



<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>4</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>7</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>9</b>
<b>ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</b> .....	<b>9</b>
<b>ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b> .....	<b>10</b>
<b>1. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ</b> .....	<b>12</b>
1.1 Περιγραφή Λειτουργίας Ανεμογεννητριών.....	12
1.1.2 Τεχνολογία Ανεμογεννητριών.....	13
1.2.3 Αιολικά Πάρκα.....	15
1.2 Ανεμογεννήτριες Μικρής Ισχύος.....	18
1.2.2 Τρόποι Εγκατάστασης Ανεμογεννήτριας Μικρής Ισχύος.....	20
1.3 Αγορά Ανεμογεννήτριας Μικρής Ισχύος.....	21
<b>2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ</b> .....	<b>29</b>
2.1. Σύστημα Ελέγχου Ανεμογεννήτριας Μικρής Ισχύος : ΑΛΚΥΟΝΙΣ 1 KW με Μικροεπεξεργαστή Και Συσσωρευτές.....	29
2.1.2. Πίνακας Ελέγχου.....	29
2.1.3 Λειτουργία Ελέγχου ΑΛΚΥΟΝΙΣ.....	30
2.2 Σύστημα Ελέγχου με Προγραμματιζόμενο Λογικό Ελεγκτή (PLC).....	31
2.2.1 Περιγραφή Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή.....	31
2.2.2 Στάδια Εργασίας Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή.....	32
2.2.3 Δομή Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή.....	33
2.2.4 Κύριες Λειτουργίες Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή.....	34
2.2.5 Πλεονεκτήματα Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή.....	34
2.2.6 Σύγκριση Συστημάτων Ελέγχου με PLC και Μικροεπεξεργαστή.....	35
2.3 Επιλογή συστήματος ελέγχου.....	37



<b>3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Α/Γ 5 KW ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ Χ.Τ.....</b>	<b>38</b>
3.1 Τεχνική περιγραφή ανεμογεννήτριας ισχύος 5 kW .....	40
3.2 Βασικά τμήματα ανεμογεννήτριας.....	42
3.2.1 Πτερύγωση .....	42
3.2.2 Ηλεκτρογεννήτρια .....	43
3.2.3 Μηχανισμός προσανεμισμού.....	47
3.2.4 Βραχίονας προσανατολισμού .....	49
3.2.5 Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας 5 kW .....	49
3.3 Συνοπτική περιγραφή συστήματος ελέγχου.....	50
3.3.1. Ελεγκτής.....	50
3.4 Διασύνδεση Α/Γ 5kw με το Δίκτυο Χ.Τ. ....	52
3.4.1 Περιγραφή Λειτουργίας Τριφασικής Ανορθωτικής Διάταξης.....	52
3.4.2 Περιγραφή Λειτουργίας Αντιστροφέα (Inverter) Συνδεδεμένο με το Δίκτυο Χ.Τ. ....	54
<b>4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ Α/Γ 5 KW.....</b>	<b>56</b>
4.1 Σενάριο Λειτουργίας.....	56
4.2 Ανάλυση Λειτουργίας Ελέγχου Α/Γ Μικρής Ισχύος 5 Kw .....	60
5) Έλεγχος τελικών θέσεων εμβόλου .....	63
6) Έλεγχος πτώσης δικτύου Χ.Τ .....	63
7) Έλεγχος συχνότητας και τάσης δικτύου Χ.Τ .....	64
4.3 Σύστημα Ασφαλείας (Αρχική Έκδοση).....	65
4.4 Σύστημα Ασφαλείας (Τελική Έκδοση).....	70
4.5 Χειροκίνητη Λειτουργία .....	73
4.6 Συνδεσμολογία Εξωτερικών Φορτίων Απόρριψης Ισχύος .....	73
<b>5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....</b>	<b>75</b>
5.1 Ηλεκτρονικές Διατάξεις (Ιδιοκατασκευές).....	75
5.1.1 Ασφαλειοδιακόπτης (24 Vdc/10 A).....	75
5.1.2 Τροφοδοτικό (230 Vac/±15 Vdc) .....	76
.....	76
5.1.3 Διάταξη Αισθητηρίου Τάσης (LEM LV-25P).....	76
5.1.4 Τροφοδοτικό (230 Vac/9 Vdc) .....	77
5.2 Αισθητήρια.....	78
5.2.1 Επαγωγικός Αισθητήρας Μέτρησης Στροφών (Rpm).....	78
5.2.2 Αισθητήριο Έντασης Ηλεκτρικού Ρεύματος (CSNS 300).....	78
5.2.3 Μέτρηση Έντασης Συνεχούς Ρεύματος.....	79
5.2.4 Μέτρηση Έντασης Μηχανισμού Προσανεμισμού.....	79



<b>6. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....</b>	<b>80</b>
6.1 Εισαγωγή.....	80
6.2 Επεξεργασία Μετρήσεων.....	81
6.2.1 Όργανα μέτρησης.....	81
6.2.2 Μεθοδολογία μέτρησης.....	81
6.3 Αποτελέσματα.....	82
6.3.1 Καμπύλη ισχύος (συναρτήσει περιστροφών ανά λεπτό – rpm).....	82
6.3.2 Καμπύλη Ρεύματος.....	83
(συναρτήσει περιστροφών ανά λεπτό – rpm). .....	83
6.3.3 Καμπύλη βαθμού απόδοσης.....	84
(συναρτήσει περιστροφών ανά λεπτό – rpm). .....	84
6.3.4 Καμπύλη βαθμού απόδοσης (συναρτήσει ισχύος γεννήτριας). .....	85
<b>7. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 5 KW.....</b>	<b>86</b>
7.1 Μελέτη Εγκατάστασης.....	86
7.2 Μελέτη Εγκατάστασης Γείωσης.....	89
7.3 Μελέτη Αντικεραυνικής Προστασίας.....	92
<b>8. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>95</b>
<b>9.ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....</b>	<b>99</b>
9.1 Οικονομοτεχνική μελέτη 1 <sup>ης</sup> έκδοσης.....	99
9.2 Οικονομοτεχνική μελέτη 2 <sup>ης</sup> έκδοσης.....	102
9.3 Συμπεράσματα.....	104
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>105</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....</b>	<b>106</b>
Κώδικας Προγραμματισμού.....	106
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....</b>	<b>118</b>
(1) Σχέδια Εγκατάστασης.....	118
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....</b>	<b>119</b>
(2) Βαθμονομήσεις Ηλεκτρονικών Διατάξεων.....	119
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.....</b>	<b>126</b>
Τεχνικά Εγχειρίδια Εξαρτημάτων Συστήματος Ελέγχου (Manuals).....	126
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>127</b>



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με τη διεκπεραίωση της εργασίας αυτής, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε πολύ τον **Δάσκαλο** μας Γιάννη Μηναδάκη για τη θετική συμβολή, αλλά και την υπομονή του όλο αυτό το διάστημα. Τέλος για τη πολύτιμη βοήθεια, τις γνώσεις και την εμπειρία που μας προσέφερε.

Επίσης θέλουμε να ευχαριστήσουμε τους Νίκο Παπαδάκη για τη βοήθεια και τις συμβουλές του στο τομέα της επεξεργασίας και καταγραφής των μετρήσεων και όχι μόνο. Τον Θοδωρή Χορτάτσο για τις γνώσεις που μας προσέφερε στο μηχανολογικό τομέα και τη προθυμία του για συνεργασία. Τον Βασίλη Τζιτζιλώνη για τη βοήθεια και τη συμπαράστασή του.

Πρέπει να ευχαριστήσουμε ακόμα όλο το προσωπικό του εργαστηρίου.

Τέλος τον καθηγητή μας Γιώργο Τζαγκαράκη για τη πολύτιμη βοήθειά του και την ψυχολογική υποστήριξη του.



*Αφιερώνεται*

ΣΤΙΣ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΜΑΣ





## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ο πλήρης σχεδιασμός, προσομοίωση και κατασκευή συστήματος ελέγχου ανεμογεννήτριας ισχύος 5kW καθώς και η μελέτη σύνδεσής της με το δίκτυο Χ.Τ. Η εργασία εκπονήθηκε στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας & Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

Οι βασικές ερωτήσεις στις οποίες έπρεπε να βρεθούν απαντήσεις στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ήταν:

- Η ασφαλής λειτουργία της ανεμογεννήτριας
- Η ρύθμιση της παραγόμενης ισχύος
- Η σύνδεση με το δίκτυο Χ.Τ.
- Η πρόβλεψη και αντιμετώπιση πιθανών δυσλειτουργιών του συστήματος

Το κείμενο είναι χωρισμένο σε οχτώ (8) ενότητες. Αρχικά παρατίθεται αναφορά στην αιολική ενέργεια σε συνδυασμό με έρευνα αγοράς σε παγκόσμιο επίπεδο σχετικά με ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος (5kW) με αναφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά και του μηχανισμού ελέγχου τους.

Μέσω σύγκρισης μεταξύ της τεχνολογίας μικροεπεξεργαστή και προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή, επιλέχθηκε η δεύτερη, ως η βέλτιστη επιλογή για την προκειμένη περίπτωση ανεμογεννήτριας.

Στη συνέχεια περιγράφεται το σύνολο των τμημάτων που αποτελούν την ανεμογεννήτρια με αναφορές στα μηχανικά συστήματα όπως είναι ο ιστός στήριξης, η περύγωση, η ουρά, ο μηχανισμός προσανέμισης και η ηλεκτρογεννήτρια. Στην τρίτη ενότητα περιγράφονται διεξοδικά οι βασικοί παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό του συστήματος ελέγχου. Οι παράμετροι αυτοί ρυθμίζουν την λειτουργία της ανεμογεννήτριας προκειμένου να μην υπερβαίνει τα επιτρεπτά όρια παραγόμενης ισχύος, ενώ διασφαλίζουν ότι η λειτουργία της θα παραμένει σε όρια που δεν προκαλούν καταστροφή ή καταπόνηση οποιουδήποτε τμήματος του συστήματος ελέγχου, αλλά ούτε και της ίδιας της ανεμογεννήτριας.



Γίνεται επίσης πρόβλεψη για πιθανές καταστάσεις δυσλειτουργίας του συστήματος ελέγχου, είτε αυτές οφείλονται σε εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. δίκτυο) είτε σε ελαττωματική λειτουργία και φθορά εξαρτημάτων του ίδιου του συστήματος ελέγχου.

Πρωταρχικός στόχος είναι η ασφαλή λειτουργία του συστήματος και στη συνέχεια το ενδιαφέρον εστιάζεται στην βελτίωση της απόδοσής του. Το σύστημα ελέγχεται με κατάλληλη διαδικασία προσομοίωσης, προκειμένου να διαπιστωθούν πιθανές ελλείψεις, αλλά και η συμπεριφορά του σε όλες τις προβλεπόμενες περιπτώσεις.

Επόμενο βήμα, αποτελεί η περιγραφή της σχεδίασης και κατασκευής του συστήματος ελέγχου, το οποίο περιλαμβάνει πλήθος διατάξεων, ορισμένες εκ των οποίων αποτελούν ηλεκτρονικές ιδιοκατασκευές εξαιτίας της αδυναμίας εύρεσής τους στην αγορά, είτε ιδιαίτερα υψηλού κόστους.

Το σύστημα ενεργοποιείται σε πραγματικές συνθήκες και διαπιστώνεται η ανάγκη για περαιτέρω εξέλιξη της τεχνικής ασφαλούς λειτουργίας του. Με την ανασχεδίαση και ανακατασκευή τμήματος του συστήματος ελέγχου, η ανεμογεννήτρια τίθεται και πάλι σε λειτουργία, ενώ παράλληλα καταγράφεται η απόδοσή του σε αντίστοιχη ενότητα.

Στην ίδια ενότητα καταγράφεται και η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας καθώς και η απόδοση σε σημαντικά τμήματα του συστήματος ελέγχου.

Στην επόμενη ενότητα αναφέρονται οι μελέτες γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας, που πραγματοποιήθηκαν για την ολοκληρωμένη και ασφαλή εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας.

Στις τελευταίες ενότητες αναφέρονται οι οικονομοτεχνικές μελέτες του συστήματος ελέγχου για τις δύο εκδόσεις, καθώς επίσης οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα κατά την διεξαγωγή των παραπάνω εργασιών.

Τέλος στα Παραρτήματα καταγράφονται ο κώδικας προγραμματισμού, τα σχέδια εγκατάστασης και τα τεχνικά εγχειρίδια των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.





## Εισαγωγή

Ο άνεμος δημιουργείται απ' την κίνηση του αέρα από ζώνες μεγάλης πίεσης σε ζώνες χαμηλότερης πίεσης. Οι διαφορές πίεσης οφείλονται στη θέρμανση (απορρόφηση ενέργειας) της ατμόσφαιρας κάθε περιοχής απ' τον ήλιο. Το αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η απόδοση αιολικής ενέργειας. Η αιολική ενέργεια αξιοποιείται στις μέρες μας ολοένα και περισσότερο σε περιοχές όπου συχνά φυσούν ισχυροί άνεμοι. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Ο εγκλωβισμός, κατά τον Όμηρο, των ανέμων στον ασκό του Αιόλου (Ο Αίολος ήταν ο "διαχειριστής" των ανέμων κατά την αρχαιότητα) δείχνει ακριβώς την ανάγκη των ανθρώπων να διαθέτουν τους ανέμους στον τόπο και χρόνο που οι ίδιοι θα ήθελαν. Για πολλές εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου, ενώ η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήρια μηχανή εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Είναι η εποχή που εξαπλώνονται ραγδαία τα συμβατικά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός, ο οποίος φτάνει ως τα πιο απομακρυσμένα σημεία.

## Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιεί την ενέργεια του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα σύστημα αιολικής ενέργειας μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ή ηλεκτρική, με χρήσεις σε μια πληθώρα εφαρμογών. Με την τεχνολογική πρόοδο, η αιολική ενέργεια αντικαταστάθηκε σταδιακά από άλλες μορφές ενέργειας όπως η θερμική (μηχανές εσωτερικής καύσης) και σε μικρότερο ποσοστό την πυρηνική. Η αύξηση όμως στη ζήτηση ενέργειας μεταπολεμικά οδήγησε ορισμένες τεχνολογικά αναπτυγμένες χώρες στην κατάσχεση προγραμμάτων για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας.

Η αξιοποίηση του ανέμου πλέον δεν γίνεται με τους γνωστούς ανεμόμυλους, αλλά με τις σύγχρονες ανεμογεννήτριες, ενώ ο σκοπός δεν είναι πια το άλεσμα ή η άρδευση, αλλά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι ανεμογεννήτριες έχουν σύστημα πτερυγίων, το οποίο περιστρέφεται παράλληλα με τη φορά του ανέμου. Η ταχύτητα του ανέμου είναι συνήθως μικρή και γι' αυτό είναι δύσκολο να αξιοποιηθεί όλη η ενέργεια που μεταφέρει ο άνεμος.



Μια διάταξη ανεμογεννητριών ονομάζεται αιολικό πάρκο. Σ' ένα αιολικό πάρκο κάθε ανεμογεννήτρια έχει συνήθως τρία μακριά πτερύγια. Καθώς τα πτερύγια στρέφονται με τον άνεμο, δίνουν κίνηση στη γεννήτρια που παράγει ηλεκτρισμό.

## Χρησιμότητα Αιολικής Ενέργειας

Η συστηματική εκμετάλλευση του αξιόλογου αιολικού δυναμικού της χώρας μας θα συμβάλει :

- Στην αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ταυτόχρονη εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων, που συνεπάγεται οικονομικά οφέλη.
- Σε περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος, γνωρίζοντας ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού μιας μόνο ανεμογεννήτριας ισχύος 550 KW σε ένα χρόνο, υποκαθιστά την ενέργεια που παράγεται από την καύση 2.700 βαρελιών πετρελαίου, δηλαδή μείωση της εκπομπής 735περίπου τόνων CO<sub>2</sub> ετησίως καθώς και 2 τόνων άλλων ρύπων.
- Στη δημιουργία πολλών νέων θέσεων εργασίας, αφού εκτιμάται ότι για κάθε MW αιολικής ενέργειας δημιουργούνται 14 νέες θέσεις εργασίας.

Ενδεχόμενα προβλήματα από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι ο θόρυβος από τη λειτουργία των ανεμογεννητριών, οι σπάνιες ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στο ραδιόφωνο, τηλεόραση, τηλεπικοινωνίες, που επιλύονται όμως με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και επίσης πιθανά προβλήματα αισθητικής.

Η χώρα μας, με μεγάλη παράδοση στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, προσφέρεται ιδιαίτερα για την αξιοποίηση αυτής της ανανεώσιμης και καθαρής πηγής αφού διαθέτει ισχυρούς ανέμους, βουνοκορφές και απομονωμένα νησιά. Μεμονωμένες ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα λειτουργούν ήδη σε αρκετές περιοχές, με τάση να αυξηθούν τα επόμενα χρόνια.

Η αιολική ενέργεια είναι ανεξάντλητη, δηλαδή ανανεώσιμη, αλλά και καθαρή, δηλαδή “φιλική” προς το περιβάλλον μιας και η μετατροπή της σε ηλεκτρική δεν το επιβαρύνει.



Με μια γρήγορη ματιά, η αιολική ενέργεια είναι:

- Άφθονη και ανεξάντλητη
- Εγγώρια πηγή ενέργειας
- Βοηθά στην απεξάρτηση από ακριβά εισαγόμενα καύσιμα
- Η τεχνολογία εκμετάλλευσής της είναι εμπορικά ώριμη,
- Προσφέρει την καλύτερη περιβαλλοντικά λύση,
- Προσφέρεται για περιφερειακή ανάπτυξη,
- Προσφέρεται για αποκέντρωση του ενεργειακού μοντέλου παραγωγής,
- Δεν την έχουν λίγα «τυχερά» κράτη, αλλά ΟΛΟΙ,
- Δεν χρειάζονται στρατιωτικές εκστρατείες για να την εξασφαλίσεις,
- Ενισχύει το ηλεκτρικό δίκτυο λόγω της διασποράς στην ανάπτυξη της
- Δίνει ενέργεια χωρίς καύσιμο



## 1. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

### 1.1 Περιγραφή Λειτουργίας Ανεμογεννητριών

Η ισχύς που αποδίδει και κατ' επέκταση, η ενέργεια που παράγει μια ανεμογεννήτρια είναι συνάρτηση της τρίτης δύναμης της ταχύτητας του ανέμου, της πυκνότητας του ανέμου και των τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος. Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος και γι' αυτό οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται πάντα στην κορυφή υψηλών πύργων στήριξης. Παρ' όλα αυτά οι θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι για την παραγωγή ωφέλιμου έργου μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο το 53,9% της συνολικής ενέργειας του ανέμου.

Η ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα ανταποκρίνεται στις μεταβολές ταχύτητας του ανέμου με αυτόματη αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων (pitch control), με τη ζεύλωση παθητικών φτερών είτε (passive blade pitching) είτε με την διακοπή της λειτουργίας της. Ο άξονας της παραλληλίζεται αυτόματα προς τη διεύθυνση του ανέμου έτσι ώστε ο άνεμος να προσβάλλει κάθετα την επιφάνεια που διαγράφουν τα πτερύγια. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται τελικά η βέλτιστη παραγωγή ενέργειας από το άνεμο με συντελεστή μέχρι και 48% και εξασφαλίζονται ικανοποιητικά όρια στα χαρακτηριστικά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μηχανική ισχύς που αναπτύσσεται στον άξονα των πτερυγίων από τον άνεμο μεταδίδεται στην ηλεκτρική γεννήτρια με τις κατάλληλες στρόφες. Η γεννήτρια, που μπορεί να είναι σύγχρονη ή επαγωγική, παράγει την ηλεκτρική ενέργεια και τροφοδοτεί την κατανάλωση.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι χρονικά ασυνεχής, επειδή ακολουθεί τη διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου, ενώ η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τις ώρες της ημέρας, την εποχή, την οικονομική και κοινωνική δομή των καταναλωτών, κτλ. Αποτέλεσμα αυτών των παραγόντων είναι η παρουσία σημαντικών ταλαντώσεων ισχύος, ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα, ενώ όταν εμφανίζονται πολύ ισχυροί άνεμοι, διακόπτεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



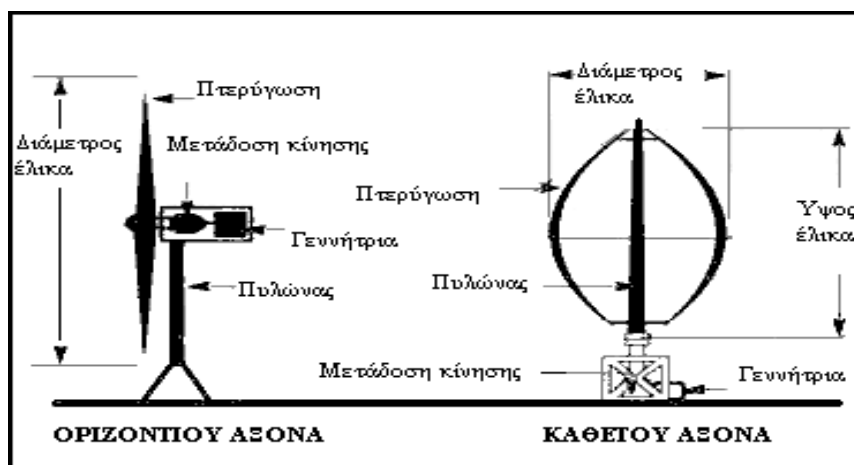
Για τον σχεδιασμό ενός αυτόνομου αιολικού ηλεκτρικού συστήματος μικρής ισχύος θα πρέπει να προβλεφθεί δυνατότητα αποθήκευσης. Συνηθέστερη μέθοδος είναι η εγκατάσταση συσσωρευτών, αλλά στο μέλλον ίσως χρησιμοποιηθούν και άλλοι μέθοδοι, όπως η υδροδυναμική εκμετάλλευση πεπιεσμένου αέρα, παραγωγή υδρογόνου, κλπ.

### 1.1.2 Τεχνολογία Ανεμογεννητριών

Σήμερα η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, όπως προαναφέρθηκε, γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική (ανεμογεννήτριες). Τα συστήματα αιολικής ενέργειας γενικά μπορούν να διαχωριστούν σε δύο τύπους ανάλογα με τον τρόπο περιστροφής του άξονα της τουρμπίνας. Οι βασικές κατηγορίες είναι οι εξής :

- Ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα, όπου ο δρομέας είναι τύπου έλικας και ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς παράλληλα προς τον άνεμο.
- Ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα που παραμένει σταθερός .

Στην Εικόνα 1.1 περιγράφονται οι δύο τύποι συστημάτων και τυπικά υπό-συστήματά τους που απαιτούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα υποσυστήματα περιλαμβάνουν τις λεπίδες, τον μηχανισμό περιστροφής, την μονάδα μετατροπής κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική, τον πυλώνα στήριξης, καθώς και την έδραση του.



