικές οδηγίες και η τρέχουσα πρακτική.

Σε εγκαταστάσεις παραγωγής με περισσότερες από μια μοναδιαίες εγκαταστάσεις (π.χ. αιολικό πάρκο) συνίσταται η εγκατάσταση προτασσίμενης προστασίας απόζευξης, η οποία αποσυνδέει κεντρικά το σύνολο των εγκαταστάσεων παραγωγής. Η προστασία αυτή πρέπει να επενεργεί σε διακόπτη ισχύος, ο οποίος μπορεί να αναλάβει και τη λειτουργία της διάταξης ζεύξης. Για την επιλογή των διατάξεων ζεύξης πρέπει να ληφθεί υπόψη η ισχύς βραχυκύκλωσης στην οποία συμβάλλει τόσο το δίκτυο όσο και οι μονάδες γεννητριών.

Στη συνέχεια φαίνεται ένα παράδειγμα σύνδεσης εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο Μέσης Τάσης και ειδικότερα η περίπτωση σύνδεσης περισσότερων από μιας γεννητριών οι οποίες έχουν τη δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας.



Εικόνα 9: Παράδειγμα σύνδεσης εγκατάστασης παραγωγής στο δίκτυο ΜΤ

Ο διακόπτης με την ονομασία ΑΔΔ είναι ο Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης, ο οποίος έχει την ικανότητα διακοπής τουλάχιστον ρεύματος φορτίου, ο οποίος εξασφαλίζει τον γαλβανικό διαχωρισμό όλων των φάσεων. Ο διακόπτης αυτός θα μπορούσε να είναι διακόπτης ισχύος, ασφαλειοδιακόπτης φορτίου, επαφείας με ασφάλειες προστασίας έναντι βραχυκυκλωμάτων κ.α. και σε αυτόν επενεργεί το σύστημα προστασίας απόζευξης. (Η τοποθέτηση του συστήματος προστασίας απόζευξης απαιτείται για την προστασία της εγκατάστασης του παραγωγού αλλά και των άλλων συνδεδεμένων εγκαταστάσεων. Το σύστημα αυτό επενεργεί στον ΑΔΔ της εγκατάστασης παραγωγής κι εξασφαλίζει την άμεση απόζευξή της όταν εμφανιστούν ανεπίτρεπτες διακυμάνσεις της τάσης ή της συχνότητας). Ως ΑΔΔ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο διακόπτης που συνδέει την όλη εγκατάσταση με το δίκτυο ή διακόπτης που συνδέει τις εγκαταστάσεις παραγωγής με την υπόλοιπη εγκατάσταση[13].

5.4 Προβλήματα λόγω της σύνδεσης αιολικών στο δίκτυο

Η λειτουργία ενός ηλεκτρικού δικτύου ελέγχεται από συσκευές προστασίας και ρύθμισης της τάσης, που σκοπό έχουν την παροχή προς τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας αποδεκτής ποιότητας, ελαχιστοποιώντας τον αριθμό τω σφαλμάτων και προσφέροντας υψηλό επίπεδο ασφάλειας.

Η σύνδεση στο δίκτυο μονάδων παραγωγής πρέπει να συμβαδίζει με αυτές τις γενικές αρχές, ώστε αφενός μεν να μην προκαλούνται ενοχλήσεις στους λοιπούς καταναλωτές και αφετέρου να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ του δικτύου διανομής και των εγκαταστάσεων των παραγωγών. Ειδικότερα, η καλή και ασφαλής λειτουργία των ΣΗΕ με διείσδυση αιολικών αφορά στην επίλυση προβλημάτων μόνιμης κατάστασης λειτουργίας (ικανότητα του δικτύου μεταφοράς να μεταφέρει την παραγόμενη ισχύ, διατήρηση των τάσεων των ζυγών του συστήματος σε κανονικές και έκτακτες καταστάσεις λειτουργίας εντός των επιτρεπόμενων ορίων κλπ) και μεταβατικής συμπεριφοράς του συστήματος σε περίπτωση σημαντικών διαταραχών.

Ενα βασικό πρόβλημα της αιολικής παραγωγής που υπάρχει από τη 'φύση' της, είναι η μεταβλητότητα της ισχύος εξόδου των ανεμογεννητριών, καθώς η αιολική παραγωγή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες. Εξαιτίας των ξαφνικών και συχνά μεγάλων αλλαγών της ταχύτητας του ανέμου, η ισχύς εξόδου ενός αιολικού πάρκου μπορεί να έχει μεγάλες διακυμάνσεις. Όσο αυξάνεται η διείσδυση αιολικής ενέργειας και το μέγεθος των αιολικών πάρκων, τόσο αυξάνεται και η επίδρασή τους στη λειτουργία του συστήματος (ευστάθεια, έλεγχος, ροή ισχύος). Παράλληλα, ο προγραμματισμός της παραγωγής για την επόμενη ημέρα και η αποφυγή συμφόρησης στο σύστημα καθώς και πιθανής περικοπής αιολικής ισχύος αποτελούν πλέον ένα σημαντικό ζήτημα. Μια λύση θα μπορούσε να είναι η βελτίωση της πρόβλεψης του ανέμου, το οποίο βέβαια αποτελεί ένα μετεωρολογικό ζήτημα. Ωστόσο, παρά τις σημαντικές εξελίξεις που έχουν σημειωθεί στον τομέα αυτό τα τελευταία χρόνια, το ζήτημα της πρόβλεψης της συμπεριφοράς του ανέμου παραμένει ιδιαίτερα πολύπλοκο και δεν μπορεί να δώσει αποτελέσματα με την απαιτούμενη ακρίβεια. Η άλλη λύση που θα μπορούσε να εφαρμοστεί είναι η αποθήκευση της αιολικής ενέργειας, η οποία θα μπορούσε να εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της ισχύος εξόδου ενός αιολικού πάρκου. Η λύση αυτή εξετάζεται σε παρακάτω κεφάλαιο.

Η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από ανεμογεννήτριες παρουσιάζει συνήθως τα ακόλουθα *προβλήματα ισχύος*:

- *διαταραχές πλάτους τάσης μόνιμης κατάστασης ή αργές μεταβολές της τάσης (steady state voltage level)*: Η λειτουργία των εγκαταστάσεων παραγωγής που συνδέονται στο δίκτυο ΜΤ προκαλεί μεταβολή των ροών ισχύος στις γραμμές του δικτύου και συνεπώς των τάσεων στα διάφορα σημεία του. Ως αργές μεταβολές της τάσης ορίζονται οι διακυμάνσεις σε χρονικά διαστήματα 10 λεπτών. Η επίδραση στο πλάτος της τάσης εξαρτάται από το πόσο ισχυρό

είναι το δίκτυο και από τη συνολική παραγωγή αιολικής ισχύος. Για την ακριβή και αξιόπιστη εξέταση των επιπέδων της τάσης μετά τη σύνδεση των εγκαταστάσεων παραγωγής απαιτείται ο υπολογισμός ροής φορτίου στο δίκτυο MT λαμβάνοντας υπόψη τα υφιστάμενα και προβλεπόμενα φορτία των υποσταθμών διανομής, όπως επίσης και άλλες εγκαταστάσεις παραγωγής που ενδεχομένως συνδέονται ή πρόκειται να συνδεθούν, διότι οι τάσεις των κόμβων του δικτύου διαμορφώνονται από τις συνολικές ροές ισχύος των κλάδων.

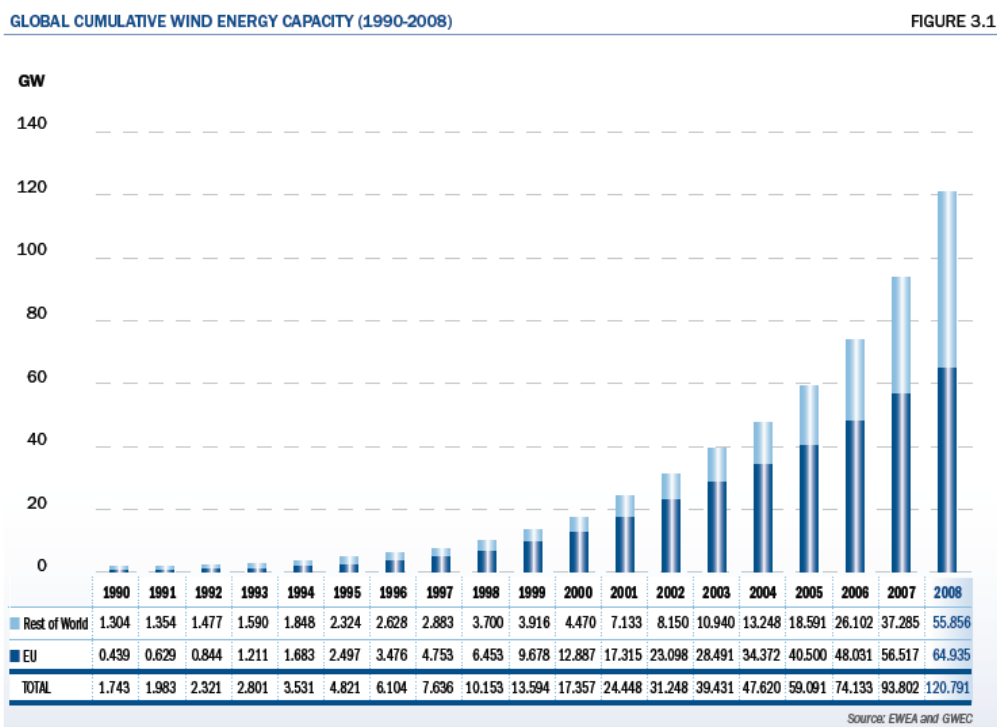
- *ταχείες μεταβολές της τάσης:* Περιλαμβάνουν οποιοσδήποτε γρήγορες μεταβολές της ενδεικνύμενης τιμής της τάσης, οι οποίες συμβαίνουν σε χρονικές κλίμακες από 1 κύκλο έως αρκετά δευτερόλεπτα (αλλά οπωσδήποτε εντός διαστήματος μικρότερου από 10 min). Ταχείες μεταβολές συμβαίνουν λόγω χειρισμών στις εγκαταστάσεις παραγωγής (ζεύξη-απόζευξη, αλλαγή γεννητριών κλπ) ή και εξαιτίας της μεταβλητότητας της ισχύος εξόδου των εγκαταστάσεων. Κατά την εξέταση μεταβολών αυτού του τύπου πρέπει να εκτιμώνται, εκτός από το μέγεθος των μεταβολών, και οι προκαλούμενες εκπομπές flicker.
- *αρμονικές συνιστώσες:* Η εκπομπή αρμονικών από τις εγκαταστάσεις παραγωγής προκαλεί παραμόρφωση της τάσης και άρα ενδεχόμενη παρενόχληση της λειτουργίας άλλων συσκευών (φορτίων ή στοιχείων του δικτύου). Έλεγχος των εκπομπών αρμονικών απαιτείται γενικά όταν ο προς σύνδεση εξοπλισμός διαθέτει διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος, όπως συμβαίνει στις ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών. Στην περίπτωση της απ'ευθείας σύνδεσης συμβατικών γεννητριών (σύγχρονων ή ασύγχρονων), χωρίς την παρεμβολή μετατροπέων ισχύος δεν αναμένονται προβλήματα εκπομπών αρμονικών, εφόσον η τάση διατηρείται εντός των προβλεπόμενων ορίων.

Για τη σύνδεση των αιολικών στο δίκτυο διανομής θα πρέπει να εξετάζονται οι τεχνικές προϋποθέσεις που αναφέρονται στο πρώτο κεφάλαιο [13].

5.5 Παρούσα Κατάσταση

Η αιολική ενέργεια έχει αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια, τόσο σε πανευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Μόνο το 2008, 27,1GW αιολικής ισχύος εγκαταστάθηκαν παγκοσμίως, φτάνοντας στο τέλος της χρονιάς αυτής ένα σύνολο 121GW εγκατεστημένης αιολικής ισχύος ανά την υφήλιο. Η παγκόσμια ετήσια αγορά ανεμογεννητριών αυξήθηκε κατά 37% το 2008, ακολουθώντας μια αύξηση της τάξης του 31% τόσο το 2006 όσο και το 2007 και του 40% το 2005. Τα τελευταία τέσσερα χρόνια η παγκόσμια ετήσια αγορά ανεμογεννητριών έχει υπερτριπλασιαστεί από

8,3GW το 2004 σε 27,1GW το 2008. Η συνολικά εγκατεστημένη αιολική ισχύς αυξήθηκε από 48GW σε 121GW κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Διάγραμμα 6: Συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη αιολική ισχύς (1990-2008)

Παρατηρώντας αυτήν την αυξητική τάση της αιολικής ισχύος τα τελευταία χρόνια αναμένεται ότι αυτή η μορφή ενέργειας θα παίξει ακόμα πιο σημαντικό ρόλο στο μέλλον.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δίνει μεγάλη βαρύτητα στην εξάπλωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις χώρες-μέλη της κι έχει θέσει ως στόχο για το 2020 τη συμμετοχή κατά 20% των ΑΠΕ στο ενεργειακό της ισοζύγιο (από 8,6% που ήταν το 2005), με την αιολική ενέργεια να πρέπει να συμβάλει σημαντικά σε αυτό. Συγκεκριμένα για την επίτευξη του στόχου του 20% θα πρέπει πάνω από το ένα τρίτο της ζήτησης ενέργειας να καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές, με την αιολική ενέργεια να αναμένεται να καλύψει το 12-14% της ζήτησης (καθώς αποτελεί τη φθηνότερη επιλογή μεταξύ των διάφορων τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρισμού από ανανεώσιμες πηγές).

Τα *πλεονεκτήματα* της ενέργειας που προέρχεται από τον άνεμο είναι πολλά. Εφόσον αποτελεί ανανεώσιμη μορφή ενέργειας είναι ανεξάντλητη και συμβάλλει στην αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας της κάθε χώρας, καθώς μειώνεται η εξάρτηση από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα. Παράλληλα, είναι ενέργεια φιλική προς το περιβάλλον, αφού δεν εκπέμπει ρύπους κι επομένως βοηθάει στην αντιμετώπιση του

φαινομένου του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια της κλιματικής αλλαγής. Συγκεκριμένα, κάθε kWh που παράγεται από αιολικά πάρκα συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός kg CO₂ στην ατμόσφαιρα. Η οικονομική ανάπτυξη και η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας αποτελεί έναν ακόμα λόγο για την προώθηση της αιολικής ισχύος.

Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας (EWEA), που εκδόθηκαν στο τέλος του 2009, για τη χώρα μας ισχύουν τα εξής:

Το τέλος του 2007 η εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ελλάδα ήταν 871MW. Την επόμενη χρονιά εγκαταστάθηκαν άλλα 114MW, με αποτέλεσμα το τέλος του 2008 η χώρα μας να βρίσκεται στα 985MW εγκατεστημένης αιολικής ισχύος. Η ενέργεια που παράχθηκε από ανεμογεννήτριες το 2008 έφτασε τις 2,5TWh, που αντιστοιχεί μόνο στο 3,7% της ζήτησης τη χρονιά αυτή (μέσος όρος στην Ευρώπη των 27 είναι 4,1%).

Προκειμένου η Ευρωπαϊκή Ένωση να πετύχει τους στόχους της για το 2010 έχει προσδιορίσει για κάθε χώρα ένα σενάριο *χαμηλής διείσδυσης* της αιολικής ενέργειας στο δίκτυο κι ένα σενάριο *υψηλής διείσδυσης* μεταξύ των οποίων θα πρέπει και να κινηθεί η συγκεκριμένη χώρα.

Επομένως για την Ελλάδα, σύμφωνα με το σενάριο χαμηλής διείσδυσης θα πρέπει το 2020 να είναι συνολικά εγκατεστημένα στο δίκτυο 6500MW αιολικής ισχύος. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει κάθε χρόνο να εγκαθίστανται κατά μέσο όρο 460MW αιολικών, το οποίο είναι τετραπλάσιο από την αιολική ισχύ που εγκαταστάθηκε μέσα στο 2008. Η ενέργεια που θα πρέπει να παράγεται το 2020 από αιολικά είναι 17,5TWh, που σημαίνει ότι θα πρέπει να καλύπτει το 21,8% της ζήτησης.

Σύμφωνα με το σενάριο *υψηλής διείσδυσης* 8500MW αιολικών θα πρέπει να είναι συνολικά εγκατεστημένα το έτος 2020, δηλαδή χρειάζεται να εγκαθίστανται 626MW το χρόνο κατά μέσο όρο. Η ενέργεια που θα πρέπει να παράγεται από τα αιολικά είναι σε αυτή την περίπτωση 23,1TWh και θα καλύπτει το 28,8% της ζήτησης.

Απλά να αναφερθεί ότι, σχετικά με τις υπόλοιπες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Γερμανία και η Ισπανία αποτελούν αυτή τη στιγμή τους αδιαφιλονίκητους ηγέτες από την άποψη της συνολικά εγκατεστημένης αιολικής ισχύος με εγκατεστημένα 24GW και 17GW αντίστοιχα στο τέλος του 2008, το οποίο αποτελεί το 63% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος στην Ευρώπη. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι το 2008 τρεις μεγάλες χώρες, η Ιταλία (3,7GW), η Γαλλία (3,4GW) και η Βρετανία (3,2GW) ξεπέρασαν τη Δανία (3,2GW), που κατείχε μέχρι τότε την τρίτη θέση.

Επιστρέφοντας στην Ελλάδα, είναι εμφανές ότι στο μέλλον προβλέπεται η εγκατάσταση πολλαπλάσιας αιολικής ισχύος σε σχέση με τα σημερινά δεδομένα. Ωστόσο, αιολική ενέργεια έχει ένα βασικό μειονέκτημα. Λόγω της τυχαιότητας του ανέμου είναι δύσκολο να προβλεφθεί με ακρίβεια η αιολική παραγωγή και προφανώς όσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση των αιολικών τόσο μεγαλύτερα προβλήματα μπορεί να προκληθούν από μια ξαφνική απώλεια της αιολικής ισχύος. Γι'αυτό και

υπάρχουν κάποια όρια διείσδυσης αιολικών για κάθε δίκτυο προκειμένου να διατηρείται η ποιότητα της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και η αξιοπιστία του δικτύου [15].

5.6 Ηλεκτρικά οχήματα και αύξηση της διείσδυσης αιολικών

Η αιολική ενέργεια αντιμετωπίζεται ως μια διακοπτόμενη μορφή παραγωγής ενέργειας, το οποίο είναι ανεκτό σε μικρές ποσότητες, αλλά δύσκολο να το χειριστεί κανείς όσο το ποσοστό της στο ενεργειακό μίγμα γίνεται μεγαλύτερο, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε με αποθήκευση είτε με την ύπαρξη εφεδρείας. Το παρακάτω διάγραμμα αναφέρεται σε δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει έναν αριθμό ανεμογεννητριών. Η μέγιστη αιολική ισχύς που μπορεί να απορροφήσει το δίκτυο είναι 900MW. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει αποθήκευση στο σύστημα η απορροφούμενη αιολική ισχύς δίνεται με το μπλε χρώμα, ενώ η απορριπτόμενη (όταν η ισχύς εξόδου των αιολικών ξεπερνάει τα 900MW) δίνεται με το πορτοκαλί και το πράσινο χρώμα. Ωστόσο, αν υπάρχουν συσκευές αποθήκευσης, μέρος της αιολικής ενέργειας που θα χανόταν, αποθηκεύεται (πορτοκαλί χρώμα) κι αποδίδεται όταν η αιολική ενέργεια πέφτει κάτω απ'τα 900MW (κίτρινο χρώμα), ενώ η απορριπτόμενη ενέργεια είναι πολύ λιγότερη σε σχέση με πριν (πράσινο χρώμα). Φαίνεται, λοιπόν, από το διάγραμμα αυτό πόσο ωφέλιμη μπορεί να είναι η αποθήκευση αιολικής ενέργειας.

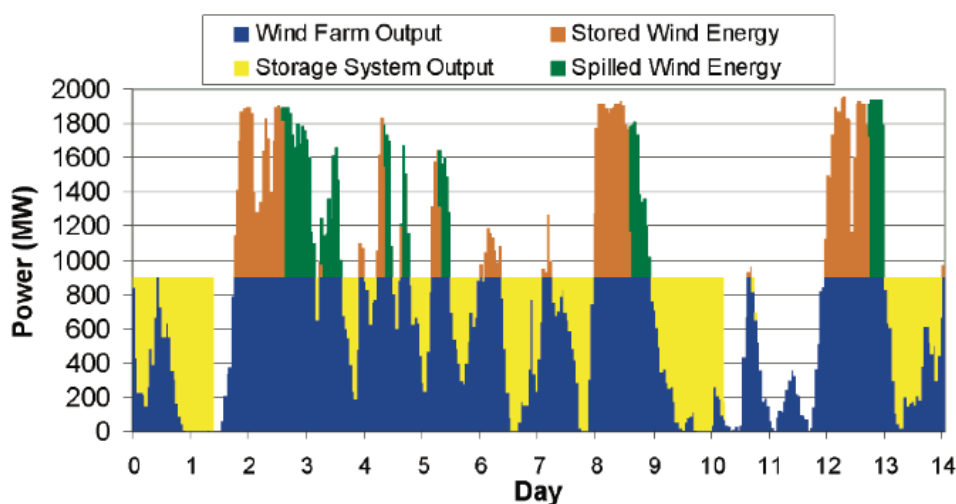


FIGURE 1. Sample baseload wind generator output (target output = 900 MW).

Διάγραμμα 7: Ενδεικτική έξοδος ανεμογεννητριας που καλύπτει το βασικό φορτίο συστήματος

Καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα αυξάνονται σε αριθμό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η δυνατότητα μεταφοράς ενέργειας από το όχημα στο δίκτυο ή λειτουργία V2G, ώστε να αποτελέσουν τα οχήματα αυτά μονάδες διεσπαρμένης αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, όταν υπάρχει περίσσεια αιολικής παραγωγής, την οποία θα αποδώσουν σε κάποια επόμενη στιγμή, επιτρέποντας έτσι τη σταθεροποίηση της αιολικής

παραγωγής κι επιτρέποντας στον άνεμο να διεισδύσει σε μεγαλύτερο βαθμό στην παραγωγή ενέργειας.

Η αποθήκευση και η εφεδρεία αιολικής ενέργειας αποτελούν δυο διαφορετικές έννοιες. Η εφεδρεία παρέχει ισχύ όταν ο άνεμος δεν είναι αρκετός για να καλύψει τη ζήτηση και παραμένει αχρησιμοποίητη όταν η αιολική ενέργεια που παράγεται είναι ίση ή και παραπάνω από αυτή που ζητείται. Η αποθήκευση, ομοίως, παρέχει ισχύ όταν η αιολική ενέργεια βρίσκεται κάτω από τα επίπεδα της ζήτησης, αλλά επιπλέον αποθηκεύει την ενέργεια που περισσεύει όταν η αιολική παραγωγή ξεπερνάει τη ζήτηση. Ωστόσο, έχει παράλληλα το μειονέκτημα ότι η ενέργεια που μπορεί να δώσει πίσω στο δίκτυο είναι περιορισμένη (όπως και η ενέργεια που μπορεί να απορροφήσει από αυτό).

Εκτός από το να εξομαλύνει την ενέργεια που παράγεται από τα αιολικά, η ηλεκτρική αποθήκευση παρέχει κι επιπλέον πλεονεκτήματα. Αυτά μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: πλεονεκτήματα παραγωγικής ικανότητας (capacity benefits), δυναμικά (dynamic), στρατηγικά (strategic).

Τα πλεονεκτήματα παραγωγικής ικανότητας προκύπτουν όταν η αποθήκευση ενέργειας έχει σαν αποτέλεσμα την αναβολή της κατασκευής μονάδων παραγωγής ηλεκτρισμού ή γενικά την αποφυγή της προσθήκης οποιονδήποτε στοιχείων που ενδεχομένως να απαιτούνταν για να καλυφθεί η ζήτηση αιχμής, η μεταφορά ή η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα δυναμικά πλεονεκτήματα επιτυγχάνονται όταν η αποθήκευση ενέργειας χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση αρκετών σημαντικών στοιχείων που σχετίζονται με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως για παράδειγμα είναι η ακολούθηση του φορτίου (load following), η στρεφόμενη εφεδρεία, και η ρύθμιση ή αλλιώς η διόρθωση της συχνότητας, της τάσης και του συντελεστή ισχύος.

Τέλος, τα στρατηγικά πλεονεκτήματα τα οποία εγκινείται στη μείωση της αβεβαιότητας κατά την παροχή ενέργειας. Σύμφωνα με έρευνα του EPRI (Electric Power Research Institute) αυτή η μείωση της αβεβαιότητας μπορεί να είναι τέτοια ώστε η συνολική αξία της αποθήκευσης ανα MW να είναι 40% μεγαλύτερη από οποιαδήποτε άλλη εναλλακτική που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας.

Βεβαίως, οι δυο περιπτώσεις, δηλαδή η αποθήκευση και η εφεδρεία που περιγράφηκαν παραπάνω μπορούν να συνδυαστούν. Για παράδειγμα, εάν χρησιμοποιηθεί μικρότερη αποθήκευση, χρειάζεται και μια γεννήτρια που θα λειτουργεί ως στρεφόμενη εφεδρεία για να καλύψει τυχόν μεγάλη απώλεια αιολικής παραγωγής. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση λόγω της ύπαρξης της αποθήκευσης, περνάει ένα αρκετά μεγάλο διάστημα πριν την ανάγκη για την εφεδρεία, κι έτσι υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης γεννητριών μεγάλου χρόνου εκκίνησης.

Οι υπάρχουσες γεννήτριες ορυκτών καυσίμων και ιδίως αυτές που έχουν γρήγορη απόκριση όπως του φυσικού αερίου ή η υδροηλεκτρική ενέργεια, μπορούν να

χρησιμοποιηθούν ως εφεδρεία για την αιολική ενέργεια. Παράλληλα, νέες τεχνολογίες αποθήκευσης μεγάλης κλίμακας, όπως η αντλησιοταμίευση (pumped hydro), οι σφόνδυλοι, οι υπερπυκνωτές, η υπεραγωγίμη μαγνητική αποθήκευση (SMES), οι μεγάλες συστοιχίες μπαταριών και η αποθήκευση ενέργειας με συμπίεση αέρα (CAES) μπορούν να κατασκευαστούν για την αποθήκευση της αιολικής ενέργειας. Ωστόσο, τα παραπάνω θα προσθέσουν επιπλέον κόστος στην παραγωγή αιολικής ισχύος. Επομένως, μια καλή λύση γι'αυτήν την περίπτωση αποτελεί η χρησιμοποίηση των ηλεκτρικών οχημάτων όπως έχει αναφερθεί και εξηγηθεί και παραπάνω.

Συγκεκριμένα, για την υποστήριξη της αιολικής ενέργειας εφεδρεία V2G μπορεί να προσφερθεί από τα ηλεκτρικά οχήματα που χρησιμοποιούν και κάποιο καύσιμο, όπως είναι τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου ή τα υβριδικά. Αντίθετα, η αποθήκευση μπορεί να εξασφαλιστεί από τα οχήματα με μπαταρία ή από τα υβριδικά που χρησιμοποιούν τη μπαταρία τους για τη λειτουργία V2G. Στο ερώτημα αν τα οχήματα με κυψέλες καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση ηλεκτρισμού με τη μορφή υδρογόνου μετά από ηλεκτρόλυση, η απάντηση είναι αρνητική. Αυτό γιατί ο κύκλος ηλεκτρισμός-ηλεκτρόλυση-υδρογόνο-αποθήκευση-μικρή κυψέλη καυσίμου-ηλεκτρισμός έχει περίπου 75% απώλειες που είναι πολύ μεγάλο ποσοστό σε σχέση με το 25% περίπου που έχει μια μπαταρία.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την καταλληλότητα των τριών τύπων ηλεκτρικών οχημάτων που περιγράφηκαν για εφεδρεία και αποθήκευση καθώς και για τον κάθε τύπο αγοράς ηλεκτρικής ισχύος:

Vehicle type	Wind function		Electric markets		
	Back-up	Storage	Regulation	Spinning reserves	Non-spinning reserves
Battery		++	++	++	
Plug-in hybrid	++	+	+	++	++
Fuel cell	++				++

Table 1. Suitability of different vehicle types for wind power storage versus back-up, and for differing electric markets. ++ very suitable, + suitable, (blank) not suitable

Πίνακας 3: Καταλληλότητα διαφορετικών τύπων οχημάτων για αποθήκευση ή εφεδρεία και για τις διάφορες αγορές ηλεκτρισμού. (++)πολύ κατάλληλο, +κατάλληλο, (κενό) ακατάλληλο)

Στην παρούσα διπλωματική θα εξεταστούν οι αρνητικές επιδράσεις της μεγάλης διείσδυσης αιολικών σε ένα δίκτυο διανομής, στη μόνιμη κατάσταση και θα γίνει προσπάθεια εξάλειψής τους με τη σύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο [5].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

6.1 Εισαγωγή

Η διαθεσιμότητα καθαρής, ασφαλούς και προσιτής ενέργειας σε όλους τους πολίτες σε επαρκείς ποσότητες αποτελεί προαπαιτούμενο για μια αειφόρο κοινωνία. Η εξασφάλιση συνεχούς παροχής ενέργειας στο μέλλον μπορεί να επιτευχθεί με την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εκτός αυτού, η αυξημένη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό ισοζύγιο θα οδηγήσει στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, που αποτελούν βασική αιτία της κλιματικής αλλαγής, καθώς και στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σχετίζονται με την εκμετάλλευση των ανεξάντλητων στοιχείων της φύσης, όπως είναι ο ήλιος ή ο αέρας. Ειδικότερα, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται κατά διάφορους τρόπους, οι οποίοι μπορούν να διακριθούν σε δυο κύριες κατηγορίες: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε εσωτερική ενέργεια δομικών καταστάσεων (π.χ. βιοκλιματικό σχεδιασμός κτιρίων) και τα ενεργά ηλιακά συστήματα τα οποία είτε μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε εσωτερική ενέργεια θερμικού ρευστού (θερμοσιφωνικά συστήματα), είτε τη μετατρέπουν απευθείας σε ηλεκτρισμό (φωτοβολταϊκά συστήματα).

Η λέξη «φωτοβολταϊκό» αποτελείται από τον όρο «φώτο», που προέρχεται από το φως και τον όρο «βολτ», που οφείλεται στον Alessandro Volta (1745-1827), έναν πρωτοπόρο στη μελέτη του ηλεκτρισμού.

Πλεονεκτήματα

Ορισμένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των Φ/Β διατάξεων είναι τα εξής:

- Η χρησιμοποιούμενη πηγή ενέργειας, δηλαδή το ηλιακό φως, παρέχεται δωρεάν και είναι ανεξάντλητη, με αποτέλεσμα τα Φ/Β να συμβάλλουν στην ασφάλεια ενεργειακής παροχής των χωρών, μέσω της απεξάρτησής τους από τα ορυκτά καύσιμα.

- Δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη κι έτσι κανένα τμήμα των Φ/Β δεν υφίσταται φθορά. Επομένως, είναι ιδιαίτερα αξιόπιστα και η συντήρηση που χρειάζονται για να συνεχίσουν να λειτουργούν είναι ελάχιστη

-Είναι φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς δεν παράγουν θόρυβο και δεν εκπέμπουν ρύπους κατά τη λειτουργία τους

-Τα Φ/Β συστήματα είναι πολυσυναρτησιακά, οπότε η ηλεκτροπαραγωγή τους μπορεί τυπικά να προσαρμοστεί σε κάθε εφαρμογή, από καταναλωτικές χρήσεις χαμηλής ισχύος (της τάξης των mW) - ρολόγια, μικρούς υπολογιστές χειρός και φορτιστές μικρών μπαταριών – μέχρι την αντιμετώπιση οικιστικών αναγκών μέσω της ενσωμάτωσής τους σε στέγες ή κελύφη κτιρίων, αλλά και μέχρι την κάλυψη σημαντικών ενεργειακών απαιτήσεων (αρκετών MW), όπως η ηλεκτροπαραγωγή σε κεντρικούς σταθμούς των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού.

-Στα Φ/Β συστήματα προσαρμόζονται εύκολα τυχόν προσθήκες ισχύος, σε αντίθεση με τις πιο συμβατικές μεθόδους, όπως αυτές των ορυκτών ή των πυρηνικών καυσίμων, οι οποίες απαιτούν εγκαταστάσεις πολλών MW για να είναι οικονομικά εφικτές. Χάρη σε αυτή τους την ιδιότητα οι Φ/Β διατάξεις μπορούν να εξυπηρετήσουν τις ενεργειακές ανάγκες ακόμη και των πιο απομονωμένων περιοχών.

6.2 Φωτοβολταϊκές Κυψέλες

Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών κυψελών (που αποτελούν υποκατηγορία των ηλιακών κυψελών) στηρίζεται στο *φωτοβολταϊκό φαινόμενο*, κατά το οποίο το φως, προσπίπτοντας σε μια ημιαγωγική διάταξη δυο στρωμάτων παράγει μια φωτο-τάση ή διαφορά δυναμικού μεταξύ των στρωμάτων. Αυτή η τάση είναι δυνατόν να οδηγήσει ένα ρεύμα μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος, παράγοντας με τον τρόπο αυτό ωφέλιμη ισχύ. Η επιστημονική έρευνα του φωτοβολταϊκού φαινομένου άρχισε το 1839 όταν ο Γάλλος επιστήμονας Henri Becquerel ανακάλυψε ότι μπορούσε να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα εστιάζοντας μια πηγή φωτός επάνω σε ορισμένα χημικά διαλύματα. Ωστόσο, η βάση για τη σύγχρονη τεχνολογία Φ/Β κυψελών τοποθετήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1950, όταν ερευνητές στα Bell Telephone Laboratories ανακάλυψαν και ανέπτυξαν ηλιακές κυψέλες κρυσταλλικού πυριτίου. Το 1958 παρόμοιες κυψέλες χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία στο διάστημα. Αν και την ίδια εποχή έγιναν προσπάθειες για την εμπορική επικράτηση των κυψελών πυριτίου αυτό

δεν επιτεύχθηκε παρά μόνο τη δεκαετία του 1980. Εκτοτε η τεχνολογία τους συνεχώς εξελίσσεται.

Σήμερα, οι εμπορικά διαθέσιμες κυψέλες πυριτίου ως προς το υλικό κατασκευής τους μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

1) κυψέλες πυριτίου «μεγάλου πάχους:

- α) μονοκρυσταλλικού πυριτίου
- β) πολυκρυσταλλικού πυριτίου
- γ) ταινίας πυριτίου

2) κυψέλες λεπτών επιστρώσεων (thin film)

- α) άμορφου πυριτίου
- β) Διδεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe_2 ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)
- γ) Τελουριούχου Καδμίου (CdTe)
- δ) Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs)

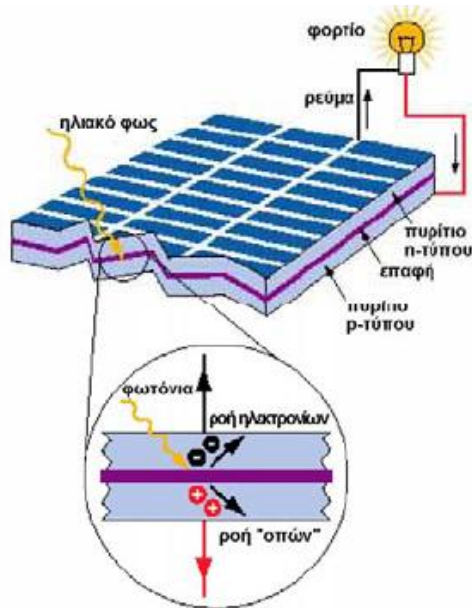
3) Υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία κι άλλες τεχνολογίες

Η μέγιστη απόδοση των εμπορικών κυψελών σήμερα, δηλαδή το ποσοστό του προσπίπτοντος σε αυτές ηλιακού φωτός που μπορούν να μετατρέψουν σε ηλεκτρισμό φτάνει το 18%. Να σημειωθεί ότι χρησιμοποιούν όχι μόνο την άμεση συνιστώσα του ηλιακού φωτός, αλλά και την έμμεση (διάχυτο φως). Προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της φωτεινής ενέργειας που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια μετατροπής, τόσο μεγαλύτερο είναι και το ποσό της ωφέλιμης ενέργειας που παράγεται από το Φ/B .

Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν οι ηλιακές κυψέλες είναι γενικά ο εξής:

Κατα την παραγωγή τους, το πυρίτιο περιέχει άτομα πρόσμιξης, τα οποία εισάγονται έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια περιοχή τύπου-p (με πλεονάζουσες οπές) και μια περιοχή τύπου-n (με πλεονάζοντα ηλεκτρόνια), οπότε εμφανίζεται μια επαφή τύπου p-n. Σε συγκεκριμένα μήκη κύματος το φως είναι δυνατόν να ιονίσει τα άτομα στο πυρίτιο, και το εσωτερικό πεδίο που παράγεται από την επαφή p-n διαχωρίζει μερικά από τα θετικά φορτία (οπές) και τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) μέσα στη φωτοβολταϊκή συσκευή. Οι οπές παρασύρονται στο θετικό ή p-στρώμα και τα ηλεκτρόνια στο αρνητικό ή n-στρώμα, συνθέτοντας έτσι ηλεκτρικό ρεύμα που λέγεται φωτόρευμα. Παρότι τα αντίθετα φορτία έλκονται μεταξύ τους, τα περισσότερα από αυτά μπορούν να επανασυνδυαστούν μόνο αν διέλθουν από ένα κύκλωμα έξω από το υλικό, εξαιτίας του εσωτερικού φράγματος δυναμικού. Έτσι, εάν κατασκευαστεί ένα κύκλωμα όπως αυτό του παρακάτω σχήματος, μπορεί να

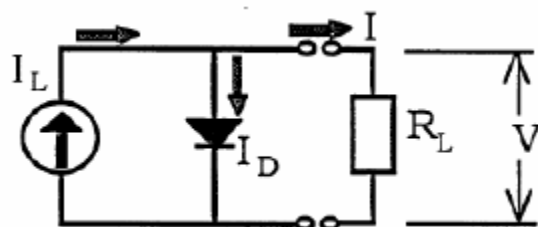
παραχθεί ηλεκτρική ισχύς από τις κυψέλες υπό φωτισμό. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων τύπου p και τύπου n διαφέρει ανάλογα με το υλικό κατασκευής και το μέγεθος της ακτινοβολίας και κυμαίνεται από 0.5 έως 1V, ενώ η πυκνότητα του παραγόμενου συνεχούς ρεύματος είναι από 20 έως 40mA/cm² της επιφάνειας του φ/β στοιχείου.



Εικόνα 10: Φωτοβολταϊκό στοιχείο

6.3 Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού στοιχείου

Στο παρακάτω σχήμα δείχνεται το απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα με το οποίο μπορεί να παρασταθεί ένα φ/β στοιχείο, όταν στα άκρα του συνδέεται μια ωμική αντίσταση R_L .



Εικόνα 11: Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φωτοβολταϊκού στοιχείου

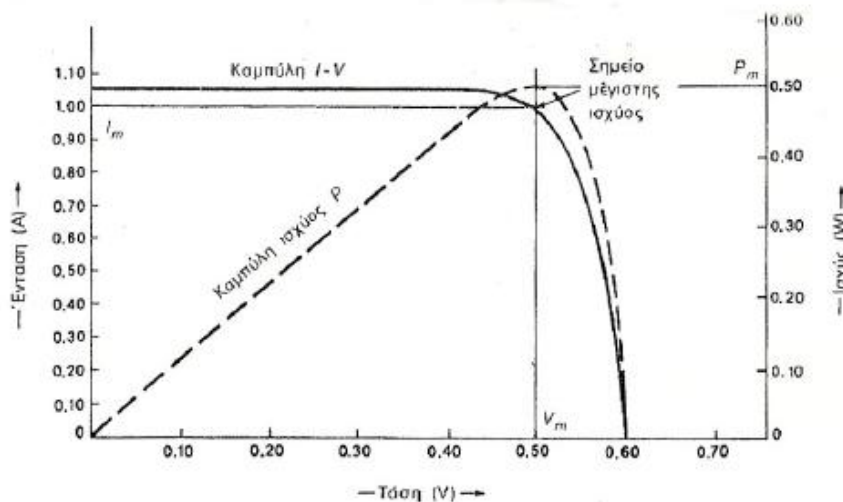
Το φ/β στοιχείο παριστάνεται με μια πηγή έντασης, η οποία παράγει το φωτόρευμα (εδώ I_L) όταν προσπίπτει σε αυτό ηλιακή ακτινοβολία, το δε μέγεθός του είναι ανάλογο της έντασεως της ηλιακής ακτινοβολίας. Όταν το εξωτερικό κύκλωμα είναι

ανοιχτό, $I=0$, το φωτόρευμα κυκλοφορεί δια της διόδου και στους ακροδέκτες του φ/β στοιχείου εμφανίζεται η τάση ανοιχτού κυκλώματος $V=V_{oc}$. Το φωτόρευμα δίνεται από τη γνωστή για τους ημιαγωγούς σχέση:

$$I_L=I_\phi=I_0[\exp(eV/\gamma kT) - 1],$$

όπου I_0 είναι το ανάστροφο ρεύμα κόρου, δηλαδή το πολύ μικρό ρεύμα που διέρχεται αν γίνει ανάστροφη πόλωση της διόδου, που σημαίνει σύνδεση του πόλου (+) της πηγής με την πλευρά n και του πόλου (-) με την πλευρά p, e είναι το φορτίο του ηλεκτρονίου, k η σταθερά του Boltzman, T η θερμοκρασία του φ/β στοιχείου σε βαθμούς K και γ ο συντελεστής ποιότητας της διόδου.

Η χαρακτηριστική τάσης-έντασης (V-I) ενός φ/β στοιχείου έχει την παρακάτω μορφή:



Διάγραμμα 8: Χαρακτηριστική I-V φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η καμπύλη V-I τέμνει τον άξονα των τάσεων στην τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} , η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln \left(\frac{I_\phi}{I_0} - 1 \right)$$

Ή επειδή $I_\phi \gg I_0$:

$$V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln \left(\frac{I_\phi}{I_0} \right)$$

Επίσης η καμπύλη τέμνει τον άξονα των ρευμάτων στο ρεύμα βραχυκυκλώσεως, για το οποίο ισχύει ότι ισούται με το παραγόμενο φωτόρευμα δηλαδή:

$$I_{sc} = I_{\phi}$$

Για συγκεκριμένες τιμές τάσης κι έντασης, V_m και I_m αντίστοιχα παρατηρείται μέγιστη παραγόμενη ισχύς για το φ/β στοιχείο. Χάρη σε ειδικούς ανιχνευτές του σημείου μέγιστης ισχύος (maximum power point trackers – MPPT), υπάρχει σήμερα η δυνατότητα ανίχνευσης και λειτουργίας των φ/β στοιχείων στο σημείο αυτό.

Δυο σημαντικοί συντελεστές στη μελέτη των φωτοβολταϊκών είναι:

- ο συντελεστής πλήρωσης: $FF = I_m V_m / I_{sc} V_{oc}$
- ο βαθμός απόδοσης: $\eta = P_m / G \cdot A = I_m V_m = FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}$, όπου $G(W/m^2)$ η ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας και $A(m^2)$ το εμβαδόν του φ/β στοιχείου.

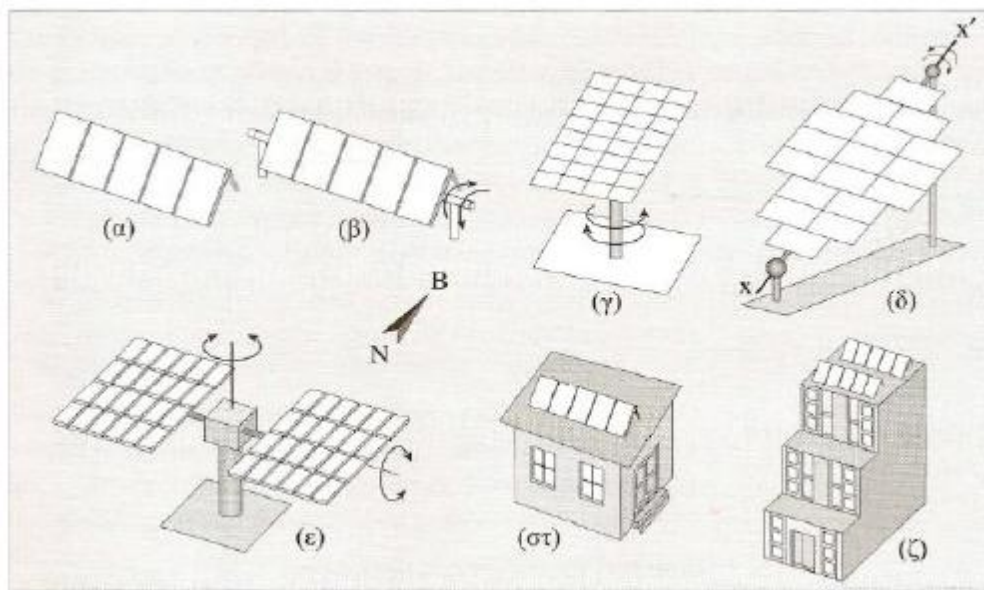
6.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Ένα Φ/Β σύστημα αποτελείται από μια Φ/Β γεννήτρια (ένα μόνο πλαίσιο ή μια συστοιχία πλαισίων) και ένα σύστημα υποστήριξης (BOS), που περιλαμβάνει τις καλωδιώσεις, τις μπαταρίες (αν υπάρχουν), τον εξοπλισμό ρύθμισης της ισχύος, τους μετατροπείς ΣΡ/ΕΡ. Το σύστημα μπορεί είτε να είναι ακίνητο, είτε να παρακολουθεί την τροχιά του ηλίου.

Σχετικά με τον τρόπο στήριξής τους οι συλλέκτες μπορούν να διακριθούν σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες, δηλαδή:

- α) σταθερής στήριξης
- β) εποχιακά ρυθμιζόμενης στήριξης
- γ) συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ηλίου, με διάταξη που ονομάζεται «Solar Tracker»

Χαρακτηριστικό είναι το επόμενο σχήμα:



Εικόνα 12: α) τοποθέτηση φ/β συστοιχίας με σταθερή γωνία κλίσης, β) συστοιχία με δυνατότητα στροφής γύρω από οριζόντιο άξονα, γ) συστοιχία σε ηλιοτρόπιο αξιμουθιακής στροφής, με σταθερή γωνία κλίσης, δ) συστοιχία με δυνατότητα στροφής ως προς τον άξονα $\chi\chi'$ που διατηρείται κεκλιμένος συνήθως υπό γωνία ίση του γεωγραφικού πλάτους του τόπου, ε) τυπική διάταξη ηλιοτροπίου (tracker) δυο αξόνων, στ) φ/β συστοιχία στη στέγη κατοικίας, ζ)φ/β πλαίσια σε διάφορες θέσεις σε μεγάλη οικοδομή

Επίσης ανάλογα με την ισχύ τους μπορούμε να διακρίνουμε τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

α) τις «μικρής ισχύος», 100W έως 10kW, που κυρίως σχετίζονται με την ηλεκτροδότηση μονοκατοικιών. Τα φ/β πλαίσια εγκαθίστανται συχνά στη στέγη ή και τις προσόψεις του κτιρίου.

