



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Η αξιοποίηση του ευφυούς δικτύου για την ενσωμάτωση Αιολικών Πάρκων σε Αυτόνομα Νησιωτικά Συστήματα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΛΕΝΗ Ι. ΣΑΝΤΟΡΙΝΑΙΟΥ

Επιβλέπων: Παναγιώτης Γ. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Η αξιοποίηση του ευφυούς δικτύου για την ενσωμάτωση Αιολικών Πάρκων σε Αυτόνομα Νησιωτικά Συστήματα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΛΕΝΗ Ι. ΣΑΝΤΟΡΙΝΑΙΟΥ

Επιβλέπων: Παναγιώτης Γ. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2^α Μαρτίου 2015

.....

.....

.....

Π. Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Χ. Καψάλης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Γ. Φικιώρης
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2015

.....

ΕΛΕΝΗ Ι. ΣΑΝΤΟΡΙΝΑΙΟΥ

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

Copyright ©ΕΛΕΝΗ ΣΑΝΤΟΡΙΝΑΙΟΥ, 2015

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 τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Παναγιώτη Κωττή. Με τις γνώσεις, τη μεταδοτικότητα και τις εξαιρετικές διαλέξεις του με έκανε να αγαπήσω το συγκεκριμένο ερευνητικό αντικείμενο και να αναλάβω μια διπλωματική που συνδιάζει δύο τομείς δράσης του ηλεκτρολόγου μηχανικού, τις τηλεπικοινωνίες και την ενέργεια. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω για τη συνέπεια, τη συνεργασία και την υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της ώστε το προϊόν της εργασίας να εμφανισθεί άρτιο από επιστημονικής και εκφραστικής πλευράς.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου και την ευγνωμοσύνη μου προς τους γονείς, τα αδέρφια και τους φίλους μου για την αγάπη τους, την αμέριστη συμπαράστασή τους και τη στήριξη κατά τη διάρκεια όλων αυτών των χρόνων, καθώς και για την ενθάρρυνση στα μελλοντικά μου βήματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	11
1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ- ΕΥΦΥΗ ΔΙΚΤΥΑ.....	13
1.1 Γενικά- Ρόλος και λειτουργία.....	13
1.2 Η μετάβαση στα δίκτυα του μέλλοντος	16
1.3 Ο ρόλος των τηλεπικοινωνιών στα Έξυπνα Δίκτυα	17
1.3.2 Υποδομή Συστήματος ΕΔ	18
1.3.3 Οι διαθέσιμες τεχνολογίες.....	19
1.3.4 Η τεχνολογία PLC	20
1.3.5 Κυψελωτά δίκτυα κινητών επικοινωνιών	21
2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ – ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΝΗΣΙΩΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	23
2.1 Χαρακτηριστικά των ΑΝΣ.....	23
2.2 Τοπολογία του ΑΝΣ.....	24
2.2.1 Συμβατικές Μονάδες Παραγωγής	25
2.2.2 Κατανεμημένη Παραγωγή	25
2.2.3 Γραμμές Μεταφοράς	26
2.2.4 Φορτία ΣΗΕ	27
2.2.5 Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας.....	27
2.2.6 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος.....	28
3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ- ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ.....	29
3.1 Το σύστημα της Ανεμογεννήτριας (Α/Γ).....	29
3.2 Είδη Ανεμογεννητριών.....	31
3.3 Μετατροπείς.....	34
3.4 Κριτήρια για τη διεύθυνση της αιολικής ενέργειας σε ΑΝΣ	35
3.4.1 Ζητήματα σύνδεσης ΑΠ	35
3.4.2 Τρόποι σύνδεσης	36
3.4.5. Λειτουργικές απαιτήσεις για τη σύνδεση ενός Α/Π	38
3.5 Εφαρμογή κεντρικού ελέγχου σε ΑΝΣ	40

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ– ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΤ ΣΕ ΑΝΣ	43
4.1 Περιγραφή δικτύου –Τοπολογία γραμμής – Είσοδοι προσομοίωσης	43
4.1.1 Ζυγός Αυτόνομου Σταθμού Παραγωγής (ΑΣΠ)	43
4.1.2 Φορτία ΑΝΣ	43
4.1.3 Αιολικό Πάρκο	45
4.2 Μαθηματικές εξισώσεις περιγραφής του προβλήματος.....	47
4.2.1 Φαινόμενη ισχύς και συντελεστής ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ	47
4.2.2 Διακύμανση της τάσης στους κόμβους της γραμμής ΜΤ	48
4.2.3 Ετήσια ενεργειακή παραγωγή – Συντελεστής χρησιμοποίησης.....	49
4.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 1 : Γραμμή ΜΤ με Α/Π ισχύος 2ΜW	50
4.4 ΣΕΝΑΡΙΟ 2: Γραμμή ΜΤ με ένα Α/Π 3ΜW χωρίς έλεγχο	53
4.4 ΣΕΝΑΡΙΟ 3: Γραμμή ΜΤ με ένα Α/Π 3ΜW με έλεγχο	57
4.5 ΣΕΝΑΡΙΟ 4: Γραμμή ΜΤ με ένα Α/Π 3ΜW και τρία ΦΒ 0.5ΜW χωρίς έλεγχο	63
4.6 ΣΕΝΑΡΙΟ 5: Γραμμή ΜΤ με 1 Α/Π και 3 ΦΒΣ με έλεγχο	67
4.7 Διαστασιολόγηση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου	70
5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	76
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	78
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ	81

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η εφαρμογή ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου, βασισμένου στην τεχνολογία μετάδοσης πληροφορίας μέσω γραμμών ηλεκτρικής ισχύος (NB-PLC) και στην τεχνολογία των κυψελωτών δικτύων (GPRS/3G), για τη βελτίωση της ενσωμάτωσης της κατανεμημένης παραγωγής (ΚΠ) σε γραμμή ΜΤ ενός αυτόνομου νησιωτικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Το τελευταίο διάστημα, οι αλλαγές στο οικονομικό και το ρυθμιστικό περιβάλλον του τομέα της ενέργειας έφεραν στο προσκήνιο την ΚΠ. Οι μονάδες ΚΠ χρησιμοποιούν κυρίως τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), όπως είναι τα αιολικά πάρκα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Η ενσωμάτωση των μονάδων ΚΠ αλλάζει την αρχή λειτουργίας του παραδοσιακού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας (ΗΕ). Παρουσιάζεται επομένως η ανάγκη δυναμικής προσαρμογής του ηλεκτρικού δικτύου στις νέες απαιτήσεις. Στις μέρες μας αναπτύσσονται τα δίκτυα ΗΕ του μέλλοντος, που ονομάζονται και ευφυή δίκτυα (smart grids). Κατά την ανάπτυξη αυτών των δικτύων, παρατηρείται ότι η επικοινωνία σε κάθε επίπεδο είναι ιδιαίτερα σημαντική. Με την εφαρμογή της υβριδικής τεχνολογίας NB-PLC – GPRS/3G το δίκτυο ΗΕ αποκτά τη δυνατότητα αυτοδιαχείρισης και παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ενσωμάτωσης της ΚΠ.

Στην παρούσα διπλωματική μελετάται η δυνατότητα αύξησης της διείσδυσης μονάδων ΚΠ και συγκεκριμένα Ανεμογεννητριών (Α/Γ), σε γραμμή ΜΤ, εφαρμόζοντας κεντρικό έλεγχο με τεχνολογία NB-PLC – GPRS/3G. Ενσωματώνοντας το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στη γραμμή ΜΤ, οι κόμβοι επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο με το κέντρο ελέγχου ενέργειας ανταλλάσσοντας πληροφορία και εντολές. Η ανταλλαγή πληροφορίας και εντολών οδηγεί στη βέλτιστη λειτουργία της ΚΠ, αυξάνοντας τη διείσδυση χωρίς να αλλοιώνονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της γραμμής ΜΤ.

Στο πρώτο κεφάλαιο της διπλωματικής γίνεται εισαγωγή στα ευφυή δίκτυα. Περιγράφεται η μετάβαση από τα παραδοσιακά δίκτυα στα δίκτυα του μέλλοντος, τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν και αναλύεται η τεχνολογία NB-PLC – GPRS/3G. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα χαρακτηριστικά που καθιστούν ιδιαίτερα τα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα και περιγράφονται τα διάφορα τμήματα της τοπολογίας τους. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα επιμέρους τμήματα μιας Α/Γ, περιγράφονται τα ζητήματα σύνδεσης του στη γραμμή ΜΤ και παρουσιάζεται ο ρόλος του κέντρου ελέγχου ενέργειας. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η προσομοίωση της γραμμής ΜΤ με χρήση του προγράμματος MATLAB και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται ή όχι ο έλεγχος μέσω της τεχνολογίας NB-PLC- GPRS/3G. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα της προσομοίωσης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Κατανεμημένη Παραγωγή, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αιολικό Πάρκο, Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Αυτόνομο Νησιωτικό Σύστημα, Ευφυές Δίκτυο, NB-PLC, GPRS/3G, Κεντρικός Έλεγχος, Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας, MDMS.

Abstract

The aim of this thesis is to implement a telecommunication network, based on narrow band over power lines transmission network (NB-PLC technology) and cellular network technologies (GPRS/3G), on a medium voltage (MV) line of an autonomous island grid, where distributed generation sources are interconnected.

During the last decade, changes in economic and regulatory environment of energy field brought to the fore the Distributed Generation (DG). The DG technologies primarily use renewable energy resources (RES), such as wind farms and photovoltaic systems. The integration of DG has changed the operating principle of the traditional power system. Nowadays, the future grids, also called smart grids, have been developed. During the development of the future grids, it has been mentioned that telecommunication is vital at every level. The implementation of PLC- GPRS/3G technology on power grids is emerging and it becomes an operational and business project that is now beginning to develop. The power system itself becomes able for self-management and real time monitoring.

In this thesis, the possibility of increasing the penetration of wind turbines on a MV line is studied, applying centralized control through PLC- GPRS/3G technology. Incorporating the telecommunication network on power network, nodes are able to communicate in real time with the Meter Data Management System (MDMS) exchanging data and commands. The exchange of data and commands leads to the optimal operation of the wind farm and it increases the penetration without altering the electrical characteristics of the MV line.

In the first section of the thesis smart grids are introduced. The transition from traditional power grids to smart grids is described. The characteristics of the telecommunication network and the available technologies that can implement a smart grid are presented. In the second section the topology of an autonomous island grid is studied. In the third section the system of a wind farm is analyzed. The technical issues that rise and regard the interconnection to the power grid are presented and finally the role of the network operation center is described. In the fourth section, with the use of MATLAB, a simulation of a MV line with DG sources is carried out. The results are presented for all cases where control through NB-PLC – GPRS/3G technology is applied or not. Finally, in the last section the findings of the simulation are analyzed.

KEY WORDS: Distributed Generation (DG), Renewable Energy Sources (RES), Wind Farms, Wind Turbine, Electrical Power Systems, Autonomous Island Grid, Smart Grid, NB-PLC, GPRS/3G, Central Control, Meter Data Management System (MDMS)

1^ο Κεφάλαιο– Ευφυή Δίκτυα

1.1 Γενικά- Ρόλος και λειτουργία

Οι στόχοι που είχε θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) για την ενέργεια για την τρέχουσα δεκαετία βρίσκονται υπό αμφισβήτηση όσο αφορά την υλοποίησή τους. Η ΕΕ δεν έχει καταφέρει να εξασφαλίσει την ανταγωνιστικότητα στην παγκόσμια αγορά, να ανταποκριθεί στους μακροπρόθεσμους κλιματικούς στόχους και να εγγυηθεί τη συνεχή παροχή καυσίμων αφού εξαρτάται για την κάλυψη του 66% του συνόλου των αναγκών της από άλλες αγορές (Ρωσία, Αλγερία). Το γεγονός ότι το 2035 οι εισαγωγές αερίου της Ευρώπης θα εκτοξευθούν από το 66% που βρίσκονται σήμερα, στο 84% δημιουργεί συνθήκες πίεσης για άμεση δράση στην ευρωπαϊκή αγορά προκειμένου να εξασφαλίσει βιωσιμότητα στον τομέα της ενέργειας.

Επιπλέον, η βιομηχανία της ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται αντιμέτωπη με τη συνολική και καθολική της μεταμόρφωση. Αν και, παραδοσιακά, τα περισσότερα τμήματα της αλυσίδας προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας ανήκαν στο κράτος, τα τελευταία 30 χρόνια έχει ξεκινήσει η ιδιωτικοποίηση ορισμένων τμημάτων της αλυσίδας αυτής. Επιπλέον, ένα σημαντικό μέρος της υπάρχουσας τεχνολογίας έχει απαξιωθεί και πρέπει να αντικατασταθεί. Επίσης, όπως όλες οι βιομηχανίες έτσι και η βιομηχανία της ηλεκτρικής ενέργειας καλείται να ανταποκριθεί στην ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για νέες υπηρεσίες και εφαρμογές. Τέτοιες είναι η αμφίδρομη επικοινωνία του προμηθευτή Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΗΕ) με τον καταναλωτή, η παρακολούθηση της παραγωγής και της κατανάλωσης από τους παραγωγούς, τους λειτουργούς της αγοράς ΗΕ, τους διαχειριστές των τμημάτων διανομής και μεταφοράς ΗΕ, τους προμηθευτές και τους τελικούς χρήστες και τέλος ο έλεγχος του δικτύου συνολικά και επιμέρους από τα αρμόδια όργανα.

Το Ευφύες Ηλεκτρικό Δίκτυο ή Ευφύες Δίκτυο (ΕΔ) έχει τη δυνατότητα να παρέχει λύσεις στις ανωτέρω ανάγκες. Η δυναμική προσαρμογή της παραγωγής στη ζήτηση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής από συμβατικές μονάδες που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα καθώς επίσης και τη μείωση των απαιτούμενων επενδύσεων στο ΗΔ. Τα προαναφερθέντα συνεπάγονται μείωση στο τιμολόγιο των καταναλωτών, εξασφάλιση της παροχής ισχύος και κίνητρο για καινοτομία σε ένα αναδυόμενο τομέα.

Το ΕΔ μπορεί να θεωρηθεί ως ΗΔ το οποίο αξιοποιεί την τεχνολογία της Πληροφορικής και των Επικοινωνιών (Information and Communication Technology, ICT) και μπορεί να ενσωματώσει τις ενέργειες επικοινωνίας, παρακολούθησης και

ελέγχου του ΗΔ μεταξύ όλων των χρηστών που συνδέονται σε αυτό, με στόχο την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας με βιώσιμο, οικονομικό και ασφαλή τρόπο.

Οι στόχοι του ΕΔ είναι:

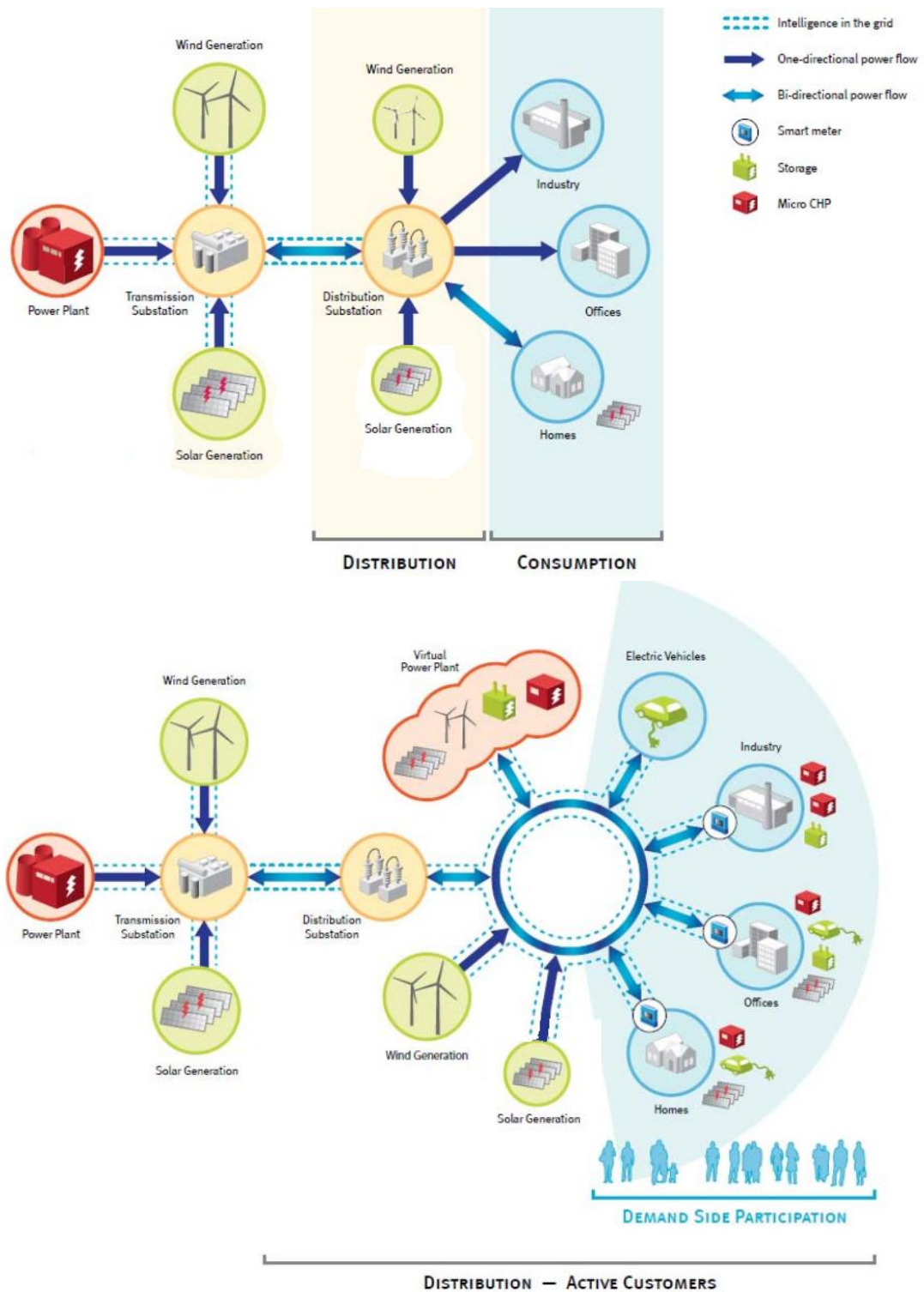
- η βελτίωση της ποιότητας ισχύος
- η αύξηση της αξιοπιστίας του ηλεκτρικού δικτύου
- η εξοικονόμηση πόρων (ΗΕ, κόστος λειτουργίας)
- η αύξηση της διείσδυσης των κατανεμημένων και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

Ενδεικτικά, μέσω του ευφυούς δικτύου μπορεί να αποστέλλονται στους καταναλωτές πληροφορίες για διαφορετική τιμολόγηση κατά τη διάρκεια μιας ημέρας ώστε η λειτουργία ενεργοβόρων οικιακών συσκευών να μετατίθεται σε ώρες όπου η ηλεκτρική ενέργεια είναι φθηνότερη. Η τεχνική αυτή ονομάζεται διαμόρφωση της καμπύλης του φορτίου μέσω της οποίας, ο καταναλωτής έχει τη δυνατότητα να μειώσει το κόστος της ενέργειας που καταναλώνει.

Για την αναβάθμιση του υπάρχοντος δικτύου σε ΕΔ, εγκαθίστανται έξυπνοι μετρητές σε διάφορους κόμβους των γραμμών. Οι έξυπνοι μετρητές είναι μονάδες που καταγράφουν τη ροή ισχύος σε όλο το εύρος του ΗΔ και επικοινωνούν αμφίδρομα με το Κέντρο Διαχείρισης της Πληροφορίας (Meter Data Management System, MDMS) με στόχο την παρακολούθηση και τον έλεγχο του ΗΔ.

Το ΕΔ αποτελείται από hardware (έξυπνοι μετρητές, αισθητήρες κτλ) και software (κεντρική υπολογιστική μονάδα) το οποίο καλύπτει και υποστηρίζει όλο το ΗΔ. Η κεντρική μονάδα υπολογισμού διαχειρίζεται τη ροή των δεδομένων, αποστέλλει εντολές στους διάφορους κόμβους του δικτύου και παρέχει πληροφορία σε πραγματικό χρόνο στους καταναλωτές, τους προμηθευτές και τους διαχειριστές των τμημάτων διανομής και μεταφοράς του δικτύου. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε ένα ΕΔ για τις μετρήσεις, την επικοινωνία και τον έλεγχο του ΗΔ έχουν χρησιμοποιηθεί στην πλειοψηφία τους σε άλλες εφαρμογές παραπλήσιων πεδίων.

Στα παραδοσιακά ηλεκτρικά δίκτυα η ισχύς ρέει ακτινωτά από ένα κεντρικό σταθμό παραγωγής προς τους καταναλωτές μέσω των δικτύων μεταφοράς και διανομής ενώ ο έλεγχος του δικτύου γίνεται συγκεντρωτικά. Αυτά τα δίκτυα δεν είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις που ανακύπτουν λόγω της αυξανόμενης εγκατάστασης κατανεμημένων ανανεώσιμων πηγών ΗΕ και της βροχοειδούς μεταφοράς ΗΕ (Σχήμα 1-1).



Σχήμα 1-1. Η ροή ισχύος στο παραδοσιακό ΗΔ και στο δίκτυο του μέλλοντος

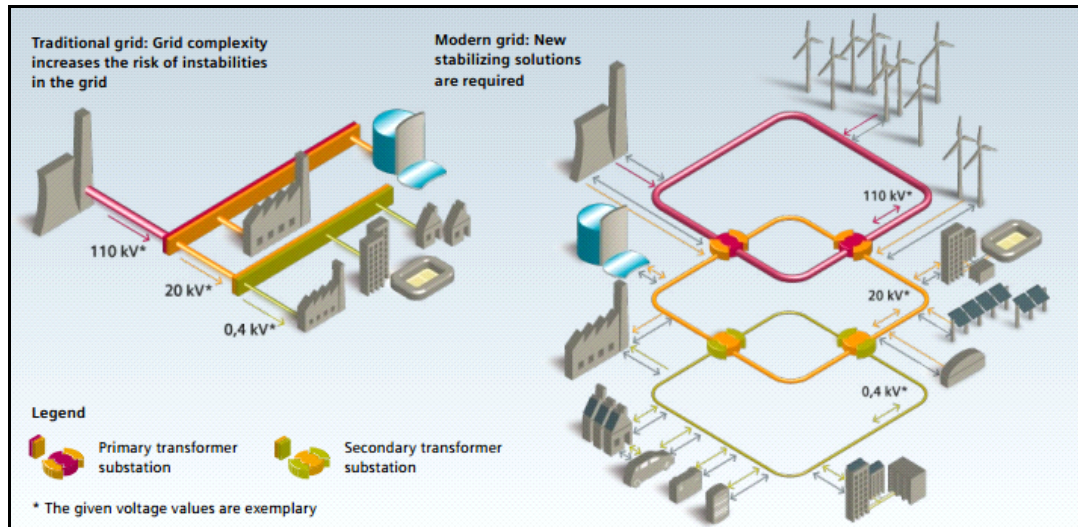
1.2 Η μετάβαση στα δίκτυα του μέλλοντος

Τα ηλεκτρικά δίκτυα υπό την τρέχουσα μορφή τους έχουν εγκατασταθεί σταδιακά τα τελευταία 100 χρόνια και δεν είναι σε θέση να αφομοιώσουν ούτε την απελευθέρωση της αγοράς ΗΕ ούτε τις τεχνολογικές καινοτομίες των τελευταίων ετών.

Στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες, οι εταιρείες ΗΕ μετατρέπονται από μονοπωλιακούς και καθετοποιημένους κρατικούς οργανισμούς σε ανταγωνιστικές επιχειρήσεις με διαχωρισμό των τομέων παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και προμήθειας της ΗΕ. Επιπλέον, οι καταναλωτές είναι πελάτες που συμμετέχουν στην απελευθερωμένη αγορά ΗΕ. Αυτό σημαίνει ότι επειδή οι απαιτήσεις των καταναλωτών είναι διαφοροποιημένες με βάση τις ανάγκες τους, τα συμφέροντα αυτών με αυξημένες ανάγκες αξιοπιστίας αντικρούονται με τα συμφέροντα εκείνων που δεν απαιτούν τέτοια υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας αλλά, εντούτοις, καλούνται να πληρώσουν το κόστος. Τέλος, ενώ, η ενσωμάτωση των ΑΠΕ είναι αναγκαία για τη μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων, η αυξημένη διείσδυση των ΑΠΕ προκαλεί σημαντική διαφοροποίηση στον τρόπο λειτουργίας των δικτύων ΗΕ, αφού οι ροές φορτίων καθίστανται πολύπλοκες και απρόβλεπτες λόγω του πολλαπλασιασμού των σημείων παραγωγής ΗΕ και σύνδεσης στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Συνεπώς, τα ΕΔ, που αποτελούν μετεξέλιξη των ΗΔ (Σχήμα 1-2), πρέπει να διασφαλίζουν την αποδοτική και βιώσιμη παροχή ΗΕ, να αξιοποιούν τις νέες τεχνολογίες, να προσαρμόζονται στις αλλαγές της πολιτικής δράσης και της επιχειρηματικής δραστηριότητας και να ενσωματώνουν τεχνολογίες παραγωγής που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον. Επίσης, πρέπει να προσφέρουν δυνατότητα διαδραστικής λειτουργίας στους χρήστες του ΗΔ. Τα πελατοκεντρικά ΗΔ αποτελούν καθοριστικό μελλοντικό στόχο. Επομένως, τα ΗΔ του μέλλοντος, δηλαδή τα ΕΔ, πρέπει να είναι:

- *Αξιόπιστα (reliable)*, δηλαδή να επιτυγχάνουν υψηλή ασφάλεια και ποιότητα της παροχής ΗΕ
- *Αποδοτικά (efficient)*, δηλαδή να επιτυγχάνουν αποτελεσματικότερη διαχείριση και αξιοποίηση της ΗΕ και επιτηρήσιμο ελεύθερο ανταγωνισμό και ρύθμιση
- *Προσαρμόσιμα (flexible)*, δηλαδή να είναι σε θέση να προσαρμόζονται στις ανάγκες και τις προκλήσεις του μέλλοντος
- *Προσβάσιμα (accessible)*, δηλαδή να επιτρέπουν τη δυνατότητα σύνδεσης σε κάθε είδους παραγωγούς και χρήστες
- *Φιλικά προς το περιβάλλον (environmental friendly)*, δηλαδή να ευνοούν τη διείσδυση των ΑΠΕ



Σχήμα 1-2 Η μετάβαση από το παραδοσιακό στο μοντέρνο δίκτυο

1.3 Ο ρόλος των τηλεπικοινωνιών στα Έξυπνα Δίκτυα

1.3.1 Οι προδιαγραφές του ΕΔ

Η δυνατότητα μετάδοσης πληροφορίας μεταξύ των χρηστών του δικτύου αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη σχεδίαση και τη λειτουργία των δικτύων. Επειδή οι, εκάστοτε, τρέχουσες τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες πρέπει να ενσωματώνονται άμεσα στα ΗΔ του μέλλοντος, η σχεδιάσή τους πρέπει να είναι εύκολα επεκτάσιμη σε νέες τεχνολογίες.

Με βάση τα προαναφερθέντα, η Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Επικοινωνιών (Information and Communication Technology, ICT) έχει κυρίαρχο ρόλο στη μετεξέλιξη των ΗΔ σε δίκτυα με λειτουργίες και υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και δυνατότητα αυτοδιαχείρισης. Για τον κατακεκολλημένο έλεγχο του ΗΔ σε πραγματικό χρόνο και τη συνεχή αποτίμηση του ισοζυγίου ισχύος, απαιτείται ένα αποδοτικό τηλεπικοινωνιακό μέσο που να επικοινωνεί με όλους τους κόμβους και όλα τα συστήματα του ΗΔ όπως, για παράδειγμα, οι έξυπνοι μετρητές και οι γραμμές μεταφοράς. Ο τελικός στόχος του ΕΔ είναι να υλοποιήσει επί του ΗΔ μία IP (Internet Protocol) τηλεπικοινωνιακή πλατφόρμα παράλληλη με την υπάρχουσα ενεργειακή υποδομή.

