



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

**"Αυτοματισμός σε κινητήρα ανεμογεννήτριας-ανάλυση  
λειτουργίας φρένου και υπέρτασης"**



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ:

ΙΩΑΝΝΟΥ ΑΓΓΕΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Δρ.ΜΙΧΑΗΛ ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ

**Αθήνα 2018**

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο / Η κάτωθι υπογεγραμμένος / η .....Ιωάννου Άγγελος.....,  
του .....Ιωάννη....., με αριθμό μητρώου .....43363..... φοιτητής /  
τρια του Τμήματος **Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής**, του Πανεπιστημίου  
Δυτικής Αττικής πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω  
ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο  
του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα  
και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται  
αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη  
αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά  
δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της  
Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της  
πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το  
Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του  
Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του  
ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και  
διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να  
ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία  
ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5  
του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Ο Δηλών

Ημερομηνία

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στον αυτόματο έλεγχο σε κινητήρα ανεμογεννήτριας (Wind Turbine Automation). Στο πρώτο κεφάλαιο παρατίθεται μια εισαγωγή για την αιολική ενέργεια ,την οποία ακολουθεί η ιστορική εξέλιξη των ανεμογεννητριών από την αρχαιότητα έως και την σύγχρονη εποχή αλλά και οι σημαντικότερες εφαρμογές τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο έχουμε, πρώτον, την αναλυτική παρουσίαση των δομικών στοιχείων της ανεμογεννήτριας στα μηχανικά, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά της μέρη και δεύτερον την ανάλυση της απόδοσης τους σε τύπους και γραφήματα αλλά και θεωρητικά. Στο τρίτο κεφάλαιο που αποτελεί και το κυρίως μέρος της εργασίας παρουσιάζεται ο αυτοματισμός στις ανεμογεννήτριες όπου θα δοθεί έμφαση στην ανάλυση της λειτουργίας του φρένου και της υπέρτασης μιας ανεμογεννήτριας σε κυκλώματα ,τροφοδοσία ,αισθητήρια και επενέργεια αυτών. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο θα συναντήσουμε τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της παραπάνω διεργασίας αλλά και τις μελλοντικές προδιαγραφές γύρω από τον αυτοματισμό στις ανεμογεννήτριες. Έπειτα ακολουθεί βιβλιογραφία.

## Περιεχόμενα

<b>Κεφάλαιο 1</b> .....σελ 4	
➤ 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	σελ 4
➤ 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ..	σελ 5
➤ 1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	σελ 8
<b>Κεφάλαιο 2</b> .....σελ 10	
➤ 2.1 ΜΕΡΗ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΜΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ..	σελ 10
➤ 2.1.1 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	σελ 10
➤ 2.1.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	σελ 15
➤ 2.1.3 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	σελ 16
➤ 2.2 ΑΠΟΔΟΣΗ.....	σελ 18
<b>Κεφάλαιο 3</b> .....σελ 26	
➤ 3.1 ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ.....	σελ 26
➤ 3.1.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΠΕΡΤΑΣΗΣ.....	σελ 26
➤ 3.1.1.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ-ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ.....	σελ 36
➤ 3.1.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΡΕΝΟΥ.....	σελ 40
➤ 3.1.2.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ-ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ.....	σελ 54
<b>Κεφάλαιο 4</b> .....σελ 57	
➤ 4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	σελ 57
➤ 4.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	σελ 58
<b>Βιβλιογραφία</b> .....σελ 61	

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου από τον άνθρωπο αποτελεί μία πρακτική που βρίσκει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι τα ιστιοφόρα και οι ανεμόμυλοι. Σήμερα, για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε τις ανεμογεννήτριες (Α/Γ). →[1]

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 της πτερωτής, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. → [1]

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, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή. →[1]

Η χώρα μας διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό, σε αρκετές περιοχές της Κρήτης, της Πελοποννήσου, της Ευβοίας και φυσικά στα νησιά του Αιγαίου. Η αιολική ενέργεια είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η εκμετάλλευση του υψηλού της δυναμικού στη χώρα μας, σε συνδυασμό με τη ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών που ενσωματώνεται στις σύγχρονες αποδοτικές ανεμογεννήτριες, έχει τεράστια σημασία για τη βιώσιμη ανάπτυξη, την εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. → [1]



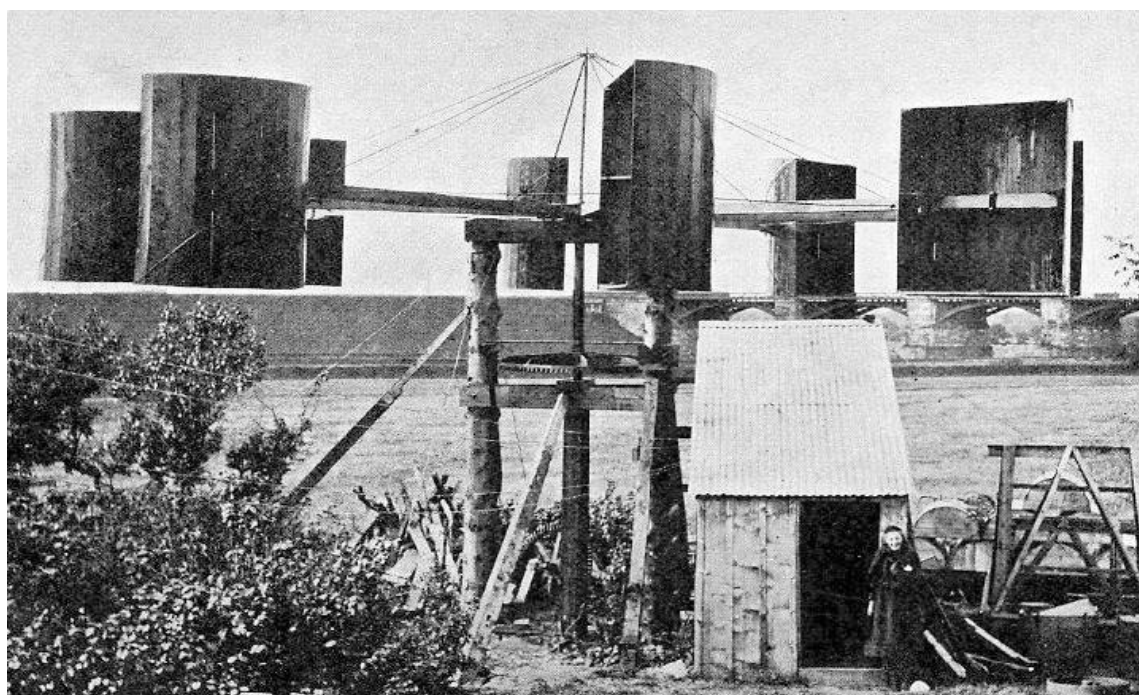
Εικόνα 1.1 →[2]

## 1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

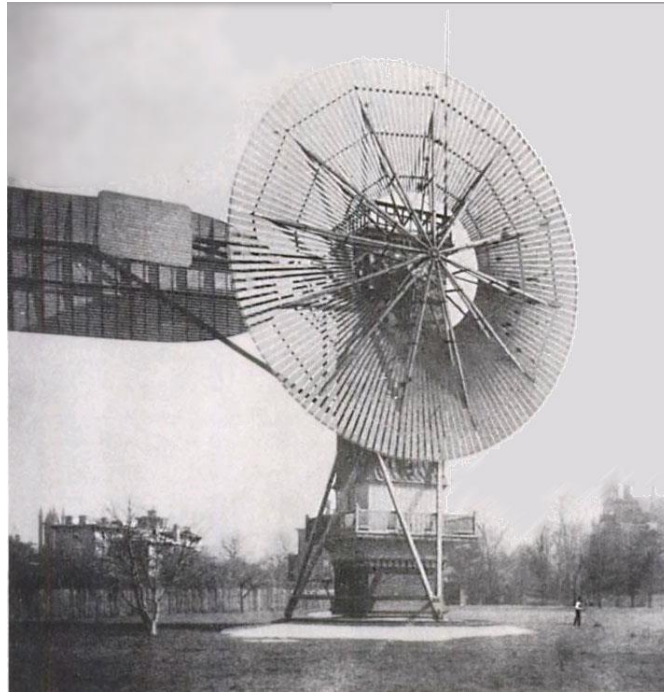
Η **ανεμογεννήτρια** είναι μια αιολική μηχανή που μετατρέπει τον άνεμο κινητική σε αιολική ενέργεια. Η αιολική ενέργεια μάλλον χρησιμοποιούνταν στην Περσία μεταξύ το 900-500 μ.Χ. Η αιολόσφαιρα του Ήρωνα αποτελεί μία από τις πρώτες κατασκευές που αξιοποιούσαν την αιολική ενέργεια. Ωστόσο, η πρώτη γνωστή κατασκευή κατασκευάστηκε στο Σιστάν, στην ανατολική επαρχία του Ιράν, τον 7ο αιώνα. Τα πανεμόνια ήταν μηχανές κατακόρυφου άξονα, που διαθέτανε 6-12 ημικυλινδρικά περύγια. Χρησιμοποιήθηκαν για το άλεσμα του σιταριού ή για την μεταφορά νερού, καθώς και στην παραγωγή ζαχαροκάλαμου. →[3]

Η αιολική ενέργεια εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην Ευρώπη στη διάρκεια του Μεσαίωνα. Τα πρώτα ιστορικά στοιχεία της χρήσης της φαίνονται στην Αγγλία, κατά τον 11ο ή 12ο αιώνα και υπάρχουν αναφορές πως Γερμανοί σταυροφόροι έμαθαν την τεχνογνωσία των ανεμογεννητριών στη Συρία περίπου το 1190. Από τον 14ο αιώνα, οι ολλανδικοί ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν για την αποστράγγιση περιοχών κοντά στο δέλτα του Ρήνου. Προηγμένες ανεμογεννήτριες έχουν περιγραφεί από τον Κροάτη εφευρέτη Φάουστο Βεράντζιο. Στο βιβλίο του "Machinae Novae" (1595) περιέγραψε ανεμογεννήτριες με κυρτά περύγια ή σχήματος V. →[3]

Η πρώτη ανεμογεννήτρια παραγωγής ρεύματος ήταν μία μηχανή φόρτισης μπαταριών που εφευρέθηκε τον Ιούλιο του 1887 από τον Σκωτσέζο ακαδημαϊκό Μπλιθ στο Μέρικικ της Σκωτίας. Λίγους μήνες αργότερα ο Αμερικανός εφευρέτης Τσαρλς Φ. Μπραας κατάφερε να κατασκευάσει την πρώτη αυτόματη ανεμογεννήτρια και, έπειτα από διαβούλευση με τους Τζάκομπ Σ.Γκίμπς και Μπρίνσλεϊ Κόουλμπερντ, καθηγητές του τοπικού πανεπιστημίου, κατάφερε να ηλεκτροδοτήσει το Κλίβελαντ. Αν και η εφεύρεση του Μπλιθ κρίθηκε ασύμφορη στο Ηνωμένο Βασίλειο, οι ανεμογεννήτριες φάνηκαν πιο αποδοτικές σε χώρες με μικρή πυκνότητα πληθυσμού. →[3]



Εικόνα 1.2(Η ανεμογεννήτρια που κατασκευάστηκε από τον Τζέιμς Μπλιθ (1891)) →[3]



Εικόνα 1.3 (Η πρώτη αυτόματη ανεμογεννήτρια κατασκευασμένη στο Κλίβελαντ το 1887 από τον Τσαρλς Φ. Μπρας. Είχε 18 μέτρα ύψος, ζύγιζε 4 τόνους και παρήγαγε 12 kW.) →[3]

Στη Δανία από το 1900, υπήρχαν περίπου 2500 ανεμόμυλοι για τα μηχανικά φορτία όπως οι αντλίες και τα ελαιοτριβεία, με την παραγωγή να εκτιμάται σε ισχύ περίπου 30 MW. Οι μεγαλύτερες μηχανές είχαν 24 μέτρα ύψος με τέσσερα πτερύγια των 23 μέτρων. Στις ΗΠΑ, από το 1908 υπήρχαν 72 ανεμογεννήτριες που παρήγαγαν από 5 KW έως 25 KW. Την περίοδο του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, κατασκευάστηκαν στις ΗΠΑ 100.000 ανεμόμυλοι το χρόνο, κυρίως για άντληση νερού. →[3]

Από τη δεκαετία του 1930, οι ανεμογεννήτριες ήταν ιδιαίτερα συνηθισμένες σε αγροκτήματα, κυρίως στις ΗΠΑ, όπου δεν είχε κατασκευαστεί ακόμα δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού. Εκείνη την περίοδο, οι τιμές του χάλυβα ήταν χαμηλές και ως εκ τούτου πολλές ανεμογεννήτριες στηρίζονταν σε χαλύβδινο σκελετό. →[3]

Ένας πρόδρομος της σύγχρονης ανεμογεννήτριας βρισκόταν στη Γιάλτα το 1931. Παρήγαγε 100 KW, είχε 30 μέτρα ύψος και συνδεόταν με ένα τοπικό δίκτυο διανομής 6.3 KV. Έχει αναφερθεί πως η ετήσια ικανότητα παραγωγής έφτανε το 32%, ποσοστό που δεν διαφέρει από τις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. →[3]

Το φθινόπωρο του 1941, η πρώτη ανεμογεννήτρια MW βρισκόταν στο Βερμόντ. Λειτουργήσε μόνο για 1.100 ώρες πριν υποστεί σοβαρή βλάβη. Δεν επισκευάστηκε ποτέ, λόγω έλλειψης υλικών κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. →[3]

Η πρώτη ανεμογεννήτρια που ήταν συνδεδεμένη στο εθνικό δίκτυο λειτουργήσε το 1951 στο Ηνωμένο Βασίλειο. Κατασκευάστηκε από την εταιρεία John Brown & Company στις Ορκάδες. →[3]

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, στη Δανία ξέσπασαν διαμαρτυρίες κατά της χρήσης πυρηνικής ενέργειας. Αυτό ώθησε τη χώρα να αναπτύξουν μικροτουρμπίνες ικανότητας 22 KW. Κατά τη δεκαετία του 1980, πολλοί οργανισμοί και συνεταιρισμοί άσκησαν πίεση στην κυβέρνηση για την κατασκευή μεγαλύτερων

τουρμπίνων σε όλη τη χώρα. Στη συνέχεια, οι ακτιβιστές (κυρίως στη Γερμανία), οι νεοϊδρυθέντες κατασκευαστικές εταιρείες στην Ιαπωνία και οι επενδύσεις στις ΗΠΑ πίεσαν τις κυβερνήσεις αυτών των κρατών για την κατασκευή ανεμογεννητριών. Εταιρείες δημιουργήθηκαν στην Ινδία και στην Κίνα. Από το 2012, η δανέζικη εταιρεία Vestas θεωρείται ο μεγαλύτερος κατασκευαστής ανεμογεννητριών. →[3]



Εικόνα 1.4 (Ανεμογεννήτριες τις τελευταίες δεκαετίες) →[3]



### 1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η σημαντικότερη οικονομικά εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μίας χώρας, για την απόδοση σ' αυτό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή, μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μία συγκεκριμένη θέση με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η εφαρμογή αυτή επιτρέπει τη μαζική εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και είναι ιδιαίτερα απλή, δεδομένου ότι η σύνδεση του αιολικού πάρκου με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο γίνεται μέσω υποσταθμού, στον οποίο τοποθετούνται οι μετασχηματιστές ανυψώσεως της τάσης και τα υπόλοιπα αναγκαία συστήματα προστασίας. Κατ' αυτόν τον τρόπο δεν απαιτείται η ανάπτυξη ιδιαίτερου συστήματος διαχείρισης της παραγόμενης ενέργειας και ελέγχου του συστήματος, το οποίο προσφέρει όλη την ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για ηλεκτροπαραγωγή σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας χρήσιμης σε αντλιοστάσια, καθώς και για την παραγωγή θερμότητας. Όταν οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι μικρές, όπως σε απομονωμένες αγροτικές ή εξοχικές κατοικίες κλπ., χρησιμοποιούνται μικρές ανεμογεννήτριες συνεχούς ρεύματος, σε συνδυασμό, συνήθως, με συστοιχία συσσωρευτών για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας και χρήση της όταν επικρατούν συνθήκες άπνοιας. Στις περισσότερες εφαρμογές, η εγκατάσταση συνοδεύεται παράλληλα από νηξελογεννήτρια, η οποία εξασφαλίζει την αδιάλειπτη παροχή ρεύματος. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι εφαρμογές εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας και ειδικότερα, η επιλογή του χώρου εγκατάστασης των ανεμογεννητριών πρέπει να γίνεται με προσοχή ώστε να μην διαταράσσεται, καθ' οιονδήποτε τρόπο, η ποιότητα του περιβάλλοντος της ευρύτερης περιοχής. Προβλήματα όπως αυτό του θορύβου σήμερα έχουν ουσιαστικά αντιμετωπισθεί, δεδομένου ότι, με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια, έχει καταστεί πρακτικά αθόρυβη η λειτουργία των ανεμογεννητριών. Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί ότι, ο σχεδιασμός των αιολικών πάρκων γίνεται πλέον με τρόπο τέτοιο που να επιτυγχάνεται η κατά το δυνατόν αρμονικότερη συνύπαρξη εγκατάστασης και τοπίου. →[4]



Εικόνα 1.5 →[5]

Είναι δυνατή πλέον η κατασκευή αιολικών πάρκων εκτός από την στεριά και υπεράκτια. Αυτή η μορφή της ενέργειας θεωρείται πολλά υποσχόμενη για το μέλλον ειδικά για χώρες με μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα όπου μειώνεται η πιθανότητα εύρεσης γης για δημιουργία αιολικού πάρκου. Παρά κάποια προφανή μειονεκτήματα που παρουσιάζει ο συγκεκριμένος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως είναι δυσκολία κατασκευής πύργων ανεμογεννητριών σε μεγάλα βάθη, το αυξημένο κόστος κατασκευής και συντήρησης υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα που κάνουν την υπεράκτια αιολική ενέργεια μια πολύ καλή λύση για το μέλλον. →[12]



Εικόνα 1.6(Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο) →[13]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

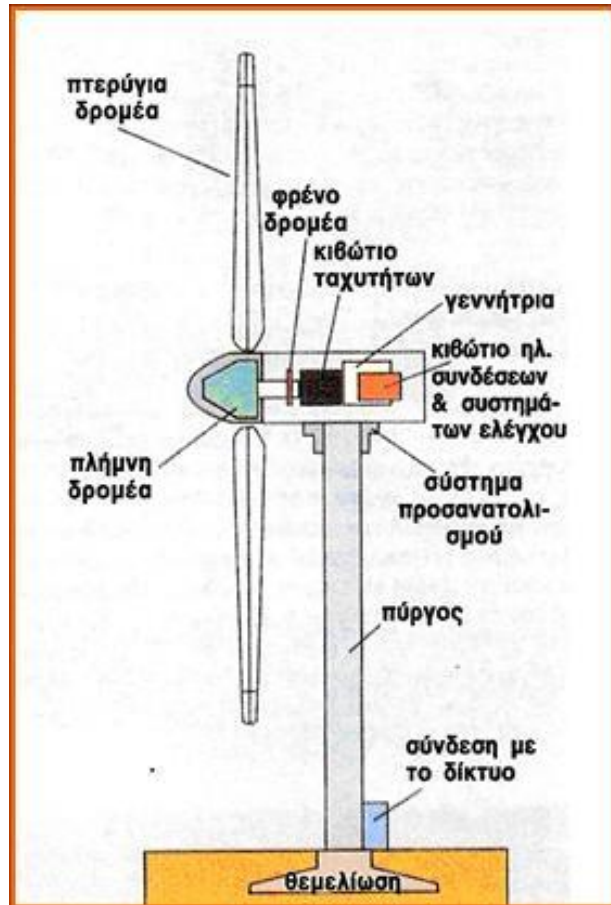
### 2.1 ΜΕΡΗ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΜΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

#### ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

Θα παρουσιαστούν τα δομικά μέρη μίας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα. Αυτή αποτελείται από 2 με 3 πτερύγια συνήθως και από τα παρακάτω μέρη:

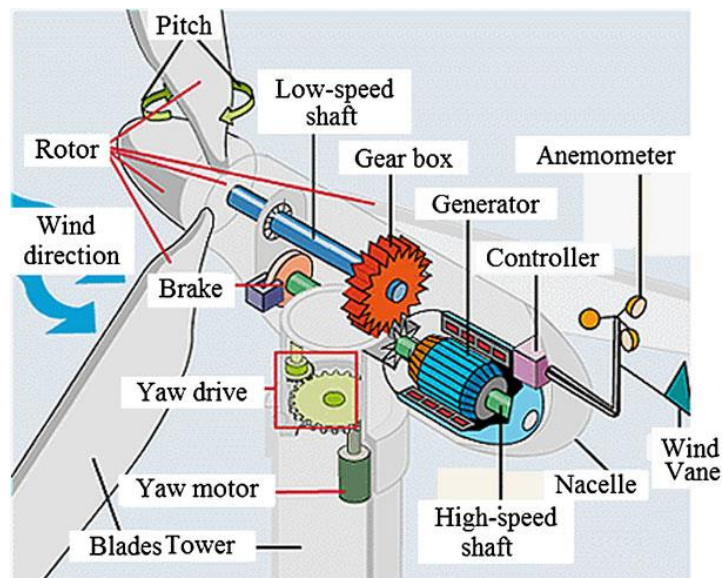
- i.** Το δρομέα(ρότορας) που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήμνη είτε σταθερά είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα τους μεταβάλλοντας το βήμα. →[4]
- ii.** Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο 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. →[4]
- iii.** 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. →[4]
- iv.** Το σύστημα προσανατολισμού, αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου. →[4]
- v.** Τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση . Ο πύργος είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα. →[4]
- vi.** 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. →[4]
- vii.** Την άτρακτο μιας αιολικής μηχανής η οποία είναι το στοιχείο που μοιάζει με κουτί- πλαίσιο, το οποίο κάθεται πάνω από τον πύργο και είναι συνδεδεμένο με τον ρότορα. Η άτρακτος περιέχει την ποσότητα των περίπου 8.000 συνιστωσών της αιολικής μηχανής όπως το κιβώτιο ταχυτήτων, την γεννήτρια, κύριο πλαίσιο κ.λπ. δηλαδή όλο τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Το υλικό κατασκευής της ατράκτου είναι από ανθρακονήματα(fiberglass) και προστατεύει τα εσωτερικά στοιχεία από το περιβάλλον. Μερικές άτρακτοι είναι τόσο μεγάλες ώστε ακόμη και ένα ελικόπτερο μπορεί να προσγειωθεί πάνω τους. →[7]

Παρακάτω ακολουθεί εικόνα της ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα:



Εικόνα 2.1 (Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα) →[6]

Αναλυτικά η εικόνα στο εσωτερικό της ατράκτου ή του κουβούκλιου είναι αυτή που ακολουθεί :



Εικόνα 2.2 Κουβούκλιο και κύρια μέρη ανεμογεννήτριας →[10]

Τα κομμάτια της ανεμογεννήτριας που εμφανίζονται στην εικόνα 2.2 είναι τα εξής:

- a) **Κουβούκλιο(Nacelle):** Το κουβούκλιο περιέχει όλα τα βασικά στοιχεία της ανεμογεννήτριας, συμπεριλαμβανομένου του κιβωτίου ταχυτήτων, και της ηλεκτρικής γεννήτριας. Πρόσβαση στο εσωτερικό της ανεμογεννήτριας επιτρέπεται μέσω του πύργου. Αριστερά από το κουβούκλιο φαίνονται στην εικόνα 2.2 τα κινούμενα μέρη της ανεμογεννήτριας (τα πτερύγια και η κεφαλή). →[4]
- b) **Πτερύγια(Blades):** Τα πτερύγια ‘συλλαμβάνουν’ τον αέρα και μεταφέρουν την ισχύ του στην κεφαλή του ρότορα. Σε μια μοντέρνα ανεμογεννήτρια 1000kW κάθε πτερύγιο έχει μήκος 27 m και είναι σχεδιασμένο περίπου όπως ένα φτερό αεροπλάνου. →[4]
- c) **Κεφαλή:** Η κεφαλή του ρότορα είναι συνδεδεμένη με το διαφορικό χαμηλής ταχύτητας της ανεμογεννήτριας. →[4]
- d) **Διαφορικό χαμηλών ταχυτήτων(Low speed shaft):** Το διαφορικό χαμηλών ταχυτήτων συνδέει την κεφαλή του ρότορα με το κιβώτιο ταχυτήτων. Σε ανεμογεννήτρια 1000 kW ο ρότορας περιστρέφεται σχετικά αργά, περίπου 19 με 30 περιστροφές ανά λεπτό (rpm). Το διαφορικό περιέχει σωλήνες για το υδραυλικό σύστημα ώστε να μπορεί να λειτουργήσει το αεροδυναμικό φρένο. →[4]
- e) **Κιβώτιο ταχυτήτων(Gear box):** Το κιβώτιο ταχυτήτων έχει το διαφορικό χαμηλών στροφών από αριστερά και μεταφέρει την κίνηση στο διαφορικό υψηλών στροφών (από δεξιά) κάνοντάς το να περιστρέφεται με ταχύτητα 50 φορές μεγαλύτερη από αυτή του διαφορικού χαμηλών στροφών. →[4]
- f) **Διαφορικό υψηλών ταχυτήτων(High speed shaft):** Το διαφορικό υψηλών ταχυτήτων περιστρέφεται περίπου με 1500 στροφές ανά λεπτό (rpm) και οδηγεί την ηλεκτρική γεννήτρια. Το διαφορικό είναι εξοπλισμένο με ένα δισκόφρενο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Το μηχανικό φρένο χρησιμοποιείται σε περίπτωση που το αεροδυναμικό φρένο υποστεί βλάβη ή η ανεμογεννήτρια επισκευάζεται. →[4]
- g) **Ηλεκτρική γεννήτρια(Generator):** Η ηλεκτρική γεννήτρια είναι μια σύγχρονη ή μια ασύγχρονη γεννήτρια. Στις τελευταίες ανεμογεννήτριες η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς είναι μεταξύ 600 και 3000 kW. →[4]
- h) **Μηχανισμός περιστροφής(Yaw Drive):** Ο μηχανισμός περιστροφής χρησιμοποιεί ηλεκτρικές μηχανές (κινητήρας περιστροφής) για να στρέφει το κουβούκλιο απέναντι στον άνεμο. Ο μηχανισμός περιστροφής ελέγχεται από ηλεκτρονικό ελεγκτή ο οποίος αντιλαμβάνεται τη διεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιώντας τον ανεμοδείκτη. →[4]
- i) **Ηλεκτρονικός ελεγκτής(Controller):** Περιέχει ένα υπολογιστή που παρακολουθεί διαρκώς την κατάσταση της ανεμογεννήτριας και ελέγχει τον μηχανισμό περιστροφής. Σε κάθε περίπτωση επιπλοκής, π.χ. υπερθέρμανση

του κιβωτίου ταχυτήτων ή της γεννήτριας, σταματά αυτόματα την ανεμογεννήτρια και καλεί τον υπολογιστή του ελεγκτή της ανεμογεννήτριας μέσω μιας τηλεφωνικής σύνδεσης. →[4]

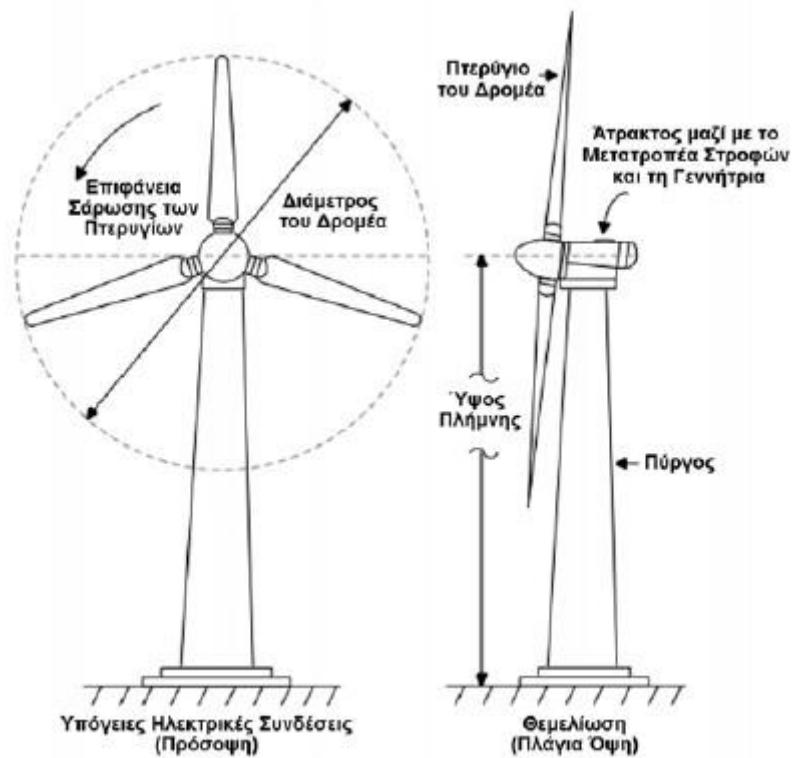
- j) **Ανεμόμετρο & ανεμοδείκτης(Anemometer):** Το ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης χρησιμοποιούνται για να μετρούν την ένταση και τη διεύθυνση του ανέμου. Τα ηλεκτρικά σήματα του ανεμόμετρου ` 15 χρησιμοποιούνται από τον ηλεκτρονικό ελεγκτή της ανεμογεννήτριας για να αρχίσει την λειτουργία της όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει μια ελάχιστη τιμή. Ο υπολογιστής σταματά τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας αυτόματα αν η ταχύτητα του ανέμου υπερβεί ένα ανώτατο όριο προκειμένου να προστατεύσει την ανεμογεννήτρια και το περιβάλλον αυτής. Τα σήματα του ανεμοδείκτη χρησιμοποιούνται από τον ηλεκτρονικό ελεγκτή της ανεμογεννήτριας για να στρέφει αυτήν απέναντι στον άνεμο, μέσω του μηχανισμού περιστροφής. →[4]
- k) **Πύργος(Tower):** Ο πύργος της ανεμογεννήτριας στηρίζει το κουβούκλιο και τα κινούμενα μέρη της. Γενικά είναι πλεονέκτημα ο πύργος να είναι ψηλός, αφού οι ταχύτητες του ανέμου αυξάνονται όσο απομακρύνεται από το έδαφος. Μια σύγχρονη ανεμογεννήτρια 1000 kW θα έχει ένα πύργο μεταξύ 50 και 80 μέτρων (το ύψος ενός κτιρίου 17 έως 27 ορόφων). →[4]
- l) **Μονάδα ψύξης:** Η μονάδα ψύξης περιέχει ένα ηλεκτρικό ανεμιστήρα που χρησιμοποιείται για να ψύχει την ηλεκτρική γεννήτρια. Επιπλέον περιέχει μια μονάδα ψύξης με λάδι η οποία χρησιμοποιείται για να ψύχει το λάδι στο κιβώτιο ταχυτήτων. Μερικές ανεμογεννήτριες έχουν υδρόψυκτες γεννήτριες. →[4]
- m) **Υδραυλικό σύστημα:** Το υδραυλικό σύστημα χρησιμοποιείται για να επαναφέρει τα αεροδυναμικά φρένα της ανεμογεννήτριας. →[4]
- n) **Φρένο(Break) :** Ένας δίσκος φρένου, ο οποίος μπορεί να εφαρμοστεί κατά τρόπο μηχανικό, ηλεκτρικό ή υδραυλικό, ώστε να σταματά ο ρότορας (ηλεκτρικός κινητήρας) σε περιπτώσεις επείγουσας ανάγκης. →[8]



Εικόνα 2.3 (Κουβούκλιο ανεμογεννήτριας της SIEMENS) →[9]



Εικόνα 2.4 Ανεμογεννήτρια με 3 πτερύγια



Εικόνα 2.5(Σχηματική αναπαράσταση ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα)→[11]

## 2.1.2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Το σύστημα ελέγχου συνίσταται από πλήθος τοποθετημένων μικροελεγκτών στη ανεμογεννήτρια. Οι πολλαπλοί μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται για καθολική παρακολούθηση και έλεγχο του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των ρυθμίσεων ισχύος και βήματος, την εφαρμογή πέδησης στον κύριο άξονα και το σύστημα προσανεμισμού, την εφαρμογή στους κινητήρες του συστήματος προσανεμισμού και των αντλιών και τέλος στον έλεγχο των συνδέσεων της γεννήτριας. Το σύστημα ελέγχου μπορεί να λειτουργεί ειδικά αντίζεως συνθήκες, όπως σε θερμοκρασίες τα μεταξύ  $-25$  και  $+70^{\circ}\text{C}$ , και υγρασία από  $0$  έως  $100\%$  ε συμυκνωμένη ατμόσφαιρα. →[16]

Η κύρια μονάδα εξεργασίας επικοινωνεί με τους μικροελεγκτές, οι οποίοι είναι κατανεμημένοι στα διάφορα υποσυστήματα της ανεμογεννήτριας. Το σύστημα ελέγχου συλλέγει και καταγράφει στατιστικές πληροφορίες σχετικές με την απόδοση της ανεμογεννήτριας, καταγραφή αστοχιών, για αναλύσεις απόδοσης και αναγνώσεις σφαλμάτων. →[16]

Συνήθως προσφέρει δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων (μέσω interface) από το χειριστή, και άμεσης επικοινωνίας με τον κυρίως μικροεπεξεργαστή. Μπορεί να υπάρχει πρόβλεψη και για φορητό ασύρματο σύστημα επικοινωνίας, και άλλη έξοδος επικοινωνίας για από μακράν εποπτικό έλεγχο και απόκτηση δεδομένων (SCADA). Το σύστημα ελέγχου ενεργοποιεί έναν εκκινητή χαμηλής τάσεως ο οποίος φέρει βαθμιαία την ασύγχρονη γεννήτρια σε γραμμή με το δίκτυο. Αυτός ο εκκινητής χρησιμοποιεί ανορθωτές υψηλής ισχύος στερεάς καταστάσεως SCR οι οποίοι εξασφαλίζουν υψηλή απόδοση, και χαμηλή ροπή για την κύρια σύνδεση της γεννήτριας. →[16]

Το υποσύστημα για τη ρύθμιση του μεταβαλλόμενου βήματος και της ισχύος επικοινωνεί με τον κυρίως ελεγκτή μέσω μιας σειριακής Θύρας υψηλής ταχύτητας, φροντίζοντας για αναλογική Θέση πραγματικού χρόνου και για τη ρύθμιση της ισχύος εξόδου της ανεμογεννήτριας. Τέλος, ο ελεγκτής έχει διάφορους τύπους λειτουργίας, όπως Αυτόματος, Αναμονής, Διακοπής, Διακοπής Επείγουσας Ανάγκης, που μπορούν να προσδιορίζονται από το χειριστή, τον ίδιο τον ελεγκτή, ή μέσα από τη σύνδεση SCADA. →[16]



### 2.1.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η μεταβλητή τάση και η μεταβλητή συχνότητα που παράγεται κατά την κίνηση του ρότορα μετατρέπεται σε DC από ανορθωτές. Στη συνέχεια αυξάνεται με ένα chopper (μετασχηματιστής), και μέσω του αντιστροφέα μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα AC και έτσι προσαρμόζεται η τάση της ανεμογεννήτριας με την τάση του δικτύου. →[16]

Η επιλογή του τρόπου σύνδεσης ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μια ανεμογεννήτρια στο δίκτυο αποτελεί αντικείμενο τεχνικοοικονομικής εξέτασης, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κεφαλαίου των έργων ενίσχυσης και επέκτασης του δικτύου και αφετέρου τις απώλειες ενέργειας κάθε τρόπου διασύνδεσης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, αλλά και άλλους παράγοντες (χρόνος και δυνατότητα κατασκευής των έργων, χρηματοδότησής τους κλπ.). →[16]

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: →[16]

- 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

Το ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας καθώς και όλης της Ευρώπης λειτουργεί σε τριφασικό ρεύμα στη συχνότητα των 50 Hz. Η μεταφορά μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας με ελάχιστες απώλειες στο δίκτυο υψηλής τάσης πραγματοποιείται στην Ελλάδα μέσω του διασυνδεδεμένου δικτύου. Τα μεγάλα αιολικά πάρκα με ισχύ μεγαλύτερη από 10 ή 15MW, οφείλουν κανονικά να συνδεθούν ε το δίκτυο υψηλής τάσης (110 kV). Σε μερικές σπάνιες περιπτώσεις, η σύνδεση στο δίκτυο των 380 kV κρίνεται επίσης απαραίτητη. Σύνδεση στο δίκτυο υψηλής τάσης σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να σημαίνει ότι το αιολικό πάρκο θα απαιτήσει έναν νέο υποσταθμό μετασχηματιστών. →[16]

Ο τεχνικός εξοπλισμός και μαζί με αυτόν, και το κόστος της σύνδεσης στο δίκτυο καθορίζεται από τέσσερις παράγοντες: →[16]

- Απόσταση των Α/Γ από το δίκτυο
- Τάση και ικανότητα μεταφοράς του δικτύου
- Έλεγχος ισχύος και ηλεκτρικός εξοπλισμός των Α/Γ
- Τεχνικές απαιτήσεις της χρησιμότητας για τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται παράλληλα με το δίκτυο.

Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν συνήθως με ονομαστική τάση 0,4 - 0,7 kV. Για να γίνει η διασύνδεση της κάθε ανεμογεννήτριας με το δίκτυο της μέσης Τάσης της ΔΕΗ χρησιμοποιούνται υποσταθμοί Χ.Τ./Μ.Τ., οι οποίοι εγκαθίστανται με ειδικό και ανεξάρτητο χώρο στη βάση του πύργου κάθε ανεμογεννήτρια. Από τον ελεγκτή της ανεμογεννήτριας στη βάση του πύργου, συνήθως υπάρχει καλώδιο ισχύος, το οποίο συνδέει την ανεμογεννήτρια με την λευρά Χ.Τ. του υποσταθμού Χ.Τ./Μ.Τ. Το καλώδιο ισχύος Μ.Τ. , δια μέσου σωλήνων PVC, οδεύει υπόγεια μέχρι την είσοδό του στον υποσταθμό Χ.Τ./Μ.Τ. Όσον αφορά στο σύστημα γείωσης της Α/Γ, εγκαθίσταται στη βάση της, θεμελιακή γείωση, δηλαδή ταινία γείωσης ακτινικά και περιμετρικά από τη βάση. →[16]

## 2.2 ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

### Ταχύτητα του ανέμου

Ο άνεμος είναι από την φύση του μεταβλητός, αυτό σημαίνει ότι η κατεύθυνση του, η θερμοκρασία του και η ταχύτητα του αλλάζουν συνεχώς. Είναι προφανές ότι η ταχύτητα του παίζει σημαντικό ρόλο στην ενέργεια την οποία φέρει και συνεπώς το πιο βασικό στοιχείο το οποίο πρέπει να έχει μια υποψήφια περιοχή για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου είναι να έχει γρήγορους ανέμους. Η ταχύτητα αυτή σε μια συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τον χρόνο και το ύψος (από την επιφάνεια της γης ή της θάλασσας) στο οποίο γίνεται η μέτρηση. →[12]

### Μεταβολή με τον χρόνο

Στη χαμηλότερη περιοχή της ατμόσφαιρας, το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, στην οποία βρίσκονται οι ανεμογεννήτριες, όπως και οι άλλες κατασκευές του ανθρώπου, η κίνηση του ανέμου επιβραδύνεται από δυνάμεις τριβής, μεγάλα εμπόδια στην επιφάνεια της γης καθώς και από φαινόμενα που οφείλονται στο στροβιλισμό. Ο στροβιλισμός, ο οποίος μπορεί να είναι μηχανικής ή θερμικής προέλευσης, προκαλεί απότομες μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων και πλατών, η οποίες ονομάζονται ριπές. Προκειμένου να διαχωριστούν οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου που οφείλονται στο στροβιλισμό από τις πιο αργές, που οφείλονται σε μακρομετεωρολογικά φαινόμενα, χρησιμοποιείται το μέγεθος της μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου  $\bar{V}$ , η οποία δίνεται από την εξίσωση 1.0 : . →[12]

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} v(t) dt \quad (1.0)$$

Όπου,  $v(t)$  είναι η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου και  $T$  το χρονικό διάστημα στο οποίο γίνεται η ολοκλήρωση ώστε να υπολογιστεί η μέση τιμή.

