



**TECHNOLOGICAL
EDUCATIONAL
INSTITUTE
WESTERN GREECE**



ΜΕΡΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

**Συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.)
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΓΙΑ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗΣ
ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗΣ**



ΜΑΜΑΣΟΥΛΑ ΘΕΩΝΗ – ΧΡΙΣΤΙΝΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Σχοινάς
Πάτρα, 2018

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε στο πλαίσιο των μεταπτυχιακών σπουδών μου στο τμήμα μηχανολόγων μηχανικών του Τ.Ε.Ι δυτικής Ελλάδας, γίνεται μια μελέτη πού άφορα την διαδικασία σύνδεσης και τον έλεγχο μίας σύγχρονης ανεμογεννήτριας με το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Πιο συγκεκριμένα θα γίνει μελέτη των ηλεκτρολογικών μελών της ανεμογεννήτριας και στον τρόπο που μπορούμε να επιτύχουμε την βέλτιστη σύνδεση της με το δίκτυο με την μέγιστη δυνατή απόδοση.

Στο πρώτο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά σε όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τις οποίες έχω διδαχτεί στα δύο χρόνια του μεταπτυχιακού αυτού προγράμματος.

Στο δεύτερο κεφαλαίο θα ασχοληθούμε με την αιολική ενέργεια και την κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα αλλά και στην Ευρώπη όσο αφορά την χρήση της αιολικής ενέργειας.

Στο τρίτο κεφαλαίο θα μιλήσουμε για την ανεμογεννήτρια, θα αναφερθούμε στην κατηγοριοποίηση της και στα μέρη από τα οποία αποτελείται, μηχανικά και ηλεκτρολογικά.

Στο τέταρτο κεφαλαίο θα αναλύσουμε την σύγχρονη ηλεκτρογεννήτρια, τα είδη γεννητριών και θα εξηγηθεί η λειτουργία της σύγχρονης γεννήτριας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση του ηλεκτρολογικού μέρους της ανεμογεννήτριας, οι τρόποι με τους οποίους λειτουργεί και θα περιγράψει και το σύστημα έλεγχου της.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της εξομοίωσης που έγιναν στο Mat lab και θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα με βάση τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Abstract

In this diploma thesis, which was elaborated in my postgraduate studies in the Mechanical Engineering Department of TEI of Western Greece, I have done a research about concerning the connection process and the control of a modern wind turbine with the power grid. In particular, is about the electrical components of the wind turbine and how we can achieve optimal network connection with maximum efficiency.

In the first chapter I will refer to all the renewable energy sources I have learned in the two years of this postgraduate program.

In the second chapter we will deal with wind energy and the current situation in Greece as well as in Europe regarding the use of wind energy.

In the third chapter we will learn all about the wind turbine, we will refer to its categorization and the parts it consists of, mechanical and electrical.

In the fourth chapter we will analyze the modern generator, the types of generators and explain the operation of the modern generator.

In the fifth chapter we will analyze the electrical part of the wind turbine, the ways in which it operates and will describe its control system. In the sixth and final chapter we will present the results of the assimilation carried out at MatLab and the conclusions will be presented based on the results of the simulation.

Ευχαριστίες

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2016 – 2017 , στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του ΤΕΙ Πατρών . Πολλοί παράγοντες συντέλεσαν καθοριστικά , ώστε η εργασία αυτή να ολοκληρωθεί με επιτυχία και να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Θα ήθελα επομένως να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε αυτά τα άτομα που με βοήθησαν και με ενέπνευσαν να φέρω εις πέρας το έργο αυτό.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Σχοινά Νικόλαο για την πολυτιμότερη βοήθεια – καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας . Καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και για την καλή συνεργασία που αναπτύχθηκε σε ένα ευχάριστο και φιλικό περιβάλλον .

Επιπλέον ευχαριστώ πολύ τους γονείς μου Κωνσταντίνο και Τζένη , τα αδέρφια μου Νίνα και Στεφανία για την έμπρακτη συναισθηματική και υλική υποστήριξη , το ενδιαφέρον και την συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια . Επίσης τους ευχαριστώ για όλα τα κίνητρα και τις πολύτιμες τεχνικές γνώσεις και συμβουλές που μου έδωσαν .

Τέλος να ευχαριστήσω όλους τους φίλους και συμφοιτητές μου που αναπτύξαμε άριστο συνεργατικό και φιλικό κλίμα για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Ευχαριστίες.....	5
Κεφάλαιο 1 – ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	10
1.1 Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά συστήματα.....	10
1.2 Βιομάζα	12
1.3 Κυψέλες καυσίμου και υδρογόνο.....	14
1.4 Αιολική ενέργεια.....	1
Κεφάλαιο 2- ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ..	17
2.1 Ιστορική αναδρομή της αιολικής ενέργειας.....	17
2.2 Χάρτης αιολικού δυναμικού για την Ελλάδα.....	19
2.3 Η κατάσταση στην Ευρώπη σήμερα.....	22
2.4 Το πρώτο αιολικό πάρκο στην Ελλάδα και η κατάσταση σήμερα.....	23
2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας.....	25
Κεφάλαιο 3 – ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.....	27
3.1 Ορισμός.....	27
3.2 Τρόποι λειτουργίας.....	27
--3.2.1 Συνδεδεμένες στο δίκτυο.....	28
--3.2.2 Ανεξάρτητες από το δίκτυο.....	28
3.3 Κατηγοριοποίηση.....	29
--3.3.1 Κατακόρυφου άξονα.....	29
--3.3.2 Οριζόντιου άξονα.....	33
---3.3.2.1 Βασικά μέρη της Α/Γ οριζόντιου άξονα.....	35

Κεφάλαιο 4 – Η ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.....	38
4.1 Ορισμός	38
4.2 Είδη γεννητριών.....	38
4.3 Σύγχρονη γεννήτρια.....	39
–4.3.1 Δομή σύγχρονων γεννητριών.....	40
--4.3.2 Ταχύτητα περιστροφής σύγχρονων γεννητριών.....	42
–4.3.3 Ισχύς και ροπή στην έξοδο των σύγχρονων γεννητριών.....	42
--4.3.4 Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας.....	44
Κεφάλαιο 5– ΑΝΑΛΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ ΤΗΣ Α/Γ.....	46
5.1 Τρόποι ελέγχου της Α/Γ.....	46
5.2 Η μηχανική ισχύς εξόδου της Α/Γ.....	47
5.3 Περιγραφή συστήματος ελέγχου της Α/Γ.....	51
–5.3.1 Σύστημα ελέγχου του ανορθωτή.....	52
–5.3.2 Σύστημα ελέγχου του inverter.....	54
Κεφάλαιο 6 – ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ Α/Γ.....	56
6.1 Προσομοίωση για ταχύτητα ανέμου από 15m/sec σε 8 m/sec	56
6.2 Προσομοίωση σε ταχύτητα ανέμου 7 έως 18 m/sec.....	59
6.3 Προσομοίωση για σταθερή ταχύτητα ανέμου 15m/sec	61
6.4 Προσομοίωση σε σταθερή ταχύτητα άνεμου 3m/sec.....	63
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	66

Η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας αυξάνεται διαρκώς. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του *Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας* οι ανάγκες του πλανήτη θα αυξηθούν κατά 35-40% μέσα στα επόμενα 15 χρόνια, κυρίως εξαιτίας της σημαντικής αύξησης του πληθυσμού της γης, της αύξησης των οικονομικών και αναπτυξιακών δραστηριοτήτων σε όλο τον πλανήτη και της σημαντικής βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου και όσων αυτή συνεπάγεται.

Τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων του πλανήτη (άνθρακας και πετρέλαιο) δεν είναι ανανεώσιμα και σε προβλέψιμο χρονικό διάστημα θα εξαντληθούν. Επιπλέον η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων προκάλεσε και συνεχίζει να προκαλεί σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου και της όξινης βροχής, καθώς και σημαντικές κλιματολογικές αλλαγές, που αποτελούν μεγάλες απειλές για το μέλλον της ανθρωπότητας.

Από μετρήσεις που γίνονται προκύπτει ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα αυξάνουν σταθερά χρόνο με το χρόνο, με τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής να έχει τη μεγαλύτερη άμεση συμμετοχή στις εκπομπές αυτές. Είναι, λοιπόν, επιτακτική η ανάγκη να ελαττώσουμε την εξάρτησή μας από τις συμβατικές μορφές ενέργειας αντικαθιστώντας τις με άλλες, ανανεώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον. Μελέτες δείχνουν ότι το συνολικό δυναμικό των *Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας* (ΑΠΕ) είναι τουλάχιστον 20 φορές μεγαλύτερο από αυτό που χρησιμοποιείται σήμερα.

Η *ηλιακή ενέργεια*, η *αιολική ενέργεια*, η *γεωθερμία*, η *υδροηλεκτρική ενέργεια*, η *βιομάζα* ή ακόμη και τα *αστικά απορρίμματα* αποτελούν μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η εκμετάλλευση των οποίων επιφέρει, πέρα από οικονομικά οφέλη, θετικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις για μια βιώσιμη ανάπτυξη με οικολογική προοπτική και ανθρώπινο πρόσωπο.

Πιο συγκεκριμένα όσο αφορά την αιολική ενέργεια, τα πλεονεκτήματα από την χρήση της είναι πολλά και ποικίλουν ανάλογα με τον τρόπο που τα αντιλαμβανόμαστε. Δηλαδή, τόσο από οικολογικής πλευράς όπου είναι αποδεδειγμένα μια πηγή ενέργειας "καθαρή" και ανανεώσιμη 100%, όσο και από την σκοπιά του μηχανικού όπου πρόκειται ότι για μια ανανεώσιμη πηγή όπου με την σωστή διαχείριση της μπορεί να γίνει μια πηγή τροφοδοσίας όπου θα λειτουργεί αποδοτικά και χωρίς αστάθειες.

Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος θα πρέπει να έχουμε την απαραίτητη γνώση του τρόπου λειτουργίας τόσο των μηχανολογικών όσο και ηλεκτρολογικών μερών της Α/Γ και αυτό το κομμάτι θα προσπαθήσω να καλύψω στην παρούσα διπλωματική.

Η σωστή τεχνογνωσία είναι σίγουρο ότι θα μας δώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα τόσο σε βραχυπρόθεσμο χρόνο, δηλαδή να κάνουμε το σύστημα όσο το δυνατόν πιο αποδοτικό όσο και σε μακροπρόθεσμο που αυτό έχει να κάνει με

την οποία εξέλιξη μπορούμε να έχουμε στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα αιολικά συστήματα.

Κεφαλαίο 1: Ανεξάρτητες πηγές ενέργειας

1.1 Ηλιακή ενέργεια και Φωτοβολταικά συστήματα

Ο Ήλιος αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση για την ύπαρξη κάθε είδους ζωής στον πλανήτη. Σχεδόν κάθε φυσική λειτουργία πάνω στη Γη είναι άμεσα εξαρτώμενη από την ύπαρξή του. Οι εποχιακές αλλαγές, οι εναλλαγές μέρας και νύχτας, η ανάπτυξη κάθε είδους χλωρίδας και συνεπώς η ύπαρξη της διατροφικής αλυσίδας που συντηρεί και την πανίδα του πλανήτη μας είναι όλα αποτελέσματα της δράσης του Ηλίου. Η ηλιακή ενέργεια σήμερα είναι 90% φθηνότερη από ότι τη δεκαετία του 1970. Στα σπίτια που διαθέτουν ηλιακή οροφή μπορεί να παράγεται περισσότερη ενέργεια από όση χρειάζονται ορισμένες ώρες της ημέρας, η οποία δυνητικά θα μπορούσε να μεταπωλείται σε κάποια εταιρεία ηλεκτρισμού. Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος τα τελευταία χρόνια. Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη.

Η ηλιακή ακτινοβολία σαν πρώτη ύλη δεν μπορεί να ελέγχει και αποτελεί ένα ανεξάντλητο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Υπάρχουν τρεις τρόποι για να αξιοποιηθεί κανείς την ηλιακή ενέργεια, οι οποίοι είναι οι εξής: Αρχικά, αξιοποιώντας τη ζεστασιά του ήλιου για τη θέρμανση τη ψύξη και το ζεστό νερό με τα υποθερμικά συστήματα (ενεργητικά ηλιακά συστήματα). Έπειτα, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τέλος, κατασκευάζοντας βιοκλιματικά κτήρια (παθητικά ηλιακά συστήματα).

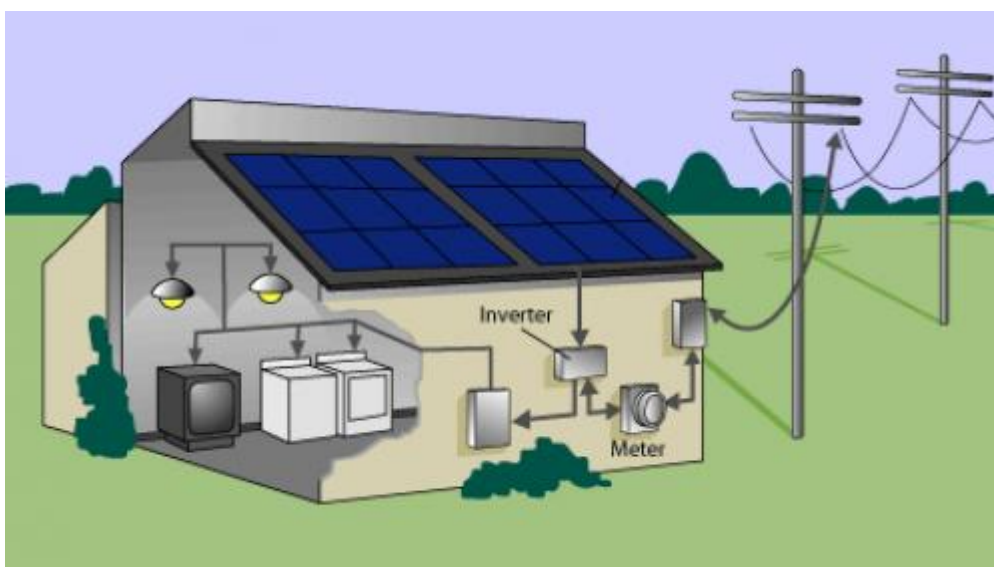
Για την αποτελεσματική αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και την μετατροπή της σε ηλεκτρική απαιτείται η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Με τον όρο φωτοβολταϊκό εννοούμε την βιομηχανική διάταξη πολλών φωτοβολταϊκών κυττάρων σε σειρά. Πρόκειται δηλαδή για τεχνικούς ημιαγωγούς (συνήθως από πυρίτιο αλλά πλέον και από άλλα υλικά), που ενώνονται με σκοπό την δημιουργία ηλεκτρικού κυκλώματος. Οι ημιαγωγοί αυτοί απορροφούν φωτόνια από την ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν μια ηλεκτρική τάση. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως "Φωτοβολταϊκό φαινόμενο".

Στην πράξη τα φ/β συστήματα μπορούν είτε να σταθούν μονά τους σε ένα απομακρυσμένο από το δίκτυο σύστημα είτε να χρησιμοποιηθούν για την συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα.

Στην πρώτη περίπτωση αν είναι η μόνη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για ένα απομακρυσμένο σύστημα τότε θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι θα είναι επιτακτική και η χρήση συσσωρευτών για την αποθήκευση και έμμεση εκμετάλλευση της παραγόμενης ενέργειας. Φυσικά σε αυτή την περίπτωση θα έχουμε αυξημένο κόστος λόγω των συσσωρευτών .

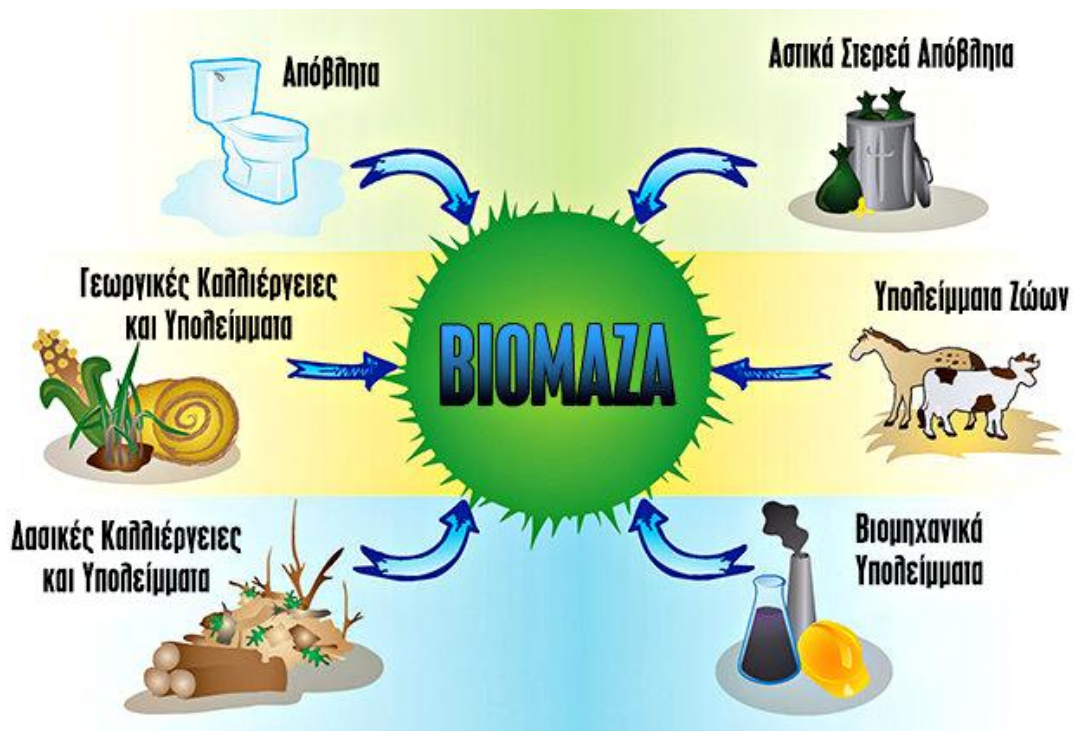
Στην περίπτωση που το σύστημα θα είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο τα πράγματα απλοποιούνται υπό την έννοια ότι θα υπάρχει η δυνατότητα όταν υπάρχει επιπλέον ζήτηση ενέργειας να εκμεταλλευόμαστε την ενέργεια του δικτύου και όταν υπάρχει περίσσια ενέργεια από το φ/β σύστημα αυτή να πωλείτε στο δίκτυο.



Εικόνα 1.1 Φ/Β σύστημα σε οικία

1.2 Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα εννοούμε κάθε οργανική ύλη που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας και ανήκει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γιατί τα φυτά, μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, δομούνται μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε αποθηκευμένη χημική, η οποία αποδίδεται π.χ. κατά την καύση τους. Επίσης, τα φυτά αποτελούν τροφή για τα ζώα, οπότε η ενέργεια μεταφέρεται σε αυτά, άρα και στη βιομάζα που παράγεται από αυτά.



Εικόνα 1.2 Πρώτες ύλες για την παραγωγή βιομάζας

Ο όρος βιομάζα περιλαμβάνει όλα τα προϊόντα, υπολείμματα και απόβλητα φυτικής και ζωικής προέλευσης, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμη ύλη για την παραγωγή ενέργειας. Αυτά μπορεί να προέρχονται από γεωργικά και δασικά υπολείμματα (κλαδέματα, άχυρα, πριονίδια, κουκούτσια κ.ά.), τα ζωικά απόβλητα και υπολείμματα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.), τα ενεργειακά φυτά, τα αστικά υγρά απόβλητα και στερεά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων και της αγροτικής βιομηχανίας.