Οι βασικές αρχές σχεδίασης και οι απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS) του τηλεπικοινωνιακού δικτύου που θα εξυπηρετεί το ΕΔ είναι:

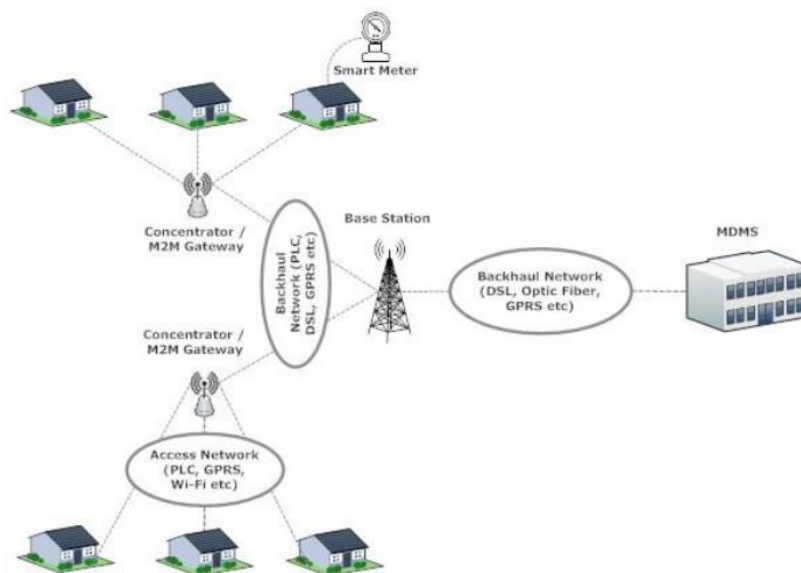
- Καθολική παρουσία
- Επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο
- Εξασφαλισμένη ταχύτητα μετάδοσης (εύρος ζώνης)

- Υψηλή διαθεσιμότητα, αξιοπιστία και ασφάλεια επικοινωνίας
- Επεκτασιμότητα

Είναι φανερό ότι η ορθή επιλογή της τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας αποτελεί σύνθετο πρόβλημα. Η απόφαση για την καταλληλότερη τεχνολογία λαμβάνεται με κριτήριο την εφαρμογή που πρόκειται να εξυπηρετηθεί, τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης, την απόσταση των κόμβων του δικτύου, τους περιορισμούς ως προς την ενεργειακή κατανάλωση και τους εκάστοτε οικονομικούς περιορισμούς.

1.3.2 Υποδομή Συστήματος ΕΔ

Οι τεχνολογίες που θα εξετασθούν στη συνέχεια αφορούν το δίκτυο πρόσβασης, δηλαδή το τμήμα μεταξύ έξυπνων μετρητών (Smart Meters, SM) και συγκεντρωτών (Concentrators) (Σχήμα 1-3). Ακολούθως, οι συγκεντρωτές αναλαμβάνουν να προωθήσουν τη συνολική κίνηση που προκύπτει από κάθε περιοχή στον πλησιέστερο σταθμό βάσης (Base Station, BS) μέσω, ενδεχομένως, διαφορετικής τηλεπικοινωνιακής τεχνολογίας. Η διαφοροποίηση οφείλεται στον αυξημένο όγκο κίνησης που καλείται να εξυπηρετήσει η ζεύξη συγκεντρωτή- σταθμού βάσης καθώς και στην απόσταση που ενδέχεται να υπάρχει μεταξύ τους. Στη συνέχεια, οι σταθμοί βάσης προωθούν τα δεδομένα προς το κέντρο διαχείρισης (MDMS). Η τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία ενδέχεται και πάλι να διαφοροποιηθεί καθώς η κίνηση και η απόσταση μετάδοσης είναι τώρα ακόμα μεγαλύτερη. Το τμήμα του δικτύου που αναπτύσσεται από τους συγκεντρωτές προς το κέντρο διαχείρισης αποτελεί το δίκτυο κορμού (backhaul network).



Σχήμα 1-3. Υποδομή συστήματος ΕΔ

1.3.3 Οι διαθέσιμες τεχνολογίες

Υποψήφιες για την υλοποίηση του ΕΔ είναι τρεις κατηγορίες τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών:

- Power Line Communication (PLC) – επικοινωνία μέσω των ίδιων των γραμμών ηλεκτρικής ισχύος ως φυσικών μέσων μετάδοσης των τηλεπικοινωνιακών σημάτων
- Wireless Technologies – κατάλληλοι συνδυασμοί ασύρματων τεχνολογιών κατά περίπτωση εφαρμογής ή υπηρεσίας (π.χ. GPRS, LTE, WiFi)
- Off Grid Telecommunication Technologies – ενσύρματα μέσα μετάδοσης (π.χ. οπτικές ίνες, DSL) με υποδομή παράλληλη προς αυτή του ΗΔ

Κάθε τεχνολογία αξιολογείται με βάση κριτήρια αξιολόγησης που λαμβάνουν υπόψη την ποιότητα υπηρεσίας (QoS), την κάλυψη, τη διαθεσιμότητα και το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Η συγκριτική αξιολόγηση των προαναφερθέντων τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών παρουσιάζεται στον Πίνακα 1-1.

Πίνακας 1-1. Σύγκριση των τηλεπικοινωνιακών υποδομών για την υλοποίηση ΕΔ

	Ποιότητα Υπηρεσίας – QoS	Κάλυψη - Διαθεσιμότητα	Κόστος
PLC	Πολύ Καλή	Καθολική	Μέτριο
GPRS (2G,3G)	Μέτρια	Αστικές και αγροτικές περιοχές	Χαμηλό
LTE	Καλή	Αστικές και ορισμένες αγροτικές περιοχές	Μέτριο
WiFi	Καλή	Αστικές και ορισμένες αγροτικές περιοχές	Μέτριο
Οπτικές Ίνες	Πολύ Καλή	Αστικές Περιοχές	Αρκετά Υψηλό

Από τον Πίνακα 1-1 γίνεται αντιληπτό ότι κάθε τεχνολογική επιλογή έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, με την οπτική ίνα αντιμετωπίζονται σχεδόν όλα τα τεχνικά προβλήματα (ρυθμός μετάδοσης, καθυστέρηση, απόσταση κάλυψης) αλλά το πολύ υψηλό κόστος εγκατάστασης την καθιστά μη επιλέξιμη για την υλοποίηση του ΕΔ. Επιπλέον, η σχεδίαση ενός δικτύου επικοινωνιών εξαρτάται δραστικά από την τοπολογία του ΗΔ και την κατανομή των κόμβων του.

Συγκριτικά με τις υπόλοιπες τεχνολογίες, η τεχνολογία PLC προσφέρει μια ποικιλία λύσεων για την επικοινωνία στο ΕΔ. Αν και άλλες τεχνολογίες υπερτερούν σε συγκεκριμένους τομείς, η τεχνολογία PLC υπερέρχει ως προς ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως το ότι η τηλεπικοινωνιακή υποδομή ανήκει στις εταιρείες

ηλεκτρισμού, με αποτέλεσμα αυτές να έχουν πλήρη έλεγχο της τηλεπικοινωνιακής υποδομής του ΕΔ.

Η τεχνολογία PLC μπορεί να εφαρμοστεί σε όλο το εύρος του ΗΔ μεταφέροντας το τηλεπικοινωνιακό σήμα μέσω των γραμμών υψηλής, μέσης ή χαμηλής τάσης. Συνηθίζεται, ωστόσο, να χρησιμοποιούνται οι γραμμές Μέσης Τάσης (MT) και Χαμηλής Τάσης (ΧΤ), οι οποίες καλύπτουν ευρείες γεωγραφικές περιοχές. Οι γραμμές Υψηλής Τάσης (ΥΤ) εμφανίζουν το μειονέκτημα του εξαιρετικά υψηλού επιπέδου θορύβου, επιβαρύνοντας σημαντικά τη μετάδοση των σημάτων. Εξίσου απαγορευτική είναι η απόσταση που χωρίζει τις γραμμές ΥΤ από τις αστικές περιοχές με αποτέλεσμα τη μεγάλη εξασθένηση των PLC σημάτων.

Τα υπάρχοντα κυψελωτά δίκτυα επικοινωνιών GSM με τις τεχνολογίες GPRS, LTE αποτελούν επίσης καλή επιλογή για τη μετάδοση της πληροφορίας από τις τερματικές διατάξεις (αισθητήρες, smart meters) σε κόμβους συγκέντρωσης δεδομένων (concentrators) και γενικώς από σημεία του ΗΔ όπου ο θόρυβος των γραμμών ΗΕ είναι απαγορευτικός για μετάδοση.

Ο έλεγχος των Κατανεμημένων Πηγών (ΚΠ) ΗΕ, που αποτελεί και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, μπορεί να πραγματοποιηθεί από ένα υβριδικό δίκτυο που περιλαμβάνει τόσο την PLC τεχνολογία όσο και την τεχνολογία κινητών επικοινωνιών.

1.3.4 Η τεχνολογία PLC

Οι επικοινωνίες μέσω γραμμών μεταφοράς ισχύος χρησιμοποιούν το υπάρχον δίκτυο διανομής ενέργειας για μετάδοση δεδομένων και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κατηγορίες με κριτήριο τον τρόπο εκμετάλλευσης του τμηματοποιημένου εύρους ζώνης τους:

- Χαμηλής ταχύτητας επικοινωνίες με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων της τάξης των λίγων kbps (Narrow Band PLC, NB-PLC). Οι NB-PLC επικοινωνίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τηλεμετρία, σηματοδосία, εφαρμογές ελέγχου ΚΠ κτλ.
- Υψηλής ταχύτητας επικοινωνίες (Broadband PLC, BB-PLC) με ρυθμούς δεδομένων υψηλότερους από 1Mbps. Οι επικοινωνίες αυτές παρέχουν τη δυνατότητα σύνδεσης είτε στο Διαδίκτυο είτε σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών και πολυμεσικού εξοπλισμού μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονται το DSL, συσκευές ήχου, κάμερες ασφαλείας, τηλέφωνα IP κτλ. Επιπλέον, η BB-PLC τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί και στο δίκτυο κορμού όπου ο όγκος των δεδομένων προς μετάδοση από τους διάφορους κόμβους συγκέντρωσης είναι μεγάλος.

Τα οφέλη από την εγκατάσταση των συστημάτων PLC επί του δικτύου ΗΕ είναι άμεσα και έμμεσα. Με την τεχνολογία PLC μπορούν να μεταδοθούν χρήσιμες πληροφορίες στον τελικό καταναλωτή, όπως οι τιμές ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, λογαριασμοί κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, στοιχεία ενεργειακής χρήσης κλπ. Ταυτόχρονα, μπορούν να ληφθούν αυτόματες ή προγραμματισμένες αποφάσεις που αφορούν ή προέρχονται από πελάτες, όπως διακοπή φορτίων. Τελικά, οι πελάτες αποκτούν τη δυνατότητα να τροποποιήσουν και να αλληλεπιδράσουν με το δίκτυο της ΗΕ στο βαθμό που επιθυμούν. Οι εφαρμογές αυτές απαιτούν ένα ρυθμό μετάδοσης μεταξύ 15-30 kbps, οπότε η τεχνολογία NB-PLC είναι επαρκής για την κάλυψη των τηλεπικοινωνιακών αναγκών του ΕΔ στο δίκτυο πρόσβασης.

1.3.5 Κυψελωτά δίκτυα επικοινωνιών

Όπως αναφέρθηκε στο εδάφιο 1.3.3, η τεχνολογία των κυψελωτών δικτύων (cellular networks), αποτελεί μία καλή επιλογή για τη μετάδοση των σημάτων του ΕΔ. Ωστόσο, επειδή ο αρχικός σκοπός του δικτύου ήταν η ανθρώπινη (Human to Human-H2H) επικοινωνία, πρέπει προηγουμένως να γίνουν κατάλληλες τροποποιήσεις ώστε να υποστηρίζεται επιτυχώς η επικοινωνία μεταξύ μηχανών (Machine to Machine-M2M). Η πληροφορία που συλλέγουν οι τερματικές διατάξεις μπορεί να μεταδοθεί μέσω των διαθέσιμων τεχνολογιών κινητών επικοινωνιών GPRS (2G, 3G) και LTE, οι οποίες καλύπτουν όλη την ελληνική επικράτεια.

Τα κυψελωτά δίκτυα επικοινωνιών είναι ήδη εγκατεστημένα, γεγονός που απαλλάσσει τις εταιρείες από το κόστος εγκατάστασης νέας τηλεπικοινωνιακής υποδομής. Επίσης, διαθέτουν επαρκή χωρητικότητα για ΕΔ εφαρμογές λόγω του μικρού όγκου διακινούμενης πληροφορίας. Χαρακτηρίζονται ακόμα από υψηλό επίπεδο προστασίας κατά τη μετάδοση πληροφορίας. Οι τεχνολογίες 2G,3G και LTE λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες επιτρέποντας τη μετάδοση πληροφορίας με διαφόρους ρυθμούς (από 170Kbps έως 2Mbps). Το ποσοστό κάλυψης των εγκατεστημένων κυψελωτών δικτύων αγγίζει το 100%. Από την άλλη πλευρά, η επίδοση των δικτύων κινητών επικοινωνιών καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το βαθμό εξυπηρέτησης (Grade of Service, GoS), μέγεθος που αποτιμά την πιθανότητα απόρριψης αιτημάτων πρόσβασης στο δίκτυο. Μικρός GoS ενδέχεται να οδηγήσει σε απόρριψη της πληροφορίας κρίσιμων ΕΔ εφαρμογών σε ώρες αιχμής κίνησης, δεδομένου ότι το δίκτυο χρησιμοποιείται ήδη για αμιγώς τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Η συμφόρηση στο κυψελωτό δίκτυο μπορεί να μειώσει αρκετά την επίδοση των ΕΔ εφαρμογών. Τέλος, η από-άκρο-σε-άκρο επικοινωνία μέσω δικτύου κινητών επικοινωνιών είναι ενεργειακά δαπανηρή εφόσον χρειάζονται επαναλήπτες. Βλάβες ή διακοπή της τροφοδοσίας σε σταθμούς βάσης θέτουν προσωρινά το δίκτυο εκτός λειτουργίας.

Ως πλέον λογική προσέγγιση για την τηλεπικοινωνιακή κάλυψη του ΗΔ θεωρείται η έγχυση του σήματος PLC στις γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος και, στη συνέχεια, μέσω του δικτύου κινητών επικοινωνιών να επιτυγχάνεται η ασύρματη μετάδοση στον τελικό χρήστη. Προτείνεται δηλαδή για το δίκτυο πρόσβασης του ΕΔ ένα υβριδικό δίκτυο NB-PLC και GPRS/3G.

2^ο Κεφάλαιο – Αυτόνομα Νησιωτικά Συστήματα

2.1 Χαρακτηριστικά των ΑΝΣ

Στην ελληνική επικράτεια υπάρχουν 88 κατοικημένα ηλεκτροδοτούμενα νησιά. Τα 32 από αυτά είναι διασυνδεδεμένα με το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) της ηπειρωτικής Ελλάδας. Τα υπόλοιπα 56 τροφοδοτούνται από αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα.

Τα μη διασυνδεδεμένα νησιά τροφοδοτούνται από 32 ηλεκτρικά συστήματα (ΗΣ) που υπάγονται σε νησιά ή σε νησιωτικά συμπλέγματα και είναι αυτόνομα. Σήμερα στα Αυτόνομα Νησιωτικά Συστήματα (ΑΝΣ) λειτουργούν:

- 35 Θερμικοί Σταθμοί, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 1717 MW
- 1863 Σταθμοί ΑΠΕ, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 444MW

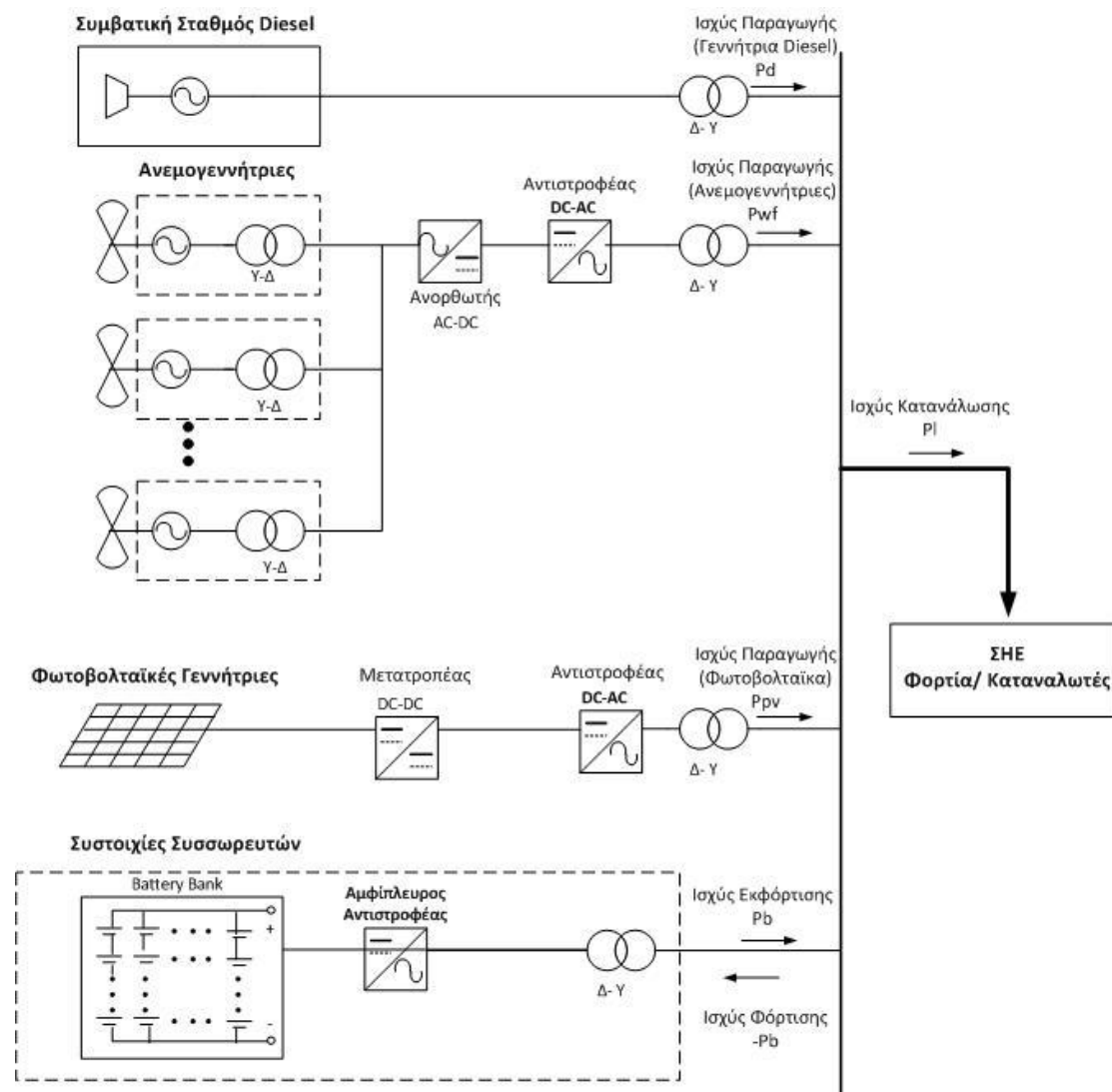
Δεδομένου ότι τα νησιωτικά δίκτυα είναι απομονωμένα ηλεκτρικά συστήματα δεν έχουν τη δυνατότητα ανταλλαγής ενέργειας με γειτονικά συστήματα, με άμεση επίπτωση στην εξασφάλιση ενεργειακού εφοδιασμού. Το μέγεθος των νησιωτικών ηλεκτρικών συστημάτων κυμαίνεται ανάλογα με το μέγεθος και τις ανάγκες κάθε νησιού. Το εύρος μεγέθους των ΣΗΕ των νησιών είναι μεγάλο, με μέγιστη ζήτηση ενέργειας που κυμαίνεται ανά ΣΗΕ από μερικές εκατοντάδες kW (10 ΑΝΣ), μέχρι μερικές δεκάδες MW (20 ΑΝΣ) ή και αρκετές εκατοντάδες MW (2 ΑΝΣ). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι δεν μπορεί να εφαρμοσθεί μία μοναδική μέθοδος για την ηλεκτροδότησή τους αλλά πρέπει να δημιουργηθεί ένα ευέλικτο και προσαρμόσιμο σύστημα που να λειτουργεί τόσο με συμβατικές μονάδες παραγωγής όσο και με ΑΠΕ και αποθηκευτικές μονάδες ενέργειας. Το κόστος παραγωγής ΗΕ στα ΑΝΣ είναι υψηλό σε σχέση με αυτό του διασυνδεδεμένου ηπειρωτικού συστήματος της χώρας. Επιπλέον, η απουσία διασύνδεσης με ισχυρότερα ηλεκτρικά συστήματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευστάθεια, προκαλεί προβλήματα ευστάθειας συχνότητας και τάσης στο ηλεκτρικό σύστημα των ΑΝΣ.

Οι προαναφερθείσες ιδιαιτερότητες των ΗΣ των ΑΝΣ περιορίζουν τη μέγιστη επιτρεπόμενη διείσδυση ΑΠΕ και επιτάσσουν τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των Μονάδων Παραγωγής, ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής και αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου. Χαρακτηριστικό είναι ότι, στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης των ΑΠΕ, οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα αντιμετωπίζονταν αποκλειστικά ως «αρνητικά φορτία». Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να ακολουθούν τους ίδιους κανονισμούς με του καταναλωτές χωρίς να χρειάζεται να

αναλαμβάνουν περαιτέρω υπηρεσίες για το δίκτυο, όπως η ρύθμιση τάσης. Πλέον, οι ΑΠΕ που συνδέονται σε ένα ΗΣ προσφέρουν αυξημένες δυνατότητες ελέγχου, όπως ρύθμιση της τάσης και του συντελεστή ισχύος, καθώς και καλύτερη ποιότητα ισχύος ικανοποιώντας έτσι τις απαιτήσεις που τίθενται από τους διαχειριστές των δικτύων.

2.2 Τοπολογία του ΑΝΣ

Στο Σχήμα 2-1 απεικονίζεται το δομικό και λειτουργικό διάγραμμα παραγωγής σε ένα μικρό ΑΝΣ.



Σχήμα 2-1. Δομικό διάγραμμα παραγωγής σε ΑΝΣ

2.2.1 Συμβατικές Μονάδες Παραγωγής

Τα ΑΝΣ τροφοδοτούνται κατά κανόνα από πετρελαϊκές μονάδες (Γεννήτριες Ντίζελ) με καύσιμο μαζούτ ή ντίζελ, οι οποίες δεν είναι αποδεκτό, προς αποφυγή φθορών, να λειτουργούν κάτω από ένα συγκεκριμένο ποσοστό της ονομαστικής τους ισχύος, το οποίο καλείται τεχνικό ελάχιστο. Η κάλυψη των αναγκών ενός ΑΝΣ σε ΗΕ βασίζεται κυρίως στο πετρέλαιο. Η μεγάλη πρόκληση είναι η ανάπτυξη τεχνολογιών αποθήκευσης ΗΕ, ηλεκτρονικών ισχύος και τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών για τη διαχείριση του δικτύου με στόχο τη βιωσιμότητα των νησιών και την πραγματική τους αυτονομία.

2.2.2 Καταναεμημένη Παραγωγή

Εκτός από τη χρήση κεντρικών συμβατικών μονάδων παραγωγής που βασίζονται στην καύση ορυκτών καυσίμων, η παραγωγή ΗΕ γίνεται και με χρήση Καταναεμημένης Παραγωγής (ΚΠ). Ως ΚΠ ορίζεται συνήθως η παραγωγή ενέργειας μικρής κλίμακας κοντά στο φορτίο. Οι κύριες πηγές ΚΠ είναι οι ΑΠΕ και συγκεκριμένα τα Αιολικά Πάρκα (Α/Π) και τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα (ΦΒΣ). Στον Πίνακα 2-1 καταγράφεται η συνολική παραγωγή ενέργειας από συμβατικές μονάδες και ΑΠΕ για ορισμένα ΑΝΣ κατά το έτος 2008.

Τα σημαντικότερα οφέλη που προσφέρουν σε τεχνικό επίπεδο οι μονάδες ΚΠ είναι τα ακόλουθα:

- Υποστήριξη και σταθερότητα στην παροχή τάσης, αφού μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς
- Αξιοπιστία και εφεδρική παροχή ενεργού και αέργου ισχύος για απρόβλεπτα φαινόμενα συμφόρησης του δικτύου
- Δυνατότητα αυτόνομης εκκίνησης (black start)
- Μείωση φορτίου αιχμής

Η εισαγωγή της ΚΠ σε ευρεία κλίμακα, εκτός από τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, επιφέρει και μειονεκτήματα τα οποία, αν αγνοηθούν, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στη λειτουργία του δικτύου με επακόλουθα αρνητικά οικονομικά και περιβαλλοντικά αποτελέσματα. Μερικά από τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης ανά kWh εγκατεστημένης ισχύος
- Διακοπτόμενη λειτουργία των ΑΠΕ, λόγω του ότι εξαρτώνται άμεσα από τις κλιματικές συνθήκες

Με την εισαγωγή ΚΠ στο δίκτυο ΗΕ αλλάζει η ροή ισχύος από μονόπλευρη σε αμφίπλευρη. Οι εγκαταστάσεις ΚΠ ενδείκνυται να συνδέονται κατα το δυνατόν εγγύτερα προς τις καταναλώσεις. Έτσι, περιορίζονται οι ροές ισχύος επί των γραμμών και των Μ/Σ του δικτύου. Βασικό κριτήριο για τη σύνδεση ΚΠ στο δίκτυο

αποτελεί το μέγεθος της εγκατάστασης καθώς και τα χαρακτηριστικά της περιοχής (αν είναι κατοικημένη ή όχι, η προοπτική σύνδεσης και άλλων εγκαταστάσεων στο μέλλον κλπ). Στο Κεφάλαιο 3 θα αναλυθούν τα χαρακτηριστικά του Αιολικού Πάρκου, το οποίο αποτελεί βασικό στοιχείο μελέτης της παρούσας διπλωματικής.

Πίνακας 2-1. Παραγωγή ενέργειας για μη διασυνδεδεμένα νησιά

Αυτόνομο Νησιωτικό Σύστημα (Συμπλέγματα Νησιών)	Παραγωγή Ενέργειας	
	Συμβατική Παραγωγή (GWh)	Ενέργεια ΑΠΕ (GWh)
Αγ. Ευστράτιος	1.07	0
Λέσβος	270.4	35.1
Λήμνος	64.4	0.8
Σάμος	141.52	20.09
Ικαρία	26.93	2.55
Χίος	204.14	11.93
Αμοργός	9.61	0
Ανάφη	1.09	0
Θήρα	116.56	0
Κύθνος	7.81	0
Δονούσα	0.59	0
Μήλος	34.53	6.14
Μύκονος	110.4	1.73
Σύρος	106.4	6.25
Πάρος	203.42	0
Σέριφος	7.8	0
Σίφνος	17.3	0.07
Κάρπαθος	33.29	3.43
Κως	276.56	16.14
Κάλυμνος	54.87	0
Μεγίστη	2.46	0
Πάτμος	13.97	2.54
Σύμη	12.7	0
Ρόδος	726.52	31.27
Σκύρος	15.81	0
Κρήτη	2616.35	427.19

2.2.3 Γραμμές Μεταφοράς

Στα ΑΝΣ η παραγόμενη ισχύς μεταφέρεται από τους σταθμούς παραγωγής μέσω των γραμμών μεταφοράς στους καταναλωτές. Από τους διάφορους υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ ξεκινούν γραμμές ΜΤ, οι οποίες ανήκουν στο δίκτυο διανομής. Το πλήθος των γραμμών αυτών κυμαίνεται από μία έως πέντε, ενώ το μήκος τους είναι της τάξης των δεκάδων χιλιομέτρων. Ένας τύπος γραμμών που χρησιμοποιείται στα νησιά είναι οι 95 ΑCSR. Τα εναέρια καλώδια της ΜΤ κατασκευάζονται είτε από

χαλκό είτε από αλουμίνιο και υποστηρίζονται από πυλώνες οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση 50m ο ένας από τον άλλον.