Η ενεργειακή φασματική κατανομή της ταχύτητας του ανέμου έχει δύο περιοχές. Η περιοχή χαμηλών συχνοτήτων του φάσματος αντιστοιχεί στα μακρομετεωρολογικά φαινόμενα. Σε αυτήν περιλαμβάνονται οι μεταβολές του ανέμου που οφείλονται σε αλλαγές του καιρού από μέρα σε μέρα (συνοπτικές μεταβολές) και οι μεταβολές του ανέμου κατά τη διάρκεια μιας ημέρας που οφείλονται σε θερμοκρασιακές διαφορές ανάμεσα στη στεριά και τη θάλασσα (ημερήσιες μεταβολές). Η πλευρά των υψηλών συχνοτήτων αντιστοιχεί στα μικρομετεωρολογικά φαινόμενα και οι μεταβολές οφείλονται στο στροβιλισμό. Ο στροβιλισμός παίζει σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό και

στην απόδοση των ανεμογεννητριών, καθώς και στην ποιότητα της ηλεκτρικής ισχύος στο τροφοδοτούμενο δίκτυο. →[12]

### Μεταβολή με το ύψος της μέτρησης

Η μεταβολή ανάλογα με την απόσταση από την γη ή την θάλασσα και το σημείο της μέτρησης οφείλεται στην αντίσταση που φέρουν τα δύο αυτά σώματα στην κίνηση του ανέμου. Η αντίσταση αυτή αλλάζει ανάλογα την τραχύτητα εδάφους ή της θάλασσας. Όπως είναι προφανές είναι απαραίτητη η γνώση της μεταβολής αυτής ώστε να υπολογιστεί το ύψος των ανεμογεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν. Υπάρχουν πολλά μοντέλα για τον υπολογισμό της ταχύτητας ανάλογα με το ύψος της μέτρησης, το πιο συνηθισμένο είναι το παρακάτω: → [12]

$$\frac{V(z)}{V_{ref}} = \left( \frac{z}{z_{ref}} \right)^a$$

Όπου  $V_{ref}$  και  $z_{ref}$  είναι η ταχύτητα και το ύψος αναφοράς,  $V$  είναι η άγνωστη ταχύτητα και  $z$  το ύψος. Η παράμετρος  $a$  υπολογίζεται :

$$a = \frac{1}{\ln \frac{z}{z_0}}$$

Όπου το  $z_0$  αναφέρεται στην τραχύτητα της επιφάνειας πάνω στην οποία ρέει ο άνεμος.

### Υπολογισμός αιολικού δυναμικού

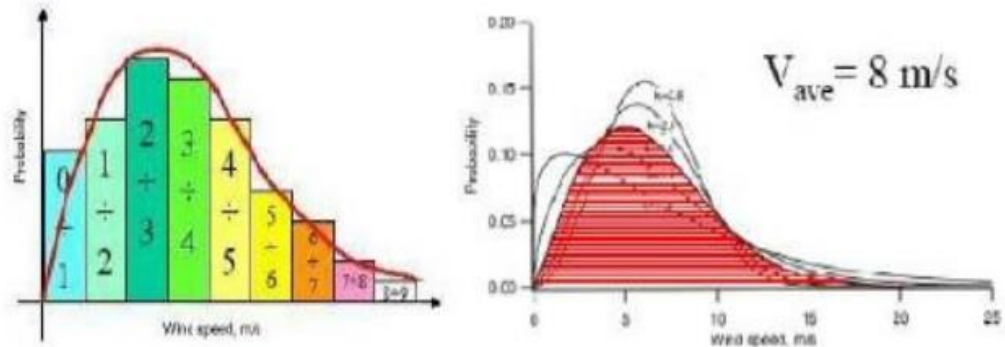
Όπως γίνεται αντιληπτό κάτι πολύ σημαντικό για τον εντοπισμό κατάλληλων περιοχών για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων είναι η πιθανοκρατική κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στον χρόνο για κάθε περιοχή. Η μεταβολή του ανέμου για τυπικές περιοχές συνήθως περιγράφεται από την κατανομή Weibull, η οποία προτάθηκε από τον σουηδό Walodi Weibull το 1951 (σχέση 1.1). →[12]

$$p(V) = \frac{k}{V} \left( \frac{V}{c} \right)^{k-1} e^{-\left( \frac{V}{c} \right)^k} \quad (1.1)$$

Όπου  $p(V)$  η συχνότητα εμφάνισης της ταχύτητας  $V$ ,  $k$  μια παράμετρος μορφής και  $c$  μια παράμετρος που συνδέεται με την μέση ταχύτητα και την συνάρτηση  $\gamma$  του Euler :

$$c = \frac{1}{\gamma \left( 1 + \frac{1}{k} \right)}$$

Στα επόμενα δύο διαγράμματα (εικόνα 2.6) φαίνεται η κατανομή Weibull καθώς και το πώς επηρεάζεται από την παράμετρο  $k$ . Όταν το  $k$  αυξάνεται η συνάρτηση πιθανότητας μαζεύεται κοντά στην μέση τιμή. Με άλλα λόγια η πιθανότητα ενός πολύ αδύναμου ανέμου αλλά και ενός πολύ δυνατού μειώνεται. →[12]



**Εικόνα 2.6**(Αριστερά: η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου. Δεξιά: Η εξάρτηση της από την παράμετρο  $k$  ( η κόκκινη περιοχή είναι για  $k$  ίσο με 2) →[12]

### Το όριο του Betz

Η αιολική ενέργεια είναι μια ενέργεια υψηλής εντροπίας και χαμηλής ποιότητας λόγω της τυχαίας κίνησης των μεμονωμένων μορίων του αέρα σε όλες τις κατευθύνσεις ακόμα και σε δυνατούς ανέμους. Επομένως είναι αναμενόμενο ότι για την μετατροπή της αιολικής σε ηλεκτρική (υψηλής ποιότητας) θα πρέπει να υπάρχει ένα όριο απόδοσης. Στις ανεμογεννήτριες η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται καθώς ο άνεμος γυρνάει τα πτερύγια της και μετατρέπει την κινητική του ενέργεια σε μηχανική. Η μέγιστη μηχανική ισχύς που μπορεί να παραχθεί από την αιολική αποδείχθηκε ότι είναι 59.3% από τον Albert Betz το 1919. →[12]

### Η ισχύς του ανέμου

Η κινητική ενέργεια του ανέμου μάζας  $m$  και ταχύτητας  $v$  είναι :

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1.2)$$

Θεωρώντας την επιφάνεια  $A$  από την οποία διέρχεται ο άνεμος διαμέσου των πτερυγίων με ταχύτητα  $v$ , η ροή του όγκου του ανέμου θα είναι :→[12]

$$\dot{V} = Av \quad (1.3)$$

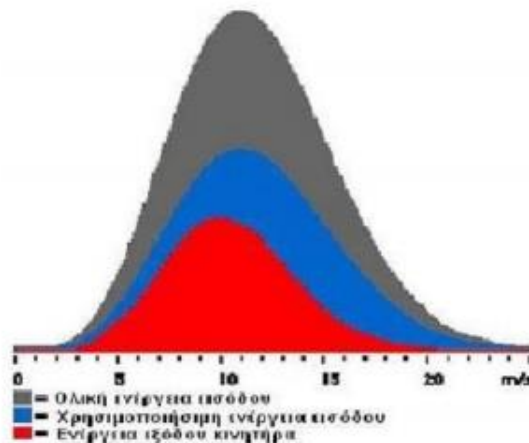
πολλαπλασιάζοντας την με την πυκνότητα του αέρα, βρίσκουμε την ροή της μάζας :

$$\dot{m} = \rho Av \quad (1.4)$$

Η ισχύς είναι ενέργεια προς τον χρόνο, έτσι συνδυάζοντας της (1.2) και (1.4) :

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1.5)$$

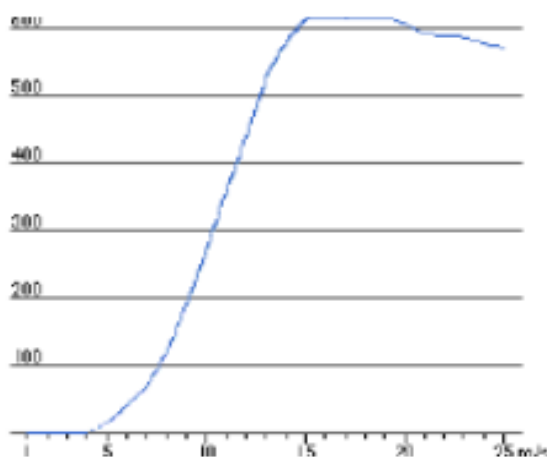
Από την σχέση (1.5) και το διάγραμμα της εικόνας 2.6 γίνεται φανερό ότι οι υψηλές ταχύτητες του ανέμου είναι σπάνιες αλλά συνεισφέρουν παραπάνω από αναλογικά (η 25 ταχύτητα είναι στον κύβο) στην παραγόμενη ισχύ. Έτσι για τον υπολογισμό της ισχύος του ανέμου για κάποιο χρονικό διάστημα (πχ ένα έτος) δεν χρησιμοποιούμε την μέση ταχύτητα αλλά πολλαπλασιάζουμε την πιθανότητα για κάθε ταχύτητα από την συνάρτηση Weibull με την συγκεκριμένη ισχύ στην ίδια ταχύτητα. Έτσι παίρνουμε την θεωρητική κατανομή της ισχύος για κάθε ταχύτητα η οποία θα έχει την μορφή της εικόνας 20, γκρι περιοχή. Βέβαια ακόμα και αν δεν υπήρχε το όριο του Betz που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο μια ιδανική ανεμογεννήτρια δεν θα μπορούσε να παραλάβει όλη αυτή την ισχύ καθώς τότε ο άνεμος στην έξοδο της θα είχε κινητική ενέργεια (από το ισοζύγιο ισχύος) ίση με 0 συνεπώς θα ήταν ακίνητος εμποδίζοντας νέο άνεμο να περάσει μέσα από την ανεμογεννήτρια μας. Έχει υπολογιστεί ότι μια τέτοια ιδανική ανεμογεννήτρια θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει τα 2/3 της ολικής ισχύος του ανέμου. Στο διάγραμμα της εικόνας 2.7 η μπλε περιοχή αποτελεί το 59.3% της της θεωρητικής. →[12]



Εικόνα 2.7(Συνάρτηση πυκνότητας ισχύος ανέμου) →[12]

Για να γίνει ο προσδιορισμός της πραγματικής ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια (κόκκινη περιοχή της εικόνας 2.7) είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την καμπύλη ισχύος της συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας. Η καμπύλη αυτή καθορίζει την απόδοση της συναρτήσε

της ταχύτητας του ανέμου. Μια τυπική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 600 KW δανικής κατασκευής φαίνεται στην εικόνα 2.8. →[12]



Εικόνα 2.8( Τυπική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 600 KW δανικής κατασκευής) →[12]

### Μέση ετήσια ισχύς

Για τον προσδιορισμό της μέσης ετήσιας ισχύος (σύμφωνα με την μέθοδο Cliff) πρέπει να πολλαπλασιαστούν οι αντίστοιχες τιμές της κατανομής Weibull και της καμπύλης ισχύος που ισχύουν για κάθε ταχύτητα ανέμου και να αθροιστούν τα γινόμενα. Δηλαδή με το πολλαπλασιασμό της πιθανότητας εμφάνισης μιας ταχύτητας ανέμου (κατανομή Weibull, εικόνα 2.6) με την ισχύ που αποδίδει η ανεμογεννήτρια σε αυτή την ταχύτητα (καμπύλη ισχύος, εικόνα 2.8) προσδιορίζεται η συνεισφορά της κάθε ταχύτητας του ανέμου στην μέση ετήσια ισχύ της ανεμογεννήτριας. →[12]

Στην συνέχεια το άθροισμα αυτών των γινομένων (μέση ετήσια ισχύς) πολλαπλασιάζεται με την διαθεσιμότητα της ανεμογεννήτριας και με τις 8760 ώρες ενός έτους. Εάν μια ανεμογεννήτρια βρίσκεται εκτός λειτουργίας για λόγους συντήρησης ή λόγω σφάλματος δικτύου δεν παράγει ισχύ ασχέτως από το πόσο δυνατός είναι ο άνεμος εκείνη την στιγμή. Οι κατασκευαστές των ανεμογεννητριών συνήθως έχουν δεδομένα που βοηθάν για τον υπολογισμό της διαθεσιμότητας, η οποία κυμαίνεται από 95-98%. Πολλές φορές πρέπει να χρησιμοποιήσουμε έναν ακόμη παράγοντα, την διαθεσιμότητα της τοποθεσίας (site availability), καθώς υπάρχουν «εξωτερικοί» λόγοι που δεν εμπεριέχονται στην διαθεσιμότητα της ανεμογεννήτριας και επηρεάζουν την μέση ετήσια ισχύ. Για παράδειγμα τα δίκτυα διανομής λειτουργούν μέσα σε κάποια όρια ανοχής της τάσης και της συχνότητας τους. Όταν οι συνθήκες αυτές δεν καλύπτονται η ανεμογεννήτρια αποσυνδέεται από το δίκτυο παρόλο που μπορεί εκείνη την στιγμή να παράγει ενέργεια. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί σε περιπτώσεις ακραίων ανέμων. Η διαθεσιμότητα τοποθεσίας κυμαίνεται και αυτή στο 95-98%. Επιπλέον λαμβάνεται υπόψη η μέση θερμοκρασία της περιοχής που εξετάζουμε καθώς η ισχύς του ανέμου εξαρτάται άμεσα από την

πυκνότητα του. Η πυκνότητα του με την σειρά της εξαρτάται από την πίεση και την θερμοκρασία. → [12]

Μια αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγούσε σε μείωση της πυκνότητας του αέρα άρα και της ισχύος της ανεμογεννήτριας και τότε η καμπύλη της εικόνας 20 μετατοπίζεται προς τα κάτω σύμφωνα με τη σχέση ισχύος της ανεμογεννήτριας : →[12]

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_f \quad (1.6)$$

Όπου  $C_f$  είναι ο συντελεστής άνωσης ή συντελεστής αεροδυναμικής απόδοσης και είναι χαρακτηριστικός για κάθε ανεμογεννήτρια. Ο  $C_f$  εκφράζει το ποσοστό της ενέργειας που έχει ο άνεμος λίγο πριν την ανεμογεννήτρια και το οποίο μετατρέπεται σε μηχανικό έργο στον δρομέα. Υπολογίζεται από την σχέση: →[12]

$$C_f = 4a(1 - a)^2 \quad (1.7)$$

Όπου :

$$a = \frac{v_1 - v_0}{v_1} \quad (1.8)$$

Και  $v_1$  και  $v_0$  οι ταχύτητες είναι οι ανεμικές ταχύτητες αρκετά μακριά και αρκετά κοντά από τον δρομέα αντίστοιχα.

Επίσης ο συντελεστής  $C_f$  είναι συνάρτηση της γεωμετρίας των πτερυγίων και του λόγου  $\lambda$  της ταχύτητας περιστροφής προς την ταχύτητα του ανέμου,

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (1.9)$$

Όπου  $\omega$  είναι η γωνιακή ταχύτητα των πτερυγίων και  $R$  η ακτίνα τους. →[12]

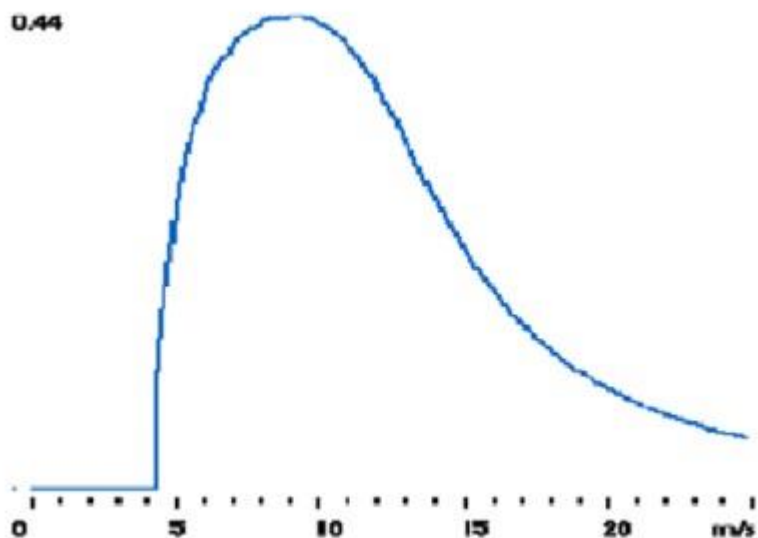
Επίσης πρέπει φυσικά να συνυπολογιστούν απώλειες τοποθεσίας (site losses) . Η ποσότητα της ενέργειας που είναι πραγματικά διαθέσιμη στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο θα είναι μικρότερη από την παραγόμενη από την γεννήτρια. Η αλλαγή του επιπέδου τάσης μέσω ενός μετασχηματιστή ή και η μεταφορά του ρεύματος μέσω των καλωδίων σίγουρα θα επιφέρει κάποιες απώλειες. Η απώλειες αυτές υπάρχουν πάντα αλλά το μέγεθος τους εξαρτάται από την τοποθεσία και τα ηλεκτρικά στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν. →[12]

### **Ενεργειακή Απόδοση Ανεμογεννήτριας**

Η απόδοση της ανεμογεννήτριας αναφέρεται στο πόσο αποτελεσματικά μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Ο βαθμός απόδοσης γενικά υπολογίζεται διαιρώντας την ηλεκτρική ισχύ εξόδου με την αιολική ισχύ εισόδου. Αρχικά η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας διαιρείται με την επιφάνεια  $A$  που καλύπτει ο δρομέας και παίρνουμε την ισχύ εξόδου ανά τετραγωνικό μέτρο. Για κάθε ταχύτητα του ανέμου το αποτέλεσμα διαιρείται με την αιολική ισχύ ανά τετραγωνικό μέτρο. Στην επόμενη εικόνα (εικόνα 2.9) φαίνεται η καμπύλη απόδοσης (απόδοση συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου) της τυπικής δανικής ανεμογεννήτριας η οποία έχει



καμπύλη ισχύος αυτήν στην εικόνα 2.8. Αν και η μέση απόδοση για αυτές τις ανεμογεννήτριες είναι περίπου 20%, η απόδοση της μπορεί να διαφέρει αρκετά ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Για παράδειγμα στην συγκεκριμένη περίπτωση η απόδοση είναι 44% για ταχύτητα 9 m/s. →[12]



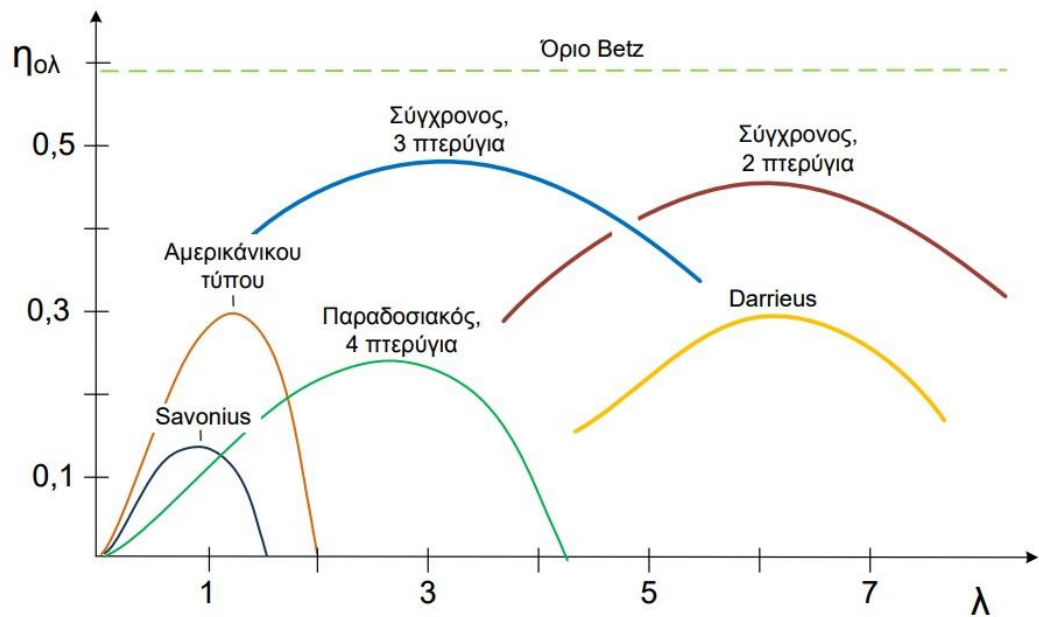
Εικόνα 2.9(Τυπική καμπύλη απόδοσης ανεμογεννήτριας δανικής κατασκευής.) →[12]

