



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

**Επιπτώσεις της Αιολικής Διείσδυσης στην Ασφάλεια και
Αξιοπιστία Λειτουργίας Απομονωμένων Συστημάτων
Ηλεκτρικής Ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτρης Ν. Τράκας

Επιβλέπων: Ευάγγελος Ν. Διαλυνάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2009



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

**Επιπτώσεις της Αιολικής Διείσδυσης στην Ασφάλεια και
Αξιοπιστία Λειτουργίας Απομονωμένων Συστημάτων
Ηλεκτρικής Ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτρης Ν. Τράκας

**Επιβλέπων: Ευάγγελος Διαλυνάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π**

**Εμμανουήλ Βουμβουλάκης
Υ.Δ Ε.Μ.Π.**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2009.

.....
Ν. Χατζηαργυρίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ε. Διαλυνάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Σ. Παπαθανασίου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2009

.....

Δημήτρης Ν. Τράκας

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

Copyright © Τράκας Δημήτρης, 2009

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.

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία αποτελεί την Διπλωματική μου Εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στον τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η ανάλυση των επιπτώσεων της αιολικής διείσδυσης στην ασφάλεια και αξιοπιστία λειτουργίας απομονωμένων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Ως εφαρμογή θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου για τα έτη 2011 και 2015 θεωρώντας την αυξημένη στάθμη αιολικής διείσδυσης από τα αιολικά πάρκα που αναμένεται να εγκατασταθούν. Η ανάλυση επικεντρώνεται στα ακόλουθα δύο κύρια θέματα:

- A. Επάρκεια της Τροφοδότησης Ισχύος του Συστήματος
- B. Επιπτώσεις της Παραγόμενης Ισχύος από Αιολικά Πάρκα στη Δυναμική Ασφάλεια του Συστήματος.

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2008 – 2009 υπό την επίβλεψη του κ. Ευάγγελου Διαλυνά, καθηγητή του Ε.Μ.Π. της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, στον οποίο οφείλω και ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεση της, δίνοντας μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Με την ευκαιρία αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Ε. Βουμβουλάκη, για την καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές και την υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Η βοήθεια του ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Λ. Δαούτη και τον Ο. Μουστακίδη για την βοήθεια και την συνεργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την στήριξη και βοήθεια καθ' όλη την διάρκεια της φοιτητικής μου σταδιοδρομίας.

Αθήνα, Οκτώβριος 2009

ΔΗΜΗΤΡΗΣ Ν. ΤΡΑΚΑΣ

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη των επιπτώσεων της αιολικής διείσδυσης στην ασφάλεια και αξιοπιστία της λειτουργίας των απομονωμένων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Η μελέτη θα πραγματοποιηθεί στο ηλεκτρικό σύστημα της Κύπρου. Για το λόγο αυτό μοντελοποιείται το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου και διεξάγονται προσομοιώσεις πάνω σε αυτό, ώστε να μπορέσει να εκτιμηθεί η συμπεριφορά του δικτύου σε διαταραχές που πιθανών μπορούν να προκληθούν. Για την μοντελοποίηση του συστήματος και την διεξαγωγή των προσομοιώσεων χρησιμοποιείται το λογισμικό πακέτο EUROSTAG 4.4. Η έρευνα επικεντρώνεται στον τομέα της δυναμικής ασφάλειας, που αφορά κυρίως τις μεταβολές της συχνότητας του συστήματος.

Πιο αναλυτικά, η δομή της εργασίας οργανώνεται στα εξής δέκα κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται αρχικά μια σύντομη ανάλυση της αξιοπιστίας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και στη συνέχεια αναλύονται οι έννοιες της ευστάθειας και της ασφάλειας σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, με ιδιαίτερη έμφαση στον τομέα της δυναμικής ασφάλειας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αρχικά παρουσιάζονται τα είδη των ήπιων μορφών ενέργειας καθώς και η στάση της παγκόσμιας κοινότητας απέναντι τους. Στη συνέχεια αναλύεται η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών στο ηλεκτρικό σύστημα της Κύπρου καθώς και οι προοπτικές αυτών.

Στο τρίτο κεφάλαιο, λόγω του ότι η αιολική ενέργεια είναι το είδος ήπιας μορφής ενέργειας που θα μας απασχολήσει στην εργασία, πραγματοποιείται αναφορά στις ανεμογεννήτριες. Παρουσιάζεται η τεχνολογία ανεμογεννητριών, οι τρόποι σύνδεσης τους στο δίκτυο, οι περιορισμοί διείσδυσης τους, τα προβλήματα που προκύπτουν κ.α.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρέχονται στοιχεία αναφορικά με τη λειτουργία των ρυθμιστών στροφών και τάσης των γεννητριών, ενώ τα λειτουργικά τους διαγράμματα αναπροσαρμόζονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές των ηλεκτροπαραγωγών σταθμών της Αρχής Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ).

Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται μια σύντομη τεχνική περιγραφή του λογισμικού πακέτου EUROSTAG, καθώς και μια λεπτομερής ανάλυση, που αφορά τον τρόπο με τον οποίο έγινε η μοντελοποίηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου σ' αυτό.

Στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι βασικές αρχές, η μεθοδολογία και το πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή που έχουν αναπτυχθεί για την ανάλυση της επάρκειας τροφοδότησης ισχύος των αυτόνομων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας

Στο έβδομο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση των λειτουργικών καταστάσεων που θα αναλυθούν. Περιγράφονται τα βήματα που ακολουθούνται για την ανάλυση των σεναρίων καθώς και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των βημάτων.

Στο όγδοο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, με τα αντίστοιχα διαγράμματα της συχνότητας και της παραγωγής ενεργού ισχύος των μονάδων

της ΑΗΚ και των αιολικών πάρκων καθώς και πίνακες με τις τάσεις των ζυγών του συστήματος

Στο ένατο κεφάλαιο, παρατίθενται τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν για την ευστάθεια και ασφάλεια του ηλεκτρικού συστήματος της Κύπρου

Στο δέκατο κεφάλαιο, γίνεται μια σύντομη περιγραφή του λογισμικού πακέτου Anesys, και παρουσιάζεται μια εφαρμογή στο συγκεκριμένο λογισμικό.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ :

Ευστάθεια, Δυναμική Ασφάλεια, Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου, Αιολική διείσδυση, Ανεμογεννήτριες, Ρυθμιστές Στροφών, Ρυθμιστές Τάσης, Μοντέλο Προσομοίωσης, Eurostag, Anesys, Προσομοίωση Monte – Carlo, Δείκτες Αξιοπιστίας, Συχνότητα, Τάση, Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Βραχυκύκλωμα, Διαταραχή, Στρεφόμενη Εφεδρεία

Abstract

The purpose of this dissertation is to study the effects of wind penetration on the security and reliability operation of isolated electric power systems. The study will refer to the electric system of Cyprus. Therefore, the electric system of Cyprus is modelled and simulated in order to evaluate the behaviour of the system due to possible disturbances. The software package EUROSTAG 4.4 is used for modelling and simulation. The investigation focuses on the dynamic security, which mainly changes the frequency of the system.

More specifically, the structure of this work is organized in ten chapters:

In the first chapter, a short analysis of the reliability of electric power systems is presented and the concepts of stability and security in an electric system are analyzed, with particular emphasis on the dynamic security

In the second chapter, a short reference to renewable energy sources follows. A review of the kinds of renewable energy and the attitude of the world community is presented, followed by the penetration of renewable energy in the electric system of Cyprus and their prospects

In the third chapter, a reference to the wind turbines is presented since wind power is the renewable energy that will be studied in this dissertation. The wind turbine technology, the ways to connect to the network, the limitations of penetration, the problems arising e.t.c. are referred.

The fourth chapter provides information on the operation of the generators speed and voltage governors, while their operating charts are adapted to the requirements of the electrical power plants of the Electricity Authority of Cyprus (EAC).

The fifth chapter is a brief technical description of the software package EUROSTAG, and a detailed analysis on how the electrical energy system of Cyprus is modelled

The sixth chapter presents the basic principles, methodology and computer program which is developed to analyze the adequacy of the electrical energy supply to isolated electrical power systems

The seventh chapter is a presentation of operating situations which will be analyzed. The steps that followed in analyzing the scenarios and tools which were used are described.

The eighth chapter presents the simulation results, followed by diagrams of the frequency and active power production of the units of the EAC and wind farms as well as tables showing the nodes voltage.

In the ninth chapter, a brief presentation of the software package Ansys is presented followed by a specific application.

In the tenth chapter, the basic conclusions for the stability and security of Cyprus electrical power system is presented.

KEY WORDS:

Stability, Dynamic Security, Electricity Authority of Cyprus, Wind Penetration, Wind Turbine, Speed Governor, Voltage Governor, Simulation Model, Eurostag, Ansys, Simulation Monte - Carlo, Reliability Index, Frequency, Voltage, Electrical Energy System, short-circuit, disturbance, Power Reserve

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1. Γενικά	14
1.2. Ανάλυση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	14
1.2.1. Γενικά.....	14
1.2.2. Αιτιοκρατική Ανάλυση.....	15
1.2.3. Πιθανοτική Ανάλυση	16
1.3. Εκτίμηση Αξιοπιστίας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	16
1.3.1. Βασικές Αρχές.....	16
1.3.2. Τεχνικές Εκτίμησης Αξιοπιστίας	17
1.4. Ευστάθεια και Ασφάλεια ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας	18
1.4.1 Γενικά.....	18
1.4.2. Ευστάθεια Λειτουργίας Συστήματος	18
1.4.3. Ευστάθεια και Ασφάλεια Αυτόνομων Συστημάτων.....	21
1.4.4. Εκτίμηση Ασφάλειας Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	22
1.4.5. Δυναμική Ασφάλεια Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

2.1. Εισαγωγή	28
2.2. Είδη Ήπιων Μορφών Ενέργειας.....	29
2.3. Γενικά	30
2.3.1. Στόχοι.....	30
2.3.2. Εμπορευματοποίηση Ανανεώσιμης Ενέργειας	31
2.3.3. Ανάπτυξη Ανανεώσιμων Πηγών	31
2.3.4. Η Αγορά των Αναπτυσσόμενων Χωρών	32
2.4. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Κύπρο	32
2.4.1. Γενικά.....	32
2.4.2. Το Ηλεκτρικό Σύστημα της Κύπρου	34
2.4.3. Γιατί Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	37
2.4.4. Η Δυναμικότητα της Κύπρου σε Ανανεώσιμη Ενέργεια	39
2.4.5. Εισάγοντας τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ανεμογεννήτριες

3.1. Εισαγωγή	46
3.1.1. Τεχνολογία Ανεμογεννήτριας	46
3.1.2. Απόδοση Ανεμογεννήτριας	48
3.1.3. Τυπικές Διαμορφώσεις Ηλεκτρικού Μέρους Ανεμογεννήτριας.....	49
3.2. Περιορισμοί Διείσδυσης.....	52
3.2.1 Τεχνικά Ελάχιστα των Συμβατικών Μονάδων Παραγωγής	52
3.2.2. Δυναμικοί Περιορισμοί.....	54
3.2.3. Συνολικοί Περιορισμοί Διείσδυσης και Κατανομή τους στα Αιολικά Πάρκα	54
3.3. Σύνδεση Ανεμογεννήτριας στο Ηλεκτρικό Δίκτυο.....	55
3.4. Προβλήματα-Κανόνες Σύνδεσης.....	59
3.5. Μειονεκτήματα.....	59
3.6. Αιολική Ενέργεια και Περιβάλλον.....	60
3.7. Αποθήκευση Ενέργειας	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ρυθμιστές Στροφών και Τάσης των Γεννητριών

4.1. Εισαγωγή	64
4.2. Ρυθμιστές Στροφών.....	64
4.3 Ρυθμιστές Τάσης	68
4.4. Ρυθμιστές Στροφών και Τάσης στο Σύστημα της Κύπρου.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Μοντέλο Προσομοίωσης EUROSTAG

5.1. Εισαγωγή	76
5.2. Λειτουργία και Εφαρμογές του EUROSTAG	76
5.3. Τεχνική Περιγραφή του EUROSTAG	77
5.4. Μοντελοποίηση του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κύπρου στο EUROSTAG	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ανάλυση της Επάρκειας Τροφοδότησης Ισχύος των Αυτόνομων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

6.1 Γενικά	94
6.2. Βασικά Χαρακτηριστικά των Αυτόνομων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας	94
6.3. Βασικές Αρχές της Μεθόδου Προσομοίωσης Monte – Carlo	95
6.4. Επέκταση της Μεθόδου Προσομοίωσης Monte – Carlo για τη Θεώρηση της Λειτουργίας Αιολικών Πάρκων	98
6.5. Ανάλυση της Επάρκειας Τροφοδότησης Ισχύος του Αυτόνομου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κύπρου	103

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Παρουσίαση Σεναρίων και Διεξαγωγή Προσομοιώσεων

7.1. Εισαγωγή	110
7.2. Παρουσίαση Σεναρίων	111
7.3. Αναλυτική Περιγραφή Προσομοίωσης.....	116
7.4. Πιθανοτική Ανάλυση των Καταστάσεων Κινδύνου στη Λειτουργία του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κύπρου.....	124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Αποτελέσματα Σεναρίων Προσομοίωσης

8.1. Εισαγωγή	134
8.2. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	135
8.2.1. Παρουσίαση Σεναρίων 2011.....	135
8.2.2. Παρουσίαση Σεναρίων 2015.....	146
8.3. Σχόλια	173

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Μοντέλο Προσομοίωσης ANESYS

9.1. Εισαγωγή	176
---------------------	-----

9.2. Παρουσίαση Εφαρμογής	177
9.3. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης.....	178

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Συμπεράσματα

10.1. Εισαγωγή	184
10.2. Συμπεράσματα.....	184

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	187
---------------------------	------------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1. Γενικά

Η βασική λειτουργία ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι να παρέχει στους καταναλωτές του όσο το δυνατόν οικονομικότερη ηλεκτρική ενέργεια διατηρώντας έναν αποδεκτό βαθμό συνέχειας και ποιότητας. Καθώς ικανοποιεί τον συγκεκριμένο στόχο, το σύστημα θα πρέπει να παραμένει εντός ενός συνόλου λειτουργικών περιορισμών κάποιοι από τους οποίους σχετίζονται άμεσα με την ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος, όπως μεταβολές της συχνότητας, ενώ κάποιοι άλλοι, οι οποίοι δεν γίνονται άμεσα αντιληπτοί από τους καταναλωτές, αναφέρονται σε λειτουργικά χαρακτηριστικά, όπως όρια ευστάθειας, και είναι εξίσου σημαντικοί. Στη σύγχρονη κοινωνία, λόγω των πολύ γρήγορων ρυθμών και των συνηθειών που επικρατούν, έχει γίνει απαίτηση η παροχή ισχύος να είναι συνεχής και η ζήτηση να ικανοποιείται κάθε χρονική στιγμή. Κάτι τέτοιο, ωστόσο, δεν είναι εφικτό εξαιτίας τυχαίων βλαβών στοιχείων του συστήματος, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα την αποτελεσματική λειτουργία του και δεν είναι δυνατό να ελεγχθούν από τον ανθρώπινο παράγοντα. Επιπλέον, η συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα συστήματα παραγωγής της απελευθερωμένης αγοράς, έχει επιφέρει νέες συνθήκες λειτουργίας στις οποίες υπεισέρχονται πολλές αβεβαιότητες λόγω της αστάθειας των αντίστοιχων καιρικών φαινομένων. Αποκτά λοιπόν ιδιαίτερη σημασία να είναι δυνατή, με κάποιον τρόπο, η πρόβλεψη της κατάστασης του συστήματος προκειμένου να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του και να αποφεύγονται ενδεχόμενες κρίσιμες καταστάσεις ή καταστάσεις κινδύνου στις οποίες δεν ικανοποιείται η ζήτηση φορτίου.

1.2. Ανάλυση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.2.1. Γενικά

Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας προς τους καταναλωτές ενός συστήματος περιλαμβάνει ένα υψηλά διαβαθμισμένο σύστημα και αποτελεί γενικά μία ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία κατά την οποία η βλάβη ορισμένων στοιχείων του συστήματος είναι δυνατό να προκαλέσει διακοπές στην τροφοδότηση συγκεκριμένων καταναλωτών. Πρόκειται για διακοπές οι οποίες ποικίλουν και μπορεί να επηρεάζουν από τοπικούς μέχρι μεγάλους καταναλωτές με καταστροφικές συνέπειες. Οι οικονομικές συνέπειες αυτών των διακοπών δεν περιορίζονται μόνο στο κόστος που προκαλείται στις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού από κάθε διακοπή τροφοδότησης των καταναλωτών τους ή στο κόστος από την καταστροφή εξοπλισμού, αλλά περιλαμβάνουν και έμμεσα κόστη προς το κοινωνικό σύνολο και το περιβάλλον, όπως η κοινωνική αναταραχή που προκαλείται κατά τη διάρκεια εκτεταμένων διακοπών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση της Νέας Υόρκης όπου, κατά τη διάρκεια εκτεταμένης διακοπής τροφοδότησης το 1977, το κόστος λόγω απώλειας ισχύος υπολογίστηκε στα 350 εκατομμύρια δολάρια εκ των οποίων το 84% αποδόθηκε σε έμμεσα κόστη.

Προκειμένου να μειωθεί η πιθανότητα, η συχνότητα εμφάνισης και η διάρκεια παρόμοιων καταστάσεων, καθώς επίσης και για να περιορισθούν, όσο το δυνατόν περισσότερο, οι συνέπειές τους, είναι απαραίτητο να επενδυθούν σημαντικές ποσότητες χρημάτων στον σχεδιασμό και στη φάση λειτουργίας του συστήματος. Επιπλέον, η αυξημένη διείσδυση

ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, όπως αιολική, ηλιακή, υδραυλική, η οποία παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, δημιούργησε ένα πλήθος από συχνά ανταγωνιστικές και ποικίλες αβεβαιότητες ορισμένες από τις οποίες περιλαμβάνουν τον βαθμό διείσδυσης των πηγών αυτών στο σύστημα και την παράλληλη λειτουργία τους με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ή ακόμα και την αντικατάσταση των σταθμών αυτών σε ορισμένες περιπτώσεις. Ο μόνος τρόπος για να ισοσταθμιστούν οι αβεβαιότητες αυτές μαζί σε ένα αντικειμενικό και συνεπές μοντέλο είναι με τη χρήση ποσοτικών τεχνικών εκτίμησης αξιοπιστίας. Τα αποτελέσματα των μελετών αυτών σχετίζονται με τους οικονομικούς στόχους του συστήματος και παίζουν σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό και τη λειτουργία του. Στο σημείο αυτό όμως, προκύπτουν σημαντικά ερωτήματα που κύρια αφορούν το ύψος των επενδύσεων και το επίπεδο της αξιοπιστίας του συστήματος καθώς είναι φανερό ότι οι οικονομικοί περιορισμοί και οι απαιτήσεις που αφορούν την ασφαλή λειτουργία του συστήματος συχνά έρχονται σε αντίθεση, με αποτέλεσμα η λήψη των αντίστοιχων αποφάσεων να καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη.

1.2.2. Αιτιοκρατική Ανάλυση

Τα κύρια προβλήματα που προκύπτουν κατά τη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας έχουν εντοπιστεί εδώ και αρκετές δεκαετίες. Για την αντιμετώπισή τους έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές και κριτήρια τα οποία εφαρμόζονται από τη φάση του σχεδιασμού έως και τη φάση λειτουργίας του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη τους αντίστοιχους οικονομικούς και λειτουργικούς περιορισμούς που υπάρχουν σε κάθε περίπτωση. Τα πρώτα κριτήρια που εφαρμόστηκαν σε πραγματικά συστήματα ήταν αιτιοκρατικά καθορισμένα ενώ πολλά από αυτά βρίσκουν εφαρμογή ακόμη και σήμερα, και κύρια αφορούν τον καθορισμό στάθμης στρεφόμενης εφεδρείας η οποία απαιτείται για την αντιμετώπιση έκτακτων καταστάσεων απώλειας παραγωγής. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η απαιτούμενη στρεφόμενη εφεδρεία καθορίζεται από ένα συγκεκριμένο ποσοστό του φορτίου ή από την απώλεια της μονάδος με τη μεγαλύτερη παραγωγή. Γενικότερα, σε μια αιτιοκρατική διαδικασία ανάλυσης, η απόδοση του εξεταζόμενου συστήματος υπολογίζεται για αρκετά διαφορετικά σενάρια τα οποία αντιπροσωπεύουν διαφορετικές λειτουργικές συνθήκες που θεωρούνται κρίσιμες και παρουσιάζουν μία συγκεκριμένη πιθανότητα εμφάνισης.

Η κύρια αδυναμία των αιτιοκρατικών κριτηρίων εντοπίζεται στο γεγονός ότι δεν ανταποκρίνονται ούτε απεικονίζουν την πιθανοτική συμπεριφορά του συστήματος, της ζήτησης φορτίου ή των βλαβών των στοιχείων του συστήματος. Η αιτιοκρατική ανάλυση αναγνωρίζει την έκβαση των κρίσιμων καταστάσεων ή των καταστάσεων κινδύνου στις οποίες μπορεί να ευρεθεί το σύστημα, διαβαθμίζοντας παράλληλα αυτές τις καταστάσεις ανάλογα με τη σοβαρότητά τους. Μία τέτοια κατάσταση κινδύνου όμως, όσο ανεπιθύμητη και αν είναι, έχει πρακτικά μικρές συνέπειες αν η πιθανότητα να συμβεί είναι πολύ μικρή με αποτέλεσμα να μπορεί να αμεληθεί. Ο σχεδιασμός των συστημάτων που στηρίζονται σε τέτοιες μελέτες κινδύνου μπορεί να οδηγήσει σε υπερδιαστασιολόγηση του συστήματος. Από την άλλη, στην περίπτωση κατά την οποία ο σχεδιασμός του συστήματος βασίζεται σε μια αιτιοκρατική ανάλυση στην οποία οι καταστάσεις κινδύνου που μελετώνται παρουσιάζουν μεγάλη πιθανότητα να συμβούν αλλά δεν έχουν σημαντικές συνέπειες για το σύστημα, το επίπεδο ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος θα κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα.

1.2.3. Πιθανοτική Ανάλυση

Η ανάγκη για την πιθανοτική εκτίμηση της συμπεριφοράς ενός συστήματος συναντάται αρκετές δεκαετίες πιο πριν, ωστόσο η έλλειψη δεδομένων, οι περιορισμένες δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η άγνοια της σημασίας των αποτελεσμάτων που προέκυπταν, ακόμα και η αποστροφή απέναντι στη χρήση πιθανοτικών τεχνικών αποτελούν τους σημαντικότερους λόγους για τους οποίους τέτοιες μέθοδοι δεν χρησιμοποιούνταν ευρέως στο παρελθόν. Τα προβλήματα αυτά σήμερα έχουν ξεπεραστεί με αποτέλεσμα οι περισσότεροι μηχανικοί να έχουν γνώση τέτοιων μεθόδων και να τις χρησιμοποιούν σε ευρεία κλίμακα. Οι μέθοδοι αυτοί αναφέρονται κυρίως στην εκτίμηση αξιοπιστίας του συστήματος και στην πρόβλεψη του φορτίου, ενώ γενικότερα καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα των θεμάτων που σχετίζονται με τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι η ανάλυση των ροών φορτίου, των βραχυκυκλωμάτων κτλ. Η βασική και ουσιώδης αρχή τους είναι ότι τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συμπεριφέρονται στοχαστικά και οι καταστάσεις στις οποίες βρίσκονται είναι πιθανοτικές μεταβλητές. Οι πιθανοτικές τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί όχι μόνο αναγνωρίζουν την σοβαρότητα μίας κατάστασης και την επιρροή που αυτή έχει στη λειτουργία του συστήματος, αλλά υπολογίζουν και τη πιθανότητα εμφάνισής της. Παράλληλα, με κατάλληλο συνδυασμό των παραπάνω μεγεθών προκύπτουν δείκτες οι οποίοι απεικονίζουν πραγματικά την κατάσταση κινδύνου στην οποία είναι δυνατό να ευρεθεί το σύστημα.

1.3. Εκτίμηση Αξιοπιστίας Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.3.1. Βασικές Αρχές

Ο όρος αξιοπιστία έχει μία ευρεία έννοια, όπως φαίνεται και από τον πλέον διαδεδομένο και κοινά αποδεκτό ορισμό του: «Αξιοπιστία είναι η πιθανότητα του συστήματος να εκτελεί την αποστολή του επαρκώς για τη σχεδιαζόμενη χρονική περίοδο και τις επικρατούσες λειτουργικές συνθήκες». Χρειάζεται να αναγνωρισθεί η γενικότητά του όρου και να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να εξετασθεί η συνολική ικανότητα του συστήματος να πραγματοποιεί τον στόχο του.

Η πλήρης κατανόηση των αρχών λειτουργίας του συστήματος αποτελεί τον πρωταρχικό και σημαντικότερο παράγοντα για την εκτίμηση της αξιοπιστίας λειτουργίας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Χρειάζεται να καταστεί σαφές ότι καμία θεωρία πιθανοτήτων δεν είναι δυνατό να παρακάμψει τη μηχανική λειτουργία του συστήματος. Οι θεωρίες πιθανοτήτων αποτελούν απλά ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο το οποίο επιτρέπει στον μηχανικό να μετατρέψει τη γνώση, από την πραγματική λειτουργία του συστήματος, σε μία πρόβλεψη για ενδεχόμενη μελλοντική του συμπεριφορά. Μόνο έπειτα από την πλήρη κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος μπορεί να προκύψει ένα κατάλληλο μοντέλο και να επιλεγεί η βέλτιστη μέθοδος για την ανάλυσή του. Χρειάζεται λοιπόν, τόσο το μοντέλο όσο και η μέθοδος που θα επιλεγούν να ανταποκρίνονται στον τρόπο με τον οποίο το σύστημα λειτουργεί ή αποτυγχάνει. Τα κύρια βήματα που πρέπει να υλοποιηθούν προκειμένου να πραγματοποιηθεί η όσο το δυνατόν καλύτερη επιλογή είναι τα ακόλουθα:

- Κατανόηση του τρόπου κατά τον οποίο τα στοιχεία του συστήματος λειτουργούν.
- Κατανόηση της συνολικής λειτουργίας του συστήματος.
- Αναγνώριση του τρόπου κατά τον οποίο τα στοιχεία του συστήματος αλλά και το ίδιο το σύστημα αποτυγχάνουν.
- Δημιουργία μεθόδων για τη μείωση των συνεπειών των ενδεχόμενων αστοχιών.

Έπειτα από την πραγματοποίηση των παραπάνω βημάτων μπορεί να προκύψει ένα μοντέλο το οποίο θα ανταποκρίνεται στα πραγματικά χαρακτηριστικά του συστήματος, ενώ στη συνέχεια επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθεί. Γίνεται λοιπόν κατανοητό το γεγονός ότι δεν υπάρχει μία μοναδική τεχνική ή μέθοδος η οποία θα ανταποκρίνεται σε όλες τις μελέτες που πραγματοποιούνται. Η προσέγγιση που θα ακολουθηθεί και οι φόρμες που θα προκύψουν εξαρτώνται από το πρόβλημα, ή με άλλα λόγια το σύστημα το οποίο θα εξεταστεί, και τις διάφορες θεωρήσεις που θα γίνουν, οι οποίες είναι απαραίτητες σε όλες τις πρακτικές εφαρμογές της πιθανοτικής και στατιστικής θεωρίας. Η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης είναι άμεσα συνδεδεμένη με την εγκυρότητα των μοντέλων που επελέγησαν για να απεικονίσουν τη λειτουργική συμπεριφορά του πραγματικού συστήματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα ενδεχόμενα βλάβης που παρατηρούνται στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς είναι πολύ σπάνιες οι περιπτώσεις κατά τις οποίες τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις είναι δυνατό να περιγράψουν απόλυτα και με κάθε ακρίβεια τις πραγματικές βλάβες που συμβαίνουν. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στις θεωρήσεις που γίνονται έτσι ώστε να αποφευχθούν ενδεχόμενες υπεραπλουστεύσεις οι οποίες θα οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα.

Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει ο στόχος για τον οποίο πραγματοποιείται η ανάλυση να είναι ξεκάθαρος οπότε και η επιλογή της αντίστοιχης μεθόδου θα βασίζεται στα κατάλληλα κριτήρια. Για παράδειγμα, στην περίπτωση κατά την οποία η ανάλυση πραγματοποιείται για την εκτίμηση της επάρκειας του συστήματος παραγωγής, απαιτείται ένα μοντέλο όσο το δυνατό πιο ακριβές έτσι ώστε να προκύψουν δείκτες οι οποίοι να είναι άμεσα συγκρίσιμοι με ένα δεδομένο επίπεδο αναφοράς. Από την άλλη, όταν στην ανάλυση περιλαμβάνεται και το σύστημα μεταφοράς και διανομής κύριος στόχος είναι να εκτιμηθούν τα σχετικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι διάφορες εναλλακτικές επιλογές, περιλαμβανομένης και της καμιά περαιτέρω ενίσχυσης του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση, το επίπεδο ανάλυσης δεν χρειάζεται να είναι περισσότερο πολύπλοκο από εκείνο που καθιστά δυνατή την εκτίμηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων κάθε πρότασης. Ένα επιπλέον σημείο το οποίο χρήζει ιδιαίτερης προσοχής είναι το γεγονός ότι η δυνατότητα να επιτευχθεί ένας υψηλός βαθμός ακρίβειας στους υπολογισμούς που γίνονται δεν θα πρέπει να ακυρώνει τις ενδεχόμενες αβεβαιότητες στις επιμέρους παραμέτρους του συστήματος, όπως είναι η πρόβλεψη φορτίου, οι ρυθμοί βλαβών των στοιχείων, οι χρόνοι αποκατάστασης κτλ. Γίνεται, λοιπόν, κατανοητό πως η απόλυτη αξιοπιστία αποτελεί έναν ιδανικό στόχο ο οποίος, όμως, είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί.

1.3.2. Τεχνικές Εκτίμησης Αξιοπιστίας

Για την εκτίμηση της αξιοπιστίας λειτουργίας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας έχουν αναπτυχθεί μεθοδολογίες οι οποίες μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: τις αναλυτικές μεθόδους και τις ακολουθιακές μεθόδους προσομοίωσης. Μια αναλυτική μέθοδος χρησιμοποιεί βασικά μαθηματικά μοντέλα για την αναπαράσταση του συστήματος και συνδυάζει τις πιθανότητες και τις συχνότητες των καταστάσεων του

συστήματος για να υπολογίσει τους αντίστοιχους δείκτες αξιοπιστίας. Κάθε χρονικό σημείο θεωρείται ανεξάρτητο των υπολοίπων ενώ δεν υπάρχει καμία σχέση για τη μετάβαση από τη μία κατάσταση λειτουργίας στην άλλη. Από την άλλη, οι ακολουθιακές μέθοδοι προσομοίωσης υπολογίζουν τους αντίστοιχους δείκτες προσομοιώνοντας την πραγματική εξέλιξη της κατάστασης του συστήματος και λαμβάνοντας υπόψη την τυχαία συμπεριφορά του.

Οι δύο κατηγορίες μεθόδων παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Κύριο πλεονέκτημα μίας αναλυτικής μεθόδου αποτελεί η δυνατότητα να ανιχνεύει σπάνια, αλλά σημαντικά ενδεχόμενα βλαβών. Γενικά, σε περιπτώσεις ανάλυσης κατά τις οποίες οι λειτουργικές καταστάσεις του αντίστοιχου συστήματος δεν είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες και οι πιθανότητες βλάβης των στοιχείων του συστήματος είναι μικρές, οι αναλυτικές τεχνικές είναι περισσότερο αποτελεσματικές. Αντίθετα, όταν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες και οι κρίσιμες καταστάσεις παρουσιάζουν σχετικά μεγάλες πιθανότητες να συμβούν, προτιμούνται οι ακολουθιακές μέθοδοι προσομοίωσης.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι σχετικές διαφοροποιήσεις παρουσιάζονται τόσο ανάμεσα στις διάφορες αναλυτικές τεχνικές που υπάρχουν, όσο και μεταξύ των διαφόρων μεθόδων προσομοίωσης. Οι υπολογιζόμενοι δείκτες εξαρτώνται άμεσα από το μοντέλο που επιλέγεται για την αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος, την καταλληλότητα της τεχνικής ανάλυσης και την ποιότητα των δεδομένων εισόδου.

1.4. Ευστάθεια και Ασφάλεια ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.4.1 Γενικά

Η λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να είναι καλή και ασφαλής. Οι δύο αυτές έννοιες χαρακτηρίζουν τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας του δικτύου. Ο όρος καλή λειτουργία αφορά περισσότερο τους καταναλωτές, ο δε όρος ασφαλής το σύστημα. Η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται από το ηλεκτρικό σύστημα στους καταναλωτές υπό ορισμένη τάση, της οποίας η τιμή πρέπει να τηρείται μέσα σε προκαθορισμένα συμβατικά όρια. Ως καλή λειτουργία του δικτύου, θεωρείται εκείνη κατά την οποία η παροχή προς τους καταναλωτές είναι απρόσκοπτη και η τάση τροφοδοτήσεως τηρείται μέσα στα συμβατικά όρια.

1.4.2. Ευστάθεια Λειτουργίας Συστήματος

Η ευστάθεια είναι μια βασική ιδιότητα, η οποία πρέπει να διέπει τη λειτουργία ενός συστήματος παραγωγής και μεταφοράς και η οποία αποκτά τόσο μεγαλύτερη σπουδαιότητα, όσο πιο εκτεταμένο είναι το σύστημα, ή όσες περισσότερες διασυνδέσεις με γειτονικά συστήματα έχει. Το σύστημα χαρακτηρίζεται σαν ευσταθές, όταν, υφιστάμενο, ενώ λειτουργεί σε ορισμένη μόνιμη κατάσταση, μια διαταραχή από οποιαδήποτε αιτία τείνει να επανέλθει σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, είτε την αρχική, είτε άλλη.

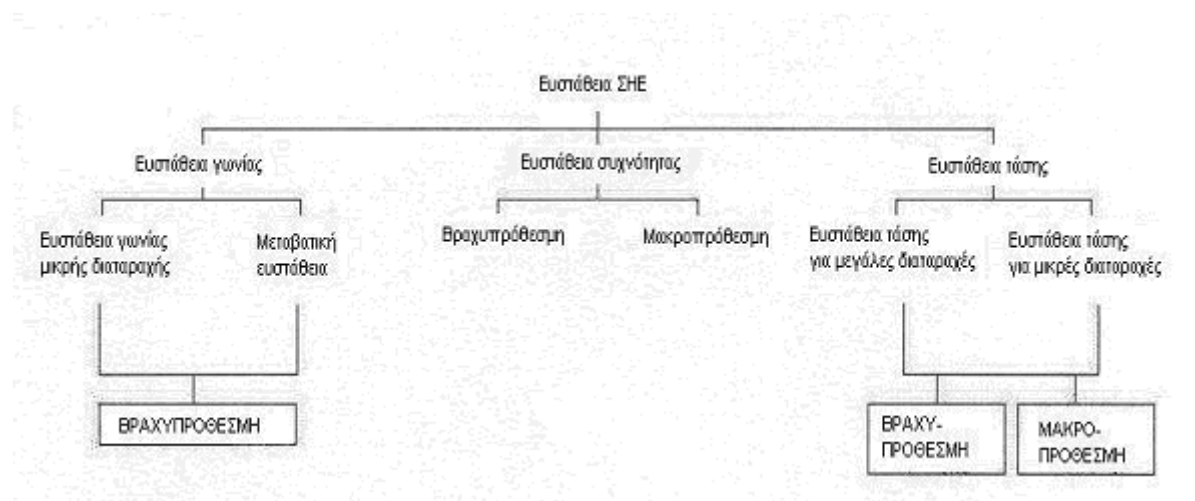
Αντίθετα, εάν αυτό τείνει να μην επανέλθει σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας χαρακτηρίζεται σαν ασταθές. Μόνιμη κατάσταση λειτουργίας χαρακτηρίζεται η συνήθης κατάσταση λειτουργίας του συστήματος, κατά την οποία αυτό εκτελεί τον προορισμό του, δηλαδή παράγει, μεταφέρει και διανέμει σε κάθε στιγμή τη ζητούμενη κατά την ίδια στιγμή από την κατανάλωση ισχύ.

Οι διαταραχές, οι οποίες επηρεάζουν την ευστάθεια λειτουργίας του συστήματος είναι εκείνες, οι οποίες προκαλούν μεταβολή της φορτίσεως των γεννητριών. Όταν μεταβληθεί η φόρτιση μιας γεννήτριας μεταβάλλεται στιγμιαία ο αριθμός στροφών του δρομέα της και επομένως διαταράσσεται προς στιγμήν ο συγχρονισμός μηχανής και συστήματος. Εξαρτάται από την προ της διαταραχής φόρτιση της γεννήτριας και από το είδος της διαταραχής, εάν θα αποκατασταθεί ο διασαλευθείς αποσυγχρονισμός, ή θα επεκταθεί, οπότε θα επέλθει αποσυγχρονισμός και αποσύνδεση της γεννήτριας από το σύστημα. Στην πρώτη περίπτωση πρόκειται περί ευσταθούς λειτουργίας, ενώ στη δεύτερη περί ασταθούς. Διακρίνονται δύο είδη ευστάθειας, η Στατική ευστάθεια και η Μεταβατική ευστάθεια.

Η Στατική ευστάθεια είναι σχετική με βραδείες διαταραχές στατικής μορφής, χωρίς μεταβολή στο σύστημα. Πρόκειται συγκεκριμένα για μεταβολές της φορτίσεως τους συστήματος λόγω μεταβολών του φορτίου. Το όριο φορτίσεως του συστήματος, μέχρι το οποίο υφίσταται στατική ευστάθεια λειτουργίας, καλείται όριο στατικής ευστάθειας.

Η Μεταβατική ευστάθεια αναφέρεται στις απότομες και μεγάλες διαταραχές δυναμικής μορφής, οι οποίες μπορεί να είναι αποτέλεσμα, ή να συνεπάγονται μεταβολή των στοιχείων, τα οποία συνθέτουν το σύστημα. Συνήθεις διαταραχές δυναμικής μορφής είναι τα βραχυκυκλώματα. Η μεταβατική ευστάθεια είναι σπουδαιότατη συνθήκη για το σύστημα, στην έλλειψη της οποίας οφείλονται συνήθως οι εκτεταμένες ανωμαλίες των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή οι αποσυγχρονισμοί και οι σβέσεις.

Η ευστάθεια ενός ΣΗΕ μπορεί να ταξινομηθεί βάση του παρακάτω σχήματος.



Σχήμα 1.1 Ταξινόμηση ευστάθειας Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σύμφωνα λοιπόν με το σχήμα 1.1, μπορούμε να διακρίνουμε τριών ειδών ευστάθεια:

1)Την ευστάθεια τάσης:

η οποία αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας να διατηρεί αποδεκτές τάσεις σε όλους τους ζυγούς στο σύστημα κάτω από συνθήκες κανονικής λειτουργίας, καθώς υπόκειται σε μια διαταραχή. Μια προοδευτική πτώση ή αύξηση της τάσης σε κάποιους ζυγούς, μπορεί να προκαλέσει αστάθεια τάσης στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο αδυνατεί να διατηρεί ένα σωστό ισοζύγιο άεργου ισχύος στους ζυγούς του.

Η ευστάθεια τάσης για μεγάλες διαταραχές αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος να διατηρεί σταθερές τάσεις μετά από μεγάλες διαταραχές, ενώ η ευστάθεια τάσης για μικρές διαταραχές αναφέρεται στην ικανότητα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας να ελέγξει μικρές διακυμάνσεις της τάσης που οφείλονται συνήθως σε εισχωρήσεις φορτίων στο σύστημα.

2)Την ευστάθεια συχνότητας:

η οποία αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας να συντηρεί τη συχνότητα του σε ένα εύρος γύρω από την ονομαστική της τιμή, αφού προηγηθούν σοβαρές διαταραχές στο σύστημα, οι οποίες μπορούν να το οδηγήσουν ακόμα και σε διαίρεση μικρότερων υποσυστημάτων που λειτουργούν σε διαφορετική συχνότητα.

Η ικανότητα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, όσον αφορά την διατήρηση της ευστάθειας συχνότητας, εξαρτάται από τον βαθμό που μπορεί το ίδιο να αποκαθιστά το ισοζύγιο μεταξύ παραγωγής και φορτίου του συστήματος, με την ελάχιστη απώλεια φορτίου.

3)Την ευστάθεια γωνίας δρομέα:

η οποία αναφέρεται στην ικανότητα των συγχρόνων μηχανών ενός διασυνδεδεμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, να παραμένουν σε συγχρονισμό κάτω από συνθήκες κανονικής λειτουργίας και μετά από μια διαταραχή. Το πιο πάνω εξαρτάται από το κατά πόσο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διατηρήσει ή να αποκαταστήσει την ισορροπία μεταξύ ηλεκτρομαγνητικής και μηχανικής ροπής της κάθε σύγχρονης μηχανής που περιλαμβάνεται στο σύστημα. Η μορφή της αστάθειας που μπορεί να προκύψει σ'αυτήν την περίπτωση, συνήθως εκδηλώνεται με αυξανόμενες ταλαντώσεις της γωνίας μερικών γεννητριών του συστήματος, κάτι που οδηγεί στην απώλεια συγχρονισμού τους με τις άλλες γεννήτριες.

Η ευστάθεια της γωνίας δρομέα επιπλέον, διαιρείται σε ευστάθεια γωνίας για μικρές διαταραχές και σε μεταβατική ευστάθεια. Η ευστάθεια γωνίας για μικρές διαταραχές, έχει σχέση με την ικανότητα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας να συντηρεί τον συγχρονισμό στις περιπτώσεις των μικρών διαταραχών, ενώ η μεταβατική ευστάθεια αναφέρεται στην ικανότητα του να διατηρεί τον συγχρονισμό, όταν το σύστημα υπόκειται σε μεταβατικές διαταραχές.

1.4.3. Ευστάθεια και Ασφάλεια Αυτόνομων Συστημάτων

Τα αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζουν συγκεκριμένα προβλήματα σχεδιασμού και λειτουργίας σε σχέση με τα διασυνδεδεμένα συστήματα. Τα κυριότερα προβλήματα αφορούν την ασφάλεια και την αξιοπιστία λειτουργίας τους τα οποία προκαλούν επιπτώσεις στο κόστος και την ποιότητα παροχής ηλεκτρικής ισχύος στους καταναλωτές. Είναι αναγκαίο να εξασφαλίζεται πάντοτε μια επαρκής ποσότητα εφεδρικής παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, έτσι ώστε να είναι δυνατή η αντιμετώπιση κρίσιμων καταστάσεων λειτουργίας, όπως είναι η απώλεια των διαθέσιμων μονάδων παραγωγής του συστήματος λόγω εξαναγκασμένων βλαβών ή προγραμματισμένων συντηρήσεων. Σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο θα πρέπει οι μονάδες παραγωγής που ευρίσκονται σε θερμή εφεδρεία να μπορούν να ανταποκριθούν επαρκώς στα μεταβατικά φαινόμενα που θα προκληθούν από μια σειρά πιθανών διαταραχών, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια του συστήματος (στατική και δυναμική)

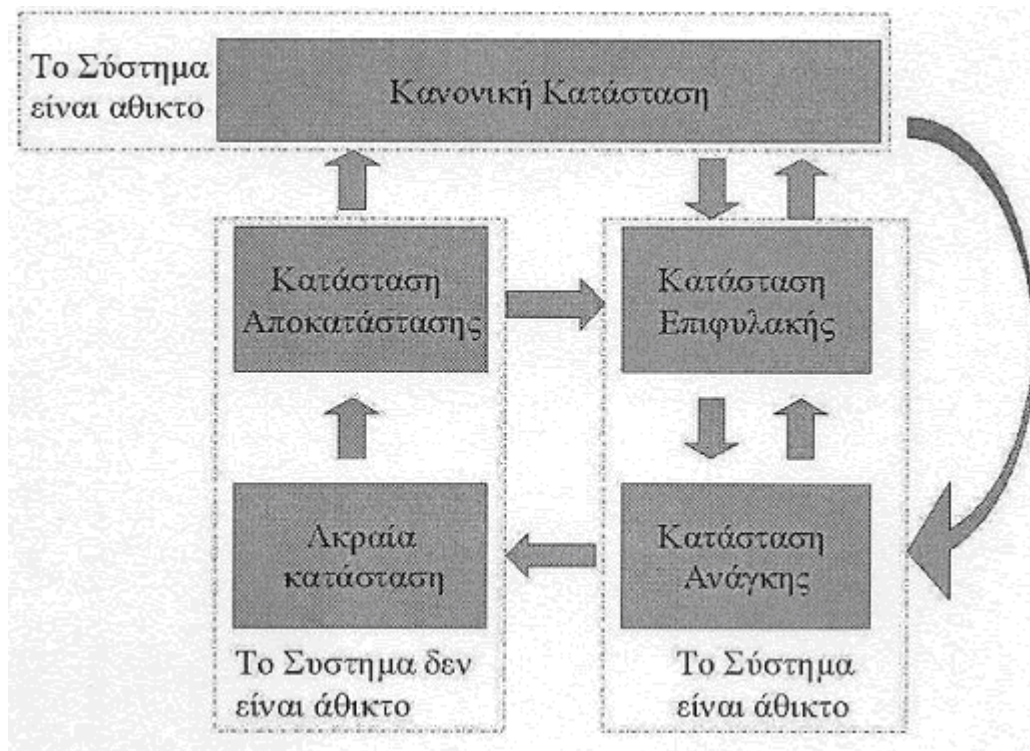
Η αποτελεσματική εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο περιβάλλον της ανταγωνιστικής αγοράς αντιμετωπίζει σημαντικές δυσκολίες. Αυτές αφορούν κύρια την μεταβλητότητα ορισμένων παραμέτρων και καιρικών συνθηκών οι οποίες σχετίζονται άμεσα με την λειτουργία των αντίστοιχων εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ένταξη αιολικών πάρκων και η παράλληλη λειτουργία τους με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής έχει ήδη εφαρμοσθεί ευρύτατα σε πολλά αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, η λειτουργία τους έχει αυξήσει σημαντικά την πολυπλοκότητα της λειτουργίας των συστημάτων και τις επιπτώσεις τους στην ασφάλεια και αξιοπιστία λειτουργίας τους. Για τους λόγους αυτούς είναι απαραίτητο να εκπονηθεί μία μελέτη που θα αφορά την εκτίμηση των επιπτώσεων της λειτουργίας των αιολικών πάρκων στην αξιοπιστία και ασφάλεια λειτουργίας και το κόστος λειτουργίας των αυτόνομων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

Η στάθμη διείσδυσης της παραγόμενης ισχύος των ανεμογεννητριών στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας (αιολική διείσδυση) εκφράζεται συνήθως ως ένα εκατοστιαίο ποσοστό της ηλεκτρικής ισχύος των ανεμογεννητριών σε σχέση με τη ζήτηση φορτίου. Η λειτουργία ενός σημαντικού αριθμού αιολικών πάρκων σε ένα αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (υψηλή στάθμη αιολικής διείσδυσης) μπορεί να προκαλέσει δυναμικά μη ευσταθείς καταστάσεις λειτουργίας του εξαιτίας της τυχαίας μεταβλητότητας της ταχύτητας του ανέμου. Το άμεσο αποτέλεσμα είναι πολύ σημαντική μείωση ή αύξηση της παραγόμενης ισχύος των ανεμογεννητριών και η περιορισμένη δυνατότητα τους, ιδιαίτερα των ανεμογεννητριών που είναι απευθείας συνδεδεμένες στο σύστημα μεταφοράς και διανομής, να ελέγξουν την ενεργό και άεργο ισχύ τους. Η ενδεχόμενη μείωση πρέπει να καλυφθεί από την επιπρόσθετη παραγωγή ισχύος των συμβατικών μονάδων παραγωγής οι οποίες ευρίσκονται σε κατάσταση στρεφόμενης εφεδρείας. Επομένως, για τον προγραμματισμό της σχεδίασης του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και της έκδοσης των αδειών παραγωγής από αιολικά πάρκα, είναι απαραίτητο όπως καθορισθεί μία κατάλληλη στάθμη αιολικής διείσδυσης που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την ανάλυση μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου του συστήματος σε συνδυασμό με τη ζήτηση φορτίου του, την εγκατεστημένη ισχύ των θερμικών σταθμών του και τις λειτουργικές πρακτικές τους. Αυτή η στάθμη αποτελεί μια οριακή τιμή της αιολικής διείσδυσης η οποία εκφράζεται συνήθως ως λόγος της εγκατεστημένης ισχύος των αιολικών πάρκων του συστήματος και της αιχμής της ζήτησης φορτίου του για το συγκεκριμένο ημερολογιακό έτος ανάλυσης.

1.4.4. Εκτίμηση Ασφάλειας Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Για να γίνει κατανοητός ο όρος της ασφάλειας ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει πρώτα να αναφερθούμε στις λειτουργικές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί, αφού αυτές οι καταστάσεις με την σειρά τους, ταξινομούνται σύμφωνα με το επίπεδο ασφάλειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, με τέτοιο τρόπο ώστε να βοηθούν τους χειριστές, να σχεδιάζουν αλλά και να λαμβάνουν τις κατάλληλες για κάθε περίπτωση ενέργειες ελέγχου.

Ο διαχωρισμός αυτός των λειτουργικών καταστάσεων σύμφωνα με το επίπεδο ασφάλειας που βρίσκεται ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, αποδίδεται στον Dy-Liacco και παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα, όπου φαίνονται καθαρά η κατηγοριοποίηση, αλλά και οι σχέσεις αλληλοσύνδεσης μεταξύ των καταστάσεων:



Σχήμα 1.2 Χάρτης λειτουργικών καταστάσεων του Dy-Liaco, προσαρμοσμένος από τους Fink και Carlsen

Σύμφωνα και με το σχήμα 1.2 λοιπόν, οι καταστάσεις που μπορεί να βρεθεί ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι εξής:

α) Η κανονική κατάσταση, όπου το ισοζύγιο μεταξύ παραγωγής και φορτίου (λαμβάνοντας υπ' όψιν και τις απώλειες) ικανοποιείται, ενώ καμιά συσκευή του συστήματος δεν υπερφορτώνεται. Επιπρόσθετα τα περιθώρια εφεδρείας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι επαρκή και έτσι είναι ικανό να αντεπεξέρχεται σε πιθανές διαταραχές.

β) Η κατάσταση επιφυλακής, όπου το επίπεδο ασφαλείας του συστήματος εξασθενεί, ενώ ταυτόχρονα η πιθανότητα να τύχει μια διαταραχή αυξάνεται, με αποτέλεσμα η εκδήλωση μιας διαταραχής να οδηγήσει κάποιες συσκευές του δικτύου σε υπερφόρτωση. Σ' αυτήν την κατάσταση όλοι οι περιορισμοί σχετικά με το ισοζύγιο παραγωγής-φορτίου του συστήματος, αλλά και σχετικά με τα όρια ισχύος και τάσης ικανοποιούνται (όπως και στην περίπτωση α), με την διαφορά ότι τα περιθώρια εφεδρείας δεν είναι αρκετά για να εγγυηθούν ότι οι περιορισμοί θα εξακολουθούν να διατηρούνται, μετά από μια σοβαρή διαταραχή.

γ) Η κατάσταση ανάγκης, η οποία αποτελεί την διάδοχη κατάσταση της κατάστασης επιφυλακής, εφόσον συμβεί μια σοβαρή διαταραχή, πριν ακόμα συμβεί οποιαδήποτε προληπτική ενέργεια. Σ' αυτήν την κατάσταση παραβιάζονται κάποιοι από τους περιορισμούς των ορίων τάσης και ισχύος, με αποτέλεσμα να υπερφορτώνονται συσκευές του δικτύου. Με την λήψη διορθωτικών ενεργειών, το σύστημα μπορεί να αποκατασταθεί στην κανονική του κατάσταση ή τουλάχιστον στην κατάσταση επιφυλακής.

δ) Η ακραία κατάσταση, η οποία μπορεί να προκύψει από την κατάσταση επιφυλακής όταν λάβει χώρα προηγουμένως μια σοβαρή διαταραχή ή από την κατάσταση ανάγκης, όταν κατά την διάρκεια της δεν λαμβάνονται διορθωτικές ενέργειες. Σ' αυτήν την κατάσταση οι περιορισμοί σχετικά με το ισοζύγιο παραγωγής-φορτίου του συστήματος, αλλά και οι περιορισμοί σχετικά με τα όρια ισχύος και τάσης παραβιάζονται, με αποτέλεσμα το σύστημα να χάνει το συγχρονισμό του, να υπάρχουν διαδοχικές απώλειες στοιχείων και πιθανές διακοπές σε κύρια μέρη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Οι διορθωτικές ενέργειες που μπορούν να ληφθούν σε αυτή την ακραία περίπτωση, είναι η απόρριψη φορτίου ή ο ελεγχόμενος διαχωρισμός του συστήματος, για την αποφυγή "blackout" ευρείας κλίμακας.

ε) Η κατάσταση αποκατάστασης, όπου ο χειριστής εκτελεί ενέργειες ελέγχου, που αποσκοπούν στην επανασύνδεση όλων των στοιχείων και στην αποκατάσταση όλου του φορτίου του συστήματος. Αναλόγως των συνθηκών, το σύστημα μπορεί να φτάσει ή στην κανονική ή στην κατάσταση επιφυλακής.

Συνοψίζοντας μετά την παρουσίαση των λειτουργικών καταστάσεων που μπορούν να συμβούν σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, είναι φανερό ότι το γενικό αντικείμενο του ελέγχου ασφάλειας, είναι η διατήρηση του συστήματος στην κανονική κατάσταση λειτουργίας. Για να γίνει εφικτή η διατήρηση του συστήματος σε κανονικά επίπεδα λειτουργίας, πρέπει ακολούθως να αναφερθούμε σε ένα πολύ σημαντικό ζήτημα των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, αυτό της εκτίμησης της ασφάλειας.

Η εκτίμηση της ασφάλειας λοιπόν, διακρίνεται σε τρία επίπεδα:

α) Στην εποπτεία της ασφάλειας, όπου ελέγχεται το κατά πόσον ικανοποιούνται οι λειτουργικές συνθήκες στο σύστημα.

β) Στην ανάλυση της ασφάλειας, όπου γίνεται ο έλεγχος του κατά πόσον το σύστημα μπορεί να υποστεί διαταραχές, με αυτό να θεωρείται ασφαλές αν αντιστέκεται σε κάθε προσδιορισμένη διαταραχή χωρίς να μεταβαίνει σε κατάσταση ανάγκης. Αν το σύστημα δεν είναι ασφαλές, τότε λογικά είναι ανασφαλές ή σε κατάσταση επιφυλακής. Κατά την θεώρηση των διαταραχών, είναι καλύτερο να λαμβάνονται υπ' όψιν οι διαταραχές που έχουν λογικές πιθανότητες να συμβούν, αντί να λαμβάνονται υπ' όψιν όλες οι δυνατές

διαταραχές, διότι στην προκειμένη περίπτωση θα είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί μια ασφαλής κατάσταση.

γ) Στον προσδιορισμό του περιθωρίου ασφαλείας, όπου γίνεται η εκτίμηση του επιπέδου ασφάλειας για μια δοσμένη λειτουργική συνθήκη ή συγκεκριμένη τοπολογία του συστήματος, υπό ένα προκαθορισμένο σύνολο διαταραχών. Η εκτίμηση αυτή χρειάζεται τον ορισμό ενός περιθωρίου ασφαλείας, χρησιμοποιώντας κάποιες επιλεγόμενες μεταβλητές ή παραμέτρους. Στα πλαίσια αυτού του επιπέδου εκτίμησης της ασφάλειας, το αντικείμενο μας δεν περιστρέφεται μόνο γύρω από την μετάβαση του συστήματος από ανασφαλή σε ασφαλή κατάσταση, αλλά εστιάζεται επίσης και στην διατήρηση των περιθωρίων ασφαλείας σε επαρκή επίπεδα.

Χαρακτηριστική περίπτωση του πιο πάνω, είναι η γνώση που απαιτείται να έχει ο χειριστής του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, σχετικά με το πόσο φορτίο ή αύξηση μεταφοράς ισχύος είναι αποδεκτά, χωρίς το σύστημα να γίνεται ανασφαλές.

Τελειώνοντας, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η εκτίμηση ασφάλειας, ανάλογα με την μέθοδο ανάλυσης που χρησιμοποιείται για την μελέτη της, μπορεί να ταξινομηθεί σε Εκτίμηση Στατικής Ασφάλειας (Static Security Assessment SSA) και σε εκτίμηση Δυναμικής ασφάλειας (Dynamic Security Assessment DSA).

Η Εκτίμηση Στατικής Ασφάλειας, αφορά τις μεθοδολογίες εκείνες που ελέγχουν τα όρια της τάσης των ζυγών και της ροής ισχύος στις γραμμές για την κατάσταση λειτουργίας μετά τη διαταραχή, θεωρώντας ότι η μετάβαση μεταξύ των λειτουργικών καταστάσεων πριν και μετά τη διαταραχή, γίνεται χωρίς να εμφανιστούν οποιαδήποτε φαινόμενα αστάθειας σε οποιοδήποτε μέρος του συστήματος .

Η Εκτίμηση Δυναμικής Ασφάλειας ως αντιπαραβολή, αφορά τις μεθοδολογίες εκείνες που ασχολούνται με την εκτίμηση της ευστάθειας και της ποιότητας των μεταβατικών διαδικασιών μεταξύ των καταστάσεων πριν και μετά την διαταραχή. Στην περίπτωση λοιπόν της εκτίμησης της δυναμικής ασφάλειας, διασφαλίζεται ότι το σύστημα μας θα είναι ευσταθές και μετά την εκδήλωση της διαταραχής και ότι τα μεταβατικά φαινόμενα που προκαλούνται από μια τέτοια διαταραχή είναι αποσβέσιμα, έχοντας μικρό πλάτος και μικρή επίδραση στην ποιότητα εξυπηρέτησης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η εκτίμηση της ασφάλειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου, θα γίνει πάνω στην βάση δυναμικών κριτηρίων ασφαλείας, γι' αυτό και στην ενότητα που ακολουθεί θα ασχοληθούμε με το αντικείμενο της δυναμικής ασφάλειας πιο αναλυτικά.

1.4.5. Δυναμική Ασφάλεια Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως, η εκτίμηση της δυναμικής ασφάλειας σ' ένα σύστημα, έχει να κάνει με την εκτίμηση της ευστάθειας, καθώς και της ποιότητας των μεταβατικών φαινομένων, που προκαλούνται από τις διαταραχές, οι οποίες συμβαίνουν στο σύστημα.

Η διεύθυνση αιολικής ισχύος από αιολικά πάρκα σ' ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, είναι βέβαιο ότι θα προκαλέσει μεταβολές τάσεων στους ζυγούς, μεταβολές στην

συχνότητα αλλά και στην γωνία των μηχανών (δηλ. μεταβολές που αφορούν την ευστάθεια), όπως και φαινόμενα εκπομπών αρμονικών, flicker, βυθίσεις τάσης κ.τ.λ.

Για τους πιο πάνω λόγους, η εκτίμηση της δυναμικής ασφάλειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην μετέπειτα ομαλή λειτουργία του δικτύου, αφού εκτός του ότι πρέπει να τηρούνται τα όρια της ευστάθειας που έχουμε προαναφέρει, είναι σημαντικό επίσης τα φαινόμενα που προκαλεί η διείδυση της αιολικής ισχύος, να είναι αποσβέσιμα, για να μην επηρεάζεται η ποιότητα εξυπηρέτησης της αρχής παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σημαντικό ρόλο στην δυναμική ασφάλεια ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν τα κριτήρια δυναμικής ασφάλειας. Στην πράξη τα κριτήρια αυτά περιλαμβάνουν:

α) Αδρανειακά κριτήρια ευστάθειας, που αφορούν κυρίως την εξέλιξη των σχετικών γωνιών των μηχανών και συχνοτήτων.

β) Βυθίσεις ή αυξήσεις τάσης, πέρα από ένα προσδιορισμένο επίπεδο κατωφλίου και για περισσότερο από μια συγκεκριμένη διάρκεια. Αυτό το κριτήριο δηλαδή περιλαμβάνει διάφορα ζεύγη τιμών κατωφλίου και διάρκειας για βυθίσεις και αυξήσεις τάσης, καθώς και μέγιστες και ελάχιστες στιγμιαίες τιμές.

γ) Relay margin criteria, τα οποία ορίζονται για τις καταστάσεις πριν και μετά την διαταραχή. Σ' αυτά τα κριτήρια αν το περιθώριο relay παραβιάζεται για περισσότερο από ένα μέγιστο καθοριζόμενο χρόνο μετά την διαταραχή, τότε η κατάσταση θεωρείται ανασφαλής.

δ) Κριτήρια Ελάχιστης Απόσβεσης (Minimum damping criteria), τα οποία αφορούν καθορισμένη λίστα διαταραχών, όπου στην περίπτωση που το σύστημα μετά την διαταραχή εμφανίζει ταλαντώσεις, αυτές θα πρέπει να αποσβένουν.

Για να δημιουργηθεί και να εφαρμοστεί λοιπόν μια λειτουργία εκτίμησης της δυναμικής ασφάλειας σε ένα σύστημα, εκτός από την γνώση των κριτηρίων (EDA), χρειάζεται να τηρηθούν και κάποιες άλλες κύριες απαιτήσεις που αφορούν την μοντελοποίηση του συστήματος της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και την προσομοίωση της λειτουργίας του στο πεδίο του χρόνου.

1. Μοντελοποίηση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο της εκτίμησης δυναμικής ασφάλειας του δικτύου. Η ανάλυση της δυναμικής απόδοσης του συστήματος, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του μοντέλου του συστήματος. Για να έχουμε ένα ακριβές μοντέλο του συστήματος, θα πρέπει να θεωρηθούν αλλά και να περιληφθούν σ' αυτό άλλες υποκατηγορίες μοντέλων, που αφορούν :

α) Την μοντελοποίηση του δικτύου (Network modelling), η οποία περιλαμβάνει την αναπαράσταση γραμμών, γεννητριών, μετασχηματιστών, διακοπών, φορτίων και τις διασυνδέσεις του συστήματος με άλλα ΣΗΕ.

β) Τα δυναμικά μοντέλα του συστήματος (System Dynamic Models), τα οποία περιλαμβάνουν δυναμικά μοντέλα γεννητριών που παριστάνουν τις δυναμικές εξισώσεις

ηλεκτρικών μηχανών σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας, όπως π.χ. των ρυθμιστών στροφών, των συστημάτων διέγερσης, των περιοριστών υπερδιέγερσης, των σταθεροποιητών του συστήματος ισχύος, καθώς και δυναμικά μοντέλα γραμμών HVDC που περιλαμβάνουν διαφόρους ελέγχους, SVC δυναμικά μοντέλα και στοιχεία FACTS που περιλαμβάνουν μοντελοποίηση της συνδεσιμότητας τους και χρονικές καθυστερήσεις.

γ) Τα μοντέλα φορτίου (Load Models), που περιλαμβάνουν μοντέλα μη γραμμικής εξάρτησης από τάση, είτε στην μορφή του μοντέλου ZIP (συνδυασμός φορτίου σταθερής εμπέδησης, φορτίου σταθερού ρεύματος και φορτίου σταθερής ισχύος) ή στην μορφή γενικού μοντέλου εξαρτώμενου από τάση και συχνότητα. Αυτή η κατηγορία επίσης περιλαμβάνει και αναπαράσταση φορτίων μεγάλων επαγωγικών κινητήρων.

δ) Τα μοντέλα σφαλμάτων (Fault Models), τα οποία περιλαμβάνουν κατάλληλη μοντελοποίηση της εμπέδησης του σφάλματος, βασισμένης σε τύπους σφάλματος και μοντέλα διακοπών (για τους διακόπτες που ίσως λειτουργούν εξαιτίας μιας διαταραχής).

2. Προσομοίωση στο πεδίο του χρόνου

Είναι ίσως η σημαντικότερη λειτουργία κατά την εκτίμηση της δυναμικής ασφάλειας του συστήματος. Βάζοντας ως είσοδο στην μηχανή προσομοίωσης τα διάφορα σενάρια (στην περίπτωση μας διείσδυσης αιολικής ισχύος) και τις διάφορες διαταραχές που ενδέχεται να συμβούν, μπορούμε να πάρουμε τα αποτελέσματα μας για οποιαδήποτε παράμετρο ενδιαφερόμαστε και σε οποιοδήποτε σημείο του συστήματος, συναρτήσει του πεδίου του χρόνου.

Η προσομοίωση στο πεδίο του χρόνου παραμένει μια πολύ αξιόπιστη μέθοδος λόγω της ευελιξίας που έχει στην μοντελοποίηση του συστήματος. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης, αφορά την έλλειψη δεικτών απόδοσης, καθώς και τις μεγάλες υπολογιστικές απαιτήσεις για προσομοίωση της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος. Οι υπολογισμοί μπορεί να διαρκέσουν ακόμα και λίγα δευτερόλεπτα μετά το σφάλμα, γεγονός που αποτελεί εμπόδιο για την χρήση τέτοιων συμβατικών προγραμμάτων σε πραγματικό χρόνο.

Τέλος, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, θα γίνουν προσομοιώσεις με μια τέτοια μηχανή προσομοίωσης (EUROSTAG), της οποίας η περιγραφή θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

2.1. Εισαγωγή

Ο όρος «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» (ΑΠΕ), σύμφωνα με την Οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Σεπτεμβρίου 2001, σημαίνει τις μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως π.χ. αιολική, ηλιακή και γεωθερμική ενέργεια, ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, βιομάζα, αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, αέρια εκλυόμενα από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας ή «ανανεώσιμες πηγές ενέργειας» ή «νέες πηγές ενέργειας» είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχήν, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερο, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα.

Ως ανανεώσιμες πηγές θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, μια και ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια, δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Τελευταία από την Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και πολλά κράτη υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται στην ουσία στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δεκαετομύρια χρόνια. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια «συσκευασμένη» κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρέπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος «στάτους κβο» στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού. Ειδικά στην Ελλάδα, που έχει μορφολογία και κλίμα κατάλληλο για νέες ενεργειακές εφαρμογές, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα βοηθούσε σημαντικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απανωτών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2010 το 25% της ενέργειας θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως υδροηλεκτρικά και βιομάζα).

2.2. Είδη Ήπιων Μορφών Ενέργειας

- **Αιολική Ενέργεια:** Γενικά αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται ήπια μορφή ενέργειας και περιλαμβάνεται στις «καθαρές» πηγές όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στη ξηρά.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.

- **Ηλιακή Ενέργεια:** Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

- **Υδατοπτώσεις:** Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.

- **Βιομάζα:** Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.

- **Γεωθερμική Ενέργεια:** Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, και το 20%, όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, με γεωθερμική ενέργεια.

- **Ενέργεια από Παλίρροιες:** Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.

- **Ενέργεια από κύματα:** Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.

- **Ενέργεια από τους Ωκεανούς:** Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας.

2.3. Γενικά

2.3.1. Στόχοι

Επειδή η καταστροφή του περιβάλλοντος είναι ένα θέμα που απασχολεί ανά το παγκόσμιο βλέπουμε ότι όλες οι χώρες έχουν αρχίσει να λαμβάνουν μέτρα και να συμμορφώνονται για να σταματήσουν την καταστροφική πορεία που έχουν αρχίσει. Σε παγκόσμιο επίπεδο οι ΑΠΕ συνεισφέρουν περίπου στο 18% της παραγωγής ενέργειας. Εξαπλώνονται συνεχώς και οι τεχνολογίες αναπτύσσονται έτσι ώστε να μπορούν να συνεισφέρουν όσο το δυνατότερο σε περισσότερους τομείς αντικαθιστώντας τα συμβατικά καύσιμα. Όσον αφορά την Ευρώπη κατέχοντας ηγετική θέση στην εισαγωγή καυσίμων από τρίτες χώρες προσπαθεί να απεξαρτηθεί προωθώντας όλο και περισσότερο τη χρήση των ΑΠΕ. Με σύνθημα το 20-20-20 όλα τα κράτη μέλη υποχρεούνται να επιτύχουν την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα στο 20% και τη συμμετοχή των ΑΠΕ στο 20% μέχρι το 2020. Επίσης η Ε.Ε έχει θέσει στόχους για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, της αιολικής, της υδραυλικής και της βιομάζας ξεχωριστά. Κάποιοι από τους στόχους βρίσκονται κοντά στην πραγματοποίηση άλλοι όμως απέχουν. Η Ευρωπαϊκή Ένωση για να

ενθαρρύνει όσο περισσότερο γίνεται την χρήση των ΑΠΕ λόγω της καινούργιας τους φυσιογνωμίας δίνει επιχορηγήσεις για να παροτρύνει τα κράτη μέλη της.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι 10 χώρες με τη μεγαλύτερη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Πίνακας 2.1 Οι 10 χώρες με την μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ (TWh)

A/A	ΧΩΡΑ	ΣΥΝΟΛΟ	ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ	ΑΙΟΛΙΚΑ	ΒΙΟΜΑΖΑ	ΗΛΙΑΚΗ	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ	ΆΛΛΕΣ ΠΗΓΕΣ
1	ΚΙΝΑ	576,1	563,300	12,800	-----	-----	-----	-----
2	ΒΡΑΖΙΛΙΑ	385,8	371,500	0,600	14,3	-----	-----	-----
3	Η.Π.Α.	375,6	250,800	52,000	55,4	0,596	16,778	-----
4	ΚΑΝΑΔΑΣ	369,7	368,200	1,471	-----	0,017	-----	-----
5	ΡΩΣΙΑ	179,1	174,604	0,007	-----	-----	-----	0,41
6	ΝΟΡΒΗΓΙΑ	137,3	136,572	0,506	0,2	-----	-----	-----
7	ΙΝΔΙΑ	137,1	122,400	14,700	-----	-----	-----	-----
8	ΙΑΠΩΝΙΑ	95,0	86,350	1,754	-----	0,002	3,027	-----
9	ΒΕΝΕΖΟΥΕΛΑ	83,9	83,900	-----	-----	-----	-----	-----
10	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	68,7	26,717	38,500	-----	3,500	-----	-----

2.3.2. Εμπορευματοποίηση Ανανεώσιμης Ενέργειας

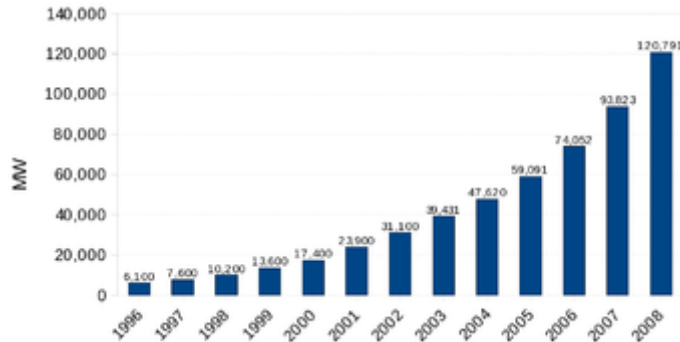
Η αιολική ισχύς αυξάνεται με 30% ετήσιο ρυθμό ενώ η εγκατεστημένη παγκόσμια ικανότητα ξεπερνά τα 100 GW και χρησιμοποιείται ευρέως τόσο στην Ευρώπη όσο και στις Η.Π.Α.. Η εργοστασιακή παραγωγή φωτοβολταϊκών ξεπέρασε τα 2000 MW το 2006 και οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί ισχύος είναι πολύ διαδεδομένοι στην Γερμανία και στην Ισπανία. Ηλιακοί θερμικοί σταθμοί ισχύος λειτουργούν στις Η.Π.Α. και την Ισπανία και ο μεγαλύτερος από αυτούς είναι ο 354 MW SEGS σταθμός ισχύος στην έρημο Mojave. Ο μεγαλύτερος γεωθερμικός σταθμός ισχύος βρίσκεται στην Καλιφόρνια (The Geysers) με ισχύ 750 MW. Η Βραζιλία έχει ένα από τα μεγαλύτερα προγράμματα χρήσης ανανεώσιμης ενέργειας που περιλαμβάνει παραγωγή καύσιμης αιθανόλης από ζαχαρότευτλο ενώ ήδη η αιθανόλη προσφέρει το 18% του καυσίμου αυτοκίνησης. Καύσιμη αιθανόλη είναι επίσης διαδεδομένη στις Η.Π.Α..