2.2.4 Φορτία ΣΗΕ

Για την εκπόνηση οποιασδήποτε μελέτης για σχεδίαση και υλοποίηση ενός ΣΗΕ είναι αναγκαία η γνώση των φορτίων του συστήματος. Τα φορτία μπορεί να είναι οικιακά, εμπορικά ή βιομηχανικά. Μπορεί να είναι συνδεδεμένα απευθείας με το σταθμό παραγωγής ή να βρίσκονται διασκορπισμένα στο ηλεκτρικό σύστημα του νησιού. Η παρακολούθηση και ο προσδιορισμός της ζήτησης των φορτίων με τις υπάρχουσες τεχνολογίες αποτελούν δύσκολη διαδικασία η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη σχεδίαση του δικτύου. Με δεδομένη την ενεργό ισχύ (P) και το συντελεστή ισχύος ($\cos\varphi$), η άεργος ισχύς που παράγουν τα φορτία προκύπτει: $Q = P \tan\phi$ (2.1)

2.2.5 Σύστημα Αποθήκευσης Ενέργειας

Για την αποτελεσματικότερη χρήση των ΑΠΕ σε ένα ΑΝΣ, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Στις χρονικές περιόδους κατά τις οποίες η παραγόμενη ενέργεια είναι αυξημένη αλλά δεν υπάρχει ανάλογη ζήτηση από το φορτίο, η πλεονάζουσα ενέργεια πρέπει να αποθηκεύεται. Αντίθετα, σε περιόδους όπου είναι αδύνατη η παραγωγή ενέργειας ή η ζήτηση είναι αυξημένη, η αποθηκευμένη ενέργεια πρέπει να αποδίδεται στο δίκτυο.

Βέβαια, η αξία των αποθηκευτικών διατάξεων είναι ότι μπορούν να επιτελέσουν περισσότερες από μία λειτουργίες. Στη συνέχεια, συνοψίζονται οι πιθανές εφαρμογές που μπορεί να έχουν οι αποθηκευτικές διατάξεις σε ένα ΣΗΕ:

- Αποθήκευση ενέργειας για αποφυγή παραβίασης των τεχνικών ελαχίστων των θερμικών μονάδων
- Χρήση αποθηκευτικής διάταξης για εξομάλυνση της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ και αποδοτικότερης συμμετοχής τους στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας αποθηκεύοντας στις ώρες χαμηλού κόστους και αποδίδοντας την στις ώρες υψηλού κόστους προς εκμετάλλευση της διαφοράς τιμών
- Αποθήκευση ενέργειας για χρήση σε επόμενο χρονικό διάστημα οπότε ενδεχομένως δεν υπάρχει διαθέσιμη παραγωγή (πρακτική συνηθισμένη σε μικρά ΑΝΣ)
- Παροχή ισχύος σε απότομη διακύμανση της ζήτησης (αιχμές φορτίου)
- Περιορισμός απωλειών δικτύου λόγω εντοπισμένης ισχύος σε τοπικό επίπεδο
- Αδιάλειπτη παροχή ισχύος
- Σταθεροποίηση τάσης και συχνότητας

Τα διάφορα μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζουν τη λειτουργία τους σε μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε χημική (πχ μπαταρίες), μαγνητική (πχ Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES) ή δυναμική (πχ αντλησιοταμίευση) και, στη συνέχεια, την εκ νέου μετατροπή της ενέργειας αυτής σε ηλεκτρική.

2.2.6 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος

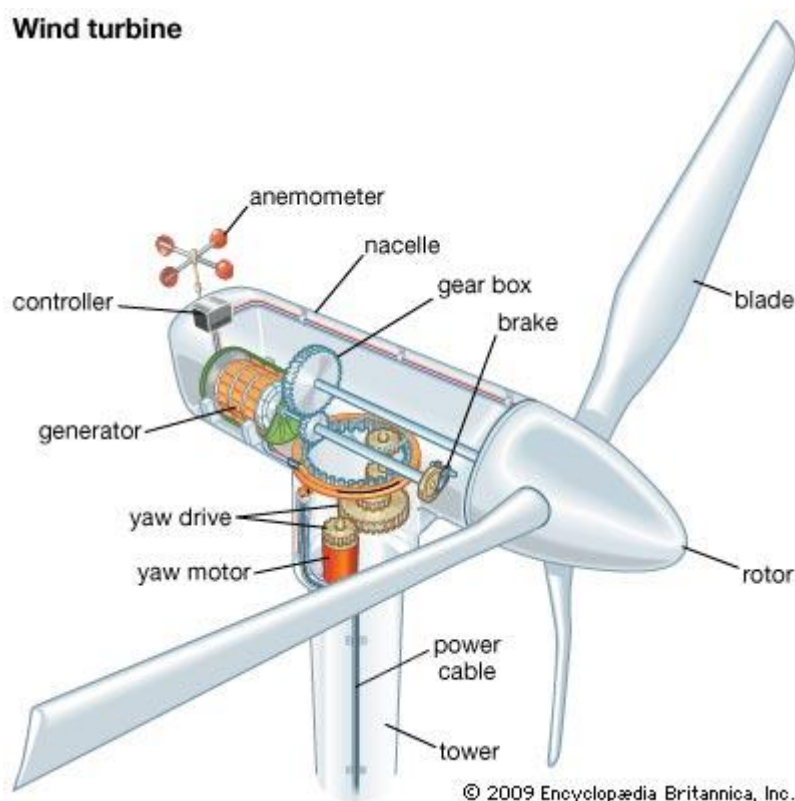
Ένα βασικό ζητούμενο στα συστήματα μεταφοράς ΗΕ είναι η διατήρηση της τάσης εντός των προβλεπόμενων ορίων σε όλα τα επίπεδα του συστήματος. Ιδιαίτερα όταν το σύστημα τροφοδοτείται από πολλές πηγές και τροφοδοτεί πολυάριθμα φορτία σε όλα τα επίπεδα των τάσεων (ΧΤ, ΜΤ, ΥΤ) του συστήματος, η σταθεροποίηση της τάσης αποτελεί πολύπλοκη διαδικασία. Για το λόγο αυτό, η σταθεροποίηση της τάσης δεν μπορεί να εξασφαλίζεται μόνο από τις συμβατικές γεννήτριες που αποτελούν τις πηγές ενεργού και άεργου ισχύος αλλά πρέπει να γίνεται και με τις άλλες τεχνολογίες παραγωγής σε περισσότερες θέσεις του δικτύου. Για τον έλεγχο της τάσης χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι και διατάξεις, όπως πυκνωτές αντιστάθμισης που εγχέουν άεργο ισχύ.

Η αντιστάθμιση της άεργου ισχύος είναι ο αποτελεσματικότερος τρόπος για τη βελτίωση τόσο της ικανότητας μεταφοράς πραγματικής ισχύος όσο και της ευστάθειας της τάσης. Συνηθισμένες μορφές άεργου αντιστάθμισης είναι οι πυκνωτές σε σειρά, οι εγκάρσιοι πυκνωτές ή/και επαγωγές, οι σύγχρονοι αντισταθμιστές και οι στατικοί αντισταθμιστές άεργου ισχύος.

3^ο Κεφαλαιο- Αιολικό Πάρκο

Στην παρούσα διπλωματική εξετάζεται η ενσωμάτωση της κατανεμημένης παραγωγής, και συγκεκριμένα του Αιολικού Πάρκου σε ένα μη διασυνδεδεμένο νησιωτικό σύστημα. Κατωτέρω, μελετώνται τα τμήματα της Ανεμογεννήτριας (Σχήμα 3-1), τα διάφορα είδη Ανεμογεννητριών και ο τρόπος σύνδεσης ενός Α/Π στο ΣΗΕ.

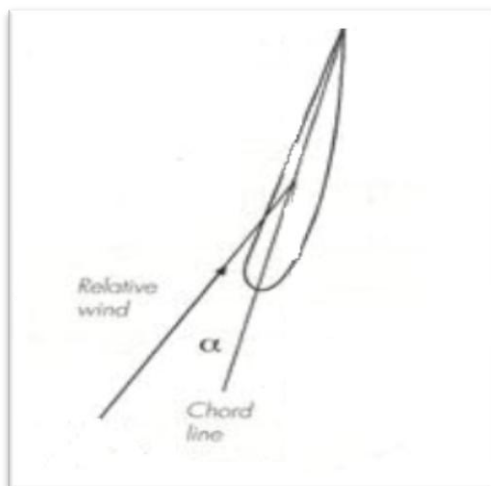
3.1 Το σύστημα της Ανεμογεννήτριας (Α/Γ)



Σχήμα 3-1 Τα βασικότερα δομικά στοιχεία μιας Α/Γ

Ανεμομετρητής (Anemometer): Μετρά την ταχύτητα του ανέμου και μεταφέρει δεδομένα για την ταχύτητα του ανέμου στον ελεγκτή.

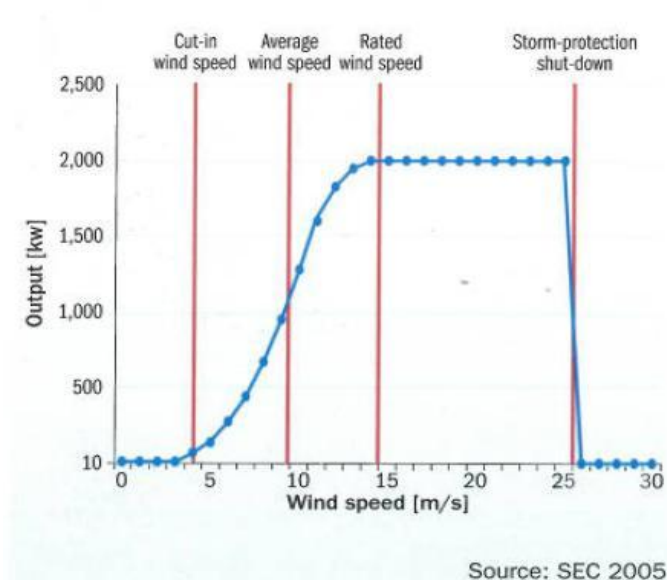
Πτερύγια (Blades): Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν έλικες με δύο ή τρία πτερύγια. Στο πτερύγιο ασκούνται δύο δυνάμεις. Η μία είναι η δύναμη τριβής του αέρα και η άλλη είναι η δύναμη της άνωσης, που στρέφει το πτερύγιο περί τον άξονά του. Για να επιτευχθεί υψηλός αεροδυναμικός συντελεστής του ρότορα (δηλαδή του ηλεκτρικού κινητήρα), χρειάζεται ο λόγος της τριβής προς την άνωση να είναι ελάχιστος. Ο λόγος αυτός εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης α που ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της σχετικής ταχύτητας του ανέμου και της χορδής της αεροτομής όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-2.



Σχήμα 3-2. Η γωνία πρόσπτωσης α

Φρένο (Brake): Ένας δίσκος φρένου, ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει κατά μηχανικό, ηλεκτρικό ή υδραυλικό τρόπο, ώστε να σταματά ο ρότορας σε περιπτώσεις επείγουσας ανάγκης.

Ελεγκτής (Controller): Ο ελεγκτής εκκινεί τη μηχανή για ταχύτητα ανέμου μεγαλύτερη από 5m/s και την σταματά όταν φθάσει στα 25m/s περίπου (Σχήμα 3-3). Οι τουρμπίνες δεν λειτουργούν για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των 25 m/s γιατί κινδυνεύουν να καταστραφούν.



Σχήμα 3-3. Τυπική καμπύλη ισχύος- ταχύτητας ανέμου

Κιβώτιο Ταχυτήτων (Gear box): Τα γρανάζια συνδέουν τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνουν τις ταχύτητες περιστροφής από 30 - 60rpm (Revolutions Per Minute) σε 1000-1800rpm. Αυτή είναι η ταχύτητα περιστροφής την οποία οι περισσότερες ανεμογεννήτριες απαιτούν ώστε να

παραγάγουν ηλεκτρισμό. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ακριβό εξάρτημα της ανεμογεννήτριας και οι μηχανικοί ερευνούν προς την κατεύθυνση ανεμογεννητριών άμεσης ώθησης (direct-drive) οι οποίες λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και δεν χρειάζονται κιβώτιο ταχυτήτων.

Γεννήτρια (Generator): Γεννήτρια εισαγωγής που παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα 50/60Hz.

Πυλώνας / Πύργος (Tower): Οι πύργοι κατασκευάζονται από ατσάλι σε σωληνοειδή μορφή, τσιμέντο, ή από ατσάλι σε καφασωτή μορφή, υπό μορφή πλέγματος. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος, οι υψηλότεροι πύργοι προσφέρουν τη δυνατότητα στις τουρμπίνες να αποσπασούν περισσότερη αιολική ενέργεια και να παραγάγουν υψηλότερα μεγέθη ηλεκτρικής ισχύος.

Οδηγός για την Αποφυγή Εκτροπής (Yaw drive): Χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι ο ρότορας θα είναι στραμμένος προς τον άνεμο καθώς ο άνεμος αλλάζει κατεύθυνση.

3.2 Είδη Ανεμογεννητριών

Με κριτήριο τον προσανατολισμό των αξόνων τους, οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ταξινομηθούν σε:

- 1) Κατακόρυφου άξονα
- 2) Οριζόντιου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα έχουν τον άξονα του δρομέα τοποθετημένο κατακόρυφα (Σχήμα 3-4). Η διάταξη αυτή έχει εφαρμογή κυρίως σε περιοχές όπου η μεταβλητότητα του ανέμου είναι πολύ μεγάλη. Το κιβώτιο ταχυτήτων και η γεννήτρια τοποθετούνται κοντά στο έδαφος με αποτέλεσμα να είναι εύκολα προσβάσιμα και να μη χρειάζεται πυλώνας στήριξης. Εντούτοις, οι Α/Γ κατακόρυφου άξονα εμφανίζουν δυο σοβαρά μειονεκτήματα:

- Δεν έχουν υψηλή απόδοση αφού η ενέργεια του ανέμου είναι μικρότερη κοντά στο έδαφος
- Έχουν χαμηλή ροπή εκκίνησης, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να τεθούν σε λειτουργία από μόνες τους



Σχήμα 3-4. Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα κατηγοριοποιούνται στις οριζοντίου άξονα τύπου *Head on*, στις οποίες ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου, και στις τύπου *Cross Wind* στις οποίες ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης αλλά κάθετος στην κατεύθυνση του ανέμου. Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες του εμπορίου σήμερα ανήκουν στην κατηγορία αυτή κυρίως επειδή χαρακτηρίζονται από υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή.

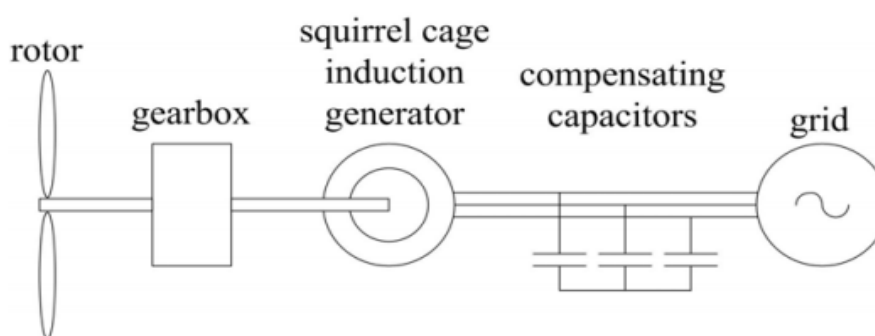
Ανάλογα με το πλήθος των πτερυγίων τους, οι Α/Γ οριζοντίου άξονα ταξινομούνται σε μονόπτερες, δίπτερες, τρίπτερες ή πολύπτερες. Η πλειοψηφία των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιούνται είναι αυτές με τρία πτερύγια διότι είναι σταθερότερες, αφού το αεροδυναμικό φορτίο κατανέμεται σχετικά ομοιόμορφα.

Οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται και συνδέονται στο δίκτυο υπό τη μορφή αιολικών πάρκων. Η ονομαστική ισχύς μιας τυπικής σύγχρονης ανεμογεννήτριας κυμαίνεται από 850kW έως και 5MW, ενώ τα αιολικά πάρκα που ήδη υπάρχουν ή είναι υπό σχεδίαση στην Ελλάδα έχουν συνολική ισχύ που κυμαίνεται από 5 έως 50MW. Κατά τις μελέτες σε επίπεδο συστήματος, οι ανεμογεννήτριες με παρόμοια τεχνικά χαρακτηριστικά ομαδοποιούνται και περιγράφονται από μια ισοδύναμη ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος ίσης με το άθροισμα των συνιστωσών ανεμογεννητριών. Συνήθως, η ομαδοποίηση γίνεται σε επίπεδο ενός ή περισσότερων γειτονικών αιολικών πάρκων.

Με κριτήριο τον τύπο, τον έλεγχο και τη δυνατότητά τους για μεταβλητή ταχύτητα, οι Α/Γ κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες.

1. Σταθερής Ταχύτητας (Constant Speed, CS)

Είναι οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας ρότορα με επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού (squirrel cage induction generator), που συνδέονται απευθείας στο δίκτυο (Σχήμα 3-5). Επειδή, ως γνωστόν, οι επαγωγικές γεννήτριες απαιτούν άεργη ισχύ για τη μαγνήτισή τους, στους ακροδέκτες τους συνδέονται συστοιχίες πυκνωτών για αντιστάθμιση. Λόγω της σταθερής ταχύτητας του ρότορα, οι διακυμάνσεις του ανέμου οδηγούν σε διακυμάνσεις στη ροπή, που με τη σειρά τους οδηγούν σε διακυμάνσεις της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος και σε μηχανικές καταπονήσεις. Στην περίπτωση ασθενών δικτύων, όπως είναι τα ΑΝΣ, η διακύμανση της παραγόμενης ισχύος μπορεί να οδηγήσει σε διακύμανση της τάσης στο σημείο κοινής σύνδεσης (Point of Common Coupling, PCC), το σημείο δηλαδή που συνδέεται η Α/Γ με το δίκτυο. Βασικό μειονέκτημα των Α/Γ σταθερής ταχύτητας είναι ότι δεν υποστηρίζουν έλεγχο ταχύτητας για βελτιστοποίηση της παραγόμενης από τον άνεμο ηλεκτρικής ενέργειας και απαιτούν ισχυρό δίκτυο για να μη προκαλούν έντονες διακυμάνσεις τάσης.

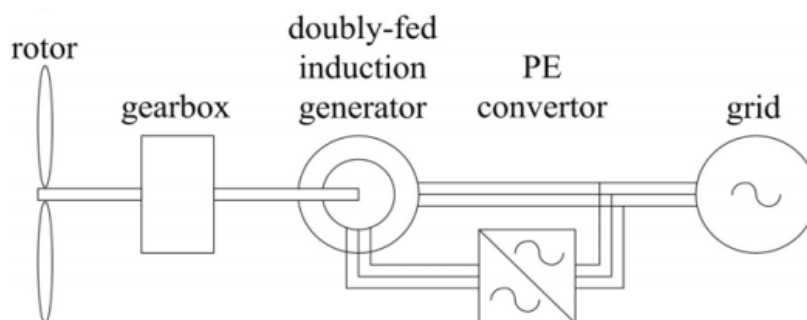


Σχήμα 3-5. Ισοδύναμο κύκλωμα Α/Γ τύπου CS

2. Μεταβλητής Ταχύτητας με Γεννήτρια Επαγωγής Διπλής Τροφοδότησης (Doubly-Fed Induction Generators, DFIG)

Οι ανεμογεννήτριες DFIG αποτελούνται από μια γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα, με τα τυλίγματα του στάτη να συνδέονται απευθείας στο δίκτυο και τα τυλίγματα του δρομέα να συνδέονται σε αυτό μέσω ενός back-to-back μετατροπέα. Ο όρος διπλή τροφοδοσία οφείλεται στο ότι οι τάσεις στο στάτη τροφοδοτούνται από το δίκτυο, ενώ οι τάσεις στο δρομέα τροφοδοτούνται από το μετατροπέα ισχύος (Σχήμα 3-6). Το μέγεθος του μετατροπέα περιορίζεται στο $\pm 30\%$ της ονομαστικής ισχύος, το οποίο είναι ανάλογο της ταχύτητας του δρομέα. Με αυτό το στενό εύρος μεταβολής το κόστος και οι ενεργειακές απώλειες του μετατροπέα μειώνονται σε σχέση με τον τύπο Direct Drive που περιγράφεται κατωτέρω. Συνεπώς, ο συγκεκριμένος τύπος καθίσταται αρκετά δελεαστικός. Μειονέκτημα αποτελεί η

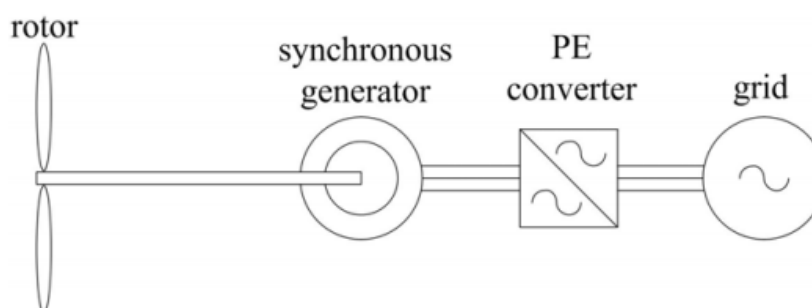
ανάγκη συντήρησης των ψηκτρών- δακτυλιδιών του δρομέα καθώς και οι αυστηρές προδιαγραφές προστασίας των μετατροπέων σε περίπτωση σφάλματος στο δίκτυο.



Σχήμα 3-6. Ισοδύναμο κύκλωμα Α/Γ τύπου DFIG

3. Άμεσης Ωθησης (Direct Drive, DD)

Η σύνδεση αυτού του τύπου Α/Γ στο δίκτυο επιτυγχάνεται μέσω ενός μετατροπέα συχνότητας μεταξύ στάτη και δικτύου (Σχήμα 3-7). Η γεννήτρια μπορεί να είναι είτε ασύγχρονη είτε σύγχρονη με τύλιγμα στο δρομέα, είτε σύγχρονη μόνιμου μαγνήτη. Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου τύπου Α/Γ είναι η μέγιστη εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου και η απουσία κιβωτίου ταχυτήτων. Ωστόσο, λόγω της απαίτησης ο μετατροπέας ισχύος να διαχειρίζεται τη συνολική ισχύ της μηχανής, το κόστος αγοράς και οι απώλειες αυξάνονται σε σχέση με τον τύπο DFIG.



Σχήμα 3-7. Ισοδύναμο κύκλωμα Α/Γ τύπου DD

3.3 Μετατροπέας

Οι Α/Γ μεταβλητής ταχύτητας (DFIG, DD) συνδέονται στο δίκτυο μέσω ενός πλήρους (back-to-back) μετατροπέα AC/DC/AC, χαρακτηριστικό που επιτρέπει την πλήρη απόζευξή τους από το δίκτυο. Ο back-to-back μετατροπέας αποτελείται από ένα μετατροπέα AC/DC στην πλευρά της μηχανής και έναν μετατροπέα DC/AC στην πλευρά του δικτύου. Ο μετατροπέας στην πλευρά της μηχανής λειτουργεί ως ανορθωτής και μετατρέπει την εκάστοτε εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή. Ανάμεσά τους τοποθετείται ένας DC-πυκνωτής, του οποίου ο ρόλος είναι να συγκρατεί τις μεταβολές της DC τάσης σε χαμηλά επίπεδα. Στη συνέχεια, ο μετατροπέας που είναι

στην πλευρά του δικτύου, λειτουργεί ως αντιστροφέας, δηλαδή μετατρέπει, με κατάλληλο κύκλωμα παλμοδότησης, τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά (πλάτος, συχνότητα). Με τη χρησιμοποίηση του μετατροπέα από την πλευρά της μηχανής καθίσταται δυνατός ο έλεγχος τόσο της ροπής όσο και της ταχύτητας, δηλαδή ελέγχεται η ενεργός και άεργος ισχύς. Στην περίπτωση όπου παρατηρηθεί μείωση της τάσης στο μετατροπέα που βρίσκεται στην πλευρά του δικτύου, θα μειωθεί και η συνεχής τάση στον πυκνωτή και, στη συνέχεια, η τάση της γεννήτριας. Στην περίπτωση αυτή, ο μετατροπέας θα δώσει εντολή στο κύκλωμα διέγερσης να αυξηθεί το ρεύμα διέγερσης στο δρομέα της σύγχρονης μηχανής οπότε, αντίστοιχα, θα αυξηθεί η τάση και η συχνότητα της γεννήτριας και τελικά η γεννήτρια θα τροφοδοτήσει το δίκτυο με άεργο ισχύ.

3.4 Κριτήρια για τη διεύθυνση της αιολικής ενέργειας σε ΑΝΣ

3.4.1 Ζητήματα σύνδεσης ΑΠ

Η διεύθυνση της αιολικής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή περιορίζεται σημαντικά τόσο από τεχνικούς όσο και από οικονομικούς παράγοντες. Οι τεχνικοί περιορισμοί στην αύξηση της αιολικής διεύθυνσης συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Έντονη τυχαιότητα της ταχύτητας του ανέμου και, συνεπώς, της διαθέσιμης ισχύος των Α/Γ
- Προβλήματα συνεργασίας των Α/Γ με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής που αφορούν τα εξής:
 - Κατανομή φορτίου μεταξύ των μονάδων
 - Ασφάλεια και αξιοπιστία του συστήματος
 - Ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος
- Ικανότητα του υποκείμενου ηλεκτρικού δικτύου να απορροφήσει την παραγόμενη από τις Α/Γ ισχύ

Ως προς τους οικονομικούς παράγοντες, η βιωσιμότητα των Α/Π συγκρινόμενη με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής εμφανίζεται προβληματική. Αυτό οφείλεται κυρίως στο υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης που απαιτείται για την κατασκευή των Α/Π αλλά και σε τεχνικούς περιορισμούς που περιορίζουν την ενεργειακή τους απόδοση.

Επομένως, για τη σύνδεση ενός Α/Π στο δίκτυο μεταφοράς, λαμβάνονται υπόψη τα εξής ειδικά οικονομικά και τεχνικά κριτήρια τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Οικονομικά κριτήρια

Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους του απαιτούμενου εξοπλισμού σύνδεσης (υποσταθμός Μ/Σ, γραμμές μεταφοράς) και του κόστους απωλειών σύνδεσης.

Τεχνικά κριτήρια

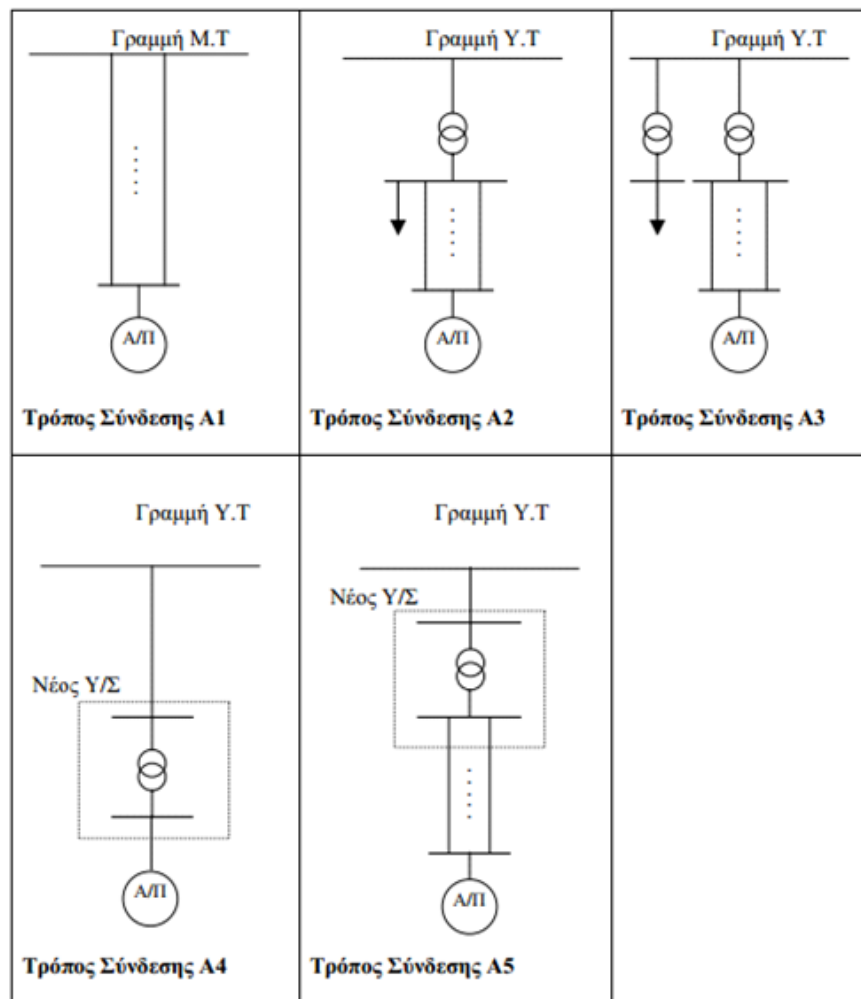
- Εξασφάλιση της ικανότητας μεταφοράς της παραγόμενης από το Α/Π ισχύος, τόσο από το Α/Π στο σύστημα μεταφοράς όσο και μέσω του ηλεκτρικού δικτύου προς τα σημεία κατανάλωσης.
- Εξασφάλιση των επιπέδων τάσης στα σημεία σύνδεσης εντός προκαθορισμένων ορίων
- Εξασφάλιση της ποιότητας ισχύος στα σημεία σύνδεσης.