Είναι προφανές ότι κάθε ανεμογεννήτρια μπορεί να είναι βελτιστοποιημένη ώστε να αποδίδει καλύτερα σε ένα εύρος ταχυτήτων. Μεταβάλλοντας μεγέθη όπως το ύψος της, την γωνία με την οποία δέχεται τον άνεμο, το μέγεθος των πτερυγίων της ή το μέγεθος της γεννήτριας μεταβάλλεται η ενεργειακή συμπεριφορά της. Αλλάζοντας τα πτερύγια της ή το μέγεθος της γεννήτριας μεταβάλλεται η καμπύλη ισχύος της, ενώ το ύψος της επηρεάζει στην ταχύτητα του ανέμου. Γενικά οι ανεμογεννήτριες πρέπει να έχουν τον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης στις ταχύτητες ανέμου που παράγεται η περισσότερη ενέργεια ετησίως, με άλλα λόγια στο εύρος των συχνότερων υψηλών ταχυτήτων. Για δεδομένο μέγεθος έλικα, όσο πιο μεγάλη είναι η γεννήτρια τόσο πιο πολύ ενέργεια θα παράγεται, όμως συγχρόνως δεν θα αποδίδει ικανοποιητικά σε μικρές και μέσες ταχύτητες. Αντίθετα για τον ίδια έλικα, όσο μικρότερη είναι η γεννήτρια τόσο καλύτερα θα αποδίδει σε αδύναμους ανέμους αλλά δεν θα αποδίδει ικανοποιητικά σε μεγάλες ταχύτητες. →[12]

Οι μικρές ανεμογεννήτριες παράγουν μικρά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, όμως δεν απαιτούν ισχυρό δίκτυο, παράγουν σχετικά πιο σταθερή ισχύ (διότι αποδίδουν καλύτερα σε μικρότερες ταχύτητες), απαιτούν μικρότερο κόστος θεμελίωσης και είναι αισθητικά πιο αποδεκτές από τους κατοίκους. Τέλος τα αιολικά πάρκα είναι προφανώς πιο αξιόπιστα όταν έχουν πολλές μικρές ανεμογεννήτριες. Με βάση τα παραπάνω φαίνεται ότι μια μεγάλη ανεμογεννήτρια δεν είναι πάντα η καλύτερη λύση λόγω της οικονομίας

κλίμακας, αλλά εξαρτάται από την ταχύτητα των ανέμων και τις ανάγκες μας σε ηλεκτρική ενέργεια. →[12]

### Καμπύλες απόδοσης αιολικών μηχανών



Εικόνα 2.10 →[14]

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι οι ανεμογεννήτριες παραλαμβάνουν περίπου μέσα σε 2-3 μήνες λειτουργίας όλη την ενέργεια που απαιτήθηκε για να κατασκευαστούν, ενώ οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες απαιτούν ακόμα λιγότερο χρόνο. →[12]

## **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>**

### **Αυτοματισμός στις ανεμογεννήτριες**

#### **3.1 Λειτουργία υπέρτασης**

##### **Σύνοψη**

Οι Μετατροπείς Πηγής Τάσης (VSC) χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά για μεταφορά υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος (HVDC) σε ένα πραγματικό δίκτυο . Η πείρα από το σχεδιασμό και την υλοποίηση της μεταφοράς δείχνει ότι η τεχνολογία έχει φτάσει πλέον στο επίπεδο όπου είναι δυνατό να φτιαχτούν μετατροπείς υψηλής τάσης οι οποίοι να χρησιμοποιούν διπολικά τρανζίστορ μονωμένης πύλης (IGBTs) . Η λειτουργία τους έχει αναπτυχθεί στο βαθμό που οι δυνατότητες που συζητιόνταν για πολλά χρόνια γύρω από τους VSC για HVDC να είναι πραγματικότητα σήμερα . Περιλαμβάνουν ανεξάρτητο έλεγχο της ενεργού και της άεργου ισχύος , αντιθετική λειτουργία σε απομονωμένα δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος που δεν παράγουν ενέργεια από μόνα τους , πολύ μικρή ανάγκη φίλτρων και καθόλου ανάγκη μετασχηματιστών για τη διαδικασία μετατροπής . Αυτή είναι μονάχα η πρώτη εγκατάσταση των VSC για IGBTs . Η ανάπτυξη των ημιαγωγών και του εξοπλισμού ελέγχου είναι ραγδαία και είναι φανερό πως αυτή η τεχνολογία θα παίξει σημαντικό ρόλο στη μελλοντική έκρηξη των συστημάτων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας . →[15]

##### **Μία σύντομη εισαγωγή**

Στις 10 Μάρτη 1997 μεταφέρθηκε ισχύς στο πρώτο HVDC μεταφοράς στον κόσμο με VSC μετατροπείς ανάμεσα στο Hellsjon (Hn) και το Grangesberg (Gbrg) στην κεντρική Σουηδία . Από τότε έχουν γίνει εκτεταμένες δοκιμές με σκοπό να αποδειχθεί πως η VSC HVDC τεχνολογία ικανοποιεί τις υποθέσεις που αρκετό καιρό πριν έχουν εκφραστεί σε διάφορες εκδόσεις . Παρακάτω θα περιγραφεί η τεχνολογία που έχει χρησιμοποιηθεί , η ανάπτυξη του project και οι δοκιμές που έχουν γίνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας . 59 Τα VSC δείχνουν να είναι κατάλληλα για μικρή κλίμακα HVDC , εφόσον μπορούν να λειτουργήσουν σε κάθε αναλογία βραχυκυκλώματος , ακόμα και απέναντι σε απομονωμένα δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος (a.c. δίκτυα) χωρίς άλλες γεννήτριες στο σύστημα . →[15]

## Τεχνολογία HVDC

Τα HVDC αναπτύχθηκαν αρχικά από τεχνολογίες που χρησιμοποιούνταν σε βιομηχανικά συστήματα οδήγησης . Η τεχνολογία μετατροπέα με θυρίστορς (PCC) που μέχρι σήμερα χρησιμοποιείται για τα HVDC , αντικαθίσταται σταδιακά από την τεχνολογία VSC . Η βασική διαφορά ανάμεσα σε αυτές τις δύο τεχνολογίες , είναι πως οι VSC περιέχουν ημιαγωγικά στοιχεία υψηλής διακοπτικής συχνότητας (IGBTs) , τα οποία μπορούν να ανάψουν και να σβήσουν πολλές φορές μέσα σε μια περίοδο . Αντίθετα , τα ημιαγωγικά στοιχεία του PCC ανάβουν , αλλά μπορούν να σβήσουν μόνο όταν μηδενιστεί το ρεύμα που περνά μέσα από αυτά. →[15]

Δεδομένου ότι σε ένα VSC υπάρχει η δυνατότητα σβέσης , δεν υπάρχει η ανάγκη δικτύου που να ανταλλάσσει ισχύ σε αντίθετη κατεύθυνση . Η χρήση της VSC τεχνολογίας στα HVDC θα ήταν πλεονέκτημα ειδικά για την τροφοδοσία δικτύων παθητικού φορτίου , τα οποία είναι περιοχές όπου δεν υπάρχουν περιστροφικές μηχανές ή που δεν υπάρχει αρκετή ισχύς στις περιστροφικές μηχανές (χαμηλή ισχύς βραχυκύκλωσης) . →[15]

Το γεγονός ότι στην τεχνολογία PCC τα διακοπτικά στοιχεία είναι χαμηλής διακοπτικής συχνότητας , αυξάνει την έγχυση αρμονικών στο ηλεκτρικό δίκτυο . Για να μειωθούν οι παραγόμενες αρμονικές , οι μετατροπείς πρέπει να διαιρεθούν σε αρκετούς μικρότερους που λειτουργούν με μετατόπιση φάσης . Σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται σχετικά σύνθετοι μετασχηματιστές για τη σύνδεση των μετατροπέων . Στους VSC , με την εμφάνιση των παραγόντων συχνότητας υψηλής μεταβολής , όπως οι IGBTs , γίνεται επιθυμητή η χρήση της τεχνολογίας ρύθμισης του πλάτους των παλμών (PWM) . →[15]

Σε έναν VSC μετατροπέα, η εναλλασσόμενη τάση δημιουργείται από την πολύ γρήγορη μετάβαση ανάμεσα σε 2 ρυθμισμένες τάσεις . Αυτό γίνεται αναβοσβήνοντας τους ημιαγωγούς πολλές φορές μέσα σε μια περίοδο . Η επιθυμητή τάση με τη θεμελιώδη συχνότητα (η βασική αρμονική) δημιουργείται μέσω ενός χαμηλοπερατού φιλτραρίσματος του υψηλής συχνότητας παλμού της ρυθμισμένης τάσης . Έτσι αποφεύγονται τα μεγάλα φίλτρα . →[15]

Με το PWM είναι δυνατή η δημιουργία κάθε φασικής γωνίας ή πλάτους (ως ένα γενικό όριο) μέσω της μεταβολής του προτύπου του PWM (του σήματος ελέγχου της μεθόδου) , κάτι που μπορεί να γίνει σχεδόν ακαριαία . Το PWM προσφέρει τη δυνατότητα να ελεγχθούν η ενεργός και η άεργος ισχύς ανεξάρτητα η μια από την άλλη . Αυτό καθιστά το PWM VSC έναν σχεδόν ιδανικό παράγοντα στο δίκτυο μεταφοράς . Από τη σκοπιά του συστήματος , ένας VSC που παλμοδοτείται με τη μέθοδο της διαμόρφωσης του πλάτους των παλμών , λειτουργεί σαν κινητήρας ή σα γεννήτρια χωρίς μάζα , που μπορεί να ελέγξει την ενεργό και την άεργο ισχύ σχεδόν ακαριαία . Έτσι , η τεχνολογία των VSC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει παθητικά δίκτυα , δηλαδή περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει παραγωγή ή περιοχές με χαμηλή ισχύ βραχυκύκλωσης . Επιπλέον , δε συνεισφέρει στην ισχύ βραχυκύκλωσης δεδομένου ότι το a.c. ρεύμα μπορεί να ελεγχθεί . →[15]

## TO PROJECT HELLSJON

Η ανάπτυξη των VSC μετατροπέων προχωρούσε για καιρό μέσα στο ABB . Στη διάρκεια αυτής της ανάπτυξης διαπιστώθηκε ότι το IGBT παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον , καθώς αποτελεί μια MOS – συσκευή και η ζήτηση ισχύος για τον έλεγχο του είναι πολύ χαμηλή . Μέσω αυτής της σε σειρά σύνδεσης αρκετών ημιαγωγών με καλή διανομή τάσης , ακόμη και συχνότητες μεταβατικής κατάστασης στην τάξη των kHz είναι δυνατές . →[15]

## ΤΟΠΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

Στα 1994 η ανάπτυξη των VSC μετατροπέων επικεντρώθηκε σε μια εφαρμογή που βάζει σε λειτουργία δυο VSC μετατροπείς για μικρή κλίμακα HVDC με βάση τα IGBTs . Στη συνεργασία με την τοπική χρήση έγινε δυνατό να σχεδιαστεί η μεταφορά για λειτουργία σε ένα εμπορικό δίκτυο . Μια a.c. γραμμή των 50 kV και μήκους 10 km ανάμεσα στο (Hn) και στο (Gbrg) στην κεντρική Σουηδία διατέθηκε για το project . Η μεταφορά καθορίστηκε στα 3 MW , λίγο παραπάνω από την υδρο – γεννήτρια στο (Hn) , με μια τάση συνεχούς των  $\pm 10\text{kV d.c.}$  . Οι σταθμοί των μετατροπέων έχουν συνδεθεί σε ξεχωριστά μέρη ενός δικτύου a.c. των 10 kV . →[15]

## ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Κατά την ανάπτυξη αυτού του project τα διάφορα χαρακτηριστικά και οι συμπεριφορές των VSC μετατροπέων , του PWM ελέγχου , των IGBT βαλβίδων κλπ δοκιμάστηκαν σε ψηφιακή και αναλογική προσομοίωση . Τελικά , οι πλήρεις σταθμοί μεταφοράς συνδέθηκαν σε ένα κύκλωμα ισχύος στη Ludvika . Μέχρι το τέλος του 1996 , και ύστερα από περιεκτικά συνθετικά τεστ , ο εξοπλισμός μετακινήθηκε στην περιοχή εγκατάστασης και δοκιμής . Στις 10 Μάρτη του 62 1997 μεταφέρθηκε ισχύς μεταξύ του (Hn) και του (Gbrg) στο (Hn) project , η πρώτη VSC HVDC μεταφορά στον κόσμο . →[15]

## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΒΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Η βασική δομή του μετατροπέα αποτελείται από τη γέφυρα , την επαγωγή διεπαφής (converter reactor) , έναν πυκνωτή συνεχούς ρεύματος (d.c. πυκνωτή) και ένα φίλτρο εναλλασσόμενου ρεύματος (a.c. φίλτρο) . →[15]

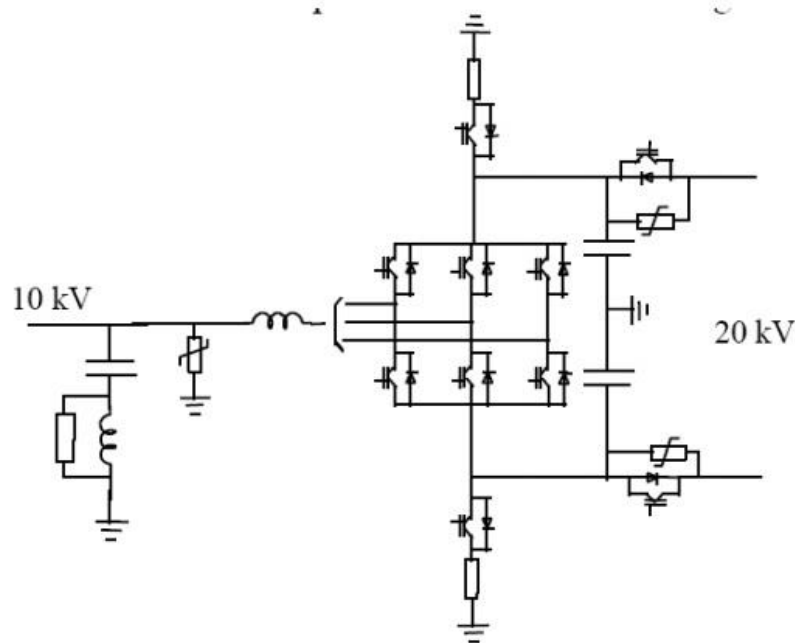
Η γέφυρα είναι μια γέφυρα έξι-παλμών , με δυο επίπεδα , με σειριακά συνδεδεμένα IGBTs σε κάθε βαλβίδα . Κάθε IGBT είναι εφοδιασμένο με μια αντιπαράλληλη δίοδο . Βοηθητική ισχύς στη μονάδα θύρας οδήγησης παράγεται από την τάση κατά μήκος της IGBT . →[15]

Το άναμμα / σβήσιμο κάθε ξεχωριστού IGBT επιβάλλεται διαμέσου ενός οπτικού συνδέσμου από τον εξοπλισμό ελέγχου . Οι ημιαγωγοί παγώνουν με απιονισμένο νερό . Το αντικείμενο του d.c. πυκνωτή είναι πρωταρχικά να εξασφαλίσει ένα χαμηλής επαγωγής δρόμο για το turn off ρεύμα , και μια αποθήκη ενέργειας που να είναι ικανή να ελέγξει τη ροή ισχύος . Ο πυκνωτής επίσης μειώνει τις αρμονικές της d.c. πλευράς. Ο μετατροπέας παράγει αρμονικές που σχετίζονται με τη συχνότητα μεταβολής . →[15]

Τα a.c. ρεύματα εξομαλύνονται από την επαγωγή διεπαφής και τα εναπομείναντα στοιχεία των αρμονικών μειώνονται από ένα υψηλοπερατό φίλτρο . Με βάση τις ανάγκες του συστήματος , ο μετατροπέας πρέπει να εφοδιαστεί με δυο ακόμα παράγοντες : - έναν ηλεκτρονικό διακόπτη υπερτάσεων ( chopper) για το γρήγορο άδειασμα του d.c. πυκνωτή αν η d.c. τάση ξεπερνάει τη μέγιστη d.c. τάση για έναν ξεμπλοκαρισμένο μετατροπέα .

Αυτή η λειτουργία πραγματοποιείται μέσω ενός γρήγορου διακόπτη και ενός αντιστάτη . - διακόπτες DC γραμμής , αν η γρήγορη απομόνωση του μετατροπέα απαιτείται στα σφάλματα της d.c. γραμμής . →[15]

Τα στοιχεία του βασικού κυκλώματος φαίνονται στο σχήμα 3.1



Σχήμα 3.1→[15]

**Λειτουργία του ηλεκτρονικού διακόπτη υπερτάσεων** : με την εμφάνιση υπέρτασης στα άκρα του μετατροπέα , οι 2 ηλεκτρονικοί διακόπτες κλείνουν και έτσι τα άκρα του μετατροπέα γειώνονται. Έτσι η τάση ελαττώνεται και πέφτει κάτω από τη ρυθμισμένη τιμή , οδεύοντας προς το μηδέν . Αλλά , με το που γίνεται μικρότερη από τη ρυθμισμένη τάση , ο διακόπτης ανοίγει και πάλι , συνεπώς ο μετατροπέας δεν είναι πλέον γειωμένος και η τάση φτάνει τη ρυθμισμένη τιμή . Αν έχουμε νέα υπέρταση , επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία . →[15]

Λειτουργία διακοπών d.c. γραμμής : σε περίπτωση σφάλματος στη d.c. γραμμή , είναι επιθυμητή η γρήγορη απομόνωση του μετατροπέα , γιατί σε αντίθετη περίπτωση θα βραχυκυκλωθούν τα άκρα του μετατροπέα . Έτσι , ο μηχανισμός του διακόπτη σε συνδυασμό με μια μεγάλη αντίσταση λειτουργεί ως εξής : Όταν δεν υπάρχει σφάλμα , ο διακόπτης είναι κλειστός και συνεπώς το ρεύμα κινείται μέσω του κλειστού διακόπτη προς τη d.c. γραμμή . Όταν υπάρχει σφάλμα , ο διακόπτης ανοίγει και το ρεύμα περνάει από το δρόμο της μεγάλης αντίστασης προς τη d.c. γραμμή , δηλαδή με μια σημαντική απόσβεση . →[15]

## ΕΛΕΓΧΟΣ

Η τάση της θεμελιώδους συχνότητας κατά μήκος της επαγωγής διεπαφής ορίζει τη ροή ισχύος ανάμεσα στην a.c. και την d.c. πλευρά . Στη διαδικασία ελέγχου υπολογίζεται μια χρονική περιοχή τάσης κατά μήκος της επαγωγής διεπαφής του μετατροπέα , από τον οποίο ζητείται να μεταβάλλει το ρεύμα που διαρρέει την επαγωγή διεπαφής από μια πραγματική τιμή σε μια τιμή αναφοράς . Η ροή ενεργού ισχύος ανάμεσα στο μετατροπέα και το a.c. δίκτυο ελέγχεται μέσω της μεταβολής της φασικής γωνίας μεταξύ της τάσης θεμελιώδους συχνότητας που παράγεται από το μετατροπέα ( $U_g$ ) και την a.c. τάση . Η ροή άεργου ισχύος έχει καθοριστεί από το πλάτος της  $U_g$  το οποίο ελέγχεται από το πλάτος των παλμών της γέφυρας του μετατροπέα . Για την ενεργό και την άεργο ισχύ ισχύουν οι παρακάτω εξισώσεις : →[15]

$$P = \frac{U_g \times U_{ac}}{X} \sin \delta$$

$$Q = \frac{U_{ac}(U_{ac} - U_g \times \cos \delta)}{X}$$

→[15]

Όπου

$U_{ac}$  η πρώτη αρμονική της τάσης στο άκρο της επαγωγής διεπαφής από την πλευρά του δικτύου εναλλασσόμενου ρεύματος →[15]



$U_g$  η πρώτη αρμονική της παραγόμενης από το VSC τάσης στο άκρο της επαγωγής διεπαφής από την πλευρά των βαλβίδων → [15]

X η συνολική επαγωγή ανάμεσα στα δυο άκρα → [15]

Συνεπώς, η κύρια λειτουργία του συστήματος ελέγχου των VSC, η οποία είναι κοινή σε όλες τις τοπολογίες των VSC, είναι ο έλεγχος της γωνίας και του πλάτους της παραγόμενης από τον VSC τάσης,  $U_g$ . → [15]

Το ρεύμα στον ελεγκτή υπολογίζεται μέσω της ρύθμισης ισχύος / ρεύματος ή μέσω του ελέγχου της d.c. τάσης. Μια τάση αναφοράς, ίσης φάσης και πλάτους με τον όρο θεμελιώδους 65 ισχύος της τάσης εξόδου από τη γέφυρα,  $U_g$ , υπολογίζεται. Ο πρότυπος παλμός παράγεται μέσω του PWM. → [15]