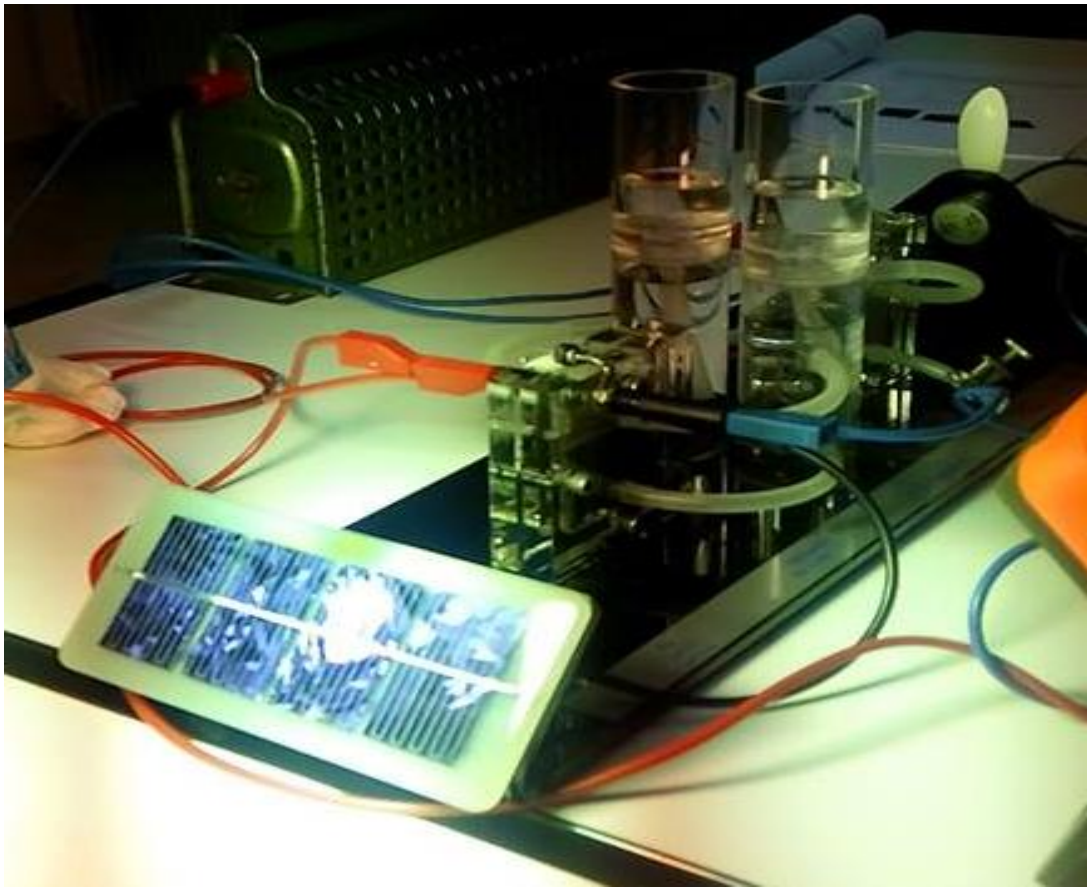
Η βιομάζα αποτελείται από ενώσεις που έχουν ως βασικά στοιχεία κυρίως τον άνθρακα, το υδρογόνο και το οξυγόνο, οι οποίες παράγονται από διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό (H_2O) με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας που απορροφούν, η οποία μετατρέπεται με τον τρόπο αυτό σε χημική ενέργεια. Οι ζωικοί οργανισμοί με την τροφή τους απορροφούν και αποθηκεύουν ένα μέρος της

ενέργειας αυτής. Η ενέργεια που περιέχεται στη φυτική και ζωική βιομάζα αποδίδεται, τελικά, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της, π.χ. ως καύσιμη ύλη. Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με επιπλέον CO₂, καθώς αυτό ανακυκλώνεται.

Η ενέργεια που προέρχεται από τη βιομάζα βασίζεται στην Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας. Τα φυτά στη διάρκεια της ζωής τους, μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, δεσμεύουν ηλιακή ενέργεια την οποία αποθηκεύουν με τη μορφή χημικής ενέργειας. Η ενέργεια αυτή μπορεί να αντληθεί από τον άνθρωπο με τεχνολογικές μεθόδους φιλικές προς το περιβάλλον, οι οποίες συγχρόνως μειώνουν τον όγκο των αποβλήτων που παράγονται.

Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (παραγωγή διαφόρων μορφών ενέργειας) είτε με απ' ευθείας καύση της είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά και στερεά βιοκαύσιμα, μέσω θερμοχημικών διεργασιών (καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση) ή βιοχημικών διεργασιών (αλκοολική ζύμωση, αναερόβια ή αερόβια χώνευση). Η κατάλληλη διεργασία για βέλτιστη ενεργειακή απόδοση επιλέγεται κυρίως ανάλογα με το είδος της διαθέσιμης πρώτης ύλης.

1.2 Κυψέλες καύσιμου και υδρογόνο



Εικόνα 1.3 Μικρό παράδειγμα παραγωγικής διαδικασίας υδρογόνου

Το υδρογόνο (H_2) υπάρχει σχεδόν παντού στη φύση αλλά δυστυχώς είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί μόνο του, αντί αυτού συνδέεται με το οξυγόνο στο νερό και με τον άνθρακα σε υδρογονάνθρακες. Η ποσότητα του υδρογόνου που υφίσταται δεσμευμένο στο νερό και σε διαφορές οργανικές ενώσεις αποτελεί περισσότερο από το 70% της γήινης επιφάνειας. Το υδρογόνο ως χημικό στοιχείο αποτελεί μια πολύ χρήσιμη πρώτη ύλη για διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο με επάρκεια τέτοια ώστε να μπορεί να τροφοδοτηθεί με αυτό σύνολο των δραστηριοτήτων μια κοινωνίας.

Με τις δεκαετίες έχουν αναπτυχτεί διάφορες τεχνολογίες για την παραγωγή του υδρογόνου που περιλαμβάνουν την αεριοποίηση του άνθρακα, την αναμόρφωση του φυσικού αερίου, την αεριοποίηση της βιομάζας, τις πυρηνικές διεργασίες, ηλεκτρόλυση με την χρήση της αιολικής ενέργειας

Η πιο κοινή και διαδεδομένη τεχνολογία παραγωγής υδρογόνου είναι αυτή της ηλεκτρόλυσης, πρόκειται για μια ηλεκτροχημική διεργασία η οποία περιλαμβάνει τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τον διαχωρισμό της πρώτης ύλης π.χ νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο.

Η πιο διαδεδομένη και άμεση χρήση του υδρογόνου γίνεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κυψέλες καυσίμου είναι το σύστημα το οποίο μετατρέπει το υδρογόνο και το οξυγόνο σε νερό παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα.

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να ταξινομηθούν βάση του τύπου του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν. Σε γενικές γραμμές υπάρχουν δύο ηλεκτρόδια τα οποία διαχωρίζει μια μεμβράνη η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Μεταξύ της μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη.

Το υδρογόνο τροφοδοτεί το αρνητικό ηλεκτρόδιο(άνοδος), το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την κάθοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό.

Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (στην ουσία αναφερόμαστε σε μεμονωμένα πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο, το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, και παράγεται νερό.

Οι κυψέλες καυσίμου διαφοροποιούνται ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούν στην κάθοδο και την άνοδο τους, την θερμοκρασία λειτουργίας τους, τον ηλεκτρολύτη και τέλος το καύσιμο που χρησιμοποιούν.

Ονομαστικά αναφέρονται οι εξής κυψέλες καυσίμου:

- PAFC – Φωσφορικό οξύ
- MCFC – Τηγμένα ανθρακικά άλατα
- SOFC – Σταθεροποιημένα οξειδία
- PEMFC – Μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων
- AFC – Αλκάλια

Τύποι Κυψελών Καυσίμου					
Ηλεκτρολύτης	Μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC)	Αλκάλια (AFC)	Φωσφορικό Οξύ (PAFC)	Τηγμένα ανθρακικά άλατα (MCFC)	Σταθεροποιημένα οξειδία (SOFC)
Θερμοκρασία Λειτουργίας	80 °C	60-150 °C	Περίπου 200 °C	650 °C	800-1000 °C
Ηλεκτρικός φορέας	Ιόν υδρογόνου	Ιόν υδρογόνου	Ιόν υδρογόνου	Ανθρακικό ιόν	Ιόν οξυγόνου
Καταλύτης	Πλατίνα	Πλατίνα	Πλατίνα	Νικέλιο	Τιτανικό Ασβέστιο
Απόδοση (%)	40-50	70	40-60	>60	>60
Κυριότερες εφαρμογές	Μεταφορές, ηλεκτροπαραγωγή, φορητές ηλεκτρονικές συσκευές	Διάστημα	Ηλεκτροπαραγωγή και συμπαραγωγή σε κτηριακές εγκαταστάσεις	Κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, συμπαραγωγής	Κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, συμπαραγωγής

Πινάκας 1.3.1 Διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου(1)

1.4 Αιολική ενέργεια

Η εκμετάλλευση του ανέμου από τον άνθρωπο ξεκίνησε πριν από εκατοντάδες χρόνια. Οι πρώτοι ανεμόμυλοι όμως έκαναν την εμφάνισή τους γύρω στο 10° αιώνα. Από το 1940 άρχισαν οι πρώτες προσπάθειες για τη χρησιμοποίηση του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η ανάπτυξη των ανεμογεννητριών συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, με την πρώτη πετρελαϊκή κρίση, δόθηκε μεγάλη σημασία στην αιολική ενέργεια και έτσι κατέστη σταδιακά δυνατή η ανάπτυξη ενός αξιόπιστου και συνεπούς συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση διαφορετικών ενεργειακών τεχνολογιών, που λειτουργούσε αρχικά ως στήριγμα. Στη συνέχεια με τη βοήθεια της έρευνας και της τεχνολογίας φτάσαμε από τις ανεμογεννήτριες των 50KW του 1980, στις ανεμογεννήτριες με μετατροπείς ισχύος 500 έως 1000KW δέκα χρόνια αργότερα. Λόγω της συνεχούς βελτίωσης των υλικών, της σχεδίασης και κατασκευής αλλά και του ηλεκτρονικού ελέγχου, αιολικά πάρκα μεγάλων ανεμογεννητριών μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με αρκετά χαμηλό κόστος. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα αναλυθεί περεταίρω τόσο η αιολική ενέργεια ως πηγή ενέργειας όσο και η παραγωγική διαδικασία.

Κεφάλαιο 2: Αιολική ενέργεια και η κατάσταση στην Ελλάδα σήμερα

2.1 Ιστορική αναδρομή της αιολικής ενέργειας

Για πρώτη φορά γίνεται χρήση της αιολικής ενέργειας από τους Αιγύπτιους στην ναυσιπλοΐα περίπου το 3500π.Χ.. Αργότερα τον 7ο με 10ο αιώνα μ.Χ. χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά οι ανεμόμυλοι στο σημερινό Ιράκ και Αφγανιστάν. Οι ανεμόμυλοι αυτοί που ήταν κατακόρυφου άξονα χρησίμευαν για την άντληση νερού και την άλεση σιτηρών.

Ο πρώτος ανεμόμυλος ήρθε στην Ευρώπη από την Μέση Ανατολή με την διαφορά ότι ήταν οριζόντιου άξονα και είχε μια κλίση στα πτερύγια. Η χρήση της αιολικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα, ξεκίνησε από την Αγγλία και την Ολλανδία τον Μεσαίωνα. Οι ανεμόμυλοι εκείνη την εποχή χρησιμοποιούνταν κυρίως για άντληση νερού και για το άλεσμα. Από τον 19ο αιώνα και μετά διαδόθηκε, κυρίως στην Αμερική, ένας νέος τύπος ανεμόμυλου γνωστού ως «western wheel». Αυτός ο τύπος ανεμόμυλου είχε περίπου 20 πτερύγια από ατσάλι και χρησιμοποιούνταν για άρδευση.



Εικόνα 2.1 Τυπικός ανεμόμυλος του 19^{ου} αιώνα

Ο James Blyth στα τέλη του 19ου αιώνα έκανε την πρώτη προσπάθεια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω μιας αιολικής μηχανής, κατασκευάζοντας μια ανεμογεννήτρια συνεχούς ρεύματος 12kW. Το 1922 ο Σουηδός Sigurd Johannes Savonius κατασκευάζει την Savonius η οποία ήταν μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα. Είναι μια από τις πιο απλές ανεμογεννήτριες, αφού αποτελείτε από δυο ημικυκλικά πτερύγια με κενό ανάμεσα τους και η κάτοψή τους έχουν το σχήμα "S".

Το 1931 κατασκευάζεται από τον G.J.M. Darrieus μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα η οποία είχε καμπυλωτά πτερύγια. Οι Smith-Putman το 1941 κατασκεύασαν την μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα σε παραγωγή ρεύματος η οποία ήταν σε θέση να παράγει MW. Από εκεί και πέρα έγιναν κάποιες προσπάθειες για την χρήση της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος αλλά εγκαταλείφθηκαν. Ωστόσο την δεκαετία του 70 και λόγω της απότομης αύξησης της τιμής του πετρελαίου ξαναστράφηκαν στην αιολική ενέργεια και μέσω κάποιων χρηματοδοτήσεων από τις κυβερνήσεις οι ανεμογεννήτριες πήραν ξανά μεγάλη ανάπτυξη, και σιγά σιγά σε πολλές χώρες ξεκίνησε η δημιουργία αιολικών πάρκων.

2.2 Χάρτης αιολικού δυναμικού για την Ελλάδα

Ο καθορισμός της αιολικής ενέργειας γίνεται από την κινητική ενέργεια του ανέμου και την κατάλληλη αξιοποίηση της για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγο των διαφοροποιήσεων στην ατμοσφαιρική πίεση που οφείλεται στην διαφορετική θερμοκρασία της επιφάνειας της γης και της θάλασσας έχουμε την δημιουργία του άνεμου.

Η αιολική ενέργεια είναι έμμεση μορφή της ηλιακής ενέργειας και περίπου 1-2% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μετατρέπεται σε άνεμο. Σε πρώτο στάδιο έχουμε την θέρμανση του αέρα και την ανύψωση του στις τροπικές ζώνες και έπειτα την πορεία του προς τους πόλους. Αύτη η κίνηση της ατμόσφαιρας επηρεάζεται σημαντικά από την περιστροφή της γης, η επίδραση της οποίας είναι μεγαλύτερη στον ισημερινό και μηδενική στους πόλους, από την αναλογία της επιφάνειας της ξηράς προς την αντίστοιχη της θάλασσας, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της ξηράς (πεδιάδες, βουνά) και από τις εποχές του χρόνου. Οι άνεμοι δημιουργούνται και σε τοπική κλίμακα με διάφορους τρόπους, όπως η δημιουργία θαλάσσιας αύρας και τα καθοδικά ρεύματα προς τις κοιλάδες από τα βουνά. Οι ταχύτητες του ανέμου διαφέρουν με το ανάγλυφο μιας περιοχής και ποικίλλουν σημαντικά με την εποχή και την ημέρα.

Ο άνεμος είναι ένα μεταβλητό τόσο στο χρόνο, όσο και στο ύψος του εδάφους μέγεθος, για τέτοιους λόγους λοιπόν η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής χρειάζεται αναλυτικές και χρόνιες μετρήσεις τόσο της διεύθυνσης όσο και της ταχύτητας του ανέμου. Με την αύξηση του ύψους έχουμε φυσικά και αύξηση της ταχύτητας του ανέμου αλλά και μείωση της πυκνότητας αυτού.

Έχουν προταθεί αρκετές προσεγγίσεις, δύο από τις οποίες είναι:

- Λογαριθμική κατανομή, κατά την οποία η ταχύτητα στο ύψος z δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{v(z)}{v(zr)} = \frac{\ln\left(\frac{zr}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}, \text{ όπου}$$

η παράμετρος z_0 σχετίζεται με το ύψος της τραχύτητας του εδάφους ($z_0=0,01$ m για γρασίδι, $z_0=0,5$ m για δασωμένη περιοχή, $z_0=3,0$ m για μια πόλη) και το zr είναι το ύψος αναφοράς, στο οποίο η ταχύτητα του αέρα είναι γνωστή $v(zr)$.

- Εκθετική κατανομή, η οποία εκφράζεται από τη σχέση:

$$V(z) = v(z_r) * \left(\frac{z}{z_r}\right)^{\alpha}, \text{ όπου}$$

$v(z_r)$: η ταχύτητα του ανέμου (ταχύτητα αναφοράς) σε συγκεκριμένο ύψος z_r (ύψος αναφοράς). Το μέγεθος αυτό είναι γνωστό. Η παράμετρος α εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και τη διεύθυνση του ανέμου. Τυπικές τιμές του « α » δίνονται στον παρακάτω Πίνακα.

Κάλυψη εδάφους	α
Λεία επιφάνεια(θάλασσα, άμμος)	0,1
Γρασίδι	0,16
Χαμηλές καλλιέργειες	0,18
Ψηλές καλλιέργειες, θάμνοι	0,20
Ψηλά δέντρα, σπίτια	0,30

Πίνακας 2.2 Τυπικές τιμές α παραμέτρου

Η ενέργεια που περιέχεται στον άνεμο είναι η κινητική του ενέργεια, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$E_k = \frac{1}{2} * m * v^2, \text{ όπου:}$$

m : μαζική παροχή του αέρα σε kg/s και είναι ίση με:

$$m = \rho * A * v, \text{ όπου:}$$

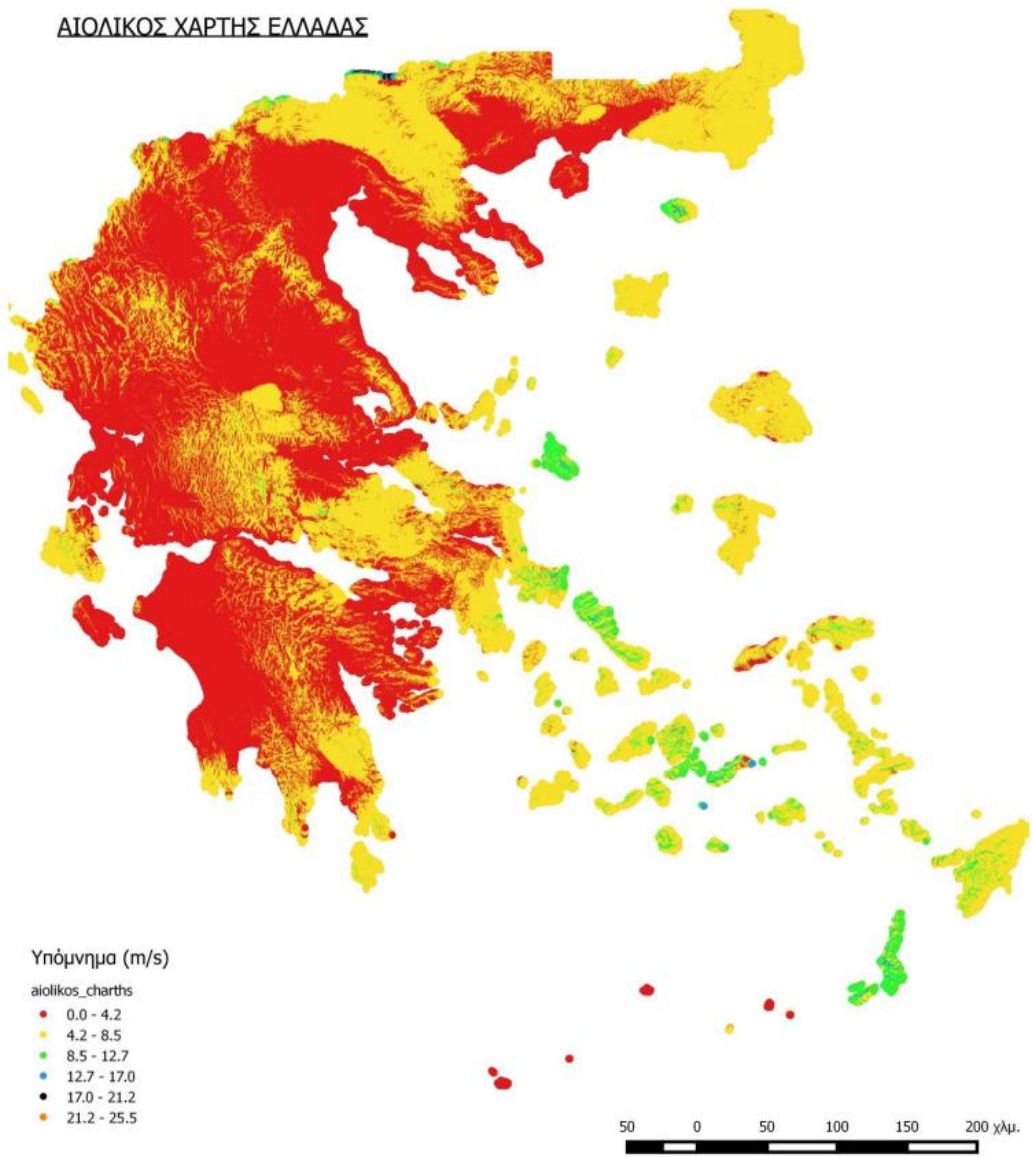
ρ : πυκνότητα του αέρα (kg/m³)

A : η προβαλλόμενη επιφάνεια κάθετα στην διεύθυνση του ανέμου την οποία οι πτέρυγες εγγράφουν σε μία πλήρη περιστροφή τους (m²)

v : ταχύτητα του αέρα (m/s)

Άρα, η ενέργεια του ανέμου εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και πιο συγκεκριμένα εξαρτάται από τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου. Επομένως, η μέση ταχύτητα του ανέμου στις διάφορες περιοχές της χώρας μπορεί να προσδιορίσει το ενεργειακό περιεχόμενο του αέρα. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τη μέση ταχύτητα του ανέμου από γεωπληροφοριακό χάρτη για την Ελλάδα.

ΑΙΟΛΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ



Εικόνα 2.2.1 Αιολικός χάρτης της Ελλάδος

2.3 Η κατάσταση στην Ευρώπη σήμερα

Το 51% όλων των νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας το 2016 στην Ε.Ε. ήταν σταθμοί αιολικής ενέργειας, όπου πρόσθεσαν 12,5 GW στο δίκτυο των 28 κρατών μελών της ΕΕ. 10.923 MW στην ηπειρωτική Ευρώπη και 1.567 MW στη θάλασσα.

Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία, η συνολική ισχύς των σταθμών αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη σήμερα ανέρχεται σε 153,7 GW ενώ η αιολική ενέργεια κάλυψε το 10,4% των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρώπης το περασμένο έτος.

Στην Ελλάδα καταγράφεται σημαντική ανάπτυξη καθώς το 2015 προστέθηκαν αιολικά πάρκα ισχύος 156MW και το 2016 άλλα 239 MW (ένα μέγεθος που αντιστοιχεί περίπου στο 2% των νέων εγκαταστάσεων στην ΕΕ) το αποτέλεσμα είναι ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών στη χώρα να φθάσει στα 2.374MW και αυτό θα αναλυθεί περισσότερο στην επόμενη παράγραφο.

Ποίο συγκεκριμένα η Ελλάδα συγκαταλέγεται στην πρώτη δεκάδα (συγκεκριμένα, στην όγδοη θέση) των χωρών της Ένωσης με κριτήριο την αναλογία της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος αιολικών προς την κατανάλωση ενέργειας.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από αιολικά πάρκα κάλυψε πέρυσι το 7,4% των συνολικών αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια με πρωταθλήτρια στη σχετική κατάταξη τη Δανία όπου το αντίστοιχο ποσοστό ήταν 36,8 %.

Η Γερμανία εγκατέστησε τους περισσότερους σταθμούς αιολικής ενέργειας, 44% του συνόλου της ΕΕ και πέντε κράτη μέλη είχαν ετήσια ρεκόρ: η Γαλλία, η Ολλανδία, η Φινλανδία, η Ιρλανδία και η Λιθουανία. Τέλος, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνολικά αντιπροσώπευσαν το 86% των νέων εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής της ΕΕ το 2016 - 21.1GW από συνολικά 24,5 GW.

2.4 Το πρώτο αιολικό πάρκο στην Ελλάδα και η κατάσταση σήμερα

Τα εγκαίνια του πρώτου αιολικού πάρκου στην Ελλάδα έγιναν το 1982 από τον τότε υπουργό βιομηχανίας Ευάγγελο Κουλουμπή στον νησί της Κύθνου. Την εγκατάσταση αποτελούσαν 5 Α/Γ τύπου MAN των 20 KW η κάθε μια. Το αιολικό πάρκο της Κύθνου αναφέρεται ως το πρώτο αιολικό πάρκο της Ευρώπης και είναι και το πρώτο υβριδικό wind-pv-diesel στον κόσμο.

Η όλη εγκατάσταση ξεκίνησε από την ΔΕΗ. Μετά την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών το πάρκο αυτό επεκτάθηκε και με την εγκατάσταση του πρώτου φωτοβολταϊκού πάρκου, που και αυτή θεωρείται η πρώτη στην Ελλάδα δυναμικότητας 100kW, επιτυγχάνοντας έτσι να δημιουργηθεί στη Κύθνο και ο πρώτος υβριδικός σταθμός ενέργειας (Ντήζελ, αιολική και ηλιακή ενέργεια). Αρχικά ξεκίνησε με στόχο να καλύψει το 25% των αναγκών της νήσου και αργότερα ξεπέρασε το 75%. Σήμερα, 35 χρόνια μετά την εγκατάσταση του έχει παρέλθει ο χρόνος λειτουργίας και καλής απόδοσης του συστήματος και φυσικά βρίσκεται εκτός λειτουργίας.

Η συνολική καθαρή αιολικής ισχύς που εγκαταστάθηκε κατά το 2016 ήταν 238,55 MW. Αυτή είναι η δεύτερη καλύτερη ετήσια επίδοση μετά το ρεκόρ του 2011 οπότε εγκαταστάθηκαν 313MW.

Με βάση την Στατιστική, το σύνολο της αιολικής ισχύος που κατά τα τέλη 2016 βρισκόταν σε εμπορική ή δοκιμαστική λειτουργία είναι: 2374,3 MW αυξημένη κατά 11,2% σε σχέση με πέρυσι.

Η ισχύς αυτή κατανέμεται ως εξής:

- Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά : 321,2 MW
- Στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα: 2053,1 MW

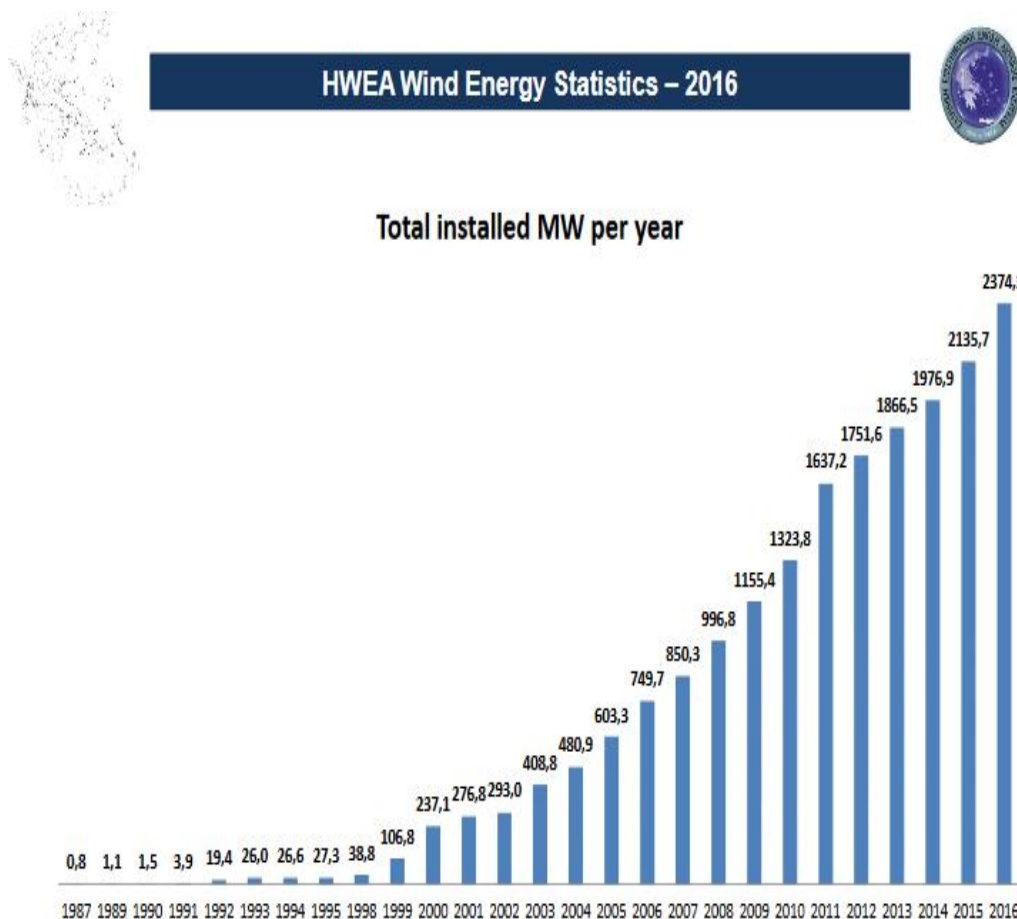
Σε επίπεδο Περιφερειών η Στερεά Ελλάδα παραμένει στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων αφού φιλοξενεί 736,7 MW (31%) και ακολουθεί η Πελοπόννησος με 453,9 MW (19,1%) και η Ανατολική Μακεδονία – Θράκη όπου βρίσκονται 298,65 MW (12,6%).

Όσον αφορά τους επιχειρηματικούς ομίλους, στο Top-5 κατατάσσονται:

- η ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή με 460 MW (19,4%)
- η Iberdrola Rokas με 250,8 MW (10,6%)
- η ΕΛΛ.ΤΕΧ ΑΝΕΜΟΣ (ΕΛΛΑΚΤΩΡ) με 238,6 MW (10,1%)
- η EDF με 238,2 MW (10%) και
- η ENEL Green Power με 200,5 MW (8,5%)

Η εικόνα για τους κατασκευαστές των ανεμογεννητριών είναι η εξής: η Vestas έχει προμηθεύσει το 51,1% της συνολικής αιολικής ισχύος που είναι εγκατεστημένη στην Ελλάδα. Ακολουθούν η Enercon με 22,2%, η Gamesa με 11,6%, η Siemens με 8,3% και η Nordex με 4,8%.

Ειδικά για το 2016, τις νέες ανεμογεννήτριες προμήθευσαν η Vestas κατά 73%, η Gamesa κατά 17,8% και η Enercon κατά 9,2%.



Γράφημα 2.4 Η εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα από το 1987 ως το 2016(2)

2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την χρήση της αιολικής ενέργειας

Πλεονεκτήματα

Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς παρουσιάζει μια πλειάδα πλεονεκτημάτων:

Ο άνεμος αποτελεί μια πηγή ενέργειας η οποία είναι άφθονη δωρεάν και αποκεντρωμένη. Δεν εκλύονται από αυτήν στην ατμόσφαιρα αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και έτσι οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηριστικά η χρήση μιας ανεμογεννήτριας 600KW, σε κανονικές συνθήκες αποτρέπει την ελευθέρωση 1200 τόνων CO₂ ετησίως που θα αποβάλλονταν στο περιβάλλον από την χρήση μιας άλλης συμβατικής πηγής ενέργειας, όπως π.χ. άνθρακας. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα. Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η φθηνότερη μορφή ενέργειας αφού κοστίζει ανάμεσα σε 4 και 6 cents ανά κιλοβατώρα (Η τιμή εξαρτάται από την ύπαρξη ανέμου και από τη χρηματοδότηση ή μη του εκάστοτε προγράμματος).

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να τοποθετηθούν σε αγροκτήματα ή ράντσα, ωφελώντας έτσι την οικονομία των αγροτικών περιοχών, όπου βρίσκονται οι περισσότερες από τις καλύτερες τοποθεσίες από την άποψη του ανέμου. Οι αγροτικές εργασίες μπορούν να συνεχιστούν, καθώς οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν μόνο ένα μικρό κομμάτι γης. Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χώρων, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.

Ο εξοπλισμός όπου αφορά κατασκευή και την συντήρηση είναι απλός και έχει μεγάλο χρόνο ζωής. Η αιολική ενέργεια ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι αρκετά αθόρυβες. Το επίπεδο της έντασης του ήχου σε απόσταση 40 μέτρων από μια ανεμογεννήτρια είναι 50 - 60 db(A), που είναι αντίστοιχο με την ένταση μιας συζήτησης. Δεδομένης δε της απαιτούμενης ελάχιστης απόστασης των ανεμογεννητριών από γειτονικούς οικισμούς το επίπεδο αυτό είναι ακόμη χαμηλότερο, της τάξης των 30 db(A) περίπου, που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου ενός ήσυχου καθιστικού. Η αιολική ενέργεια έχει φέρει έναν αέρα αλλαγής στα ενεργειακά και περιβαλλοντικά δεδομένα, ενώ δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την οικονομική ανάπτυξη περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό και τη διασφάλιση ενός βιώσιμου μέλλοντος.

Μειονεκτήματα

Παρόλα τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, αιολική ενέργεια έχει και κάποια μειονεκτήματα:

Πριν από την δημιουργία οποιασδήποτε εγκατάστασης Α.Π.Ε θα πρέπει να προηγηθεί μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και αυτό για τον λόγο ότι έχει παρατηρηθεί ότι μπορεί οι Α/Γ να προκαλέσουν τραυματισμούς και θανατώσεις αποδημητικών κυρίως πουλιών γιατί τα ενδημικά συνηθίζουν την παρουσία των Α/Γ και μπορούν να τις αποφεύγουν.

Τα αιολικά συστήματα έχουν υψηλό κόστος έρευνας και εγκατάστασης. Απαιτούν πολύ χρόνο για την έρευνα και τη χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού των μεγάλων περιοχών, ώστε να εντοπιστούν τα ευνοϊκά σημεία. Παρουσιάζουν διακυμάνσεις ως προς την απόδοση ισχύος, διακύμανση που οφείλεται στη μεταβαλλόμενη -κατά τη διάρκεια της ημέρας, του μήνα και του έτους- ένταση του ανέμου. Η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί (εκτός αν χρησιμοποιηθούν μπαταρίες που όμως αυξάνουν κατά πολύ το κόστος). Επιπλέον δεν μπορούν όλοι οι άνεμοι να τιθασευτούν ώστε να καλυφτούν, τη στιγμή που προκύπτουν, οι ανάγκες του ηλεκτρισμού.

Σύμφωνα με μελέτες, τα αιολικά πάρκα μπορούν να καλύψουν την ενεργειακή ανάγκη του πλανήτη. Σε μια μελέτη που έγινε τελευταία οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι πρέπει να κατασκευαστεί ένα παγκόσμιο δίκτυο χερσαίων ανεμογεννητριών 2,5MW που να λειτουργούν ελάχιστα, περίπου στο 20%, και να μην βρίσκονται σε δασικές εκτάσεις ή σε παγωμένες περιοχές. Με αυτόν τον τρόπο οι ανεμογεννήτριες θα μπορούσαν να καλύψουν την τωρινή αλλά και τη μελλοντική ενεργειακή ζήτηση παγκοσμίως. Η αιολική ενέργεια έχει τεράστια δύναμη και μπορεί να συμβάλλει θετικά στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Αυτό που απομένει τώρα είναι να βρεθούν τρόποι να ξεπεραστούν τα αρνητικά της αιολικής ενέργειας έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί πιο αποτελεσματικά.

Κεφάλαιο 3: Ανεμογεννήτριες

3.1 Ορισμός της ανεμογεννήτριας

Όπως αναφέραμε και ποίο πάνω η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου από τον άνθρωπο αποτελεί μία πρακτική που εφαρμόζεται από την αρχαιότητα. Σήμερα λοιπόν, για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες (Α/Γ).

Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω των πτερυγίων, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα των πτερυγίων και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Οι Α/Γ χρησιμοποιούνται για την πλήρη κάλυψη ή και τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών. Το παραγόμενο από τις ανεμογεννήτριες ηλεκτρικό ρεύμα είτε καταναλώνεται επιτόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις Α/Γ, όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα. Ο βασικός τρόπος αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας είναι με την χρήση συσσωρευτών και είναι βεβαία ένας τρόπος που συναντάται σε μικρής κλίμακας παραγωγικές διατάξεις.

3.2 Τρόπος λειτουργίας των ανεμογεννητριών

Οι ηλεκτροπαραγωγικές Α/Γ συναντούνται σε δυο ομάδες, αυτές που είναι διασυνδεδεμένες στο δίκτυο και αυτές που λειτουργούν αυτόνομα για την κάλυψη συνηθών μικρών σε κλίμακα παραγωγικών διατάξεων.

3.2.1 Συνδεδεμένες στο δίκτυο

Η πιο διαδεδομένη περίπτωση συνδεδεμένης στο δίκτυο Α/Γ είναι αυτή των αιολικών πάρκων. Σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για συνήθως περισσότερες από μια Α/Γ οι οποίες ανάλογα με τις καιρικές δυνατότητες μπορούν να παράγουν μια ποσότητα ενέργειας και να την διαθέσουν απευθείας στο δίκτυο για την κάλυψη των εκάστοτε αναγκών. Βεβαίως είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι σε καμιά περίπτωση δεν δύναται να εξαρτάται το δίκτυο από μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας(πχ Α/Γ), κάτι τέτοιο είναι αδύνατο να γίνει λόγω της απροβλεψιμότητας του ανέμου.



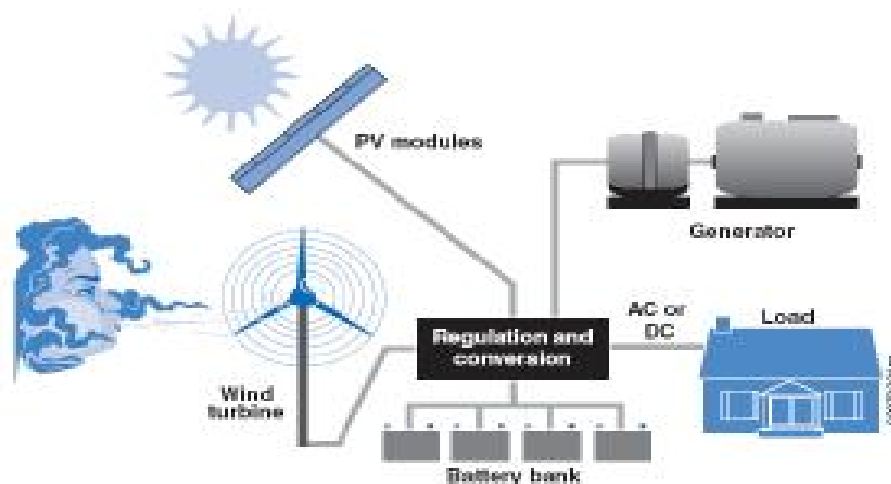
Εικόνα 3.2.1 Αιολικό πάρκο

3.2.2 Ανεξάρτητες από το δίκτυο ανεμογεννήτριες

Οι ανεξάρτητες από το δίκτυο Α/Γ είναι κατά κύριο λόγο εφαρμογές που συναντούνται σε απομακρυσμένες από το δίκτυο περιοχές για την κάλυψη αναγκών μικρής σε ενέργεια απαίτησης όπως μια πχ μια κατοικία συνήθως συναντούνται να συνεργάζονται με μια άλλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας όπως τα φωτοβολταϊκα η μια ντιζελογεννητρια δημιουργώντας ένα υβριδικό σύστημα τροφοδοσίας. Η

ενέργεια που παράγεται είτε καταναλώνεται άμεσα είτε αποθηκεύεται σε συσσωρευτές για μετέπειτα χρήση της.

Η διάμετρος του ρότορα σε αυτές τις μικρές Α/Γ συνήθως δεν υπερβαίνει τα 5 μέτρα και είναι από 400 ως 1000W.



Εικόνα 3.2.2 Υβριδικό σύστημα τροφοδοσίας

3.3 Κατηγοριοποίηση ανεμογεννητριών

Με βάση τον σχεδιασμό τους οι ανεμογεννήτριες κατηγοριοποιούνται σε Α/Γ κατακόρυφου άξονα και Α/Γ οριζοντίου άξονα.

Παρακάτω γίνεται μια σύντομη αναφορά και στους δυο τύπους αλλά με μεγαλύτερη έμφαση σε αυτές του οριζοντίου άξονα οι οποίες έχουν έτσι και αλλιώς επικρατήσει.

3.3.1 Κατακόρυφου άξονα

Οι Α/Γ κατακόρυφου άξονα έχουν τον άξονα του ρότορα τοποθετημένο κατακόρυφα. Πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι, ότι η μηχανή δε χρειάζεται να προσανατολίζεται προς τον άνεμο για να είναι αποτελεσματική. Αυτό ισχύει ιδίως για τοποθεσίες όπου η κατεύθυνση του ανέμου έχει υψηλή μεταβλητότητα. Το κιβώτιο ταχυτήτων και η γεννήτρια μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στο έδαφος, έτσι είναι εύκολα προσβάσιμα και δεν χρειάζεται πυλώνας στήριξης.

Υπάρχουν όμως και σοβαρά μειονεκτήματα όπως ότι η ταχύτητα του ανέμου στο επίπεδο του εδάφους είναι χαμηλή και έτσι δεν έχουν καλή απόδοση επίσης, η ροπή εκκίνησης τους είναι αρκετά χαμηλή με αποτέλεσμα να μην μπορούν να εκκινήσουν μονές τους, στην περίπτωση αυτή πρέπει να πάρουν ενέργεια από το

δίκτυο και να λειτουργήσουν για λίγο χρόνο ως κινητήρες. Για αυτούς τους λόγους χρησιμοποιούνται κυρίως για γεωργικούς σκοπούς και οικιακές εγκαταστάσεις.

Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα περιστροφής έχουν, συνήθως, χαμηλότερη απόδοση σχετικά με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, γι' αυτό δεν είναι και ιδιαίτερα διαδεδομένες. Ωστόσο, παρουσιάζουν μεγαλύτερο αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον, ενώ είναι πιθανό να είναι πιο αποτελεσματικές στο αστικό περιβάλλον, καθώς έχουν τη δυνατότητα να εκμεταλλεύονται τους ανέμους διαφορετικών κατευθύνσεων. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κατασκευής ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα, η Savonius και η Darrieus. Η Savonius έχει σχήμα S στην κάτοψη, ενώ η Darrieus είναι σαν καλάθι. Ωστόσο, υπάρχουν και ανεμογεννήτριες που είναι συνδυασμός των δύο αυτών τύπων.



Εικόνα 3.3.1 Σύστημα με 3 Α/Γ τύπου Savonius(3)



Εικόνα 3.3.1.1 Α/Γ τύπου Darrieus(4)



Εικόνα 3.3.1.2 Μεγάλου μεγέθους Α/Γ Darrieus(5)



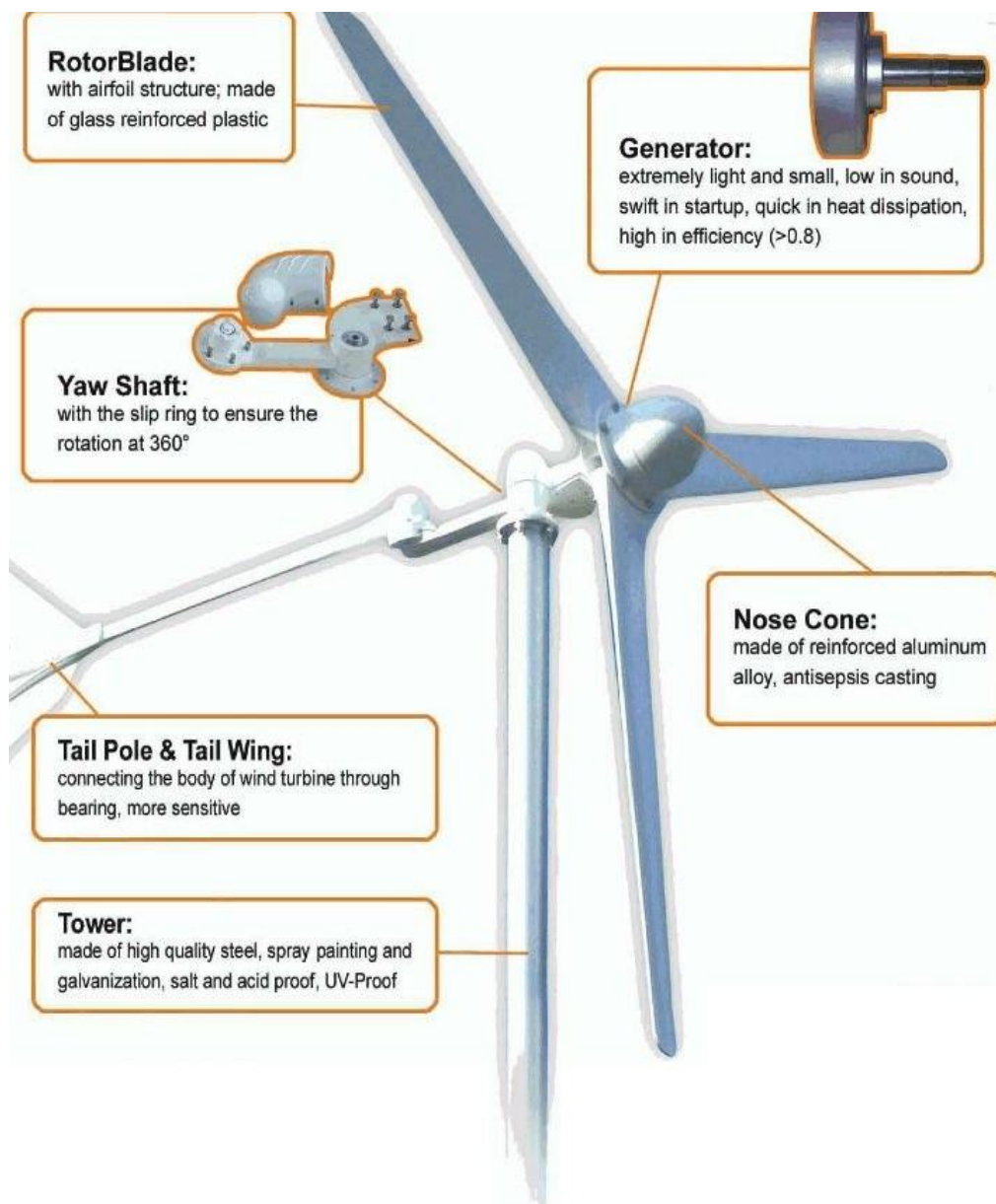
Εικόνα 3.3.1.3 Μεγάλου μεγέθους Α/Γ Darrieus(6)



Εικόνα 3.3.1.4 Συνδυασμός Α/Γ τύπου Savonius και Darrieus σε μια(7)

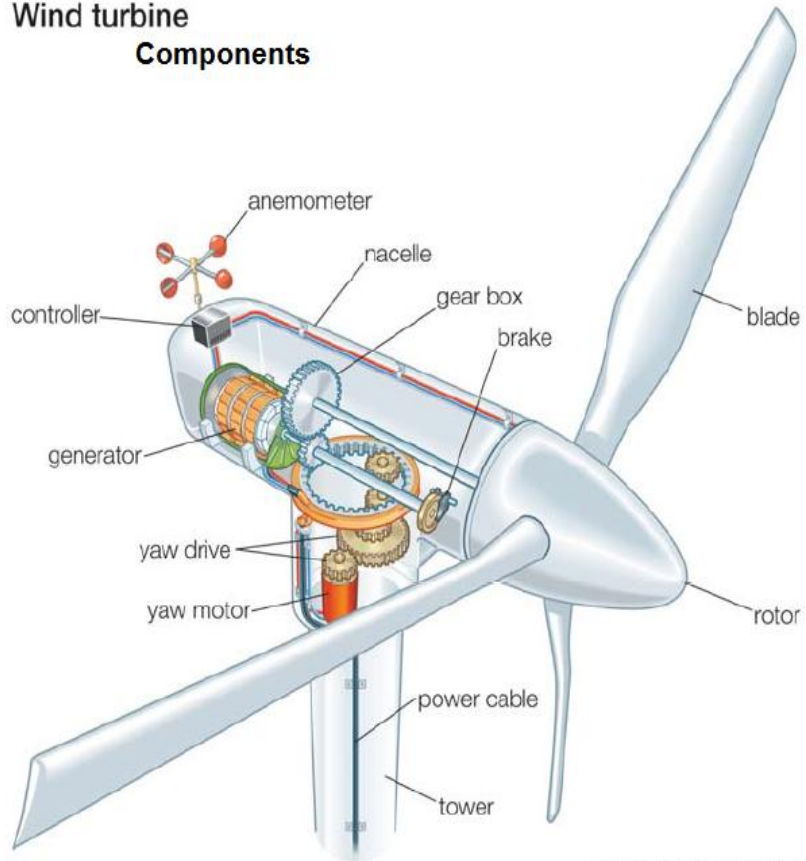
3.3.2 Οριζοντίου άξονα

Στην σημερινή εποχή οι Α/Γ οριζοντίου άξονα έχουν επικρατήσει έναντι εκείνων του κατακόρυφου άξονα και για αυτόν ακριβώς τον λόγο θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει μία πιο αναλυτική παρουσίαση αυτού του τύπου Α/Γ και των διάφορων υποσυστημάτων από τα οποία απαρτίζεται. Αξίζει να σημειωθεί, ότι στην παγκόσμια αγορά έχουν επικρατήσει οι Α/Κ οριζοντίου άξονα σε ποσοστό πάνω από 90%. Στις παρακάτω εικόνες (3.3.2-3.3.3.1-3.3.4) παρουσιάζεται μια ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα με την ονοματολογία των διαφόρων συνιστωσών και εξαρτημάτων της.



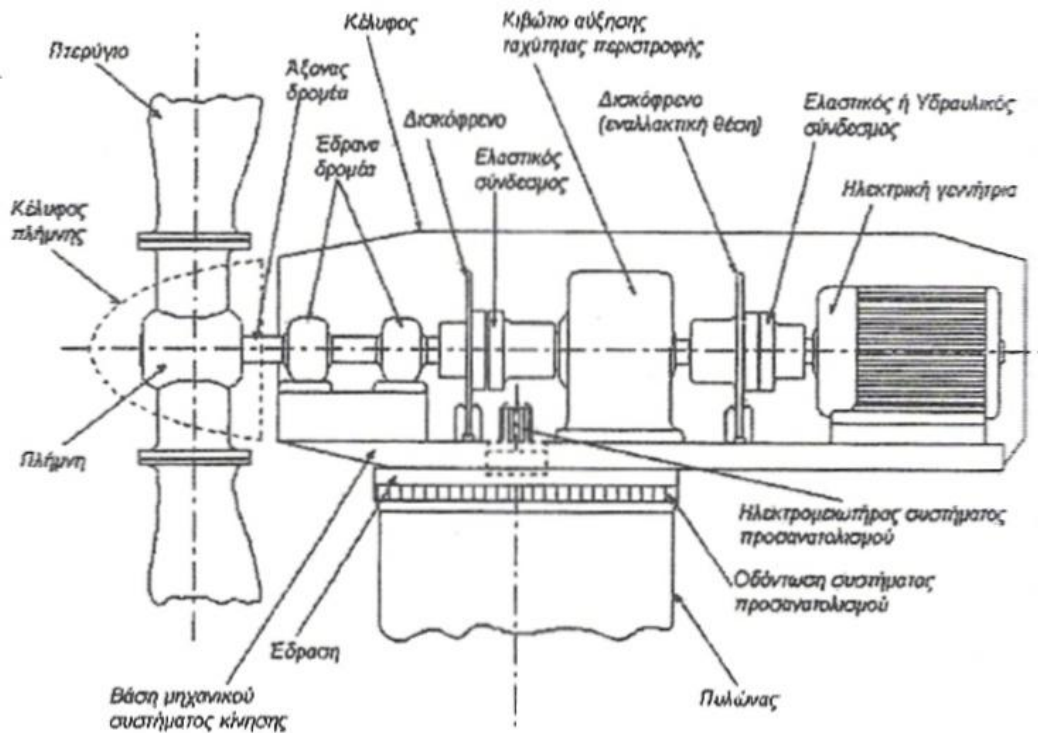
Εικόνα 3.3.2 Α/Γ οριζοντίου άξονα

Wind turbine Components



© 2011 Encyclopædia Britannica, Inc.

Εικόνα 3.3.3 Μέρη της Α/Γ



Εικόνα 3.3.4 Αναλυτική απεικόνιση των διαφόρων εξαρτημάτων και μερών της Α/Γ

3.3.2.1 Βασικά μέρη της Α/Γ οριζοντίου άξονα

Τα βασικά μέρη ενός τυπικού Α/Κ οριζοντίου άξονα, όπως φαίνεται και παραπάνω, σε δισδιάστατο σκαρίφημα, είναι τα παρακάτω:

- ο πυλώνας ή πύργος στήριξης της όλης εγκατάστασης
- η πτερωτή ή ρότορας ή δρομέας της εγκατάστασης, η οποία αποτελείται από τα πτερύγια και την πλήμνη
- ο άξονας περιστροφής που αποτελεί το συνδετικό στοιχείο του ρότορα με την ηλεκτρική γεννήτρια
- το σύστημα μετάδοσης της κίνησης
- το σύστημα ελέγχου του Α/Κ
- η ηλεκτρική γεννήτρια
- το σύστημα πέδησης
- το σύστημα προσανατολισμού της μηχανής

Ποία αναλυτικά παρακάτω αναλύονται τα έξης μέρη

1) Ο πύργος στήριξης και η θεμελίωση υποστηρίζουν ολοκληρωτικά την εγκατάσταση, η οποία μπορεί να ζυγίζει πολλούς τόνους. Η τοποθέτηση γίνεται στο κατάλληλο ύψος, εκεί όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ μεγαλύτερη και λιγότερο διαταραγμένη από ότι είναι στο επίπεδο του εδάφους λόγω της διάτμησης του ανέμου. Σε περιοχές με τραχύ έδαφος ένας ψηλός πύργος αποτελεί πλεονέκτημα, καθώς τα πτερύγια των Α/Γ με σχετικά χαμηλούς πύργους υπόκεινται σε διαφορετικές ταχύτητες ανέμου και διαφορετική φορά κάμψης όταν διέρχονται από την ανώτερη στην κατώτερη θέση τους, πράγμα το οποίο καταπονεί επιπρόσθετα την Α/Γ.

Ο πύργος μπορεί να είναι κατασκευασμένος από:

- Μεταλλικό χωροδικτύωμα (δικτυωτός φορέας όπου δημιουργείται από ένα σύμπλεγμα κόμβων και ράβδων)
- Οπλισμένο σκυρόδεμα
- Μεταλλικός αγωγός μεγάλης διαμέτρου

Στο εσωτερικό του πύργου υπάρχει εσωτερική σκάλα οπου δίνει προσβαση στα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα της εγκατάστασης. Συνήθως το ύψος του πύργου ταυτίζεται με την διάμετρο του ρότορα της εγκατάστασης.

2) Η πτερωτή ή ρότορας ή δρομέας. Συνήθως αποτελείται από 3 πτερύγια και η μορφολογία τους προέρχεται από την αεροναυπηγική τεχνολογία. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται κυρίως ανθεκτικά άλλα και ελαφριά υλικά, όπως ελαφριά μεταλλικά κράματα αλουμινίου αλλά και διάφορα συνθετικά-πλαστικά υλικά όπως υαλώματα ανθρακονήματα ενισχυμένα με πολυεστέρα και συνθετικές ρητίνες. Την αεροδυναμική απόδοση του πτερυγίου επηρεάζουν η μορφή του και η γωνία του σε σχέση με τη κατεύθυνση του ανέμου. Η επιλογή του πλήθους των πτερυγίων επηρεάζεται από παράγοντες όπως είναι η φόρτιση, η αεροδυναμική συμπεριφορά των πτερυγίων, ο βαθμό απόδοσής τους, και το κόστος κατασκευής τους. Ο κανόνας λέει ότι όσο μικρότερος είναι ο αριθμός των πτερυγίων τόσο ταχύτερα περιστρέφεται ο δρομέας. Το μέτρο για αυτό είναι ο γνωστός συντελεστής ταχυστροφίας λ(ο οποίος θα αναλυθεί παρακάτω). Επίσης το κόστος μιας ολιγοπτέρυγου Α/Γ είναι πολύ μικρότερο από το κόστος μιας πολυπτέρυγου Α/Γ παραπλήσιας ισχύος. Τα πτερύγια τοποθετούνται με μια κλίση της τάξης των 10° για λόγους ελαχιστοποίησης των καμπτικών φορτίων στο σημείο έδρασης τους. Για λόγους ασφαλείας έναντι των ισχυρών ανέμων στα πτερύγια εκτός από αεροδυναμικά βοηθήματα (flaps) και μεταβλητό βηματισμό έχουν συνήθως και κατάλληλα

αερόφρενα για την περίπτωση διακοπής της λειτουργίας σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

- 3) Ο άξονας περιστροφής για να καταφέρνει να ανταπεξέρχεται στις χρονικά μεταβαλλόμενες και ισχυρές στρεπτικές και καμπτικές ροπές που λαμβάνει κατά την λειτουργία του κατά κύριο λόγο κατασκευάζεται από αρκετά ανθεκτικό χάλυβα. Επίσης, λόγω των υψηλών φορτίων ροπής που παραλαμβάνει, είναι ευπαθής σε αστοχία λόγω κόπωσης. Εδράζεται συνήθως πάνω σε δύο ένσφαιρα έδρανα (ρουλεμάν) τα οποία δύνανται να παραλαμβάνουν τόσο το βάρος του άξονα όσο και τα ασκούμενα σε αυτόν φορτία.
- 4) Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης παίζει καθοριστικό ρόλο στην ομαλή και αποδοτική λειτουργία της εγκατάστασης. Αποτελείται από διβάθμιο ή τριβάθμιο κιβώτιο ταχυτήτων, που έχει βασικό σκοπό την προσαρμογή της ταχύτητας περιστροφής του ρότορα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Με κατάλληλη συνδεσμολογία διαφόρων τύπων γραναζιών συνδέουν τον χαμηλής ταχύτητας περιστροφής άξονα του δρομέα, ο οποίος περιστρέφεται συνήθως με 30 έως 60 στροφές το λεπτό (rpm), με τον υψηλής ταχύτητας περιστροφής άξονα ο οποίος συνδέεται απευθείας με την ηλεκτρογεννήτρια και περιστρέφεται συνήθως με 1200 rpm έως 1500 rpm. Συγκεκριμένα βέβαια το σύστημα μετάδοσης ταχύτητας χρησιμοποιείται στις Α/Γ που διαθέτουν ασύγχρονη γεννήτρια αλλά σε αυτές που χρησιμοποιούν ασύγχρονη, στο επόμενο κεφάλαιο θα αναλύσουμε την σύγχρονη γεννήτρια και θα εξηγηθεί πως φτάνουμε στον επιθυμητό αριθμό στροφών σε αυτή την περίπτωση.
- 5) Στο σύστημα ελέγχου υπάρχουν κυρίως όλα εκείνα τα ηλεκτρονικά ισχύος και τα στοιχεία αυτοματισμού, που έχουν ως στόχο τον πλήρη έλεγχο της εγκατάστασης, με βασικό στόχο τη βέλτιστη αποδοτικότητα του συστήματος. Αποτελεί τον εγκέφαλο της εγκατάστασης, αφού αυτό αποφασίζει για το πότε θα αρχίσει να περιστρέφεται ο ρότορας και πότε θα ακινητοποιείται ανάλογα τα δεδομένα που συγκεντρώνει.
- 6) Το σύστημα πέδησης. Αποτελείται από ένα δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα πριν από τον μετατροπέα στροφών ή μετά από αυτόν στον άξονα υψηλής ταχύτητας.
- 7) Η γεννήτρια είναι η κάρδια του συστήματος και θα αναλυθεί εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 4: Η γεννήτρια

4.1 Ορισμός

Η γεννήτρια είναι μια μηχανή η οποία κατά την λειτουργία της μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, όλο αυτό στηρίζεται στο φαινόμενο της φυσικής κατά το οποίο όταν ένα πηνίο περιστρέφεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο τότε στα άκρα του πηνίου εμφανίζεται διαφορά δυναμικού.

Η γεννήτρια ή ηλεκτρογεννήτρια αποτελείται από δυο μέρη: το σταθερό μέρος που ονομάζεται στάτης όπου εκεί υπάρχουν σταθεροί μαγνήτες και το κινητό μέρος όπου ονομάζεται ροτορας και αποτελείται από πηνία. Γενικά και πολύ απλοποιημένα όταν με κάποιο τρόπο έχουμε περιστροφή του ροτορα μέσα στον στάτη τότε παρατηρούμε την διαφορά δυναμικού.

4.2 Είδη γεννητριών

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι δύο ειδών:

A) Οι σύγχρονες γεννήτριες

B) Οι ασύγχρονες γεννήτριες

Οι σύγχρονες γεννήτριες παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα, του οποίου συχνότητα είναι ανάλογη με την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής. Η διέγερση των γεννητριών αυτών τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα.

Οι ασύγχρονες γεννήτριες παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα, του οποίου η συχνότητα είναι ανεξάρτητη από την ταχύτητα περιστροφής. Η διέγερση των μηχανών αυτών τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα.