3.4.2 Τρόποι σύνδεσης

- Απευθείας σύνδεση στο πλησιέστερο σημείο του δικτύου ΜΤ μέσω γραμμής ΜΤ. Αποτελεί τον οικονομικότερο τρόπο σύνδεσης καθώς το κόστος εγκατάστασης περιλαμβάνει μόνο το κόστος των γραμμών μεταφοράς. Είναι κατάλληλος για μικρά Α/Π εγκατεστημένης ισχύος έως 1 MW που βρίσκονται κοντά στο υποκείμενο δίκτυο. (Τρόπος σύνδεσης Α1, Σχήμα 3-8)
- Σύνδεση σε υφιστάμενο Υ/Σ ΜΤ/ΥΤ σε ζυγό φορτίου μέσω γραμμής μεταφοράς ΜΤ. (Τρόπος σύνδεσης Α2, Σχήμα 3-8)
- Σύνδεση σε υφιστάμενο Υ/Σ ΜΤ/ΥΤ σε νέο Μ/Σ μέσω γραμμής μεταφοράς ΜΤ. (Τρόπος σύνδεσης Α3, Σχήμα 3-8)
- Σύνδεση σε νέο Υ/Σ ΜΤ/ΥΤ μέσω γραμμής μεταφοράς ΥΤ. Κατάλληλος για μεγάλα Α/Π που βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές μακριά από το υφιστάμενο δίκτυο ΥΤ. (Τρόπος σύνδεσης Α4, Σχήμα 3-8)
- Σύνδεση σε νέο ΥΣ ΜΤ/ΥΤ μέσω γραμμής μεταφοράς ΜΤ. Κατάλληλος για μεγάλα Α/Π εγκατεστημένης ισχύος της τάξης των μερικών δεκάδων MW, που βρίσκονται σχετικά κοντά στο δίκτυο ΥΤ. (Τρόπος σύνδεσης Α5, Σχήμα 3-8)

Βασική απαίτηση για τη σύνδεση οποιασδήποτε εγκατάστασης παραγωγής σε ένα ΣΗΕ είναι ότι δεν πρέπει να επηρεάζει δυσμενώς την ποιότητα της ισχύος που παρέχεται στο υπόλοιπο δίκτυο. Συνεπώς, ορίζεται το Σημείο Κοινής Σύνδεσης (ΣΚΣ) ως το πλησιέστερο προς τις εγκαταστάσεις του παραγωγού σημείο του δικτύου στο οποίο συνδέεται ή μπορεί να συνδεθεί μελλοντικά άλλος καταναλωτής ή παραγωγός. Το ΣΚΣ αποτελεί το σημείο αναφοράς για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων που προκαλούνται στο δίκτυο λόγω της εγκατάστασης παραγωγής. Το ΣΚΣ συναντάται στη διεθνή βιβλιογραφία ως *Point of Common Coupling* (PCC). Τα ΣΚΣ πρέπει να ικανοποιούν τα κριτήρια ποιότητας ισχύος. Συνοπτικά, οι επιπτώσεις από τη σύνδεση μεγάλων Α/Π στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, είτε αυτά συνδέονται απευθείας στο δίκτυο ΜΤ (Α1) είτε σε ζυγούς ΜΤ υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ (Α2, Α3), είναι οι ακόλουθες:

- Αργές μεταβολές της τάσης λόγω μεταβολών της παραγόμενης ισχύος από τα Α/Π
- Απότομες μεταβολές της τάσης κατά τη ζεύξη και απόζευξη των Α/Γ
- Συνεχείς διακυμάνσεις της τάσης (flicker) λόγω της κυμαινόμενης ισχύος παραγωγής του Α/Π
- Αύξηση της ισχύος βραχυκύκλωσης του δικτύου και διαταραχές στην λειτουργία των διατάξεων προστασίας
- Παραμόρφωση της κυματομορφής της τάσης λόγω αρμονικών που παράγουν οι Α/Γ όταν αυτές είναι εφοδιασμένες με ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος



Σχήμα 3-8. Τρόποι σύνδεσης του Α/Π στο δίκτυο μεταφοράς

Οι παρενέργειες των ανωτέρω φαινομένων που γίνονται άμεσα αντιληπτές αφορούν κυρίως ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα αλλά και σε καταναλωτές οι οποίοι βρίσκονται ηλεκτρικά κοντά σε σημεία σύνδεσης των Α/Π (Α1, Α2). Ειδικότερα αφορούν:

- Μεταβολή της φωτεινότητας των λαμπτήρων πυρακτώσεως (flicker) και λαμπτήρων αερίου
- Επιπτώσεις στις εγκαταστάσεις τηλεχειρισμού, τηλε-ενδείξεων, μετρήσεων και προστασίας του δικτύου μεταφοράς
- Καταπόνηση συστοιχιών πυκνωτών, στραγγαλιστικών πηνίων, Μ/Σ, κινητήρων και άλλων διατάξεων λόγω αυξημένων ρευμάτων αλλά και τάσεων αιχμής
- Παρεμβολές σε ηλεκτρονικά δίκτυα και συστήματα επικοινωνιών.

3.4.5. Λειτουργικές απαιτήσεις για τη σύνδεση ενός Α/Π

Στη συνέχεια, περιγράφονται οι κυριότερες από τις λειτουργικές απαιτήσεις που τίθενται για τη σύνδεση ενός Α/Π στο δίκτυο ΜΤ τόσο από τις ηλεκτρικές εταιρείες όσο και από τους χρήστες.

1. Το Α/Π πρέπει να μπορεί να παρέχει στο δίκτυο τη μέγιστη ισχύ, όταν η ονομαστική τάση του δικτύου V_t κυμαίνεται εντός των επιτρεπόμενων ορίων, π.χ. $\pm 5\%$ της ονομαστικής. Εφόσον, είναι επιθυμητό η ισχύς να παρέχεται στο δίκτυο με $\cos\varphi = 1$ περίπου, το μέτρο της τάσης εξόδου του Α/Π πρέπει να είναι μεγαλύτερο και να προηγείται της τάσης του δικτύου, όπως και στην περίπτωση των σύγχρονων γεννητριών.
2. Εφόσον η τάση του δικτύου βρίσκεται εκτός των επιτρεπόμενων ορίων επί περισσότερο από συγκεκριμένο επιτρεπτό χρονικό διάστημα, π.χ. άνω του $\pm 10\%$ της ονομαστικής περισσότερο από 1s, η εγκατάσταση αποσυνδέεται από το δίκτυο για λόγους ασφάλειας. Πρέπει, επίσης να λαμβάνεται υπόψη η ταχεία επαναφορά της τάσης μετά από διακοπή ή άλλες μη ομαλές συνθήκες. Τα αντίστοιχα ισχύουν και στην περίπτωση όπου και η συχνότητα της τάσης υπερβεί την κατα περίπτωση επιτρεπτή απόκλιση από την ονομαστική τιμή της, π.χ. πέραν του $\pm 1\%$ για περισσότερο από 1s.
3. Τα μη γραμμικά φορτία προκαλούν αρμονικά μεγέθη τα οποία έχουν αρνητικές επιπτώσεις στα ηλεκτρονικά ισχύος. Όπως όλες οι διατάξεις και τα συστήματα που περιλαμβάνουν ηλεκτρονικά ισχύος, έτσι και τα Α/Π δεν πρέπει να προκαλούν αρμονικά μεγέθη ούτε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, που υπερβαίνουν τα προδιεγεγραμμένα ανεκτά όρια.
4. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος εντός της εγκατάστασης, το Α/Π πρέπει να αποσυνδέεται από το δίκτυο. Συχνά, η αποσύνδεση εξασφαλίζεται από τους κατασκευαστές και για περιπτώσεις διαρροής ρεύματος (π.χ. άνω των 30mA) για προστασία του προσωπικού στο Α/Π.
5. Ένα Α/Π πρέπει να αποσυνδέεται σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στο δίκτυο. Δεδομένου, όμως, ότι ακόμη και ένα πλήρες βραχυκύκλωμα στο δίκτυο δεν προκαλεί υπερεντάσεις ικανές να ενεργοποιήσουν τη λειτουργία απλών προστασιών υπερέντασης, η απομόνωση πρέπει να βασίζεται στη μείωση τάσης ή την ανίχνευση των μεταβολών της αντίστασης του δικτύου.

Επίσης, εφόσον είναι αποδεκτό από την εταιρεία ΗΕ, δεν είναι απαραίτητο να προβλέπεται αυτόματη επανασύνδεση του Α/Π, μετά την αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας του δικτύου.

6. Σε περιπτώσεις απομόνωσης τμήματος του δικτύου που δεν οφείλεται σε βραχυκύκλωμα (π.χ. για την εκτέλεση εργασιών), υπάρχει το ακραίο ενδεχόμενο να παραμείνει το τμήμα αυτό τροφοδοτούμενο μόνο από το συνδεδεμένο Α/Π με τάση και συχνότητα εντός των ανεκτών ορίων (islanding – νησιδοποίηση). Αυτό μπορεί να συμβεί όταν, στο τμήμα που απομονώθηκε, η παραγόμενη από το Α/Π ισχύς είναι ίση προς την καταναλισκόμενη ισχύ συν τις απώλειες. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να προκαλείται η αυτόματη απομόνωση της εγκατάστασης για λόγους ασφάλειας του προσωπικού του δικτύου, δεδομένου ότι δεν είναι ευχερής η χειροκίνητη απομόνωση. Μία μέθοδος για την ανίχνευση τέτοιων καταστάσεων που εφαρμόζεται στην πράξη είναι η διαφοροποίηση (π.χ. κατά 1Hz) της συχνότητας των μετατροπών από αυτήν του δικτύου διανομής, οπότε το σύστημα θα απομονωθεί μετά τη διακοπή του δικτύου, λόγω διαφοροποιημένης συχνότητας.

Τα ανωτέρω ζητήματα είναι ιδιαιτέρως σημαντικά για τη συνεργασία ενός Α/Π με το δίκτυο της ΜΤ. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι εξισώσεις υπολογισμού της διακύμανσης τάσης στους κόμβους της γραμμής και του συντελεστή ισχύος στο ζυγό ΜΤ. Τα μεγέθη ανήκουν στην κατηγορία μεγεθών που αποτελούν κριτήρια για την ομαλή λειτουργία μιας γραμμής ΜΤ στην οποία έχουν συνδεθεί μονάδες ΚΠ.

Διακύμανση Τάσης

Η διακύμανση τάσης σε κάθε κόμβο δίδεται από τη σχέση

$$\varepsilon(\%) = \frac{100}{V_n^2} (R_k \cdot P + X_k \cdot Q) \quad (3.1)$$

όπου $\tilde{Z}_L = R_k + jX_k$ η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση της υπό μελέτη γραμμής, και P, Q η ροή ενεργού και αέργου ισχύος στη γραμμή, αντίστοιχα. Τα μεγέθη αυτά δίδονται από τις σχέσεις

$$P = P_{WF} - P_L \quad (3.2)$$

$$Q = Q_{WF} - Q_L \quad (3.3)$$

όπου P_{WF}, Q_{WF} η ενεργός και η άεργος ισχύς των εγκατεστημένων Α/Π αντίστοιχα και P_L, Q_L η ενεργός και η άεργος ισχύς των φορτίων, αντίστοιχα. Το πρόσημο του Q_{WF} εξαρτάται από το ΣΙ.

Αν η μέγιστη επιτρεπόμενη διακύμανση της τάσης είναι ε_{max} , ισχύουν διαδοχικά

$$\left| \frac{100}{V_n^2} (R_k \cdot P + X_k \cdot Q) \right| \leq \varepsilon_{max} \Leftrightarrow$$

$$\left| \frac{100}{V_n^2} (R_k \cdot (P_{WF} - P_L) + X_k \cdot (Q_{WF} - Q_L)) \right| \leq \varepsilon_{max} \quad (3.4)$$

Από την τελευταία σχέση είναι δυνατή η ρύθμιση των εξής μεγεθών των Α/Π:

- της συνολικής ενεργού ισχύος (αφαιρώντας – προσθέτοντας Α/Γ)
- της αέργου ισχύος και κατ' επέκταση του ΣΙ κάθε Α/Π, υπό την προϋπόθεση ότι η ενεργός ισχύς δεν αλλάζει.

Συντελεστής ισχύος στο ζυγό ΜΤ

Η διατήρηση ενός κατά το δυνατό σταθερού συνολικού συντελεστή ισχύος του δικτύου είναι σημαντική για τη λειτουργία των συμβατικών γεννητριών, των οποίων ο συντελεστής ισχύος κυμαίνεται εντός ορισμένων ορίων.

Στην περίπτωση αυτή είναι επιθυμητό ο ΣΙ στο ζυγό ΜΤ να λειτουργεί εντός ορίων. Τα μεγέθη που ενδιαφέρουν είναι τα ακόλουθα:

$$P = P_{WF} - P_L \quad (3.5)$$

$$Q = Q_{WF} - Q_L \quad (3.6)$$

$$pf = \frac{P_{WF} - P_L}{\sqrt{(P_{WF} - P_L)^2 + (Q_{WF} - Q_L)^2}} \quad (3.7)$$

Εφόσον στο δίκτυο εγχέεται άεργος ισχύς Q_c από μηχανισμούς αντιστάθμισης, τότε για τον υπολογισμό της συνολικής αέργου ισχύος Q στον υπολογισμό της διακύμανσης τάσης και του συντελεστή ισχύος, υπεισέρχεται και το Q_c . Επομένως οι σχέσεις (3.4) και (3.7) γίνονται:

$$\left| \frac{100}{V_n^2} (R_k \cdot (P_{WF} - P_L) + X_k \cdot (Q_{WF} - Q_L + Q_c)) \right| \leq \varepsilon_{max} \quad (3.8)$$

$$pf = \frac{P_{WF} - P_L}{\sqrt{(P_{WF} - P_L)^2 + (Q_{WF} - Q_L + Q_c)^2}} \quad (3.9)$$

3.5 Εφαρμογή κεντρικού ελέγχου σε ΑΝΣ

Μέχρι τώρα, η σχεδίαση των ΣΗΕ γινόταν λαμβάνοντας υπόψη τα χειρότερα σενάρια λειτουργίας και σφαλμάτων του δικτύου, με αποτέλεσμα οι προδιαγραφές λειτουργίας να είναι πολύ αυστηρές. Ωστόσο, αυτός ο τρόπος σχεδίασης δεν είναι αποδοτικός, ευέλικτος και οικονομικός, αφού δεν αντιστοιχεί στη συνήθη κατάσταση λειτουργίας αλλά καθορίζεται με βάση τις ακραίες καταστάσεις.

Όταν ένα σύστημα βρίσκεται στη μόνιμη κατάσταση:

- i. το ισοζύγιο μεταξύ παραγόμενης μηχανικής και καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ισχύος είναι ισοσκελισμένο
- ii. η συχνότητα του συστήματος είναι σταθερή και ίση με την ονομαστική

Ωστόσο, σε περίπτωση διαταραχής στο δίκτυο, όπως η αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου ή η απώλεια μέρους της παραγωγής, το ισοζύγιο μεταξύ παραγόμενης και καταναλισκόμενης ισχύος διαταράσσεται.

Ένας τρόπος για να εξασφαλισθεί η ενεργειακή ισορροπία είναι να διατηρείται η ισχύς που μπορούν να παράγουν οι γεννήτριες σε υψηλότερα επίπεδα από αυτά της κατανάλωσης, ώστε το σύστημα να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει οποιαδήποτε διαταραχή απειλεί την ευστάθειά του. Αυτή η πρόσθετη ποσότητα ηλεκτρικής ισχύος που έχουν τη δυνατότητα να παράγουν οι γεννήτριες και ονομάζεται λειτουργική εφεδρεία δεν επαρκεί για την εξισορρόπηση παραγωγής και κατανάλωσης.

Η διαταραχή της ενεργειακής ισορροπίας οδηγεί σε διακυμάνσεις στη συχνότητα του συστήματος, οι οποίες, για να εξασφαλίζεται η αξιόπιστη λειτουργία και η ασφάλεια των στοιχείων του συστήματος, πρέπει να διατηρούνται εντός συγκεκριμένου εύρους τιμών.

Η ευστάθεια συχνότητας συνίσταται στην ικανότητα του ΣΗΕ να ανιχνεύει τη διακύμανση της συχνότητας και να αποκαθιστά το ισοζύγιο παραγόμενης και καταναλισκόμενης ισχύος πριν η τιμή της συχνότητας εξέλθει του επιτρεπτού εύρους διακύμανσης. Εφόσον η τιμή της συχνότητας εξέλθει αυτού του εύρους τιμών, το ΣΗΕ προχωρεί σε απόρριψη φορτίων ή μονάδων παραγωγής στην προσπάθεια να ισοσκελίσει το ισοζύγιο παραγόμενης και καταναλισκόμενης ισχύος.

Στα μεγάλα διασυνδεδεμένα δίκτυα το πρόβλημα της αστάθειας συχνότητας δεν είναι τόσο συχνό, κυρίως γιατί τα μικρότερα δίκτυα υποστηρίζονται από ένα μεγαλύτερο για να εξασφαλίσουν το ισοζύγιο ισχύος. Ωστόσο, αυτό δεν ισχύει σε μικρά αυτόνομα δίκτυα, στα οποία οι ανάγκες καλύπτονται από μικρές μονάδες παραγωγής με περιορισμένη λειτουργική εφεδρεία. Έτσι, η διακύμανση της συχνότητας αναμένεται να είναι εντονότερη σε αυτόνομα συστήματα, όπως αυτά που ικανοποιούν τις ανάγκες των μη διασυνδεδεμένων νησιών. Σε περίπτωση σοβαρής διαταραχής, η οποία συνήθως οφείλεται στην απώλεια κάποιων από τις μονάδες παραγωγής του δικτύου, οι μονάδες παραγωγής που απομένουν πρέπει να προσαρμόσουν κατάλληλα την παραγωγή τους ώστε να εξισορροπήσουν το ισοζύγιο ισχύος.

Η δυνατότητα παρακολούθησης του δικτύου σε πραγματικό χρόνο θα καταστήσει το δίκτυο προσαρμόσιμο σε απότομες αλλαγές της λειτουργίας του. Επιπλέον, θα δοθεί η δυνατότητα άμεσου ελέγχου για την αντιμετώπιση προβλημάτων σε ακραίες καταστάσεις. Αυτή η δυνατότητα θα προσδώσει στο δίκτυο ευελιξία κατά τη λειτουργία του, χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ασφάλειά του. Στην περίπτωση των ΑΝΣ, βασική υποχρέωση του κέντρου ελέγχου ενέργειας είναι η διασφάλιση της αξιόπιστης λειτουργίας τους. Βασική αρμοδιότητα του κέντρου ελέγχου ενέργειας αποτελεί η παρακολούθηση της ροής ενεργού και άεργου ισχύος και η διατήρηση της τάσης και της συχνότητας εντός των επιτρεπομένων ορίων σε όλα τα σημεία του δικτύου μεταφοράς.

4^ο Κεφάλαιο – Προσομοίωση Γραμμής ΜΤ σε ΑΝΣ

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται το πώς, με κατάλληλο έλεγχο, βελτιώνεται η ενσωμάτωση της Κατανεμημένης Παραγωγής (ΚΠ) σε ένα ΑΝΣ. Για το λόγο αυτό, θα χρησιμοποιηθεί το εργαλείο της Matlab.

4.1 Περιγραφή δικτύου – Τοπολογία γραμμής – Είσοδοι προσομοίωσης

Το πρόβλημα που προσομοιώνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία αφορά μία γραμμή ΜΤ 20 kV σε ΑΝΣ, η οποία αναχωρεί από τους ζυγούς του Αυτόνομου Σταθμού Παραγωγής (ΑΣΠ). Οι υπόλοιπες γραμμές του δικτύου αντιμετωπίζονται ως φορτία, συγκεντρωμένα στους ζυγούς. Η σύνθετη αντίσταση ανά μονάδα μήκους των γραμμών ACSR – 95 που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση είναι σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [2]:

$$Z_0 = R + jX = 0.22 + j0.33 \Omega/\text{km} \quad (4.1)$$

4.1.1 Ζυγός Αυτόνομου Σταθμού Παραγωγής (ΑΣΠ)

Η τάση στο ζυγό του ΑΣΠ V_0 ρυθμίζεται από τις συμβατικές γεννήτριες του σταθμού ώστε να μεταβάλλεται γραμμικά προς τη συνολική φαινόμενη ισχύ S_{total} , στο διάστημα 102% - 107% της ονομαστικής τιμής της τάσης, δηλαδή στο διάστημα 20.4kV -21.4kV. Η τάση V_0 στον ΑΣΠ μεταβάλλεται ανάλογα με την S_{total} ώστε $V_0 = V_{\text{min}}$ όταν $S_{\text{total}} = S_{\text{min}}$ και $V_0 = V_{\text{max}}$ όταν $S_{\text{total}} = S_{\text{max}}$. Η σχέση μεταξύ V_0 και S_{total} είναι:

$$V_0 = a \cdot S_{\text{total}} + b \quad (4.2)$$

Όπου,

$$a = \frac{107-102}{S_{\text{max}}-S_{\text{min}}} \quad (4.3)$$

$$b = 102 - a \cdot S_{\text{min}} \quad (4.4)$$

4.1.2 Φορτία ΑΝΣ

Τα φορτία του συστήματος μπορεί να είναι οικιακά ή επαγγελματικά (εμπορικά ή βιομηχανικά). Μπορεί να είναι συγκεντρωμένα, συνδεδεμένα απευθείας στο σταθμό παραγωγής, ή να είναι διασκορπισμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο του νησιού. Τα ονομαστικά χαρακτηριστικά των φορτίων που προσομοιώνονται, τα οποία συμβολίζονται με το δείκτη n , ορίζονται να είναι:

$$P_{\text{load}_n} = \begin{cases} 20 \text{ MW}, & \text{για συγκεντρωμένα φορτία} \\ 1.2 \text{ MW}, & \text{για διασκορπισμένα φορτία} \end{cases} \quad (4.5)$$

Ο συντελεστής ισχύος των φορτίων είναι:

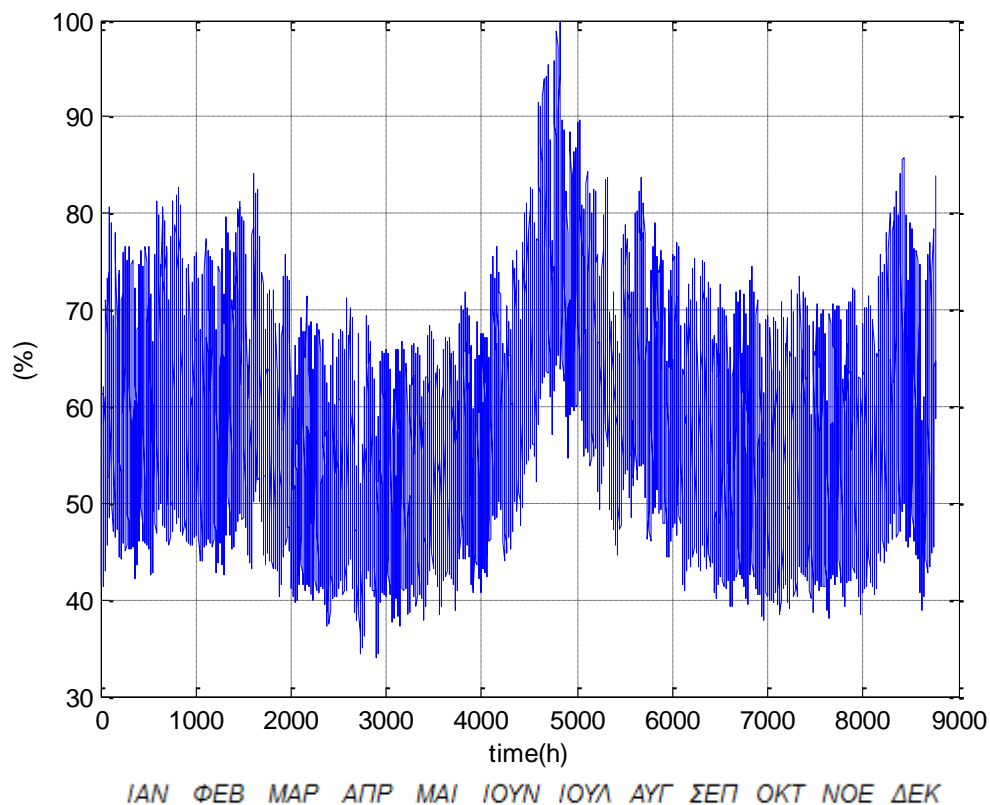
$$\Sigma I = \rho f_{load} = \cos\varphi = 0.85 \text{ επαγωγικός} \quad (4.6)$$

Η ενεργός ισχύς που απορροφά το κάθε φορτίο σε ένα κόμβο i τη χρονική στιγμή t προκύπτει από το γινόμενο της ποσοστιαίας ζήτησης ΗΕ και της ονομαστικής τιμής του φορτίου του κόμβου i :

$$P_{load}(i, t) = -P_{load_n}(i) \cdot Demand(t) \quad (4.7)$$

όπου το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει απορρόφηση ισχύος.

Η ετήσια ποσοστιαία ζήτηση φορτίου σε ένα ΑΝΣ ως συνάρτηση του χρόνου απεικονίζεται ενδεικτικά στο Σχήμα 4 – 1.



Σχήμα 4 - 1. Ετήσια ζήτηση ΗΕ σε νησιωτικό ΣΗΕ

Με βάση το Σχήμα 4 – 1, τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται αύξηση της ζήτησης ΗΕ λόγω αύξησης των αναγκών των καταναλωτών. Η αύξηση της ζήτησης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες οφείλεται τόσο στην τουριστική δραστηριότητα όσο και στην αυξημένη χρήση κλιματιστικών, τα οποία καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ΗΕ. Κατά τους υπόλοιπους μήνες, η ζήτηση κυμαίνεται περίπου μεταξύ των ίδιων ποσοστών.

Εκτός από την ενεργό ισχύ, ενδιαφέρει και η άεργος ισχύς που καταναλώνουν τα φορτία. Η άεργος ισχύς που απορροφά το φορτίο σε ένα κόμβο i τη χρονική στιγμή t προκύπτει από τη σχέση:

$$Q_{load}(i, t) = P_{load}(i, t) \cdot \tan(\cos^{-1}\varphi) \quad (4.8)$$

Η άεργος ισχύς των φορτίων είναι αρνητική, αφού ο ΣΙ είναι επαγωγικός, δηλαδή απορροφάται ισχύς από το δίκτυο.

4.1.3 Αιολικό Πάρκο

Στο δίκτυο του νησιού πρόκειται να συνδεθεί Α/Π ονομαστικής ισχύος $P_{WF_n} = 3$ MW. Ο ΣΙ λειτουργίας του Α/Π είναι $pf_{WF} = 1$. Οι εξισώσεις που ισχύουν για ένα Α/Π συνδεδεμένο στον κόμβο w της γραμμής ΜΤ θα διατυπωθούν στη συνέχεια.