## Υπερτάσεις

Η τιμή της αντίστασης γείωσης επιλέγεται μικρή, έτσι ώστε να μειωθούν οι βηματικές τάσεις και οι τάσεις επαφής. Λόγω αυτής της μικρής τιμής προκαλείται μια αύξηση της τάσης στη βάση του πύργου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στη βάση του πύργου και στους εισερχόμενους αγωγούς. Αυτή η διαφορά δυναμικού γίνεται υπέρταση μεταξύ της γραμμής ισχύος και του μετασχηματιστή, που είναι εγκατεστημένος στο επίπεδο του εδάφους μέσα στον πύργο ή μεταξύ μιας γραμμής τηλεπικοινωνιών και μιας συσκευής τηλεπικοινωνιών. → [17]

Η συνηθέστερη αιτία προβλημάτων στην λειτουργία του ηλεκτρονικού εξοπλισμού είναι οι κρουστικές υπερτάσεις που διαδίδονται μέσω των καλωδίων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, όπως είναι τα συστήματα ρύθμισης στροφών ηλεκτροκινητήρων (Variable Speed Drives, VSDs), οι μονάδες ελέγχου και επιτήρησης της γραμμής παραγωγής, συστήματα ηλεκτρικών μετρήσεων, συστήματα αυτομάτου ελέγχου τα οποία χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά ισχύος, τροφοδοτικά αδιάλειπτου παροχής (UPS), καθώς και πλήθος άλλων βιομηχανικών συστημάτων, είναι ευαίσθητα σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και καταστρέφονται από τις κρουστικές υπερτάσεις. Κρουστικές υπερτάσεις δημιουργούνται στο δίκτυο εξαιτίας του φαινομένου της επαγωγής κατά τη διάρκεια των κεραυνοπτώσεων, καθώς επίσης και από προβλήματα του δικτύου ηλεκτρικής παροχής. → [19]

Προκειμένου να προστατευθεί ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός από υπερτάσεις, απαιτείται η εγκατάσταση ειδικών συστημάτων απαγωγής κρουστικών υπερτάσεων (Surge Suppression Device, SPD) στην παροχή ηλεκτρικής τροφοδοσίας τους. Αυτά τα συστήματα διοχετεύουν τα κρουστικά ρεύματα προς τη γη, εμποδίζοντάς τα να εισβάλουν στον εξοπλισμό και να τον καταστρέψουν. Στην παρούσα δημοσίευση θα γίνει αναφορά στα αίτια που δημιουργούν τις κρουστικές υπερτάσεις. →[19]

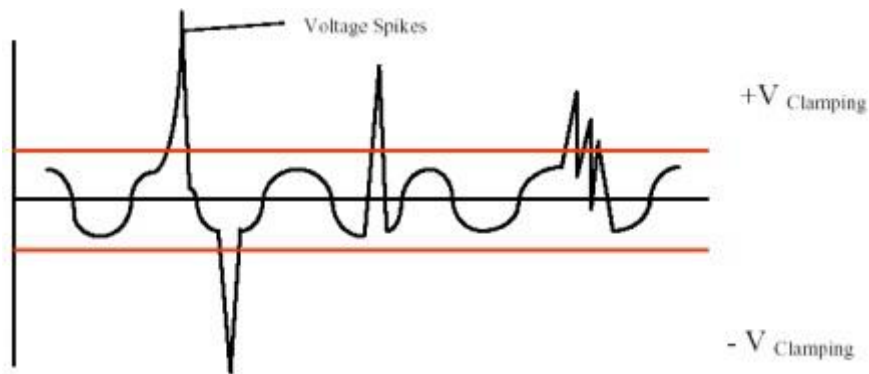
Οι κρουστικές υπερτάσεις που εμφανίζονται στους αγωγούς τροφοδοσίας είναι παλμοί μεγάλου πλάτους και διάρκειας μερικών μs. Η κρουστική υπέρταση συχνά υπερβαίνει την τάση διάσπασης του διηλεκτρικού που χρησιμοποιείται για την μόνωση του ηλεκτρονικού εξοπλισμού, προκαλώντας έτσι βαθμιαία εξασθένηση της μόνωσης και τελικά την καταστροφή του εξοπλισμού. Επαναλαμβανόμενες κρουστικές υπερτάσεις, προκαλούν ελάττωση του αναμενόμενου χρόνου ζωής του εξοπλισμού (Mean Time Before Failure, MTBF). Αποτέλεσμα αυτού είναι να απαιτείται συχνή συντήρηση του εξοπλισμού αυξάνοντας έτσι το κόστος λειτουργίας. →[19]

Προκειμένου να προστατευθεί ο εξοπλισμός από τις υπερτάσεις αυτές χρησιμοποιούνται οι διατάξεις προστασίας από κρουστικές υπερτάσεις (SPD). Οι διατάξεις αυτές τοποθετούνται είτε στον κεντρικό πίνακα ηλεκτρικής παροχής, είτε στους υποπίνακες που τροφοδοτούν τον εξοπλισμό. Οι διατάξεις SPD που διατίθενται στο εμπόριο ποικίλουν όσο αφορά την τεχνολογία, τον τρόπο διασύνδεσής τους, την αντοχή τους σε αλληπάλληλα κρουστικά πλήγματα καθώς και στο επίπεδο προστασίας που προσφέρουν. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των διατάξεων SPD στη βιομηχανία έχουν δείξει σοβαρά προβλήματα όσο αφορά την ασφάλεια που παρέχουν σε εξοπλισμό και προσωπικό. →[19]

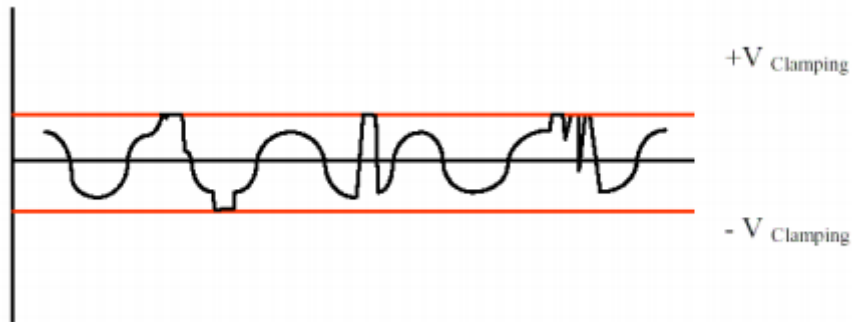
Οι κρουστικές υπερτάσεις του δικτύου ηλεκτρικής παροχής προκαλούν άμεση καταστροφή, βαθμιαία καταπόνηση ή δυσλειτουργία των ηλεκτρονικών συστημάτων. Η ανάπτυξη επομένως μιας αποτελεσματικής διάταξης SPD είναι πολύ σημαντική για τους κατασκευαστές και για τους χρήστες βιομηχανικού αυτοματισμού. Το αντικείμενο των κρουστικών υπερτάσεων μελετάται από το 1960, όμως λόγω της εκτεταμένης χρήσης των ημιαγωγών και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων στα σύγχρονα βιομηχανικά συστήματα, το ενδιαφέρον για την προστασία από τις υπερτάσεις έχει ενταθεί.

Η τεχνολογία των ημιαγωγών χρησιμοποιείται ευρύτατα σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου, SCADA, συστήματα ελέγχου στροφών ηλεκτροκινητήρων, συστήματα μετρήσεων είναι μερικές από τις εφαρμογές ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (ηλεκτρονικοί διακόπτες, PLC, μικροελεγκτές, μνήμες κλπ) οι οποίες αντικατέστησαν τα παλαιότερα ηλεκτρομηχανικά συστήματα. Η χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας των ηλεκτρονικών, παρόλο που επέφερε αύξηση της παραγωγής και καλύτερο έλεγχο της λειτουργίας των βιομηχανικών μονάδων, αύξησε τη συχνότητα των βλαβών από υπερτάσεις λόγω της υψηλής ευαισθησίας των ηλεκτρονικών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους συντήρησης και την απώλεια εσόδων από την διακοπή της λειτουργίας των μονάδων παραγωγής. →[19]

Η πλειοψηφία των κατασκευαστών SPD βασίζονται στην τεχνολογία του βαρίστορ (Metal Oxide Varistor, MOV). Το βαρίστορ αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα οξειδίου του ψευδαργύρου. Όταν στο υλικό αυτό εφαρμόζεται χαμηλή τάση, το υλικό παρουσιάζει μεγάλη ωμική αντίσταση, επιτρέποντας τη διέλευση ρεύματος πολύ χαμηλής έντασης (μικροαμπερ). Καθώς η τάση αυξάνεται, το βαρίστορ άγει περισσότερο μέχρι η τάση να υπερβεί το κατώφλι αγωγιμότητας (breakdown voltage) πάνω από το οποίο το ρεύμα αυξάνεται ραγδαία, λόγω της ραγδαίας αύξησης της αγωγιμότητας του υλικού. Η αύξηση της αγωγιμότητας του βαρίστορ πάνω από ένα κατώφλι τάσης το οποίο καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά και το μέγεθος του βαρίστορ, οδηγεί σε περιορισμό της τάσης στα άκρα του. Με αυτό τον τρόπο, όταν το βαρίστορ συνδέεται μεταξύ των αγωγών τροφοδοσίας και του αγωγού γείωσης, η κρουστική υπέρταση ψαλιδίζεται σε επίπεδο που δεν προκαλεί φθορά στον εξοπλισμό που ακολουθεί. →[19]



Σχήμα 3.2 Η κυματομορφή της τάσης χωρίς SPD→[19]



Σχήμα 3.3 Η κυματομορφή της τάσης μετά τη χρήση SPD→[19]

Οι κρουστικές υπερτάσεις δημιουργούνται στους αγωγούς τροφοδοσίας από την απότομη μεταβολή της ηλεκτρικής κατάστασης του κυκλώματος η οποία προκαλεί την έκλυση μεγάλου ποσού ενέργειας το οποίο βρίσκεται αποθηκευμένο στα επαγωγικά και χωρητικά στοιχεία του δικτύου τροφοδοσίας. Τα αίτια των υπερτάσεων μπορεί να οφείλονται σε παράγοντες έξω από την ηλεκτρική εγκατάσταση μιας μονάδας, όπως : →[19]

- Κεραυνοί
- Σύνδεση / αποσύνδεση πυκνωτών για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος
- Διακοπή / επανασύνδεση ηλεκτρικής τροφοδοσίας
- Σύνδεση / αποσύνδεση μετασχηματιστών διανομής
- Γενικά χαμηλή ποιότητα του δικτύου ηλεκτρικής διανομής

Υπερτάσεις όμως δημιουργούνται και στο εσωτερικό της ηλεκτρικής εγκατάστασης από: →[19]

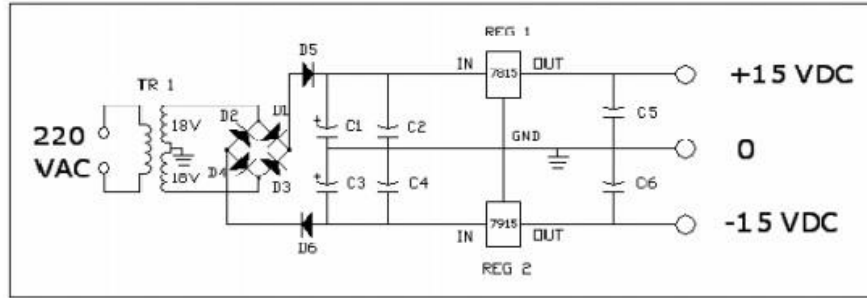
- Τη λειτουργία ασφαλειών και αυτόματων διακοπών (circuit breakers)
  - Τις ηλεκτρικές μηχανές ισχύος
    - Τα συστήματα ρύθμισης στροφών κινητήρων (Variable Speed Drives, VSD)
- Οι διατάξεις SPD συνδέονται μεταξύ των αγωγών φάσεων, του ουδετέρου και της γης σύμφωνα με τους παρακάτω τρόπους: →[19]
- Προστασία Φάσης-Ουδετέρου (Line to Neutral, L-N): Όταν ένα στοιχείο SPD τοποθετείται μεταξύ του αγωγού τροφοδοσίας και του ουδετέρου αγωγού, προστατεύει από υπερτάσεις που οφείλονται κυρίως σε σφάλματα του δικτύου ηλεκτρικής παροχής.
  - Προστασία Φάσης –Γης (Line to Ground, L-G): Προστασία από κεραυνικά και κρουστικά ρεύματα μεταξύ των φάσεων και της γης.
  - Προστασία Ουδετέρου-Γης (Neutral to Ground, N-G): Προστασία από κεραυνικά και κρουστικά ρεύματα μεταξύ του ουδετέρου και της γης.

Στη γενική περίπτωση μιας τριφασικής παροχής, απαιτούνται 7 στοιχεία προστασίας: 3 στοιχεία μεταξύ φάσεων και γης, 1 στοιχείο μεταξύ ουδετέρου και γης και 3 στοιχεία μεταξύ φάσεων και ουδετέρου.

### 3.1.1.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ-ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ

#### Τροφοδοτικό (230 Vac/±15 Vdc)

Η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται για τη τροφοδοσία των αισθητηρίων της τάσης (LEM LV-25P) και της έντασης του ρεύματος (CSNS300) τύπου HALL. Ενδεικτικές τιμές αγοράς 80-120 €. Η αγορά απ'το εμπόριο κρίνεται δαπανηρή σχετικά με το κόστος της ιδιοκατασκευής, 15,60 € (κόστος αγοράς εξοπλισμού). Τελική επιλογή αυτή της ιδιοκατασκευής (χαμηλό κόστος, αξιοπιστία αντίστοιχης διάταξης εμπορίου). Στην είσοδό της τροφοδοτείται με τάση δικτύου 230 Vac. Η τάση αυτή υποβιβάζεται μέσω μετασχηματιστή (230 Vac/18 Vdc/300mA), στη συνέχεια ανορθώνεται πλήρως και σταθεροποιείται από ρυθμιστές τάσης (7815) παρέχοντας στην έξοδό του τάση ± 15 Vdc. →[18]

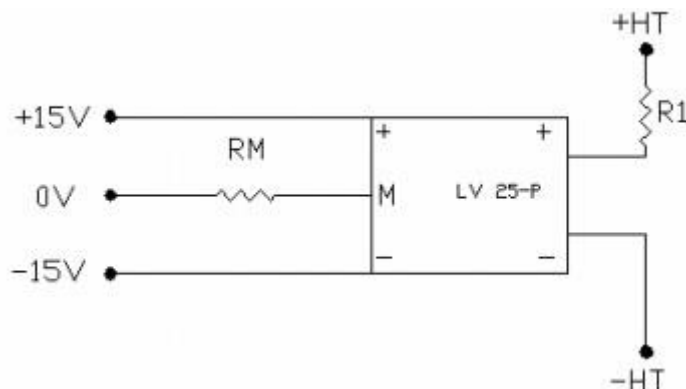


Σχήμα 3.4 → [18]

### Διάταξη Αισθητηρίου Τάσης (LEM LV-25P)

Το αισθητήριο αυτό (σχήμα 5.3) είναι ηλεκτρονικό εξάρτημα ευρέως διαδεδομένο στο εμπόριο, ενώ βασικό χαρακτηριστικό του αποτελεί η δυνατότητα υποβιβασμού της τάσης. Ο ιδανικός υποβιβασμός της τάσης καθορίζεται απ' την τάση στην είσοδο σε συνδυασμό με αντίσταση κατάλληλου μεγέθους (47 KΩ), και βαθμονόμησης σε επιτρεπτά για τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή όρια τάσης 0-10V (αναλογικές είσοδοι). Ο συνδυασμός του με την αντίσταση επιβάλει την κατασκευή ηλεκτρονικής διάταξης. Απαραίτητη τροφοδοσία  $\pm 15$  Vdc. →[18]

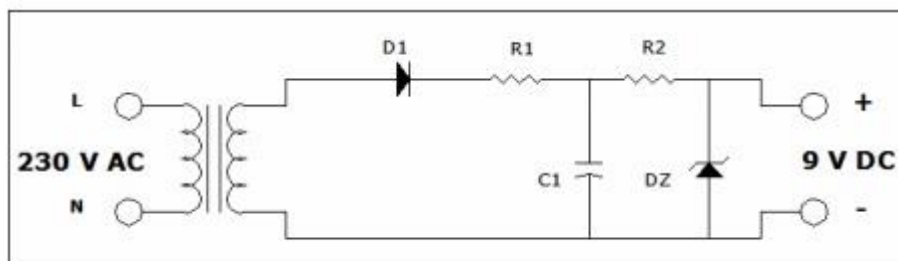
Ο ρόλος του αισθητήριο αυτού είναι ο έλεγχος της παραγόμενης συνεχούς τάσης απ' την ανεμογεννήτρια (υποβιβασμένη τάση στα όρια που προαναφέρθηκαν για αναγνώριση του προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή), συνδεδεμένο παράλληλα με την έξοδο της ανορθωτικής διάταξης. → [18]



Σχήμα 3.5 →[18]

## Τροφοδοτικό (230 Vac/9 Vdc)

Η διάταξη αυτή (σχήμα 5.4) χρησιμοποιείται για την ενημέρωση του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή της τάσης δικτύου 230 Vac. Διάταξη (ιδιοκατασκευή) απλή στη κατασκευή της, αποτελεσματική και αξιόπιστη. Το κόστος αυτής χαμηλό, της τάξης των 4,50 €. Ρόλος της, ο έλεγχος ύπαρξης του δικτύου X.T. (230 Vac). Το αισθητήριο μεταφέρει ένα σήμα υπό τη μορφή τάσης σε μια ψηφιακή είσοδο του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή, όσο το δίκτυο X.T. βρίσκεται εντός του επιτρεπτού επιπέδου της τάσης. Στη περίπτωση διακοπής του δικτύου X.T., το σήμα χάνεται απ' την ψηφιακή είσοδο, (ψηφιακό μηδέν (0) μικρότερο 5V, ψηφιακός άσος (1) μεγαλύτερο του 8,5V) ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής μέσω του τροφοδοτικού αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS), απενεργοποιεί το μηχανισμό προσανέμισης. Η τάση του δικτύου υποβιβάζεται μέσω μετασχηματιστή (230 Vac/9 Vdc/300 ma), στη συνέχεια ημιανορθώνεται και σταθεροποιείται από μια δίοδο τύπου ZENER. → [18]



Σχήμα 3.6 → [18]

## Αισθητήρια

### Επαγωγικός Αισθητήρας Μέτρησης Στροφών (Rpm)

Ο αισθητήρας είναι τοποθετημένος στον δίσκο στήριξης της φτερωτής, σε μεταλλικό πλαίσιο, με απόσταση ενός χιλιοστού (1mm) από αυτόν. Το αισθητήριο αποτελείται από μαγνήτη, ο οποίος σε κάθε περιστροφή της φτερωτής ανιχνεύει τους μεταλλικούς κοχλίες σύνδεσης. Με τον τρόπο αυτό στέλνει στο προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή, ένα (1) παλμό (ανά περιστροφή), ελέγχοντας έτσι τον αριθμό των στροφών ανά λεπτό. Ρόλος του ο περιορισμός της ανεμογεννήτριας στα επιθυμητά επίπεδα της ισχύος . →[18]

## **Αισθητήριο Έντασης Ηλεκτρικού Ρεύματος (CSNS 300)**

Ο αισθητήρας της έντασης του ρεύματος είναι βασισμένος στο φαινόμενο HALL. Είναι τοποθετημένος στην έξοδο του αντιστροφέα. Ο ρόλος του είναι η μέτρηση έντασης του ρεύματος εξόδου. Επίσης με σχεδόν δεδομένη την τάση εξόδου 190 έως 230 Vac (τάση δικτύου), είναι εφικτή η προσέγγιση της παραγόμενης ισχύος προς το δίκτυο. Ο αισθητήρας τροφοδοτείται με συνεχή τάση  $\pm 15$  Vdc. Η τάση εξόδου που παρέχει στο PLC λαμβάνεται παράλληλα από αντίσταση ( $68.5 \Omega$ ) για τη μέτρηση της πτώσης τάσης της. → [18]

## **Μέτρηση Έντασης Συνεχούς Ρεύματος**

Η μέτρηση επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας αντίστασης ( $0.1 \Omega/200$  W). Ρόλος της αντίστασης είναι η μέτρηση της έντασης του ρεύματος στην έξοδο της ανορθωτικής διάταξης. Ουσιαστικά μετράται η πτώση τάσης στα άκρα αυτής, σε επιτρεπτά όρια για τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή. Η μέγιστη πτώση τάσης είναι  $4.47$  V και το μέγιστο ρεύμα  $I_{max} = 44.72$  A. Είναι συνδεδεμένη σε σειρά με το αρνητικό της ανορθωτικής διάταξης. → [18]