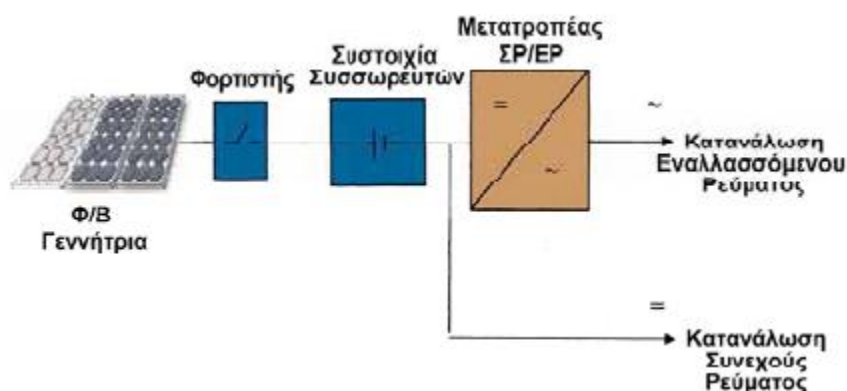
β) τις «μέσης ισχύος», 10kW έως 100kW, που σχετίζονται με την ηλεκτροδότηση συγκροτημάτων κατοικιών ή καταστημάτων και γραφείων, στις οποίες επίσης συχνά τα φ/β πλαίσια ενσωματώνονται στην οικοδομή.

γ) τις «μεγάλης ισχύος», άνω των 100kW μέχρι μερικά MW, οι οποίες αποτελούν κατά κανόνα ειδικές εγκαταστάσεις σε ιδιαίτερα διαμορφούμενες εκτάσεις.

Μια ακόμα βασική διάκριση μπορεί να γίνει ανάλογα με τη σύνδεση ή μη των φ/β συστημάτων στο δίκτυο. Έτσι υπάρχουν:

-Τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα: Αυτά είτε χρησιμοποιούνται για οικιακές εφαρμογές είτε για μη οικιακές. Στην περίπτωση των οικιακών εφαρμογών τα Φ/Β συστήματα

παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια σε σπίτια ή και ολόκληρα χωριά που δεν είναι συνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο, με σκοπό την κάλυψη των αναγκών τους για φωτισμό, ψύξη ή την τροφοδότηση φορτίων χαμηλής ισχύος. Τα συστήματα αυτά είναι συνήθως μικρής ισχύος, όπως έχει αναφερθεί, και προσφέρουν γενικά μια οικονομικά συμφέρουσα εναλλακτική σε σχέση με την επέκταση του υπάρχοντος δικτύου διανομής κατά 1 ή 2 km. Από την άλλη, τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα για *μη οικιακές χρήσεις* ήταν τα πρώτα που είχαν εμπορική εφαρμογή. Χρησιμοποιούνται για να παρέχουν ενέργεια για μια σειρά από εφαρμογές, όπως είναι οι τηλεπικοινωνίες, η άντληση νερού ή η συντήρηση εμβολίων. Αυτές είναι εφαρμογές όπου μικρή ποσότητα ηλεκτρισμού έχει μεγάλη αξία κι επομένως το κόστος των Φ/Β διατάξεων καθίσταται ανταγωνιστικό σε σχέση με άλλες πηγές ενέργειας. Τα συστήματα για αυτόνομες εφαρμογές μπορεί να περιλαμβάνουν όλες ή μερικές από τις ακόλουθες βασικές συνιστώσες:



Εικόνα 13: Αυτόνομο φ/β σύστημα

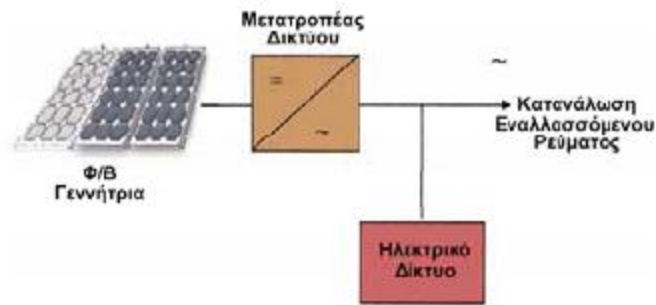
- Τα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα: Χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν μπορεί να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο. Και αυτά τα συστήματα μπορούν να χωριστούν σε δυο υποκατηγορίες:

α) Τα διανεμημένα συστήματα, που τοποθετούνται συνήθως σε σπίτια, ή σε εμπορικά ή δημόσια κτίρια. Στην περίπτωση αυτή, η ενέργεια που παράγεται μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί για ίδια κατανάλωση και σε περίπτωση πλεονάσματος η ενέργεια που περισσεύει να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο ενώ σε περιόδους έλλειψης (π.χ. τη νύχτα) να καταναλωθεί ενέργεια από το δίκτυο, είτε να τροφοδοτηθεί εξ'ολοκλήρου στο δίκτυο.

β) Οι εμπορικής κλίμακας κεντρικοί σταθμοί με πεδία Φ/Β συστοιχιών. Η ενέργεια που παράγεται απ'αυτούς δε συνδέεται με κάποιον συγκεκριμένο καταναλωτή, αλλά όλη η παραγωγή ΣΡ του πεδίου των συστοιχιών, που γενικά είναι της τάξης των MW, μετατρέπεται σε ΕΡ και στη συνέχεια μεταφέρεται στο ηλεκτρικό δίκτυο.

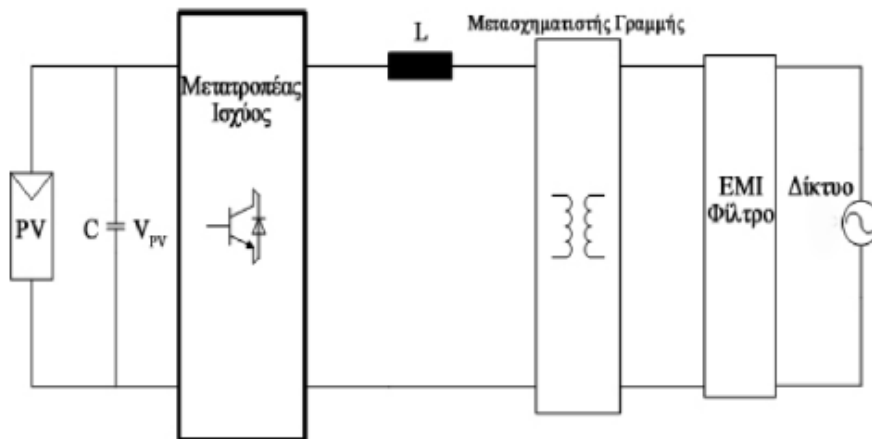
Σε ένα διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα το δίκτυο ενεργεί όπως μια μπαταρία με απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης. Επομένως, η συνολική αποδοτικότητα ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος θα είναι καλύτερη σε σχέση με ένα απομονωμένο

σύστημα, καθώς δεν αποβάλλεται καθόλου παραγόμενη ενέργεια. Παρακάτω φαίνεται η σχηματική αναπαράσταση ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος.



Εικόνα 14: Διασυνδεδεμένο φ/β σύστημα

Στη συνέχεια φαίνεται ένα τυπικό μοντέλο φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο:



Εικόνα 15: Τυπικό μοντέλο φ/β συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο

Διακρίνονται με τη σειρά η φωτοβολταϊκή γεννήτρια (PV), η οποία είναι στην ουσία ένα σύνολο φωτοβολταϊκών πλαισίων, στη συνέχεια ένα πυκνωτής C, ένας μετατροπέας ισχύος (αντιστροφέας), ένα πηνίο L, για τον έλεγχο του ρεύματος που εγχέεται στο δίκτυο, ένας μετασχηματιστής, που εγγυάται τη γαλβανική μόνωση μεταξύ του δικτύου και των φωτοβολταϊκών συστημάτων και ο οποίος σήμερα λόγω της εξέλιξης των δικτύων στις περισσότερες περιπτώσεις παραλείπεται και τέλος ένα φίλτρο EMI, προκειμένου να αποκλειστεί τυχόν ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή στο φάσμα υψηλής συχνότητας.

6.5 Σύνδεση φωτοβολταϊκών στο δίκτυο

Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο δίκτυο ΧΤ θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ικανοποιητική λειτουργία της φ/β γεννήτριας και ταυτόχρονα να ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις που τίθενται από την ηλεκτρική επιχείρηση, ώστε να αποφεύγεται η πρόκληση ανωμαλιών στη λειτουργία του δικτύου. Ιδιαίτερη σημασία για τη διαμόρφωση της όλης διάταξης έχουν οι όροι υπό τους οποίους γίνεται η σύνδεση στο δίκτυο, οι οποίοι περιλαμβάνονται στη σχετική σύμβαση με την ηλεκτρική επιχείρηση.

Για τη σύνδεση των μονάδων στο δίκτυο διανομής θα πρέπει προφανώς να ικανοποιούνται οι τεχνικές προϋποθέσεις σύνδεσης παραγωγών στο δίκτυο διανομής, οι οποίοι έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι κυριότερες από τις λειτουργικές απαιτήσεις που τίθενται από τις ηλεκτρικές επιχειρήσεις, αλλά και από τους χρήστες για τη σύνδεση φ/β γεννητριών μικρής και μέσης ισχύος στα δίκτυο ΧΤ.

1) Η φ/β γεννήτρια θα πρέπει να μπορεί να παρέχει στο δίκτυο τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί για δεδομένη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, όταν η τάση του δικτύου κυμαίνεται εντός των επιτρεπτών ορίων π.χ. $\pm 10\%$ της ονομαστικής. Εάν ως συνήθως είναι επιθυμητό η ισχύς να παρέχεται στο δίκτυο με $\cos\phi=1$ περίπου, τότε η τάση εξόδου του φ/β συστήματος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη κατά μέτρο και να προηγείται της τάσης του δικτύου, όπως και στην περίπτωση των σύγχρονων γεννητριών. Η απαίτηση αυτή εξασφαλίζεται με κατάλληλο έλεγχο του αντιστροφέα.

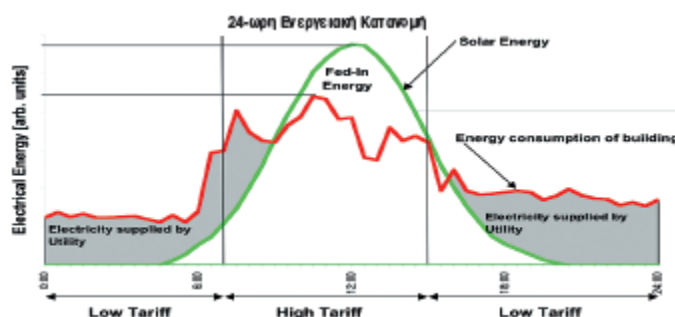
2) Εάν η τάση του δικτύου διατηρείται εκτός των επιτρεπόμενων ορίων πάνω από ένα χρονικό διάστημα π.χ. άνω του $\pm 15\%$ της ονομαστικής επί 1sec συνήθως η εγκατάσταση αποσυνδέεται από το δίκτυο για λόγους ασφαλείας. Τα αντίστοιχα ισχύουν σε περίπτωση που συμβεί απόκλιση της συχνότητας της τάσεως πέραν ορισμένου μεγέθους και χρόνου, π.χ. πέραν του $\pm 1\%$ για περισσότεροι από 1sec.

3) Όπως όλες οι συσκευές που περιλαμβάνουν ηλεκτρονικά ισχύος δε θα πρέπει να εκπέμπουν αρμονικές και να δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές πέραν ορισμένων ορίων.

4) Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος είτε εντός της εγκαταστάσεως είτε στο δίκτυο θα πρέπει η φ/β γεννήτρια να αποσυνδέεται.

5) Σε περιπτώσεις απομόνωσης τμήματος του δικτύου χωρίς να έχει προηγηθεί βραχυκύκλωμα σε αυτό (π.χ. για την εκτέλεση εργασιών) υπάρχει το ακραίο αλλά πιθανό ενδεχόμενο να παραμείνει το τμήμα αυτό αυτό τροφοδοτούμενο μόνο από τις συνδεδεμένες φ/β εγκαταστάσεις με τάση και συχνότητα εντός των ανεκτών ορίων (νησιδοποίηση). Επομένως και σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να πραγματοποιείται απομόνωση της εγκατάστασης για λόγους ασφαλείας του προσωπικού.

Σε ότι αφορά το ποσοστό διείσδυσης των φωτοβολταϊκών στο δίκτυο αξίζει να αναφερθεί το εξής: σε κάθε σύστημα ενέργειας ανά πάσα στιγμή, η παραγωγή του ηλεκτρισμού θα πρέπει να ανταποκρίνεται στην κατανάλωση. Μελέτες σε συστήματα δείχνουν ότι οι ανεμογεννήτριες μπορούν να παράγουν περίπου το 15% της ζήτησης. Ωστόσο σε διάφορες χώρες το όριο αυτό έχει ξεπεραστεί, όπως για παράδειγμα στη Δανία, της οποίας το ηλεκτρικό δίκτυο λειτουργεί με αιολική ενέργεια που φτάνει το 32% της εγκατεστημένης ισχύος. Αντίστοιχα για την παραγωγή των Φ/Β η τιμή που έχει βρεθεί είναι 21%. Με άλλα λόγια, τα Φ/Β ανταποκρίνονται καλύτερα από τα αιολικά στη ζήτηση ενέργειας και μπορούν θεωρητικά να διεισδύσουν σε μεγαλύτερα ποσοστά στο δίκτυο. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται καθαρά ότι τα Φ/Β έχουν ένα καλώς καθορισμένο προφίλ παραγωγής το οποίο εξομαλύνει τις αιχμές και γενικά είναι συμπληρωματικό στις άλλες διεσπαρμένες ή κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας.

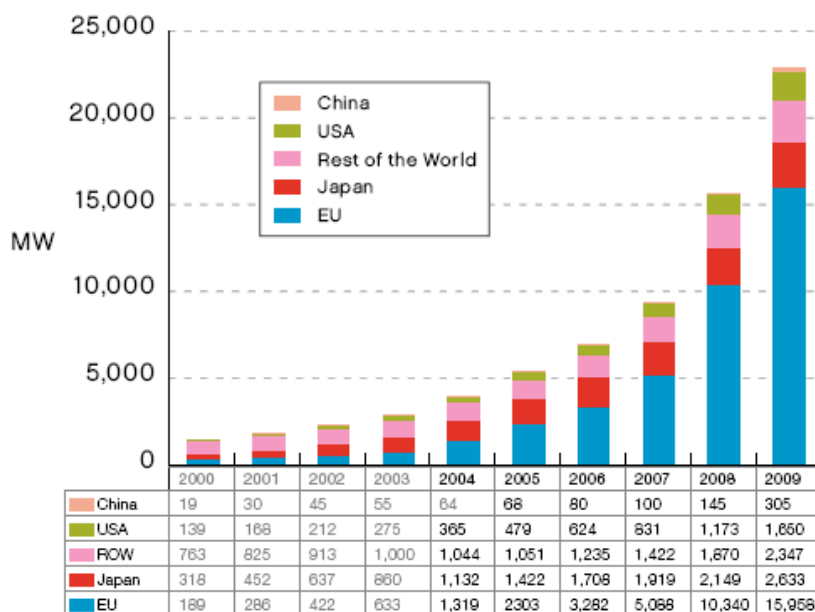


Εικόνα 15: Ενδεικτική καμπύλη παραγωγής φ/β, συνεργασία τους με άλλες πηγές παραγωγής ενέργειας

6.6 Η αγορά των φωτοβολταϊκών

Η αγορά των φωτοβολταϊκών παραμένει ένας από τους πιο δυναμικούς τομείς παγκοσμίως. Στο τέλος του 2008 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β παγκοσμίως πλησίαζε τα 16GW, ενώ σήμερα (2010) σχεδόν 23GW είναι εγκατεστημένα ανά τον κόσμο, τα οποία παράγουν 25TWh ηλεκτρισμού ετησίως. Ο αριθμός αυτός αναφέρεται τόσο στα αυτόνομα όσο και στα διασυνδεδεμένα συστήματα. Η Ευρώπη αποτελεί την πρωτοπόρο δύναμη με σχεδόν 16GW εγκατεστημένης ισχύος το 2009, που αποτελεί το 70% της συνολικής παγκόσμιας ισχύος Φ/Β που είχε εγκατασταθεί ως το τέλος του 2009, ενώ η Ιαπωνία (2,6GW) και οι ΗΠΑ (1,6GW) ακολουθούν. Η Κίνα έχει ήδη εισέλθει στις 10 μεγαλύτερες αγορές Φ/Β παγκοσμίως κι αναμένεται να παίξει σημαντικό ρόλο τα επόμενα χρόνια.

Η εξέλιξη από το 2000 μέχρι το 2009 της εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β παγκοσμίως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Διάγραμμα 9: Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς φ/β (2000-2009)

Παρά την οικονομική κρίση, η αγορά Φ/Β συνέχισε να αυξάνεται κατά 15% το 2009 σε σχέση με το 2008 και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους παγκοσμίως αυξήθηκε κατά 45% φτάνοντας τα 22,9GW. Η ανάπτυξη αυτή το 2009 οφείλεται κυρίως στη γερμανική αγορά που σχεδόν διπλασιάστηκε μέσα σε ένα χρόνο, από 2GW το 2008 σε περίπου 3,8GW εγκατεστημένα το 2009, που αντιστοιχεί στο 52% της παγκόσμιας αγοράς Φ/Β. Εκτός από τη Γερμανία, κι άλλες χώρες ακολούθησαν εξελικτική πορεία το 2009. Στην Ιταλία εγκαταστάθηκαν 730MW, με τη χώρα αυτή να εξελίσσεται στη δεύτερη μεγαλύτερη αγορά παγκοσμίως, ενώ εκτός Ευρώπης ενδεικτικά, 484MW εγκαταστάθηκαν στην Ιαπωνία και 477MW στις ΗΠΑ. Στο σύνολό της η Ευρωπαϊκή Ένωση διέθετε 5,6GW εγκατεστημένα το 2009 ή αλλιώς το 78% της παγκόσμιας αγοράς Φ/Β. Μέσα στην Ευρώπη, η γερμανική αγορά κυριαρχεί με ποσοτό 68% της ευρωπαϊκής αγοράς. Η ανάδειξη της Ιταλίας ως κύριας αγοράς Φ/Β, σε συνδυασμό με την ανοδική πορεία της γαλλικής αγοράς και την εντυπωσιακή ανάπτυξη της Τσεχίας και του Βελγίου αντιστάθμισαν την επιβράδυνση της ισπανικής αγοράς. Μια βασική αλλαγή το 2009 είναι η ανάδειξη νέων αγορών εκτός Ευρώπης, με τον Καναδά και την Αυστραλία να αρχίσουν να αναπτύσσονται ενώ και η Ιαπωνία και οι ΗΠΑ δείχνουν μια σημαντική δυνατότητα να γίνουν νέες αγορές της τάξης των GW τα επόμενα χρόνια.

Σύμφωνα με μελέτες, τα Φ/Β θα μπορούσαν να παρέχουν μέχρι και το 12% της ζήτησης ηλεκτρισμού στην Ευρώπη μέχρι το 2020 και να είναι ανταγωνιστικά ως προς τις άλλες πηγές ηλεκτρισμού χωρίς την παρουσία εξωτερικών επιχορηγήσεων. Ωστόσο, στην παρούσα φάση, η επικράτηση των Φ/Β εξαρτάται από την πολιτική της κάθε χώρας, καθώς οι υποστηρικτικοί μηχανισμοί, οι οποίοι μπορούν να έχουν

σημαντική επίδραση στις αγορές και τις βιομηχανίες Φ/Β, καθορίζονται από τους νόμους των επιμέρους κρατών.

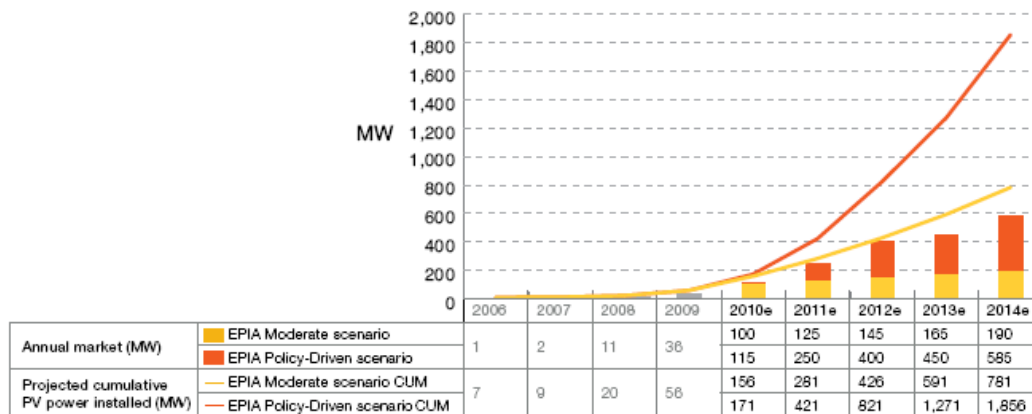
Υπάρχουν δυο σενάρια για τη μελλοντική ανάπτυξη των Φ/Β. Το πρώτο είναι το «απαισιόδοξο», το οποίο βασίζεται στην υπόθεση ότι οι υπάρχοντες υποστηρικτικοί μηχανισμοί θα παραμείνουν αμετάβλητοι. Το δεύτερο είναι το «αισιόδοξο» σενάριο, το οποίο υποθέτει την εισαγωγή νέων υποστηρικτικών μηχανισμών σε συνδυασμό με ισχυρή πολιτική θέληση να καταστούν τα Φ/Β βασική πηγή ισχύος τα επόμενα χρόνια.

Με βάση το «απαισιόδοξο» σενάριο, η ευρωπαϊκή αγορά θα μπορούσε να αυξηθεί μέχρι τα 6GW το 2010, να παραμείνει στάσιμη τα δυο επόμενα χρόνια και να συνεχίσει την ανάπτυξη της το 2013, ενώ με βάση το «αισιόδοξο» σενάριο, θα μπορούσε να έχει εγκατεστημένα μέχρι 8,7GW το 2010 και μέχρι 13,5GW το 2014. Η παγκόσμια αγορά Φ/Β προβλέπεται να αυξηθεί στα 8,2GW το 2010 σύμφωνα με το «απαισιόδοξο» σενάριο και στα 13,7GW το 2014, ενώ σύμφωνα με το «αισιόδοξο» στα 12,7GW το 2010 και στα 30GW το 2014. [7]

Η κατάσταση στην Ελλάδα

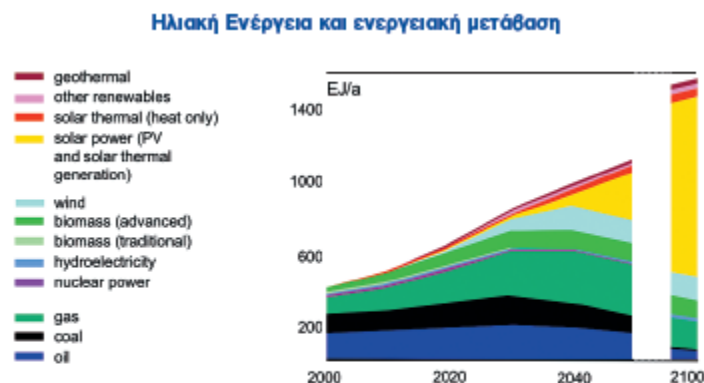
Εκτός από μεγάλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας, η Ελλάδα διαθέτει και μια από τις πιο ευνοϊκές τιμές πώλησης της ενέργειας που παράγεται από τα Φ/Β μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών. Με περισσότερα από 3,5GW Φ/Β έργων σε εξέλιξη, η χώρα μας αναμένεται να παίξει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των Φ/Β στο μέλλον. Ωστόσο, οι ανάδοχοι των έργων κατακλύζονται από τη γραφειοκρατία και τη διοικητική και ρυθμιστική αβεβαιότητα, το οποίο εξηγεί το μικρό αριθμό των Φ/Β έργων που κατασκευάστηκαν το 2008 και το 2009. Μετά από τα 36MW που εγκαταστάθηκαν το 2009 και μια αγορά περίπου 100MW το 2010, η αγορά αναμένεται να φτάσει από 200MW έως 600MW το 2014. [7]

Στη συνέχεια φαίνεται η εξέλιξη έως τώρα της εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β στην Ελλάδα καθώς και η αναμενόμενη εξέλιξη έως το 2014 σύμφωνα με τα δυο σενάρια που αναφέρθηκαν παραπάνω:



Διάγραμμα 10: Εγκατεστημένη ισχύς φ/β στην Ελλάδα και πρόβλεψη έως το 2014

Τις επόμενες δυο δεκαετίες το κόστος των Φ/Β, που αποτελεί κι ένα από τα βασικά τους μειονεκτήματα αυτή τη στιγμή, αναμένεται να μειωθεί κατά 5% τουλάχιστον ετησίως, χάρη στη μαζική παραγωγή τους, γεγονός που θα ενισχύσει την ελκυστικότητα της ηλιακής ενέργειας. Στη συνέχεια, φαίνεται μια εκτίμηση της πιθανής εξέλιξης του παγκόσμιου ενεργειακού μίγματος έως το 2100.



Πηγή: Scientific Advisory Board to the German Government on Global Change (2003)

Διάγραμμα 11: Παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα και πρόβλεψη έως το 2100

Είναι εμφανής ο σημαντικός ρόλος που αναμένεται να παίξει η ηλιακή ενέργεια στο μέλλον. Αρκεί να αναφερθεί ότι η συνολική ποσότητα ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια της γης ισούται με αρκετές χιλιάδες φορές την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Αν λάβουμε υπόψη τους τεχνικούς περιορισμούς των Φ/Β, η ηλεκτρική ενέργεια που θα μπορούσαμε να πάρουμε από την απευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό ξεπερνάει τις 440.000 TWh/χρόνο, που σχεδόν ισούται με τέσσερις φορές τη συνολική παγκόσμια κατανάλωση. Στην Ευρώπη ειδικότερα, τοποθέτηση Φ/Β στη συνολική επιφάνεια των σκεπών που είναι προσανατολισμένες προς το Νότο θα επέτρεπε την πλήρη κάλυψη των αναγκών μας σε ηλεκτρισμό [9,14,18,19].

6.7 Ηλεκτρικά οχήματα και αύξηση της διείσδυσης φωτοβολταϊκών

Όπως συμβαίνει για τα αιολικά έτσι και στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να συμβάλουν στην αύξηση της διείσδυσης τους στο δίκτυο. Ωστόσο, μια βασική διαφορά είναι ότι η παραγωγή των φωτοβολταϊκών, παρότι διακοπτόμενη μέσα στην ημέρα, είναι σχετικά προβλέψιμη σε αντίθεση με αυτή των αιολικών που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες κάθε φορά. Ειδικότερα, κατά κανόνα η αιχμή της φωτοβολταϊκής παραγωγής προηγείται λίγες ώρες της αιχμής της ζήτησης του φορτίου. Επομένως, μια απλή μέθοδος για την αύξηση των φωτοβολταϊκών που συνδέονται στο δίκτυο είναι να αποθηκευτεί η ενέργεια την ώρα της αιχμής των φωτοβολταϊκών και να αποδοθεί στο δίκτυο λίγες ώρες αργότερα, κατά την αιχμή της ζήτησης [2]. Αυτό μπορεί εύκολα να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια των ηλεκτρικών οχημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ EUROSTAG

7.1 Εισαγωγή

Καθώς η δομή των ηλεκτρικών δικτύων γίνεται όλο και πιο πολύπλοκη, δεδομένης της επέκτασης των διασυνδεδεμένων περιοχών, της πολυπλοκότητας του εξοπλισμού και του μεγάλου αριθμού των περιορισμών (οικονομικών, περιβαλλοντικών, ασφαλείας) που πρέπει να ληφθούν υπόψη, απαιτούνται ισχυρά εργαλεία λογισμικού ώστε να διευκολύνουν τη μελέτη των δικτύων αυτών. Το Eurostag, το οποίο χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική για τη μοντελοποίηση των δικτύων διανομής που εξετάζονται είναι ένα τέτοιο εργαλείο, που αναπτύχθηκε μετά από συνεργασία των εταιρειών TRACTEBEL και RTE. Είναι πολύ φιλικό προς το χρήστη γεγονός που άλλωστε αποτελεί έναν από τους λόγους για τους οποίους χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη εργασία.

7.2 Λειτουργία κι εφαρμογές του Eurostag

Το πρόγραμμα καθιστά δυνατή την ακριβή παρακολούθηση της συμπεριφοράς του δικτύου μέχρι να επιστρέψει σε ισορροπία, ανεξάρτητα από το μέγεθος του δικτύου και τον τύπο των παρατηρούμενων διαταραχών. Ο επαναληπτικός αλγόριθμος που χρησιμοποιεί το Eurostag εκτελεί αυτόματο έλεγχο των προσομοιώσεων, ο οποίος πληρεί τα κριτήρια ακρίβειας που καθορίζονται από το χρήστη. Η χρήση του Eurostag επιτρέπει τη μελέτη μεγάλων συστημάτων για μεγάλες περιόδους χωρίς την ανάγκη μεταβολής του αρχικού μοντέλου του συστήματος.

Ορισμένες από τις εφαρμογές του λογισμικού αυτού είναι οι εξής:

-Έλεγχος της διατήρησης του συγχρονισμού μετά από διάφορες διαταραχές

-Μελέτη της συμπεριφοράς του δικτύου σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ή γενικά σε ακραίες περιπτώσεις (κατάρρευση τάσης, απώλεια συγχρονισμού, επανασυγχρονισμός κλπ)

-Διαμόρφωση στρατηγικών σε δίκτυα σε περιπτώσεις απόρριψης φορτίου
-Σχεδιασμός και καθορισμός των συστημάτων προστασίας σταθμών παραγωγής και δικτύων διανομής κ.α.

Το Eurostag βασίζεται σε έναν επαναληπτικό αλγόριθμο με χρονομεταβλητό βήμα και είναι κατάλληλο για τη μελέτη βραχυπρόθεσμων, αλλά και μακροπρόθεσμων μεταβατικών φαινομένων. Έτσι, οι μελέτες μεταβατικής ευστάθειας (φαινόμενα που διαρκούν από μερικά ms έως μερικά δευτερόλεπτα), καθώς και οι μακροπρόθεσμες δυναμικές μελέτες (αλλαγές που συμβαίνουν σε ένα διάστημα από μερικά δευτερόλεπτα έως κάποιες ώρες), καλύπτονται από την ίδια προσομοίωση.

Το πρόγραμμα αυτό αποτελείται από τα ακόλουθα πέντε βασικά μέρη:

1) Ένα πρόγραμμα ροής φορτίου (load flow), του οποίου τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται ως σημείο αναφοράς στην προσομοίωση

2) Ένα διαδραστικό προσομοιωτή, που επιτρέπει στο χρήστη να απεικονίζει τις διάφορες μεταβλητές, αλλά και να επεμβαίνει στη διαδικασία κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης

3) Ένα γραφικό προ-επεξεργαστή, που επιτρέπει την εισαγωγή νέων μοντέλων χρησιμοποιώντας σχήματα μπλοκ διαγραμμάτων

4) Ένα γραφικό επεξεργαστή που χρησιμοποιείται για την ανάλυση των αποτελεσμάτων μετά το πέρας της προσομοίωσης

5) Ένα τμήμα για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων

Το Eurostag είναι γραμμένο σε Fortran 77 και σε C κι εγκαθίσταται σε σταθμούς εργασίας με UNIX καθώς και σε προσωπικούς Η/Υ με λειτουργικό σύστημα WINDOWS.

Στην παρούσα διπλωματική πραγματοποιείται ανάλυση των δικτύων σε μόνιμη κατάσταση. Συνεπώς, μας ενδιαφέρει μόνο το πρόγραμμα ροής φορτίου που διαθέτει το Eurostag.

Οι κόμβοι του δικτύου διέπονται από την αλγεβρική εξίσωση $I=Y*U$, στην οποία U είναι το διάνυσμα των τάσεων των κόμβων, I το διάνυσμα των ρευμάτων που εισέρχονται στους κόμβους και Y είναι η μήτρα αγωγιμότητας του δικτύου. Τα φορτία του συστήματος διέπονται από μη γραμμικές εξισώσεις που είναι συναρτήσεις της τάσης και της συχνότητας [20].

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Αρχικά, σχεδιάζεται το δίκτυο στο Network Editor. Το Eurostag χρησιμοποιεί είτε μονογραμμική είτε τριφασική αναπαράσταση του δικτύου. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται μονογραμμική αναπαράσταση. Συγκεκριμένα εισάγονται οι ζυγοί, τα φορτία που συνδέονται σε αυτούς (στην περίπτωση μας κάθε υποσταθμός MT/XT αντιμετωπίζεται ως ένα συνολικό φορτίο), και οι γραμμές διανομής. Ο υποσταθμός YT/MT δε σχεδιάζεται, αλλά ο ζυγός MT του υποσταθμού αυτού ορίζεται ως ζυγός αναφοράς του δικτύου (slack bus), με τάση 1p.u. και γωνία $\theta=0^\circ$. Τα ηλεκτρικά οχήματα σχεδιάζονται ως φορτία με $P_{EV}>0$ όταν φορτίζουν και $P_{EV}<0$ όταν εκφορτίζουν. Τα φωτοβολταϊκά μπαίνουν ως παραγωγή στους ζυγούς στην περίπτωση του πρώτου δικτύου, ενώ τα αιολικά λαμβάνονται ως αρνητικά φορτία στην περίπτωση του δεύτερου δικτύου που εξετάζεται.

Με την αποθήκευση του δικτύου δημιουργούνται τα αρχεία .nwk και .ech. Το πρώτο ανοίγεται από τον Network Editor και αποτελεί τη γραφική αναπαράσταση του δικτύου που έχει δημιουργηθεί, ενώ το δεύτερο είναι ένα αρχείο κειμένου στο οποίο καταγράφονται όλα τα στοιχεία του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα το αρχείο .ech περιλαμβάνει την τοπολογία του δικτύου με τους ζυγούς των τάσεων (και τις παραγόμενες ή καταναλισκόμενες ισχύεις τους), τις γραμμές μεταφοράς του ρεύματος και τα φορτία του συστήματος.

Το Eurostag χρησιμοποιώντας το αρχείο .ech σαν το κύριο αρχείο δεδομένων το οποίο περιέχει σε μορφή κειμένου την αναπαράσταση του ηλεκτρικού μας δικτύου, μπορεί κατευθείαν να εξάγει τον υπολογισμό της ροής φορτίου στο σύστημα. Τα αποτελέσματα της ροής φορτίου παρουσιάζονται στο αρχείο .lf το οποίο μπορεί να δει ο χρήστης. Μετά το πέρας του υπολογισμού της ροής φορτίου δημιουργείται το αρχείο .sav (το οποίο περιέχει τα αποτελέσματα της ροής φορτίου για εσωτερική τους χρήση όμως από το πρόγραμμα).

Ωστόσο, στην περίπτωση ύπαρξης πολλών σεναρίων το πρόβλημα έγκειται στο εξής: στην περίπτωση του διασυνδεδεμένου δικτύου B για παράδειγμα, εφόσον τα φορτία του κάθε υποσταθμού μεταβάλλονται κάθε ώρα θα έπρεπε να αλλάξουμε το αρχείο .nwk και κατ'επέκταση το αρχείο .ech 48 φορές, όσες δηλαδή είναι οι ώρες μιας χειμερινής και μιας καλοκαιρινής μέρας. Προκειμένου να αυτοματοποιηθεί η παραπάνω διαδικασία, εκμεταλλευόμαστε το γεγονός ότι το αρχείο ech είναι αρχείο κειμένου (μορφής txt) κι επομένως μπορούμε να επεμβαίνουμε σε αυτό μέσω του κειμενογράφου (notepad) των WINDOWS και να προσαρμόζουμε τα δεδομένα μας και τις συνθήκες της κάθε προσομοίωσης με ιδιαίτερη ευκολία, χωρίς καν να χρειάζεται να χρησιμοποιούμε το λογισμικό μας. Συγκεκριμένα, κατασκευάζονται τα προγράμματα loop και echchange. Το loop παίρνει σαν είσοδο δυο αρχεία κειμένου, το db και το loads. Το db είναι στην ουσία ένας πίνακας με ενεργές ισχύεις. Καθε γραμμή του αντιστοιχεί σε μια ώρα του 24ώρου, επομένως έχει 48 γραμμές. Οι στήλες του είναι το άθροισμα των υποσταθμών (35) και των ζυγών στους οποίους συνδέονται τα ηλεκτρικά οχήματα (35) και των ζυγών στους οποίους συνδέονται τα

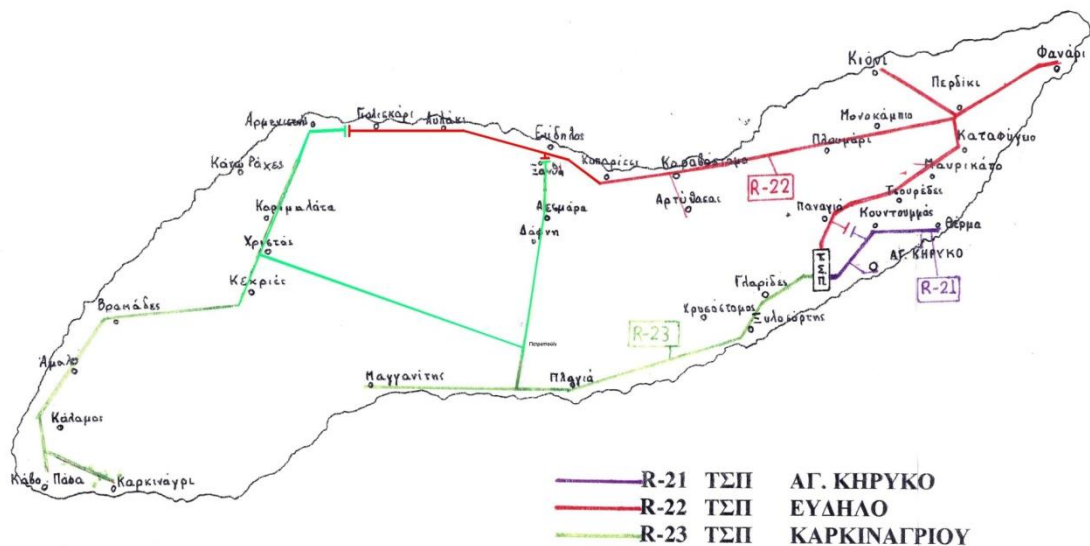
φωτοβολταϊκά (35). Επιλέγουμε ένα σενάριο ως βασικό και φτιάχνουμε το αρχείο db τοποθετώντας τα αντίστοιχα νούμερα. Στη συνέχεια, το αρχείο loads έχει δυο στήλες. Στην πρώτη τοποθετούνται ενεργές ισχύεις και στη δεύτερη άεργες, οι οποίες εισάγονται για τα φορτία των υποσταθμών και για τα ηλεκτρικά οχήματα τα οποία επίσης αντιμετωπίζονται ως φορτία. Το loop δίνει ως έξοδο το αρχείο loaddata το οποίο αποτελεί είσοδο για το πρόγραμμα echchange, μαζί με το αρχείο .ech του Eurostag. Το echchange δίνει ως έξοδο κάθε φορά το νέο αρχείο .ech, για την επόμενη ώρα του 24ώρου. Εφόσον έχουμε έτοιμο το αρχείο .ech τρέχουμε τη ροή φορτίου για κάθε ώρα και λαμβάνουμε τις τάσεις των ζυγών, τις ισχύεις των γραμμών και τις απώλειες ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΔΙΚΤΥΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

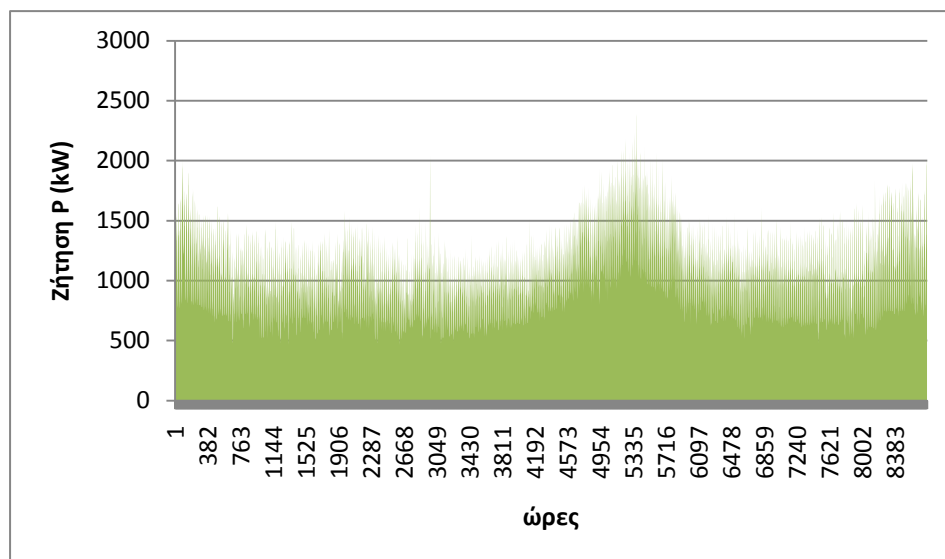
8.1 Δίκτυο Α

Το πρώτο δίκτυο που εξετάζεται είναι μια *αγροτική γραμμή διανομής* ονομαστικής τάσης 15kV, η οποία διαθέτει 57 υποσταθμούς ΜΤ/ΧΤ κι έχει συνολικό μήκος 50km. Η εγκατεστημένη ισχύς του κάθε υποσταθμού φαίνεται αναλυτικά στο Παράρτημα (Π2). Η γραμμή είναι η μια από τις 3 γραμμές του δικτύου της Ικαρίας. Επιλέχθηκε διότι είναι μια γραμμή μεγάλου μήκους, καλύπτει μια περιοχή με αυξημένο αιολικό δυναμικό και το φορτίο της χαρακτηρίζεται από εποχικότητα. Η αιχμή της ζήτησης της γραμμής είναι 2,39MW κι εμφανίζεται στις 12/8 και ώρα 9μ.μ, ενώ η ελάχιστη ζήτηση είναι 0,46MW κι εμφανίζεται στις 25/2 κι ώρα 4π.μ. Η συνολική ετήσια ζήτηση της ανέρχεται στις 9.220MWh. Η προς μελέτη γραμμή είναι η R22 του ακόλουθου σχήματος. Το αναλυτικό διάγραμμα της γραμμής σημειώνεται σι Παράρτημα (Π2).



Εικόνα 16: Ηλεκτρικό δίκτυο Ικαρίας

Η ετήσια καμπύλη φορτίου για το σύνολο της γραμμής είναι η εξής:



Διάγραμμα 12: Ετήσια καμπύλη φορτίου για την αγροτική γραμμή διανομής

Ο κορμός της γραμμής αποτελείται από τους παρακάτω τύπους αγωγών, για καθέναν από τους οποίους φαίνεται η αντίσταση/αντίδραση ανά μονάδα μήκους και το θερμικό όριο ισχύος του:

Τύπος γραμμής	R (Ω/km)	X (Ω/km)	Θερμικό Όριο Ισχύος (MVA)
AAAC-70	0,562	0,370	6,2
ACSR-35	0,576	0,397	5,8
ACSR-95	0,215	0,334	11,6

Πίνακας 4: Τύποι και χαρακτηριστικά αγωγών που αποτελούν τον κορμό της γραμμής

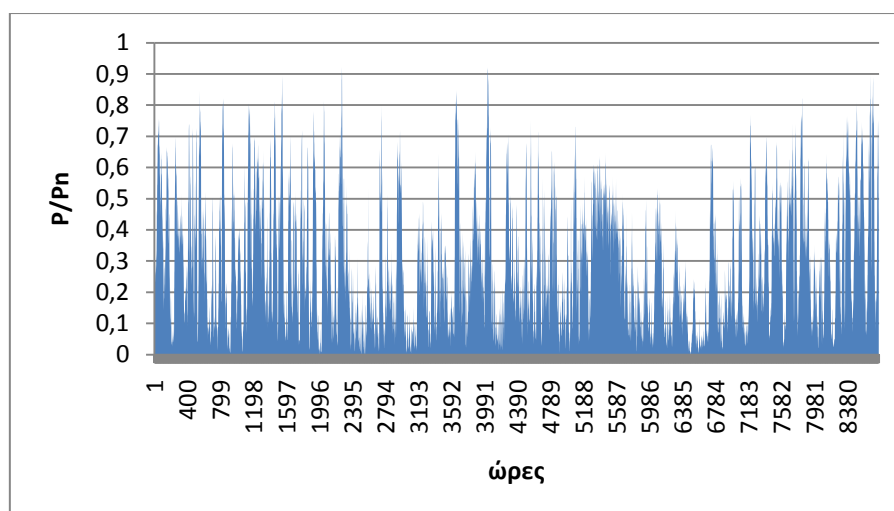
Οι διακλαδώσεις αποτελούνται από τους παρακάτω τύπους αγωγών:

Τύπος γραμμής	R (Ω/km)	X (Ω/km)	Θερμικό Όριο Ισχύος (MVA)
ACSR-16	1,268	0,422	3,5
CU-16	1,274	0,417	3
CU-35	0,596	0,393	4,8
AAAC-35	1,071	0,393	4,2
AAAC-185	0,204	0,337	12

Πίνακας 5: Τύποι και χαρακτηριστικά αγωγών που αποτελούν τις διακλαδώσεις της γραμμής

Στο δίκτυο συνδέονται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και καθώς η γραμμή είναι αγροτική επιλέγεται η τοποθέτηση αιολικών πάρκων κατά μήκος της. Τα πάρκα συνδέονται σε 10 από τους υποσταθμούς και η τοποθέτησή τους γίνεται με τρόπο ώστε να διασπείρονται σε όλο το μήκος της γραμμής και κατά το δυνατόν να ισαπέχουν μεταξύ τους. Θεωρείται πως έχουν όλα την ίδια εγκατεστημένη ισχύ.