Μεγέθη εισόδου του Α/Π στον κόμβο w τη χρονική στιγμή t :

- Αριθμός Α/Γ, n
- Συντελεστής απόδοσης ισχύος, $C_p(t)$
- Συνολική επιφάνεια σάρωσης των πτερυγίων, A (m^2)
- Ταχύτητα ανέμου, $W_{speed}(t)$ (m/s)
- Πυκνότητα του ανέμου, $p(t)$ (kg/m^3)

Μεγέθη εξόδου του Α/Π στον κόμβο w τη χρονική στιγμή t :

Με βάση την ταχύτητα του ανέμου, το Α/Π αποδίδει φαινόμενη ισχύ στο δίκτυο $S_{ac}(i, t)$. Η αντίστοιχη ενεργός ισχύς που αποδίδει το Α/Π υπολογίζεται από τη σχέση

$$P_{WF}(i, t) = S_{ac}(i, t) \cdot pf_{WF} \quad (4.9)$$

ενώ η άεργος ισχύς που αποδίδει το Α/Π υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q_{WF}(i, t) = P_{WF}(i, t) \cdot \tan(\cos^{-1} pf_{WF}) \quad (4.10)$$

Η ενεργός ισχύς έχει θετικό πρόσημο αφού εγχέεται στο δίκτυο, ενώ το πρόσημο της άεργου ισχύος εξαρτάται από την τιμή του ΣΙ, δηλαδή είναι θετικό για χωρητικό pf_{WF} και αρνητικό για επαγωγικό pf_{WF} .

Οι εξισώσεις που συνδέουν τις εισόδους με τις εξόδους είναι:

$$S_{ac}(i, t) = \frac{1}{2} \cdot A \cdot C_p(t) \cdot p(t) \cdot (W_{speed}^3(t)) \quad (4.11)$$

Η πυκνότητα του ανέμου $p(t)$ κάθε χρονική στιγμή t δίνεται από τη σχέση:

$$p(t) = \frac{P}{T(t)+273.15} \cdot R \quad (4.12)$$

Όπου:

P η πίεση του αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας η οποία ισούται με $P = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$,

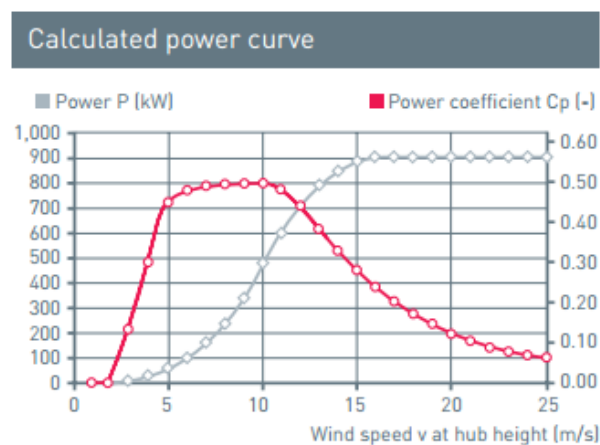
T η θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε βαθμούς Κελσίου,

R η σταθερά αερίων η οποία ισούται με $R = 287.058 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Τυπικές Τιμές για Α/Γ τύπου *ENERCONE-44 900kW*:

- Ονομαστική ισχύς: $P_n = 900 \text{ kW}$ για $W_{\text{speed}} = 15 \text{ m/s}$
- Αριθμός πτερυγίων: 3
- Επιφάνεια σάρωσης πτερυγίων: $A = 1.521 \text{ m}^2$
- Συντελεστής απόδοσης ισχύος C_p όπως παρέχεται από τον κατασκευαστή (Πίνακας 4-1)

Στο Σχήμα 4-2 παρουσιάζεται η καμπύλη ισχύος και η καμπύλη του συντελεστή απόδοσης ισχύος C_p του συγκεκριμένου τύπου Α/Γ συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου. Παρατηρείται ότι η ταχύτητα ανέμου για εκκίνηση περιστροφής των πτερυγίων είναι 5 m/s , η ταχύτητα για παραγωγή της ονομαστικής ισχύος είναι 15 m/s ενώ η ταχύτητα αποκοπής είναι 25 m/s . Επιπλέον, ο C_p κυμαίνεται για όλους τους τύπους Α/Γ από 0 έως 59%.



Σχήμα 4-2. Καμπύλη ισχύος της *ENERCONE-44 900kW*

Πίνακας 4-1. Συντελεστής απόδοσης ισχύος ENERCONE-44 900kW

Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Συντελεστής Απόδοσης Ισχύος C_p (-)	0.00	0.00	0.16	0.34	0.43	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.48	0.44	0.39
Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Συντελεστής Απόδοσης Ισχύος C_p (-)	0.33	0.28	0.24	0.20	0.17	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	

4.2 Μαθηματικές εξισώσεις περιγραφής του προβλήματος

Τα δύο κύρια κριτήρια με βάση τα οποία εξετάζεται στη διπλωματική εργασία η ομαλή λειτουργία μίας γραμμής ΜΤ είναι:

- Ο συνολικός συντελεστής ισχύος pf_{total} στο ζυγό ΑΣΠ, ο οποίος πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατό πλησιέστερα στη τιμή 1
- Η διακύμανση τάσης στους κόμβους της γραμμής, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα προβλεπόμενα όρια $\pm 5\%$

4.2.1 Φαινόμενη ισχύς και συντελεστής ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ

Η συνολική φαινόμενη ισχύς και ο συντελεστής ισχύος στο ζυγό ΑΣΠ τη χρονική στιγμή t δίνονται από τις σχέσεις:

$$S(t) = \sqrt{\left(P_{WF_{total}}(t) + P_{load_{total}}(t)\right)^2 + \left(Q_{WF_{total}}(t) + Q_{load_{total}}(t)\right)^2} \quad (4.13)$$

$$pf_{total}(t) = \text{abs}\left[\frac{P_{WF_{total}}(t) + P_{load_{total}}(t)}{S_{total}(t)}\right] \cdot \text{sign}[Q_{WF_{total}}(t) + Q_{load_{total}}(t)] \quad (4.14)$$

όπου $P_{WF_{total}}(t)$ η συνολική παραγόμενη ισχύς από το Α/Π και $P_{load_{total}}(t)$ η συνολική καταναλισκόμενη ισχύς από τα φορτία του ΑΝΣ, η οποία είναι αρνητική λόγω απορρόφησης ΗΕ. Αντίστοιχα, $Q_{WF_{total}}(t)$ είναι η συνολική άεργος ισχύς που απορροφάται ή παράγεται από το Α/Π (και εξαρτάται από την τιμή του pf_{WF} , ο οποίος διαμορφώνει και το πρόσημό της) και $Q_{load_{total}}(t)$ η συνολική άεργος ισχύς που απορροφάται από τα φορτία και έχει αρνητικό πρόσημο. Δηλαδή ισχύουν οι σχέσεις:

$$P_{WF_{total}}(t) = \sum_w P_{WF}(i, t) \quad (4.15)$$

$$Q_{WF_{total}}(t) = \sum_w Q_{WF}(i, t) \quad (4.16)$$

$$P_{load_{total}}(t) = \sum_{i=0}^{nodes} P_{load}(i, t) \quad (4.17)$$

$$Q_{load_{total}}(t) = \sum_{i=0}^{nodes} Q_{load}(i, t) \quad (4.18)$$

Προκειμένου να αυξηθεί η τιμή του ΣΙ ώστε να πλησιάσει την τιμή 1, αποδίδεται στο ζυγό ΑΣΠ άεργος ισχύς αντιστάθμισης Q_c , η τιμή της οποίας υπολογίστηκε $1.758 Mvar$ για μηδενική παραγωγή από κατανεμημένες πηγές. Δεδομένης της αντιστάθμισης ισχύος, οι σχέσεις που αποδίδουν τη συνολική φαινόμενη ισχύ και το συντελεστή ισχύος γράφονται:

$$S_{total}(t) = \sqrt{(P_{WF_{total}}(t) + P_{load_{total}}(t))^2 + (Q_{WF_{total}}(t) + Q_{load_{total}}(t) + Q_c)^2} \quad (4.19)$$

$$pf_{total}(t) = \text{abs} \left[\frac{P_{WF_{total}}(t) + P_{load_{total}}(t)}{S_{total}(t)} \right] \cdot \text{sign} [Q_{WF_{total}}(t) + Q_{load_{total}}(t) + Q_c] \quad (4.20)$$

4.2.2 Διακύμανση της τάσης στους κόμβους της γραμμής ΜΤ

Η τιμή της τάσης στους κόμβους της γραμμής πρέπει να παραμένει εντός των προβλεπόμενων ορίων για τους λόγους που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Συγκεκριμένα, η τάση πρέπει να παραμένει εντός του $\pm 5\%$ της ονομαστικής της τιμής. Στην ιδανική περίπτωση όπου δεν υπάρχουν προβλήματα διακύμανσης τάσης, η τάση έχει την ονομαστική της τιμή, δηλαδή $20 kV$, σε όλους τους κόμβους του ΑΝΣ. Επειδή, όμως, κάτι τέτοιο είναι πρακτικά αδύνατο, ορίζονται τα αντίστοιχα όρια διακύμανσης της τάσης. Το κάτω όριο είναι $19 kV$, που αντιστοιχεί σε ποσοστό 95% της ονομαστικής τιμής της τάσης, και το άνω όριο είναι $21 kV$, που αντιστοιχεί σε ποσοστό 105% .

Η διαδικασία υπολογισμού της τάσης περιγράφεται ακολούθως. Αρχικά, ο κόμβος του ΑΣΠ αντιστοιχεί στο δείκτη $i = 0$. Η τάση στο ζυγό του ΑΣΠ, $V_0(t)$, είναι γνωστή για κάθε χρονική στιγμή t . Επίσης, είναι γνωστές και οι τιμές της ενεργού και άεργου ισχύος για τον κόμβο του ΑΣΠ, όπως προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$P_0(t) = P_{WF_{total}}(t) + P_{load_{total}}(t) \quad (4.21)$$

$$Q_0(t) = Q_{WF_{total}}(t) + Q_c + Q_{load_{total}}(t) \quad (4.22)$$

Η τάση σε κάθε κόμβο i της γραμμής υπολογίζεται τη χρονική στιγμή t σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$V(i, t) = V(i - 1, t) + \varepsilon(i, t)(\%) \quad (4.23)$$

$$\varepsilon(i, t)(\%) = \frac{100}{V_n^2} (R(i) \cdot P(i, t) + X(i) \cdot Q(i, t)) \quad (4.24)$$

όπου $V_n = 20 kV$ ενώ για $i = 0$ ισχύει:

$$V(0, t) = V_0(t) \quad (4.25)$$

$$P(0, t) = P_0(t) \quad (4.26)$$

$$Q(0, t) = Q_0(t) \quad (4.27)$$

Η σύνθετη αντίσταση $\tilde{Z}(i) = R(i) + jX(i)$ υπολογίζεται μέσω των τιμών:

$$R(i) = 0.22 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot (\text{απόσταση σε km των κόμβων } i \text{ και } i - 1) \quad (4.28)$$

$$X(i) = 0.33 \frac{\Omega}{\text{km}} \cdot (\text{απόσταση σε km των κόμβων } i \text{ και } i - 1) \quad (4.29)$$

Τα μεγέθη $P(i, t)$ και $Q(i, t)$ που αντιστοιχούν σε κάθε κόμβο i τη χρονική στιγμή t προκύπτουν αντίστοιχα από τις ακόλουθες αλγεβρικές σχέσεις:

$$P(i, t) = P(i - 1, t) - P_{WF}(i - 1, t) - P_{\text{load}}(i - 1, t) \quad (4.30)$$

$$Q(i, t) = Q(i - 1, t) - Q_{WF}(i - 1, t) - Q_{\text{load}}(i - 1, t) \quad (4.31)$$

Όλα τα ανωτέρω μεγέθη αποτιμώνται ανά ώρα του έτους. Επίσης, τα διαγράμματα που αντιστοιχούν σε αυτά απεικονίζουν την ωριαία μεταβολή τους για διάρκεια ενός έτους. Αναφέρεται ότι ένα έτος έχει 8760 ώρες. Από τηλεπικοινωνιακή σκοπιά, η πληροφορία που αφορά τα ανωτέρω μεγέθη αποστέλλεται και μεταδίδεται ανά ώρα του έτους στο MDMS. Συνεπώς, ανά ώρα συγκεντρώνονται οι πληροφορίες στο κέντρο ελέγχου και ανά ώρα αποστέλλονται οι εντολές στους κόμβους του δικτύου.

4.2.3 Ετήσια ενεργειακή παραγωγή – Συντελεστής χρησιμοποίησης

Στην περίπτωση όπου υπάρχει αιολική παραγωγή σε ΑΝΣ, ενδιαφέρουν και δύο ακόμη μεγέθη, η ετήσια ενεργειακή παραγωγή σε MWh του Α/Π που είναι συνδεδεμένο στο ΑΝΣ και ο Συντελεστής Χρησιμοποίησης (Capacity Factor, CF). Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή δίδεται από τη σχέση:

$$E_{WF} = \sum_{t=1}^{8760} P_{WF_{\text{total}}}(t) \quad (4.32)$$

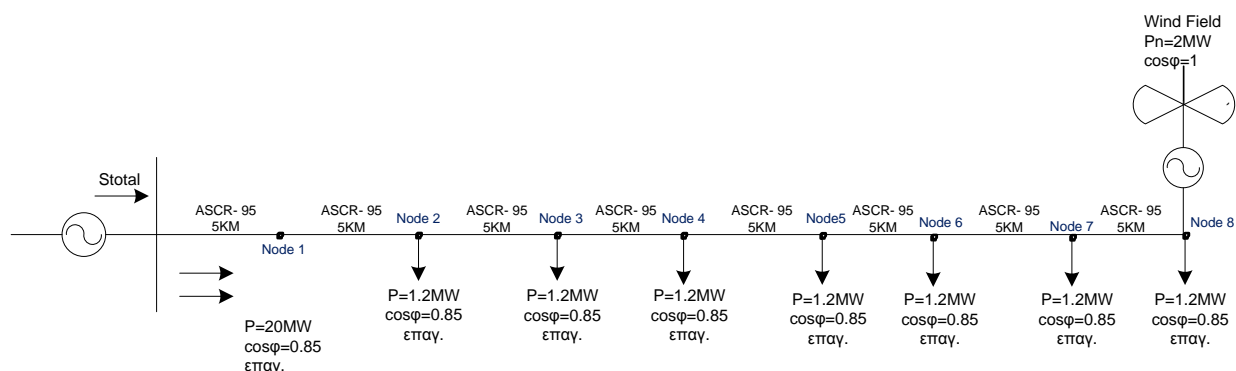
Ο όρος $P_{WF_{\text{total}}}(t)$ αντιστοιχεί στη συνολικά παραγόμενη ισχύ ανά ώρα του Α/Π. Με δεδομένη την ετήσια ενεργειακή παραγωγή του Α/Π που συνδέεται στο ΑΝΣ, ο Συντελεστής Χρησιμοποίησης ή Συντελεστής Εκμετάλλευσης ορίζεται ως το πηλίκο της ΗΕ που παράγεται προς αυτή που θα μπορούσε να παραχθεί αν οι Α/Γ του Α/Π λειτουργούσαν συνεχώς υπό ονομαστική ισχύ, δηλαδή:

$$CF = \frac{E_{WF}}{8760 \cdot P_{WF_n}} \quad (4.33)$$

Ο Συντελεστής Χρησιμοποίησης έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς σχετίζεται άμεσα με τη βιωσιμότητα μιας ενεργειακής επένδυσης. Συνήθεις τιμές του είναι μεταξύ 0.25 και 0.35, χωρίς να αποκλείονται και υψηλότερες τιμές. Η τιμή του εξαρτάται τόσο από τη θέση του Α/Π όσο και από τη μορφή της καμπύλης ισχύος των Α/Γ.

4.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 1 : Γραμμή ΜΤ με Α/Π ισχύος 2MW

Στο πρώτο σενάριο της προσομοίωσης, συνδέεται στη γραμμή ΜΤ ένα Α/Π ονομαστικής ισχύος 2MW με 2 Α/Γ. Η τοπολογία του συστήματος απεικονίζεται στο Σχήμα 4-3 και περιγράφεται στον Πίνακα 4 – 2.

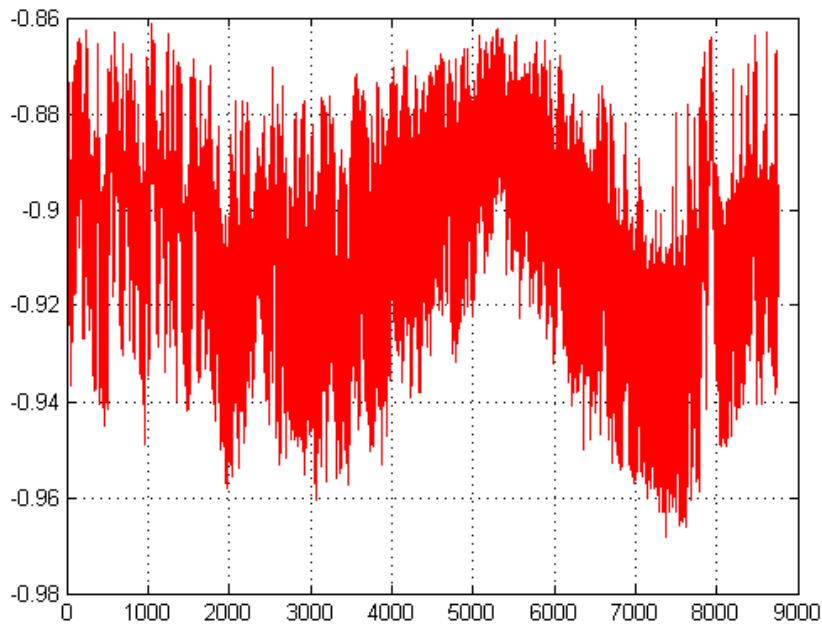


Σχήμα 4-3. Τοπολογία Προσομοίωσης

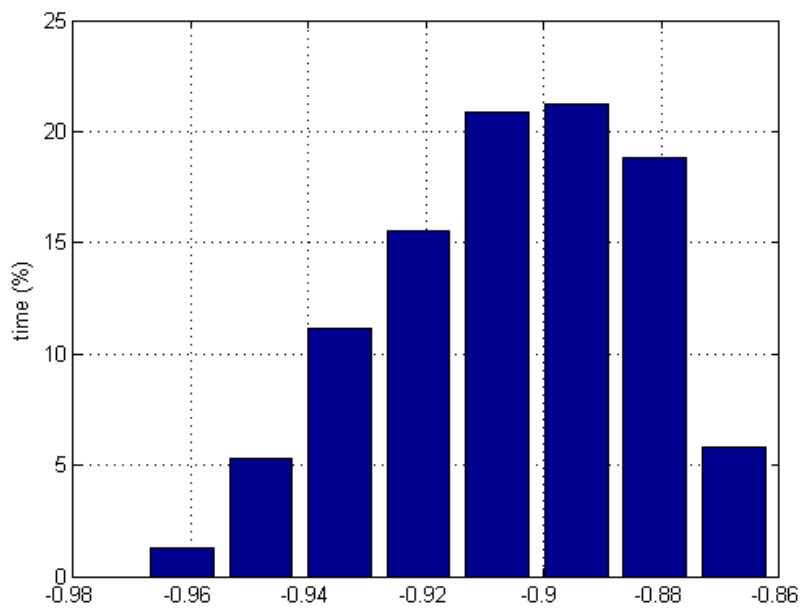
Πίνακας 4-2. Χαρακτηριστικά γραμμής ΜΤ με Α/Π

Κόμβοι	Απόσταση (km)	Παραγόμενη Ονομαστική Ισχύς (MW)	Καταναλισκόμενη Ονομαστική Ισχύς (MW)	Σ.Ι. παραγωγής	Σ.Ι. κατανάλωσης
0	0	0	-20	-	0.85 επαγ.
1	5	0	0	-	0.85 επαγ.
2	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
3	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
4	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
5	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
6	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
7	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
8	5	2	-1.2	1	0.85 επαγ.

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 4.2.1, στο ζυγό του ΑΣΠ τοποθετείται συστοιχία αντιστάθμισης αέργου ισχύος Q_c , η τιμή της οποίας υπολογίστηκε 1.758 Mvar. Η γραμμή ΜΤ αποτελείται από φορτία και ένα Α/Π στον κόμβο 8 της γραμμής. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το συνολικό ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ απεικονίζονται στο Σχήμα 4-4 και στο Σχήμα 4-5.



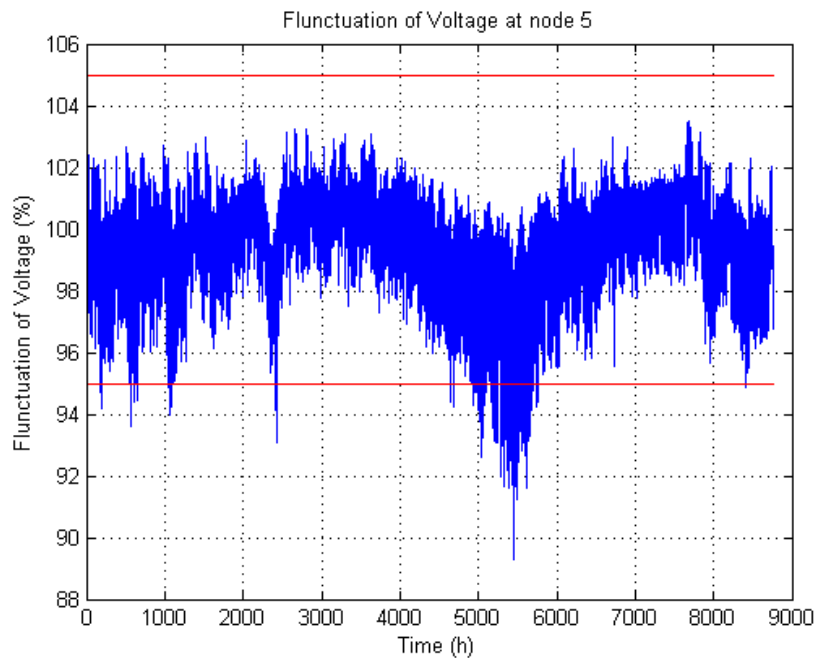
Σχήμα 4-4. Ο ΣΙ στο ζυγό ΑΣΠ (Σενάριο 1)



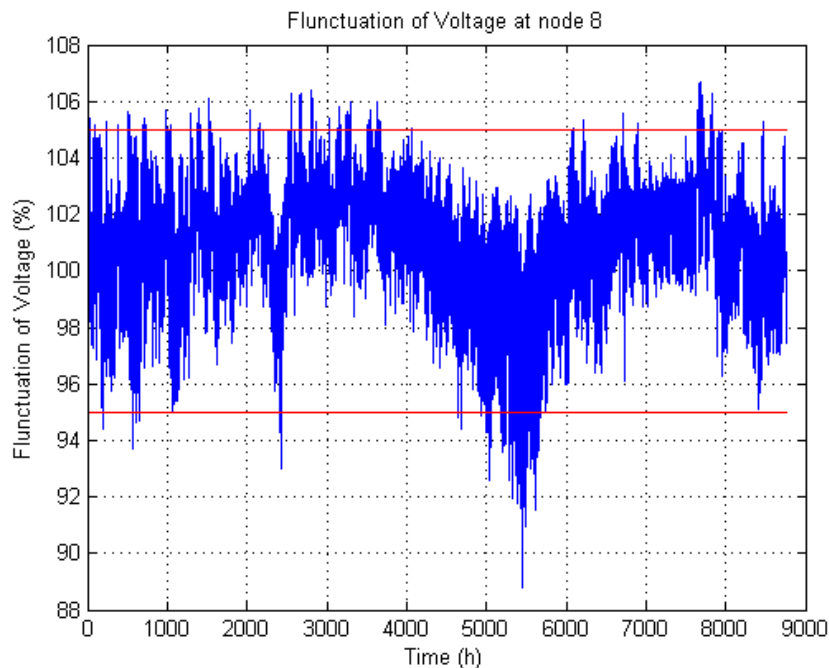
Σχήμα 4-5. Κατανομή των τιμών του ΣΙ στο ζυγό ΑΣΠ (Σενάριο 1)

Το Σχήμα 4-4 απεικονίζει την ετήσια μεταβολή του ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ και το Σχήμα 4-5 τα ποσοστά εμφάνισης τιμών του στη διάρκεια ενός έτους. Από το Σχήμα 4-4 προκύπτει ότι ο ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ, $pf_{total}(t)$, κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.8616 επαγ. και 0.9717 επαγ. Σύμφωνα με το Σχήμα 4-5, η τιμή του $pf_{total}(t)$ διαμορφώνεται γύρω από την τιμή 0.90 επαγωγικό, αφού για ποσοστό 80% του συνολικού χρόνου ο ΣΙ κυμαίνεται στο διάστημα τιμών [0.92- 0.88] με μέση τιμή 0.9080 επαγωγική.

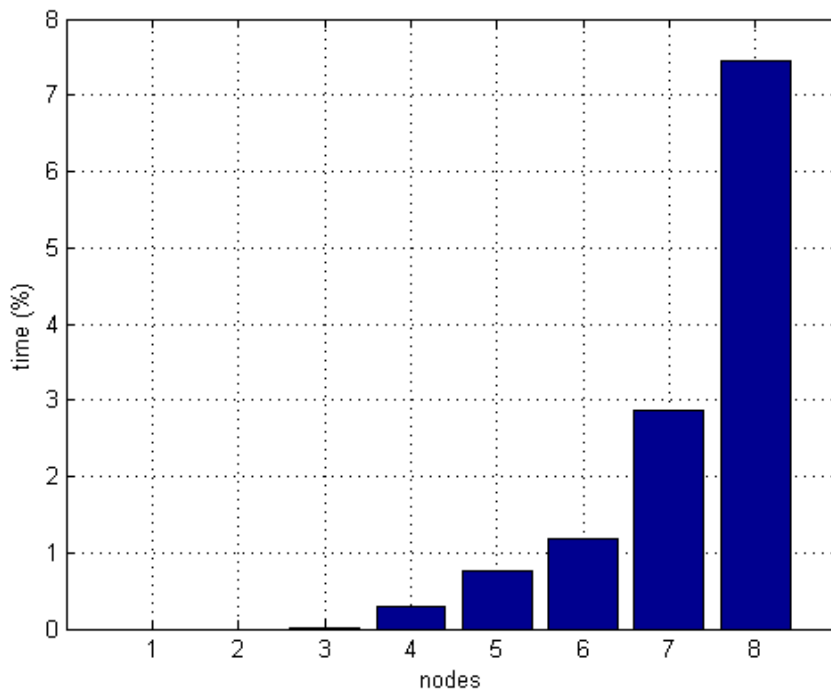
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη διακύμανση της τάσης. Ενδεικτικά, απεικονίζεται η μεταβολή της τάσης συναρτήσει του χρόνου για ορισμένους κόμβους κατά τη διάρκεια ενός έτους. Τέλος, στο Σχήμα 4 – 8 απεικονίζονται τα ποσοστά του χρόνου στη διάρκεια ενός έτους κατά τα οποία η τάση στους κόμβους της γραμμής κυμαίνεται εκτός των προβλεπόμενων ορίων.



Σχήμα 4-6. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 5 (Σενάριο 1)



Σχήμα 4-7. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 (Σενάριο 1)



Σχήμα 4-8. Ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο η τάση βρίσκεται εκτός ορίων (Σενάριο 1)

Από το Σχήμα 4-8 παρατηρείται ότι στους κόμβους 3,4,5,6,7 η διακύμανση της τάσης υπερβαίνει τα όρια για ανεκτά χρονικά διαστήματα, ενώ στον κόμβο 8 η διακύμανση πρέπει να έλθει εντός των αποδεκτών ορίων για σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό σε ετήσια βάση.