## **Μέτρηση Έντασης Μηχανισμού Προσανεμισμού**

Η μέτρηση επιτυγχάνεται με τη χρήση αντίστασης ( $0.1 \Omega/50$  W). Ο μηχανισμός προσανέμισης κατά τη λειτουργία του απορροφά ρεύμα εντάσεως  $4-7.5$  A. (ανάλογα της εντάσεως του ανέμου) Για προστασία του πρώτου η ένταση του ρεύματος δεν πρέπει να ξεπερνά τα  $10$  A. Ο ρόλος αυτής, αντίστοιχος με της προηγούμενης. Μέτρηση της πτώσης τάσης στα άκρα αυτής σε επιτρεπτά όρια για τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή. → [18]



### 3.1.2 Ανάλυση λειτουργίας φρένου

#### Σύστημα πέδησης

Το σύστημα πέδησης μπορεί να είναι η μεταβολή του βήματος του πτερυγίου, ακροπτερυγίου ή αεροπέδη ή η στροφή του δρομέα παράλληλα στον άνεμο ή η πέδηση του άξονα. Σε περίπτωση αστοχίας των μηχανισμών ρύθμισης του βήματος του πτερυγίου απαιτείται ύπαρξη συστήματος πέδησης άμεσα στον άξονα του δρομέα (συνήθως τύπου δισκόφρενο) η τοποθέτηση του οποίου γίνεται στον υψηλόστροφο άξονα της μηχανής όπου η ροπή πέδησης είναι μικρή. Συχνά η πέδηση είναι ηλεκτρομαγνητικού τύπου και ενεργοποιείται αυτόματα με την διακοπή του ρεύματος (η πέδη παραμένει ανοικτή με ηλεκτρομαγνήτες). Το δισκόφρενο κατασκευάζεται από ασάλι. Επειδή το φρενάρισμα προκύπτει από τριβή μεταξύ του φρένου και του δίσκου, τα φρένα των ανεμογεννητριών δέχονται μεγάλες πιέσεις. Για αυτό το λόγο κατασκευάζονται από ειδικό μεταλλικό κράμα, ώστε να αντέχουν ακόμα και θερμοκρασίες της τάξης των 700 οC. →[20]



Εικόνα 3.6 Υδραυλικό φρένο ανεμογεννήτριας

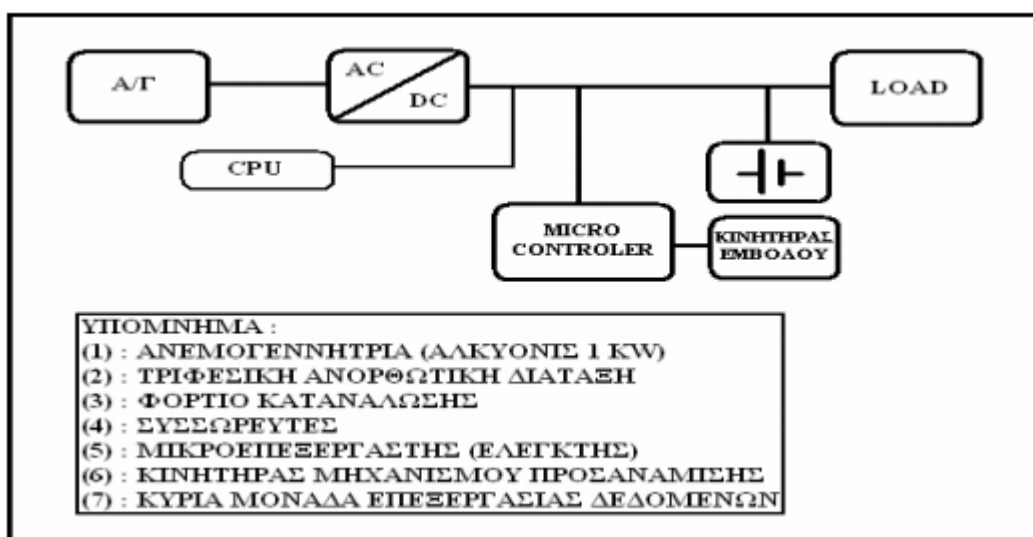
Παρακάτω ακολουθεί εικόνα του δισκοφρένου ανεμογεννήτριας :



Εικόνα 3.7 Δισκόφρενο ανεμογεννήτριας

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Σύστημα Ελέγχου Ανεμογεννήτριας Μικρής Ισχύος : ΑΛΚΥΟΝΙΣ 1 KW  
με Μικροεπεξεργαστή Και Συσσωρευτές



Εικόνα 3.8: Σύστημα ελέγχου ΑΛΚΥΟΝΙΣ

Στην Εικόνα 3.8 παρουσιάζεται το διάγραμμα του συστήματος ελέγχου και παραγωγής ενέργειας της ΑΛΚΥΟΝΙΣ η οποία λειτουργεί για αυτόνομα δίκτυα με χρήση συσσωρευτών.

## Πίνακας Ελέγχου

Στο πίνακα ελέγχου της ΑΛΚΥΟΝΙΣ τα μετρούμενα μεγέθη για τον έλεγχο είναι:

- Τάση και ρεύμα συσσωρευτών: Ελέγχεται το επίπεδο της τάσης μέχρι το άνω όριο φόρτισης, και το ρεύμα φόρτισης των συσσωρευτών.
- Στροφές (rpm) της ανεμογεννήτριας και αποκοπή τάσης: Το αντίστοιχο κύκλωμα ελέγχει τις στροφές της φτερωτής και αποκόπτει την τάση όταν ξεπεραστεί το άνω όριο.
- Ένταση ρεύματος κινητήρα του μηχανισμού προσανέμισης: Ελέγχει το ρεύμα που απορροφά κατά τη λειτουργία του, το έμβολο.
- Κύκλωμα ηλεκτρονικών ισχύος: Έλεγχος σωστής λειτουργίας του κυκλώματος (τροφοδοσία – οδήγηση).
- Θερμοκρασία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων: Έλεγχος της εσωτερικής θερμοκρασίας του ηλεκτρονικού κυκλώματος (Μέγιστη θερμοκρασία 40°C)
- Συχνότητα (3 φάσεων) της ανεμογεννήτριας :Έλεγχος της τάσης των τριών φάσεων προς την ανορθωτική διάταξη.
- Απώλεια φορτίου :Έλεγχος της τροφοδοσίας των συσσωρευτών.
- Κύρια μονάδα ελέγχου (AT mega128) :Έλεγχος της σωστής λειτουργίας του μικροεπεξεργαστή της μονάδας ελέγχου.
- Εφεδρικό σύστημα ελέγχου (AT 90S 2313) :Έλεγχος της σωστής λειτουργίας του μικροεπεξεργαστή του εφεδρικού συστήματος ελέγχου.

## Λειτουργία Ελέγχου ΑΛΚΥΟΝΙΣ

Κύρια μονάδα ελέγχου :

Το σύστημα ελέγχου της ΑΛΚΥΟΝΙΣ βασίζεται στο μικροεπεξεργαστή (AT mega 128).Ο επεξεργαστής αυτός είναι ένας 8-bit μικροϋπολογιστής αρχιτεκτονικής RISC. Διαθέτει 53 I/O προγραμματιζόμενα Pins, τροφοδοτείται με 5 V, χρησιμοποιεί κρύσταλλο της τάξης των 16 MHZ. Επίσης διαθέτει :

- μνήμη προγράμματος : 128 kbytes
- κύρια μνήμη : EPROM 4 kbytes
- εσωτερική μνήμη : SRAM 4 Kbytes

Τέλος παρέχει 8 κανάλια μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, μέσω πολυπλέκτη καθώς και 8 interrupts.

### **Εφεδρικό σύστημα ελέγχου :**

Το εφεδρικό αυτό σύστημα υλοποιείται μέσω του μικροϋπολογιστή (AT 90S 2313) με ξεχωριστή τροφοδοσία 5 (V).

Ο μικροεπεξεργαστής 2313 μπορεί να διαπιστώσει πιθανή δυσλειτουργία του κεντρικού (AT 128) και αναλαμβάνει τον πλήρη έλεγχο. Όταν το bit αυτό μηδενιστεί αναλαμβάνει δράση ο AT 2313 με σκοπό τη διασφάλιση της λειτουργίας του συστήματος, κλείνοντας την ουρά της ανεμογεννήτριας.

### **Μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό :**

Ο μετατροπέας αυτός είναι ευκρίνειας 10 bit. Η τάση αναφοράς του είναι ξεχωριστή, επιλεγμένη στα 3,3V. Ο πολυπλέκτης που προαναφέρθηκε χρησιμοποιεί 5 καταχωρητές, η συχνότητα λειτουργίας του ρολογιού του πολυπλέκτη (ADC multiplexer) είναι στα 125 KHZ. Με την έναρξη της λειτουργίας του πολυπλέκτη η πρώτη μετατροπή θα ολοκληρωθεί μετά από 25 κύκλους του ρολογιού. Το αποτέλεσμα της κάθε μετατροπής αποθηκεύεται στους ADC registers (καταχωρητές αποτελεσμάτων).

### **Σειριακή θύρα επικοινωνίας (USART) :**

Η αποστολή των υποθηκευμένων δεδομένων σ' έναν υπολογιστή επιτυγχάνεται με τη χρήση της σειριακής θύρας επικοινωνίας (USART), η οποία μπορεί να λειτουργεί συγχρονισμένα αλλά και ασύγχρονα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση λειτουργεί με ασύγχρονη επικοινωνία 8 bit δεδομένων. Τέλος έχει επιλεγθεί ταχύτητα μεταφοράς της τάξης των 9600 bps (bits / sec).

### **Σύστημα Ελέγχου με Προγραμματιζόμενο Λογικό Ελεγχτή (PLC)**

Ο Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (Programmable Logic Controller – PLC) εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του '80 και αποτελεί έναν μικρό υπολογιστή κατάλληλα προσαρμοσμένο για αποκλειστική υλοποίηση εφαρμογών αυτοματισμών.

Τα PLC προορίζονταν να αντικαταστήσουν το κλασσικό ηλεκτρολογικό πίνακα με τους ηλεκτρονόμους ισχύος , δηλαδή μια τεράστια αλλαγή στο τρόπο που μέχρι τώρα δούλευε η βιομηχανία.

## Περιγραφή Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή

Το PLC είναι μία ηλεκτρονική διάταξη η οποία από την άποψη της λειτουργίας θα μπορούσε να προσομοιωθεί με έναν πίνακα αυτοματισμού. Έχει δηλαδή εισόδους και εξόδους που συνδέονται με τα στοιχεία μιας εγκατάστασης και βέβαια έναν αλγόριθμο που καθορίζει ότι κάποιος συνδυασμός εισόδων παράγει ένα αποτέλεσμα στις εξόδους.

Σε ότι αφορά το υλικό όλα τα PLC αποτελούνται από την CPU, η οποία περιέχει την λογική του αυτοματισμού, αφού διαβάσει την κατάσταση των καρτών εισόδου (input modules) ενεργοποιεί τις κάρτες εξόδου (output modules) σύμφωνα με τους κανόνες (πρόγραμμα) που έχουμε αποθηκεύσει στην μνήμη του. Βέβαια το σύστημα συμπληρώνεται από το τροφοδοτικό και πιθανόν από διατάξεις ενδείξεων και χειρισμών (operator panel, operator display).

Τέλος καταγράφεται ο αλγόριθμος επεξεργασίας των μετρήσεων, ο οποίος γίνεται σε συγκεκριμένη γλώσσα με την βοήθεια ειδικού λογισμικού και αποθηκεύεται στην μνήμη του PLC.

## Στάδια Εργασίας Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή

Τα στάδια εργασίας που πρέπει ν' ακολουθηθούν για να υλοποιηθεί ένας αυτοματισμός είναι :

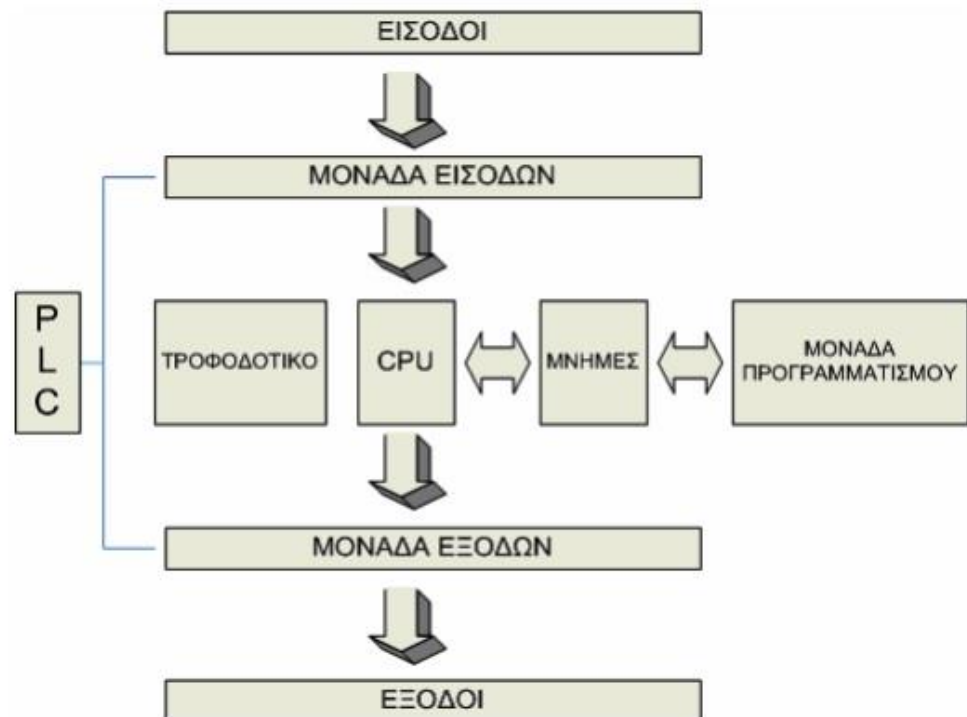
1. Τεχνική περιγραφή: Καταγραφή δηλαδή των απαιτήσεων του πελάτη όσο αφορά τη σημερινή κατάσταση της εγκατάστασης, τις απαιτήσεις από τον αυτοματισμό αλλά και τις πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις.
2. Επιλογή τύπου και μονάδων PLC: Η επιλογή γίνεται πάντα με βάση τεχνικοοικονομικά κριτήρια, την καλύτερη τεχνική λύση δηλαδή με το χαμηλότερο κόστος, μέσα από μια πληθώρα συστημάτων και των συνιστωσών τους.
3. Εκπόνηση σχεδίων: Κατασκευή πίνακα όπου θα τοποθετηθεί το PLC.
4. Προγραμματισμός: Υλοποίηση των προδιαγραφών που έθεσε ο πελάτης. Το πρόγραμμα δοκιμάζεται εν μέρει για τη σωστή του λειτουργία, αφού μια ολοκληρωμένη δοκιμή του είναι πρακτικά αδύνατη στο γραφείο καθόσον οι συνθήκες είναι συνήθως πολύ πιο διαφορετικές από αυτές της εγκατάστασης.
5. Τοποθέτηση / Ενεργοποίηση: Το PLC μεταφέρεται και τοποθετείται εύκολα στην εγκατάσταση, συρματώνεται με τα περιφερειακά στοιχεία (κινητήρες, βάνες, τερματικούς), γίνεται έλεγχος για την σωστή συρμάτωση και τέλος μεταφέρεται το πρόγραμμα στο PLC. Εδώ γίνεται ο οριστικός έλεγχος του σύμφωνα με τη τεχνική περιγραφή λειτουργίας του αυτοματισμού.
6. Φάκελος έργου: Δημιουργείται φάκελος του έργου με τα τελικά διορθωμένα σχέδια και το πρόγραμμα εκτυπωμένο με επεξηγηματικά σχόλια.

## Δομή Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή

Η επιλογή ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή (τύπος, μέγεθος, κόστος) εξαρτάται από το πλήθος των στοιχείων που δίνουν εντολή στο plc (είσοδοι) και το πλήθος των στοιχείων που δέχονται εντολή απ' το plc (έξοδοι), καθώς και από το πλήθος των λειτουργιών που απαιτείται να κάνει ο αυτοματισμός (μέγεθος προγράμματος, δηλ. απαιτούμενη μνήμη και δυνατότητες της κεντρικής μονάδας). Ανεξάρτητα όμως απ' τον τύπο και το μέγεθος, ένας προγραμματιζόμενος ελεγκτής, συνίσταται από τα εξής απαραίτητα στοιχεία:

- A. Πλαίσιο τοποθέτησης των μονάδων.
- B. Μονάδα τροφοδοσίας.
- Γ. Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) που αποτελεί τον εγκέφαλο του PLC.
- Δ. Μονάδες εισόδων / εξόδων.
- Ε. Συσκευή προγραμματισμού.

Στην Εικόνα 3.9 που ακολουθεί παρουσιάζεται σε διάγραμμα ροής, η δομή ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή.



Εικόνα 3.9 : Δομή PLC

## Κύριες Λειτουργίες Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή

Τα PLC σήμερα έχουν και επιπλέον λειτουργίες που βοηθούν στην δημιουργία του αυτοματισμού. Οι λειτουργίες αυτές αυξάνουν συνεχώς καθώς

τα PLC εξελίσσονται με ταχύτατους ρυθμούς. Αναφέρονται ενδεικτικά οι σημαντικότερες από αυτές

- **Λειτουργία απαριθμητών:** Οι απαριθμητές μπορούν να απαριθμούν εξωτερικούς ή εσωτερικούς παλμούς.

- **Δυνατότητα πραγματικού ρολογιού:** μέσω του οποίου μπορούμε να προγραμματίσουμε κάποιες εξόδους σε πραγματικό χρόνο, ημερομηνία και ώρα.

- **Αριθμητικές επεξεργασίες:** Τα σύγχρονα PLC έχουν προσεγγίσει πάρα πολύ τις δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Σχεδόν όλα τα PLC έχουν σήμερα τη δυνατότητα να επεξεργάζονται αριθμητικές πράξεις.

- **Αναλογικές εισοδοί-εξοδοί:** Δυνατότητα των PLC να δέχονται και να επεξεργάζονται αναλογικές εισόδους, όπως και να παρέχουν αναλογικές εξόδους. Το PLC μετατρέπει τις αναλογικές τιμές των εισόδων σε ψηφιακές τιμές και στη συνέχεια επεξεργάζεται τις τιμές αυτές αξιοποιώντας τις δυνατότητες για επεξεργασία ψηφιακών αριθμών

- **Δικτύωση PLC:** Τα PLC μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους ανταλλάσσοντας πληροφορίες, όπως και να συνεργάζονται με ηλεκτρονικούς υπολογιστές.



Εικόνα 3.10 PLC SIEMENS LOGO!

## Πλεονεκτήματα Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή

Η χρήση των PLC μας παρέχει πάρα πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον κλασικό αυτοματισμό. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των PLC έναντι του κλασικού αυτοματισμού είναι:

1. Το κόστος κατασκευής ενός PLC είναι σημαντικά μικρότερο από το κόστος παραγωγής του αντίστοιχου αριθμού βοηθητικών ηλεκτρονόμων, χρονικών, και απαριθμητών.
2. Ο χρόνος σχεδίασης και υλοποίησης του αυτοματισμού είναι μηδαμινός σε σχέση με την κατασκευή ενός κλασικού πίνακα αυτοματισμού.

Σημαντικά είναι και τα πλεονεκτήματα των PLC για τον απλό χρήστη:

- Ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης του πίνακα αυτοματισμού. Το κόστος αυτό αναλύεται ως εξής : α) συχνότητα βλαβών β) χρόνος εντοπισμού μιας βλάβης και αποκατάσταση της.
- Γρήγορη τοποθέτηση, εγκατάσταση και προγραμματισμός.
- Ευελιξία τροποποίησης της λειτουργίας και των παραμέτρων του αυτοματισμού. Κάθε επιθυμητή αλλαγή στο πρόγραμμα του PLC, είναι εύκολη και γρήγορη, χωρίς να απαιτεί αλλαγή και επανατοποθέτηση εξαρτημάτων ή συνδέσεων. Δεδομένου της δυνατότητας προσομοίωσης που παρέχει, δεν απαιτεί την διακοπή της παραγωγικής διαδικασίας. Φυσικά το κόστος για κάθε αλλαγή του προγράμματος είναι μηδενικό.
  - Δυνατότητα παρακολούθησης του προγράμματος σε πραγματικό χρόνο και κατά τη λειτουργία του αυτοματισμού.
  - Επεκτασιμότητα της κεντρικής μονάδας του PLC για χρήση περισσότερων εξόδων – εισόδων, σε περίπτωση λάθους αρχικής εκτίμησης.
  - Δυνατότητα χειρισμού εξ' αποστάσεως. Ο χρήστης μπορεί να ενημερώνεται μέσω δικτύου ή τηλεφωνικών συστημάτων για την κατάσταση του συστήματος ελέγχου αλλά και να ενεργεί σ' αυτό από μακριά.
  - Μικρές διαστάσεις και απαιτήσεις σε χώρο. • Μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης ελλείψει μηχανικών επαφών
- Αξιοπιστία και δυνατότητα λειτουργίας σε βιομηχανικούς χώρους.