Η καμπύλη παραγωγής των ανεμογεννητριών ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος για ένα έτος σχεδιάζεται παρακάτω:

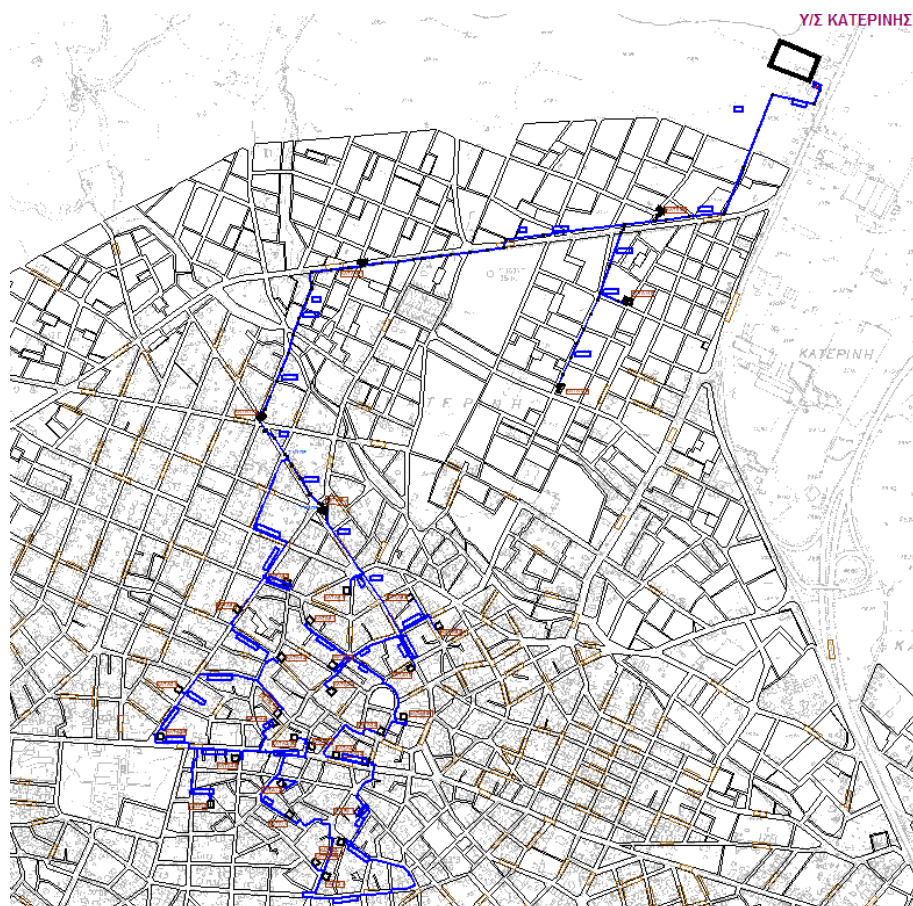


Διάγραμμα 13: Καμπύλη παραγωγής ανεμογεννητριών ανά μονάδα εγκατεστ. ισχύος

Ο συντελεστής ισχύος των αιολικών λαμβάνεται ίσος με 0.95 επαγωγικός.

8.2 Δίκτυο Β

Το δεύτερο δίκτυο που εξετάζεται είναι μια διασυνδεδεμένη αστική γραμμή διανομής μέσης τάσης (20kV), η οποία περιλαμβάνει 35 Υποσταθμούς ΜΤ/ΧΤ με εγκατεστημένη ισχύ για τον καθένα που φαίνεται στο Παράρτημα (Π2). Η γραμμή αποτελεί τμήμα του δικτύου της Κατερίνης και σχεδιάζεται στο ακόλουθο σχήμα με μπλε χρώμα. Το αναλυτικό της διάγραμμα βρίσκεται στο Παράρτημα (Π2).



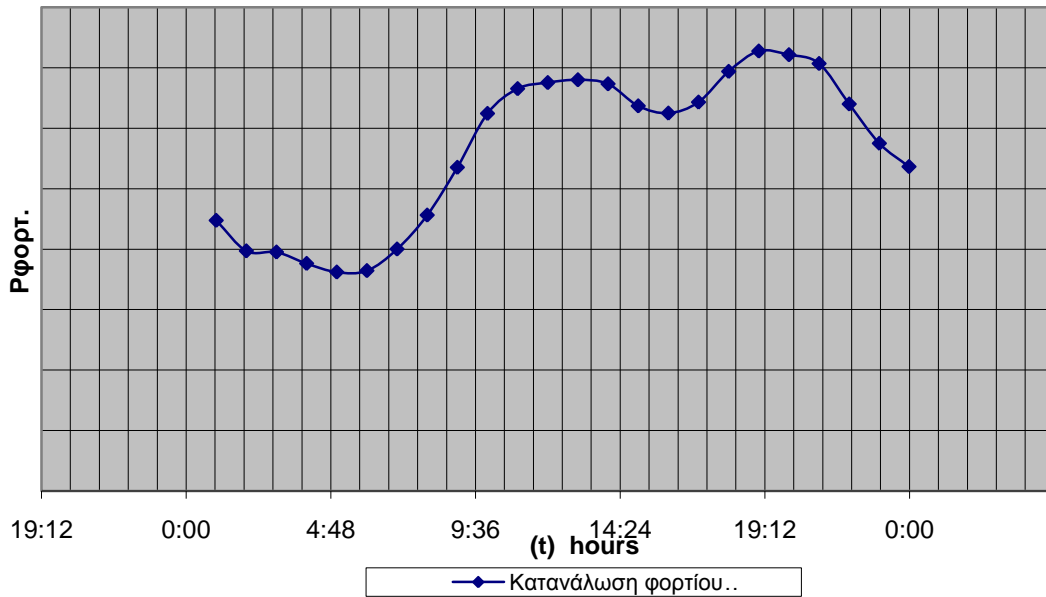
Εικόνα 17: Διάγραμμα αστικής γραμμής διανομής, μέρους του δικτύου της Κατερίνης

Η μέγιστη ζήτηση φορτίου είναι ίση με 11.17MVA και παρατηρείται το καλοκαίρι κατά τις μεσημεριανές ώρες, ενώ η ελάχιστη ζήτηση είναι 4.65MVA και παρατηρείται το χειμώνα κατά τις πρώτες πρωινές ώρες. Ο συντελεστής ισχύος του φορτίου που εξυπηρετεί ο κάθε υποσταθμός λαμβάνεται ίσος με 0.8.

Στην περίπτωση αυτή, σε αντίθεση με το δίκτυο εφαρμογής 1, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που τοποθετούνται είναι τα φωτοβολταϊκά. Συνεπώς, αρκεί να εξεταστούν δυο μόνο χαρακτηριστικές ημέρες του έτους, μια χειμερινή και μια θερινή. Ο λόγος είναι διότι τα φωτοβολταϊκά έχουν σχετικά σταθερή καμπύλη παραγωγής, σε αντίθεση με τις ανεμογεννήτριες, γ'αυτό και είναι δυνατόν να γίνει αυτή η απλούστευση.

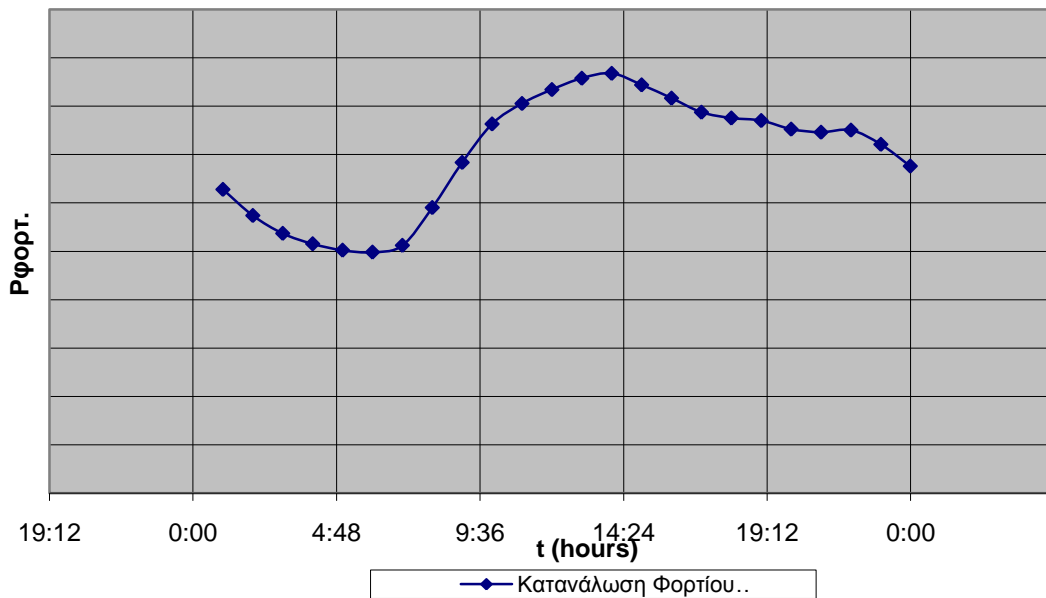
Η προσεγγιστική μορφή των καμπυλών ζήτησης φορτίου για τη χειμερινή και την καλοκαιρινή ημέρα που εξετάζονται φαίνεται στη συνέχεια:

Χειμώνας:



Διάγραμμα 14: Χειμερινή καμπύλη ζήτησης φορτίου (ποιοτική) για κάθε ζυγό της διασυνδεδεμένης γραμμής διανομής

Καλοκαίρι:



Διάγραμμα 15: Θερινή καμπύλη ζήτησης φορτίου (ποιοτική) για κάθε ζυγό της διασυνδεδεμένης γραμμής διανομής

Η αιχμή της καλοκαιρινής μέρας είναι μεγαλύτερη από αυτή της χειμερινής. Ειδικότερα, η αιχμή το καλοκαίρι είναι 8.67MW στις 2μ.μ. και το χειμώνα είναι 7.2MW στις 7μ.μ.

Το δίκτυο διανομής που εξετάζεται περιλαμβάνει 5 διαφορετικούς τύπους γραμμών διανομής, που φαίνονται στη συνέχεια μαζί με τα χαρακτηριστικά τους:

Τύπος γραμμής	R (Ω/km)	X (Ω/km)	Θερμικό Όριο Ισχύος (MVA)
ACSR-95	0,215	0,334	15,5
ACSR-16	1,268	0,422	4
ΝΑΗΕΚΒΑ-240	0,15	0,108	15
ΝΑΗΕΚΒΑ-150	0,245	0,116	15
XLPE-240	0,162	0,115	10

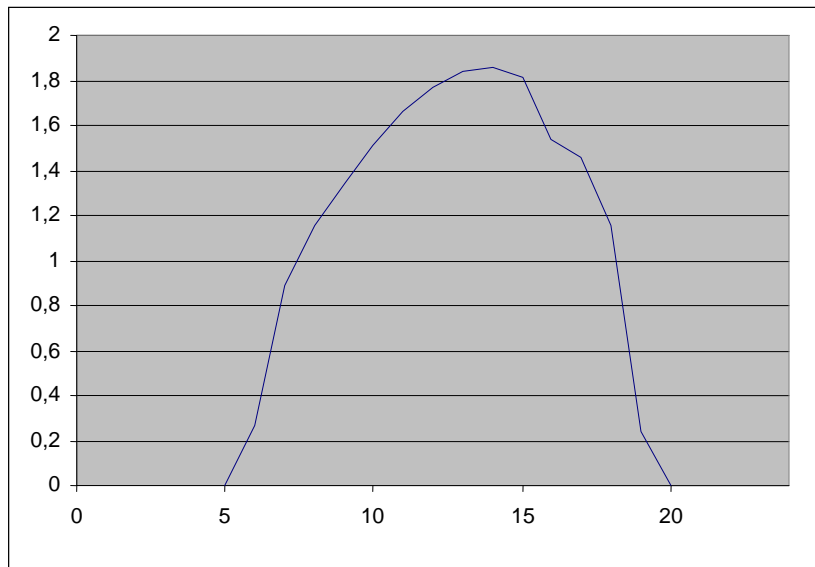
Πίνακας 6: Τύποι και χαρακτηριστικά αγωγών που αποτελούν τη γραμμή διανομής

Η γραμμή τύπου ACSR-95 χρησιμοποιείται για τον κύριο κορμό του δικτύου, δηλαδή μεταξύ των υποσταθμών (MV)-(N1)-(N2)-(KT-A15-1)-(KT-D11-2)-(N4)-(KT-D8-1). Η γραμμή ACSR-16 χρησιμοποιείται για τις διακλαδώσεις χαμηλής ισχύος και ειδικότερα στις διαδρομές (N2)-(N3)-(KT-A12-6), (N3)-(KT-A14-9) και (N1)-(KT-0180). Οι υπόλοιπες γραμμές χρησιμοποιούνται στη διαδρομή από το N4 και κάτω.

Ο αρχικός ζυγός με την ονομασία MV αποτελεί το ζυγό Μέσης Τάσης, ο οποίος αποτελεί το ζυγό αναφοράς (slack bus) με την τάση του να κρατείται σταθερή στο 1p.u. (δηλ. στα 20kV).

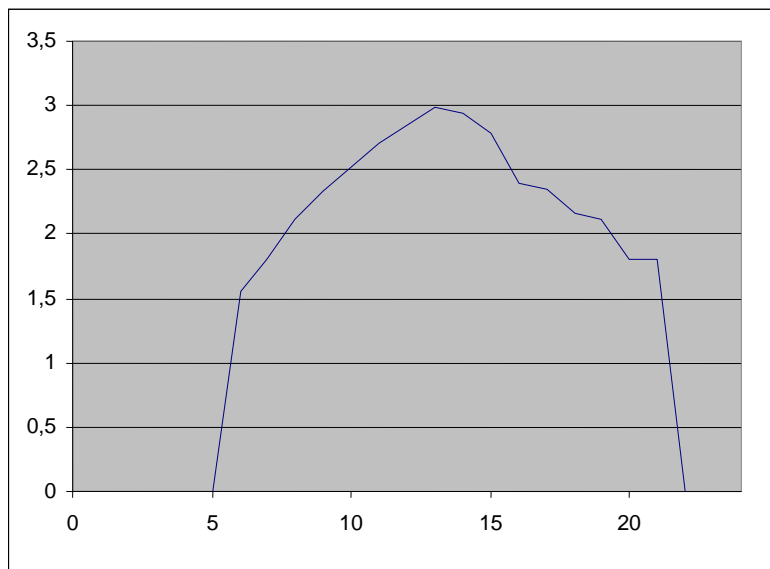
Σε κάθε ζυγό ΜΤ των υποσταθμών ΜΤ/ΧΤ αντιστοιχεί μια ισχύς φωτοβολταϊκών η οποία αποτελεί το άθροισμα της ισχύος των επιμέρους φωτοβολταϊκών μονάδων που συνδέονται στη ΧΤ για το συγκεκριμένο υποσταθμό. Έχει θεωρηθεί ότι το σύνολο της φωτοβολταϊκής ισχύος ισομοιράζεται στους επιμέρους υποσταθμούς. Οι καμπύλες εξόδου Φ/Β που ελήφθησαν είναι οι ακόλουθες και αναφέρονται σε 5kW εγκατεστημένη ισχύ.

Χειμώνας:



Διάγραμμα 16: Χειμερινή καμπύλη εξόδου φωτοβολταϊκών (για 5kW εγκατ. ισχύ)

Καλοκαίρι:



Διάγραμμα 17: Θερινή καμπύλη εξόδου φωτοβολταϊκών (για 5kW εγκατεστημένη ισχύ)

Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζονται οι ώρες της ημέρας και στον κατακόρυφο η ισχύς εξόδου σε kW.

Ο συντελεστής ισχύος Φ/B για διασυνδεδεμένο σύστημα ισούται με 0.9.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Εφαρμογή 1: V2G και Αύξηση της Διείσδυσης ΑΠΕ σε Δίκτυο Διανομής

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω αναφερθέντα δίκτυα διανομής εξετάζεται κατά πόσο είναι εφικτή η αύξηση της διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτά με τη βοήθεια των ηλεκτρικών οχημάτων και ειδικότερα μέσω της δυνατότητας μεταφοράς ενέργειας από τα οχήματα προς το δίκτυο (V2G).

9.1 Δίκτυο Α

Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

Αρχικά εκτελείται ροή φορτίου για το δίκτυο χωρίς αιολική παραγωγή ή ηλεκτρικά οχήματα και προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη του δικτύου (Σενάριο 1). Στη συνέχεια, συνδέονται αιολικά κι εκτελείται πάλι ροή φορτίου για διάφορα ποσοστά διείσδυσης, μέχρι να παρατηρηθεί πρόβλημα στο δίκτυο, λόγω της μεγάλης διείσδυσης (Σενάριο 2). Τέλος, μελετάται η δυνατότητα αύξησης της μέγιστης ισχύος αιολικών που μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο, με τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων ως μέσων αποθήκευσης της πλεονάζουσας αιολικής παραγωγής (Σενάριο 3).

Τα κριτήρια τα οποία πρέπει να ικανοποιούνται σε μόνιμη κατάσταση προκειμένου να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία ενός δικτύου διανομής είναι τα εξής:

Κριτήρια ορθής λειτουργίας δικτύων διανομής

α) Η μέση τάση κάθε κόμβου, $V_{med,j}$, δεν πρέπει να αποκλίνει άνω του $\pm 5\%$ από την ονομαστική:

$$0.95*V_n \leq V_{med,j} = \frac{V_{min,j} + V_{max,j}}{2} \leq 1.05*V_n$$

β) Η διακύμανση της τάσης, ΔV_j , περί τη μέση τιμή $V_{med,j}$ δεν πρέπει να υπερβαίνει το $\pm 3\%$ της ονομαστικής τάσης:

$$\Delta V_j = \frac{V_{max,j} - V_{min,j}}{2} \leq 0.03 * V_n$$

γ) Η ροή ισχύος στις γραμμές πρέπει να βρίσκεται εντός των ορίων ισχύος που προβλέπονται από τον κατασκευαστή.

Αναλυτικά:

9.1.1 Σενάρια

Σενάριο 1:

Δίκτυο χωρίς αιολικά και χωρίς ηλεκτρικά οχήματα

Στην περίπτωση αυτή εκτελείται ροή φορτίου με μόνα τα φορτία των ζυγών να συνδέονται στη γραμμή διανομής. Τα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν για τη διανομή και τα οποία μετρώνται είναι οι τάσεις των ζυγών, η φαινομένη ισχύς που ρέει στις γραμμές, καθώς και οι απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε διαγραμματική μορφή στη συνέχεια του κεφαλαίου. Προκειμένου να ικανοποιούνται τα κριτήρια για την ομαλή λειτουργία του δικτύου απαιτείται η τοποθέτηση ρυθμιστή τάσεως υπό φορτίο στη γραμμή. Κριτήριο για τη ρύθμιση είναι τα επιτρεπτά όρια της τάσεως. Δηλαδή, απαιτείται σε κάθε σημείο της γραμμής η τάση να μη διακυμαίνεται περισσότερο από το όριο του 3%, γύρω από μια ορισμένη μέση τιμή, η οποία πάλι θα πρέπει να βρίσκεται μέσα σε ορισμένα όρια (κατά 5% μικρότερη ή μεγαλύτερη της ονομαστικής). Έτσι, τελικά όταν στο δίκτυο δε συνδέονται ούτε αιολικά ούτε ηλεκτρικά οχήματα η μέγιστη διακύμανση των τάσεων των ζυγών κυμαίνεται από 0,4% έως 3%, η μέγιστη τάση δεν υπερβαίνει το 1,04p.u., και οι ροές ισχύος των γραμμών είναι όλες εντός των προκαθορισμένων ορίων.

Σενάριο 2:

Σύνδεση αιολικών στο δίκτυο

Όπως έχει αναφερθεί, κατά μήκος της γραμμής συνδέονται 10 αιολικά πάρκα της αυτής ισχύος. Σταδιακά αρχίζει να αυξάνεται η διείσδυση των αιολικών μέχρις ότου να αρχίζει να παραβιάζεται κάποιο από τα κριτήρια για την ομαλή λειτουργία των δικτύων διανομής.

Η παραβίαση των ορίων που έχουν τεθεί αρχίζει να παρατηρείται για εγκατεστημένη ισχύ αιολικών ίση με 0.8MW. Συγκεκριμένα για την ισχύ αυτή σε ορισμένους ζυγούς η *διακύμανση* των τάσεων ξεπερνάει το όριο του 3%, ενώ τόσο η μέγιστη τάση όσο και η ροή ισχύος στους ζυγούς παραμένουν εντός των ορίων.

Στη συνέχεια, εξετάζονται οι περιπτώσεις διείσδυσης 1MW, 1.2MW και 1.5MW αιολικών και λαμβάνονται τα αποτελέσματα:

Αιολικά 1MW

Για εγκατεστημένη ισχύ αιολικών ίση με 1MW παρατηρείται διακύμανση της τάσης σε ένα έτος μεγαλύτερη του ορίου του 3% και ειδικότερα έως και 3.3% σε ορισμένους ζυγούς. Η μέγιστη μέση τάση που εμφανίζεται είναι 1.04p.u. και συνεπώς εντός των ορίων, ενώ η ροή ισχύος στις γραμμές επίσης δεν ξεπερνάει το όριο θερμικής ισχύος της καθεμίας.

Αιολικά 1.2MW

Για εγκατεστημένη ισχύ αιολικών ίση με 1.2MW παρατηρείται διακύμανση της τάσης σε ένα έτος μεγαλύτερη του ορίου του 3% και ειδικότερα έως και 3.6% σε ορισμένους ζυγούς. Η μέγιστη μέση τάση που εμφανίζεται είναι 1.04p.u. και συνεπώς εντός των ορίων, ενώ η ροή ισχύος στις γραμμές επίσης δεν ξεπερνάει το όριο θερμικής ισχύος της καθεμίας.

Αιολικά 1.5MW

Για εγκατεστημένη ισχύ αιολικών ίση με 1.5MW παρατηρείται διακύμανση της τάσης σε ένα έτος μεγαλύτερη του ορίου του 3% και ειδικότερα έως και 3.9% σε ορισμένους ζυγούς. Η μέγιστη μέση τάση που εμφανίζεται είναι 1,04p.u. και συνεπώς εντός των ορίων, ενώ η ροή ισχύος στις γραμμές επίσης δεν ξεπερνάει το όριο θερμικής ισχύος της καθεμίας.

Προφανώς, καμία από τις παραπάνω περιπτώσεις δεν είναι αποδεκτή για το συγκεκριμένο δίκτυο.

Σενάριο 3:

Σύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα διακύμανσης των τάσεων της γραμμής συνδέονται σε αυτήν ηλεκτρικά οχήματα τύπου Honda EV Plus. Τα οχήματα τοποθετούνται σε όλους τους υποσταθμούς και μοιράζονται σε αυτούς ανάλογα με την ονομαστική ισχύ του κάθε υποσταθμού. Ειδικοί χώροι στάθμευσης (parking) στην περίπτωση του αγροτικού δικτύου θεωρείται ότι δεν υπάρχουν.

Ορισμένα χαρακτηριστικά της μπαταρίας του συγκεκριμένου οχήματος, η οποία άλλωστε αποτελεί και το στοιχείο που μας ενδιαφέρει, φαίνονται στη δεύτερη στήλη του παρακάτω πίνακα [3]:

Vehicle characteristics	Lead-acid prototype ^a	Honda EV Plus
Battery type	Pb-acid, 66Ah, 30 modules 12V	NiMh, 95Ah, 24 modules 12 V
Energy stored (kWh)	23.8	27.4
Max Depth of Discharge (%)	90	90
Max power to motor (kW)	150	49
Eff _{veh} (Wh/mile)	200–250 ^b	280–350 ^b
Efficiency (%) (grid-battery-grid)	74 (93*85*93)	72 (93*83*93)
Max range (miles)	80-100	80-100
Battery cycle life (cycles) ^c	1000	1000
Battery calendar life (years)	3-4	5-6
Battery cost OEM ^d (\$/kWh)	125	300-450
Replacement labor, h	10	10

Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά δυο τύπων ηλεκτρικών οχημάτων

9.1.2 Πολιτική φόρτισης κι εκφόρτισης των οχημάτων

Αρχικά, αυτό που χρειάζεται είναι να προσδιοριστεί πόσες kWh απαιτούνται κάθε φορά για τη φόρτιση του οχήματος και πόσες είναι διαθέσιμες για τη λειτουργία V2G (εκφόρτιση). Καταρχήν λαμβάνεται υπόψη το βάθος εκφόρτισης της μπαταρίας (Depth of Discharge) το οποίο με βάση μια συντηρητική προσέγγιση θεωρείται ίσο με 80%. Το βάθος εκφόρτισης της μπαταρίας είναι ένα όριο που θέτει ο κατασκευαστής προκειμένου να μην τίθεται σε κίνδυνο ο χρόνος ζωής της μπαταρίας. Επομένως, εφόσον με βάση τον παραπάνω πίνακα η συνολική ενέργεια που αποθηκεύεται στη μπαταρία είναι 27.4kWh, κάθε φορά είναι διαθέσιμες οι $ES = 0.8 * 27.4 = 22\text{kWh}$ της μπαταρίας.

Και πάλι με βάση μια αρκετά συντηρητική προσέγγιση υπολογίζεται ότι μια τυπική ημέρα θα πρέπει να υπάρχει στην μπαταρία ενέργεια περίπου ίση με 12kWh προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες του οδηγού για μετακίνηση καθώς και τυχόν έκτακτες ανάγκες που ενδεχομένως να προκύψουν. Η ενέργεια αυτή αντιστοιχεί σε απόσταση 60km (38 μίλια) περίπου. Επομένως, οι υπόλοιπες 10kWh της μπαταρίας είναι διαθέσιμες για τη λειτουργία V2G. Αυτό σημαίνει ότι μέσα στην ημέρα το όχημα φορτίζει από το δίκτυο συνολικά 22kWh κι εκφορτίζει προς το δίκτυο συνολικά 10kWh.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής σχεδιάστηκε αλγόριθμος προκειμένου να καθοριστούν οι ώρες φόρτισης κι εκφόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων κάθε μέρα, καθώς και τα kW φόρτισης-εκφόρτισης ανά ώρα, με τρόπο ώστε να επιτρέπεται η σύνδεση όσο το δυνατόν περισσότερων αιολικών στο δίκτυο με τη χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων οχημάτων. Η μέθοδος που ακολουθείται είναι η εξής:

Για κάθε ώρα του έτους υπολογίζεται η διαφορά $P_L - P_W$, όπου P_L το φορτίο που ζητείται και P_W ενεργός ισχύς που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες. Στη συνέχεια,

α) επιλέγονται οι ώρες της ημέρας για της οποίες η διαφορά αυτή ελαχιστοποιείται (αυτό σημαίνει πως η αιολική παραγωγή μεγιστοποιείται σε σχέση με το φορτίο). Οι ώρες αυτές θα είναι οι ώρες φόρτισης των οχημάτων.

β) επιλέγονται οι ώρες της ημέρας για της οποίες η διαφορά αυτή μεγιστοποιείται (αυτό σημαίνει πως η αιολική παραγωγή ελαχιστοποιείται σε σχέση με το φορτίο). Οι ώρες αυτές θα είναι οι ώρες εκφόρτισης των οχημάτων.

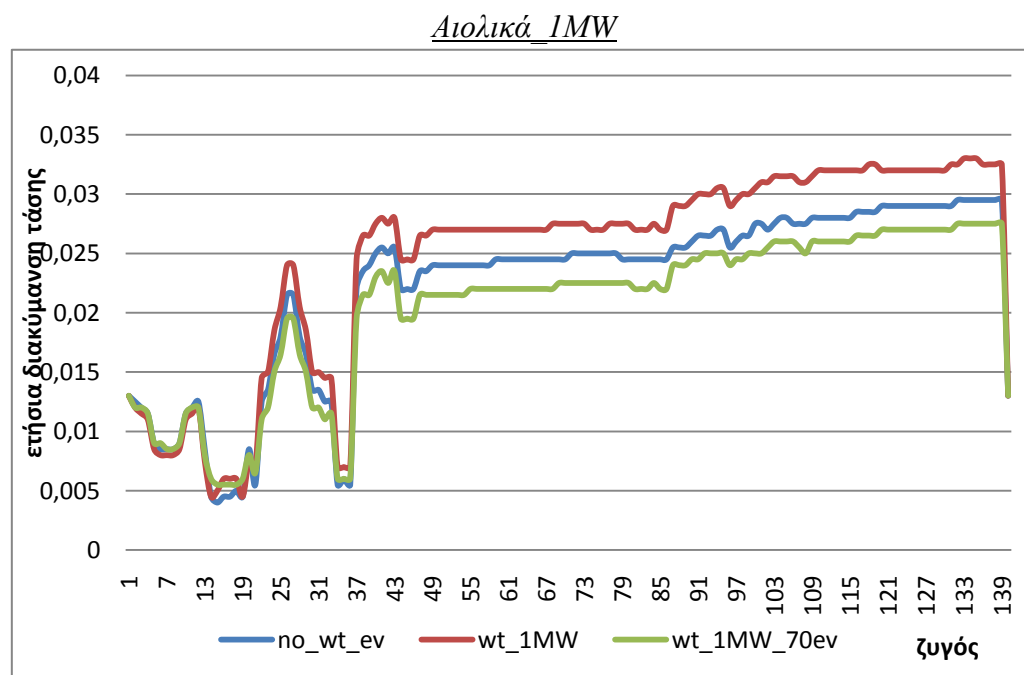
Γενικά, το όχημα Honda EV Plus φορτίζει στα 4.2kW. Το πλήθος των ωρών φόρτισής του ανέρχεται σε 4-8 ώρες για πλήρη φόρτιση ανάλογα με την αρχική κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας. Επιπλέον, υπάρχει κι ένας «κύκλος προετοιμασίας (conditioning cycle)», ο οποίος διαρκεί 1-2 ώρες και ο οποίος μπορεί να είναι σημαντικός για την καλή λειτουργία της μπαταρίας. Ωστόσο, στην παρούσα διπλωματική ο κύκλος αυτός δε λαμβάνεται υπόψη. Στην πράξη, καθώς η μπαταρία του οχήματος σπάνια είναι εντελώς άδεια, η φόρτιση διαρκεί συνολικά πολύ λιγότερο, δηλαδή 2-4 ώρες [24]. Υπάρχει επίσης περίπτωση να προστεθούν κάποια επιπλέον κυκλώματα έτσι ώστε η φόρτιση να γίνεται στα 7kW κι επομένως να είναι πολύ ταχύτερη.

Στην Εφαρμογή 1 επιλέγεται να εξεταστεί μια περίπτωση “έξυπνης φόρτισης (smart charging)”. Αυτό σημαίνει πως τα kW για κάθε ώρα φόρτισης κι εκφόρτισης δεν παραμένουν σταθερά αλλά εξαρτώνται ανά πάσα στιγμή από τις ανάγκες του δικτύου. Στην πράξη, ο έλεγχος αυτός θα γίνεται με ειδικά σήματα από το δίκτυο προς το όχημα, με τα οποία θα ρυθμίζεται η ισχύς φόρτισης/εκφόρτισης των οχημάτων. Εδώ, λαμβάνεται περίπτωση κατά την οποία τα kW φόρτισης/εκφόρτισης για κάθε ώρα μοιράζονται ανάλογα με τη διαφορά $P_L - P_W$. Οι ώρες φόρτισης θεωρούνται ίσες με 6 ημερησίως, σταθερές για κάθε ημέρα του έτους. Παρατηρείται πως όσο περισσότερα είναι τα MW αιολικών που εγκαθίστανται, τόσο περισσότερες ώρες φόρτισης μέσα στην ημέρα χρειάζονται προκειμένου να παραμείνουν οι τάσεις των ζυγών εντός των επιθυμητών ορίων. Αυτό συμβαίνει διότι με την αύξηση των MW αιολικών στο δίκτυο γίνονται περισσότερες οι ώρες κατά τις οποίες δημιουργούνται προβλήματα στις τάσεις του. Ωστόσο, χάριν απλούστευσης, στην παρούσα διπλωματική δε μελατάται η περίπτωση μεταβολής των ωρών φόρτισης από μέρα σε μέρα μέσα στο έτος ή από όχημα σε όχημα. Το πλήθος των ωρών εκφόρτισης για την κάλυψη του φορτίου αιχμής είναι συνήθως 1, 2 ή 4 ώρες. Εδώ λαμβάνεται ίσο με 4 ώρες για κάθε περίπτωση.

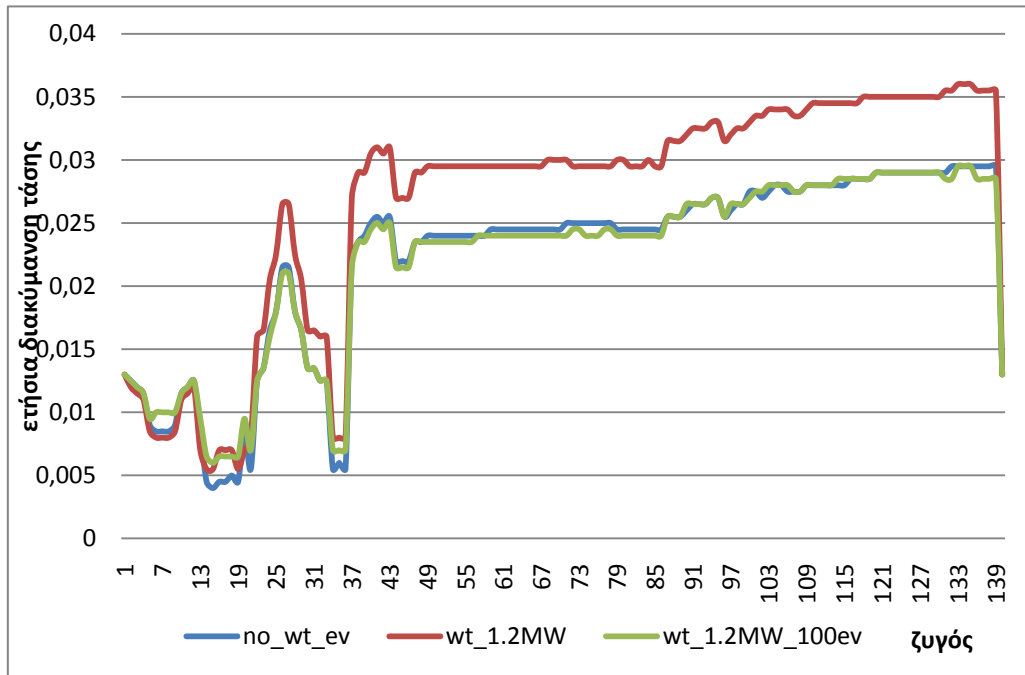
Για την πραγματοποίηση όλης της παραπάνω διαδικασίας για κάθε ώρα του έτους δημιουργήθηκε κώδικας στη γλώσσα προγραμματισμού C, ο οποίος παρουσιάζεται κι εξηγείται αναλυτικά στο Παράρτημα (Π1).

9.1.3 Αποτελέσματα

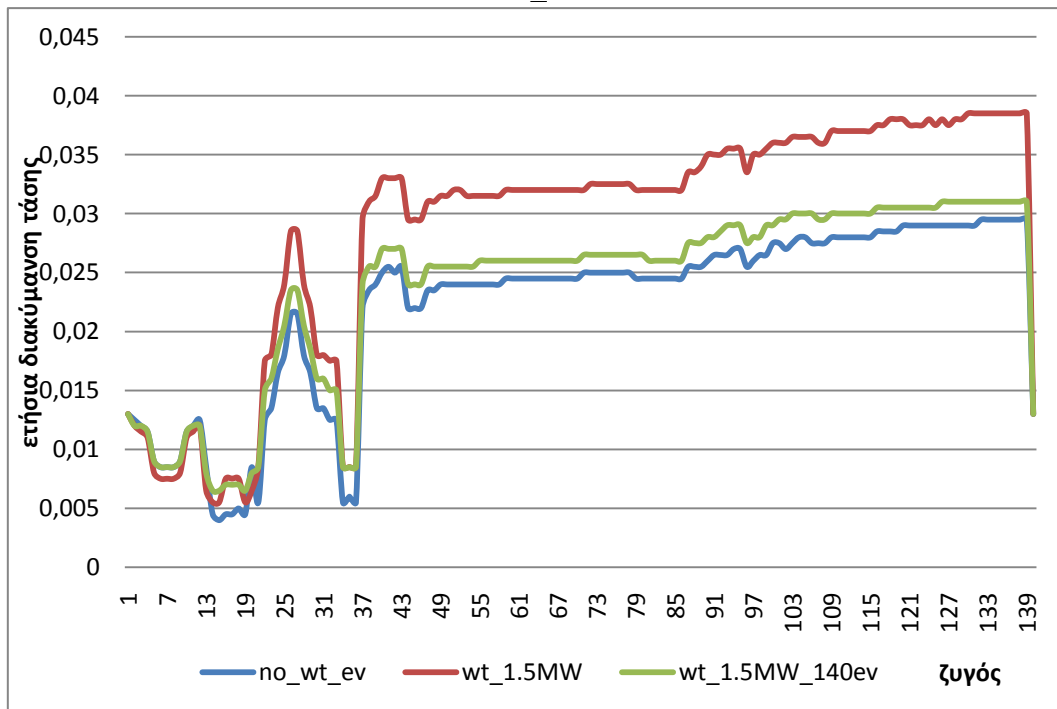
Οι διακυμάνσεις των τάσεων των ζυγών, όπως έχει εξηγηθεί αποτελούν το μόνο μέγεθος που πρέπει να διορθωθεί με τη σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο προκειμένου να τηρούνται όλα τα κριτήρια για τη σύνδεση των αιολικών που εξετάζονται (εφόσον η μέγιστη εμφανιζόμενη τάση βρίσκεται για κάθε περίπτωση εντός των ορίων καθώς επίσης και η ροή ισχύος στις γραμμές). Στα ακόλουθα διαγράμματα φαίνονται οι επιδράσεις που έχουν τα συνδεδεμένα αιολικά στις ετήσιες διακυμάνσεις των τάσεων των ζυγών του δικτύου, αλλά και ο τρόπος με τον οποίο η σύνδεση των ηλεκτρικών οχημάτων επαναφέρει τις διακυμάνσεις αυτές εντός των επιθυμητών ορίων. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται το σύνολο των ζυγών του δικτύου ενώ στον κατακόρυφο άξονα η διακύμανση της τάσης για τον κάθε ζυγό στη διάρκεια του έτους. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στην απουσία αιολικών και ηλεκτρικών οχημάτων από το δίκτυο (Σενάριο 1), η κόκκινη γραμμή στη σύνδεση αιολικών μόνο (Σενάριο 2) και τέλος η πράσινη γραμμή στη σύνδεση και αιολικών και ηλεκτρικών οχημάτων (Σενάριο 3).



Αιολικά 1.2MW



Αιολικά 1.5MW



Διαγράμματα 17: Μεταβολή της ετήσιας διακύμανσης των ζυγών του δικτύου με τη σύνδεση αιολικών και ηλεκτρικών οχημάτων

Τόσο στην περίπτωση του 1MW αιολικών όσο και του 1.2MW αιολικών είναι εμφανής η βελτίωση της διακύμανσης των τάσεων των ζυγών του δικτύου, η οποία επιτρέπει τη διεύθυνση των αιολικών σε αυτό. Τα οχήματα φορτίζουν όταν η παραγωγή των αιολικών είναι αυξημένη σε σχέση με το φορτίο κι επομένως οι τάσεις του δικτύου είναι επίσης αυξημένες κι εκφορτίζουν στην αντίθετη περίπτωση. Το

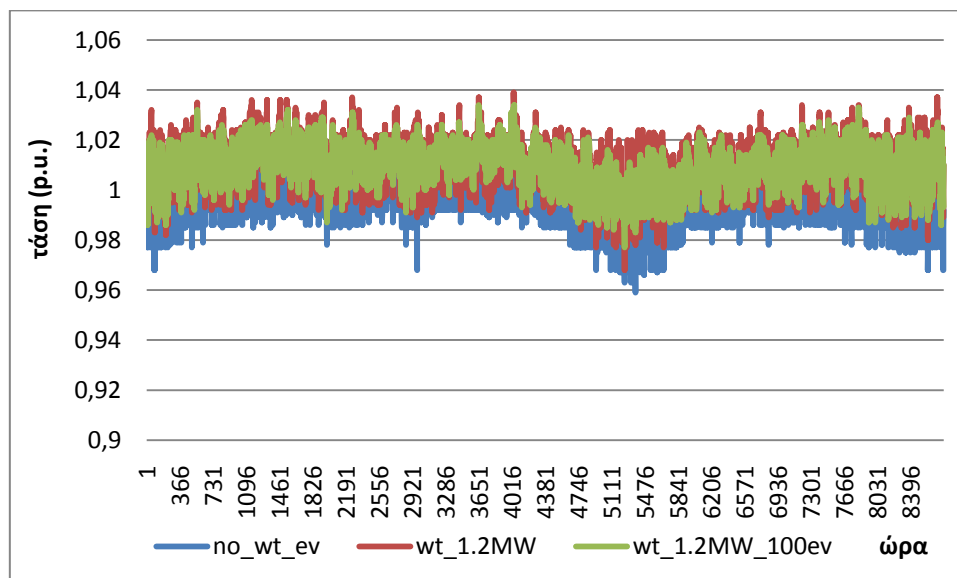
αποτέλεσμα είναι η μείωση των υψηλών τάσεων και η αύξηση των χαμηλών τάσεων κάθε ημέρα, γεγονός το οποίο συνεπάγεται τη μείωση της διακύμανσης.

Για 1.5MW αιολικών, παρά τη σύνδεση των οχημάτων, δεν είναι δυνατή η επίτευξη διακύμανσης μικρότερης του 3% σε όλους τους ζυγούς του δικτύου. Η αύξηση των ωρών φόρτισης για ορισμένες ημέρες του έτους θα μπορούσε να αποτελέσει λύση στο πρόβλημα, ωστόσο η περίπτωση αυτή δεν εξετάζεται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Ο αριθμός των οχημάτων που απαιτείται για κάθε διείσδυση, όπως έχει σημειωθεί και στα διαγράμματα είναι:

- Για απορρόφηση 1MW αιολικών απαιτούνται 70 οχήματα, τα οποία φορτίζουν 6 ώρες την ημέρα κι εκφορτίζουν 4 ώρες.
- Για απορρόφηση 1.2MW αιολικών απαιτούνται 100 οχήματα, τα οποία επίσης φορτίζουν 6 ώρες ημερησίως κι εκφορτίζουν 4 ώρες.

Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται για την περίπτωση διείσδυσης 1.2MW αιολικών η τάση σε έναν από τους ζυγούς του συστήματος που παρουσιάζει γενικά χαμηλά επίπεδα τάσης και μεγάλη διακύμανση, καθ'όλη τη διάρκεια του έτους:



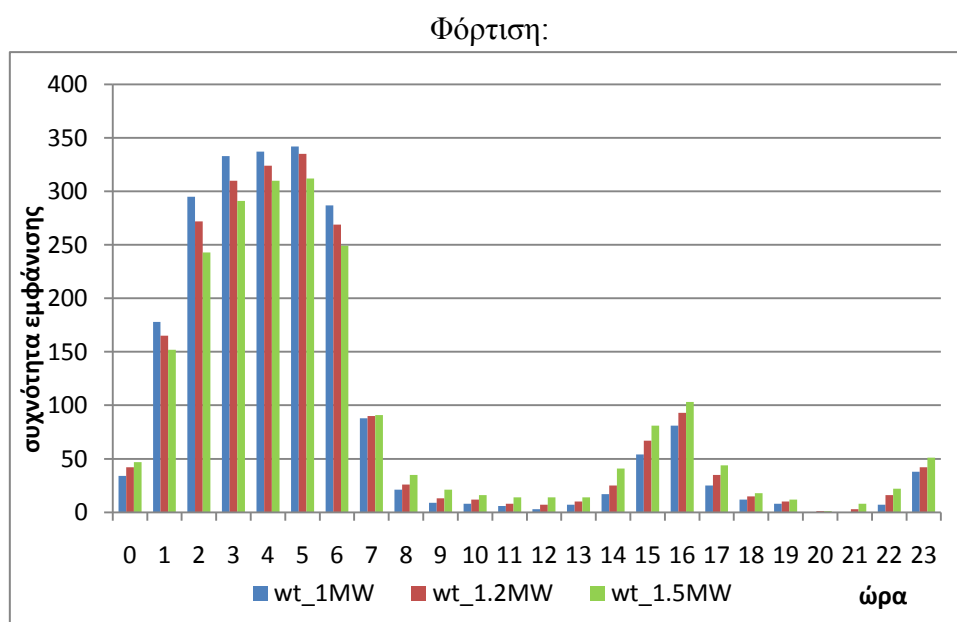
Διάγραμμα 18: Μεταβολή της τάσης σε έναν από τους ζυγούς του συστήματος που παρουσιάζει χαμηλά επίπεδα τάσης και μεγάλη διακύμανση, στη διάρκεια του έτους για σύνδεση 1.2MW αιολικών και οχημάτων

Είναι εμφανές πως η σύνδεση των αιολικών προκαλεί γενικά αύξηση των τάσεων. Στη συνέχεια, η προσθήκη των οχημάτων, δεδομένης της συγκεκριμένης πολιτικής φόρτισης κι εκφόρτισης που έχει ληφθεί στην παρούσα διπλωματική, προκαλεί αύξηση των μικρότερων τάσεων και μείωση των μεγαλύτερων τάσεων, κι επομένως μείωση της διακύμανσης.

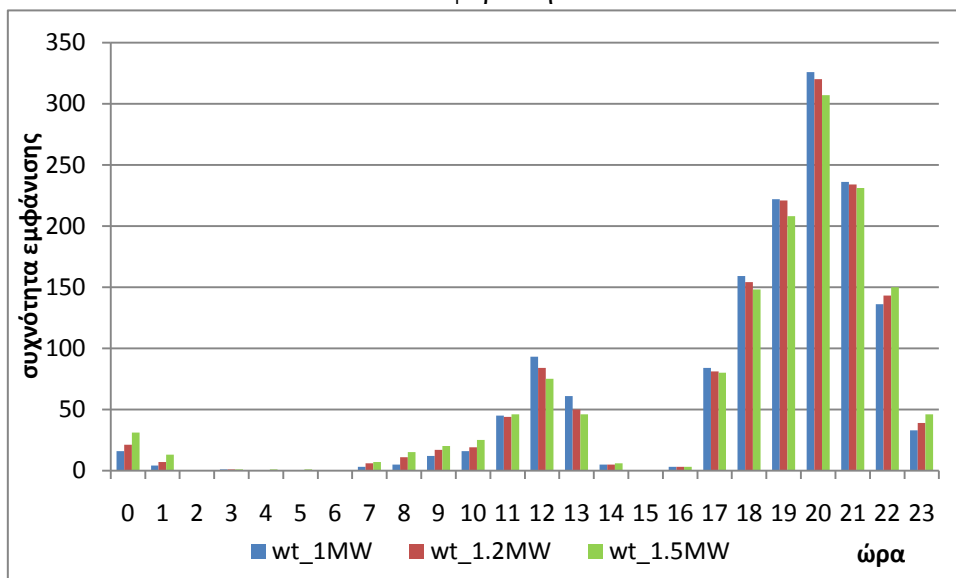
Συνεπώς, προκύπτει το ζητούμενο αποτέλεσμα, δηλαδή αποδεικνύεται πως πράγματι η σύνδεση οχημάτων σε ένα δίκτυο διανομής είναι δυνατόν να επιτρέψει την αύξηση της διείσδυσης των αιολικών σε αυτό, καθώς τα οχήματα λειτουργούν ως μονάδες αποθήκευσης της πλεονάζουσας αιολικής ενέργειας.