Εικόνα 1.1: Τεχνολογία ανεμογεννητριών.



Στην παγκόσμια αγορά έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα σε ποσοστό 90%. Η ισχύς τους μπορεί να ξεπερνά τα 500 KW και μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο Μ.Τ. της χώρας. Έτσι μια συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών (αιολικό πάρκο), μπορεί να λειτουργήσει σαν μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

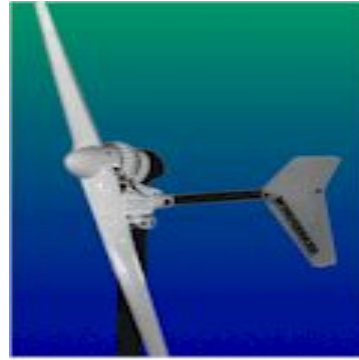
Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα μπορούν ακόμα να διακριθούν ως εξής :

- Δίπτερες
- Τρίπτερες
- Πολύπτερες

Οι τρίπτερες, με ρότορα μικρότερο των 10 μέτρων, έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού δυναμικού (ευρύ φάσμα ταχυτήτων ανέμου) και χαμηλού κόστος κατασκευής και συντήρησης, καθώς τα προβλήματα αντοχής και δυναμικής καταπόνησης των μηχανικών μερών είναι περιορισμένα στις μηχανές αυτής της κατηγορίας. Στις μηχανές μεγάλου μεγέθους επικρατούν οι δίπτερες, με κόστος κατασκευής και συντήρησης μικρότερο απ' αυτό των τρίπτερων αντίστοιχου μεγέθους. Η τάση της σύγχρονης τεχνολογίας αιολικής ενέργειας εστιάζεται σε ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος, δυναμικότητας 20 ως 75 KW, ενώ στα αιολικά πάρκα χρησιμοποιούνται ανεμογεννήτριες δυναμικότητας 300 ως 2.000 KW.

Στην

**Εικόνα 1.2** παρουσιάζονται οι τρίπτερες και δίπτερες ανεμογεννήτριες, αντίστοιχα.



Εικόνα 1.2: Είδη ανεμογεννητριών.

### 1.2.3 Αιολικά Πάρκα

Την πιο οικονομική εφαρμογή αιολικής ενέργειας αποτελούν τα αιολικά πάρκα διότι το κόστος κατασκευής και συντήρησης μειώνονται σημαντικά όσο η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται.

Τα αιολικά πάρκα διακρίνονται σε τέσσερις (4) τύπους κατασκευής ανάλογα με τον τρόπο έδρασης [1].

1. Ο πρώτος τύπος αναφέρεται σε αιολικά πάρκα τα οποία χρησιμοποιούν οπλισμένο σκυρόδεμα για την θεμελίωση στους πυθμένα στους θάλασσας. Τα πρώτα αιολικά πάρκα ανοιχτά στους θάλασσας κατασκευάστηκαν στην Δανία στους περιοχές Vindeby και Tunoe Knob. Η θεμελίωση κατασκευάστηκε στην στεριά, μεταφέρθηκε με πλωτά μέσα στα σημεία έδρασης όπου και βυθίστηκε αφού πρώτα διοχετεύτηκε άμμος και χαλίκι για την στήριξή τους. Στην συνέχεια πάνω στη θεμελίωση στηρίζεται ο πυλώνας, ο μηχανισμός περιστροφής, οι λεπίδες και το απαιτούμενο ηλεκτρολογικό υλικό. Η παραπάνω κατασκευαστική αρχή είναι αυτή που χρησιμοποιείται στην κατασκευή γεφυρών π.χ. παρόμοια κατασκευή χρησιμοποιήθηκε για την θεμελίωση στους γέφυρας του Ρίου – Αντίρριου. Η θεμελίωση συνήθως έχει κωνικό σχήμα για την αποφυγή παγετού ιδιαίτερα σε χώρες με έντονες χιονοπτώσεις κατά την διάρκεια του χειμώνα. Το κόστος κατασκευής είναι ανάλογο με το βάθος του πυθμένα, όσο αυξάνεται το βάθος εφαρμογής αυξάνεται και το κόστος. Το επιτρεπτό βάθος για κατασκευή έχει οριστεί στα 10 μέτρα, μετά το βάθος αυτό το κόστος αυξάνεται ραγδαία ή χρησιμοποιούνται διαφορετικές κατασκευαστικές τεχνικές για την μείωση του.



Στην Εικόνα 1.3 απεικονίζεται ένα θαλάσσιο αιολικό πάρκο. Για τη θεμελίωση του στο πυθμένα στους θάλασσας χρησιμοποιήθηκε οπλισμένο σκυρόδεμα.



Εικόνα 1.3 : Θαλάσσιο αιολικό πάρκο.

2. Ο δεύτερος τύπος αιολικού πάρκου, υιοθετεί την ίδια διαδικασία κατασκευής με την διαφορά ότι η θεμελίωση από οπλισμένο σκυρόδεμα αντικαθίσταται από έναν μεταλλικό σωλήνα όπου βιδώνεται και συγκολλείται πάνω σε πλάκα έδρασης, αφού πρώτα το έδαφος έχει υποστεί κατάλληλη γεωτεχνική προετοιμασία.

Στην Εικόνα 1.4 παρουσιάζεται ένα επίγειο αιολικό πάρκο.



Εικόνα 1.4 : Επίγειο αιολικό πάρκο.

3. Ο τρίτος τύπος αιολικού πάρκου είναι παρόμοιος με τον δεύτερο με την διαφορά ότι η διάταξη θεμελίωσης επιτυγχάνεται με την χρήση τριπόδου. Το τρίποδο αυτό αποτελείται από μεταλλικά μέρη και αποτελεί την πιο σταθερή κατασκευαστική διάταξη ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου μεγάλο φορτίο ασκείται στην βάση από τον πυλώνα, καθώς και σε περιπτώσεις για την αποφυγή υψηλών κυμάτων.

4. Ο τέταρτος τύπος αιολικού πάρκου δεν έχει υλοποιηθεί ακόμη, αποτελεί τμήμα ερευνητικού προγράμματος στο Πανεπιστήμιο UCL στο Λονδίνο,





έχει επιτευχθεί όμως εξομοίωση σε εργαστηριακό περιβάλλον. Πρόκειται για πλωτό σύστημα αιολικής ενέργειας το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε χωρίς περιορισμούς σε βάθος πυθμένα. Το πλωτό σύστημα, στο οποίο ενσωματώνεται ο πυλώνας και η τουρμπίνα, είναι μερικώς βυθισμένο για την αποφυγή έντονων διακυμάνσεων στην θαλάσσια επιφάνεια και έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη πλοϊμότητα της όλης κατασκευής. Το πλωτό μέρος στις δοκιμές που έγιναν είχε διάμετρο από 80 μ. έως 120 μ. και με κυμαινόμενο φορτίο στους τάξεως των 12,000 και 40,000 τόνων [1]. Η έρευνα στον τομέα των πλωτών κατασκευών θα συμβάλει στον σχεδιασμό και ανάπτυξη θαλάσσιων αιολικών πάρκων.

Αναμφισβήτητα η αιολική ενέργεια τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται με ραγδαίους ρυθμούς. Είναι σημαντικό ότι σε χώρες όπως η Ολλανδία, η Δανία και η Μεγάλη Βρετανία, οι καταναλωτές μπορούν να επιλέξουν παροχή ηλεκτρικού ρεύματος από αιολικά πάρκα για μείωση τιμολογίου ηλεκτρικού ρεύματος ή μείωση φόρου. Έχουν καταγραφεί περιπτώσεις κατά τις οποίες, μικρές σε πληθυσμό πόλεις ηλεκτροδοτούνται αποκλειστικά από αιολικά πάρκα αλλά και Φ/Β συστήματα. Αξιοσημείωτο παράδειγμα η πρωτοπόρος Δανία και η νήσος Shamsø (Σαμσό) αλλά και ο δικός μας Αϊ Στρατής (νησί που υπάγεται στο Νομό Λέσβου). Τα δύο αυτά νησιά δεν είναι διασυνδεδεμένα με το αντίστοιχο σταθερό ηλεκτρικό δίκτυο στους χώρες τους. Σύμφωνα με μελέτες, σε λίγα χρόνια θα είναι 100% ηλεκτρικά αυτόνομα, καθώς θα τροφοδοτούνται αποκλειστικά από Α.Π.Ε. (αιολικά πάρκα και υδροστρόβιλους) [2]. Σημαντική μπορεί να χαρακτηριστεί η κίνηση για την ίδρυση 'πράσινης πόλης' Masdar στο Abu Dhabi των Ηνωμένων Αραβικών Εμιράτων, καθώς οι επιστήμονες θεωρούν ότι το 2016 η πόλη θα ηλεκτροδοτείται αποκλειστικά από αιολικά πάρκα και φωτοβολταϊκά συστήματα[3]. Η αιολική ενέργεια μπορεί να συμβάλει αισθητά στην αποφυγή χρήσης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με δυνατότητα εγκατάστασης σε οποιαδήποτε τοποθεσία, σε απομακρυσμένα χωριά και νησιά χωρίς παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Σημαντική είναι και η έρευνα στον σχεδιασμό και ανάπτυξη έξυπνων αιολικών πάρκων που κάνουν χρήση των κλιματικών αλλαγών αλλά και ενεργούν με γνώμονα τις ενεργειακές απαιτήσεις του δικτύου[4]. Ιδιαίτερη έρευνα γίνεται στον σχεδιασμό λεπίδων για αύξηση της απόδοσης της τουρμπίνας καθώς και των μεθόδων θεμελίωσης και έδρασης στον πυθμένα για την μείωση του κόστους.



## 1.2 Ανεμογεννήτριες Μικρής Ισχύος

Οι ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος (0.1 έως 75 KW), αποτελούν κατάλληλη και βιώσιμη λύση για περιοχές χωρίς πρόσβαση σε δίκτυο. Όπως και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκά), οι μικρές ανεμογεννήτριες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτόνομα ή υβριδικά συστήματα (συνδυασμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας & συμβατικών πηγών όπως το πετρέλαιο) για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ μικρά οικιακά και εμπορικά συστήματα μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο παρέχοντας πράσινη ενέργεια, αλλά και ένα συμπληρωματικό εισόδημα στον ιδιοκτήτη τους. Μια μικρή ανεμογεννήτρια που αντικαθιστά μια ηλεκτρογεννήτρια σε ένα εξοχικό ή μια αγροικία, μας βοηθά να αποφύγουμε την έκλυση περίπου δύο (2) κιλών διοξειδίου του άνθρακα για κάθε κιλοβατώρα που χρησιμοποιούμε. Επίσης οι ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος συναντώνται μέσα σε οικιστικές ζώνες, σε κήπους και οροφές κατοικιών και είναι ήδη αποδεκτές απ' το κοινωνικό σύνολο (Εικόνα 1.5 : Α/Γ σε **εξοχική κατοικία** Εικόνα 1.6).





Εικόνα 1.5 : Α/Γ σε εξοχική κατοικία

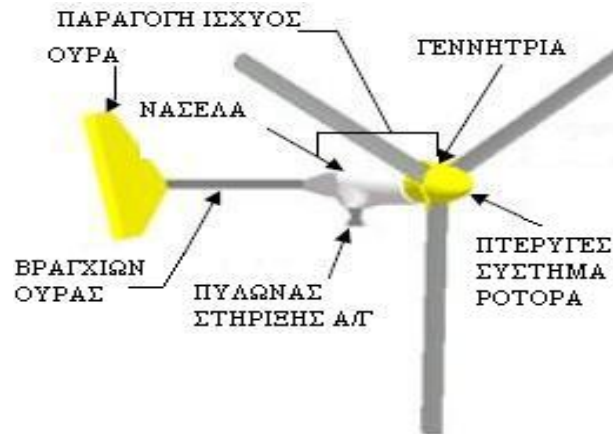
Εικόνα 1.6 : Α/Γ σε οικιστική ζώνη.

Σχετικά πρόσφατα, από τους ανεμόμυλους περάσαμε στις ανεμογεννήτριες, η τεχνολογία των οποίων αναπτύχθηκε τόσο πολύ τα τελευταία χρόνια, ώστε το κόστος παραγωγής μιας KWH να είναι πλέον μικρότερο από το κόστος μιας συμβατικής μονάδας. Η Ελλάδα εκτιμάται ότι διαθέτει τεχνικά εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της τάξης των 11.000 MW για ταχύτητα ανέμου μεγαλύτερης των 6m/sec. Ο βαθμός απόδοσης των ανεμογεννητριών πλησιάζει σήμερα το 50% και η τεχνολογία τους συνεχώς βελτιώνεται.

Μία ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος αποτελείται συνήθως από τα παρακάτω μέρη:

- 1) Δρομέας: Είναι το στρεφόμενο μέρος της μηχανής, το άκρο του οποίου είναι τύπου έλικας με συνήθως δύο ή τρία πτερύγια.
- 2) Ηλεκτρογεννήτρια: Είναι είτε συνεχούς τάσης (12, 24, 48 Vdc) ή εναλλασσόμενης τάσης των (230 Vac). Συνηθέστερη επιλογή ασύγχρονη ηλεκτρογεννήτρια με εσωτερική διέγερση.
- 3) Δισκόφρενο: Πρόκειται για το σύστημα πέδησης της ανεμογεννήτριας όταν αυτό βέβαια κρίνεται απαραίτητο λόγω των καιρικών συνθηκών.
- 4) Σύστημα προσανεμισμού: Αποτελείται απ' τον μηχανισμό και απ' τον βραχίονα προσανεμισμού (ουρά). Το σύστημα αυτό κατευθύνει την ανεμογεννήτρια παράλληλα με τη διεύθυνση του αέρα.
- 5) Πυλώνας: Ο ιστός στον οποίο τοποθετείται η ανεμογεννήτρια. Για μία ανεμογεννήτρια 10 KW το ελάχιστο ύψος πυλώνα είναι τα 24 μέτρα. Στις πιο πολλές περιπτώσεις, το ύψος του πυλώνα φτάνει τα 30-40 μέτρα. (το ύψος αυτό προτιμάται για καλύτερη απόδοση της Α/Γ ).
- 6) Σύστημα ελέγχου: Ο έλεγχος της ανεμογεννήτριας είναι το σημαντικότερο κομμάτι που θα καθορίσει τη σωστή λειτουργία της. Συνήθως ο έλεγχος γίνεται με προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC), με μικροεπεξεργαστές ή με ρυθμιστές τάσης.

Στην Εικόνα 1.7 παρουσιάζεται μια ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος και τα τμήματα που την αποτελούν.



Εικόνα 1.7 : Ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος.

Με την χρήση ανεμογεννητριών μικρής ισχύος επιτυγχάνουμε ηλεκτροδότηση απομονωμένων περιοχών για κάλυψη αγροτικών ή κτηνοτροφικών αναγκών, θέρμανση κατοικίας, φωτισμό και άλλες βασικές εφαρμογές μικρής ισχύος.

Τις περισσότερες φορές η λύση αυτή είναι η οικονομικότερη, γιατί απαλλασσόμαστε από το κόστος διασύνδεσης με το υπάρχον δίκτυο της Δ.Ε.Η. και η απόσβεση του συστήματος επιτυγχάνεται σε μικρό χρονικό διάστημα συναρτήσει βέβαια των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή εγκατάστασης του συστήματος.

### 1.2.2 Τρόποι Εγκατάστασης Ανεμογεννήτριας Μικρής Ισχύος

Όπως και στα φωτοβολταϊκά συστήματα, έτσι και στις ανεμογεννήτριες, υπάρχουν δύο τρόποι χρήσης ενός τέτοιου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας :

#### 1. Αυτόνομα συστήματα :

Τα αυτοδύναμα ή αυτόνομα συστήματα είναι συνήθως η πιο φτηνή πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε φορτία απομονωμένα, μακριά από το υπάρχον δίκτυο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εξοχικές ή απομονωμένες κατοικίες, καταφύγια, τηλεπικοινωνίες, τροχόσπιτα, μοναστήρια, κτηνοτροφικές μονάδες, αναμεταδότες, σκάφη αναψυχής, φωτισμό πινακίδων, γεωτρήσεις κλπ. Απαιτούν συσσωρευτές για την αποθήκευση της περισσεύουσας ισχύος, ελεγκτή φόρτισης, αντιστροφέα (inverter) της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη με κατάλληλες προδιαγραφές για κατανάλωση και ίσως κάποια εφεδρική πηγή ισχύος για πλήρη αυτονομία (π.χ. Φ/Β συστήματα).



## 2. Διασυνδεδεμένα συστήματα με το δίκτυο Χ.Τ:

Τα διασυνδεδεμένα συστήματα συνδέονται στο δίκτυο Χ.Τ. με τη βοήθεια αντιστροφέα (inverter) της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, με προδιαγραφές αντίστοιχες μ' αυτές του δικτύου και διπλούς ψηφιακούς μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας, για να γνωρίζουμε την παραγόμενη ενέργεια, αλλά και την παρεχόμενη ενέργεια στο δίκτυο.

### 1.3 Αγορά Ανεμογεννήτριας Μικρής Ισχύος

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε ανέδειξε την ύπαρξη αρκαιτών διαφορετικών μοντέλων ανεμογεννητριών μικρής ισχύος 0.1 έως 50 KW σε παγκόσμιο επίπεδο που κατασκευάζονται στο σύνολο τους σε αναπτυγμένες βιομηχανικά χώρες της Ευρώπης, ΗΠΑ, Αυστραλία, Κίνα. Στον ένθετο δίσκο που περιέχεται στο βιβλίο παρουσιάζεται υπό μορφή pdf αρχείου ένας συνοπτικός κατάλογος ανεμογεννητριών μικρής ισχύος.

Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν απ' την έρευνα είναι τα εξής:

1. Η ταχύτητα εκκίνησης αλλά και η ταχύτητα τερματισμού σε όλο το εύρος των μικρών ανεμογεννητριών από 0,1 έως 30 KW κυμαίνεται μεταξύ 2.5 έως 60 m/s αντίστοιχα. Επίσης η ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας αυτών, σε τιμές της τάξης των 9 έως 13.8 m/s.
2. Το σύστημα του ελέγχου ποικίλει ανά μοντέλο και ανά κατασκευάστρια εταιρία.
3. Ο μηχανισμός προσανεμισμού για Α/Γ μεγαλύτερες των 20 KW επιτυγχάνεται με τη χρήση γραναζιών τα οποία επιτρέπουν την περιστροφή της ανεμογεννήτριας κατά 360° (yaw control). Για μικρότερου μεγέθους ανεμογεννήτριες, ο έλεγχος πραγματοποιείται με αναδίπλωση της ουράς.

Περισσότερα συμπεράσματα όμως προκύπτουν απ' την ομαδοποίηση των ανεμογεννητριών με βάση την παραπάνω έρευνα, όσων αφορά την ονομαστική τους ισχύ. Η κατάταξη αυτή έχει ως εξής :

- Κατηγορία 1<sup>η</sup> (0.1 – 2.5 kW) :



Βασικό χαρακτηριστικό είναι η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς όπου διατίθεται κυρίως σε συσσωρευτές, με εξαίρεση μικρό αριθμό μοντέλων (συγκεκριμένων κατασκευαστριών εταιριών) ονομαστικής ισχύος μεγαλύτερης του 1 KW τα οποία παρέχουν την ισχύ αυτή και στο δίκτυο. Επίσης, ο έλεγχος των ανεμογεννητριών επιτυγχάνεται με τη χρήση επιτηρητών φόρτισης, ρυθμιστών της παραγόμενης τάσης, ηλεκτρονικών στοιχείων ή με μικροεπεξεργαστές. Στα μοντέλα εκείνα βέβαια που παρέχουν την ενέργειά τους στο δίκτυο χρησιμοποιούνται αντιστροφείς, για το συγχρονισμό τους με το δίκτυο. Οι τιμές των μοντέλων αυτών κυμαίνονται από 400€ έως 3500€ [7,9,11,13,14,15,16,17,20,21].

• Κατηγορία 2<sup>η</sup> (2.5 – 8 kW) :

Και σ' αυτή την κατηγορία η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διατίθεται σε συσσωρευτές με τη διαφορά ότι πολλές από αυτές διοχετεύουν την ισχύ που παράγουν απευθείας στο δίκτυο. Επομένως γίνεται αντιληπτό πως η χρήση του αντιστροφέα είναι απαραίτητη. Οι Α/Γ αυτές ελέγχονται με μικροεπεξεργαστές, με ρυθμιζόμενη στρέψη των φτερών τους από 0° – 90° (pitch control) και με έλεγχο των στροφών της γεννήτριας. Οι γεννήτριες που παρέχουν την ενέργειά τους σε συσσωρευτές ελέγχονται συνήθως με επιτηρητές φόρτισης και ρυθμιστές της παραγόμενης τάσης .

Η διάθεσή τους στην αγορά κυμαίνεται σε τιμές μεταξύ των 4700 € - 30000 €. Το φάσμα όμως των τιμών αυτών δεν είναι ικανό να αναδείξει τη τιμή μίας Α/Γ των 5 KW. Οι τιμές των μοντέλων με ονομαστική τιμή στα 5 έως 6 KW ανέρχονται περί των 13000€ - 23000€ [12,14,15,18,19,20,21].

• Κατηγορία 3<sup>η</sup> (8 – 30 kW) :

Στην κατηγορία αυτή, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διατίθεται άμεσα στο δίκτυο. Το γεγονός αυτό βέβαια δεν αναιρεί την εφαρμογή τους με συσσωρευτές. Μια τέτοια εφαρμογή όμως έχει σαν αποτέλεσμα το μεγάλο κόστος της αγοράς και συντήρησης, ενώ η παροχή ενέργειας στο δίκτυο αποφέρει κέρδη, αποφεύγοντας το κόστος των συσσωρευτών.

Αυτού του είδους οι ανεμογεννήτριες ελέγχονται είτε με μικροεπεξεργαστές μεγάλων υπολογιστικών δυνατοτήτων σε συνδυασμό με τη ρυθμιζόμενη στρέψη των φτερών της, είτε με ρυθμιστές της παραγόμενης τάσης, είτε με PLC. Το εύρος των τιμών ανέρχεται στις 90.000 € αναφερόμενοι σε Α/Γ της τάξης των 30 KW.



Αντίστοιχα οι μικρότερης ισχύος ανεμογεννήτριες από 20 έως 25 KW στοιχίζουν περίπου 60.000 € - 65.000 €. Τέλος οι Α/Γ της μικρότερης κατηγορίας κυμαίνονται σε τιμές μεταξύ των 25.000 € - 40.000 € [12,15,21].

Σχετικά με την αγορά της Ασίας και της Κίνας, παρουσιάζεται ενδιαφέρον λόγω του πολύ χαμηλού κόστους των ανεμογεννητριών σε σχέση με τις υπόλοιπες αγορές, χωρίς όμως πρόσβαση σε περισσότερες τεχνικές λεπτομέρειες. Τα γενικά χαρακτηριστικά τους όσον αφορά τις ταχύτητες εκκίνησης, τερματισμού καθώς και της ονομαστικής τους ταχύτητας δεν διαφοροποιούνται ιδιαίτερα. Επίσης δεν διαφέρει και ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιείται ο έλεγχος (μικροεπεξεργαστές, ηλεκτρονικά διακοπτικά στοιχεία, προκαθορισμένη στρέψη φτερών). Οι τιμές είναι μικρότερες των 10.000 €.