2.3.3. Ανάπτυξη Ανανεώσιμων Πηγών

Από το τέλος του 2004 έως το τέλος του 2008, η ισχύς των ηλιακών φωτοβολταϊκών πηγών έχει αυξηθεί κατά 6 φορές και ξεπέρασε τα 16 GW, η ισχύς των αιολικών πηγών αυξήθηκε κατά 250% και η συνολική ισχύς για ανανεώσιμες αυξήθηκε κατά 75% στα 280 GW. Κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου η ισχύς των πηγών ηλιακής θερμικής ενέργειας διπλασιάστηκε στα θερμικά 145 GW, ενώ η παραγωγή βιο-ντίζελ αυξήθηκε 6 φορές και έφτασε τα 12 δισεκατομμύρια λίτρα το χρόνο και η παραγωγή της αιθανόλης διπλασιάστηκε και έφτασε τα 67 δισεκατομμύρια λίτρα το χρόνο.

Στο τέλος του 2008, η παγκόσμια αιολική ισχύς έφτανε τα 120.791 MW, παρουσιάζοντας μια αύξηση 28,8% κατά τη διάρκεια του χρόνου ενώ η αιολική ισχύς παρήγαγε περίπου το 1,3% της παγκόσμιας ηλεκτρικής κατανάλωσης. Η αιολική ισχύς αντιστοιχεί στο 19% της χρησιμοποιούμενης ηλεκτρικής ισχύος στην Δανία, 9% στην Ισπανία και Πορτογαλία και

6% στη Γερμανία και στην Δημοκρατία της Ιρλανδίας. Οι Η.Π.Α. αποτελούν μια περιοχή με σημαντική αύξηση όπου η αιολική ισχύς έφτασε τα 25.170 MW στο τέλος του 2008.



Σχήμα 2.1 Παραγωγή ισχύς από ανεμογεννήτριες

Το Κέντρο Αιολικής Ενέργειας Horse Hollow στο Texas αποτελεί το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο με ισχύ 735,5 MW. Αποτελείται από 291 τουρμπίνες GE Energy του 1,5 MW και 130 τουρμπίνες Siemens των 2,3 MW. Μια προτεινόμενη φάρμα των 4000 MW, η Pampa Wind Project προβλέπεται να εγκατασταθεί στο Texas δίπλα στην Pampa.

2.3.4. Η Αγορά των Αναπτυσσόμενων Χωρών

Η ανανεώσιμη ενέργεια μπορεί να αποβεί κατάλληλη για αναπτυσσόμενες χώρες. Σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, η μεταφορά και διανομή ενέργειας που παράγεται από ορυκτά καύσιμα μπορεί να είναι δύσκολη και δαπανηρή. Η τοπική παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας μπορεί να αποτελεί μια εναλλακτική πρόταση.

Σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, τα προγράμματα ανανεώσιμης ενέργειας έχουν δείξει ότι συνεισφέρουν άμεσα στην άμβλυνση της φτώχειας προσφέροντας την αναγκαία ενέργεια για την δημιουργία επιχειρήσεων και της απασχόλησης. Έμμεση συνεισφορά επίσης, προσφέροντας ενέργεια για το μαγείρεμα, την θέρμανση και τον φωτισμό, όπως επίσης σημαντική έμμεση συνεισφορά αναμένεται στην εκπαίδευση προσφέροντας ηλεκτρική ενέργεια στα σχολεία.

2.4. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Κύπρο

2.4.1. Γενικά

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας έχουν αναγνωριστεί διεθνώς ως σημαντικό μέσο για την προώθηση βιώσιμης και αειφόρου ανάπτυξης, για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αλλά ταυτόχρονα και ως μέσο για απεξαρτοποίηση από τα ορυκτά καύσιμα

Στο πλαίσιο των στόχων και δεσμεύσεων της Κυπριακής Δημοκρατίας έναντι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ίση με 6% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2010, έχει θεσπιστεί νομοθεσία για ενθάρρυνση της χρήσης των ΑΠΕ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα, τα Σχέδια Χορηγιών του Υπουργείου Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού περιέχουν σημαντικές πρόνοιες και κίνητρα για επενδύσεις στον τομέα αυτό.

Σημαντικοί σταθμοί στην ιστορική αναδρομή και ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Κύπρο είναι οι εξής:

- Το πρωτόκολλο του Κιότο είναι το σημαντικότερο έγγραφο καταπολέμησης των κλιματικών μεταβολών. Περιλαμβάνει τη δέσμευση που έχουν αναλάβει οι περισσότερες εκβιομηχανισμένες χώρες για τον περιορισμό των οικείων εκπομπών ορισμένων αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, υπεύθυνων για τη θέρμανση του πλανήτη, κατά μέσο όρο κατά 5%. Κατόπιν μακροχρόνιων εργασιών, το Πρωτόκολλο του Κιότο θεσπίστηκε στις 11 Δεκεμβρίου 1997, στο Κιότο. Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα υπέγραψε το Πρωτόκολλο στις 29 Απριλίου 1998. Τον Δεκέμβριο του 2001, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Laeken επιβεβαίωσε τη βούληση της Ένωσης για τη θέση σε ισχύ του Πρωτοκόλλου του Κιότο πριν από την Παγκόσμια Διάσκεψη Κορυφής για την αειφόρο ανάπτυξη, του Γιοχάνεσμπουργκ (26 Αυγούστου-4 Σεπτεμβρίου 2002). Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, η παρούσα απόφαση εγκρίνει το Πρωτόκολλο εξ ονόματος της Κοινότητας.
- Η Οδηγία 96/92Κ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 19ης Δεκεμβρίου 1996 σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω θέσπισης σχετικών κοινών κανόνων σε όλο το φάσμα δραστηριοτήτων του τομέα ηλεκτρικής ενέργειας, τέθηκε σε ισχύ στις 19.02.1997
- Ο Νόμος του 2003 Ν.33(Ι)/2003 περί προώθησης και ενθάρρυνσης της χρήσης ΑΠΕ και εξοικονόμησης ενέργειας. Η Οδηγία 2001/77/ΕΕ προβλέπει μεταξύ άλλων, την παραγωγή 6% της ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μέχρι το 2010 και υιοθετήθηκε στην Κύπρο με τον Νόμο 33(Ι)2003. Ο Νόμος προνοεί την δημιουργία ταμείου κινήτρων για ΑΠΕ που χρηματοδοτείται από τέλος κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος 0.13 σεντ/KWh (ανά κιλοβατώρα). Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος προς πώληση από ΑΠΕ μπορεί να γίνει κυρίως με ανεμογεννήτριες (αιολική ενέργεια) ή με φωτοβολταϊκά συστήματα (ηλιακή ενέργεια) και μέχρι στιγμής το κόστος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών είναι πολύ ψηλό για να υιοθετηθεί ευρέως.
- Η οδηγία 2001/77/ΕΚ για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που προάγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η οδηγία ηλεκτρισμού 2003/54/ΕΚ σχετικά με τους κοινούς κανόνες αγοράς για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και της κατάργησης της οδηγίας 96/92/ΕΚ.
- Η οδηγία 2004/8/ΕΚ για την προώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας βάση της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και για την τροποποίηση της οδηγίας 92/42/ΕΟΚ σχετικά με τις απαιτήσεις απόδοσης για τους νέους λέβητες ζεστού νερού που τροφοδοτούνται με υγρά ή αέρια καύσιμα.
- Ο Αριθμός 234Α(Ι) του 2004 ο οποίος είναι νόμος που τροποποιεί το νόμο του 2003 περί προώθησης και ενθάρρυνσης της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και εξοικονόμησης της ενέργειας.

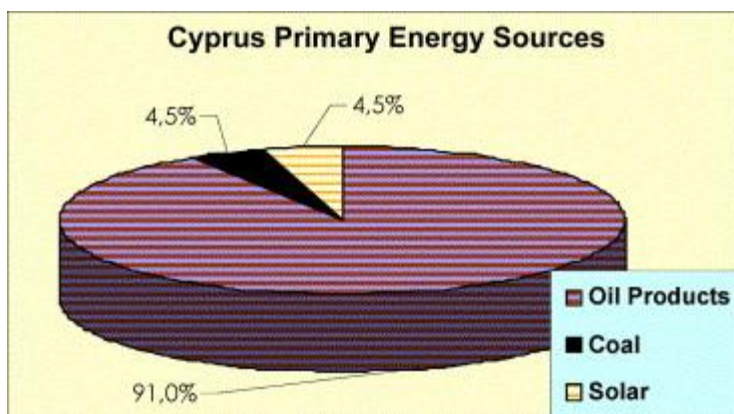
Το κράτος έδωσε προτίμηση στην αιολική ενέργεια για να μην επιβαρύνει τα δημόσια ταμεία. Μέχρι το τέλος του 2006 εγκρίθηκαν αιολικές μονάδες παραγωγικότητας 425MW αλλά μέχρι στιγμής δεν λειτουργεί κανένα αιολικό πάρκο. Οι κυριότεροι λόγοι είναι, η μη διεξαγωγή μελέτης βιωσιμότητας έργου, μη διαθεσιμότητα κατάλληλου χώρου, αντίσταση από κοινότητες που φοβούνται ότι θα χάσει αξία η γη τους και ενστάσεις από ΜΚΟ για απουσία ολοκληρωμένης μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Επίσης, η Κύπρος είναι απομονωμένο νησί χωρίς δυνατότητα εισαγωγής/εξαγωγής ηλεκτρισμού με άλλες χώρες και πλήρη αδυναμία αποθήκευσης ηλεκτρισμού από ανεμογεννήτριες.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα πλεονεκτούν στην Κύπρο διότι παράγουν ηλεκτρισμό την ώρα της μεγαλύτερης ζήτησης ενέργειας, δεν έχουν πρόβλημα αποθήκευσης ενέργειας, δεν έχουν πρόβλημα χώρου, δεν χρειάζονται μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αδειοδοτούνται εύκολα από την Πολεοδομία και αποτελούν προσοδοφόρες επενδύσεις για τους πολίτες. Αν κοστολογηθούν κριτήρια όπως απελευθέρωση γης για άλλες χρήσεις, εξοικονόμηση χρόνου δημόσιων λειτουργιών από την εφαρμογή απλούστερου συστήματος, αποφυγή χρονοβόρων δικαστικών αγώνων στους οποίους θα εμπλακεί το κράτος λόγω των ενστάσεων στα αιολικά πάρκα, προσφορά στην εθνική οικονομία, κόστος ενεργειακής εφεδρείας από την Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ), ανάπτυξη ενεργειακής τεχνογνωσίας και εισροή ξένου συναλλάγματος από μελλοντική εφαρμογή της στην Μέση Ανατολή, διαφαίνεται καλύτερα η πραγματική εικόνα. Αυτή η εικόνα επιβάλλει ως τον πιο σωστό στόχο την γενική μείωση της κατανάλωσης και ως πιο εφικτή λύση τον συνδυασμό των αιολικών πάρκων με την δημιουργία μεγάλου δικτύου μικρών φωτοβολταϊκών μονάδων.

2.4.2. Το Ηλεκτρικό Σύστημα της Κύπρου

Η ενεργειακή παραγωγή της Κύπρου εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τα εισαγόμενα καύσιμα υδρογονανθράκων. Ο τομέας της ηλεκτρικής παραγωγής είναι περισσότερο από 90% εξαρτώμενος από τα προϊόντα πετρελαίου ενώ το υπόλοιπο 9% καλύπτεται από τις εισαγωγές άνθρακα (4,5%) και την ηλιακή ενέργεια (4,5%). Επειδή η Κύπρος είναι πλέον μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι απαραίτητο να ακολουθήσει τους κανόνες της και να εισάγει τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον τομέα της ενεργειακής της παραγωγής.

Στις μέρες μας η Κύπρος εξαρτάται σχεδόν απόλυτα από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα για τις ενεργειακές της ανάγκες. Πάνω από το 91% της ενέργειας της παράγεται από το πετρέλαιο (Σχήμα 2.2). Το 62% από τα κέρδη από τις εξαγωγές χρησιμοποιείται για την εισαγωγή πετρελαίου. Η Κύπρος δεν έχει κανένα φυσικό πόρο πετρελαίου και στηρίζεται εξολοκλήρου στα εισαγόμενα καύσιμα για να μπορέσει να ανταποκριθεί στην ενεργειακή ζήτηση της. Προς το παρόν ο μόνος διαθέσιμος φυσικός πόρος ενέργειας είναι η ηλιακή.



Σχήμα 2.2 Κύριες πηγές ενέργειας της Κύπρου

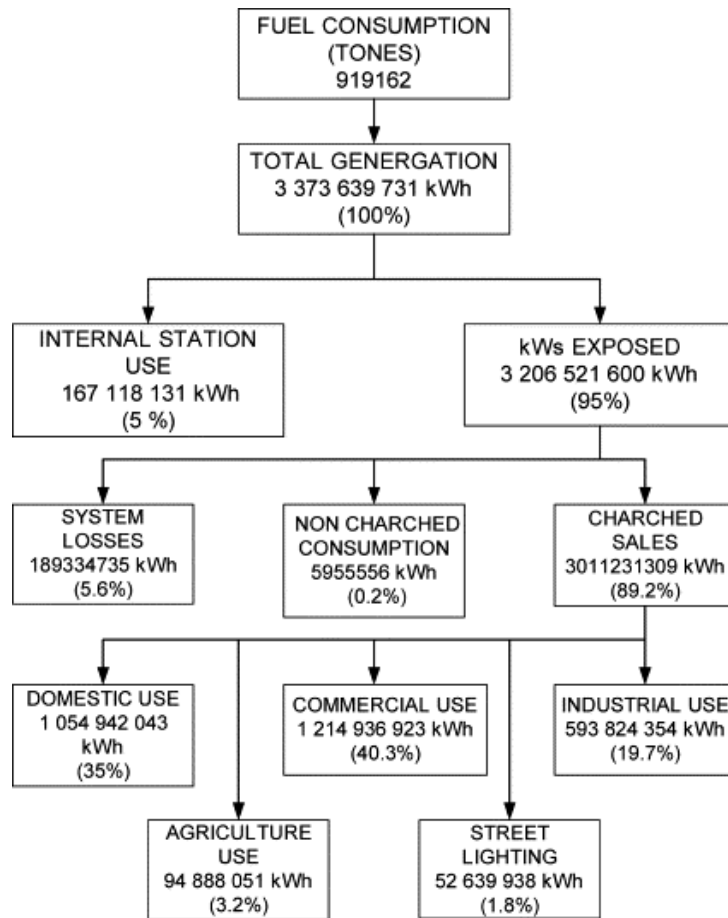
Παρά το γεγονός ότι η Κύπρος είναι μία από τα κύρια κράτη στον κόσμο στην χρησιμοποίηση των ηλιακών θερμοσιφώνων, δεν έχει γίνει καμία ουσιαστική κίνηση για την εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο τομέα της ενεργειακής παραγωγής. Οι ΑΠΕ ως γηγενείς πηγές ενέργειας θα έχουν σημαντικό ρόλο στην μείωση εισαγωγής πετρελαίου με θετική επίπτωση στην ισορροπία του εμπορίου και της ασφάλειας αποθεμάτων. Δυστυχώς οι ΑΠΕ στην Κύπρο, παρόλο που υπάρχει η διαθέσιμη τεχνική ικανότητα, βρίσκονται σε πολύ πρώιμο στάδιο ανάπτυξης.

Το νησί της Κύπρου απολαμβάνει τα οφέλη της ηλεκτρικής ενέργειας για περισσότερα από 90 χρόνια. Η πρώτη γεννήτρια εγκαταστάθηκε το 1903 από την τότε βρετανική αποικιακή κυβέρνηση για την εξυπηρέτηση των αναγκών της Επιτροπής στη Λευκωσία. Η αρχή ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου αυτή τη στιγμή μετράει τρεις σταθμούς παραγωγής με συνολική εγκατεστημένη ικανότητα 1336MW όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 2.2. Οι θερμικές αποδοτικότητες όλων των εγκαταστάσεων παραγωγής και ειδικά των ατμοστρόβιλων των 60MW είναι σχετικά χαμηλές. Η αποδοτικότητα αυτών των μονάδων θα μπορούσε να φτάσει τουλάχιστον το 31% με την επένδυση κάποιων χρημάτων στην λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος. Παρόλο που ο νόμος σχετικά με την παραγωγή ενέργειας έχει τροποποιηθεί πρόσφατα, ο τομέας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου μονοπωλείται ακόμα από το κράτος. Η ύπαρξη επιχείρησης για την παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι αναγκαία σύμφωνα με το νόμο ανάπτυξης ηλεκτρικής ενέργειας CAP. 171 του 1952.

Πίνακας 2.2 Σταθμοί παραγωγής της Κύπρου

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥ (MW)
ΒΑΣΙΛΙΚΟΣ	3x130 (ατμοστρόβιλοι)	390
ΒΑΣΙΛΙΚΟΣ	37,5 (αεροστρόβιλοι)	37,5
ΒΑΣΙΛΙΚΟΣ	218,5 (συνδυασμένος κύκλος)	218,5
ΔΕΚΕΛΕΙΑ	6x60 (ατμοστρόβιλοι)	360
ΜΟΝΗ	6x30 (ατμοστρόβιλοι)	180
ΜΟΝΗ	4x37,5 (αεροστρόβιλοι)	150
ΣΥΝΟΛΟ		1336

Η χρησιμοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας από τους διάφορους τομείς για το έτος 2000 παρουσιάζεται στο σχήμα 2.3. Όπως φαίνεται ο εμπορικός τομέας έχει το μεγαλύτερο μερίδιο απορρόφησης με 40%, ενώ ο οικιακός αντιπροσωπεύει το 35% της κατανάλωσης. Η βιομηχανική κατανάλωση φτάνει το 20%.



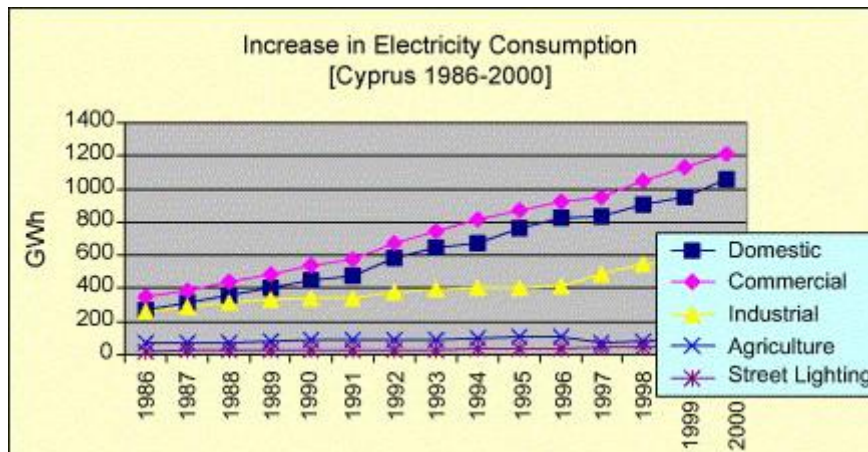
Σχήμα 2.3 Κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2000

Το ηλεκτρικό σύστημα της Κύπρου αντιμετωπίζει παρόμοια προβλήματα με τα άλλα μεγάλα νησιά της μεσογείου όπως η Κρήτη και η Μάλτα. Υπερβολική αύξηση του φορτίου που συνδέεται με τον εμπορικό τομέα κατά τη διάρκεια της τουριστικής περιόδου, χαμηλός ετήσιος συντελεστής φορτίου με αντίστοιχη υψηλή μέγιστη ζήτηση, περιβαλλοντολογικοί περιορισμοί που αφορούν την ανάπτυξη νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας ορυκτών καυσίμων και γραμμές μετάδοσης υψηλής τάσης.

Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το χρονικό διάστημα 1986-2001 αυξήθηκε κατά ένα ετήσιο μέσο όρο 7%. Το νησί επιδιώκει τη μεταστροφή στην μοντέρνα δυτική οικονομία με αποτέλεσμα τη μεγάλη εισροή τουριστών και την ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί εύκολα από τα στατιστικά της ηλεκτρικής κατανάλωσης κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Σύμφωνα με την EAC η αύξηση αναμένεται να συνεχιστεί και τα προσεχή έτη κατά ένα μέσο όρο 6%.

Εστιάζοντας στους κύριους καταναλωτές, τα νοικοκυριά, τις βιομηχανίες και τον εμπορικό τομέα, η αύξηση είναι εντυπωσιακή στα νοικοκυριά και στον εμπορικό τομέα με μέση ετήσια αύξηση 9-10%. Η εξήγηση βρίσκεται στην αυξανόμενη χρήση της ηλεκτρικής

ενέργειας για την θέρμανση χώρων και του νερού, το μαγείρεμα και τον κλιματισμό. Εάν εξεταζόταν κατάλληλα αυτή η απότομη αύξηση θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί.

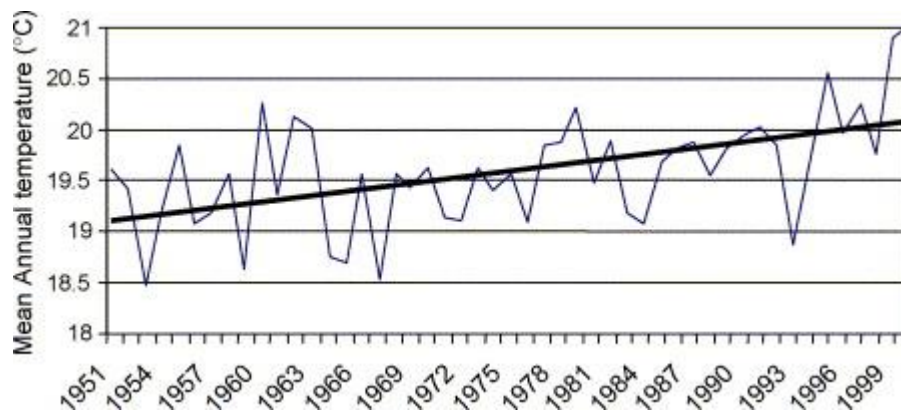


Σχήμα 2.4 Κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος ανά έτη

2.4.3. Γιατί Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

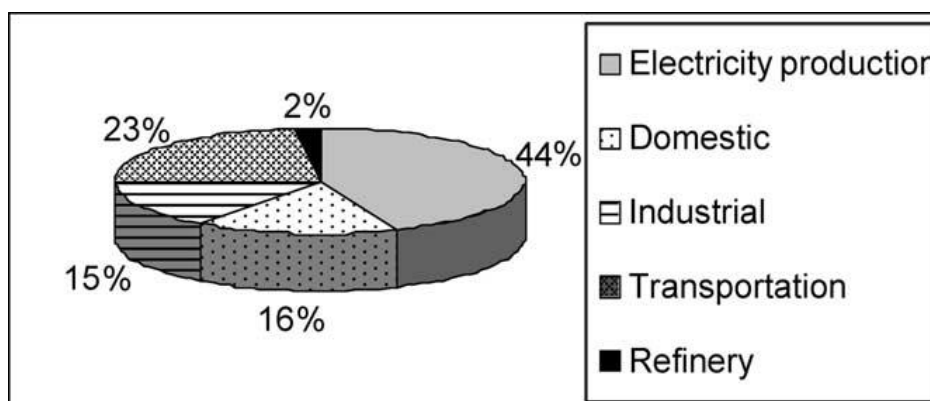
Οι ανάγκες της Κύπρου σε ηλεκτρική ενέργεια αυξάνονται ταχύτατα και αναμένεται να διπλασιαστούν στα επόμενα 10-12 χρόνια. Η ανάγκη ενεργειακής ανεξαρτησίας έχει ήδη αναφερθεί με την ευκαιρία της αναφοράς των τεραστίων ποσών που ξοδεύει η Κυπριακή Κυβέρνηση για εισαγωγές πετρελαίου. Δεν έχουν αναφερθεί, αλλά είναι εξίσου σημαντικές οι περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις από την καύση ορυκτών καυσίμων. Η Μετεωρολογική Υπηρεσία της Κύπρου κατέχει στατιστικά στοιχεία (ήδη από το 1989) που αποδεικνύουν τις τοπικές επιπτώσεις από την παγκόσμια αλλαγή του κλίματος. Κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα εμφανίζεται μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0,5 °C στο νησί και μια μείωση της βροχόπτωσης κατά 12% που κάνει τις χρονικές περιόδους έλλειψης νερού συχνότερες. Κατά την έκθεση αυτή:

- Στην περίοδο 1986-1995, εμφανίζεται μια αύξηση 1 °C στην Λευκωσία
- Στην περίοδο 1986-1995, εμφανίζεται μια αύξηση 1,2 °C στην Λεμεσό
- Στην περίοδο 1933-1995, εμφανίζεται μια αύξηση 1,8 °C στην Λάρνακα
- Κατά την διάρκεια του τελευταίου αιώνα, εμφανίζεται μια μείωση κατά 12% στη βροχόπτωση σε όλο το νησί
- Κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα, εμφανίζεται μια αύξηση 0,5 °C στη θερμοκρασία.



Σχήμα 2.5 Μέση ετήσια αλλαγή θερμοκρασίας στην Λευκωσία (1951-1999)

Η Κύπρος ήδη υποφέρει από έλλειψη νερού ενώ η διαθεσιμότητά του είναι πολύ κατώτερη του μέσου όρου στην Μεσόγειο. Η κατανάλωση του νερού ανά κάτοικο ανέρχεται σε 80l την ημέρα, τέσσερις φορές μικρότερη από την αντίστοιχη σε αναπτυγμένες χώρες. Κατά μία έκθεση του Εθνικού Αστεροσκοπείου της Αθήνας, που αφορά στην μείωση εκπομπών του θερμοκηπίου, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι υπεύθυνη για το 44% της συνολικής εκπομπής CO₂. Επομένως,, είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι η σημαντική αύξηση της παρουσίας των ΑΠΕ στο τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας θα παίξει ρόλο-κλειδί για την επίτευξη των στόχων του Κyoto όσον αφορά τις εκπομπές του CO₂.



Σχήμα 2.6 Ποσοστό εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά τομέα

Τέλος, υπάρχει και άλλη μια οπτική γωνία όσον αφορά τις ΑΠΕ: η πολιτική πλευρά. Στις 31 Μαρτίου 1998, με την υπογραφή της συμφωνίας ένταξης στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ξεκίνησαν οι διαπραγματεύσεις της Κύπρου και άλλων 10 κρατών της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης. Η Κύπρος έγινε πλήρες μέλος της Ε.Ε. το 2003. Ένα από τα σημαντικότερα βήματα ήταν η σύγκριση των Ευρωπαϊκών προτύπων στον τομέα της ενέργειας με τους αντίστοιχους Κυπριακούς νόμους. Ο σκοπός είναι να προσδιορισθούν οι διαφορές ώστε η Κυπριακή νομολογία να εναρμονιστεί με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα. Μια από τις προτεραιότητες της Ε.Ε. είναι η προώθηση των ΑΠΕ και η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης. Για το συγκεκριμένο θέμα των ΑΠΕ η Ε.Ε. έχει εκδώσει την «Λευκή Βίβλο» όπου αναφέρεται η στρατηγική της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το θέμα

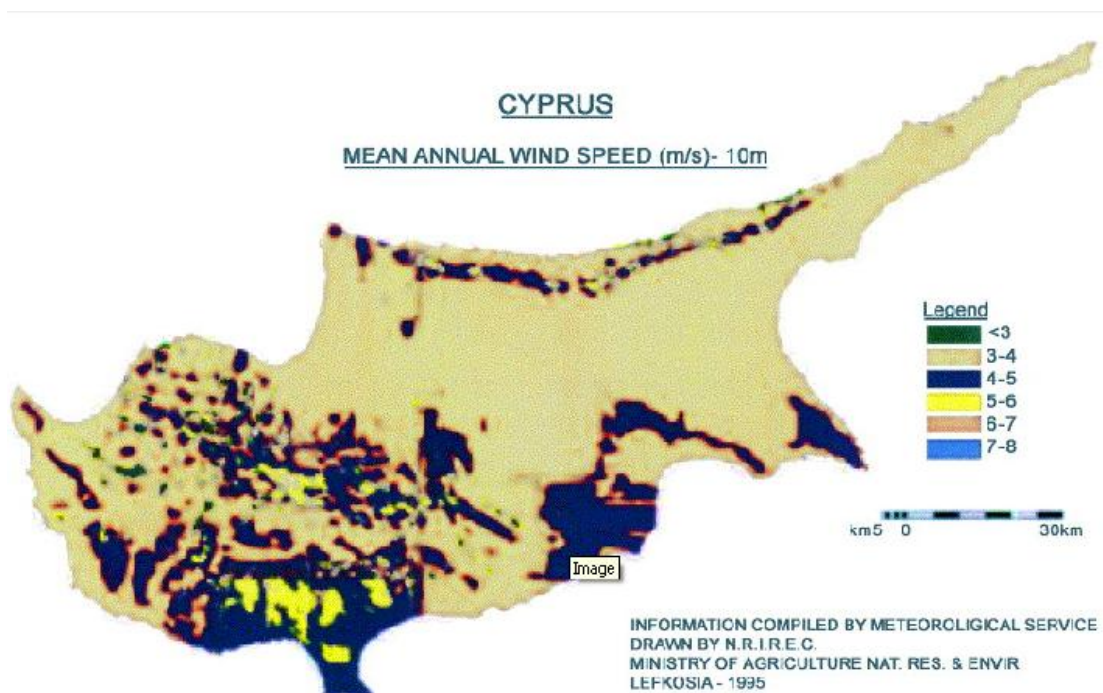
αυτό. Ο κύριος σκοπός της «Λευκής Βίβλου» είναι, έως το 2010, το 12% της συνολικής παραγωγής ενέργειας να προέρχεται από ΑΠΕ. Για το σκοπό αυτό, τα κράτη μέλη θα πρέπει να εφαρμόσουν πολιτικές που επιτρέπουν την εύκολη χρήση ΑΠΕ στην αγορά ενέργειας και να επιταχύνουν την εφαρμογή νέων ή χρήση υπαρχόντων τεχνολογιών χρήσης ΑΠΕ.

2.4.4. Η Δυναμικότητα της Κύπρου σε Ανανεώσιμη Ενέργεια

Ενδείξεις για το ποσοστό της ενέργειας που μπορεί να καλυφθεί από ανανεώσιμες πηγές απαιτεί μια ανάλυση όλων των διαθέσιμων ΑΠΕ. Οι οικονομικά εκμεταλλεύσιμες ΑΠΕ είναι η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια και η βιομάζα.

1. Αιολικό Δυναμικό

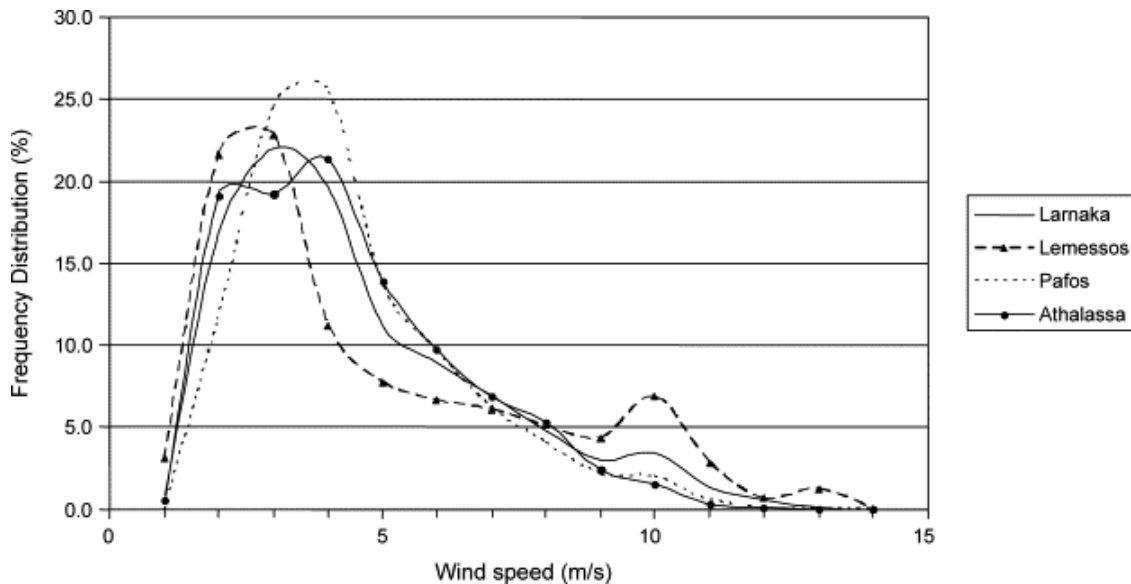
Στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου οι επιφανειακοί άνεμοι είναι κυρίως δυτικοί ή νοτιοδυτικοί τον χειμώνα και βορειοδυτικοί ή βόρειοι το καλοκαίρι. Ελαφριάς ή μέσης ισχύος, οι άνεμοι αυτοί σπάνια γίνονται θυελλώδεις. Στην Κύπρο, οι άνεμοι έχουν διάφορες κατευθύνσεις ενώ η ορειογραφία και η τοπική θερμοκρασία καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τόσο τις διευθύνσεις όσο και την ισχύ τους. Η διαφορά θερμοκρασίας θάλασσας και εδάφους, που αναπτύσσονται καθημερινά το καλοκαίρι με τον καθαρό ουρανό, δημιουργούν σημαντική θαλάσσια ή χερσαία αύρα.



Σχήμα 2.7 Ετήσια μέση ταχύτητα του αέρα σε ύψος 10 μέτρων

Η κατάσταση των ανέμων στην Κύπρο καθορίζεται από τρεις κύριους παράγοντες: α) Τους ανατολικά κινούμενους κυκλώνες που διασχίζουν το νησί, την επίδραση του κυκλώνα της Σιβηρίας καθώς επίσης την επίδραση των Ινδικών μουσσώνων το καλοκαίρι. β) Την μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ θάλασσας και στεριάς και γ) την επίδραση της οροσειράς όπου ακριβώς δημιουργούνται τα συστήματα των ανέμων. Παρ' όλο που η υψηλή δυναμικότητα των ανέμων δεν είναι τυπικό στοιχείο στην Κύπρο, ορισμένες

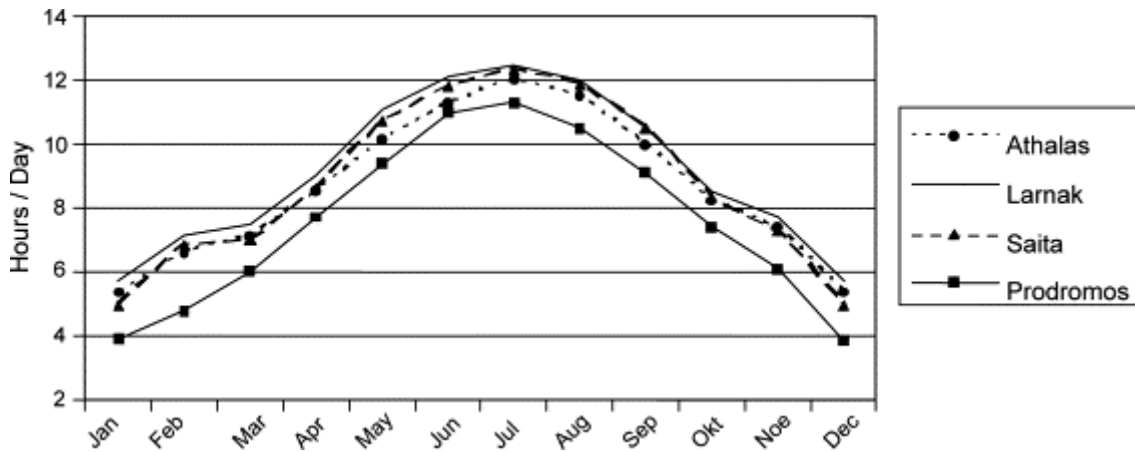
περιοχές του νησιού παρουσιάζουν μέση ετήσια ταχύτητα μεγαλύτερη από 5m/s σε ύψος 10m. Αυτές οι περιοχές βρίσκονται στην νότια παραλιακή ζώνη του νησιού και σε ορισμένες εκτεθειμένες περιοχές στα βουνά. Αυτές οι περιοχές φαίνονται πολλά υποσχόμενες για εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Στο Σχ.2.7 φαίνεται μια καλή εικόνα της ταχύτητας των ανέμων σε διάφορες περιοχές της Κύπρου. Όπως φαίνεται, η μέση τιμή είναι γύρω στα 4m/s.



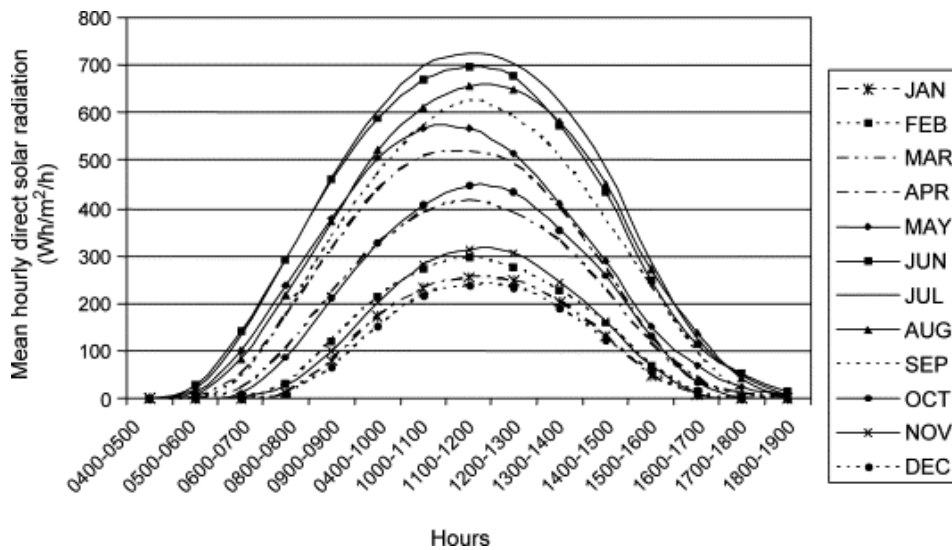
Σχήμα 2.8 Κατανομή συχνότητας ταχύτητας του αέρα σε διάφορες περιοχές της Κύπρου

2. Ηλιακό Δυναμικό

Όλη η Κύπρος έχει ένα ήπιο κλίμα με πολλές ηλιόλουστες ημέρες. Στο κεντρικό τμήμα και στην ανατολική πλευρά η μέση τιμή της χρονικής διάρκειας της ηλιοφάνειας είναι 75% το συνολικού χρόνου που ο ήλιος βρίσκεται πάνω από τον ορίζοντα. Κατά τη διάρκεια των έξι μηνών του καλοκαιριού η διάρκεια της ισχυρής ηλιοφάνειας ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 11,5 ώρες την ημέρα ενώ το χειμώνα μειώνεται σε 5,5 ώρες κατά τους πλέον νεφοσκεπείς μήνες, Δεκέμβριο και Ιανουάριο. Ακόμα και ψηλά στα βουνά, οι πιο νεφοσκεπείς μήνες έχουν μια μέση διάρκεια ηλιοφάνειας 4 ώρες την ημέρα και τον Ιούνιο και Ιούλιο ανέρχεται στις 11 ώρες. Η συνολική μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται μεταξύ των 2,3kWh/m² κατά τους νεφοσκεπείς μήνες (Δεκέμβριο και Ιανουάριο) και σε 7,2 kWh/m² τον Ιούλιο. Η μέση τιμή της ωριαίας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στην Κύπρο κυμαίνεται μεταξύ 250 και 700 Wh/m².

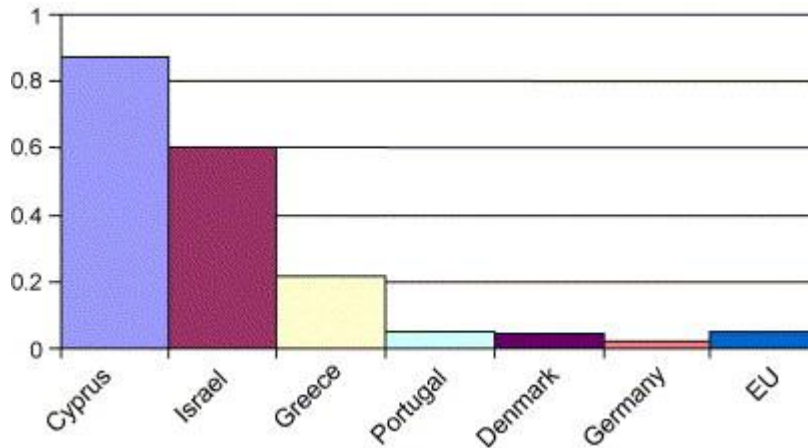


Σχήμα 2.9 Διάρκεια καθημερινής ακτινοβολίας



Σχήμα 2.10 Μέση ωριαία άμεση ηλιακή ακτινοβολία

Συγκρινόμενη με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, η Κύπρος βρίσκεται σε πολύ καλή θέση όσον αφορά στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Η εκτιμώμενη επιφάνεια των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών είναι της τάξης των 560.000 m² που αντιστοιχεί περίπου σε 0,86 m² ανά κάτοικο. Εκτιμάται ότι ο αριθμός των ηλιακών θερμοσιφώνων στην Κύπρο ξεπερνά τις 190.000.



Σχήμα 2.11 Εγκατεστημένοι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες ανά κάτοικο

Αλλά, η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται αποκλειστικά για οικιακή χρήση ζεστού νερού (ηλιακοί θερμοσίφωνες) και δεν υφίσταται ακόμα εμπορική εκμετάλλευση βιομηχανικής παραγωγής θερμότητας. Επιπλέον, παρ' όλη τη δραματική μείωση του κόστους (25% κατά τα τελευταία 5 χρόνια), όσον αφορά στα φωτοβολταϊκά, πολύ δύσκολα συναντάται παραγωγή ηλεκτρισμού από εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας στο νησί.

3. Βιομάζα

Η βιομάζα είναι μια διαδεδομένη πηγή καθ' όσον εμπεριέχει, πέραν της ξυλώδους βιομάζας, τα υπολείμματα από βιομηχανίες ξυλείας, ενεργειακές καλλιέργειες, γεωργικά υπολείμματα και υγρά απόβλητα αγροτικών τροφών, κοπριά καθώς και οργανικά τμήματα αστικών στερεών υπολειμμάτων και αστικά λύματα. Η ενέργεια από βιομάζα είναι ευπροσάρμοστη καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ηλεκτρισμό και θερμότητα.

Κατά μία πρόσφατη έρευνα που διενήργησε το Ινστιτούτο Υψηλής Τεχνολογίας της Κύπρου, η μετατροπή της συνολικής ποσότητας των αστικών λυμάτων σε θερμότητα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα απέδιδε $3,2 \cdot 10^9$ MJ. Αυτή η ενέργεια αντιστοιχεί στο 8,5% της συνολικής ενέργειας που παράγεται από εισαγόμενο αργό πετρέλαιο που χρησιμοποιείται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αυξημένη εκατοστιαία υγρασία των λυμάτων κάνει ακριβότερη την χρήση τους ως εναλλακτική παραγωγή ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, τα αστικά λύματα φαίνεται να είναι πολύ υποσχόμενη ΑΠΕ στην Κύπρο.

2.4.5. Εισάγοντας τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Παίρνοντας υπόψη τα σοβαρά οφέλη των ΑΠΕ στην οικονομία της Κύπρου και στο περιβάλλον, είναι φανερό πόσο κυρίαρχη είναι η εισαγωγή τους στον ενεργειακό σύστημα του νησιού. Με σκοπό την υποβοήθηση της μεγάλης έκτασης εισαγωγής των ΑΠΕ, η Ε.Ε. προτείνει, μέσω της «Λευκής Βίβλου», μια καμπάνια η οποία θα προάγει την εφαρμογή προγραμμάτων μεγάλης κλίμακας σε διάφορους τομείς ανανεώσιμης ενέργειας και θα στέλνει ένα σαφές μήνυμα για μεγαλύτερη χρήση των ΑΠΕ. Προτείνει στην Κύπρο να ξεκινήσει την δικιά της καμπάνια για διπλασιασμό της χρήσης των ΑΠΕ που θα πρέπει να φτάσει έως και 10% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2010. Η επίτευξη αυτού του στόχου εξαρτάται από την επιτυχία και ανάπτυξη των διαφόρων ανανεώσιμων

τεχνολογιών. Η χρήση των ΑΠΕ θα δημιουργήσει και κέρδος, από την μείωση της αγορά καυσίμων, που μπορεί να επιστραφεί ως επιδότηση στους χρήστες των ΑΠΕ.

Κάθε προσπάθεια εγκατάστασης φωτοβολταϊκών θα πρέπει να υποστηριχθεί τόσο οικονομικά όσο και τεχνικά. Θα πρέπει επίσης να δοθεί το δικαίωμα στους ενδιαφερόμενους χρήσης ΑΠΕ και/ή συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να συνδεθούν με το τοπικό δίκτυο. Με την προϋπόθεση της οικονομικής στήριξης, η συνεισφορά 8 MW (που αντιστοιχεί σε 3000 «σκεπές» των 2-3 kWh) από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στην Κύπρο έως το 2010 φαίνεται φιλόδοξο αλλά και ρεαλιστικό. Προβλέπεται ότι αυτό θα επιτευχθεί με δικτυωμένη εγκατάσταση στη δομή των κτιρίων (σκεπές και προσόψεις). Οι οικονομικές και περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις θα είναι σημαντικές. Η καμπάνια για τα φωτοβολταϊκά θα πρέπει να προωθήσει τη χρήση τους στα δημόσια κτίρια και στα σχολεία. Αυτή η κίνηση θα έχει και ένα εκπαιδευτικό και γνωσιακό αποτέλεσμα σε μικρή και επομένως επιδεκτική ηλικία. Η ηλιακή-θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε εμπορική όσο και σε βιομηχανική κλίμακα, για παράδειγμα παραγωγή της αναγκαίας θερμικής ενέργειας για την αφαλάτωση θαλασσίου νερού. Θα μπορούσε ακόμα να χρησιμοποιηθεί στην βιομηχανία τροφών και υφαντουργίας για πολύ διαφορετικές διεργασίες όπως στέγνωμα, μαγείρεμα, καθάρισμα κ.α.

Όσον αφορά την αιολική ενέργεια, έχει την δυνατότητα να παίζει ένα σημαντικό ρόλο στο μελλοντικό ενεργειακό τοπίο της Κύπρου. Τα τελευταία 15 χρόνια η τεχνολογία των ανεμογεννητριών έχει φτάσει σε υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας και τεχνολογίας. Η αναπτυσσόμενη διεθνής αγορά θα οδηγήσει σε νέα πρόοδο όπως μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες ή εφαρμογή νέων συστημάτων, όπως αιολικά πάρκα στη θάλασσα. Η πρόοδος αυτή θα οδηγήσει σε νέα μείωση κόστους και η αιολική ενέργεια θα γίνει δυνατόν να συναγωνιστεί την τεχνολογία παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Η ελπιδοφόρα ανακοίνωση της EAC για την υψηλού κόστους πρόθεσή της όσον αφορά το πρώτο Αιολικό Πάρκο στην Κύπρο, ελπίζεται ότι θα ακολουθηθεί από ιδιώτες.

Μια πρόσφατη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο χωριό Mari (δίπλα στο Σταθμό Παραγωγής του Βασιλικού) και στο Ακρωτήριο Greko (στο νοτιοανατολικό ακρωτήριο της Κύπρου) από την Wind-Solar Energy Corporation, επιβεβαιώνει ότι η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στη νότια παραλιακή ζώνη της Κύπρου μπορεί να συναγωνιστεί τις άλλες μορφές ενέργειας και να γίνει οικονομικά βιώσιμη.

Η βιομάζα, που κερδίζει όλο και μεγαλύτερη σπουδαιότητα στη λύση ενεργειακών προβλημάτων σε ολόκληρο τον κόσμο, προτείνεται και για την Κύπρο. Η εταιρία Environmental Energy Ltd στο νησί έχει ερευνήσει την δυνατότητα δημιουργίας μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα. Η χρήση νέων τεχνολογιών δίνει πολλά πλεονεκτήματα στη χρήση της βιομάζας. Υπολογίζεται ότι το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο των αερίων χώρων ταφής και των εύπεπτων αγροτικών υπολειμμάτων ξεπερνούν στην E.E. τους 80 Mt. Η συνεισφορά από τη χρήση βιομάζας, όσον αφορά την E.E., από την κτηνοτροφία, τα γεωργο-βιομηχανικά λύματα, την επεξεργασία λυμάτων και τους χώρους ταφής υπολογίζεται σε 15Mt κατά το 2010.

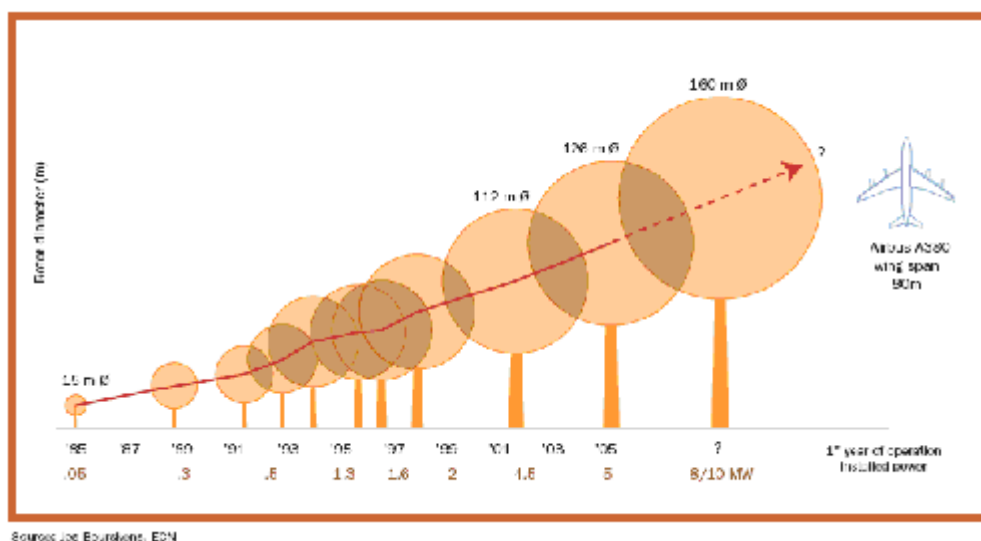
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ανεμογεννήτριες

3.1. Εισαγωγή

3.1.1. Τεχνολογία Ανεμογεννήτριας

Δύο μεγάλες τεχνολογικές βελτιώσεις έχουν πρόσφατα επιτευχθεί στον τομέα της τεχνολογίας αιολικής παραγωγής. Πρώτα απ' όλα, έχει γίνει μια καθοριστική αύξηση στο μέγεθος με στόχο την περαιτέρω μείωση του κόστους παραγωγής: ο δρομέας της Α/Γ έχει γίνει πολύ μεγάλος και παράλληλα το τυπικό μέγεθος της κατασκευής. Για σύγχρονες Α/Γ της τάξης των MW, τόσο το ύψος της πλήμνης όσο και η διάμετρος του δρομέα φτάνουν τα 100m. Δηλαδή, σε κατακόρυφη τοποθέτηση, η άκρη του πτερυγίου μπορεί να φτάσει τα 150m. Η εξέλιξη της τάξης μεγέθους των Α/Γ που εισήχθησαν στην αγορά φαίνεται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 Μέγεθος και ισχύς των Α/Γ κατά την είσοδο στην αγορά

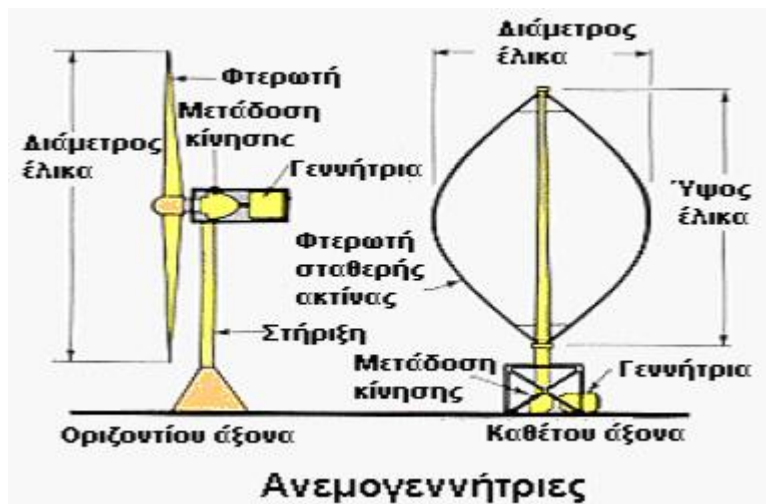
Η τάξη μεγέθους όμως και γενικά της εγκατάστασης έχει ήδη αυξηθεί. Η τάση είναι στο να κατασκευάζονται αιολικά πάρκα αντί για μεμονωμένες Α/Γ ή μικρές ομάδες Α/Γ. Αυτά τα πάρκα αποτελούνται από μερικές δεκάδες μέχρι εκατοντάδες Α/Γ, τα οποία μερικές φορές κατασκευάζονται σε παράκτιες εγκαταστάσεις. Οι λόγοι που οι Α/Γ οργανώνονται σε αιολικά πάρκα είναι κατ' αρχάς γιατί έτσι χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό τοποθεσίες με καλή αιολική συμπεριφορά και επίσης η οπτική ενόχληση από τις Α/Γ περιορίζεται σε συγκεκριμένες περιοχές.

Η δεύτερη μεγάλη εξέλιξη στην τεχνολογία των Α/Γ είναι η μετάβαση από γεννήτρια σταθερών στροφών σε μεταβλητών. Όπως είναι προφανές, η διαφορά έγκειται στο ότι σε μία Α/Γ σταθερών στροφών, ο δρομέας της Α/Γ κινείται με σταθερή ταχύτητα ενώ στη μεταβλητών η ταχύτητα περιστροφής μπορεί να ποικίλλει και να ελέγχεται μέσα στα όρια σχεδιασμού. Τα συστήματα μεταβλητών στροφών είναι τεχνικά πιο πολύπλοκα απ' ό,τι τα σταθερών καθώς περιλαμβάνουν περισσότερα στοιχεία και χρειάζονται πιο σύνθετα συστήματα ελέγχου, γεγονός που τα καθιστά και πιο ακριβά. Παρ' όλα αυτά, έχουν επίσης πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα σταθερών στροφών, όπως αυξημένη ενεργειακή απόδοση, μείωση θορύβου και μηχανικού φορτίου καθώς και καλύτερο έλεγχο αέργου και

ενεργού ισχύος. Τα τελευταία χρόνια οι περισσότεροι κατασκευαστές έχουν περάσει στην παραγωγή του νέου είδους Α/Γ.

Οι Α/Γ κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες

- τις Α/Γ οριζόντιου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και τουεδάφους
- τις Α/Γ κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους



Σχήμα 3.2 Α/Γ οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα

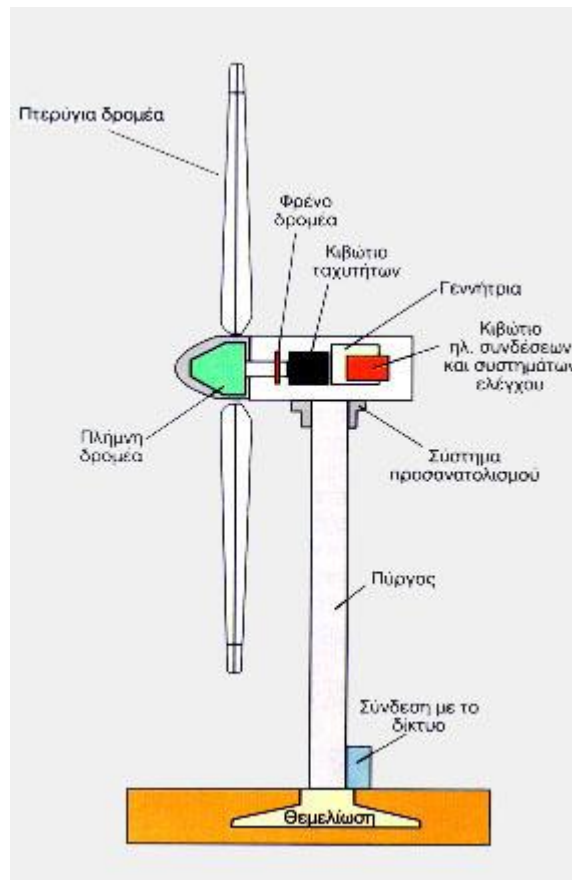
Οι Α/Γ κατακόρυφου άξονα έχουν το πλεονέκτημα ότι η γεννήτρια, το κιβώτιο ταχυτήτων και άλλα μέρη της Α/Γ τοποθετούνται στο έδαφος και έτσι δεν απαιτείται πύργος. Επιπλέον δεν απαιτείται και σύστημα προσανατολισμού. Οι Α/Γ κατακόρυφου άξονα έχουν όμως τα πρακτικά μειονεκτήματα ότι το κάτω μέρος του δρομέα βρίσκεται πολύ κοντά στο έδαφος όπου και επικρατούν χαμηλές ταχύτητες ανέμου, έχουν μέτρια συνολική απόδοση, ο δρομέας δεν αναπτύσσει ροπή εκκίνησης, απαιτείται σχετικά μεγάλη επιφάνεια λόγω των καλωδίων στήριξης και συναντάται δυσκολίες μηχανικής συντήρησης

Παρόλο που δεν υφίσταται κανένας καθοριστικός λόγος, εκτός ίσως από την εμφάνιση, στην αγορά έχουν επικρατήσει αποκλειστικά οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, με δύο ή τρία πτερύγια. Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη :

- το δρομέα, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήμνη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα τους μεταβάλλοντας το βήμα
- το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής
- την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται

συνήθως πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας . Υπάρχει και το σύστημα πέδης το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας

- το σύστημα προσανατολισμού, αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου
- τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα
- τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της.



Σχήμα 3.3 Μέρη από τα οποία αποτελείται μια Α/Γ

3.1.2. Απόδοση Ανεμογεννήτριας

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watt.

Οι τυπικές διαστάσεις μιας ανεμογεννήτριας 500 kW είναι: Διάμετρος δρομέα, 40 μέτρα και ύψος 40-50 μέτρα , ενώ αυτής των τριών MW οι διαστάσεις είναι 80 και 80–100 μέτρα αντίστοιχα.

Συνοπτικά κατά την λειτουργία της ανεμογεννήτριας, έχουμε περιστροφή των πτερυγίων της καθώς φυσάει και μετάδοση της κίνησης αυτής στον άξονα περιστροφής, ο οποίος, χάρη σε ένα σύστημα προσανατολισμού, βρίσκεται πάντα παράλληλα προς την κατεύθυνση του ανέμου. Η κινητική ενέργεια του άξονα περιστροφής, μετατρέπεται από μια γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια με κατάλληλη σύνδεση, διοχετεύεται στο δίκτυο. Σ' αυτό το σημείο, θα πρέπει να αναφέρουμε πως η σχέση που συνδέει την ταχύτητα του ανέμου, με την αεροδυναμική ισχύ του δρομέα , είναι η πιο κάτω:

$$P_{αερ} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Cp(\lambda) \cdot A \cdot Vw^3 \quad (3.1)$$

όπου A: η διατομή των πτερυγίων (δρομέα), ρ: η πυκνότητα του αέρα και Cp: ο αεροδυναμικός συντελεστής , με το λ να εξαρτάται από την ακτίνα και την ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων , από τον εξής τύπο:

$$\lambda_{opt} = \frac{\omega_{R,opt} \cdot R}{Vw} \quad (3.2)$$

Η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα , δίνεται από την σχέση:

$$\omega r = (1 - s) \cdot \omega s = (1 - s) \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot fe}{p/2} \quad (3.3)$$

η οποία ισχύει στις ανεμογεννήτριες επαγωγής. Αν θέσουμε ότι η ολίσθηση s ισούται με μηδέν, τότε η πιο πάνω σχέση ισχύει και για τις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Στην περίπτωση αιολικών πάρκων, ο τύπος της αεροδυναμικής ισχύος θα πολλαπλασιαστεί, ανάλογα με τον αριθμό και τον τύπο των ανεμογεννητριών που υπάρχουν στο αιολικό πάρκο.

3.1.3. Τυπικές Διαμορφώσεις Ηλεκτρικού Μέρους Ανεμογεννήτριας

Οι Α/Γ μπορούν να διακριθούν ανάλογα με τις αρχές λειτουργίας τους και ελέγχου τους σε:

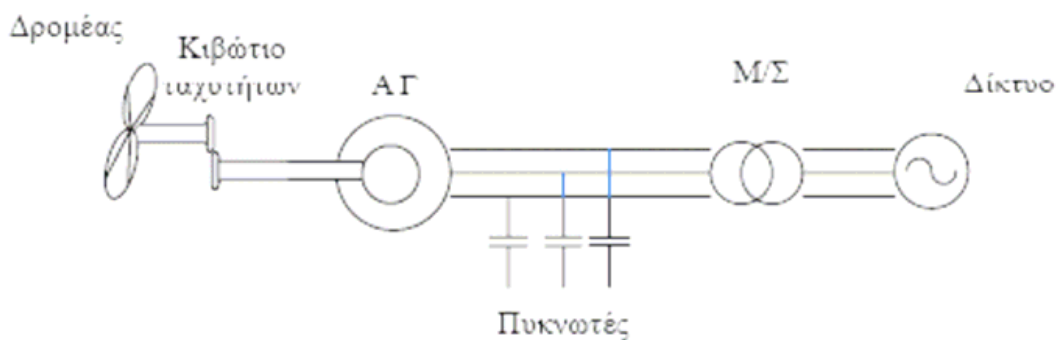
- 1) σταθερών στροφών (fixed speed), λειτουργώντας σε ένα στενό εύρος ταχύτητας περιστροφής λίγο πάνω από την σύγχρονη ταχύτητα
- 2) μεταβλητών στροφών (variable speed), λειτουργώντας σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων πάνω και κάτω από τη σύγχρονη ταχύτητα. Στις μεταβλητών στροφών, η ταχύτητα περιστροφής βελτιστοποιείται με βάση την τιμή του εισερχόμενου ανέμου με στόχο την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης
- 1) σταθερού βήματος έλικας (stall control), όπου η γωνία βήματος δεν αλλάζει δυναμικά

2) μεταβλητού βήματος (pitch control), π.χ. με έλεγχο της γωνίας βήματος έλικας. Στις Α/Γ με έλεγχο βήματος, η ισχύς εξόδου βελτιστοποιείται ρυθμίζοντας τη γωνία βήματος ανάλογα με την ταχύτητα ανέμου

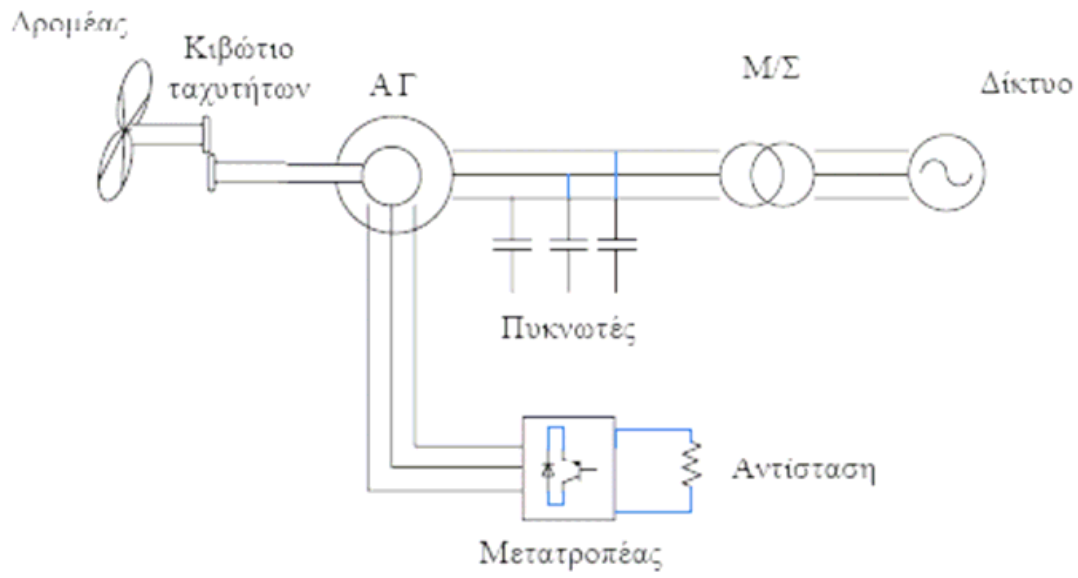
- Οι ανεμογεννήτριες είναι εφοδιασμένες με:
 - 1) γεννήτρια επαγωγής με βραχυκυκλωμένο δρομέα
 - 2) γεννήτρια επαγωγής διπλής τροφοδότησης (ΓΕΔΤ) ελεγχόμενη από μετατροπείς συχνότητας (partial load)
 - 3) πολυπολική σύγχρονη γεννήτρια και μετατροπείς συχνότητας πλήρους φορτίου (full load).
- 1) απευθείας συνδεδεμένες σε AC δίκτυα
- 2) συνδεδεμένες σε AC δίκτυα μέσω μετατροπέων συχνότητας
- Πιθανά, περισσότερα κριτήρια διαχωρισμού μπορούν να εντοπιστούν

Τυπικές διαμορφώσεις του ηλεκτρικού σχήματος των Α/Γ φαίνεται παρακάτω

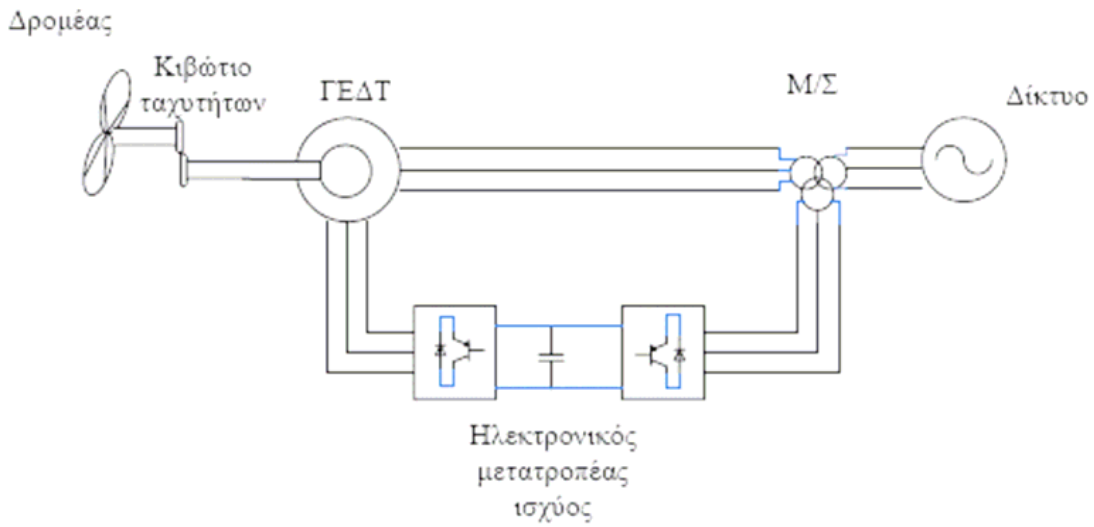
(α)



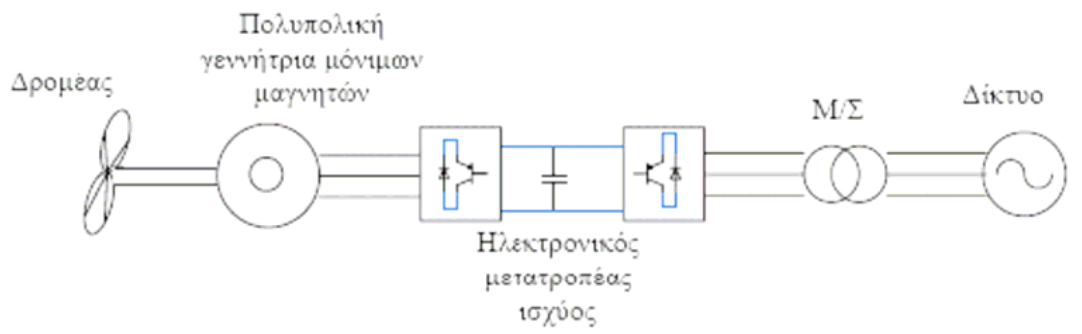
(β)



(γ)



(δ)



Σχήμα 3.4 Τυπικές διαμορφώσεις ηλεκτρικού μέρους Α/Γ

- (α) η σταθερών στροφών Α/Γ εφοδιασμένη με γεννήτρια επαγωγής,
- (β) η εν μέρει μεταβλητών στροφών Α/Γ εφοδιασμένη με γεννήτρια επαγωγής διπλής εξόδου με μεταβλητή αντίσταση δρομέα,
- (γ) η μεταβλητών στροφών Α/Γ εφοδιασμένη με γεννήτρια επαγωγής διπλής τροφοδότησης ελεγχόμενη από μετατροπέα,
- (δ) η μεταβλητών στροφών Α/Γ εφοδιασμένη με σύγχρονη γεννήτρια μόνιμων μαγνητών συνδεδεμένη στο δίκτυο μέσω μετατροπέα συχνότητας.

Τα πλεονεκτήματα των Α/Γ τύπου stall είναι η απλότητα, το χαμηλό κόστος, η αξιοπιστία και η έλλειψη συντήρησης. Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι τα υψηλότερα φορτία σε δρομέα και δομικό σύστημα, η ελλιπής κατανόηση του δυναμικού φαινομένου stall, η αδυναμία ρύθμισης της ισχύς εξόδου και το ότι η καμπύλη ισχύος μπορεί να μεταβάλλεται με τον χρόνο.