Η ετήσια αιολική παραγωγή του Α/Π είναι:

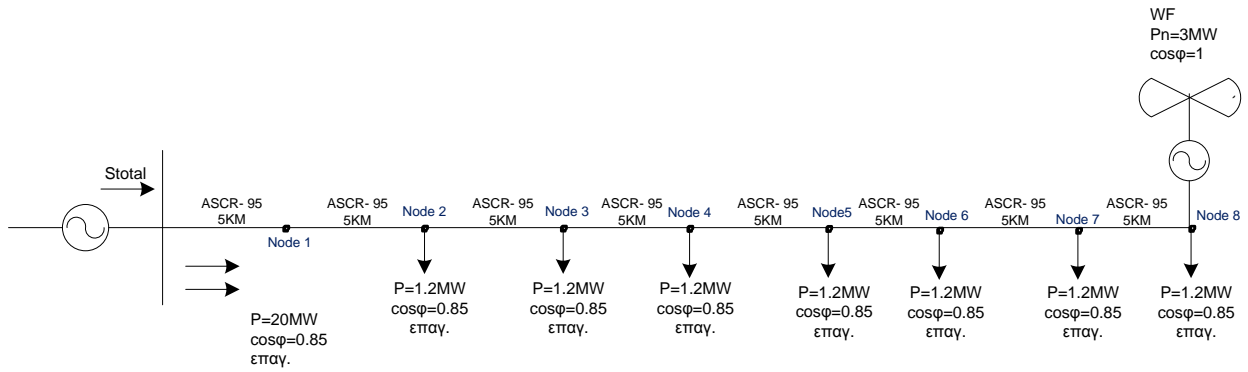
$$E_{WF} = \sum_{t=1}^{8760} P_{WF_{total}}(t) = 2419.149 \text{ MWh}$$

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης σε ετήσια βάση είναι:

$$CF = \frac{E_{WF}}{8760 \cdot P_{WF_n}} = \frac{2419.149 \text{ MWh}}{8760 \cdot 1 \cdot 2 \text{ MW}} = 0.3549 \text{ ή } 35.49\%$$

4.4 ΣΕΝΑΡΙΟ 2: Γραμμή ΜΤ με ένα Α/Π 3ΜW χωρίς έλεγχο

Στο δεύτερο σενάριο της προσομοίωσης, στη γραμμή ΜΤ συνδέεται ένα Α/Π ονομαστικής ισχύος 3ΜW με 3 Α/Γ. Η τοπολογία του συστήματος απεικονίζεται στο Σχήμα 4-9 και περιγράφεται στον Πίνακα 4 – 3.

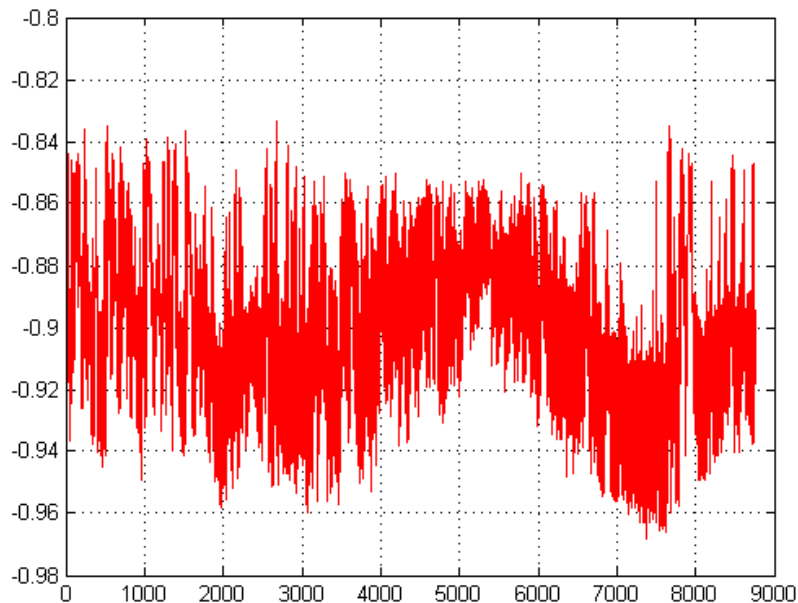


Σχήμα 4-9. Τοπολογία Προσομοίωσης Σεναρίου 2

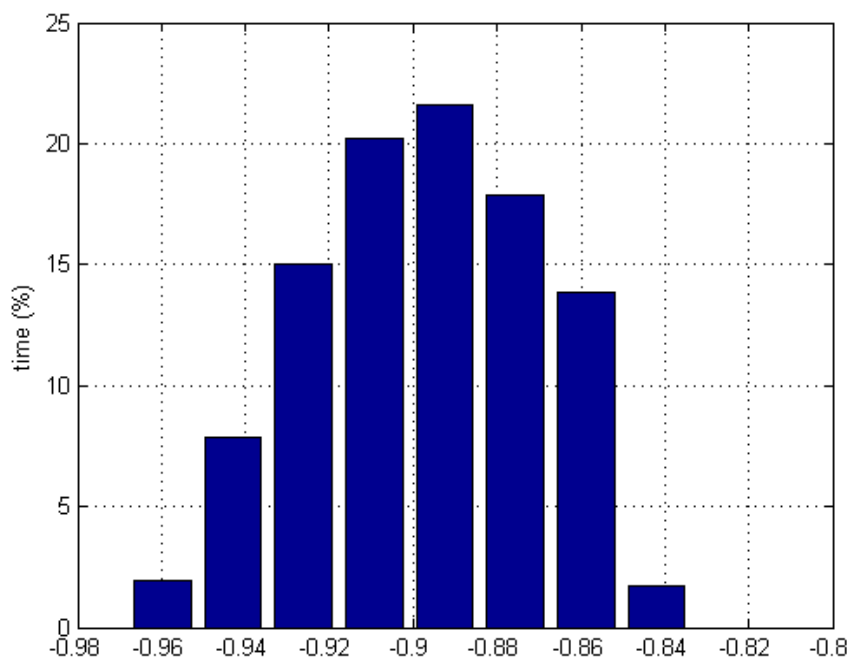
Πίνακας 4-3. Χαρακτηριστικά γραμμής ΜΤ με Α/Π 3ΜW

Κόμβοι	Απόσταση (km)	Παραγόμενη Ονομαστική Ισχύς (MW)	Καταναλισκόμενη Ονομαστική Ισχύς (MW)	Σ.Ι. παραγωγής	Σ.Ι. κατανάλωσης
0	0	0	-20	-	0.85 επαγ.
1	5	0	0	-	0.85 επαγ.
2	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
3	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
4	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
5	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
6	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
7	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
8	5	3	-1.2	1	0.85 επαγ.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ απεικονίζονται στα ακόλουθα Σχήματα 4.10 και 4.11.



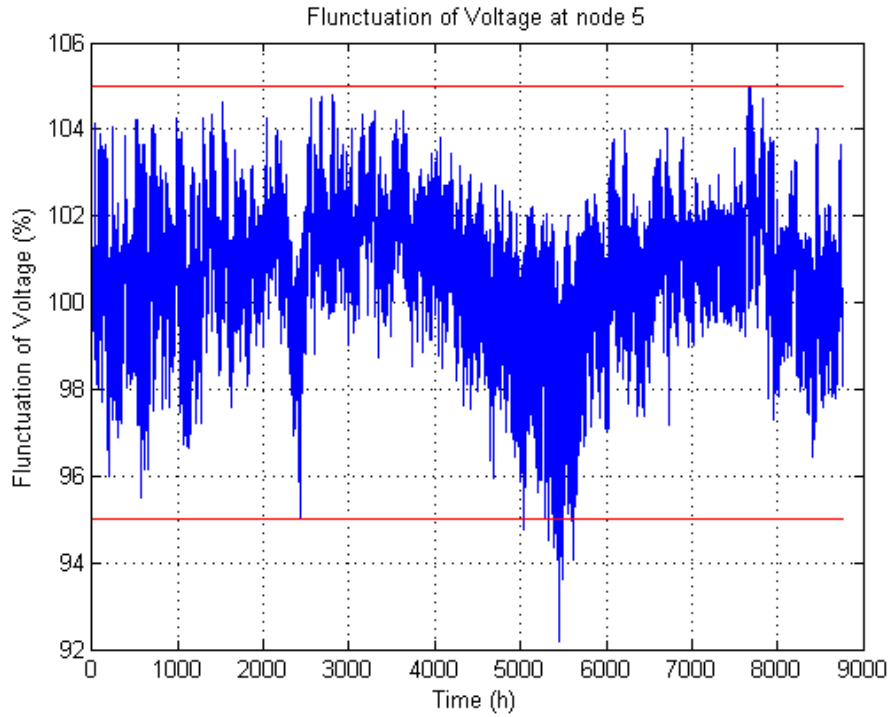
Σχήμα 4-10. Ο ΣΙ στον ΑΣΠ (Σενάριο 2)



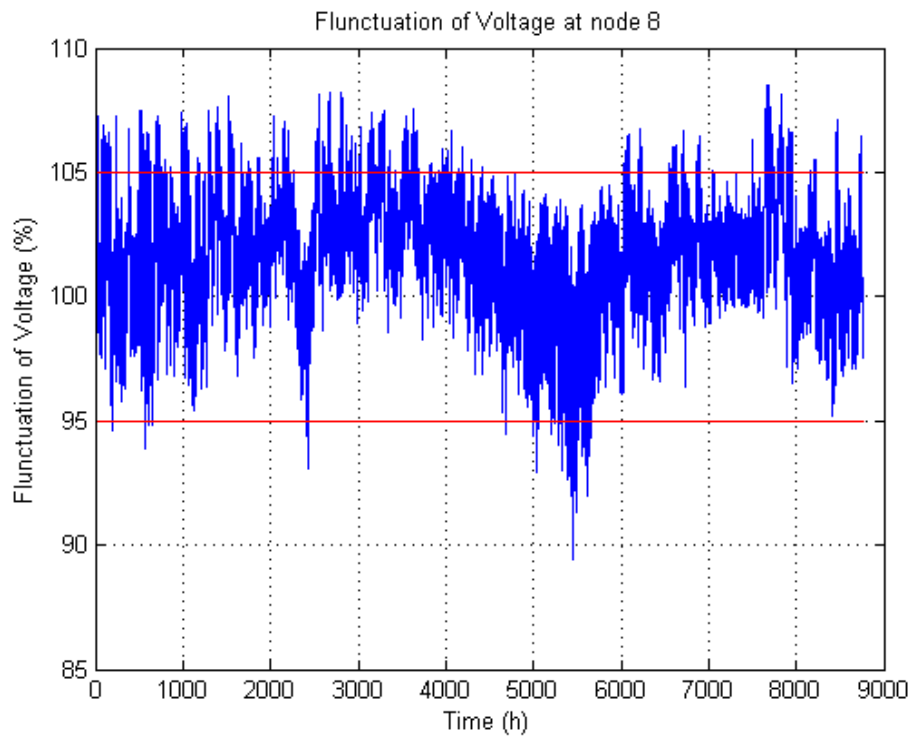
Σχήμα 4-11. Κατανομή των τιμών του ΣΙ στον ΑΣΠ (Σενάριο 2)

Το Σχήμα 4-10 απεικονίζει την ετήσια μεταβολή του ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ και το Σχήμα 4-11 τα ποσοστά εμφάνισης τιμών του στη διάρκεια ενός έτους. Από το Σχήμα 4-11 προκύπτει ότι ο ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ, $pf_{total}(t)$, κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.8322 επαγ. και 0.9717 επαγ. Σύμφωνα με το Σχήμα 4-11, η τιμή του $pf_{total}(t)$ διαμορφώνεται γύρω από την τιμή 0.90 επαγωγικό, αφού για ποσοστό 70% του συνολικού χρόνου ο ΣΙ κυμαίνεται στο διάστημα τιμών [0.93- 0.88] με μέση τιμή 0.8998 επαγ.

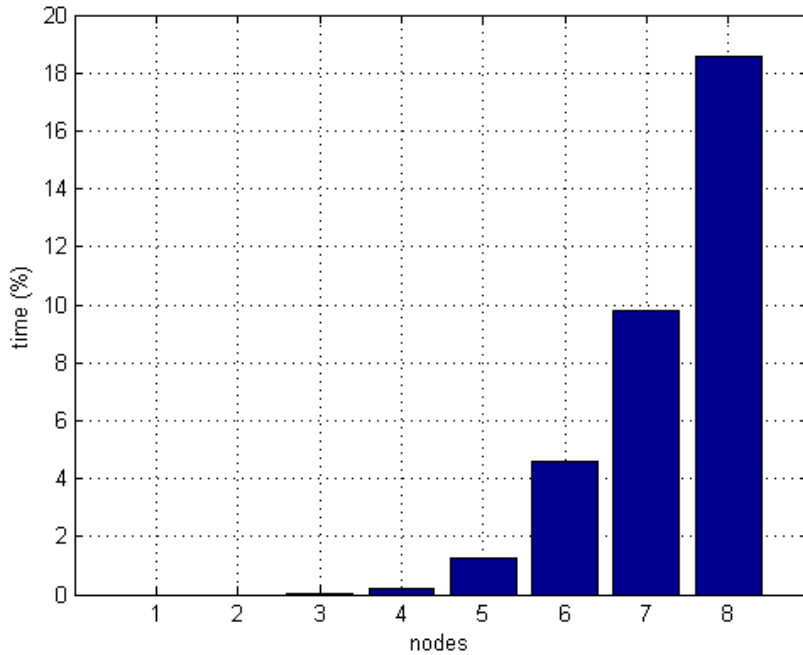
Στα Σχήματα 4-12 και 4-13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη διακύμανση της τάσης στους κόμβους 5 και 8 κατά τη διάρκεια ενός έτους. Τέλος, στο Σχήμα 4-14 απεικονίζονται τα ποσοστά του χρόνου στη διάρκεια ενός έτους κατά τα οποία η τάση στους κόμβους της γραμμής ΜΤ κυμαίνεται εκτός των προβλεπόμενων ορίων.



Σχήμα 4-12. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 5 (Σενάριο 2)



Σχήμα 4-13. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 (Σενάριο 2)



Σχήμα 4-14. Ποσοστό του χρόνου που η τάση είναι εκτός ορίων (Σενάριο 2)

Από το Σχήμα 4-14 καθίσταται φανερό ότι η τάση στους κόμβους 6,7 και 8 βρίσκεται εκτός ανεκτών ορίων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση των δύο σεναρίων παρατηρείται ότι το Α/Π ονομαστικής ισχύος 3MW προκαλεί προβλήματα στη γραμμή. Η αύξηση της εγχεόμενης ισχύος από το Α/Π προκαλεί ανύψωση και εντονότερη διακύμανση της τάσης στους κόμβους της γραμμής. Επομένως, αποδεικνύεται ότι το σύστημα δεν μπορεί να απορροφήσει την εγχεόμενη ισχύ, γεγονός που υποδεικνύει και ένα πρακτικό όριο διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στο σύστημα.

Η ετήσια παραγωγή ενέργειας από το Α/Π των 3MW είναι:

$$E_{WF} = \sum_{t=1}^{8760} P_{WF_{total}}(t) = 9034.187 \text{ MWh}$$

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι:

$$CF = \frac{E_{WF}}{8760 \cdot P_{WF_{nom}}} = \frac{9034.187 \text{ MWh}}{8760 \cdot 1 \cdot 3 \text{ MW}} = 0.3437 \text{ ή } 34.37\%$$

4.4 ΣΕΝΑΡΙΟ 3: Γραμμή MT με ένα Α/Π 3MW με έλεγχο

Με βάση το προηγούμενο σενάριο της προσομοίωσης προκύπτουν δύο προβλήματα προς αντιμετώπιση. Το πρώτο αφορά το ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ, ο οποίος πρέπει να εμφανίζει ελάχιστη διακύμανση περί την τιμή 1. Το δεύτερο πρόβλημα

αφορά τα επίπεδα τάσης στους κόμβους της γραμμής ΜΤ, τα οποία πρέπει να διακυμαίνονται εντός του εύρους 95% έως 105%.

Με βάση τις μαθηματικές εξισώσεις που δόθηκαν στην Παράγραφο 4.1, ένας τρόπος ελέγχου των ανωτέρω μεγεθών είναι η ταυτόχρονη ρύθμιση της ισχύος αντιστάθμισης και του ΣΙ της παραγωγής. Η αύξηση της ισχύος αντιστάθμισης Q_c μειώνει τη συνολική άεργο ισχύ στο ζυγό του ΑΣΠ $Q_0(t) = Q_{WF_{total}}(t) + Q_c + Q_{load_{total}}(t)$, αφού καλύπτει την άεργο ισχύ που απορροφάται από τη γραμμή και, κατά συνέπεια, αυξάνει την τιμή του ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ, του οποίου η τιμή δίδεται από τη σχέση (4.20).

Ωστόσο, αύξηση της Q_c συνεπάγεται αύξηση και της τάσης στους κόμβους της γραμμής ΜΤ. Προκειμένου να μειωθεί η διακύμανση της τάσης, ρυθμίζονται ταυτόχρονα η άεργος ισχύς Q_c και ο ΣΙ της παραγωγής, pf_{WF} , ο οποίος έχει αρχική τιμή 1. Οι τιμές του pf_{WF} είναι επαγωγικές, δηλαδή το Α/Π απορροφά άεργο ισχύ ώστε τα επίπεδα της τάσης να επαναφερθούν εντός των ορίων. Η σχέση που δίνει την πτώση τάσης είναι η (4.24).

Ιδανικά, οι όροι στο εσωτερικό της παρένθεσης στη σχέση (4.24) αλληλοεξουδετερώνονται. Στην πράξη, όμως, αυτό είναι πρακτικά ανέφικτο. Αν ωστόσο, τα μεγέθη της παρένθεσης στη σχέση (4.24) έχουν διαφορετικό πρόσημο ή αν το άθροισμά τους είναι σχετικά μικρό, ο όρος εντός της παρένθεσης είναι επίσης μικρός και κατ' επέκταση η τιμή της διακύμανσης, $\varepsilon(\%)$, είναι και αυτή μικρή.

Ο έλεγχος που προτείνεται στη παρούσα διπλωματική εργασία δεν προσπαθεί να λύσει κατά βέλτιστο τρόπο το ενεργειακό πρόβλημα. Η διαδικασία που προτείνεται βασίζεται σε κεντρικό και όχι τοπικό έλεγχο διότι ο αλγόριθμος απαιτεί πληροφορία από όλα τα σημεία του δικτύου, η οποία συγκεντρώνεται στο κέντρο ελέγχου του ΗΔ μέσω του ΕΔ. Ο τοπικός έλεγχος θα ρύθμιζε τοπικά σε κάθε κόμβο τις αντίστοιχες παραμέτρους, ώστε να επιτευχθεί το ζητούμενο αποτέλεσμα, χωρίς να είναι απαραίτητο να βρίσκεται ο κόμβος σε επικοινωνία με τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου. Αντίθετα, ο κεντρικός έλεγχος βασίζεται στο ΕΔ. Τοποθετούνται έξυπνοι μετρητές (SM) στους κόμβους του δικτύου, οι οποίοι αποστέλλουν την απαιτούμενη πληροφορία. Οι μετρήσεις συγκεντρώνονται στο κέντρο διαχείρισης (MDMS), όπου εκτελείται ο αλγόριθμος ελέγχου, υπολογίζονται τα ζητούμενα μεγέθη και αποστέλλονται οι κατάλληλες εντολές στους κόμβους χρησιμοποιώντας NB-PLC και GPRS/3G τεχνολογία. Στους ελεγχόμενους κόμβους υπάρχουν κατάλληλοι ηλεκτρονόμοι για την πραγματοποίηση των εντολών και την τροποποίηση των μεγεθών. Με κεντρικό έλεγχο αναμένονται καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την ομαλή ενσωμάτωση και άρα αποδοτικότερη λειτουργία του Α/Π, διότι επιτυγχάνεται παρακολούθηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των κόμβων της γραμμής ΜΤ σε πραγματικό χρόνο και άμεση

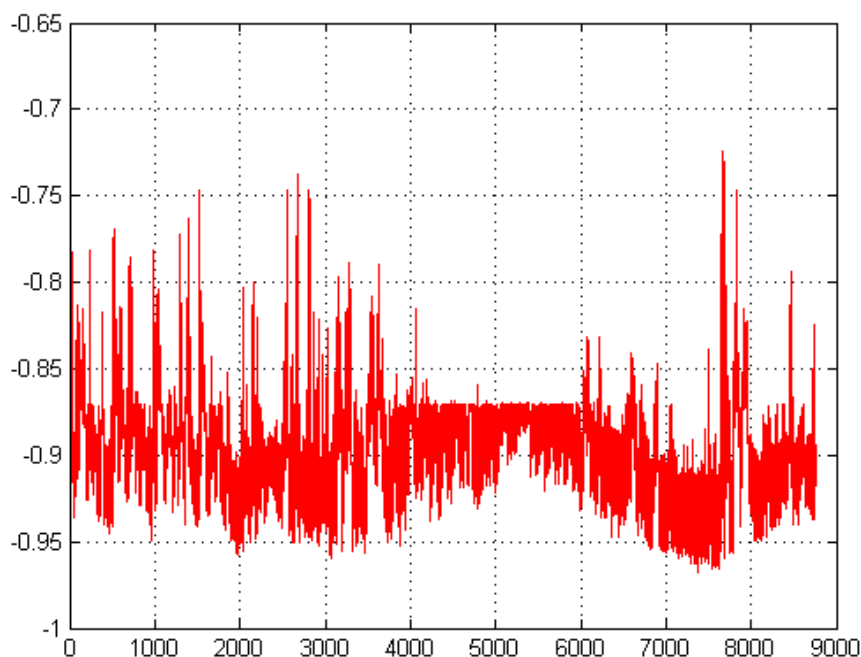
αποστολή εντολών προς αυτούς για έλεγχο. Οι εντολές που αποστέλλονται αποτελούν λύση για τη βελτίωση των ηλεκτρικών μεγεθών όλων και όχι ορισμένων κόμβων. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός κόμβου εξαρτώνται από αυτά των υπολοίπων. Επομένως, οι κόμβοι πρέπει να βρίσκονται σε συνεχή επικοινωνία και υπό συνεχή παρακολούθηση από το MDMS, γεγονός που επιτυγχάνεται με το ΕΔ. Στη συνέχεια, παρατίθεται ο αλγόριθμος ελέγχου.

```

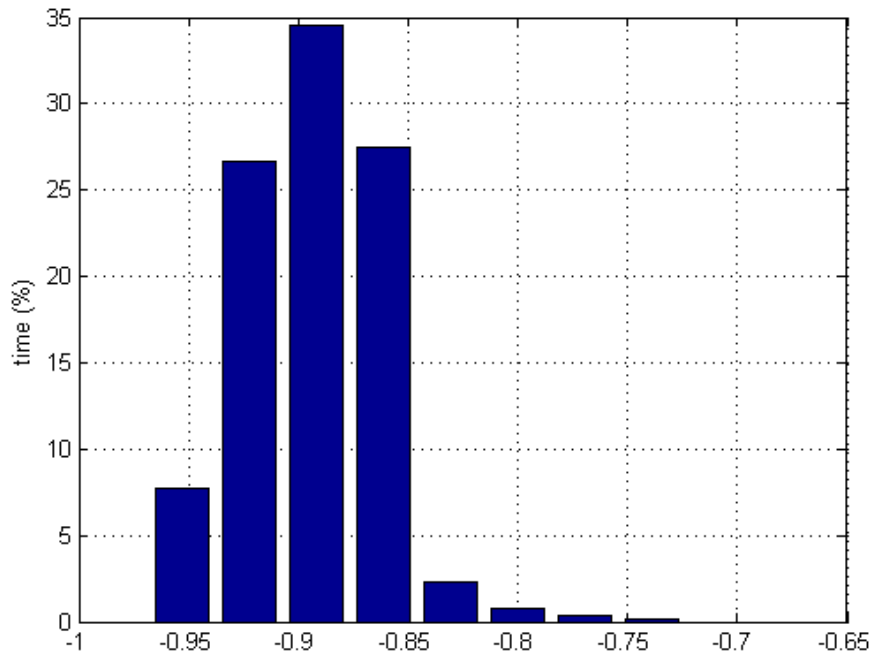
pf_WF=1; % ο ΣΙ του Α/Π αρχικοποιείται στην τιμή 1, ωμικός
Q_c=Q_int; % αρχικοποιείται η ισχύς Q_c στην τιμή Q_int
Επανάλαβε
εξιώσεις προβλήματος
Αν [(η τάση δεν είναι εντός ορίων) και (ο pf_WF έχει περιθώρια
μείωσης)]
    Μείωσε τον pf_WF κατά το βήμα μείωσής του
τέλος
Αν [(ο pf_total δεν είναι εντός ορίων) και (η Q_c έχει περιθώρια
αύξησης)]
    Αύξησε την Q_c κατά το βήμα αύξησής της
τέλος
μέχρι{[(η τάση να είναι εντός ορίων) και (ο pf_total να είναι
εντός ορίων)] ή [(ο pf_WF να μην έχει περιθώρια μείωσης) ή (η Q_c
να μην έχει περιθώρια αύξησης)]}

```

Η τοπολογία του δικτύου στην περίπτωση αυτή είναι ίδια με αυτή της ενότητας 4.3. με τη διαφορά ότι εφαρμόζεται ο αλγόριθμος ελέγχου. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ απεικονίζονται στα ακόλουθα Σχήματα 4.15 και 4.16.



Σχήμα 4-15. Ο ΣΙ στον ΑΣΠ (Σενάριο 3)

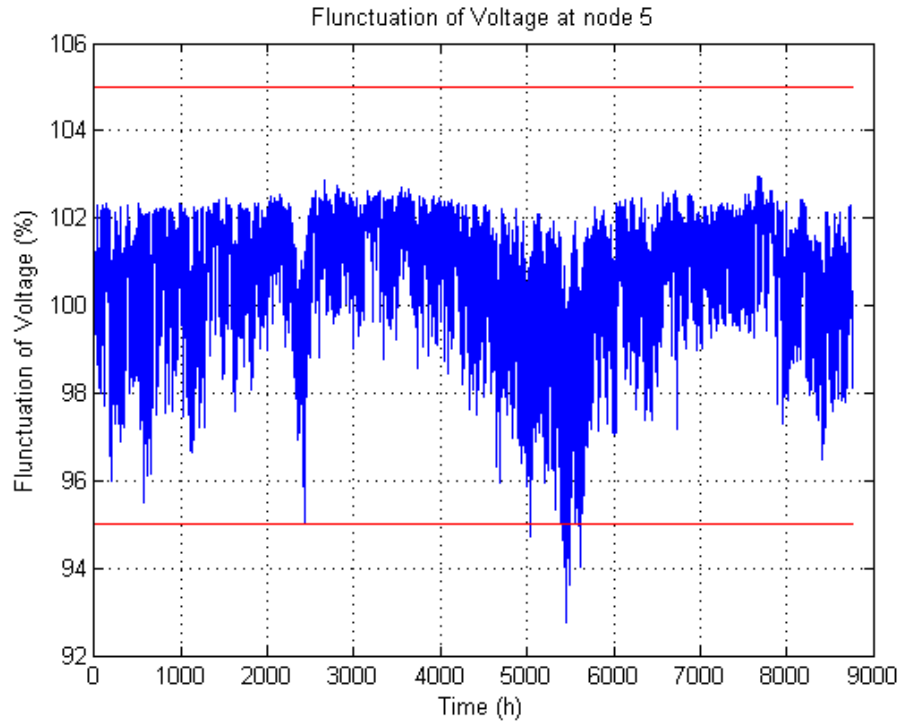


Σχήμα 4-16. Κατανομή των τιμών ΣΙ στον ΑΣΠ (Σενάριο 3)

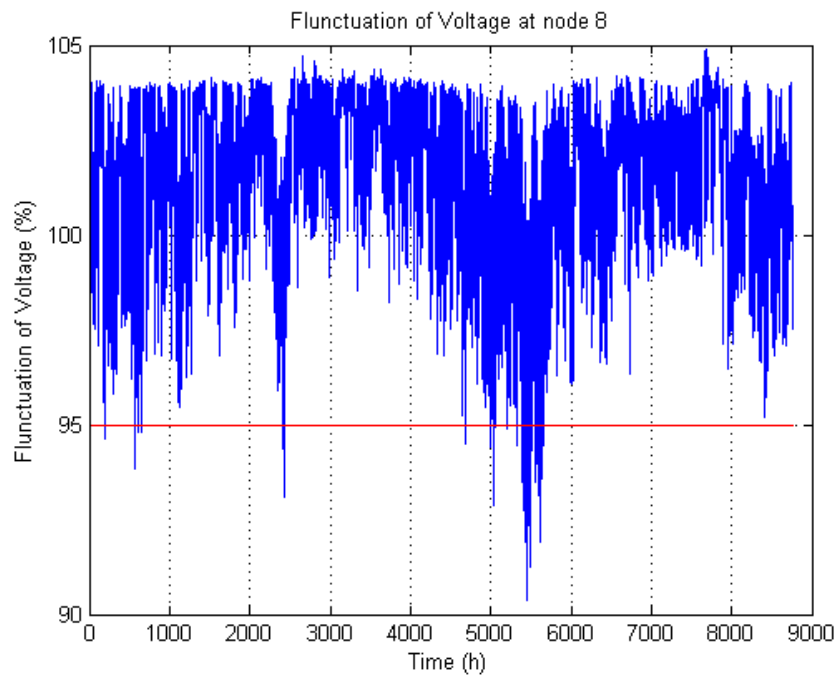
Στο Σχήμα 4-15 φαίνεται ότι ο ΣΙ σε ορισμένες στιγμές κατά τη διάρκεια του έτους λαμβάνει χαμηλές τιμές, αλλά σύμφωνα με το Σχήμα 4-16 αυτές οι τιμές διατηρούνται για αμελητέο ποσοστό του χρόνου. Συγκεκριμένα, από το Σχήμα 4-15 προκύπτει ότι ο ΣΙ στο ζυγό ΑΣΠ, κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.7139 επαγ. και 0.9717 επαγ. Η τιμή του ΣΙ διαμορφώνεται γύρω από την τιμή 0.89 αφού για ποσοστό 90% του χρόνου ο ΣΙ λαμβάνει τιμές στο διάστημα [0.87-0.93] με μέση τιμή 0.8960 επαγ.