Στον Πίνακα 1.1 (Πίνακας αγοράς ανεμογεννητριών μικρής ισχύος) που ακολουθεί στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται αναλυτικά τα βασικότερα στοιχεία της αγοράς ανεμογεννητριών μικρής ισχύος.







ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΓΟΡΑΣ Α/Γ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ :

	Χώρα	Εταιρία	Μοντέλο	Κόστος (€)	Ονομαστική ισχύς (kw)	Ταχύτητα εκκίνησης (m/s)	Ονομαστική ταχύτητα (m/s)	Ταχύτητα τερματισμού (m/s)	Σύστημα Αυτόματου Ελέγχου	Διάθεση ενέργειας
1	UK	MKW [5]	Gazelle 20	55000	20	4	13	55	PLC	Δ
2		Windsave	WS-1000	3500	1	3,5	14	14	*	Σ
3		Iscra [6]	AT5-1	*	5	3,5	*	20	Παθητικά πτερύγια/Αντιστροφείας	Σ
4		Proven [7]	WT600	3000	0,6	2,5	12	60	Ρυθμιστής τάσης / Αντιστροφείας	Δ/Σ
5			WT2500	5500	2,5	2,5	12	60	Ρυθμιστής τάσης / Αντιστροφείας	Δ/Σ
6			WT 6000	*	6	2,5	12	60	Αντιστροφείας	*
7			WT15000	60000	15	2,5	12	60	Ρυθμιστής τάσης / Αντιστροφείας	Δ/Σ
8	GER	Aircon [8]	Aircon 10/S	23800	7,5	2,7	11	30	Μικροεπεξεργαστής/ Κλίση πτερυγίων	Σ
9			Aircon 10	24900	9,8	2,7	12,5	52	Μικροεπεξεργαστής/ Κλίση πτερυγίων	Σ
10		Superwind [9]	Superwind	1500	0,35	3,5	12,5	60	Κλίση πτερυγίων	Σ
11		Windtech [10]	SG 500	16000	5	2	12	55	Ρυθμιστής τάσης / Αντιστροφείας	Δ
12		*	Cyclon 0.6	*	0,6	*	*	*	*	*
13		*	Cyclon 1	*	1	*	*	*	*	*
14		*	Cyclon 2	*	2	*	*	*	*	*
15		TLS	WT 8000	24000	8	3,5	9	55	*	*
16		Bryja [11]	WG 200	600	0,2	2	10	55	Επιτηρητής φόρτισης	Σ
17			WG 300	700	0,3	2	10	55	Επιτηρητής φόρτισης	Σ
18			WG 400	600	0,4	2,5	12,5	55	Επιτηρητής φόρτισης	Σ
19	WG 500		850	0,8	2,5	12,5	55	Επιτηρητής φόρτισης	Σ	
20	WG 1000		2000	1	2,5	12,5	55	Επιτηρητής φόρτισης	Σ	
21			WG 5000	25000	5	3,5	12,5	55	Μικροεπεξεργαστής/ Κλίση πτερυγίων	Σ
22	F	Eoltec [12]	Scirocco	30000	6	2,7	10	60	Κλίση πτερυγίων	Δ/Σ
23			WindRun	65000	25	2,5	10,5	60	Μικροεπεξεργαστής/ Κλίση πτερυγίων	Δ
24		Lakota [13]	Lakota S	2500	0,5	2,7	10	10	Ρυθμιστής τάσης	Σ
25	D	Windflower	AA 137	*	0,6	*	*	*	*	*



	Χώρα	Εταιρία	Μοντέλο	Κόστος (€)	Ονομαστική ισχύς (kw)	Ταχύτητα εκκίνησης (m/s)	Ονομαστική ταχύτητα (m/s)	Ταχύτητα τερματισμού (m/s)	Σύστημα Αυτόματου Ελέγχου	Διάθεση ενέργειας
26		Bornary [14]	Inclin 250	1607	0,25	3,5	11	35	Ρυθμιστής τάσης	Σ
27			Inclin 600	2175	0,6	3,5	11	35	Ρυθμιστής τάσης	Σ
28	IT		Inclin 1500	3300	1,5	3,5	12	35	Ρυθμιστής τάσης	Σ
29			Inclin 3000	5202	3	3,5	12	35	Ρυθμιστής τάσης	Σ
30			Inclin 6000	18500	6	3,5	12	35	Ρυθμιστής τάσης	Σ
31	N	*	PW5	*	5	*	*	*	*	*
32			PW15	*	15	*	*	*	*	*
33		Fortis[ 15]	ESPADA	2500	0,8	2	12	25	Αναδίπλωση ουράς	Δ/Σ
34			PASSAAT	3000	1,2	2	12	25	Αναδίπλωση ουράς	Δ/Σ
35	NL		MONTANA	25000	5	2,5	10	25	Αναδίπλωση ουράς	Δ/Σ
36			ALIZE	45000	10	3	12	25	Ρυθμιστής τάσης	Δ
37			BOREAS	95000	30	3,5	10	55	Κλίση περυνγίων	Δ
38		Wes [16]	Tulipo	15500	2,5	2,5	9	20	Αντιστροφέας / περιστροφή 360°	Δ
39	AUS	Soma [17]	Soma 400	3500	0,4	2,5	10	50	Ρυθμιστής τάσης	Σ
40			Soma 1000	5500	1	3,5	10	50	Ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία	Σ
41		Westwind [18]	Westwind 3	13500	3	3,5	14	55	Αναδίπλωση ουράς	Σ
42			Westwind 5	19000	5	3,5	14	55	Αναδίπλωση ουράς	Σ
46	USA	Skystream [19]	Skystream	12000	3,7	2,5	10	60	Ρυθμιστής στροφών Αντιστροφέας	Δ
43		*	LVM 0.1	730	0,1	*	*	*	*	*
44		Southwest [20]	Whisper 100	1640	0,9	3,4	12,5	55	PCB Διακόπτης	Σ
45			Whisper 200	1960	1	3,4	12,5	55	PCB Διακόπτης	Σ
47			Whisper 500	5000	3	3,4	12,5	55	Μικροεπεξεργαστής	Σ
48			Whisper H40	1500	0,9	3,4	12,5	55	Μικροεπεξεργαστής	Σ
49			Whisper H80	2000	1	3,1	12,5	55	Μικροεπεξεργαστής	Σ
50			Whisper 175	5500	3,2	3,1	12,5	55	Μικροεπεξεργαστής	Σ
51			Air X	600	0,4	3	12,5	35	Μικροεπεξεργαστής	Σ



	Χώρα	Εταιρία	Μοντέλο	Κόστος (€)	Ονομαστική ισχύς (kw)	Ταχύτητα εκκίνησης (m/s)	Ονομαστική ταχύτητα (m/s)	Ταχύτητα τερματισμού (m/s)	Σύστημα Αυτόματου Ελέγχου	Διάθεση ενέργειας
52	USA	Bergey [21]	XL.1	2500	1	3,5	11	55	Μικροεπεξεργαστής	Δ/Σ
53			EXCEL-S	20000	10	3,4	13,8	55	Μικροεπεξεργαστής/ Κλίση πτερυγίων	Δ/Σ
54			EXCEL-R	17000	7,5	3,5	12	35	Μικροεπεξεργαστής/ Κλίση πτερυγίων	Δ/Σ
55	CH [22]	PV	SY 600	*	0,6	3	10	50	Ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία	Σ
56			SY 2	5000	5	3	*	40	Αναδίπλωση ουράς / Κλίση πτερυγίων	Σ
63			SY 5	5000	5	3	*	40	Αναδίπλωση ουράς/Κλίση πτερυγίων	Σ
57		Zhejiang	WM	*	20	3	11	50	Μικροεπεξεργαστής	Δ
58			MD	*	2	3	9	50	Αναδίπλωση ουράς	Σ
59		BS	BSL 200	*	0,2	3	6	16	*	Σ
60			BSL 500	*	0,5	2,5	8	16	*	Σ
61			BSL 1000	*	1	2	12	45	*	Σ
62			BSL 5000	*	5	2	12	45	*	Σ
64		Wind king	FD 2.8	400	0,6	3	8	40	*	*
65			FD 4.2	1000	2	3	9	40	*	*
66			FD 6.4	*	5	3	10	40	Αναδίπλωση ουράς	*

Πίνακας 1.1 : Αγορά μικρών ανεμογεννητριών.

Όπου, Δ: Δίκτυο  
Σ: Συσσωρευτές  
Δ/Σ: Δίκτυο & Συσσωρευτές

Η προσφορά σημαντικού αριθμού μοντέλων στις αγορές της Γερμανίας, των ΗΠΑ και της Κίνας υποδηλώνει τους αυξημένους ρυθμούς της αγοράς, ωστόσο οι κατασκευαστές των μικρών ανεμογεννητριών στις ΗΠΑ κατέχουν ηγετική θέση στην παγκόσμια αγορά. Η αγορά των ασιατικών χωρών χρήζει περαιτέρω διερεύνησης λόγω της δυσκολίας ανεύρεσης αξιόπιστων στοιχείων και αναλύσεων των αγορών αυτών.



Η μέση ονομαστική ισχύς των μικρών ανεμογεννητριών διαφέρει μεταξύ της Κίνας και των χωρών της Ευρώπης και των Ηνωμένων Πολιτειών.

Αυτό ίσως έχει σχέση με την χρήση των μικρών ανεμογεννητριών σαν αυτόνομα ενεργειακά συστήματα ή συστήματα συνδεδεμένα με το κεντρικό (ή μη) δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

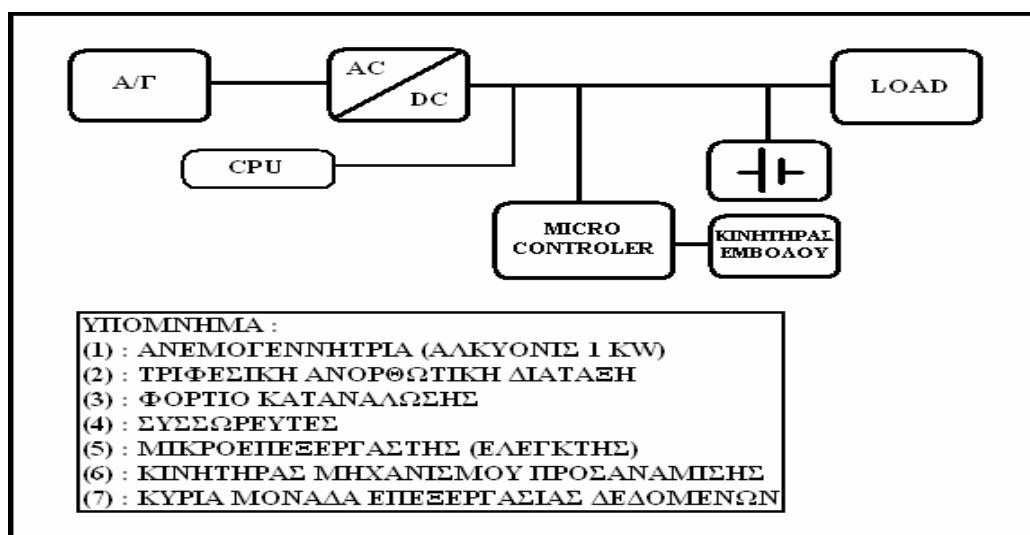
Το σύνολο σχεδόν των ανεμογεννητριών που διατίθεται στην παγκόσμια αγορά στερείται πιστοποίησης, γεγονός που καθιστά αδύνατη τη σύγκριση τους με βάση τα ονομαστικά τους μεγέθη.

Ο Αμερικανικός Σύνδεσμος Αιολικής Ενέργειας εκπόνησε το 2007 έρευνα για την παγκόσμια κατάσταση της αγοράς των μικρών ανεμογεννητριών. Στην έρευνα αναφέρεται ότι η βιομηχανία των μικρών ανεμογεννητριών, αναπτύσσεται με ρυθμούς 14-21% σταθερά από το 1985, ρυθμοί που θα μπορούσαν να διπλασιαστούν με κατάλληλες περιφερειακές και εθνικές πολιτικές ενίσχυσης της αγοράς (παρόμοιου επιπέδου με τις ενισχύσεις που ισχύουν για τα φωτοβολταϊκά συστήματα).



## 2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

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



Εικόνα 2.1: Σύστημα ελέγχου ΑΛΚΥΟΝΙΣ

Στην **Εικόνα 2.1** παρουσιάζεται το διάγραμμα του συστήματος ελέγχου και παραγωγής ενέργειας της ΑΛΚΥΟΝΙΣ η οποία λειτουργεί για αυτόνομα δίκτυα με χρήση συσσωρευτών

#### 2.1.2. 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.

### 2.1.3 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).

**2.2 Σύστημα Ελέγχου με Προγραμματιζόμενο Λογικό Ελεγκτή (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 κλασικό ηλεκτρολογικό πίνακα με τους ηλεκτρονόμους ισχύος, δηλαδή μια τεράστια αλλαγή στο τρόπο που μέχρι τώρα δούλευε η βιομηχανία.

**2.2.1 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.

### 2.2.2 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. [23]





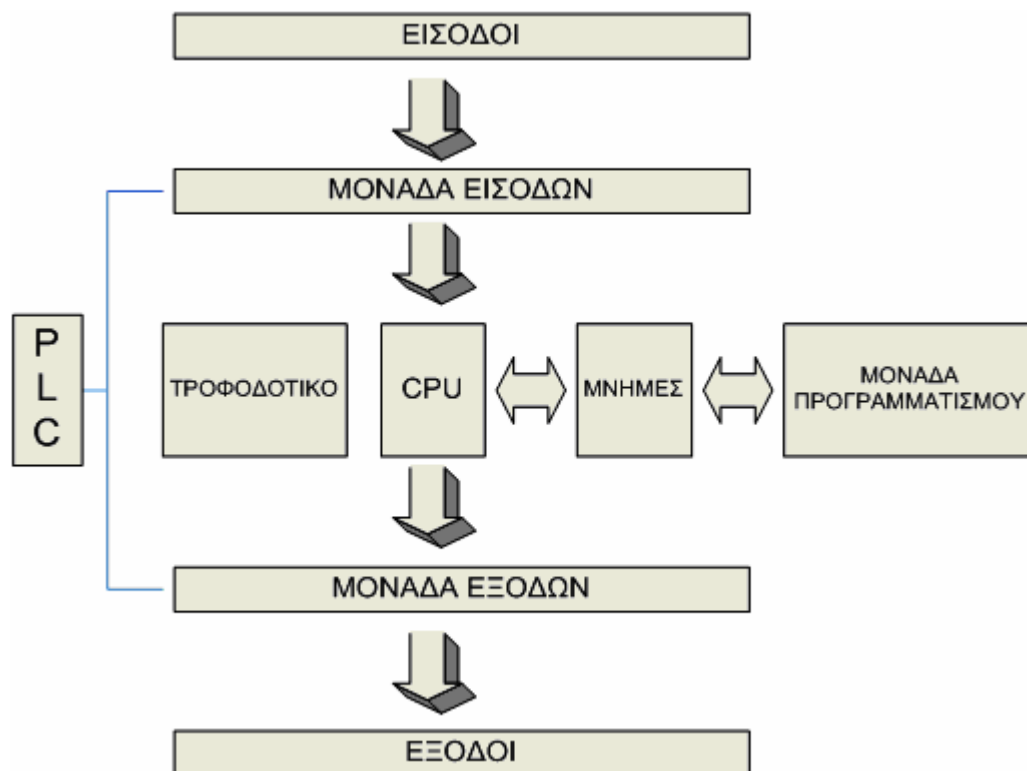
### 2.2.3 Δομή Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή

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)[24].

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.
- E. Συσκευή προγραμματισμού.

Στην Εικόνα 2.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται σε διάγραμμα ροής, η δομή ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή.



Εικόνα 2.2 : Δομή PLC



## 2.2.4 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.

## 2.2.5 Πλεονεκτήματα Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή

Η χρήση των PLC μας παρέχει πάρα πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον κλασσικό αυτοματισμό.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των PLC έναντι του κλασσικού 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 κλασσικού 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.

## 2.2.6 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.

### 2.3 Επιλογή συστήματος ελέγχου

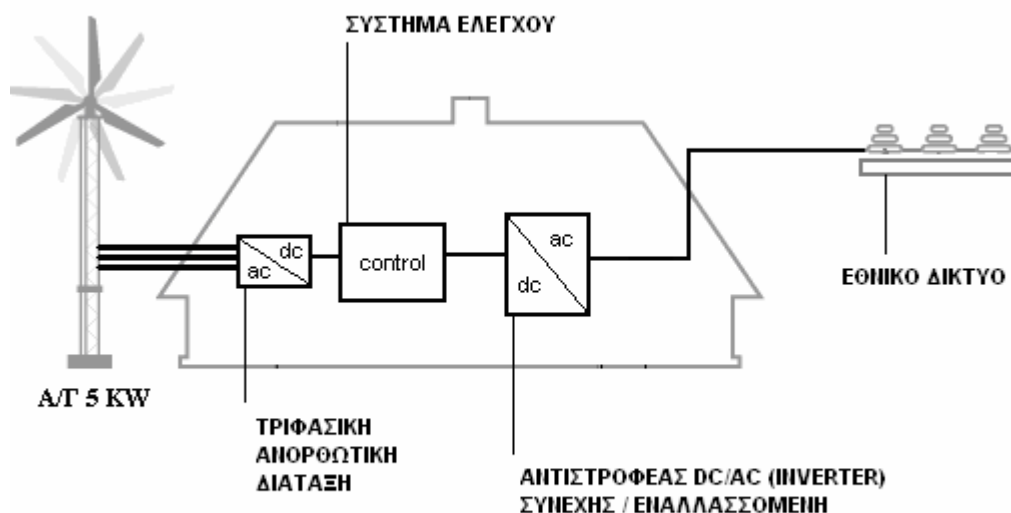
Τελικό συμπέρασμα της σύγκρισης των δύο αυτών συστημάτων είναι η αξιοπιστία του PLC, χωρίς βέβαια να σημαίνει πως ένας μικροεπεξεργαστής δεν είναι ικανός να φέρει εις πέρας την αποστολή του με σωστά αποτελέσματα, αν και πιθανότατα ο κατασκευαστής να αντιμετωπίσει μεγαλύτερες δυσκολίες. Σε θέματα όμως 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.



### 3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Α/Γ 5 KW ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΗΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ Χ.Τ.

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από μια σύγχρονη τριφασική ανεμογεννήτρια, χωρίς διέγερση, με μόνιμους μαγνήτες. Η παραγόμενη απ' τη γεννήτρια ενέργεια, ανορθώνεται (μετατροπή σε συνεχή) στον αντιστροφέα. Ο αντιστροφέας μετατρέπει την ενέργεια συνεχούς ροής σε εναλλασσόμενη, με προδιαγραφές κατάλληλες για το παραλληλισμό του με το δίκτυο.

Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται το σύστημα παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 3.1 : Σύστημα παραγωγής ενέργειας.

Ο έλεγχος της ανεμογεννήτριας βασίζεται σ' ένα βραχίονα προσανεμισμού (αναδιπλούμενη ουρά), ο οποίος κινείται με τη βοήθεια ενός γραμμικού επενεργητή (έμβολο). Ο δεύτερος κινείται σχηματίζοντας γωνία από  $90^\circ$  έως  $180^\circ$  μεταξύ του άξονα περιστροφής της ανεμογεννήτριας και του βραχίονα προσανεμισμού.

- Όταν η ουρά βρίσκεται σε γωνία  $180^\circ$  (ανοιχτή), η ανεμογεννήτρια είναι προσανατολισμένη στη κύρια διεύθυνση του ανέμου.
- Όταν η ουρά βρίσκεται σε γωνία μικρότερη των  $180^\circ$ , πλησιάζοντας τις  $90^\circ$  (κλειστή), η ανεμογεννήτρια αποπροσανατολίζεται απ' την κύρια διεύθυνση του ανέμου, ελαττώνοντας τις στροφές περιστροφής της.



Συνεπώς, το σύστημα ελέγχου, φροντίζει ώστε η ανεμογεννήτρια να είναι ανοιχτή προκειμένου να εκμεταλλεύεται πλήρως την ενέργεια του ανέμου, ενώ ταυτόχρονα την προστατεύει από ανεπιθύμητες καταστάσεις, αποφασίζοντας πότε και για ποια χρονική διάρκεια, η ουρά θα κλείσει.

Τα μεγέθη που λαμβάνονται υπόψη κατά τον έλεγχο είναι ο αριθμός στροφών ανά λεπτό, η ένταση του ρεύματος κατά τη κίνηση του μηχανισμού προσανέμισης, η τάση και η ένταση στην έξοδο της ανορθωτικής διάταξης, η παραγόμενη ισχύς στην έξοδο του αντιστροφέα και η συχνότητα του δικτύου. Όταν κάποιο απ' τα μεγέθη αυτά υπερβεί τα επιτρεπτά όρια, ενεργοποιείται ο κινητήρας του εμβόλου μέσω εντολών που δέχεται απ' το PLC και κλείνει την ουρά, ωστόσο τα μετρούμενα μεγέθη επανέλθουν εντός των επιθυμητών ορίων.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται, ώστε η ανεμογεννήτρια να λειτουργεί πάντα εντός των επιτρεπτών συνθηκών.

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται απ' τα εξής τμήματα:

- 1. Ανεμογεννήτρια 5 KW :** Η τεχνική περιγραφή αυτής αλλά και τα επιμέρους χαρακτηριστικά της αναλύονται στη συνέχεια (κεφ. 2.2).
- 2. Τριφασική ανορθωτική διάταξη:** Μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή. Αποτελείται από γέφυρα πλήρους ανορθώσεως με έξι (6) διόδους (τριφασικός ανορθωτής έξι παλμών, παρ.2.4.1).
- 3. Σύστημα αυτόματου ελέγχου :** Ο έλεγχος στηρίζεται σε προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (PLC) και σ' ένα σύνολο αισθητήρων και ηλεκτρονικών διατάξεων (κεφ. 3).
- 4. Μονοφασικός αντιστροφέας :** Μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Αποτελείται από ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία με δυνατότητα διαμόρφωσης εύρους παλμών (παρ. 2.4.2).



### 3.1 Τεχνική περιγραφή ανεμογεννήτριας ισχύος 5 kW

Στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης.