Οι Α/Γ τύπου pitch έχουν καλύτερη απόδοση σε χαμηλό άνεμο, δυνατότητα περιορισμού της ισχύος (χωρίς διακοπή της λειτουργίας) και χαμηλότερα φορτία σε πτερύγια και δομικό σύστημα Α/Γ. Παρουσιάζουν όμως πολυπλοκότητα και ανάγκες συντήρησης, διακυμάνσεις ισχύος σε υψηλό άνεμο και κόπωση πτερυγίων λόγω αδρανειακής φόρτισης.

3.2. Περιορισμοί Διείσδυσης

3.2.1. Τεχνικά Ελάχιστα των Συμβατικών Μονάδων Παραγωγής

Στην περίπτωση αιολικών πάρκων που συνδέονται σε ηλεκτρικά συστήματα περιορισμένου μεγέθους, όπως αυτά των μη διασυνδεδεμένων νησιών, τότε το σύστημα και ειδικότερα οι συμβατικές μονάδες παραγωγής εισάγουν σημαντικούς περιορισμούς στην λειτουργία των Α/Γ. Οι περιορισμοί αυτοί γνωστοί και ως περιορισμοί διείσδυσης, σχετίζονται με τα τεχνικά ελάχιστα των συμβατικών μονάδων και με τη δυναμική τους συμπεριφορά.

Τα αυτόνομα νησιωτικά συστήματα τροφοδοτούνται κατά κανόνα από πετρελαϊκές μονάδες (ντιζελογεννήτριες) με καύσιμο μαζούτ ή ντίζελ, οι οποίες δεν είναι αποδεκτό να υποφορτίζονται κάτω από ένα συγκεκριμένο ποσοστό της ονομαστικής τους ισχύος (κυρίως για λόγους φθορών, αυξημένων αναγκών συντήρησης και αντιοικονομικής λειτουργίας των κινητήρων ντίζελ). Έτσι, σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας τίθεται ο ακόλουθος περιορισμός για κάθε συμβατική μονάδα παραγωγής

$$P_{D\min} \leq P_D \leq P_{Dn} \quad (3.4)$$

$$P_{D\min} = c_T P_{Dn} \quad (3.5)$$

όπου $P_{D\min}$ το τεχνικό της ελάχιστο

P_{Dn} η ονομαστική της ισχύ

P_D η παραγόμενη ισχύς από τη μονάδα και

c_T ο συντελεστής τεχνικού ελαχίστου, ως ποσοστό της ονομαστικής ισχύος της μονάδας.

Ο συντελεστής τεχνικού ελαχίστου εξαρτάται σημαντικά από το είδος και την παλαιότητα της μονάδος και καθορίζεται κατά περίπτωση. Τιμές που γενικά χρησιμοποιούνται είναι 40%-60% με χαμηλότερες τιμές για μονάδες ελαφρού πετρελαίου και υψηλότερες σχετικά για μονάδες με καύσιμο μαζούτ

Εάν P_L είναι η ισχύς του φορτίου, P_W η αιολική παραγωγή και P_D η παραγωγή των συμβατικών μονάδων, το ισοζύγιο ισχύος στο σύστημα επιβάλλει

$$P_D = P_L - P_W \quad (3.7)$$

οπότε ο περιορισμός του τεχνικού ελάχιστου οδηγεί σε αντίστοιχο περιορισμό αιολικής διείσδυσης:

$$P_D \geq P_{D\min} \Rightarrow P_W \leq P_L - c_T P_{Dn} = P_{W\max,T} \quad (3.8)$$

δηλαδή η αιολική παραγωγή δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή $P_{W\max,T}$ προκειμένου να μην υποφορτίζονται οι συμβατικές μονάδες παραγωγής. Προφανώς, όσο υψηλότερα τα τεχνικά ελάχιστα (δηλαδή μεγαλύτερος ο συντελεστής c_T) και η ονομαστική ισχύς των εν λειτουργία συμβατικών μονάδων γεννητριών, τόσο χαμηλότερο το προκύπτον όριο διείσδυσης των ανεμογεννητριών

Εάν ο σταθμός περιλαμβάνει μονάδες με διαφορετικούς συντελεστές τεχνικού ελαχίστου, η παραπάνω σχέση τροποποιείται:

$$P_W \leq P_L - \sum c_T P_{Dn} = P_{W\max,T} \quad (3.9)$$

Όπου η άθροιση γίνεται για το σύνολο των εν λειτουργία μονάδων του σταθμού.

Κατά τον προγραμματισμό της λειτουργίας των συμβατικών μονάδων παραγωγής τηρείται πάντοτε κάποια στρεφόμενη εφεδρεία, δηλαδή η ονομαστική ισχύς των εν λειτουργία ντιζελογεννητριών είναι μεγαλύτερη από την ισχύ εξόδου τους, ώστε να είναι σε θέση να αναλάβουν πρόσθετη ισχύ, αν αυτό απαιτηθεί. Η συνολική στρεφόμενη εφεδρεία καθορίζεται κατ' αρχήν από την εφεδρεία που τηρείται για την κάλυψη ενδεχόμενης απώλειας αιολικής παραγωγής σε χρόνους δευτερολέπτων ή λεπτών, εντός των οποίων δεν υπάρχει χρόνος για εκκίνηση νέας συμβατικής μονάδας. Στην πράξη τηρείται πλήρης εφεδρεία όσον αφορά την αιολική παραγωγή, δηλαδή οι εν λειτουργία μονάδες επαρκούν για την κάλυψη του φορτίου ακόμη και στο ενδεχόμενο πλήρους απώλειας της αιολικής ισχύος.

3.2.2. Δυναμικοί Περιορισμοί

Η έντονη διακύμανση της ισχύος εξόδου των ανεμογεννητριών σε κλίμακα χρόνου δευτερολέπτων προκαλεί αντίστοιχες μεταβολές στην ισχύ που παράγεται από τις συμβατικές μονάδες, αφού η ισχύς του φορτίου $P_L = P_D + P_W$ είναι περίπου σταθερή. Όταν οι μεταβολές αυτές είναι μεγάλου μεγέθους προκαλούνται διακυμάνσεις στη συχνότητα των αυτόνομων συστημάτων, η οποία ρυθμίζεται από τους ρυθμιστές στροφών των συμβατικών μονάδων του σταθμού.

Ιδιαίτερα σημαντικές αποκλίσεις συχνότητας ή ακόμη και κίνδυνος για την ευστάθεια του συστήματος μπορεί να υπάρξει στην περίπτωση απότομης απώλειας της αιολικής παραγωγής, όταν αυτή καλύπτει σημαντικό ποσοστό του φορτίου. Το ενδεχόμενο αυτό μπορεί να προέλθει κυρίως εξαιτίας σφαλμάτων επί του δικτύου, αλλά δυνητικά και ως αποτέλεσμα υψηλών ταχυτήτων ανέμου που υπερβαίνουν την ταχύτητα αποσύνδεσης των Α/Γ.

Κατά αντιστοιχία με τους περιορισμούς τεχνικών ελαχίστων, οι δυναμικοί περιορισμοί διείσδυσης διατυπώνονται ως:

$$P_W \leq c_D P_{Dn} = P_{W_{\max,D}} \quad (3.10)$$

όπου c_D ο συντελεστής μέγιστης διείσδυσης αιολικής ισχύος.

Το αποδεκτό όριο στιγμιαίας διείσδυσης της αιολικής ισχύος, c_D , εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των συμβατικών μονάδων και των ρυθμιστών τους, το είδος και τη γεωγραφική διασπορά των αιολικών πάρκων και τις ιδιαίτερες συνθήκες λειτουργίας κάθε συστήματος και συνεπώς δεν υπάρχει κάποιο όριο γενικής εφαρμογής. Παρ' όλα αυτά, από τη μέχρι σήμερα εμπειρία γίνεται αποδεκτό ότι το μέγιστο στιγμιαίο όριο διείσδυσης δεν πρέπει αν υπερβαίνει το 25%-40% της ισχύος των εν λειτουργία συμβατικών μονάδων, με τις χαμηλότερες τιμές να αφορούν συστήματα μεγαλύτερου μεγέθους.

Η τήρηση υψηλής στρεφόμενης εφεδρείας συμβατικών μονάδων οδηγεί σε χαλάρωση των δυναμικών περιορισμών διείσδυσης της αιολικής ισχύος

3.2.3. Συνολικοί Περιορισμοί Διείσδυσης και Κατανομή τους στα Αιολικά Πάρκα

Ο συνολικός περιορισμός απορρόφησης αιολικής ισχύος προκύπτει από τις παραπάνω σχέσεις ως:

$$P_W \leq P_{W_{\max}} = \min \{ P_{W_{\max,T}}, P_{W_{\max,D}} \} \quad (3.11)$$

δηλαδή υπερισχύει ο αυστηρότερος από τους δύο επιμέρους περιορισμούς. Στην περίπτωση που στο σύστημα λειτουργούν περισσότερα του ενός αιολικά πάρκα, το όριο $P_{W_{\max}}$ επιμερίζεται στα επιμέρους πάρκα αναλογικά προς τη συμφωνημένη ισχύς τους. Έτσι, ο περιορισμός που τίθεται για την ισχύ εξόδου του αιολικού πάρκου είναι:

$$P_{Wk} \leq P_{W \max,k} = \left(\frac{P_{Wn,k}}{P_{Wn,tot}} \right) P_{W \max} \quad (3.12)$$

όπου $P_{Wn,tot} = \sum_j P_{Wn,j}$ η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιολικών στο σύστημα.

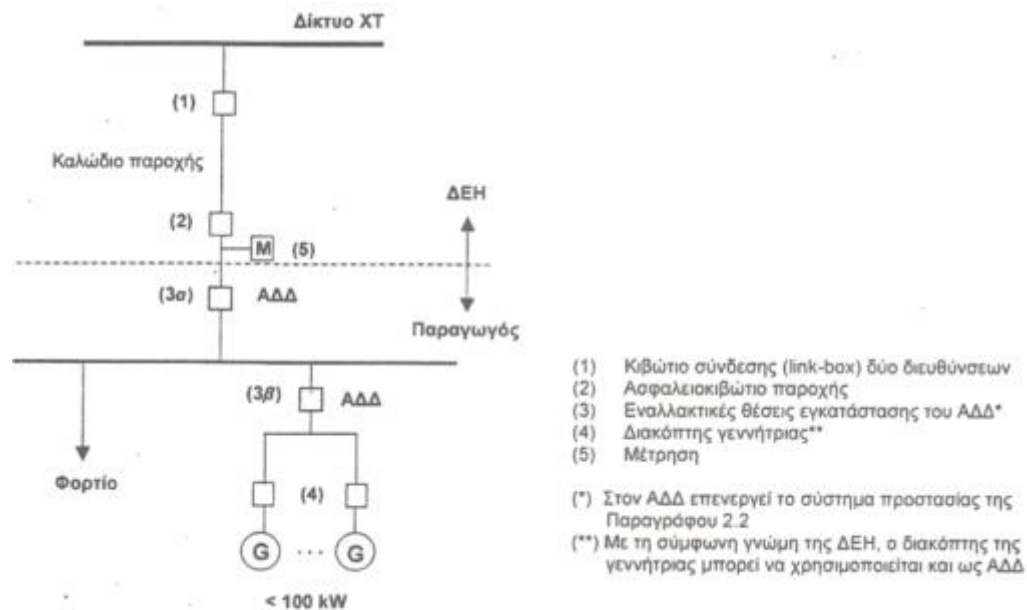
3.3. Σύνδεση Ανεμογεννήτριας στο Ηλεκτρικό Δίκτυο

Για τη σύνδεση των ανεμογεννητριών στο δίκτυο διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Την σύνδεση Α/Γ στο δίκτυο ΧΤ (220/380V) από το οποίο τροφοδοτούνται και άλλοι καταναλωτές ΧΤ.
- Την σύνδεση Α/Γ στο δίκτυο ΜΤ (π.χ. 20KV) μέσω ιδιαίτερου Μ/Σ ανυψώσεως.
- Την σύνδεση Αιολικών Πάρκων, δηλαδή πολλών Α/Γ εγκατεστημένων σε μικρές μεταξύ τους αποστάσεις, οι οποίες μπορούν να συνδέονται προς το δίκτυο ΜΤ μέσω Μ/Σ ανυψώσεως ανά μία ή ανά ομάδες Α/Γ.

Η σύνδεση γεννητριών παραγωγών στο δίκτυο ΧΤ επιτρέπεται για εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος μέχρι 100kW. Ανάλογα με την ισχύ των γεννητριών που θα συνδεθούν στο δίκτυο ΧΤ, εξετάζεται αν είναι δυνατή η σύνδεση χωρίς επαύξηση της παροχής του παραγωγού. Αν απαιτείται επαύξηση της παροχής γίνεται μελέτη επάρκειας του δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη τους απαραίτητους όρους και προϋποθέσεις.

Εγκαταστάσεις παραγωγής μπορούν να συνδέονται σε μια φάση μέχρι την ισχύ των 4,6 kVA. Στην περίπτωση εγκατάστασης παραγωγής με περισσότερες μοναδιαίες εγκαταστάσεις/γεννήτριες, ο παραπάνω περιορισμός αφορά την κάθε μονάδα, υπό την προϋπόθεση όμως ότι οι μονάδες κατανέμονται ομοιόμορφα στις τρεις φάσεις.



Σχήμα 3.5 Τυπική διάταξη σύνδεσης παραγωγού στο δίκτυο ΧΤ.

Η σύνδεση εγκατάστασης παραγωγής στο δίκτυο ΜΤ γίνεται μέσω διάταξης ζεύξης, η οποία πρέπει να διαθέτει τη δυνατότητα διακοπής ρεύματος φορτίου, να περιλαμβάνει μέσο ορατής απόζευξης και να είναι ανά πάσα στιγμή προσιτή στην υπεύθυνη αρχή του δικτύου. Όπως και στην περίπτωση των καταναλωτών ΜΤ, η διάταξη ζεύξης πρέπει να διαθέτει τα αναγκαία μέσα προστασίας έναντι βραχυκυκλωμάτων στο εσωτερικό των εγκαταστάσεων, τα οποία πρέπει να συνεργάζονται με τα μέσα προστασίας του δικτύου.

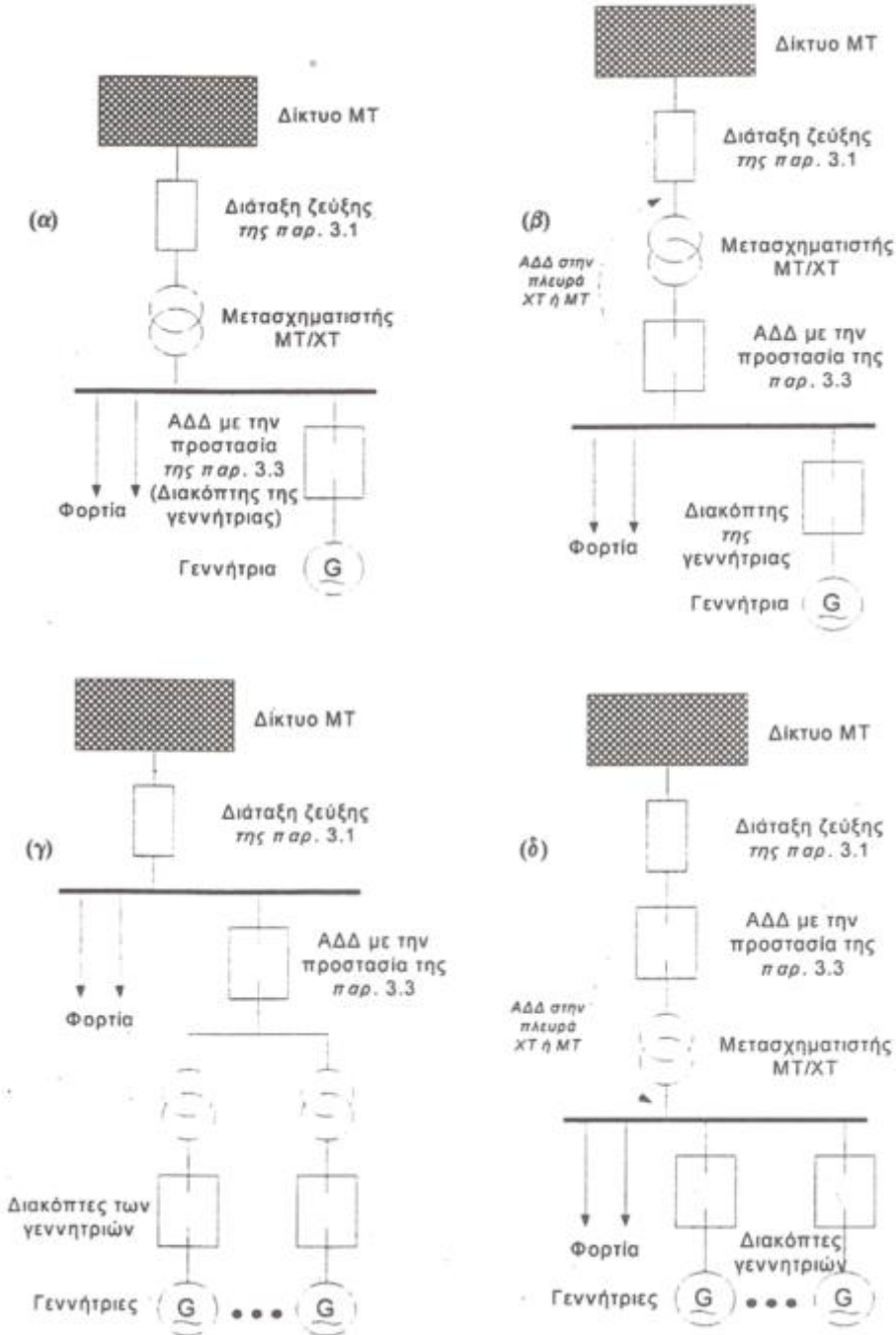
Σε εγκαταστάσεις παραγωγής με περισσότερες από μία μονάδες εγκατάστασης, οι οποίες συνδέονται στον υποσταθμό ζεύξης μέσω εσωτερικού δικτύου ΜΤ (π.χ. αιολικά πάρκα), συνιστάται η εγκατάσταση προτασσόμενης προστασίας απόζευξης, η οποία αποσυνδέει κεντρικά το σύνολο των εγκαταστάσεων παραγωγής. Η προστασία αυτή πρέπει να επενεργεί σε διακόπτη ισχύος, ο οποίος μπορεί να αναλάβει και τη λειτουργία της διάταξης ζεύξης.

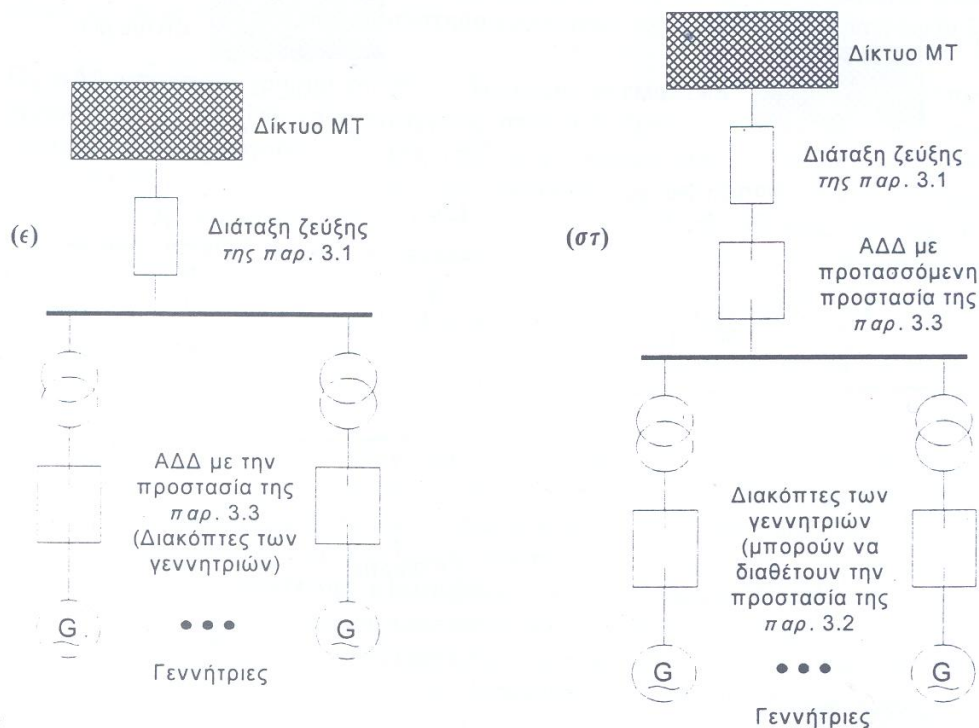
Για την επιλογή των διατάξεων ζεύξης πρέπει να ληφθεί υπόψη η μέγιστη ισχύς βραχυκύκλωσης, στην οποία συμβάλλει τόσο το δίκτυο όσο και οι μονάδες των γεννητριών (ιδιαίτερα στην περίπτωση εγκαταστάσεων με σύγχρονες γεννήτριες). Η στάθμη βραχυκύκλωσης που προκύπτει δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 250 MVA. Σε αντίθεση περίπτωση ο παραγωγός πρέπει να λαμβάνει μέτρα περιορισμού του ρεύματος βραχυκύκλωσης των εγκαταστάσεων του.

Για την προστασία της εγκατάστασης του παραγωγού, αλλά και άλλων συνδεδεμένων εγκαταστάσεων στο δίκτυο ΜΤ, απαιτείται η τοποθέτηση συστήματος απόζευξης, το οποίο επενεργεί στο διακόπτη ζεύξης (ΑΔΔ) της εγκατάστασης παραγωγής και εξασφαλίζει την άμεση απόζευξη της όταν εμφανιστούν ανεπιτρεπτες διακυμάνσεις της τάσης και της συχνότητας.

Μέσω της προστασίας απόζευξης αποτρέπεται η νησιδοποίηση τμήματος του δικτύου που έχει απομονωθεί από το υπόλοιπο δίκτυο, τα φορτία του οποίου τροφοδοτούνται από την

εγκατάσταση παραγωγής. Τέτοιες καταστάσεις απομονωμένης λειτουργίας μπορούν να προκαλέσουν την εμφάνιση σοβαρών υπερτάσεων (ιδιαίτερα στην περίπτωση ασύγχρονων γεννητριών, λόγω αυτοδιέγερσης τους), αλλά και εγκυμονούν κινδύνους για την ασφάλεια του προσωπικού που εργάζεται στο δίκτυο.





Σχήμα 3.6 Παραδείγματα εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο ΜΤ

- (α) Μια γεννήτρια χωρίς δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας
- (β) Μια γεννήτρια με δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας
- (γ) Περισσότερες γεννήτριες χωρίς δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας
- (δ) Περισσότερες γεννήτριες με δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας
- (ε) Εγκατάσταση παραγωγής με περισσότερες γεννήτριες, χωρίς κεντρικό διακόπτη σύνδεσης
- (στ) Εγκατάσταση παραγωγής με περισσότερες γεννήτριες και κεντρικό διακόπτη σύνδεσης με προτασσομένη προστασία απόζευξης.

Εάν η εγκατάσταση παραγωγής συνδέεται σε γραμμή ΜΤ με σύστημα αυτόματης επανάζευξης (διακόπτης στην αναχώρηση της γραμμής ή ΔΑΕ σε ενδιάμεσο σημείο), τότε είναι αναγκαίο το σύστημα προστασίας απόζευξης να αποσυνδέει τις μονάδες παραγωγής οπωσδήποτε πριν από τη λειτουργία επαναφοράς του διακόπτη. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται επιπλέον ότι το σφάλμα στο απομονωμένο τμήμα του δικτύου δεν εξακολουθεί να τροφοδοτείται από τις γεννήτριες του παραγωγού, προϋπόθεση αναγκαία για την αποτελεσματικότητα του συστήματος βραχείας διακοπής/ταχείας επανάζευξης των εναέριων δικτύων ΜΤ.

Το σύστημα προστασίας απόζευξης περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον προστασίες υπότασης, υπέρτασης, υποσυχνότητας και υπερσυχνότητας, περιοχές ρύθμισης και ενδεικτικές ρυθμίσεις. Η επιτήρηση της τάσης πρέπει να γίνεται και στις τρεις φάσεις, ώστε να ανιχνεύονται ακόμη και μονοφασικές διαταραχές. Η επιτήρηση της συχνότητας αρκεί να γίνεται σε μία φάση. Το σύστημα προστασίας απόζευξης μπορεί ακόμη να διαθέτει ηλεκτρονόμο υπερέντασης για την ανίχνευση της τροφοδότηση εξωτερικών σφαλμάτων από την εγκατάσταση παραγωγής, εφόσον όμως μπορεί να εξασφαλιστεί η επιλογική του συνεργασία με τα λοιπά μέσα προστασίας έναντι υπερεντάσεων της εγκατάσταση και η μη διέγερσή του από τα ρεύματα ζεύξης αυτής.

Ο συντελεστής ισχύος στην έξοδο της εγκατάστασης παραγωγής (ή της συνολικής εγκατάστασης καταναλωτή, ο οποίος διαθέτει και εγκαταστάσεις παραγωγής) πρέπει να νε βρίσκεται εντός ενός διαστήματος τιμών. Συνήθης περιοχή αποδεκτών τιμών του είναι μεταξύ 0,95 επαγωγικού και 0,95 χωρητικού.

Δεδομένου ότι η απορρόφηση σημαντικής άεργου ισχύος από μια εγκατάσταση συνεπάγεται αυξημένες απώλειες και πτώσεις τάσεως στο δίκτυο, μπορεί να είναι αναγκαία η αντιστάθμιση της καταναλισκόμενης άεργου ισχύος, συνήθως με τη βοήθεια αποξυζιμων συστοιχιών πυκνωτών. Η αντιστάθμιση μπορεί να πραγματοποιείται τοπικά για κάθε μονάδα γεννήτριας ή ομάδα γεννητριών, ή/και κεντρικά για το σύνολο της εγκατάστασης.

3.4. Προβλήματα-Κανόνες Σύνδεσης

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

Η σύνδεση στο δίκτυο μονάδων παραγωγής πρέπει να συμβαδίζει με αυτές τις γενικές αρχές, ώστε αφενός μεν να μην προκαλούνται ενοχλήσεις στους λοιπούς καταναλωτές και αφ' έτερου να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ του δικτύου διανομής και των εγκαταστάσεων των παραγωγών.

Η σύνδεση των παραγωγών στο δίκτυο μέσης τάσης (MT) ή χαμηλής τάσης (XT) έχει ως κοινό στόχο την διασφάλιση της ομαλής συνεργασίας των εγκαταστάσεων με το δίκτυο, την ασφάλεια προσώπων και εγκαταστάσεων και την εξασφάλιση αποδεκτής ποιότητας ισχύος. Βασικά κριτήρια και προϋποθέσεις που εξετάζονται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση νέων εγκαταστάσεων παραγωγής είναι τα ακόλουθα:

- Επάρκεια δικτύου (γραμμών, μετασχηματιστών κλπ.)
- Συμβολή στη στάθμη βραχυκύκλωσης
- Αργές μεταβολές της τάσης (μόνιμης κατάστασης)
- Ταχείες μεταβολές της τάσης
- Εκπομπές flicker
- Εκπομπές αρμονικών
- Διαμόρφωση των προστασιών της διασύνδεσης εγκαταστάσεων-δικτύου
- Επίπτωση στη λειτουργία συστημάτων Τηλεχειρισμού Ακουστικής Συχνότητας (ΤΑΣ)

3.5. Μειονεκτήματα

- Η αιολική ενέργεια πρέπει να συναγωνιστεί τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε επίπεδο κόστους. Ανάλογα με το πόσο ενεργητική, ως προς τον άνεμο, είναι μια τοποθεσία, το αιολικό πάρκο μπορεί ή δεν μπορεί να είναι ανταγωνιστικό ως προς το κόστος. Παρότι το κόστος της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί δραματικά τα τελευταία 10 χρόνια, η

τεχνολογία απαιτεί μια αρχική επένδυση υψηλότερη από εκείνη των γεννητριών που λειτουργούν με καύση ορυκτών.

- Η ισχυρότερη πρόκληση στη χρησιμοποίηση του ανέμου ως πηγή ενέργειας είναι ότι ο άνεμος είναι περιοδικά διακοπτόμενος και δεν φυσά πάντα όταν ο ηλεκτρισμός απαιτείται. Η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί (εκτός αν χρησιμοποιηθούν μπαταρίες). Επιπλέον, δεν μπορούν όλοι οι άνεμοι να τιθασευτούν ώστε να καλυφθούν, τη στιγμή που προκύπτουν, οι ανάγκες σε ηλεκτρισμό.
- Τα κατάλληλα σημεία για αιολικά πάρκα συχνά βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, μακριά από πόλεις όπου χρειάζεται ο ηλεκτρισμός.
- Η ανάπτυξη της εκμετάλλευσης του ανέμου ως φυσικού πόρου μπορεί ίσως να συναγωνιστεί άλλες χρήσεις της γης και αυτές οι εναλλακτικές χρήσεις ίσως χαίρουν μεγαλύτερης εκτιμήσεως απ' ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού.
- Αν και τα αιολικά πάρκα έχουν σχετικά μικρή επίπτωση στο περιβάλλον σε σύγκριση με άλλες συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, υπάρχει ένας προβληματισμός για τον θόρυβο που παράγεται από τις λεπίδες του ηλεκτρικού κινητήρα (ρότορα), για την αισθητική (οπτική) επίπτωση και για τα πουλιά που μερικές φορές έχουν σκοτωθεί καθώς πετούσαν προς τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα έχουν επιλυθεί ή έχουν σε σημαντικό βαθμό μειωθεί μέσω της τεχνολογικής ανάπτυξης ή μέσω της επιλογής κατάλληλων περιοχών για τη δημιουργία αιολικών πάρκων.

3.6. Αιολική Ενέργεια και Περιβάλλον

Η μέση αύξηση της θερμοκρασίας στην Ευρώπη τα τελευταία 100 έτη είναι $+0.8^{\circ}\text{C}$. Μια ανεμογεννήτρια των 2MW παράγει την ενέργεια που καταναλώνουν 1000 νοικοκυριά ετησίως. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός αιολικού πάρκου δεν εκπέμπεται διοξείδιο του άνθρακα ή άλλα αέρια που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα (μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, καρκινογόνα μικροσωματίδια κ.α.), όπως συμβαίνει με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε όλη τη διάρκεια της χρήσης της, μία και μόνο ανεμογεννήτρια 1,5 MW μπορεί να εξοικονομήσει περί τους 80.000 τόνους ορυκτού άνθρακα (brown coal). Μπορεί να επιτευχθεί ετήσια αποφυγή εκπομπών CO_2 περίπου 1,5 με 3,5 δις τόνοι που αθροιστικά καταλήγει σε 10 δις ως το 2020 και 30 δις ως το 2030. Αυτό σημαίνει ότι όχι μόνο δεν εντείνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου (κάθε κιλοβάτώρα που παράγεται από αιολικά πάρκα συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός κιλού CO_2 στην ατμόσφαιρα) αλλά δεν υπάρχουν και αρνητικές συνέπειες στη δημόσια υγεία από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ταυτόχρονα, πάνω από το 90% της έκτασης που φιλοξενεί ένα αιολικό πάρκο είναι διαθέσιμο για άλλες χρήσεις, οπότε και άλλες δραστηριότητες όπως για παράδειγμα οι αγροτικές μπορούν να συνυπάρχουν με την εγκατάσταση.

Ωστόσο, δεν υπάρχει ανθρώπινη κατασκευαστική δραστηριότητα που να μην έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η χωροθέτηση των αιολικών πάρκων πρέπει να είναι προσεκτική και να συνοδεύεται από τη αντίστοιχη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων

(ΜΠΕ) του έργου, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ομαλή ενσωμάτωσή τους στο τοπικό περιβάλλον και να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις τους στην βιοποικιλότητα. Αν η χωροθέτηση των ανεμογεννητριών δεν σχεδιαστεί σωστά, είναι πιθανόν να υπάρξουν αρνητικές συνέπειες για τη βιοποικιλότητα όπως π.χ. προβλήματα που μπορούν να δημιουργηθούν στα πουλιά αν οι ανεμογεννήτριες τοποθετηθούν σε σημαντικές μεταναστευτικές οδούς ή καταστροφή σημαντικών ενδιαιτημάτων εξαιτίας της διάνοιξης βοηθητικών δρόμων.

3.7. Αποθήκευση Ενέργειας

Ουσιαστική αύξηση της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας σε συστήματα νησιών μπορεί να προκύψει με την εγκατάσταση αποθήκευσης ενέργειας, ώστε η ενέργεια που δύναται να παραχθεί από τις Α/Γ, αλλά δεν μπορεί να απορροφηθεί από το σύστημα, να αποθηκεύεται αντί να απορρίπτεται. Η ενέργεια αυτή ακολούθως ανακτάται σε ώρες όπου η αιολική παραγωγή υπολείπεται της δυνατότητας απορρόφησης. Με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες η μόνη ρεαλιστική και βιώσιμη μέθοδος αποθήκευσης για νησιωτικά ηλεκτρικά συστήματα (ισχύος από λίγα έως εκατοντάδες MW) είναι τα αντλησιοταμιευτικά συστήματα. Οι εγκαταστάσεις αυτές αποθηκεύουν την πλεονάζουσα ενέργεια αντλώντας νερό σε ταμιευτήρα που βρίσκεται σε κάποιο υψόμετρο, αποδίδοντας την ακολούθως στο σύστημα μέσω υδροστροβίλων, όταν αυτό επιτρέπεται.

Υβριδικός σταθμός ή ολοκληρωμένο ενεργειακό σύστημα αυτόνομου (μη διασυνδεδεμένου) δικτύου, είναι ο σταθμός η το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιεί περισσότερες της μιας πηγές ενέργειας καθώς επίσης και σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με στόχο τη μεγιστοποίηση διείσδυσης των ΑΠΕ στο σύστημα και όπου η παραγόμενη από ΑΠΕ ενέργεια χρησιμοποιείται κατά προτεραιότητα τόσο στην τροφοδότηση απ' ευθείας του δικτύου όσο και του συστήματος αποθήκευσης. Σύμφωνα με το Ν. 3468/2006 Υβριδικός Σταθμός είναι κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που:

- Χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή Α.Π.Ε.
- Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το Δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού.
- Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων του σταθμού Α.Π.Ε. δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%

Ο ΥΒΣ αποτελείται:

- Από Αιολικό Πάρκο, που αποτελεί μονάδα παραγωγής Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας (μονάδα ΑΠΕ), χωροθετημένο σε περιοχή με τεκμηριωμένο αιολικό δυναμικό.
- Από δύο ταμιευτήρες (τον άνω και τον κάτω) με υψομετρική διαφορά, που συνδέονται με ένα ή περισσότερους αγωγούς.
- Από τις μονάδες αποθήκευσης ενέργειας, αποτελούμενες από σύστημα αντλιών. (Σύστημα Αντλησιοταμίευσης)
- Από τις ελεγχόμενες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τους υδροστροβίλους.

Το αιολικό πάρκο παράγει ηλεκτρική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για να ανυψωθεί ποσότητα νερού με τη χρήση αντλητικού συστήματος από τον κάτω στον άνω ταμιευτήρα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αποθήκευση ενέργειας (δυναμική ενέργεια). Το όλο σύστημα ονομάζεται αντλησιοταμιευτικό (pumped storage system) ή αναστρέψιμο Υδροηλεκτρικό. Τις ώρες παραγωγής εγγυημένης ισχύος (ώρες αιχμών ζήτησης ισχύος) το νερό κατέρχεται και με τη λειτουργία υδροστροβίλου παράγεται εγγυημένη ενέργεια στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση που δεν έχουμε διαθέσιμη αιολική ισχύ (ασθενείς άνεμοι) το αντλησιοταμιευτικό σύστημα αποθηκεύει ενέργεια από τις συμβατικές μονάδες βάσης (δίκτυο) για την πλήρωση του άνω ταμιευτήρα, πάντα σύμφωνα με τους περιορισμούς που θέτει ο Ν. 3468/06.

Τα πλεονεκτήματα των ΥΒΣ ειδικά για ένα μη διασυνδεδεμένο σύστημα είναι τα εξής:

- Αύξηση της διείσδυσης της αιολικής παραγωγής.
- Αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, για την επίτευξη των εθνικών στόχων.
- Περιορισμός της παραγωγής ενέργειας από συμβατικούς σταθμούς.
- Μείωση των εκπομπών CO₂, προστασία του περιβάλλοντος.
- Ευστάθεια του δικτύου.
- Μείωση του ειδικού κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ρυθμιστές Στροφών και Τάσης των Γεννητριών

4.1. Εισαγωγή

Δύο σημαντικές έννοιες που παίζουν καταλυτικό ρόλο στην ευστάθεια καθώς και στην ομαλή λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, είναι οι έννοιες του Ρυθμιστή Στροφών και Ρυθμιστή τάσης.

Κατά την μοντελοποίηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας στον προσομοιωτή EUROSTAG, κατά την εισαγωγή των γεννητριών των ηλεκτροπαραγωγών σταθμών, αλλά και των ανεμογεννητριών στο σύστημα, χρειάζεται και η προσθήκη των αντιστοίχων ρυθμιστών στροφών και τάσης σ' αυτό, για την κάθε γεννήτρια αντίστοιχα.

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί η γενική λειτουργία των ρυθμιστών στροφών και τάσης και στο τέλος θα παρουσιαστούν τα ειδικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στον προσομοιωτή, για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας.

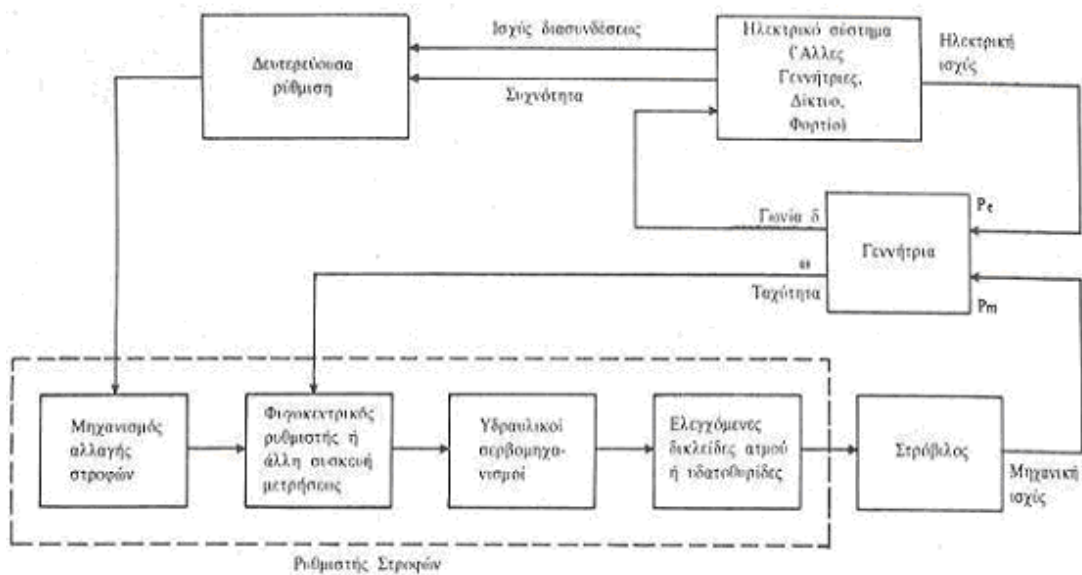
4.2. Ρυθμιστές Στροφών

Όταν μιλάμε για ρύθμιση στροφών ή αλλιώς για ρύθμιση συχνότητας σ' ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, αναφερόμαστε στην συνεχή προσαρμογή της παραγόμενης ισχύος από τις γεννήτριες προς το φορτίο του συστήματος, ώστε η συχνότητα του να διατηρεί συνεχώς την κανονική της τιμή.

Σε αντίθετη περίπτωση, οι γεννήτριες δεν θα μπορούσαν να δεχθούν μια αύξηση φορτίου, αφού απόντος του ρυθμιστή τάσεως, το άνοιγμα των βαλβίδων των στροβίλων τους θα έμενε σταθερό, με αποτέλεσμα να έχουμε επιβράδυνση των μηχανών (σε ενδεχόμενη αύξηση του φορτίου του συστήματος) και μείωση της συχνότητας στο σύστημα γενικά .

Όπως γίνεται αντιληπτό, αν μια γεννήτρια συνδέεται σ' ένα μεγάλο σύστημα, η ταχύτητα περιστροφής της είναι δεσμευμένη από την συχνότητα του συστήματος και ο ρυθμιστής στροφών στην ουσία ελέγχει την παραγόμενη ισχύ από την γεννήτρια.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την λειτουργία του ρυθμιστή στροφών, παραθέτουμε το πιο κάτω σχήμα, που περιγράφει διαγραμματικά τις ρυθμίσεις που χρειάζονται για να διατηρηθεί το σύστημα στα ίδια επίπεδα συχνότητας, μετά από τυχόν προσθαφαίρεση φορτίων σ' αυτό:



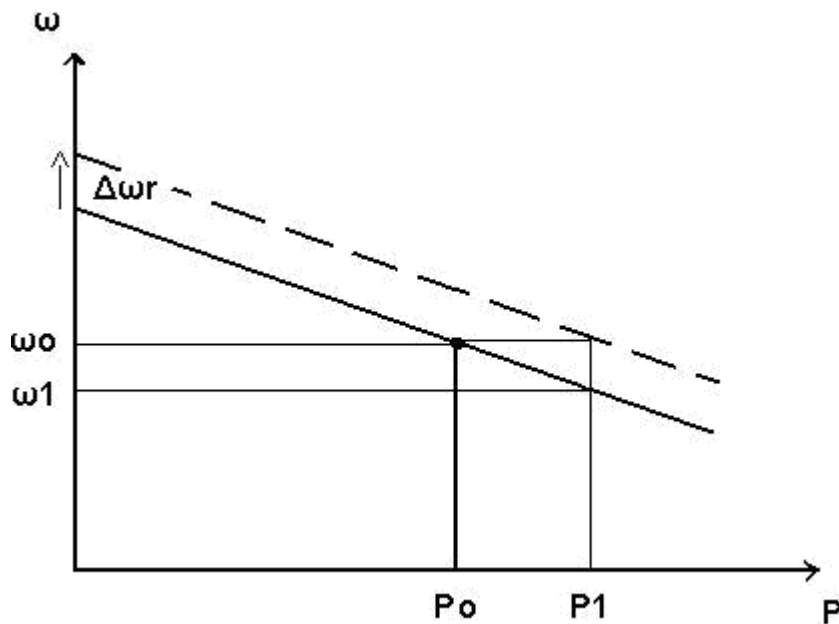
Σχήμα 4.1 Λειτουργικό διάγραμμα ρυθμιστή στροφών

Παρατηρώντας το λειτουργικό διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα, γίνεται αντιληπτό ότι ο ρυθμιστής στροφών κάνει δύο είδους ρυθμίσεις:

α) Την πρωτεύουσα ρύθμιση, η οποία λαμβάνει χώρα όταν γίνει αντιληπτή οποιαδήποτε μεταβολή στην ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας από το φυγόκεντρο ρυθμιστή που είναι συνδεδεμένος με τον άξονα της. Αυτή η μεταβολή όπως αναφέραμε και προηγουμένως, μπορεί να συμβεί μετά από προσθαφαιρέσεις φορτίου στο σύστημα. Ακολούθως δίνεται σήμα-εντολή για την μετακίνηση της δικλείδας του ατμοστροβίλου, ώστε να προσαρμοστεί η μηχανική ισχύς που παράγεται από το στρόβιλο, ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος για την κάλυψη του νέου φορτίου.

β) Την δευτερεύουσα ρύθμιση, η οποία λαμβάνει χώρα μετά το πέρας της πρωτεύουσας ρύθμισης. Εδώ μετριέται το σφάλμα συχνότητας του συστήματος μετά την πρωτεύουσα ρύθμιση, καθώς και τυχόν διαφορές στη διακινούμενη ισχύ των εξωτερικών διασυνδέσεων και αποστέλλονται τα κατάλληλα σήματα στον μηχανισμό αλλαγής στροφών του ρυθμιστή, για την επαναφορά της συχνότητας στην κανονική της τιμή.

Για μια πιο αναλυτική περιγραφή των πιο πάνω ρυθμίσεων, ας θεωρήσουμε την εξής χαρακτηριστική φορτίου-συχνότητας μιας μονάδας (Σχήμα 4.2):



Σχήμα 4.2 Χαρακτηριστική φορτίου-συχνότητας

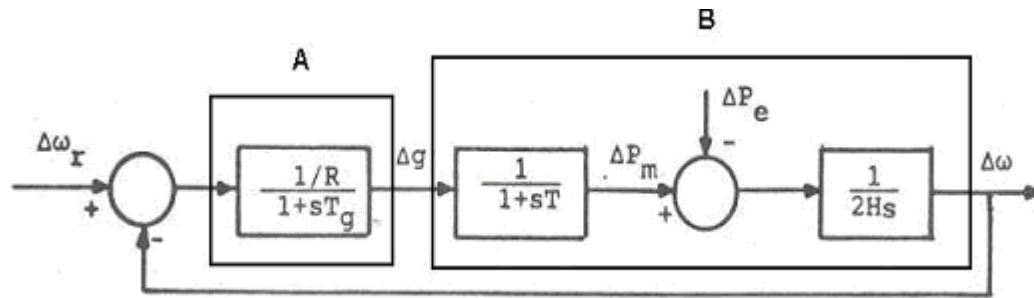
Έστω ότι η μονάδα μας αρχικά βρίσκεται στην ονομαστική της κατάσταση λειτουργίας, δηλαδή έχει συνδεδεμένο το ονομαστικό της φορτίο, P_0 και λειτουργεί στην ονομαστική της συχνότητα, ω_0 . Μια ενδεχόμενη αύξηση του φορτίου στην μονάδα, θα την οδηγήσει μετά το πέρας της πρωτεύουσας ρύθμισης, στην κατάσταση (P_1, ω_1) , με την συχνότητα λειτουργίας της να μειώνεται κατά $\Delta\omega$. Ο μόνος τρόπος για να μπορέσει το σύστημα να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση, είναι η εφαρμογή σ' αυτό της δευτερεύουσας ρύθμισης, με την βοήθεια του μηχανισμού αλλαγής στροφών της μονάδας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μεταφορά της χαρακτηριστικής φορτίου-συχνότητας παράλληλα προς τα πάνω κατά $\Delta\omega_r$, καθώς και επαναφορά του συστήματος στις αρχικές συνθήκες λειτουργίας. Όπως γίνεται αντιληπτό, οι μεταβολές της συχνότητας $\Delta\omega$ και $\Delta\omega_r$ είναι αντίρροπες και ανάλογες με την μεταβολή του φορτίου ΔP .

Τέλος, παρατηρώντας την κλίση της χαρακτηριστικής φορτίου-συχνότητας, μπορούμε να εξάγουμε το μέγεθος του στατισμού της μονάδας, το οποίο συνδέεται με τις μεταβολές $\Delta\omega$

και ΔP ως εξής:
$$R = -\frac{\Delta\omega}{\Delta P} .$$

Ο στατισμός μιας μονάδας, καθώς και τα υπόλοιπα μεγέθη που προαναφέρθηκαν και τα οποία σχετίζονται μ' αυτόν, έχουν μεγάλη σημασία και χρήση, όταν ένας ρυθμιστής στροφών αντιμετωπιστεί σαν ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου.

Έστω λοιπόν ο ρυθμιστής μας είναι ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόγχου, με είσοδο την επιθυμητή μεταβολή της συχνότητας ($\Delta\omega_r$) για την επαναφορά του συστήματος στις αρχικές συνθήκες λειτουργίας και έξοδο την μεταβολή της συχνότητας ($\Delta\omega$), η οποία πραγματικά συμβαίνει στο σύστημα, τότε το όλο σύστημα ελέγχου των στροφών του αμοστροβίλου μπορεί να παρασταθεί με το εξής σχήμα:



Σχήμα 4.3 Βρόχος ελέγχου στροφών ατμοστρόβιλου μιας βαθμίδας

Στην είσοδο του συστήματος που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3, γίνεται σύγκριση των μεταβολών των συχνοτήτων, $\Delta\omega_r$ και $\Delta\omega$, η διαφορά των οποίων θα δώσει το σήμα σφάλματος που θα αναγκάσει τον ρυθμιστή στροφών να μεταβάλει κατά Δg τον ατμό που εισέρχεται στο στρόβιλο της γεννήτριας.

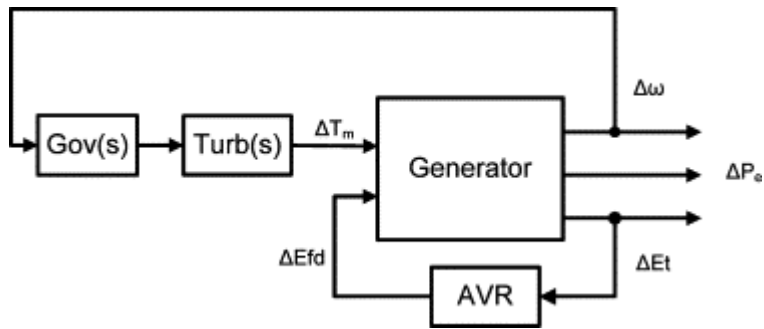
Η όλη αυτή διαδικασία συμβαίνει στο κουτάκι A, το οποίο διέπεται από την συνάρτηση μεταφοράς: $\frac{\Delta g}{\Delta\omega_r - \Delta\omega} = \frac{1/R}{1+T_g.s}$, όπου R ο στατισμός της μονάδας και T_g η χρονική σταθερά του ρυθμιστή στροφών του ατμοστρόβιλου με τιμές από 0,2 μέχρι 1 sec.

Ακολουθώς η μεταβολή Δg του ατμού που εισέρχεται στο στρόβιλο της γεννήτριας, μεταβάλλει σύμφωνα με την συνάρτηση μεταφοράς $\frac{1}{1+T.s}$, την μηχανική ισχύ στον άξονα του στρόβιλου κατά ΔP_m , όπου T η χρονική σταθερά του σερβομηχανισμού. Η διαφορά μεταξύ της μηχανικής και ηλεκτρικής ισχύος στον συγκριτή του κουτιού B, θα έχει ως αποτέλεσμα την επιτάχυνση της γεννήτριας κατά $\Delta\omega$, σύμφωνα με την εξίσωση επιταχύνσεως της γεννήτριας: $P_m - P_e = 2H.d(\Delta\omega)/dt$, όπου H η χρονική σταθερά αδράνειας του στρόβιλου.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι το σχήμα του βρόχου ελέγχου των στροφών του ατμοστρόβιλου, είναι μια γενική περίπτωση περιγραφής της λειτουργίας ενός ρυθμιστή συχνότητας, πάνω στο οποίο με μικρές παρεμβολές θα προσαρμόσουμε τους ρυθμιστές στροφών των ηλεκτροπαραγωγών σταθμών της ΑΗΚ, με τον τρόπο που θα περιγραφεί σε ακόλουθη ενότητα.

Οι αεριοστρόβιλοι ακολουθούν την ίδια λειτουργία με τους ατμοστρόβιλους. Ο αέρας απορροφάται από το συμπιεστή και καταθλίβεται στο θάλαμο καύσης και το μείγμα αέρα και καυσαερίων (αντί του ατμού) οδηγείται στο στρόβιλο, πέφτει πάνω στα πτερύγια του και αποδίνει τη θερμική του ενέργεια που μετατρέπεται σε μηχανική.

Συνεπώς ο ρυθμιστής στροφών του αεριοστρόβιλου ακολουθεί την ίδια λογική με αυτόν του ατμοστρόβιλου. Ο βρόχος ελέγχου στροφών αεριοστρόβιλου μιας βαθμίδας παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 4.4 Βρόγχος ελέγχου στροφών αεριοστρόβιλου μιας βαθμίδας

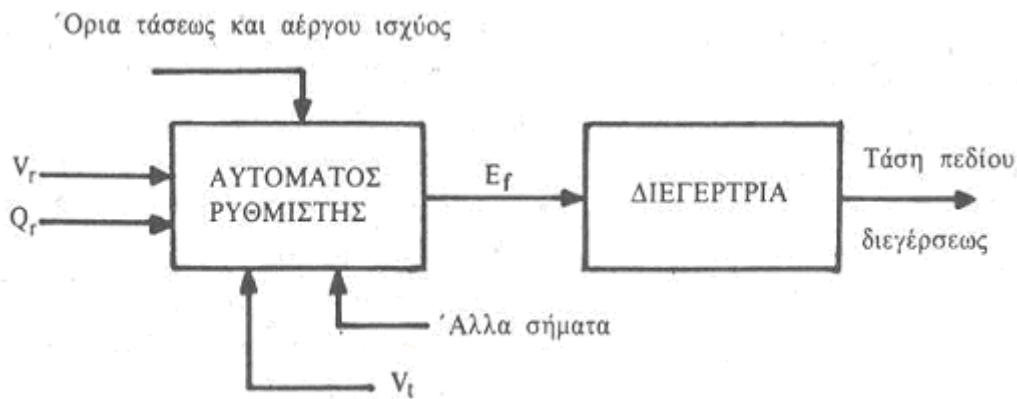
4.3 Ρυθμιστές Τάσης

Όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, ο σκοπός της λειτουργίας ενός ρυθμιστή στροφών μιας γεννήτριας, είναι η διατήρηση μιας σταθερής ταχύτητας περιστροφής στον άξονα της και κατ' επέκταση η διατήρηση σε σταθερά επίπεδα της συχνότητας του συστήματος.

Κατά ανάλογο τρόπο, ένας αυτόματος ρυθμιστής τάσεως μιας γεννήτριας, έχει σκοπό να διατηρεί σταθερή την τάση στους τερματικούς ζυγούς της γεννήτριας. Αυτό γίνεται εφικτό με την κατάλληλη μεταβολή της τάσης του πεδίου διέγερσης, μέσω του συστήματος διεγέρσεως της γεννήτριας.

Η εντολή για την πιο πάνω ρύθμιση, δίνεται από τον αυτόματο ρυθμιστή τάσεως, ο οποίος συγκρίνει το μέτρο της τερματικής τάσεως με την τάση αναφοράς και αναπροσαρμόζει ανάλογα την παραγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη της γεννήτριας. Η ΗΕΔ της γεννήτριας ή αλλιώς τάση διέγερσης της, είναι η τάση στους ακροδέκτες της εν κενώ και καθορίζει την άεργο ισχύ που παράγει ή καταναλώνει η γεννήτρια. Η τάση αυτή συμβολίζεται όπως είναι γνωστό με E_f και είναι μέγεθος ανάλογο προς το μέτρο της συνεχούς τάσης, από την οποία τροφοδοτείται το τύλιγμα του πεδίου (ή αλλιώς τύλιγμα διέγερσης).

Πιο κάτω, παρουσιάζουμε το γενικό διάγραμμα ενός συστήματος διεγέρσεως, το οποίο αποτελείται από τον αυτόματο ρυθμιστή τάσεως και την κύρια διεγέρτρια .



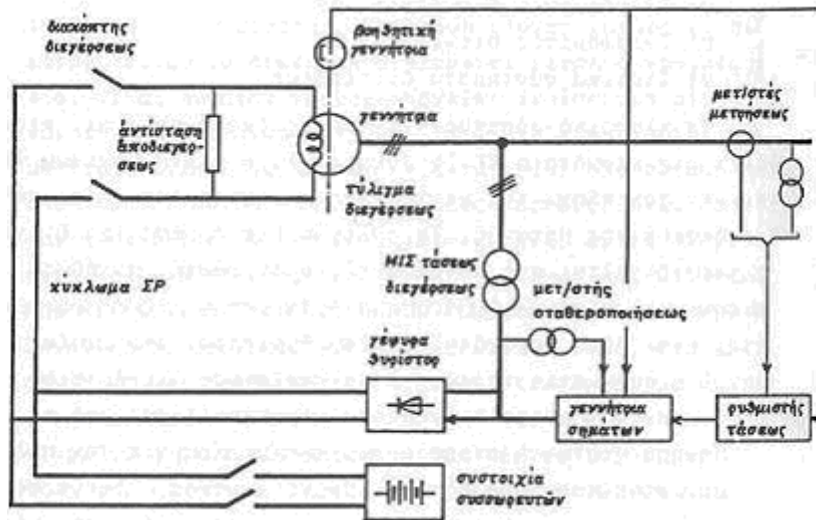
Σχήμα 4.5 Γενική διάταξη συστήματος διεγέρσεως

Ανάλογα με το είδος της κύριας διεγέρτριας, τα συστήματα διεγέρσεως χωρίζονται στις ακόλουθες τρεις βασικές κατηγορίες:

α) Στα στρεφόμενα συστήματα διέγερσης DC, τα οποία περιλαμβάνουν μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος (διεγέρτρια), η οποία κινείται από τον άξονα της γεννήτριας και τροφοδοτεί το τυλίγμα διέγερσης της μηχανής. Το τυλίγμα διέγερσης της διεγέρτριας τροφοδοτείται από συσσωρευτή ή ανορθωτή ή συνήθως από βοηθητική γεννήτρια διέγερσης. Η διέγερση της διεγέρτριας ρυθμίζεται είτε μέσω ροοστάτη ή μέσω θυρίστορ, στο οποίο επενεργεί ο ρυθμιστής τάσης.

β) Στα στρεφόμενα συστήματα διέγερσης AC, τα οποία περιλαμβάνουν μια διεγέρτρια εναλλασσόμενου ρεύματος και ο τύπος των οποίων χαρακτηρίζεται από την χρησιμοποίηση στατών ή στρεφόμενων ανορθωτών, για την ανόρθωση του ρεύματος και την τροφοδότηση του τυλίγματος διέγερσης. Σ' αυτήν την περίπτωση, η χρησιμοποίηση των στρεφόμενων ανορθωτών, παρουσιάζει το πλεονέκτημα να μην απαιτούνται ψήκτρες για τη διέλευση του συνεχούς ρεύματος προς το τυλίγμα διέγερσης.

γ) Στα στατικά συστήματα διέγερσης, τα οποία δεν περιλαμβάνουν διεγέρτρια με την μορφή στρεφόμενης μηχανής. Η διάταξη ενός στατικού συστήματος διέγερσης παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:

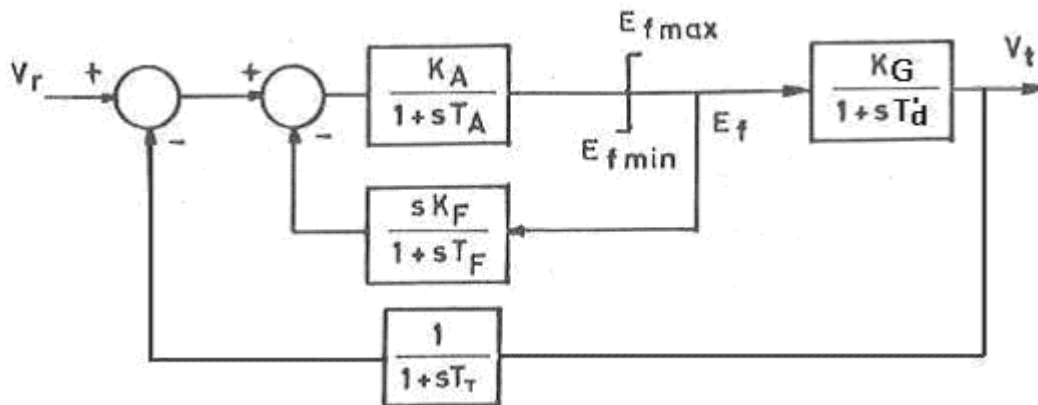


Σχήμα 4.6 Διάταξη αυτοδιεγερμένου στατικού συστήματος διέγερσεως

Σ' αυτήν την περίπτωση η τροφοδότηση του τυλίγματος διέγερσης παρέχεται από την έξοδο της γεννήτριας, μέσω μετασχηματιστή τάσεως και γέφυρας θυρίστορ. Ο ρυθμιστής τάσεως του συστήματος συγκρίνει τη μετρούμενη τάση με την τάση αναφοράς και δίνει σήμα σφάλματος προς τα θυρίστορ, για την ρύθμιση του ρεύματος διεγέρσεως. Ο ρυθμιστής τροφοδοτείται είτε από μικρή βοηθητική γεννήτρια με μόνιμο μαγνήτη κινούμενη από τον άξονα της μηχανής, είτε από άλλη εξωτερική πηγή. Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα στατικά συστήματα διέγερσης ονομάζονται και αυτοδιεγερόμενα, λόγω της τροφοδότησης του τυλίγματος διέγερσης τους, από την έξοδο της γεννήτριας τους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο του στατικού συστήματος διέγερσης, για την δημιουργία των συστημάτων ρυθμίσεως τάσης των ηλεκτροπαραγωγών σταθμών της ΑΗΚ, αφού λόγω του αυτοδιεγερόμενου χαρακτήρα του, επιτυγχάνει ταχύτατες ανταποκρίσεις, με προφανή ευνοϊκά αποτελέσματα στην λειτουργία του όλου ηλεκτρικού μας συστήματος.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η αντιμετώπιση του στατού συστήματος διέγερσης και ρυθμίσεως τάσης σαν σύστημα αυτομάτου ελέγχου. Έστω λοιπόν ο ρυθμιστής μας είναι ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου, με είσοδο την επιθυμητή τάση αναφοράς V_r και έξοδο την πραγματική τερματική τάση στον ζυγό που συνδέεται η γεννήτρια, τότε το όλο σύστημα διέγερσης και ρύθμισης τάσης της γεννήτριας μπορεί να παρασταθεί με το εξής σχήμα:



Σχήμα 4.7 Μοντέλο στατού συστήματος διεγέρσεως και ρυθμίσεως τάσεως

Λόγω του ότι η χρονική σταθερά T_t του εξωτερικού βρόχου ανάδρασης, είναι συνήθως τόσο μικρή ώστε να δικαιολογείται η παράλειψη της, τότε μπορούμε να πούμε ότι η τερματική τάση V_t που παρουσιάζεται στην έξοδο του συστήματος, παρουσιάζεται αυτούσια και στην είσοδο του.

Εκεί λοιπόν, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.7, γίνεται σύγκριση των τάσεων V_r και V_t , η διαφορά των οποίων θα δώσει το σήμα σφάλματος, που θα αναγκάσει τον ρυθμιστή τάσης (ο οποίος χαρακτηρίζεται από το κέρδος ενίσχυσης K_A και την χρονική σταθερά T_A), να αναπροσαρμόσει την τάση διέγερσης E_f , με τέτοιο τρόπο ώστε η τερματική τάση V_t , να επανέλθει στην κανονική της τιμή.

Η τάση διέγερσης E_f όπως γίνεται αντιληπτό, περιορίζεται από άνω και κάτω όρια E_{fmax} και E_{fmin} , συνδέεται δε, με την τερματική τάση V_t , μέσω της συνάρτησης μεταφοράς της

γεννήτριας: $\frac{V_t}{E_f} = \frac{K_G}{1 + T_d' \cdot s}$, όπου T_d' η σταθερά χρόνου του τυλίγματος πεδίου υπό φορτίο

και K_G το κέρδος της συνάρτησης μεταφοράς της γεννήτριας.

Όσον αφορά τώρα τον εσωτερικό βρόχο του σχήματος 4.7, ο οποίος ονομάζεται και βρόχος σταθεροποίησης, η παρουσία του έχει σαν σκοπό την εξασφάλιση της ευσταθούς λειτουργίας του συστήματος ρυθμίσεως τάσης, κυρίως στις μεγάλες τιμές του κέρδους. Η χρονική σταθερά του βρόχου σταθεροποίησης T_F , είναι της τάξης του 1sec, ενώ το κέρδος της συνάρτησης μεταφοράς της εσωτερικής ανατροφοδότησης K_F , της τάξης του 3 με 4 %.

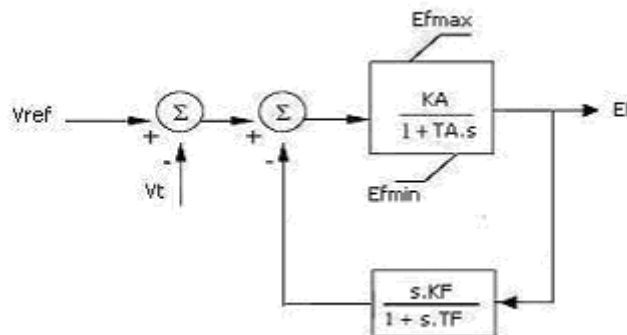
Κλείνοντας, μιας και αναφερθήκαμε στην ευσταθή λειτουργία του συστήματος ρυθμίσεως τάσης, αλλά και του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας γενικά, θα πρέπει να τονιστεί ότι η τάση είναι μέγεθος πιο ευαίσθητο στις μεταβολές του φορτίου από την συχνότητα, αλλά και η απόκλιση της από την κανονική της τιμή, λιγότερο κρίσιμη για την λειτουργία του συστήματος, από την απόκλιση της συχνότητας.

Έτσι λοιπόν και οι ανοχές στη ρύθμιση όπως και στην διακύμανση της τάσεως για τις τάσεις των ζυγών, είναι της τάξης του 1 % , σε αντίθεση με τις ανοχές που αφορούν την συχνότητα που είναι της τάξης του 0,03 %. Επίσης, ενώ η συχνότητα επαναφέρεται στην κανονική της τιμή με δευτερεύουσα ρύθμιση, στην περίπτωση της τάσεως είναι ανεκτά τα μόνιμα σφάλματα και συνεπώς δεν απαιτείται δευτερεύουσα ρύθμιση.

4.4. Ρυθμιστές Στροφών και Τάσης στο Σύστημα της Κύπρου

Όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενο κεφάλαιο , η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Κύπρο γίνεται από τρεις ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς, οι γεννήτριες των οποίων ελέγχονται από τους αντίστοιχους ρυθμιστές στροφών και τάσης, για την διατήρηση της συχνότητας καθώς και των τιμών των τάσεων στους ζυγούς του συστήματος, κατά τις διάφορες μεταβολές στο φορτίο που είναι δυνατόν να συμβούν.

Οι ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί της Μονής, Δεκέλειας καθώς και του Βασιλικού, χρησιμοποιούν πανομοιότυπους ρυθμιστές τάσης στις σύγχρονες γεννήτριες τους, οι οποίοι περιγράφονται από το πιο κάτω σχήμα:



Σχήμα 4.8 Ρυθμιστής τάσης Μονής, Δεκέλειας και Βασιλικού

Ο ρυθμιστής που απεικονίζεται, έχει ως βάση το μοντέλο στατού συστήματος διέγερσης και ρυθμίσεως της τάσης (σχήμα 4.5), του οποίου η λειτουργία έχει περιγραφεί αναλυτικά στην προηγούμενη ενότητα.

Οι τιμές των παραμέτρων του ρυθμιστή τάσεως, φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

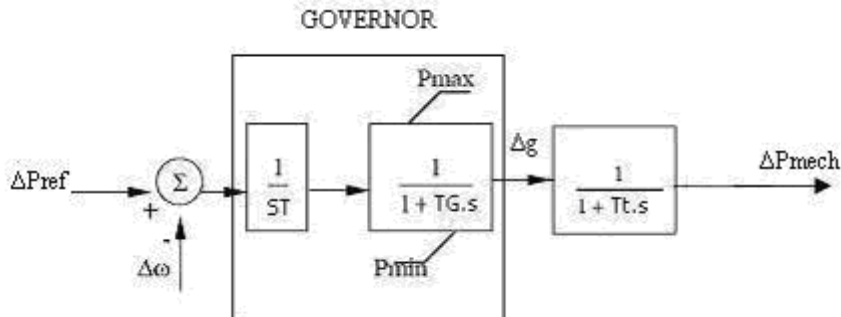
Πίνακας 4.1 Παράμετροι του ρυθμιστή τάσης

KA	25
KF	0.04
TA	0.4
TF	1

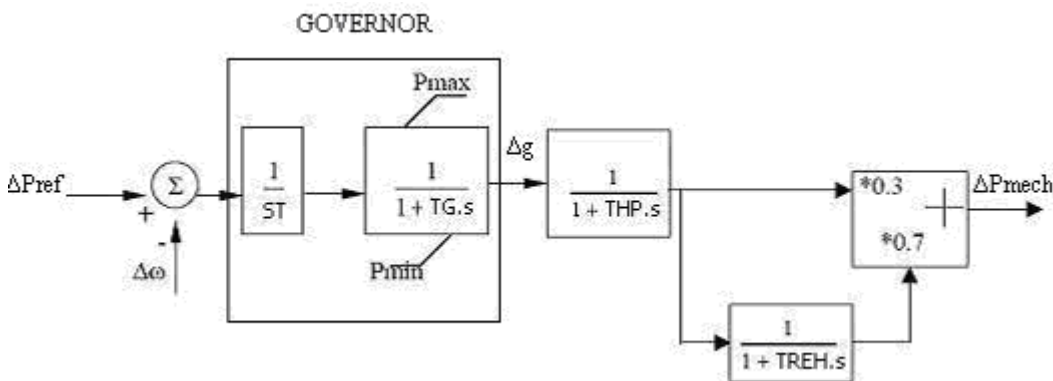
Όσον αφορά τους ρυθμιστές στροφών τώρα, η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικούς τύπους. Για τις σύγχρονες γεννήτριες του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού της Δεκέλειας τους ρυθμιστές στροφών χωρίς αναθέρμανση. Για τις γεννήτριες του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού της Μονής χρησιμοποιούνται οι ρυθμιστές στροφών χωρίς αναθέρμανση για τους αμμοστρόβιλους και οι ρυθμιστές στροφών μονοαξονικού στροβίλου για τους αεριοστρόβιλους. Για τις γεννήτριες του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού του Βασιλικού χρησιμοποιούνται οι ρυθμιστές στροφών με αναθέρμανση για τους αμμοστρόβιλους και οι ρυθμιστές στροφών μονοαξονικού στροβίλου για τον αεριοστρόβιλο και για τους αεριοστρόβιλους του συνδυασμένου κύκλου.

Οι ρυθμιστές στροφών χωρίς αναθέρμανση και με αναθέρμανση, έχουν ως βάση το μοντέλο ελέγχου στροφών αμμοστρόβιλου μιας βαθμίδας (σχήμα 4.3), του οποίου η λειτουργία έχει περιγραφεί αναλυτικά στην ενότητα που αναφέρεται στους ρυθμιστές στροφών.

Στα ακόλουθα σχήματα, απεικονίζονται οι παραστάσεις αυτών των ρυθμιστών



Σχήμα 4.9 Ρυθμιστής στροφών Μονής και Δεκέλειας χωρίς αναθέρμανση



Σχήμα 4.10 Ρυθμιστής στροφών Βασιλικού με αναθέρμανση

Τα δύο μοντέλα ελέγχου που απεικονίζονται στα σχήματα 4.9 και 4.10, δέχονται σαν είσοδο την ΔP_{pref} (αντίστοιχο μέγεθος με την μεταβολή συχνότητας $\Delta\omega$ σε ισχύ), η οποία συγκρίνεται με την πραγματική μεταβολή της συχνότητας περιστροφής της γεννήτριας $\Delta\omega$, που συμβαίνει στο σύστημα. Η διαφορά των δύο αυτών μεγεθών, θα δώσει το σήμα σφάλματος που θα αναγκάσει τον ρυθμιστή στροφών να μεταβάλει κατά Δg τον ατμό που

εισέρχεται στο στρόβιλο της γεννήτριας, ο οποίος με την σειρά του θα μεταβάλει την μηχανική ισχύ στον άξονα του στροβίλου κατά ΔΡm.