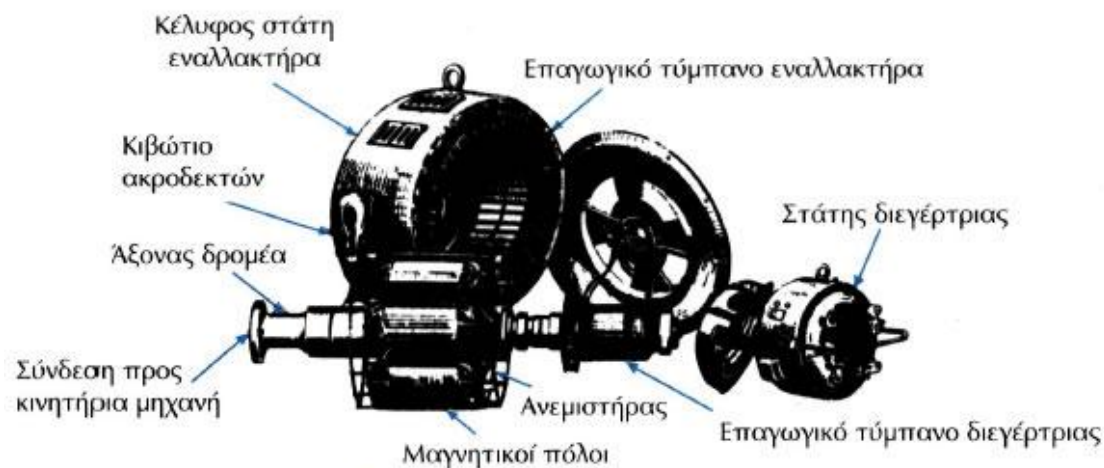
4.3 Σύγχρονη γεννήτρια

Σύγχρονη γεννήτρια ονομάζεται η ηλεκτρική μηχανή που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια στην είσοδό της σε ηλεκτρική ενέργεια συγκεκριμένης τάσης και συχνότητας. Επειδή ακριβώς η συχνότητα της τάσης εξόδου της γεννήτριας προσδιορίζεται από την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της, η μηχανή αυτή ονομάστηκε σύγχρονη. Στις γεννήτριες αυτού του είδους βασίζεται η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών όλου του κόσμου.

Η τάση που αναπτύσσεται στο εσωτερικό μιας σύγχρονης γεννήτριας εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της και από τη μαγνητική ροή στο εσωτερικό της. Η τάση στα άκρα κάθε φάσης μιας σύγχρονης γεννήτριας (φασική τάση) διαφέρει από αυτήν που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της , λόγω της πτώσης τάσης που οφείλεται στην αντίδραση σπλισμού και στη σύνθετη αντίσταση των τυλιγμάτων σπλισμού. Ο τρόπος με τον οποίο η σύγχρονη γεννήτρια συνεργάζεται με κάποιο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας προσδιορίζεται από τους περιορισμούς που της επιβάλλει το συγκεκριμένο σύστημα.

Κατά την αυτόνομη λειτουργία μιας τέτοιας γεννήτριας τόσο η ενεργός όσο και η άεργος ισχύς που παράγονται προσδιορίζονται από το φορτίο. Η συχνότητα και το πλάτος της τάσης εξόδου της είναι δυνατό να μεταβάλλονται μέσω της ταχύτητας του δρομέα και του ρεύματος διέγερσης αντίστοιχα. Όταν η σύγχρονη γεννήτρια είναι συνδεδεμένη σε κάποιο άπειρο ζυγό, τόσο το πλάτος όσο και η συχνότητα της τάσης εξόδου δεν είναι δυνατό να μεταβάλλονται. Όμως η ρύθμιση της ενεργού και της άεργης ισχύος είναι δυνατή μέσω της ταχύτητας του δρομέα και του ρεύματος διέγερσης αντίστοιχα. Τέλος , σε συστήματα που περιλαμβάνουν γεννήτριες του ίδιου σχεδόν μεγέθους η ρύθμιση της συχνότητας της τάσης εξόδου και της ενεργού ισχύος πραγματοποιείται μέσω της μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής.

Οι δυνατότητες παραγωγής ισχύος μιας σύγχρονης γεννήτριας περιορίζονται βασικά από τη θερμότητα που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της. Κάθε φορά που η θερμοκρασία της γεννήτριας ξεπερνάει την ονομαστική της τιμή , η διάρκεια ζωής της μειώνεται σημαντικά. Επειδή σε μια σύγχρονη γεννήτρια υπάρχουν δυο τυλίγματα (σπλισμού και διέγερσης) , οι περιορισμοί υπερθέρμανσης είναι δύο. Η μέγιστη επιτρεπόμενη φαινόμενη ισχύς εξόδου της μηχανής προσδιορίζεται από το όριο υπερθέρμανσης του τυλίγματος σπλισμού της , ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της E_a προσδιορίζεται από το όριο υπερθέρμανσης του τυλίγματος διέγερσής της. Τέλος, οι μέγιστες τιμές των E_a και I_a ορίζουν από κοινού τον ονομαστικό συντελεστή ισχύος της γεννήτριας.

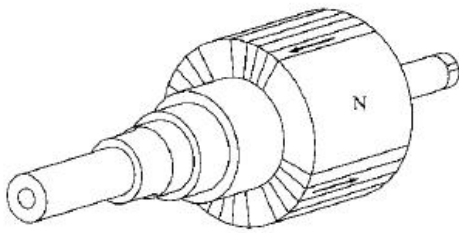


Εικόνα 4.3 Σύγχρονη γεννήτρια

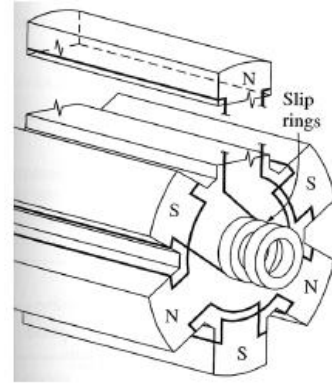
4.3.1 Δομή σύγχρονων γεννητριών

Απαραίτητη προϋπόθεση για να λειτουργήσει μια σύγχρονη γεννήτρια είναι η τροφοδοσία του τυλίγματος του δρομέα της με συνεχές ρεύμα. Αυτό το ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της γεννήτριας και καθώς ο δρομέας περιστρέφεται παίρνοντας κίνηση από κάποια εξωτερική κινητήρια μηχανή, το πεδίο περιστρέφεται μαζί του. Τελικά, το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο παράγει τριφασική τάση στα τυλίγματα του στάτη, η οποία εμφανίζεται στην έξοδο της μηχανής.

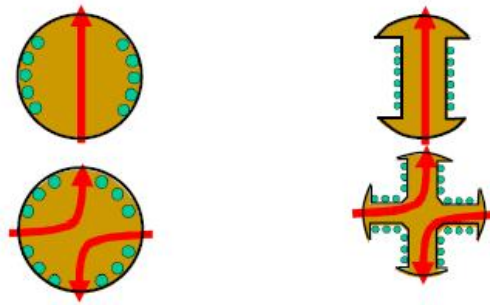
Ο δρομέας μιας σύγχρονης γεννήτριας μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας μεγάλος ηλεκτρομαγνήτης τόσο στην περίπτωση που η γεννήτρια είναι έκτυπων πόλων, όσο και όταν αυτή διαθέτει κυλινδρικό δρομέα. Οι πόλοι μιας γεννήτριας έκτυπων πόλων διακρίνονται στην επιφάνεια του δρομέα ενώ όταν ο δρομέας είναι κυλινδρικός, οι πόλοι της βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με την υπόλοιπη επιφάνεια του. Δρομείς με κυλινδρική επιφάνεια έχουν συνήθως οι γεννήτριες δυο ή τεσσάρων πόλων, ενώ οι γεννήτριες έκτυπων πόλων συνήθως διαθέτουν πάνω από τέσσερις πόλους.



Κυλινδρικός δρομέας



Δρομέας εκτύπων πόλων



Εικόνα 4.3.1 Κυλινδρικός δρομέας και δρομέας εκτύπων πόλων

Ο δρομέας των σύγχρονων γεννητριών κατασκευάζεται από δυναμό ελάσματα με σκοπό τη μείωση των απωλειών λόγω δινορρευμάτων. Πράγματι, επειδή ο δρομέας εκτίθεται σε συχνές μεταβολές του μαγνητικού πεδίου, η ανάπτυξη δινορρευμάτων στο εσωτερικό του είναι αναπόφευκτη. Ακόμη, το τυλίγμα του δρομέα στις σύγχρονες γεννήτριες θα πρέπει να τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα. Επειδή όμως, ο δρομέας περιστρέφεται, είναι ανάγκη να αναπτυχθεί κάποιος ειδικός τρόπος τροφοδοσίας του τυλίγματός του.

Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές τροφοδοσίας του δρομέα είναι: Τα μεταλλικά δαχτυλίδια της γεννήτριας καλύπτουν όλη την περίμετρο του άξονά της και μονώνονται ηλεκτρικά απ' αυτόν. Συνήθως το ένα άκρο του τυλίγματος του δρομέα συνδέεται στο πρώτο από τα δυο δαχτυλίδια και το άλλο άκρο στο δεύτερο. Η τριφασική έξοδος της διέγερσης ανορθώνεται από έναν τριφασικό ανορθωτή, που βρίσκεται πάνω στον άξονα της μηχανής και το συνεχές ρεύμα εξόδου του ανορθωτή οδηγείται στο τύλιγμα διέγερσης της κύριας γεννήτριας. Μ' αυτή τη μέθοδο μπορεί να ρυθμιστεί το ρεύμα διέγερσης της σύγχρονης γεννήτριας μεταβάλλοντας απλά το συνεχές ρεύμα διέγερσης της διεγέρτριας, που βρίσκεται πάνω στο στάτη, και έχει πολύ μικρότερη τιμή.

4.3.2 Ταχύτητα περιστροφής σύγχρονων γεννητριών

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος ονομάζονται σύγχρονες, επειδή οι συχνότητες των τάσεων που παράγουν βρίσκονται σε συγχρονισμό με την ταχύτητα περιστροφής τους. Ο δρομέας των μηχανών αυτών είναι ένας ηλεκτρομαγνήτης, του οποίου το πεδίο περιστρέφεται με φορά ίδια μ' αυτή του δρομέα. Η σχέση της ηλεκτρικής συχνότητας του στάτη με την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου δίνεται από την εξίσωση:

$$F = \frac{Nm * P}{120}$$

Οπού Nm είναι η ταχύτητα περιστροφής σε rpm

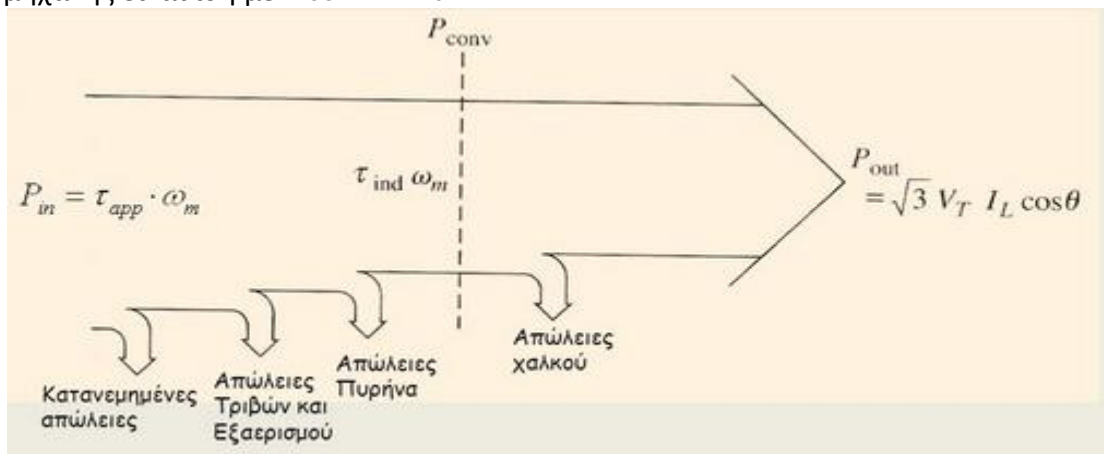
P είναι τα ζεύγη των πόλων

Επειδή, λοιπόν, ο δρομέας της μηχανής περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα που περιστρέφεται και το μαγνητικό πεδίο της, η παραπάνω εξίσωση δίνει τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής και της ηλεκτρικής συχνότητας της. Οι γεννήτριες παράγουν συχνότητες 50 Hz ή 60 Hz, οπότε η ταχύτητα περιστροφής τους για συγκεκριμένο αριθμό πόλων είναι προκαθορισμένη. Το πλάτος της τάσης στα άκρα της κάθε φάσης μιας μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος είναι η τάση E_a που εξαρτάται από τη μαγνητική ροή Φ , από τη συχνότητα ή την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής και από κάποια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της.

4.3.3 Ισχύς και ροπή στην έξοδο των σύγχρονων γεννητριών

Φυσικά μια σύγχρονη γεννήτρια παρουσιάζει απώλειες κατά τη μετατροπή της μηχανικής ισχύος σε ηλεκτρική, γι' αυτό και ποτέ η ισχύς εισόδου της δεν είναι ίση με την ισχύς εξόδου. Στο διάγραμμα ροής ισχύος μιας σύγχρονης γεννήτριας φαίνεται ότι η ισχύς εισόδου στη γεννήτρια είναι η μηχανική ισχύς που εμφανίζεται

στον άξονα της , ενώ η ισχύς που μετατρέπεται σε ηλεκτρική στο εσωτερικό της μηχανής είναι ίση με $P_{conv} = T_{ind} \cdot \omega_m$.



Εικόνα 4.3.3 Διάγραμμα ροής ισχύος

Η διαφορά μεταξύ της ισχύος εισόδου στη γεννήτρια και της ισχύος που μετατρέπεται τελικά σε ηλεκτρική οφείλεται στις απώλειες του πυρήνα, στις μηχανικές απώλειες και στις κατανεμημένες απώλειες της γεννήτριας.

Η ηλεκτρική ισχύς στη έξοδο δίνεται από :

$$P_{out} = \sqrt{3} * V_t * I_L * \cos\theta$$

Όπου θ είναι η διαφορά φάσης V_t και I_L .

Αν γίνει χρήση των φυσικών μεγεθών και όχι των ισοδύναμων όπως παραπάνω τότε η έξοδος θα είναι :

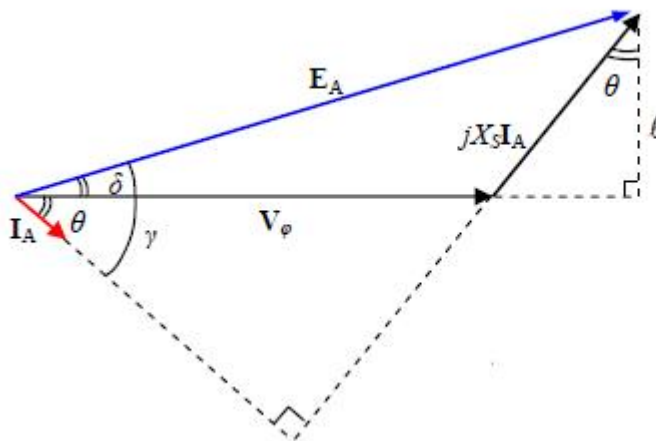
$$P_{out} = 3V\phi * I_A * \cos\theta$$

Αντίστοιχα, για την άεργο ισχύ στην έξοδο έχουμε:

$$Q_{out} = 3V\phi * I_A * \sin\theta = \sqrt{3} * V_t * I_L * \sin\theta$$

Η ισχύς εξόδου της μηχανής εξαρτάται από τη γωνία δ μεταξύ των $V\phi$ και E_a . Αυτή η γωνία ονομάζεται γωνία ροπής ή γωνία φορτίου της μηχανής και προσδιορίζει τη μέγιστη ισχύ που είναι ικανή να προσφέρει η γεννήτρια. Τέλος, επειδή $P_{conv} = T_{ind} \cdot \omega_m$ προκύπτει η ανάλογη έκφραση για τη ροπή

$$P_{max} = \frac{3V\phi * E_a * \sin\delta}{X_s}$$



Εικόνα 4.3.3.1 Διανυσματικό διάγραμμα

4.3.4 Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας

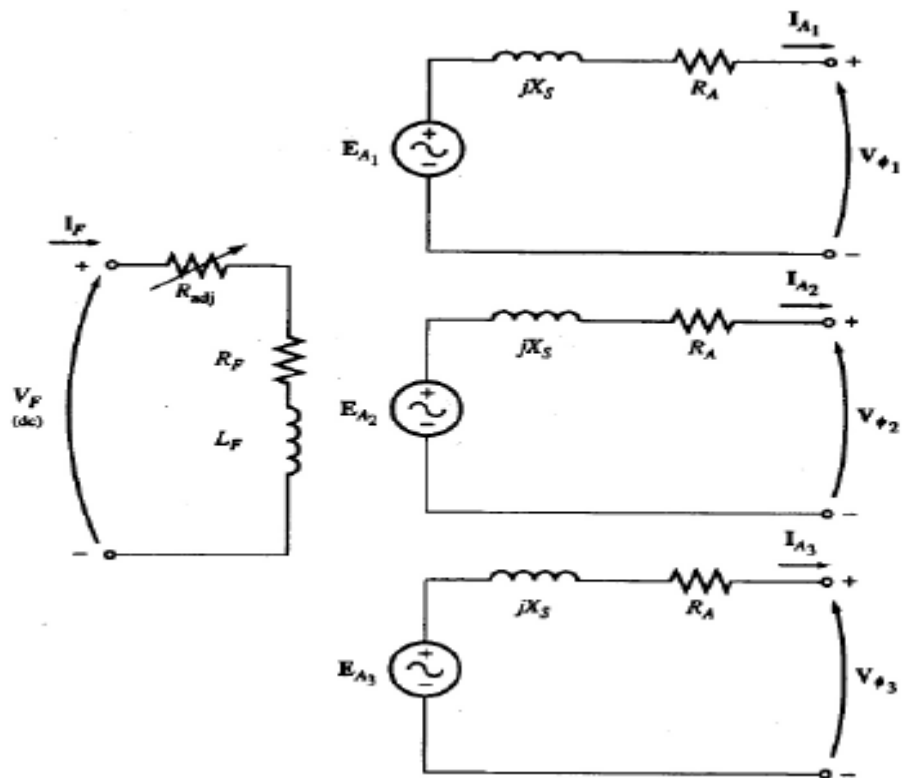
Στην περίπτωση όπου το κύκλωμα δεν διαρρέεται από ρεύμα είναι η μονή περίπτωση κατά την οποία μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η τάση E_a που επάγεται σε κάθε φάση είναι ίση με την τάση V_ϕ στους ακροδέκτες. Για κάθε άλλη περίπτωση πρέπει να λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες όπως είναι η αντίδραση του σπλισμού, η αυτεπαγωγή και η ωμική αντίσταση των αγωγών που συνθέτουν το κύκλωμα του στάτη.

Η αντίδραση του σπλισμού οφείλεται σε ένα ρεύμα που διαρρέει τους αγωγούς του στάτη όταν στην γεννήτρια υπάρχει κάποιο συνδεδεμένο φορτίο. Κατά αυτόν τον τρόπο έχουμε τη δημιουργία ενός μαγνητικού πεδίου B_s , από το οποίο επηρεάζεται το αρχικό πεδίο B_f στο εσωτερικό της μηχανής με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η τάση στα άκρα της γεννήτριας.

Όταν τώρα το κύκλωμα του στάτη διαρρέεται από ρεύμα έχουμε ως αποτέλεσμα την επαγωγή επιπρόσθετης τάσης Εστάτη σε κάθε φάση. Έτσι, η τάση στα άκρα κάθε φάσης είναι:

$$V_\phi = E_a + E_{\text{στάτη}}$$

Στο ισοδύναμο κύκλωμα συμβολίζεται με X_s η σύγχρονη αντίδραση της μηχανής, το τύλιγμα της διέγερσης παριστάνεται από μια ωμική αντίσταση και μια αυτεπαγωγή συνδεδεμένες σε σειρά στις οποίες συνδέεται μια ρυθμιστική αντίσταση για τον έλεγχο του ρεύματος διέγερσης.



Σχήμα 4.3.4 Ισοδύναμο κύκλωμα

Κεφάλαιο 5 : Ανάλυση του ηλεκτρολογικού μέρους της ανεμογεννήτριας

5.1 Τρόποι ελέγχου της Α/Γ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται η μελέτη και η εξομοίωση μιας σύγχρονης Α/Γ και μελετάται μια διαδικασία κατά την οποία ελεγχεται η Α/Γ με σκοπό όχι μόνο την μεγαλύτερη δυνατή απόδοση της αλλά και τον τρόπο σύνδεσης της στο δίκτυο. Το σύστημα αποτελείται από μια Α/Γ με πτερύγια μεταβλιτου βηματος και από μια σύγχρονη γεννήτρια συνδεδεμένη στο δίκτυο. Η σύνδεση στο δίκτυο πραγματοποιείται μέσω αντιστροφέα – ανορθωτή.

Ωστόσο, όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο ο άνεμος είναι μια μεταβλητή στο χρόνο πηγή ενέργειας και έτσι αν θέλουμε να επιτύχουμε την μέγιστη δυνατή απόδοση θα πρέπει η μηχανική ταχύτητα της Α/Γ να αλλάζει συνεχώς.