## Σύγκριση Συστημάτων Ελέγχου με PLC και Μικροεπεξεργαστή

Συγκρίνοντας τα plc με τους μικροεπεξεργαστές, προκύπτει ότι:



- Ο χρόνος ανάπτυξης και σχεδιασμού του μικροεπεξεργαστή είναι μεγαλύτερος σε σχέση με το PLC. Το PLC είναι ετοιμοπαράδοτη μονάδα και απαιτείται μόνο ο προγραμματισμός του αντίθετα με τον μικροεπεξεργαστή, καθώς απαιτείται εξειδικευμένη κατασκευή περιφερειακού συστήματος για την μετατροπή του σε ολοκληρωμένη διάταξη.

- Το PLC δεν επηρεάζεται από ηλεκτρομαγνητικό “θόρυβο”, μιας και είναι σχεδιασμένο για λειτουργία σε βιομηχανικές συνθήκες, σε αντίθεση με τον μικροεπεξεργαστή.
- Το λογισμικό του μικροεπεξεργαστή απαιτεί περιφερειακό σύστημα το οποίο αποτελείται από ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Τα ηλεκτρονικά αυτά εξαρτήματα είναι επιρρεπή σε καταπονήσεις με πιθανό αποτέλεσμα την καταστροφή τους. Το PLC όμως δεν έχει τέτοιου είδους προβλήματα και παρουσιάζει υψηλή αξιοπιστία.

- Η κατασκευή του μικροεπεξεργαστή γίνεται βάσει των απαιτήσεων του χρήστη και πάντα ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής. Δεν είναι δυνατή η χρήση ενός συγκεκριμένου μικροεπεξεργαστή σε οποιαδήποτε εφαρμογή, γιατί αλλάζει ο σχεδιασμός του κυκλώματος. Κάθε εφαρμογή απαιτεί δικό της περιφερειακό σύστημα. Το PLC αντιθέτως, είναι σχεδιασμένο βάσει προτύπων της κατασκευαστικής εταιρίας και κάθε μοντέλο φέρει διαφορετικό αριθμό εισόδων / εξόδων είτε αναλογικών, είτε ψηφιακών. Έτσι ανάλογα με την εφαρμογή που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, επιλέγονται και συναρμολογούνται σε μηδενικό χρόνο οι πιθανές προεκτάσεις που μπορεί να χρειάζονται.

- Ένας μικροεπεξεργαστής βρίσκει χρήση σε αρκετές μικρές και απλές εφαρμογές, καθώς το κόστος αυτών είναι ικανοποιητικά χαμηλό σε σχέση με την τιμή αγοράς ενός PLC, εξετάζοντας βέβαια τη περίπτωση παραγωγής μικροεπεξεργαστών συγκεκριμένης εφαρμογής σε μεγάλη ποσότητα.

- Μειονέκτημα για έναν μικροεπεξεργαστή, αποτελεί το λογισμικό προγραμματισμού. Κάθε κατασκευαστική εταιρία χρησιμοποιεί διαφορετικό λογισμικό και γι’ αυτό ο χρήστης απαιτείται να έχει τουλάχιστον μέτριες γνώσεις προγραμματισμού. Απ’ την άλλη πλευρά ο προγραμματισμός ενός PLC διαφέρει ελάχιστα ανάλογα με το μοντέλο, παρόλα αυτά οι εντολές προγραμματισμού του PLC είναι κοινές, ενώ προσφέρεται η δυνατότητα και ενός ιδιαίτερα εύχρηστου προγραμματιστικού περιβάλλοντος χωρίς καν τη χρήση κώδικα με την μέχρι σήμερα γνωστή μορφή.

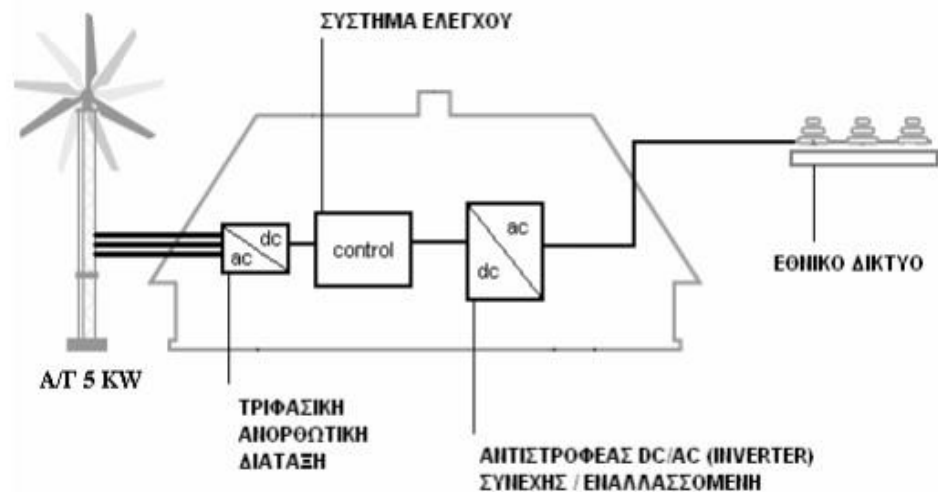
- Κοινό χαρακτηριστικό των δύο αυτών ειδών ελέγχου είναι η απαίτηση περιφερειακών εξαρτημάτων. Και εδώ το PLC υπερέχει, αφού η τροποποίηση του συστήματος συνεπάγεται αλλαγή προγραμματιστικού κώδικα και σε ελάχιστες περιπτώσεις τροποποίηση του εξοπλισμού, με ελάχιστη χρονική καθυστέρηση και ιδιαίτερα μικρό κόστος. Αντιθέτως στον μικροεπεξεργαστή κάτι τέτοιο συνεπάγεται ανακατασκευή όλης της διάταξης.

- Τα βιομηχανικά PLC έχουν αντίστοιχες λειτουργίες με τους μικροεπεξεργαστές. Το κόστος όμως ενός PLC ( αυξημένων δυνατοτήτων ) είναι αρκετά υψηλότερο.

## Επιλογή συστήματος ελέγχου

Τελικό συμπέρασμα της σύγκρισης των δύο αυτών συστημάτων είναι η αξιοπιστία του PLC, χωρίς βέβαια να σημαίνει πως ένας μικροεπεξεργαστής δεν είναι ικανός να φέρει εις πέρας την αποστολή του με σωστά αποτελέσματα, αν και πιθανότατα ο κατασκευαστής να αντιμετωπίσει μεγαλύτερες δυσκολίες. Σε θέματα όμως εφαρμογής βιομηχανικών προτύπων, το PLC είναι καλύτερο, οικονομικότερο, πιο ανθεκτικό, παρέχει δυνατότητες εύκολης τροποποίησης, χαρακτηρίζεται από εύκολο προγραμματισμό ακόμα και από χρήστες με περιορισμένες γνώσεις του αντικειμένου και ουσιαστικά αποτελεί μια συσκευή πιστοποιημένη και έτοιμη προς χρήση.

Ακολουθεί Απεικόνιση Συστήματος Ανεμογεννήτριας και Ελέγχου:



Εικόνα 3.11 Απεικόνιση Συστήματος Ανεμογεννήτριας και Ελέγχου →[18]

## Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης

Ένα από τα σπουδαιότερα μέρη της ανεμογεννήτριας είναι το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, εφόσον υπάρχει, που περιλαμβάνει διβάθμιο ή τριβάθμιο κιβώτιο μετασχηματισμού της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής σε υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής στις οποίες λειτουργούν συνήθως οι ηλεκτρικές γεννήτριες. Ο τυπικός βαθμός απόδοσης της διβάθμιου συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 96%. Το σύστημα μετάδοσης κίνησης περιλαμβάνει επίσης το υδραυλικό ή μηχανικό φρένο και ελαστικούς συνδέσμους απορρόφησης ταλαντώσεων.

Το μηχανικό φρένο της ανεμογεννήτριας τοποθετείται είτε στον άξονα υψηλής ταχύτητας περιστροφής οπότε απαιτείται μικρή σχετικά ροπή πέδησης, αλλά δεν προστατεύεται η πτερωτή από απώλεια φορτίου ή θραύση του συστήματος μετάδοσης κίνησης, είτε στον άξονα χαμηλής ταχύτητας περιστροφής. Στην τελευταία περίπτωση λόγω της μεγάλης ροπής πέδησης απαιτείται φρένο ιδιαίτερα αυξημένων διαστάσεων, βάρους και κόστους. Στην περίπτωση της αυτή προστατεύεται καλύτερα η πτερωτή και το κιβώτιο μετάδοσης.

Η μεταφορά της μηχανικής ισχύος από τον κύριο άξονα της ανεμογεννήτριας στη γεννήτρια γίνεται μέσω της συστήματος οδοντωτών τροχών. Επειδή η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας είναι συνήθως 1000 – 1500 στροφές ανά λεπτό και η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα μικρότερη από 50 στροφές ανά λεπτό, η σχέση μετάδοσης του κιβώτιου είναι από 20 έως 70 προς 1. Τις ανεμογεννήτριες μεγάλης ισχύος (τάξεως του MW) προτιμάται η χρήση κιβωτίου πλανητικού τύπου λόγω μικρότερου βάρους, μικρότερου όγκου και μεγαλύτερου βαθμού απόδοσης.

### **Σύστημα προσανεμισμού & ελέγχου της ανεμογεννήτριας**

Διαδικασία προσανεμισμού:

Σε μικρές κατασκευές για λόγους χαμηλού κόστους χρησιμοποιείται καθοδηγητικό ουριαίο πτερύγιο τοποθετημένο πίσω από το δρομέα παράλληλα με την πλήμνη. Αυτό το πτερύγιο χρησιμοποιείται ώστε σε απόκλιση του ανέμου κατά κάποιες μοίρες να ασκείται τάση επαναπροσανατολισμού του δρομέα στον άνεμο ικανή να υπερνικήσει την αντιροπή λόγω γυροσκοπικού φαινομένου. Σε μεγάλες κατασκευές χρησιμοποιείται σύστημα αυτόματου ελέγχου την διεύθυνσης του ανέμου με ανεμοδείκτη και ένα σερβομηχανισμό που προσανατολίζει ανάλογα το δρομέα.

Τέλος, ένα άλλο σύστημα προσανατολισμού που έχει εξελιχθεί αρκετά είναι μια βοηθητική έλικα κάθετη στο δρομέα, η οποία περιστρεφόμενη με τον αέρα, όταν ο δρομέας δεν είναι κάθετος στη διεύθυνση του ανέμου, κινεί με γρανάζια την ανεμογεννήτρια. Τα ηλεκτρονικά συστήματα αυτόματου έλεγχου αποτελούν την πιο εξελιγμένη μορφή έλεγχου και τείνουν να αποτελούν τη μόνη λύση της μεσαίου και μεγάλου μεγέθους ανεμογεννήτριες. Αποτελούνται από της εφαρμογές της είναι τα ψηφιακά κυκλώματα, οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC) και ο έλεγχος από συστήματα υπολογιστών, όπου είναι δυνατή η ρύθμιση από ένα λογισμικό αλλά και η παρακολούθηση από κεντρικό σταθμό μέσω μεταφοράς δεδομένων με της τηλεφωνικές γραμμές.

## **Έλεγχος συστήματος προσανεμισμού (yaw).**

Ο έλεγχος περιστροφής λειτουργεί σε ταχύτητες ανέμου, που είναι μεγαλύτερες από την ταχύτητα ανέμου) έναρξης λειτουργίας. Η διεύθυνση του ανέμου μετριέται με τον ανεμοδείκτη, που είναι τοποθετημένος στο ύψος της πλήμνης. Το Ανεμόμετρο μετράει την ταχύτητα του ανέμου και μεταφέρει τα δεδομένα στον ελεγκτή. Ο ελεγκτής εκκινεί τη μηχανή για ταχύτητες ανέμου περίπου 10-15 χιλιόμετρα/ώρα και διακόπτει τη λειτουργία της περίπου στα 80 χιλιόμετρα/ώρα. Οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να δουλεύουν σε ταχύτητες ανέμου πάνω απ' τα 80 χιλιόμετρα/ώρα για λόγους υπερθέρμανσης της γεννήτριας ή αστοχίας των πτερυγίων. Η νασέλα περιστρέφεται από δύο (2) ηλεκτροκινητήρες προσανεμισμού (yaw motor).

## **Διαδικασία Αυτόματης Έναρξης Λειτουργίας:**

Αν σε διαστήματα τριών (3) λεπτών μετρηθεί ταχύτητα, που είναι κατάλληλη για την λειτουργία της ανεμογεννήτριας και ο αισθητήρας του συστήματος ελέγχου δεν δείχνει κάποιο σφάλμα στα εξαρτήματα, τότε αρχίζει η αυτόματη διαδικασία έναρξης λειτουργίας. Η παραγωγή της αιολικής μηχανής αρχίζει αυτόματα, όταν η ταχύτητα ανέμου έχει φτάσει στην χαμηλότερη τιμή του εύρους των ταχυτήτων λειτουργίας.

## **Αυτόματη θέση ρυθμίσεως Λειτουργίας και Ελέγχου:**

Μετά από μια επιτυχή έναρξη λειτουργίας η ανεμογεννήτρια μπαίνει στην αυτόματη θέση ρυθμίσεως και ελέγχου. Οι αισθητήρες των εξαρτημάτων συνεχίζουν να ελέγχουν της παραμέτρους που αφορούν: μετρήσεις για ασφαλή λειτουργία, μετρήσεις για παύση λειτουργίας και καταστάσεις κινδύνου.

Αν η ανεμογεννήτρια σταματήσει είτε χειροκίνητα είτε από το σύστημα ελέγχου η γωνία των πτερυγίων ρυθμίζεται της 90ο και η μηχανή χαμηλώνει της στροφές, μέχρι να έρθει περίπου σε θέση αναμονής. Όταν πραγματοποιείται παύση λειτουργίας, το φρένο δεν λειτουργεί και το σύστημα προσανεμισμού της ατράκτου παραμένει σε λειτουργία. Παύση της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας μπορεί να προκληθεί είτε από έλλειψη ανέμου, είτε επειδή η ταχύτητα ανέμου βρίσκεται στο μέγιστο όριο λειτουργίας, είτε από μη επιτρεπόμενη συστροφή καλωδίων, είτε από υψηλή

θερμοκρασία είτε από σφάλμα (βλάβη) σε εξαρτήματα είτε μεγάλη ταλάντωση της ατράκτου.

- Έλλειψη ανέμου : Εάν η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη από 12 χιλιόμετρα/ώρα δεν γίνεται περιστροφή του ρότορα

- Η ταχύτητα ανέμου βρίσκεται στο μέγιστο όριο λειτουργίας: αναφέρεται παραπάνω η μέγιστη ταχύτητα ανέμου είναι τα 80 χιλιόμετρα/ώρα

- Συστροφή Καλωδίων: τα καλώδια ελέγχου και τροφοδοσίας είναι αναρτημένα ελεύθερα μέσα στον πύργο και περιστρέφονται αλλά μέχρι ένα βαθμό. Ο αριθμός περιστροφής της και η διεύθυνση ελέγχονται από ένα ηλεκτρομηχανικό διακόπτη. Αν πραγματοποιηθούν τέσσερις στροφές της την ίδια κατεύθυνση η ανεμογεννήτρια σταματάει την λειτουργία της και ξετυλίγει τα καλώδια περιστρέφοντας την άτρακτο αντίθετα

- Μεγάλη ταλάντωση της νασέλας: Ο ανιχνευτής ταλάντωσης αναγνωρίζει μεγάλες ταλαντώσεις της νασέλας και ενεργοποιεί τη διαδικασία άμεσης παύσης λειτουργίας με γρήγορη ρύθμιση της γωνίας των πτερυγίων

- Υψηλή θερμοκρασία: Οι αισθητήρες θερμοκρασίας είναι τοποθετημένοι σε σημεία που πρέπει να ελέγχεται η θερμοκρασία λαδιού και η θερμοκρασία του περιβάλλοντα χώρου μέσα στην νασελα. Σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας να σταματήσουν την ανεμογεννήτρια.

Το σύστημα κινδύνου ενεργοποιείται αρχικά από τον επεξεργαστή όταν αναγνωρίσει ένα σφάλμα και παράλληλα μ' αυτό της οι σχετικές λειτουργίες ασφαλείας ελέγχονται ηλεκτρομηχανολογικά. Ο ηλεκτρομηχανικός έλεγχος έχει προτεραιότητα από τον έλεγχο με τον μικροεπεξεργαστή.

Η παύση της λειτουργίας γίνεται με της εξής τρόπους :

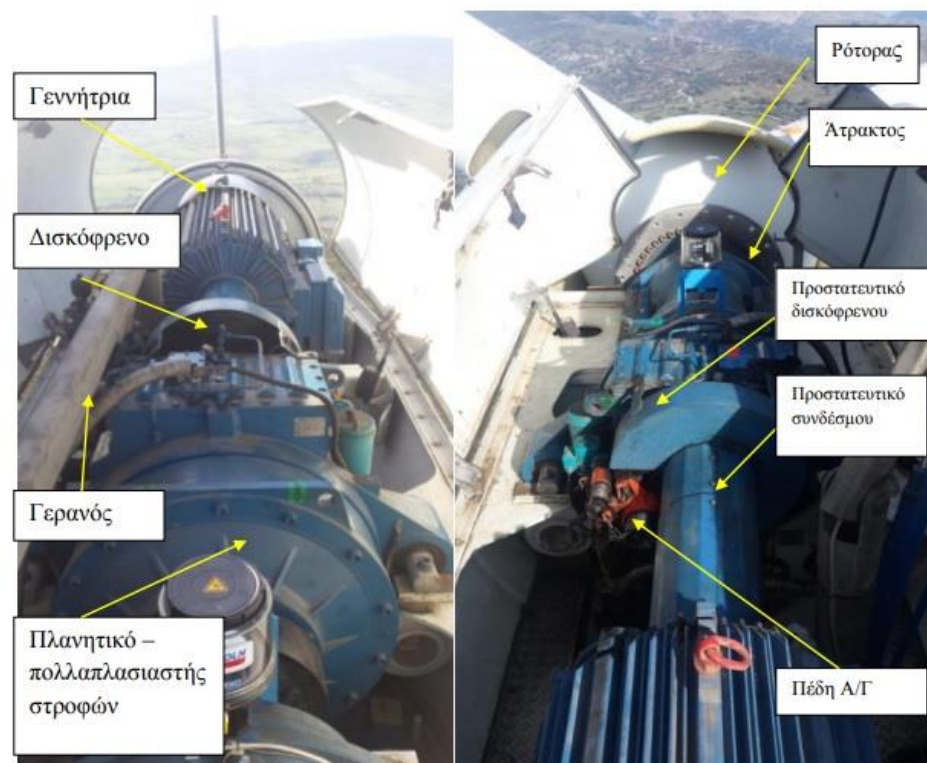
- χειροκίνητο σταμάτημα (π.χ. για λόγους συντήρησης)

- Πέδη συγκρατήσεως (φρένο) Ο ρότορας μπορεί να σταματήσει με την βοήθεια το φρένου που ενεργοποιείται από τον διακόπτη κινδύνου σε συνδυασμό με τη 23 διαδικασία emergency stop (παύση λειτουργία κινδύνου), π.χ. ταχεία ρύθμιση του βήματος πτερυγίου. Κάποιο

σφάλμα στο φρένο δεν επηρεάζει την λειτουργία του συστήματος ασφαλείας. Σε περίπτωση σφάλματος του δικτύου, ενεργοποιείται η διαδικασία παύσης κινδύνου με την βοήθεια της ταχείας ρύθμισης του βήματος των φτερών. Το φρένο δεν ενεργοποιείται και ο ρότορας περιστρέφεται ελεύθερα. Αν οι στροφές του ρότορα ξεπεράσουν της ονομαστικές στροφές κατά 30% ο ηλεκτρικός διακόπτης υπερέταχυνσης ενεργοποιεί το κύκλωμα του emergency stop και το μηχανικό φρένο ενεργοποιείται ταυτόχρονα με την ταχεία ρύθμιση του βήματος των φτερών

### Μείωση – Απόρριψη ισχύος :

Η μείωση ή η απόρριψη παραγωγής από την γεννήτρια, υλοποιείται με την ρύθμιση της γωνίας σφήνωσης των πτερυγίων, μέσω του συστήματος αυτόματου ελέγχου και ρυθμίσεως. →[21]



Εικόνα 3.12 Εσωτερικό Ανεμογεννήτριας Οριζόντιου Άξονα →[21]

### 3.1.2.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ-ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ

#### Αισθητήρας μέτρησης διεύθυνσης και ταχύτητας αέρα.

Υπάρχει ένας αισθητήρας ο οποίος χρησιμοποιείται κυρίως στις ανεμογεννήτριες VESTAS V90 και μετρά την ταχύτητα και τη διεύθυνση του αέρα.