Εξετάζοντας προσεκτικά το μοντέλο του ρυθμιστή στροφών του Βασιλικού (σχήμα 4.10), παρατηρούμε ότι υπάρχει μια σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ αυτού και του μοντέλου του συστήματος ελέγχου στροφών αμοστροβίλου μιας βαθμίδας, (σχήμα 4.3). Αύτη η διαφοροποίηση, έγκειται στο γεγονός της ύπαρξης αναθερμαντή στις γεννήτριες του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού του Βασιλικού.

Στο Βασιλικό λοιπόν, μετά την εκτόνωση του ατμού στην βαθμίδα υψηλής πίεσης του στροβίλου, ο ατμός αναθερμαίνεται και οδηγείται στην βαθμίδα χαμηλής πίεσης όπου επαναχρησιμοποιείται. Οι δύο αυτές βαθμίδες αθροιστικά παράγουν την συνολική μηχανική ισχύ του στροβίλου, με την βαθμίδα υψηλής πίεσης που χαρακτηρίζεται από την χρονική σταθερά THP, να παράγει ποσοστό 30 % της ισχύος και την βαθμίδα χαμηλής πίεσης (TPEH), να παράγει το υπόλοιπο 70 % (σχήμα 4.10).

Παρακάτω, παρατίθενται οι παράμετροι του ρυθμιστή στροφών των μονάδων της ΑΗΚ:

Πίνακας 4.2 Παράμετροι του ρυθμιστή στροφών χωρίς αναθέρμανση

	R (ST)	TG	Tt
Δεκέλεια 1	0.06	0.39	1.59
Δεκέλεια 2	0.06	0.39	1.20
Δεκέλεια 3	0.06	0.24	3.34
Δεκέλεια 4	0.06	0.22	4.17
Μονή 1	0.05	0.20	2.95

Πίνακας 4.3 Παράμετροι του ρυθμιστή στροφών με αναθέρμανση

	R (ST)	TG	THP	TREH
Βασιλικός 1	0.075	0.10	0.41	7.21
Βασιλικός 2	0.075	0.083	0.53	7.77
Βασιλικός 3	0.075	0.083	0.53	7.77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Μοντέλο Προσομοίωσης EUROSTAG

5.1. Εισαγωγή

Για την μοντελοποίηση του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κύπρου, την επίλυση των ροών φορτίου και των προσομοιώσεων των διαταραχών χρησιμοποιείται το λογισμικό EUROSTAG.

Το μοντέλο προσομοίωσης EUROSTAG, είναι προϊόν που δημιουργήθηκε από την εταιρεία Electricite de France & Tractebel. Παρέχει τη δυνατότητα τόσο σε σχεδιαστές, όσο και σε διαχειριστές ενός συστήματος και στην προκειμένη περίπτωση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι επιδιώκουν την βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας των επενδύσεων και την ελαχιστοποίηση του κόστους να μπορούν με την αναγκαία ταχύτητα και αξιοπιστία να παράγουν τα κατάλληλα μοντέλα και προσομοιώσεις. Το λογισμικό αυτό είναι πολύ αποτελεσματικό και φιλικό προς τον χρήστη, ένας επιπλέον λόγος που χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Στο κεφάλαιο αυτό, θα γίνει παρουσίαση των βασικών χαρακτηριστικών του EUROSTAG, καθώς και συνοπτική περιγραφή των μοντέλων των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν, για τη μοντελοποίηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, την επίλυση των ροών φορτίου, καθώς και για τις προσομοιώσεις των διαταραχών που έχουν προκληθεί, από τα διάφορα σενάρια διεξόδου αιολικής ισχύος στο σύστημα.

5.2. Λειτουργία και Εφαρμογές του EUROSTAG

Ανεξαρτήτως από το είδος των διαταραχών που σημειώνονται και το μέγεθος του συστήματος, το EUROSTAG δείχνει τη συμπεριφορά του ηλεκτρικού συστήματος μέχρι να επιστρέψει σε σταθερή κατάσταση, με αρκετή ακρίβεια. Ο επαναληπτικός αλγόριθμος που χρησιμοποιεί το EUROSTAG, εκτελεί αυτόματο έλεγχο των προσομοιώσεων, ο οποίος πληροί τα κριτήρια ακρίβειας που καθορίζονται από τον χρήστη. Μετά το πέρας των προσομοιώσεων, μπορούν να αναλυθούν οι σχέσεις και να παρουσιαστούν διαγράμματα που αναφέρονται σε δυναμικά φαινόμενα.

Η χρήση του EUROSTAG, επιτρέπει την μελέτη μεγάλων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, για μεγάλες χρονικές περιόδους, χωρίς την ανάγκη αλλαγής του αρχικού μοντέλου του συστήματος. Πιο κάτω παρατίθενται μερικά τυπικά παραδείγματα της χρήσης του EUROSTAG, που αφορούν την μελέτη ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας:

- 1) Έλεγχος της τήρησης συγχρονισμού, μετά από διάφορες διαταραχές.
- 2) Διαμόρφωση στρατηγικών σε δίκτυα, σε περιπτώσεις απόρριψης φορτίου.
- 3) Μελέτη της συμπεριφοράς του δικτύου, κάτω από ασταθείς συνθήκες (προληπτική ασφάλεια).
- 4) Μελέτη της συμπεριφοράς του δικτύου, κάτω από ακραίες ή έκτακτες συνθήκες, π.χ. κατάρρευση τάσης, απώλεια συγχρονισμού, επανασυγχρονισμό κ.τ.λ.
- 5) Μελέτη της δυναμικής ευστάθειας των μηχανών με την δυνατότητα ρυθμίσεων, καθώς και προσαρμογή του συστήματος μετάδοσης τους, γύρω από συγκεκριμένο λειτουργικό σημείο του συστήματος.

- 6) Σχεδιασμός και ρύθμιση των τοπικών συστημάτων ελέγχου (ρυθμιστές στροφών GOV και τάσης AVR, καθώς και έλεγχος των λήψεων των μετασχηματιστών TAPS).
- 7) Σχεδιασμός και καθορισμός των συστημάτων προστασίας σταθμών παραγωγής και δικτύων διανομής.

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, η χρήση του λογισμικού EUROSTAG στην παρούσα διπλωματική εργασία, έχει να κάνει με τη μοντελοποίηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου, για την προσομοίωση των διαταραχών που θα προκαλέσουν τα διάφορα σενάρια διεξόδου αιολικής ισχύος στο σύστημα. Αυτό, θα μας βοηθήσει στην συνέχεια να μελετήσουμε τις επιπτώσεις του κάθε σεναρίου, στον τομέα της δυναμικής ασφάλειας του δικτύου.

5.3. Τεχνική Περιγραφή του EUROSTAG

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

Το EUROSTAG χωρίζεται στα ακόλουθα πέντε βασικά μέρη:

- 1) Από ένα πρόγραμμα ροής φορτίου (load flow), του οποίου τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται ως σημείο αναφοράς στην προσομοίωση.
- 2) Από ένα διαδραστικό προσομοιωτή, που επιτρέπει στον χρήστη να απεικονίζει τις διάφορες μεταβλητές, αλλά και να επεμβαίνει στη διαδικασία κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.
- 3) Από ένα γραφικό προ-επεξεργαστή, που επιτρέπει την εισαγωγή νέων μοντέλων χρησιμοποιώντας σχήματα μπλοκ διαγραμμάτων.
- 4) Από ένα γραφικό επεξεργαστή, ο οποίος χρησιμοποιείται για την ανάλυση των αποτελεσμάτων, μετά το πέρας της προσομοίωσης.
- 5) Από ένα τμήμα για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων, (μέσω παραμετρικού προσδιορισμού φίλτρων και δημιουργίας πινάκων).

Το EUROSTAG είναι γραμμένο σε Fortran 77 και σε C, και εγκαθίσταται σε σταθμούς εργασίας με UNIX, καθώς και σε προσωπικούς Η/Υ με λειτουργικό σύστημα WINDOWS. Κατά την αναφορά μας στην τεχνική περιγραφή του λογισμικού πακέτου EUROSTAG, κρίνεται αναγκαία, η σύντομη περιγραφή του μοντέλου που χρησιμοποιεί, για την αναπαράσταση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι, η μοντελοποίηση του συστήματος παραμένει αναλλοίωτη κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, ανεξαρτήτως των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα.

Το μοντέλο λοιπόν του EUROSTAG, αποτελείται από τα εξής βασικά στοιχεία:

1) Το δίκτυο.

Το EUROSTAG χρησιμοποιεί είτε μονογραμμική, είτε τριφασική αναπαράσταση του δικτύου. Οι κόμβοι τάσεων διέπονται από την αλγεβρική εξίσωση $I=YU$, στην οποία U είναι το διάνυσμα των τάσεων των κόμβων, I το διάνυσμα των ρευμάτων που εισέρχονται στους κόμβους και Y είναι η μήτρα αγωγιμότητας του δικτύου. Τα φορτία του συστήματος διέπονται από μη γραμμικές εξισώσεις, που είναι συναρτήσεις της τάσης και της συχνότητας.

2) Τις γεννήτριες.

Οι σύγχρονες μηχανές περιγράφονται από τις κλασσικές εξισώσεις του PARK. Ο δρομέας των μηχανών παριστάνεται από τέσσερα ισοδύναμα ελίγματα. Μοντελοποιείται επίσης ο μαγνητικός κορεσμός και στους δύο άξονες. Αναφορικά με την μηχανική κίνηση των γεννητριών, οι κινήσεις του δρομέα καθορίζονται από την εξίσωση στρεφομένων μαζών, που συνδέει τη διαφορά ανάμεσα σε μηχανική και ηλεκτρική ροπή με την μεταβολή στην ταχύτητα περιστροφής.

Τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας καθορίζονται εξωτερικά (αντιδράσεις και σταθερές χρόνου) ή εσωτερικά (αμοιβαίες επαγωγές και αντιστάσεις), ανάλογα με το τι θα επιλέξει ο χρήστης.

3) Τις μηχανές επαγωγής.

Υπάρχουν δύο είδη μηχανών επαγωγής. Το ένα μοντέλο ονομάζεται και πλήρες μοντέλο (κυκλώματος δρομέα διπλού κλωβού), ενώ το άλλο αναφέρεται και ως απλοποιημένο μοντέλο.

4) Τους μετασχηματιστές.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μετασχηματιστών, όπως οι απλοί μετασχηματιστές, οι αυτομετασχηματιστές και οι μετασχηματιστές με taps, με πλήρη μοντέλα που λαμβάνουν υπ' όψιν τις απώλειες σιδήρου και χαλκού, τον κορεσμό, τις τάσεις βραχυκύκλωσης και τους λόγους μετασχηματισμού.

5) Τα γεγονότα.

Αυτά είναι όλα τα επεισόδια, διαταραχές και διαδικαστικές εντολές που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια μιας προσομοίωσης. Μπορεί να είναι προγραμματισμένα εκ των προτέρων ή να δημιουργούνται στο πρόγραμμα όταν ενεργοποιείται μια αυτόματη συσκευή. Μπορεί επίσης να εισάγονται κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Τα γεγονότα στα οποία αναφερόμαστε, μπορεί να είναι βραχυκυκλώματα, κλείσιμο γραμμών, επανένωση υποδικτύων, ένταξη γεννητριών, εκκίνηση επαγωγικών κινητήρων, αλλαγή του ενεργού και άεργου φορτίου στους ζυγούς, απώλειες γεννητριών κ.τ.λ.

6) Τα macroblock.

Ο χρήστης μπορεί να καθορίζει τα δικά του μοντέλα (συστήματα ελέγχου ρυθμιστών στροφών, τάσεως κ.τ.λ.), μέσω ενός γραφικού προεπεξεργαστή, που χρησιμοποιεί απλουστευμένα στοιχεία ενός μπλοκ διαγράμματος. Αυτό ουσιαστικά, καταργεί την ανάγκη του προγραμματισμού σε Fortran. Τα προαναφερόμενα μοντέλα αποθηκεύονται σε ειδική βιβλιοθήκη, η οποία εξ αρχής περιέχει και μερικά άλλα τυποποιημένα μοντέλα (IEEE, SVC, HVDC κ.τ.λ.).

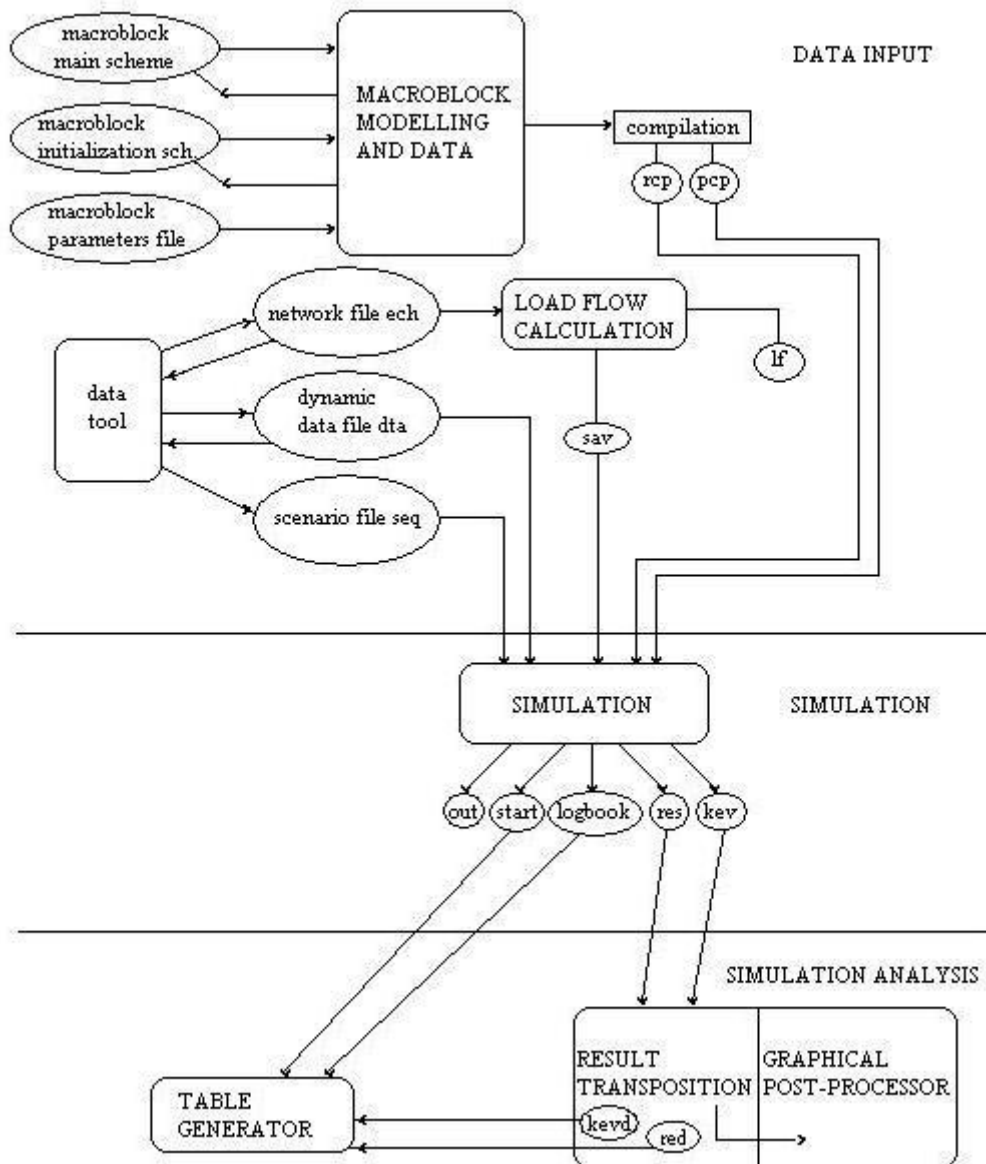
Ιδιαίτερη σημασία στην τεχνική περιγραφή του λογισμικού EUROSTAG, έχει ο τρόπος με τον οποίο εισάγονται τα δεδομένα στο μοντέλο. Αυτό γίνεται με την δημιουργία και τον χειρισμό, τριών τύπων αρχείων:

α) Του αρχείου ech, που περιλαμβάνει την τοπολογία του δικτύου με τους ζυγούς τάσεων (και τις παραγόμενες ή καταναλισκόμενες ισχύς τους), τις γραμμές μεταφοράς του ρεύματος, τους μετασχηματιστές, τους πυκνωτές αντιστάθμισης, τα φορτία του συστήματος και τις σύγχρονες γεννήτριες των ηλεκτροπαραγωγών σταθμών. Οι ανεμογεννήτριες των αιολικών πάρκων παρίστανται με την μορφή φορτίου, το οποίο απορροφά άεργο ισχύ και παρέχει ενεργό ισχύ στο δίκτυο.

β) Του αρχείου dta, που περιλαμβάνει τόσο τα χαρακτηριστικά, όσο και τους ρυθμιστές στροφών και τάσης των σύγχρονων γεννητριών του συστήματος, καθώς και τους ρυθμιστές στροφών των ανεμογεννητριών, που θα εντάσσονται σε κάθε σενάριο στο σύστημα. Οι ανεμογεννήτριες στο αρχείο dta, αναφέρονται ως μηχανές επαγωγής.

γ) Του αρχείου seq, που περιλαμβάνει τις διαταραχές που ενδέχεται να προκληθούν στο σύστημα, π.χ. η απώλεια μιας μονάδας του συστήματος, καθώς και τις παραμέτρους που ορίζουν την ακρίβεια της επαναληπτικής μεθόδου, που χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια των προσομοιώσεων.

Τα αρχεία που προαναφέρθηκαν, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην διεξαγωγή των προσομοιώσεων, κάτι που φαίνεται και στο ακόλουθο απλουστευμένο σχήμα, ο οποίο απεικονίζει τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το EUROSTAG.



Σχήμα 5.1 Τρόπος λειτουργίας EUROSTAG

Όπως παρατηρούμε και από το σχήμα, το EUROSTAG χρησιμοποιώντας το αρχείο ech, σαν το κύριο αρχείο δεδομένων, το οποίο εμπεριέχει την αναπαράσταση του ηλεκτρικού μας δικτύου, μπορεί κατ' ευθεία να διεξάγει τον υπολογισμό της ροής φορτίου στο σύστημα. Τα αποτελέσματα της ροής φορτίου, παρουσιάζονται στο αρχείο lf του EUROSTAG, από το οποίο μπορεί να τα δει ο χρήστης. Μετά το πέρας του υπολογισμού της ροής φορτίου, δημιουργείται το αρχείο sav (το οποίο περιέχει τα αποτελέσματα της ροής φορτίου, για εσωτερική όμως χρήση από το πρόγραμμα). Στην συνέχεια το EUROSTAG, χρησιμοποιεί τα αρχεία sav, dta και seq, λαμβάνοντας υπ' όψιν και τα αρχεία rcp και pcg, για να προσομοιώσει την λειτουργία του συστήματος. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα αρχεία rcp και pcg, δημιουργούνται μέσω του model editor (macroblock editor), αφού προηγουμένως γίνει μεταγλωττισμός (compilation), των ρυθμιστών στροφών και τάσης που έχουν δημιουργηθεί εκεί.

Μετά το πέρας της προσομοίωσης, τα ακατέργαστα αποτελέσματα της αποθηκεύονται στα αρχεία ken και res, όπου στην συνέχεια γίνονται κατεργασμένα αποτελέσματα (αρχεία kenr και red αντίστοιχα), τα οποία παρουσιάζονται μέσω του γραφικού επεξεργαστή (υπό μορφή διαγραμμάτων) και μέσω του τμήματος δημιουργίας πινάκων, με την βοήθεια των αρχείων start και logbook. Στο αρχείο out περιέχονται τα δυναμικά δεδομένα του αρχείου dta, καθώς και μια περίληψη της προσομοίωσης, μαζί με τα μηνύματα σφαλμάτων, τα οποία τυγχάνει να συμβαίνουν κατά την εκτέλεση της επαναληπτικής μεθόδου.

Κλείνοντας, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τόσο το αρχείο ech, όσο και το αρχείο dta, είναι και τα δύο αρχεία κειμένου (της μορφής txt). Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό, διότι μας επιτρέπει να επεμβαίνουμε στα προαναφερόμενα αρχεία, μέσω του κειμενογράφου (notepad) των WINDOWS και να προσαρμόζουμε τα δεδομένα και τις συνθήκες της κάθε προσομοίωσης με ιδιαίτερη ευκολία, χωρίς καν να χρειάζεται να χρησιμοποιούμε το λογισμικό μας. Τα πιο πάνω βέβαια μπορούν να γίνουν και μέσω του EUROSTAG, με την διαδικασία όμως να γίνεται λίγο πιο χρονοβόρα.

5.4. Μοντελοποίηση του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κύπρου στο EUROSTAG

Στην ενότητα αυτή, θα γίνει μια συνοπτική παρουσίαση των μοντέλων των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν το αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου.

Το δίκτυο

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, το EUROSTAG χρησιμοποιεί είτε μονογραμμική, είτε τριφασική αναπαράσταση του δικτύου, με τους κόμβους των τάσεων να διέπονται από τις αλγεβρικές εξισώσεις, στις οποίες είναι το διάνυσμα των τάσεων των κόμβων, το διάνυσμα των ρευμάτων που εισέρχονται στους κόμβους και η μήτρα αγωγιμότητας του δικτύου. Στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιούμε μονογραμμική αναπαράσταση του δικτύου. Τα φορτία παριστάνονται από μια μη γραμμική εξίσωση, που είναι συνάρτηση της τάσης και της συχνότητας, όπως φαίνεται και από τις πιο κάτω σχέσεις:

$$P = P_0 \left(\frac{U}{U_0} \right)^a \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^c$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{U}{U_0} \right)^b \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^d$$

όπου:

P :η ενεργός ισχύς στον κάθε ζυγό.

P_0 :η ονομαστική ενεργός ισχύς του κάθε ζυγού.

Q :η άεργος ισχύς στον κάθε ζυγό.

Q_0 :η ονομαστική άεργος ισχύς του κάθε ζυγού.

U :η τάση του ζυγού του φορτίου.

U_0 :η ονομαστική τάση του ζυγού του φορτίου.

ω :η συχνότητα του δικτύου.

ω_0 :η ονομαστική συχνότητα του δικτύου.

a,b,c,d:οι παράμετροι που καθορίζονται από τον τύπο του φορτίου.

Τα ονομαστικά μεγέθη των ενεργών και άεργων ισχύων, καθώς και των τάσεων των ζυγών στους οποίους συνδέονται τα φορτία, δηλώνονται στο αρχείο ech, κατά την εισαγωγή των φορτίων στο σύστημα.

Οι τιμές των παραμέτρων a, b, c και d, εισάγονται στο αρχείο dta, σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 5.1 Τιμές παραμέτρων a,b,c,d

Παράμετρος	Τιμή
A	1.4
B	2
C	1
D	0

Οι γεννήτριες

Οι γεννήτριες των ηλεκτροπαραγωγών σταθμών της Κύπρου, είναι σύγχρονες μηχανές και συνεπώς περιγράφονται από τις κλασσικές εξισώσεις του PARK, με το δρομέα να παριστάνεται από τέσσερα ισοδύναμα ελίγματα. Μοντελοποιείται επίσης ο μαγνητικός κορεσμός και στους δύο άξονες, ενώ όσον αφορά τη μηχανική κίνηση των γεννητριών, οι κινήσεις του δρομέα καθορίζονται από την εξίσωση στρεφομένων μαζών, που συνδέει τη διαφορά ανάμεσα στη μηχανική και ηλεκτρική ροπή, με την μεταβολή στην ταχύτητα περιστροφής.

Οι παράμετροι των γεννητριών που χρησιμοποιούνται στο EUROSTAG για την κάλυψη του συνολικού φορτίου, περιγράφονται από τους πίνακες 5.2 έως 5.16.

Πίνακας 5.2 Παράμετροι μονάδων 1-3 (ατμοστρόβιλοι) σταθμού Βασιλικού

Xd	2.06	T'd	9
Xq	1.92	T'q	1.27
X'd	0.202	T''d	0.056
X'q	0.329	T''q	0.086
X''d	0.155	H (constant of inertia) MWs/MVA	4.25
X''q	0.164		

Πίνακας 5.3 Παράμετροι μονάδας 4 (αεριοστρόβιλος) σταθμού Βασιλικού

Xd	2.22	T'd	5.43
Xq	2.08	T'q	-
X'd	0.213	T''d	-
X'q	0.329	T''q	-
X''d	-	H (constant of inertia) MWs/MVA	6.06
X''q	-		

Πίνακας 5.4 Παράμετροι αεριοστρόβιλων συνδρασμένου κύκλου σταθμού Βασιλικού

Xd	1.92	T'd	8.123
Xq	1.83	T'q	0.7
X'd	0.26	T''d	0.035
X'q	0.362	T''q	0.07
X''d	0.195	H (constant of inertia) MWs/MVA	4.8
X''q	0.362		

Πίνακας 5.5 Παράμετροι ατμοστρόβιλου συνδρασμένου κύκλου σταθμού Βασιλικού

Xd	1.68	T'd	9.755
Xq	1.59	T'q	0.7
X'd	0.196	T''d	0.045
X'q	0.373	T''q	0.05
X''d	0.1455	H (constant of inertia) MWs/MVA	4.31
X''q	0.373		

Πίνακας 5.6 Παράμετροι μονάδας 1 (ατμοστρόβιλος) σταθμού Δεκέλειας

Xd	1.94	T'd	7.41
Xq	1.84	T'q	3.23
X'd	0.223	T''d	0.038
X'q	0.245	T''q	0.038
X''d	0.144	H (constant of inertia) MWs/MVA	3.3
X''q	0.2		

Πίνακας 5.7 Παράμετροι μονάδας 2 (ατμοστρόβιλος) σταθμού Δεκέλειας

Xd	1.96	T'd	7.51
Xq	1.863	T'q	3.27
X'd	0.223	T''d	0.038
X'q	0.245	T''q	0.038
X''d	0.144	H (constant of inertia) MWs/MVA	3.3
X''q	0.2		

Πίνακας 5.8 Παράμετροι μονάδας 3-4 (ατμοστρόβιλοι) σταθμού Δεκέλειας

Xd	1.84	T'd	7.41
Xq	1.71	T'q	3.23
X'd	0.265	T''d	0.036
X'q	0.29	T''q	0.089
X''d	0.181	H (constant of inertia) MWs/MVA	4.06
X''q	0.2		

Πίνακας 5.9 Παράμετροι μονάδων 5-6 (ατμοστρόβιλοι) σταθμού Δεκέλειας

Xd	1.85	T'd	7.41
Xq	1.7	T'q	3.23
X'd	0.26	T''d	0.038
X'q	0.25	T''q	0.038
X''d	0.18	H (constant of inertia) MWs/MVA	4
X''q	0.18		

Πίνακας 5.10 Παράμετροι μονάδας 1 (ατμοστρόβιλος) σταθμού Μονής

Xd	2.13	T'd	9
Xq	1.94	T'q	4
X'd	0.185	T''d	0.029
X'q	0.203	T''q	0.029
X''d	0.126	H (constant of inertia) MWs/MVA	5.49
X''q	0.135		

Πίνακας 5.11 Παράμετροι μονάδας 2 (ατμοστρόβιλος) σταθμού Μονής

Xd	2.04	T'd	9.21
Xq	1.94	T'q	4
X'd	0.186	T''d	0.029
X'q	0.205	T''q	0.029
X''d	0.128	H (constant of inertia) MWs/MVA	5.49
X''q	0.136		

Πίνακας 5.12 Παράμετροι μονάδας 3 (ατμοστρόβιλος) σταθμού Μονής

Xd	2.08	T'd	9.52
Xq	1.98	T'q	4.12
X'd	0.179	T''d	0.029
X'q	0.197	T''q	0.03
X''d	0.125	H (constant of inertia) MWs/MVA	5.49
X''q	0.133		

Πίνακας 5.13 Παράμετροι μονάδας 4 (ατμοστρόβιλος) σταθμού Μονής

Xd	1.8	T'd	8.87
Xq	1.71	T'q	3.85
X'd	0.202	T''d	0.029
X'q	0.222	T''q	0.029
X''d	0.151	H (constant of inertia) MWs/MVA	4.84
X''q	0.161		

Πίνακας 5.14 Παράμετροι μονάδας 5 (ατμοστρόβιλος) σταθμού Μονής

Xd	1.76	T'd	8.5
Xq	1.67	T'q	3.65
X'd	0.195	T''d	0.029
X'q	0.215	T''q	0.029
X''d	0.145	H (constant of inertia) MWs/MVA	4.84
X''q	0.161		

Πίνακας 5.15 Παράμετροι μονάδας 6 (ατμοστρόβιλος) σταθμού Μονής

Xd	1.74	T'd	9
Xq	1.65	T'q	3.87
X'd	0.194	T''d	0.03
X'q	0.213	T''q	0.03
X''d	0.146	H (constant of inertia)	4.84
X''q	0.164	MWs/MVA	

Πίνακας 5.16 Παράμετροι μονάδων 7-10 (αεριοστρόβιλοι) σταθμού Μονής

Xd	2.22	T'd	5.43
Xq	2.08	T'q	-
X'd	0.213	T''d	-
X'q	-	T''q	-
X''d	-	H (constant of inertia)	6.06
X''q	-	MWs/MVA	

Οι μονάδες 4 του Βασιλικού και 7 έως 10 της Μονής περιγράφονται με το απλοποιημένο μοντέλο σύγχρονης γεννήτριας για αυτό και στον πίνακα 6.12 υπολείπονται οι αντίστοιχες παράμετροι.

Τα στοιχεία που έχουν παρουσιαστεί στους πίνακες που προηγήθηκαν, αφορούν κυρίως την εσωτερική φύση των γεννητριών που χρησιμοποιεί η ΑΗΚ. Ιδιαίτερο αλλά και πιο σημαντικό ενδιαφέρον για μας, έχουν τα εξωτερικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν τις γεννήτριες, τα οποία αφορούν την δυναμικότητα τους στην παραγωγή ενεργού ισχύος, η οποία προσαρμόζεται ανάλογα με το κάθε προσομοιωτικό σενάριο, όπως θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Στον πίνακα που ακολουθεί, φαίνονται καθαρά τα στοιχεία των γεννητριών της ΑΗΚ που αφορούν την παραγωγή ενεργού ισχύος, όπως θα χρησιμοποιηθούν στο EUROSTAG:

Πίνακας 5.17 Χαρακτηριστικά παραγωγής ισχύος των γεννητριών

Ηλεκτροπαραγωγός σταθμός	Ελάχιστη παραγωγή	Μέγιστη παραγωγή	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραγωγή
Βασιλικός (3 μον.)	60 MW/μον.	130 MW/μον.	119,6 MW/μον.
Συνδ. Κύκλος (2 μον.)	77MW/μον.	220 MW/μον.	202,4 MW/μον.
Δεκέλεια (6 μον.)	30 MW/μον.	60 MW/μον.	55,2 MW/μον.
Μονή (μον. 1 έως 6)	18 MW/μον.	30 MW/μον.	27,6 MW/μον.
Μονή (μον. 7 έως 10)	4 MW/μον.	37,5 MW/μον.	34,5 MW/μον.

Η σειρά που αναγράφονται οι ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί στον πίνακα, δεν είναι καθόλου τυχαία, αλλά σχετίζεται με το κόστος παραγωγής ενέργειας στην κάθε μονάδα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να τοποθετούνται ψηλά στον πίνακα οι μονάδες του Βασιλικού, στις οποίες η παραγωγή ενέργειας είναι πιο φτηνή σε σχέση με τις μονάδες των άλλων ηλεκτροπαραγωγών σταθμών, οι οποίοι χρησιμοποιούν παλαιότερη τεχνολογία.

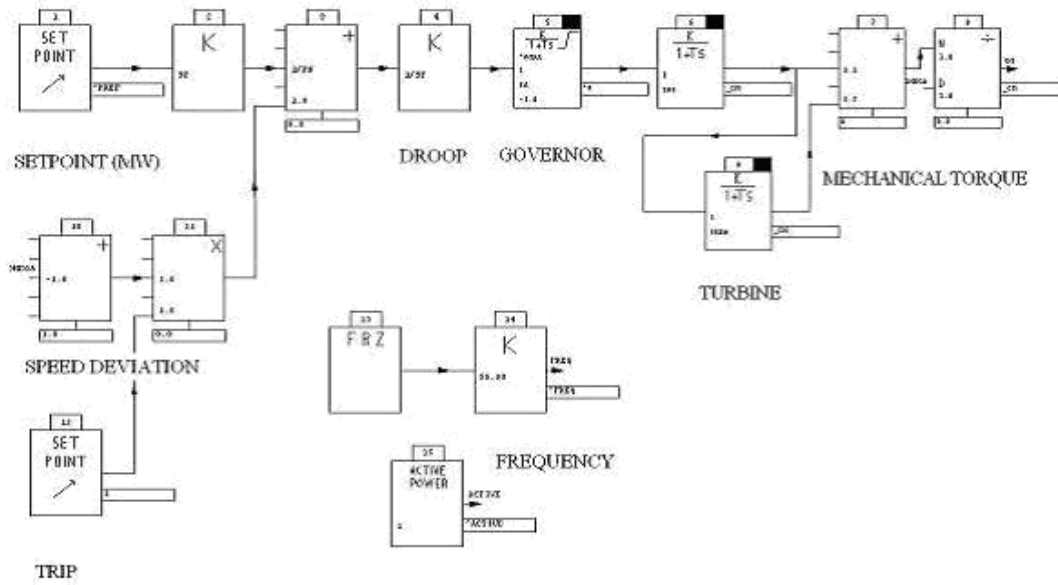
Οι αυτόματες συσκευές

Σε κάθε προσομοιωτικό σενάριο χρησιμοποιείται αυτόματος διακόπτης απόρριψης φορτίου, ο οποίος δημιουργείται στο αρχείο dta και ενεργοποιείται όταν η συχνότητα του δικτύου πέφτει κάτω από 49Hz. Η απόρριψη φορτίου σε κάθε ζυγό φορτίου, είναι της τάξης του 10 %.

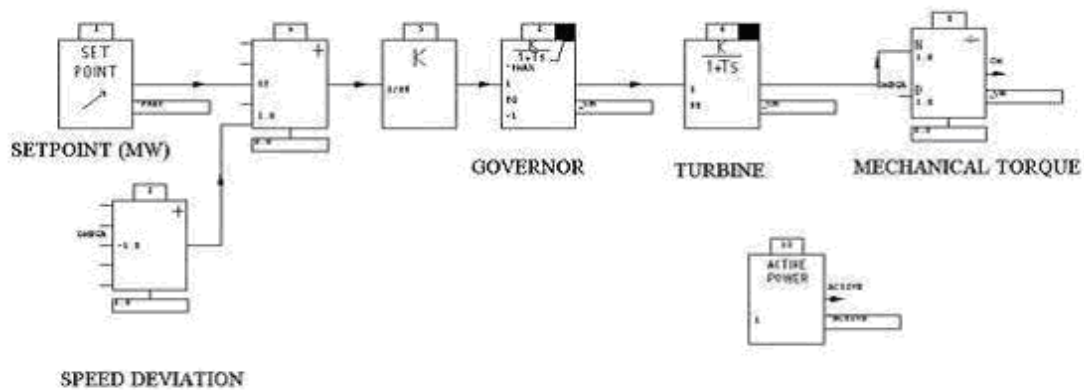
Οι ρυθμιστές τάσης και στροφών των γεννητριών

Όσον αφορά τους ρυθμιστές τάσης και στροφών που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες γεννήτριες των ηλεκτροπαραγωγών σταθμών του συστήματος της Κύπρου, θα γίνει μοντελοποίηση τους στο EUROSTAG με την μορφή μπλοκ διαγραμμάτων, βάσει των προτύπων σχημάτων 4.8 , 4.9 και 4.10 , των οποίων η λειτουργία περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4 της παρούσας διπλωματικής.

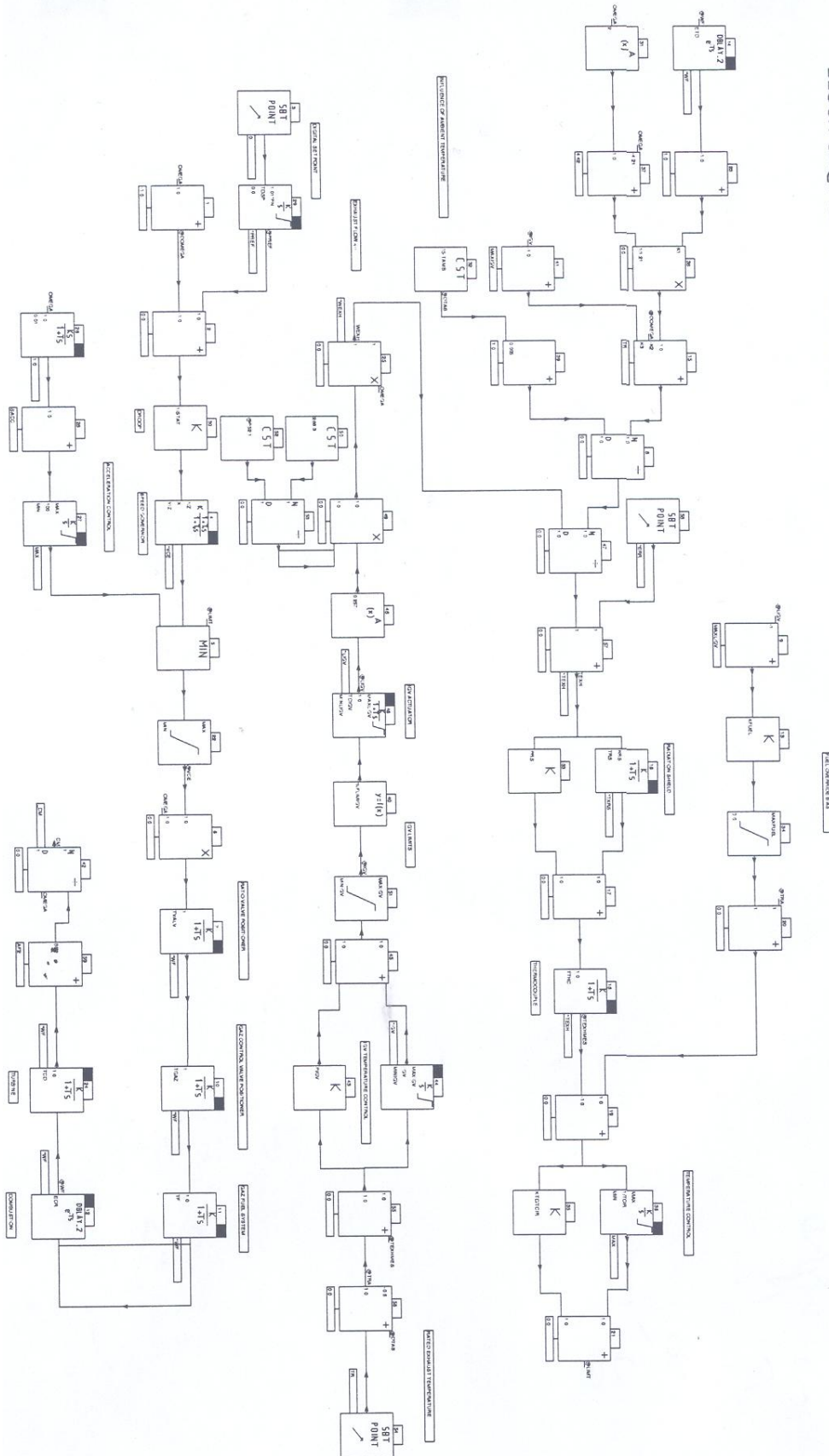
Στα ακόλουθα σχήματα (5.2 έως 5.5), παρατίθενται με την σειρά τα μπλοκ διαγράμματα των ρυθμιστών στροφών με και χωρίς αναθέρμανση, καθώς και το μπλοκ διάγραμμα του ρυθμιστή τάσης, που αφορά όλες τις ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες της ΑΗΚ.



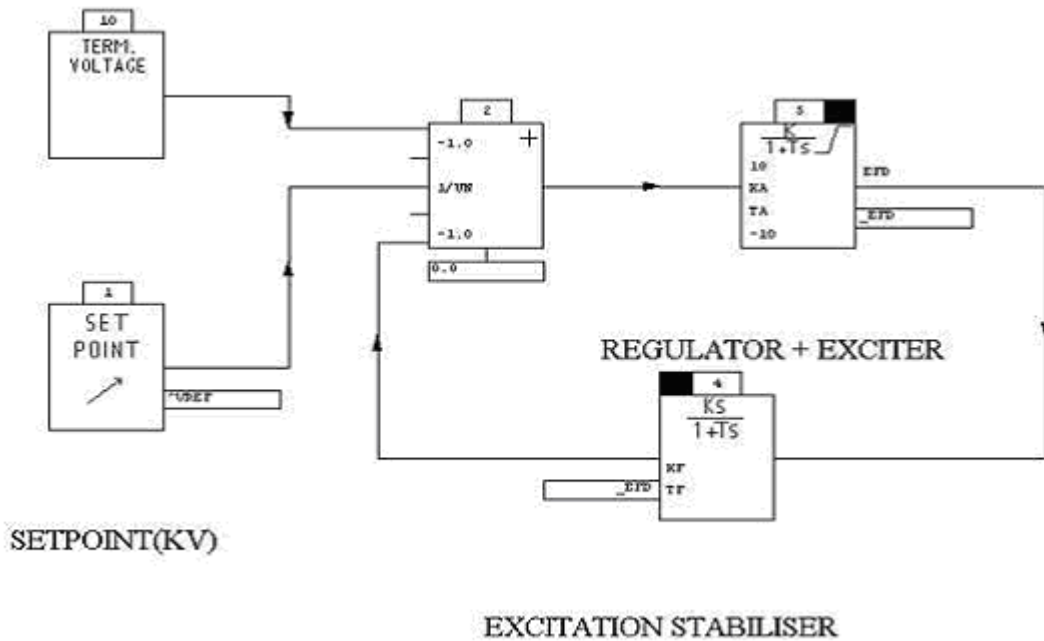
Σχήμα 5.2 Μπλοκ διάγραμμα ρυθμιστή στροφών θερμοηλεκτρικού σταθμού με αναθέρμανση στο EUROSTAG



Σχήμα 5.3 Μπλοκ διάγραμμα ρυθμιστή στροφών θερμοηλεκτρικού σταθμού χωρίς αναθέρμανση στο EUROSTAG



Σχήμα 5.4 Μπλοκ διάγραμμα ρυθμιστή στροφών αεριοστροβίλου στο EUROSTAG



Σχήμα 5.5 Μπλοκ διάγραμμα ρυθμιστή τάσης στο EUROSTAG

Οι μετασχηματιστές

Στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου, χρησιμοποιούνται κυρίως μετασχηματιστές με taps, με πλήρη μοντέλα που περιλαμβάνουν απώλειες σιδήρου, χαλκού, καθώς και τον μαγνητικό κορεσμό.

Για την σύνδεση των αιολικών πάρκων στο σύστημα, χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές με λόγο μετασχηματισμού 0,4 KV / 11 KV, για την ανύψωση της τάσης λειτουργίας των ανεμογεννητριών σε μέση τάση και ακολούθως μετασχηματιστές με λόγο μετασχηματισμού 11 KV / 132 KV, για την ανύψωση σε υψηλή τάση, με την οποία γίνεται κατά κύριο λόγο η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Κύπρο.

Όσον αφορά τώρα την σύνδεση των γεννητριών των τριών ηλεκτροπαραγωγών σταθμών της ΑΗΚ στο σύστημα, χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές ανύψωσης της μέσης τάσης (των 11 με 22 KV), στην υψηλή τάση (των 66 με 132 KV).

Οι ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες των αιολικών πάρκων μοντελοποιούνται ως ασύγχρονες γεννήτριες σταθερών στροφών στο EUROSTAG, γι'αυτό και άλλωστε εισάγονται ως μηχανές επαγωγής στο αρχείο dta. Όσον αφορά τώρα το αρχείο ech, σ' αυτό οι ανεμογεννήτριες παρίστανται με την μορφή φορτίου, το οποίο απορροφά άεργο ισχύ και παρέχει ενεργό ισχύ στο δίκτυο.

Στους πίνακες που ακολουθούν, (πίνακας 5.18 και 5.19), παρουσιάζονται οι ονομαστικές ενεργές και άεργες ισχύς των αιολικών πάρκων που εντάσσονται στο σύστημα μας για τα έτη 2011 και 2015 αντίστοιχα, όπως τις έχουμε εισάγει αρχικά στο αρχείο ech, (με τα αιολικά να παριστάνονται υπό μορφή φορτίων).

Πίνακας 5.18 Αιολικά Πάρκα για το έτος 2011

Αιολικό Πάρκο	Ενεργός Ισχύς (MW)	Άεργος ισχύς (MVAR)
Ορήτες	-82	49,2

Πίνακας 5.19 Αιολικά Πάρκα για το έτος 2015

Αιολικό Πάρκο	Ενεργός Ισχύς (MW)	Άεργος ισχύς (MVAR)
Ορήτες	-82	49,2
Ψευδάς	-78	46,8
Κλαυδία	-108	64,8
Αλέξιγρος	-31	18,6

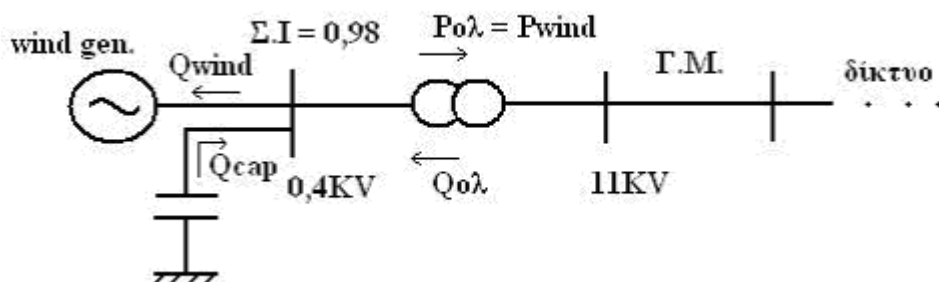
Όπως φαίνεται στους παραπάνω πίνακες, η ενεργός ισχύς κάθε πάρκου παρουσιάζεται με αρνητικό πρόσημο, κάτι που οφείλεται στην παράσταση του πάρκου με την μορφή φορτίου, το οποίο όμως δεν απορροφά, αλλά παρέχει ενεργό ισχύ στο σύστημα.

Ο συντελεστής ισχύος των ανεμογεννητριών είναι ίσος με $\lambda=0,86$. Επομένως η σχέση που ενώνει την ενεργό με την άεργο ισχύ είναι $\tan(\cos^{-1} 0,86) = \frac{Q}{P} \Rightarrow Q = 0,6P$.

Οι πυκνωτές αντιστάθμισης.

Στους ζυγούς του συστήματος στους οποίους έχουμε τοποθετήσει τα αιολικά πάρκα που δόθηκαν, χρησιμοποιούμε επίσης πυκνωτές αντιστάθμισης της άεργου ισχύος. Οι πυκνωτές αυτοί δηλώνονται στο αρχείο ech, με την άεργο ισχύ που παρέχουν στο σύστημα (Q_{cap}).

Η τιμή της άεργου ισχύος του πυκνωτή στο κάθε πάρκο, είναι άμεσα συνδεδεμένη με την τιμή της ενεργού ισχύος (P_{wind}), που παρέχει το αιολικό στο δίκτυο της ΑΗΚ. Για την εύρεση της σχέσης που συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη, χρησιμοποιούμε το σχήμα 5.6, στο οποίο φαίνεται η ροή ενεργού και άεργου ισχύος, στον ζυγό διασύνδεσης κάθε πάρκου.



Σχήμα 5.6 Ροή ισχύος στον ζυγό σύνδεσης του αιολικού πάρκου

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6, ο συντελεστής ισχύος στον ζυγό σύνδεσης έχει τιμή 0,98. Αυτή η τιμή έχει επιλεγεί κοντά στην μονάδα, για να έχουμε όσο το δυνατό γίνεται μεγαλύτερη παραγωγή ενεργού ισχύος, σε σχέση με την απορρόφηση άεργου ισχύος από το κάθε αιολικό πάρκο.

Βλέποντας το σχήμα 5.6, κάνουμε την ακόλουθη ανάλυση για την εύρεση της σχέσης που συνδέει την άεργο ισχύ αντιστάθμισης Q_{cap} , με την ενεργό ισχύ P_{wind} που παρέχεται από τις ανεμογεννήτριες των πάρκων.

Αρχίζοντας από τον συντελεστή ισχύος που ορίσαμε , έχουμε : $0,98 = \frac{P_{o\lambda}}{\sqrt{P_{o\lambda}^2 + Q_{o\lambda}^2}} \Rightarrow$

$$P_{o\lambda}^2 = 0,98^2 \cdot (P_{o\lambda}^2 + Q_{o\lambda}^2) \Rightarrow P_{o\lambda}^2 \cdot (1 - 0,98^2) = 0,98^2 \cdot Q_{o\lambda}^2 \Rightarrow \frac{P_{o\lambda}^2}{Q_{o\lambda}^2} = \frac{0,98^2}{1 - 0,98^2} \Rightarrow \frac{P_{o\lambda}^2}{Q_{o\lambda}^2} = 24,25 \Rightarrow$$

$$P_{o\lambda} = 4,92 \cdot Q_{o\lambda} \text{ , όμως ισχύει ότι : } Q_{o\lambda} = Q_{wind} - Q_{cap} \text{ , με το } Q_{wind} = 0,6 \cdot P_{wind} \text{ .}$$

$$\text{Οπότε έχουμε : } P_{o\lambda} = P_{wind} = 4,92 \cdot (0,6 \cdot P_{wind} - Q_{cap}) \Rightarrow -1,952 \cdot P_{wind} = -4,92 \cdot Q_{cap} \text{ .}$$

Άρα τελικά ισχύει ότι : $Q_{cap} \approx 0,4 \cdot P_{wind}$.

Η πιο πάνω σχέση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, διότι λαμβάνει υπ' όψιν και την άεργο αντιστάθμιση που γίνεται σε κάθε ζυγό διασύνδεσης αιολικού πάρκου και πρέπει να αναπροσαρμόζεται σε κάθε προσομοιωτικό σενάριο, ανάλογα με το ποσοστό της αιολικής διείσδυσης και κατ' επέκταση την τρέχουσα P_{wind} που παράγεται σε κάθε πάρκο αντίστοιχα .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

**Ανάλυση της Επάρκειας
Τροφοδότησης Ισχύος των Αυτόνομων
Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας**

6.1 Γενικά

Η ανάλυση της επάρκειας τροφοδότησης ισχύος των αυτόνομων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην εφαρμογή μιας εύελκτης και αποδοτικής υπολογιστικής μεθοδολογίας η οποία αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας του Ε.Μ. Πολυτεχνείου και βασίζεται στις αρχές της ακολουθιακής προσομοίωσης Monte – Carlo της λειτουργίας του συστήματος. Στην μεθοδολογία έχουν ενσωματωθεί ρεαλιστικά οι αρχές λειτουργίας της ανταγωνιστικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των σταθμών παραγωγής και των αιολικών πάρκων. Αυτή η μεθοδολογία στοχεύει στον υπολογισμό κατάλληλων δεικτών της λειτουργικής απόδοσης του συστήματος οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιούνται για:

- Την εκτίμηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα αιολικά πάρκα και μπορεί να απορροφηθεί από ένα δεδομένο αυτόνομο σύστημα στο οποίο λειτουργούν συμβατικές μονάδες παραγωγής και αιολικά πάρκα που έχουν συγκεκριμένες τιμές εγκατεστημένης ονομαστικής ισχύος και τεχνικών χαρακτηριστικών.
- Την εκτίμηση της μέγιστης επιτρεπόμενης ισχύος των ανεμογεννητριών που δύναται να συνδεθεί στο σύστημα (μέγιστη «αιολική διείσδυση»), χωρίς να μειώνεται η αποδεκτή στάθμη ασφάλειας και αξιοπιστίας λειτουργίας του ή να προκαλούνται ανεπίτρεπτες διαταραχές κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.

6.2. Βασικά Χαρακτηριστικά των Αυτόνομων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η διαδικασία επιλογής των μονάδων παραγωγής που ευρίσκονται σε κατάσταση λειτουργίας σε κάθε θεωρούμενη χρονική περίοδο λειτουργίας του συστήματος και ο καθορισμός των αντίστοιχων τιμών της παραγόμενης ισχύος τους πρέπει να λαμβάνουν υπόψη ότι πρέπει πάντοτε να υπάρχει μια επαρκής ποσότητα ισχύος τους που θα ευρίσκεται σε κατάσταση στρεφόμενης εφεδρείας για να αντιμετωπιστούν έκτακτες καταστάσεις οι οποίες προκαλούνται από τις ενδεχόμενες μεγάλες μεταβολές της ζήτησης φορτίου αλλά κυρίως από τις εξαναγκασμένες τυχαίες βλάβες των μονάδων παραγωγής. Για τον σκοπό αυτό μπορεί να εφαρμόζονται διάφορα αιτιοκρατικά κριτήρια αξιοπιστίας.

Ένα γενικό κριτήριο αξιοπιστίας που εφαρμόζεται είναι το Κριτήριο Αξιοπιστίας 1 που αφορά το αιτιοκρατικό κριτήριο ασφάλειας $N - 1$ το οποίο καθορίζει ότι η ποσότητα ισχύος της στρεφόμενης εφεδρείας είναι τουλάχιστον ίση με την μέγιστη τιμή της παραγόμενης ισχύος από μια λειτουργούσα μονάδα παραγωγής. Είναι φανερό ότι υπάρχουν διαφορετικές αριθμητικές τιμές της ποσότητας ισχύος για διαφορετικές χρονικές περιόδους τους έτους οι οποίες εξαρτώνται από τις ιδιαίτερες λειτουργικές συνθήκες του συστήματος και τις αντίστοιχα διαθέσιμες μονάδες παραγωγής. Αυτό το κριτήριο αξιοπιστίας αποτελεί την βάση σχεδιασμού και λειτουργίας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές χώρες του κόσμου και εφαρμόζεται σε αυτόνομα και διασυνδεδεμένα συστήματα. Επιπρόσθετα, διεθνείς οργανισμοί που εποπτεύουν τη λειτουργία μεγάλων διασυνδεδεμένων συστημάτων στην Ευρώπη (π.χ. UCTE, NORDEL) λαμβάνουν υπόψη τους αυτό το κριτήριο σε συνδυασμό με άλλα σχετικά κριτήρια που αφορούν την ζήτηση φορτίου και τη ροή ισχύος των διασυνδεδεμένων. Η άμεση θετική επίπτωση της εφαρμογής αυτού του κριτηρίου είναι η ασφάλεια λειτουργίας του συστήματος να

αντιμετωπίζει με επάρκεια τις ενδεχόμενες βλάβες των μονάδων παραγωγής του. Όμως, υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις που κύρια αφορούν το αυξημένο κόστος παραγωγής που προκαλείται. Για το σκοπό αυτό, σε ορισμένα αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να εφαρμόζεται ένα διαφορετικό κριτήριο (Κριτήριο Αξιοπιστίας 2) το οποίο καθορίζει την ελάχιστη στάθμη της στρεφόμενης εφεδρείας του συστήματος που πρέπει να κρατείται ως μία συγκεκριμένη αριθμητική τιμή ισχύος ανεξάρτητα των λειτουργικών συνθηκών του συστήματος. Αυτή η τιμή μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους ή μπορεί να λαμβάνει ένα μικρό αριθμό διαφορετικών διακριτών τιμών σε διαφορετικές χρονικές περιόδους του έτους. Αυτές οι τιμές πρέπει να καθορίζονται από μία σχετική μελέτη που θα αφορά την ασφάλεια λειτουργίας και την οικονομική λειτουργία του συστήματος.

6.3. Βασικές Αρχές της Μεθόδου Προσομοίωσης Monte – Carlo

Η προσομοίωση Monte –Carlo είναι μια στοχαστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των κατάλληλων δεικτών αξιοπιστίας και λειτουργικής απόδοσης ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας προσομοιώνοντας τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του. Μια σειρά από τυχαία σενάρια λειτουργίας του συστήματος δημιουργούνται θεωρώντας την τυχαία λειτουργική κατάσταση κάθε στοιχείου του συστήματος και την αντίστοιχη τιμή της ζήτησης φορτίου του συστήματος. Στην ακολουθιακή μέθοδο προσομοίωσης, αυτά τα σενάρια καθορίζονται για κάθε ωριαίο χρονικό διάστημα ενός έτους (συνολικά 8760 ώρες). Οι επιθυμητοί δείκτες υπολογίζονται για κάθε ωριαίο χρονικό διάστημα προσομοίωσης της λειτουργικής συμπεριφοράς του συστήματος θεωρώντας τα αντίστοιχα δεδομένα και επιλύοντας τα σχετικά μοντέλα αναπαράστασης της λειτουργίας του. Οι αντίστοιχοι ετήσιοι δείκτες υπολογίζονται ως οι μέσες τιμές των αντίστοιχων αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την διαδικασία προσομοίωσης.

Στο Εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας του Ε.Μ. Πολυτεχνείου έχει αναπτυχθεί μία κατάλληλη και αποδοτική μεθοδολογία με το αντίστοιχο πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή που εφαρμόζουν τις αρχές ακολουθιακής προσομοίωσης Monte – Carlo και υπολογίζουν ένα κατάλληλο σύνολο δεικτών αξιοπιστίας και λειτουργικής απόδοσης ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Τα βασικά βήματα αυτής της μεθοδολογίας είναι τα ακόλουθα για κάθε χρονική περίοδο προσομοίωσης.

- Η λειτουργική συμπεριφορά κάθε στοιχείου του συστήματος αναπαριστάται από ένα κατάλληλο Μαρκοβιανό μοντέλο αξιοπιστίας με δύο καταστάσεις (λειτουργία, επισκευή) με αντίστοιχες παραμέτρους αξιοπιστίας. Ιδιαίτερα για τις μονάδες παραγωγής με μεγάλη τιμή ονομαστικής ισχύος αναπτύχθηκε ένα κατάλληλο μοντέλο πολλαπλών καταστάσεων βλάβης (δύο ή τρεις) έτσι ώστε να αναγνωρίζονται οι καταστάσεις μερικής βλάβης (ή λειτουργίας) τους. Ιδιαίτερα για τις μονάδες παραγωγής συνδυασμένου κύκλου, αναπτύχθηκε ένα κατάλληλο μοντέλο που προσομοιώνει τις λειτουργικές καταστάσεις του θεωρώντας το υφιστάμενο αριθμό αεριοστρόβιλων τους (ένας ,δύο, τρεις). Επίσης, θεωρούνται οι βλάβες κοινής αιτίας των γραμμών μεταφοράς εφαρμόζοντας δύο εναλλακτικά μοντέλα Markov που αναπαριστούν τις λειτουργικές πρακτικές των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες εφαρμόζονται σε αυτά.

- Η προσομοίωση της κατάστασης λειτουργίας των στοιχείων του συστήματος (λειτουργία, επισκευή) πραγματοποιείται με την χρήση κατάλληλων τυχαίων αριθμών οι οποίοι παράγονται εφαρμόζοντας την πολλαπλασιαστική μέθοδο και την θεώρηση της εκθετικής πιθανοτικής κατανομής για τους αντίστοιχους χρόνους λειτουργίας και επισκευής. Για να επιτευχθεί μείωση του χρόνου σύγκλισης της μεθοδολογίας και ελαχιστοποίηση του στατικού λάθους (μείωση της διασποράς) των αποτελεσμάτων της χρησιμοποιείται η αντιθετική τεχνική.
- Οι μονάδες παραγωγής τίθενται σε προγραμματισμένη κατάσταση συντήρησης σύμφωνα με ένα σχετικό ετήσιο σχέδιο που καταρτίζεται κατάλληλα. Για κάθε μονάδα παραγωγής καθορίζονται μια συγκεκριμένη χρονική διάρκεια συντήρησης (σε ώρες) και η χρονική στιγμή έναρξης της (ώρα του έτους).
- Θεωρείται ότι οι απαιτήσεις τροφοδότησης των καταναλωτών σε κάθε ζυγό φορτίου του συστήματος δεν ικανοποιούνται όταν παραβιάζονται τα αποδεκτά όρια τάσης του ζυγού ή όταν το σύστημα δεν μπορεί να τροφοδοτήσει την ζήτηση του φορτίου που συνδέεται σε αυτόν μετά την απομάκρυνση όλων των αιτιών που έχουν δημιουργήσει παραβίαση των σχετικών παραμέτρων του συστήματος.
- Μετά από τον έλεγχο της λειτουργικής κατάστασης των μονάδων παραγωγής (λειτουργία, επισκευή συντήρηση), πραγματοποιείται η διαδικασία επιλογής των μονάδων παραγωγής που θα ευρίσκονται σε κατάσταση λειτουργίας και η διαδικασία κατανομής της αντίστοιχης ζήτησης φορτίου σε αυτές. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε και εφαρμόζεται ένας κατάλληλος αλγόριθμος που λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά των αυτόνομων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μονάδες παραγωγής επιλέγονται κατάλληλα θεωρώντας το κόστος παραγωγής τους σύμφωνα με έναν κατάλογο προτεραιότητας. Η διαδικασία επιλογής των μονάδων παραγωγής που θα ευρίσκονται σε κατάσταση λειτουργίας και ο καθορισμός των αντίστοιχων της παραγόμενης ισχύος τους λαμβάνει υπόψη ότι πρέπει πάντοτε να υπάρχει μια επαρκής ποσότητας ισχύος τους που θα ευρίσκεται σε κατάσταση στρεφόμενης εφεδρείας για να αντιμετωπιστούν έκτακτες καταστάσεις οι οποίες προκαλούνται κύρια από τις εξαναγκασμένες βλάβες των μονάδων παραγωγής. Αυτή η συνολική ποσότητα ισχύος για το σύστημα καθορίζεται εφαρμόζοντας το κριτήριο της μεγαλύτερης τιμής παραγόμενης ισχύος εξόδου από λειτουργούσα μονάδα παραγωγής και αφορά την ικανοποίηση του αιτιοκρατικού Κριτηρίου Αξιοπιστίας 1 (κριτήριο ασφάλειας). Όμως, εάν στο αναλυόμενο σύστημα εφαρμόζεται ένα διαφορετικό κριτήριο (Κριτήριο Αξιοπιστίας 2) για τον καθορισμό της στάθμης στρεφόμενης εφεδρείας για οποιουσδήποτε λόγους (π.χ. οικονομικούς), αυτό το κριτήριο μπορεί να θεωρηθεί καθορίζοντας την σχετική στάθμη (π.χ. εκατοστιαίο ποσοστό της ζήτησης φορτίου, αριθμητική τιμή, κλπ.). Σε διαφορετική περίπτωση υποτίθεται ότι εφαρμόζεται το Κριτήριο Αξιοπιστίας 1. Επίσης υπόψη λαμβάνεται ότι πρέπει να υπάρχει και αντίστροφη στρεφόμενη εφεδρεία ώστε σε περίπτωση που υπάρχει δυνατότητα να αυξηθεί η αιολική παραγωγή (αύξηση ταχύτητας αέρα) να μπορεί το σύστημα να μειώσει την παραγωγή από τις λειτουργούσες συμβατικές μονάδες για να εκμεταλλευτεί αυτή την αύξηση.
- Τέλος, θεωρείται ότι οι φορτίσεις των πανομοιότυπων μονάδων παραγωγής των σταθμών που ευρίσκονται σε κατάσταση λειτουργίας είναι ίσες μεταξύ τους έτσι ώστε να επιτευχθεί μία βελτιωμένη απόκριση τους στην πρωτεύουσα ρύθμιση συχνότητας του συστήματος σε ενδεχόμενες διαταραχές του
- Το κόστος παραγωγής των συμβατικών μονάδων παραγωγής του συστήματος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες συναρτήσεις κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με την παραγόμενη ισχύ εξόδου τους.

Ο βασικός σκοπός της παραπάνω μεθοδολογίας είναι ο υπολογισμός δύο κατάλληλων συνόλων δεικτών οι οποίοι ποσοτικοποιούν τη λειτουργική απόδοση και τη στάθμη αξιοπιστίας λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που αναλύεται. Αυτοί οι δείκτες αξιοπιστίας αφορούν την επάρκεια του συστήματος να τροφοδοτήσει την απαιτούμενη ζήτηση φορτίου του. Το πρώτο σύνολο αντιστοιχεί σε δείκτες λειτουργικής απόδοσης και αξιοπιστίας λειτουργίας του συστήματος οι οποίοι αντικατοπτρίζουν την απόδοση και την επάρκεια του συνολικού συστήματος που αναλύεται. Το δεύτερο σύνολο δεικτών αντιστοιχεί σε δείκτες αξιοπιστίας των ζυγών φορτίου και αντικατοπτρίζει την επάρκεια κάθε ζυγού φορτίου του συστήματος ξεχωριστά.

Η ποσοτικοποίηση της λειτουργικής απόδοσης του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό του ακόλουθου συνόλου δεικτών οι οποίοι αποτελούν τους σημαντικότερους δείκτες:

- LOLE**: Αναμενόμενη απώλεια φορτίου σε ώρες/έτος.
- LOEE**: Αναμενόμενη ετήσια μη τροφοδοτούμενη ενέργεια σε MWh/έτος.
- EDNS**: Αναμενόμενο μέσο μη τροφοδοτούμενο φορτίο σε MW.
- FLOL**: Αναμενόμενη συχνότητα απώλειας φορτίου σε γεγονότα/ έτος.
- D**: Αναμενόμενη μέση διάρκεια απώλειας φορτίου σε ώρες.
- ETHERMAL**: Αναμενόμενη ετήσια παραγόμενη ενέργεια από συμβατικές (θερμικές) μονάδες παραγωγής σε GWh/έτος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η παραπάνω δείκτες αξιοπιστίας του συστήματος αφορούν την κατάσταση κινδύνου του στην οποία η συνολική παραγόμενη ισχύς των διαθέσιμων μονάδων παραγωγής του είναι μικρότερη από την αντίστοιχη ζήτηση φορτίου και, επομένως, προκαλούνται ενδεχόμενα απώλειες φορτίου των πελατών του. Η κατάσταση λειτουργίας του συστήματος στην οποία δεν συμβαίνουν ενδεχόμενα απώλειες φορτίου μπορεί να διαιερεί στις ακόλουθες δύο καταστάσεις λαμβάνοντας υπόψη την ικανοποίηση του εφαρμοζόμενου Κριτηρίου Αξιοπιστίας 2 που αφορά τον καθορισμό της απαιτούμενης στάθμης της στρεφόμενης εφεδρείας του:

- Κατάσταση ομαλής λειτουργίας: Το κριτήριο αξιοπιστίας ικανοποιείται
 - Κατάσταση οριακής λειτουργίας: το κριτήριο αξιοπιστίας δεν ικανοποιείται.
- Για τις παραπάνω δύο καταστάσεις υπολογίζονται οι ακόλουθοι δείκτες αξιοπιστίας που ποσοτικοποιούν την αντίστοιχη λειτουργική συμπεριφορά τους:
- PMARG**: Πιθανότητα εμφάνισης της κατάστασης οριακής λειτουργίας σε %
 - FRMARG**: Ρυθμός εμφάνισης της κατάστασης οριακής λειτουργίας σε γεγ./έτος.
 - DMARG**: Μέση χρονική διάρκεια της κατάστασης οριακής λειτουργίας σε ώρες.
 - SPRESUN**: Μέση τιμή της στρεφόμενης εφεδρείας που δεν είναι διαθέσιμη στην κατάσταση οριακής λειτουργίας ως εκατοστιαίο ποσοστό της απαιτούμενης τιμής (Κριτήριο Αξιοπιστίας 2)
 - PHEALTH**: Πιθανότητα εμφάνισης της κατάστασης ομαλής λειτουργίας σε %
 - FRHEALTH**: Ρυθμός εμφάνισης της κατάστασης ομαλής λειτουργίας σε γεγ./έτος.
 - DHEALTH**: Μέση χρονική διάρκεια της κατάστασης ομαλής λειτουργίας σε ώρες.
 - SPRESAV**: Μέση τιμή στρεφόμενης εφεδρείας η οποία είναι διαθέσιμη στην κατάσταση ομαλής λειτουργίας ως εκατοστιαίο ποσοστό της απαιτούμενης τιμής (Κριτήριο Αξιοπιστίας 2)
 - SPRESAVT**: Μέση τιμή στρεφόμενης εφεδρείας η οποία είναι διαθέσιμη στις καταστάσεις ομαλής λειτουργίας ως εκατοστιαίο ποσοστό της απαιτούμενης τιμής (Κριτήριο Αξιοπιστίας 2)

6.4. Επέκταση της Μεθόδου Προσομοίωσης Monte – Carlo για τη Θεώρηση της Λειτουργίας Αιολικών Πάρκων

Η μεθοδολογία που αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου επεκτάθηκε με κατάλληλο τρόπο έτσι ώστε να λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα λειτουργικά χαρακτηριστικά των αιολικών πάρκων που είναι εγκατεστημένα σε αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, να προσομοιώνει ρεαλιστικά τη λειτουργική συμπεριφορά των αντίστοιχων ανεμογεννητριών και να εκτιμά τις επιπτώσεις τους στη λειτουργική απόδοση των άλλων μονάδων παραγωγής και του συνολικού συστήματος. Αυτά τα χαρακτηριστικά μοντελοποίησης είναι τα ακόλουθα.