Στη συνέχεια, καθώς η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα μέγεθος μεταβαλλόμενο και ιδιαίτερα απρόβλεπτο στη συμπεριφορά του, οι ώρες του 24ώρου κατά τις οποίες πραγματοποιείται φόρτιση ή εκφόρτιση των οχημάτων κατά τη διάρκεια του έτους (όπως προκύπτουν από το τρέξιμο του προγράμματος που έχει δημιουργηθεί για το σκοπό αυτό) ποικίλλουν σημαντικά από μέρα σε μέρα, σε αντίθεση με την περίπτωση των φωτοβολταϊκών των οποίων η παραγωγή είναι πολύ περισσότερο προβλέψιμη και συνεπώς και οι ώρες φόρτισης-εκφόρτισης των οχημάτων σχετικά σταθερές.

Παρακάτω φαίνεται για κάθε εγκατεστημένη ισχύ αιολικών που εξετάζεται και για κάθε ώρα του 24ώρου, πόσες φορές εμφανίζεται η ώρα αυτή ως ώρα φόρτισης ή αντίστοιχα εκφόρτισης οχημάτων:



Εκφόρτιση:

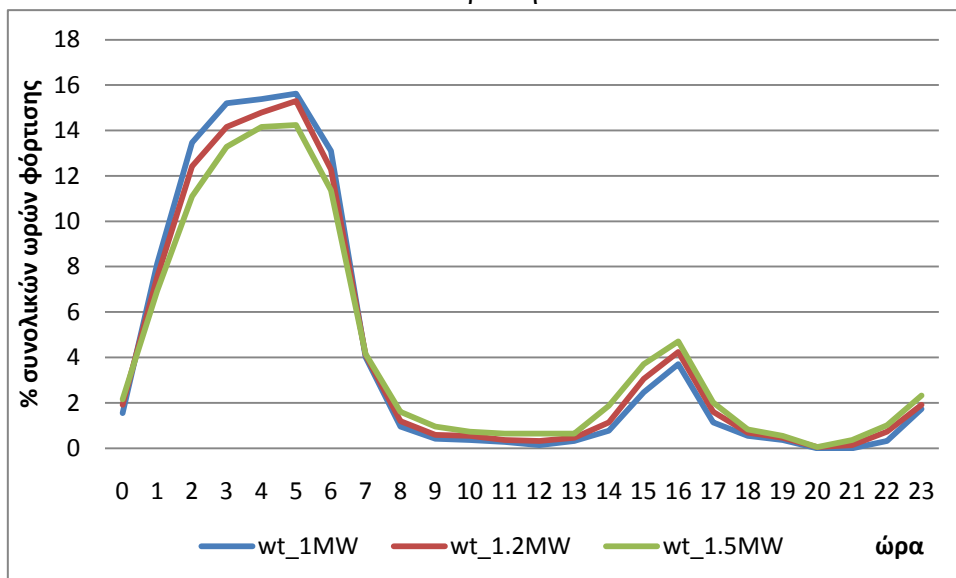


Διαγράμματα 19: Συχνότητα με την οποία κάθε ώρα του 24ώρου εμφανίζεται ως ώρα φόρτισης ή εκφόρτισης οχημάτων μέσα σε ένα έτος

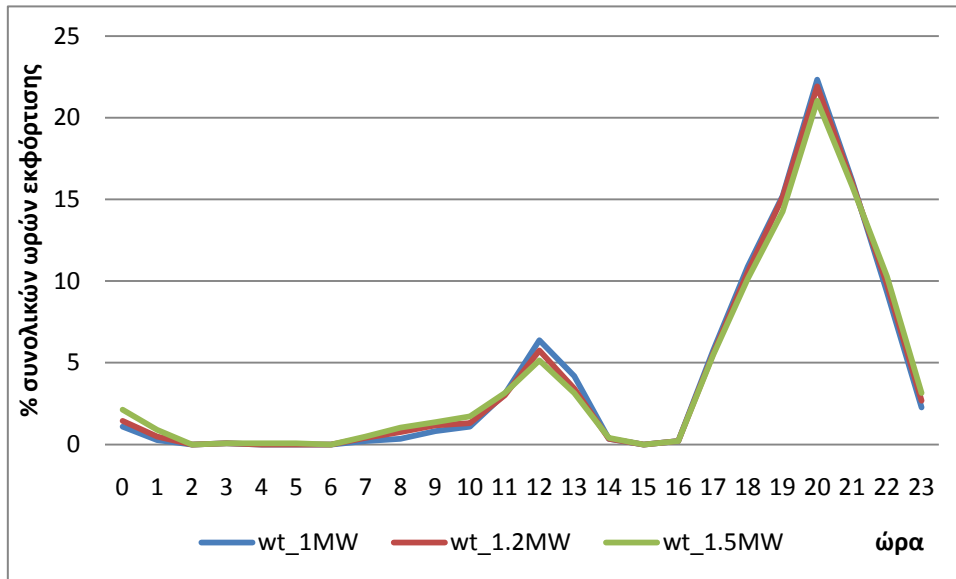
Όπως έχει αναφερθεί, για κάθε ισχύ αιολικών που εξετάζεται πραγματοποιούνται 6 ώρες φόρτισης την ημέρα και 4 ώρες εκφόρτισης. Συνεπώς, έχουμε συνολικά 2190 ώρες φόρτισης και 1460 ώρες εκφόρτισης ετησίως.

Στο επόμενο σχήμα σχεδιάζεται για κάθε διείσδυση αιολικών και για κάθε ώρα το ποσοστό των ωρών φόρτισης ή εκφόρτισης που αντιστοιχούν στη συγκεκριμένη ώρα και για τη συγκεκριμένη διείσδυση σε σχέση με τις συνολικές ώρες φόρτισης ή εκφόρτισης.

Φόρτιση:



Εκφόρτιση:



Διαγράμματα 20: Συχνότητα με την οποία κάθε ώρα του 24ώρου εμφανίζεται ως ώρα φόρτισης ή εκφόρτισης οχημάτων μέσα σε ένα έτος ως ποσοστό των συνολικών ωρών φόρτισης/εκφόρτισης

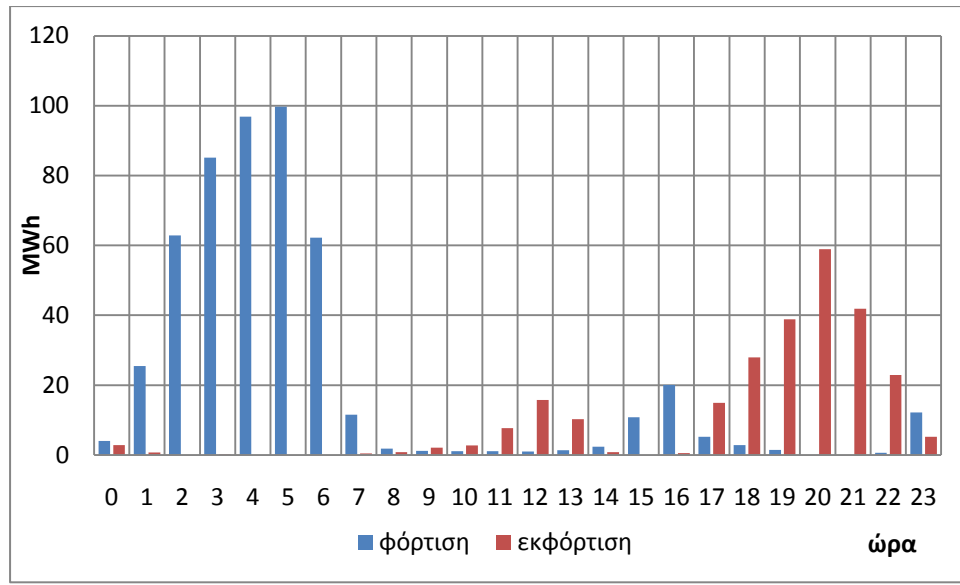
Παρατηρήσεις:

Παρά τη μεγάλη μεταβλητότητα της αιολικής ισχύος κατά τη διάρκεια του έτους είναι εμφανές πως τόσο η φόρτιση όσο και η εκφόρτιση των οχημάτων εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα σε κάποιες συγκεκριμένες ώρες της ημέρας. Ειδικότερα, η φόρτιση των οχημάτων για κάθε διεύθυνση αιολικών παρατηρείται κυρίως τις βραδυνές-πρώτες πρωινές ώρες, από τη 1π.μ. έως τις 7π.μ., με συχνότερη εμφάνιση τις ώρες 4π.μ. και 5π.μ. Αυτό συμβαίνει διότι κατά τη διάρκεια της νύχτας το φορτίο είναι χαμηλό κι επομένως είναι εύκολο η αιολική παραγωγή να είναι συγκρίσιμη με τη ζήτηση ή και μεγαλύτερη από αυτή. Ακολουθούν ως προς τη συχνότητα εμφάνισης οι ώρες 2μ.μ. έως 4μ.μ. αλλά με αρκετά μεγάλη διαφορά από τις βραδυνές ώρες.

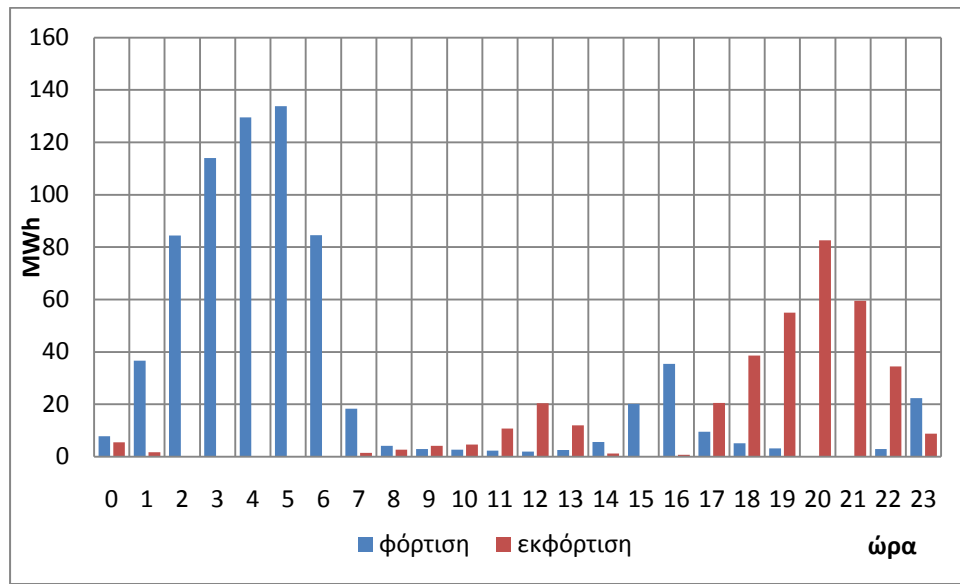
Η εκφόρτιση παρουσιάζει ακόμα μεγαλύτερη συγκέντρωση, αυτή τη φορά γύρω από τις απογευματινές-βραδυνές ώρες και ειδικότερα από τις 6μ.μ. έως τις 10μ.μ., με αιχμή την ώρα 8μ.μ.

Σχετικά με τις συνολικές MWh φόρτισης κι εκφόρτισης των οχημάτων στη διάρκεια του έτους ισχύουν τα εξής:

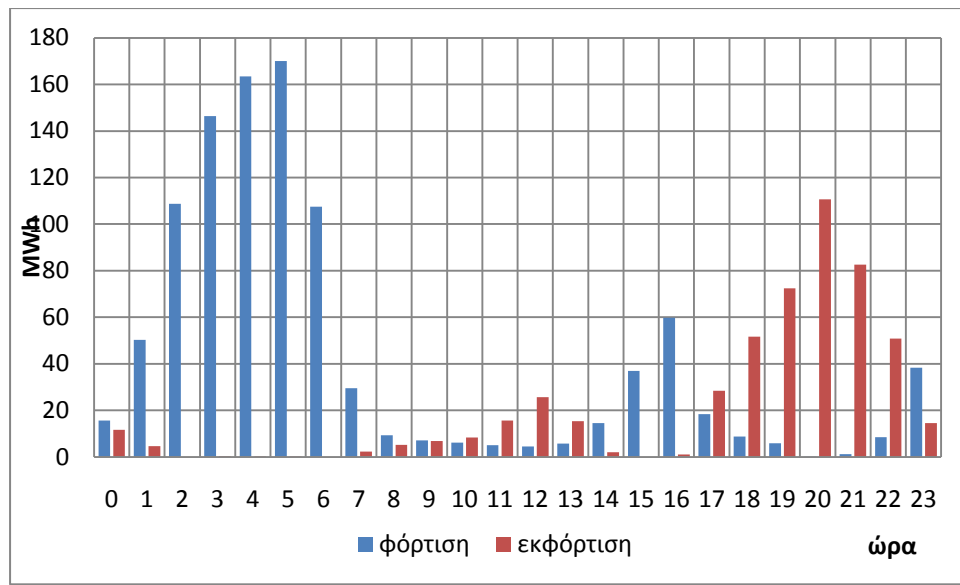
Σύνδεση 1MW αιολικών



Σύνδεση 1.2MW αιολικών

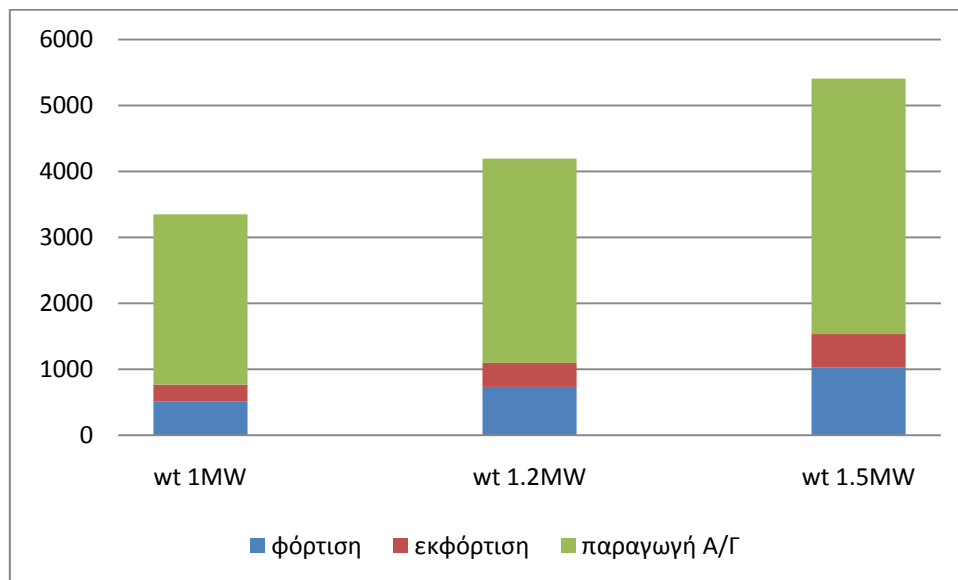


Σύνδεση 1.5MW αιολικών



Διαγράμματα 21: Ενέργεια φόρτισης και εκφόρτισης οχημάτων που αντιστοιχεί σε κάθε ώρα του 24ώρου για κάθε εξεταζόμενη διείσδυση αιολικών

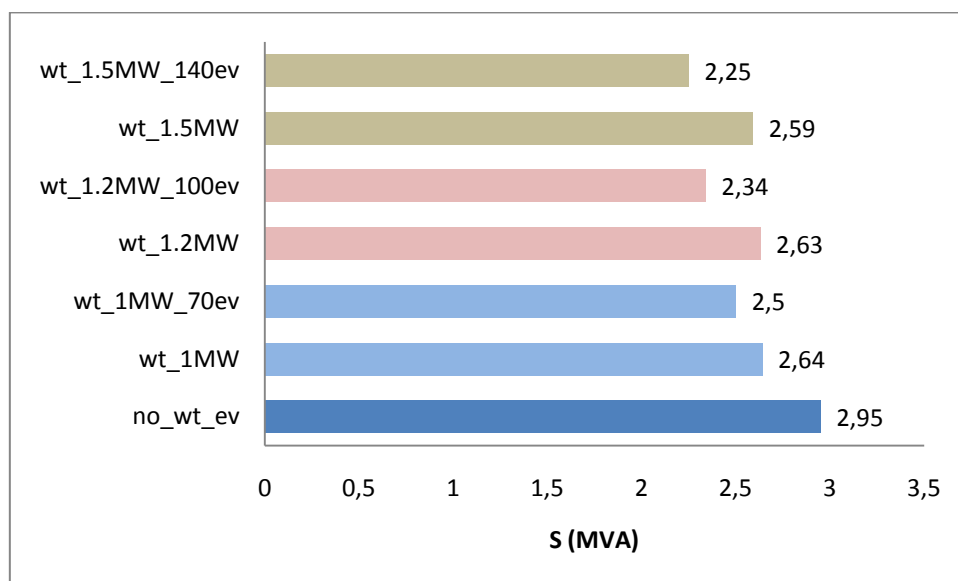
Στο επόμενο σχήμα συγκρίνονται οι MWh αιολικών που παράγονται κατά τη διάρκεια ενός έτους με τις συνολικές MWh φόρτισης και εκφόρτισης των οχημάτων που απαιτούνται προκειμένου να απορροφηθεί η παραγόμενη ενέργεια των αιολικών από το δίκτυο:



Διάγραμμα 22: Συνολική ενέργεια φόρτισης/εκφόρτισης οχημάτων και παραγωγή αιολικών

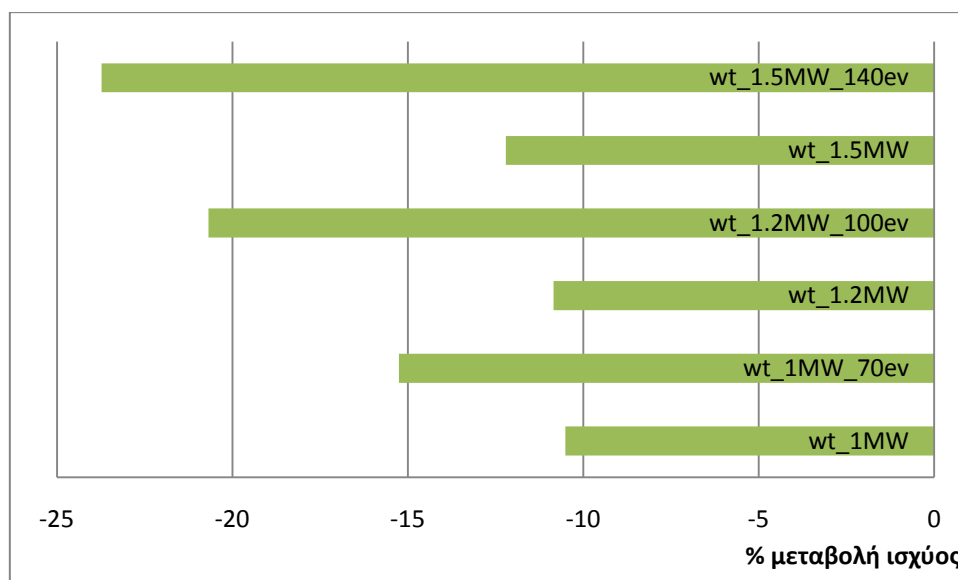
Η ροή ισχύος στις γραμμές του δικτύου βρίσκεται εντός των θερμικών ορίων τους για κάθε περίπτωση που εξετάζεται. Η σύνδεση των αιολικών προκαλεί μείωση της ισχύος στις γραμμές, ενώ η προσθήκη των οχημάτων τη μειώνει ακόμα περισσότερο.

Ακολουθως σχεδιάζεται η μέγιστη φαινόμενη ισχύς που διέρχεται από την πρώτη γραμμή του δικτύου στη διάρκεια του έτους:



Διάγραμμα 23: Μέγιστη φαινόμενη ισχύς που διέρχεται από την πρώτη γραμμή του δικτύου στη διάρκεια του έτους για κάθε εξεταζόμενη διείσδυση αιολικών/οχημάτων

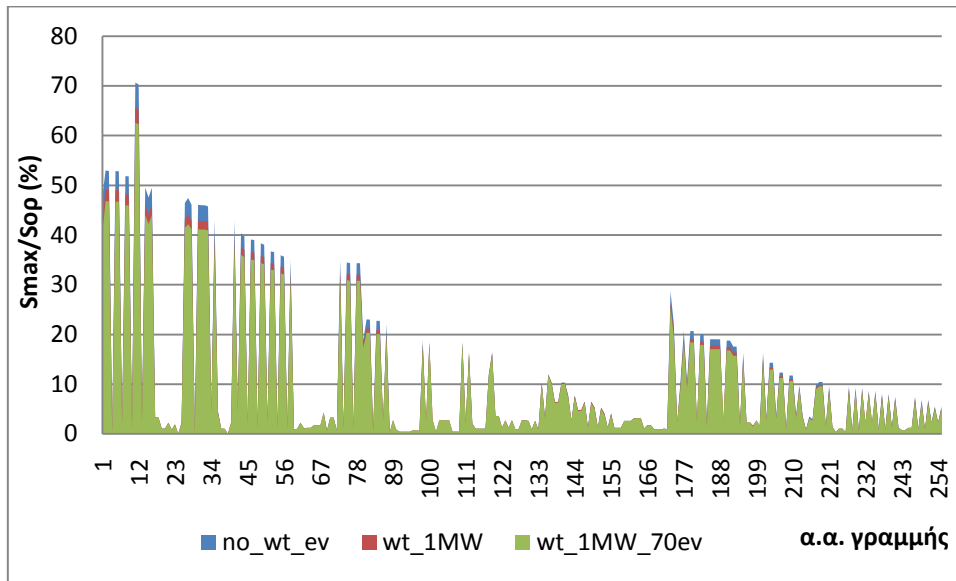
Το ποσοστό μείωσης της ισχύος για κάθε εξεταζόμενη διείσδυση αιολικών/οχημάτων σε σχέση με το Σενάριο 1 (απουσία αιολικών και ηλεκτρικών οχημάτων) φαίνεται στη συνέχεια:



Διάγραμμα 24: Ποσοστό μείωσης μέγιστης ισχύος που διέρχεται από την πρώτη γραμμή του δικτύου σε σχέση με το Σενάριο 1 για κάθε εξεταζόμενη διείσδυση αιολικών/οχημάτων

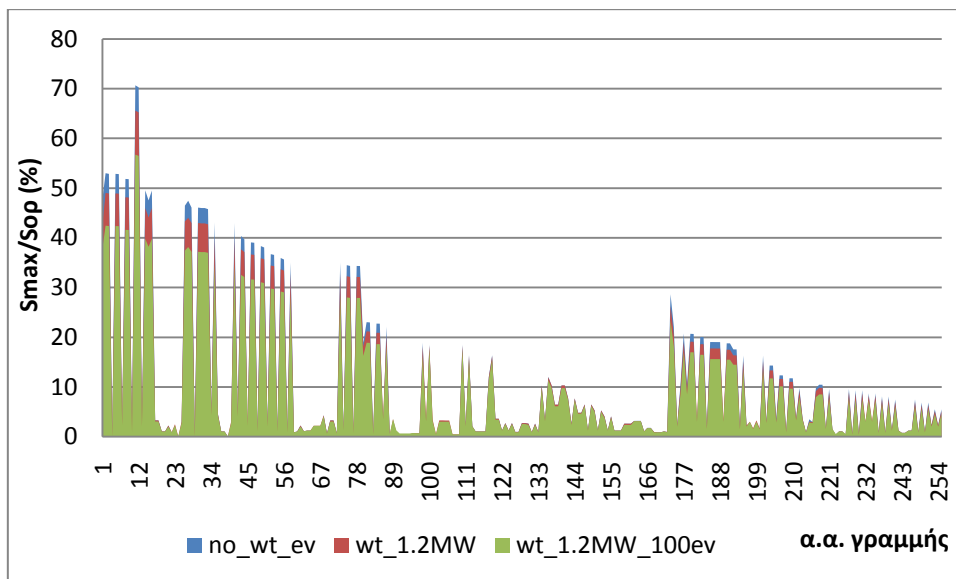
Είναι εμφανές πως η σύνδεση των οχημάτων συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της ισχύος που ανταλλάσσει η εξεταζόμενη γραμμή με το υπόλοιπο δίκτυο.

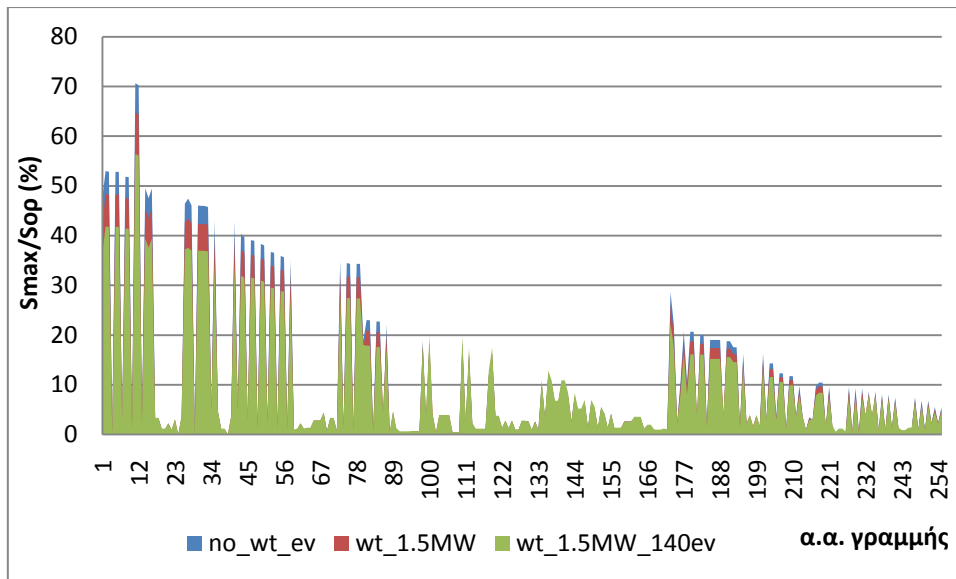
Μια πιο αναλυτική εικόνα της φόρτισης των γραμμών για την κάθε περίπτωση φαίνεται στα παρακάτω σχήματα:



Smax = μέγιστη εμφανιζόμενη ισχύς στη συγκεκριμένη γραμμή στη διάρκεια του έτους

Sop = θερμικό όριο ισχύος της εκάστοτε γραμμής

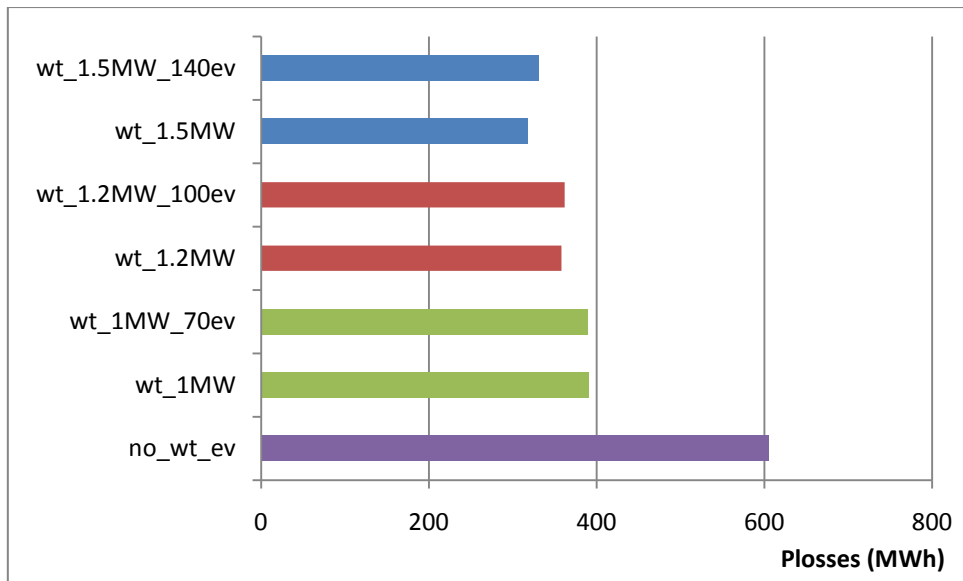




Διαγράμματα 25: Φόρτιση γραμμών δικτύου (λόγος της μέγιστης εμφανιζόμενης ισχύος δια το θερμικό όριο ισχύος για την κάθε γραμμή)

Όπως έχει αναφερθεί, δεν εμφανίζεται πουθενά το πρόβλημα της υπέρβασης των θερμικών ορίων ισχύος των γραμμών για τις διεισδύσεις αιολικών που έχουν ληφθεί.

Οι απώλειες ενεργού ισχύος της γραμμής διανομής κατά τη διάρκεια του έτους είναι μια ακόμα παράμετρος που θα μπορούσε να εξεταστεί. Γενικά, η σύνδεση αιολικών στο δίκτυο (Σενάριο 2) οδηγεί σε μείωση των απωλειών ισχύος και μάλιστα όσο περισσότερα αιολικά συνδέονται τόσο μεγαλύτερη είναι αυτή η μείωση. Η σύνδεση και οχημάτων ταυτόχρονα (Σενάριο 3) με τη συγκεκριμένη πολιτική φόρτισης/εκφόρτισης που έχει θεωρηθεί, έχει σαν αποτέλεσμα οι απώλειες ισχύος να διατηρούνται στα ίδια επίπεδα ή να αυξάνονται ελάχιστα σε σχέση με το Σενάριο 2. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση οι απώλειες βρίσκονται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με το Σενάριο 1:



Διάγραμμα 26: Συνολικές απώλειες ενεργού ισχύος για κάθε εξεταζόμενη διεύθυνση αιολικών/οχημάτων

9.2 Δίκτυο Β

Σε αντιστοιχία με τη διαδικασία που ακολουθείται στο Δίκτυο Α, έτσι κι εδώ αρχικά εκτελείται ροή φορτίου για το δίκτυο χωρίς διεσπαρμένη παραγωγή ή ηλεκτρικά οχήματα και προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη του δικτύου (Σενάριο 1). Στη συνέχεια, συνδέονται φωτοβολταϊκά κι εκτελείται πάλι ροή φορτίου για διάφορα ποσοστά διείσδυσης, μέχρι να παρατηρηθεί πρόβλημα στο δίκτυο, λόγω της μεγάλης διείσδυσης (Σενάριο 2). Τέλος, συνδέονται και ηλεκτρικά οχήματα προκειμένου να εξεταστεί κατά πόσο η σύνδεση τους μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών στο δίκτυο (Σενάριο 3).

Πιο αναλυτικά:

9.2.1 Σενάρια

Σενάριο 1:

Δίκτυο χωρίς φωτοβολταϊκά και χωρίς ηλεκτρικά οχήματα

Στην περίπτωση αυτή εκτελείται ροή φορτίου με μόνα τα φορτία των ζυγών να συνδέονται στη γραμμή διανομής. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε διαγραμματική μορφή στη συνέχεια του κεφαλαίου. Τα κριτήρια για την ομαλή λειτουργία του δικτύου προφανώς ικανοποιούνται. Συγκεκριμένα, η μέγιστη διακύμανση της τάσης που παρατηρείται είναι 1.3% στους χειρότερους ζυγούς, η μέγιστη τάση 0.997 p.u., η ελάχιστη 0.956p.u., ενώ οι ροές ισχύος των γραμμών είναι όλες εντός των προκαθορισμένων ορίων.

Σενάριο 2:

Σύνδεση φωτοβολταϊκών στο δίκτυο

Στο δεύτερο σενάριο που εξετάζεται συνδέονται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και ειδικότερα φωτοβολταϊκά, στη γραμμή διανομής.

Σε κάθε ζυγό ΜΤ των υποσταθμών ΜΤ/ΧΤ αντιστοιχεί μια ισχύς φωτοβολταϊκών η οποία αποτελεί το άθροισμα της ισχύος των επιμέρους φωτοβολταϊκών μονάδων που συνδέονται στη ΧΤ για το συγκεκριμένο υποσταθμό. Έχει θεωρηθεί ότι το σύνολο της φωτοβολταϊκής ισχύος ισομοιράζεται στους επιμέρους υποσταθμούς.

Η μέθοδος που ακολουθείται είναι η σύνδεση όλο και μεγαλύτερης ισχύος φωτοβολταϊκών στο δίκτυο και η εκτέλεση ροών φορτίου μέχρις ότου να παραβιάζεται τουλάχιστον ένα από τα κριτήρια που έχουν τεθεί για την ομαλή λειτουργία του δικτύου.

Η παραβίαση των ορίων που έχουν τεθεί αρχίζει να παρατηρείται για ισχύ φωτοβολταϊκών ίση με 17.9MW. Συγκεκριμένα για την ισχύ αυτή σε ορισμένους

ζυγούς η διακύμανση των τάσεων ξεπερνάει το όριο του 3%, ενώ τόσο η μέση τάση όσο και η ροή ισχύος στις γραμμές παραμένουν εντός των ορίων.

Στη συνέχεια, εξετάζονται οι περιπτώσεις διείσδυσης 18MW, 20MW και 21MW φωτοβολταϊκών και λαμβάνονται τα αποτελέσματα:

Διείσδυση 18MW

Στους τελευταίους ζυγούς της γραμμής διανομής, οι οποίοι είναι και οι δυσμενέστεροι ως προς την εμφανιζόμενη τάση, η διακύμανση της τάσης κατά τη διάρκεια του έτους φτάνει το 3.2%, δηλαδή ξεπερνάει το όριο του 3%. Αντίθετα, η μέση τάση βρίσκεται εντός των ορίων του $\pm 5\%$ της ονομαστικής, με τη μέγιστη τιμή της να είναι 1p.u. Η ισχύς στις γραμμές είναι κι αυτή μέσα στα όρια.

Διείσδυση 20MW

Και εδώ στους δυσμενέστερους ζυγούς της γραμμής διανομής, η διακύμανση της τάσης κατά τη διάρκεια του έτους φτάνει το 3.4%, δηλαδή ξεπερνάει το όριο του 3%. Αντίθετα, η μέση τάση βρίσκεται εντός των ορίων του $\pm 5\%$ της ονομαστικής, με τη μέγιστη τιμή της να είναι 1p.u. Η ισχύς στις γραμμές είναι κι αυτή μέσα στα όρια.

Διείσδυση 21MW

Και πάλι η διακύμανση της τάσης κατά τη διάρκεια του έτους ξεπερνάει το όριο του 3% φτάνοντας το 3, ενώ η μέση τάση βρίσκεται εντός των ορίων του $\pm 5\%$ της ονομαστικής, με τη μέγιστη τιμή της να είναι 1p.u. Η ισχύς στις γραμμές είναι κι αυτή μέσα στα όρια.

Αυτό που παρατηρείται είναι το εξής:

Μεγάλη διείσδυση φωτοβολταϊκών κατά τη διάρκεια της ημέρας σε ένα δίκτυο διανομής προκαλεί αύξηση των τάσεων του δικτύου, ειδικότερα τις μεσημεριανές ώρες κατά τις οποίες η παραγωγή των φωτοβολταϊκών βρίσκεται στην αιχμή της. Οι τάσεις το βράδυ παραμένουν αμετάβλητες. Από τις δυο μέρες που εξετάζονται, μια χειμερινή και μια θερινή, προκύπτει ότι και η ελάχιστη και η μέγιστη εμφανιζόμενη τάση μετά τη σύνδεση των φωτοβολταϊκών συναντάται το καλοκαίρι.

Η αποθήκευση της πλεονάζουσας ισχύος τοπικά και η απόδοσή της στο δίκτυο όταν αυτή χρειάζεται είναι ένας τρόπος για να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω προβλήματα. Στη συνέχεια εξετάζεται κατά πόσο αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη σύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο.

Σενάριο 3:

Σύνδεση φωτοβολταϊκών και ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η ταυτόχρονη σύνδεση φωτοβολταϊκών και ηλεκτρικών οχημάτων στη γραμμή διανομής.

Τα οχήματα είναι τύπου Honda EV Plus, των οποίων τα χαρακτηριστικά έχουν σχολιαστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, φορτίζουν από το δίκτυο κι εκφορτίζουν προς αυτό μέσα στο κάθε 24ωρο. Μελετάται κατά πόσο οι παραπάνω αναφερθείσες διεσδύσεις φωτοβολταϊκών μπορούν να γίνουν επιτρεπτές για το συγκεκριμένο δίκτυο με τη βοήθεια της φόρτισης/εκφόρτισης των οχημάτων.

9.2.2 Πολιτική φόρτισης κι εκφόρτισης των οχημάτων

Όπως έχει ήδη εξηγηθεί η ημερήσια φόρτιση είναι 22kWh ανά όχημα, ενώ μια τυπική ημέρα καταναλώνονται 12kWh για τις ανάγκες μετακίνησης του οδηγού, που αντιστοιχούν σε 60km (38 μίλια) περίπου.

Στην περίπτωση του αστικού δικτύου, θεωρείται ότι από τις 9 το πρωί μέχρι και τις 5 το απόγευμα οι κάτοχοι των οχημάτων βρίσκονται στην εργασία τους και τα οχήματα σε parking, ενώ την υπόλοιπη μέρα οι κάτοχοι βρίσκονται στα σπίτια τους.

Ακολουθείται η ίδια λογική για τη φόρτιση κι εκφόρτιση των οχημάτων όπως στην περίπτωση του Δικτύου Α. Ειδικότερα:

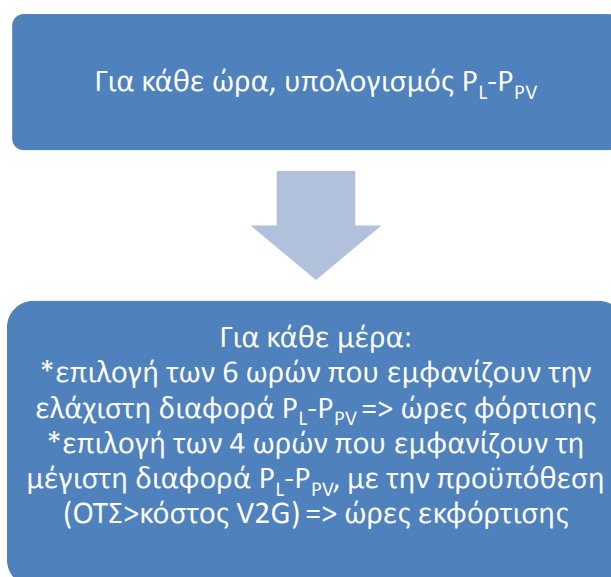
Για κάθε ώρα της ημέρας υπολογίζεται η διαφορά $P_L - P_{PV}$, όπου το φορτίο που ζητείται και P_{PV} η ενεργός ισχύς που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά.

Στη συνέχεια,

α) επιλέγονται οι ώρες της ημέρας για της οποίες η διαφορά αυτή ελαχιστοποιείται (αυτό σημαίνει πως η παραγωγή φωτοβολταϊκών μεγιστοποιείται σε σχέση με το φορτίο). Οι ώρες αυτές θα είναι οι *ώρες φόρτισης* των οχημάτων. Έχει γίνει η παραδοχή πως η φόρτιση των οχημάτων διαρκεί 6 ώρες.

β) επιλέγονται οι ώρες της ημέρας για της οποίες η διαφορά αυτή μεγιστοποιείται (αυτό σημαίνει πως η παραγωγή φωτοβολταϊκών ελαχιστοποιείται σε σχέση με το φορτίο). Οι ώρες αυτές θα είναι οι *ώρες εκφόρτισης* των οχημάτων. Ωστόσο, για την πραγματοποίηση εκφόρτισης ενός οχήματος προς το δίκτυο κατά τη διάρκεια κάποιας ώρας θα πρέπει να ικανοποιείται μια ακόμη προϋπόθεση και ειδικότερα θα πρέπει η οριακή τιμή συστήματος (OTS) να είναι μεγαλύτερη από το κόστος παροχής ενέργειας από το όχημα προς το δίκτυο (V2G λειτουργία). Ο περιορισμός αυτός οφείλεται στο γεγονός ότι πρόκειται για διασυνδεδεμένο δίκτυο διανομής.

Τα παραπάνω συνοψίζονται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Διάγραμμα 27: Διαδικασία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό των ωρών φόρτισης/εκφόρτισης των οχημάτων ημερησίως

Ειδικότερα, προκύπτουν τα εξής για τη φόρτιση και την εκφόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων:

Φόρτιση

Επιλέγονται οι 6 ώρες της ημέρας κατά τις οποίες η διαφορά $P_L - P_{PV}$ ελαχιστοποιείται και τις ώρες αυτές πραγματοποιείται η φόρτιση των οχημάτων. Τα kW φόρτισης ανά ώρα μοιράζονται ανάλογα με τη διαφορά αυτή (περισσότερα kW όσο η διαφορά μικραίνει και αντίστροφα). Για κάθε διείσδυση φωτοβολταϊκών, τόσο για τη χειμερινή ημέρα όσο και για τη θερινή προκύπτει ότι η φόρτιση θα πρέπει να πραγματοποιείται τις μεσημεριανές ώρες, οπότε και εμφανίζεται η αιχμή της παραγωγής των φωτοβολταϊκών. Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε κάθε όχημα, όπως έχει εξηγηθεί είναι 22kWh.

Για κάθε διείσδυση που εξετάζεται προκύπτουν οι ώρες φόρτισης:

Χειμώνας

11π.μ.-4μ.μ.

Καλοκαίρι

10π.μ.-3μ.μ.

Εκφόρτιση

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί εκφόρτιση των οχημάτων πρέπει:

Το φορτίο να μην καλύπτεται από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών και ταυτόχρονα η οριακή τιμή συστήματος (ΟΤΣ) να είναι μεγαλύτερη από το κόστος παροχής ενέργειας από το όχημα προς το δίκτυο (V2G λειτουργία).

- Η ΟΤΣ είναι αυτή που καθορίζει τη χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελεί την τιμή της τελευταίας μονάδας που εντάσσεται καθημερινά στο σύστημα. Όλοι οι παραγωγοί οι οποίοι συμμετέχουν τελικά στην αγορά ενέργειας πληρώνονται με την ίδια τιμή που είναι η ΟΤΣ.
- Το μεταβλητό κόστος (ανά kWh) παροχής ενέργειας από το όχημα προς το δίκτυο συμβολίζεται με C_E και δίνεται από τη σχέση $C_E = C_{PE} + C_D$, όπου C_{PE} είναι το κόστος της ενέργειας που έχει αγοραστεί από τον ιδιοκτήτη του οχήματος σε €/kWh, δηλαδή είναι είτε το κόστος του ηλεκτρισμού για τη φόρτιση, είτε το κόστος του υδρογόνου, του φυσικού αερίου ή της βενζίνης, ανάλογα με τον τύπο του οχήματος και μπορεί να περιλαμβάνει και τυχόν απώλειες μετασχηματισμού της ενέργειας και C_D είναι το κόστος υποβάθμισης του εξοπλισμού (π.χ. της μπαταρίας) λόγω της επιπλέον χρήσης της για την παραγωγή ηλεκτρισμού, πάλι σε €/kWh. Όταν τα ηλεκτρικά οχήματα εκφορτίζονται συχνά το κόστος C_D συχνά επικρατεί στο συνολικό κόστος C_E .

Ένα επιπλέον κόστος που σχετίζεται με την παροχή ενέργειας προς το δίκτυο είναι το ετήσιο σταθερό κόστος για οποιοδήποτε επιπλέον εξοπλισμό που πρέπει να εγκατασταθεί στο όχημα προκειμένου να μπορεί να εκτελέσει τη V2G λειτουργία και δίνεται από τη σχέση:

$$C_{AC} = C_C \times CRF = C_C \times \frac{d}{1 - (1 + d)^{-n}}$$

Όπου C_C είναι το κόστος της επένδυσης και d το επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία.

Το ολικό κόστος V2G αποτελείται από το άθροισμα του μεταβλητού και του σταθερού κόστους.

Οι δυο όροι του μεταβλητού κόστους της ενέργειας δίνονται από τις σχέσεις:

$$C_{PE} = \frac{C_{el}}{Eff}$$

$$C_D = \frac{(ES \times C_B) + (C_L \times LH)}{ES_L} = \frac{(ES \times C_B) + (C_L \times LH)}{ES \times DOD \times B_C}$$

Όπου $C_{el} = 0,05279$ €/kWh είναι η χρέωση κατά το νυχτερινό τιμολόγιο της ΔΕΗ, Eff είναι ο συντελεστής απόδοσης για τον ηλεκτρισμό κατά τη

διαδρομή από το δίκτυο στη μπαταρία και πίσω στο δίκτυο και θεωρείται ίσος με 0.79, ES_L είναι η συνολική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της σε kWh, C_B είναι το κόστος αντικατάστασης της μπαταρίας σε €/kWh, C_L είναι το κόστος εργασίας σε €/h, LH είναι ο χρόνος εργασίας για την αντικατάσταση της μπαταρίας σε ώρες και B_C είναι ο χρόνος ζωής της μπαταρίας σε κύκλους.

Υπολογίζεται ότι για το όχημα Honda EV Plus που χρησιμοποιείται είναι $C_D = 0,289$ €/kWh και $C_{PE} = C_{el}/0,79 = 0,05279/0,79 = 0,0668$ €/kWh. Επομένως, $C_E = 0,3558$ €/kWh ή $C_E = 355,8$ €/MWh. Καθώς τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας όπως το Honda EV Plus διαθέτουν ήδη τη δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο, το κόστος του επιπλέον εξοπλισμού που απαιτείται ώστε να εκτελέσουν τη λειτουργία V2G είναι πολύ μικρό (περίπου 6€ το χρόνο) κι επομένως θα αμεληθεί. Επομένως, το κόστος V2G θεωρείται ίσο με $C_E = 355,8$ €/MWh. Η τιμή αυτή ξεπερνάει κατά πολύ την οριακή τιμή συστήματος, η οποία σε μια τυπική χειμερινή μέρα εμφανίζει μέγιστο 103,01 €/MWh και σε μια καλοκαιρινή μέρα 113,64 €/MWh. Επομένως, δεν υπάρχει καμία ώρα της ημέρας κατά την οποία να τηρούνται οι συνθήκες που έχουν τεθεί προκειμένου να εκφορτίζονται τα οχήματα. Γι'αυτό, όπως συμβαίνει και στα φωτοβολταϊκά, έτσι και στα ηλεκτρικά οχήματα η τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας θα γίνεται πολλαπλασιάζοντας την ΟΤΣ με έναν συντελεστή. Λαμβάνοντας το συντελεστή αυτό ίσο με 3,6 οι ώρες που προκύπτουν με βάση το κριτήριο της ΟΤΣ ως συμφέρουσες για εκφόρτιση είναι οι εξής:

Χειμώνας

10π.μ.-2μ.μ., 5μ.μ., 7μ.μ.-10μ.μ.

Καλοκαίρι

9π.μ.-1π.μ.

Ο αριθμός των ωρών εκφόρτισης για την κάλυψη φορτίου αιχμής είναι συνήθως 1, 2 ή 4 ώρες. Εδώ λαμβάνεται ίσος με 4 ώρες.

Με βάση όλες αυτές τις παραδοχές οι ώρες εκφόρτισης προκύπτουν για το χειμώνα οι ώρες 7μ.μ., 8μ.μ., 9μ.μ., 10μ.μ. και για το καλοκαίρι οι ώρες 10 μ.μ., 11μ.μ., 12μ.μ. και 1π.μ.