Η Α/Γ επομένως μπορεί να παράγει μια μεταβλητή ηλεκτρική ενεργεία με μεταβλητή τάση. Αυτό το γεγονός έχει αναγκάσει τις εταιρίες παράγωγης να εφαρμόσουν περιορισμούς οπου αφορούν την ποιότητα ηλεκτρικής ενεργείας που παράγεται ανάλογα με το για πού αυτή προορίζεται να καταναλωθεί.

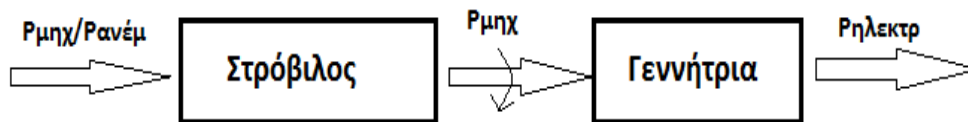
Η χρήση του μηχανισμού κλίσης των πτερύγιων (pitch control) δίνει μια δυνατότητα έτσι ώστε η ενέργεια που εξάγεται από τον άνεμο να καθορίζεται είτε από τον χρήστη είτε να μεγιστοποιείται συνεχώς.

Για αυτούς τους λόγους υπάρχει απαίτηση για την ύπαρξη μιας Α/Γ με την κατάλληλη ηλεκτρική γεννήτρια και το κατάλληλο σύστημα ηλεκτρονικών για την δημιουργία μιας τάσης με σταθερό μέγεθος και συχνότητα έτσι ώστε η Α/Γ να μπορέσει να επιτύχει την σύνδεση της στο δίκτυο με όσο το δυνατόν μικρότερη αστάθεια.

Χρησιμοποιώντας σαν κριτήριο το λ (λόγος ταχύτητας ακροπερυγιου) μπορούμε μέσω του pitch controller να καθορίσουμε την μηχανική ταχύτητα της Α/Γ. Με την ρύθμιση της διέγερσης κατάλληλα μπορούμε να καθορίσουμε με ακρίβεια την τιμή της τάσης οπου απαιτείται για να αρχίσει η γεννήτρια να λειτουργεί στην ονομαστική της τιμή.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει μελέτη της συμπεριφοράς της ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιεί σύγχρονη γεννήτρια για την λειτουργία της.

5.2 Η μηχανική ισχύς εισόδου της Α/Γ



Σχήμα 5.2 Η μηχανική ισχύς εισόδου

$$P_{μηχ} = T_{μηχ} \cdot \Omega_{μηχ}$$

$$T = \text{ροπή}$$

$$\Omega = \text{μηχανική γωνιακή ταχύτητα}$$

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{ηλεκτρικό}}{P_{in}}$$

Η μηχανική ισχύ η οποία απομαστευέτε από τον άνεμο και χρησιμοποιείται από την Α/Γ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δίνεται από την παρακάτω σχέση και είναι μια μαθηματική συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, της γωνίας κλίσης του πτερύγιου και της ταχύτητας του άξονα.

$$P_{wind} = P_{μηχανικό} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_p \cdot V_w^3$$

Όπου,

- ρ είναι η πυκνότητα του ανέμου (air density) Kg/m^3 (Συνήθως παίρνει τιμές από 1 ως $1,4 \text{Kg/m}^3$)
- A είναι η επιφάνεια σάρωσης (swept area).
- V_w είναι η ταχύτητα του ανέμου (m/sec)
- C_p είναι ο συντελεστής αεροδυναμικής απόδοσης (power coefficient), $C_p \text{ max} \approx 0.4$ ως 0,45

Απαραίτητη προϋπόθεση για μέγιστη αεροδυναμική απόδοση είναι:

$$P_{wind} \hat{=} P_{windmax} \hat{=} C_p = C_{p max} = 0.44$$

Ο λόγος ταχύτητας του ακροπτερυγίου (λ) με εκείνη του ανέμου δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = \frac{\Omega tr}{V_w}$$

Όπου

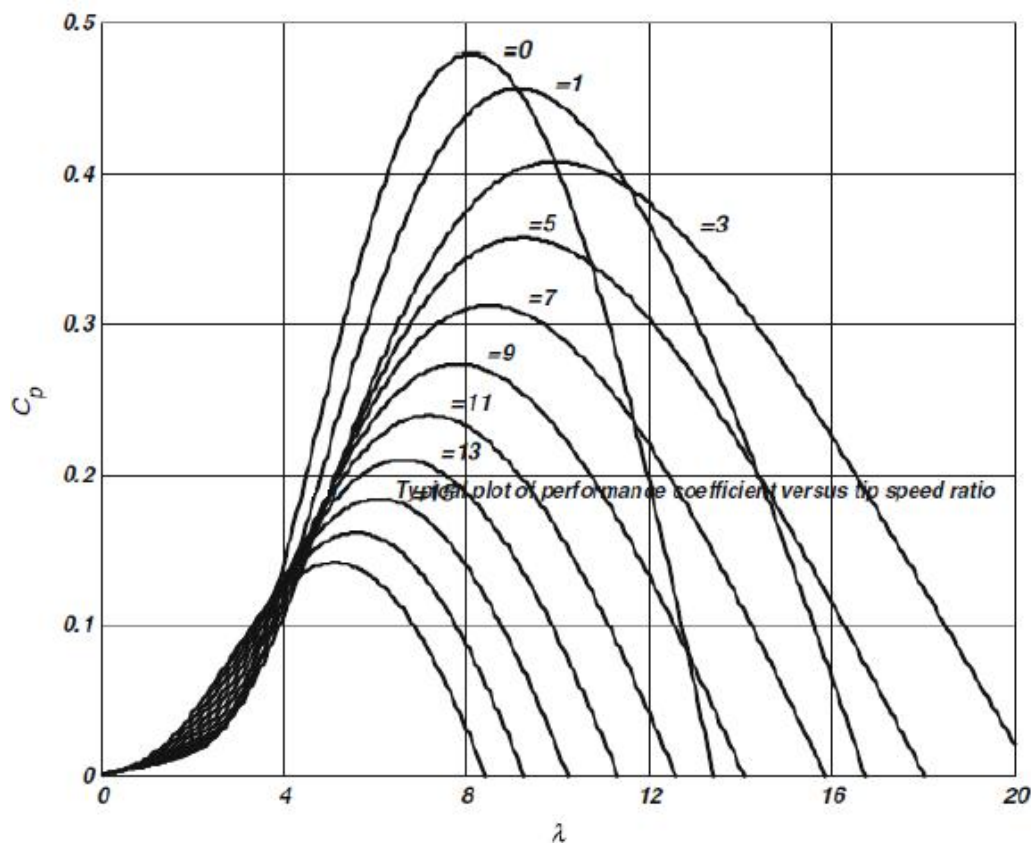
- Ωt είναι η ταχύτητα των πτερυγίων (rad/sec)

Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση ως έκφραση του λ και της γωνίας κλίσης των πτερυγίων β

$$C_p = (0.44 - 0.0167 \cdot \beta) \cdot \sin \frac{\pi \cdot (\lambda - 3)}{15 - 0.3\beta} - 0.00184(\lambda - 3)\beta$$

Για την επίτευξη της μεγαλύτερης παραγόμενης ενεργείας από την Α/Γ η μόνη παράμετρος που μπορεί να τροποποιηθεί είναι αυτή του συντελεστή απόδοσης C_p ο οποίος έχει μέγιστη θεωρητική τιμή 0,593. Η πυκνότητα του αέρα, η ταχύτητα του ανέμου και η ακτίνα σάρωσης είναι ποσότητες που δεν γίνεται να αλλάζουν κατά βούληση, οπότε δεν μπορεί να γίνει έλεγχος.

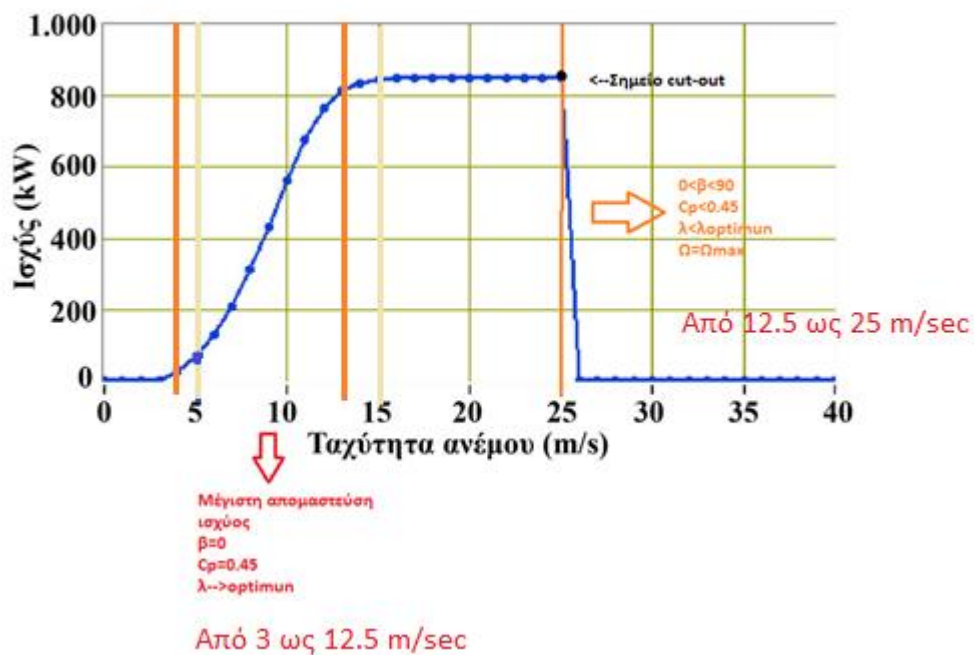
Το διάγραμμα για τον συντελεστή απόδοσης C_p συναρτήσει του λόγου ταχύτητας ακροπερυγίου λ φαίνεται στο παρακάτω σχήμα για διάφορες γωνίες των πτερύγων.



Διάγραμμα 5.2.1 Τυπικό διάγραμμα C_p συναρτήσει του λ

Στο παραπάνω διάγραμμα μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό ότι ο μηχανικός βαθμός απόδοσης C_p είναι μια μη γραμμική εξίσωση ως προς την ταχύτητα του ανέμου.

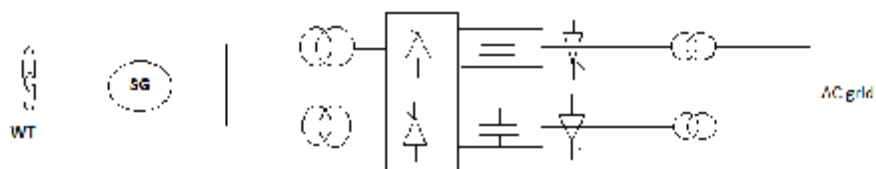
Μια Α/Γ σχεδιάζεται για να λειτουργεί με μέγιστη απόδοση από τα 3 έως τα 12.5 m/sec ταχύτητα ανέμου. Σε ταχύτητες από 12.5 ως 25 m/sec μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί ρυθμίζοντας με τέτοιο τρόπο τη γωνιά των πτερυγίων ώστε με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα να απολέσει μέρος της προσπίπτουσας ενέργειας. Με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου πάνω από τα 25 m/sec τότε τα πτερύγια της Α/Γ αποκτούν μέσω ρύθμισης, κλίση τέτοια ώστε να παραλληλίζονται με την πορεία του ανέμου ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή τους. Στις χαμηλές ταχύτητες ανέμου τώρα έχουμε ξανά ρύθμιση στην γωνιά κλίσης των πτερυγίων έτσι ώστε η Α/Γ να έχει όσο το δυνατόν ποίο αποδοτική λειτουργία.



Διάγραμμα 5.2.2 Καμπύλη ισχύος

Ποίο συγκεκριμένα, και όσο αφορά το τι έχουμε στην έξοδο της Α/Γ, όταν λειτουργεί στις αποδοτικές ταχύτητες ανέμου τότε εφ' όσον η γεννήτρια είναι σύγχρονη για να επιτευχτεί η ορθή σύνδεση της στο δίκτυο, μέσω ενός συστήματος ηλεκτρονικών ισχύος μπορούμε να ρυθμίζουμε την συχνότητα της έτσι ώστε να έχουμε στην έξοδο τον επιθυμητό αριθμό σύγχρονων στρόφων.

5.3 Περιγραφή συστήματος έλεγχου της ανεμογεννήτριας



Εικόνα 5.4 Σύνδεση Α/Γ με το δίκτυο μέσω του ανορθωτή-αντιστροφέα

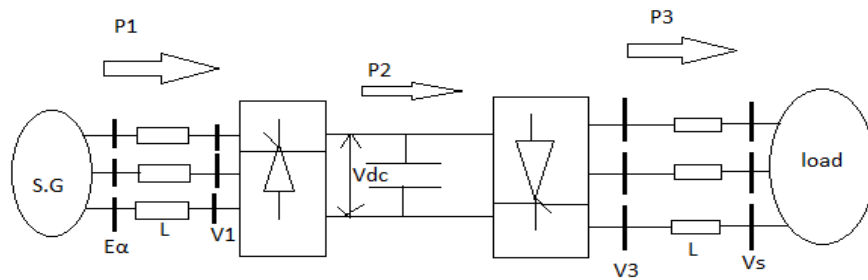
Για περιπτώσεις όπου η ταχύτητα ανέμου είναι $V_{w\text{nominal}}$ η γεννήτρια έχει την δυνατότητα να παράγει ονομαστική ισχύ P_{nominal} . Οι λειτουργικές διαδικασίες του συστήματος είναι:

1. Όταν $V_w < V_{w\text{nominal}}$ τότε το σύστημα προσπαθεί να απορροφήσει την μέγιστη δυνατή ισχύ.
2. Όταν $V_w > V_{w\text{nominal}}$ το σύστημα λειτουργεί με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ($\omega = \omega_n$)
3. Ο χρηστής είναι αυτός ο οποίος καθορίζει την ισχύ P_d η οποία παράγεται από το σύστημα, αυτή η περίπτωση είναι εφαρμόσιμη όταν υπάρχει αρκετή μηχανική ισχύ δοσμένη από τον άνεμο.

Κατά την λειτουργία της, η Α/Γ έχει συστήματα έλεγχου που σκοπό έχουν να εντοπίζουν την μέση τιμή του ανέμου. Στην περίπτωση 1 το σύστημα προσπαθεί να κρατήσει το $\lambda = \lambda_{opt}$ ($\lambda = \Omega R / V_w$), υπολογίζοντας κάθε φορά πόσο πρέπει να είναι το ω (ταχύτητα περιστροφής) σε σχέση με το V_w (μηχανική ισχύς). Η Α/Γ αναγκάζεται να λειτουργήσει στο επιθυμητό ω , ελέγχοντας την πραγματική ισχύ που απορροφάται, από τον ανορθωτή.

Στις περιπτώσεις 2 κ 3, το ω μένει σταθερό και η Α/Γ αναγκάζεται να λειτουργήσει αλλάζοντας την γωνία κλίσης των πτερυγίων (β).

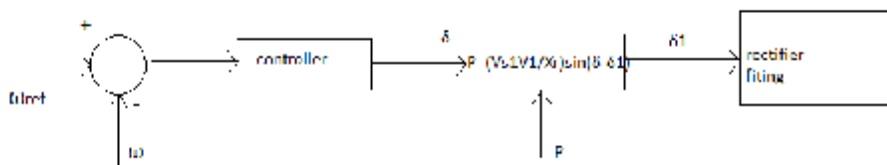
5.3.1 Σύστημα έλεγχου του ανορθωτή.



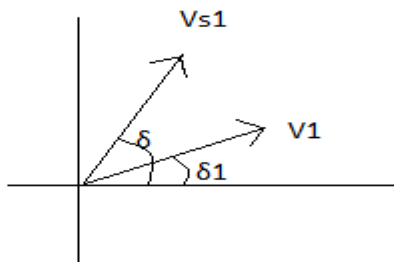
Εικόνα 5.4.1 Ανορθωτική διάταξη της Α/Γ

i) Για την περίπτωση όπου ισχύ : $V_w < V_{wn}$,

Ρυθμίζοντας με κατάλληλο τρόπο την γωνία δ_1 από τον ανορθωτή μπορούμε να εξαναγκάσουμε την γωνιακή ταχύτητα (ω) να φτάσει την ονομαστική της τιμή, με αυτόν τον τρόπο αλλάζει η πραγματική ισχύς (P). Η τεχνική αυτή βασίζεται σε ένα σύστημα έλεγχου που παρουσιάζεται στα σχήματα 5.4.1 και 5.4.1.1 παρακατώ.



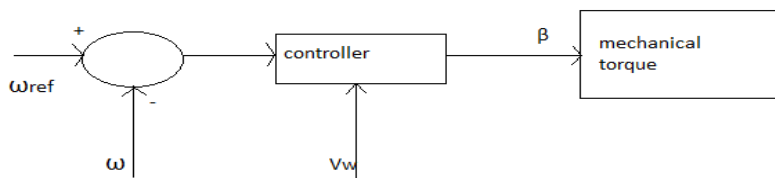
Εικόνα 5.4.1 Διάγραμμα έλεγχου



Εικόνα 5.4.1.1 Αλλαγή της γωνιάς δ

ii) Για την περίπτωση που ισχύει : $V_w > V_{wn}$

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω σε αυτή την περίπτωση όπου η εισερχόμενη μηχανική ισχύ από τον άνεμο είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική της Α/Γ, τότε η γωνιακή ταχύτητα πρέπει να μένει σταθερή αλλάζοντας την γωνία κλίσης των πτερυγίων. Για τον έλεγχο αυτού του συστήματος παρουσιάζεται παρακατώ το λογικό διάγραμμα ελέγχου.

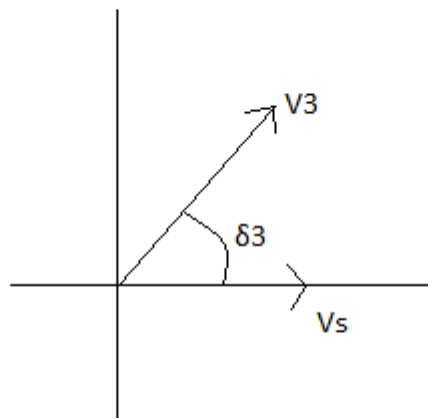


Εικόνα 5.4.1.2 Διάγραμμα έλεγχου $V_w > V_{wn}$

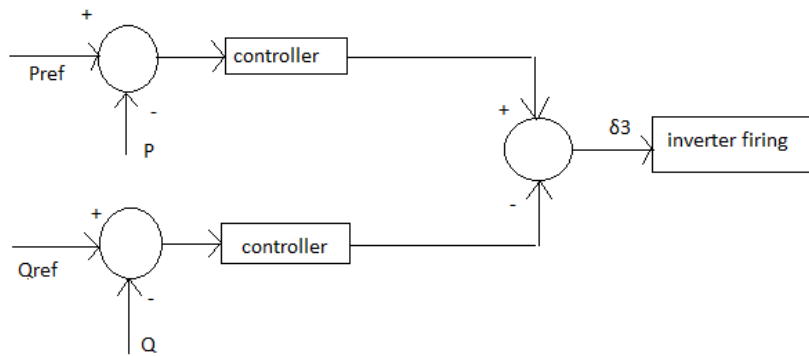
5.3.2 Σύστημα έλεγχου του inverter

Ο πρώτος στόχος του συστήματος έλεγχου του inverter είναι να κρατάει την τάση συνεχούς σταθερή στον πυκνωτή έτσι ώστε η πραγματική ισχύ (P) να περνά στο δίκτυο μέσω του ανορθωτή. Έπειτα, πρέπει να ελέγχει την ονομαστική τάση της εξόδου της Α/Γ ώστε να είναι ίση με αυτή του δικτύου.

Για τον λόγο αυτό δημιουργείτε ένας άλλος ελεγκτής ο οποίος κάθε φορά ελέγχει την γωνία δ_3 μεταξύ των τάσεων V_3 και V_s , όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 5.4.2. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να ελέγχει η ισχύς μεταξύ του δικτύου και της Α/Γ έτσι ώστε να είναι ίση.