- Τα αιολικά πάρκα εγκαθίστανται συνήθως σε περιοχές με ευνοϊκές ανεμολογικές συνθήκες και περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες ομάδες ανεμογεννητριών, κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από ανεμογεννήτριες με πανομοιότυπα λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά. Αυτά τα πάρκα ανήκουν σε ανεξάρτητους παραγωγούς και συνδέονται σε κατάλληλους ζυγούς του συστήματος μεταφοράς και διανομής σύμφωνα με τους όρους σύνδεσης που καθορίζονται από το Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς.
- Κάθε ομάδα ανεμογεννητριών συσχετίζεται με μία γεωγραφική τοποθεσία για την οποία εφαρμόζεται μία διαφορετική καμπύλη η οποία αποτυπώνει τις μέσες ωριαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου. Η μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου αναπαριστάται από την κανονική πιθανοτική κατανομή (ή οποιαδήποτε άλλη κατάλληλη πιθανοτική κατανομή, π.χ. κατανομή Weibull), η οποία χαρακτηρίζεται από τις δύο βασικές παραμέτρους της (μέση τιμή και τυπική απόκλιση). Η αριθμητική τιμή της μέσης ταχύτητας ανέμου για κάθε ωριαίο χρονικό διάστημα του έτους υπολογίζεται με τη χρήση κατάλληλων τυχαίων αριθμών που παράγονται εφαρμόζοντας την πολλαπλασιαστική μέθοδο.
- Η λειτουργική συμπεριφορά κάθε ανεμογεννήτριας περιγράφεται από ένα κατάλληλο Μαρκοβιανό μοντέλο δύο καταστάσεων (λειτουργία, επισκευή) με αντίστοιχες παραμέτρους αξιοπιστίας υποθέτοντας ότι ακολουθούν την εκθετική πιθανοτική κατανομή. Η προσομοίωση των καταστάσεων λειτουργίας και επισκευής των ανεμογεννητριών πραγματοποιείται με τη χρήση κατάλληλων τυχαίων αριθμών οι οποίοι παράγονται με την εφαρμογή της πολλαπλασιαστικής μεθόδου.
- Οι ανεμογεννήτριες τίθενται σε προγραμματισμένη κατάσταση συντήρησης σύμφωνα με ένα σχετικό ετήσιο σχέδιο που καταρτίζεται κατάλληλα. Για κάθε ανεμογεννήτρια καθορίζονται μία συγκεκριμένη χρονική διάρκεια συντήρησης (σε ώρες) και η χρονική στιγμή έναρξης της (ώρα του έτους).
- Η μέση ωριαία παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς εξόδου για κάθε ανεμογεννήτρια του συστήματος υπολογίζεται θεωρώντας τα αντίστοιχα τεχνικά χαρακτηριστικά τους (ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας, ταχύτητα έναρξης λειτουργίας, ταχύτητα αποκοπής λειτουργίας, ονομαστική ισχύς λειτουργίας) και μέση ωριαία ταχύτητα του ανέμου για τη σχετική γεωγραφική περιοχή εγκατάστασης της που προσδιορίζεται όπως αναφέρεται παραπάνω. Όταν η ταχύτητα ανέμου ευρίσκεται στο διάστημα τιμών μεταξύ της ταχύτητας έναρξης λειτουργίας και της ονομαστικής ταχύτητας λειτουργίας της, η παραγόμενη ισχύς υπολογίζεται εφαρμόζοντας μία κατάλληλη γραμμική (ή μη γραμμική) εξίσωση με μεταβλητή την ταχύτητα του ανέμου. Επιπρόσθετα όταν η ταχύτητα ανέμου ευρίσκεται στο διάστημα τιμών μεταξύ της ονομαστικής ταχύτητας λειτουργίας και της ταχύτητας αποκοπής λειτουργίας της, η παραγόμενη ισχύς ισούται με την ονομαστική τιμή ισχύος της ανεμογεννήτριας. Στα υπόλοιπα διαστήματα τιμών της ταχύτητας ανέμου, η παραγόμενη ισχύς είναι μηδενική. Αυτή η θεώρηση σημαίνει ότι

οποιαδήποτε μεταβολή των ανεμολογικών συνθηκών σε μία γεωγραφική περιοχή επηρεάζει ταυτόχρονα την παραγόμενη ισχύ εξόδου όλων των ανεμογεννητριών που είναι εγκατεστημένες σε αυτή ενώ δεν έχει επιπτώσεις στην παραγόμενη ισχύς εξόδου των υπόλοιπων ανεμογεννητριών του συστήματος.

- Υποτίθεται ότι το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι υποχρεωμένο να απορροφήσει τη συνολική παραγόμενη ισχύ των ανεμογεννητριών που είναι συνδεδεμένες σε αυτό ως αποτέλεσμα της εφαρμογής της υφιστάμενης σχετικής νομοθεσίας. Επομένως, η αντίστοιχη ζήτηση φορτίου του συστήματος ικανοποιείται πάντοτε σε πρώτη προτεραιότητα από τη σχετική παραγόμενη ισχύ των αιολικών πάρκων. Όμως, αυτή η υποχρέωση απορρόφησης δεν μπορεί να εφαρμοσθεί πλήρως όταν υπάρχουν ιδιαίτερα τεχνικά προβλήματα λειτουργίας του συστήματος τα οποία θα πρέπει να καθορίζονται με ακρίβεια. Μία τέτοια κατάσταση αφορά τη λειτουργία των μονάδων παραγωγής των θερμικών σταθμών σε μία στάθμη φόρτισης που πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την αντίστοιχη ελάχιστη τιμή της ισχύος εξόδου τους. Σε αυτές τις λειτουργικές συνθήκες, υποτίθεται ότι η πλεονάζουσα ισχύς από τα αιολικά πάρκα πρέπει να αποκόπτεται με κατάλληλο τρόπο (π.χ. αποκοπή παραγόμενης ισχύος από τα αιολικά πάρκα αναλογικά με την παραγόμενη ισχύ τους.)
- Η μέση ωριαία συνολική παραγόμενη ισχύς από όλες τις ανεμογεννήτριες του συστήματος δεν πρέπει να υπερβαίνει ένα ποσοστό της αντίστοιχης μέσης ωριαίας ζήτησης φορτίου (λειτουργικό όριο της επιτρεπόμενης ωριαίας αιολικής διείσδυσης) έτσι ώστε να διασφαλίζεται η ασφαλής λειτουργία του. Όταν υπάρχει μία τέτοια υπέρβαση, θεωρείται ότι δίνεται μία κατάλληλη εντολή από το κέντρο ελέγχου του συστήματος για να μειωθεί η ισχύς παραγωγής αναλογικά για κάθε αιολικό πάρκο που ευρίσκεται σε λειτουργία με κατάλληλο τρόπο έτσι ώστε να ικανοποιείται το σχετικό λειτουργικό όριο. Αυτή η εντολή μείωσης της παραγόμενης ισχύος θεωρείται ότι θα δίνεται σε κάθε αιολικό πάρκο ξεχωριστά και θα αναφέρει ένα πανομοιότυπο ποσοστό μείωσης της συνολικής παραγόμενης ισχύος των ανεμογεννητριών του. Η διαδικασία που πρέπει να εφαρμοσθεί σε κάθε ομάδα ανεμογεννητριών των αιολικών πάρκων εξαρτάται από τον αντίστοιχο τύπο τους και μπορεί να απαιτείται μόνο αντίστοιχη ποσοστιαία μείωση της παραγόμενης ισχύος όλων των ανεμογεννητριών της ομάδας ή διακοπή της λειτουργίας ορισμένου αριθμού ανεμογεννητριών. Αυτή η λειτουργική πρακτική εφαρμόζεται σε πολλά αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, (για παράδειγμα στο σύστημα της Κρήτης με λειτουργικό όριο 25%). Όμως, για το σύστημα της Κύπρου, η δυνατότητα εφαρμογής αυτού του λειτουργικού ορίου δεν υπάρχει λαμβάνοντας υπόψη την υφιστάμενη νομοθεσία. Επομένως, οι επιπτώσεις της αυξημένης αιολικής διείσδυσης στην ασφαλή λειτουργία του συστήματος πρέπει να εξετασθούν με ιδιαίτερη προσοχή.
- Σε κάθε θεωρούμενη χρονική περίοδο προσομοίωσης της λειτουργίας (μία ώρα), εφαρμόζεται ο αλγόριθμος που αναφέρεται στην ενότητα 6.3 και προσδιορίζεται ο κατάλληλος αριθμός των συμβατικών μονάδων παραγωγής που θα θεωρούνται σε κατάσταση λειτουργίας για την τροφοδότηση της αντίστοιχης ζήτησης φορτίου του συστήματος από την οποία αφαιρείται η ποσότητα ισχύος που θεωρείται ότι τροφοδοτείται από την παραγόμενη ισχύ των αιολικών πάρκων.
- Η ποσότητα στρεφόμενης εφεδρείας ισχύος του συστήματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από ένα εκατοστιαίο ποσοστό (π.χ. 50%) της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος των ανεμογεννητριών για να καλυφθούν τα προβλήματα που θα συμβούν μετά από μια ενδεχόμενη ξαφνική σημαντική μείωση της συνολικής παραγόμενης ισχύος των ανεμογεννητριών (Κριτήριο Αξιοπιστίας 3). Αυτή η τιμή της στρεφόμενης εφεδρείας συγκρίνεται με την αντίστοιχη τιμή για το κριτήριο αξιοπιστίας λειτουργίας του συστήματος που αφορά την ασφάλεια λειτουργίας του (Κριτήριο Αξιοπιστίας 1, απώλεια μονάδας παραγωγής με την μεγαλύτερη τιμή παραγόμενης ισχύος εξόδου) και

λαμβάνεται η μεγαλύτερη τιμή η οποία καθορίζει την επιθυμητή στάθμη στρεφόμενης εφεδρείας. Όμως, εάν σε ένα σύστημα έχει καθορισθεί μία συγκεκριμένη στάθμη στρεφόμενης εφεδρείας (Κριτήριο Αξιοπιστίας 2), υπολογίζονται κατάλληλοι δείκτες που εκτιμούν τις ενδεχόμενες υπάρχουσες μειωμένες τιμές της στρεφόμενης εφεδρείας όπως καθορίζονται από το Κριτήριο Αξιοπιστίας 3 σε σχέση με το Κριτήριο Αξιοπιστίας 2.

- Η ποσότητα της αρνητικής στρεφόμενης εφεδρείας ισχύος του συστήματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από μία συγκεκριμένη τιμή (60MW συνήθως) ανεξάρτητα των λειτουργικών συνθηκών του συστήματος. Αυτή η τιμή μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους ή μπορεί να λαμβάνει ένα μικρό αριθμό διαφορετικών διακριτών τιμών σε διαφορετικές χρονικές περιόδους του έτους. Αυτές οι τιμές πρέπει να καθορίζονται από μία σχετική μελέτη που θα αφορά την ασφάλεια λειτουργίας και την οικονομική λειτουργία του συστήματος (Κριτήριο Αξιοπιστίας 4).

Αφού ενσωματωθούν όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά μοντελοποίησης στη μεθοδολογία προσομοίωσης Monte – Carlo προκύπτει η βελτιωμένη μεθοδολογία που έχει τα ακόλουθα βασικά βήματα για κάθε χρονικό διάστημα προσομοίωσης (ώρα):

1. Η λειτουργική κατάσταση (λειτουργία, επισκευή) των συμβατικών μονάδων παραγωγής καθορίζεται με τη χρήση κατάλληλων τυχαίων αριθμών θεωρώντας ότι οι χρόνοι λειτουργίας και επισκευής τους ακολουθούν σχετικές εκθετικές πιθανοτικές κατανομές. Προσδιορίζεται ο κατάλογος των μονάδων παραγωγής που δεν είναι διαθέσιμες για λειτουργία (δεν ευρίσκονται σε κατάσταση επισκευής ή συντήρησης).
2. Σύμφωνα με το εφαρμοζόμενο κριτήριο αξιοπιστίας, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος κατά τη διάρκεια του προηγούμενου χρονικού διαστήματος (ώρας) προσομοίωσης λαμβάνεται υπόψη. Υπολογίζεται η τιμή της απαιτούμενης στάθμης στρεφόμενης εφεδρείας (Κριτήριο Αξιοπιστίας 2). Εάν δεν έχει καθορισθεί ένα τέτοιο κριτήριο, υπολογίζεται η τιμή της απαιτούμενης στάθμης στρεφόμενης εφεδρείας η οποία είναι μεγαλύτερη τιμή από την τιμή που αφορά το κριτήριο ασφαλούς λειτουργίας του συστήματος (Κριτήριο Αξιοπιστίας 1) και την τιμή που σχετίζεται με το καθορισμένο ποσοστό της συνολικής παραγόμενης ισχύος από ανεμογεννήτριες (Κριτήριο Αξιοπιστίας 3).
3. Οι διαθέσιμες συμβατικές μονάδες παραγωγής που θεωρούνται ως μονάδες βάσης του συστήματος εντάσσονται στη διαδικασία τροφοδότησης της ζήτησης φορτίου του συστήματος με την ελάχιστη τιμή της παραγόμενης ισχύος εξόδου.
4. Προσδιορίζεται η τιμή της ταχύτητας του ανέμου για κάθε υπάρχουσα γεωγραφική τοποθεσία του συστήματος με τη χρήση κατάλληλων τυχαίων αριθμών θεωρώντας ότι οι ταχύτητες ανέμου ακολουθούν την κανονική πιθανοτική κατανομή σε σχετικές τιμές των παραμέτρων της (μέση τιμή, διασπορά).
5. Η λειτουργική κατάσταση (λειτουργία, επισκευή) των ανεμογεννητριών καθορίζεται με την χρήση κατάλληλων τυχαίων αριθμών θεωρώντας ότι οι χρόνοι λειτουργίας και επισκευής τους ακολουθούν την εκθετική πιθανοτική κατανομή με σχετικές τιμές των παραμέτρων της. Προσδιορίζεται ο κατάλογος των ανεμογεννητριών που είναι διαθέσιμες (δεν ευρίσκονται σε καταστάσεις επισκευής ή συντήρησης). Καθορίζεται η τιμή της ταχύτητας του ανέμου για κάθε ομάδα ανεμογεννητριών θεωρώντας την ταχύτητα του ανέμου της αντίστοιχης γεωγραφικής τοποθεσίας του συστήματος που ευρέθηκε προηγούμενα. Υπολογίζεται η παραγόμενη ισχύς εξόδου κάθε ανεμογεννήτριας που ευρίσκεται σε λειτουργία λαμβάνοντας υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά της.

6. Εξετάζονται οι περιορισμοί που αφορούν το λειτουργικό όριο της αιολικής διείδυσης και τη δυνατότητα απορρόφησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος των ανεμογεννητριών για την τροφοδότηση της ζήτησης φορτίου του συστήματος. Εάν η συνολική παραγόμενη ισχύς από ανεμογεννήτριες είναι μεγαλύτερη, θεωρείται ότι δίνεται εντολή ποσοστιαίας μείωσης της ισχύς εξόδου των ανεμογεννητριών κάθε αιολικού πάρκου. Για την εφαρμογή αυτής της εντολής, μειώνεται κατά συγκεκριμένο ποσοστό η ισχύς εξόδου κάθε ομάδας ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου ή διακόπτεται η λειτουργία ορισμένων ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου έτσι ώστε να επιτευχθεί το ζητούμενο ποσοστό μείωσης. Αυτό το βήμα δεν εφαρμόζεται στα συστήματα στα οποία δεν εφαρμόζεται το σχετικό λειτουργικό όριο. Για παράδειγμα, στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου αυτό το βήμα μεθοδολογίας δεν εφαρμόζεται.
7. Καθορίζεται ο αντίστοιχος τελικός κατάλογος με τις ανεμογεννήτριες που ευρίσκονται σε λειτουργία και υπολογίζεται η συνολική ισχύς που παράγεται από όλες τις ανεμογεννήτριες του συστήματος και παρέχεται στο σύστημα για την τροφοδότηση της ζήτησης φορτίου του.
8. Προσδιορίζεται η παραγόμενη ισχύς εξόδου κάθε συμβατικής μονάδας παραγωγής του συστήματος λαμβάνοντας υπόψη τη σειρά προτεραιότητας για ένταξη τους και το ρυθμό ανάληψης φορτίου, έτσι ώστε να τροφοδοτείται η συνολική ζήτηση φορτίου του συστήματος (εξαιρουμένου του μέρους της που τροφοδοτείται από την συνολική παραγόμενη ισχύ των ανεμογεννητριών). Η μέγιστη τιμή της παραγόμενης ισχύος εξόδου δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο εκατοστιαίο ποσοστό της μέγιστης ισχύος εξόδου, έτσι ώστε η διαφορά τους να χρησιμοποιείται για της ανάγκες της πρωτεύουσας ρύθμισης συχνότητας του συστήματος (για παράδειγμα, στο σύστημα της Κύπρου εφαρμόζεται το ποσοστό 92%). Αυτή η πρακτική δεν εφαρμόζεται όταν υπάρχει έλλειψη παραγόμενης ισχύος για την τροφοδότηση της αντίστοιχης ζήτησης φορτίου (κατάσταση κινδύνου συστήματος). Υποτίθεται ότι όλες οι πανομοιότυπες μονάδες παραγωγής των σταθμών παραγωγής έχουν την ίδια τιμή φόρτισης όταν ευρίσκονται σε λειτουργία έτσι ώστε η πρωτεύουσα ρύθμιση συχνότητας του συστήματος να είναι αποδοτικότερη.
9. Υπολογίζεται η τιμή της διαθέσιμης ποσότητας της στρεφόμενης εφεδρείας του συστήματος ως η διαφορά της μέγιστης και της παραγόμενης ισχύος εξόδου των μονάδων παραγωγής που προσδιορίζονται στο προηγούμενο βήμα 8. Εάν αυτή η διαθέσιμη ποσότητα δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις σύμφωνα με το εφαρμοζόμενο Κριτήριο Αξιοπιστίας 2 (ή εναλλακτικά με τα Κριτήρια Αξιοπιστίας 1 και 3), επιπρόσθετες συμβατικές μονάδες παραγωγής θεωρούνται ότι λειτουργούν με την ελάχιστη τιμή της παραγόμενης ισχύος εξόδου τους έως ότου αυτές οι απαιτήσεις αυτές ικανοποιηθούν. Μπορεί να χρειασθεί να πραγματοποιηθεί ανακατανομή των φορτίσεων των μονάδων παραγωγής που θεωρείται ότι λειτουργούν.
10. Υπολογίζονται όλοι οι κατάλληλοι δείκτες που αφορούν το χρονικό διάστημα προσομοίωσης.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα ωριαία χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια ενός έτους (8760 ώρες). Η συνολική διαδικασία επαναλαμβάνεται για ένα σημαντικό αριθμό ετών μέχρι να επιτευχθεί η σύγκλιση της διαδικασίας προσομοίωσης σύμφωνα με το κριτήριο της απαιτούμενης στάθμης στατιστικού λάθους. Για να μειωθεί ο αριθμός των ετών προσομοίωσης που απαιτούνται για τη σύγκλιση, εφαρμόζεται η τεχνική μείωσης της διασποράς με αντίθετες μεταβλητές κατά τη διαδικασία παραγωγής των τυχαίων αριθμών.

Η ποσοτικοποίηση της λειτουργικής απόδοσης του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό ενός επιπρόσθετου κατάλληλου συνόλου δεικτών οι οποίοι μπορούν αν χωριστούν στις ακόλουθες πέντε ομάδες (A - E):

A) Λειτουργική απόδοση του συνολικού συστήματος:

- **EWIND:** Ετήσια παραγόμενη ενέργεια από τα αιολικά πάρκα σε GWh/ έτος
- **ETOT:** Ετήσια συνολική παραγόμενη ενέργεια του συστήματος σε GWh/ έτος (άθροισμα των δεικτών ETHERMAL και EWIND).
- **PRW:** Λόγος της παραγόμενης ενέργειας από τα αιολικά πάρκα προς τη συνολική παραγόμενη ενέργεια του συστήματος σε %
- **EOHS:** Μέσος συντελεστής φόρτισης των αιολικών πάρκων που είναι εγκατεστημένα στο σύστημα σε %. Αυτός ο συντελεστής φόρτισης είναι ο λόγος της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας από τα αιολικά πάρκα και του γινόμενου της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος τους με το αριθμό των ωρών σε ένα έτος (8760)
- **FTHERMAL:** Αριθμός των χρονικών περιόδων του έτους στις οποίες ο καθορισμός της απαιτούμενης ποσότητας στρεφόμενης εφεδρείας του συστήματος πραγματοποιείται σύμφωνα με το Κριτήριο Αξιοπιστίας 1 (απώλεια της μονάδας παραγωγής με την μεγαλύτερη τιμή παραγόμενης ισχύος εξόδου) σε % του συνολικού αριθμού των ωρών του έτους (όταν εφαρμόζεται αυτό το κριτήριο αξιοπιστίας)
- **FWIND:** Αριθμός των χρονικών περιόδων του έτους στις οποίες ο καθορισμός της απαιτούμενης στρεφόμενης εφεδρείας του συστήματος πραγματοποιείται σύμφωνα με το Κριτήριο Αξιοπιστίας 3 (συγκεκριμένο εκατοστιαίο ποσό, π.χ. 50%, της παραγόμενης ισχύος από τα αιολικά πάρκα) σε % του συνολικού αριθμού των ωρών του έτους. (όταν εφαρμόζεται αυτό το κριτήριο)

B) Δείκτες που αφορούν τα γεγονότα στα οποία η εφαρμογή των ορίων της ελάχιστης φόρτισης των μονάδων παραγωγής βάσης προκαλεί μειωμένη απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων:

- **FRWPR:** Ρυθμός εμφάνισης των γεγονότων σε γεγ./έτος.
- **ADWPR:** Ετήσια χρονική διάρκεια των γεγονότων σε ώρες/ έτος.
- **DWPR:** Μέση χρονική διάρκεια των γεγονότων σε ώρες
- **EWPR:** Ετήσια μη απορροφούμενη ενέργεια των αιολικών πάρκων σε MWh/έτος.
- **PWPR:** Μέση μη απορροφούμενη ισχύς των αιολικών πάρκων σε MW.
- **PRWPR:** Λόγος της ετήσιας μη απορροφούμενης ενέργειας των αιολικών πάρκων προς την ετήσια συνολική παραγόμενη ενέργεια τους σε %

Γ) Δείκτες που αφορούν τα γεγονότα στα οποία η εφαρμογή των ορίων της ελάχιστης φόρτισης των μονάδων παραγωγής, για την τροφοδότηση της ζήτησης φορτίου και την κάλυψη της απαιτούμενης στάθμης στρεφόμενης εφεδρείας για την ικανοποίηση του εφαρμοζόμενου Κριτηρίου Αξιοπιστίας 2 (ή εναλλακτικά των Κριτηρίων Αξιοπιστίας 1 και 3), προκαλεί μειωμένη απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων:

- **FRTHPR:** Ρυθμός εμφάνισης των γεγονότων σε γεγ./έτος
- **ADTHPR:** Ετήσια χρονική διάρκεια των γεγονότων σε ώρες/ έτος.
- **DTHPR:** Μέση χρονική διάρκεια των γεγονότων σε ώρες.
- **ETHPR:** Ετήσια μη απορροφούμενη ενέργεια των αιολικών πάρκων σε MWh/έτος.
- **RTHPR:** Μέση μη απορροφούμενη ισχύς των αιολικών πάρκων σε MW.

-PRTHPR: Λόγος της ετήσιας μη απορροφούμενης ενέργειας των αιολικών πάρκων προς την ετήσια συνολική παραγόμενη ενέργεια τους σε %.

Δ) Δείκτες που αφορούν τα γεγονότα στα οποία το απόθεμα της αντίστροφης στρεφόμενης εφεδρείας, προκαλεί μειωμένη απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων:

-FRSPWPR: Ρυθμός εμφανίσεις των γεγονότων σε γεγ./έτος

-ADSPWPR: Ετήσια χρονική διάρκεια των γεγονότων σε ώρες/ έτος.

-DSPWPR: Μέση χρονική διάρκεια των γεγονότων σε ώρες.

-ESPWPR: Ετήσια μη απορροφούμενη ενέργεια των αιολικών πάρκων σε MWh/έτος.

-PSPWPR: Μέση μη απορροφούμενη ισχύς των αιολικών πάρκων σε MW.

-PRSPWPR: Λόγος της ετήσιας μη απορροφούμενης ενέργειας των αιολικών πάρκων προς την ετήσια συνολική παραγόμενη ενέργεια τους σε %.

Ε) Δείκτες που αφορούν τα γεγονότα στα οποία η αύξηση της αιολικής ισχύος σε δύο διαδοχικές ώρες υψηλότερα από το όριο αντίστροφης στρεφόμενης εφεδρείας του Κριτηρίου Αξιοπιστίας 4 προκαλεί μειωμένη απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων:

-FRWPCR4: Ρυθμός εμφάνισης των γεγονότων σε γεγ./έτος

-ADWPCR4: Ετήσια χρονική διάρκεια των γεγονότων σε ώρες/ έτος.

-DWPCR4: Μέση χρονική διάρκεια των γεγονότων σε ώρες.

-EWPCR4: Ετήσια μη απορροφούμενη ενέργεια των αιολικών πάρκων σε MWh/έτος.

-PWPCR4: Μέση μη απορροφούμενη ισχύς των αιολικών πάρκων ανά γεγονός σε MW

-PRWPCR4: Λόγος της ετήσιας μη απορροφούμενης ενέργειας των αιολικών πάρκων προς την ετήσια συνολική παραγόμενη ενέργεια τους σε %.

Σημειώνεται ότι το παραπάνω σύνολο δεικτών αφορά το συνολικό σύστημα αλλά, επιπρόσθετα, ένα μέρος των δεικτών μπορεί να υπολογισθεί ξεχωριστά για κάθε αιολικό πάρκο.

Η εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας για διαφορετικές τιμές της στάθμης διεΐσδυσης για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο ανάλυσης (π.χ. ημερολογιακό έτος) παρέχει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για την αξιολόγηση της δυνατότητας του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας να απορροφήσει τις ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας που παράγονται από τα αιολικά πάρκα και τον καθορισμό μίας βέλτιστης τιμής της στάθμης αιολικής διεΐσδυσης σε σχέση με τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος. Επιπρόσθετα, μία ανάλυση ευαισθησίας των τιμών των παραμέτρων που επηρεάζουν την λειτουργία των αιολικών πάρκων (καμπύλες ταχύτητας ανέμου, καμπύλη ζήτησης φορτίου, κλπ) δίνει τη δυνατότητα μίας πλήρους διερεύνησης του θέματος.

6.5. Ανάλυση της Επάρκειας Τροφοδότησης Ισχύος του Αυτόνομου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κύπρου

Η αναπτυχθείσα μεθοδολογία που αναφέρεται παραπάνω στις παραγράφους 6.3 και 6.4 έχει υλοποιηθεί αποδοτικά σε ένα ευέλικτο πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή το οποίο

χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της επάρκειας τροφοδότησης ισχύος του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου.

Σημειώνεται ότι η ζήτηση φορτίου καθορίζει τη συνολική ποσότητα ισχύος που αναμένεται να παράγεται από όλες τις μονάδες παραγωγής του συστήματος σε μία χρονική περίοδο λειτουργίας του υποθέτοντας ότι έχουν ληφθεί υπόψη οι απώλειες του συστήματος μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι στις χρονικές περιόδους της αιχμής ζήτησης φορτίου, η διαθέσιμη εφεδρεία ισχύος είναι σχετικά περιορισμένη (περίπου 9%). Για το Κριτήριο Αξιοπιστίας 2 που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ποσότητας της στρεφόμενης εφεδρείας του συστήματος, εφαρμόζεται το κριτήριο που καθορίζει ότι πρέπει να υπάρχει στρεφόμενη εφεδρεία τουλάχιστον ίση με 60 MW σε κάθε θεωρούμενη χρονική περίοδο. Τέλος, για το Κριτήριο Αξιοπιστίας 3 υποτίθεται ότι η στρεφόμενη εφεδρεία θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το 50% της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος από τα αιολικά πάρκα του συστήματος.

Για την διεξαγωγή των απαραίτητων συμπερασμάτων που αφορούν τις επιπτώσεις της λειτουργίας των αιολικών πάρκων στην αξιοπιστία λειτουργίας και την αποδοτική λειτουργία του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου είναι αναγκαίος ο υπολογισμός όλων των δεικτών που αναφέρονται στην παράγραφο 6.4.

Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα για τους δείκτες αξιοπιστίας και απόδοσης του συστήματος για τα έτη 2011 και 2015

ΔΕΙΚΤΗΣ	ΕΤΟΣ 2011	ΕΤΟΣ 2015
LOLE	41,874	55,178
LOEE	1855,438	3889,58
EDNS	44,31	70,49
FLOL	23,979	31,204
D	1,746	1,768
PMARG	0,538	0,083
FRMARG	0,52	0,082
DMARG	1,0346	1,0122
SPRESUN	5,0749	6,4419
PHEALTH	99,516	99,369
FRHEALTH	25,23	32,265
DHEALTH	345,5247	269,7889
SPRESAV	389,791	440,228
SPRESAVT	389,7728	440,2242
ETHERMAL	5893,7003	7164,5142
EWIND	155,3314	565,0446
ETOT	6049,0317	7729,5588
PRW	2,5678721	7,3101792
EOHS	21,6243	21,5728
FRWPR	35,713	49,543
ADWPR	55,553	100,454
DWPR	1,5555	2,0276
EWPR	504,045	2442,3
PWPR	9,0732	24,3129
PRWPR	0,3202	0,4255
FRTHPR	-	-
ADTHPR	-	-
DTHPR	-	-
ETHPR	-	-
PTHPR	-	-
PRTHPR	-	-
FRSPWPR	75,027	107,94
ADSPWPR	157,962	270,1
DSPWPR	2,1054	2,5023
ESPWPR	1545,323	5933,6
PSPWPR	9,7829	21,9681
PRSPWPR	0,9816	1,0336
FRWPRCR4	12,377	47,06
ADWPRCR4	12,407	54,129
DWPRCR4	1,0024	1,1502
EWPRCR4	54,003	640,35
PWPRCR4	4,3526	11,8301
PRWPRCR4	0,0343	0,1115

Βάση των δεικτών που παρουσιάστηκαν στον παραπάνω πίνακα μπορούν να εξαχθούν αρκετά σημαντικά συμπεράσματα.

1. Για το έτος 2015 παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της ζήτησης ισχύος σε σχέση με το έτος 2011. Ως επακόλουθο είναι η αύξηση της παραγωγής ισχύος από τις συμβατικές μονάδες. Για το λόγο αυτό προβλέπεται και η εγκατάσταση του δεύτερου συνδυασμένου κύκλου στο Βασιλικό.
2. Επίσης για το έτος 2015 παρατηρείται αύξηση και της αιολικής ισχύος καθώς και της αιολικής διείσδυσης παρ' όλο που υπάρχει και αύξηση της ζήτησης. Αυτό είναι λογικό αφού για το έτος 2015 η αιολική δυναμικότητα υπερτριπλασιάζεται, σε σχέση με το έτος 2011, με την κατασκευή των νέων τριών αιολικών πάρκων.
3. Η αύξηση της στάθμης αιολικής διείσδυσης, το έτος 2015 σε σύγκριση με έτος 2011, θα αναμενόταν ότι θα βελτιώνει τους δείκτες αξιοπιστίας διότι επιπρόσθετες ποσότητες παραγόμενης ισχύος είναι διαθέσιμες. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει όμως και ο λόγος είναι, όπως προαναφέρθηκε, ότι το έτος 2015 παρατηρείται σημαντική αύξηση της ζήτησης ισχύος σε σχέση με το έτος 2011.
4. Ο μέσος συντελεστής φόρτισης των αιολικών πάρκων που είναι εγκατεστημένα στο σύστημα (δείκτης EOHs) είναι 21,62% και 21,57% για το έτος 2011 και 2015 αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές δείχνουν ότι η απόδοση των αιολικών πάρκων δεν αναμένεται ότι θα είναι ιδιαίτερα σημαντική.
5. Οι δείκτες που αφορούν τα γεγονότα στα οποία η εφαρμογή των ορίων της ελάχιστης φόρτισης των μονάδων παραγωγής βάσης προκαλεί μειωμένη απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος από τα αιολικά πάρκα έχουν σχετικά πολύ μικρές αριθμητικές τιμές. Η μη απορροφούμενη ενέργεια των αιολικών πάρκων είναι αμελητέα (οι τιμές του δείκτη PRWPR είναι 0,32% και 0,43% για τα έτη 2011 και 2015 αντίστοιχα). Οι υπολογιζόμενοι δείκτες δείχνουν ότι, για τα δύο έτη, τέτοια γεγονότα αναμένεται να συμβούν 55 και 100 ώρες του έτους, που σημαίνει ότι δεν έχουν σημαντικές επιπτώσεις αλλά πρέπει να ληφθούν υπόψη.
6. Οι δείκτες που αφορούν τα γεγονότα στα οποία η εφαρμογή των ορίων της ελάχιστης φόρτισης των μονάδων παραγωγής, για την τροφοδότηση της ζήτησης φορτίου και την κάλυψη της απαιτούμενης στάθμης στρεφόμενης εφεδρείας για την ικανοποίηση του εφαρμοζόμενου Κριτηρίου Αξιοπιστίας 2, προκαλεί μειωμένη απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων έχουν μηδενικές τιμές. Η μη απορροφούμενη ενέργεια των αιολικών πάρκων είναι μηδενική (δείκτης PRTHPR).
7. Η αύξηση της στάθμης αιολικής διείσδυσης το έτος 2015 σε σχέση με το έτος 2011, αυξάνει την τιμή της ποσότητας στρεφόμενης εφεδρείας που είναι διαθέσιμη (δείκτης SPRESAVT). Οι τιμές είναι 389,77% και 440,22% της ισχύος για τα έτη 2011 και 2015 αντίστοιχα. Η τιμές αυτές καθορίζονται από το Κριτήριο Αξιοπιστίας 2 (60MW) που σημαίνει ότι ισούται περίπου με 233,8MW και 264,13MW. Η αύξηση των απαιτήσεων του Κριτηρίου Αξιοπιστίας 2 αναμένεται να αυξήσει τη μέση τιμή της στρεφόμενης εφεδρείας που πρέπει να είναι διαθέσιμη. Αυτές οι τιμές ισχύος είναι μεγαλύτερες από τη μέγιστη δυνατή φόρτιση των μονάδων παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού του Βασιλικού..

8.Οι δείκτες που αφορούν τα γεγονότα στα οποία η αύξηση της αιολικής ισχύος, σε δύο διαδοχικές ώρες, υψηλότερα από το όριο αντίστροφης στρεφόμενης εφεδρείας του Κριτηρίου 4 προκαλεί μειωμένη απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων έχουν πολύ μικρές τιμές. Η μη απορροφούμενη ενέργεια των αιολικών πάρκων είναι αμελητέα (οι τιμές του δείκτη PRWPCR4 είναι 0,034% και 0,11% για τα έτη 2011 και 2015 αντίστοιχα). Οι υπολογιζόμενοι δείκτες δείχνουν ότι, για τα δύο έτη, τέτοια γεγονότα αναμένεται να συμβούν 12 και 54 ώρες του έτους, που σημαίνει ότι δεν έχουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις αλλά πρέπει να ληφθούν υπόψη.

9.Οι δείκτες που αφορούν τα γεγονότα στα οποία το απόθεμα της αντίστροφης στρεφόμενης εφεδρείας, προκαλεί μειωμένη απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων έχουν σχετικά μικρές τιμές. Η μη απορροφούμενη ενέργεια των αιολικών πάρκων είναι (δείκτης PRSPWPR) είναι 0,9% και 1% αντίστοιχα για τα δύο έτη αντίστοιχα. Οι υπολογιζόμενοι δείκτες δείχνουν ότι, για τα δύο έτη, τέτοια γεγονότα αναμένεται να συμβούν 157 και 270 ώρες του έτους, που σημαίνει ότι δεν έχουν σημαντικές επιπτώσεις αλλά πρέπει να ληφθούν υπόψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Παρουσίαση Σεναρίων και Διεξαγωγή Προσομοιώσεων

7.1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα σενάρια, που προέκυψαν βάση της προσομοίωσης Monte – Carlo, πάνω στα οποία θα γίνει η μελέτη της λειτουργικής συμπεριφοράς του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου τα οποία αφορούν την παραγόμενη ισχύ από τις μονάδες παραγωγής του σε διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης του συστήματος και υποθέτοντας διαφορετικές στάθμες αιολικής διείσδυσης. Οι διαταραχές που εξετάζονται για την ανάλυση της ευστάθειας συχνότητας του συστήματος είναι οι ακόλουθες:

- Ακαριαία μείωση της παραγόμενης ισχύος από τις λειτουργούσες ανεμογεννήτριες των αιολικών πάρκων
- Απώλεια της μονάδας παραγωγής που έχει τη μεγαλύτερη τιμή ισχύος εξόδου

Τα ενδεχόμενα της ακαριαίας μείωσης της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων του συστήματος μπορούν να συμβούν όταν:

- Η ταχύτητα του ανέμου σε μία ή και περισσότερες γεωγραφικές περιοχές μειώνεται σημαντικά και η συνολική τιμή της μείωσης της παραγόμενης ισχύος των επηρεαζόμενων ανεμογεννητριών είναι σημαντική.
- Η ταχύτητα του ανέμου σε μία ή και περισσότερες γεωγραφικές περιοχές αυξάνεται και γίνεται μεγαλύτερη από την ταχύτητα αποκοπής των αντίστοιχων εγκατεστημένων ανεμογεννητριών που σημαίνει ότι η λειτουργία τους διακόπτεται απότομα (μηδενική ισχύς εξόδου).
- Αρκετές ανεμογεννήτριες τίθενται εκτός λειτουργίας μετά από εξαναγκασμένες βλάβες λόγω διάφορων αιτιών (μηδενική ισχύς εξόδου).

Τα παραπάνω ενδεχόμενα έχουν διαφορετικές τιμές της πιθανότητας εμφάνισης τους ενώ η παραπάνω σειρά αναφοράς τους δείχνει την αναμενόμενη σχετική κατηγοριοποίηση των τιμών αυτών αναφέροντας πρώτα τα περισσότερο πιθανά ενδεχόμενα. Όμως, οι επιπτώσεις των ενδεχομένων αυτών εξαρτώνται από το μέγεθος της μείωσης της παραγόμενης ισχύος και από τη λειτουργική κατάσταση του συστήματος την χρονική στιγμή που μπορεί να συμβούν. Στις λειτουργικές καταστάσεις στις οποίες ευρίσκονται σε λειτουργία αρκετές μονάδες παραγωγής θερμικών σταθμών, αυτή η μείωση της παραγόμενης ισχύος από αιολικά πάρκα μπορεί να καλυφθεί από αυτές χωρίς να προκληθεί πρόβλημα πτώσης της συχνότητας κάτω από το όριο των 49Hz (συχνότητα ενεργοποίησης του συστήματος αυτόματης απόρριψης φορτίου για το σύστημα της Κύπρου). Όμως υπάρχουν λειτουργικές καταστάσεις στις οποίες η πρωτεύουσα ρύθμιση των μονάδων παραγωγής των θερμικών σταθμών που ευρίσκονται σε λειτουργία δεν είναι επαρκής για να παραμείνει η συχνότητα μεγαλύτερη από 49Hz μετά από ένα τέτοιο ενδεχόμενο.

Από ένα σημαντικό αριθμό προσομοιώσεων, της λειτουργίας του συστήματος που πραγματοποιήθηκαν, διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν είκοσι-ένα λειτουργικές καταστάσεις του συστήματος στις οποίες οι παραπάνω διαταραχές μπορούν να οδηγήσουν σε αστάθεια συχνότητας και τα αντίστοιχα σενάρια λειτουργίας των μονάδων παραγωγής των ηλεκτροπαραγωγών σταθμών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7.1 Οι λειτουργικές καταστάσεις που μπορούν να οδηγήσουν σε αστάθεια

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ			
	ΒΑΣΙΛΙΚΟΣ	ΣΥΝΔ. ΚΥΚΛΟΣ	ΔΕΚΕΛΕΙΑ	ΜΟΝΗ
1	2	2	1	1
2	2	1	1	1
3	2	0	1	1
4	3	2	1	1
5	3	1	1	1
6	3	0	1	1
7	2	2	2	1
8	2	1	2	1
9	2	0	2	1
10	2	2	3	1
11	2	1	3	1
12	2	0	3	1
13	3	2	2	1
14	3	1	2	1
15	3	0	2	1
16	3	2	3	1
17	3	1	3	1
18	3	0	3	1
19	3	2	4	1
20	3	1	4	1
21	3	0	4	1

Οι παραπάνω καταστάσεις ισχύουν για το έτος 2011 και 2015 για κάθε ποσό αιολικής διείσδυσης. Ο αριθμός των μονάδων στο συνδυασμένο κύκλο που βρίσκονται σε λειτουργία αφορούν τους αεριοστρόβιλους του πρώτου συνδυασμένου κύκλου (δηλαδή του συνδυασμένου κύκλου που συμμετέχει στα σενάρια και τα δύο έτη (το έτος 2015 προορίζεται να υπάρχει ένας επιπλέον συνδυασμένος κύκλος).

7.2. Παρουσίαση Σεναρίων

Στην παρούσα μελέτη, το κάθε σενάριο χαρακτηρίζεται από τις φορτίσεις των συμβατικών μονάδων, καθώς και από το ποσοστό αιολικής διείσδυσης που υπάρχει στο σύστημα, την δεδομένη στιγμή.

Στους πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζονται συνοπτικά, τα σενάρια που έχουν καταστρωθεί για τα έτη 2011 και 2015, για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας. Για κάθε σενάριο δίνεται η λειτουργική κατάσταση καθώς και η παραγωγή μίας από τις λειτουργούσες μονάδες από κάθε ηλεκτροπαραγωγό σταθμό. Οι υπόλοιπες μονάδες που είναι σε λειτουργία σε κάθε ηλεκτροπαραγωγό σταθμό παράγουν την ίδια ποσότητα ισχύος. Η παραγωγή των μονάδων καθώς και η ζήτηση φορτίου δίνεται σε MW

Πίνακας 7.2 Σενάρια για το έτος 2011-Αιολική διείσδυση 0-10%

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΒΑΣ.	Σ.Κ.	ΔΕΚ.	ΜΟΝΗ	ΑΙΟΛ.ΠΑΡ.	ΦΟΡΤΙΟ	Α.Δ. (%)
	Β - ΣΚ - Δ - Μ							
1	2 - 2 - 1 - 1	119,6	77	31,3	18	21,7	387,2	5,6
2	2 - 1 - 1 - 1	109,05	77	30	18	20,4	363,5	5,61
3	2 - 0 - 1 - 1	88,2	0	30	18	16,1	240,5	6,69
4	3 - 2 - 1 - 1	10,07	77	30	18	29,3	391,5	7,48
5	3 - 1 - 1 - 1	100,67	77	30	18	35,5	462,5	7,68
6	3 - 0 - 1 - 1	119,6	0	35,4	18	26,8	439	6,1
7	2 - 2 - 2 - 1	119,6	190,6	55,2	18	33,8	592	5,71
8	2 - 1 - 2 - 1	88,15	77	30	18	18,6	349,9	5,32
9	2 - 0 - 2 - 1	119,6	0	41,1	18	21,9	361,3	6,06
10	2 - 2 - 3 - 1	119,6	77	41,4	18	34,9	493,3	7,07
11	2 - 1 - 3 - 1	88,95	77	30	18	19,4	382,3	5,07
12	2 - 0 - 3 - 1	119,6	0	38,4	18	22,8	395,2	5,77
13	3 - 2 - 2 - 1	71,7	77	30	18	20,6	390,7	5,27
14	3 - 1 - 2 - 1	83,07	77	30	18	29,2	433,4	6,74
15	3 - 0 - 2 - 1	93,2	0	30	18	30,5	388,1	7,86
16	3 - 2 - 3 - 1	82,2	77	30	18	26	457,6	5,68
17	3 - 1 - 3 - 1	71,67	77	30	18	20,2	420,2	4,81
18	3 - 0 - 3 - 1	117,13	0	30	18	33,6	493	6,82
19	3 - 2 - 4 - 1	119,6	77	50,7	18	35,2	691,8	5,09
20	3 - 1 - 4 - 1	100,13	77	30	18	23,8	539,2	4,41
21	3 - 0 - 4 - 1	99,67	0	30	18	29,1	466,1	6,24

Πίνακας 7.3 Σενάρια για το έτος 2015-Αιολική διείσδυση 0-10%

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΒΑΣ.	Σ.Κ.1	Σ.Κ.2	ΔΕΚ.	ΜΟΝΗ	ΑΙΟΛ.ΠΑΡ.	ΦΟΡΤΙΟ	Α.Δ. (%)
	Β – ΣΚ – Δ - Μ								
1	2 – 2 – 1 – 1	119,6	202,4	112,3	55,2	25,8	61,8	696,7	8,87
2	2 – 1 – 1 – 1	80	77	77	30	18	30,4	392,4	7,75
3	2 – 0 – 1 – 1	119,6	0	85	55,2	24,8	38,2	442,4	8,63
4	3 – 2 – 1 – 1	119,6	184,5	0	55,2	18	56,8	673,3	8,44
5	3 – 1 – 1 – 1	99,33	77	77	30	18	42,5	542,5	7,83
6	3 – 0 – 1 – 1	119,6	0	188,6	55,2	27,6	56,1	686,3	8,17
7	2 – 2 – 2 – 1	119,6	202,4	130,2	55,2	24,8	66,3	773,3	8,57
8	2 – 1 – 2 – 1	119,6	101,2	122,8	55,2	25,8	52,7	652,1	8,08
9	2 – 0 – 2 – 1	119,6	0	77	43,9	18	38,7	460,7	8,40
10	2 – 2 – 3 – 1	119,6	179,4	0	55,2	18	56,2	658,4	8,54
11	2 – 1 – 3 – 1	85,9	77	77	30	18	39,5	473,3	8,35
12	2 – 0 – 3 – 1	119,6	0	153	55,2	24,8	54,7	637,3	8,58
13	3 – 2 – 2 – 1	124,2	202,4	202,4	55,2	24,8	81,9	994,5	8,24
14	3 – 1 – 2 – 1	119,6	101,2	182,3	55,2	25,8	76,9	855,4	8,99
15	3 – 0 – 2 – 1	71,67	0	77	30	18	31,2	401,2	7,78
16	3 – 2 – 3 – 1	119,6	141,2	0	55,2	18	61,1	744,7	8,20
17	3 – 1 – 3 – 1	119,6	101,2	134,1	55,2	25,8	71,2	856,7	8,31
18	3 – 0 – 3 – 1	119,6	0	145,8	55,2	24,8	61,4	756,4	8,12
19	3 – 2 – 4 – 1	119,6	77	0	48,3	18	58,1	705,1	8,24
20	3 – 1 – 4 – 1	113,6	77	0	30	18	50,2	606	8,29
21	3 – 0 – 4 – 1	109,07	0	77	30	18	48,3	590,5	8,18

Πίνακας 7.4 Σενάρια για το έτος 2015-Αιολική διείσδυση 10-20%

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΒΑΣ.	Σ.Κ.1	Σ.Κ.2	ΔΕΚ.	ΜΟΝΗ	ΑΙΟΛ.ΠΑΡ.	ΦΟΡΤΙΟ	Α.Δ. (%)
	Β - ΣΚ - Δ - Μ								
1	2-2-1-1	119,6	157	77	55,2	18	105,8	652,2	16,22
2	2-1-1-1	117,85	77	77	30	18	72,8	510,5	14,26
3	2-0-1-1	119,6	0	174,9	55,2	24,8	105,2	599,3	17,55
4	3-2-1-1	119,6	135,4	0	55,2	18	99,1	666,5	14,87
5	3-1-1-1	105,53	77	77	30	18	100,1	618,69	16,18
6	3-0-1-1	119,6	0	130,2	55,2	27,6	118,4	690,2	17,12
7	2-2-2-1	100,9	77	0	30	18	69	425,8	16,2
8	2-1-2-1	119,6	101,2	77	55,2	20,1	116,4	664,3	17,52
9	2-0-2-1	119,6	0	178	55,2	25,8	119,9	673,3	17,81
10	2-2-3-1	119,6	77	77	54,5	18	117,7	692,4	16,99
11	2-1-3-1	119,6	94,3	77	55,2	18	124,5	718,6	17,33
12	2-0-3-1	77,5	0	77	30	18	71,3	411,3	17,34
13	3-2-2-1	119,6	77	77	37,9	18	109,7	716,3	15,31
14	3-1-2-1	107,53	77	0	30	18	92,2	569,79	16,18
15	3-0-2-1	119,6	0	0	48,2	18	97,3	570,5	17,06
16	3-2-3-1	88,93	77	77	30	18	110,3	639,09	17,26
17	3-1-3-1	73,47	77	0	30	18	71,5	476,91	14,99
18	3-0-3-1	119,6	0	0	53,6	18	111,3	648,9	17,15
19	3-2-4-1	111,6	77	0	30	18	109,3	659,1	16,58
20	3-1-4-1	78,2	77	0	30	18	91,1	540,7	16,85
21	3-0-4-1	76,33	0	0	30	18	79,7	446,69	17,84

Πίνακας 7.5 Σενάρια για το έτος 2015-Αιολική διείσδυση 20-30%

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΒΑΣ.	Σ.Κ.1	Σ.Κ.2	ΔΕΚ.	ΜΟΝΗ	ΑΙΟΛ.ΠΑΡ.	ΦΟΡΤΙΟ	Α.Δ. (%)
	Β - ΣΚ - Δ - Μ								
1	2-2-1-1	87,6	77	0	30	18	98	398,2	24,61
2	2-1-1-1	98,65	77	77	30	18	117,2	516,5	22,69
3	2-0-1-1	92,9	0	77	30	18	99,5	410,3	24,25
4	3-2-1-1	99,93	77	0	30	18	134,3	599,09	24,02
5	3-1-1-1	87,67	77	0	30	18	118,8	506,81	23,44
6	3-0-1-1	102,6	0	77	30	18	129,5	562,3	23,03
7	2-2-2-1	90,75	77	77	30	18	123	536,5	22,93
8	2-1-2-1	112,8	77	77	30	18	133,5	591,1	22,59
9	2-0-2-1	102,95	0	77	30	18	123,3	484,2	25,46
10	2-2-3-1	101,85	77	0	30	18	115,3	504	22,88
11	2-1-3-1	106,55	77	0	30	18	128,1	526,2	24,34
12	2-0-3-1	90,85	0	77	30	18	109,7	476,4	23,03
13	3-2-2-1	98	77	0	30	18	131,1	580,1	22,6
14	3-1-2-1	84,93	77	0	30	18	125,8	535,59	23,49
15	3-0-2-1	119,6	0	0	31,1	18	136,9	575,9	23,77
16	3-2-3-1	71,67	77	0	30	18	121,1	521,11	23,24
17	3-1-3-1	82,4	77	0	30	18	126	558,2	22,57
18	3-0-3-1	84,27	0	0	30	18	111,1	471,91	23,54
19	3-2-4-1	71,67	77	0	30	18	130	560,01	23,21
20	3-1-4-1	71,67	77	77	30	18	155,1	662,11	23,43
21	3-0-4-1	97,27	0	0	30	18	131,65	561,46	23,45

Το έτος 2011 υπάρχει μόνο το πάρκο στο ζυγό Ορήτες. Οπότε όλη η αιολική παραγωγή προσφέρεται από αυτό το πάρκο. Για το έτος 2015 η συνολική αιολική παραγωγή, επειδή υπάρχουν τέσσερα αιολικά πάρκα, θα μοιραστεί στα υπάρχοντα πάρκα αναλογικά. Για παράδειγμα το αιολικό πάρκο στην Κλαυδία έχει ονομαστική ενεργό ισχύ 108MW και η συνολική ισχύ των πάρκων είναι 299MW. Επομένως το πάρκο στην Κλαυδία για κάθε σενάριο θα παράγει το $(108/299)*100=36\%$ της αιολικής παραγωγής.

Για το 2011 παρουσιάζονται σενάρια με αιολική διείσδυση μέχρι 10%, ενώ για το 2015 υπάρχουν σενάρια και για αιολική διείσδυση μεταξύ 10-20% και 20-30%. Αυτό συμβαίνει διότι το 2015 η εγκατεστημένη αιολική ισχύς είναι 299MW με την δημιουργία τριών νέων αιολικών πάρκων σε σχέση με το έτος 2011 όπου η εγκατεστημένη αιολική ισχύς είναι 82MW.

Επίσης παρατηρείτε ότι το 2015 υπάρχει ένας επιπλέον συνδυασμένος κύκλος στον Βασιλικό, όμοιος με αυτόν που υπάρχει το 2011, ο οποίος πρόκειται να εγκατασταθεί το έτος 2015.

7.3. Αναλυτική Περιγραφή Προσομοίωσης

Για την προσομοίωση των σεναρίων στο EUROSTAG χρησιμοποιήθηκε πρόγραμμα το οποίο είναι γραμμένο σε γλώσσα C++ και το λογισμικό Visual Studio 2005.

Το πρόγραμμα αρχικά λαμβάνει από το αρχείο db τα διάφορα σενάρια που περιλαμβάνουν το συνολικό φορτίο, την αιολική παραγωγή και την παραγωγή από τις μονάδες παραγωγής της ΑΗΚ. Η αιολική παραγωγή μοιράζεται στα υπάρχοντα πάρκα αναλογικά. Βάση αυτών των δεδομένων δημιουργείται το αρχείο ech στο EUROSTAG

Αφού δημιουργηθεί το αρχείο ech γίνεται η ροή φορτίου και η προσομοίωση από το EUROSTAG. Η προσομοίωση περιλαμβάνει τις πιθανές διαταραχές οι οποίες αναφέρθηκαν στην ενότητα 7.1. Στην περίπτωση απώλειας της μονάδας παραγωγής που έχει τη μεγαλύτερη τιμή ισχύος εξόδου τίθεται εκτός λειτουργίας μία από τις μονάδες 1-3 του Βασιλικού. Δεν έχει σημασία ποια μονάδα θα τεθεί εκτός λειτουργίας αφού παράγουν το ίδιο ποσό ισχύος. Συγκεκριμένα στις προσομοιώσεις που πραγματοποιούνται τίθεται εκτός λειτουργίας η πρώτη μονάδα του Βασιλικού την χρονική στιγμή 10s.

Το πρόγραμμα ψάχνει να βρει την μέγιστη τιμή απώλειας ισχύος η οποία δεν προκαλεί μείωση της συχνότητας του συστήματος κάτω από το όριο των 49Hz και δεν ενεργοποιεί τον αυτόματο διακόπτη απόρριψης φορτίου (ελέγχεται η ελάχιστη τιμή που παίρνει η συχνότητα κατά τη βύθιση της εξαιτίας της απότομης απώλειας ισχύος). Για να το πετύχει αυτό ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης θέτει εκτός λειτουργίας την μονάδα του Βασιλικού κάποια χρονική στιγμή.
- Συγκρίνει την ελάχιστη συχνότητα του συστήματος με την συχνότητα των 49 Hz.
- **1.** Αν είναι μεγαλύτερη ξαναφτιάχνει το αρχείο ech προσθέτοντας 1MW στις λειτουργούσες μονάδες του Βασιλικού (εκτός από το συνδυασμένο κύκλο) και στο φορτίο ζήτησης αντίστοιχα. Έπειτα ξανατρέχει τη ροή φορτίου και την προσομοίωση κάνοντας στο τέλος τον ίδιο έλεγχο.
- **2.** Αν είναι μικρότερη ξαναφτιάχνει το αρχείο ech αφαιρώντας 1MW από τις λειτουργούσες μονάδες του Βασιλικού (εκτός από το συνδυασμένο κύκλο) και από το φορτίο ζήτησης αντίστοιχα. Έπειτα ξανατρέχει τη ροή φορτίου και την προσομοίωση κάνοντας στο τέλος τον ίδιο έλεγχο.
- Επαναλαμβάνει το ίδιο βήμα έως ότου βρει ποια είναι η μέγιστη τιμή του Βασιλικού η οποία αν τεθεί εκτός λειτουργίας δεν προκαλεί οριακά αστάθεια στο σύστημα

Σε περίπτωση που η διαταραχή είναι η ακαριαία μείωση της αιολικής παραγωγής ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα.

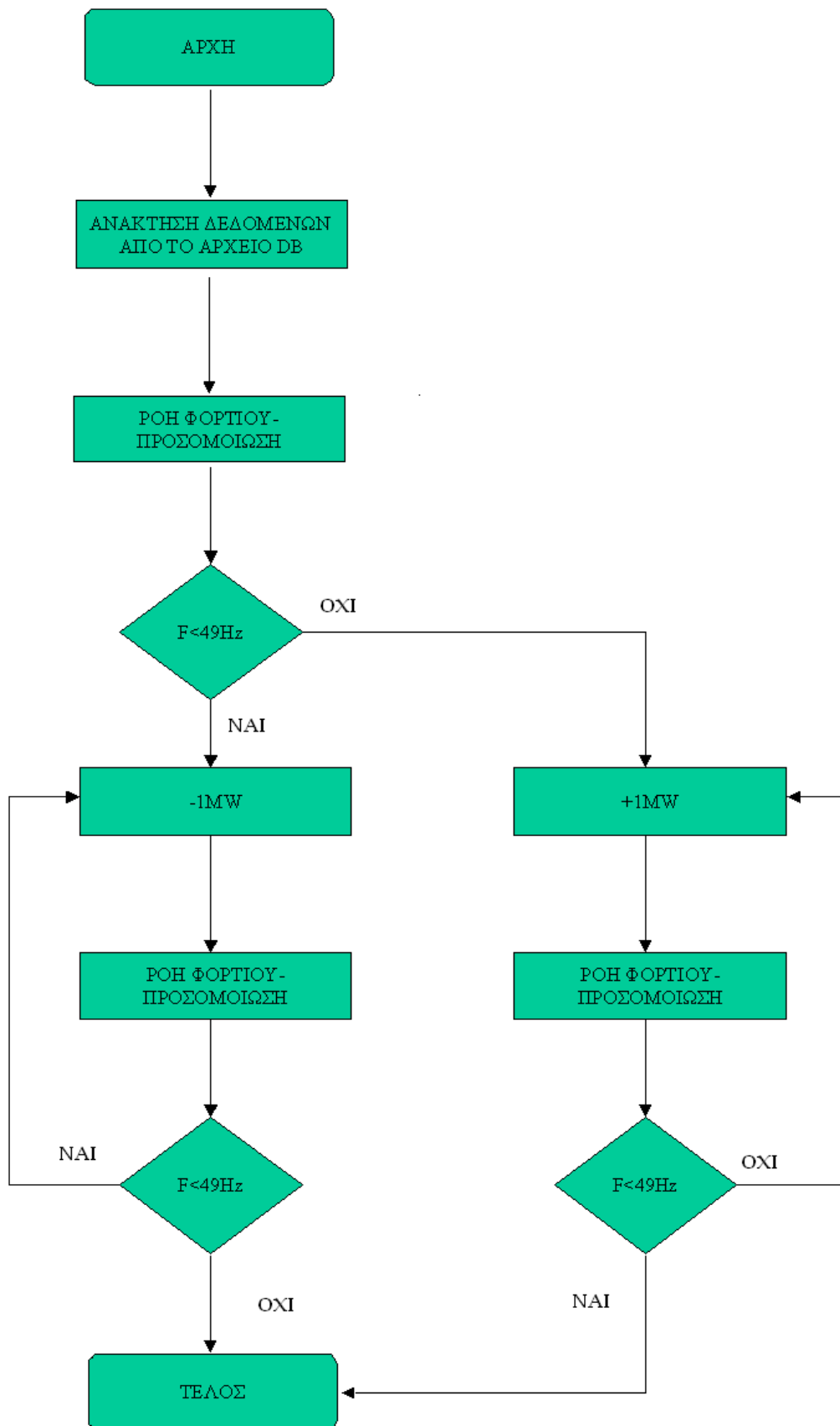
- Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης κάποια χρονική στιγμή τίθεται εκτός λειτουργίας ένα από τα υπάρχοντα πάρκα και αποθηκεύεται η απώλεια ισχύος και η ελάχιστη τιμή της συχνότητας η οποία συγκρίνεται με το όριο των 49 Hz.
- Επαναλαμβάνεται το ίδιο βήμα θέτοντας κάθε φορά εκτός λειτουργίας ένα επιπλέον πάρκο (κάθε φορά τίθενται εκτός λειτουργίας τα πάρκα του προηγούμενου βήματος και άλλο ένα επιπλέον) έως ότου βρεθεί τότε η συχνότητα παραβιάζει το κατώτερο όριο το 49Hz ή δεν υπάρχουν άλλα πάρκα.

- Στο τέλος, έχοντας αποθηκευτεί η απώλεια ισχύος και η ελάχιστη τιμή της συχνότητας των δύο τελευταίων προσομοιώσεων, με γραμμική παρεμβολή εντοπίζεται η ακριβής απώλεια ισχύος που οδηγεί σε οριακή ευστάθεια.

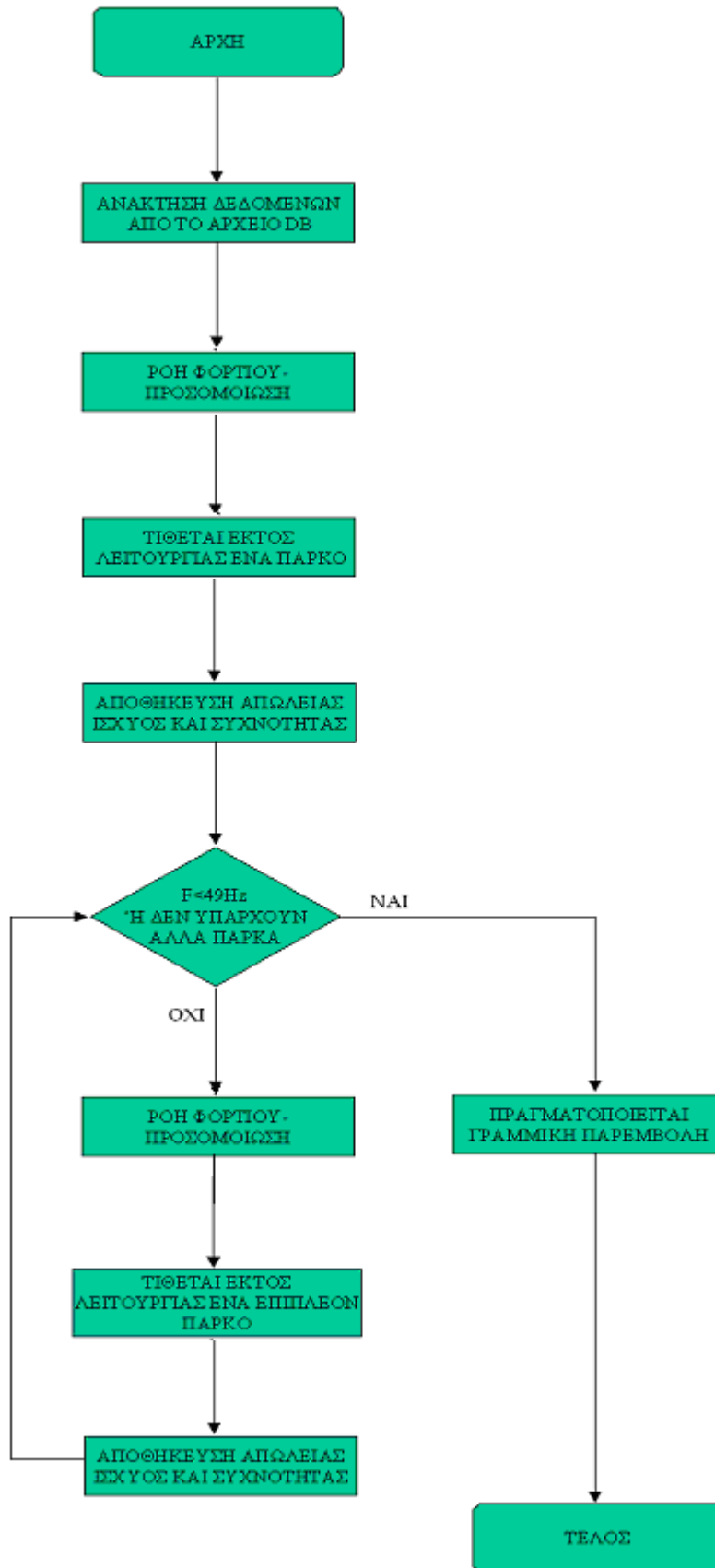
Η σχέση απώλειας ισχύος-συχνότητας δεν είναι γραμμική και για αυτό το διάστημα που γίνεται η γραμμική παρεμβολή επιδιώκεται να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Για να είναι πιθανότερο να συμβεί αυτό τα πάρκα τίθενται εκτός λειτουργίας με σειρά από αυτό με την μικρότερη ονομαστική ισχύ προς αυτό με την μεγαλύτερη.

Στην περίπτωση του έτους 2011 επειδή υπάρχει μόνο ένα πάρκο για να μπορέσει να λειτουργήσει το πρόγραμμα το υπάρχον πάρκο διασπάστηκε σε πέντε πάρκα (στον ίδιο ζυγό) που το κάθε ένα έχει ονομαστική ισχύ το ένα πέμπτο του αρχικού.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής του προγράμματος, για την εύρεση της μέγιστης απώλειας ισχύος της μονάδας του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού του Βασιλικού και της μέγιστης ακαριαίας μείωσης της αιολικής παραγωγής που δεν οδηγούν σε αστάθεια



Σχήμα 7.1 Διάγραμμα ροής προγράμματος για την εύρεση της μέγιστης απώλειας ισχύος μίας μονάδας του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού του Βασιλικού που δεν οδηγεί σε αστάθεια



Σχήμα 7.2 Διάγραμμα ροής προγράμματος για την εύρεση της μέγιστης ακαριαίας μείωσης της αιολικής ισχύος που δεν οδηγεί σε αστάθεια

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της μέγιστης δυνατής απώλειας ισχύος της μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού και της μέγιστης τιμής της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων που μπορεί να μειωθεί ακαριαία έτσι ώστε η ενδεχόμενη βλάβη να μην προκαλεί πτώση της συχνότητας του συστήματος κάτω από τα 49Hz (όριο αυτόματης απόρριψης φορτίου του συστήματος).

Πίνακας 7.6 Αποτελέσματα για το έτος 2011-Αιολική διείσδυση 0-10%

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Β – ΣΚ – Δ - Μ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (MW)	ΑΙΟΛ. ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ (%)
1	2 – 2 – 1 – 1	94,6	120,0	5,604
2	2 – 1 – 1 – 1	89,05	120,0	5,612
3	2 – 0 – 1 – 1	29,2	58,7	6,694
4	3 – 2 – 1 – 1	105,07	144,0	7,484
5	3 – 1 – 1 – 1	100,67	136,0	7,676
6	3 – 0 – 1 – 1	38,6	24,0	6,105
7	2 – 2 – 2 – 1	67,6	61,3	5,709
8	2 – 1 – 2 – 1	96,15	136,0	5,316
9	2 – 0 – 2 – 1	44,6	48,0	6,061
10	2 – 2 – 3 – 1	114,6	136,0	7,075
11	2 – 1 – 3 – 1	103,95	208,0	5,075
12	2 – 0 – 3 – 1	56,6	64,0	5,769
13	3 – 2 – 2 – 1	114,7	152,0	5,273
14	3 – 1 – 2 – 1	111,07	144,0	6,737
15	3 – 0 – 2 – 1	60,2	84,0	7,859
16	3 – 2 – 3 – 1	124,2	152,0	5,681
17	3 – 1 – 3 – 1	117,67	152,0	4,807
18	3 – 0 – 3 – 1	72,13	80,0	6,815
19	3 – 2 – 4 – 1	130,6	160,0	5,088
20	3 – 1 – 4 – 1	129,13	152,0	4,414
21	3 – 0 – 4 – 1	88,67	101,3	6,243

Πίνακας 7.7 Αποτελέσματα για το έτος 2015-Αιολική διείσδυση 0-10%

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Β – ΣΚ – Δ - Μ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (MW)	ΑΙΟΛ. ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ (%)
1	2 – 2 – 1 – 1	119,6	84,0	8,87
2	2 – 1 – 1 – 1	130	57,5	7,747
3	2 – 0 – 1 – 1	101,6	53,5	8,635
4	3 – 2 – 1 – 1	117,6	62,2	8,436
5	3 – 1 – 1 – 1	130	80,4	7,834
6	3 – 0 – 1 – 1	118,6	58,9	8,174
7	2 – 2 – 2 – 1	130	125,3	8,574
8	2 – 1 – 2 – 1	125,6	95,9	8,082
9	2 – 0 – 2 – 1	114,6	60,7	8,4
10	2 – 2 – 3 – 1	88,6	61,5	8,536
11	2 – 1 – 3 – 1	130	116,0	8,346
12	2 – 0 – 3 – 1	98,6	72,2	8,583
13	3 – 2 – 2 – 1	122,2	87,1	8,235
14	3 – 1 – 2 – 1	119,6	86,1	8,99
15	3 – 0 – 2 – 1	121,67	59,0	7,777
16	3 – 2 – 3 – 1	126,6	95,8	8,205
17	3 – 1 – 3 – 1	130	123,7	8,311
18	3 – 0 – 3 – 1	122,6	91,7	8,117
19	3 – 2 – 4 – 1	130	91,1	8,24
20	3 – 1 – 4 – 1	130	87,9	8,284
21	3 – 0 – 4 – 1	130	87,9	8,18

Πίνακας 7.8 Αποτελέσματα για το έτος 2015-Αιολική διείσδυση 10-20%

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ B – ΣΚ – Δ - Μ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (MW)	ΑΙΟΛ. ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ (%)
1	2 – 2 – 1 – 1	130	125,9	16,222
2	2 – 1 – 1 – 1	130	101,9	14,261
3	2 – 0 – 1 – 1	110,6	86,5	17,554
4	3 – 2 – 1 – 1	130	100,3	14,869
5	3 – 1 – 1 – 1	130	135,5	16,179
6	3 – 0 – 1 – 1	130	108,3	17,154
7	2 – 2 – 2 – 1	109,9	85,6	16,205
8	2 – 1 – 2 – 1	130	134,4	17,522
9	2 – 0 – 2 – 1	118,6	98,5	17,808
10	2 – 2 – 3 – 1	130	150,7	16,999
11	2 – 1 – 3 – 1	130	143,8	17,325
12	2 – 0 – 3 – 1	118,5	91,2	17,335
13	3 – 2 – 2 – 1	130	144,8	15,315
14	3 – 1 – 2 – 1	122,53	103,3	16,181
15	3 – 0 – 2 – 1	87,6	78,3	17,055
16	3 – 2 – 3 – 1	130	160,6	17,259
17	3 – 1 – 3 – 1	126,47	96,7	14,992
18	3 – 0 – 3 – 1	118,6	90,6	17,152
19	3 – 2 – 4 – 1	130	126,2	16,583
20	3 – 1 – 4 – 1	130	113,0	16,849
21	3 – 0 – 4 – 1	92,33	83,7	17,842

Πίνακας 7.9 Αποτελέσματα για το έτος 2015-Αιολική διείσδυση 20-30%

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ B – ΣΚ – Δ - Μ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (MW)	ΑΙΟΛ. ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ (%)
1	2 – 2 – 1 – 1	105,6	100,6	24,611
2	2 – 1 – 1 – 1	130	145,4	22,691
3	2 – 0 – 1 – 1	104,9	101	24,251
4	3 – 2 – 1 – 1	130	126,9	24,021
5	3 – 1 – 1 – 1	120,67	116,4	23,441
6	3 – 0 – 1 – 1	130	124,9	23,03
7	2 – 2 – 2 – 1	130	147,6	22,926
8	2 – 1 – 2 – 1	130	144,8	22,585
9	2 – 0 – 2 – 1	117,95	118,9	25,465
10	2 – 2 – 3 – 1	123,85	121,1	22,877
11	2 – 1 – 3 – 1	120,55	121,1	24,344
12	2 – 0 – 3 – 1	123,85	115,2	23,027
13	3 – 2 – 2 – 1	130	133,1	22,6
14	3 – 1 – 2 – 1	130	125,2	23,488
15	3 – 0 – 2 – 1	93,6	92,08	23,771
16	3 – 2 – 3 – 1	130	131,0	23,239
17	3 – 1 – 3 – 1	130	132,3	22,573
18	3 – 0 – 3 – 1	89,27	93,3	23,543
19	3 – 2 – 4 – 1	130	141,1	23,214
20	3 – 1 – 4 – 1	130	179,9	23,425
21	3 – 0 – 4 – 1	103,27	106,9	23,448

Η στήλη της παραγόμενης ισχύος αναφέρεται στη μέγιστη τιμή της παραγόμενης ισχύος από μία μονάδα παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού του Βασιλικού η οποία μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας μετά από τυχαία εξαναγκασμένη βλάβη της.