<b>Τεχνικά Χαρακτηριστικά Α/Γ 5KW</b>	
<b>Τύπος Α/Γ</b>	<b>Μεταβλητών Στροφών με Μόνιμους Μαγνήτες</b>
<b>Ισχύς μηχανής (kW)</b>	<b>5</b>
<b>Τάση γεννήτριας Α/Γ (Vπ)</b>	<b>228</b>
<b>Διάμετρος Πτερύγωσης (m)</b>	<b>4,7</b>
<b>Ταχύτητα περιστροφής ρότορα (rpm)</b>	<b>350</b>
<b>Υψος Πλήμνης ανεμογεννήτριας (m)</b>	<b>12</b>
<b>Ονομαστική ταχύτητα (m/s)</b>	<b>12</b>
<b>Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (m/s)</b>	<b>3,5</b>
<b>Ταχύτητα αποκοπής (m/s)</b>	<b>18</b>
<b>Ταχύτητα ανέμου επιβίωσης (m/s)</b>	<b>50</b>
<b>Κεντρικός πίνακας</b>	<b>1</b>
<b>Γραμμή διασύνδεσης Α/Γ εντός των εγκαταστάσεων</b>	<b>40 m</b>
<b>Γραμμή Χ.Τ. προς τη ΔΕΗ</b>	<b>25 m</b>
<b>Τάση εξόδου αντιστροφέα ισχύος</b>	<b>230 V</b>
<b>Διακύμανση συχνότητας εξόδου αντιστροφέα ισχύος</b>	<b>49,5-50,5 Hz</b>
<b>Προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης κατά VDE 0126</b>	<b>NAI (cut-off time &lt;0,2s)</b>

Πίνακας 3.1 : Τεχνικά χαρακτηριστικά Α/Γ 5 KW





Η ανεμογεννήτρια αποτελείται από:

1. Την πτερύγωση, η οποία είναι συνολικής διαμέτρου 4,7 μέτρων αποτελείται από τρία (3) πτερύγια σταθερού βήματος, κατασκευασμένα από πολυεστερικές ρητίνες οπλισμένες με ίνες γυαλιού.
2. Την σύγχρονη τριφασική γεννήτρια, μεταβλητών στροφών με μόνιμους μαγνήτες. Η ψύξη της επιτυγχάνεται με την χρήση του αέρα που περιβάλλει την γεννήτρια καθώς είναι εκτεθειμένη σε αυτόν ενώ πιθανή υπερθέρμανση αποφεύγεται με την χρήση κατάλληλου θερμικού αισθητήρα.
3. Τον μηχανισμό προσανέμισης, ο οποίος περιλαμβάνει το βραχίονα (ουρά) καθώς και ένα γραμμικό επενεργητή (έμβολο) για τον έλεγχο αυτής.
4. Την βάση στήριξης, η οποία αποτελείται από χαλύβδινα ελάσματα πάχους από 6 – 10 χιλιοστά και τον άξονα περιστροφής. Η βάση κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι στεγανή για αποφυγή εισροή υγρασίας στο εσωτερικό της που θα προκαλέσει διάβρωση των μετάλλων.
5. Τον πυλώνα, ο οποίος είναι σωληνωτός με διάμετρο 150 χιλιοστά και ύψος 12 μέτρα.

Η ανεμογεννήτρια είναι σχεδιασμένη να έχει ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (cutin wind speed) τα 3,5 m/sec, ταχύτητα αποκοπής (cutout wind speed) τα 18 m/sec και ταχύτητα επιβίωσης (survival wind speed) τα 50 m/sec.



## 3.2 Βασικά τμήματα ανεμογεννήτριας

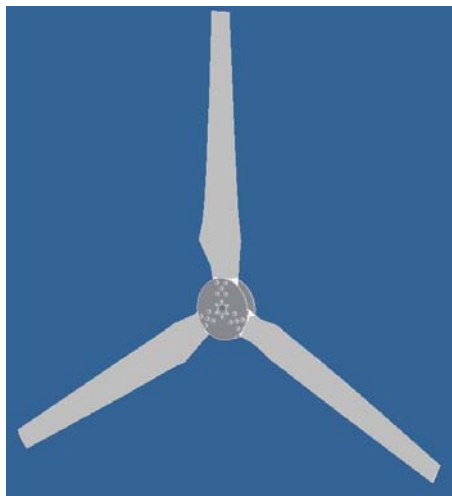
Η ανεμογεννήτρια χαρακτηρίζεται για το μοναδικό σύστημα προσανέμισης με τη χρήση εμβόλου και αναδιπλούμενης ουράς, όπως ακριβώς και η ανεμογεννήτρια ΑΛΚΥΟΝΙΣ, ισχύος 1kW. Στο κεφάλαιο αυτό ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των βασικών τμημάτων που αποτελούν την ανεμογεννήτρια των 5kw και τα οποία είναι:

1. Πτερύγωση
2. Ηλεκτρογεννήτρια
3. Μηχανισμός προσανεμισμού (Εμβολο)
4. Βραχίονας προσανεμισμού (Ουρά)

Επίσης γίνεται αναφορά για την εγκατάσταση της. Συγκεκριμένα θα αναφερθούν στοιχεία για το πυλώνα αλλά και τη βάση στήριξής της.

### 3.2.1 Πτερύγωση

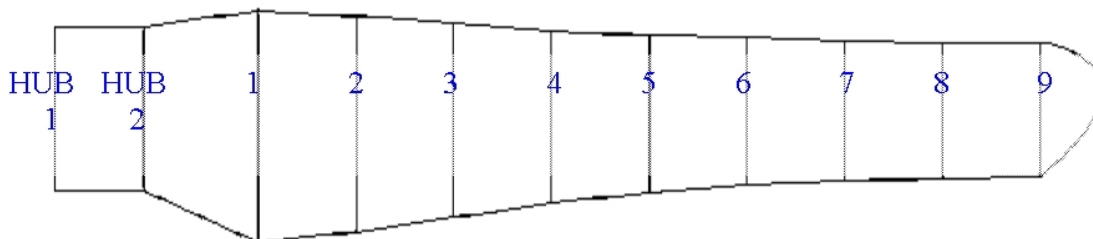
Η πτερύγωση δηλαδή η φτερωτή, είναι αναπόσπαστο κομμάτι μιας ανεμογεννήτριας, καθώς πρόκειται για το μηχανισμό εκείνο που μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική και τελικά μέσω της ηλεκτρογεννήτριας μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η φτερωτή αποτελείται από τρία (3) πτερύγια, ίδιων διαστάσεων και υλικού. Το κάθε πτερύγιο συνδέεται με την πλήμνη της Α/Γ με κατάλληλες κοχλιοσυνδέσεις όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2 .



Εικόνα 3.2 : Πτερύγωση.



Το υλικό κατασκευής είναι πολυεστερικές ρητίνες ενισχυμένες με ίνες γυαλιού και είναι κατασκευασμένο με την μορφή κελύφους. Το κάθε ένα από τα πτερύγια, έχει βάρος 14 Kgr και η γεωμετρία μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το μήκος της (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3 : Γεωμετρία πτερυγίου.

Η γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά μήκη του πτερυγίου φαίνονται στο Πίνακας 3.1 : **Τεχνικά χαρακτηριστικά Α/Γ 5 KW**

Νούμερο αεροτομής	Hub 1	Hub 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ακτίνα (mm)	0	434	651	868	1086	1303	1520	1737	1955	2172	0
Χορδή (mm)	160	160	284	266	248	230	213	195	177	159	160
Πάχος διατομής (mm)	80	80	49,2	46	41	37	33	29	25	20	80
Σχετικό πάχος διατομής (%)	-	-	17,5	17	16,5	16	15,5	15	14	12,6	-
Γωνία σφήνωσης (deg)	0	0	11,17	7,28	4,95	3,53	2,68	2,21	1,99	1,96	0

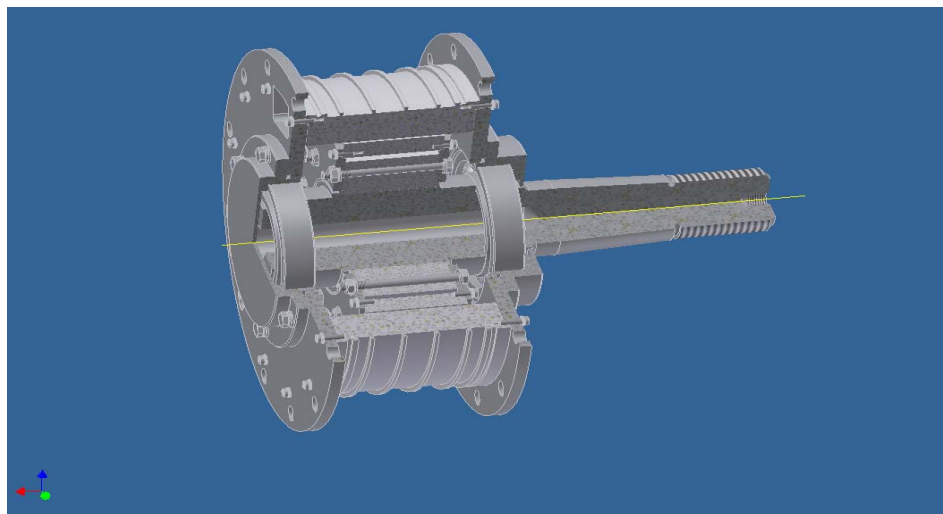
Πίνακας 3.2 : Γεωμετρία και χαρακτηριστικά μήκη του πτερυγίου.

### 3.2.2 Ηλεκτρογεννήτρια

Η ηλεκτρογεννήτρια ή γεννήτρια είναι η μηχανή που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η συγκεκριμένη ηλεκτρογεννήτρια είναι σύγχρονη τριφασική γεννήτρια κλειστού τύπου μονίμων μαγνητών, σε συνδεσμολογία αστέρα με αριθμό ζευγών πόλων δώδεκα (12, δηλαδή 24πολική), μεταβλητής τάσης, ονομαστικών στροφών 350 ανά λεπτό (rpm).



Στην εικόνα 3.4 παρουσιάζεται σε τρισδιάστατο σχέδιο η γεννήτρια.



εικόνα 3.4 : Ηλεκτρογεννήτρια

Οι ηλεκτρογεννήτριες κατατάσσονται σε δύο είδη :

- Σύγχρονες γεννήτριες
- Επαγωγικές γεννήτριες

Σύγχρονη γεννήτρια ή αλλιώς εναλλακτήρας ονομάζεται η μηχανή που μετατρέπει την μηχανική ενέργεια στην είσοδό της, σε ηλεκτρική συγκεκριμένης τάσης και συχνότητας. Επειδή ακριβώς η συχνότητα της τάσης εξόδου της γεννήτριας προσδιορίζεται από τη ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της, η μηχανή αυτή ονομάστηκε σύγχρονη.

Η τάση που αναπτύσσεται στο εσωτερικό μιας σύγχρονης γεννήτριας εξαρτάται απ' τη ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της και απ' τη μαγνητική ροή στο εσωτερικό της. Η τάση στα άκρα κάθε φάσης μιας σύγχρονης γεννήτριας (φασική τάση) διαφέρει από αυτή που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της. Η πολική τάση της σύγχρονης γεννήτριας είναι ίση με τη φασική της τάση, όταν το τύλιγμα του οπλισμού συνδέεται σε τρίγωνο και πολλαπλασιάζεται επί  $\sqrt{3}$ , όταν το τύλιγμα συνδέεται σε αστέρα.



Όπως προαναφέρθηκε οι εναλλασσόμενοι ρεύματος γεννήτριες ονομάστηκαν έτσι επειδή οι συχνότητες των τάσεων που παράγουν βρίσκονται σε συγχρονισμό με τη ταχύτητα περιστροφής τους. Ο δρομέας των μηχανών αυτών είναι ένας ηλεκτρομαγνήτης του οποίου το πεδίο περιστρέφεται με φορά ίδια με αυτή του δρομέα.

Η σχέση της ηλεκτρικής συχνότητας του στάτη με την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου δίδεται απ' την ακόλουθη σχέση :

$$n_m = \frac{120 \times f_c}{P}$$

Όπου  $n_m$  = ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου σε rpm (στροφές το λεπτό), η οποία είναι ίση με τη ταχύτητα περιστροφής του δρομαία στις σύγχρονες γεννήτριες.

$f_c$  = ηλεκτρική συχνότητα σε Hz.

$P$  = ο αριθμός των πόλων.

Επειδή, λοιπόν, ο δρομέας της μηχανής περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα που περιστρέφεται και το μαγνητικό της πεδίο, η παραπάνω εξίσωση δίδει τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής και της ηλεκτρικής συχνότητας της. Ουσιαστικά η παραπάνω εξίσωση δίδει τη ταχύτητα με την οποία θα πρέπει να περιστρέφεται η μηχανή, ώστε να παράγει τη συγκεκριμένη συχνότητα.

Ο τρόπος με τον οποίο η σύγχρονη γεννήτρια συνεργάζεται με κάποιο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας προσδιορίζεται από τους περιορισμούς που της επιβάλλει το συγκεκριμένο σύστημα. Η συχνότητα και το πλάτος της τάσης εξόδου της είναι δυνατό να μεταβάλλονται μέσω της ταχύτητας του δρομέα. Όταν η σύγχρονη γεννήτρια είναι συνδεδεμένη σε κάποιο άπειρο ζυγό, τόσο το πλάτος όσο και η συχνότητα της τάσης εξόδου δεν είναι δυνατό να μεταβάλλεται. [25]. Το μοντέλο της συγκεκριμένης ηλεκτρογεννήτριας είναι: ALTERNATOS 300STK3M της Γαλλικής εταιρίας ALXION.



Στην Εικόνα 3.5 παρουσιάζεται η ηλεκτρογεννήτρια 300STK3M.



Εικόνα 3.5 : Μοντέλο 300STK 3M

Τεχνικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρογεννήτριας. (πίνακας 3.3)

<b>ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>	
Γωνία εξόδου αγωγών	15°
Εξωτερική διάμετρος στάτη	303 mm
Εσωτερική διάμετρος ρότορα	190 mm
Εσωτερική διάμετρος στάτη	228 mm
Οπές συγκράτησης ρότορα	12xM5 on Ø199
Οπές συγκράτησης στάτη	12xM5 on Ø290
Μήκος στάτη	142.5 ( 172.5 ) mm
Απόσταση ευθυγράμμισης ρότορα - στάτη	34.5 ( 64.5 ) mm
Μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος επαφής ρότορα	213 mm
Μήκος ρότορα	82,5 mm
<b>ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>	
Ονομαστικός αρ. στροφών (rpm)	350
Ονομαστική πολική τάση (V)	228
Ονομαστικός φασική τάση (V)	133
Ονομαστική πολική τάση χωρίς φορτίο (V)	311
Συνδεσμολογία τυλιγμάτων	Αστέρας

πίνακας 3.3 : Χαρακτηριστικά ηλεκτρογεννήτριας.



### 3.2.3 Μηχανισμός προσανεμισμού

Ο μηχανισμός, αυτός είναι υπεύθυνος για το προσανατολισμό της ανεμογεννήτριας ως προς την διεύθυνση του αέρα και κατ' επέκταση για την ταχύτητα περιστροφής της φτερωτής και την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελείται απ' το βραγχύωνα προσανεμισμού (ουρά) και από ένα γραμμικό επενεργειτή (έμβολο), ο οποίος κινείται μέσω ενός μονοφασικού κινητήρα συνεχούς τάσης.

- Για την πλήρη λειτουργία της ανεμογεννήτριας και την εκμετάλλευση της μέγιστης παραγόμενης ισχύος, ο βραγχύωνας προσανεμισμού πρέπει να είναι 'ανοιχτός' σχηματίζοντας γωνία  $180^\circ$  (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1

- Για την προστασία της ανεμογεννήτριας αλλά και του συστήματος ελέγχου, ο βραγχύωνας προσανεμισμού πρέπει να βρίσκεται σε θέση, τέτοια ώστε να σχηματίζει γωνία μικρότερη των  $180^\circ$ , πλησιάζοντας τις  $90^\circ$ , κατά την οποία είναι 'κλειστός' (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2



Η χρήση του μηχανισμού προσανέμισης, αποτελεί καινοτομία για τον έλεγχο ανεμογεννητριών μικρής ισχύος, γιατί δεν έχει διαπιστωθεί αντίστοιχη εφαρμογή διεθνώς μέχρι τώρα. Στη παγκόσμια αγορά, ο συνηθέστερος μηχανισμός προσανεμισμού που χρησιμοποιείται για Α/Γ μεγάλης ισχύος είναι η περιστροφή 360° της ανεμογεννήτριας με τη βοήθεια γριναζιών (yawing control). Έχουν καταγραφεί περιπτώσεις όμως χρήσης μηχανισμού προσανέμισης (έλεγχος με αναδίπλωση ουράς) σε ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος [15], με τελείως διαφορετική μέθοδο.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μηχανισμού προσανέμισης παρουσιάζονται στους πίνακες Πίνακας 3.4 : Χαρακτηριστικά κινητήρα εμβόλου. και Πίνακας 3.5 : Χαρακτηριστικά εμβόλου..

- Κινητήρας :

ΜΕΓΕΘΟΣ		
Τάση τροφοδοσίας	24	(V dc)
Μέγιστη ένταση ρεύματος	15,9	(A)
Μονοφασικός / Μόνιμων μαγνητών		

Πίνακας 3.4 : Χαρακτηριστικά κινητήρα εμβόλου.

- Γραμμικός επενεργειτής (έμβολο) :

ΜΕΓΕΘΟΣ		
Μέγιστη ασκούμενη δύναμη	9000	( N )
Ταχύτητα λειτουργίας	7	( mm/sec )
Έκδοση	M 06	
Ταχύτητα κινητήρα	4000	( rpm )
Λόγος μετατροπής	1/37	

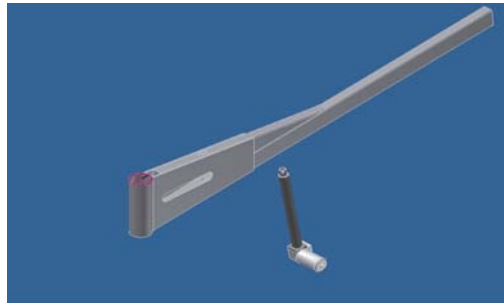
Πίνακας 3.5 : Χαρακτηριστικά εμβόλου.





### 3.2.4 Βραχίονας προσανατολισμού

Η ουρά αποτελεί τον βραχίονα προσανεμισμού της ανεμογεννήτριας στη κύρια διεύθυνση του αέρα. Επίσης ο έλεγχος της μέσω του μηχανισμού προσανέμισης (έμβολο) θέτει σε λειτουργία την ανεμογεννήτρια. Στηρίζεται σε έναν μεταλλικό βραγχώνα και συνδέεται με την άτρακτο (νασέλλα). Το υλικό κατασκευής της είναι το ίδιο με αυτό των πτερυγίων δηλαδή πολυεστέρας ενισχυμένος με ίνες γυαλιού. Στην Εικόνα 3.6 παρουσιάζεται ο βραγχίων και ο μηχανισμός προσανεμισμού.



Εικόνα 3.6

### 3.2.5 Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας 5 kW

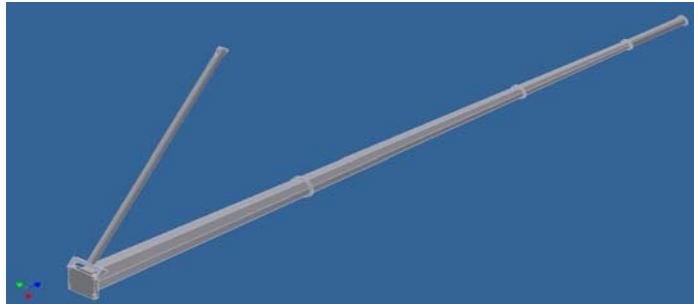
Η ανεμογεννήτρια είναι εγκατεστημένη στον προαύλιο χώρο του εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

Η πλήμνη της (άτρακτος) είναι τοποθετημένη στη κορυφή ενός πυλώνα μεταλλικής κατασκευής, ύψους 12 μέτρων, ο οποίος αποτελείται από δύο τμήματα ύψους 6 μέτρων το καθένα. Για τη σταθεροποίηση του πυλώνα σε κατακόρυφη θέση απαιτείται η χρήση του jirpole .Το jirpole είναι σωλήνας ίδιου υλικού με το πυλώνα και τοποθετείται κάθετα με αυτόν, με μήκος 6 μέτρα.



Στην  
πυλώνας και το jiprole.

Εικόνα .7 παρουσιάζεται ο



Εικόνα 3.7

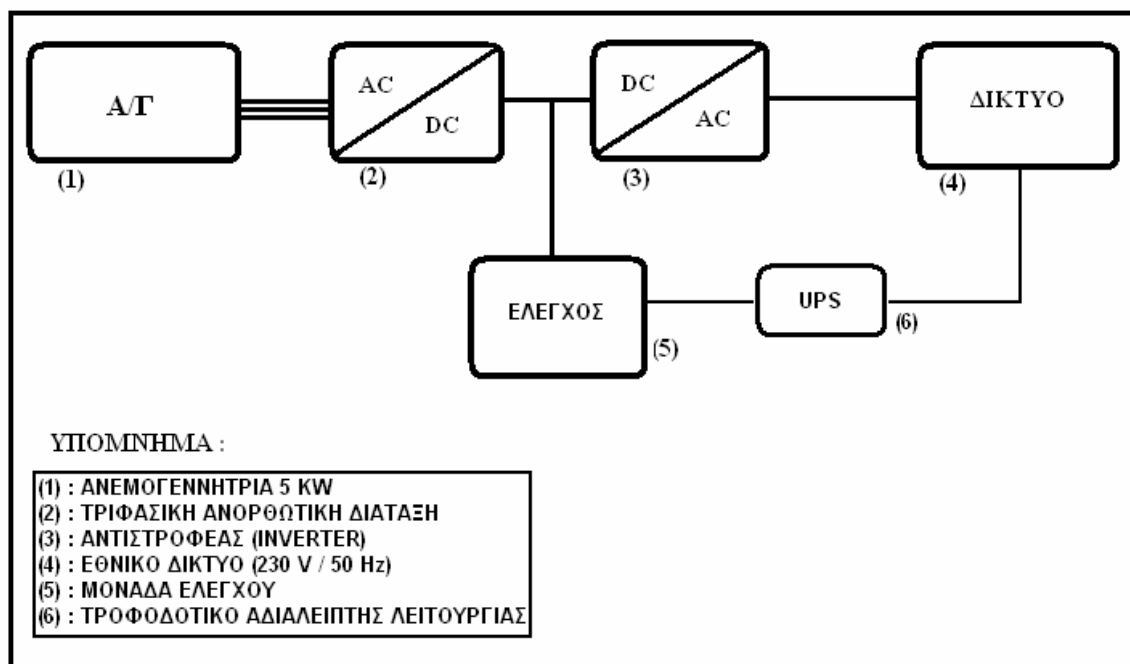
Ο πυλώνας είναι ασφαλισμένος με έξι (6) συρματόσχοινα, στερεωμένα σε δύο επίπεδα (6 και 10.75 μέτρα). Τρία (3) συρματόσχοινα από κάθε επίπεδο, συνολικά έξι (6) καταλήγουν στο έδαφος. Το jiprole αναρτά τον ιστό από δύο σημεία.