Παραπάνω υπολογίστηκαν οι kWh φόρτισης του οχήματος. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι kWh που είναι διαθέσιμες κατά την εκφόρτισή του. Η ηλεκτρική ισχύς κάθε οχήματος (Power Capacity, PC), δηλαδή τα kW που είναι διαθέσιμα ανά πάσα στιγμή για τη V2G λειτουργία, δίνεται από τον τύπο:

$$PC = \frac{(ES - (DD + RB) \times Eff_{veh}) \times Eff_{inv}}{DH}$$

Για τα ηλεκτρικά οχήματα μπαταρίας, όπως είναι το Honda EV Plus που χρησιμοποιούμε ισχύουν τα εξής:

- ES (Energy Stored) είναι η αποθηκευμένη στο όχημα ενέργεια σε kWh, η οποία για το όχημα μπαταρίας Honda EV Plus που χρησιμοποιούμε όπως έχει αναφερθεί λαμβάνεται ίση με $ES=27.4\text{kWh}\cdot 0.9= 24.7\text{kWh}$.
- DD (Distance Driven) είναι η απόσταση που έχει διανυθεί σε μίλια από τη στιγμή που η μπαταρία ήταν γεμάτη.
- RB (Range Buffer) είναι η απόσταση σε μίλια για την οποία θα πρέπει να υπάρχει αρκετή ενέργεια στη μπαταρία.
Είναι $RB + DD = 100$ μίλια (60km) και περιλαμβάνει την απόσταση που έχει ήδη διανύσει το αυτοκίνητο από τη στιγμή που η μπαταρία ήταν γεμάτη, καθώς και την προγραμματισμένη απόσταση την οποία θα διανύσει το αυτοκίνητο μέχρι την επόμενη φόρτιση καθώς και την απόσταση ενδεχομένως να χρειαστεί για κάποια έκτακτη ανάγκη (π.χ. μεταφορά σε νοσοκομείο).
- Eff_{veh} είναι η απόδοση του οχήματος σε kWh/mi, που για το συγκεκριμένο όχημα λαμβάνεται ίση προς $(280+350)/2 = 0.315\text{kWh}/\mu\text{ίλι} = 0.196\text{kWh}/\text{km}$
- Eff_{inv} είναι η απόδοση του αντιστροφέα και των άλλων ηλεκτρονικών ισχύος που θεωρείται ίση με 0,93.
- DH είναι οι ώρες εκφόρτισης [3]

Πραγματοποιώντας τους υπολογισμούς προκύπτει ότι ο αριθμητής του παραπάνω κλάσματος ισούται με 10kWh που είναι και η διαθέσιμη ενέργεια για τη V2G λειτουργία.

Εχει επίσης αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο ότι στην πραγματικότητα η ενέργεια V2G καθορίζεται από τον ελάχιστο από τρεις παράγοντες. Αυτοί είναι, το PC που μόλις υπολογίστηκε, τα όρια της σύνδεσης από το όχημα προς το δίκτυο και η μέγιστη ροή ισχύος που μπορεί να διέλθει από τα ηλεκτρονικά ισχύος του οχήματος προς τον ηλεκτροκινητήρα. Ωστόσο, πρακτικά για την αιχμιακή ισχύ και τη στρεφόμενη εφεδρεία που μας ενδιαφέρουν εδώ, το PC είναι ο περιοριστικός παράγοντας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα φόρτισης-εκφόρτισης των οχημάτων μέσα στην ημέρα:



Διάγραμμα 28: Φόρτιση κι εκφόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων στη διάρκεια του 24ώρου

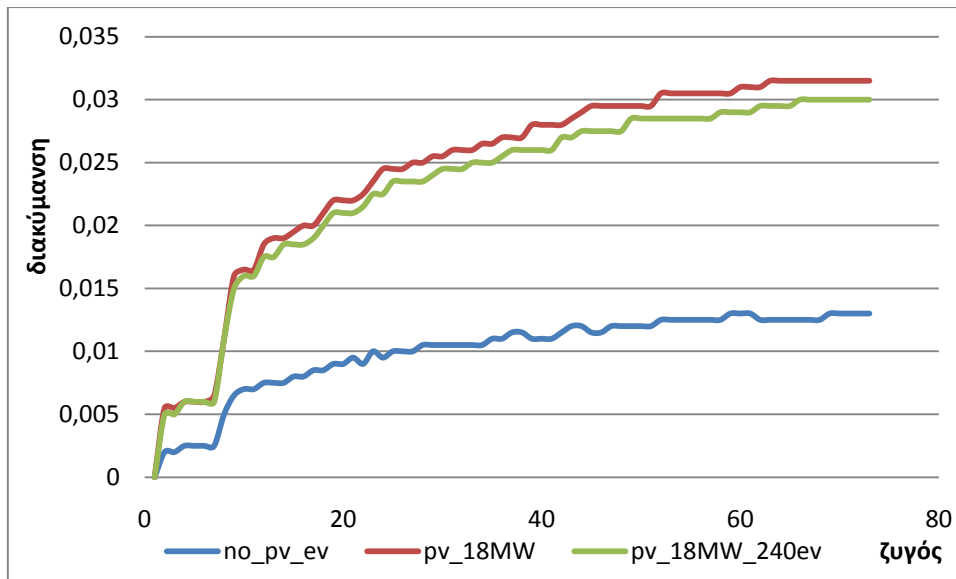
Ο συντελεστής ισχύος των ηλεκτρικών οχημάτων λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα, που σημαίνει ότι δεν επηρεάζουν την άεργο ισχύ του συστήματος. Επίσης, τα οχήματα φορτίζουν κι εκφορτίζουν όλα μαζί. Όταν βρίσκονται στα σπίτια θεωρούμε ίσο αριθμό οχημάτων σε κάθε σπίτι, ενώ όταν κατά τις εργάσιμες ώρες τα οχήματα είναι σταθμευμένα σε 5 parking ισομοιρασμένα στο μήκος της γραμμής διανομής, στους υποσταθμούς KT-D11-2, KT-D3-4, KT-D2-1, KT-B1-1, KT-A4-1.

9.2.3 Αποτελέσματα

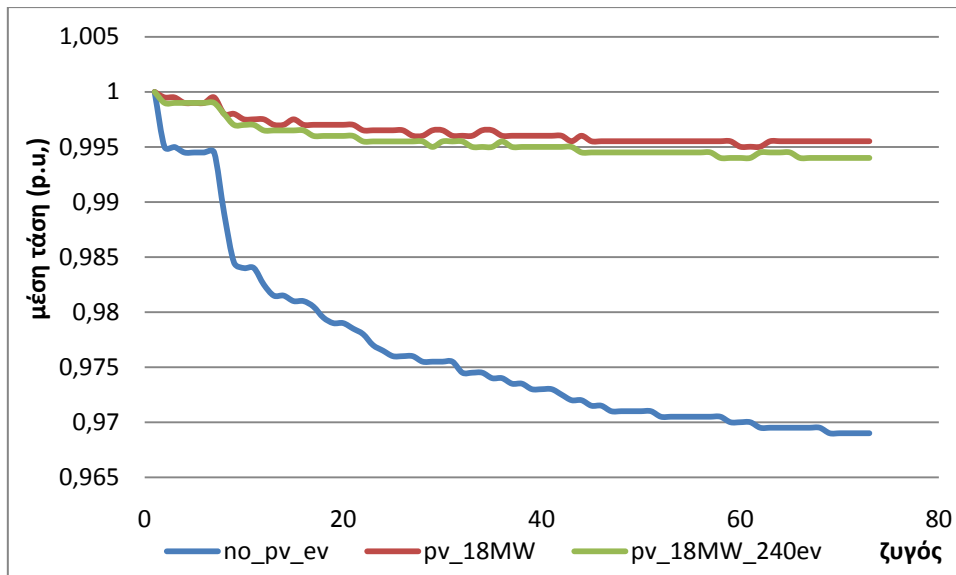
Αναλυτικά, για κάθε περίπτωση που εξετάζεται ισχύουν τα εξής:

Φωτοβολταϊκά 18MW

Η διακύμανση της τάσης στη διάρκεια του έτους είναι το μόνο μέγεθος το οποίο πρέπει να βελτιωθεί με τη σύνδεση των οχημάτων προκειμένου να μπορέσει να δεχτεί το δίκτυο φωτοβολταϊκή διείσδυση ίση με 18MW. Πράγματι, με 240 οχήματα, η διακύμανση της τάσης στο δυσμενέστερο ζυγό γίνεται 3%. Η μέση τάση και η ροή ισχύος στις γραμμές παραμένουν εντός των επιθυμητών ορίων.



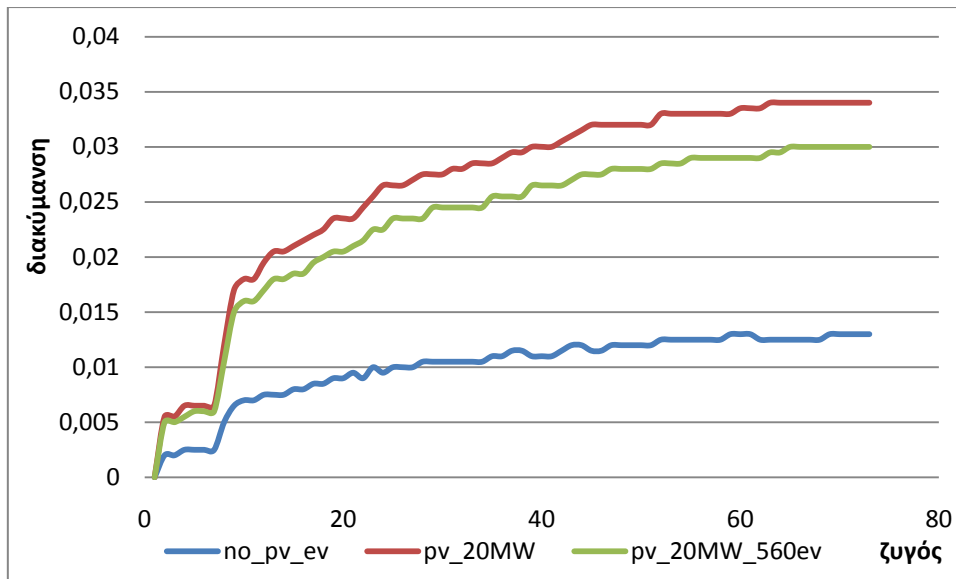
Διάγραμμα 29: Μεταβολή της ετήσιας διακύμανσης των ζυγών του δικτύου με τη σύνδεση φωτοβολταϊκών 18MW και ηλεκτρικών οχημάτων



Διάγραμμα 30: Μεταβολή της μέσης τάσης των ζυγών του δικτύου με τη σύνδεση φωτοβολταϊκών 18MW και ηλεκτρικών οχημάτων

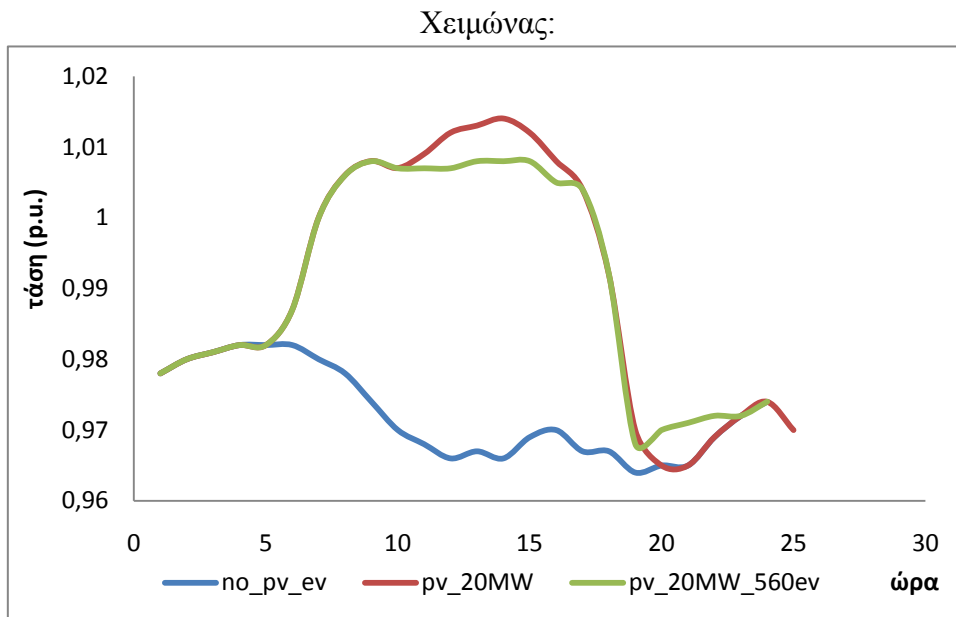
Φωτοβολταϊκά 20MW

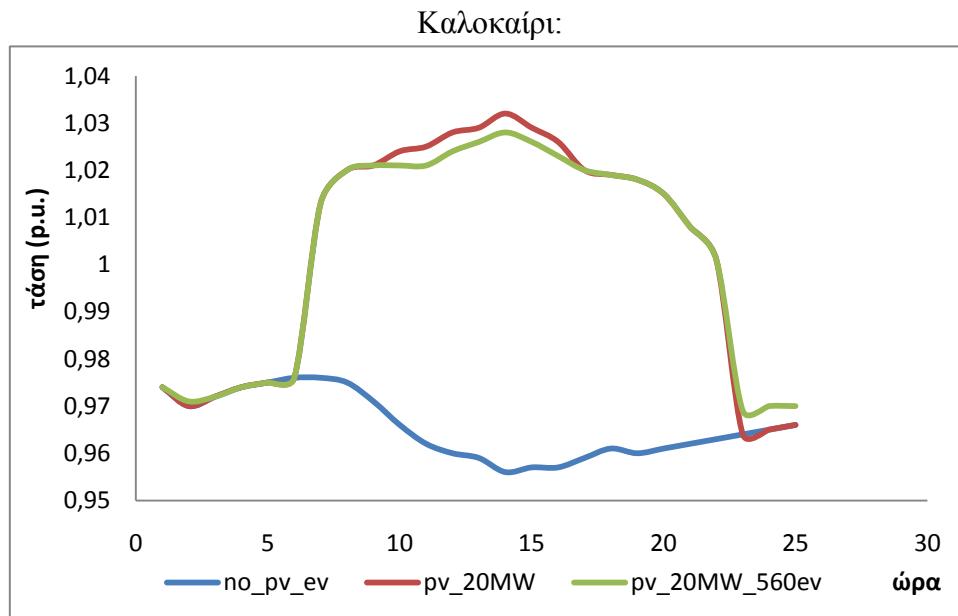
Αντίστοιχα και σε αυτή την περίπτωση, η ετήσια διακύμανση της τάσης για το δυσμενέστερο ζυγό μειώνεται στο 3% με τη σύνδεση 560 οχημάτων. Η μέση τάση και η ροή ισχύος στις γραμμές δεν εμφανίζουν πρόβλημα.



Διάγραμμα 31: Μεταβολή της ετήσιας διακύμανσης των ζυγών του δικτύου με τη σύνδεση φωτοβολταϊκών 20MW και ηλεκτρικών οχημάτων

Στη συνέχεια, σχεδιάζεται για την περίπτωση διείσδυσης 20MW φωτοβολταϊκών η μεταβολή της τάσης εντός ενός 24ώρου σε έναν από τους ζυγούς του συστήματος που γενικά εμφανίζει χαμηλές τάσεις και μεγάλη διακύμανση, για μια χειμερινή και μια θερινή ημέρα:



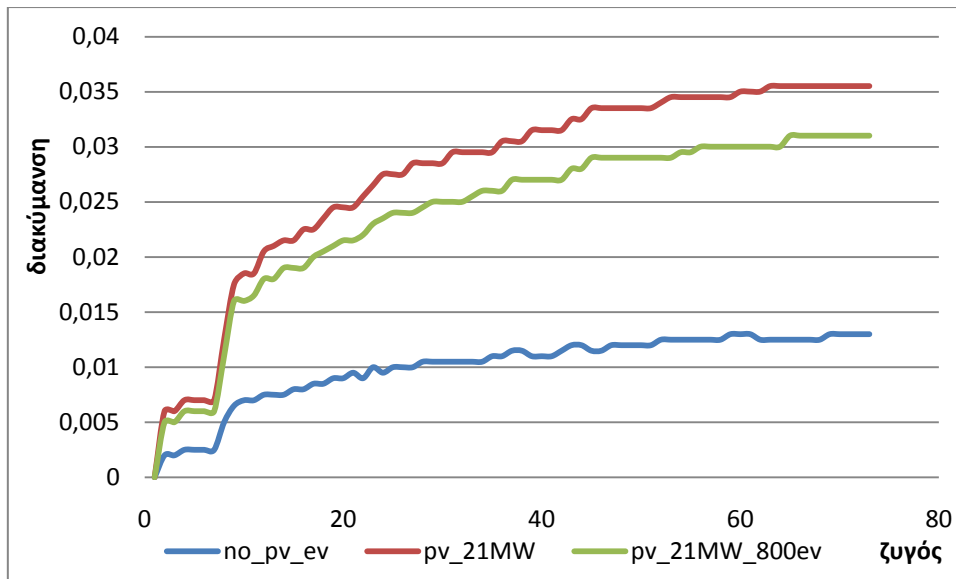


Διαγράμματα 32: Μεταβολή της τάσης κατά τη διάρκεια ενός χειμερινού κι ενός θερινού 24ώρου σε έναν από τους ζυγούς του δικτύου που εμφανίζει χαμηλή τάση και μεγάλη διακύμανση, για φωτοβολταϊκά 20MW και οχήματα

Στα παραπάνω φαίνεται καθαρά ο τρόπος της χρησιμοποίησης των ηλεκτρικών οχημάτων προκειμένου να συμβάλουν στην αύξηση της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών στο δίκτυο. Συγκεκριμένα, αυτό που κάνουν τα οχήματα είναι να αποθηκεύουν την ενέργεια όταν αυτή υπερβαίνει τη ζήτηση (μεγάλη παραγωγή φ/β) και να τη δίνουν πίσω όταν το δίκτυο τη χρειάζεται (μεγάλη ζήτηση σε συνδυασμό με μικρή παραγωγή φ/β). Στην πρώτη περίπτωση, οι αυξημένες τάσεις του δικτύου μειώνονται λόγω της φόρτισης των οχημάτων, ενώ στη δεύτερη περίπτωση οι μειωμένες τάσεις αυξάνονται. Ετσι, εξομαλύνονται οι αποκλίσεις των τάσεων από τη μέση τιμή τους.

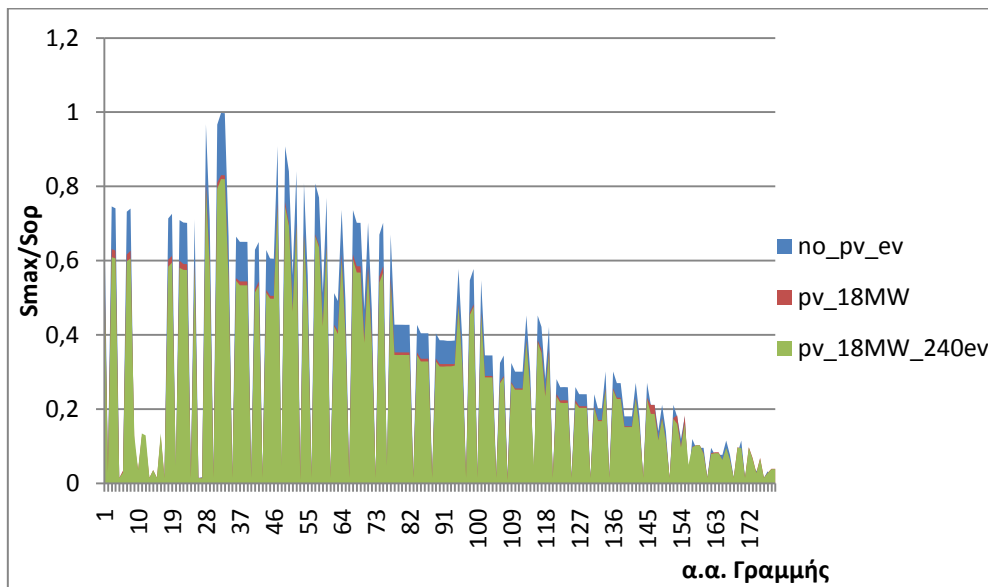
Φωτοβολταϊκά 21MW

Για τα 21MW φωτοβολταϊκών, παρά τη σύνδεση των οχημάτων, δεν είναι δυνατή η επίτευξη διακύμανσης μικρότερης του 3% σε όλους τους ζυγούς του δικτύου. Ειδικότερα, υπάρχουν ορισμένοι ζυγοί οι οποίοι εμφανίζουν διακύμανση της τάσης ίση με 3.1%. Η αύξηση των ωρών φόρτισης για ορισμένες ημέρες του έτους θα μπορούσε να αποτελέσει λύση στο πρόβλημα, ωστόσο η περίπτωση αυτή δεν εξετάζεται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Για το λόγο αυτό δεν εξετάζονται άλλες περιπτώσεις διείσδυσης μεγαλύτερης των 21MW.



Διάγραμμα 33: Μεταβολή της ετήσιας διακύμανσης των ζυγών του δικτύου με τη σύνδεση φωτοβολταϊκών 21MW και ηλεκτρικών οχημάτων

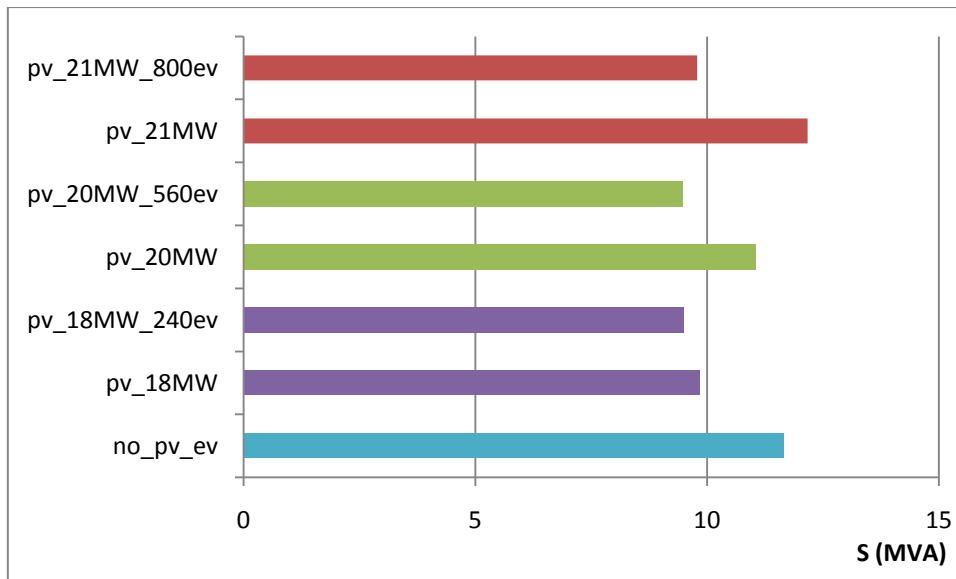
Σχετικά με τη ροή ισχύος στις γραμμές του δικτύου για τις διεισδύσεις που μελετώνται σχεδιάζονται ενδεικτικά τα ακόλουθα διαγράμματα:



Διάγραμμα 34: Φόρτιση γραμμών δικτύου (λόγος της μέγιστης εμφανιζόμενης ισχύος δια το θερμικό όριο ισχύος για την κάθε γραμμή) για σύνδεση 18MW φωτοβολταϊκών και ηλεκτρικών οχημάτων

Παραπάνω διακρίνεται μια μικρή μείωση στις φορτίσεις των περισσότερων γραμμών του δικτύου με τη σύνδεση των οχημάτων για την περίπτωση των 18MW. Το ίδιο συμβαίνει και για τις άλλες δυο διεισδύσεις φωτοβολταϊκών (20MW και 21MW).

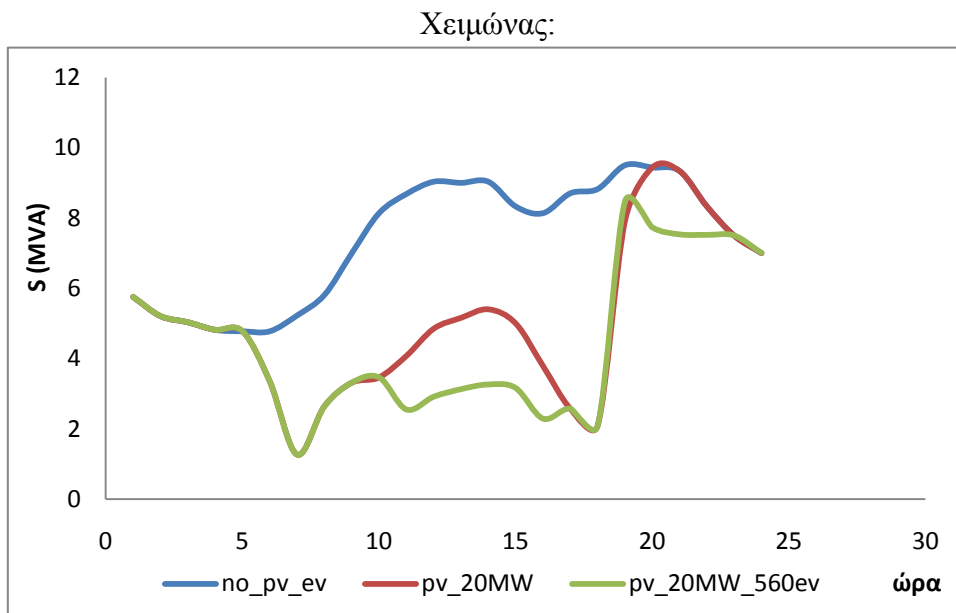
Στη συνέχεια, σχεδιάζεται η μέγιστη φαινομένη ισχύς που διέρχεται από την πρώτη γραμμή του δικτύου στη διάρκεια του έτους:



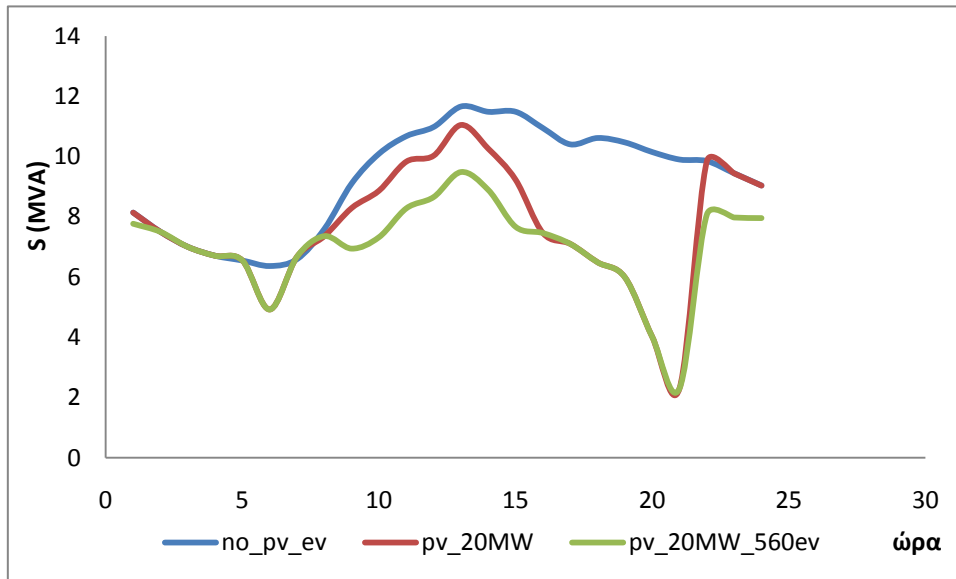
Διάγραμμα 35: Μέγιστη φαινόμενη ισχύς που διέρχεται από την πρώτη γραμμή του δικτύου στη διάρκεια του έτους για κάθε εξεταζόμενη διείσδυση φωτοβολταϊκών/οχημάτων

Δεν υπερβαίνεται σε καμία από τις περιπτώσεις το θερμικό όριο ισχύος της γραμμής που ισούται με 15.5MVA. Παράλληλα, είναι εμφανές πως η σύνδεση των οχημάτων στο δίκτυο οδηγεί σε μείωση της ισχύος που εισέρχεται σε αυτό.

Για την περίπτωση των 20MW φωτοβολταϊκών ακολουθούν αναλυτικά διαγράμματα με τη μεταβολή της φαινομένης ισχύος για την πρώτη γραμμή του δικτύου μέσα στην ημέρα:



Καλοκαίρι:

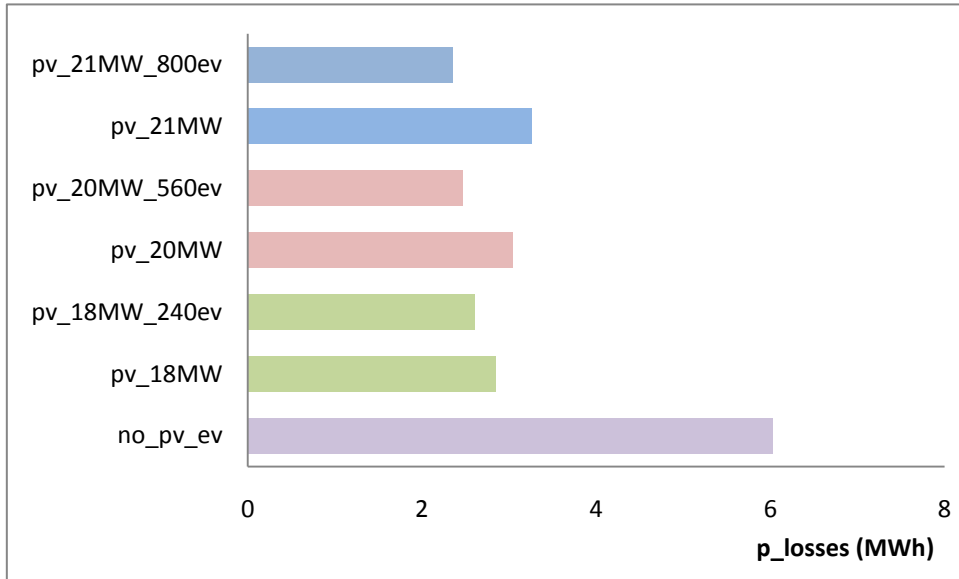


Διαγράμματα 36: Μεταβολή της φαινομένης ισχύος που διέρχεται από την πρώτη γραμμή του δικτύου κατά τη διάρκεια ενός χειμερινού κι ενός θερινού 24ώρου για σύνδεση 20MW φωτοβολταϊκών και οχημάτων

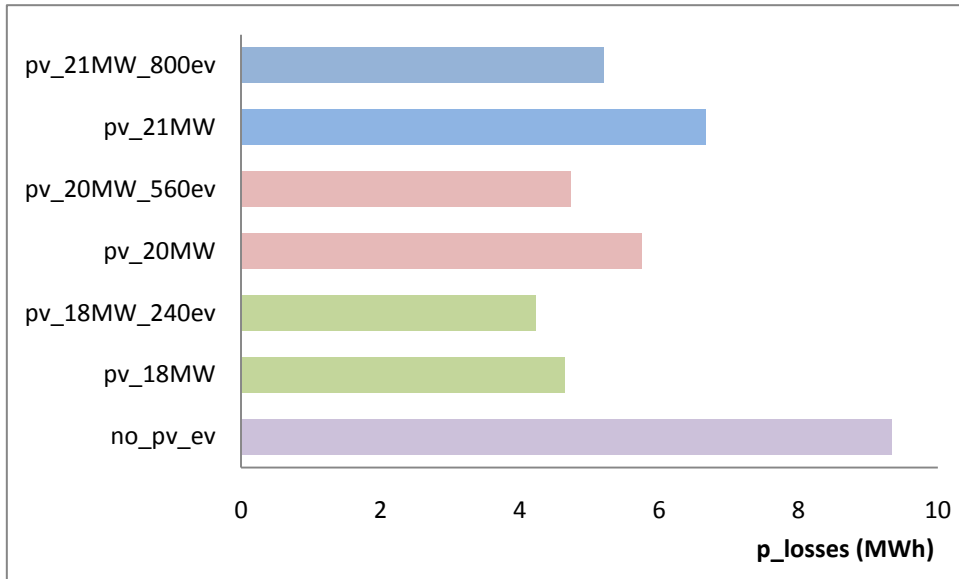
Η εξήγηση των διαγραμμάτων είναι η εξής: Η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά προκαλεί μείωση της ισχύος που εισέρχεται στο δίκτυο καθώς οι ανάγκες των φορτίων ικανοποιούνται τοπικά (δισεπαρμένη παραγωγή). Από την άλλη, η παρουσία των οχημάτων οδηγεί σε περαιτέρω μείωση της ροής ισχύος αφού κατά τη φόρτιση (μεσημεριανές ώρες) μέρος της πλεονάζουσας ισχύος των φωτοβολταϊκών το οποίο θα οδηγούνταν προς την υψηλή τάση εφόσον πρόκειται για διασυνδεδεμένο δίκτυο, απορροφάται από τα οχήματα, ενώ κατά την εκφόρτιση (μεσημεριανές ώρες) μέρος της ζήτησης (που δε δύναται να καλυφθεί από τα φωτοβολταϊκά) προσφέρεται από τα οχήματα. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της ροής ισχύος στις γραμμές του δικτύου.

Η σύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο και η προγραμματισμένη φόρτιση/εκφόρτιση τους που εξετάζεται έχει θετικές επιδράσεις και στις απώλειες ενεργού ισχύος στις γραμμές του δικτύου, όπως φαίνεται στα επόμενα διαγράμματα:

Χειμώνας:



Καλοκαίρι:



Διαγράμματα 37: Μεταβολή απωλειών ενεργού ισχύος για μια χειμερινή και μια θερινή ημέρα για κάθε εξεταζόμενη διείσδυση φωτοβολταϊκών/οχημάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Εφαρμογή 2: Ορια διείσδυσης ηλεκτρικών οχημάτων σε Αστικό Δίκτυο Διανομής

10.1 Εισαγωγή

Η δεύτερη εφαρμογή εξετάζεται μόνο για το Δίκτυο Β, δηλαδή το διασυνδεδεμένο δίκτυο διανομής.

Θεωρείται πως τα συνδεδεμένα οχήματα απλά φορτίζουν από το δίκτυο, δηλαδή δε λαμβάνεται υπόψη η δυνατότητα εκφόρτισής τους προς αυτό (V2G).

Αρχικά, εξετάζεται η περίπτωση μη ελεγχόμενης φόρτισης (dumb charging), κατά την οποία τα οχήματα φορτίζουν με τη μέγιστη δυνατή ισχύ από τη στιγμή που συνδέονται στο δίκτυο. Η ισχύς αυτή θεωρείται ίση με 7KW. Συνεπώς, η φόρτιση σε αυτή την περίπτωση διαρκεί μόνο 3 ώρες.

Έπειτα, μελετάται η ελεγχόμενη φόρτιση (smart charging) με τα kW φόρτισης των οχημάτων να μεταβάλλονται ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου (εδώ, ανάλογα με τη ζήτηση για κάθε ώρα). Όπως και στην Εφαρμογή 1 λαμβάνονται 6 ώρες φόρτισης.

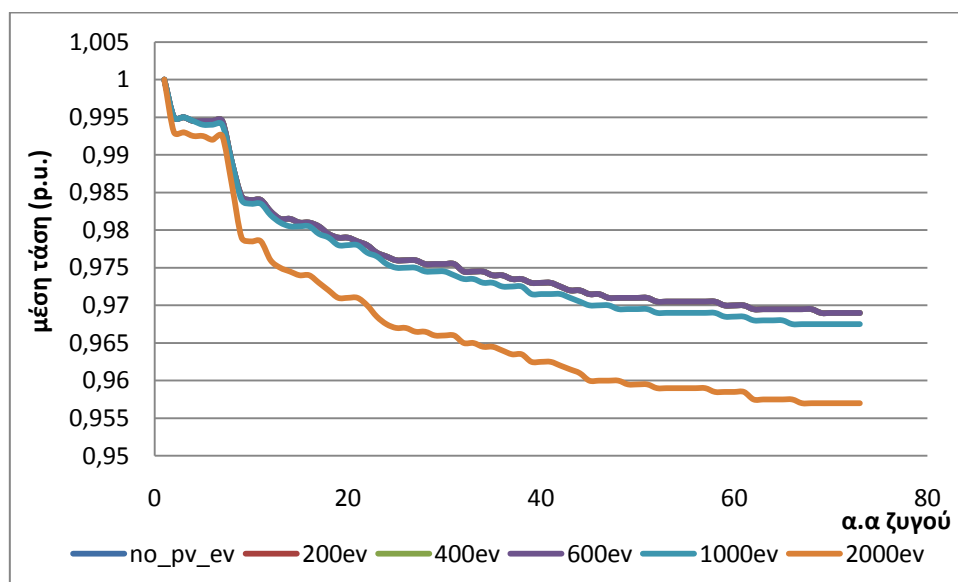
Ωστόσο, σε αντίθεση με την Εφαρμογή 1, εδώ δεν προσδιορίζονται οι βέλτιστες ώρες φόρτισης μέσα στο 24ωρο, απλά μελετώνται δυο διαφορετικές περίοδοι μέσα στην ημέρα κατά τις οποίες ενδέχεται να επιλέξουν οι οδηγοί για να φορτίσουν τα οχήματά τους. Ειδικότερα, εξετάζεται η φόρτιση κατά τη διάρκεια της νύχτας (δηλαδή τις ώρες κατά τις οποίες ισχύει το νυχτερινό τιμολόγιο) με τα οχήματα να βρίσκονται στο σπίτι του κάθε οδηγού, καθώς και η φόρτιση κατά τη διάρκεια της ημέρας, και ειδικότερα τις μεσημεριανές ώρες με τους οδηγούς να βρίσκονται στο χώρο εργασίας τους και τα οχήματα σταθμευμένα σε parking.

Λαμβάνεται η χειρότερη περίπτωση κατά την οποία όλα τα οχήματα φορτίζουν πλήρως (22kWh).

10.2 Αποτελέσματα

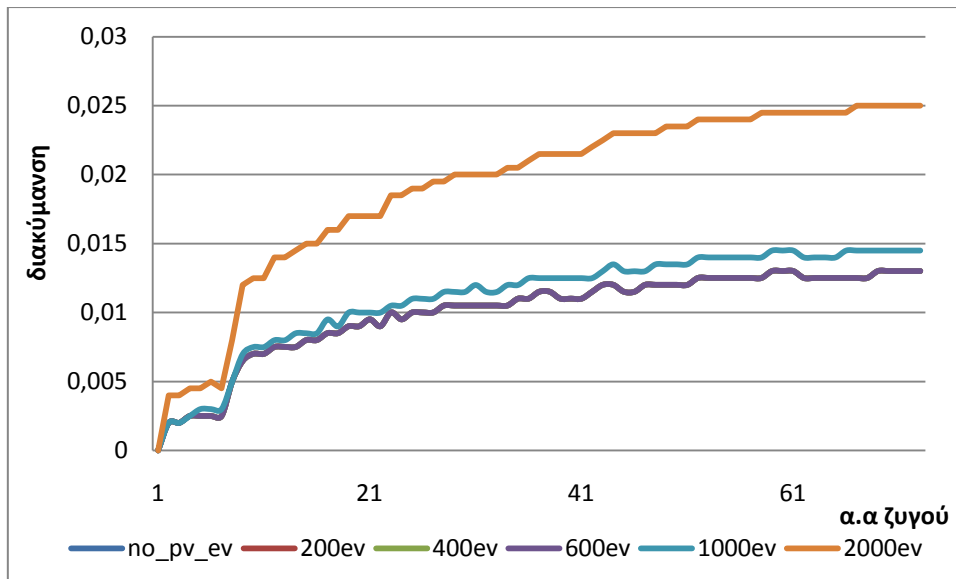
10.2.1 Φόρτιση κατά τη διάρκεια της νύχτας

Για τη μη ελεγχόμενη φόρτιση, η μέση τάση στους κόμβους του δικτύου μειώνεται ελαφρά όσο αυξάνονται τα οχήματα που συνδέονται. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς τα οχήματα λειτουργούν ως φορτία. Απότομη μείωση της τάσης παρατηρείται για 2000 οχήματα:



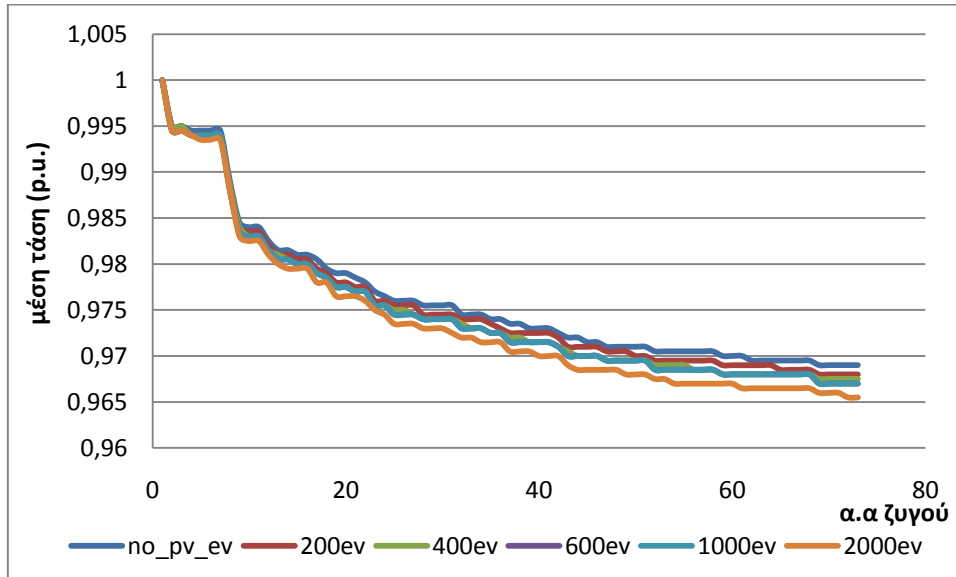
Διάγραμμα 38: Μεταβολή της μέσης τάσης των ζυγών του δικτύου για βραδινή φόρτιση (dumb charging) 200 έως και 2000 οχημάτων

Αντίθετα, η διακύμανση των τάσεων των ζυγών αρχικά παραμένει σχετικά σταθερή, ενώ από τα 1000 οχήματα και πάνω αρχίζει να αυξάνεται:

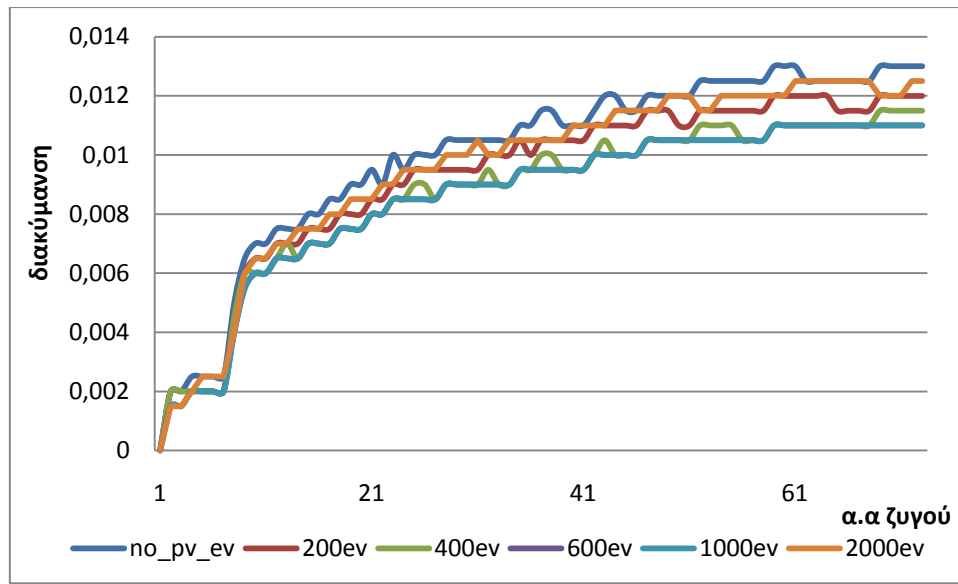


Διάγραμμα 39: Μεταβολή της ετήσιας διακύμανσης των ζυγών του δικτύου για βραδυνή φόρτιση (dumb charging) 200 έως και 2000 οχημάτων

Στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης παρατηρείται μια αντίστοιχη συμπεριφορά της μέσης τάσης και της διακύμανσης της τάσης των ζυγών όπως φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα:



Διάγραμμα 40: Μεταβολή της μέσης τάσης των ζυγών του δικτύου για βραδυνή φόρτιση (smart charging) 200 έως και 2000 οχημάτων

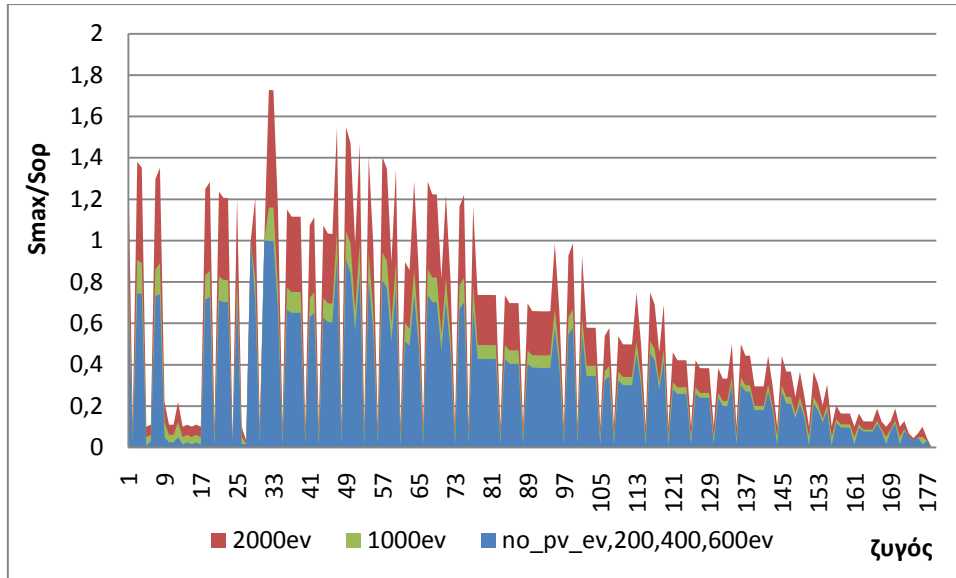


Διάγραμμα 41: Μεταβολή της ετήσιας διακύμανσης των ζυγών του δικτύου για βραδυνή φόρτιση (smart charging) 200 έως και 2000 οχημάτων

Η διαφορά σε σχέση με τη μη ελεγχόμενη φόρτιση είναι ότι στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης, για τον ίδιο αριθμό οχημάτων παρατηρούνται βελτιωμένες τιμές μέσης τάσης και διακύμανσης της τάσης των ζυγών του δικτύου.