Η στήλη της παραγωγής ανεμογεννητριών αναφέρεται στην μέγιστη τιμή της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων που μπορεί να μειωθεί ακαριαία.

Παρατηρείται ότι για το έτος 2011 η μέγιστη δυνατή απώλεια παραγόμενης ισχύος από μία μονάδα παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού του Βασιλικού είναι μικρότερη από το όριο ελάχιστης φόρτισης της μονάδας (60MW). Αυτό σημαίνει ότι η ενδεχόμενη απώλεια μίας μονάδας παραγωγής του σταθμού προκαλεί αστάθεια συχνότητας του συστήματος όταν στο σύστημα ευρίσκεται στις λειτουργικές καταστάσεις 3, 6, 9 και 12.

7.4. Πιθανοτική Ανάλυση των Καταστάσεων Κινδύνου στη Λειτουργία του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κύπρου

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν 21 λειτουργικές καταστάσεις του συστήματος στις οποίες οι διαταραχές που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους μπορούν να προκαλέσουν αστάθεια συχνότητας. Για αυτό το λόγο κάθε μία από αυτές, υπολογίστηκαν τα ακόλουθα:

- Μέγιστη τιμή της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων η οποία μπορεί να μειωθεί ακαριαία χωρίς να προκληθεί πρόβλημα αστάθειας συχνότητας.
- Μέγιστη τιμή της παραγόμενης ισχύος από μία μονάδα παραγωγής θερμικού σταθμού η οποία μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας μετά από τυχαία εξαναγκασμένη βλάβη της χωρίς να προκληθεί πρόβλημα αστάθειας συχνότητας.

Οι είκοσι-ένα λειτουργικές καταστάσεις του συστήματος υποδιαιρούνται στις ακόλουθες καταστάσεις:

- Κρίσιμη Κατάσταση: Είναι η λειτουργική κατάσταση κατά την οποία η παραγόμενη ισχύς μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού του Βασιλικού είναι μεγαλύτερη από το αντίστοιχο όριο που έχει καθορισθεί από την ανάλυση της δυναμικής ασφάλειας του συστήματος για την αντίστοιχη στάθμη αιολικής διείδυσης.
- Κατάσταση Κινδύνου 1: Είναι η Κρίσιμη Κατάσταση κατά την οποία μία τουλάχιστον μονάδα παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού του Βασιλικού τίθεται εκτός λειτουργίας λόγω τυχαίας εξαναγκασμένης βλάβης.
- Κατάσταση Κινδύνου 2 : Είναι η λειτουργική κατάσταση κατά την οποία υπάρχει μείωση της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων η οποία είναι μεγαλύτερη από το αντίστοιχο όριο που έχει καθορισθεί από την ανάλυση της δυναμικής ασφάλειας του συστήματος για την αντίστοιχη στάθμη αιολικής διείδυσης.
- Κατάσταση Κινδύνου Συστήματος: Μπορεί να είναι η Κατάσταση Κινδύνου 1 ή η Κατάσταση Κινδύνου 2.

Η ποσοτικοποίηση της λειτουργικής απόδοσης των αυτόνομων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και των επιπτώσεων της αυξημένης αιολικής διείδυσης επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό των ακόλουθων επιπρόσθετων δεικτών:

- Πιθανότητα εμφάνισης (σε %) των είκοσι-ένα λειτουργικών καταστάσεων για κάθε διάστημα αιολικής διείδυσης και συνολικά.
- Πιθανότητα εμφάνισης (σε %) των Κρίσιμων Καταστάσεων για τις είκοσι-ένα λειτουργικές καταστάσεις για κάθε διάστημα αιολικής διείδυσης και συνολικά.
- Πιθανότητα εμφάνισης (σε %) των Καταστάσεων Κινδύνου 1 για τις είκοσι-ένα λειτουργικές καταστάσεις για κάθε διάστημα αιολικής διείδυσης και συνολικά.
- Πιθανότητα εμφάνισης (σε %) των Καταστάσεων Κινδύνου 2 για τις είκοσι-ένα λειτουργικές καταστάσεις για κάθε διάστημα αιολικής διείδυσης και συνολικά.

Τέλος, υπολογίζονται οι ακόλουθοι συνολικοί δείκτες κινδύνου του συστήματος που αφορούν τις καταστάσεις λειτουργίας του στις οποίες υπάρχει κίνδυνος μη ασφαλούς λειτουργίας:

PDST1: Πιθανότητα εμφάνισης των Καταστάσεων Κινδύνου 1 (σε %), οι οποίες οφείλονται στην τυχαία εξαναγκασμένη βλάβη μίας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού.

PDST2: Πιθανότητα εμφάνισης των Καταστάσεων Κινδύνου 2 (σε %), οι οποίες οφείλονται στην τυχαία μείωση της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων του συστήματος.

PDSTOT: Συνολική πιθανότητα εμφάνισης των Καταστάσεων Κινδύνου συστήματος (σε %) η οποία υπολογίζεται ως το άθροισμα των δεικτών PDST1 και PDST2.

Επεκτείνοντας την ανάλυση της επάρκειας τροφοδότησης ισχύος του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 6.5, πραγματοποιήθηκε η επιπρόσθετη ανάλυση των λειτουργικών καταστάσεων του συστήματος που σχετίζεται με την δυναμική ασφάλεια λειτουργίας και υπολογίστηκαν οι επιπρόσθετοι δείκτες του που αναφέρονται παραπάνω. Τα αποτελέσματα που ευρέθησαν παρατίθενται στους Πίνακες 7.15 - 7.18. Τέλος, στον Πίνακα 7.19 παρατίθενται τα αποτελέσματα που ευρέθησαν για τους συνολικούς δείκτες κινδύνου του συστήματος και για τα δύο έτη.

Αρκετά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από την συνολική θεώρηση των αποτελεσμάτων των Πινάκων 7.15 - 7.18

Πίνακας 7.10 Αποτελέσματα για τις θεωρούμενες λειτουργικές καταστάσεις του συστήματος για το έτος 2011

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΠΙΘ.ΕΜΦ.	ΠΙΘ.ΕΜΦ.	ΠΙΘ.ΕΜΦ.	ΠΙΘ.ΕΜΦ.	ΣΥΝ.ΠΙΘ.ΕΜΦ.
	B – ΣΚ – Δ - Μ	(%)	ΚΡΙΣ.ΚΑΤΑΣΤ. (%)	ΚΑΤΑΣΤ.ΚΙΝΔ.1 (%)	ΚΑΤΑΣΤ.ΚΙΝΔ.2 (%)	ΚΑΤΑΣΤ.ΚΙΝΔ (%)
1	2 – 2 – 1 – 1	1,2007	1,2007	0,0018	0,0196	0,0214
2	2 – 1 – 1 – 1	0,0025	0,0025	0,0000	0,0001	0,0001
3	2 – 0 – 1 – 1	0,0002	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000
4	3 – 2 – 1 – 1	2,3754	2,3754	0,0038	0,0115	0,0153
5	3 – 1 – 1 – 1	0,0081	0,0081	0,0000	0,0001	0,0001
6	3 – 0 – 1 – 1	0,0041	0,0041	0,0000	0,0000	0,0000
7	2 – 2 – 2 – 1	2,4508	2,4508	0,0033	0,0566	0,0599
8	2 – 1 – 2 – 1	0,0201	0,0201	0,0000	0,0008	0,0008
9	2 – 0 – 2 – 1	0,0062	0,0062	0,0000	0,0000	0,0000
10	2 – 2 – 3 – 1	2,9209	2,9209	0,0045	0,0160	0,0205
11	2 – 1 – 3 – 1	0,0358	0,0313	0,0000	0,0008	0,0008
12	2 – 0 – 3 – 1	0,0698	0,0698	0,0001	0,0000	0,0001
13	3 – 2 – 2 – 1	5,7265	5,7265	0,0089	0,0439	0,0528
14	3 – 1 – 2 – 1	0,0585	0,0585	0,0001	0,0016	0,0017
15	3 – 0 – 2 – 1	0,1471	0,1471	0,0002	0,0000	0,0002
16	3 – 2 – 3 – 1	6,8221	5,1327	0,0012	0,0237	0,0249
17	3 – 1 – 3 – 1	0,1316	0,1326	0,0001	0,0024	0,0025
18	3 – 0 – 3 – 1	0,5145	0,5144	0,0009	0,0011	0,0020
19	3 – 2 – 4 – 1	4,5939	3,7831	0,0005	0,0168	0,0173
20	3 – 1 – 4 – 1	0,1583	0,1021	0,0000	0,0012	0,0012
21	3 – 0 – 4 – 1	0,9763	0,9633	0,0014	0,0028	0,0042
	ΣΥΝΟΛΟ	28,2234	25,6504	0,0268	0,1990	0,2258

Πίνακας 7.11 Αποτέλεσμα πιθανότητας εμφάνισης για τις θεωρούμενες λειτουργικές καταστάσεις του συστήματος για το έτος 2015

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΣΥΝ.ΠΙΘ.ΕΜΦ.	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α/Γ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α/Γ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α/Γ
	B – ΣΚ – Δ - Μ	(%)	0-10%	10-20%	20-30%
1	2 – 2 – 1 – 1	1,7072	0,8197	0,8289	0,0586
2	2 – 1 – 1 – 1	0,0126	0,0055	0,0066	0,0005
3	2 – 0 – 1 – 1	0,1473	0,0022	0,0764	0,0687
4	3 – 2 – 1 – 1	2,9723	2,0592	0,8742	0,0389
5	3 – 1 – 1 – 1	0,0386	0,0220	0,0160	0,0006
6	3 – 0 – 1 – 1	0,1251	0,0091	0,0999	0,0161
7	2 – 2 – 2 – 1	2,6022	1,2801	1,2502	0,0719
8	2 – 1 – 2 – 1	0,0286	0,0142	0,0137	0,0007
9	2 – 0 – 2 – 1	0,2913	0,0151	0,1932	0,0830
10	2 – 2 – 3 – 1	2,7856	1,6964	1,0331	0,0561
11	2 – 1 – 3 – 1	0,0436	0,0268	0,0166	0,0002
12	2 – 0 – 3 – 1	0,4851	0,0453	0,3783	0,0615
13	3 – 2 – 2 – 1	5,1655	3,3159	1,7716	0,0780
14	3 – 1 – 2 – 1	0,0886	0,0541	0,0335	0,0010
15	3 – 0 – 2 – 1	0,2637	0,0394	0,1961	0,0282
16	3 – 2 – 3 – 1	5,9190	3,9776	1,9094	0,0320
17	3 – 1 – 3 – 1	0,1304	0,0903	0,0397	0,0004
18	3 – 0 – 3 – 1	0,3369	0,0665	0,2197	0,0507
19	3 – 2 – 4 – 1	4,7342	3,5035	1,2181	0,0126
20	3 – 1 – 4 – 1	0,1437	0,1106	0,0328	0,0003
21	3 – 0 – 4 – 1	0,4623	0,1047	0,3123	0,0453
	ΣΥΝΟΛΟ	28,4838	17,2582	10,5203	0,7053

Πίνακας 7.12 Αποτελέσματα πιθανότητας εμφάνισης της Κρίσιμης Κατάστασης για τις θεωρούμενες λειτουργικές καταστάσεις για το έτος 2015

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΣΥΝ.ΠΙΘ.ΕΜΦ. ΚΡΙΣ.ΚΑΤΑΣΤ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α/Γ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α/Γ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α/Γ
	B – ΣΚ – Δ - Μ	(%)	0-10%	10-20%	20-30%
1	2 – 2 – 1 – 1	0,8613	0,8141	0	0,0472
2	2 – 1 – 1 – 1	0,0000	0,0000	0	0
3	2 – 0 – 1 – 1	0,1423	0,0022	0,0762	0,0639
4	3 – 2 – 1 – 1	2,0515	2,0452	0,0063	0
5	3 – 1 – 1 – 1	0,0000	0,0000	0	0
6	3 – 0 – 1 – 1	0,0089	0,0089	0	0
7	2 – 2 – 2 – 1	1,1012	0,0004	1,1008	0
8	2 – 1 – 2 – 1	0,0000	0,0000	0	0
9	2 – 0 – 2 – 1	1,8584	0,0146	1,799	0,0448
10	2 – 2 – 3 – 1	1,6850	1,6843	0,0007	0
11	2 – 1 – 3 – 1	0,0000	0,0000	0	0
12	2 – 0 – 3 – 1	0,3954	0,0433	0,3521	0
13	3 – 2 – 2 – 1	0,4191	0,4052	0,0139	0
14	3 – 1 – 2 – 1	0,0520	0,0512	0,0008	0
15	3 – 0 – 2 – 1	0,2243	0,0000	0,1961	0,0282
16	3 – 2 – 3 – 1	0,4698	0,4587	0,0111	0
17	3 – 1 – 3 – 1	0,0055	0,0045	0,001	0
18	3 – 0 – 3 – 1	0,2635	0,0014	0,2114	0,0507
19	3 – 2 – 4 – 1	0,4481	0,4402	0,0079	0
20	3 – 1 – 4 – 1	0,0139	0,0133	0,0006	0
21	3 – 0 – 4 – 1	0,3444	0,0005	0,3123	0,0316
	ΣΥΝΟΛΟ	10,3446	5,9880	4,0902	0,2664

Πίνακας 7.13 Αποτελέσματα πιθανότητας εμφάνισης της Κατάστασης Κινδύνου 1 για τις θεωρούμενες λειτουργικές καταστάσεις για το έτος 2015

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΠΙΘ.ΕΜΦ. ΚΑΤΑΣΤ.ΚΙΝΔ.1	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α/Γ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α/Γ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α/Γ
	B - ΣΚ - Δ - Μ	(%)	0-10%	10-20%	20-30%
1	2 - 2 - 1 - 1	0,0004	0,0004	0	0
2	2 - 1 - 1 - 1	0	0	0	0
3	2 - 0 - 1 - 1	0	0	0	0
4	3 - 2 - 1 - 1	0,0038	0,0038	0	0
5	3 - 1 - 1 - 1	0	0	0	0
6	3 - 0 - 1 - 1	0	0	0	0
7	2 - 2 - 2 - 1	0,0009	0	0,0009	0
8	2 - 1 - 2 - 1	0	0	0	0
9	2 - 0 - 2 - 1	0,0001	0	0,0001	0
10	2 - 2 - 3 - 1	0,0017	0,0017	0	0
11	2 - 1 - 3 - 1	0	0	0	0
12	2 - 0 - 3 - 1	0,0005	0,0001	0,0004	0
13	3 - 2 - 2 - 1	0,0001	0,0001	0	0
14	3 - 1 - 2 - 1	0,0001	0,0001	0	0
15	3 - 0 - 2 - 1	0,0003	0	0,0003	0
16	3 - 2 - 3 - 1	0,0001	0,0001	0	0
17	3 - 1 - 3 - 1	0	0	0	0
18	3 - 0 - 3 - 1	0,0003	0	0,0003	0
19	3 - 2 - 4 - 1	0,0001	0,0001	0	0
20	3 - 1 - 4 - 1	0	0	0	0
21	3 - 0 - 4 - 1	0,0005	0	0,0005	0
	ΣΥΝΟΛΟ	0,0089	0,0064	0,0025	0

Πίνακας 7.14 Αποτελέσματα πιθανότητας εμφάνισης της Κατάστασης Κινδύνου 2 για τις θεωρούμενες λειτουργικές καταστάσεις για το έτος 2015

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΠΘ.ΕΜΦ. ΚΑΤΑΣΤ.ΚΙΝΔ.2	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α/Γ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α/Γ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ Α/Γ
	B – ΣΚ – Δ - Μ	(%)	0-10%	10-20%	20-30%
1	2 – 2 – 1 – 1	0,0015	0,0013	0	0,0002
2	2 – 1 – 1 – 1	0,0001	0,0001	0	0
3	2 – 0 – 1 – 1	0	0	0	0
4	3 – 2 – 1 – 1	0,007	0,0067	0	0,0003
5	3 – 1 – 1 – 1	0,0001	0,0001	0	0
6	3 – 0 – 1 – 1	0,0002	0	0	0,0002
7	2 – 2 – 2 – 1	0,0045	0	0,0045	0
8	2 – 1 – 2 – 1	0,0001	0,0001	0	0
9	2 – 0 – 2 – 1	0,0002	0,0002	0	0
10	2 – 2 – 3 – 1	0,0104	0,0103	0	0,0001
11	2 – 1 – 3 – 1	0	0	0	0
12	2 – 0 – 3 – 1	0,0001	0,0001	0	0
13	3 – 2 – 2 – 1	0,0071	0,0071	0	0
14	3 – 1 – 2 – 1	0,0003	0,0003	0	0
15	3 – 0 – 2 – 1	0,0011	0,0006	0,0004	0,0001
16	3 – 2 – 3 – 1	0,0051	0,0051	0	0
17	3 – 1 – 3 – 1	0	0	0	0
18	3 – 0 – 3 – 1	0,0001	0,0001	0	0
19	3 – 2 – 4 – 1	0,0041	0,0041	0	0
20	3 – 1 – 4 – 1	0,0003	0,0003	0	0
21	3 – 0 – 4 – 1	0,0003	0,0002	0,0001	0
	ΣΥΝΟΛΟ	0,0426	0,0367	0,0050	0,0009

Πίνακας 7.15 Δείκτες Καταστάσεων Κινδύνου συστήματος (πιθανότητες εμφάνισης σε %) για τα έτη 2011 και 2015 λαμβάνοντας υπόψη το εφαρμοζόμενο Κριτήριο Αξιοπιστίας 2

ΔΕΙΚΤΗΣ	ΕΤΟΣ 2011	ΕΤΟΣ 2015
PDST1	0,0268	0,0089
PDST2	0,199	0,0426
PDSTOT	0,2258	0,0515

1. Η πιθανότητα εμφάνισης των είκοσι-ένα λειτουργικών καταστάσεων για τα έτη 2011 και 2015 είναι σχεδόν ίσες. Όμως, οι πιθανότητες εμφάνισης της Κρίσιμης Κατάστασης, της Κατάστασης Κινδύνου 1 και της Κατάστασης Κινδύνου 2 είναι αρκετά μεγαλύτερες για το έτος 2011. Επομένως, το έτος 2015 με την αύξηση της αιολικής δυναμικότητας παρατηρείται μείωση του κινδύνου.

2. Η αύξηση της αιολικής διείδυσης, για το έτος 2015, μειώνει τις τιμές της συνολικής πιθανότητας εμφάνισης των είκοσι-ένα λειτουργικών καταστάσεων του συστήματος. Το ίδιο συμπέρασμα εξάγεται για τις συνολικές πιθανότητες εμφάνισης των Κρίσιμων Καταστάσεων καθώς και των Καταστάσεων Κινδύνου 1 και 2.

3. Μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης και για τα δύο έτη παρουσιάζουν οι λειτουργικές καταστάσεις στις οποίες λειτουργούν δύο μονάδες του συνδυασμένου κύκλου.

4. Οι αριθμητικές τιμές των πιθανοτήτων εμφάνισης των Καταστάσεων Κινδύνου 1 και 2 και για τα δύο έτη είναι πάρα πολύ μικρές και μπορούν να αμεληθούν. Αυτό σημαίνει πως υπάρχει πολύ μικρή πιθανότητα εμφάνισης κάποιας κατάστασης της μη ασφαλούς λειτουργίας που να οφείλεται σε εξαναγκασμένη βλάβη μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού του Βασιλικού ή σε ακαριαία μείωση παραγόμενης ισχύος από τα αιολικά πάρκα.

5. Ως αποτέλεσμα των πάρα πολύ μικρών τιμών εμφάνισης των Καταστάσεων Κινδύνου 1 και 2 είναι πολύ μικρή πιθανότητα εμφάνισης της Κατάστασης Κινδύνου (0,23% και 0,05% για τα έτη 2011 και 2015 αντίστοιχα).

6. Μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τα ευρεθέντα αποτελέσματα είναι η θεώρηση ότι η μείωση της ταχύτητας του ανέμου είναι σχεδόν ακαριαία. Αυτή η θεώρηση σημαίνει ότι τα ευρεθέντα αποτελούν το ανώτατο όριο των πιθανοτήτων εμφάνισης των Καταστάσεων Κινδύνου του συστήματος. Στην πραγματικότητα, η μείωση της ταχύτητας κύρια οφείλεται σε γεγονότα που έχουν σταδιακή μορφή εμφάνισης και μπορούν αν αντιμετωπιστούν με καλύτερο τρόπο από το σύστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Αποτελέσματα Σεναρίων Προσομοίωσης

8.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις των σεναρίων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Για κάθε έτος και κάθε ποσοστό αιολικής διείσδυσης θα παρουσιάζονται επιλεκτικά κάποια σενάκια τα οποία θα καλύπτουν τις περιπτώσεις διαφόρων ποσοστών αιολικής διείσδυσης και διαφόρων ποσών απώλειας ισχύος της μονάδας του Βασιλικού. Η παραγωγή των μονάδων του Βασιλικού για τα σενάκια που θα παρουσιάζονται θα ισούται με την αντίστοιχη οριακή τιμή που βρέθηκε στο κεφάλαιο 7. Στην περίπτωση ακαριαίας μείωσης ενός ποσοστού αιολικής παραγωγής η αντίδραση του συστήματος θα ήταν αντίστοιχη.

Αφού πραγματοποιηθεί η προσομοίωση, γίνεται η γραφική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, μέσω του γραφικού επεξεργαστή και της γεννήτριας πινάκων του EUROSTAG, από όπου και εξάγονται τα διαγράμματα συχνότητας και ενεργούς ισχύος των μονάδων της ΑΗΚ. Επιπλέον θα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ροής φορτίου για της τάσης των ζυγών.

Σχετικά με την ενεργό ισχύ θα παρουσιάζεται η παραγωγή μιας μονάδας από κάθε ηλεκτροπαραγωγό σταθμό, αφού οι μονάδες σε κάθε υποσταθμό παράγουν με τον ίδιο τρόπο. Για τον σταθμό του Βασιλικού θα παρουσιάζεται επιπλέον και ο συνδυασμένος κύκλος.

Οι γραφικές παραστάσεις της ενεργούς ισχύος του «πάρκου 11» αναφέρονται στο αιολικό πάρκο που πρόκειται να εγκατασταθεί στους Ορήτες.

8.2. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

8.2.1. Παρουσίαση Σεναρίων 2011

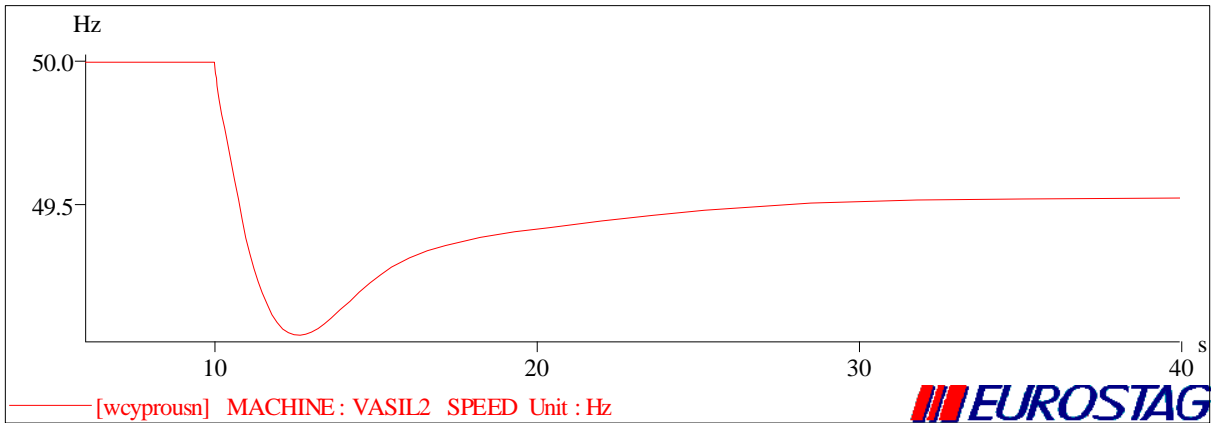
ΣΕΝΑΡΙΟ 4

Πίνακας 8.1 Παρουσίαση σεναρίου

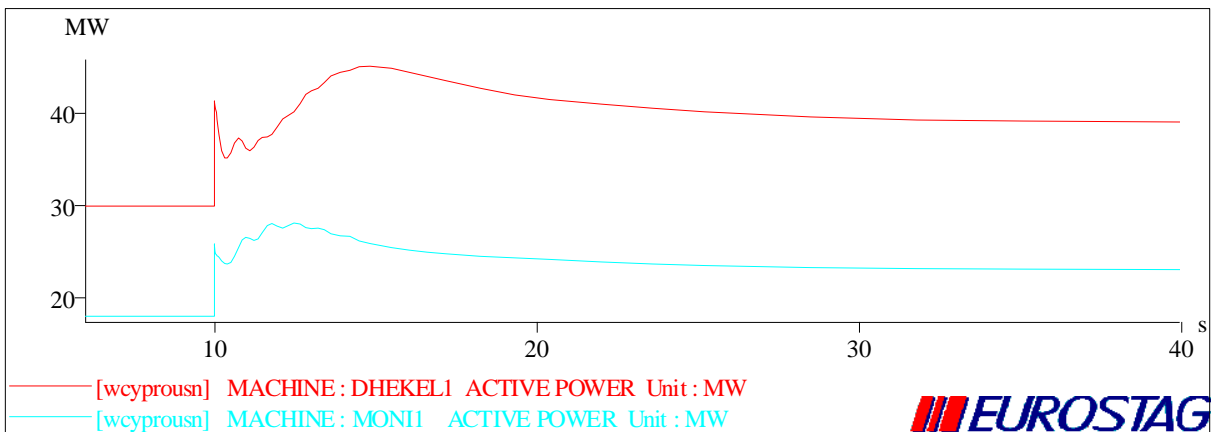
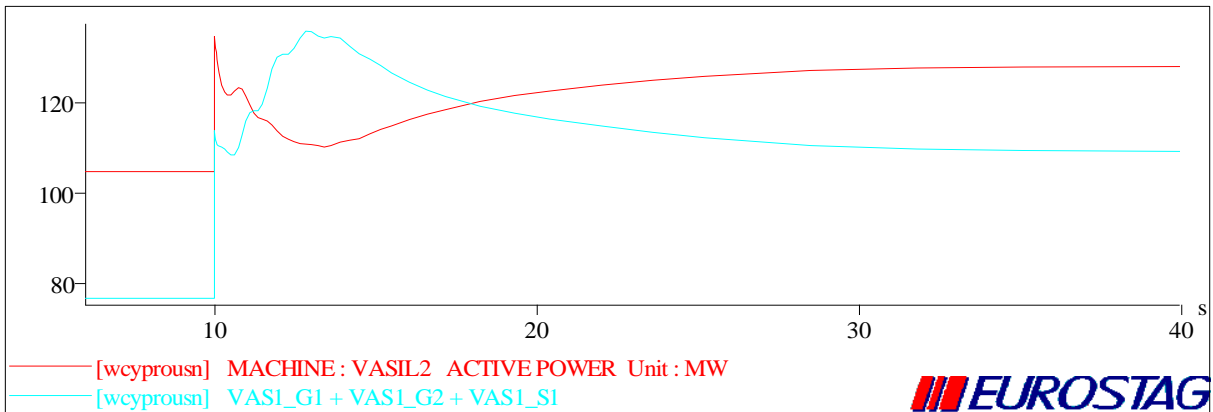
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
4	424,84	6,897	15,36	440,2

Πίνακας 8.2 Αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις τάσεις των ζυγών

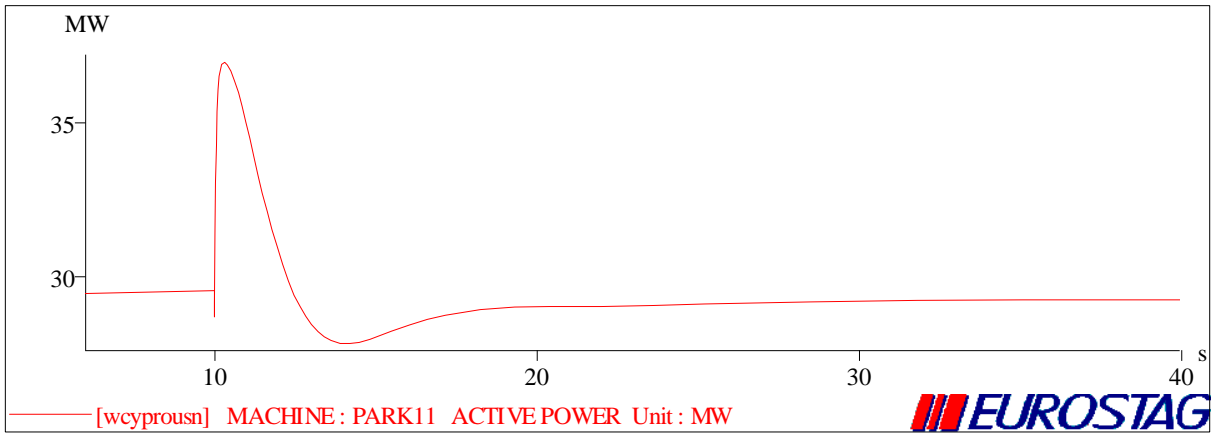
Node name	Uini p.u.	Umin p.u.	Umax p.u.	Ufin p.u.
DHEKEL31	1.039	1.012	1.039	1.023
MONI31	1.058	1.028	1.058	1.039
VASILI31	1.066	1.036	1.066	1.047
PYRGOS31	1.057	1.027	1.057	1.038
ALAMBR31	1.046	1.018	1.046	1.029
ANATOL31	1.021	0.991	1.021	1.003
ATHALA31	1.037	1.009	1.037	1.021
AYPHYL31	1.05	1.02	1.05	1.031
DISOFF31	1.036	1.008	1.036	1.02
DISOFF32	1.034	1.006	1.034	1.018
FIZ31	1.044	1.016	1.044	1.027
INTAIR31	1.044	1.016	1.044	1.027
INTAIR32	1.044	1.016	1.044	1.027
LARNAK31	1.038	1.011	1.038	1.022
MARI31	1.065	1.036	1.065	1.047
MARI32	1.065	1.036	1.065	1.047
OLDPOW31	1.048	1.018	1.048	1.03
POLEMI31	1.047	1.018	1.047	1.029
PROTAR31	1.035	1.008	1.035	1.019
SEMINA31	1.036	1.009	1.036	1.02
SOTERA31	1.035	1.008	1.035	1.019
STROVO31	1.037	1.009	1.037	1.02
YERMAS31	1.049	1.019	1.049	1.031
KOPHIN31	1.065	1.036	1.065	1.047
ATHIE31	1.039	1.012	1.039	1.023
ORITES	0.999	0.952	0.999	0.979



Σχήμα 8.1 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.2 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



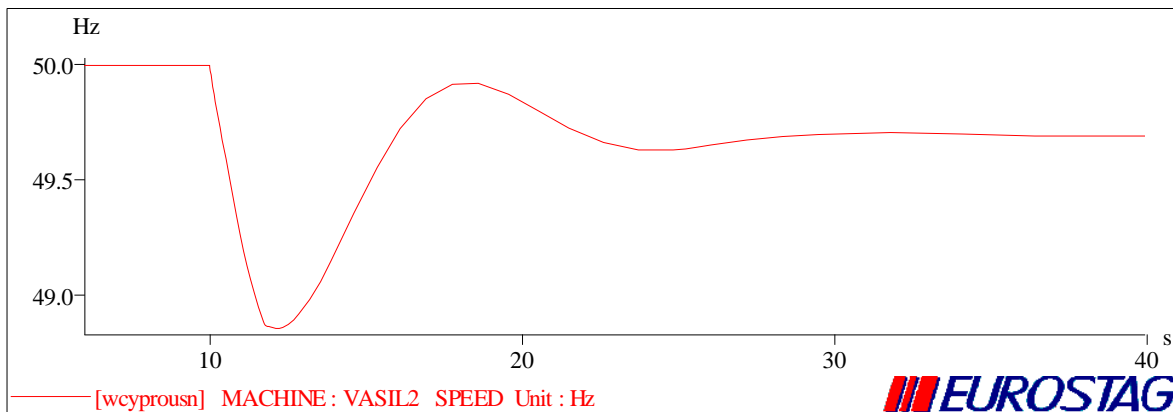
Σχήμα 8.3 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής του πάρκου μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

ΣΕΝΑΡΙΟ 6

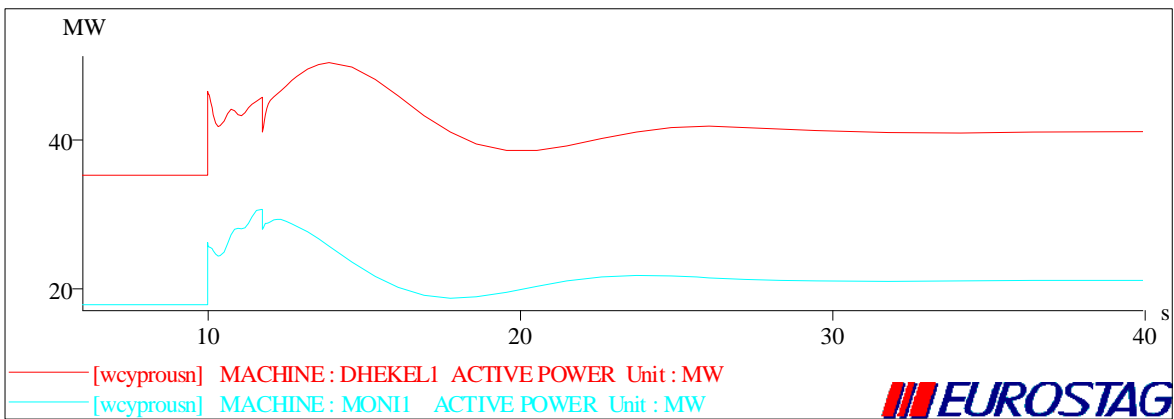
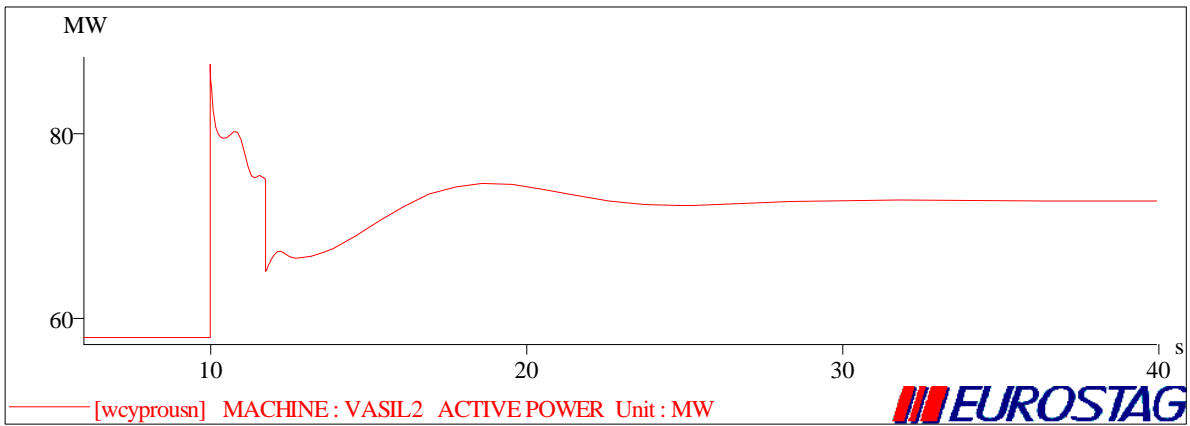
Πίνακας 8.3 Παρουσίαση σεναρίου

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
6	227,93	11,758	5,47	233,4

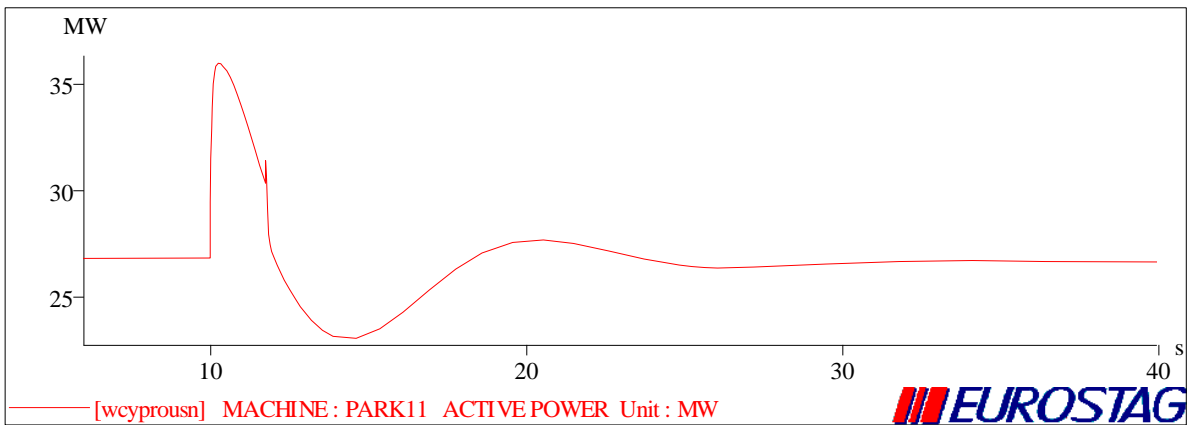
Αυτό το σενάριο δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα αφού το ελάχιστο δυνατό που μπορούν οι μονάδες του Βασιλικού να είναι φορτισμένες είναι 60MW και σε αυτή την περίπτωση για να μπορέσει το σύστημα να μην οδηγηθεί σε αστάθεια πρέπει να παράγουν 36,6MW. Παρακάτω φαίνεται η μεταβολή της συχνότητας μετά την διαταραχή σε περίπτωση που οι μονάδες του Βασιλικού παρήγαν 60MW.



Σχήμα 8.4 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.5 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.6 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής του πάρκου μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

ΣΕΝΑΡΙΟ 15

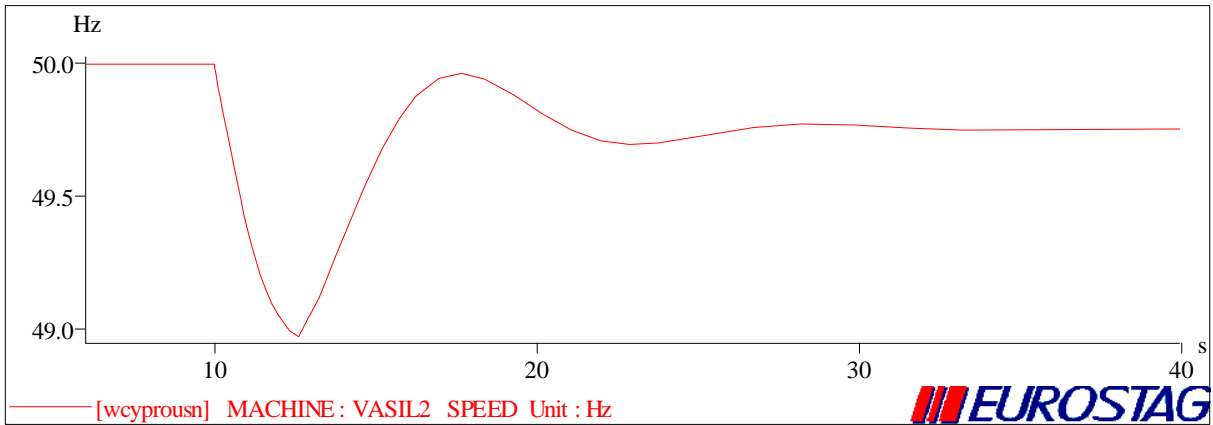
Πίνακας 8.4 Παρουσίαση σεναρίου

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
15	251,58	12,123	7,02	258,6

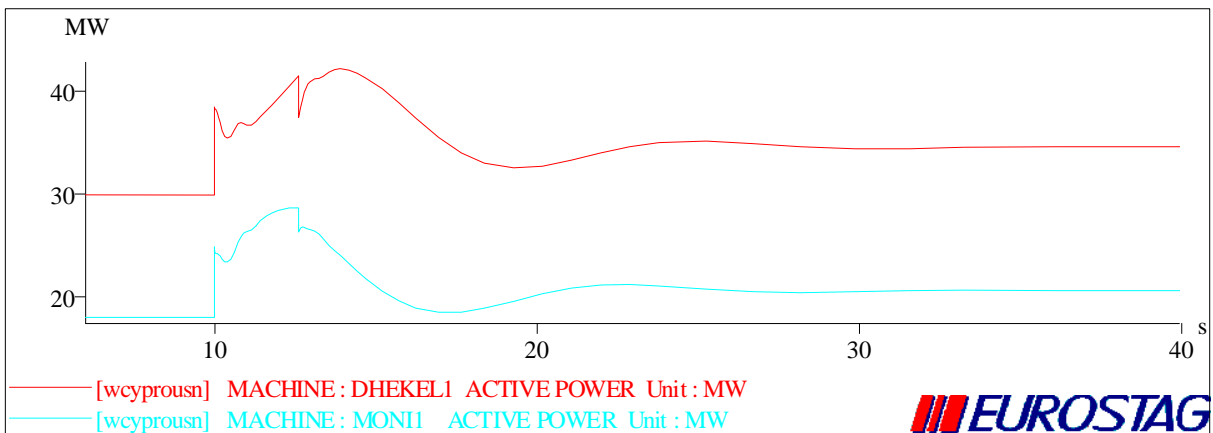
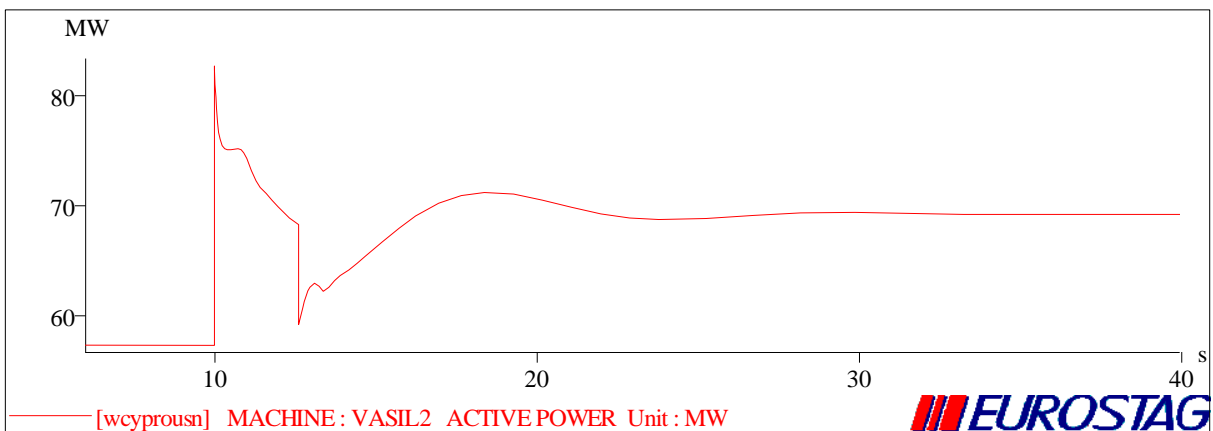
Σε αυτή την περίπτωση οι μονάδες του Βασιλικού είναι φορτισμένες στο ελάχιστο δυνατό. Για να μπορέσει το σύστημα να παραμένει οριακά ευσταθές έχουμε αναγκαστικά αποκοπή φορτίου. Από το σχεδιάγραμμα της συχνότητας παρατηρούμε πως το κατώτερο όριο των 49Hz παραβιάζεται ελάχιστα για αυτό και θεωρούμε ότι το σύστημα δεν οδηγείται σε αστάθεια.

Πίνακας 8.5 Αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις τάσεις των ζυγών

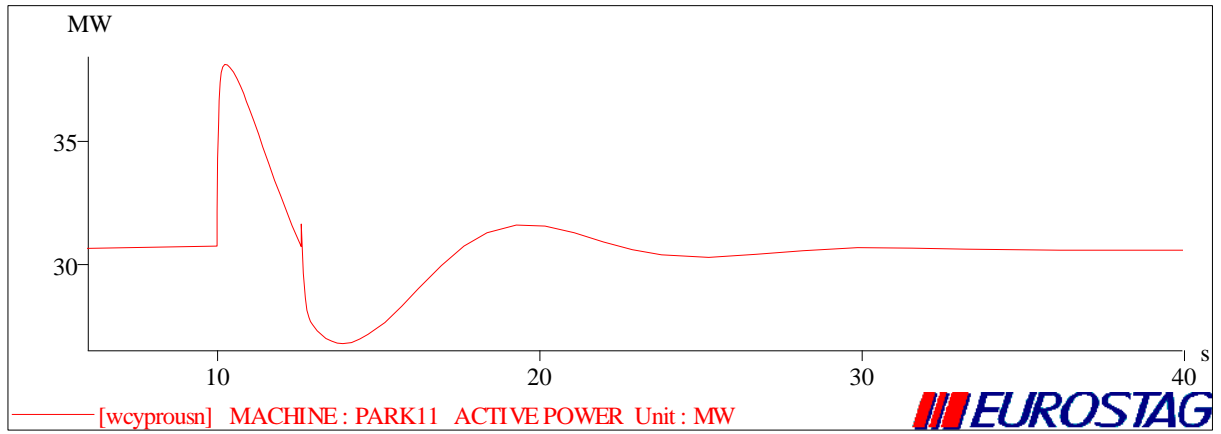
Node name	Uini	Umin	Umax	Ufin
	p.u.	p.u.	p.u.	p.u.
DHEKEL31	1.109	1.109	1.145	1.125
MONI31	1.104	1.104	1.14	1.12
VASILI31	1.109	1.109	1.144	1.124
PYRGOS31	1.104	1.104	1.139	1.119
ALAMBR31	1.111	1.111	1.148	1.128
ANATOL31	1.084	1.084	1.121	1.101
ATHALA31	1.113	1.113	1.151	1.13
AYPHYL31	1.101	1.101	1.137	1.118
DISOFF31	1.112	1.112	1.15	1.13
DISOFF32	1.111	1.111	1.149	1.129
FIZ31	1.112	1.112	1.149	1.129
INTAIR31	1.112	1.112	1.149	1.129
INTAIR32	1.112	1.112	1.149	1.129
LARNAK31	1.11	1.11	1.146	1.126
MARI31	1.109	1.108	1.144	1.124
MARI32	1.108	1.108	1.144	1.124
OLDPOW31	1.1	1.1	1.137	1.117
POLEMI31	1.1	1.1	1.136	1.117
PROTAR31	1.109	1.108	1.145	1.125
SEMINA31	1.113	1.113	1.152	1.131
SOTERA31	1.109	1.108	1.145	1.125
STROVO31	1.113	1.113	1.152	1.131
YERMAS31	1.101	1.101	1.137	1.117
KOPHIN31	1.108	1.108	1.144	1.124
ATHIE31	1.11	1.11	1.146	1.125
ORITES	1	0.997	1.044	1.019



Σχήμα 8.7 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.8 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.9 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής του πάρκου μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

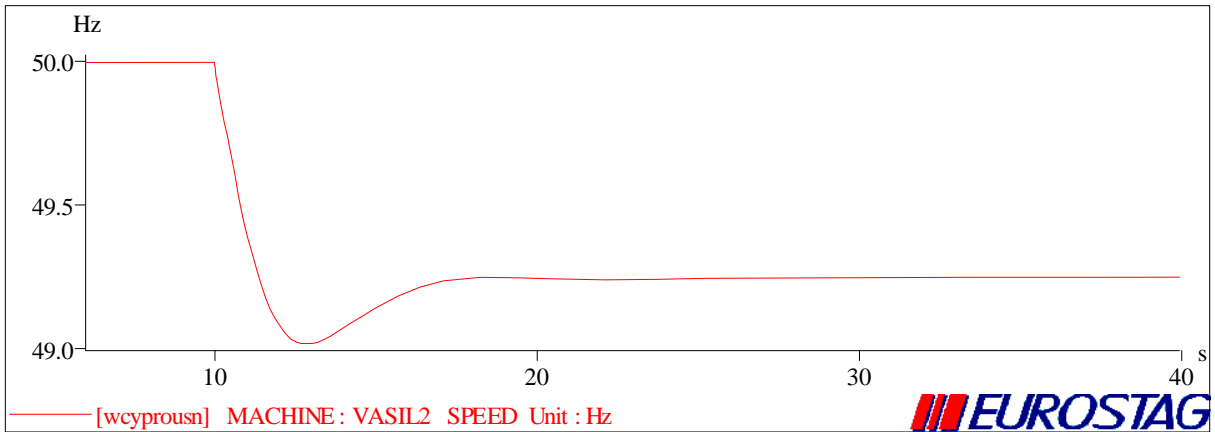
ΣΕΝΑΡΙΟ 19

Πίνακας 8.6 Παρουσίαση σεναρίου

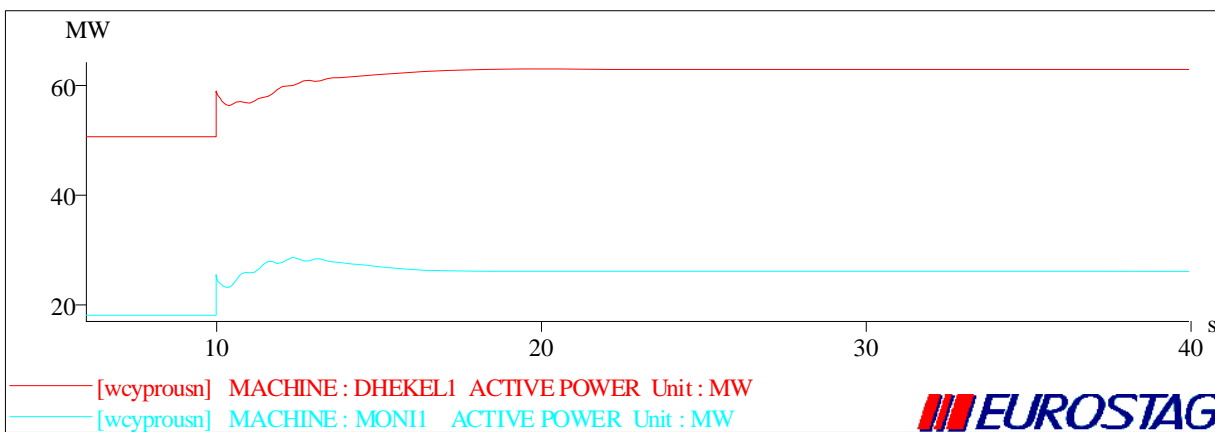
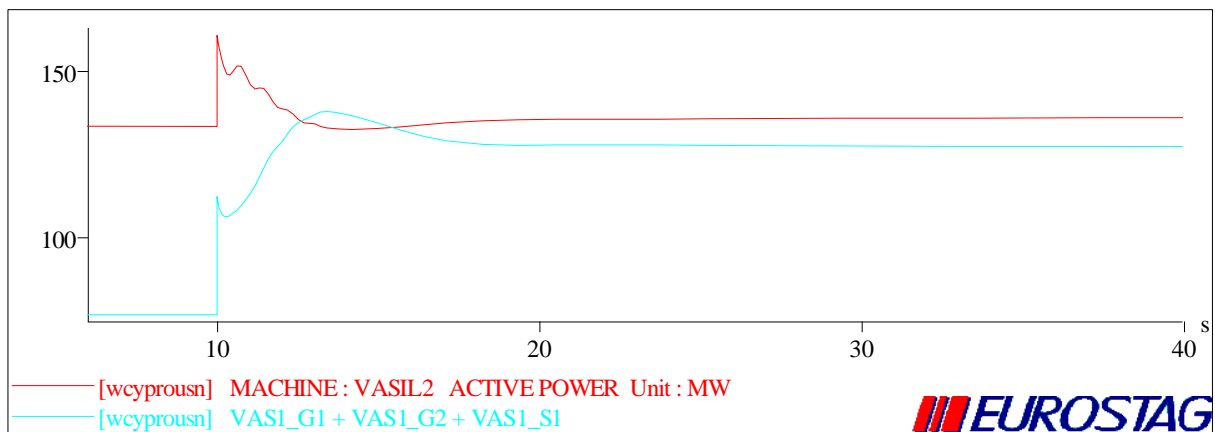
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
19	659,38	5,338	28,62	688

Πίνακας 8.7 Αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις τάσεις των ζυγών

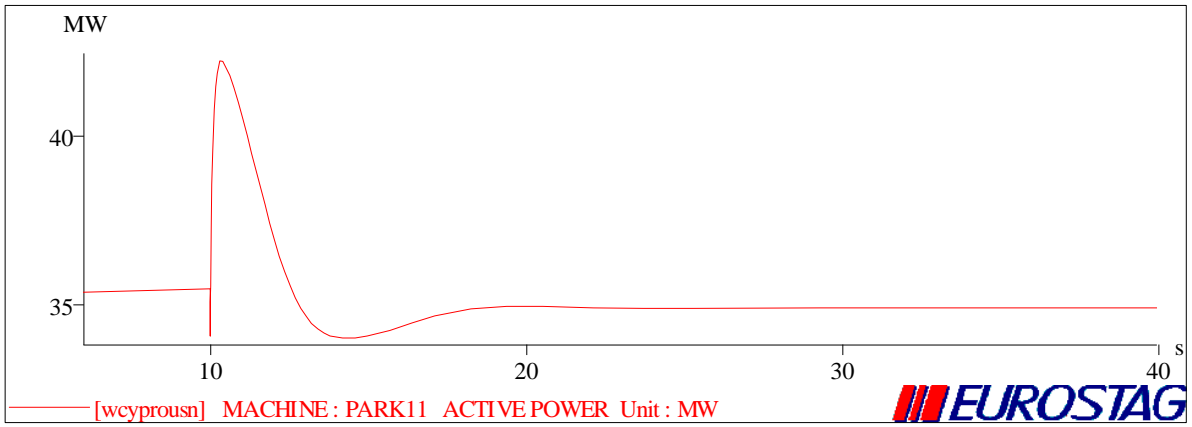
Node name	Uini p.u.	Umin p.u.	Umax p.u.	Ufin p.u.
DHEKEL31	1.02	0.99	1.02	1.008
MONI31	1.035	0.997	1.035	1.017
VASILI31	1.05	1.013	1.05	1.032
PYRGOS31	1.033	0.996	1.033	1.015
ALAMBR31	1.02	0.987	1.02	1.006
ANATOL31	0.961	0.921	0.961	0.944
ATHALA31	1.003	0.971	1.003	0.99
AYPHYL31	1.017	0.979	1.017	0.999
DISOFF31	1	0.968	1	0.987
DISOFF32	0.996	0.965	0.996	0.984
FIZ31	1.019	0.987	1.019	1.005
INTAIR31	1.018	0.986	1.018	1.005
INTAIR32	1.018	0.986	1.018	1.005
LARNAK31	1.013	0.982	1.013	1
MARI31	1.05	1.012	1.05	1.032
MARI32	1.05	1.012	1.05	1.032
OLDPOW31	1.013	0.975	1.013	0.996
POLEMI31	1.012	0.974	1.012	0.995
PROTAR31	1.011	0.981	1.011	0.999
SEMINA31	1	0.968	1	0.987
SOTERA31	1.011	0.982	1.011	0.999
STROVO31	1	0.969	1	0.987
YERMAS31	1.015	0.977	1.015	0.997
KOPHIN31	1.049	1.012	1.049	1.031
ATHIE31	1.02	0.991	1.02	1.008
ORITES	0.92	0.846	0.92	0.9



Σχήμα 8.10 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.11 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.12 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής του πάρκου μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

8.2.2. Παρουσίαση Σεναρίων 2015

1. ΑΙΟΛΙΚΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ 0-10%

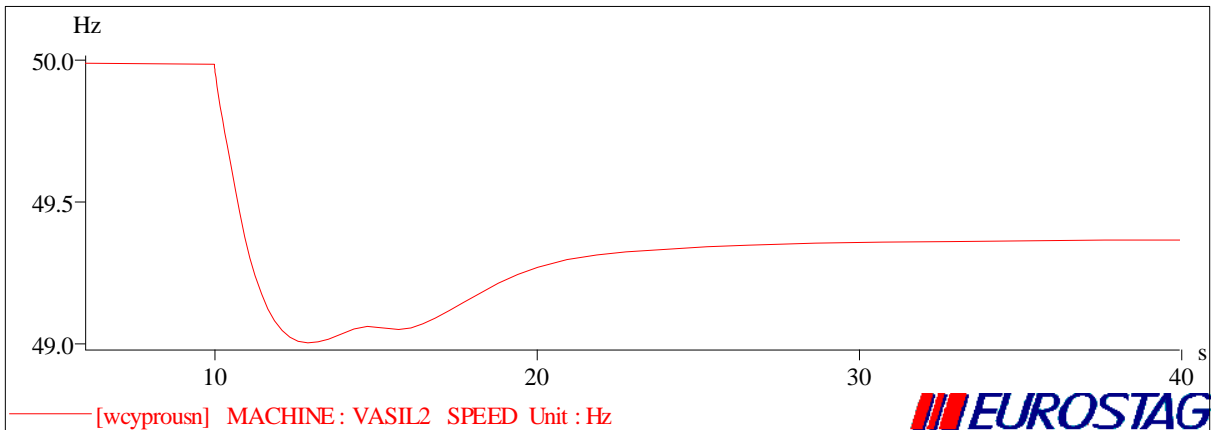
ΣΕΝΑΡΙΟ 4

Πίνακας 8.8 Παρουσίαση σεναρίου

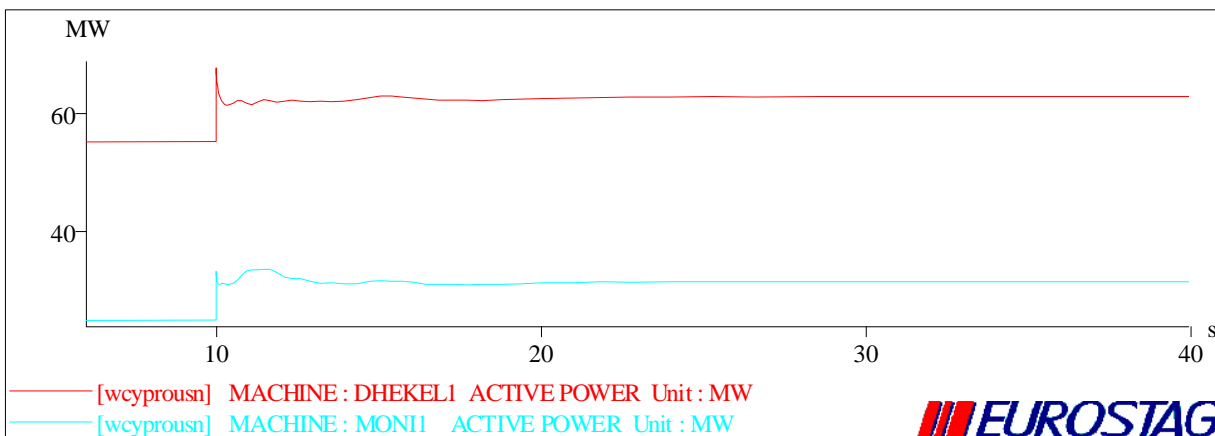
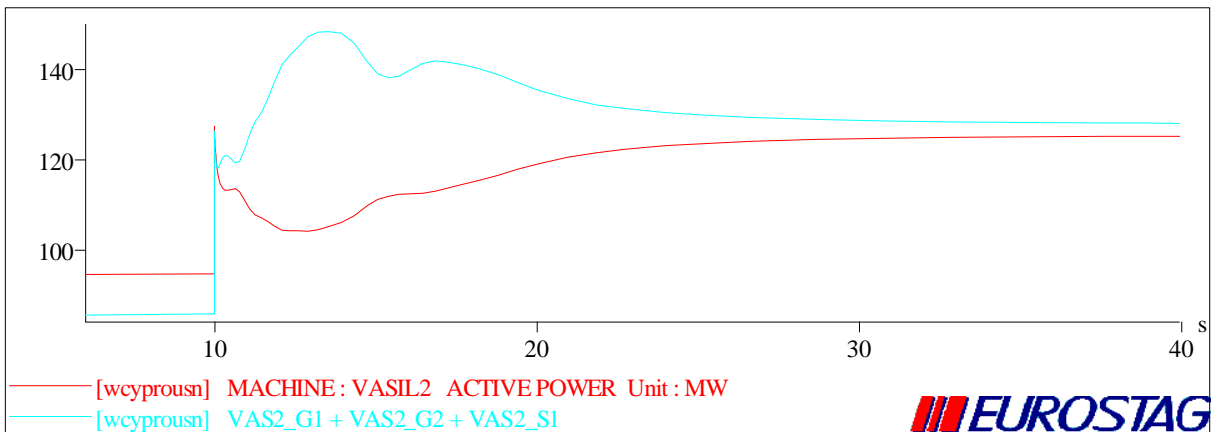
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
4	664.98	8,542	8,32	673,3

Πίνακας 8.9 Αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις τάσεις των ζυγών

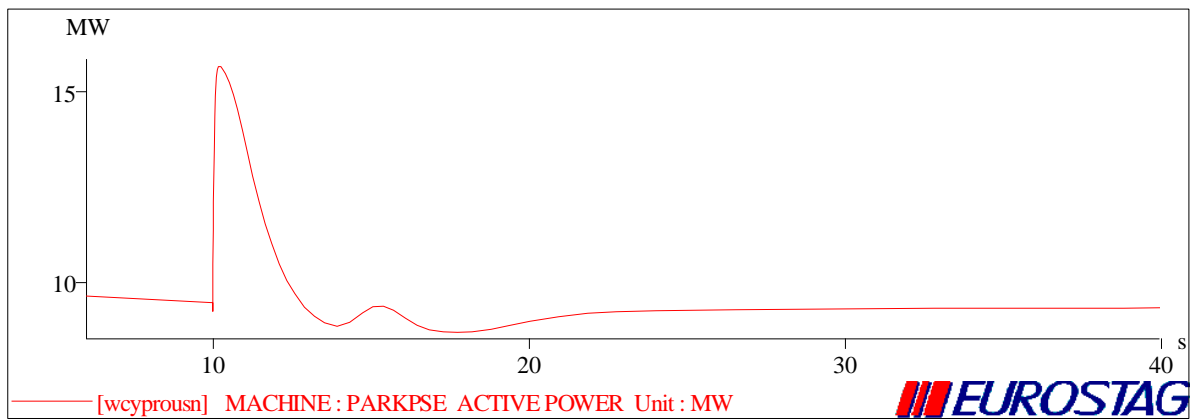
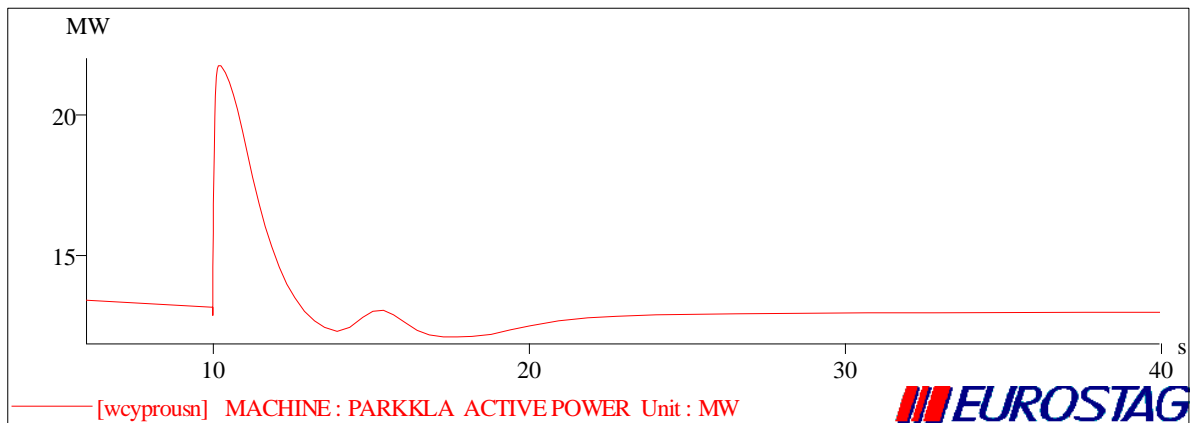
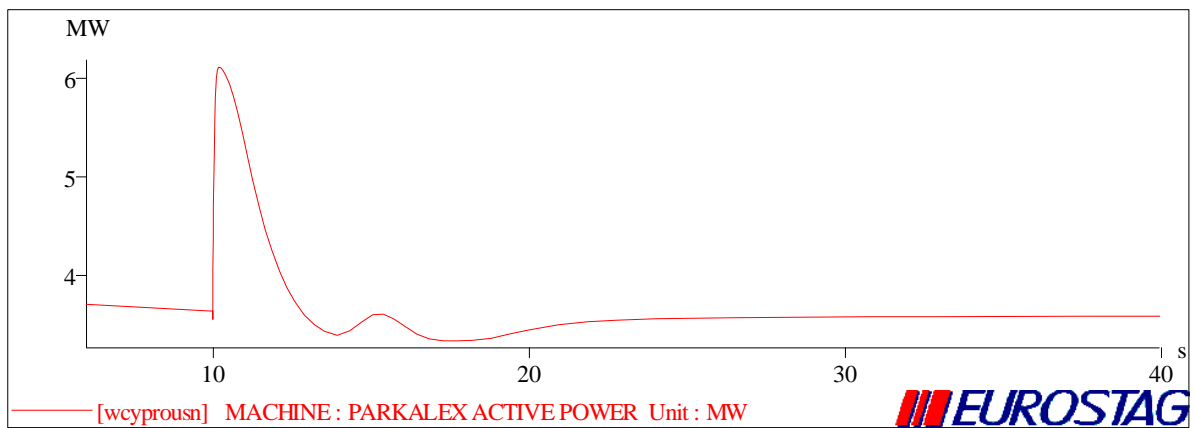
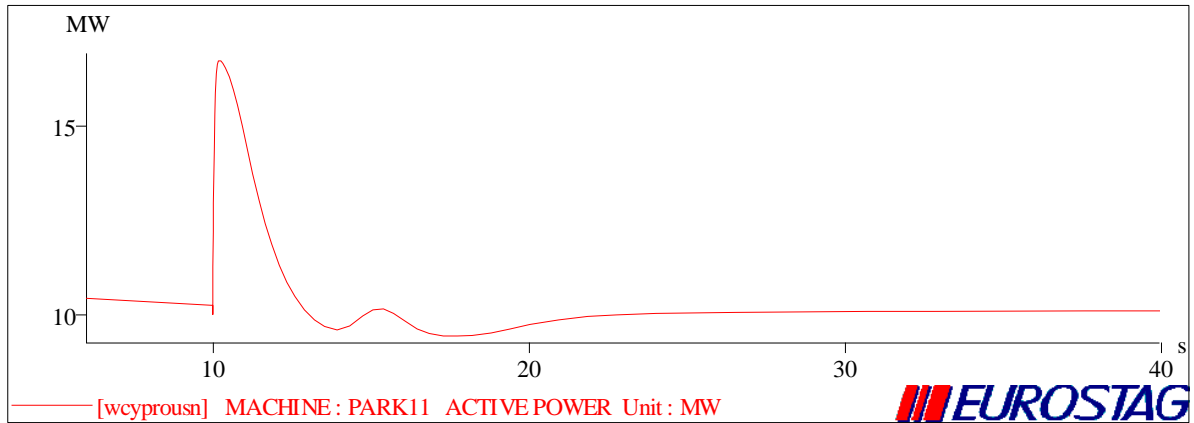
Node name	Uini	Umin	Umax	Ufin
	p.u.	p.u.	p.u.	p.u.
DHEKEL31	1.054	1.033	1.054	1.038
MONI31	1.063	1.04	1.063	1.045
VASILI31	1.069	1.045	1.069	1.05
PYRGOS31	1.062	1.039	1.062	1.044
ALAMBR31	1.058	1.035	1.058	1.04
ANATOL31	1.048	1.024	1.048	1.029
ATHALA31	1.054	1.032	1.054	1.037
AYPHYL31	1.059	1.035	1.059	1.04
DISOFF31	1.053	1.031	1.053	1.036
DISOFF32	1.051	1.029	1.051	1.034
FIZ31	1.056	1.034	1.056	1.039
INTAIR31	1.056	1.034	1.056	1.039
INTAIR32	1.056	1.034	1.056	1.039
LARNAK31	1.053	1.031	1.053	1.036
MARI31	1.068	1.045	1.068	1.05
MARI32	1.068	1.045	1.068	1.05
OLDPOW31	1.058	1.034	1.058	1.039
POLEMI31	1.058	1.034	1.058	1.039
PROTAR31	1.052	1.03	1.052	1.035
SEMINA31	1.054	1.031	1.054	1.036
SOTERA31	1.052	1.03	1.052	1.035
STROVO31	1.054	1.032	1.054	1.037
YERMAS31	1.058	1.035	1.058	1.04
KOPHIN31	1.068	1.045	1.068	1.05
ATHIE31	1.055	1.033	1.055	1.038
ORITES	1.048	1.024	1.048	1.029
PSEVDHAS	1.056	1.034	1.056	1.039
KLAVDHIA	1.056	1.033	1.056	1.038
ALEXIGRO	1.056	1.034	1.056	1.039



Σχήμα 8.13 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.14 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.15 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των πάρκων μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