Ο πυλώνας είναι τοποθετημένος στη βάση στήριξης, η οποία έχει βάθος 1 μέτρο κάτω απ' την επιφάνεια του εδάφους και προεκτείνεται πάνω από αυτό σε ύψος 0.5 μέτρα. Το υλικό κατασκευής της είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα και στερεώνεται σε αυτή ο πυλώνας με δώδεκα (12) κοχλίες σύνδεσης (Φ 22).

### 3.3 Συνοπτική περιγραφή συστήματος ελέγχου

#### 3.3.1. Ελεγκτής

Στην Εικόνα 3.8 παρουσιάζεται η διαδικασία παραγωγής και σύνδεσης της ηλεκτρικής ενεργείας στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. Ουσιαστικά η παραγόμενη εναλλασσόμενη τάση της ανεμογεννήτριας ανορθώνεται και με τη βοήθεια του συστήματος ελέγχου οδηγείται στον αντιστροφέα, όπου “συγχρονίζεται” με το δίκτυο Χ.Τ.



Εικόνα 3.8

Το σύστημα ελέγχου βασίζεται σ' ένα προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (mini PLC), ενώ περιλαμβάνει την ανορθωτική διάταξη, τον αντιστροφέα (inverter) και κατάλληλους αισθητήρες καταγραφής των βασικών παραμέτρων.

Ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής (plc), βάσει κατάλληλου αλγορίθμου, έχει την ικανότητα να χειριστεί την λειτουργία του μηχανισμού προσανέμισης (ανοίγοντας ή κλείνοντας την ουρά). Όταν κάποιο απ' τα μετρούμενα μεγέθη υπερβεί τα επιτρεπτά όρια, το plc ελέγχει τον βραγχύωνα προσανεμισμού, όσο απαιτείται για την λειτουργία της ανεμογεννήτριας εντός των επιτρεπτών ορίων.

Τα μετρούμενα μεγέθη στον πίνακα ελέγχου είναι :

- Αριθμός στροφών ανά λεπτό (rpm).
- Ένταση ρεύματος του μηχανισμού προσανέμισης.
- Τάση και ένταση (DC) στην έξοδο της ανορθωτικής διάταξης.
- Ένταση ρεύματος εξόδου του αντιστροφέα ( $I_{dc}$ ).
- Συχνότητα του δικτύου.



### 3.4 Διασύνδεση Α/Γ 5kw με το Δίκτυο Χ.Τ.

Η διασύνδεση της ανεμογεννήτριας με το δίκτυο επιτυγχάνεται, ανορθώνοντας αρχικά τη παραγόμενη τάση της μηχανής με τριφασική ανόρθωση. Στη συνέχεια μετατρέπεται σε εναλλασσόμενη μέσω του αντιστροφέα. Ο αντιστροφέας αυτός, έχει την δυνατότητα να μετατρέπει συνεχή τάση  $V_{dc}$  (125 – 460 V) σε εναλλασσόμενη  $V_{ac}$  (230 V / 50Hz) και να την “συγχρονίζει” με το δίκτυο Χ.Τ.

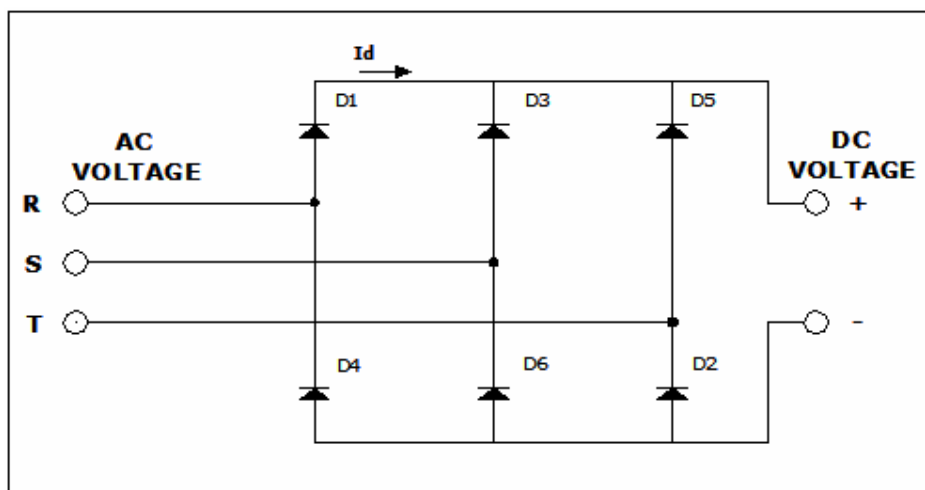
#### 3.4.1 Περιγραφή Λειτουργίας Τριφασικής Ανορθωτικής Διάταξης

Η αρχή λειτουργίας μιας ανορθωτικής διάταξης είναι η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή. Η μετατροπή αυτή της AC τάσης σε DC επιτυγχάνεται με τη χρήση διόδων σε συνδυασμό γέφυρας, με αποτέλεσμα την πλήρη ανόρθωση της AC τάσης .



Πλεονεκτήματα του τριφασικού ανορθωτή είναι : η μικρή κυμάτωση και η μεγαλύτερη δυνατότητα διαχείρισης της ισχύος.

Στο Σχήμα 3.3, παρουσιάζεται η ανορθωτική διάταξη. Το ρεύμα  $I_d$  ρέει μέσω δύο (2) διόδων, μία της άνω ομάδας και μια της κάτω. Στην άνω ομάδα θα άγει η διάδος που έχει την άνοδο της στο υψηλότερο δυναμικό, ενώ οι άλλες δύο πολώνονται ανάστροφα. Στη κάτω ομάδα θα άγει η διάδος που έχει τη κάθοδό της στο χαμηλότερο δυναμικό, ενώ οι άλλες δύο πολώνονται ανάστροφα. Η μετάβαση του ρεύματος απ'τη μια διάοδο στην επόμενη θεωρείται ακαριαία, επειδή η αυτεπαγωγή της AC πλευράς είναι μηδενική.



Σχήμα 3.3

Οι διόδοι αριθμούνται με τρόπο τέτοιο ώστε να άγουν με την ακολουθία 1,2,3,4,5,6. Η μέση τιμή τάσης της εξόδου της τριφασικής ανορθωτικής διάταξης δίδεται απ'τον παρακάτω τύπο :

$$V_d = \frac{3}{\pi} \times \sqrt{2} \times V_{\pi} = 1.35 \times V_{\pi} \quad (2.1)$$

όπου  $V_{\pi} = 228V$  (πολική τάση Α/Γ).

Η ανορθωτική διάταξη που χρησιμοποιείται ονομάζεται και τριφασικός ανορθωτής έξι παλμών [26,27].

Το συγκεκριμένο αυτό μοντέλο είναι VUO 35 1200 εταιρίας IXYS.



Χαρακτηριστικά λειτουργίας ανορθωτικής διάταξης :

Οι τιμές της έντασης του ρεύματος και της τάσης εισόδου της παρουσιάζονται στο Πίνακα 3. (Παράρτημα Γ).

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΑ
Μέγιστο ρεύμα εισόδου ( DC )	38	A
Μέγιστη τάση εισόδου ( DC )	1200	V
Θερμοκρασία (Tc)	85	°C

Πίνακας 3.6

### 3.4.2 Περιγραφή Λειτουργίας Αντιστροφέα (Inverter) Συνδεδεμένο με το Δίκτυο Χ.Τ.

Η αρχή λειτουργίας ενός αντιστροφέα είναι η μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, με αντικειμενικό σκοπό την παραγωγή μιας ημιτονοειδούς εναλλασσόμενης τάσης εξόδου , με ελεγχόμενο πλάτος και συχνότητα.

Οι αντιστροφείς αποτελούνται από διόδους και ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία, κατάλληλα τόσο για την αντιστροφή της τάσης, όσο και για τη προστασία τους από πιθανές δυσλειτουργίες του συστήματος, με τη δυνατότητα επίσης της διαμόρφωσης εύρους παλμών ( PWM ). Κατά τη λειτουργία τους τα ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία βρίσκονται σε αγωγή ή αποκοπή, σε κατάλληλο συνδυασμό μεταξύ τους (ποτέ δεν είναι ταυτόχρονα ανοιχτοί), αναφερόμενοι σε αντιστροφείς πλήρους γέφυρας, (Παράρτημα Γ).

Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός ημιτονοειδούς παλμού στην έξοδο του αντιστροφέα. Για τη παραγωγή ημιτονοειδούς τάσης εξόδου σε μια επιθυμητή συχνότητα, συγκρίνεται ένα ημιτονοειδές σήμα ελέγχου στην επιθυμητή αυτή συχνότητα με μια τριγωνική κυματομορφή. Η συχνότητα της τριγωνικής κυματομορφής καθορίζει τη συχνότητα μετάβασης του αντιστροφέα , ουσιαστικά καθορίζει τη συχνότητα με την οποία αλλάζουν κατάσταση τα ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία και ονομάζεται συχνότητα μετάβασης.



Το σήμα ελέγχου χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση της σχετικής διάρκειας αγωγής των διακοπών.

Η προηγούμενη θεωρητική περιγραφή του αντιστροφέα έχει στόχο, την κατανόηση της λειτουργίας ενός αντιστροφέα [26].

Ο αντιστροφέας που χρησιμοποιείται είναι ο POWADOR 4501 ix της Ισπανικής εταιρίας KACO.

Χαρακτηριστικά λειτουργίας αντιστροφέα :

Για την εκκίνηση του αντιστροφέα απαιτείται στην είσοδο του, συνεχή τάση άνω των 125 V. Με δεδομένη την τάση εισόδου του και έπειτα από τρία (3) λεπτά, συγχρονίζεται με το δίκτυο και είναι σε θέση πλέον να διανείμει την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ. Ακόμα μια δυνατότητα του είναι η ένδειξη σφάλματος υπό μορφή ηλεκτρονικού παλμού. Ο αντιστροφέας αποτελεί κατά κάποιο τρόπο το τελευταίο στάδιο του ελέγχου της ανεμογεννήτριας των 5 KW καθώς μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη με βάση πάντα τις απαιτούμενες προδιαγραφές (230Vac / 50Hz).

Τέλος κάποια βασικά χαρακτηριστικά όσων αφορούν την είσοδο και την έξοδο του αντιστροφέα παρουσιάζονται στο Πίνακας 3. καθώς και στο (Παράρτημα Γ).

Τεχνικά χαρακτηριστικά εισόδου / εξόδου :

<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ</b>		
Μέση ισχύς (DC)	4880	( W )
Ελάχιστη τάση έναρξης λειτουργίας (DC)	125	( V )
Μέση τάση (DC)	400	( V )
Τάση χωρίς φορτίο (DC)	550	( V )
Μέγιστο ρεύμα εισόδου (DC)	43	( A )
Μέση τάση (DC)	Varistors	
Ένδειξη σφάλματος	Ναι	
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΞΟΔΟΥ</b>		
Μέση ισχύς (AC)	4600	( W )
Μέγιστη ισχύς (AC)	5060	( W )
Ρεύμα μέσης λειτουργίας (AC)	20	( A )
Μέγιστο ρεύμα (AC)	22	( A )

Πίνακας 3.7



## 4. Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Α/Γ 5 Kw

### 4.1 Σενάριο Λειτουργίας

Η περιγραφή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας ξεκινάει με την ενεργοποίηση του μηχανισμού προσανέμισης (ως προς το άνοιγμα εμβόλου). Κατά το άνοιγμα του εμβόλου ξεκινάει να προσανεμίζεται έτσι, ώστε να αρχίσει να περιστρέφεται η φτερωτή και να παράγει ενέργεια.

Στην περίπτωση που η ένταση του ανέμου έχει περάσει τα 4 m/s και ενώ έχει φτάσει ο μηχανισμός προσανεμισμού στο τέρμα του ανοίγματος η ανεμογεννήτρια ξεκινάει να περιστρέφεται. Αν κατά την περιστροφή της, υπάρχει παραγόμενη συνεχής τάση άνω των 125V τότε ξεκινάει ο έλεγχος του inverter ώστε να αρχίσει η διοχέτευση της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο. Αν όμως κατά το άνοιγμα του εμβόλου όπως αναφέραμε, δεν υπάρχει επαρκής ροή ανέμου (κάτω των 4 m/s) η ανεμογεννήτρια βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής ωσότου αυξηθεί η ένταση του ανέμου.

Γνωρίζοντας ότι κατά την αύξηση της έντασης του ανέμου υπάρχει αύξηση των ηλεκτρικών μεγεθών. Ποιο συγκεκριμένα κατά την αύξηση του ανέμου η μηχανή αυξάνει τις περιστροφές της έτσι σαν αποτέλεσμα αυτού είναι η αύξηση της παραγόμενης ισχύς της γεννήτριας και κατ' επέκταση της τάσεως και εντάσεως στο συνεχές μέρος (μετά την ανορθωτική διάταξη). Έτσι διαπιστώνεται η ανάγκη του ελέγχου μεγεθών για την προστασία τόσο της ανεμογεννήτριας όσο και των επιμέρους εξαρτημάτων που την απαρτίζουν.

Τα μεγέθη που ελέγχονται στο συγκεκριμένο σύστημα είναι:

- 1) ο αριθμός περιστροφών της φτερωτής,
- 2) το εναλλασσόμενο ρεύμα στην έξοδο του inverter
- 3) το συνεχές ρεύμα αλλά
- 4) και η συνεχές τάση.

Τα τέσσερα παραπάνω μεγέθη ελέγχονται για διαφορετικούς λόγους το καθένα.

Ο αριθμός περιστροφής ελέγχεται για δυο λόγους: ο πρώτος λόγος είναι ότι τα φτερά έχουν ένα όριο ως προς την αντοχή της δυνάμεως που δέχονται κατά την περιστροφή τους. Ο παραπάνω λόγος είναι πολύ σημαντικός διότι αφενός τίθεται το θέμα της ασφάλειας αφετέρου τίθεται και το θέμα του κόστους αφού το κόστος των φτερών φτάνει στο 30% του συνολικού κόστους. Ο δεύτερος λόγος που ελέγχεται ο





αριθμός των περιστροφών είναι ότι μέσω του έλεγχου των στροφών ελέγχονται έμμεσα και τα ηλεκτρικά μεγέθη της μηχανής όπως είναι η παραγόμενη ισχύ.

Η ένταση του εναλλασσόμενο ρεύματος ελέγχεται επίσης για δυο λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι ότι ο ιδιοκτήτης της κάθε ανεμογεννήτριας που συνδέεται σε δίκτυο υπογράφει ένα συμβόλαιο με την Δ.Ε.Η. έτσι ώστε να υπάρχει ένα όριο για το πόσο ενέργειας που διοχετεύεται στο δίκτυο της. Αυτό λοιπόν το ποσό ελέγχεται μέσω του εναλλασσόμενου ρεύματος της εξόδου του inverter όπου ελέγχοντας το, ελέγχεται και η παραγόμενη ισχύς εφόσον το δίκτυο δεν έχει μεταβολές στην τάση του. Ο δεύτερος και πιο σημαντικός λόγος είναι ότι ο inverter έχει κάποιες προδιάγραφε όπου μέσα σε αυτές υπάρχει και το όριο της εντάσεως του ρεύματος στην έξοδο του όπου σε περίπτωση υπέρβασης του υπάρχει κίνδυνος καταστροφής.

Όπως στην έξοδο του inverter έτσι και στην είσοδο υπάρχει όριο το οποίο δεν πρέπει να υπερβούν διότι όπως προαναφέρθηκε υπάρχει πιθανότητα καταστροφής του inverter.

Εφόσον αναφέρθηκαν οι λόγοι για τους οποίους ελέγχονται τα παραπάνω μεγέθη θα πρέπει να αναφερθεί περιληπτικά και όχι αναλυτικά για το πως γίνεται ο έλεγχος αυτών των μεγεθών (αναλυτικότερα ο έλεγχος περιγράφεται στο κεφάλαιο 4) Ξεκινώντας λοιπόν την περιγραφή του έλεγχου αναφέρεται ότι ο έλεγχος του αριθμού περιστροφών υλοποιείται μέσω ενός επαγωγικού αισθητήρα όπου καταλήγει στο PLC δίνοντας στο τελευταίο παλμούς ισάριθμους των περιστροφών έτσι εφόσον υπερβεί το επιθυμητό όριο στροφών δίδεται εντολή στον μηχανισμό προσανεμισμού να ξεκινήσει το κλείσιμο ωσότου οι περιστροφές να μειωθούν. Αν κατά την διαδικασία που μόλις περιγράφηκε υπάρχει δυνατός άνεμος και το κλείσιμο της ουράς δεν ισοδυναμεί με άμεση πτώση των στροφών τότε ως βοήθεια του μηχανισμού προσανεμισμού δίδεται μια δεύτερη εντολή ώστε να συνδεθεί ένα κύκλωμα φορτίων αμέσως μετά την γεννήτρια (στο τριφασικό μέρος) ώστε να δημιουργηθεί ηλεκτρομαγνητική πέδηση.

Τέλος αν για οποιοδήποτε λόγο δεν ανταποκρίνονται τα προηγούμενα δυο συστήματα έλεγχου υπάρχει ένα τρίτο ως έλεγχος ασφάλειας όπου αποτελείται από ένα κύκλωμα μεγάλης ισχύος φορτίων. Αυτό γίνεται διότι δεν θέλουμε σε καμία περίπτωση να μείνει η ανεμογεννήτρια χωρίς έλεγχο. Για τα επόμενα τρία ηλεκτρικά μεγέθη ακολουθούν σχεδόν την ίδια διαδικασία με την προηγούμενη του έλεγχου των περιστροφών. Εφόσον δηλαδή περάσουν τα επιτρεπτά τους όρια ενεργοποιείται η διαδικασία του μηχανισμού προσανέμισης ωσότου εκείνα ελαχιστοποιηθούν κάτω



από το όριο όπου έχει οριστεί για το καθένα. Αν υπάρχει μεγάλη ένταση ανέμου ώστε να μην υπάρχει πτωτική πορεία στα μεγέθη που εξετάζονται τότε εισέρχονται στο σύστημα τα εξωτερικά φορτία απόρριψης ισχύος ενώ αν καθυστερεί να ανταποκριθεί είτε υπερβαίνουν ένα τρίτο όριο τότε δεσμεύεται και το δεύτερο μεγάλης ισχύος φορτίο.

Στο Εικόνα 3. παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του συστήματος της ανεμογεννήτριας και η σύνδεση με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. Η παραγόμενη από την ανεμογεννήτρια τριφασική ενέργεια ανορθώνεται και μετατρέπεται σε συνεχή. Έπειτα η συνεχή ενεργεία καταλήγει στο δίκτυο Χ.Τ. μέσω του αντιστροφέα (inverter).

Ο έλεγχος της ανεμογεννήτριας επιτυγχάνεται μέσω ενός μικρού μεγέθους (mini) PLC τύπου LOGO 12/24 της εταιρίας Siemens (Παρα.Α.

Εικόνα 3.23) καθώς επίσης και από μια σειρά αισθητηρίων και ηλεκτρονικών διατάξεων (Παράρτημα Γ).

Τα ελεγχόμενα μεγέθη της ανεμογεννήτριας είναι :

Έλεγχος στροφών N

Έλεγχος εναλλασσόμενης έντασης στην έξοδο του αντιστροφέα  $I_{AC}$

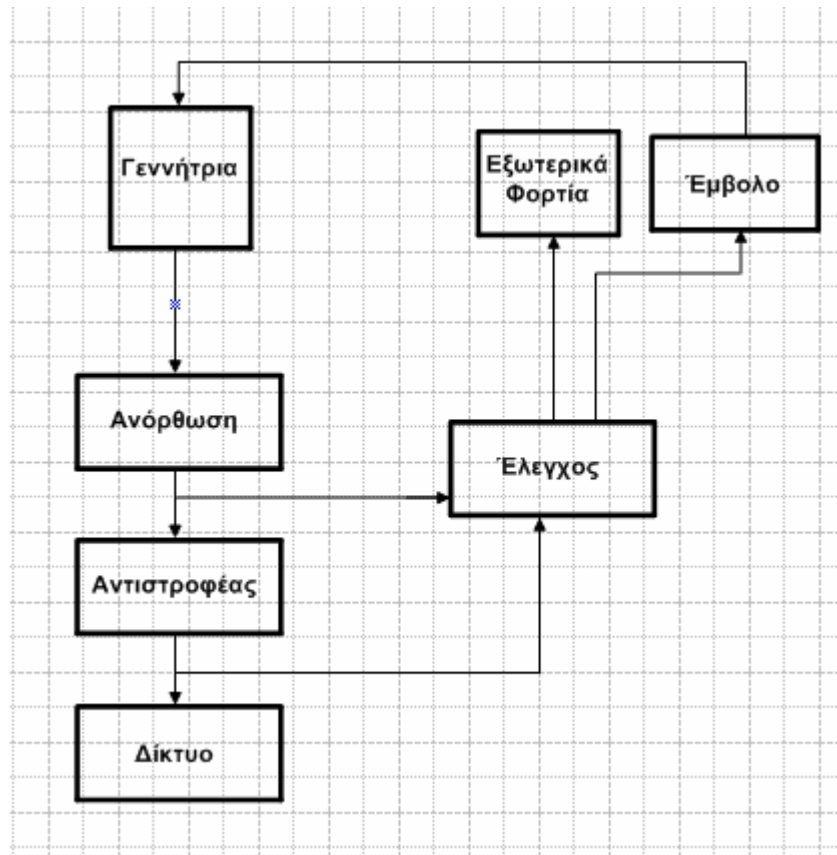
Έλεγχος παραγόμενης συνεχούς εντάσεως  $I_{DC}$

Έλεγχος παραγόμενης συνεχούς τάσεως  $V_{DC}$

Έλεγχος τελικών θέσεων του εμβόλου προσανεμισμού

Έλεγχος πτώσης δικτύου

Έλεγχος της συχνότητας του δικτύου



Σχήμα 4. 1:Διάγραμμα ροής συστήματος ανεμογεννήτριας.