Εικόνα 5.4.2 Η γωνία της τάσης δ_3

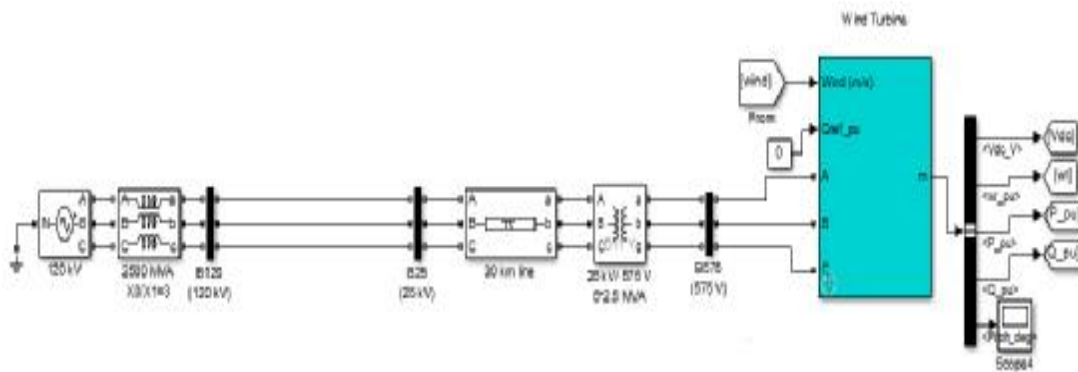


Εικόνα 5.4.2.1 Έλεγχος του inverter

Στο επόμενο κεφάλαιο χρησιμοποιώντας τον εξομοιωτή του Mat lab θα προσομοιώσουμε την συμπεριφορά μια ανεμογεννήτριας σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας.

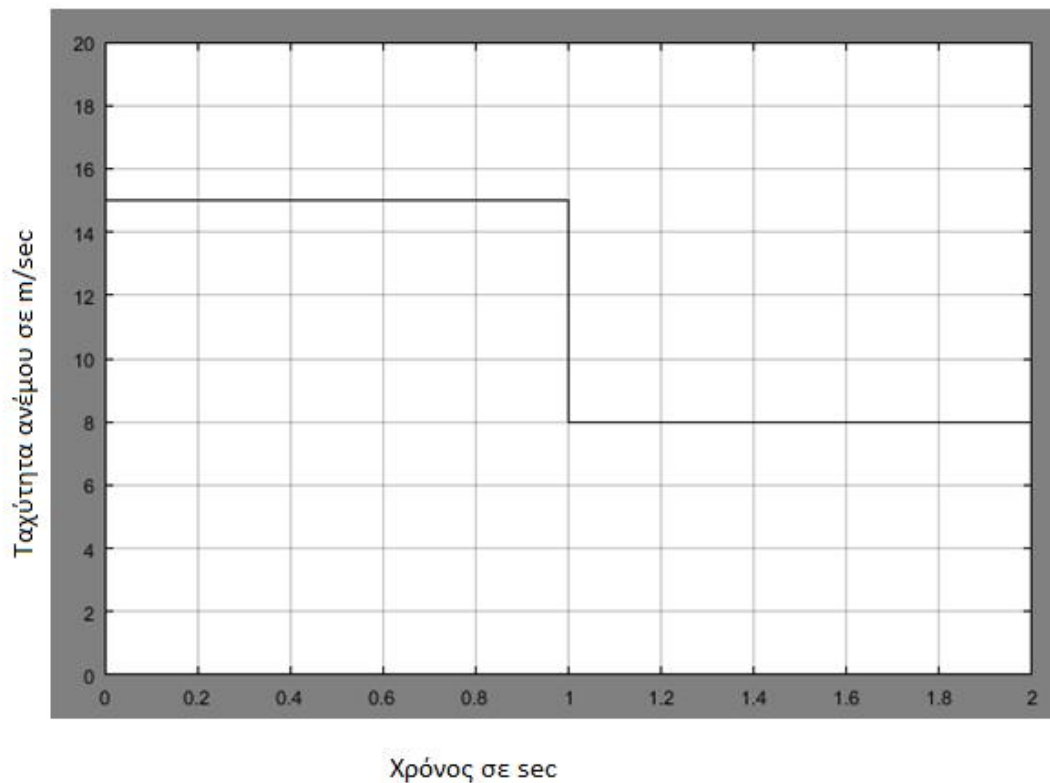
Κεφάλαιο 6 Προσομοίωση συνθηκών λειτουργίας της Α/Γ

Στην ενότητα αυτή θα γίνει προσομοίωση του συστήματος για διαφορετικές ταχύτητες ανέμου αλλά με σταθερό φορτίο.

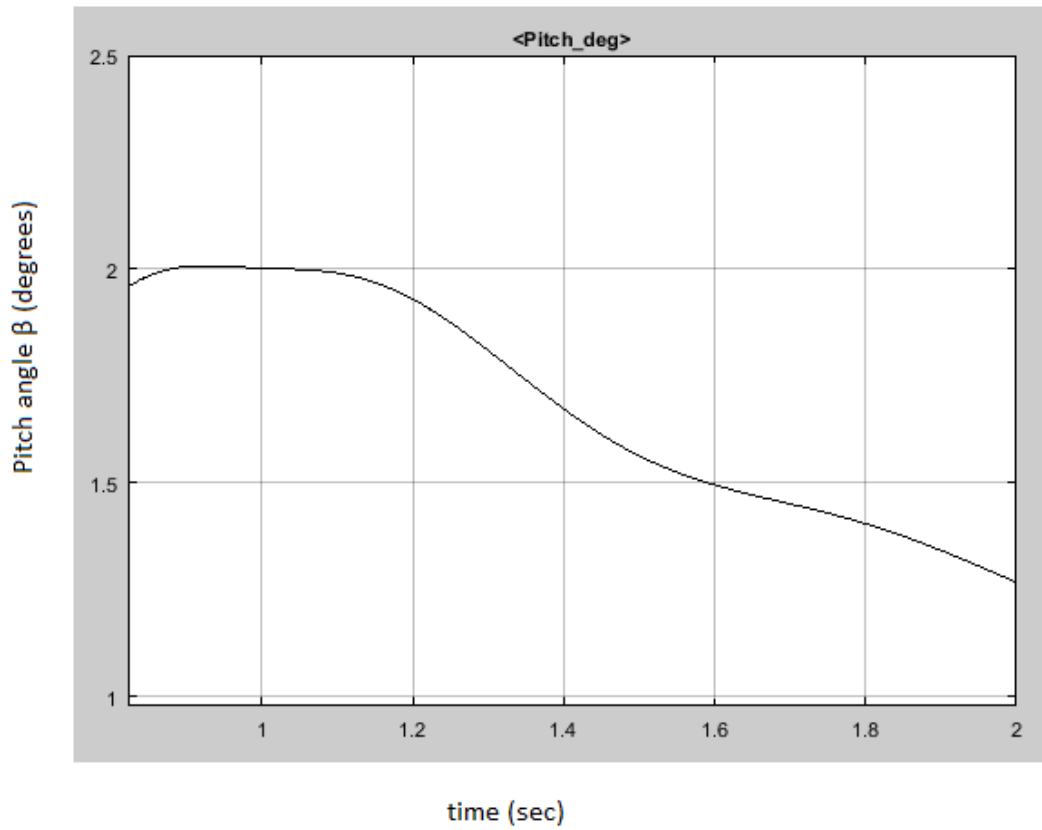


Εικόνα 6.1 Σύστημα προσομοίωσης

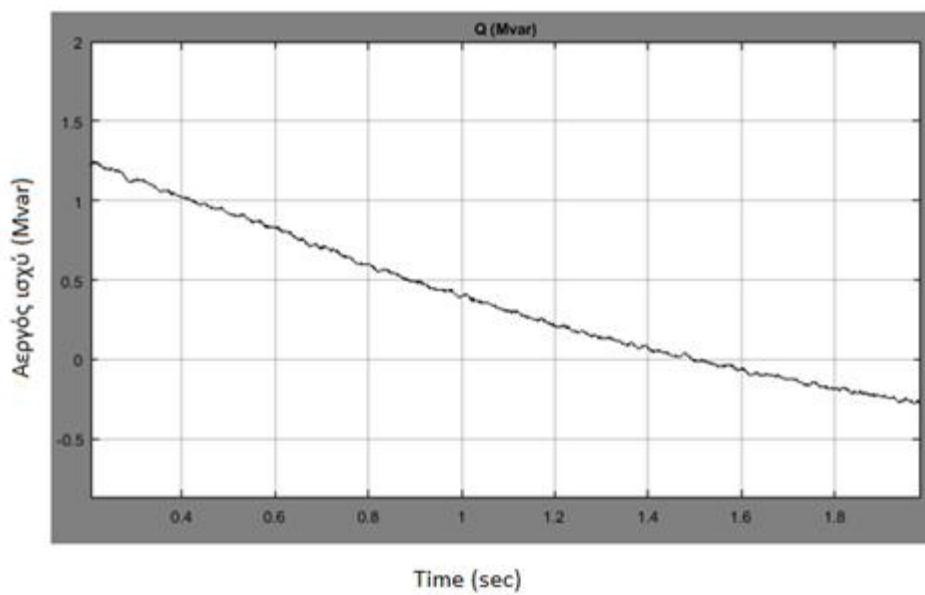
6.1 Προσομοίωση για ταχύτητα ανέμου από 15m/sec σε 8 m/sec



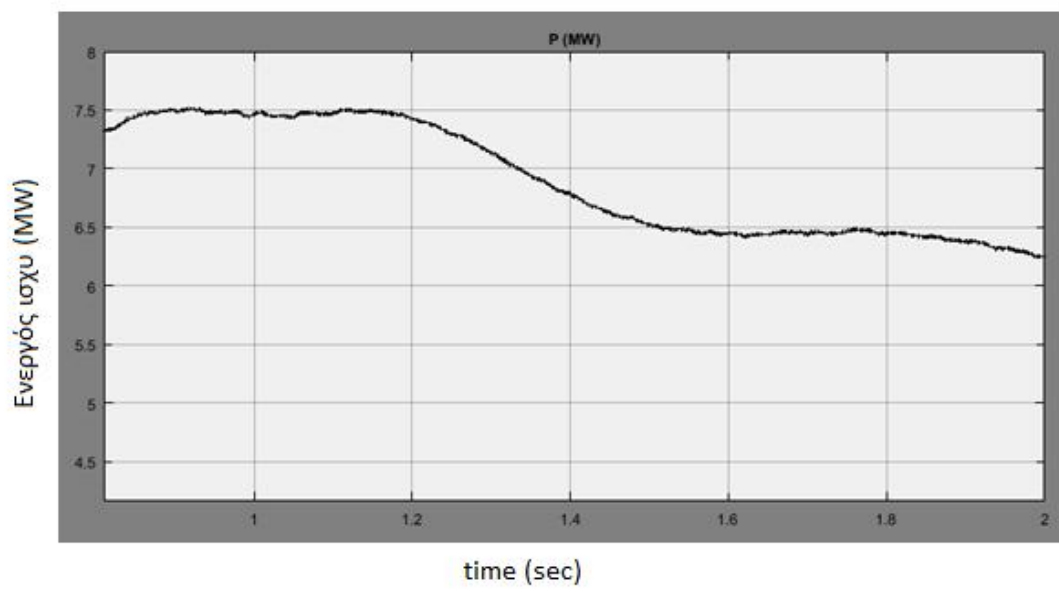
Σχήμα 6.1 Ταχύτητα του άνεμου(m/sec)



Σχήμα 6.1.1 Κλίση πτερυγίων

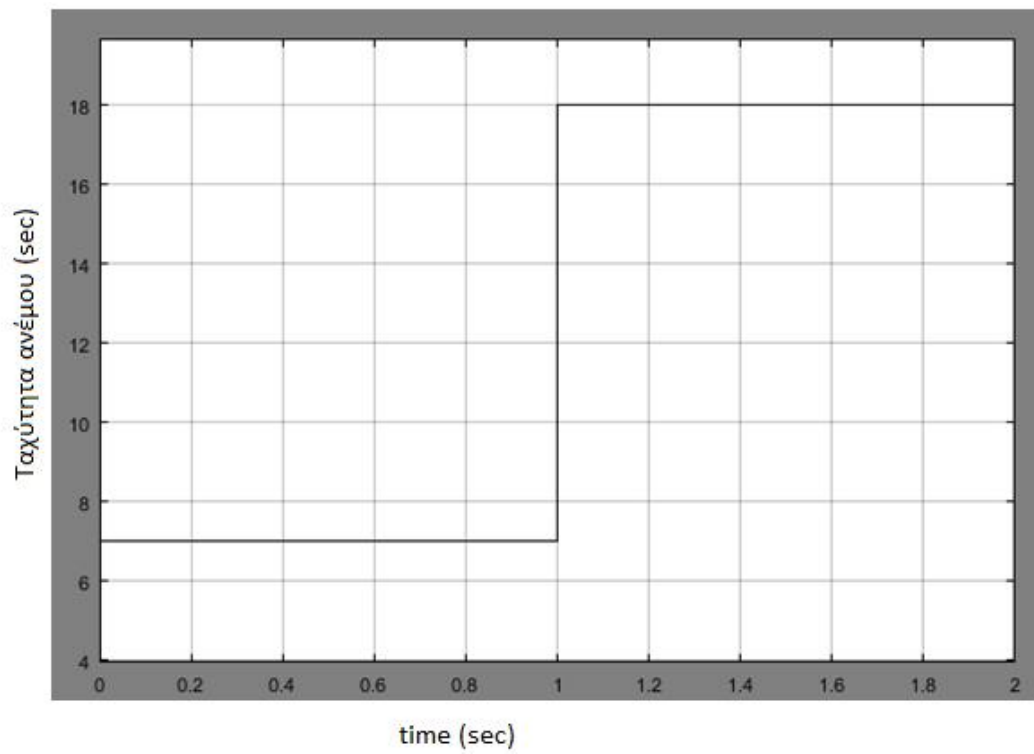


Σχήμα 6.1.2 Άεργος ισχύ Q

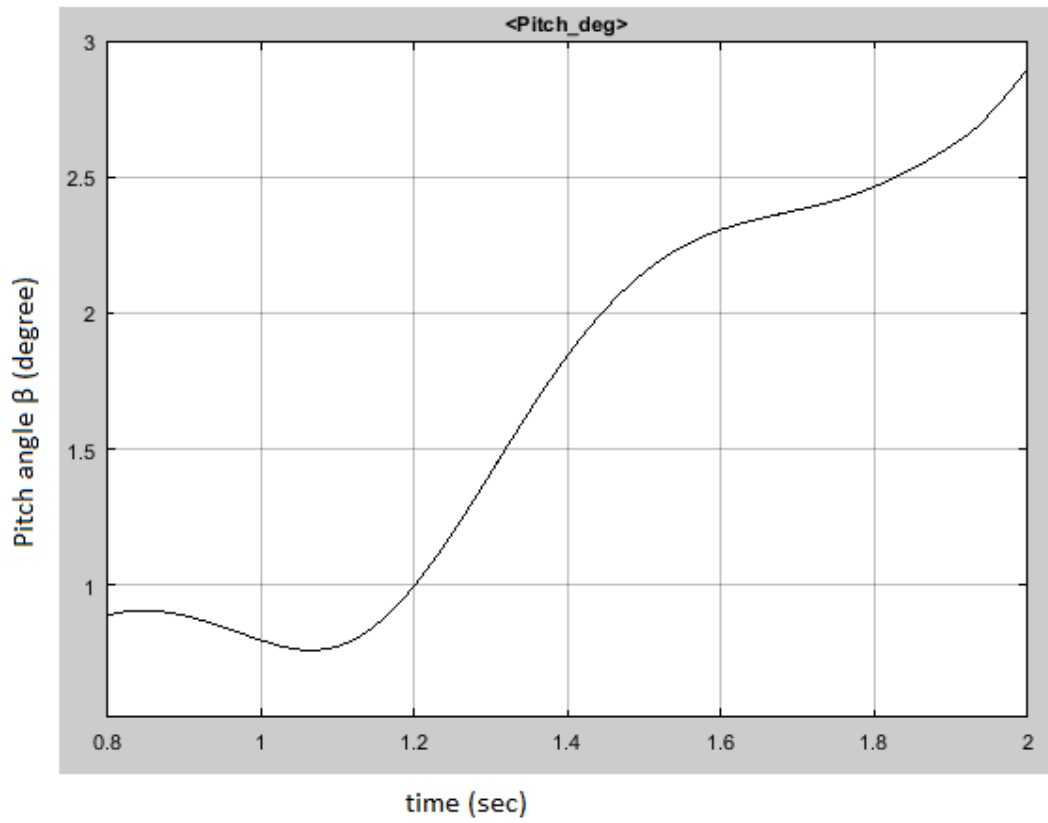


Σχήμα 6.1.3 Ενεργός ισχύ (MW)

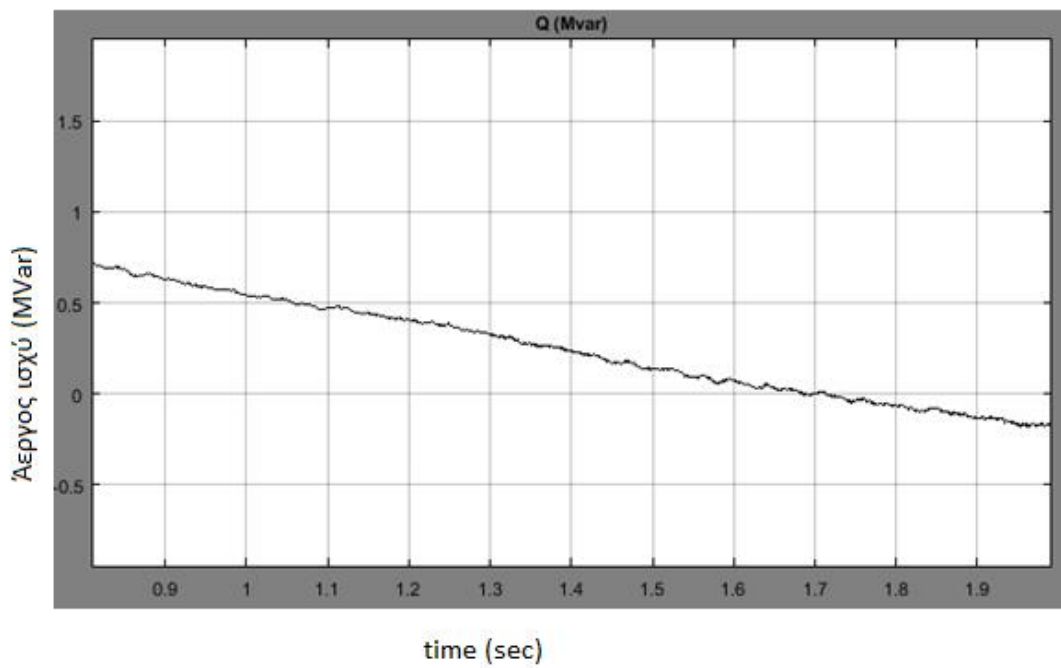
6.2 Προσομοίωση σε ταχύτητα ανέμου 7 έως 18 m/sec



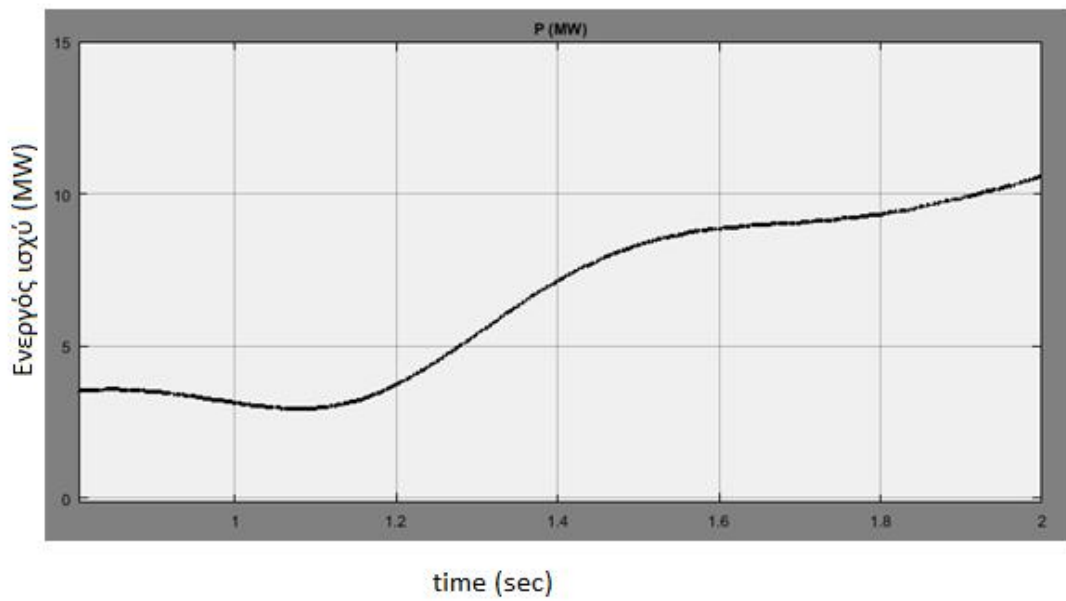
Σχήμα 6.2 Ταχύτητα ανέμου (m/sec)