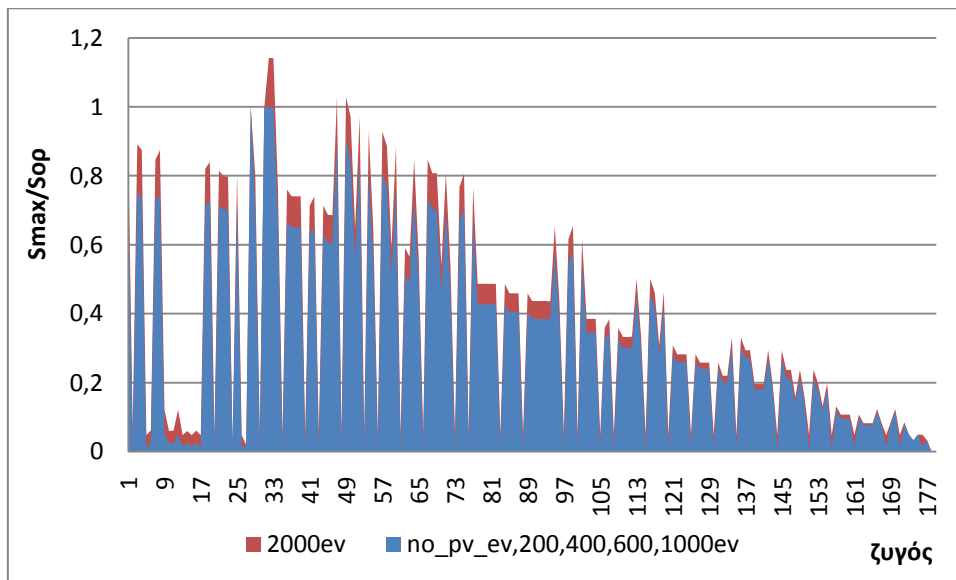
Σχετικά με τη διακύμανση των τάσεων στην έξυπνη φόρτιση, μπορεί να δοθεί μια εξήγηση για το γεγονός ότι αρχικά μειώνεται και στη συνέχεια (για περισσότερα από 2000 οχήματα) αρχίζει να αυξάνεται. Η εξήγηση βρίσκεται στο γεγονός ότι η μέγιστη τάση εμφανίζεται κατά τις νυχτερινές ώρες (οπότε και το φορτίο είναι ελάχιστο) κι επομένως η σύνδεση των οχημάτων που προκαλεί μείωση της μέγιστης αυτής τάσης συμβάλλει και στη μείωση της διακύμανσης. Ωστόσο, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα για πολύ μεγάλη διεύδυση οχημάτων (εδώ για 2000 οχήματα) μπορεί να μειωθούν τόσο πολύ οι τάσεις κατά τη διάρκεια της νύχτας, ώστε να καταστούν ελάχιστες κι επομένως οποιαδήποτε περαιτέρω μείωσή τους να οδηγεί σε αύξηση της διακύμανσης.

Η μέγιστη ισχύς που ρέει στις γραμμές βρίσκεται εντός των ορίων και δε μεταβάλλεται μέχρι και τα 600 οχήματα στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης. Ωστόσο, όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα, από τα 1000 οχήματα και πάνω, σε ορισμένες γραμμές η ισχύς ξεπερνάει το θερμικό όριο ισχύος τους κι επομένως δεν είναι δυνατόν να συνδεθούν τόσα οχήματα στο δίκτυο.



Διάγραμμα 42: Φόρτιση γραμμών δικτύου (λόγος της μέγιστης εμφανιζόμενης ισχύος δια το θερμικό όριο ισχύος για την κάθε γραμμή) για βραδινή φόρτιση (dumb charging) ηλεκτρικών οχημάτων

Για ελεγχόμενη φόρτιση, που προσαρμόζεται ανάλογα με το φορτίο του δικτύου και που διαρκεί περισσότερες ώρες, είναι δυνατή η διείσδυση έως και 1000 οχημάτων χωρίς να δημιουργηθεί πρόβλημα υπερφόρτισης των γραμμών του δικτύου.

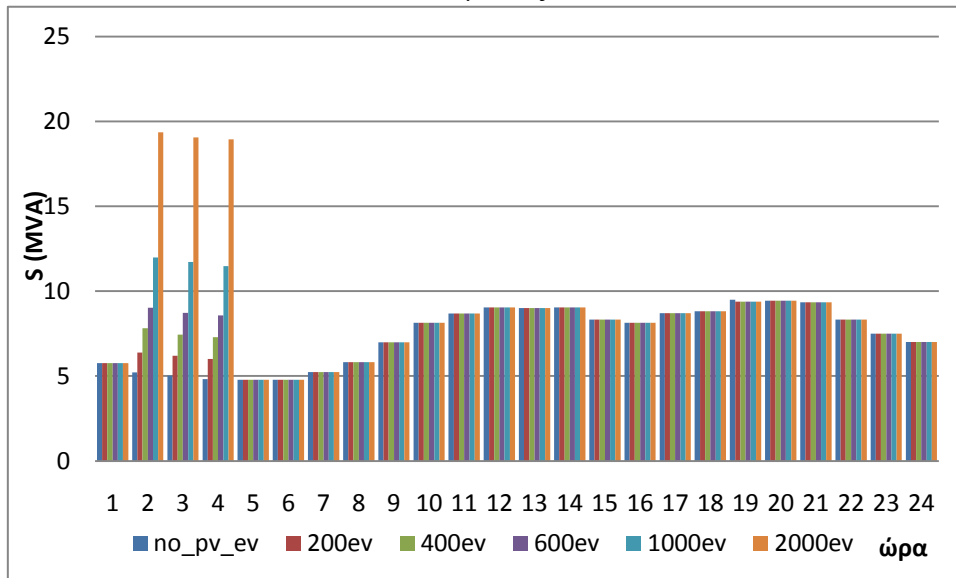


Διάγραμμα 43: Φόρτιση γραμμών δικτύου (λόγος της μέγιστης εμφανιζόμενης ισχύος δια το θερμικό όριο ισχύος για την κάθε γραμμή) για βραδινή φόρτιση (smart charging) ηλεκτρικών οχημάτων

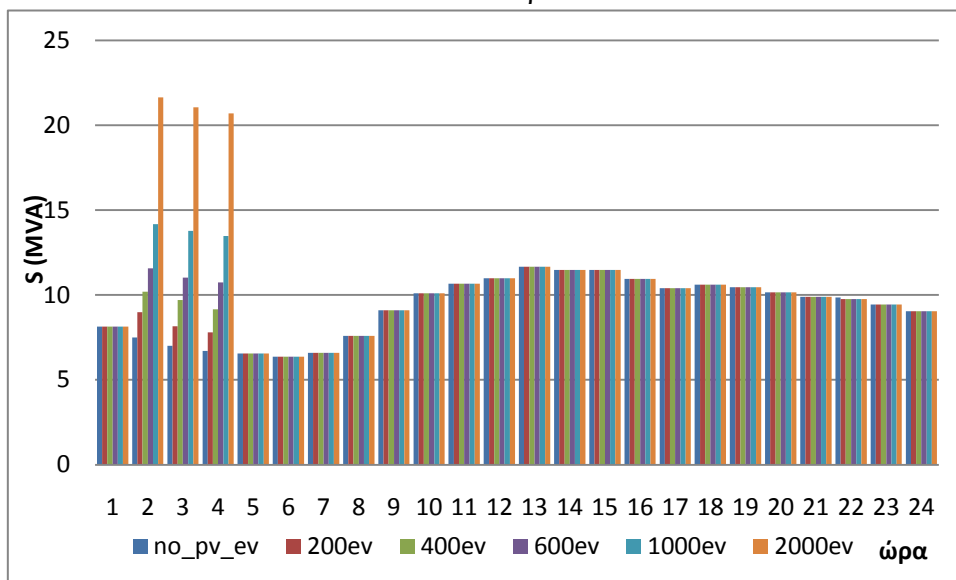
Στη συνέχεια, σχεδιάζεται η μεταβολή της ισχύος που διέρχεται από την πρώτη γραμμή του δικτύου, δηλαδή την MV-N1, μέσα στην ημέρα και για τις δυο

περιπτώσεις φόρτισης που μελετώνται. Παρατηρείται για τη μη ελεγχόμενη φόρτιση πως μέχρι και τα 600 οχήματα η μέγιστη ισχύς εμφανίζεται στις 7μ.μ. το χειμώνα και στη 1μ.μ. το καλοκαίρι. Ωστόσο, για 1000 οχήματα και πάνω, λόγω της φόρτισής τους, η αιχμή της ισχύος μετατοπίζεται τις βραδυνές ώρες και ειδικότερα στις 2π.μ. και για το χειμώνα και για το καλοκαίρι.

Χειμώνας:

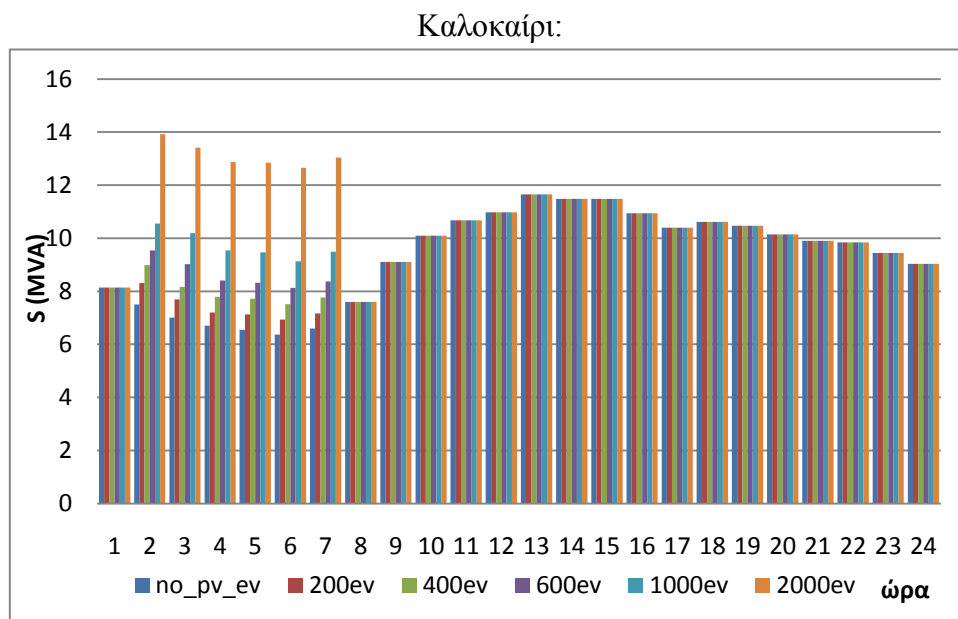
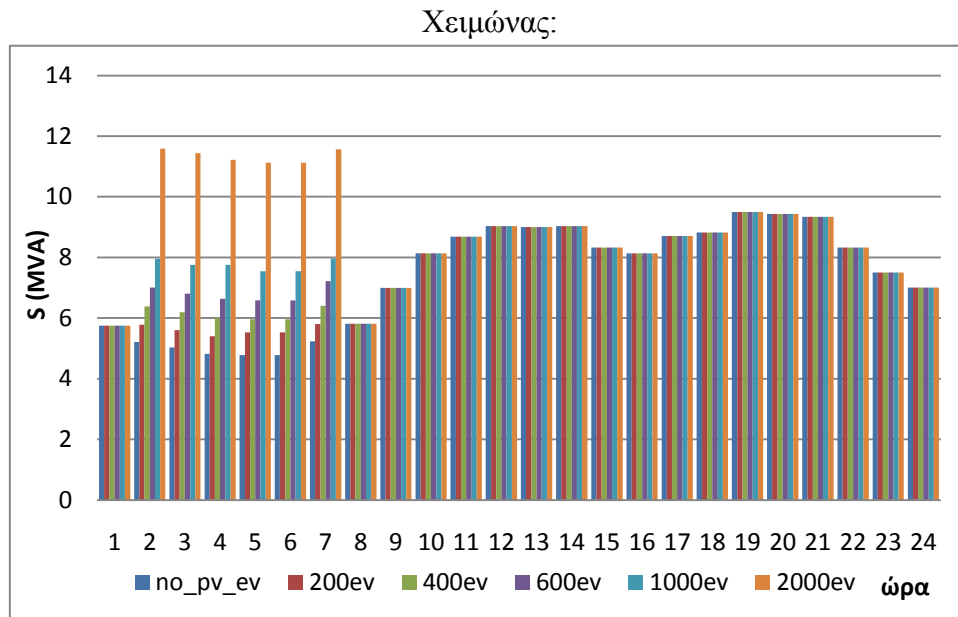


Καλοκαίρι:



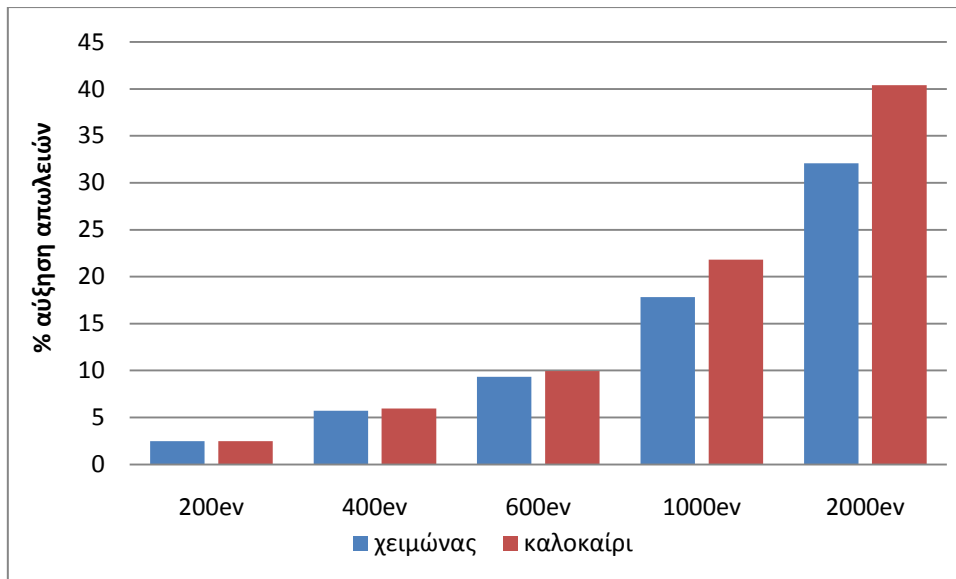
Διαγράμματα 44: Μεταβολή της φαινομένης ισχύος που διέρχεται από την πρώτη γραμμή του δικτύου κατά τη διάρκεια ενός χειμερινού κι ενός θερινού 24ώρου για βραδυνή φόρτιση οχημάτων (dumb charging)

Αντίστοιχα ισχύουν και για την ελεγχόμενη φόρτιση με την αιχμή της φαινομένης ισχύος να μετατοπίζεται μόνο για 2000 συνδεδεμένα οχήματα.

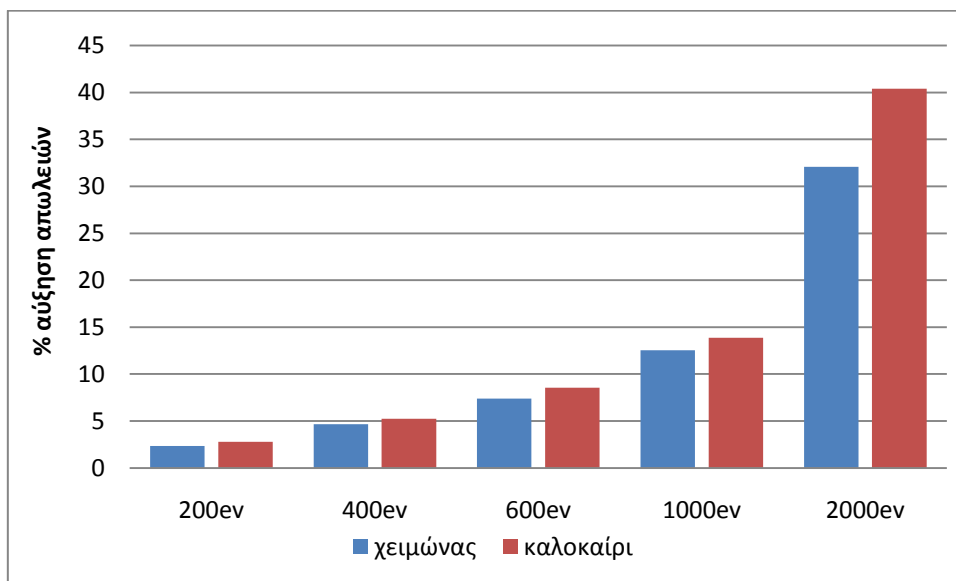


Διαγράμματα 45: Μεταβολή της φαινομένης ισχύος που διέρχεται από την πρώτη γραμμή του δικτύου κατά τη διάρκεια ενός χειμερινού κι ενός θερινού 24ώρου για βραδινή φόρτιση οχημάτων (smart charging)

Η μεταβολή των απωλειών ισχύος για κάθε διεύθυνση οχημάτων σε σχέση με το Σενάριο 1 (απουσία φωτοβολταϊκών και ηλεκτρικών οχημάτων) φαίνεται ακολούθως:



Διάγραμμα 46: Μεταβολή ενεργών απωλειών του δικτύου σε σχέση με το Σενάριο 1 για βραδινή φόρτιση οχημάτων (dumb charging)



Διάγραμμα 47: Μεταβολή ενεργών απωλειών του δικτύου σε σχέση με το Σενάριο 1 για βραδινή φόρτιση οχημάτων (smart charging)

Γενικά, οι απώλειες ενεργού ισχύος είναι μικρότερες στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης, εκτός ίσως από τα 2000 οχήματα, για τα οποία παρατηρείται μια ιδιαίτερα απότομη αύξηση των απωλειών και για τις δυο περιπτώσεις.

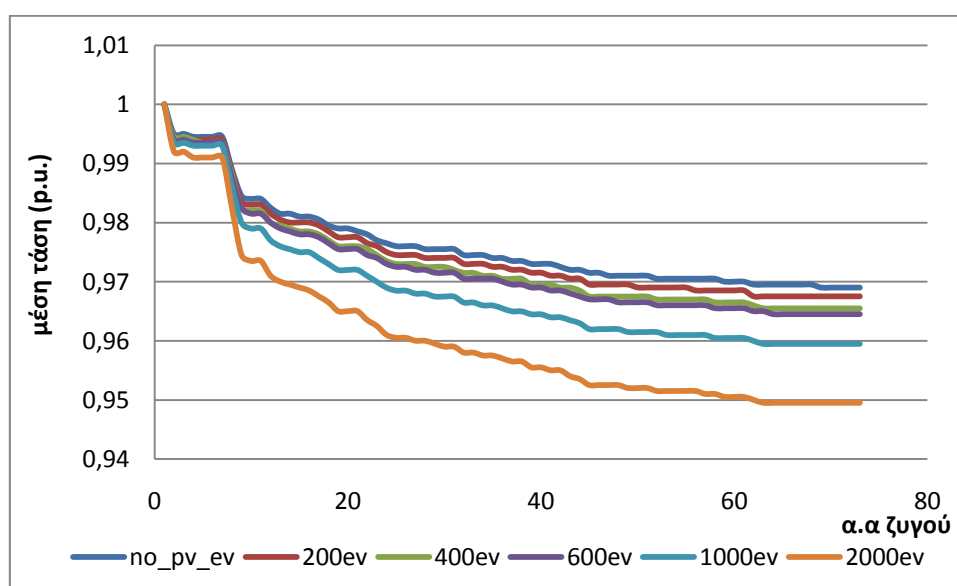
Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως η μεγαλύτερης διάρκειας ελεγχόμενη φόρτιση εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την ταχύτερη μη ελεγχόμενη ως προς τις τάσεις του δικτύου, την ισχύ που ρέει στις γραμμές και τις ενεργές απώλειες. Ειδικότερα, με βάση τις παραδοχές που έχουν γίνει σχετικά με τον τύπο των οχημάτων, τις kWh φόρτισης τους καθώς και το πλήθος των ωρών φόρτισης, η επιλογή της νυχτερινής φόρτισης επιτρέπει την ύπαρξη έως και 600

οχημάτων στο συγκεκριμένο δίκτυο αν η φόρτιση είναι μη ελεγχόμενη και έως και 1000 οχημάτων αν ελέγχονται τα kW φόρτισης ανά ώρα.

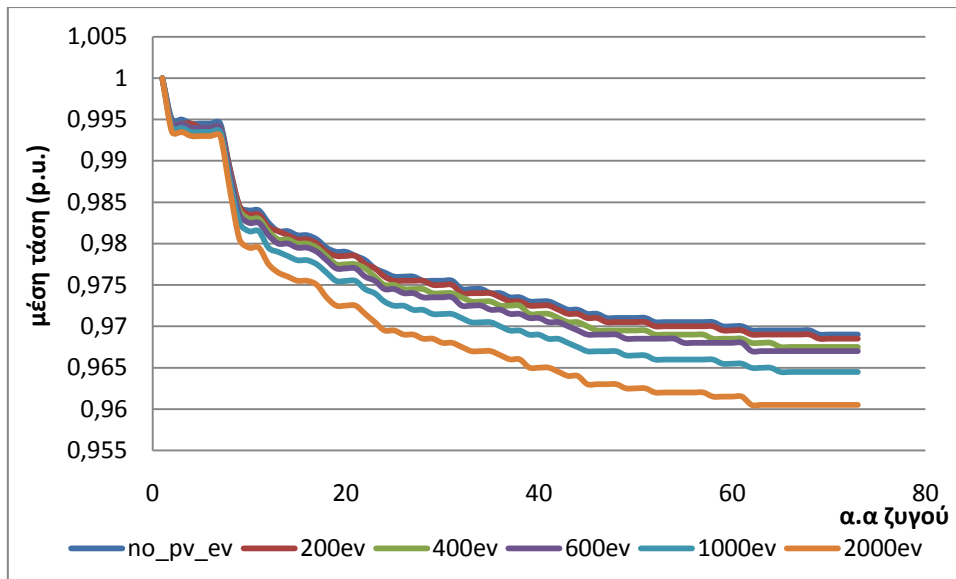
Γενικά πάντως, το βασικό πλεονέκτημα της νυχτερινής φόρτισης είναι η εξομάλυνση της ημερήσιας καμπύλης φορτίου (καθώς αυξάνεται το φορτίο κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης, ενώ δεν επηρεάζεται η αιχμή), πράγμα πολύ θετικό για ένα δίκτυο, και συνεπώς, μεταξύ άλλων, η δυνατότητα χρησιμοποίησης ηλεκτρικών οχημάτων χωρίς να δημιουργείται η ανάγκη κατασκευής νέων σταθμών παραγωγής ενέργειας. Και παρότι υπάρχει βέβαια ένα ανώτατο όριο στον αριθμό των οχημάτων που μπορούν να φορτίσουν ταυτόχρονα κατά τη διάρκεια της νύχτας, η ελεγχόμενη φόρτιση έχει σαν αποτέλεσμα το όριο αυτό να είναι αρκετά μεγάλο ώστε η υπέρβαση του να αποτελεί ένα σχεδόν απίθανο ενδεχόμενο, τουλάχιστον για το κοντινό μέλλον.

10.2.2 Φόρτιση κατά τη διάρκεια της ημέρας

Όπως και στην περίπτωση της βραδυής φόρτισης, έτσι κι εδώ, η μέση τάση σε κάθε κόμβο μειώνεται με την αύξηση των οχημάτων και στις δυο περιπτώσεις που εξετάζονται, χωρίς όμως να υπερβαίνονται τα επιτρεπτά όρια.

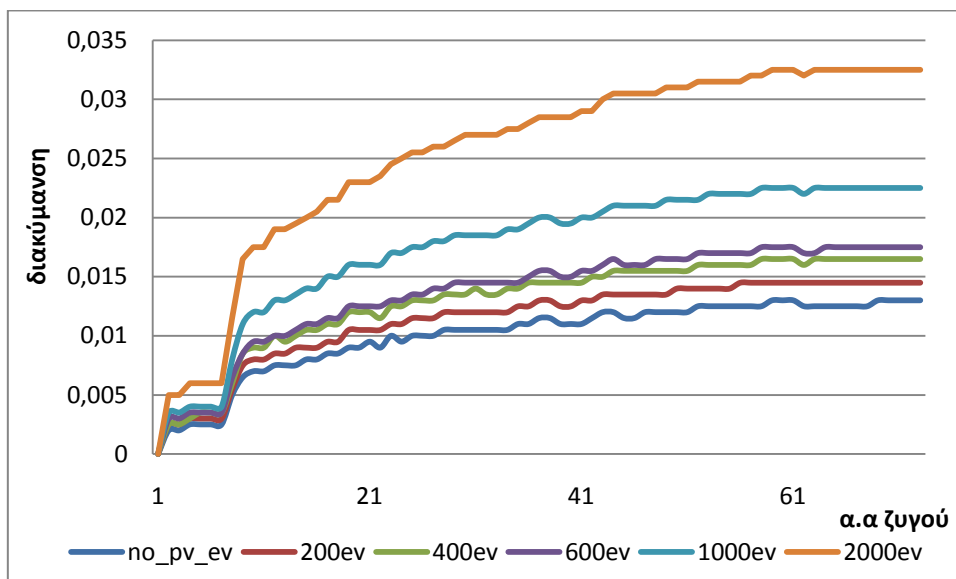


Διάγραμμα 48: Μεταβολή της μέσης τάσης των ζυγών του δικτύου για μεσημεριανή φόρτιση (dumb charging) 200 έως και 2000 οχημάτων

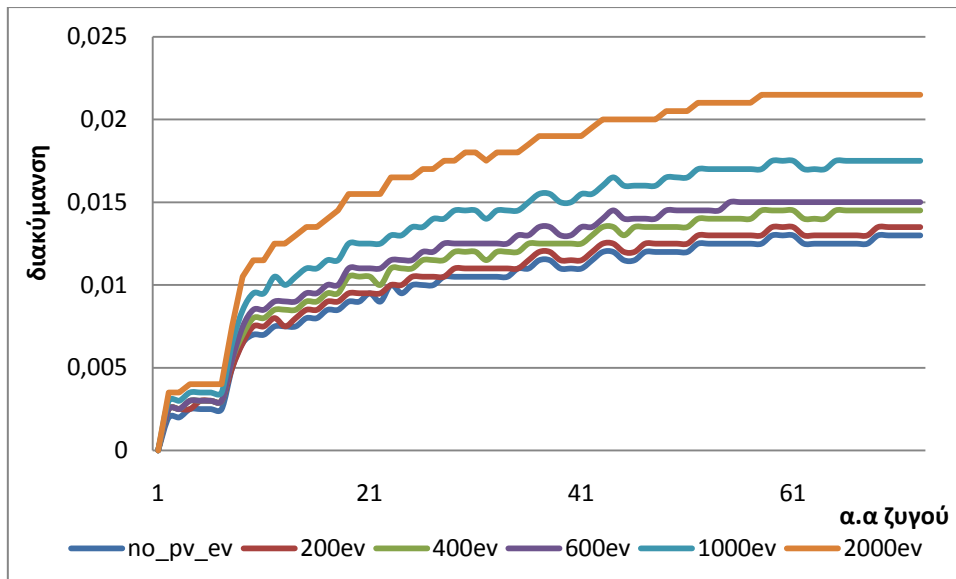


Διάγραμμα 49: Μεταβολή της μέσης τάσης των ζυγών του δικτύου για μεσημεριανή φόρτιση (smart charging) 200 έως και 2000 οχημάτων

Η διακύμανση της τάσης των ζυγών αυξάνεται με την αύξηση των οχημάτων που συνδέονται στο δίκτυο. Αυτό συμβαίνει διότι, καθώς τα οχήματα συμπεριφέρονται ως φορτία, η σύνδεση τους οδηγεί σε περαιτέρω μείωση της ελάχιστης τάσης, η οποία ούτως ή άλλως εμφανίζεται τις μεσημεριανές ώρες, προκαλώντας έτσι αύξηση της διακύμανσης.



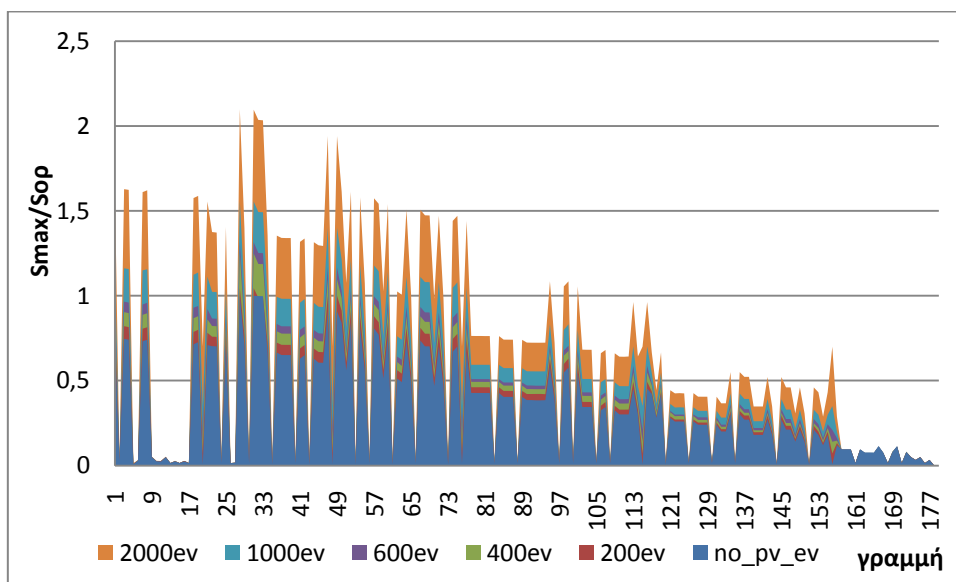
Διάγραμμα 50: Μεταβολή της διακύμανσης της τάσης των ζυγών του δικτύου για μεσημεριανή φόρτιση (dumb charging) 200 έως και 2000 οχημάτων



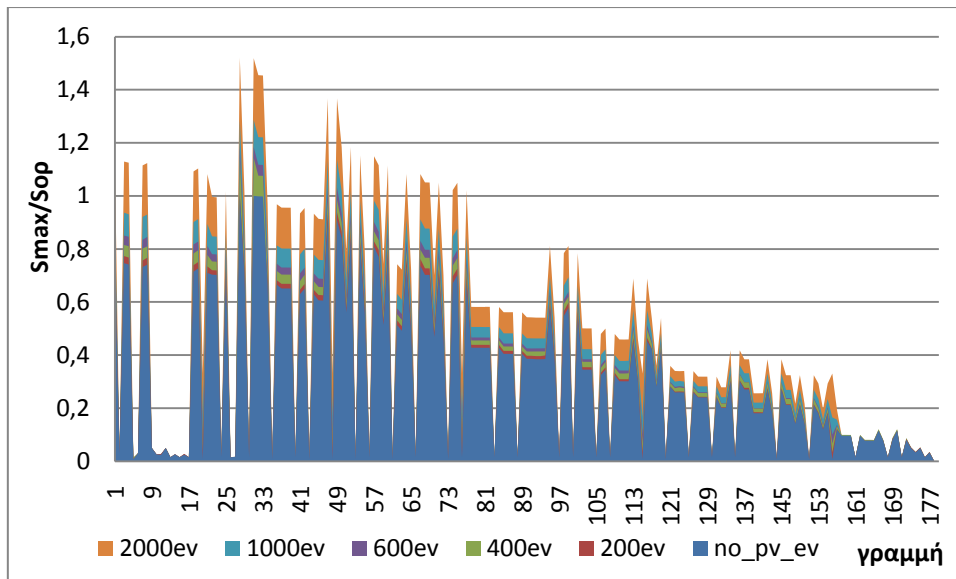
Διάγραμμα 51: Μεταβολή της διακύμανσης της τάσης των ζυγών του δικτύου για μεσημεριανή φόρτιση (smart charging) 200 έως και 2000 οχημάτων

Και πάλι, για τον ίδιο αριθμό οχημάτων παρατηρούνται βελτιωμένες τάσεις στην περίπτωση της ελεγχόμενης φόρτισης. Μάλιστα, για τη μη ελεγχόμενη φόρτιση η διακύμανση της τάσης των ζυγών υπερβαίνει το όριο του 3% για 2000 οχήματα.

Σχετικά με τη φόρτιση των γραμμών του δικτύου παρατηρείται αύξηση όσο αυξάνονται τα οχήματα που συνδεόνται σε αυτό.



Διάγραμμα 52: Φόρτιση γραμμών δικτύου (λόγος της μέγιστης εμφανιζόμενης ισχύος δια το θερμικό όριο ισχύος για την κάθε γραμμή) για μεσημεριανή φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων (dumb charging)

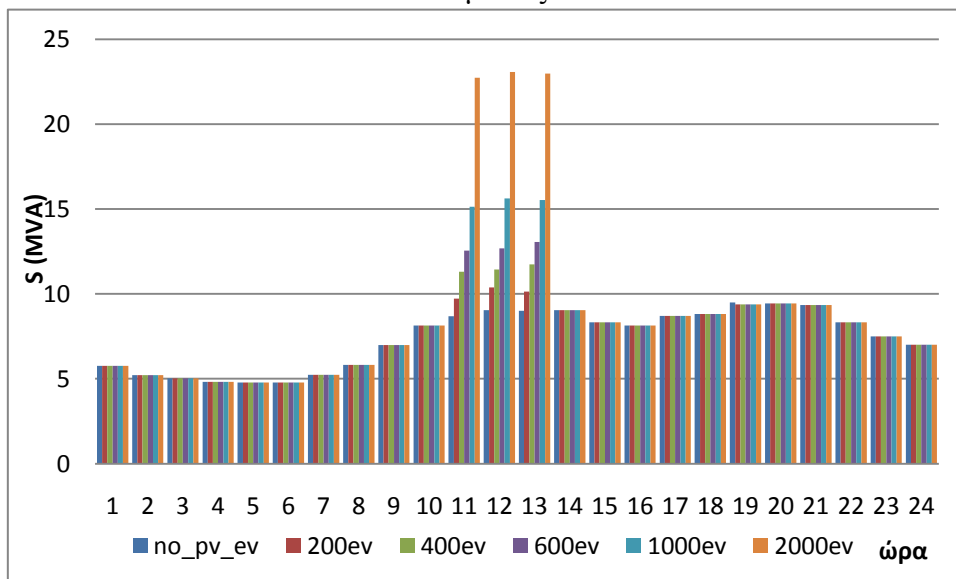


Διάγραμμα 53: Φόρτιση γραμμών δικτύου (λόγος της μέγιστης εμφανιζόμενης ισχύος δια το θερμικό όριο ισχύος για την κάθε γραμμή) για μεσημεριανή φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων (smart charging)

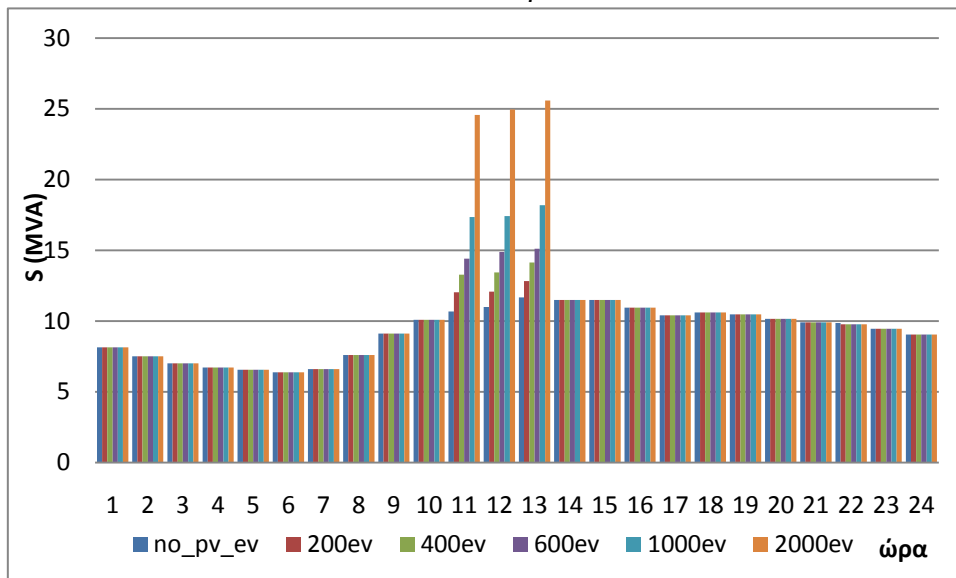
Συνεπώς, για την περίπτωση της ταχείας φόρτισης η σύνδεση στο δίκτυο 200 οχημάτων και πάνω κατά τις μεσημεριανές ώρες έχει σαν αποτέλεσμα την υπέρβαση του θερμικού ορίου ισχύος σε ορισμένες από τις γραμμές του, ενώ για έξυπνη φόρτιση πρόβλημα δημιουργείται κατά τη φόρτιση 400 οχημάτων και πάνω.

Στα επόμενα σχήματα φαίνεται η μεταβολή της ροής ισχύος στην πρώτη γραμμή του δικτύου (MV-N1) κατά τη διάρκεια της ημέρας:

Χειμώνας:

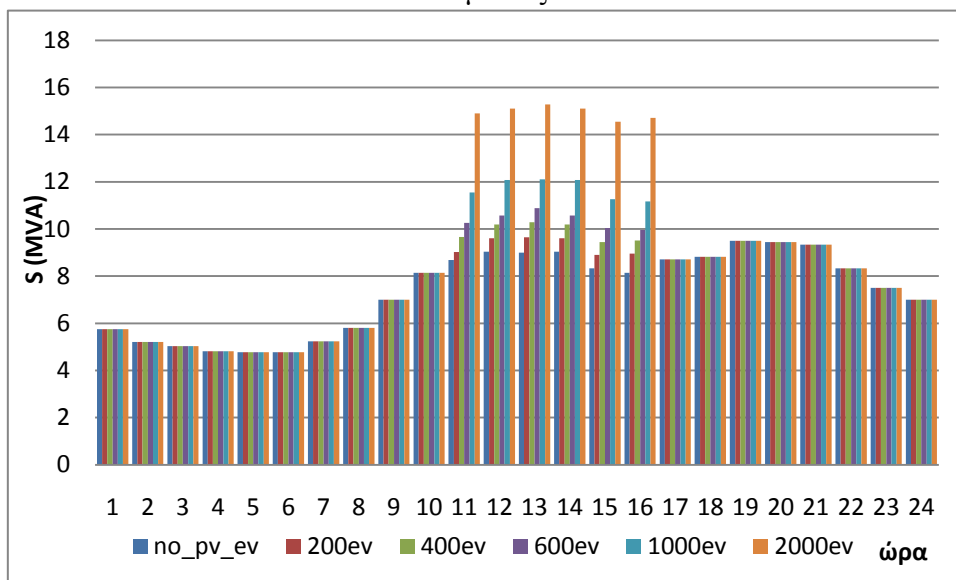


Καλοκαίρι:

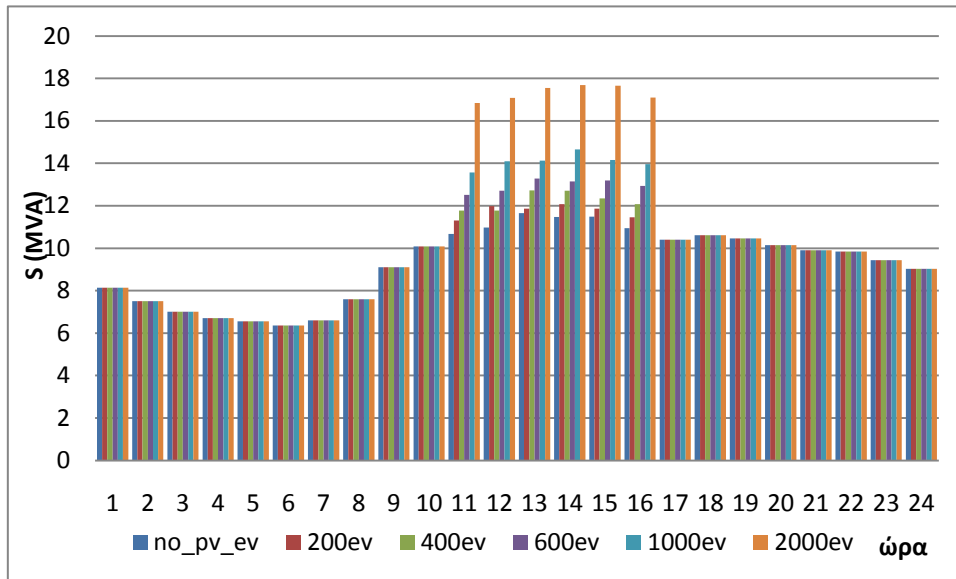


Διαγράμματα 54: Μεταβολή της φαινομένης ισχύος που διέρχεται από την πρώτη γραμμή του δικτύου κατά τη διάρκεια ενός χειμερινού κι ενός θερινού 24ώρου για μεσημεριανή φόρτιση οχημάτων (dumb charging)

Χειμώνας:



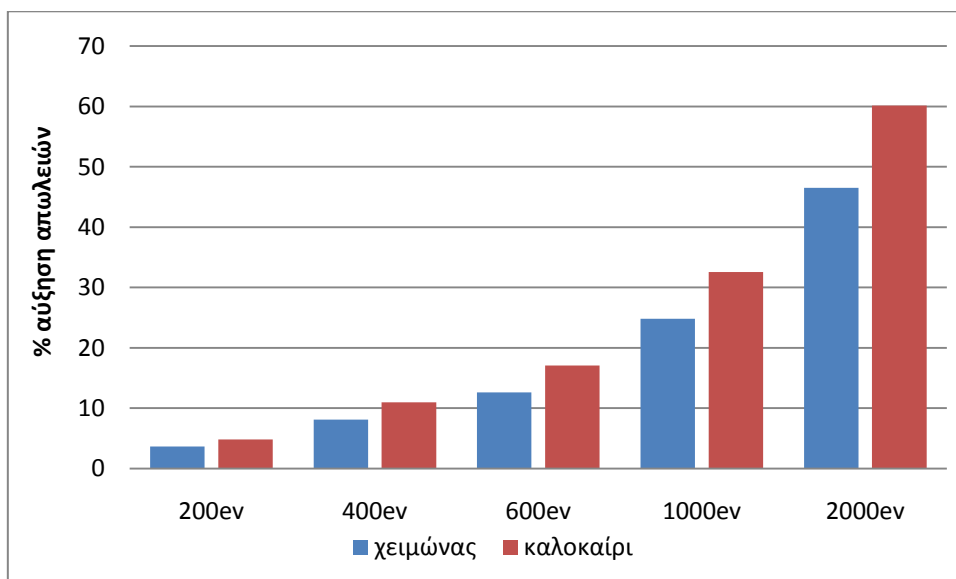
Καλοκαίρι:



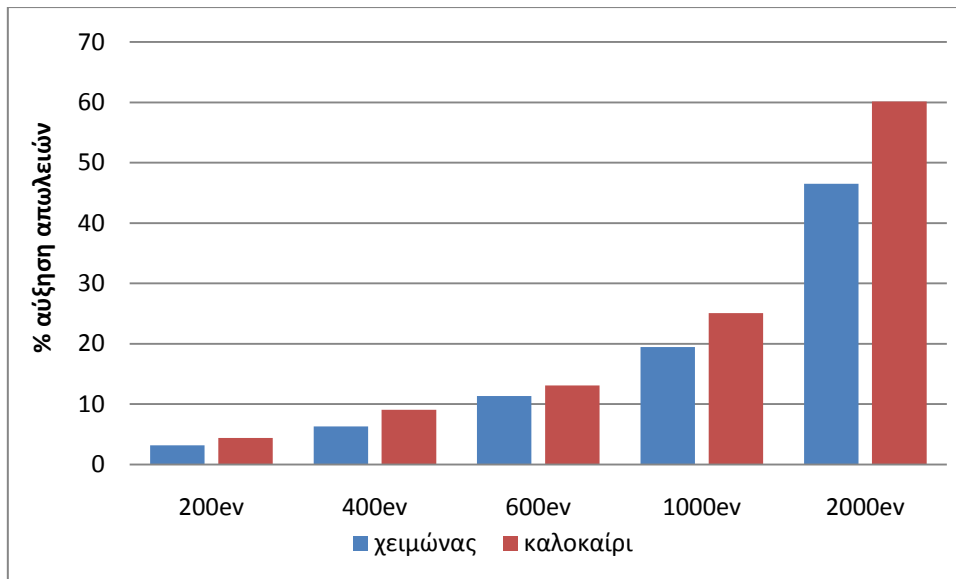
Διαγράμματα 55: Μεταβολή της φαινομένης ισχύος που διέρχεται από την πρώτη γραμμή του δικτύου κατά τη διάρκεια ενός χειμερινού κι ενός θερινού 24ώρου για μεσημεριανή φόρτιση οχημάτων (smart charging)

Όπως ήταν αναμενόμενο η αυξημένη ροή ισχύος στη γραμμή εμφανίζεται κατά τις ώρες φόρτισης των οχημάτων δηλαδή από τις 11π.μ. μέχρι τη 1μ.μ. για τη μη ελεγχόμενη φόρτιση και από τις 11μ.μ. μέχρι τις 4μ.μ. για την ελεγχόμενη.

Σχετικά με τις απώλειες ενεργού ισχύος, κι αυτές αυξάνονται με την αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων:



Διάγραμμα 56: Μεταβολή ενεργών απωλειών του δικτύου σε σχέση με το Σενάριο 1 για μεσημεριανή φόρτιση οχημάτων (dumb charging)

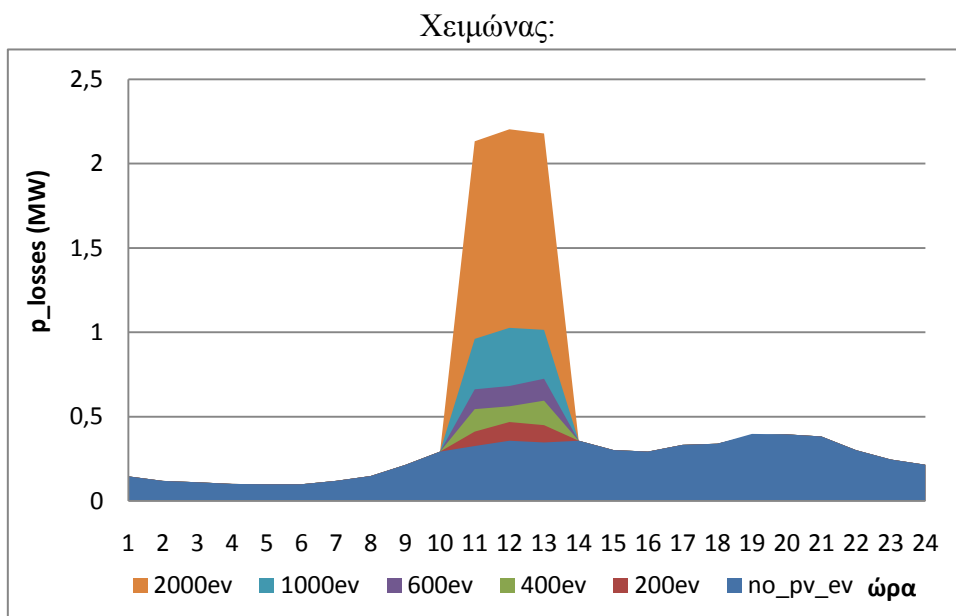


Διάγραμμα 57: Μεταβολή ενεργών απωλειών του δικτύου σε σχέση με το Σενάριο 1 για μεσημεριανή φόρτιση οχημάτων (smart charging)

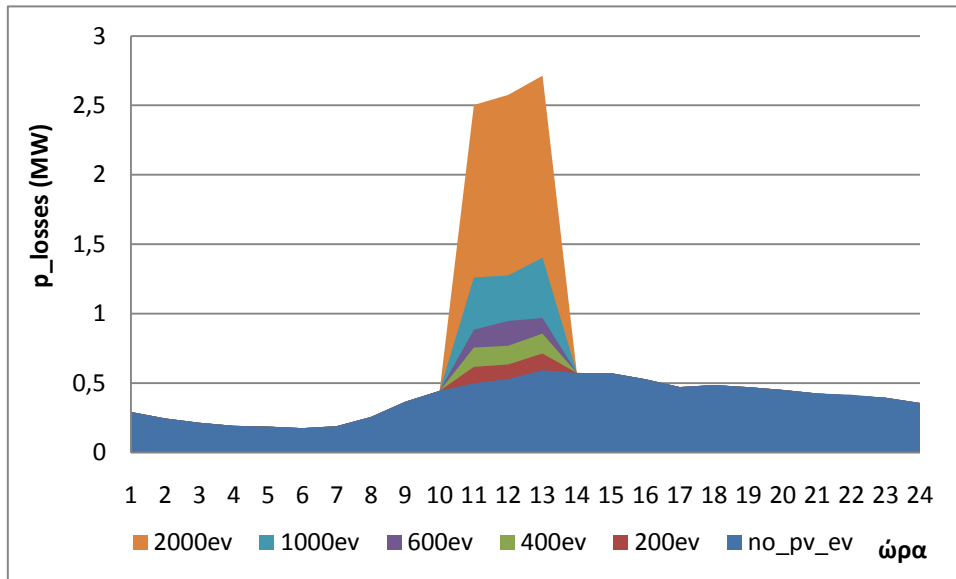
Η ελεγχόμενη φόρτιση εμφανίζει μικρότερες απώλειες στις γραμμές του δικτύου.