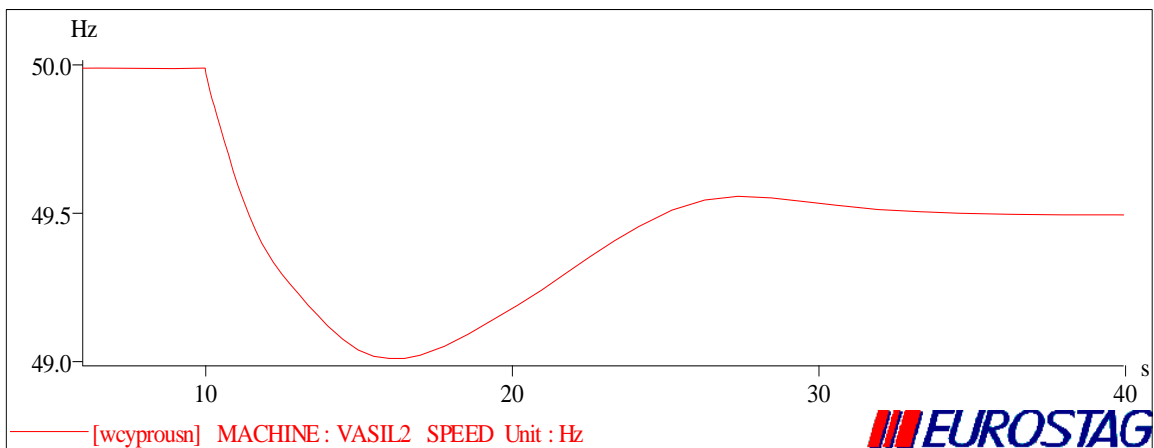
ΣΕΝΑΡΙΟ 10

Πίνακας 8.10 Παρουσίαση σεναρίου

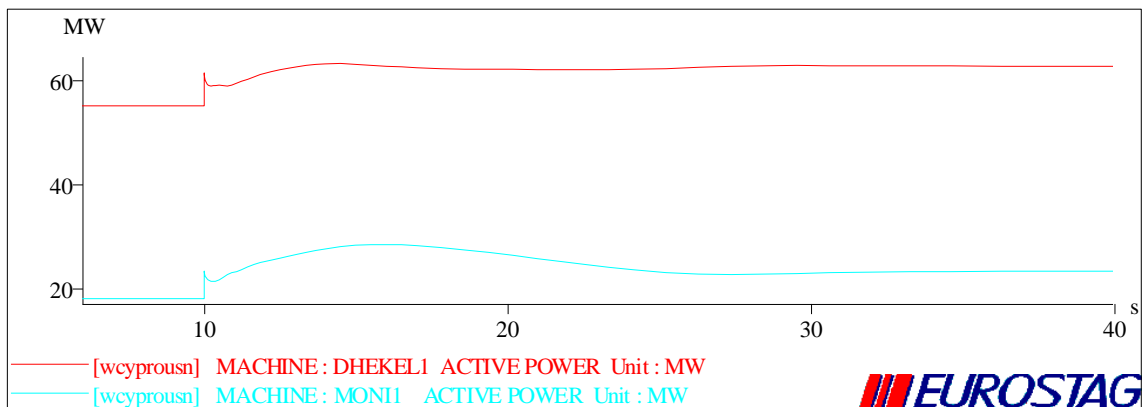
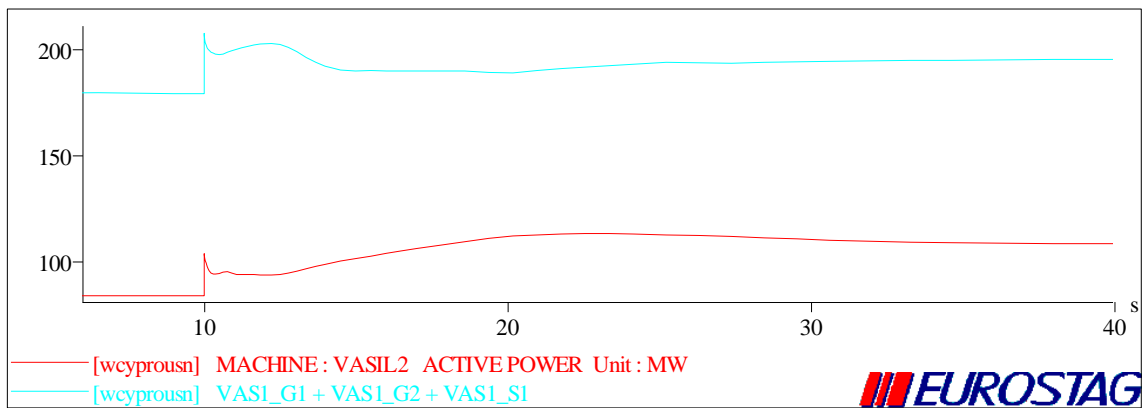
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
10	581,95	9,657	14,45	596,4

Πίνακας 8.11 Αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις τάσεις των ζυγών

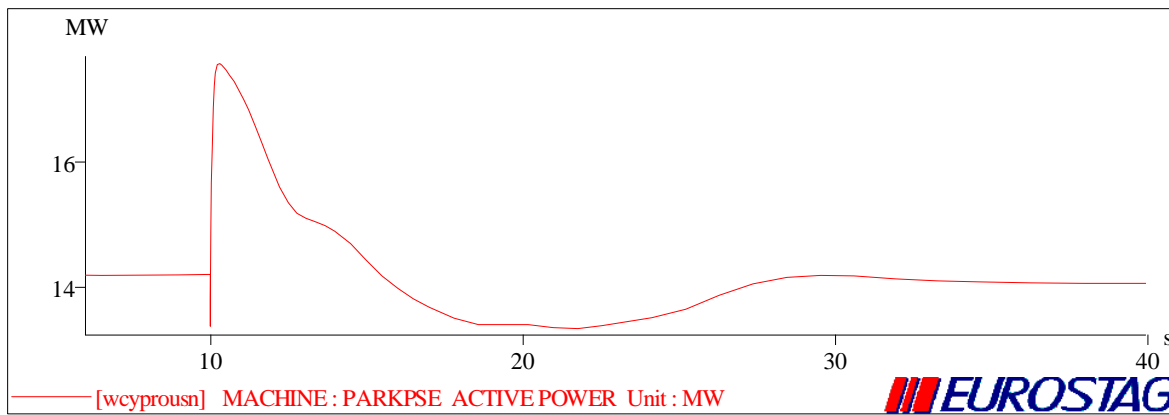
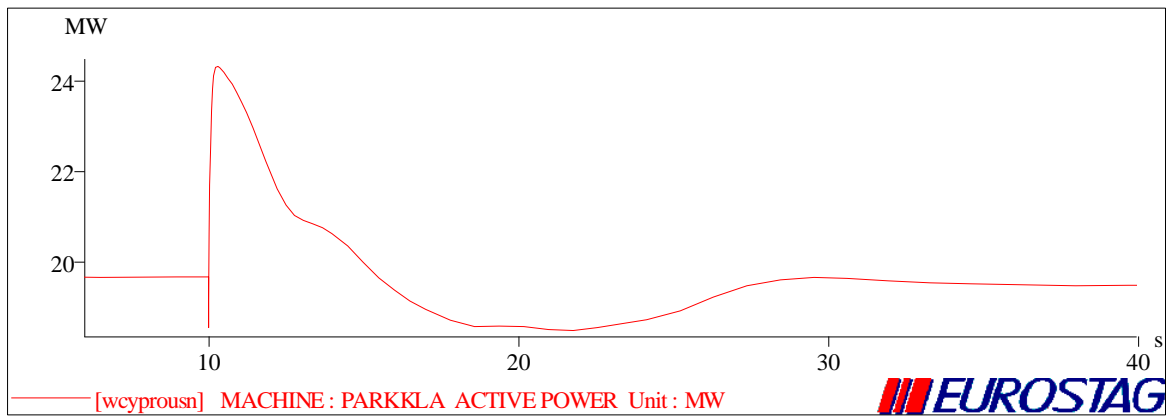
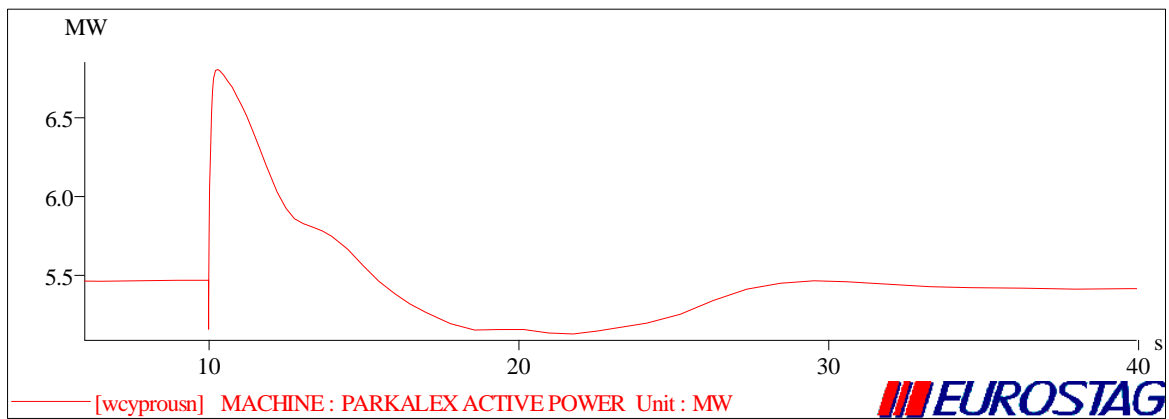
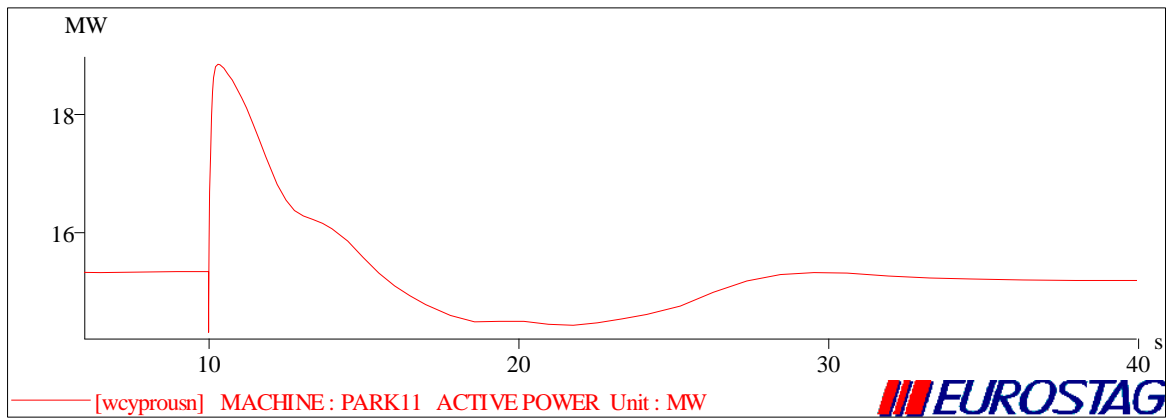
Node name	Uini	Umin	Umax	Ufin
	p.u.	p.u.	p.u.	p.u.
DHEKEL31	1.014	0.974	1.014	0.995
MONI31	1.021	0.973	1.021	0.995
VASILI31	1.031	0.982	1.031	1.004
PYRGOS31	1.02	0.971	1.02	0.994
ALAMBR31	1.01	0.966	1.01	0.988
ANATOL31	0.988	0.94	0.988	0.963
ATHALA31	1.001	0.958	1.001	0.98
AYPHYL31	1.01	0.961	1.01	0.984
DISOFF31	0.999	0.956	0.999	0.978
DISOFF32	0.996	0.954	0.996	0.976
FIZ31	1.009	0.966	1.009	0.988
INTAIR31	1.009	0.966	1.009	0.988
INTAIR32	1.009	0.966	1.009	0.988
LARNAK31	1.007	0.966	1.007	0.987
MARI31	1.03	0.981	1.03	1.004
MARI32	1.03	0.981	1.03	1.004
OLDPOW31	1.008	0.959	1.008	0.982
POLEMI31	1.007	0.959	1.007	0.981
PROTAR31	1.008	0.967	1.008	0.989
SEMINA31	0.999	0.956	0.999	0.978
SOTERA31	1.008	0.968	1.008	0.989
STROVO31	0.999	0.957	0.999	0.979
YERMAS31	1.009	0.961	1.009	0.983
KOPHIN31	1.03	0.981	1.03	1.004
ATHIE31	1.014	0.974	1.014	0.995
ORITES	0.989	0.941	0.989	0.964
PSEVDHAS	1.009	0.965	1.009	0.987
KLAVDHIA	1.008	0.965	1.008	0.986
ALEXIGRO	1.009	0.966	1.009	0.987



Σχήμα 8.16 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.17 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.18 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των πάρκων μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

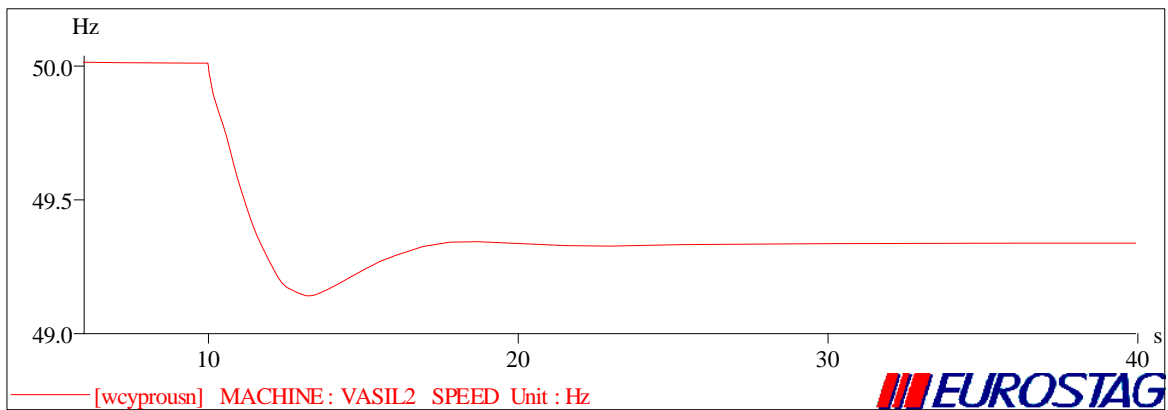
ΣΕΝΑΡΙΟ 19

Πίνακας 8.12 Παρουσίαση σεναρίου

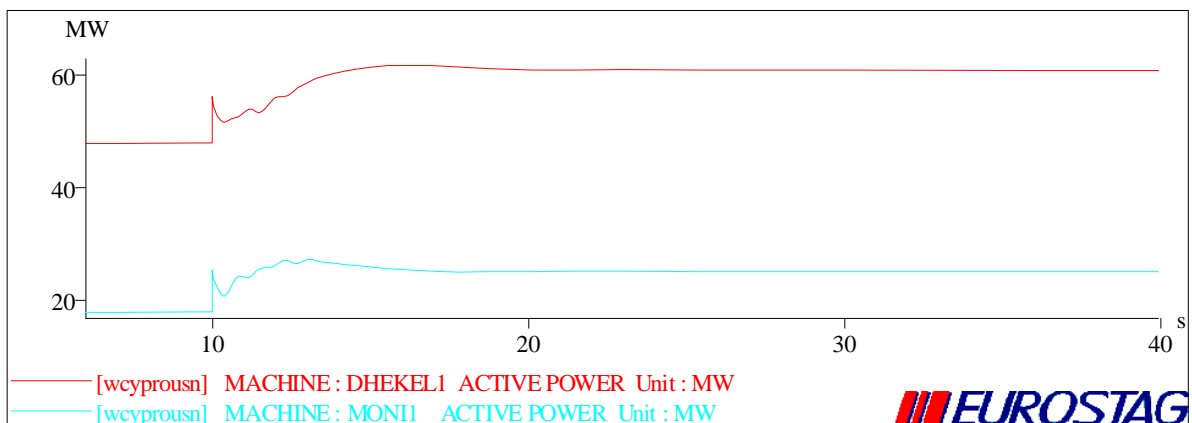
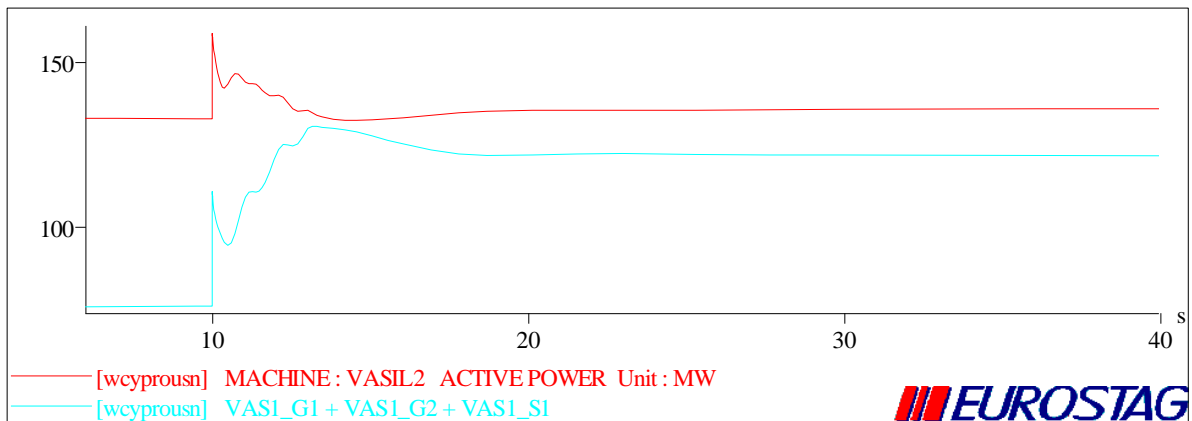
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
19	711,17	8,70	25,13	736,3

Πίνακας 8.13 Αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις τάσεις των ζυγών

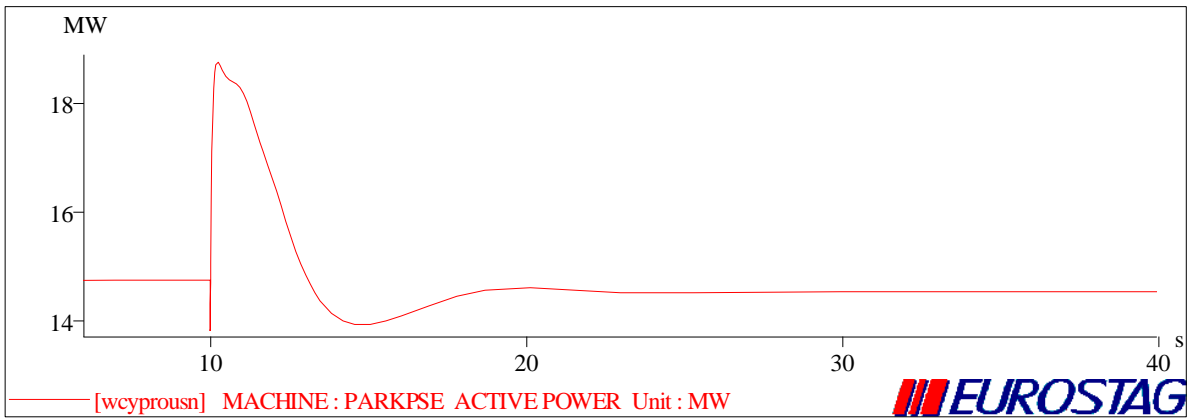
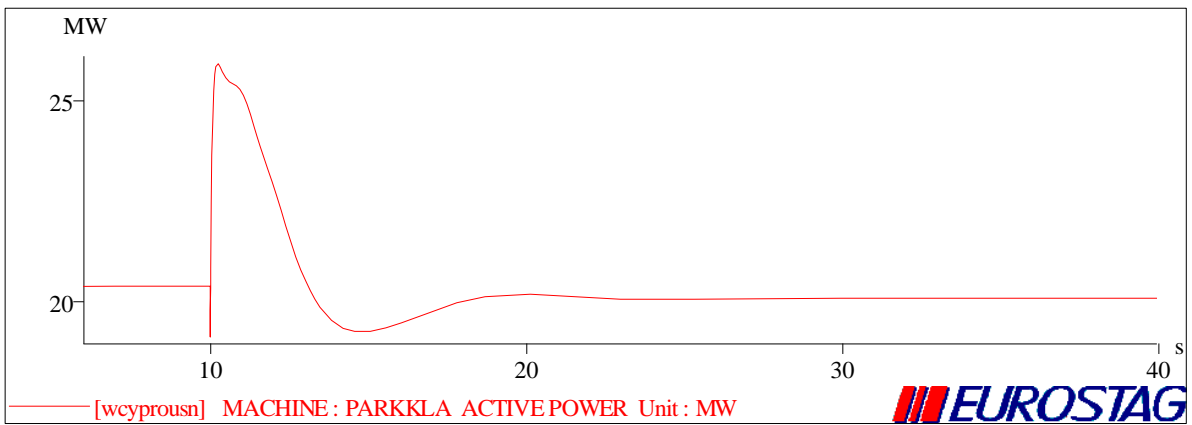
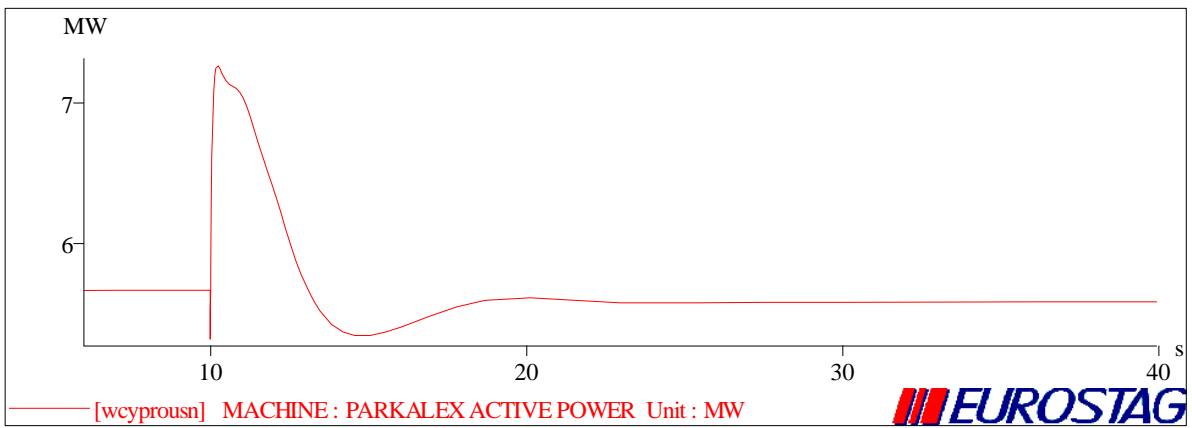
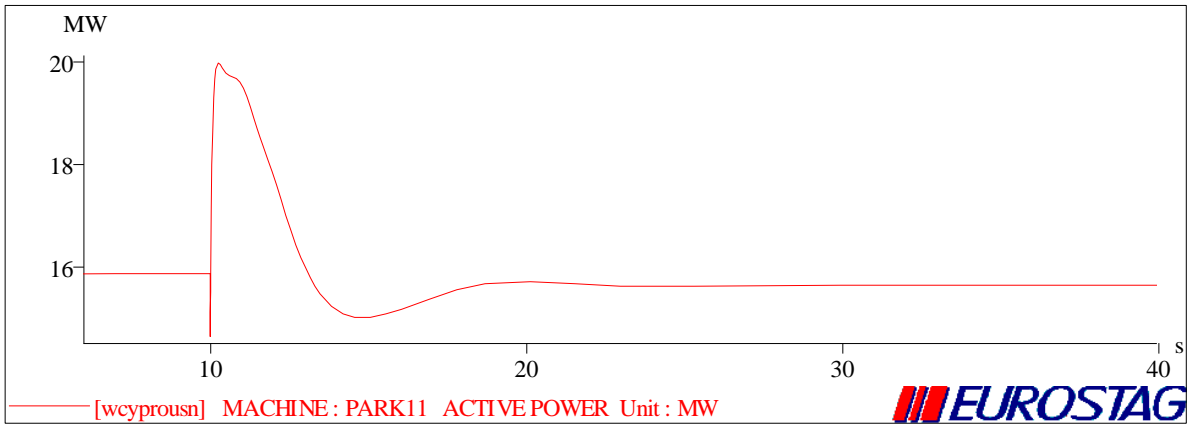
Node name	Uini p.u.	Umin p.u.	Umax p.u.	Ufin p.u.
DHEKEL31	0.984	0.939	0.985	0.966
MONI31	0.988	0.929	0.988	0.96
VASILI31	1.002	0.942	1.002	0.973
PYRGOS31	0.986	0.927	0.987	0.958
ALAMBR31	0.974	0.922	0.974	0.952
ANATOL31	0.938	0.88	0.939	0.911
ATHALA31	0.959	0.91	0.959	0.939
AYPHYL31	0.97	0.912	0.971	0.943
DISOFF31	0.955	0.906	0.956	0.935
DISOFF32	0.952	0.903	0.952	0.932
FIZ31	0.973	0.923	0.974	0.952
INTAIR31	0.973	0.923	0.974	0.952
INTAIR32	0.973	0.923	0.974	0.952
LARNAK31	0.973	0.925	0.973	0.953
MARI31	1.001	0.941	1.002	0.972
MARI32	1.001	0.941	1.002	0.972
OLDPOW31	0.967	0.908	0.968	0.939
POLEMI31	0.966	0.907	0.967	0.939
PROTAR31	0.975	0.93	0.976	0.957
SEMINA31	0.955	0.906	0.956	0.935
SOTERA31	0.975	0.93	0.976	0.958
STROVO31	0.956	0.907	0.956	0.936
YERMAS31	0.969	0.91	0.97	0.941
KOPHIN31	1.001	0.941	1.002	0.972
ATHIE31	0.984	0.939	0.985	0.967
ORITES	0.942	0.883	0.942	0.914
PSEVDHAS	0.972	0.921	0.973	0.951
KLAVDHIA	0.971	0.921	0.972	0.95
ALEXIGRO	0.973	0.923	0.973	0.951



Σχήμα 8.19 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.20 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.21 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των πάρκων μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ 10-20%

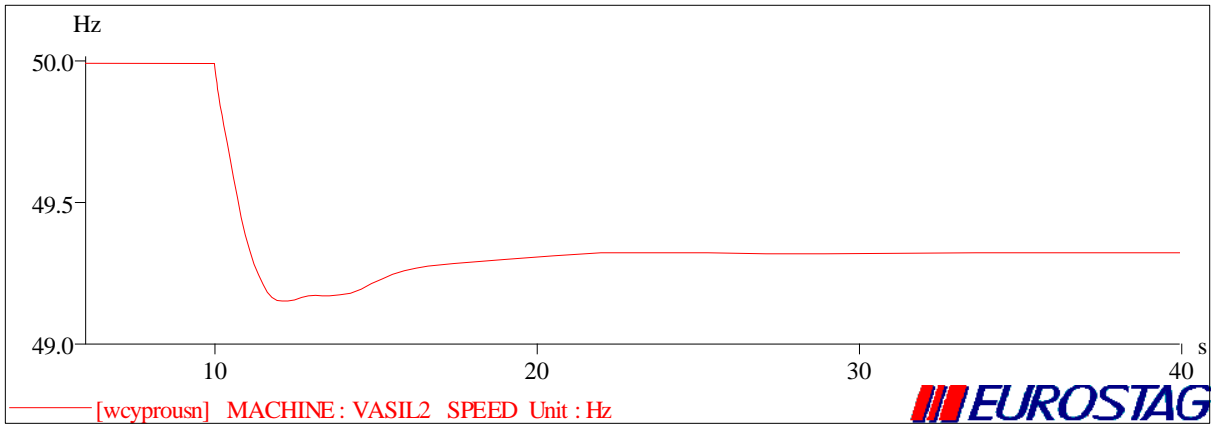
ΣΕΝΑΡΙΟ 2

Πίνακας 8.14 Παρουσίαση σεναρίου

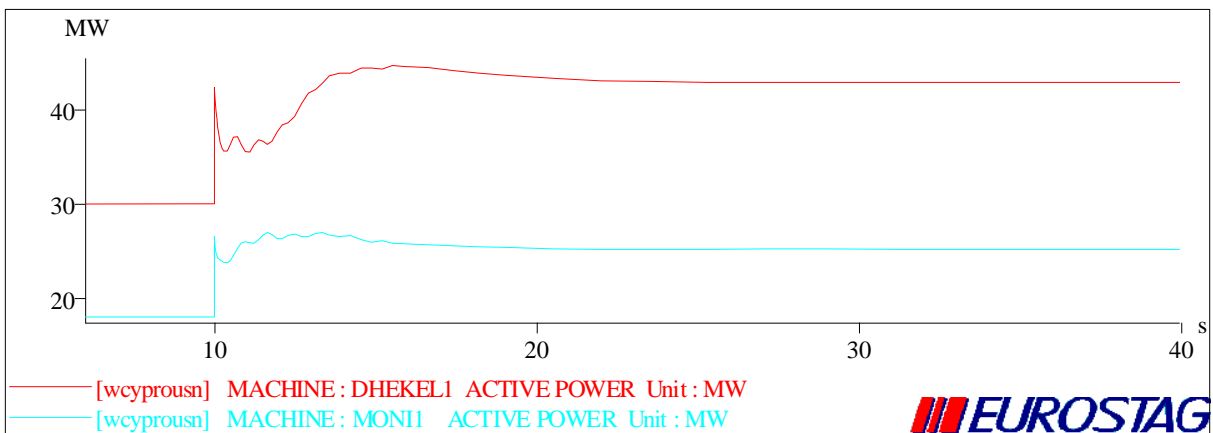
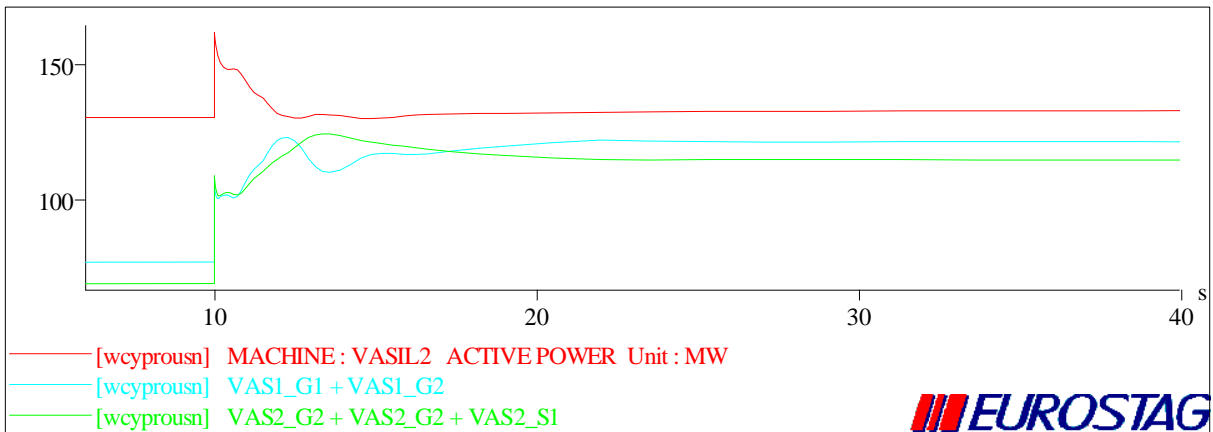
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
2	494,11	14,734	16,39	510,5

Πίνακας 8.15 Αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις τάσεις των ζυγών

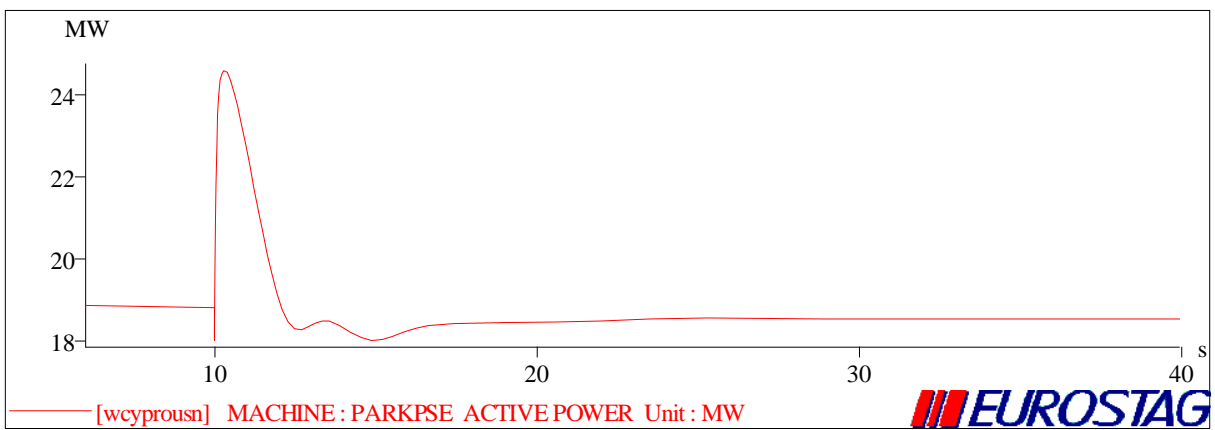
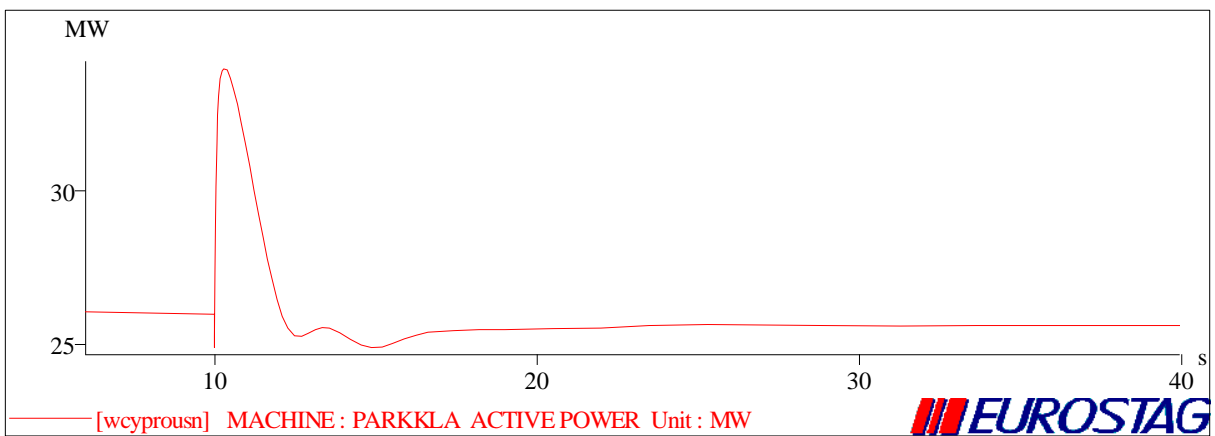
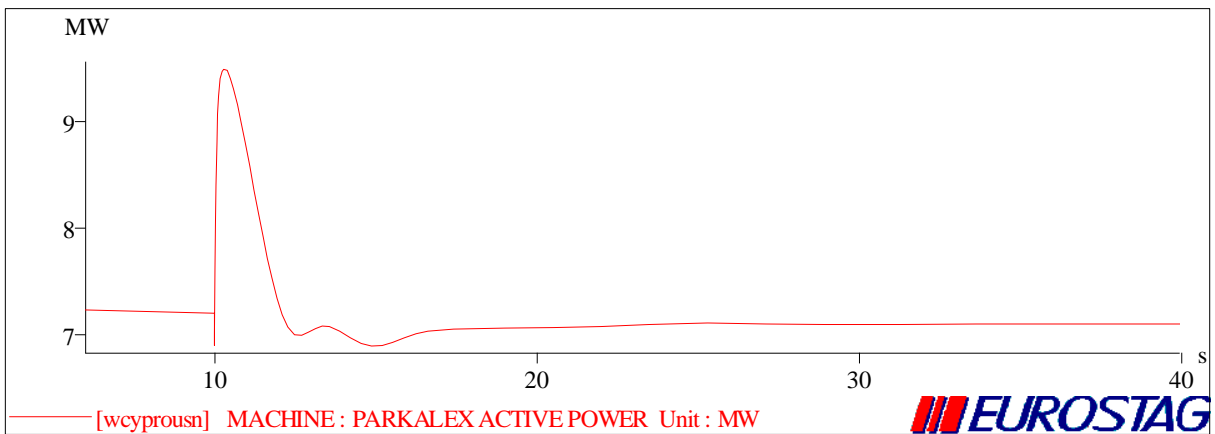
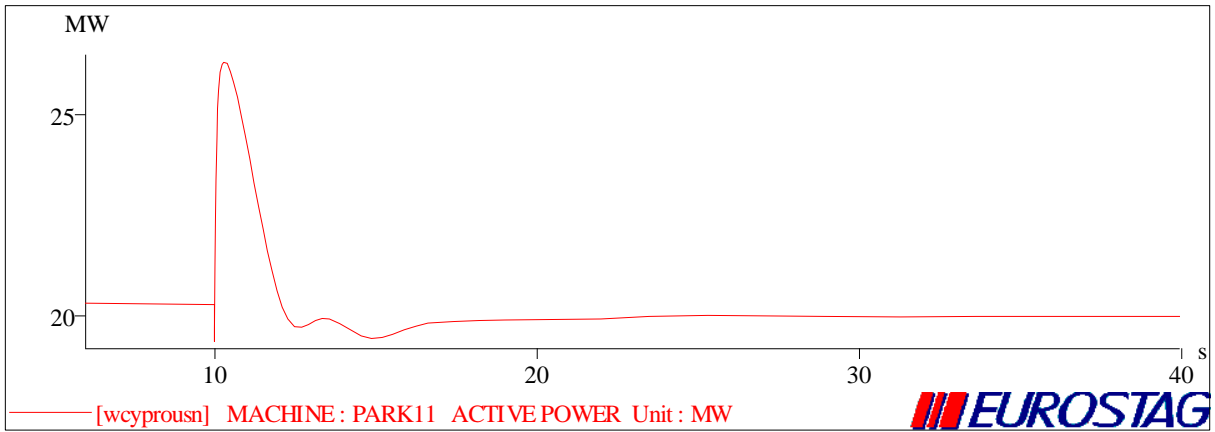
Node name	Uini	Umin	Umax	Ufin
	p.u.	p.u.	p.u.	p.u.
DHEKEL31	0.992	0.962	0.992	0.974
MONI31	1.029	0.997	1.029	1.008
VASILI31	1.038	1.005	1.038	1.016
PYRGOS31	1.028	0.996	1.028	1.007
ALAMBR31	1.002	0.971	1.002	0.982
ANATOL31	1	0.968	1	0.979
ATHALA31	0.988	0.958	0.988	0.969
AYPHYL31	1.02	0.987	1.02	0.998
DISOFF31	0.986	0.956	0.986	0.968
DISOFF32	0.984	0.953	0.984	0.965
FIZ31	0.997	0.966	0.997	0.978
INTAIR31	0.997	0.966	0.997	0.978
INTAIR32	0.997	0.966	0.997	0.978
LARNAK31	0.991	0.96	0.991	0.972
MARI31	1.038	1.005	1.038	1.016
MARI32	1.038	1.005	1.038	1.016
OLDPOW31	1.018	0.985	1.018	0.996
POLEMI31	1.017	0.985	1.017	0.996
PROTAR31	0.986	0.956	0.986	0.968
SEMINA31	0.987	0.956	0.987	0.968
SOTERA31	0.986	0.957	0.986	0.968
STROVO31	0.987	0.956	0.987	0.968
YERMAS31	1.019	0.986	1.019	0.997
KOPHIN31	1.037	1.004	1.037	1.016
ATHIE31	0.992	0.962	0.992	0.974
ORITES	1	0.968	1	0.979
PSEVDHAS	0.998	0.967	0.998	0.979
KLAVDHIA	0.996	0.965	0.996	0.977
ALEXIGRO	0.996	0.966	0.996	0.977



Σχήμα 8.22 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.23 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.24 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των πάρκων μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

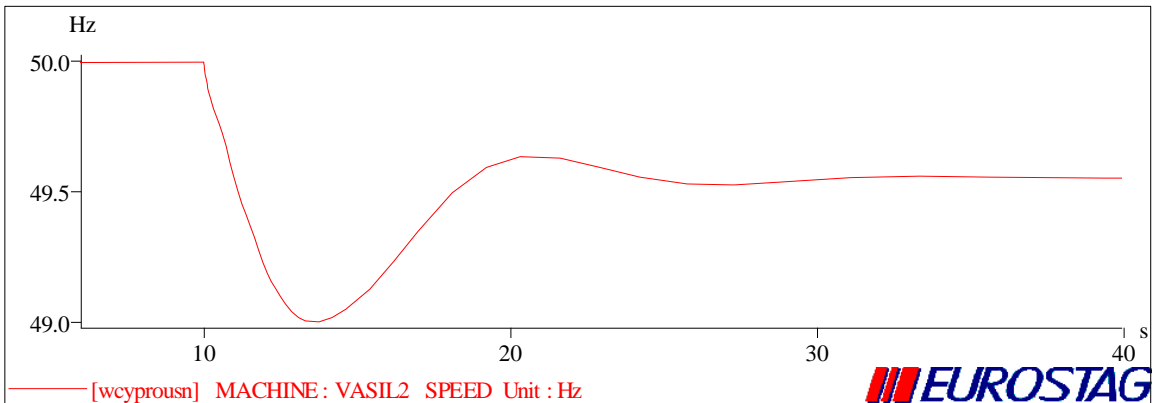
ΣΕΝΑΡΙΟ 15

Πίνακας 8.16 Παρουσίαση σεναρίου

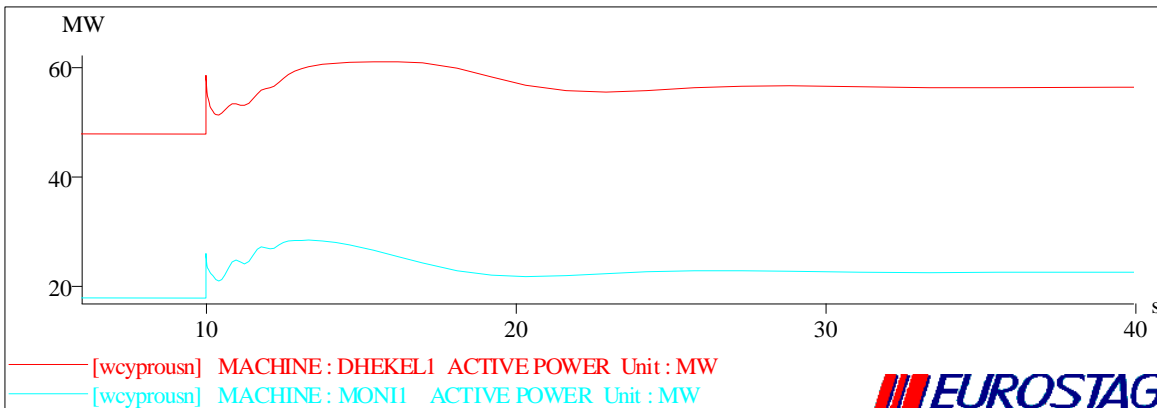
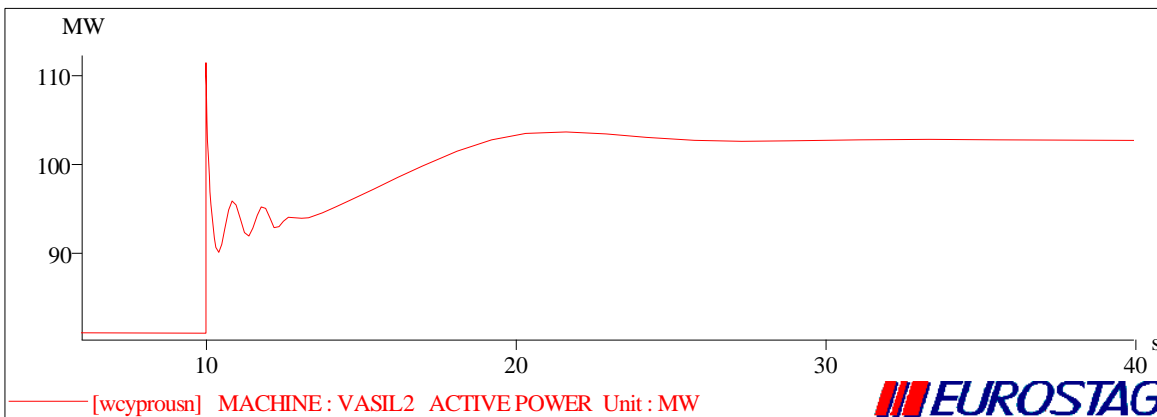
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
15	463,58	20,989	10,92	474,5

Πίνακας 8.17 Αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις τάσεις των ζυγών

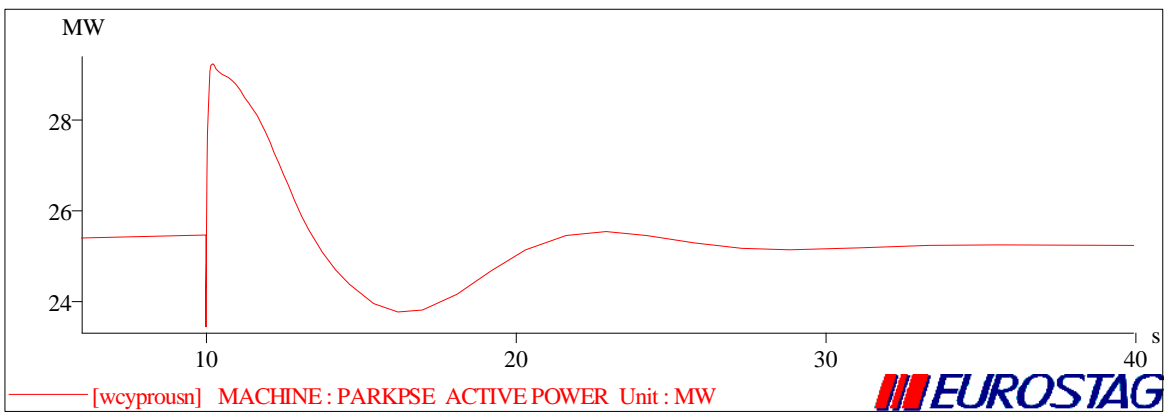
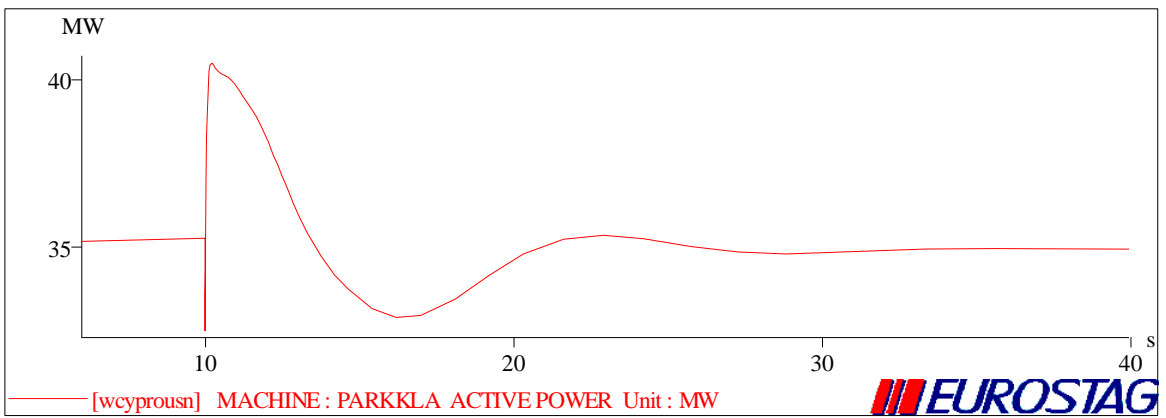
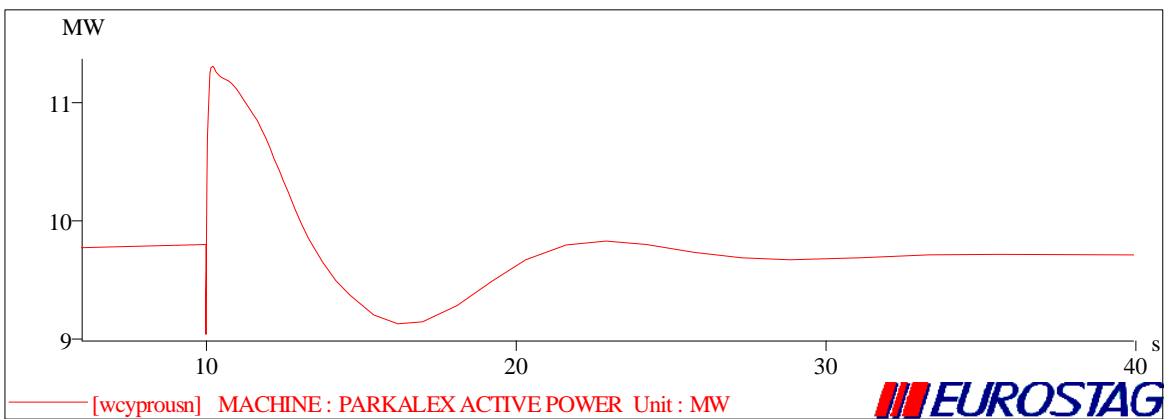
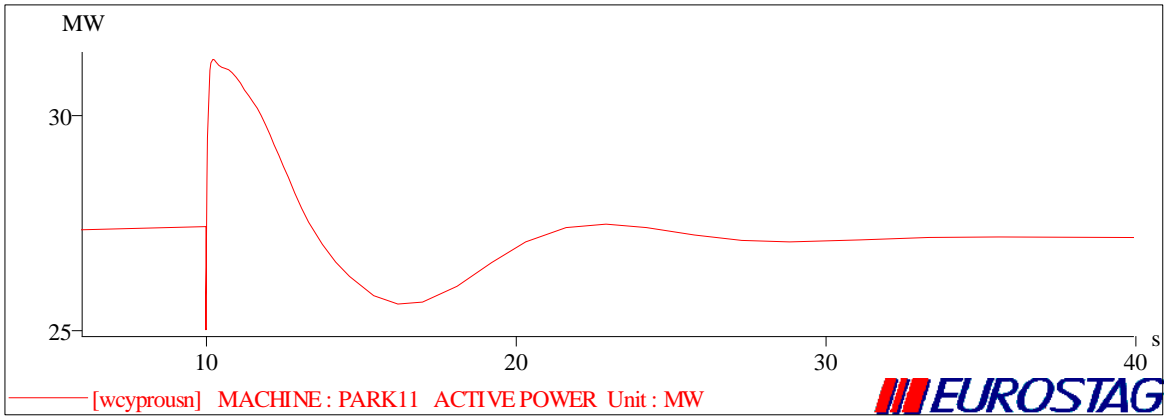
Node name	Uini	Umin	Umax	Ufin
	p.u.	p.u.	p.u.	p.u.
DHEKEL31	1.026	0.964	1.026	0.994
MONI31	1.036	0.966	1.036	0.996
VASILI31	1.043	0.972	1.043	1.003
PYRGOS31	1.035	0.965	1.035	0.995
ALAMBR31	1.025	0.959	1.025	0.989
ANATOL31	1.011	0.941	1.011	0.971
ATHALA31	1.02	0.955	1.02	0.986
AYPHYL31	1.028	0.958	1.028	0.989
DISOFF31	1.018	0.953	1.018	0.984
DISOFF32	1.016	0.952	1.017	0.982
FIZ31	1.022	0.957	1.023	0.988
INTAIR31	1.022	0.957	1.023	0.988
INTAIR32	1.022	0.957	1.023	0.988
LARNAK31	1.021	0.957	1.021	0.988
MARI31	1.043	0.972	1.043	1.003
MARI32	1.043	0.972	1.043	1.003
OLDPOW31	1.027	0.956	1.027	0.987
POLEMI31	1.026	0.956	1.026	0.986
PROTAR31	1.022	0.96	1.022	0.99
SEMINA31	1.019	0.954	1.019	0.985
SOTERA31	1.022	0.96	1.022	0.99
STROVO31	1.019	0.954	1.019	0.985
YERMAS31	1.028	0.957	1.028	0.988
KOPHIN31	1.043	0.972	1.043	1.003
ATHIE31	1.026	0.964	1.026	0.994
ORITES	1.009	0.938	1.009	0.969
PSEVDHAS	1.022	0.956	1.022	0.987
KLAVDHIA	1.02	0.954	1.02	0.985
ALEXIGRO	1.021	0.956	1.021	0.987



Σχήμα 8.25 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.26 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.27 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των πάρκων μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

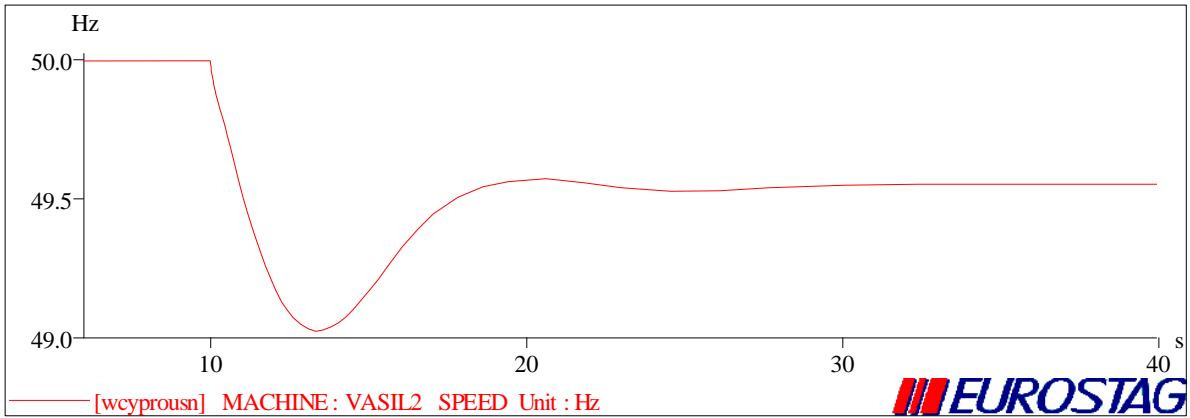
ΣΕΝΑΡΙΟ 21

Πίνακας 8.18 Παρουσίαση σεναρίου

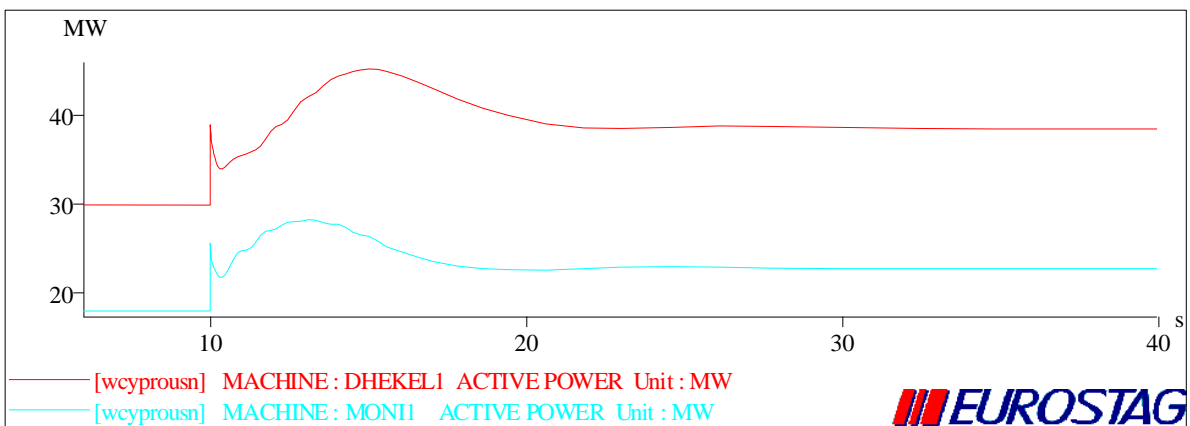
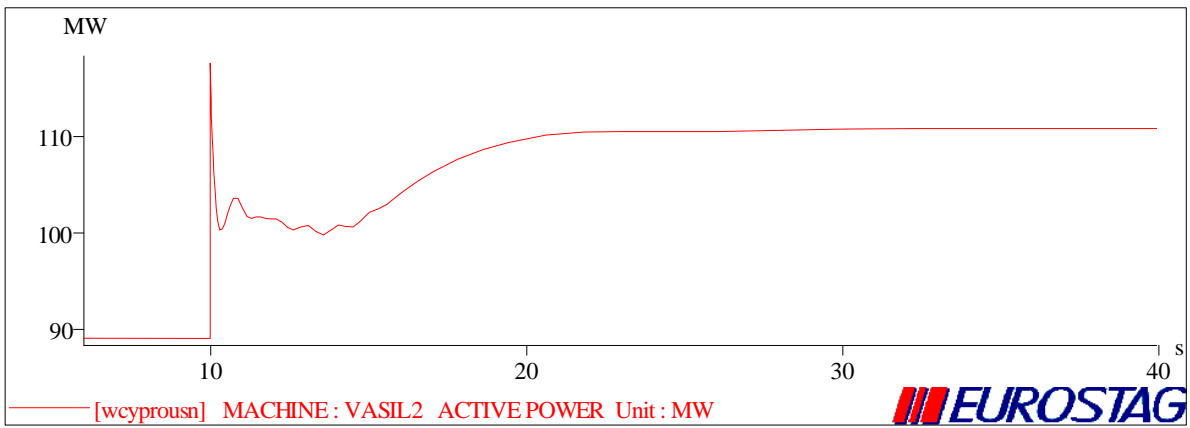
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
21	483,41	16,487	11,28	494,69

Πίνακας 8.19 Αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις τάσεις των ζυγών

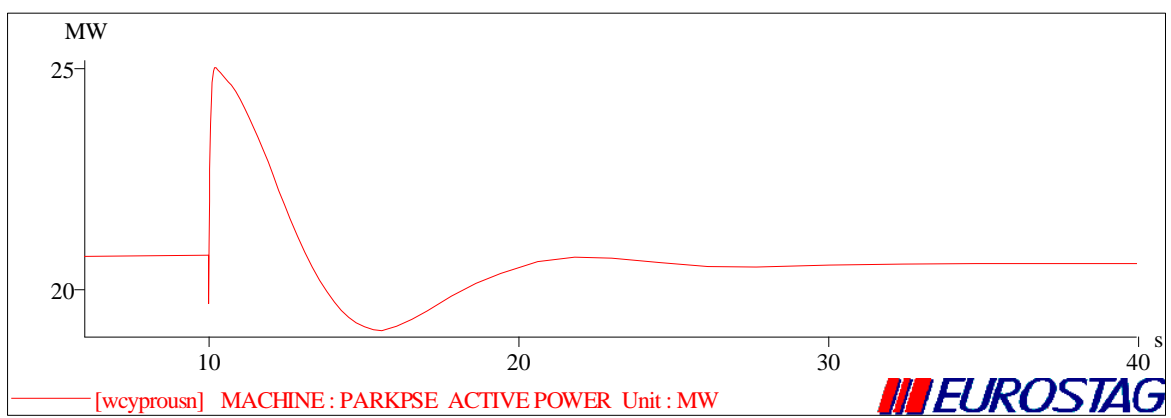
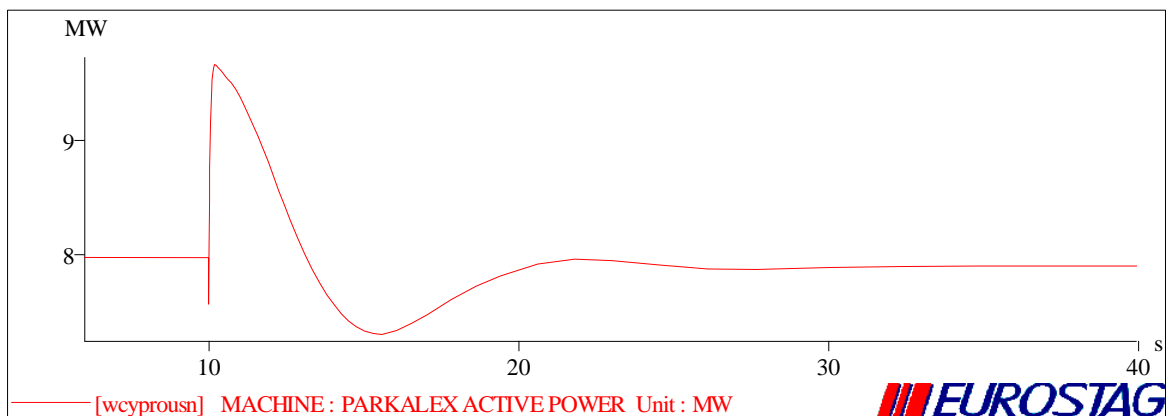
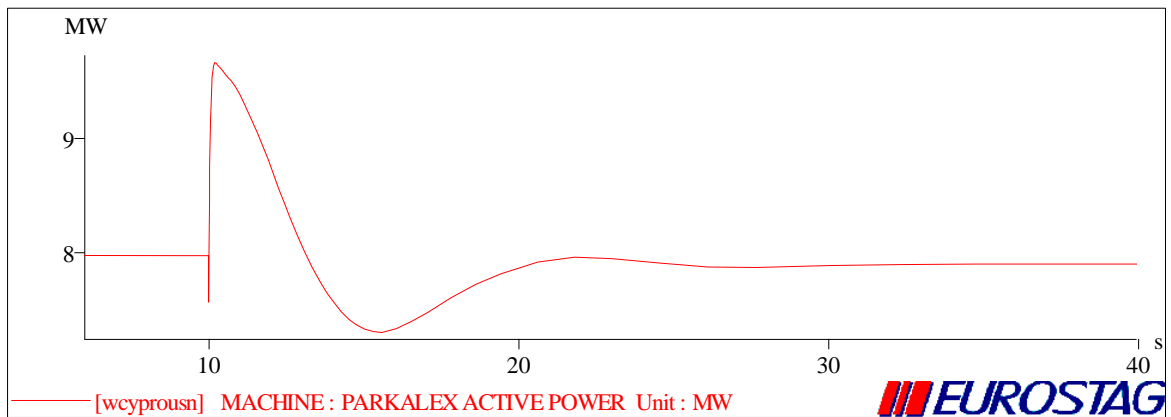
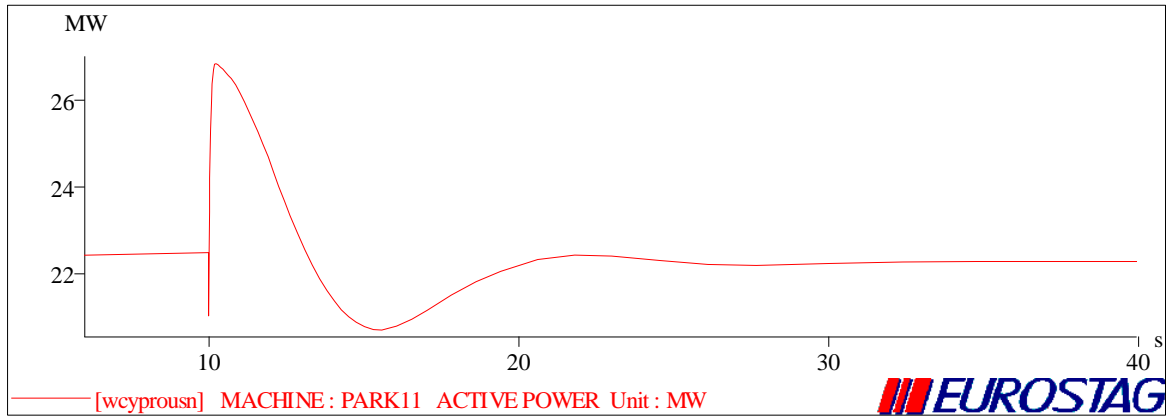
Node name	Uini	Umin	Umax	Ufin
	p.u.	p.u.	p.u.	p.u.
DHEKEL31	1.044	1.006	1.044	1.024
MONI31	1.043	0.994	1.043	1.012
VASILI31	1.051	1.001	1.051	1.02
PYRGOS31	1.042	0.993	1.042	1.011
ALAMBR31	1.038	0.995	1.038	1.013
ANATOL31	1.017	0.968	1.017	0.987
ATHALA31	1.034	0.993	1.034	1.011
AYPHYL31	1.035	0.985	1.035	1.004
DISOFF31	1.032	0.991	1.032	1.01
DISOFF32	1.03	0.989	1.03	1.007
FIZ31	1.037	0.995	1.037	1.013
INTAIR31	1.037	0.995	1.037	1.013
INTAIR32	1.037	0.995	1.037	1.013
LARNAK31	1.037	0.997	1.037	1.016
MARI31	1.05	1.001	1.05	1.019
MARI32	1.05	1.001	1.05	1.019
OLDPOW31	1.033	0.984	1.033	1.002
POLEMI31	1.033	0.983	1.033	1.002
PROTAR31	1.039	1.001	1.039	1.02
SEMINA31	1.033	0.991	1.033	1.01
SOTERA31	1.039	1.002	1.039	1.02
STROVO31	1.033	0.992	1.033	1.01
YERMAS31	1.034	0.985	1.034	1.003
KOPHIN31	1.05	1	1.05	1.019
ATHIE31	1.044	1.006	1.044	1.024
ORITES	1.016	0.967	1.016	0.985
PSEVDHAS	1.036	0.993	1.036	1.012
KLAVDHIA	1.035	0.992	1.035	1.011
ALEXIGRO	1.036	0.994	1.036	1.012



Σχήμα 8.28 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.29 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.30 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των πάρκων μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

3. ΑΙΟΛΙΚΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ 20-30%

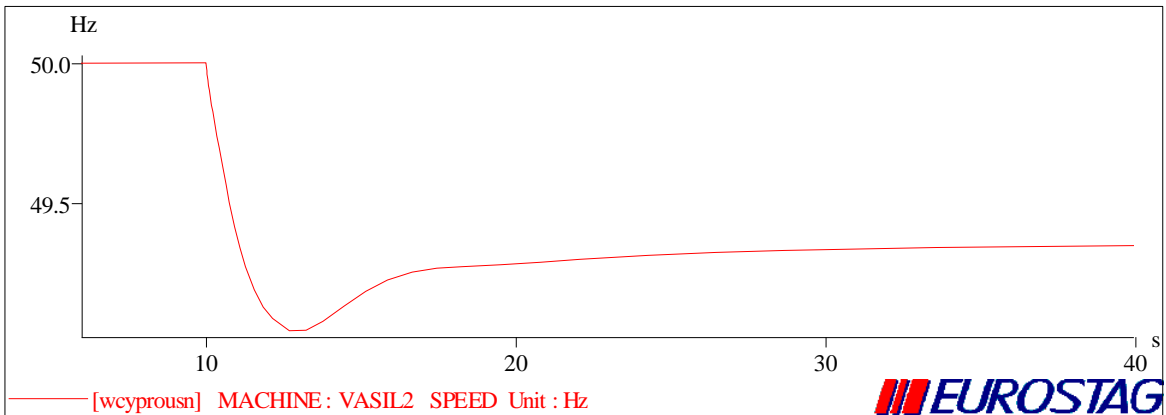
ΣΕΝΑΡΙΟ 3

Πίνακας 8.20 Παρουσίαση σεναρίου

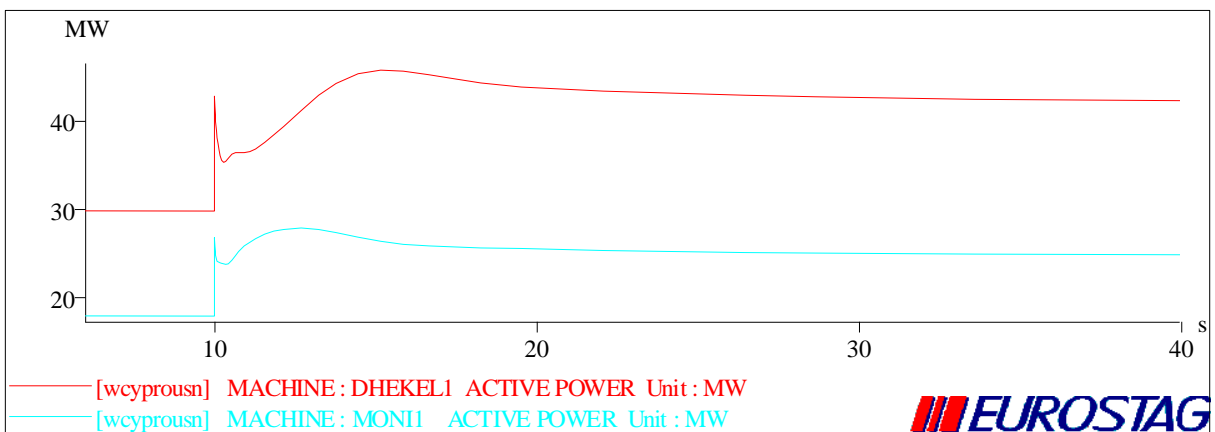
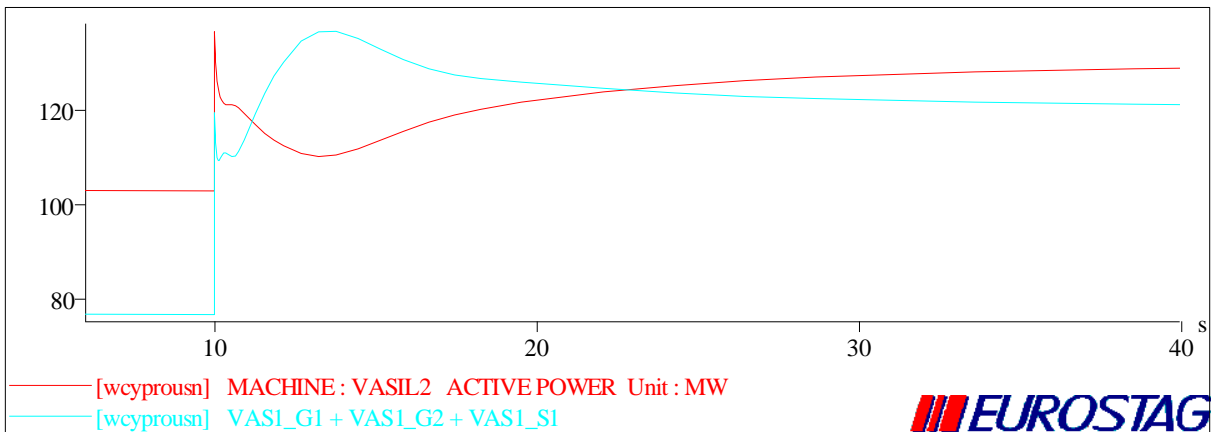
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
3	423,35	23,503	10,95	434,3

Πίνακας 8.21 Αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις τάσεις των ζυγών