Ο αισθητήρας είναι χωρίς κινούμενα μέρη και η μέτρηση είναι βασισμένη στις υπερηχητικές αρχές.

Το Ultrasonic Anemometer 2D έχει ως σκοπό να μετρήσει την διεύθυνση και την ταχύτητα του αέρα σε δύο διαστάσεις. Έχει την ικανότητα να παίρνει τιμές πάρα πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα να μπορεί να μετράει και τα κάστ.

Το ανεμόμετρο αυτό είναι εξοπλισμένο με μια αντίσταση θέρμανσης έτσι ώστε το όργανο να μην επηρεάζεται από έντονα καιρικά φαινόμενα όπως χιόνια, πάγος και έντονη βροχή.

Τρόπος λειτουργίας:

Το ανεμόμετρο αποτελείται από 4 υπερηχητικούς μετασχηματιστές ανά 2 ζευγάρια οι οποίοι ο ένας είναι απέναντι από τον άλλο σε μια απόσταση 200 χιλιοστών. Έτσι διαμορφώνονται δύο πορείες μέτρησης κάθετες μεταξύ τους. Οι μετασχηματιστές ενεργούν και οι δύο ανά ζευγάρι σαν ακουστικές συσκευές αλλά και σαν ακουστικοί δέκτες. Οι αντίστοιχες πορείες μέτρησης και η κατεύθυνση μέτρησης τους επιλέγονται μέσω του ηλεκτρονικού ελέγχου. Όταν ξεκινάει η μέτρηση πραγματοποιείται μια ακολουθία μετρήσεων μέσα σε 20 msec σε 20 °C. Η ακολουθία αυτή αποτελείται από 8 μονωμένες μετρήσεις και στις 4 κατευθύνσεις οι οποίες περιστρέφονται δεξιόστροφα.

- A) Από τη δύση στην Ανατολή.
- B) Από τον Βορρά στο Νότο και
- Γ) Από την Ανατολή στη Δύση.

Το FT702LT είναι ένας στερεάς κατάστασης μετεωρολογικός αισθητήρας, ο οποίος χρησιμοποιεί την κατοχυρωμένη με δίπλωμα

ευρεσιτεχνίας ακουστική τεχνική αντίληψης ροών αέρος αντήχησης για να μετρηθεί ακριβώς και η ταχύτητα ανέμου και η κατεύθυνση .

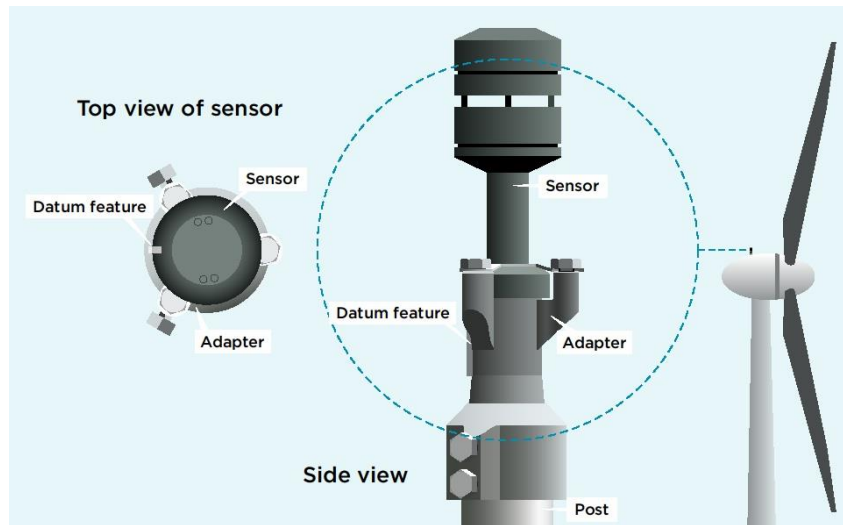


Εικόνα 3.13 Ο αισθητήρας FT702LT

Το FT702LT έχει σχεδιαστεί συγκεκριμένα για τις εφαρμογές ελέγχου ανεμογεννητριών. Δεν χρειάζεται καμία κανονική συντήρηση και είναι ικανός να λειτουργήσει σε δύσκολες συνθήκες περιβάλλοντος όπως στις παράκτιες και επιρρεπείς στον πάγο περιοχές, το FT702LT παρέχει τους κατασκευαστές ανεμογεννητριών και τους χειριστές με μια τέτοια εγκατάσταση να ξεχνούν τα προβλήματα που αφορούν την αντίληψη του αέρα.

Χωρίς τα κινούμενα μέρη που υποβιβάζουν την λειτουργία, μειώνονται οι δαπανηρές επισκέψεις για συντήρηση καθώς και ο χρόνος διακοπής της λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Το FT702LT έχει εγκαθιστάμενο ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό θερμοστατικά ελεγχόμενο full-body σύστημα θέρμανσης. Μια θερμάστρα τριών στοιχείων (ένα στοιχείο που βρίσκεται στην κορυφή του αισθητήρα και δύο στο κατώτατο σημείο) χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι η θέρμανση κατανέμεται ομοιόμορφα σε ολόκληρη την περιοχή επιφάνειας. →[22]





Εικόνα 3.14 Δομή Αισθητηρίου FT702LT

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### 4.1 Συμπεράσματα

Το πόρισμα που προκύπτει από την παραπάνω εργασία μπορεί να αναλυθεί σε δύο σημαντικούς τομείς και είναι το εξής :

- a) **Περιβαλλοντολογικά** : Η Ελλάδα είναι μια χώρα με άφθονες τοποθεσίες για εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων διότι διαθέτει και από τη μία πλούσιο ορεινό τοπίο και πάρα πολλές ακτές που θα εξυπηρετούσαν τη δημιουργία υπεράκτιων αιολικών πάρκων και από την άλλη δέχεται διαρκώς δυνατούς ανέμους ιδιαίτερα στα πελάγη. Έτσι τα μεγέθη της ηλεκτρικής ενέργειας ,η οποία προκύπτει λόγω της αιολικής ,που μπορούν να παραχθούν στη χώρα μας μπορούν να φτάσουν πολύ μεγάλο βαθμό ,άρα είναι πολύ σημαντικό να εκμεταλλευτούμε αυτή τη δυνατότητα τόσο για το περιβάλλον (μείωση καύσης βοξίτη κτλ) όσο και για πρακτικούς λόγους.
- b) **Τεχνολογικά**: Ο αυτοματισμός είναι η εξέλιξη της ηλεκτρονικής και της ηλεκτρολογίας και πλέον έχει μπει για τα καλά στη ζωή μας ακόμη και στις πιο απλές καθημερινές μας δραστηριότητες. Η εφαρμογή του αυτόματου ελέγχου σε συστήματα ανεμογεννητριών όπως και η διασφάλιση της προστασίας των συστημάτων αυτών σε ακραίες καιρικές συνθήκες και ακαριαίες βλάβες επιφέρει την αποτελεσματικότερη απόδοση τους και έχει άμεση έκβαση στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας άρα επιφέρει και οικονομικό κέρδος για μία χώρα. Επομένως είναι επιτακτική ανάγκη να εξοπλίζονται τα συστήματα αυτά με τους κατάλληλους ελεγκτές (PLC) και τα απαραίτητα ηλεκτρονικά στοιχεία έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αυτόματη λειτουργία και προστασία τους αντίστοιχα.

## 4.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Το δυναμικό των ΑΠΕ επαρκεί να υπερκαλύψει κατά πολλές φορές τις ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας. Κατά τη δεκαετία του 70, όταν ο ενθουσιασμός για τις ΑΠΕ ήταν πολύ μεγάλος, εκπονήθηκαν μελέτες που υποστήριζαν ότι είναι δυνατόν να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες αναπτυγμένων χωρών, όπως των Η.Π.Α., της Σουηδίας, της Μεγάλης Βρετανίας, αποκλειστικά από ΑΠΕ σε συνδυασμό με εξοικονόμηση ενέργειας και χωρίς καθόλου προσφυγή στα συμβατικά καύσιμα. Σήμερα, με τη συσσωρευμένη εμπειρία από τα πρώτα βήματα, οι εκτιμήσεις είναι περισσότερο ρεαλιστικές.

Ο κυριότερος ανασταλτικός παράγοντας είναι η δραστική πτώση των τιμών του πετρελαίου μετά το 1986, η οποία επέδρασε αρνητικά στην οικονομικότητα όλων των εναλλακτικών καυσίμων και όχι μονό των ΑΠΕ. Υπάρχει επίσης καλύτερη κατανόηση του χρονικού ορίζοντα που απαιτείται για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και τη διείσδυση τους στην αγορά σε εμπορική κλίμακα.

Οι παράγοντες αυτοί, σε συνδυασμό με δημοσιονομικούς περιορισμούς στους προϋπολογισμούς αρκετών κρατών έχουν οδηγήσει σε μείωση των προσπαθειών για την προώθηση των ΑΠΕ. Το κλίμα αυτό θα πρέπει να αναστραφεί, γιατί οι προοπτικές για την συνεισφορά των ΑΠΕ δεν πρέπει να στηρίζονται στις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις στις ενεργειακές αγορές, αλλά στην μακροπρόθεσμη αναπόφευκτη όμως πραγματικότητα εξαντλησιμότητας των συμβατικών ενεργειακών πόρων και των πιθανών περιορισμών στη χρήση τους για περιβαλλοντικούς λόγους.

Περιλαμβανόμενης και της συνεισφοράς των μεγάλων υδροηλεκτρικών, που εκτιμάται σε 12 εκατομμύρια ΤΠΠ, η συνολική συνεισφορά των ΑΠΕ το έτος 2000 θα έφτανε το 5% της ενεργειακής ζήτησης της Κοινότητας. Η συμβολή των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο κάθε κράτους μέλους της Ε.Ο.Κ. ποικίλει από 2-6% για το έτος 2000 ενώ για μακροπρόθεσμο ορίζοντα και σε συνάρτηση πάντοτε με την εξέλιξη των τιμών των συμβατικών καυσίμων και με τις τεχνολογικές προόδους στην αξιοποίηση των ΑΠΕ η συνεισφορά τους θα μπορούσε να αυξηθεί περισσότερο.

Θα θεωρηθεί αξιόλογο επίτευγμα εάν η συνεισφορά τους στις χώρες της Ε.Ο.Κ., πλην των μεγάλων υδροηλεκτρικών, αυξηθεί στο επίπεδο του 5-10% μέχρι τις αρχές του επόμενου αιώνα. Οι προοπτικές

ποικίλουν από χώρα σε χώρα ανάλογα με το δυναμικό των ΑΠΕ κάθε χώρας.

Με βάση τις απόψεις των υπεύθυνων κρατικών φορέων, εκτιμούσαν ότι θα μπορούσαν να συνεισφέρουν 4% στην πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας έως το έτος 2000, από το οποίο πάνω από τα 3/4, θα προερχόταν από την αιολική ενέργεια και το υπόλοιπο κυρίως από ηλιακή και βιομάζα. Η συνεισφορά αυτή θα μπορούσε να αυξηθεί στο 20% το-2050. Η Ελλάδα είναι χώρα ιδιαίτερα προικισμένη με όλες τις μορφές των ΑΠΕ. Η ηλιοφάνεια στη χώρα μας είναι η μεγαλύτερη στην Ευρώπη και ισχυροί άνεμοι επικρατούν στα νησιά του Αιγαίου.

Συγκεκριμένα όσον αφορά το εκμεταλλεύσιμο δυναμικό των ΑΠΕ έχουμε:

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση νερού μπορεί να τριπλασιαστεί. Εάν το 10% των κατοικιών εφαρμόσουν παθητικά ηλιακά συστήματα, θα επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 1 % της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης. Το δυναμικό της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας από τα ήδη γνωστά πεδία ανέρχεται σε 450MWh. Το δυναμικό των μικρών υδροηλεκτρικών έργων μπορεί να δώσει 4000GWh.

Σημαντικό είναι επίσης το δυναμικό της εξοικονόμησης ενέργειας ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη ότι ελάχιστες προσπάθειες έχουν γίνει μέχρι σήμερα στην χώρα μας προς αυτήν την κατεύθυνση. Πρόβλημα σημαντικό ωστόσο αποτελεί και η έλλειψη ενημέρωσης γύρω από τις ΑΠΕ.

Ο τομέας αυτός είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην προσπάθεια για ευρύτερη διάδοση και αξιοποίηση των ΑΠΕ που όμως έχει πολύ λίγο αναπτυχθεί μέχρι σήμερα.

Η ευρεία, σφαιρική όσο και κατανοητή πληροφόρηση του κοινού για τα πολλαπλά οφέλη (οικονομικά, περιβαλλοντικά, κοινωνικά κ.α.) που θα προκύψουν, των ιδιωτών που επιδιώκουν ανάληψη επενδυτικών πρωτοβουλιών στο χώρο, η ενεργοποίηση της Ελληνικής Βιομηχανίας και στον κατασκευαστικό κλάδο των ΑΠΕ, είναι στόχοι πρώτης προτεραιότητας, που δεν έχουν όμως υλοποιηθεί σε σημαντικό βαθμό.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, παρά το γεγονός ότι έχει εκδηλωθεί ενδιαφέρον από ιδιώτες να προχωρήσουν σε επενδύσεις η ανεπαρκή

ενημέρωση και το περιοριστικό γι' αυτούς θεσμικό πλαίσιο, έχουν οδηγήσει σε αισθητή αποθάρρυνσή τους. →[23]

Η GE Renewable Energy παρουσίασε τη μεγαλύτερη υπεράκτια ανεμογεννήτρια του κόσμου, ισχύος 12MW. Η νέα ανεμογεννήτρια αποκαλείται Haliade-X και έχει ύψος 260 μέτρων, δηλαδή είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από το Μπιγκ Μπεν.

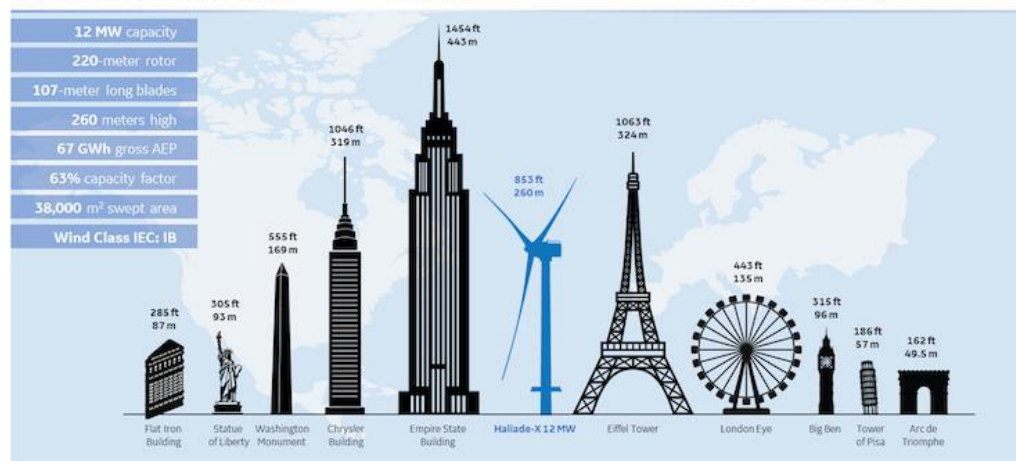
Σύμφωνα με την εταιρεία, θα είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες 16.000 νοικοκυριών, καθώς θα παράγει 45% περισσότερο ηλεκτρισμό από τα συστήματα που κυκλοφορούν σήμερα. Η GE θα επενδύσει 400 εκατ. δολάρια για την ανάπτυξη της και σκοπεύει να παράγει τα πρώτα συστήματα το 2021. →[24]

## HALIADE-X 12 MW

GE Renewable Energy is developing **Haliade-X 12 MW**, the biggest offshore wind turbine in the world, with **220-meter rotor**, **107-meter long blades**, leading capacity factor (**63%**), and **digital capabilities**, that will help our customers find success in an increasingly competitive environment.

One **Haliade-X 12 MW** can generate **67 GWh annually**, which is **45% more** annual energy production (AEP) than most powerful machines on the market today, and twice as much as the Haliade 150-6MW.

The **Haliade-X 12 MW** turbine will generate enough clean power for up to **16,000** European households per turbine, and up to **1 million** European households in a 750MW configuration windfarm.



Εικόνα 4.1 Σύγκριση μεγέθους της Haliade-X με μεγάλα κτήρια του κόσμου.

## Βιβλιογραφία

- [1] < [www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)>
- [2] <[www.allaboutenergy.gr](http://www.allaboutenergy.gr)>
- [3] < <https://el.wikipedia.org>>
- [4] **Τσακίρη Χριστίνα, Ακαντζιώλης Στέφανος** «Σχεδιασμός και κατασκευή Ανεμογεννητριών» -Καβάλα Τ.Ε.Ι. Καβάλας 2018
- [5] < [www.infonawatica.com](http://www.infonawatica.com) >
- [6] <[www.users.sch.gr](http://www.users.sch.gr)>
- [7] **Πανίδης Αλέξανδρος** « Αιολική Ενέργεια-Αιολικά Πάρκα» -Καβάλα Τ.Ε.Ι. Καβάλας 2013
- [8] **Λιακοπούλου Αικατερίνη** «Σχεδίαση Εποπτικού Περιβάλλοντος για τον έλεγχο συστημάτων μεταβλητής Ταχύτητας με τη βοήθεια υπολογιστή» -Πάτρα Πανεπιστήμιο Πατρών 2018
- [9] <[www.powerinoftoday.com](http://www.powerinoftoday.com)>
- [10] <[www.researchgate.com](http://www.researchgate.com)>
- [11] <[www.gneng.blogspot.com](http://www.gneng.blogspot.com)>
- [12] **Πολυνείκης Κανέλλας** «Μελέτη Εγκαταστάσεων Υπεράκτιου Αιολικού Πάρκου 240 MW στον κόλπο της Αλεξανδρούπολης» -Θεσσαλονίκη Α.Π.Θ. 2016
- [13] < [www.ypodomes.com](http://www.ypodomes.com) >
- [14] < <https://eclass.upatras.gr> >
- [15] **Μαρουδάς Διονύσιος** « Συγκριτική ανάλυση αιολικών πάρκων και έλεγχος ισχύος σε σύστημα με ασύγχρονη μηχανή διπλής τροφοδοσίας» -Πάτρα Πανεπιστήμιο Πατρών 2008
- [16] **Κόλλιας Ιωάννης** « Ανάλυση Συστήματος Μετάδοσης Ισχύος Ανεμογεννήτριας Μεγάλης Ισχύος» -Αιγάλεω Τ.Ε.Ι. Πειραιά 2012
- [17] **Δημήτριος Σιάνας** «Αντικεραυνική προστασία ανεμογεννητριών» - Πάτρα Πανεπιστήμιο Πατρών 2012
- [18] **Δημόπουλος Ανδρέας , Αλεξάκης Μανώλης** « Ανάπτυξη συστήματος αυτομάτου ελέγχου ανεμογεννήτριας 5 KW » -Ηράκλειο Τ.Ε.Ι. Κρήτης 2008
- [19] **Α. Καλαξίδης** «Προστασία των διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος από υπερτάσεις του δικτύου ηλεκτρικής παροχής »

[20] **Θεωδορογλάκης Εμμανουήλ** «Μοντελοποίηση και προσομοίωση υβριδικού συστήματος ανεμογεννήτριας και κυψελών καυσίμου με το λογισμικό Simulink της Matlab » -Χανιά Πολυτεχνείο Κρήτης 2012

[21] **Γωνιακάκης Γεώργιος** « Συντήρηση αιολικού πάρκου και ανεμογεννήτριας Nordex42» -Ηράκλειο Τ.Ε.Ι. Κρήτης 2017

[22] **Πατής Παναγιώτης** «Κατασκευή λειτουργία και συντήρηση πάρκων αιολικής ενέργειας στη Στερεά Ελλάδα» -Χανιά Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης 2010

[23] **Πουλή Γ. Αικατερίνη** « Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα» - Καβάλα Α.Τ.Ε.Ι. Καβάλας 2006

[24] < [www.energy-industry.gr](http://www.energy-industry.gr) >