## 4.2 Ανάλυση Λειτουργίας Ελέγχου Α/Γ Μικρής Ισχύος 5 Kw

1) **Έλεγχος στροφών της γεννήτριας.** Ο έλεγχος των στροφών γίνεται με τη χρήση κατάλληλου επαγωγικού ανιχνευτή. Η ονομαστική ισχύς της συγκεκριμένης γεννήτριας είναι 5,5 KW στις 250 στροφές ανά λεπτό. Ο ανιχνευτής, τοποθετημένος κατάλληλα, αποστέλλει τρεις παλμούς σε κάθε περιστροφή της φτερωτής, οι οποίοι καταγράφονται απ' το PLC. Με κατάλληλη επεξεργασία, το λογισμικό του PLC υπολογίζει την ταχύτητα περιστροφής προκειμένου να την διατηρήσει κάτω του ορίου των 300 στροφών ανά λεπτό. Η επιλογή του συγκεκριμένου ορίου έγινε μετά από πειραματικές μετρήσεις του βαθμού απόδοσης, όπου αποδεικνύεται ότι για την παροχή 5KW στο δικτύου Χ.Τ. η γεννήτρια θα πρέπει να παράγει 6,4 KW που αντιστοιχούν στις 300 rpm. Ο συγκεκριμένος έλεγχος σε πρώτο επίπεδο, πραγματοποιείται με την ενεργοποίηση του μηχανισμού προσανεμισμού (

2) Εικόνα 3.16,

3) Εικόνα 3.17), ενώ σε δεύτερο επίπεδο ελέγχου, εισέρχεται το 1ο κύκλωμα εξωτερικών φορτίων απόρριψης ισχύος. Τέλος το τρίτο επίπεδο ορίων εφαρμόζεται στην περίπτωση που ενώ έχει ενεργοποιηθεί ο μηχανισμός προσανεμισμού και το 1ο κύκλωμα εξωτερικών φορτίων, οι στροφές εξακολουθούν να είναι άνω των επιτρεπτών ορίων. Σκοπός των εξωτερικών φορτίων είναι η προστασία του συστήματος της ανεμογεννήτριας μέχρι η κίνηση της ουράς να θέσει την ανεμογεννήτρια εκτός της κύριας διεύθυνσης του ανέμου.(

4) Πίνακας 4.1)

	Κλείσιμο Εμβόλου	Άνοιγμα Εμβόλου	Εισαγωγή Φορτίου (2,45KW)	Εξαγωγή Φορτίου (2,45KW)	Εισαγωγή Φορτίου (14,7KW)	Εξαγωγή Φορτίου (14,7 KW)
Στροφές Ανά Λεπτό (rpm)	>300	≤300	>320	≤301	>340	≤321

Πίνακας 4.1



### 5) Έλεγχος εναλλασσόμενης έντασης στην έξοδο του αντιστροφέα I<sub>AC</sub>

Ο αντιστροφέας (inverter) σύνδεσης με το δίκτυο μπορεί να παρέχει μέχρι 5 KW στο δίκτυο Χ.Τ. ενώ τα επιτρεπτά όρια λειτουργίας του ως προς την τάση δικτύου κυμαίνονται από 190 έως 240 VAC. Αν δηλαδή η τάση του δικτύου έχει τιμές εκτός αυτών των ορίων, η λειτουργία του αντιστροφέα (inverter) διακόπτεται.

Γνωρίζοντας την μέγιστη και ελάχιστη τιμή της τάσης εξόδου, είναι εφικτός και ο υπολογισμός της αντίστοιχης μέγιστης έντασης (εναλλασσομένου) ρεύματος για παρεχόμενη ισχύ 5 KW.

Η μέτρηση του μεγέθους αυτού πραγματοποιείται με τη χρήση ηλεκτρονικής διάταξης που βασίζεται στη χρήση αισθητηρίου τύπου Hall (κεφ. 4.2.2.).

Αν κατά την λειτουργία, της ανεμογεννήτριας η παραγόμενη εναλλασσόμενη ένταση είναι μεγαλύτερη των 15 A (Παρα.Α αναλογικός συγκριτής (B004) - Εικόνα 3.11, Εικόνα 3.12), για χρόνο μεγαλύτερο των 5 δευτερολέπτων, τότε ενεργοποιείται η διαδικασία κλεισίματος της ουράς, έως ότου η τιμή της έντασης είναι μικρότερη των (10A). Η χρονοκαθυστέρηση των 5 δευτερολέπτων, χρησιμοποιείται προκειμένου η εντολή ενεργοποίησης κλεισίματος της ουράς να μην πραγματοποιείται σε περιπτώσεις στιγμιαίων ριπών του ανέμου παρά μόνο σε περιπτώσεις που αύξησης της ταχύτητας του ανέμου. Έτσι αποφεύγεται η συνεχής καταπόνηση των ηλεκτρονόμων του συστήματος ελέγχου. Απ' τη στιγμή διακοπής της διαδικασίας κλεισίματος της ουράς, το έμβολο παραμένει στη θέση αυτή για πέντε (5) δευτερόλεπτα και έπειτα ενεργοποιείται το σύστημα που ανοίγει και πάλι την ουρά.

Σε περίπτωση μεγάλης εντάσεως του ανέμου, και για τον έλεγχο της μηχανής διαπιστώνεται ότι η χρήση του μηχανισμού προσανέμισης της ανεμογεννήτριας δεν επιφέρει άμεσα αποτελέσματα στην μείωση της έντασης του εναλλασσομένου ρεύματος I<sub>AC</sub>. Για να αντιμετωπιστούν τέτοιες καταστάσεις συνδέονται απευθείας με τη γεννήτρια δύο επιπλέον διατάξεις φορτίων απόρριψης ισχύος. Η πρώτη διάταξη συνδέεται όταν το I<sub>AC</sub> ξεπεράσει τα 16A, ενώ αποσυνδέεται όταν είναι μικρότερη των 13A. Η δεύτερη διάταξη συνδέεται όταν το I<sub>AC</sub> ξεπεράσει τα 17A, ενώ αποσυνδέεται όταν είναι μικρότερη των 15A. (

Πίνακας 4.2)



	Κλείσιμο Εμβόλου	Άνοιγμα Εμβόλου	Εισαγωγή 1ουΦορτίου (2,45KW)	Εξαγωγή 1ουΦορτίου (2,45KW)	Εισαγωγή 2ουΦορτίου (14,7KW)	Εξαγωγή 2ουΦορτίου (14,7 KW)
<b>I<sub>AC</sub></b> Εναλλασσόμενη Ένταση (A)	15	10	16	13	17	15

Πίνακας 4.2

**6) Έλεγχος της παραγόμενης συνεχούς έντασης της ανεμογεννήτριας I<sub>DC</sub>.**

Όπως περιγραφτικε η διαδικασία του ελέγχου για την ένταση του εναλλασσόμενου ρεύματος, στην προηγούμενη παράγραφο, ακολουθείται και σε αυτή την περίπτωση ελέγχου πανομοιότυπη διαδικασία. Τα όρια για τα οποία θα ενεργοποιείται ο μηχανισμός προσανεμισμού κατά το άνοιγμα ή το κλείσιμο, καθώς και για την εισαγωγή/εξαγωγή των 2 φορτιών παρατίθενται στον παρακάτω

Πίνακας 4.3

	Κλείσιμο Εμβόλου	Άνοιγμα Εμβόλου	Εισαγωγή Φορτίου (2,45KW)	Εξαγωγή Φορτίου (2,45KW)	Εισαγωγή Φορτίου (14,7KW)	Εξαγωγή Φορτίου (14,7 KW)
Συνεχή Ένταση (A)	30	27	32	29	35	30

Πίνακας 4.3

**7) Έλεγχος της παραγόμενης συνεχούς τάσης της ανεμογεννήτριας V<sub>DC</sub>.**

Σε αυτήν την περίπτωση ακολουθείται για ακόμη μια φορά η ίδια διαδικασία ελέγχου όπως εκείνη του εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα όρια για τα οποία θα ενεργοποιείται ο μηχανισμός προσανεμισμού κατά το άνοιγμα ή το κλείσιμο, καθώς και για την εισαγωγή/εξαγωγή των 2 φορτιών παρατίθενται στον παρακάτω

Πίνακας 4.4

	Κλείσιμο Εμβόλου	Άνοιγμα Εμβόλου	Εισαγωγή Φορτίου (2,45KW)	Εξαγωγή Φορτίου (2,45KW)	Εισαγωγή Φορτίου (14,7KW)	Εξαγωγή Φορτίου (14,7 KW)
Συνεχή Τάση (V)	330	280	360	330	380	350

Πίνακας 4.4



Στον

**Πίνακας 4.5 καταγράφονται συγκεντρωτικά οι επιτρεπτές τιμές των μετρούμενων μεγεθών**

	Κλείσιμο Εμβόλου	Άνοιγμα Εμβόλου	Εισαγωγή Φορτίου (2,45KW)	Εξαγωγή Φορτίου (2,45KW)	Εισαγωγή Φορτίου (14,7KW)	Εξαγωγή Φορτίου (14,7 KW)
Στροφές Ανά Λεπτό (rpm)	>250	≤250	>280	≤251	>300	≤281
Εναλλασσόμενη Ένταση (A)	15	10	16	13	17	15
Συνεχή Ένταση (A)	30	27	32	29	35	30
Συνεχή Τάση (V)	330	280	360	330	380	350

**Πίνακας 4.5**

**8) Έλεγχος τελικών θέσεων εμβόλου (άνοιγμα / κλείσιμο).** Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με μέτρηση της πτώσης τάσης στα άκρα αντίστασης που βρίσκεται συνδεδεμένη σε σειρά με το κύκλωμα τροφοδοσίας του εμβόλου.

Η μετρούμενη πτώση τάσης οδηγείται σε αναλογικό συγκριτή (Παρα.Α Β003<sup>-</sup>

Εικόνα 3.6), μέσω αναλογικής θύρας εισόδου του PLC. Όταν υπερβεί τα επιτρεπτά όρια των 10Α (Κεφ.5), απενεργοποιείται η τροφοδοσία του εμβόλου (Παρα.Α εικονικός ηλεκτρονόμος Β001-άνοιγμα ή Β002-κλείσιμο).

**9) Έλεγχος πτώσης δικτύου Χ.Τ.** Επιτυγχάνεται μέσω ενός τροφοδοτικού ιδιοκατασκευής (κεφ.5.1.4.) όπου είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο και δίδει ένα ψηφιακό παλμό στην είσοδο του PLC. Σε περίπτωση που διακοπής λειτουργίας του δικτύου Χ.Τ., διακόπτεται και η παροχή του ψηφιακού παλμού στην ψηφιακή είσοδο του PLC με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση του μηχανισμού προσανεμισμού, ώστε να κλείσει το έμβολο της ουράς. Το PLC συνεχίζει να ελέγχει τις παραμέτρους και επιτρέπει την επαναλειτουργία της γεννήτριας σε περίπτωση που το δίκτυο Χ.Τ. λειτουργεί και πάλι.



**10) Έλεγχος συχνότητας και τάσης δικτύου Χ.Τ.** Εφόσον διαπιστωθεί ότι η συχνότητα και η τάση του δικτύου βρίσκεται εκτός των επιτρεπών ορίων (Παρα.Α), ο αντιστροφέας σύνδεσης με το δίκτυο Χ.Τ., έχει την δυνατότητα να εκπέμπει ψηφιακό παλμό, ο οποίος αναγνωρίζεται από αντίστοιχη ψηφιακή είσοδο του PLC (I3). Σε τέτοια περίπτωση, ενεργοποιείται η διαδικασία κλεισίματος της ουράς, ενώ μετά από 1,25 λεπτά και έχοντας κλείσει η ουρά, ενεργοποιούνται τα εξωτερικά φορτία με σκοπό την ασφάλιση του συστήματος (Παρα.Α

**11) Εικόνα 3.19).** Τρία λεπτά μετά την επαναλειτουργία του δικτύου σε επιτρεπτά όρια τάσης και συχνότητας, πραγματοποιείται απενεργοποίηση των εξωτερικών φορτίων και το σύστημα ενεργοποιείται και πάλι (Παρα.Α

**12) Εικόνα 3.20).** Ο συγκεκριμένος χρόνος, επιλέχθηκε βάσει του απαιτούμενου χρονικού διαστήματος για την σύνδεση του αντιστροφέα με το δίκτυο



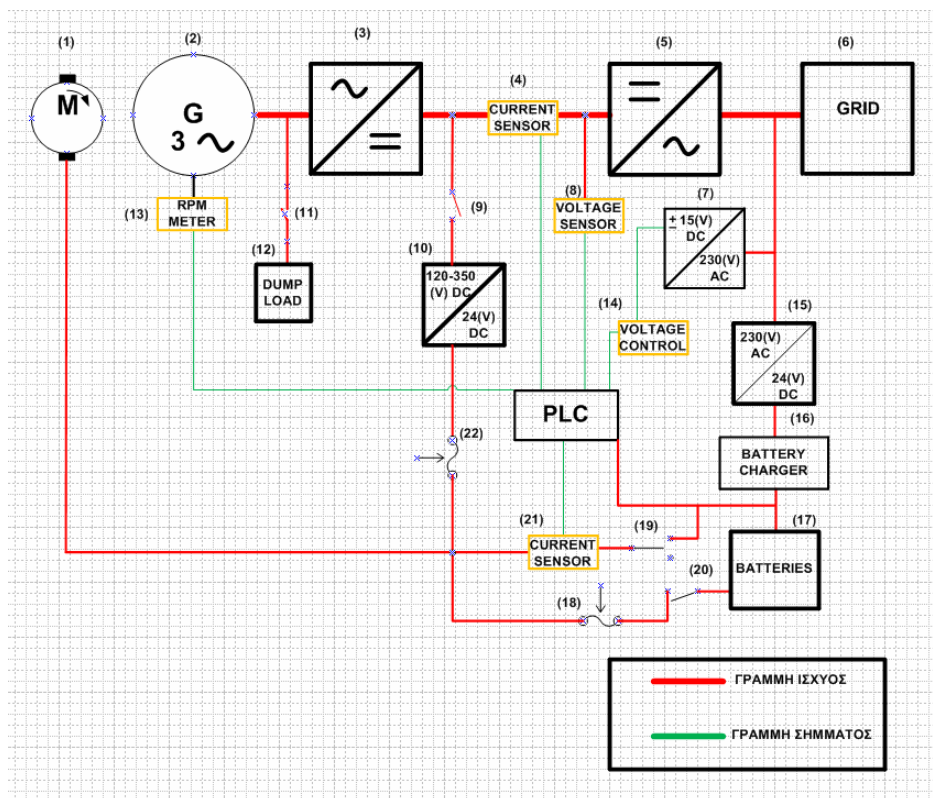


### 4.3 Σύστημα Ασφαλείας (Αρχική Έκδοση)

Στην παράγραφο που ακολουθεί, περιγράφονται οι λειτουργίες που διαθέτει το σύστημα ελέγχου για να αντιμετωπίσει όλες τις πιθανές περιπτώσεις δυσλειτουργίας ενός ή και περισσοτέρων τμημάτων του. Η αρχική αυτή έκδοση μετά από παρατηρήσεις που κάναμε αντικαταστάθηκε με άλλη για να βελτιωθεί... η αξιοπιστία του.

Τα τρία βασικά συστήματα ασφαλείας που αναπτύχθηκαν αποσκοπούν στην αποφυγή της ανεξέλεγκτης λειτουργίας της ανεμογεννήτριας.

Στο Σχήμα 4. 2 παρουσιάζεται το σύστημα ελέγχου υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας.



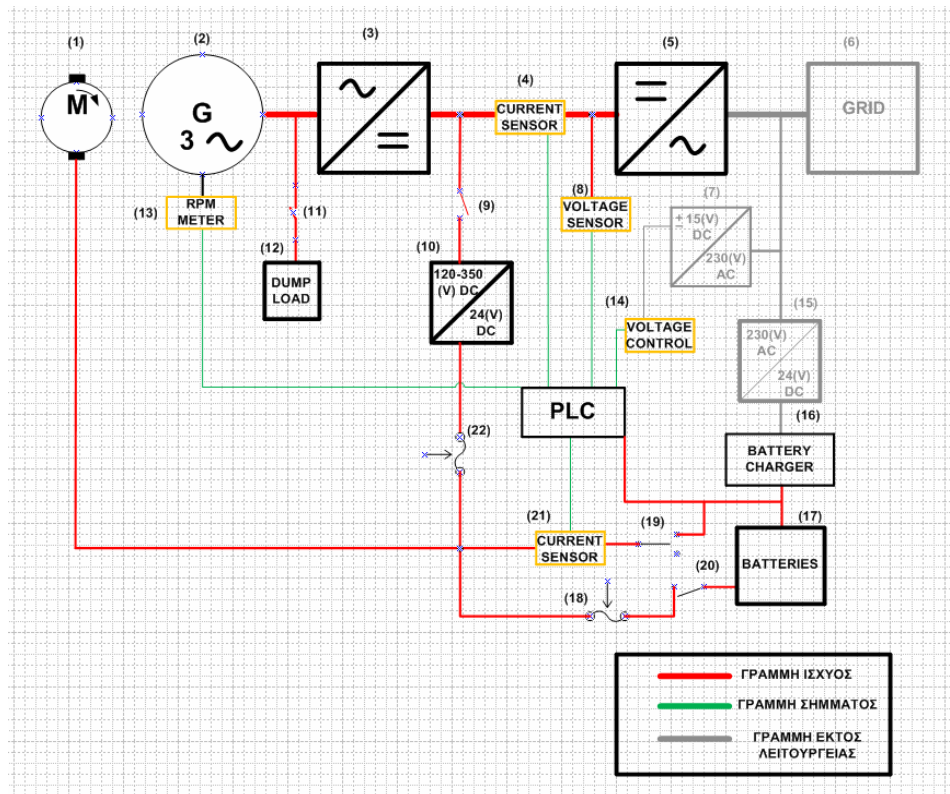
Σχήμα 4. 2 Σύστημα ελέγχου υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας (αρχική έκδοση).



• **Το πρώτο σύστημα ασφαλείας**, (Σχήμα 4. 3) έχει σκοπό την αντιμετώπιση πιθανής απώλειας του δικτύου Χ.Τ. (φαινόμενο νησιδοποίησης). Στην περίπτωση αυτή το PLC τροφοδοτείται απ' τους συσσωρευτές (17). Η ενέργεια των συσσωρευτών παρέχεται στο σύστημα μέσω του φορτιστή συσσωρευτών (battery charger) (16), ο οποίος δύναται να φορτίζει τους συσσωρευτές όσο δέχεται τάση τροφοδοσίας, ενώ σε περίπτωση διακοπής της τελευταίας, η παροχή ενέργειας αλλάζει διεύθυνση και μεταφέρεται απ' τους συσσωρευτές προς το σύστημα. Ταυτόχρονα και μέσω κατάλληλης ηλεκτρονικής διάταξης (14) το PLC ενημερώνεται για την διακοπή του δικτύου Χ.Τ. μέσω ψηφιακού σήματος (ψηφιακή είσοδος I6). Τότε ενεργοποιείται η διαδικασία κλεισίματος της ουράς (1) (μέσω των ηλεκτρονόμων (19) (Παρα.Α.

Εικόνα **3.20**) καθώς και η ενεργοποίηση των φορτίων (12) μέσω των ηλεκτρονόμων (11). Το σύστημα είναι σε θέση να διαπιστώσει την επαναφορά της σωστής λειτουργίας του δικτύου Χ.Τ. και μέσω χρονοκαθυστέρησης διάρκειας λίγων λεπτών (σταθεροποίηση του δικτύου), ενεργοποιείται και πάλι το σύστημα, αποπλίζοντας τα φορτία (12) με ταυτόχρονη ενεργοποίηση της διαδικασίας ανοίγματος της ουράς (Παρα.Α

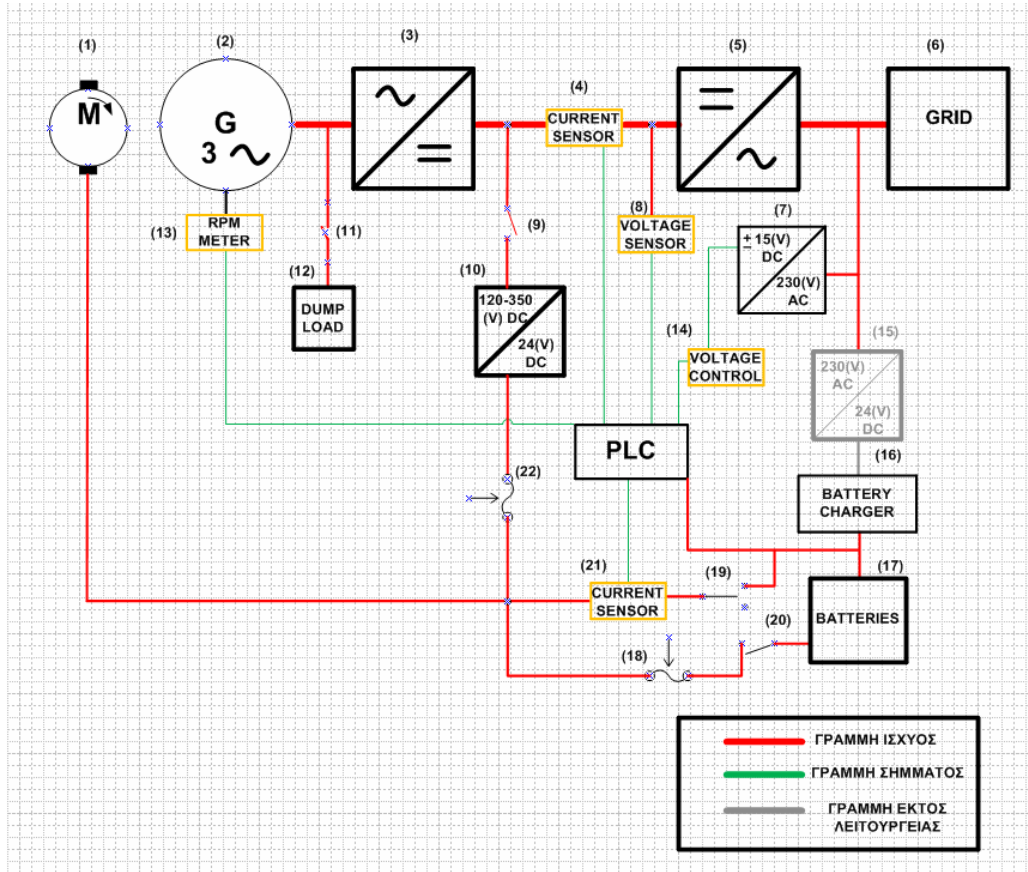
Εικόνα **3.22**) (1). Το σύστημα τροφοδοτείται και πάλι απ' το δίκτυο (6), ενώ οι συσσωρευτές φορτίζονται.



Σχήμα 4.3 Απώλειας του δικτύου Χ.Τ

• Το δεύτερο σύστημα ασφάλειας προβλέπει πιθανή καταστροφή του τροφοδοτικού (15) Σχήμα 4. 4. Η αντιμετώπιση αυτής της πιθανής καταστροφής του τροφοδοτικού(15), πραγματοποιείται με τη βοήθεια των συσσωρευτών μέσω του αντίστοιχου φορτιστή (16). Σ' αυτήν την περίπτωση, η ενέργεια των συσσωρευτών παρέχεται στο σύστημα μέσω του φορτιστή συσσωρευτών (battery charger) (16) ενεργοποιώντας την διαδικασία κλεισίματος της ουράς (1) (Παρα.Α: μέσω των ηλεκτρονόμων (19) -

Εικόνα 3.20 - καθώς και των φορτίων (12) μέσω των ηλεκτρονόμων (11)).