Επίσης, μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι κατά τις μεσημεριανές ώρες η φόρτιση του ίδιου αριθμού οχημάτων προκαλεί περισσότερες απώλειες σε σχέση με τη φόρτιση τους κατά τις βράδυνές ώρες.

Η αναλυτική κατανομή των απωλειών μέσα στο 24ωρο για το σύνολο των γραμμών φαίνεται στη συνέχεια:

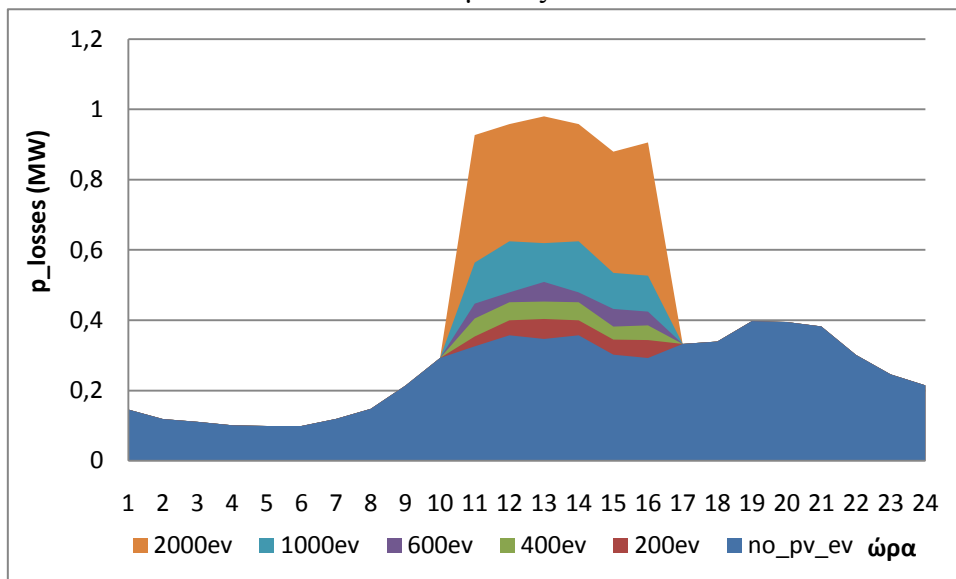


Καλοκαίρι:

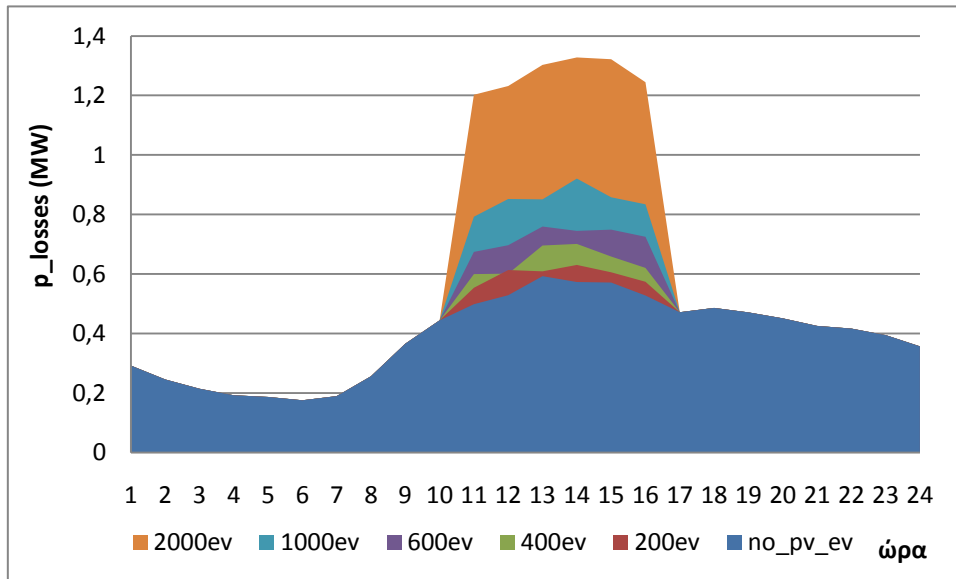


Διαγράμματα 58: Μεταβολή των απωλειών ενεργού ισχύος των γραμμών του δικτύου κατά τη διάρκεια ενός χειμερινού κι ενός θερινού 24ώρου για μεσημεριανή φόρτιση οχημάτων (dumb charging)

Χειμώνας:



Καλοκαίρι:



Διαγράμματα 48: Μεταβολή των απωλειών ενεργού ισχύος των γραμμών του δικτύου κατά τη διάρκεια ενός χειμερινού κι ενός θερινού 24ώρου για μεσημεριανή φόρτιση οχημάτων (smart charging)

Προφανώς, τις ώρες φόρτισης των οχημάτων παρατηρείται και η αύξηση των απωλειών ισχύος.

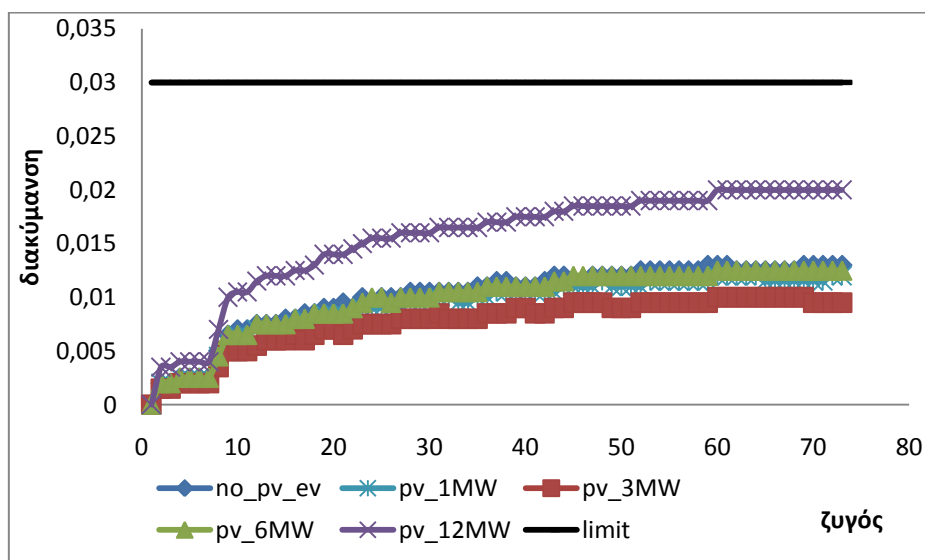
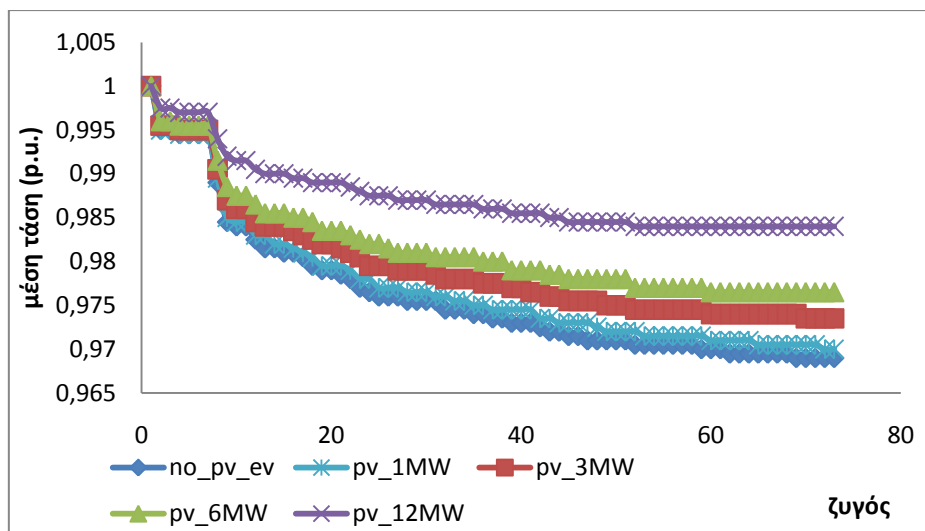
Συμπερασματικά, η ελεγχόμενη φόρτιση παρουσιάζει πλεονεκτήματα για ένα δίκτυο σε σχέση με τη μη ελεγχόμενη, καθώς επίσης και η βραδυνή σε σχέση με τη μεσημεριανή. Όπως αποδείχθηκε, τα οχήματα που μπορούν να φορτίσουν ταυτόχρονα κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι περισσότερα σε σχέση με αυτά που μπορούν να φορτίσουν ταυτόχρονα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό οφείλεται στο ότι οι νυχτερινές ώρες εμφανίζουν χαμηλή ζήτηση, κι έτσι υπάρχει περιθώριο αύξησης του φορτίου σε αυτές. Αν μάλιστα η φόρτιση ελέγχεται ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου ο αριθμός των οχημάτων που είναι δυνατόν να συνδεθούν ταυτόχρονα στο δίκτυο γίνεται ακόμα μεγαλύτερος. Οι τάσεις είναι βελτιωμένες, το ίδιο και η μέγιστη φαινομένη ισχύος του δικτύου, αλλά και οι απώλειες ενεργού ισχύος. Ωστόσο, η ύπαρξη διεσπαρμένης παραγωγής και ειδικότερα φωτοβολταϊκών στο δίκτυο θα μπορούσε να αλλάξει τα δεδομένα.

Στη συνέχεια εξετάζεται η επίδραση που έχει η σύνδεση φωτοβολταϊκών στο μέγιστο αριθμό οχημάτων που μπορούν να φορτίσουν κατά τις μεσημεριανές ώρες, στη ροή ισχύος στις γραμμές και τις απώλειες ισχύος μέσα στην ημέρα, μόνο για την περίπτωση ελεγχόμενης φόρτισης. Πρέπει να σημειωθεί πως η λειτουργία των φωτοβολταϊκών είναι ανεξάρτητη από τη νυχτερινή φόρτιση των οχημάτων γι'αυτό και δεν εξετάζεται ο συνδυασμός αυτός.

10.2.3 Σύνδεση φωτοβολταϊκών

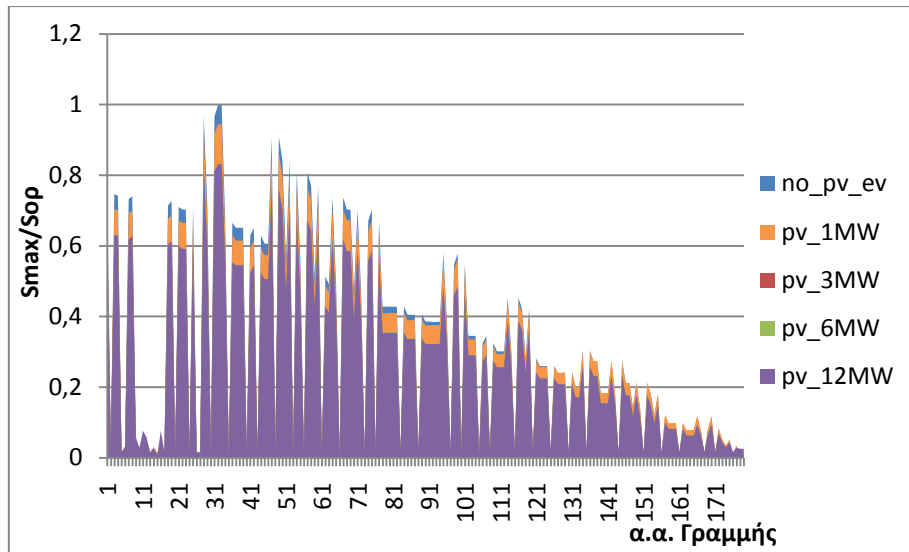
Αρχικά, φαίνεται η μεταβολή των μεγεθών του δικτύου με την αύξηση της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών, χωρίς τη σύνδεση ηλεκτρικών οχημάτων:

Παρατηρείται αύξηση της μέσης τάσης των ζυγών καθώς αυξάνονται τα φωτοβολταϊκά στο δίκτυο. Από την άλλη, η διακύμανση της τάσης αρχικά μειώνεται αλλά από ορισμένη διείσδυση φωτοβολταϊκών και μετά αυξάνεται.



Διαγράμματα 49: Μεταβολή μέσης τιμής και διακύμανσης της τάσης των ζυγών του δικτύου για σύνδεση φωτοβολταϊκών 1MW έως 12MW

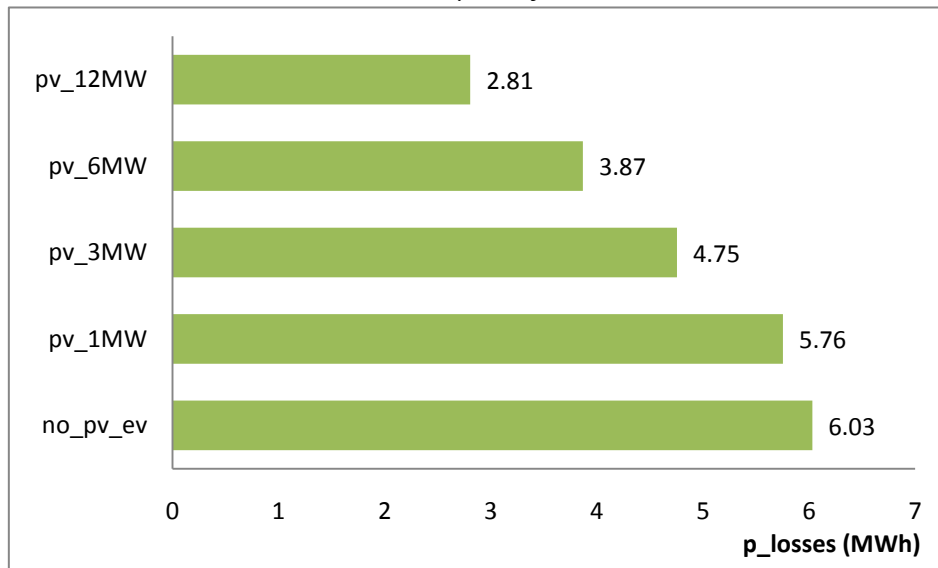
Η φόρτιση των γραμμών μειώνεται με την αύξηση των φωτοβολταϊκών:



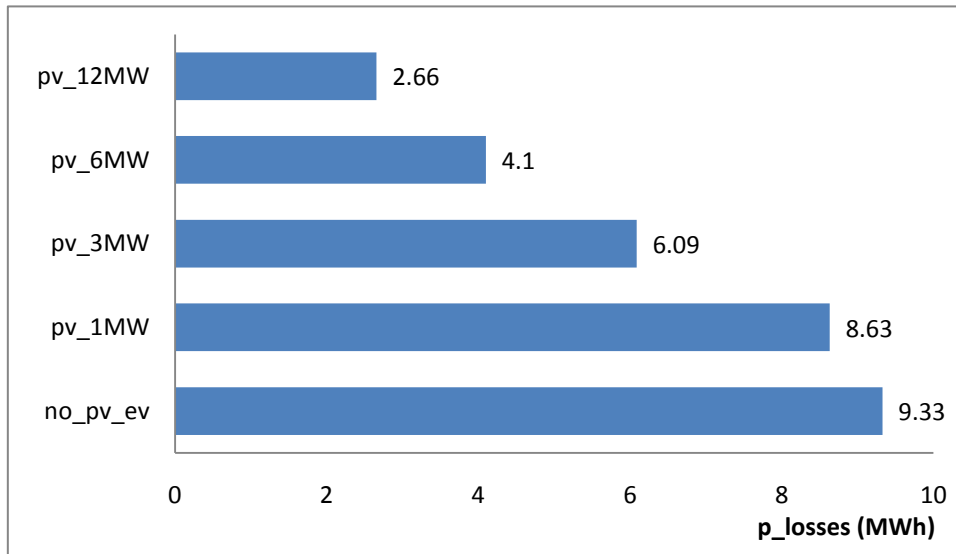
Διάγραμμα 50: Φόρτιση των γραμμών του δικτύου για σύνδεση φωτοβολταϊκών σε αυτό

Οι απώλειες ενεργού ισχύος επίσης μειώνονται:

Χειμώνας:



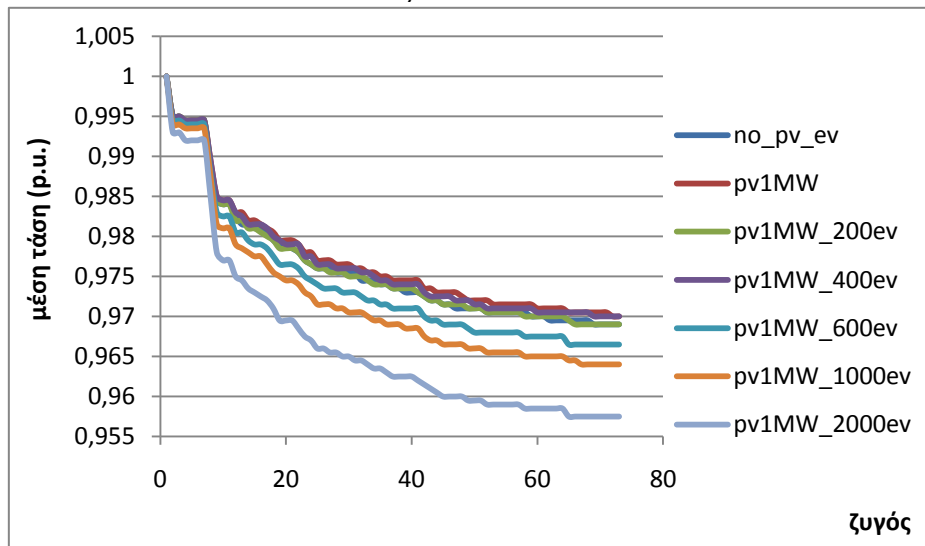
Καλοκαίρι:



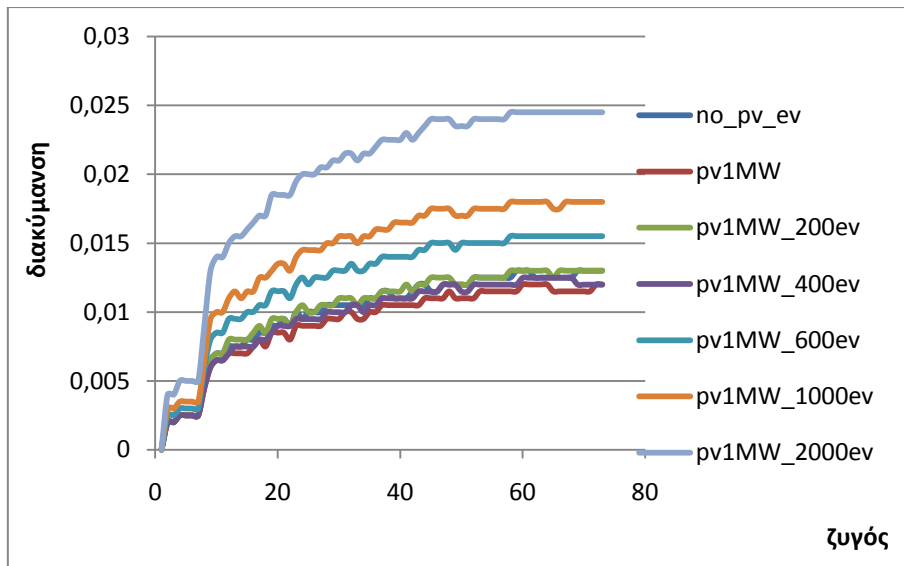
Διαγράμματα 51: Μεταβολή απωλειών ενεργού ισχύος για μια χειμερινή και μια θερινή ημέρα για κάθε εξεταζόμενη διεύθυνση φωτοβολταϊκών

Η μεσημεριανή φόρτιση των οχημάτων σε περίπτωση που στο δίκτυο υπάρχουν φωτοβολταϊκά δίνει τα εξής αποτελέσματα:

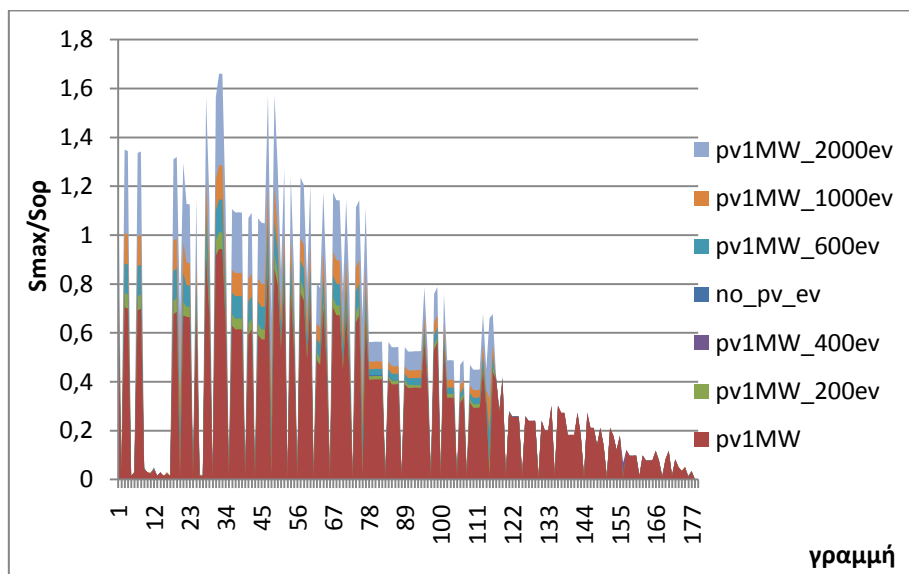
Φωτοβολταϊκά 1MW



Διάγραμμα 52: Μεταβολή της μέσης τάσης των ζυγών του δικτύου για σύνδεση φωτοβολταϊκών 1MW και οχημάτων



Διάγραμμα 53: Μεταβολή της διακύμανσης των ζυγών του δικτύου για σύνδεση φωτοβολταϊκών 1MW και οχημάτων

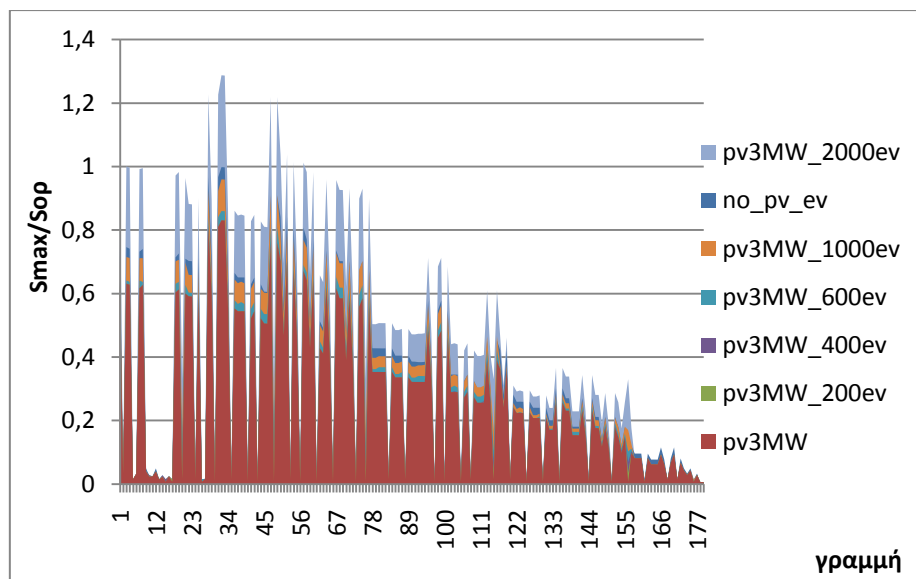


Διάγραμμα 54: Φόρτιση των γραμμών του δικτύου για σύνδεση φωτοβολταϊκών σε αυτό

Παρατηρείται ότι παρότι το εξεταζόμενο δίκτυο δεν μπορεί να υποστηρίξει την ταυτόχρονη φόρτιση 400 οχημάτων κατά τις μεσημεριανές ώρες λόγω της υψηλής φόρτισης των γραμμών, η ύπαρξη 1MW φωτοβολταϊκών κάνει δυνατό το παραπάνω ενδεχόμενο.

Για μεγαλύτερη διείσδυση φωτοβολταϊκών ισχύει:

Φωτοβολταϊκά 3MW

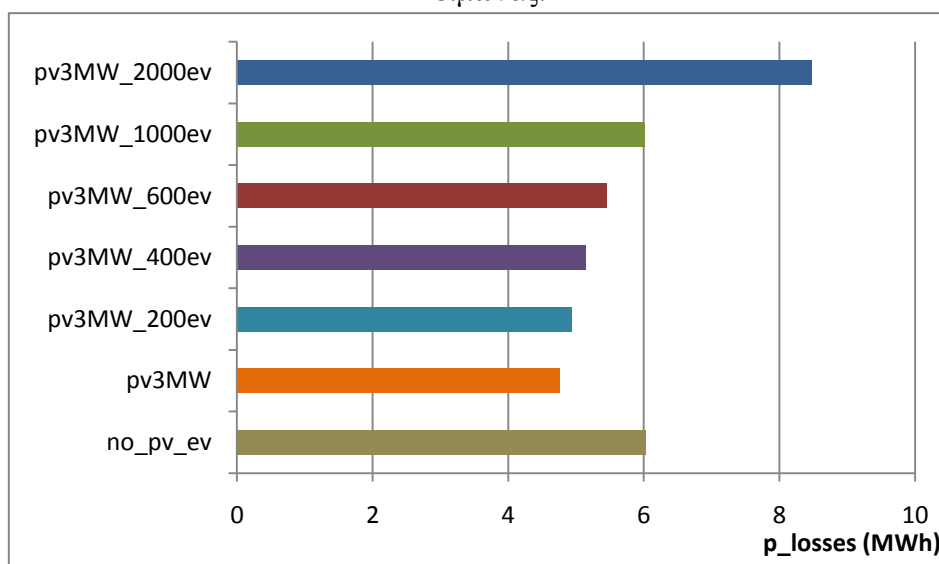


Διάγραμμα 55: Φόρτιση των γραμμών του δικτύου για σύνδεση 3MW φωτοβολταϊκών και οχημάτων

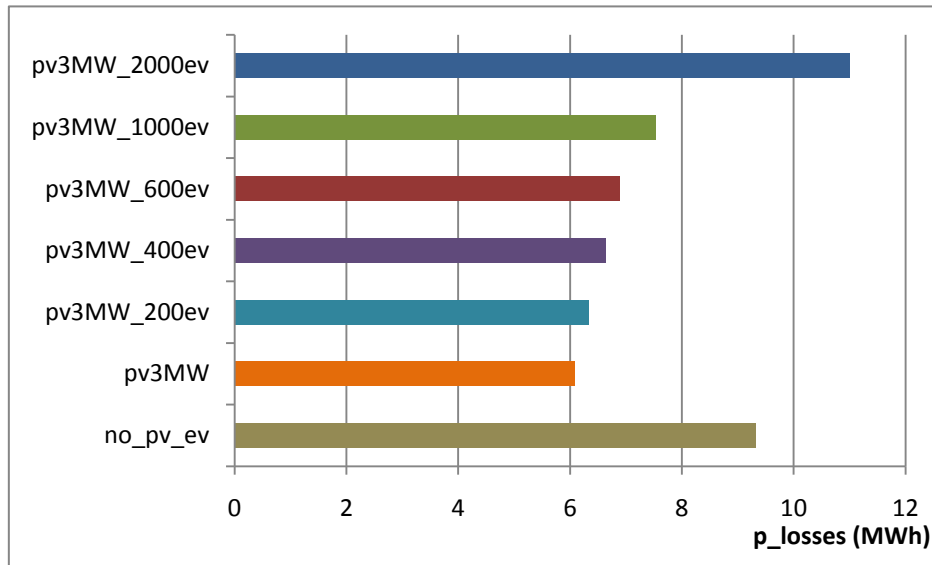
Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα σύνδεση 3MW φωτοβολταϊκών στο δίκτυο επιτρέπει την ταυτόχρονη φόρτιση έως και 1000 οχημάτων κατά τις μεσημεριανές ώρες.

Οι απώλειες ενεργού ισχύος μεταβάλλονται ως εξής:

Χειμώνας:



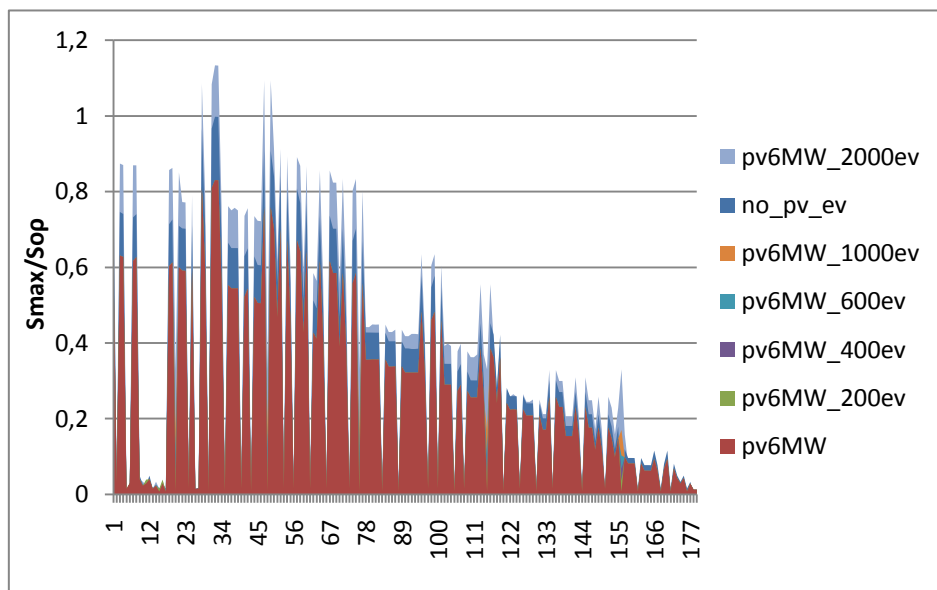
Καλοκαίρι:



Διαγράμματα 56: Μεταβολή απωλειών ενεργού ισχύος για μια χειμερινή και μια θερινή ημέρα για σύνδεση 3MW φωτοβολταϊκών και οχημάτων

Προφανώς με την αύξηση των οχημάτων στο δίκτυο αυξάνονται και οι απώλειες ισχύος. Ωστόσο, για 3MW φωτοβολταϊκών οι απώλειες παραμένουν μικρότερες από το βασικό σενάριο (Σενάριο 1) για κάθε διείσδυση οχημάτων, εκτός των 2000 οχημάτων.

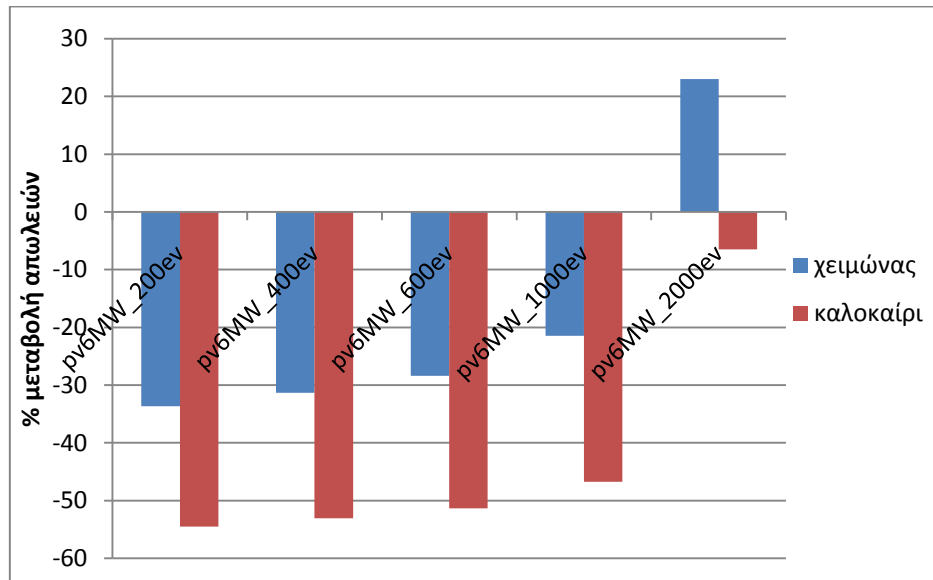
Φωτοβολταϊκά 6MW



Διάγραμμα 57: Φόρτιση των γραμμών του δικτύου για σύνδεση 6MW φωτοβολταϊκών και οχημάτων

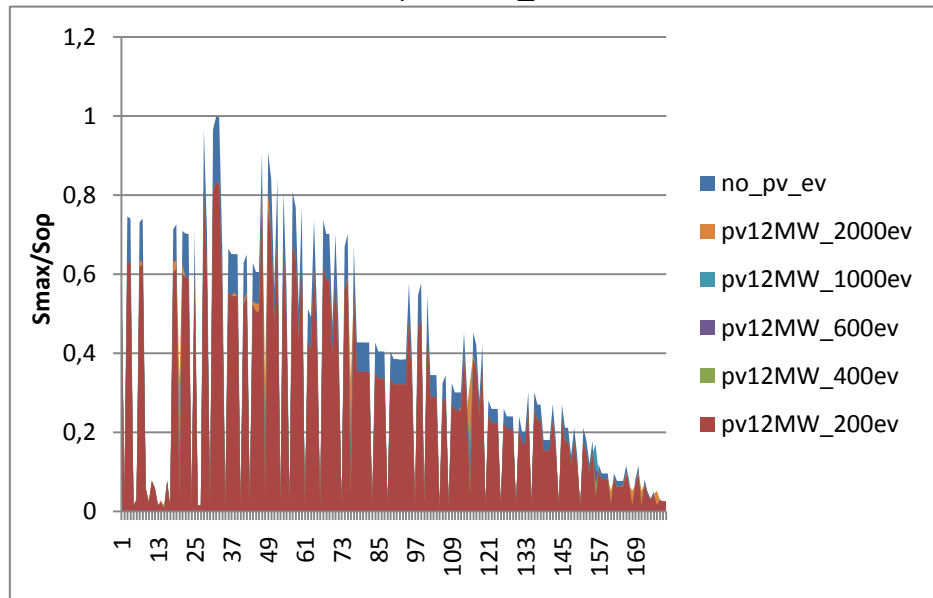
Για 6MW φωτοβολταϊκών στο δίκτυο είναι δυνατή η μεσημεριανή φόρτιση εως και 1000 οχημάτων, όπως και στην περίπτωση των 3MW, ενώ τα 2000 οχήματα εξακολουθούν να προκαλούν υπερφόρτιση στις γραμμές διανομής.

Οι απώλειες ενεργού ισχύος στο δίκτυο αυξάνονται με την αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων, αλλά παραμένουν μικρότερες από αυτές του Σεναρίου 1 σε κάθε περίπτωση, εκτός των 2000 οχημάτων (μόνο για το χειμώνα).



Διάγραμμα 58: Ποσοστιαία μεταβολή ενεργών απωλειών δικτύου σε σχέση με το Σενάριο 1 για μια χειμερινή και μια θερινή ημέρα για σύνδεση 6MW φωτοβολταϊκών και οχημάτων

Φωτοβολταϊκά 12MW



Διάγραμμα 59: Φόρτιση των γραμμών του δικτύου για σύνδεση 6MW φωτοβολταϊκών και οχημάτων

Για 12MW φωτοβολταϊκά, και τα 2000 οχήματα είναι δυνατόν να φορτίσουν ταυτόχρονα το μεσημέρι χωρίς να προκληθεί κανένα πρόβλημα στο δίκτυο.

Συμπεραίνεται επομένως πως τα φωτοβολταϊκά μπορούν να συμβάλουν στην αύξηση της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων σε ένα δίκτυο διανομής, όπως αντίστροφα και τα οχήματα είναι δυνατόν να επιτρέψουν την αύξηση της διείσδυσης των φωτοβολταϊκών (Εφαρμογή 1). Βασικό στοιχείο είναι να υπάρξει συνεργασία μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των ηλεκτρικών οχημάτων του δικτύου, ώστε να ωφεληθεί η επικράτηση και των δυο (π.χ. επιλογή κατάλληλου είδους ΑΠΕ για την κάθε περιοχή και κυρίως ρύθμιση των ωρών φόρτισης/εκφόρτισης των οχημάτων με τη χρήση κατάλληλων πολιτικών).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

11.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν οι επιπτώσεις της σύνδεσης ηλεκτρικών οχημάτων στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, εξετάζοντας τη μεταβολή χαρακτηριστικών μεγεθών όπως οι τάσεις των ζυγών, η ροή ισχύος στις γραμμές των δικτύων και οι απώλειες ισχύος. Για την πραγματοποίηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δυο γραμμές διανομής με πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά: μια αγροτική γραμμή διανομής, μέρος ενός νησιωτικού δικτύου και μια αστική γραμμή, μέρος του διασυνδεδεμένου συστήματος.

Ως μια πρώτη εφαρμογή, υπολογίστηκε η μέγιστη επιτρεπτή διείσδυση αιολικών στην αγροτική γραμμή διανομής και φωτοβολταϊκών στην αστική γραμμή, προκειμένου να τηρούνται τα όρια των τάσεων των ζυγών και της φόρτισης των γραμμών. Για την εκτέλεση των ροών φορτίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό EUROSTAG. Στη συνέχεια, συνδέθηκαν ηλεκτρικά οχήματα στις γραμμές τα οποία επιλέχθηκε να φορτίζουν τις ώρες κατά τις οποίες παρατηρείται μεγάλη παραγωγή ανανεώσιμων πηγών και να εκφορτίζουν τις ώρες κατά τις οποίες η παραγωγή είναι μικρή (λειτουργία V2G), έτσι ώστε να λειτουργούν ως μονάδες αποθήκευσης της πλεονάζουσας κάθε φορά ενέργειας. Μάλιστα, επιλέχθηκε η πραγματοποίηση “έξυπνης φόρτισης”, σύμφωνα με την οποία τα kW φόρτισης των οχημάτων ανά ώρα δεν είναι σταθερά, αλλά μεταβάλλονται ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου. Ως αποτέλεσμα, αποδείχθηκε ότι τα οχήματα πράγματι μπορούν να επιτρέψουν την αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε ένα δίκτυο διανομής αρκεί να ρυθμίζονται κατάλληλα οι ώρες φόρτισης κι εκφόρτισής τους. Ειδικότερα στην περίπτωση της αστικής γραμμής διανομής, στην οποία όπως αναφέρθηκε συνδέονται φωτοβολταϊκά βρέθηκε πως η βέλτιστη πολιτική φόρτισης/εκφόρτισης

των οχημάτων είναι η φόρτισή τους κατά τις μεσημεριανές ώρες οπότε και παρατηρείται η αιχμή της παραγωγής των φωτοβολταϊκών και η εκφόρτισή τους κατά τις απογευματινές ώρες, οπότε και παρατηρείται η αιχμή της ζήτησης. Αντίθετα, στην περίπτωση του αγροτικού δικτύου στι οποίο συνδέονται αιολικά τα πράγματα είναι πιο περίπλοκα λόγω της στοχαστικής φύσης της αιολικής παραγωγής. Ωστόσο, κατά κύριο λόγο οι ώρες που προσφέρονται για φόρτιση των οχημάτων είναι οι πρώτες πρωινές ώρες, και ειδικότερα οι ώρες 1π.μ. έως 6π.μ., ενώ οι ώρες που προσφέρονται για εκφόρτιση είναι οι απογευματινές-βραδυνές ώρες και κυρίως οι 6μ.μ. έως 9μ.μ. Σχετικά με τη μεταβολή των χαρακτηριστικών μεγεθών των γραμμών διανομής, λόγω των οχημάτων προκλήθηκε μείωση της ετήσιας διακύμανσης της τάσης των ζυγών, μείωση της ροής ισχύος που ανταλλάσσουν οι γραμμές με το υπόλοιπο δίκτυο και μείωση της φόρτισης των γραμμών γενικότερα, καθώς επίσης και μείωση των συνολικών απωλειών ενεργού ισχύος.

Στη συνέχεια, για το αστικό δίκτυο υπολογίστηκε η επίδραση που έχει η αυξανόμενη διείσδυση οχημάτων σε αυτό για δυο ακραίες περιπτώσεις φόρτισης: οικιακή φόρτιση κατά τη διάρκεια της νύχτας (ώρες νυχτερινού τιμολογίου) και φόρτιση σε χώρους στάθμευσης κατά τη διάρκεια της ημέρας (ώρες εργασίας). Μελετήθηκε η περίπτωση ελεγχόμενης αλλά και μη ελεγχόμενης φόρτισης. Στην ελεγχόμενη φόρτιση υπήρξε έλεγχος των kW φόρτισης με βάση το φορτίο του δικτύου την κάθε ώρα, όπως και στην Εφαρμογή 1, ενώ στη μη ελεγχόμενη θεωρήθηκε σταθερή φόρτιση ανά ώρα ίση με 7kW, κι επομένως διάρκειας 3 ωρών. Αποδείχθηκε ότι και στις δυο περιπτώσεις παρατηρείται αύξηση της ετήσιας διακύμανσης των τάσεων των ζυγών του δικτύου, αύξηση της ροής ισχύος στις γραμμές κατά τις ώρες φόρτισης και αύξηση των απωλειών. Στην περίπτωση της βραδυνης μη ελεγχόμενης φόρτισης, παρά την αύξησή τους τα παραπάνω μεγέθη ξεπερνούν τα επιτρεπτά όρια μόνο όταν τα οχήματα που φορτίζουν ταυτόχρονα φτάνουν ή ξεπερνούν σε αριθμό τα 1000, ενώ στην περίπτωση της βραδυνης ελεγχόμενης φόρτισης ο αριθμός αυτός είναι 2000 οχήματα. Αντίθετα, για τη μεσημεριανή φόρτιση το μέγιστο πλήθος των οχημάτων που μπορούν να συνδεθούν την ίδια στιγμή στο δίκτυο και να φορτίσουν από αυτό είναι λιγότερα από 200 οχήματα για τη μη ελεγχόμενη φόρτιση και 200 για την ελεγχόμενη. Συνεπώς, είναι εμφανής η υπεροχή της βραδυνης φόρτισης των οχημάτων σε σχέση με τη μεσημεριανή, αλλά και η υπεροχή της ελεγχόμενης φόρτισης (smart charging) σε σχέση με τη μη ελεγχόμενη (dumb charging). Η παρουσία, παρολαυτά, φωτοβολταϊκών στο δίκτυο αλλάζει τα δεδομένα, καθώς σύνδεση 1MW φωτοβολταϊκών επιτρέπει τη μεσημεριανή ελεγχόμενη φόρτιση εως και 400 οχημάτων χωρίς να υπάρχει κανένα πρόβλημα, σύνδεση 3MW φωτοβολταϊκών επιτρέπει την ελεγχόμενη φόρτιση έως και 1000 οχημάτων, ενώ σύνδεση 12MW φωτοβολταϊκών εως και 2000 οχημάτων.

Η σημασία των παραπάνω έγκειται στο γεγονός ότι αποδεικνύεται πως είναι δυνατόν τα ηλεκτρικά οχήματα να βοηθήσουν στην εξάπλωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, λειτουργώντας ως μονάδες αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται, αλλά κι αντίστροφα οι ανανεώσιμες πηγές να υποστηρίξουν την

εξάπλωση των ηλεκτρικών οχημάτων προσφέροντάς τους την ενέργεια που χρειάζονται για τη φόρτισή τους, χωρίς να απαιτείται η κατασκευή νέων σταθμών παραγωγής για την κάλυψη της πλεονάζουσας ζήτησης. Αρκεί να υπάρξει η κατάλληλη πολιτική φόρτισης των οχημάτων ώστε όχι μόνο να ενσωματωθούν στο δίκτυο χωρίς να το διαταράξουν αλλά και να προσφέρουν πολύτιμες υπηρεσίες σε αυτό.

11.2 Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Η παρουσία των ηλεκτρικών οχημάτων στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και η αλληλεπίδρασή τους με αυτά αποτελεί ένα νέο στοιχείο το οποίο αναμένεται να απασχολήσει ιδιαίτερα τη μελλοντική έρευνα. Η παρούσα διπλωματική αποτελεί μια πρώτη μελέτη των επιδράσεων της σύνδεσης των ηλεκτρικών οχημάτων στα δίκτυα διανομής, για τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, καθώς και του τρόπου με τον οποίο είναι δυνατόν τα οχήματα να οδηγήσουν στην αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτά.

Στη συγκεκριμένη εργασία εξετάστηκαν δυο δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, στο πρώτο εκ των οποίων συνδέθηκαν μόνο αιολικά, ενώ στο δεύτερο μόνο φωτοβολταϊκά. Μια επόμενη έρευνα θα μπορούσε να διευρύνει την ύπαρξη διεσπαρμένης παραγωγής προσθέτοντας κι άλλες μονάδες όπως για παράδειγμα κυψέλες καυσίμου ή παραγωγή από βιομάζα. Έτσι, θα άλλαζαν οι βέλτιστες ώρες για τη φόρτιση/εκφόρτιση των οχημάτων.

Επιπλέον, διαφορετικές, ενδεχομένως πιο “έξυπνες” μέθοδοι φόρτισης/εκφόρτισης των οχημάτων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν.