Επομένως, γίνεται φανερό ότι ο έλεγχος που εφαρμόζεται στη γραμμή δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά του ΣΙ, όπως είναι αναμενόμενο αφού αυτός συμπεριφερόταν ομαλά και κατά το Σενάριο 2.

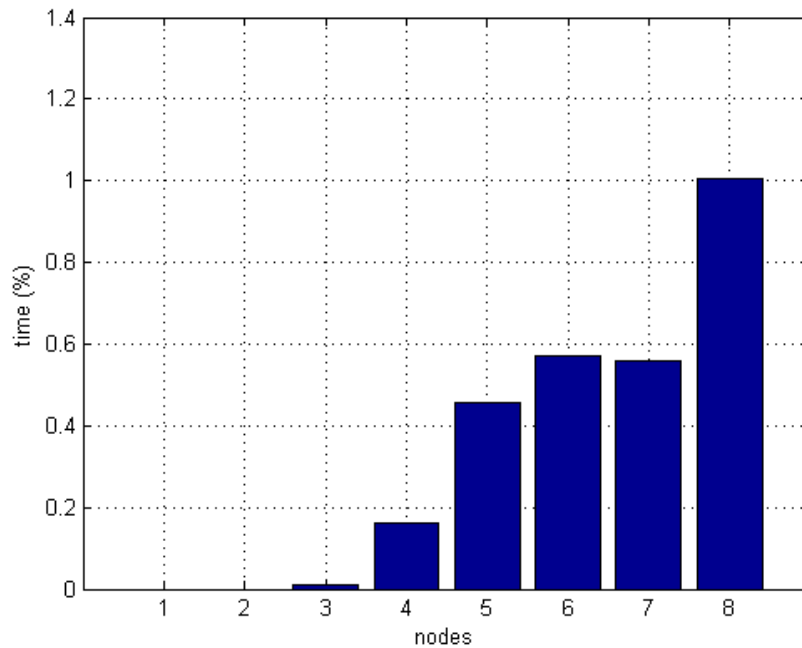
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη διακύμανση τάσης παρουσιάζονται ακολούθως. Ενδεικτικά, και στην περίπτωση αυτή απεικονίζεται η τάση συναρτήσεως του χρόνου για ορισμένους κόμβους. Στο Σχήμα 4- 19 απεικονίζονται τα ποσοστά του χρόνου κατά τα οποία η τάση κάθε κόμβου εξέρχεται των προβλεπόμενων ορίων.



Σχήμα 4-17. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 5 (Σενάριο 3)



Σχήμα 4-18. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 (Σενάριο 3)



Σχήμα 4-19. Ποσοστό του χρόνου που η τάση βρίσκεται εκτός ορίων (Σενάριο 3)

Από το Σχήμα 4-19 προκύπτει ότι η τάση στους κόμβους 3,4,5,6,7 και 8 για κάποιο χρονικό ποσοστό βρίσκεται εκτός των προβλεπόμενων ορίων. Πάντως, συγκρίνοντας τα Σχήματα 4-14 και 4-19, η διακύμανση της τάσης σε όλους τους κόμβους βελτιώνεται αισθητά σε σχέση με την περίπτωση όπου δεν εφαρμόστηκε έλεγχος.

Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή του Α/Π σε αυτό το σενάριο είναι:

$$E_{WF} = \sum_{t=1}^{8760} P_{WF\ total}(t) = 8972.56\ MWh$$

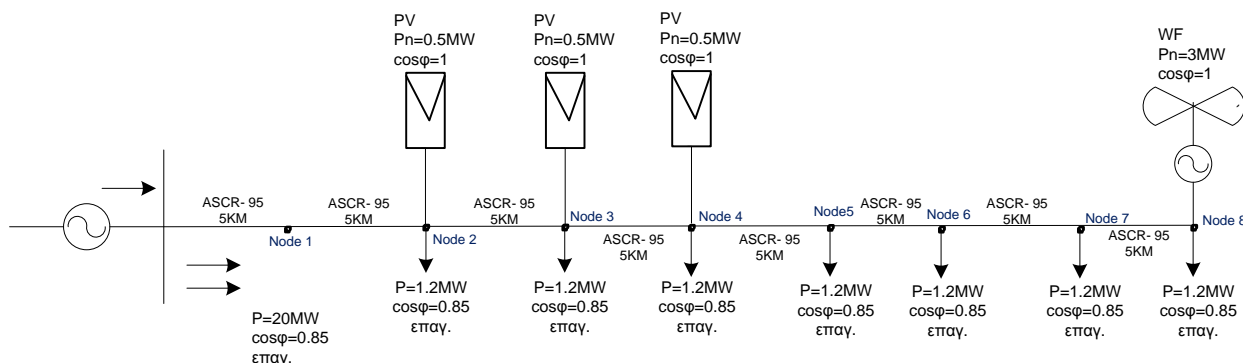
ενώ ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι

$$CF = \frac{E_{PV}}{8760 \cdot P_{PV\ nom}} = \frac{8972.56\ MWh}{8760 \cdot 1 \cdot 3\ MW} = 0.3414\ \text{ή}\ 34.14\%$$

Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή και ο συντελεστής χρησιμοποίησης μειώνονται σε σχέση με την περίπτωση όπου δεν εφαρμόζεται έλεγχος, διότι για κάποια χρονικά διαστήματα το Α/Π δεν λειτουργεί με μοναδιαίο ΣΙ, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ισχύς εξόδου του.

4.5 ΣΕΝΑΡΙΟ 4: Γραμμή ΜΤ με ένα Α/Π 3ΜW και τρία ΦΒ 0.5ΜW χωρίς έλεγχο

Στην περίπτωση αυτή εξετάζεται πώς η σύνδεση της επιπρόσθετης κατακευμασμένης παραγωγής ΗΕ επιδρά στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της γραμμής ΜΤ. Για αυτό το λόγο, συνδέονται στη γραμμή ΜΤ ένα Α/Π με ονομαστική ισχύ 3 ΜW και τρία ΦΒΣ με ονομαστική ισχύ 0.5 ΜW, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4-20 και περιγράφεται στον Πίνακα 4 – 3.



Σχήμα 4-20. Τοπολογία συστήματος (Σενάριο 4)

Πίνακας 4-3. Ισχύς που παράγεται και καταναλώνεται στους κόμβους (Σενάριο 4)

Κόμβοι	Απόσταση (km)	Παραγόμενη Ονομαστική Ισχύς (MW)	Καταναλισκόμενη Ονομαστική Ισχύς (MW)	Σ.Ι. παραγωγής	Σ.Ι. κατανάλωσης
0	0	0	-20	-	0.85 επαγ.
1	5	0	0	-	0.85 επαγ.
2	5	0.5	-1.2	1	0.85 επαγ.
3	5	0.5	-1.2	1	0.85 επαγ.
4	5	0.5	-1.2	1	0.85 επαγ.
5	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
6	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
7	5	0	-1.2	-	0.85 επαγ.
8	5	3	-1.2	1	0.85 επαγ.

Ο ονομαστικός ΣΙ λειτουργίας των ΦΒΣ που συνδέονται στη γραμμή είναι 1, δηλαδή $pf_{PV} = 1$. Οι εξισώσεις που περιγράφουν ένα ΦΒΣ το οποίο είναι συνδεδεμένο σε ένα κόμβο k της γραμμής ΜΤ προκύπτουν ως ακολούθως.

Μεγέθη εισόδου του ΦΒΣ:

- Συνολική επιφάνεια panels A (m^2)
- Βαθμός απόδοσης panel σε STC n_{STC} (%)
- Θερμοκρασία NOCT των panels T_{NOCT} ($^{\circ}C$)
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας $G(t)$ (W/m^2)
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_{amb}(t)$ ($^{\circ}C$)

Μεγέθη εξόδου του ΦΒΣ στον κόμβο i τη χρονική στιγμή t :

Με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, το ΦΒΣ αποδίδει φαινόμενη ισχύ στο δίκτυο $S_{ac}(i, t)$. Οι εξισώσεις που συνδέουν τις εισόδους με τις εξόδους είναι [1]:

$$S_{ac}(i, t) = A \cdot n_{STC} \cdot (1 - \Delta_{nG}(t) - \Delta_{nT}(t)) \cdot G(t) \quad (4.34)$$

Η μεταβολή της απόδοσης λόγω ακτινοβολίας $\Delta_{nG}(t)$ δίδεται από τη σχέση:

$$\Delta_{nG}(t) = -0.04 \cdot \ln(G(t)/1000) \quad (4.35)$$

Η πραγματική θερμοκρασία του panel για δεδομένη ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_{panel}(t)$ προκύπτει:

$$T_{panel}(t) = T_{amb}(t) + \left(\frac{G(t)}{800}\right) (T_{NOCT} - 20) \quad (4.36)$$

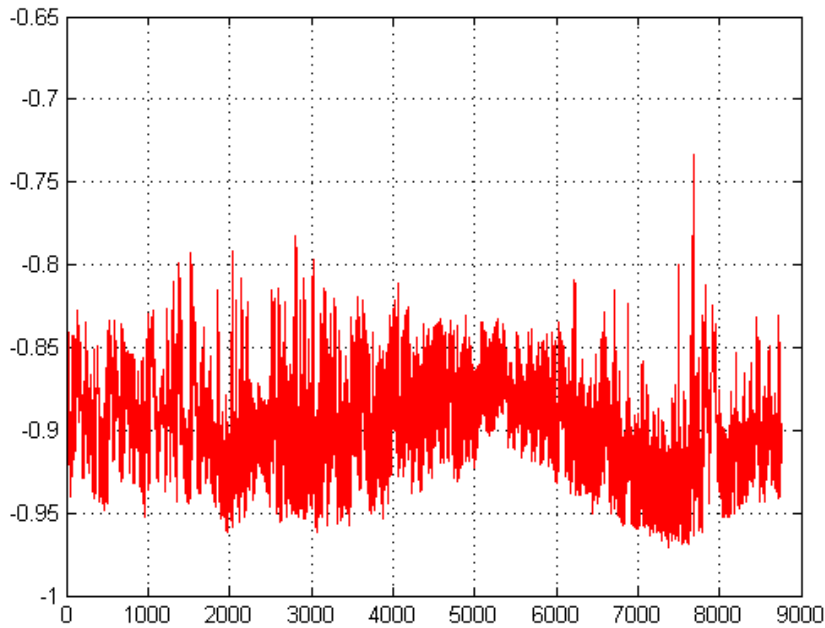
Η μεταβολή της απόδοσης λόγω θερμοκρασίας $\Delta_{nT}(t)$ είναι:

$$\Delta_{nT}(t) = -0.0045 \cdot (25 - T_{panel}(t)) \quad (4.37)$$

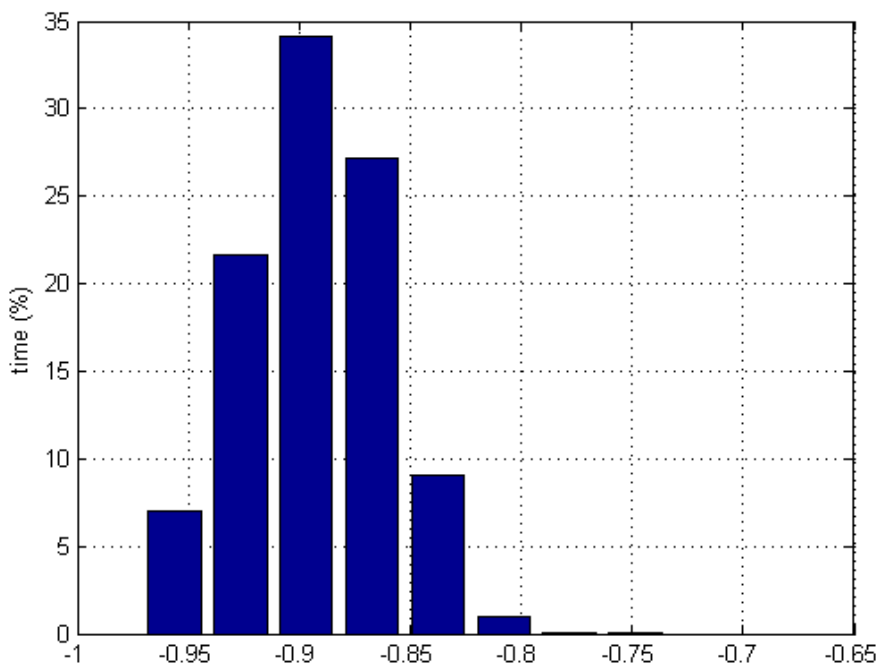
Τυπικές Τιμές:

- Επιφάνεια για ΦΒΣ 0.5 MW $A = 3500 \text{ m}^2$
- Βαθμός απόδοσης panel σε STC $n_{STC} = 14.5\%$
- Θερμοκρασία NOCT των panel $T_{NOCT} = 45^\circ\text{C}$
- Η ακτινοβολία $G(t)$ κυμαίνεται από 0 έως 1100 W/m^2
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_{amb}(t)$ κυμαίνεται από 0 έως 45°C

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ παρουσιάζονται στα διαγράμματα στο Σχήμα 4-21 και στο Σχήμα 4-22.



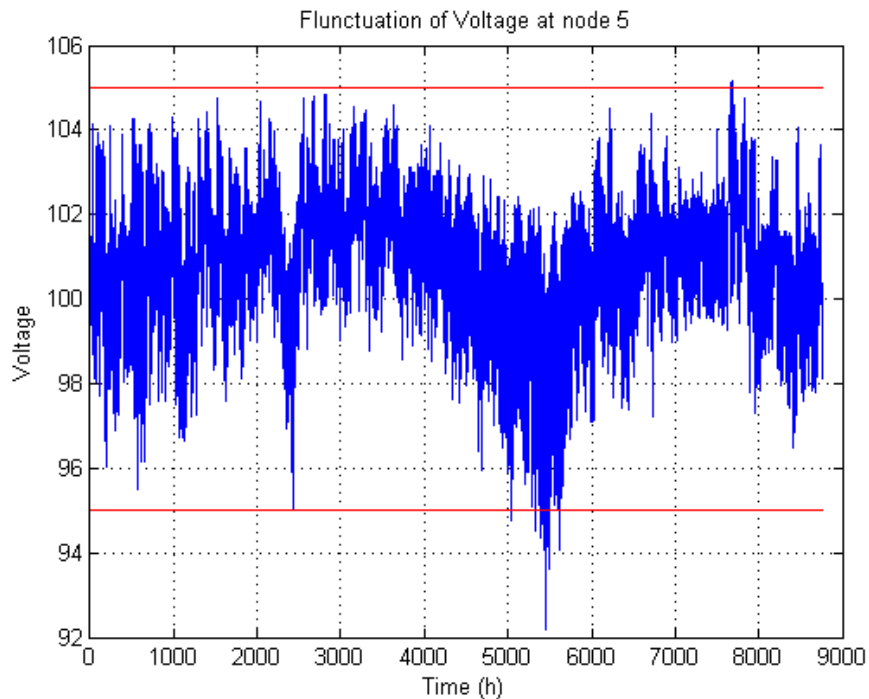
Σχήμα 4-21. Ο ΣΙ στον ΑΣΠ (Σενάριο 4)



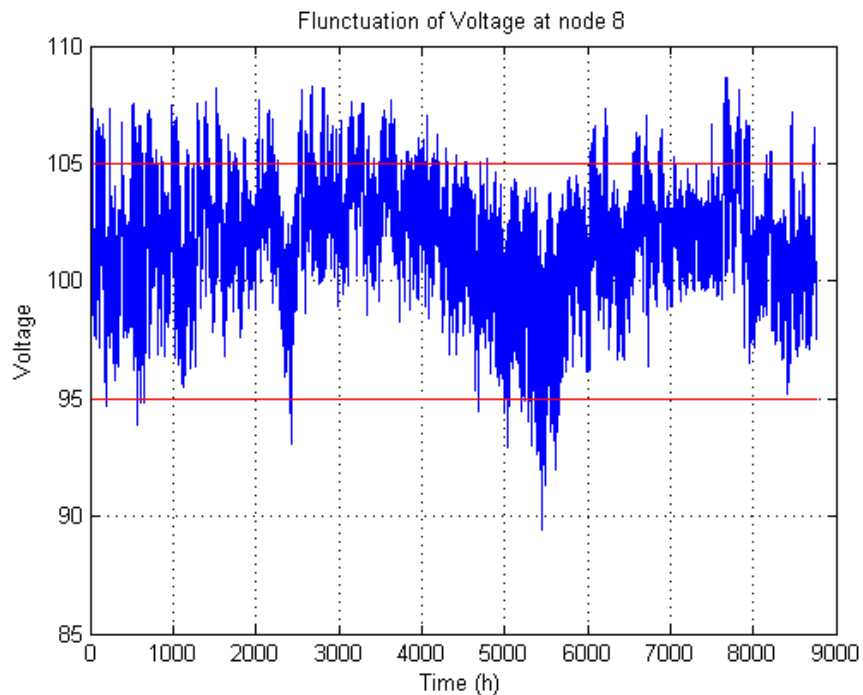
Σχήμα 4-22. Κατανομή των τιμών του ΣΙ (Σενάριο 4)

Από το Σχήμα 4-21 προκύπτει ότι ο ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ, $pf_{total}(t)$, κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.7337 επαγ. και 0.9711 επαγ.. Σύμφωνα με το Σχήμα 4-22, η τιμή του $pf_{total}(t)$ εμφανίζει μεγαλύτερο εύρος τιμών σε σύγκριση με τα Σενάρια 1 και 2 όπου στο δίκτυο ήταν συνδεδεμένο μόνο ένα Α/Π. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της εγχεόμενης ενεργού ισχύος από το Α/Π και τα ΦΒΣ, δεδομένου ότι η άεργος ισχύς τους είναι μηδενική ($pf_{PV}=1$ και $pf_{WF}=1$). Η μέση τιμή του ΣΙ είναι 0.8930 επαγ.

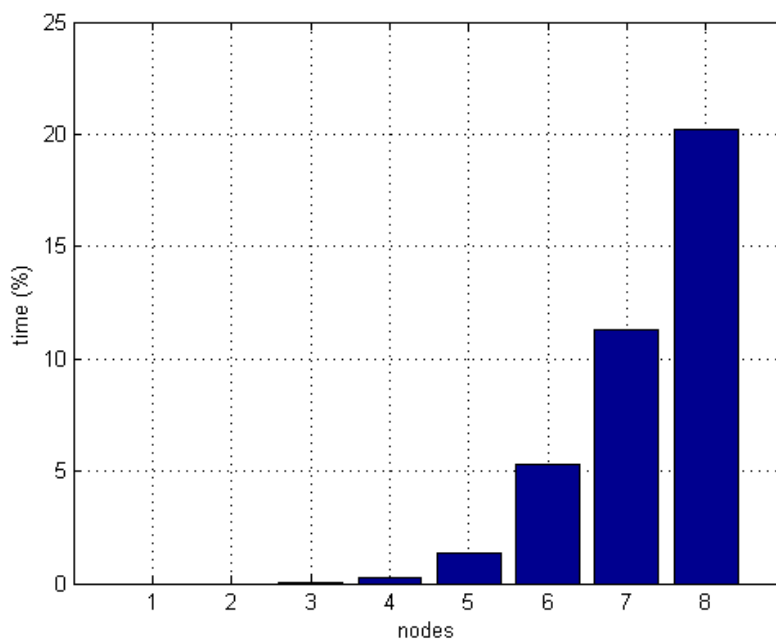
Στα Σχήματα 4-22 – 4-23 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τη διακύμανση της τάσης σε ορισμένους κόμβους. Στο Σχήμα 4-24 παρουσιάζονται τα ποσοστά του χρόνου κατά τα οποία η τάση σε κάθε κόμβο κυμαίνεται εκτός των προβλεπόμενων ορίων.



Σχήμα 4-22. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 5 (Σενάριο 4)



Σχήμα 4-23. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 (Σενάριο 4)



Σχήμα 4-24. Ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο η τάση βρίσκεται εκτός ορίων (Σενάριο 4)

Η τάση στους ζυγούς της γραμμής κυμαίνεται εκτός των ορίων στους κόμβους 4, 5, 6, 7, 8. Με βάση το σχήμα 4-24 τα ποσοστά του χρόνου όπου η τάση βρίσκεται εκτός ορίων στους κόμβους 6,7 και 8 είναι σημαντικά. Γενικά, η αύξηση της παραγωγής από τις πηγές ΚΠ έχει ως αποτέλεσμα τη χειροτέρευση του ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ, αυξάνοντας το εύρος και τη διακύμανση των τιμών του. Επιπλέον, η διακύμανση της τάσης στους κόμβους της γραμμής ΜΤ υπερβαίνει τα όρια για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή των ΦΒΣ και του Α/Π είναι:

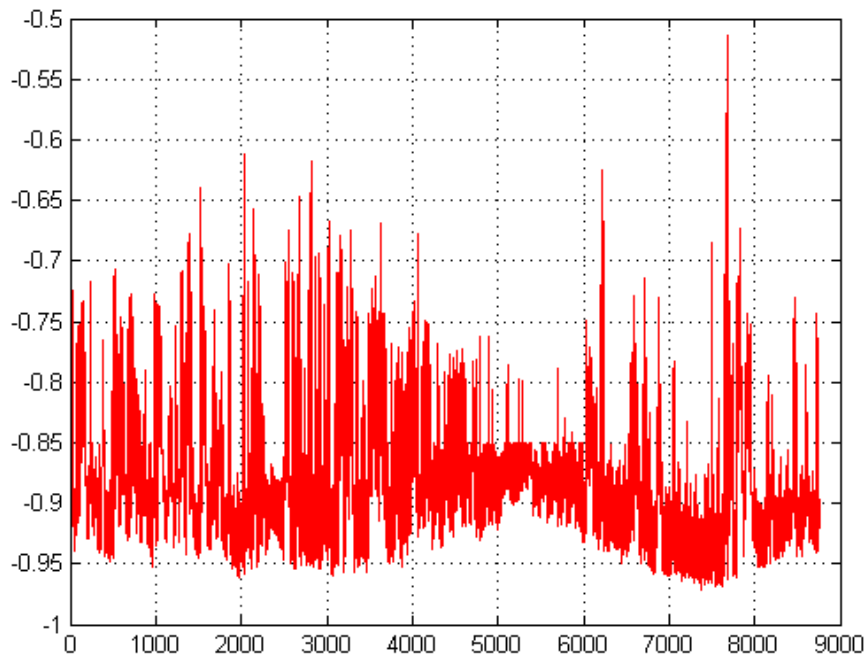
$$E_{DG} = \sum_{t=1}^{8760} P_{PV_{total}}(t) + \sum_{t=1}^{8760} P_{WF_{total}}(t) = 2419 + 9329 = 11748 MWh$$

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης σε ετήσια βάση είναι:

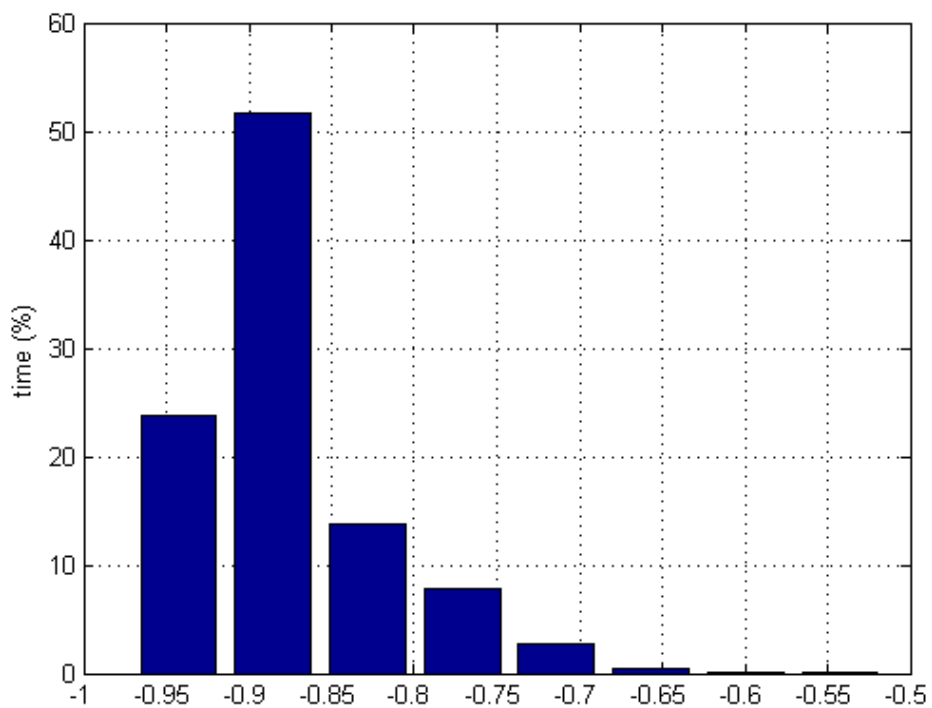
$$CF = \frac{E_{DG}}{8760 \cdot (P_{PV_n} + P_{WF_n})} = \frac{11748 MWh}{8760 \cdot (3 \cdot 0.5 + 1 \cdot 3) MW} = 0.2980 \text{ ή } 29.80\%$$

4.6 ΣΕΝΑΡΙΟ 5: Γραμμή ΜΤ με 1 Α/Π και 3 ΦΒΣ με έλεγχο

Στο σενάριο αυτό η τοπολογία του συστήματος παραμένει ίδια με το προηγούμενο σενάριο και εφαρμόζεται έλεγχος για να βελτιωθεί ο ΣΙ και η διακύμανση της τάσης στους κόμβους της γραμμής. Ο αλγόριθμός του ελέγχου αναλύθηκε στην Παράγραφο 4.3 και αφορά την ταυτόχρονη ρύθμιση της άεργου ισχύος και του ΣΙ παραγωγής. Τα αποτελέσματα για το ΣΙ απεικονίζονται στα Σχήματα 4.25 και 4.26.