Σχήμα 6.2.1 Κλίση πτερυγίων

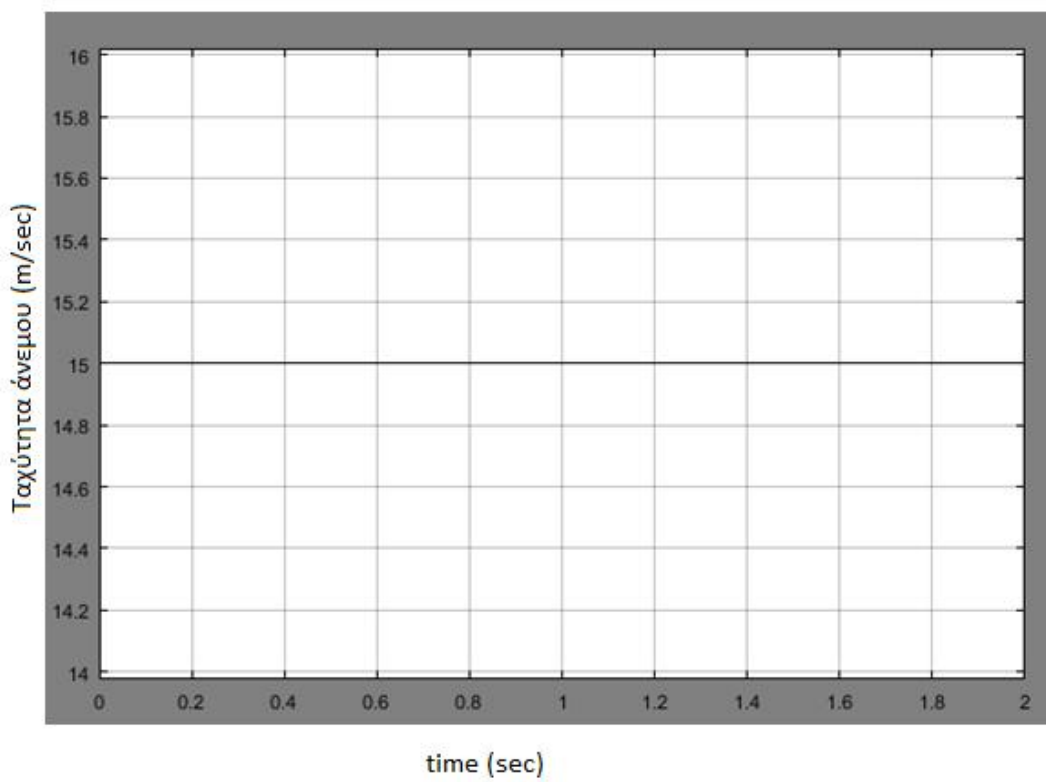


Σχήμα 6.2.2 Άεργος ισχύ (Mvar)

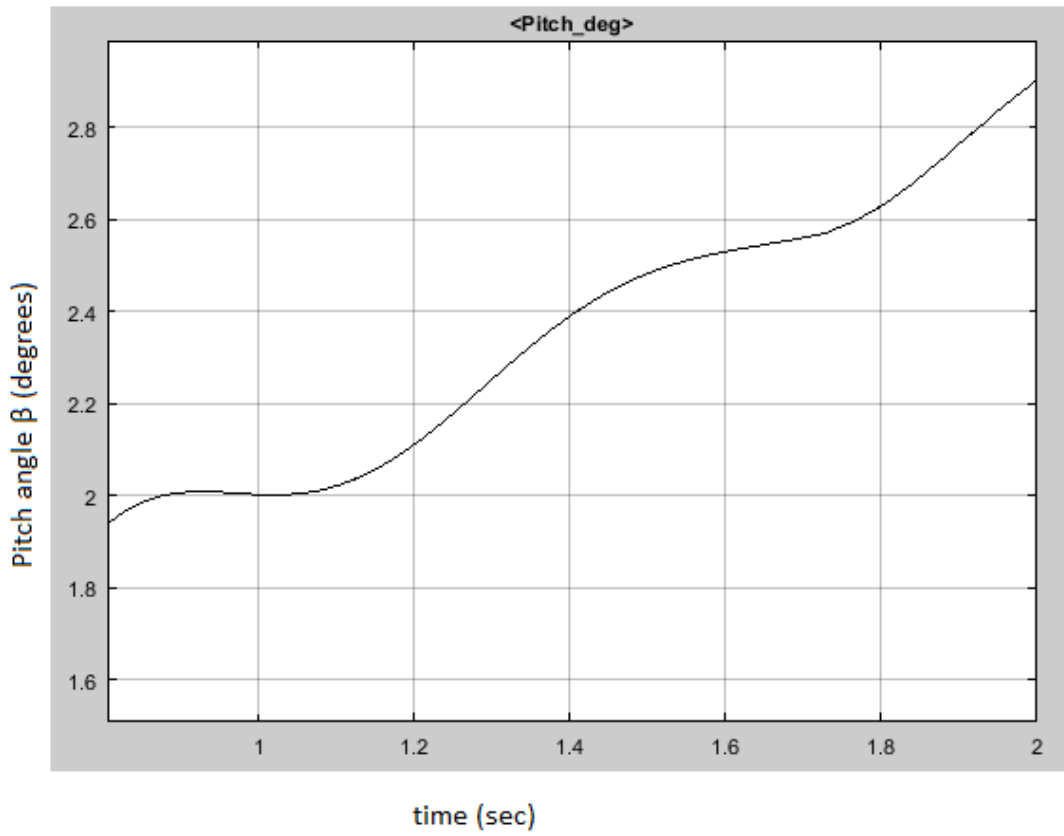


Σχήμα 6.2.3 Ενεργός ισχύ (MW)

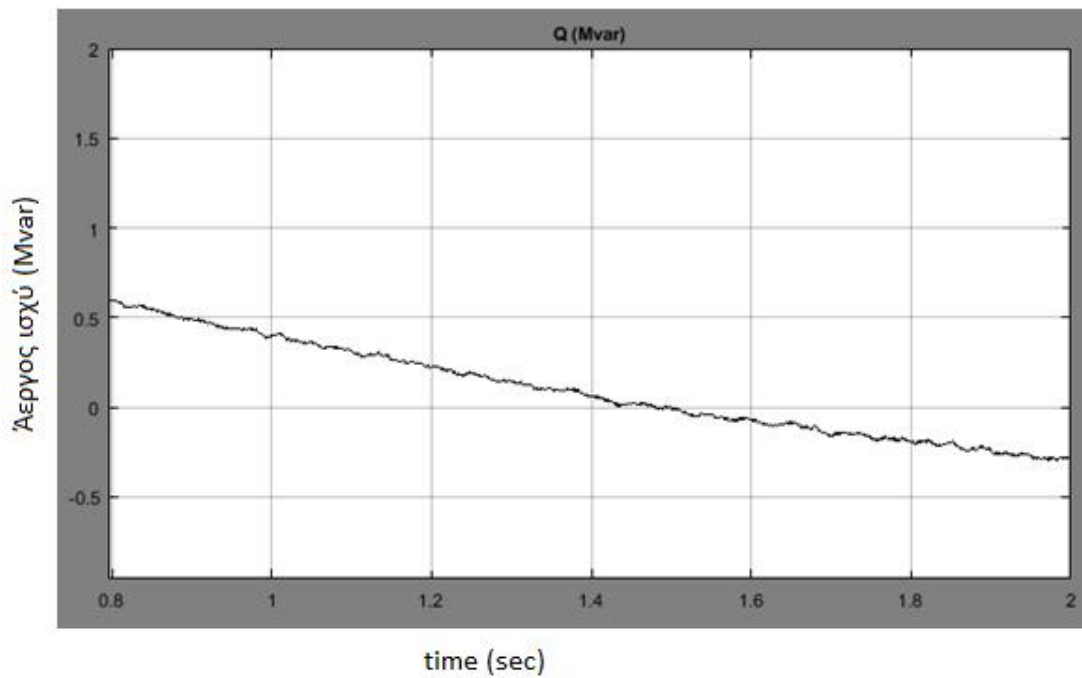
6.3 Προσομοίωση για σταθερή ταχύτητα ανέμου 15m/sec



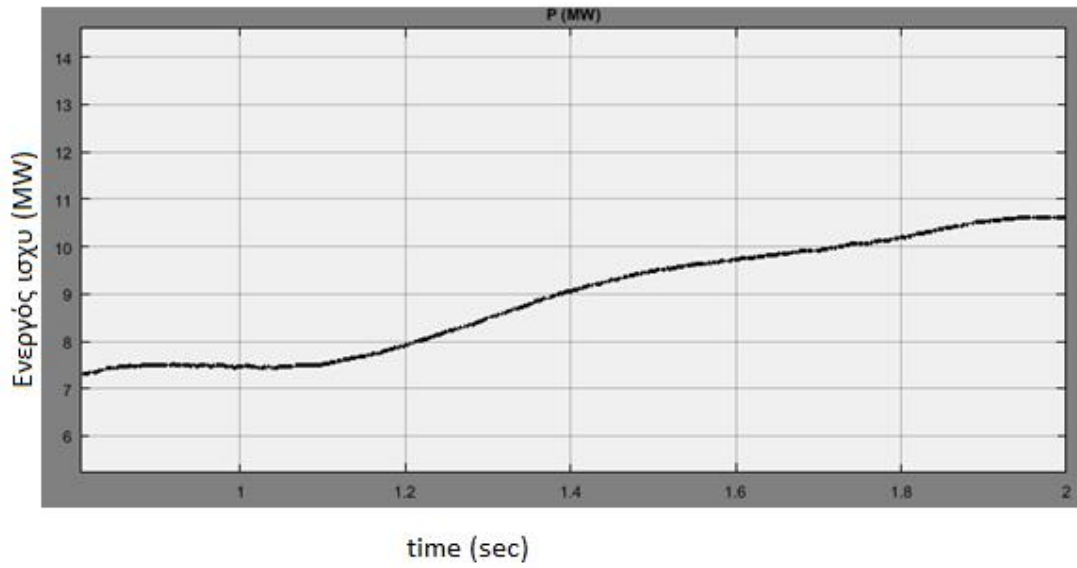
Σχήμα 6.3 Ταχύτητα ανέμου (m/sec)



Σχήμα 6.3.1 Κλίση πτερυγίων (degrees)

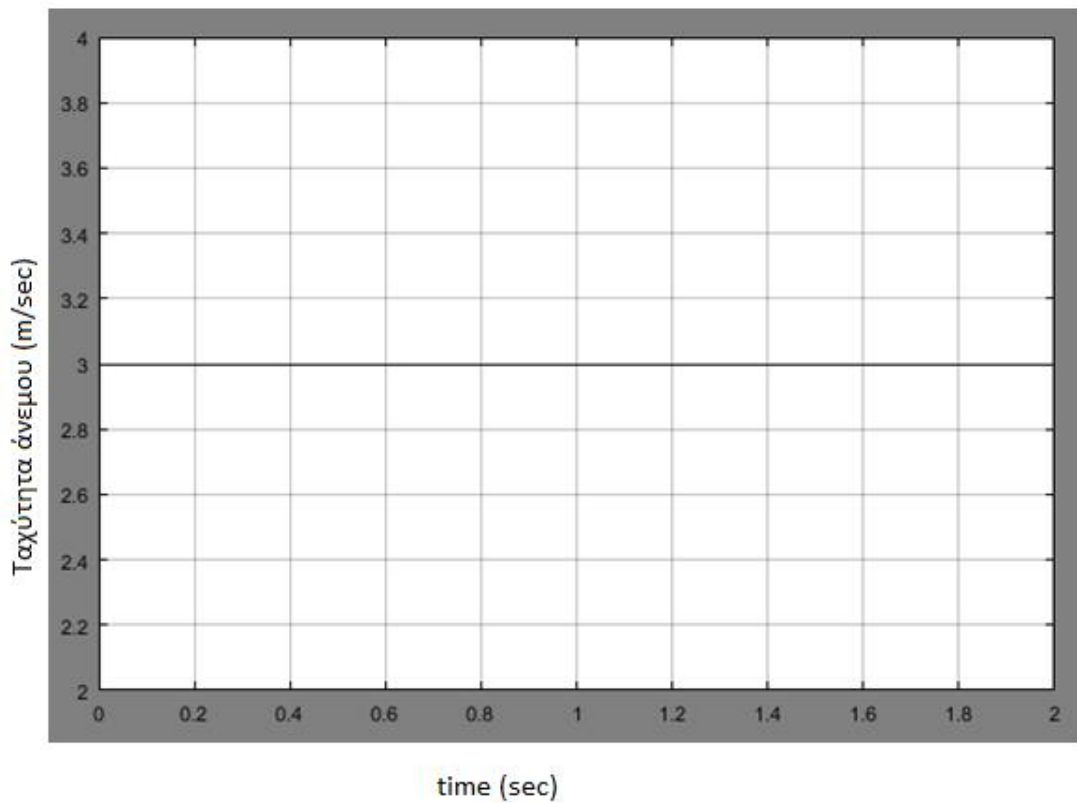


Σχήμα 6.3.2 Άεργος ισχύ (Mvar)

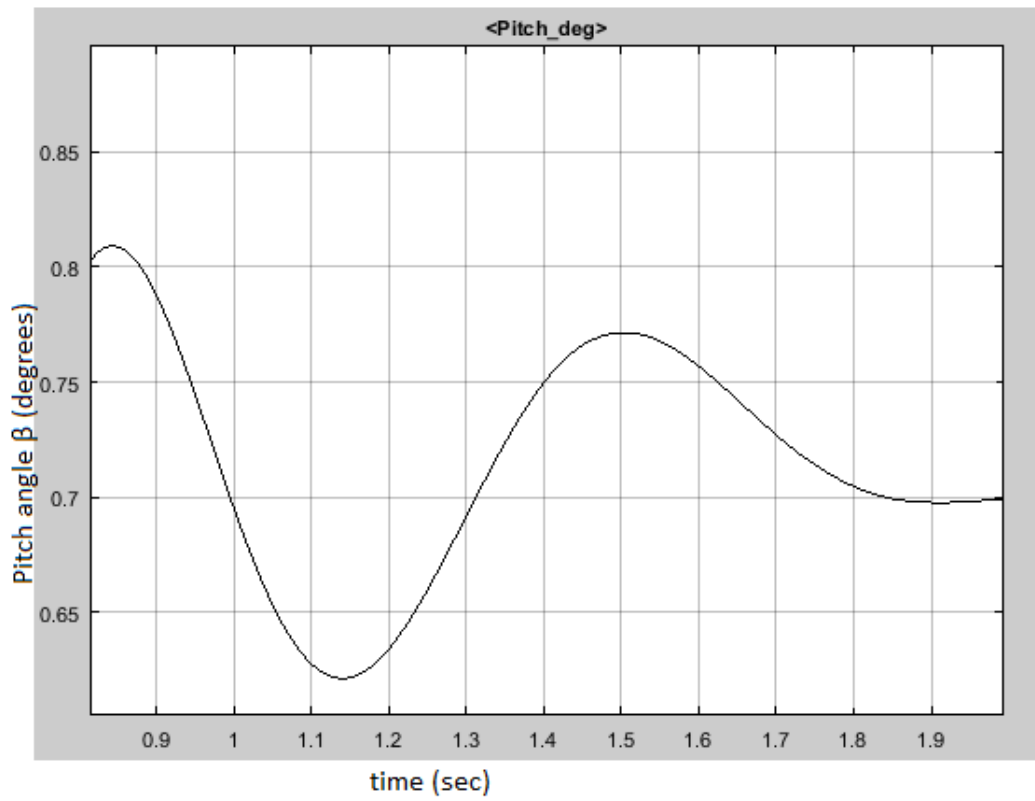


Σχήμα 6.3.3 Ενεργός ισχύ (MW)

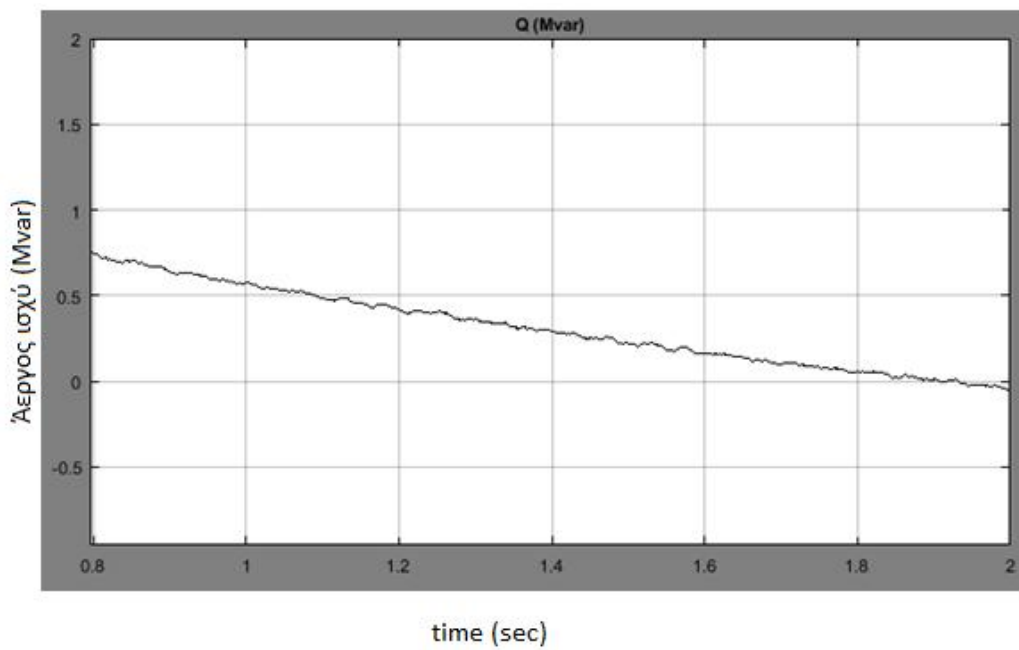
6.4 Προσομοίωση σε σταθερή ταχύτητα άνεμου 3m/sec



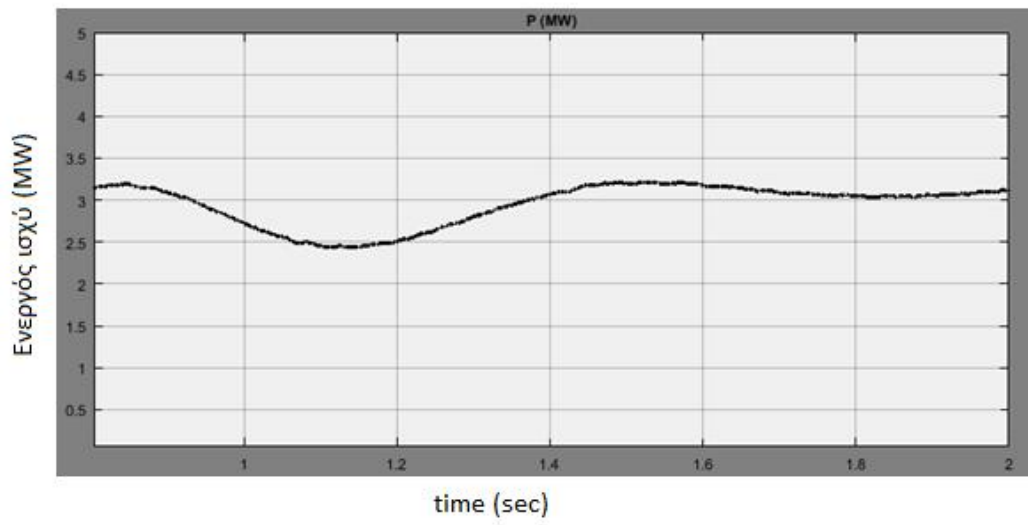
Σχήμα 6.4 Ταχύτητα άνεμου (m/sec)



Σχήμα 6.4.1 Κλίση πτερυγίων



Σχήμα 6.4.2 Άεργος ισχύ (Mvar)



Σχήμα 6.4.3 Ενεργός ισχύ (MW)

Αναφορές

http://www.cres.gr/energy_saving/biomixania/paragogi_energeias_kypseles_kaysimou.htm(1)

<http://www.ncf-energy.com>(2)

http://www.zeroenergybuildings.org/2012/03/blog-post_17.html(3)

http://www.zeroenergybuildings.org/2012/03/blog-post_17.html(4)

http://www.zeroenergybuildings.org/2012/03/blog-post_17.html(5)

http://www.zeroenergybuildings.org/2012/03/blog-post_17.html(6)

http://www.zeroenergybuildings.org/2012/03/blog-post_17.html(7)

<https://www.agroenergy.gr>

EMBEDDED WIND TURBINE GENERATION TO WEAK DISTRIBUTION AC GRID,
N.Schinas, N.A Vovos, G.B Giannakopoulos