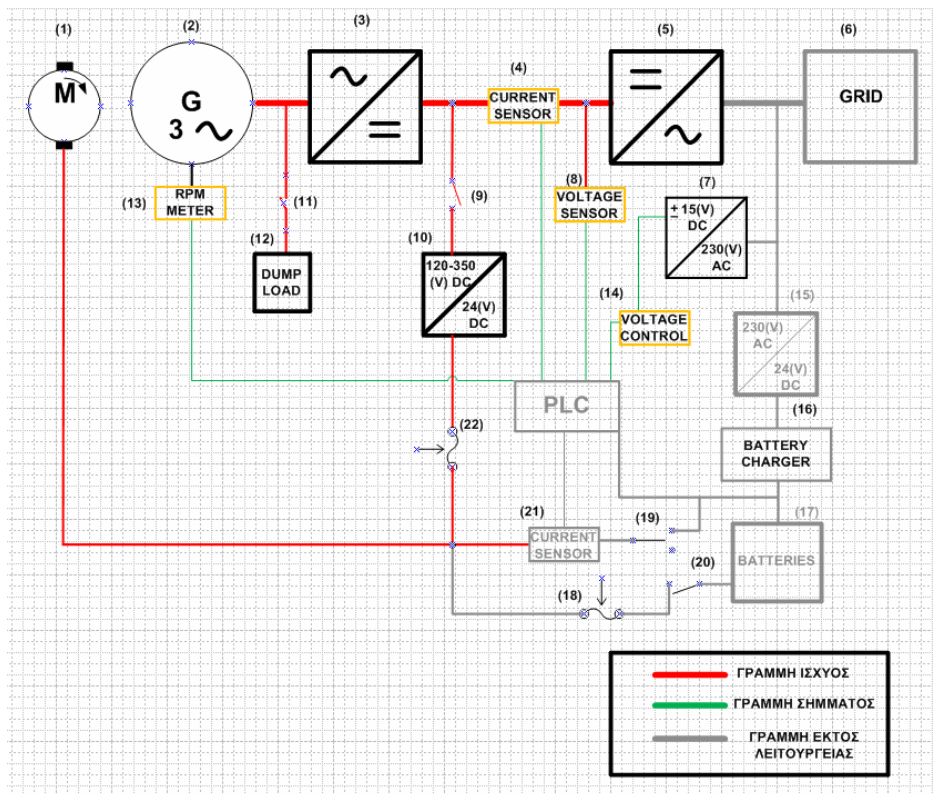


Σχήμα 4. 4 Καταστροφή του τροφοδοτικού (15)



• Το τρίτο σύστημα ασφαλείας, αντιμετωπίζει περίπτωση καταστροφής του αντιστροφέα (15), είτε διακοπής του δικτύου (6) και ταυτόχρονης καταστροφής των συσσωρευτών (17), Σχήμα 4. 5 με ενεργοποίηση του δεύτερου τροφοδοτικού συνεχούς τάσης (10). Το τροφοδοτικό αυτό υποβιβάζει την παραγόμενη συνεχή τάση (έως 350 VDC), ενεργοποιώντας απευθείας (χωρίς τη διαμεσολάβηση του PLC) τον μηχανισμό προσανέμισης (1) με σταθερή τάση τροφοδοσίας 24VDC. Ταυτόχρονα ενεργοποιεί τα φορτία (11). Προφανώς η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιείται μόνο όταν περιστρέφεται η ανεμογεννήτρια και συνεπώς παράγεται ικανοποιητική τάση για την τροφοδοσία του εμβόλου. Σε αντίθετη περίπτωση δεν υπάρχει ανάγκη για κλείσιμο της ουράς.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση προκειμένου να αποφευχθεί καταστροφή του κινητήρα του εμβόλου μετά το κλείσιμο της ουράς, η τροφοδοσία του τροφοδοτικού διακόπτεται μέσω ασφαλειοδιακόπτη (23) με ασφάλεια των 6 Α. Διαπιστώθηκε ότι για την διακοπή της λειτουργίας της ασφάλειας, απαιτείται χρόνος 3,2 sec, απαραίτητος χρόνος για την απορρόφηση 9,2 Α απ' το έμβολο.



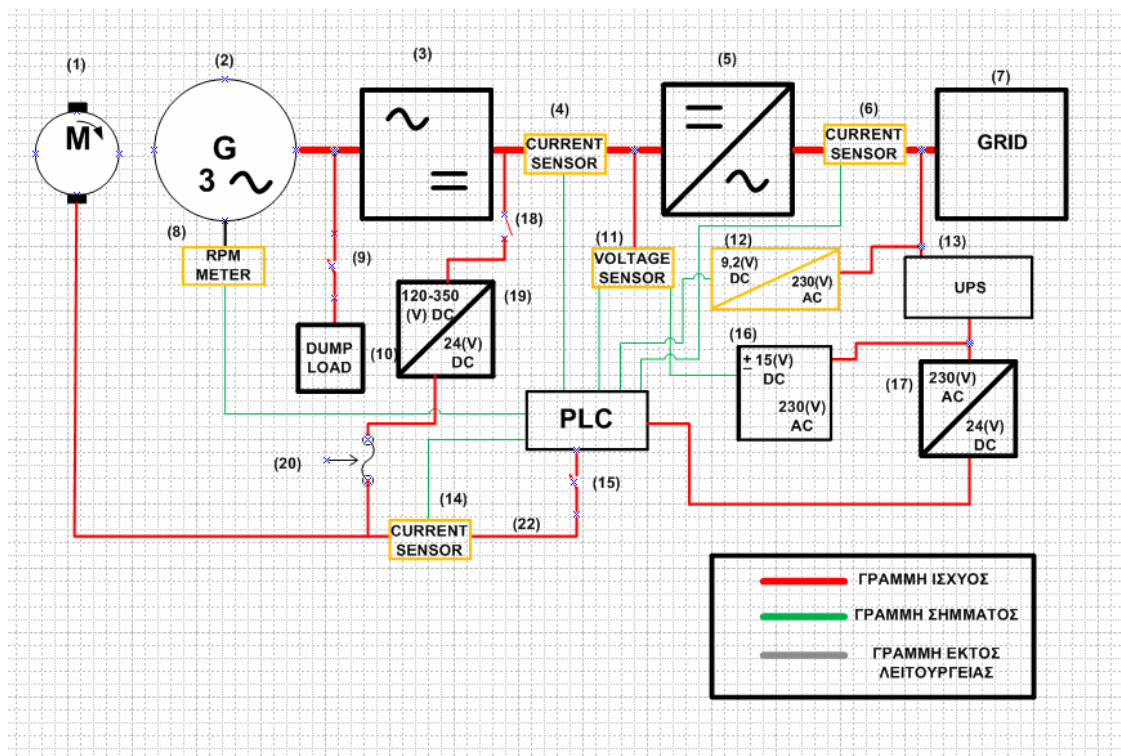
Σχήμα 4. 5 Καταστροφή αντιστροφέα (15)



#### 4.4 Σύστημα Ασφαλείας (Τελική Έκδοση)

Η δεύτερη έκδοση του συστήματος ελέγχου έγινε με σκοπό της βελτίωσης της αξιοπιστίας, της ευελιξίας και της βελτίωσης της απόδοσης του αρχικού συστήματος ελέγχου. Στην καινούργια προσπάθεια δεν πραγματοποιήθηκαν αλλαγές στις παραμέτρους του βασικού ελέγχου, παρά μόνο στα συστήματα αντιμετώπισης πιθανών δυσλειτουργιών.

Στο Σχήμα 4. 6 παρουσιάζεται το βελτιωμένο πλέον σύστημα ελέγχου υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας.



Σχήμα 4. 6 Κανονικές συνθήκες λειτουργίας (τελική έκδοση)

Στην παράγραφο που ακολουθεί, περιγράφονται οι λειτουργίες που διαθέτει το σύστημα ελέγχου της δεύτερης έκδοσης για την αντιμετώπιση όλων των πιθανών περιπτώσεων δυσλειτουργίας οποιουδήποτε τμήματος του συστήματος ελέγχου. Στην δεύτερη έκδοση, οι συσσωρευτές και ο φορτιστής τους αντικαταστάθηκαν από εγκεκριμένο τροφοδοτικό αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS). Το καινούργιο σύστημα παρέχει τις ίδιες δυνατότητες ελέγχου με την πρώτη έκδοση, ελαχιστοποιώντας όμως τα απαιτούμενα εξαρτήματα λειτουργίας του και κατά συνέπεια μειώνοντας σημαντικά τις πιθανότητες δυσλειτουργίας.

Συνοπτικά, οι δυνατότητες ελέγχου είναι:

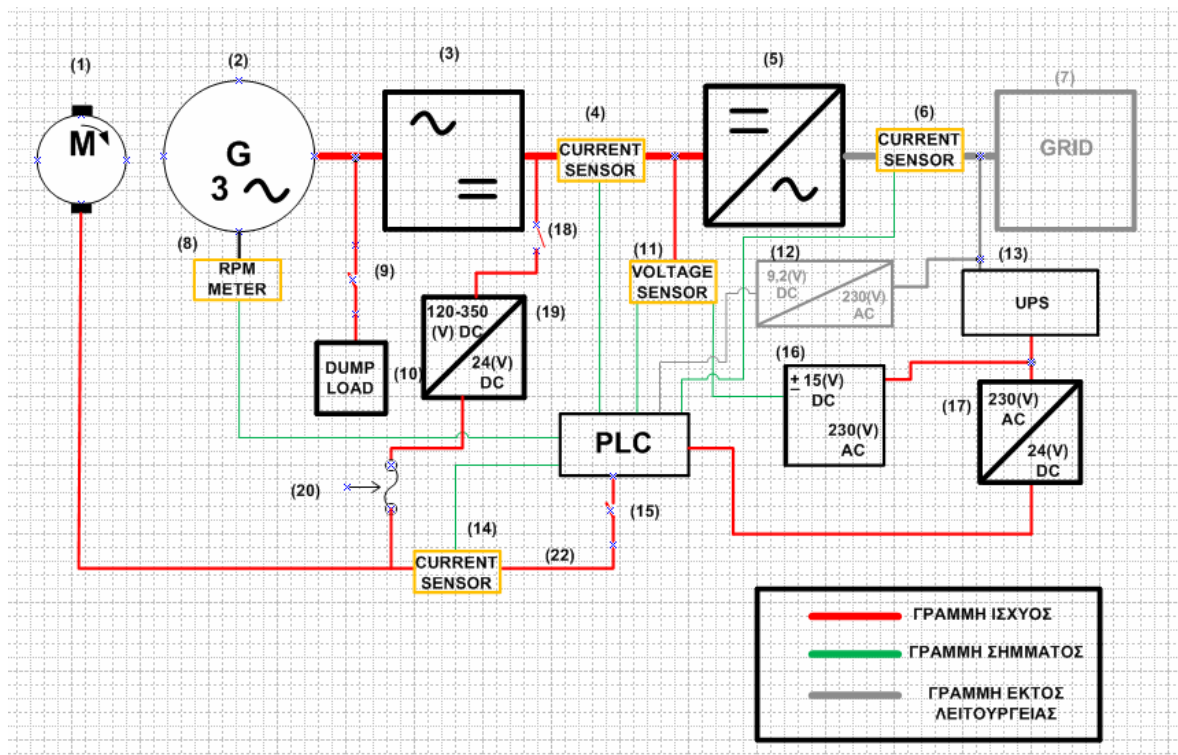


1) Αντιμετώπιση διακοπής λειτουργίας του δικτύου Χ.Τ. Σχήμα 4. 7 (φαινόμενο νησιδοποίησης), με εναλλακτική τροφοδοσία του PLC (13) και όχι από τους συσσωρευτές και τον φορτιστή τους. Η ηλεκτρονική διάταξη (12) παρέχει ψηφιακό σήμα στο PLC, ενεργοποιώντας την διαδικασία κλεισίματος του εμβόλου (ηλεκτρονόμοι -15-) και ενεργοποίηση των φορτίων (10) (ηλεκτρονόμοι -9-).

Το σύστημα είναι σε θέση να διαπιστώσει την επαναφορά της σωστής λειτουργίας του δικτύου Χ.Τ. και μέσω χρονοκαθυστέρησης διάρκειας λίγων λεπτών μέχρι την σταθεροποίηση του δικτύου, ενεργοποιείται και πάλι το σύστημα, αφοπλίζοντας τα φορτία (12) με ταυτόχρονη ενεργοποίηση της διαδικασίας ανοίγματος της ουράς (Παρα.Α.

Εικόνα 3.22) (1). Το σύστημα τροφοδοτείται και πάλι απ' το δίκτυο (6), ενώ οι συσσωρευτές του τροφοδοτικού αδιάλειπτης λειτουργίας φορτίζονται και πάλι.

Σε όλη την διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω η απορρόφηση ισχύος από το UPS είναι μόλις το 4% της αποθηκευμένης ενέργειας που έχει ενώ σε κατάσταση αναμονής ωστόσο επανέλθει το κύκλωμα απορροφάει 5% επί της ενεργείας. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα μπορεί να μείνει εκτός δικτύου για 3 ημέρες.

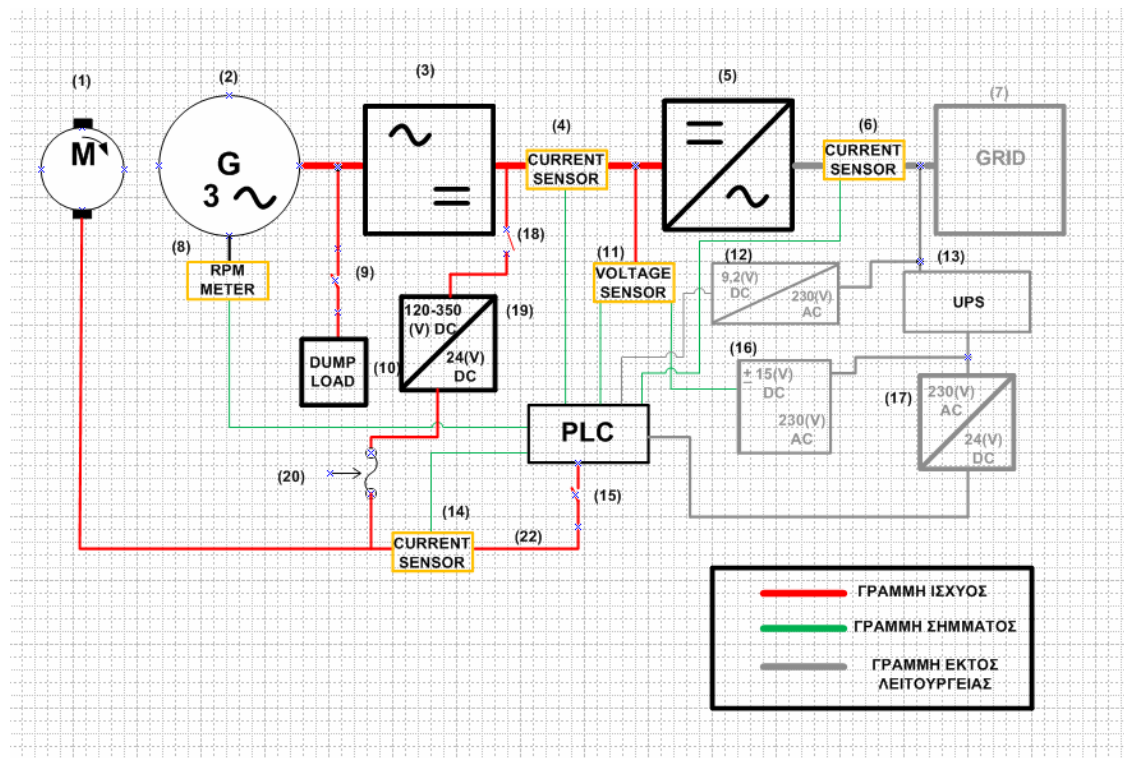


Σχήμα 4. 7 διακοπή δικτύου Χ.Τ



2) Το συγκεκριμένο σύστημα ασφαλείας προβλέπει την πιθανή καταστροφή του UPS (13) (Σχήμα 4. 8). Σε αυτήν την περίπτωση εισέρχεται στο σύστημα το τροφοδοτικό (18) ώστε να τροφοδοτήσει τον ηλεκτρονόμο του κλεισίματος εμβόλου (15) ωστόσο διακοπή εκείνη η τροφοδοσία από τον ασφάλεια (20). Παράλληλα ενεργοποιεί τους ηλεκτρονόμους (9) των εξωτερικών φορτιών (10)

3) Το τελευταίο σύστημα ασφαλείας προβλέπει την πιθανή καταστροφή του τροφοδοτικού 230VAC/24VDC (17) (Σχήμα 4. 8). Η διαδικασία που ακολουθείται σε αυτήν την περίπτωση είναι πανομοιότυπη με την προηγούμενη διαδικασία - περίπτωση 2). Όλη η παραπάνω διαδικασία γίνεται παρακάμπτοντας το PLC εφόσον σε αυτή την πιθανή καταστροφή δεν υπάρχει τρόπος τροφοδότησης του.



Σχήμα 4. 8 Είτε καταστροφή UPS (13) είτε καταστροφή τροφοδοτικού 230VAC/24VDC (17)





#### 4.5 Χειροκίνητη Λειτουργία

Παράλληλα με το αυτόματο σύστημα ελέγχου έχει αναπτυχθεί και δυνατότητα για χειροκίνητη λειτουργία σε περιπτώσεις συντήρησης του ολικού συστήματος, και για την περίπτωση μη ανταπόκρισης του συστήματος στην αυτόματη λειτουργία.

Η χειροκίνητη λειτουργία αφορά το άνοιγμα και κλείσιμο του εμβόλου μέσω ενός μεταγωγικού διακόπτη τριών (3) θέσεων, όπου ελέγχεται το άνοιγμα αλλά και το κλείσιμό του, ενώ η τελική του θέση αναγνωρίζεται από τον ασφαλειοδιακόπτη (κεφ 7) όπου διακόπτεται η τροφοδοσία του εφόσον απορροφηθεί από το έμβολο ένταση των 9,2 A (Παράρτημα Β).

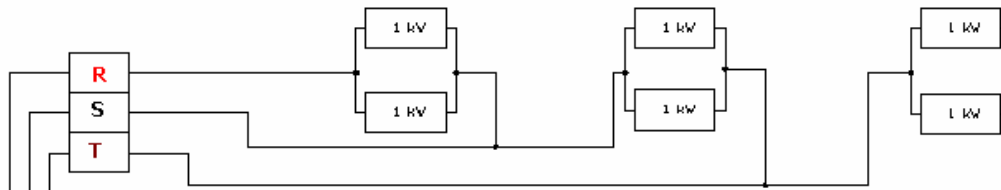
Επίσης παρέχεται η δυνατότητα χειροκίνητης ενεργοποίησης εξωτερικών κυκλωμάτων φορτίου μέσω ενός διπολικού διακόπτη (Παράρτημα Β).

#### 4.6 Συνδεσμολογία Εξωτερικών Φορτίων Απόρριψης Ισχύος

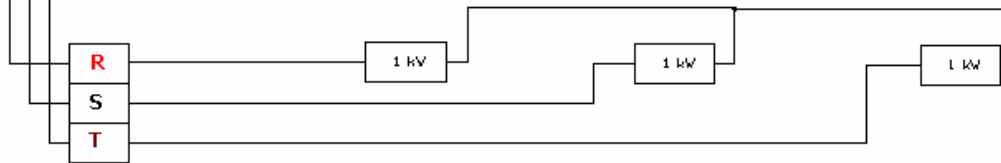
Παράλληλα με το σύστημα ελέγχου της ουράς μέσω εμβόλου, έχει προβλεφθεί μια εναλλακτική και άμεσης αντίδρασης διαδικασία με χρήση εξωτερικών φορτίων. Σκοπός των φορτίων είναι η πρόληψη περιπτώσεων κατά τις οποίες, ενώ έχει ξεκινήσει η διαδικασία κλεισίματος του εμβόλου, οι προαναφερθέντες παράμετροι δεν ελαττώνονται. Κάτι τέτοιο αποτελεί πιθανό ενδεχόμενο σε περιπτώσεις ισχυρών ανέμων όπου εμφανίζεται σημαντική καθυστέρηση απόκρισης του μηχανισμού προσανέμισης. Τα φορτία αυτά, συνδέονται απευθείας με τη γεννήτρια ώστε να προστατεύσουν ολόκληρο το σύστημα ελέγχου (συμπεριλαμβανομένης και της ανόρθωσης). Η διάταξη των φορτίων αποτελείται από εννέα (9) αντιστάσεις των 50 Ω, ισχύος 1 Kw η καθεμία. Τρεις εξ αυτών είναι συνδεδεμένες κατά αστέρα και οι υπόλοιπες έξι (6) είναι συνδεδεμένες κατά τρίγωνο με συνολική ισχύ για το πρώτο κύκλωμα ίση με 2,45 KW, ενώ για το δεύτερο ίση με 14,7 KW η συνδεσμολογία των παραπάνω δύο κυκλωμάτων παρατίθεται παρακάτω στο Σχήμα 4. 9.



ΚΥΚΛΩΜΑ 2 / ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟΡΙΨΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 14,7 KW / ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΡΙΓΩΝΟΥ



ΚΥΚΛΩΜΑ 1 / ΦΟΡΤΙΑ ΑΠΟΡΙΨΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 2,45 KW / ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΑΣΤΕΡΑ



Σχήμα 4.9



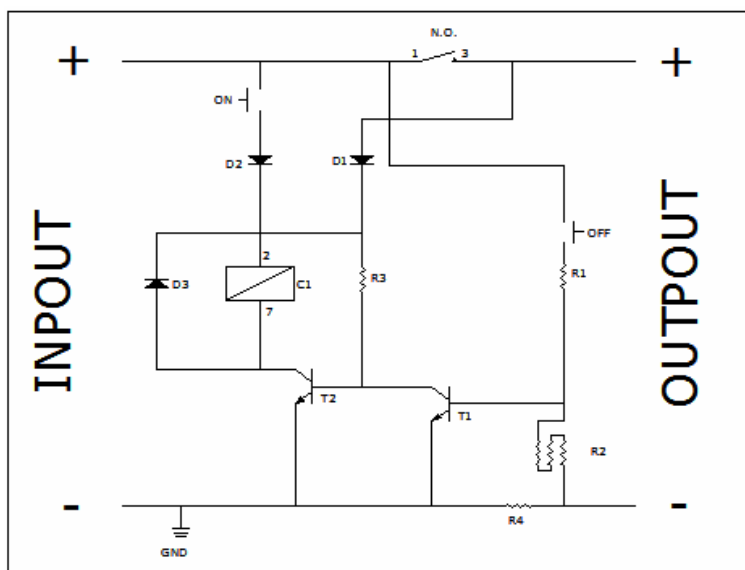
## 5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Στο κεφάλαιο ακολουθεί η συνοπτική περιγραφή της λειτουργίας των ηλεκτρονικών διατάξεων και των αισθητήριων [28]. Τέλος αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

### 5.1 Ηλεκτρονικές Διατάξεις (Ιδιοκατασκευές)

#### 5.1.1 Ασφαλειοδιακόπτης (24 Vdc/10 A)

Η διάταξη αυτή (σχήμα 5.1) χρησιμοποιείται για προστασία του μηχανισμού προσανέμισης κατά τη χειροκίνητη λειτουργία της ανεμογεννήτριας και συνδέεται σε σειρά με τον τελευταίο. Η έρευνα αγοράς δεν ανέδειξε την ύπαρξη κατάλληλης διάταξης, με αποτέλεσμα την κατασκευή αυτής υπό μορφή ηλεκτρονικού κυκλώματος για την ενεργοποίηση ενός ηλεκτρονόμου (επαφή N.C.). Ο ρόλος της είναι η διακοπή της λειτουργίας του μηχανισμού προσανέμισης κατά τον τερματισμό του (απορροφά ένταση ηλεκτρικού ρεύματος μεγαλύτερη των 10 A), αποτέλεσμα μη επιθυμητό. Με την αλλαγή κατάστασης του ηλεκτρονόμου (ένταση ρεύματος 9.5 A) ο μηχανισμός προσανέμισης τίθεται εκτός λειτουργίας και προστατεύεται από πιθανή υπερένταση. Το πηνίο, του ηλεκτρονόμου τροφοδοτείται με 24 Vdc και αντέχει ρεύμα εντάσεως 40 mA.