Σχήμα 4-25. Ο ΣΙ στον ΑΣΠ (Σενάριο 5)

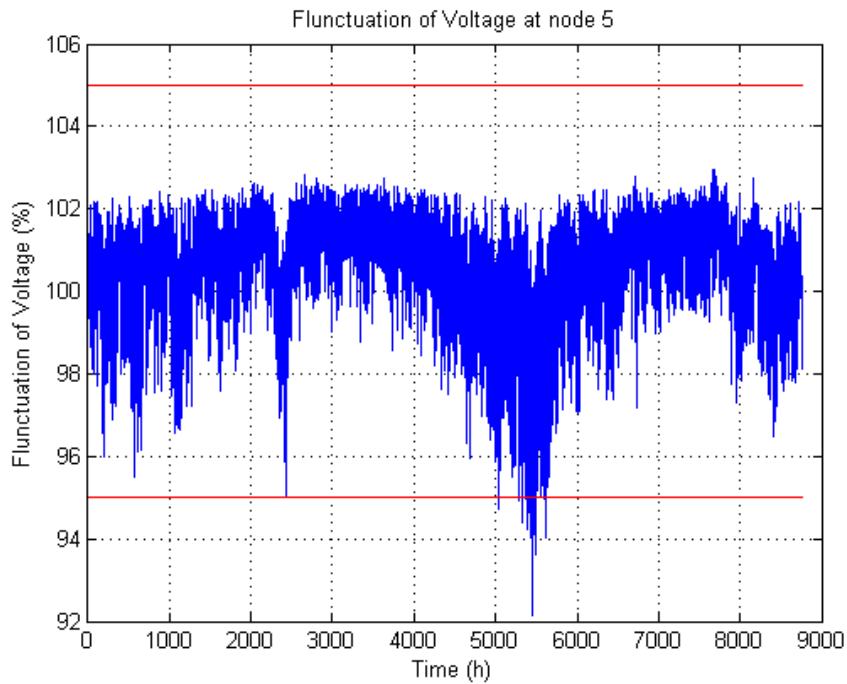


Σχήμα 4-26. Κατανομή των τιμών του ΣΙ (Σενάριο 5)

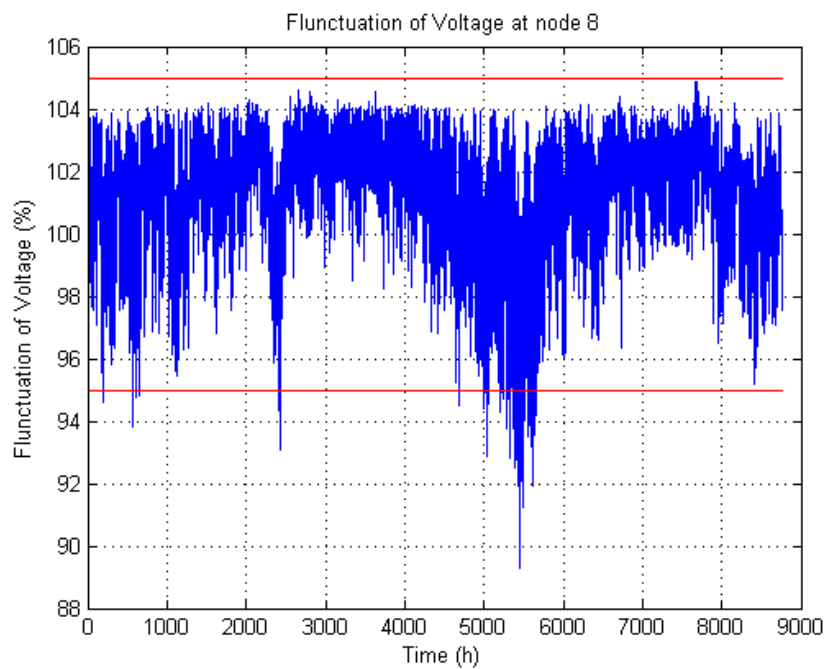
Από το Σχήμα 4-26 φαίνεται ότι οι τιμές που λαμβάνει ο ΣΙ κυμαίνονται από 0.9710 επαγ. έως 0.5150 επαγ. Το εύρος φαίνεται να έχει διευρυνθεί σε σχέση με την

περίπτωση όπου δεν εφαρμόστηκε έλεγχος, όμως η μέση τιμή του ΣΙ είναι 0.9079 η οποία είναι πιο κοντά στη μονάδα.

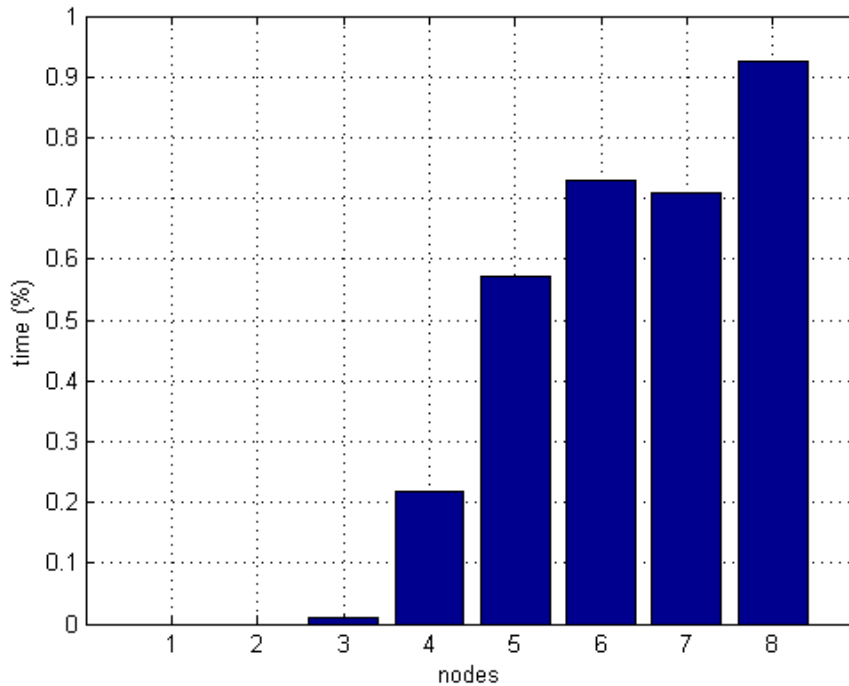
Στα Σχήματα 4-27 και 4-28 απεικονίζεται η διακύμανση της τάσης στους κόμβους 5 και 8. Τέλος, στο Σχήμα 4-29 παρουσιάζονται τα ποσοστά του χρόνου κατά τα οποία η διακύμανση εξέρχεται από τα ανεκτά όρια στους κόμβους της γραμμής.



Σχήμα 4-27. Η διακύμανση της τάσης στον κόμβο 5



Σχήμα 4-28. Η διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 (Σενάριο 5)



Σχήμα 4-29. Ποσοστό του χρόπου κατα το οποίο η τάση βρίσκεται εκτός ορίων (Σενάριο 5)

Από το Σχήμα 4-29 επιβεβαιώνεται ότι η διακύμανση της τάσης βελτιώνεται σε όλους τους κόμβους της γραμμής και το ετήσιο ποσοστό δεν υπερβαίνει σε κανέναν το 1%.

Η ετήσια ενεργειακή παραγωγή της ΚΠ είναι:

$$E_{DG} = \sum_{t=1}^{8760} P_{PV_{total}}(t) + \sum_{t=1}^{8760} P_{WF_{total}}(t) = 2332 + 9329 = 11661 MWh$$

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης σε ετήσια βάση είναι:

$$CF = \frac{E_{DG}}{8760 \cdot (P_{PV_n} + P_{WF_n})} = \frac{11661 MWh}{8760 \cdot (3 \cdot 0.5 + 1 \cdot 3) MW} = 0.2964 \text{ ή } 29.64\%$$

4.7 Διαστασιολόγηση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου

Στο παρόν εδάφιο πραγματοποιείται ο προσδιορισμός των τηλεπικοινωνιακών χαρακτηριστικών του NB-PLC - GPRS/3G δικτύου. Ο όγκος της παραγόμενης κίνησης από τα SM τερματικά είναι σταθερός και ανεξάρτητος των πληθυσμιακών και πολεοδομικών χαρακτηριστικών της προς εξυπηρέτηση περιοχής. Εξαρτάται από το πλήθος, την επιθυμητή ακρίβεια και τη συχνότητα δειγματοληψίας των μετρούμενων ηλεκτρικών μεγεθών.

Στους κόμβους παραγωγής και φορτίου του δικτύου καταγράφονται:

- i. Εισερχόμενη – εξερχόμενη ενεργός ισχύς
- ii. Εισερχόμενη – εξερχόμενη άεργος ισχύς
- iii. Τάση

Επειδή πρόκειται για τριφασικό δίκτυο, και επειδή η περιγραφή κάθε μετρούμενου ηλεκτρικού μεγέθους απαιτεί 4 bytes [5], τα πακέτα που εμπεριέχουν τις μετρήσεις για τα ανωτέρω μεγέθη απαιτούν $3 \cdot 5 \cdot 4 = 60$ bytes. Τα πακέτα πρέπει επιπλέον να πλαισιώνονται από την επικεφαλίδα, 50 bytes, με πληροφορίες σχετικές με την ταυτότητα και τη θέση του μετρητή, καθώς και την ακριβή ώρα καταγραφής κάθε μέτρησης. Με πιθανά overheads κρυπτογράφησης, ελέγχου λαθών και στρώματος ζεύξης δεδομένων, προκύπτει ένα πακέτο μετάδοσης μερικών εκατοντάδων bytes.

Συνεπώς, μία ζεύξη του 1 Kbps μπορεί να μεταδώσει αυτό το πακέτο δεδομένων στο MDMS σε χρόνο μικρότερο από 1 sec, καθυστέρηση που είναι απολύτως ανεκτή για την εφαρμογή που περιγράφεται στην παρούσα εργασία, δεδομένου ότι ο αλγόριθμος ελέγχου λειτουργεί σε χρόνους τάξης μεγέθους λεπτών. Ακόμη και στη δυσμενέστερη περίπτωση, όπου όλοι κόμβοι στέλνουν τα δεδομένα τους ταυτόχρονα στο MDMS, μία γραμμή MT με 5 έως 15 κόμβους που δημιουργεί συνολική κίνηση 5 - 15 Kbps, την οποία μπορεί να υποστηρίξει τόσο το NB- PLC όσο και το δίκτυο GPRS/3G. Η ταυτόχρονη επικοινωνία χρειάζεται όταν οι κόμβοι βρίσκονται εκτός ορίων λειτουργίας και πρέπει να επικοινωνήσουν με το MDMS προκειμένου να εφαρμοσθεί ο αλγόριθμος ελέγχου. Τα ανωτέρω αφορούν την uplink ζεύξη.

Στην downlink ζεύξη η πληροφορία είναι ίδιας τάξης μεγέθους σε σχέση με την uplink, αφού η εντολή από το MDMS προς τους κόμβους για ρύθμιση του ΣΙ και της άεργου ισχύος της ΚΠ κάλλιστα περιέχεται σε ένα πακέτο των 60 bytes. Επίσης, κατά την downlink ζεύξη παρατηρούνται οι ίδιες απαιτήσεις σε καθυστέρηση.

Η πιο κρίσιμη απαίτηση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου, αποτελεί η υψηλή διαθεσιμότητα. Στο Σχήμα 4-24 ο δυσμενέστερος κόμβος βρίσκεται, απουσία ελέγχου, εκτός ορίων για ποσοστό 20% του χρόνου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, θεωρώντας διαθεσιμότητα 99% του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, η πιθανότητα να τεθεί το δίκτυο ΗΕ εκτός ορίων λόγω της μη λειτουργίας του τηλεπικοινωνιακού δικτύου είναι $0.2 \times 0.01 = 2 \cdot 10^{-3}$. Επομένως, η υψηλή διαθεσιμότητα που παρέχει το NB-PLC – GPRS/3G δίκτυο καθιστά την παρούσα τεχνολογία αξιόπιστη για την υλοποίηση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου.

5^ο Κεφάλαιο - Συμπεράσματα

Στο πρώτο σενάριο της προσομοίωσης, η γραμμή MT αποτελείται από φορτία, που είναι είτε συγκεντρωμένα στο ζυγό του ΑΣΠ, είτε διασκορπισμένα στους κόμβους της γραμμής, και από ένα Α/Π ονομαστικής ισχύος 2MW. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στην περίπτωση αυτή εμφανίζουν τη γραμμή MT να λειτουργεί με μέσο ΣΙ 0.9080 επαγ. και διακύμανση της τάσης στους κόμβους που υπερβαίνει τα όρια $\pm 5\%$ της ονομαστικής τιμής για μικρό ποσοστό του χρόνου σε ορισμένους κόμβους της γραμμής. Τα συμπεράσματα αυτά εξήχθησαν από τα Σχήματα 4-6 έως 4-8.

Η σύνδεση μιας επιπλέον Α/Γ στο Α/Π σύμφωνα με το Σενάριο 2 αυξάνει την παραγόμενη ονομαστική ισχύ και διαταράσσει την σχεδόν ομαλή λειτουργία της γραμμής MT. Συγκεκριμένα, μεταβάλλει τη διακύμανση τάσης στους κόμβους της γραμμής και το ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ. Η αύξηση της εγχεόμενης ισχύος από το Α/Π προκαλεί ανύψωση και εντονότερη διακύμανση της τάσης στους κόμβους της γραμμής, καθώς και χειροτέρευση του ΣΙ στο ζυγό του ΑΣΠ. Όταν συνδέεται το Α/Π ονομαστικής ισχύος 3MW, ο ΣΙ εμφανίζει μέση τιμή 0.8998 επαγ. ενώ και η διακύμανση της τάσης στους κόμβους 7 και 8 υπερβαίνει τα όρια $\pm 5\%$ της ονομαστικής τιμής για μεγάλα ποσοστά του χρόνου (βλ. Σχήματα 4-10 έως 4-14).

Η ενσωμάτωση τεχνολογίας NB-PLC και GPRS/3G στη γραμμή MT αποσκοπεί στη βελτίωση των χαρακτηριστικών της γραμμής με καλύτερη αξιοποίηση της διαθέσιμης ισχύος του Α/Π. Η βελτίωση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών επιτυγχάνεται με κεντρικό έλεγχο που έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης των κόμβων της γραμμής MT σε πραγματικό χρόνο. Ο κεντρικός έλεγχος προϋποθέτει την ύπαρξη τηλεπικοινωνιακού δικτύου για την επικοινωνία των κόμβων της γραμμής με το κέντρο διαχείρισης της πληροφορίας (MDMS). Οι κόμβοι χρησιμοποιούν το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο για τη μετάδοση των μεγεθών που απαιτούνται για την εκτέλεση του αλγορίθμου ελέγχου (ενεργό ισχύ, άεργο ισχύ, τάση). Το κέντρο διαχείρισης MDMS χρησιμοποιεί το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο για τη μετάδοση εντολών προς τους υπόλοιπους κόμβους. Η υβριδική τεχνολογία NB-PLC-GPRS/3G διαθέτει τα χαρακτηριστικά ώστε να εκτελέσει αξιόπιστα τη μετάδοση της απαραίτητης πληροφορίας και να καταστήσει δυνατό τον κεντρικό έλεγχο.

Με εφαρμογή κεντρικού ελέγχου επιτυγχάνεται βελτίωση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της γραμμής MT στην οποία συνδέεται το Α/Π ονομαστικής ισχύος 3MW σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση του Σεναρίου 3. Όταν δεν εφαρμόζεται έλεγχος η γραμμή λειτουργεί με ΣΙ 0.8998 επαγ. ενώ όταν εφαρμόζεται κεντρικός έλεγχος ο ΣΙ είναι 0.8960 επαγωγικός. Επομένως, ο έλεγχος δεν επηρεάζει τον ΣΙ. Από την άλλη πλευρά, η διακύμανση της τάσης στους

κόμβους 7, 8 όταν δεν υπάρχει έλεγχος υπερβαίνει τα όρια για 19% σε ετήσια βάση (βλ. Σχήμα 4-14) ενώ, όταν εφαρμόζεται έλεγχος η συγκεκριμένη διακύμανση υπερβαίνει τα όρια για αμελητέα ποσοστά του χρόνου που δεν υπερβαίνουν το 1% σε ετήσια βάση (βλ. Σχήμα 4-19).

Εξάλλου, όταν συνδέεται ένα Α/Π ονομαστικής ισχύος 3 MW χωρίς έλεγχο η ετήσια ενεργειακή παραγωγή του είναι $E_{WF} = 9034.187 MWh$ και ο συντελεστής χρησιμοποίησης $CF = 34.37\%$. Όταν εφαρμόζεται έλεγχος η ετήσια ενεργειακή παραγωγή είναι $E_{WF} = 8972.56 MWh$ και ο συντελεστής χρησιμοποίησης $CF = 34.14\%$. Παρατηρείται ότι ο έλεγχος μειώνει την ετήσια ενεργειακή παραγωγή του Α/Π και το Συντελεστή Χρησιμοποίησης, αφού διαφοροποιεί το ΣΙ του Α/Π από την τιμή 1, οπότε το Α/Π δεν παράγει μόνο ενεργό ισχύ αλλά και άεργο.

Η μελέτη επεκτείνεται και στην περίπτωση ένταξης πρόσθετων μονάδων ΚΠ. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η συμπεριφορά του συστήματος στην ενσωμάτωση τριών (3) ΦΒΣ ονομαστικής ισχύος 0.5MW διατηρώντας τη σύνδεση του Α/Π ονομαστικής ισχύος 3MW. Στο Σενάριο 4 προσομοιώνεται η γραμμή ΜΤ με ΚΠ χωρίς εφαρμογή κεντρικού ελέγχου, ενώ στο Σενάριο 5, εφαρμόζεται έλεγχος του ΣΙ παραγωγής και της άεργου ισχύος που εγχύεται στη γραμμή. Στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει έλεγχος ο μέσος ΣΙ είναι 0.8930 επαγ. ενώ με έλεγχο 0.9079 επαγ.. Συνεπώς, ο έλεγχος δεν βελτιώνει αισθητά το ΣΙ, διατηρώντας τον στα ίδια επίπεδα τιμών. Η βελτίωση που προσφέρει ο έλεγχος που καθίσταται δυνατός λόγω ευφυούς λειτουργίας του δικτύου έγκειται στη μείωση της διακύμανσης της τάσης στους περισσότερους κόμβους της γραμμής. Στο Σενάριο 4, η διακύμανση της τάσης στους κόμβους 7 και 8 είναι πολύ μεγάλη (βλ. Σχήμα 4-24) ενώ στην περίπτωση όπου εφαρμόζεται έλεγχος, η διακύμανση βελτιώνεται σε όλους τους κόμβους και εξέρχεται των ορίων για ποσοστό του χρόνου μικρότερο από 1%.

Από την άλλη πλευρά, σε λειτουργία χωρίς έλεγχο, η ετήσια ενεργειακή παραγωγή της ΚΠ είναι $E_{DG} = 11738 MWh$ και ο Συντελεστής Χρησιμοποίησης σε ετήσια βάση $CF = 29.80\%$, ενώ όταν εφαρμόζεται έλεγχος τα αντίστοιχα μεγέθη είναι $E_{DG} = 11661 MWh$ και $CF = 29.64\%$. Και στην περίπτωση αυτή παρατηρείται ότι ο έλεγχος μειώνει την ετήσια ενεργειακή παραγωγή της ΚΠ και το Συντελεστή Χρησιμοποίησης, αφού διαφοροποιεί το ΣΙ της ΚΠ από την τιμή 1, οπότε τα ΦΒΣ και το Α/Π δεν παράγουν μόνο ενεργό ισχύ αλλά και άεργο. Όμως ενώ οι ανωτέρω μεταβολές δεν είναι αξιοσημείωτες, οι κόμβοι λειτουργούν εντός των αποδεκτών ορίων για μεγαλύτερα ποσοστά του χρόνου.

Από τα ανωτέρω αποτελέσματα, διαπιστώνεται ότι ο έλεγχος βελτιώνει σημαντικά τα χαρακτηριστικά της γραμμής ΜΤ ενός ΑΝΣ μειώνοντας ελαφρά την ετήσια ενεργειακή παραγωγή και το Συντελεστή Χρησιμοποίησης.

Πάντως, παραμένουν ορισμένα θέματα προς μελέτη και έρευνα. Αρχικά δεν επιτυγχάνεται πλήρης βελτίωση της διακύμανσης της τάσης. Δηλαδή ακόμα και μετά την εφαρμογή ελέγχου για κάποιο χρονικό διάστημα η τάση, παραμένει εκτός ορίων. Επίσης, ο συνολικός ΣΙ δεν βελτιώνεται αισθητά με την εφαρμογή του ελέγχου που υποστηρίζεται από την υβριδική τεχνολογία NB-PLC- GPRS/3G. Εναλλακτικό τρόπο ελέγχου θα μπορούσε να αποτελέσει η ρύθμιση της παραγωγής επεμβαίνοντας στη λειτουργία της ΚΠ, θέτοντας εκτός κάποιες μονάδες ή μειώνοντας το ποσοστό παραγωγής τους.

Επομένως, ο κεντρικός έλεγχος που επιτυγχάνεται μέσω της ευφυούς λειτουργίας του ΗΔ αυξάνει τη διείσδυση μονάδων ΚΠ στο δίκτυο ΗΕ και προσφέρει αξιόπιστη λύση για την ενσωμάτωση μονάδων ΚΠ στο δίκτυο ΗΕ. Με εφαρμογή της τεχνολογίας NB-PLC- GPRS/3G το δίκτυο ΗΕ γίνεται ευφυές, αφού παρέχει τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων του δικτύου και βελτιώνει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του δικτύου.

Βιβλιογραφία

- [1] Γεώργιος Μ. Χατζής, “Εφαρμογή Τεχνολογίας W-BPL σε γραμμή ΜΤ με Φωτοβολταϊκή Παραγωγή”, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Φεβρουάριος 2012
- [2] Σταύρος Παπαθανασίου, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 2008
- [3] Αθανάσιος Γιαννακόπουλος, “Δίκτυα πρόσβασης συστημάτων ευφυούς μέτρησης”, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2014
- [4] Νικόλαος Ζούρος, “Εκτίμηση των επιπτώσεων της διείσδυσης αιολικής ενέργειας σε αυτόνομα ΣΗΕ”, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2003
- [5] E.C. Limited, “High – level smart meter data traffic analysis”, 2010
- [6] Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, www.hnms.gr
- [7] Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, www.deddie.gr
- [8] Αντώνιος Τσικαλάκης, “Συμβολή στον προγραμματισμό λειτουργίας Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με μεγάλη διείσδυση διεσπαρμένης και ανανεώσιμης παραγωγής και συσκευών αποθήκευσης”, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2008
- [9] Henk Polinder, “Overview of and Trends in Wind Turbine Generator Systems”, TU Delft, 2011
- [10] Dr. Alex Papalexopoulos, “Smart Energy & Grids: Perspectives, Challenges and Solutions”, Conference: Smart Grid Applications in EU and the case of Islands, May Athens 2014
- [11] Stavros Papathanassiou, “The Smart Grids Project in Five Aegean Sea Islands under the ELENA Programme”, Conference: Smart Grid Applications in EU and the case of Islands, May Athens 2014
- [12] Δημήτρης Ν. Παπαοικονόμου, “Μοντελοποίηση Ανεμογεννήτριας Μεταβλητής Ταχύτητας με Γεννήτρια Επαγωγής Διπλής Τροφοδότησης”, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2010

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1-1. Η ροή ισχύος στο παραδοσιακό ΗΔ και στο δίκτυο του μέλλοντος	15
Σχήμα 1-2. Η μετάβαση από το παραδοσιακό στο μοντέρνο δίκτυο	17
Σχήμα 1-3. Υποδομή συστήματος ΕΔ	18
Σχήμα 2-1. Δομικό διάγραμμα παραγωγής σε ΑΝΣ	24
Σχήμα 3-1. Τα βασικότερα δομικά στοιχεία μιας Α/Γ	29
Σχήμα 3-2. Η γωνία πρόσπτωσης α	30
Σχήμα 3-3. Τυπική καμπύλη ισχύος- ταχύτητας ανέμου	30
Σχήμα 3-4. Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα	32
Σχήμα 3-5. Ισοδύναμο κύκλωμα Α/Γ τύπου CS	33
Σχήμα 3-6. Ισοδύναμο κύκλωμα Α/Γ τύπου DFIG	34
Σχήμα 3-7. Ισοδύναμο κύκλωμα Α/Γ τύπου DD	34
Σχήμα 3-8. Τρόποι σύνδεσης του Α/Π στο δίκτυο μεταφοράς	37
Σχήμα 4 -1. Ετήσια ζήτηση ΗΕ σε νησιωτικό ΣΗΕ	44
Σχήμα 4-2. Καμπύλη ισχύος της ENERCONE-44 900kW	46
Σχήμα 4-3. Τοπολογία Προσομοίωσης	50
Σχήμα 4-4. Ο ΣΙ στο ζυγό ΑΣΠ (Σενάριο 1)	51
Σχήμα 4-5. Κατανομή των τιμών του ΣΙ στο ζυγό ΑΣΠ (Σενάριο 1)	51
Σχήμα 4-6. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 5 (Σενάριο 1)	52
Σχήμα 4-7. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 (Σενάριο 1)	52
Σχήμα 4-8. Ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο η τάση είναι εκτός ορίων (Σενάριο 1)	53
Σχήμα 4-9. Τοπολογία Προσομοίωσης Σεναρίου 2	54
Σχήμα 4-10. Ο ΣΙ στον ΑΣΠ (Σενάριο 2)	54
Σχήμα 4-11. Κατανομή των τιμών του ΣΙ στον ΑΣΠ (Σενάριο 2)	55
Σχήμα 4-12. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 5 (Σενάριο 2)	56
Σχήμα 4-13. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 (Σενάριο 2)	56
Σχήμα 4-14. Ποσοστό του χρόνου που η τάση είναι εκτός ορίων (Σενάριο 2)	57
Σχήμα 4-15. Ο ΣΙ στον ΑΣΠ (Σενάριο 3)	59
Σχήμα 4-16. Κατανομή των τιμών ΣΙ στον ΑΣΠ (Σενάριο 3)	60
Σχήμα 4-17. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 5 (Σενάριο 3)	61

Σχήμα 4-18. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 (Σενάριο 3)	61
Σχήμα 4-19. Ποσοστό του χρόνου που η τάση βρίσκεται εκτός ορίων (Σενάριο 3)	62
Σχήμα 4-20. Τοπολογία συστήματος (Σενάριο 4)	63
Σχήμα 4-21. Ο ΣΙ στον ΑΣΠ (Σενάριο 4)	65
Σχήμα 4-22. Κατανομή των τιμών του ΣΙ (Σενάριο 4)	65
Σχήμα 4-22. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 5 (Σενάριο 4)	66
Σχήμα 4-23. Διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 (Σενάριο 4)	66
Σχήμα 4-24. Ποσοστό του χρόνου κατα το οποίο η τάση βρίσκεται εκτός ορίων (Σενάριο 4)	67
Σχήμα 4-25. Ο ΣΙ στον ΑΣΠ (Σενάριο 5)	68
Σχήμα 4-26. Κατανομή των τιμών του ΣΙ (Σενάριο 5)	68
Σχήμα 4-27. Η διακύμανση της τάσης στον κόμβο 5	69
Σχήμα 4-28. Η διακύμανση της τάσης στον κόμβο 8 (Σενάριο 5)	69
Σχήμα 4-29. Ποσοστό του χρόνου κατα το οποίο η τάση βρίσκεται εκτός ορίων (Σενάριο 5)	70

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-1. Σύγκριση των τηλεπικοινωνιακών υποδομών για την υλοποίηση ΕΔ	19
Πίνακας 2-1. Παραγωγή ενέργειας για μη διασυνδεδεμένα νησιά	26
Πίνακας 4-1. Συντελεστής απόδοσης ισχύος ENERCONE-44 900kW	47
Πίνακας 4-2. Χαρακτηριστικά γραμμής ΜΤ με Α/Π	50
Πίνακας 4-3. Χαρακτηριστικά γραμμής ΜΤ με Α/Π 3MW	54
Πίνακας 4-3. Ισχύς που παράγεται και καταναλώνεται στους κόμβους (Σενάριο 4)	63

Κατάλογος Συντμήσεων

BB-PLC	Broadband - Power Line Communication
BS	Base Station
CS	Constant Speed
DD	Direct Drive
DFIG	Double Fed Induction Generator
DSL	Digital Subscriber Loop
GoS	Grade of Service
GPRS	General Packet Radio Service
H2H	Human to Human
ICT	Information and Computer Technology
IP	Internet Protocol
LTE	Long-Term Evolution
M2M	Machine to Machine
MDMS	Meter Data Management System
NB- PLC	Narrowband - Power Line Communication
PCC	Point of Common Coupling
PLC	Power Line Communication
QoS	Quality of Service
SM	Smart Meter
SMES	Magnetic Energy Storage
A/Γ	Ανεμογεννήτρια
A/Π	Αιολικό Πάρκο
ΑΝΣ	Αυτόνομο Νησιωτικό Σύστημα
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΑΣΠ	Ανεξάρτητος Σταθμός Παραγωγής
ΕΔ	Ευφυή Δίκτυα
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΗΔ	Ηλεκτρικό Δίκτυο
ΗΕ	Ηλεκτρική Ενέργεια
ΚΠ	Καταναεμημένη Παραγωγή
Μ/Σ	Μετασχηματιστής
ΜΤ	Μέση Τάση
ΣΗΕ	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΣΙ	Συντελεστής Ισχύος
ΣΚΣ	Σημείο Κοινής Σύνδεσης
ΥΤ	Υψηλή Τάση
ΦΒΣ	Φωτοβολταϊκό Σύστημα
ΧΤ	Χαμηλή Τάση