Παράλληλα, στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκε μόνο η μόνιμη κατάσταση λειτουργίας σε δυο γραμμές διανομής ηλεκτρισμού. Επόμενες ερευνητικές εργασίες θα μπορούσαν να επικεντρωθούν στη μελέτη δυναμικών φαινομένων για αυτόνομα συστήματα (π.χ απότομη απώλεια αιολικής παραγωγής). Το λογισμικό Eurostag αποτελεί την ιδανική λύση για τέτοιου είδους εφαρμογές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] 'Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue', W.Kempton, J.Tomic, University of Delaware, December 2004
- [2] 'Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy', W.Kempton, J.Tomic, University of Delaware, December 2004
- [3] 'Vehicle-to-grid power: Battery, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles as Resources for Distributed Electric Power in California', W.Kempton, J.Tomic, S.Letendre, A.Brooks, T.Lipman, June 2001
- [4] 'Impact of Electric Vehicles on Power Distribution Networks', Putrus G. A., Suwanapringkarl P., Johnston D., Bentley E. C., Narayana M., Northumbria University, 2009
- [5] 'Electric Vehicles with V2G storage for large-scale wind power', W.Kempton, A.Dhanju, University of Delaware, Windtech International 2006
- [6] 'Vehicle-to-Grid Demonstration Project, Grid Regulation Ancillary Service with a Battery Electric Vehicle, Final Report', Alec N. Brooks AC Propulsion, Inc., December 2002
- [7] 'Global Market Outlook for Photovoltaics until 2014', European Photovoltaic Industry Association
- [8] 'Τεχνικές προϋποθέσεις για τη σύνδεση παραγωγών στα δίκτυα διανομής', Σ.Παπαθανασίου, Γ.Τσιτίλος, Γ.Αντωνόπουλος, Δ.Σταυρόπουλος, ΔΕΗ Α.Ε., 2001
- [9] 'PV Status Report 2009', European Commission, DG Joint Research Centre, Institute for Energy, Renewable Energy Unit, August 2009
- [10] «Ηλεκτρική Οικονομία»
- [11] «Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας – Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας», Β.Κ. Παπαδιάς, 1985, Εκδόσεις ΕΜΠ
- [12] «Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας», Μ.Π. Παπαδόπουλος, 1994, Εκδόσεις ΕΜΠ
- [13] «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Σ.Παπαθανασίου, 2008, Εκδόσεις ΕΜΠ
- [14] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), www.cres.gr
- [15] European Wind Energy Association (EWEA), www.ewea.org
- [16] Vancouver Electric Vehicle Association, www.veva.bc.ca

- [17] Electric Drive Transportation Association, www.electricdrive.org
- [18] European Photovoltaic Technology Platform, www.eupvplatform.org
- [19] International Energy Agency, www.iea.org
- [20] ‘Eurostag Package Release 4.4 Tutorial’, Tractebel Engineering
- [21] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, www.dei.gr
- [22] ‘Trends in Europe and North America. The Statistical Yearbook of the Economic Commission for Europe 2005’, UNECE
- [23] ‘Development of Dispersed Generation and Consequencies for Power Systems’, CIGRE (International Council on Large Electric Systems), WG C6.01 (ex 37.33) final report, July 2003
- [24] www.hondaev.org

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Π1. Κώδικας για τον προσδιορισμό των ωρών φόρτισης-εκφόρτισης των οχημάτων και των kW ανά ώρα φόρτισης-εκφόρτισης:

/ Το πρόγραμμα παίρνει σαν είσοδο ένα αρχείο κειμένου (txt) με το όνομα power στο οποίο έχουμε αποθηκεύσει για κάθε ώρα του έτους τη διαφορά $P_L - P_W$ σε μορφή στήλης . Στα αρχεία out.txt αποθηκεύονται οι έξοδοι του προγράμματος.*/*

```
#include <stdio.h>

int main()

{

    FILE *fin, *fout, *fout2, *fout3, *fout4;

    float data[365][24];

    int time[365][24];

    float data2[8760], power1[24], power2[24];

    int freq1[24],freq2[24];

    fin = fopen("power.txt", "r");

    fout = fopen("out.txt","w");

    fout2 = fopen("out2.txt","w");

    fout3 = fopen("out3.txt", "w");

    fout4 = fopen("out4.txt", "w");

    int mera,wra,i,j;

    float temp;

    int tempint;

    for (i=0;i<8760;i++)data2[i] =0;

    for(i=0;i<24;i++)

    {
```

```

        freq1[i] =0;
        freq2[i] =0;
        power1[i]=0;
        power2[i]=0;
    }

    for (mera=0;mera<365;mera++)
    {
        for (wra=0;wra<24;wra++)
        {
            fscanf(fin,"%f",&(data[mera][wra])); /*διαβάζεται
το αρχείο εισόδου power.txt και αποθηκεύεται στον πίνακα data. Οι γραμμές του
πίνακα αυτού είναι οι μέρες του έτους και οι στήλες οι ώρες για την κάθε ημέρα.
Συνεπώς το στοιχείο data[3][5] θα περιέχει τη διαφορά PL-PW για την 4η μέρα του
έτους δηλ. τις 4/1 και για την ώρα 6π.μ. (το 1ο στοιχείο του πίνακα είναι το
data[0][0]) */

            time[mera][wra] = wra; /* στον πίνακα time
αποθηκεύονται για κάθε ημέρα οι αριθμοί 0 έως 23 που αντιστοιχούν στις ώρες της */

        }

/* Με το ακόλουθο σύνολο εντολών γίνεται ταξινόμηση των στοιχείων του πίνακα
data κατά αύξουσα σειρά. Για κάθε στοιχείο data[mera][j] που ταξινομείται,
ταξινομείται αντίστοιχα και το στοιχείο time[mera][j]. Έτσι, ο πίνακας time
περιλαμβάνει τελικώς τις ώρες κάθε ημέρας ταξινομημένες ανάλογα με τη διαφορά
PL-PW που αντιστοιχεί στην κάθε ώρα. Πρώτα μπαίνουν οι ώρες για τις οποίες η
διαφορά αυτή είναι μικρότερη κι έπειτα αυτές για τις οποίες η διαφορά PL-PW είναι
μεγαλύτερη */

        for (i=1;i<wra;i++)
            for(j=wra-1;j>=i;j--)
                if (data[mera][j]<data[mera][j-1])
                {
                    temp = data[mera][j];
                    data[mera][j] = data[mera][j-1];
                    data[mera][j-1] = temp;

                    tempint = time[mera][j];

```

```

time[mera][j] = time[mera][j-1];

time[mera][j-1] = tempint;

}

```

```

}

```

/ Προκειμένου να μοιράσουμε τα kW φόρτισης-εκφόρτισης για κάθε ώρα ανάλογα με τη διαφορά $P_L - P_W$ την ώρα αυτή χρησιμοποιούμε κάποιον αριθμό ως βάση των υπολογισμών μας. Αν η διαφορά αυτή είναι π.χ αρνητική για κάθε ώρα φόρτισης και θετική για κάθε ώρα εκφόρτισης το πρόβλημα λύνεται εύκολα καθώς τα kW φόρτισης ή αντίστοιχα εκφόρτισης για την ώρα i δίνονται από το πηλίκο $(P_L - P_W)_i / \text{sum}(P_L - P_W)$, όπου το sum αναφέρεται και στις 6 ώρες φόρτισης ή τις 4 ώρες εκφόρτισης.. Αν όμως π.χ. για τις 6 ώρες φόρτισης το πρόσημο του πηλίκου $P_L - P_W$ μεταβάλλεται δεν μπορούμε να πάρουμε απλά την αναλογία όπως παραπάνω, αλλά χρειάζεται να πάρουμε κάποιον αριθμό, διάφορο του μηδενός, σαν βάση, στη συνέχεια να εκφράσουμε όλους τους αριθμούς μας ως προς τη βάση αυτή κι έπειτα να πάρουμε την αναλογία. Οποιοσδήποτε αριθμός μπορεί να ληφθεί ως βάση μεταβάλλοντας ελαφρά το αποτέλεσμα, κι επομένως αυτό αποτελεί παραδοχή του κάθε_μελετητή.*

*Ο παρών κώδικας αναφέρεται σε φόρτιση 6 ωρών ανά μέρα κι εκφόρτιση 4 ωρών. Με πολύ μικρές αλλαγές μπορεί να λειτουργήσει για οποιοδήποτε πλήθος ωρών φόρτισης-εκφόρτισης επιλέξουμε */*

```

float basemin, basemax;

float summin, summax, fort, ekfort;

for (mera=0;mera<365;mera++)

```

```

{

```

```

    basemin = 0;

```

```

    basemax =0;

```

```

    summin =0;

```

```

    summax = 0;

```

```

    fort = 0;

```

```

    ekfort=0;

```

*if (data[mera][5] >0) /*εξετάζονται τα 6 πρώτα στοιχεία του data αποτελούν τις ώρες φόρτισης. Αν είναι όλα θετικά ή κάποια θετικά και κάποια αρνητικά λαμβάνεται ως βάση το 7^ο στοιχείο του πίνακα. Αλλιώς η βάση είναι μηδέν */*

```

    basemin = data[mera][6];

```

```

        for (i=0;i<6;i++) /* από κάθε ώρα φόρτισης αφαιρείται η βάση κι
όλες μαζί προστίθενται στο summin*/

            summin += data[mera][i]-basemin;

        if (data[mera][20] <0) /* αντίστοιχα για τις ώρες
εκφόρτισης*/
            basemax = data[mera][19];

        for (i=20;i<24;i++)

            summax += data[mera][i]-basemax;

        for (i=0;i<6;i++)

            { /*στο αρχείο out τυπώνονται με τη σειρά για κάθε ημέρα τα 6
πρώτα στοιχεία του πίνακα time που αντιστοιχούν στις 6 ώρες εκφόρτισης. Στον
πίνακα freq μετράται πόσες φορές πραγματοποιείται φόρτιση για κάθε ώρα του
24ώρου*/

                fprintf(fout,"%d\t",time[mera][i]);

                (freq1[time[mera][i]])++;

            }

/* αντίστοιχα για την εκφόρτιση*/

        fprintf(fout,"\t");

        for (i=20;i<24;i++)

            {

                fprintf(fout,"%d\t",time[mera][i]);

                (freq2[time[mera][i]])++;

            }

        fprintf(fout,"\n");

        for (i=0;i<6;i++)

            { /* στο αρχείο out τυπώνονται τα kW φόρτισης για κάθε ώρα,
πολλαπλασιάζοντας το κλάσμα φόρτισης που αντιστοιχεί στην ώρα αυτή με τη
συνολική φόρτιση που είναι 22kWh ή 0.022MWh, και η οποία λαμβάνεται αρνητική
*/

                fort = ((data[mera][i]-basemin)/summin)*(-0.022);

                fprintf(fout,"%f\t", &fort);

```

```
        data2[mera*24 + time[mera][i]] = fort;          /*
η ίδια πληροφορία αποθηκεύεται και στον πίνακα data2 */
```

```
        (power1[time[mera][i]])+= fort;    /*στον πίνακα
power1 αποθηκεύεται η συνολική ετήσια φόρτιση σε MW για κάθε ώρα του 24ώρου
και για ένα όχημα */
```

```
    }
```

```
    fprintf(fout, "\t");
```

```
/* αντίστοιχα για την εκφόρτιση*/
```

```
    for(i=20;i<24;i++)
```

```
    {
```

```
        ekfort = ((data[mera][i]-basemax)/summax*0.01);
```

```
        fprintf(fout, "%f\t", &ekfort);
```

```
        data2[mera*24 + time[mera][i]] = ekfort;
```

```
        (power2[time[mera][i]])+=ekfort;
```

```
    }
```

```
    fprintf(fout, "\n");
```

```
}
```

```
/* τυπώνεται στο αρχείο out2 το περιεχόμενο του πίνακα data2. Στην ουσία τα αρχεία
out και out2 περιέχουν την ίδια πληροφορία αλλά σε διαφορετική μορφή. Το μεν
out.txt βολεύει περισσότερο στην ανάγνωση της πληροφορίας, το δε out2.txt στη
χρησιμοποίησή της για περαιτέρω επεξεργασία καθώς όλα τα kW φόρτισης-
εκφόρτισης ανά ώρα εμφανίζονται σε 1 στήλη (8760 σειρές) με μηδενικά στη θέση
των ωρών για τις οποίες δεν πραγματοποιείται ούτε φόρτιση ούτε εκφόρτιση */
```

```
    for(i=0;i<8760;i++)
```

```
        fprintf(fout2, "%f\n", data2[i]);
```

```
/* τυπώνεται στο αρχείο out3 το περιεχόμενο των πινάκων freq1 και freq2. Ο καθένας
περιέχει 24 αριθμούς οι οποίοι συνιστούν το πλήθος εμφάνισης της κάθε ώρας για
φόρτιση ή εκφόρτιση αντίστοιχα κατά τη διάρκεια του έτους. Το πρώτο στοιχείο του
κάθε πίνακα αναφέρεται στην ώρα 0 (12 τα μεσάνυχτα) και το τελευταίο στην ώρα
23. */
```

```

for(i=0;i<24;i++)
    fprintf(fout3,"%d\n",freq1[i]);
fprintf(fout3,"\n");
for(i=0;i<24;i++)
    fprintf(fout3,"%d\n",freq2[i]);

/* τυπώνεται στο αρχείο out4 το περιεχόμενο των πινάκων power1 και power2.
Ο κάθε πίνακας περιέχει 24 αριθμούς οι οποίοι συνιστούν το άθροισμα των kW
φόρτισης ή εκφόρτισης αντίστοιχα για ένα όχημα και για κάθε ώρα κατά τη διάρκεια
του έτους */

for(i=0;i<24;i++)
    fprintf(fout4,"%f\n",power1[i]);
fprintf(fout4,"\n");
for(i=0;i<24;i++)
    fprintf(fout4,"%f\n",power2[i]);

fclose (fin);
fclose (fout);
fclose(fout2);
fclose(fout3);
fclose(fout4);
return 0;
}

```

Π2. Στοιχεία δικτύων

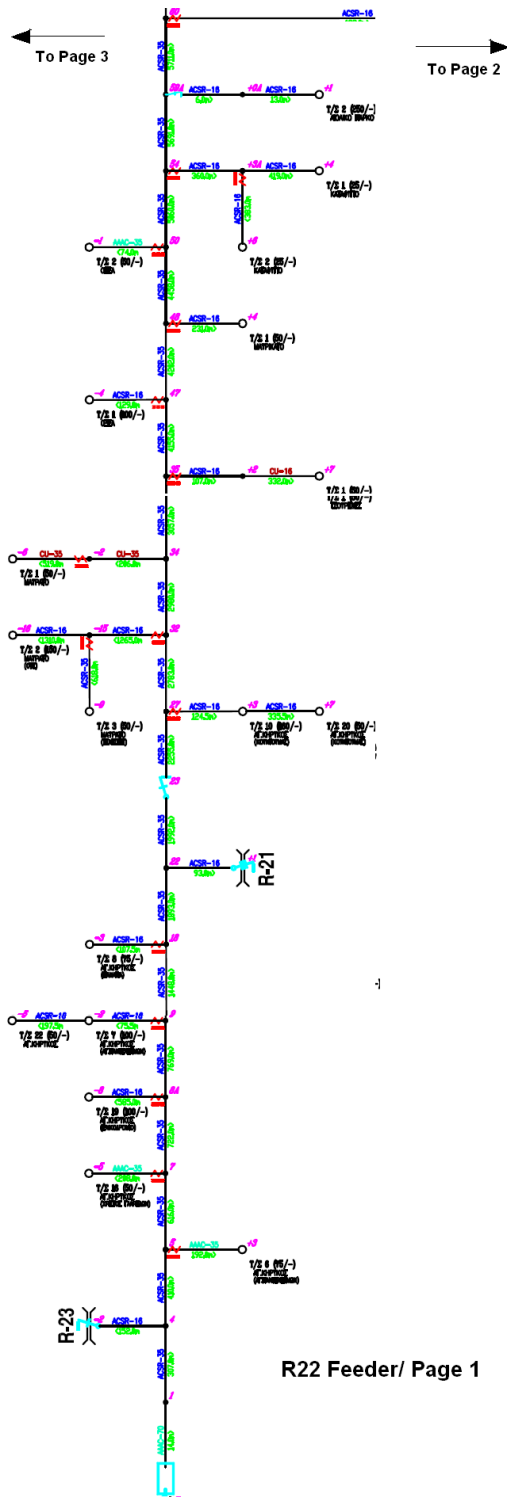
Δίκτυο Α

Εγκατεστημένη ισχύς υποσταθμών:

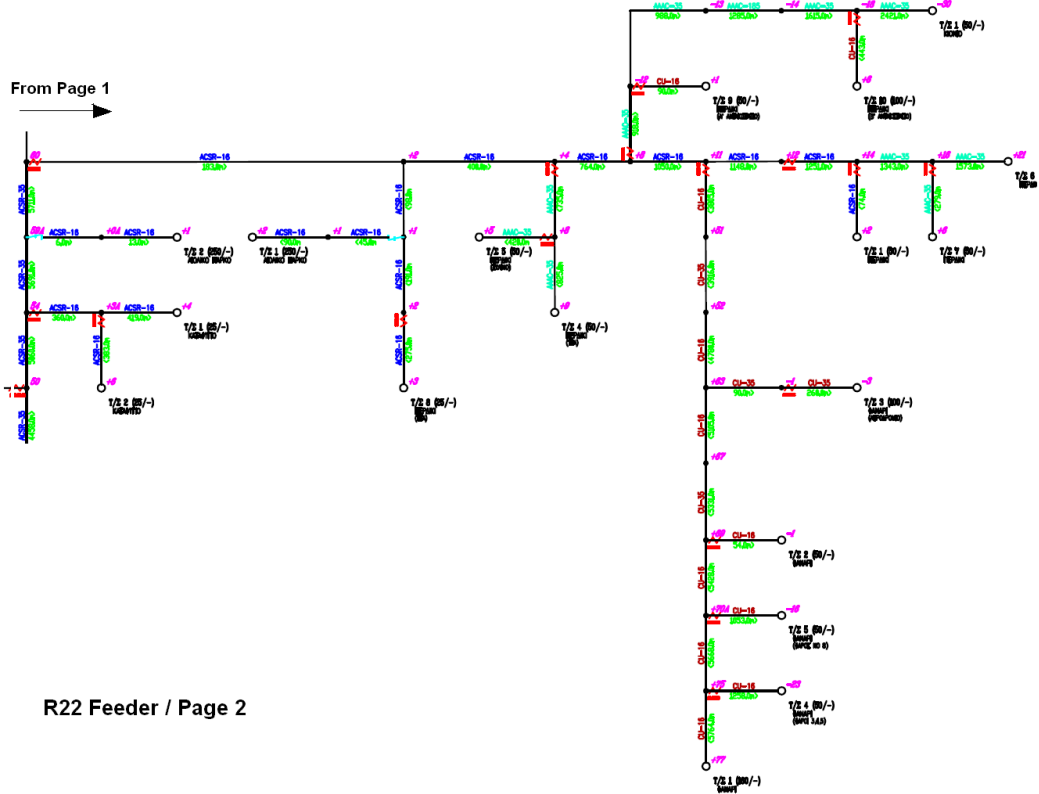
Όνομασία Υ/Σ	Εγκατεστημένη Ισχύς Μ/Σ Ισχύος ΜΤ/ΧΤ (kVA)
ΑΓ. ΚΗΡΥΚΟΣ (ΑΓ. ΠΑΝΤΕΛ.-6)	75
ΑΓ. ΚΗΡΥΚΟΣ (ΧΡ. ΓΛΑΡΕΔΩΝ)	50
ΑΓ. ΚΗΡΥΚΟΣ (ΕΛΙΚΟΔΡΟΜΙΟ)	100
ΑΓ. ΚΗΡΥΚΟΣ (ΑΓ. ΠΑΝΤΕΛ.-7)	100
ΑΓ. ΚΗΡΥΚΟΣ	50
ΑΓ. ΚΗΡΥΚΟΣ (ΠΑΝΑΓΙΑ)	75
ΑΓ. ΚΗΡΥΚΟΣ (ΚΟΥΝΤΟΥΜ.-10)	160
ΑΓ. ΚΗΡΥΚΟΣ (ΚΟΥΝΤΟΥΜ.-20)	50
ΜΑΥΡΑΤΟ (ΤΕΛΕΣΤΕΤ)	50
ΜΑΥΡΑΤΟ (ΟΤΕ)	150
ΜΑΥΡΑΤΟ	50
ΤΣΟΥΡΕΔΕΣ	50
ΟΞΕΑ – 1	100
ΜΑΥΡΙΚΑΤΟ	50
ΟΞΕΑ – 2	50
ΚΑΤΑΦΥΓΙΟ – 2	25
ΚΑΤΑΦΥΓΙΟ – 1	25
ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ – 2	0
ΠΕΡΔΙΚΙ (ΥΕΝΕΔ)	25
ΠΕΡΔΙΚΙ (ΟΤΕ)	50
ΜΟΝΟΚΑΜΠΙ	100
ΠΛΩΜΑΡΙ	50
ΜΗΛΕΩΠΟ – 1	75
ΜΗΛΕΩΠΟ – 2	25
ΚΑΡΑΒΟΣΤΑΜΟ (ΑΝΤΛΙΟΣΤ.)	100
ΚΑΡΑΒΟΣΤΑΜΟ – 4	160
ΚΑΡΑΒΟΣΤΑΜΟ – 2	160
ΚΑΡΑΒΟΣΤΑΜΟ – 3	50
ΚΑΡΑΒΟΣΤΑΜΟ – 1	160
ΚΑΡΑΒΟΣΤΑΜΟ (ΛΑΖΑΝΑΣ)	15
ΑΡΕΘΟΥΣΑ (ΠΕΡΑ ΑΡΕΘ.)	25
ΑΡΕΘΟΥΣΑ	50
ΚΑΡΑΒΟΣΤΑΜΟ (ΦΟΥΣΚΑΣ)	50
ΚΥΠΑΡΙΣΣΙ	50
ΚΥΠΑΡΙΣΣΙ (ΦΟΙΝΙΚΑΣ)	50
ΔΡΟΥΤΣΟΥΛΑΣ	50
ΚΕΡΑΜΕΙΟ	100
ΑΓ. ΚΥΡΙΑΚΗ	25
ΕΥΔΗΛΟΣ (ΒΟΥΝΑΡΑ)	50
ΕΥΔΗΛΟΣ (ΑΝΤΛ. ΒΟΥΝΑΡΑΣ)	50
ΕΥΔΗΛΟΣ – 5	50

ΕΥΔΗΛΟΣ – 1	250
ΠΕΡΔΙΚΙ (ΤΕΑ - 8)	25
ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ – 1	0
ΠΕΡΔΙΚΙ (ΞΥΛΙΝΟ)	50
ΠΕΡΔΙΚΙ (ΤΕΑ - 4)	50
ΦΑΝΑΡΙ (ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ)	100
ΦΑΝΑΡΙ – 2	50
ΦΑΝΑΡΙ (ΦΑΡΟΣ 8)	50
ΦΑΝΑΡΙ – 1	160
ΦΑΝΑΡΙ (ΦΑΡΟΙ 3,4,5)	50
ΠΕΡΔΙΚΙ – 1	50
ΠΕΡΔΙΚΙ – 7	50
ΠΕΡΔΙΚΙ – 6	50
ΠΕΡΔΙΚΙ (Α' ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ)	50
ΚΙΟΝΙΟ	50
ΠΕΡΔΙΚΙ (Β' ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ)	100

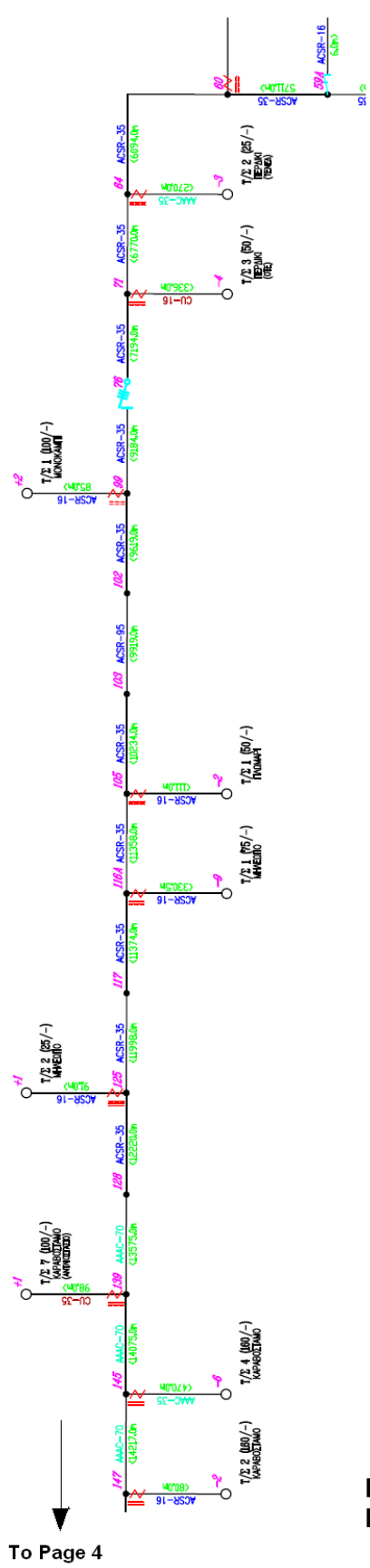
Διάγραμμα δικτύου Α:



From Page 1



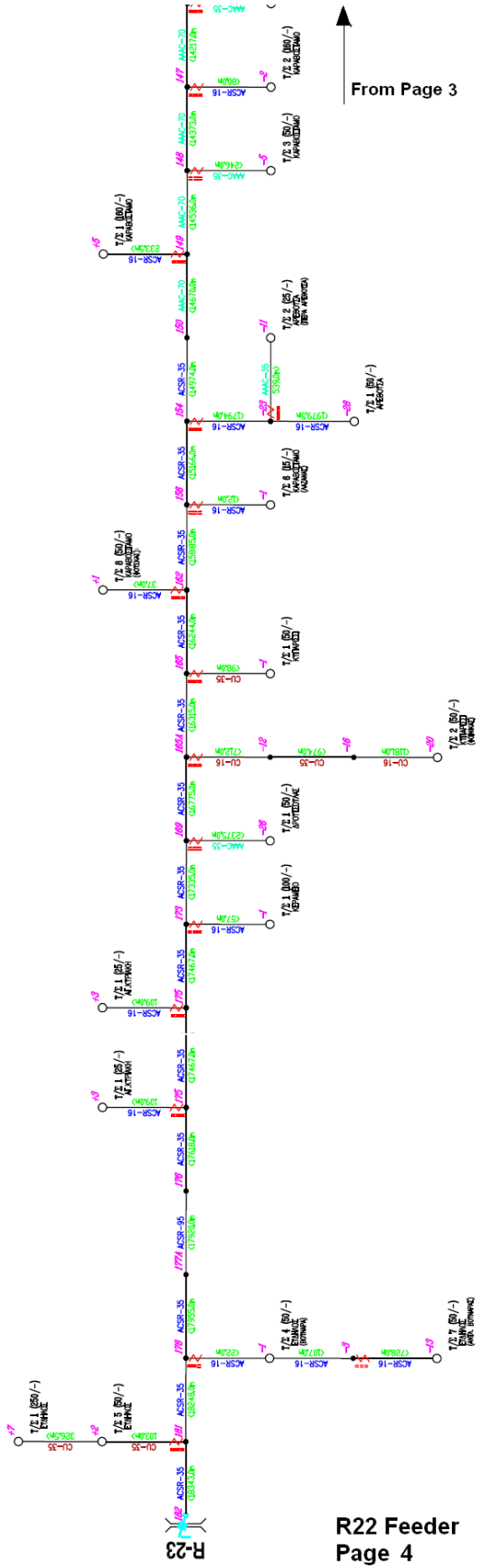
R22 Feeder / Page 2



From Page 1

To Page 4

R22 Feeder
Page 3



From Page 3

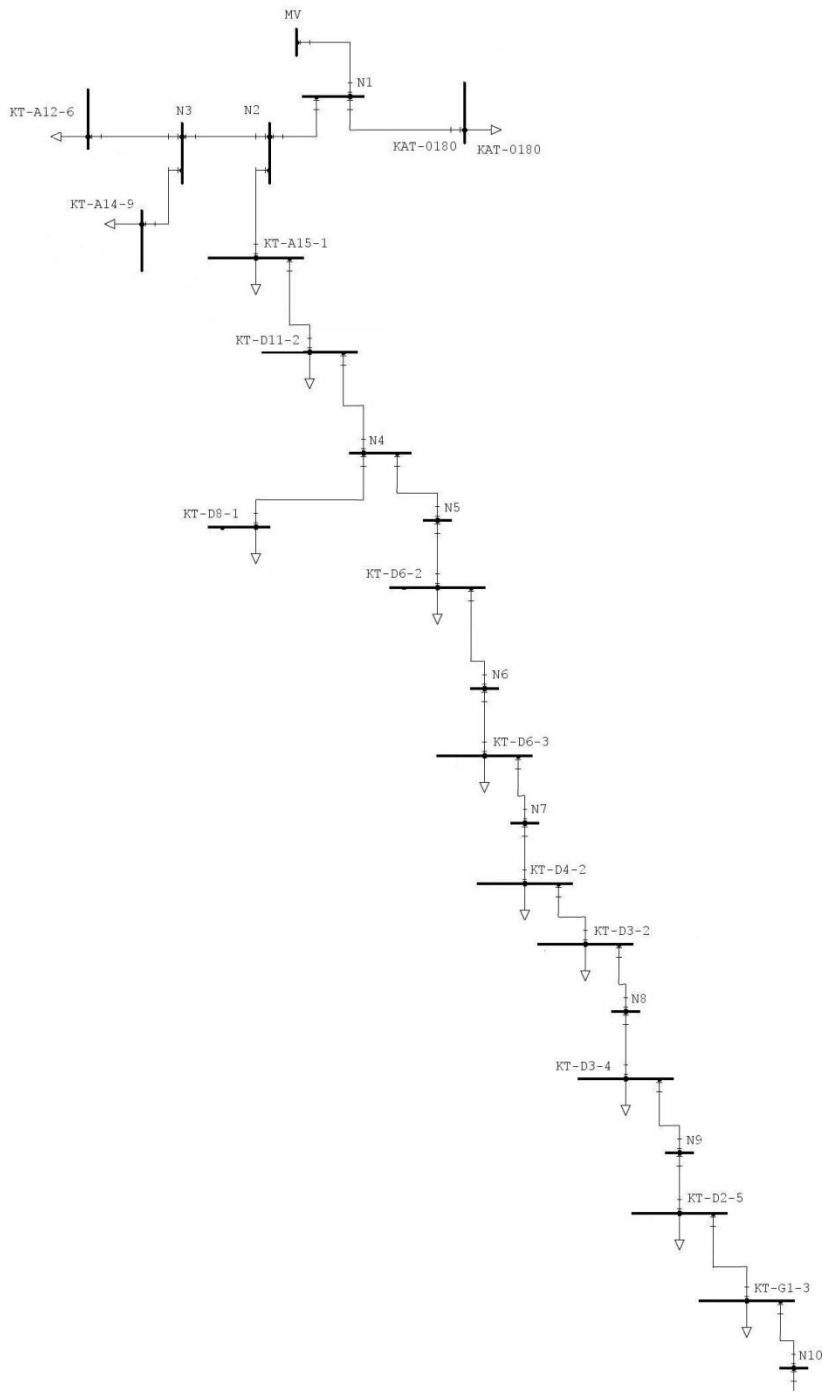
R22 Feeder
Page 4

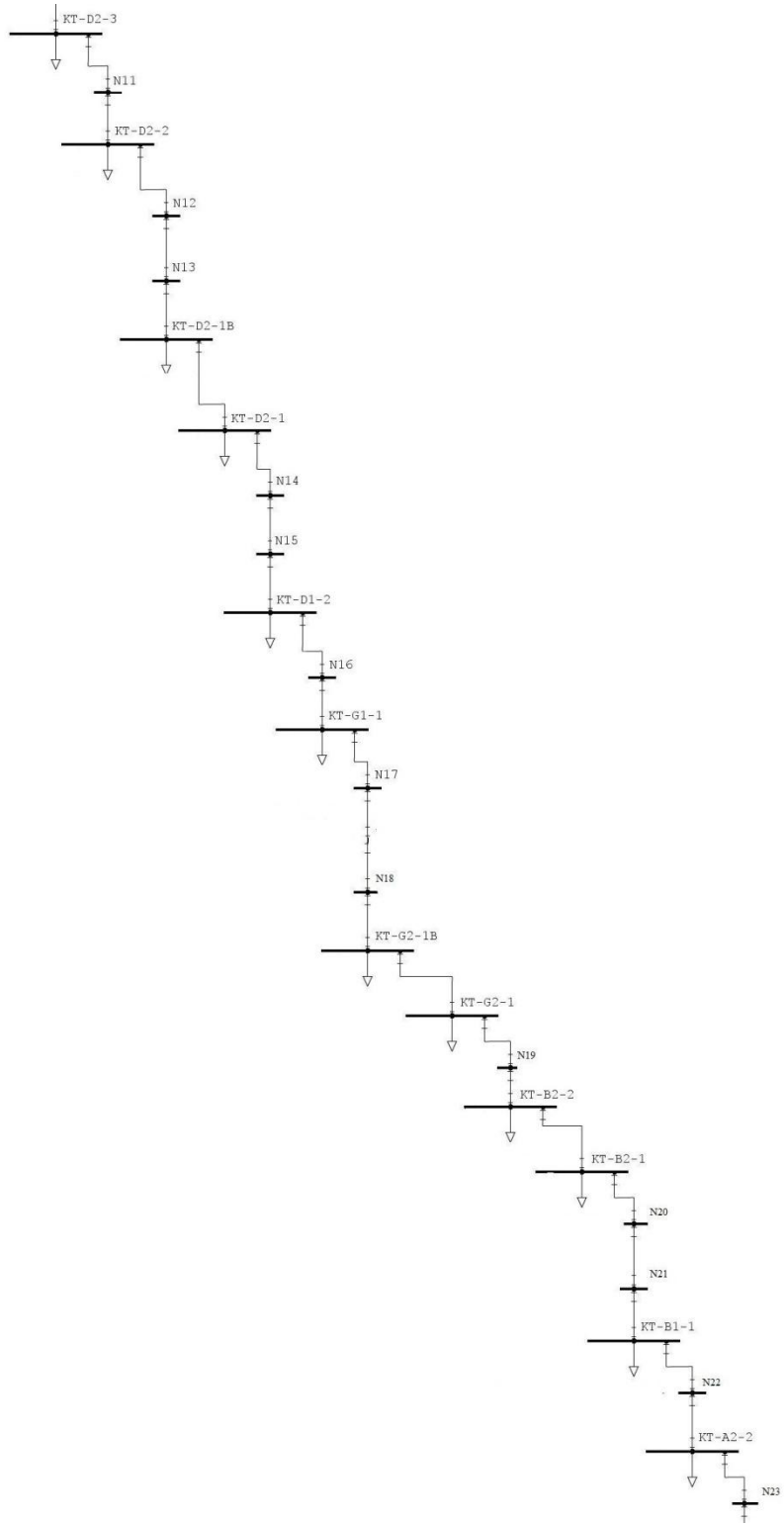
Δίκτυο Β

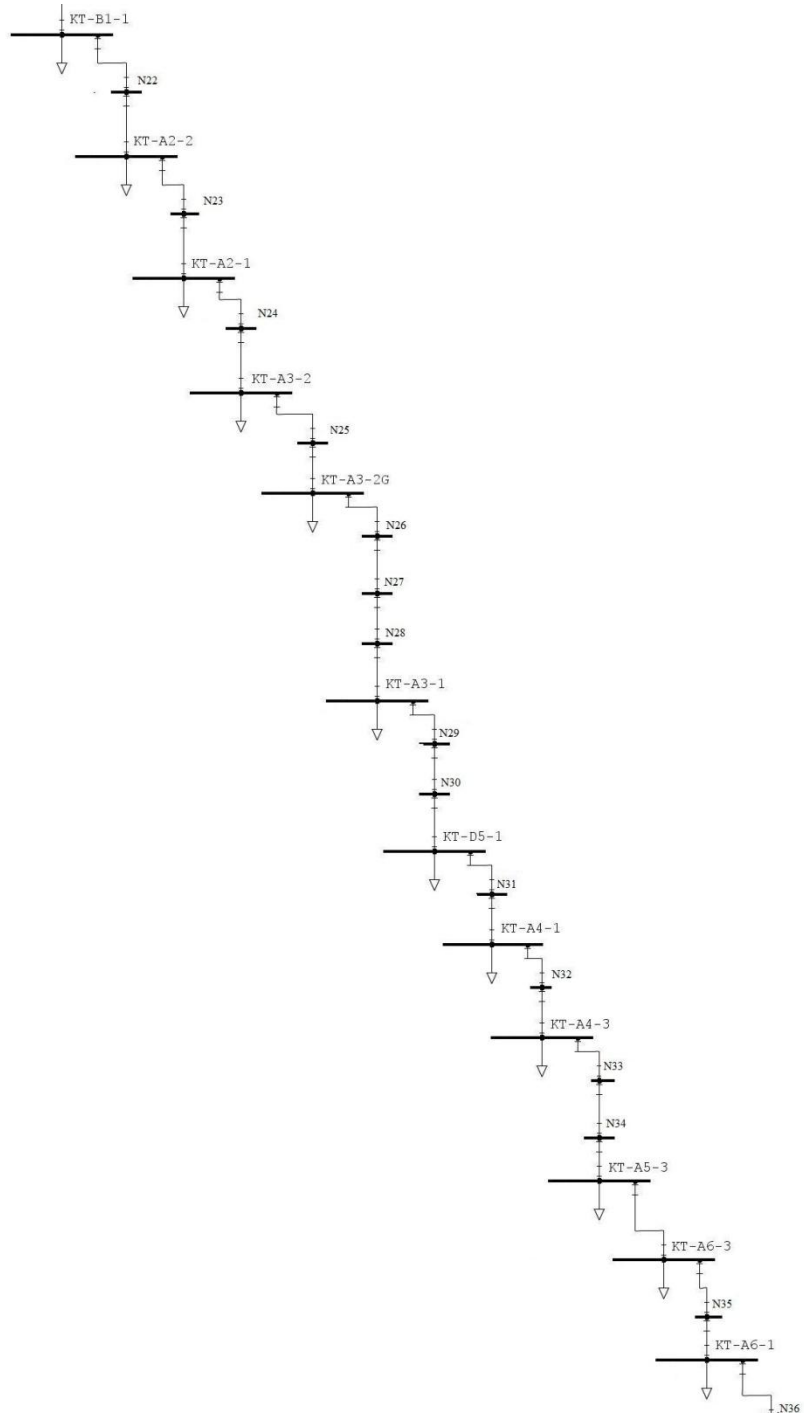
Εγκατεστημένη ισχύς υποσταθμών:

Όνομασία Υ/Σ	Εγκατεστημένη Ισχύς (kVA)
ΚΑΤ-0180	160
ΚΑΤ-Α12-6	160
ΚΑΤ-Α14-9	160
ΚΑΤ-Α15-1	400
ΚΑΤ-Δ11-2	250
ΚΑΤ-Δ8-1	400
ΚΑΤ-Δ6-2	1260
ΚΑΤ-Δ6-3	400
ΚΑΤ-Δ4-2	630
ΚΑΤ-Δ3-2	630
ΚΑΤ-Δ3-4	1260
ΚΑΤ-Δ2-5	630
ΚΑΤ-Γ1-3	630
ΚΑΤ-Δ2-3	630
ΚΑΤ-Δ2-2	630
ΚΑΤ-Δ2-1B	630
ΚΑΤ-Δ2-1	630
ΚΑΤ-Δ1-2	630
ΚΑΤ-Γ1-1	500
ΚΑΤ-Γ2-1B	630
ΚΑΤ-Γ2-1	630
ΚΑΤ-Β2-2	630
ΚΑΤ-Β2-1	630
ΚΑΤ-Β1-1	630
ΚΑΤ-Α2-2	630
ΚΑΤ-Α2-1	630
ΚΑΤ-Α3-2	1260
ΚΑΤ-Α3-2Γ	630
ΚΑΤ-Α3-1	1260
ΚΑΤ-Α4-3	630
ΚΑΤ-Α4-1	630
ΚΑΤ-Δ5-1	630
ΚΑΤ-Α5-3	630
ΚΑΤ-Α6-3	630
ΚΑΤ-Α6-1	1000

Διάγραμμα δικτύου Β:







Να σημειωθεί πως οι ζυγοί και τα φορτία με την ονομασία EV-...-... δεν είναι μέρος του αρχικού δικτύου αλλά σχετίζονται με τα ηλεκτρικά οχήματα κι επομένως προστίθενται στη συνέχεια. Οι ζυγοί ΚΑΤ-...-... αποτελούν τους υποσταθμούς του δικτύου με τα αντίστοιχα φορτία τους, ενώ οι ζυγοί Ν.. χρησιμεύουν απλά για τη ζεύξη των γραμμών.

Π3. Προγράμματα loop.c και echchange.c που χρησιμοποιούνται για τη μεταβολή του αρχείου ech στο Eurostag (για το αγροτικό δίκτυο)

Loop.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
#include <time.h>

#define NLOADS 57 //αριθμός ζυγών φορτίων
#define NNODES 140 //αριθμός κόμβων
#define LINES_OUT 42
#define LINES_OUT2 44
#define HTHESI 17
#define C1 4
#define C2 5
#define NLINEs 278

main(){

FILE *proxeiro, *db, *loaddata, *results, *voltages,
*lossfile, *sfile, *pfile, *qfile, *linecurrent;

int i,index,loop,l;
char check,s[1000],ch;
float data, loadp,loadq,volt,genp,genq;

db=fopen("db.txt","r"); /*db: αρχείο στο οποίο βρίσκονται τα
δεδομένα για όλα τα σενάρια*/

voltages=fopen("voltages","w"); //voltages: αποθήκευση τάσεων

pfile=fopen("pfile","w"); //pfile: αποθήκευση ενεργού ισχύος

qfile=fopen("qfile","w"); //qfile: αποθήκευση αέργου ισχύος

lossfile=fopen("lossfile","w"); /*lossfile: αποθήκευση ενεργών
απωλειών*/

sfile=fopen("rlossfile","w");/*sfile: αποθήκευση φαινομένης
ισχύος*/

linecurrent=fopen("linecurrent","w");/*linecurrent: αποθήκευση
ρεύματος στις γραμμές*/

for (loop=1;loop<8760;loop++){//«8760»: αριθμός σεναρίων

    printf("LOOP %d\n",loop);
    loaddata=fopen("loaddata","w");
    for(i=0;i<NLOADS;i++){/*διαβάζει και γράφει στο loaddata
τα φορτία των ζυγών για το συγκεκριμένο σενάριο*/
```

```

        fscanf(db,"%f",&loadp[i]);
    }
    for(i=0;i<NLOADS;i++){
        fscanf(db,"%f",&loadq[i]);
    }
    fscanf(db,"%f",&volt);
    fprintf(loaddata,"%f\n",volt);
    for(i=0;i<NLOADS;i++){
        fprintf(loaddata,"%f %f\n",loadp[i],loadq[i]);
    }
}

fscanf(db,"\n");
fclose(loaddata);
system("echchange2008");
system("eustag_cpt -lf agrotiko1n.ech");
system("eustag_t katerin.gtb agrotiko1n.sav");

/* Δίνει τα αποτελέσματα*/

results=fopen("eurostag_t.out","r");
for (l=0;l<LINES_OUT;l++){
do{ch=getc(results);}while(ch!='\n');
}

for (l=0;l<NNODES;l++){do {ch=getc(results);}
while(ch!='|');

for (i=0;i<C1;i++){

do {ch=getc(results);}while(ch!='|');
fscanf(results,"%f",&volt);
if (i==0) fprintf(voltages,"%f ",volt);
}

do {ch=getc(results);}while(ch!='\n');

}

fclose(results);
system("eustag_t agrotiko.gtb agrotiko1n.sav");
results=fopen("eurostag_t.out","r");

for (l=0;l<LINES_OUT2;l++){
do{ch=getc(results);}while(ch!='\n');
}

```

```

for (l=0;l<NLINES;l++){
do {ch=getc(results);}while(ch!='|');
for (i=0;i<C2;i++){
    do {ch=getc(results);}while(ch!='|');
    fscanf(results,"%f",&volt);
    if (i==0) fprintf(pfile,"%f ",volt);
    if (i==1) fprintf(qfile,"%f ",volt);
    if (i==2) fprintf(linecurrent,"%f ",volt);
    if (i==3) fprintf(lossfile,"%f ",volt);
    if (i==4) fprintf(sfile,"%f ",volt);

}
do {ch=getc(results);}while(ch!='\n');
}

fclose(results);
fclose(loads);
fprintf(voltages,"\n");
fprintf(lossfile,"\n");
fprintf(sfile,"\n");
fprintf(pfile,"\n");
fprintf(qfile,"\n");
fprintf(linecurrent,"\n");
}

fclose(db);
fclose(voltages);
fclose(lossfile);
fclose(sfile);
fclose(pfile);
fclose(qfile);
fclose(linecurrent);
}

```

Echchange.c

```
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>

#define NINITIAL 8 /*αρχικές γραμμές αρχείου ech που θα
αγνοηθούν*/
#define NLOAD 57

main()
{
    FILE *echin,*echout,*loaddata;
    int i,n,j;
    char ch, c, c1;
    float data[10], loadactive, loadreactive, cap, genactive,
genreactive, MVvolt;

    echin=fopen("rural.ech","r");
    echout=fopen("ruraln.ech","w");
    loaddata=fopen("loaddata","r");
    fscanf(loaddata,"%f",&MVvolt);

    /*αναζητά τον πίνακα ζυγών κι αντιγράφει μέχρι να φτάσει
εκεί*/

    c = getc(echin);
    while (!(c=='5' && ch=='\n')){
        putc(c,echout);
        ch = c;
        c = getc(echin);
    }
    putc(c,echout);

    for (i=0;i<47;i++){
        ch=getc(echin);
        putc(ch,echout);
    }

    fprintf(echout,"%8.1f 3\n",MVvolt);
    do {ch=getc(echin);} while(ch!='\n');

    /*αναζητά τον πίνακα φορτίων κι αντιγράφει μέχρι να φτάσει
εκεί*/

    ch=getc(echin);
    c=getc(echin);
    c1=getc(echin);
    while (!(ch=='\n' && c=='C' && c1=='H')){
        putc(ch,echout);
        ch = c;
        c = c1;
    }
}
```

```

        c1 = getc(echin);
    }

    putc('\n',echout);

    /*το τύπωνμα του echout γίνεται σε δυο φάσεις: η πρώτη
    περιλαμβάνει όλα τα φορτία εκτός από το τελευταίο και η
    δεύτερη 'περνάει' το τελευταίο φορτίο*/

    for (i=0;i<NLOAD;i++) {

        putc('C', echout); putc('H', echout);
        fscanf(loaddata,"%f %f",&loadactive,&loadreactive);
        for (n=2; n<23; n++) {
            ch=getc(echin); putc(ch,echout);
        }
        for (n=0; n<4; n++) fscanf(echin,"%f",&data[n]);
        do {ch=getc(echin);} while(ch!='\n');
        ch=getc(echin); ch=getc(echin);
        fprintf(echout, "%8.2f %8.2f %8.2f %8.2f\n",
loadactive, loadreactive,data[2],data[3]);

    }

    fclose(loaddata);
    while ((ch=getc(echin))!=EOF) putc(ch,echout);
    fclose(echin);
    fclose(echout);
}

```