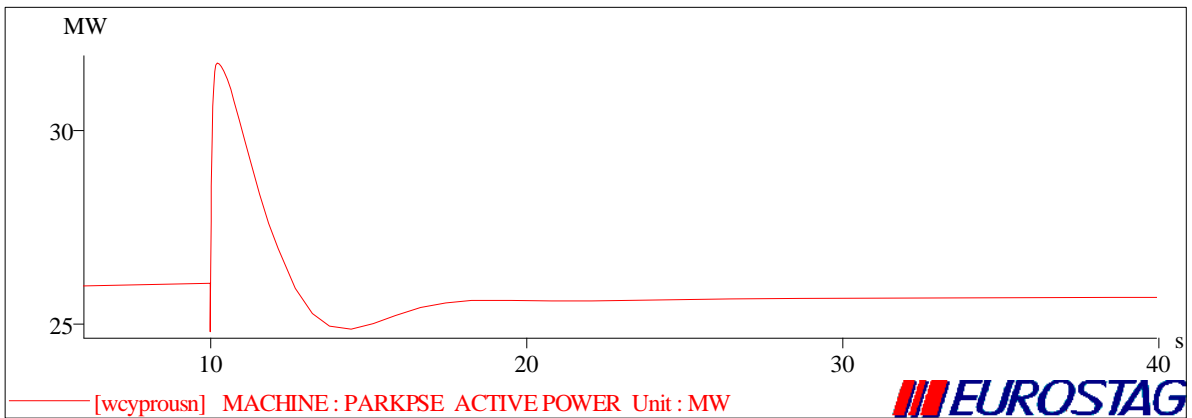
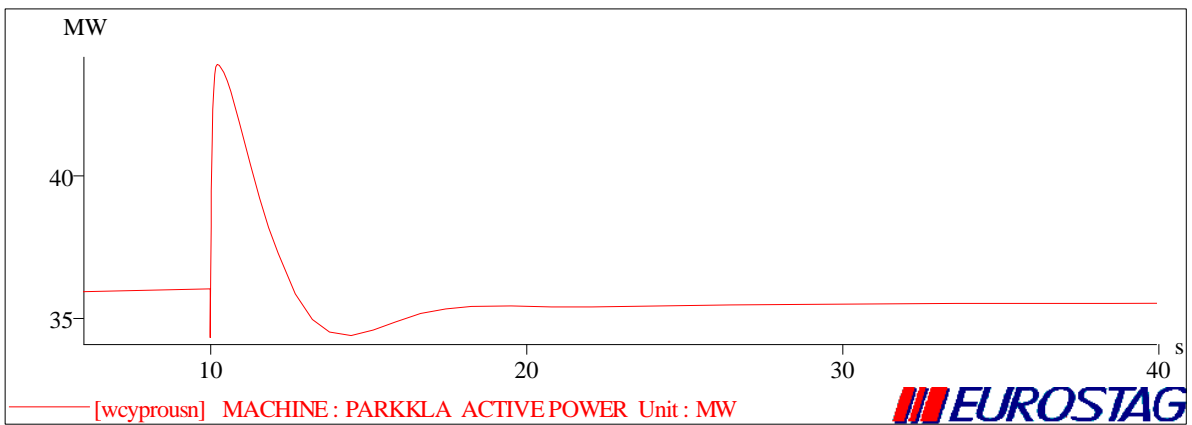
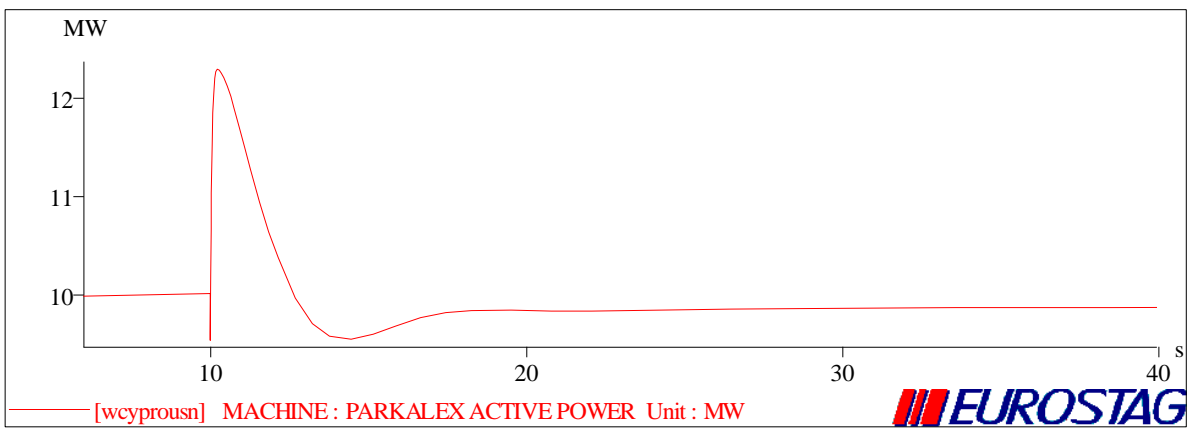
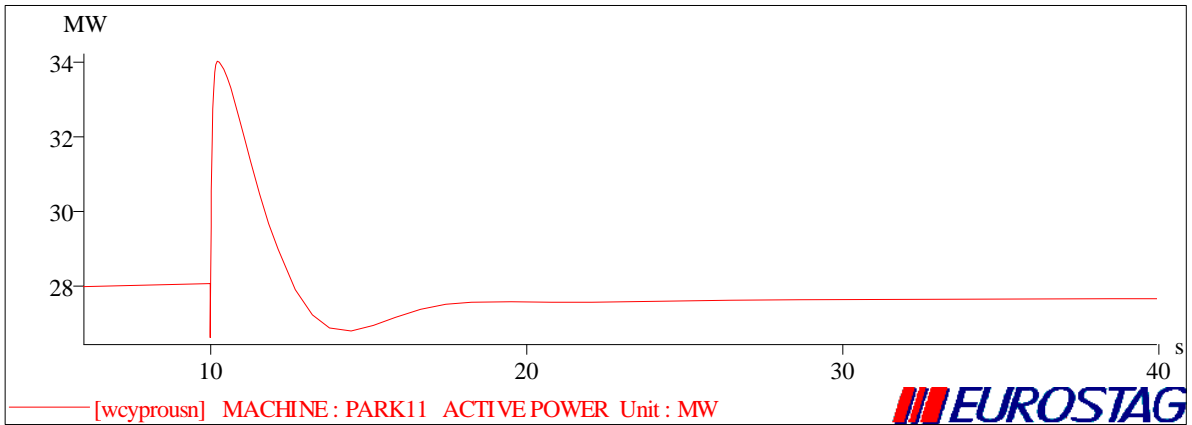
Node name	Uini	Umin	Umax	Ufin
	p.u.	p.u.	p.u.	p.u.
DHEKEL31	1.016	0.978	1.016	0.993
MONI31	1.038	0.998	1.038	1.013
VASILI31	1.045	1.004	1.045	1.019
PYRGOS31	1.037	0.997	1.037	1.012
ALAMBR31	1.021	0.981	1.021	0.997
ANATOL31	1.015	0.975	1.015	0.99
ATHALA31	1.014	0.975	1.014	0.991
AYPHYL31	1.031	0.991	1.031	1.006
DISOFF31	1.013	0.974	1.013	0.99
DISOFF32	1.011	0.972	1.011	0.988
FIZ31	1.017	0.978	1.017	0.993
INTAIR31	1.017	0.978	1.017	0.993
INTAIR32	1.017	0.978	1.017	0.993
LARNAK31	1.014	0.975	1.014	0.991
MARI31	1.045	1.004	1.045	1.019
MARI32	1.045	1.004	1.045	1.019
OLDPOW31	1.03	0.989	1.03	1.004
POLEMI31	1.029	0.989	1.029	1.004
PROTAR31	1.012	0.974	1.012	0.99
SEMINA31	1.013	0.974	1.013	0.99
SOTERA31	1.012	0.974	1.012	0.99
STROVO31	1.013	0.974	1.013	0.99
YERMAS31	1.031	0.99	1.031	1.005
KOPHIN31	1.045	1.004	1.045	1.019
ATHIE31	1.016	0.978	1.016	0.994
ORITES	1.012	0.972	1.012	0.987
PSEVDHAS	1.017	0.977	1.017	0.993
KLAVDHIA	1.014	0.975	1.014	0.991
ALEXIGRO	1.016	0.977	1.016	0.992



Σχήμα 8.31 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.32 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.33 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των πάρκων μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

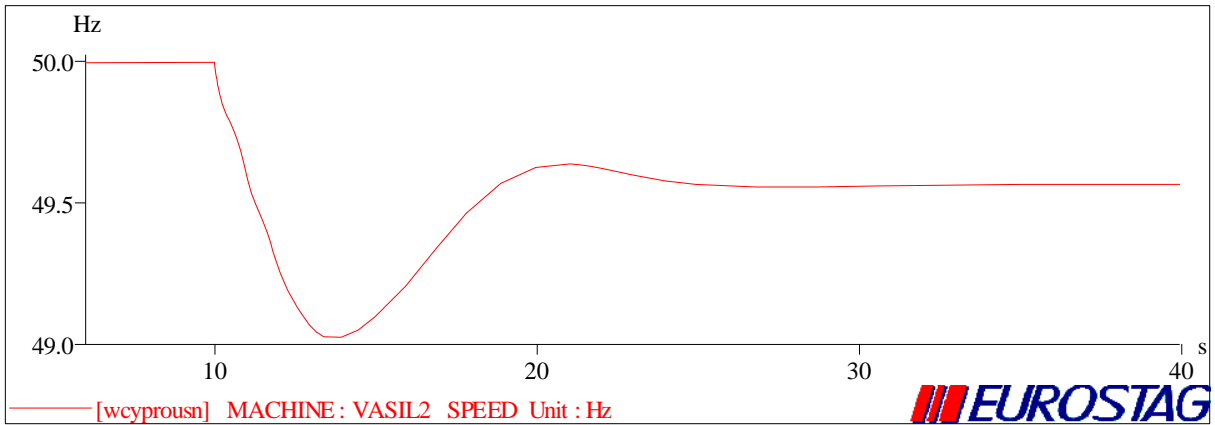
ΣΕΝΑΡΙΟ 15

Πίνακας 8.22 Παρουσίαση σεναρίου

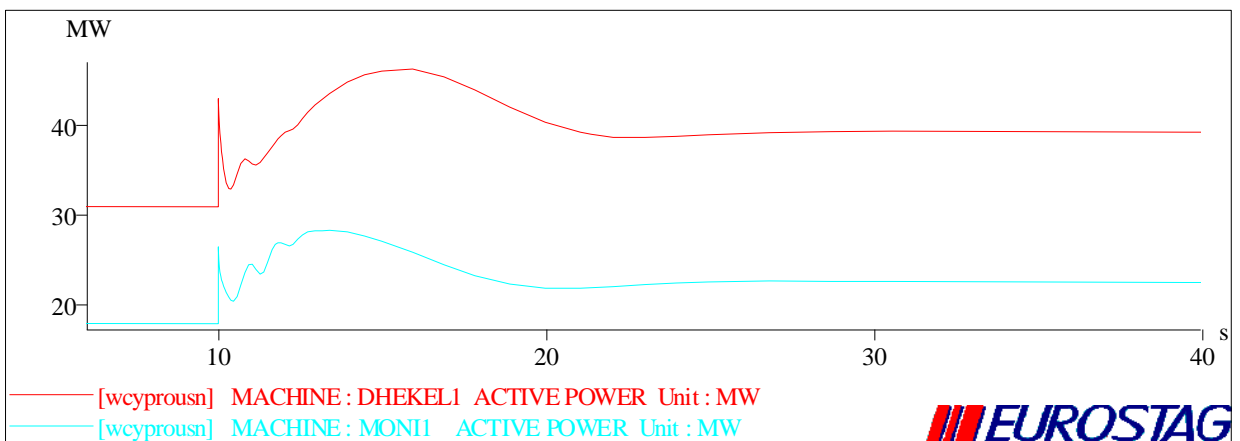
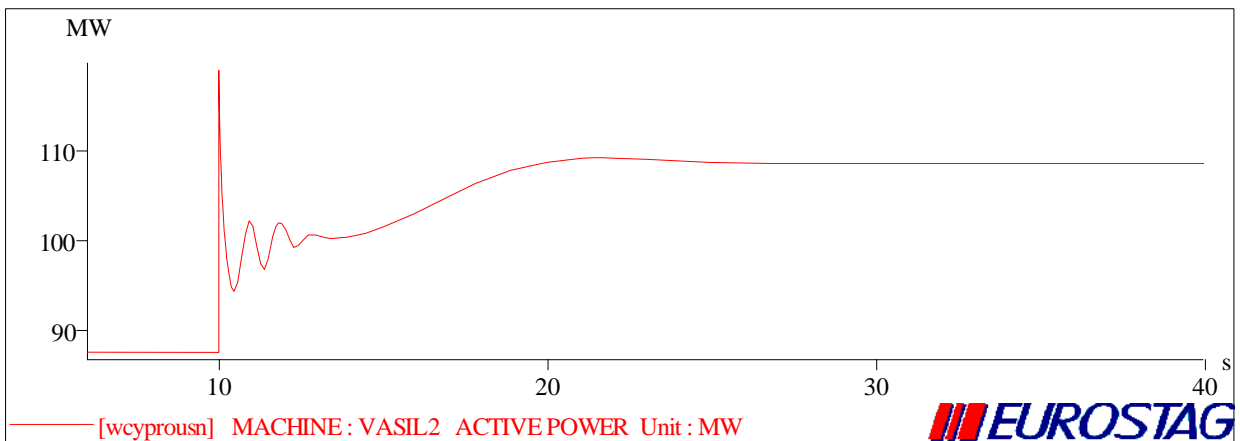
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
15	484,03	28,283	13,87	497,9

Πίνακας 8.23 Αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις τάσεις των ζυγών

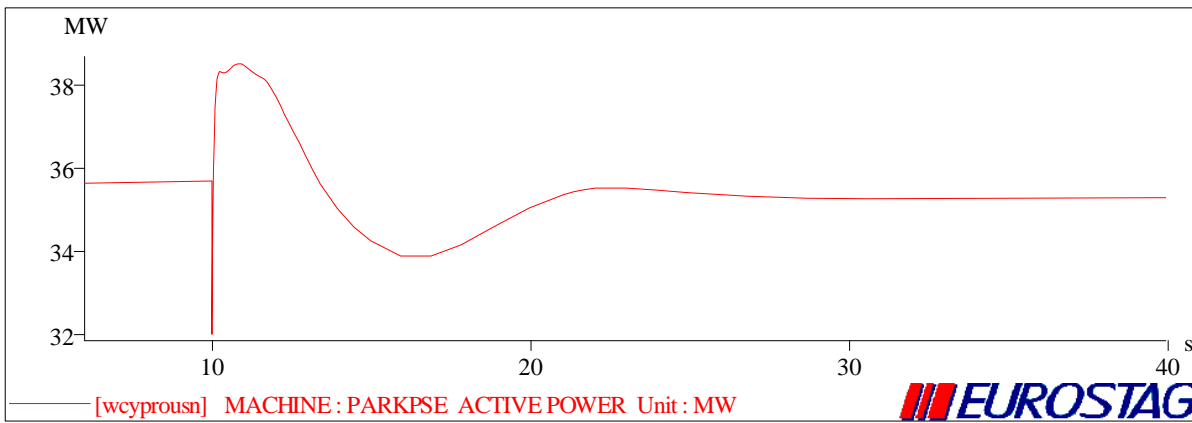
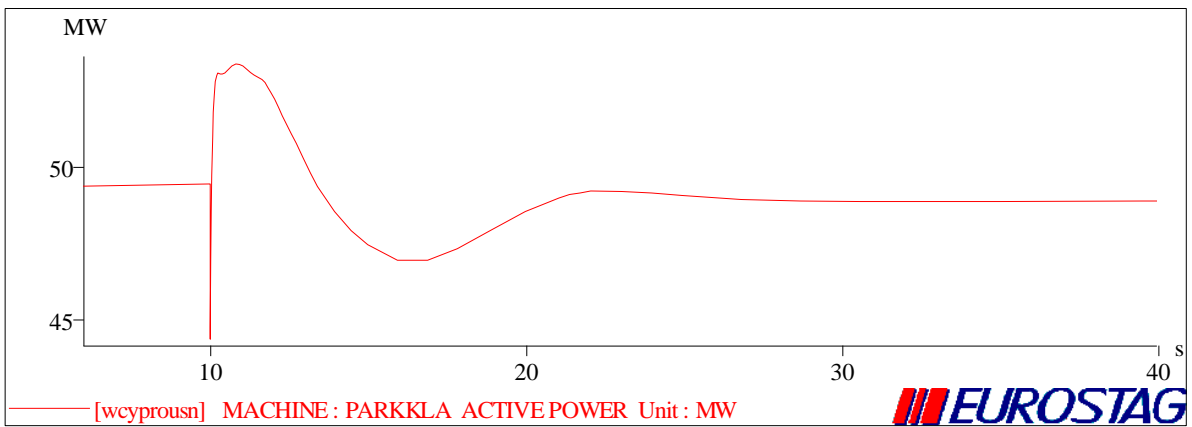
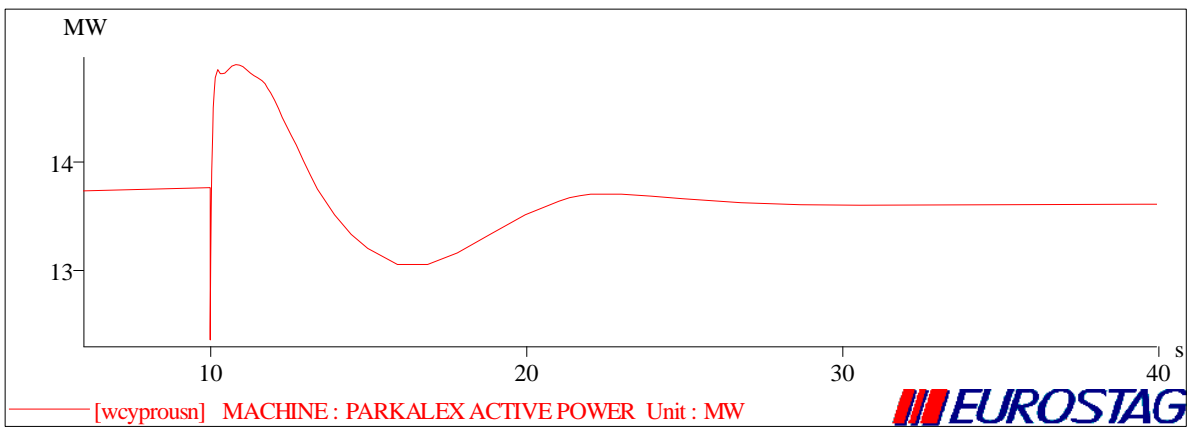
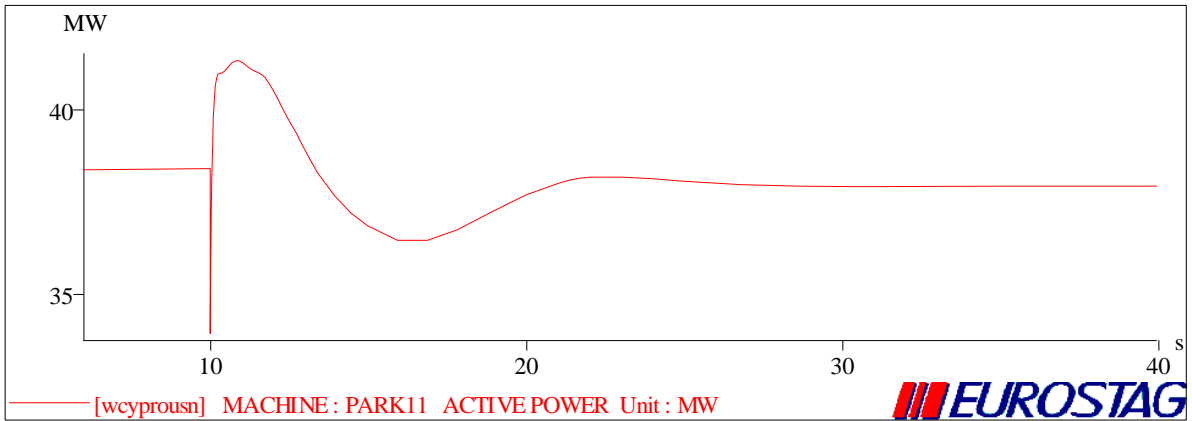
Node name	Uini p.u.	Umin p.u.	Umax p.u.	Ufin p.u.
DHEKEL31	0.999	0.913	0.999	0.958
MONI31	1.015	0.917	1.015	0.962
VASILI31	1.023	0.924	1.023	0.969
PYRGOS31	1.014	0.916	1.014	0.961
ALAMBR31	0.997	0.904	0.997	0.95
ANATOL31	0.984	0.886	0.984	0.931
ATHALA31	0.991	0.9	0.991	0.946
AYPHYL31	1.005	0.907	1.005	0.953
DISOFF31	0.989	0.898	0.989	0.944
DISOFF32	0.987	0.896	0.987	0.942
FIZ31	0.993	0.902	0.993	0.948
INTAIR31	0.993	0.902	0.993	0.948
INTAIR32	0.993	0.902	0.993	0.948
LARNAK31	0.993	0.904	0.993	0.95
MARI31	1.022	0.923	1.022	0.969
MARI32	1.022	0.923	1.022	0.969
OLDPOW31	1.003	0.905	1.003	0.95
POLEMI31	1.003	0.904	1.003	0.95
PROTAR31	0.995	0.908	0.995	0.953
SEMINA31	0.99	0.899	0.99	0.945
SOTERA31	0.995	0.908	0.995	0.953
STROVO31	0.99	0.899	0.99	0.945
YERMAS31	1.004	0.906	1.004	0.952
KOPHIN31	1.022	0.923	1.022	0.968
ATHIE31	0.999	0.913	0.999	0.958
ORITES	0.98	0.881	0.98	0.927
PSEVDHAS	0.992	0.9	0.992	0.946
KLAVDHIA	0.989	0.898	0.989	0.943
ALEXIGRO	0.992	0.9	0.992	0.946



Σχήμα 8.34 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.35 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



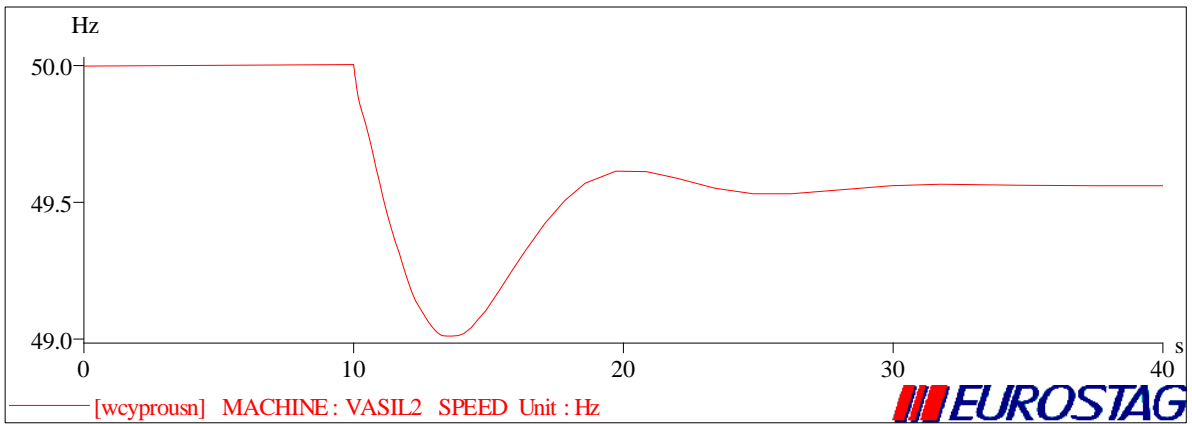
Σχήμα 8.36 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των πάρκων μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

ΣΕΝΑΡΙΟ 18**Πίνακας 8.24** Παρουσίαση σεναρίου

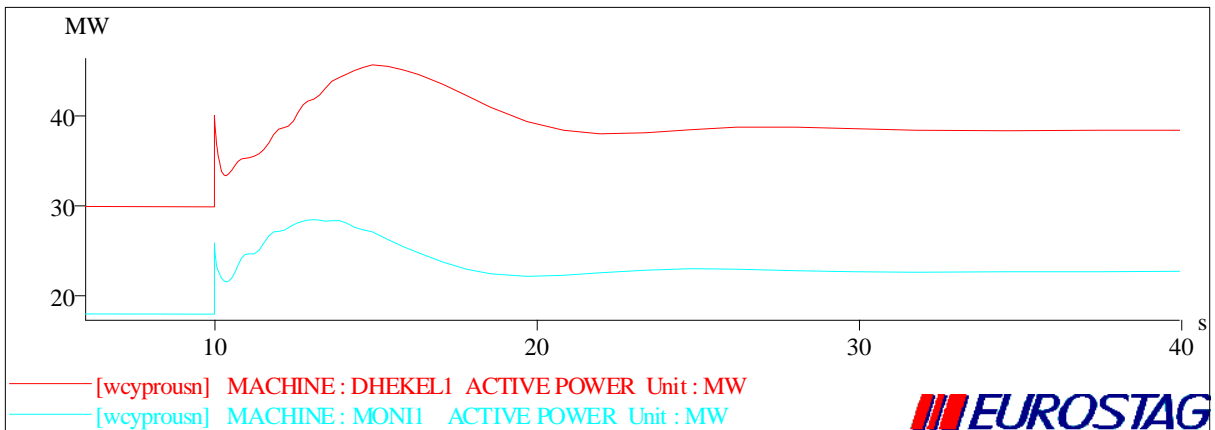
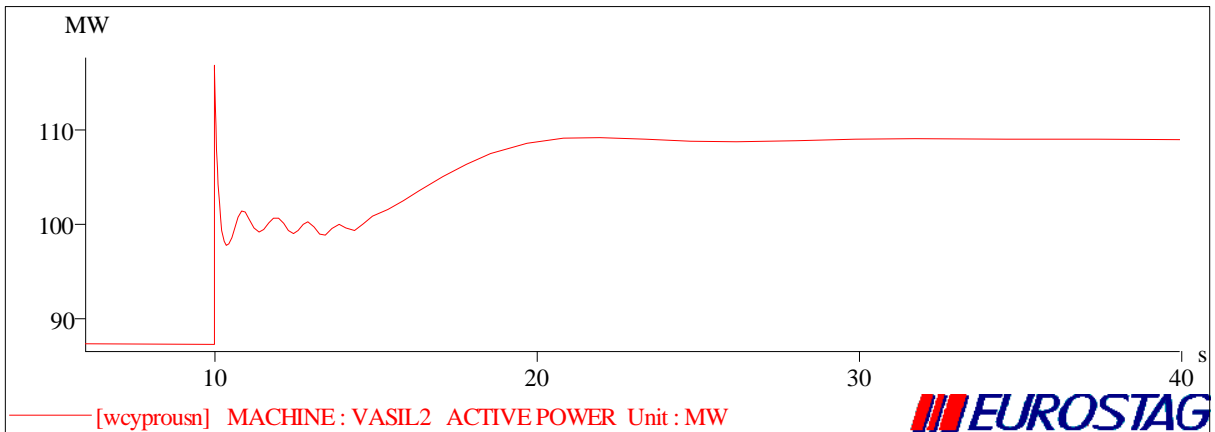
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝ. ΦΟΡΤΙΟ (MW)	ΑΙΟΛ. ΠΑΡΑΓΩΓΗ (%)	ΑΠΩΛΕΙΕΣ (MW)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΝ. ΑΗΚ (MW)
18	474,6	23,409	12,31	486,91

Πίνακας 8.25 Αποτελέσματα της ροής φορτίου για τις τάσεις των ζυγών

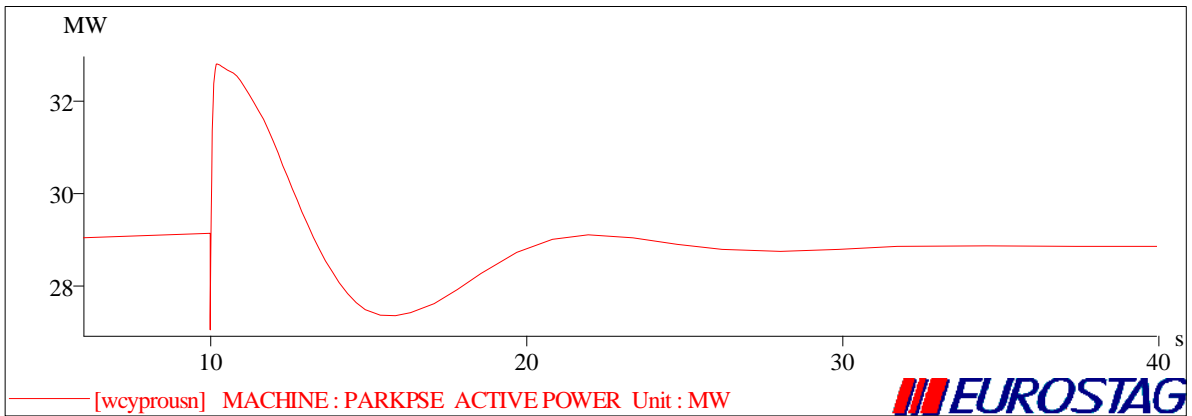
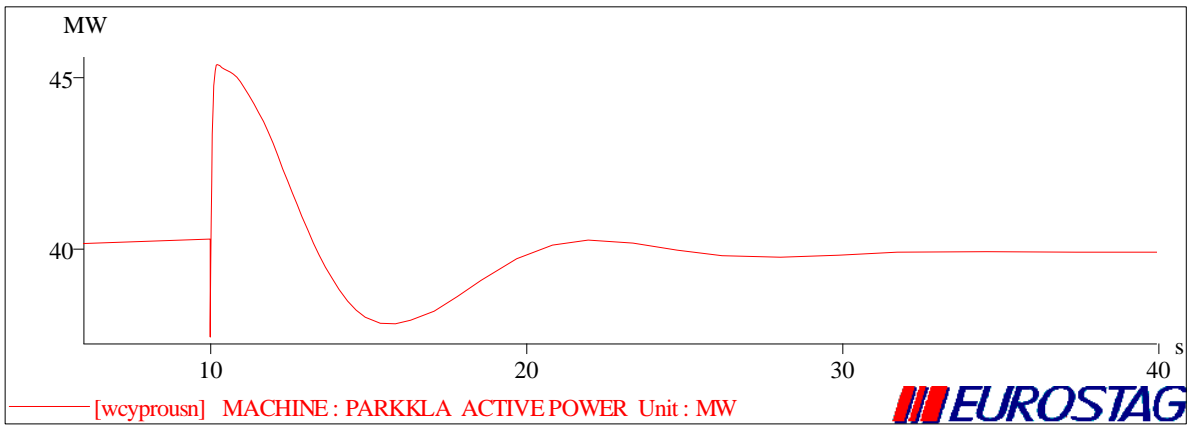
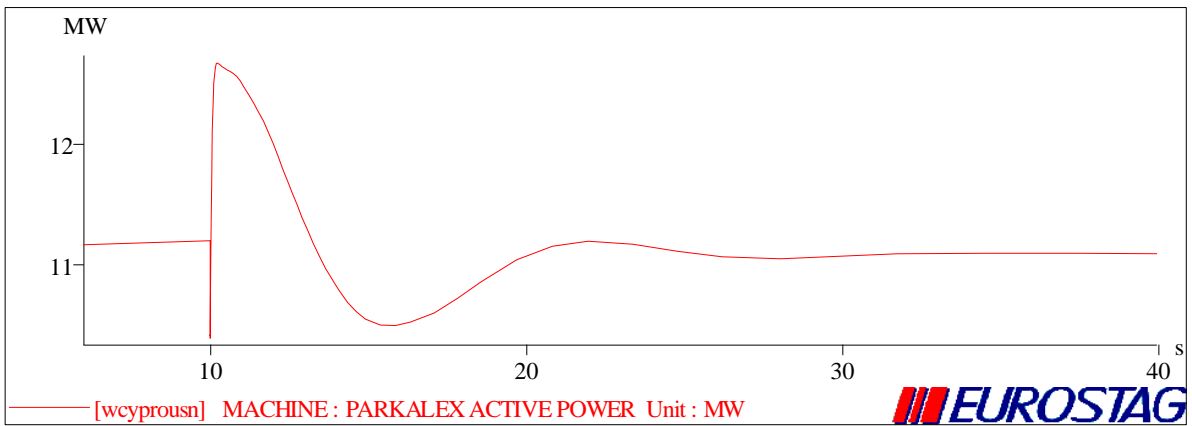
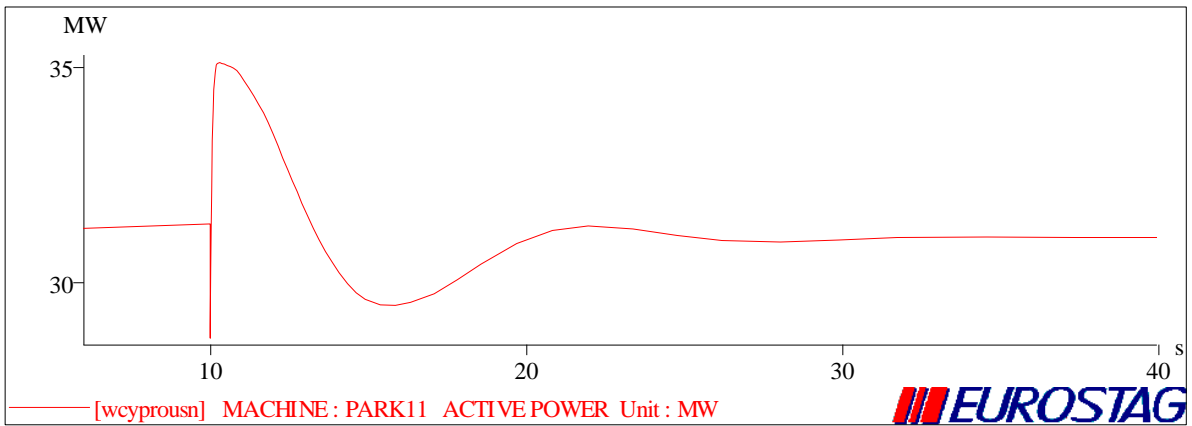
Node name	Uini p.u.	Umin p.u.	Umax p.u.	Ufin p.u.
DHEKEL31	1.025	0.97	1.025	0.998
MONI31	1.031	0.963	1.031	0.992
VASILI31	1.039	0.971	1.039	0.999
PYRGOS31	1.03	0.962	1.03	0.991
ALAMBR31	1.02	0.959	1.02	0.987
ANATOL31	1.002	0.935	1.002	0.963
ATHALA31	1.016	0.957	1.016	0.985
AYPHYL31	1.022	0.955	1.022	0.983
DISOFF31	1.014	0.955	1.014	0.983
DISOFF32	1.012	0.953	1.012	0.981
FIZ31	1.018	0.959	1.018	0.987
INTAIR31	1.018	0.959	1.018	0.987
INTAIR32	1.018	0.959	1.018	0.987
LARNAK31	1.019	0.961	1.019	0.989
MARI31	1.038	0.97	1.038	0.999
MARI32	1.038	0.97	1.038	0.999
OLDPOW31	1.02	0.953	1.02	0.981
POLEMI31	1.019	0.952	1.019	0.98
PROTAR31	1.021	0.966	1.021	0.994
SEMINA31	1.015	0.956	1.015	0.984
SOTERA31	1.021	0.966	1.021	0.994
STROVO31	1.015	0.956	1.015	0.984
YERMAS31	1.021	0.954	1.021	0.982
KOPHIN31	1.038	0.97	1.038	0.998
ATHIE31	1.025	0.97	1.025	0.998
ORITES	1	0.932	1	0.961
PSEVDHAS	1.017	0.957	1.017	0.985
KLAVDHIA	1.015	0.955	1.015	0.983
ALEXIGRO	1.017	0.957	1.017	0.985



Σχήμα 8.37 Μεταβολή της συχνότητας μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.38 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των μονάδων της ΑΗΚ μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού



Σχήμα 8.39 Μεταβολή της ενεργού παραγωγής των πάρκων μετά την απώλεια μιας μονάδας παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού Βασιλικού

8.3. Σχόλια

Παρατηρώντας τις γραφικές παραστάσεις που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 8.2 μπορούν να γίνουν κάποια σχόλια για τις τρεις σημαντικές παραμέτρους ευστάθειας του συστήματος.

1. Η συχνότητα

Η συχνότητα στο ηλεκτρικό σύστημα της Κύπρου, πρέπει να κυμαίνεται κοντά στην τιμή των 50 Hz. Οποιοσδήποτε πτώσεις της συχνότητας κάτω από τα 49 Hz, είναι ικανές να οδηγήσουν το ηλεκτρικό σύστημα της Κύπρου σε αστάθεια. Από τα σενάρια που παρουσιάστηκαν μόνο το σενάριο 6 του έτους 2011 φαίνεται να αντιμετωπίζει πρόβλημα πτώσης της συχνότητας κάτω των 49Hz.

2. Την τάση στους ζυγούς του συστήματος

Για την εξασφάλιση της ευσταθούς λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος της Κύπρου, οι τιμές των τάσεων στους ζυγούς του δικτύου, πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0,9 και 1,1 ανά μονάδα, σε σχέση με την ονομαστική τιμή της τάσης, η οποία χαρακτηρίζει τον κάθε ζυγό αντίστοιχα.

3. Ενεργός και άεργος ισχύς

Από τις γραφικές παραστάσεις παρατηρούμε ότι μετά την διαταραχή η ενεργός παραγωγή των μονάδων της ΑΗΚ αυξάνεται. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι γεννήτριες του συστήματος, προσφέροντας την στρεφόμενη εφεδρεία τους, προσπαθούν να καλύψουν την απώλεια ισχύος λόγω της διαταραχής ώστε να ικανοποιείται η ζήτηση φορτίου. Επιπλέον μόλις συμβεί η διαταραχή (χρονική στιγμή 10s) λόγω πτώσης της τάσης η ενεργός παραγωγή των αιολικών πάρκων δεν μπορεί να διοχευτεί στο σύστημα και μειώνεται (για πολύ μικρό χρονικό διάστημα). Η μείωση της παραγωγής ενεργούς ισχύος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικής ενέργειας της ανεμογεννήτριας (αυξάνει στροφές). Μόλις αποκατασταθεί η τάση, η κινητική ενέργεια μειώνεται και διοχετεύεται στο σύστημα ως ηλεκτρική ισχύ. Για αυτό και έχουμε μια αύξηση της ενεργού παραγωγής ισχύος των ανεμογεννητριών πριν ισορροπήσει στην παραγωγή που είχε πριν την διαταραχή

Στις περιπτώσεις τις οποίες υπάρχει αποκοπή φορτίου η συνολική εφεδρεία που προσφέρουν οι μονάδες της ΑΗΚ είναι μικρότερη από την απώλεια ισχύος. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι ένα ποσοστό φορτίου της τάξης του 10% απορρίπτεται με αποτέλεσμα να χρειάζεται λιγότερο ενεργό ισχύ για την κάλυψη του φορτίου.

Για τα σενάρια του 2015 παρατηρούμε, όπως είναι και λογικό, ότι όσο αυξάνει το ποσοστό της αιολικής διείσδυσης μειώνεται η παραγωγή από της συμβατικές μονάδες. Αυτή η μείωση φαίνεται σε όλους τους ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς. Στα μεγάλα ποσοστά διείσδυσης οι μονάδες της Δεκέλειας και της Μονής κατά κύριο λόγο παράγουν στο κατώτερο δυνατό όριο, ενώ εμφανής είναι και η μείωση της παραγωγής στις μονάδες του Βασιλικού.

Όσον αφορά την άεργο ισχύ μετά την διαταραχή έχουμε αύξηση της, στην περίπτωση της απώλειας της μονάδας του Βασιλικού, ώστε να μπορέσει να αντιμετωπιστεί η απώλεια της παραγόμενης άεργου ισχύος εκ μέρους του Βασιλικού. Στην περίπτωση της ακαριαίας

μείωσης της αιολικής παραγωγής έχουμε μείωση της παραγόμενης άεργου ισχύος διότι δεν υπάρχει πλέον η ζήτηση από τα αιολικά πάρκα.

Όσο αυξάνει η αιολική διείσδυση αυξάνει και η παραγωγή άεργου ισχύος από τις μονάδες της ΑΗΚ διότι τα αιολικά πάρκα απορροφούν μεγάλα ποσά άεργου ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Μοντέλο Προσομοίωσης ANESYS

9.1. Εισαγωγή

Ο στόχος ανάπτυξης του λογισμικού Anesys ήταν να δημιουργηθεί ένα ευέλικτο και καινοτόμο εργαλείο για την ανάπτυξη και την διαστασιοποίηση συστημάτων παροχής ενέργειας που βασίζονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η ευελιξία του Anesys επιτρέπει στους χρήστες να μοντελοποιήσουν πολύπλοκα συστήματα παροχής ενέργειας, χωρίς να απαιτείται πλήρης γνώση της εσωτερικής λειτουργίας τους.

Το Anesys παρέχει ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα ως μονάδες μετατροπής ενέργειας, μπαταρία και αντλία υδραυλικού ταμιευτήρα ως μονάδες αποθήκευσης, ντιζελογεννήτριες και ηλεκτρικό δίκτυο ως δευτερεύουσες μονάδες παροχής ενέργειας καθώς και μονάδες καταναλωτών.

Βρίσκει εφαρμογή στα αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να προσομοιώσουν απομονωμένα ηλεκτρικά συστήματα ή συνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο. Για την σχεδίαση ενός ηλεκτρικού δικτύου το Anesys παρέχει πρότυπα μοντέλα για όλες τις μονάδες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Μαζί με τις μονάδες καταναλωτών και τις συμβατικές μονάδες παροχής ενέργειας όπως ντιζελογεννήτριες και το ηλεκτρικό δίκτυο ο χρήστης είναι σε θέση να δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό δίκτυο συγκεκριμένων απαιτήσεων. Επειδή το Anesys είναι ένα γραφικό εργαλείο κάθε μονάδα μπορεί να τοποθετηθεί στην επιφάνεια εργασίας πολύ απλά (με ένα κλικ του ποντικιού). Η επιφάνεια διαχείρισης της ενέργειας επιτρέπει να προσομοιωθούν πολύπλοκες αντιδράσεις μεταξύ των διαφόρων μονάδων. Για να οριστούν οι διάφοροι παράμετροι, κάθε μονάδα έχει διεπαφή (φόρμα). Οι παράμετροι μπορούν να οριστούν σύντομα σε μια πρόχειρη φόρμα, ή με ένα πιο λεπτομερή τρόπο παρουσίασης των δεδομένων σε χαρακτηριστικές καμπύλες.

Όλες οι μονάδες, εκτός από τους καταναλωτές και το ηλεκτρικό δίκτυο τα οποία αντιλαμβάνονται ως «μαύρα κουτιά», μοντελοποιούνται περιλαμβάνοντας όλα τα απαραίτητα στοιχεία τους. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα για παράδειγμα αποτελούνται από τα ηλιακά κύτταρα και τον αντιστροφέα και σε συνδυασμό με την τοποθεσία (ηλιακή ακτινοβολία) και την γεωμετρική διάταξη ορίζονται πλήρως. Η εισερχόμενη ενέργεια όπως η ηλιακή ή η αιολική μπορούν να μοντελοποιηθούν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης ή να οριστούν σύμφωνα με κάποια πρότυπα μοντέλα που υπάρχουν στην βιβλιοθήκη του λογισμικού. Τα μοντέλα της βιβλιοθήκης έχουν οριστεί έτσι ώστε να προσομοιώνουν όσο το δυνατόν καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες διαφόρων γεωγραφικών τοποθεσιών. Το ψήφισμα του χρόνου ποικίλει μεταξύ μηνιαίας, ημερήσιας και ωριαίας. Για παράδειγμα υπάρχουν πρότυπα μοντέλα που περιλαμβάνουν την ωριαία διανομή της ηλιακής ενέργειας η οποία βασίζεται στο συνολικό ποσό της ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο και ανά έτος ($\text{kWh/m}^2\text{a}$) και στο γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας.

9.2. Παρουσίαση Εφαρμογής

Η εφαρμογή που θα παρουσιαστεί στο λογισμικό Anesys αφορά ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο περιέχει μία γεννήτρια, ένα αιολικό πάρκο και έναν καταναλωτή. Το αιολικό πάρκο μοντελοποιήθηκε έχοντας ως πρότυπο το αιολικό πάρκο «Καμπί» το οποίο είναι συνδεδεμένο στον υποσταθμό «Πύργος» της Κύπρου. Σκοπός της εφαρμογής είναι να μελετηθεί η λειτουργία-συμπεριφορά του πάρκου στην ιδιαίτερη περιοχή του Πύργου.

Το αιολικό πάρκο μοντελοποιήθηκε ώστε να αποτελείται από τρεις ανεμογεννήτριες E-48 (Enercon – Germany), το οποίο μοντέλο υπάρχει ορισμένο στην βιβλιοθήκη του λογισμικού. Επιπλέον ορίστηκαν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής καθώς και η ταχύτητα του ανέμου για ένα έτος ανά ώρα, σύμφωνα με τις συνθήκες ανέμου που επικρατούν στην περιοχή. Τα χαρακτηριστικά της περιοχής καθώς και η καμπύλη ταχύτητας ανέμου παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα.

Station : CYPRUS, PYRGOS

Wind Speed
 Average Wind Speed Constant
 Weibull Distribution

Av. Wind Speed : 6.1 [m/s]
In Height: 30 [m]
Roughness z0 : 0.01 [m]
Prevailing Wind Direction: 260 [°]
With Superiority: 10 [%]

PYRGOS:
Latitude : 34.565 °
Longitude : 33.024 °
Av. Speed : 6.1 m/s
Max. Speed: 14.619 m/s
Min. Speed: 0.444 m/s
Prev. Dir. : 260 °
Height : 30 m
Roughness : 0.01 m

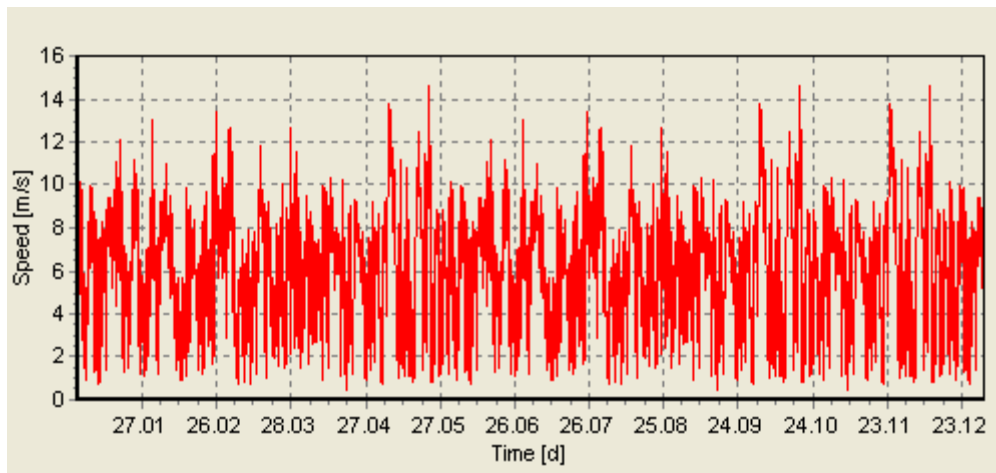
Σχήμα 9.1 Χαρακτηριστικά της περιοχής του Πύργου

WEC Name : Enercon E48 No : 1
of Total : 1

Nom. El. Power : 800 [kW]
Nom. Windspeed: 14 [m/s]
Hub Height: 76 [m]
Generator Eff.: 1 [%]
Nom. cp-Value: 0.015
Number of WEC: 3

Enercon E48
Nom el. Power :800 kW
Nom. Wind Sp. :14 m/s
Hub Height :76 m
Rotor Diameter :48 m
Av. Speed at Hub Height: :6.808

Σχήμα 9.2 Χαρακτηριστικά της Α/Γ E-48



Σχήμα 9.3 Ταχύτητα καμπύλης ανέμου

Η γεννήτρια μοντελοποιήθηκε ως σύγχρονη γεννήτρια ονομαστική ισχύος 10MW (μέγιστη ονομαστική ισχύ που μπορεί να οριστεί από το λογισμικό)

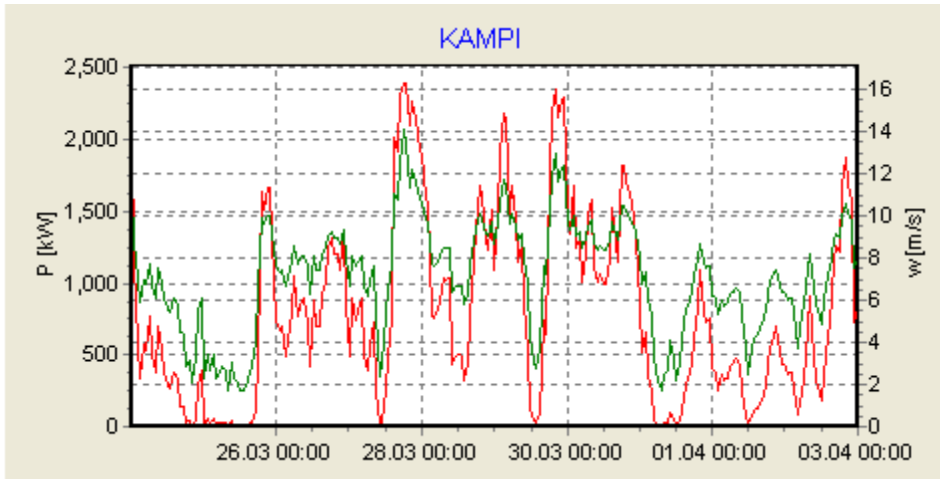
Ο καταναλωτής, έχοντας την ανά μονάδα ωριαία καμπύλη ζήτησης φορτίου της Κύπρου για ένα έτος, μοντελοποιήθηκε έτσι ώστε η αιχμή ζήτησης να ισούται με το 80% του αθροίσματος της ονομαστικής παραγωγής της γεννήτριας και του πάρκου.

9.3. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης

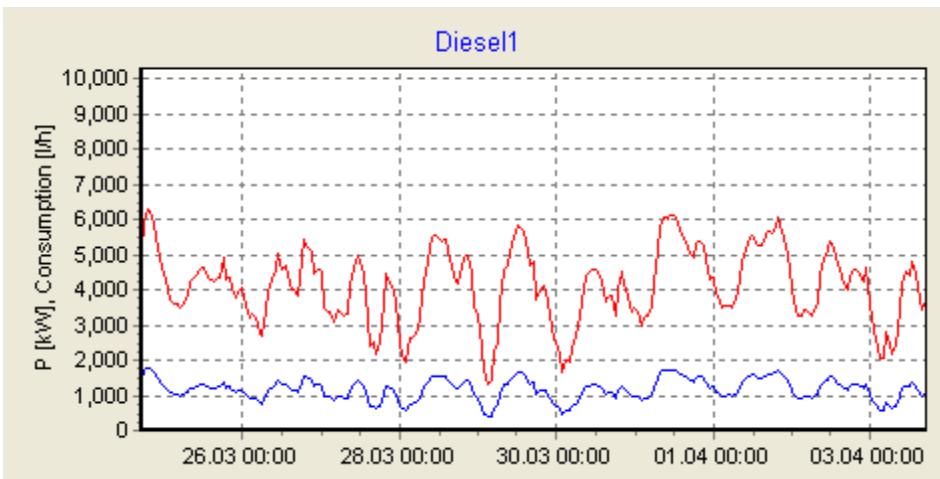
Πραγματοποιώντας την προσομοίωση της εφαρμογής που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο για ένα έτος, προκύπτουν σημαντικές πληροφορίες για τις μονάδες του συστήματος. Για κάθε χρονική στιγμή υπάρχει πλήρης εκμετάλλευση της παραγόμενης ισχύος από το αιολικό πάρκο.

Μέσω της προσομοίωσης προκύπτει η γραφική παράσταση για όλο το έτος της παραγωγής ισχύος από το αιολικό πάρκο και την συμβατική γεννήτρια καθώς και της ζήτησης από τον καταναλωτή. Επίσης, παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της ταχύτητας του ανέμου και της κατανάλωσης καυσίμου από την συμβατική γεννήτρια.

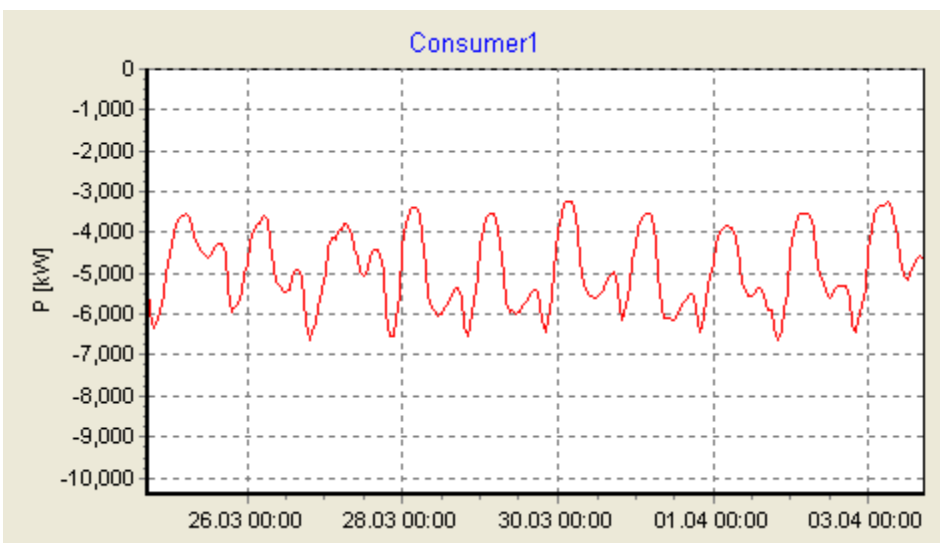
Παρακάτω παρουσιάζονται οι συγκεκριμένες γραφικές παραστάσεις για μια τυχαία χρονική περίοδο του έτους, όπου στη γραφική παράσταση που αφορά το αιολικό πάρκο οι καμπύλες με το πράσινο και το κόκκινο χρώμα αντιστοιχούν στην ταχύτητα του ανέμου και στην παραγωγή ισχύος από το αιολικό πάρκο αντίστοιχα, ενώ στη γραφική παράσταση που αφορά τη συμβατική γεννήτρια οι καμπύλες με το μπλε και το κόκκινο χρώμα παριστάνουν την κατανάλωση καυσίμου και την παραγωγή ισχύος από την γεννήτρια αντίστοιχα.



Σχήμα 9.4 Γραφική παράσταση ταχύτητας ανέμου και παραγωγής ισχύος από το αιολικό παρκο



Σχήμα 9.5 Γραφική παράσταση παραγωγής ισχύος από την συμβατική γεννήτρια και της κατανάλωσης καυσίμου



Σχήμα 9.6 Γραφική παράσταση ζήτησης φορτίου

Επιπλέον προκύπτουν πίνακες στους οποίους παρουσιάζονται σημαντικές τιμές παραμέτρων.

Πίνακας 9.1 Τιμές παραμέτρων αολικού πάρκου

	P	w [m/s]
Sum	6,452,440.723 kW	#####
Average value	736.58 kW	6.791
Av. value runtime	740.044 kW	6.819
Minimum	0 kW	0.496
Maximum	2,400 kW	16.316
	=====	=====
Runtime Module	8,719 h	
Runtime Simulation	8,760 h	

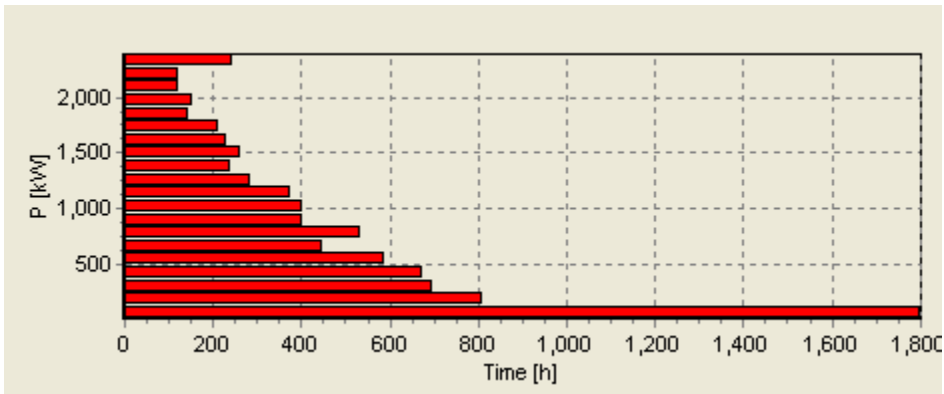
Πίνακας 9.2 Τιμές παραμέτρων συμβατικής γεννήτριας

	P	Consumption
Sum	45,445,825.715 kWh	12,883,295.997 l
Average value	5,187.88 kW	1,470.696 l/h
Av. value runtime	5,187.88 kW	1,470.696 l/h
Minimum	860.924 kW	244.061 l/h
Maximum	9,802.196 kW	2,778.794 l/h
	=====	=====
Runtime Module	8,760 h	
Runtime Simulation	8,760 h	

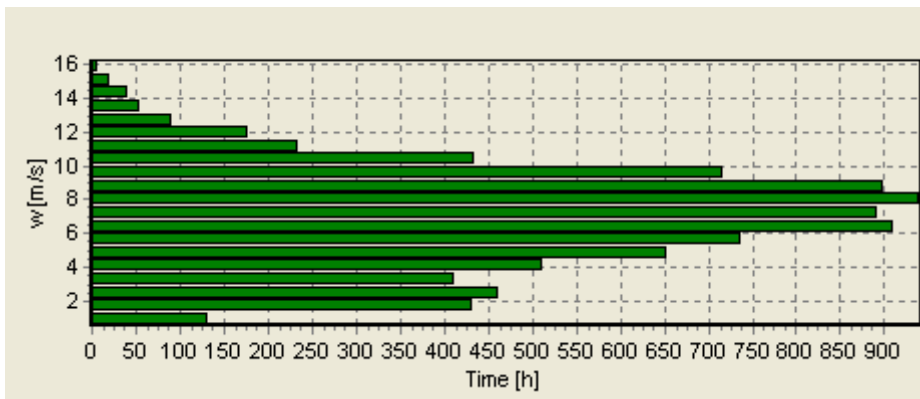
Πίνακας 9.3 Τιμές παραμέτρων καταναλωτή

	P
Sum	-51,898,266.438 kWh
Average value	-5,924.46 kW
Av. value runtime	-5,924.46 kW
Minimum	-2,486.944 kW
Maximum	-9,919.719 kW
	=====
Runtime Module	8,760 h
Runtime Simulation	8,760 h

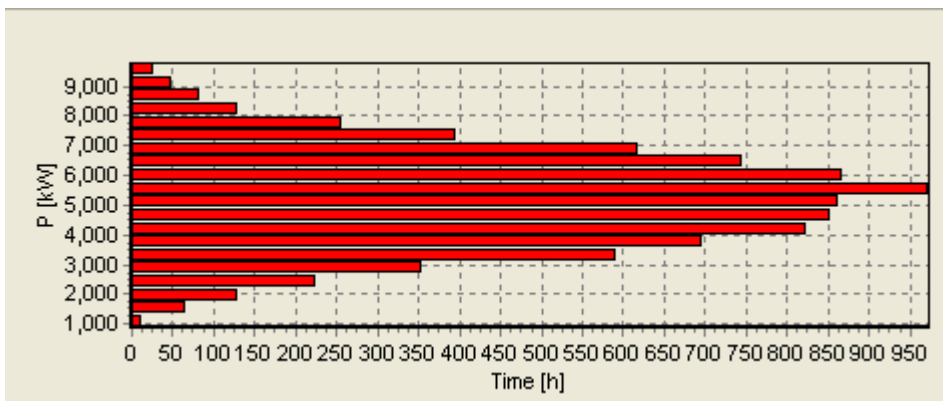
Τέλος, παρουσιάζονται τα ιστογράμματα που προκύπτουν από την προσομοίωση



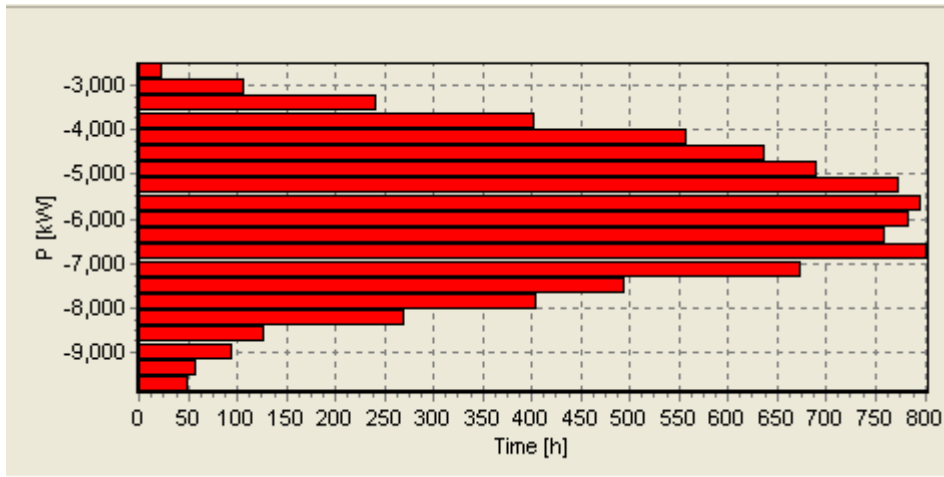
Σχήμα 9.7 Ιστόγραμμα παραγωγής ισχύος από το αιολικό πάρκο



Σχήμα 9.8 Ιστόγραμμα ταχύτητας ανέμου



Σχήμα 9.9 Ιστόγραμμα παραγωγής ισχύος από την συμβατική γεννήτρια



Σχήμα 9.10 Ιστόγραμμα ζήτησης φορτίου από τον καταναλωτή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Συμπεράσματα

10.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναλυθούν τα αποτελέσματα, τα οποία προέκυψαν από την διεξαγωγή των προσομοιώσεων στο σύστημα της ΑΗΚ, για την εξαγωγή συμπερασμάτων, σε σχέση με τη συμπεριφορά του δικτύου για τους διάφορους συνδυασμούς παραγωγής από τις συμβατικές μονάδες και της αιολικής παραγωγής.

Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία και το πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή που έχουν αναπτυχθεί για την επάρκεια τροφοδότησης ισχύος και της λειτουργικής απόδοσης των αυτόνομων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης της λειτουργικής συμπεριφοράς του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας της Κύπρου για διαφορετικά σενάρια παραγόμενης ισχύος από τις μονάδες παραγωγής του σε διαφορετικές καταστάσεις φόρτισης του συστήματος θεωρώντας διαφορετικές στάθμες αιολικής διείσδυσης για τα έτη 2011 και 2015. Οι διαταραχές που εξετάζονται για τη ανάλυση της ευστάθειας συχνότητας του συστήματος είναι η απώλεια της μονάδας παραγωγής που έχει τη μεγαλύτερη τιμή ισχύος εξόδου και η ακαριαία μείωση της παραγόμενης ισχύος από τις λειτουργούσες ανεμογεννήτριες των αιολικών πάρκων. Για τις είκοσι-ένα λειτουργικές καταστάσεις του συστήματος υπολογίζονται η μέγιστη τιμή της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων που μπορεί να μειωθεί ακαριαία και η μέγιστη τιμή της παραγόμενης ισχύος από μία μονάδα παραγωγής θερμικού σταθμού η οποία μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας μετά από τυχαία εξαναγκασμένη βλάβη της χωρίς να προκληθούν προβλήματα αστάθειας συχνότητας. Τέλος, χρησιμοποιώντας μία βελτιωμένη μεθοδολογία για τον υπολογισμό κατάλληλων δεικτών που ποσοτικοποιούν την πιθανότητα εμφάνισης γεγονότων που μπορούν να προκαλέσουν αστάθεια της συχνότητας του συστήματος, ευρέθηκαν και παρατίθενται τα αποτελέσματα που αφορούν την συνολική πιθανότητα εμφάνισης των Καταστάσεων Κινδύνου του συστήματος για τα έτη 2011 και 2015.

10.2. Συμπεράσματα

Αρκετά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από την συνολική θεώρηση των ευρεθέντων αποτελεσμάτων της μελέτης που παρατίθενται στους σχετικούς πίνακες, από τα οποία σπουδαιότερα είναι τα ακόλουθα:

- Η αύξηση της στάθμης αιολικής διείσδυσης αυξάνει την συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των αιολικών πάρκων και μειώνει την αντίστοιχη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των συμβατικών μονάδων παραγωγής. Η μεγαλύτερη αιολική διείσδυση που παρατηρείται είναι 25,46% για το έτος 2015.
- Ο μέσος συντελεστής φόρτισης των αιολικών πάρκων που είναι εγκατεστημένα στο σύστημα είναι 21,62% και 21,57% για τα έτη 2011 και 2015 αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές δείχνουν ότι η απόδοση των αιολικών πάρκων δεν αναμένεται ότι θα είναι ιδιαίτερα σημαντική.
- Οι δείκτες που αφορούν τα γεγονότα στα οποία η εφαρμογή των ορίων της ελάχιστης φόρτισης των μονάδων παραγωγής, για την τροφοδότηση της ζήτησης φορτίου και την κάλυψη της απαιτούμενης στάθμης στρεφόμενης εφεδρείας για την ικανοποίηση του εφαρμοζόμενου Κριτηρίου Αξιοπιστίας 2, προκαλεί μειωμένη απορρόφηση της

παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων έχουν μηδενικές τιμές. Η μη απορροφούμενη ενέργεια των αιολικών πάρκων είναι μηδενική (δείκτης PRTHPR).

- Η αύξηση της στάθμης αιολικής διείδυσης το έτος 2015 σε σχέση με το έτος 2011, αυξάνει την τιμή της ποσότητας στρεφόμενης εφεδρείας που είναι διαθέσιμη (δείκτης SPRESAVT). Οι τιμές είναι 389,77% και 440,22% της ισχύος για τα έτη 2011 και 2015 αντίστοιχα. Η τιμές αυτές καθορίζονται από το Κριτήριο Αξιοπιστίας 2 (60MW) που σημαίνει ότι ισούται περίπου με 233,8MW και 264,13MW. Η αύξηση των απαιτήσεων του Κριτηρίου Αξιοπιστίας 2 αναμένεται να αυξήσει τη μέση τιμή της στρεφόμενης εφεδρείας που πρέπει να είναι διαθέσιμη. Όμως, αυτές οι τιμές ισχύος είναι μεγαλύτερες από τη μέγιστη δυνατή φόρτιση των μονάδων παραγωγής του ηλεκτροπαραγωγού σταθμού του Βασιλικού. Με τον τρόπο αυτό φαίνεται ότι εφαρμόζεται το Κριτήριο Αξιοπιστίας 1 (κριτήριο ασφάλειας N-1).
- Οι δείκτες που αφορούν τα γεγονότα στα οποία η αύξηση της αιολικής ισχύος, σε δύο διαδοχικές ώρες, υψηλότερα από το όριο αντίστροφης στρεφόμενης εφεδρείας του Κριτηρίου 4 προκαλεί μειωμένη απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων έχουν πολύ μικρές τιμές. Η μη απορροφούμενη ενέργεια των αιολικών πάρκων είναι αμελητέα (οι τιμές του δείκτη PRWPCR4 είναι 0,034% και 0,11% για τα έτη 2011 και 2015 αντίστοιχα). Οι υπολογιζόμενοι δείκτες δείχνουν ότι, για τα δύο έτη, τέτοια γεγονότα αναμένεται να συμβούν 12 και 54 ώρες του έτους, που σημαίνει ότι δεν έχουν πολύ σημαντικές επιπτώσεις αλλά πρέπει να ληφθούν υπόψη.
- Οι δείκτες που αφορούν τα γεγονότα στα οποία το απόθεμα της αντίστροφης στρεφόμενης εφεδρείας, προκαλεί μειωμένη απορρόφηση της παραγόμενης ισχύος των αιολικών πάρκων έχουν σχετικά μικρές τιμές. Η μη απορροφούμενη ενέργεια των αιολικών πάρκων είναι (δείκτης PRSPWPR) είναι 0,9% και 1% αντίστοιχα για τα δύο έτη αντίστοιχα. Οι υπολογιζόμενοι δείκτες δείχνουν ότι, για τα δύο έτη, τέτοια γεγονότα αναμένεται να συμβούν 157 και 270 ώρες του έτους, που σημαίνει ότι δεν έχουν σημαντικές επιπτώσεις αλλά δεν μπορούν να αμεληθούν.
- Η πιθανότητα εμφάνισης των είκοσι-ένα λειτουργικών καταστάσεων για τα έτη 2011 και 2015 είναι σχεδόν ίσες. Όμως, οι πιθανότητες εμφάνισης της Κρίσιμης Κατάστασης, της Κατάστασης Κινδύνου 1 και της Κατάστασης Κινδύνου 2 είναι αρκετά μεγαλύτερες για το έτος 2011. Επομένως, το έτος 2015 με την αύξηση της αιολικής δυναμικότητας παρατηρείται μείωση του κινδύνου.
- Η αύξηση της αιολικής διείδυσης, για το έτος 2015, μειώνει τις τιμές της συνολικής πιθανότητας εμφάνισης των είκοσι-ένα λειτουργικών καταστάσεων του συστήματος. Το ίδιο συμπέρασμα εξάγεται για τις συνολικές πιθανότητες εμφάνισης των Κρίσιμων Καταστάσεων καθώς και των Καταστάσεων Κινδύνου 1 και 2.
- Μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης και για τα δύο έτη παρουσιάζουν οι λειτουργικές καταστάσεις στις οποίες λειτουργούν δύο μονάδες του συνδυασμένου κύκλου.
- Οι αριθμητικές τιμές των πιθανοτήτων εμφάνισης των Καταστάσεων Κινδύνου 1 και 2 και για τα δύο έτη είναι πάρα πολύ μικρές και μπορούν να αμεληθούν. Αυτό σημαίνει πως υπάρχει πολύ μικρή πιθανότητα εμφάνισης κάποιας κατάστασης της μη ασφαλούς λειτουργίας που να οφείλεται σε εξαναγκασμένη βλάβη μονάδας παραγωγής του

ηλεκτροπαραγωγού σταθμού του Βασιλικού ή σε ακαριαία μείωση παραγόμενης ισχύος από τα αιολικά πάρκα.

- Ως αποτέλεσμα των πάρα πολύ μικρών τιμών εμφάνισης των Καταστάσεων Κινδύνου 1 και 2 είναι η πολύ μικρή πιθανότητα εμφάνισης της Κατάστασης Κινδύνου.

Μια σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τα ευρεθέντα αποτελέσματα είναι η θεώρηση ότι η μείωση της ταχύτητας του ανέμου είναι σχεδόν ακαριαία. Αυτή η θεώρηση σημαίνει ότι τα ευρεθέντα αποτελέσματα αποτελούν το ανώτατο όριο των πιθανοτήτων εμφάνισης των Καταστάσεων Κινδύνου του συστήματος. Στην πραγματικότητα., η μείωση της ταχύτητας κύρια οφείλεται σε γεγονότα που έχουν σταδιακή μορφή εμφάνισης και μπορούν αν αντιμετωπιστούν με καλύτερο τρόπο από το σύστημα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς Κύπρου , <http://www.dsm.org.cy> .
2. Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου , CIE , <http://www.cie.org.cy> .
3. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας , <http://www.cres.gr/kape> .
4. Renewable Energy from Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy
5. "Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές " , Μιχ. Π. Παπαδόπουλος , 1997, Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
6. "Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας " , Μιχ. Π. Παπαδόπουλος , 1994 , Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
7. "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας " , Σταύρος Παπαθανασίου , 2008.
8. "Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Έλεγχος Συχνότητας και Τάσης " , Β.Κ. Παπαδιά , Κ. Βουρνά , 1991, Εκδόσεις Συμμετρία .
9. "Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας - Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας", Β.Κ. Παπαδιά , 1985, Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
10. "Αξιοπιστία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας", Ε.Ν. Διαλυνάς, Αθήνα, 1996.
11. "Ανάλυση Αξιοπιστίας Τεχνολογικών Συστημάτων", Ε.Ν. Διαλυνάς Εκδόσεις Συμμετών, Αθήνα, 1998.
12. "Cyprus energy system and the use of renewable energy sources", C. Koroneos, P. Fokaidis, N. Moussiopoulos.
13. " Εκτίμηση της Μέγιστης Επιτρεπόμενης Ισχύος από Ανεμογεννήτριες για την Ασφαλή και Αξιοπίστη Λειτουργία του Αυτόνομου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Κύπρου " Ε. Διαλυνάς, Ν. Χατζηαργυρίου, Αθήνα 2006
14. " Eurostag 4.2 , Package , User's Guide " , Electricite de France and Tractebel .