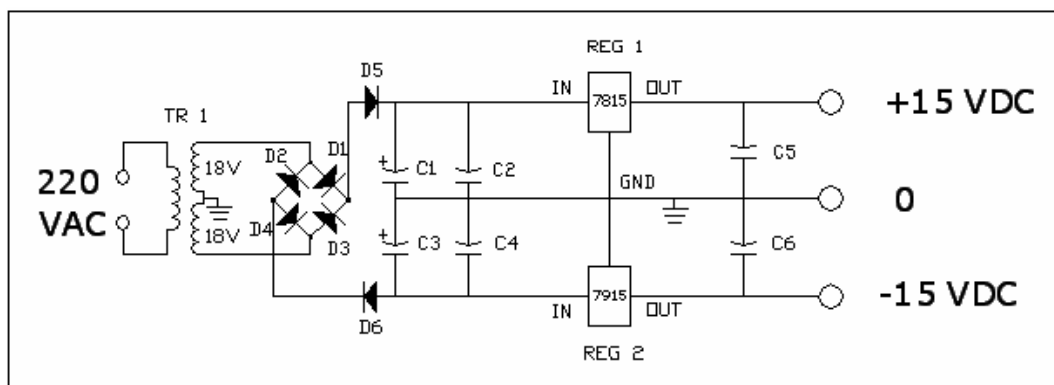
σχήμα 5.1



### 5.1.2 Τροφοδοτικό (230 Vac/±15 Vdc)

Η διάταξη αυτή (σχήμα 5.2) 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  $\pm 15$  Vdc.



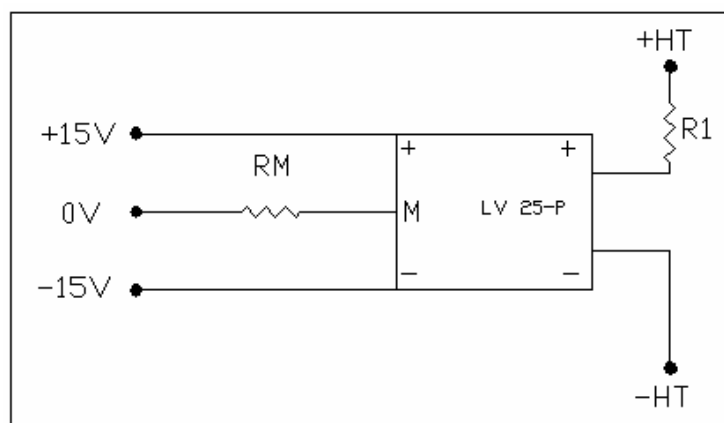
σχήμα 5.2

### 5.1.3 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 είσοδό σε συνδυασμό με αντίσταση κατάλληλου μεγέθους (47 K $\Omega$ ), και βαθμονόμησης σε επιτρεπτά για τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή όρια τάσης 0-10V (αναλογικές είσοδοι). Ο συνδυασμός του με την αντίσταση επιβάλλει την κατασκευή ηλεκτρονικής διάταξης. Απαραίτητη τροφοδοσία  $\pm 15$  Vdc.



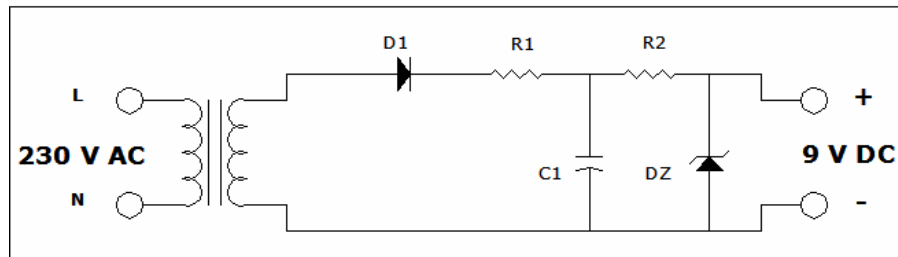
Ο ρόλος του αισθητήριου αυτού είναι ο έλεγχος της παραγόμενης συνεχούς τάσης απ' την ανεμογεννήτρια (υποβιβασμένη τάση στα όρια που προαναφέρθηκαν για αναγνώριση του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή), συνδεδεμένο παράλληλα με την έξοδο της ανορθωτικής διάταξης. (Βαθμονόμηση – Παράρτημα Β).



σχήμα 5.3

#### 5.1.4 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.



σχήμα 5.4

## 5.2 Αισθητήρια

### 5.2.1 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 (5KW).

### 5.2.2 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. (Βαθμονόμηση-Παράρτημα Β, Τεχνικό εγχειρίδιο-παράρτημα Γ).



### 5.2.3 Μέτρηση Έντασης Συνεχούς Ρεύματος

Η μέτρηση επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας αντίστασης ( $0.1 \Omega/200 \text{ W}$ ). 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  $4.47 \text{ V}$  και το μέγιστο ρεύμα  $I_{\max} = 44.72 \text{ A}$ . Είναι συνδεδεμένη σε σειρά με το αρνητικό της ανορθωτικής διάταξης. (Βαθμονόμηση-παράρτημα Β).

### 5.2.4 Μέτρηση Έντασης Μηχανισμού Προσανεμισμού

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

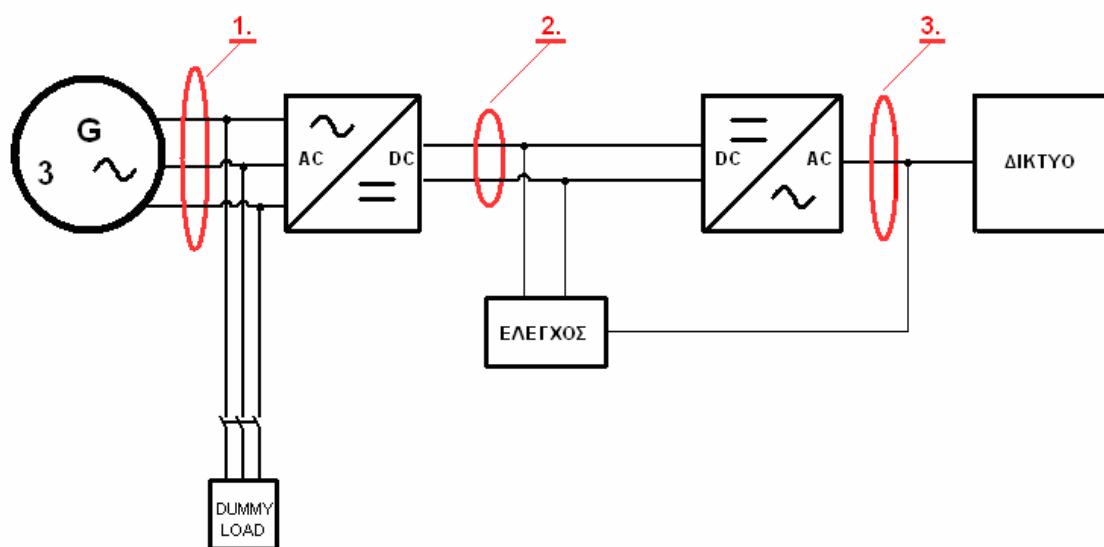


## 6. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

### 6.1 Εισαγωγή

Για την καταγραφή και επεξεργασία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε το σύστημα μέτρησης καμπύλης ισχύος μικρών ανεμογεννητριών του Αιολικού Εργαστηρίου Κρήτης καθώς και μια δεύτερη διάταξη βασισμένη σε τεχνολογία ανάλογη του προαναφερθέντος συστήματος.

Στην Εικόνα 5.1 απεικονίζεται το σύστημα της ανεμογεννήτριας και τα σημεία μέτρησης των βασικών παραμέτρων του συστήματος.



Εικόνα 5.1

**Οι βασικές παράμετροι του συστήματος όπως μετρούνται και καταγράφονται, είναι:**

- τάση γεννήτριας (τριφασική, πολική) (1).
- ένταση ρεύματος γεννήτριας (ac τριφασικό) (1).
- συνεχής τάση (έξοδος ανορθωτικής διάταξης) (2) .
- συνεχής ένταση (έξοδος ανορθωτικής διάταξης) (2) .
- τάση εξόδου αντιστροφέα (3).
- ένταση εξόδου αντιστροφέα (3).

**Απ' τις παραπάνω μετρήσεις προκύπτουν τα μεγέθη:**

- περιστροφές της γεννήτριας ανά λεπτό (rpm).
- ισχύς αντιστροφέα (3).
- συνεχής ισχύς (ανορθωτικής διάταξης) (2).
- ισχύς της γεννήτριας (ac τριφασική, πολική) (1).
- βαθμός απόδοσης του συστήματος (ac-ac).





## 6.2 Επεξεργασία Μετρήσεων

### 6.2.1 Όργανα μέτρησης

Ο μετρητικός εξοπλισμός περιλαμβάνει δύο μετρητικές διατάξεις.

Η πρώτη διάταξη αποτελείται από αισθητήρες τάσης τύπου LEM LV-25PE και έντασης τύπου HALL CSN-S300. Τα δεδομένα εισέρχονται σε μια κάρτα **C3-68LP** της **National Instruments** με συχνότητα δειγματοληψίας (1kh) και αποθηκεύονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του προγράμματος **lab view (power curve)**. Εν συνεχεία επεξεργάζονται κατάλληλα, προκειμένου να παρέχουν στον χρήστη τις καταγεγραμμένες μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο .

Η δεύτερη διάταξη αποτελείται επίσης από αισθητήρες τάσης τύπου LEM LV-25PE και έντασης τύπου HALL CSN-S300. Τα δεδομένα εισέρχονται σε μια κάρτα **USB-6009** της **National Instruments** με συχνότητα δειγματοληψίας (1kh) και αποθηκεύονται σε ένα δεύτερο ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του προγράμματος **lab view (power curve)**.

Εν συνεχεία επεξεργάζονται κατάλληλα από Η/Υ προκειμένου να παρέχουν στον χρήστη τις τιμές ανά δευτερόλεπτο .

### 6.2.2 Μεθοδολογία μέτρησης

Για την εξαγωγή των παρακάτω διαγραμμάτων, πραγματοποιήθηκε κατάλληλη επεξεργασία (φιλτράρισμα) των δεδομένων με σκοπό την αποφυγή πιθανών θορύβων. Η ομαδοποίηση των δεδομένων έγινε συναρτήσει των περιστροφών της φτερωτής και με βήμα ανά 20 rpm.

Απ' την καταγραφή των μετρήσεων προκύπτουν τα διαγράμματα της:

- Καμπύλη Ισχύος συναρτήσει των περιστροφών ανά λεπτό.
- Καμπύλη Έντασης ρεύματος συναρτήσει των περιστροφών ανά λεπτό.
- Καμπύλη Βαθμού απόδοσης συναρτήσει των περιστροφών ανά λεπτό.
- Καμπύλη Βαθμού απόδοσης συναρτήσει της ισχύος της γεννήτριας.

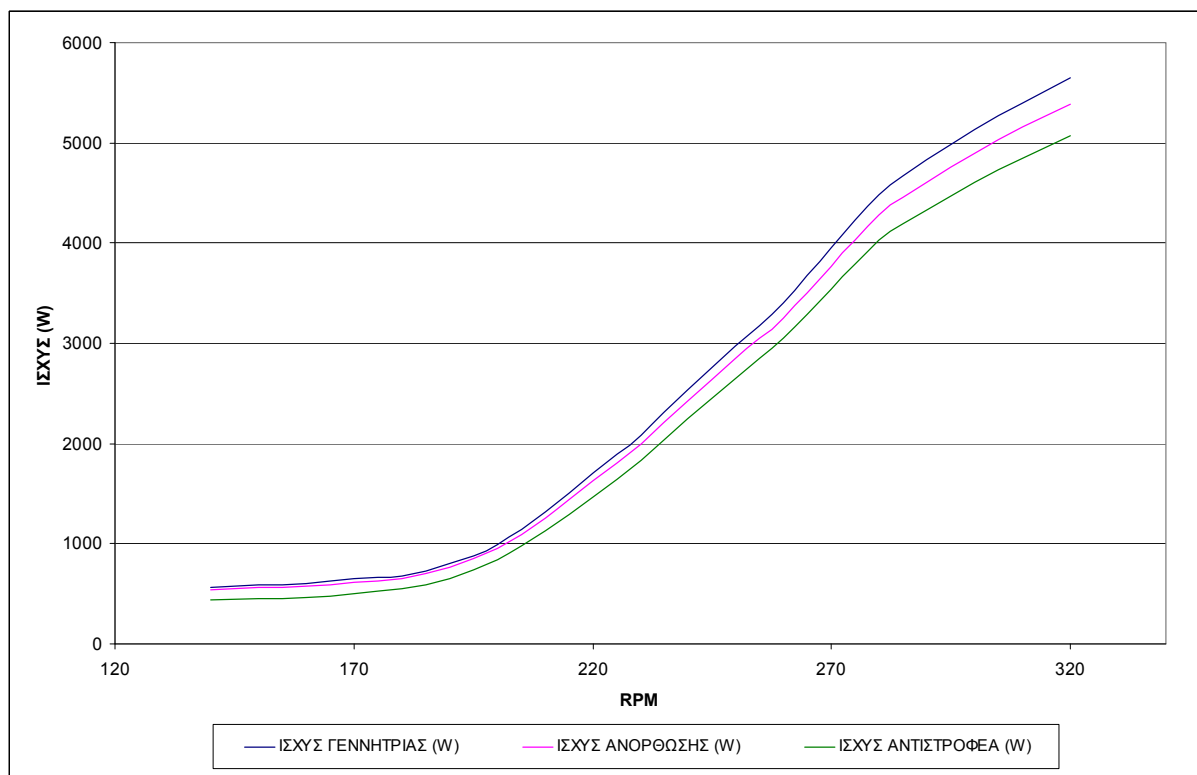


### 6.3 Αποτελέσματα

Τα διαγράμματα που προέκυψαν απ' τα δεδομένα των δύο μετρητικών διατάξεων, περιγράφουν το σύστημα της ανεμογεννήτριας και τα επιμέρους συστήματα που το αποτελούν.

#### 6.3.1 Καμπύλη ισχύος (συναρτήσει περιστροφών ανά λεπτό – rpm).

Στο Διάγραμμα 5. 1 παρουσιάζονται οι καμπύλες της παρεχόμενης ισχύος στο δίκτυο, της ανορθωτικής διάταξης και της γεννήτριας. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η καταγραφή της ισχύος συναρτήσει των περιστροφών ανά λεπτό για την ισχύ του αντιστροφέα (ac μονοφασική), η ισχύς της ανορθωτικής διάταξης (dc) και η ισχύς της γεννήτριας (ac τριφασική).



**Διάγραμμα 5. 1. Καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας, της ανόρθωσης και της εξόδου του αντιστροφέα.**

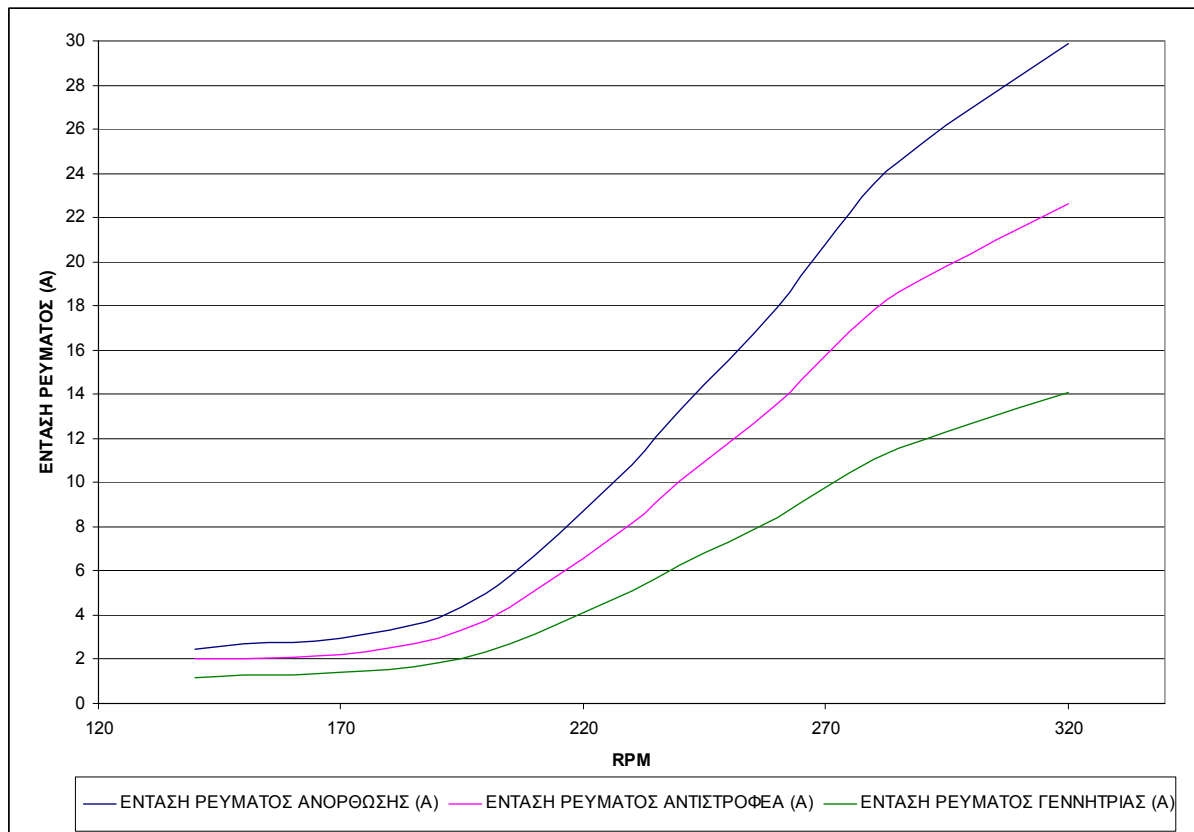
Στο Διάγραμμα 5. 1 διαπιστώνεται η σύγκριση των τριών καμπύλων ισχύος. Όπως ήταν αναμενόμενο, η ισχύς της γεννήτριας είναι μεγαλύτερη της συνεχούς ισχύος και η συνεχής ισχύς μεγαλύτερη της ισχύος εξόδου του αντιστροφέα.



### 6.3.2 Καμπύλη Ρεύματος

(συναρτήσσει περιστροφών ανά λεπτό – rpm).

Στο Διάγραμμα 5. 2 παρουσιάζεται η σχέση της έντασης του ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα, την έξοδο της ανορθωτικής διάταξης και της ανεμογεννήτριας. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η καταγραφή της έντασης της εξόδου του αντιστροφέα, της ανορθωτικής διάταξη και της γεννήτριας συναρτήσσει των περιστροφών της φτερωτής ανά λεπτό.



**Διάγραμμα 5. 2. Ένταση ρεύματος συναρτήσσει στροφών φτερωτής.**

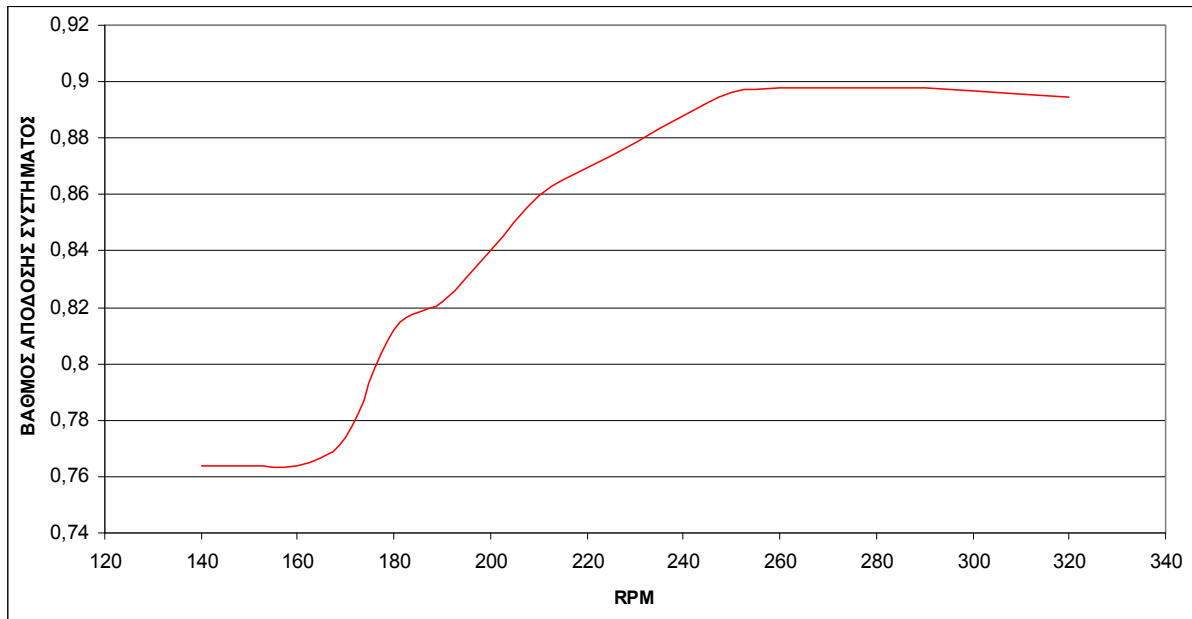
Απ' το διάγραμμα διαπιστώνεται ότι η παραγόμενη ισχύς του αντιστροφέα, περιορίζεται μέχρι το επίπεδο των 23A, όπου και παράγει τη μέγιστη δυνατή ισχύ. Η συμπεριφορά του στην περιοχή των 315-320rpm.



### 6.3.3 Καμπύλη βαθμού απόδοσης

(συναρτήσσει περιστροφών ανά λεπτό – rpm).

Στο Διάγραμμα 5. 3 παρουσιάζεται η καμπύλη απόδοσης του αντιστροφέα, της ανορθωτικής διάταξης και της ανεμογεννήτριας. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα, της ανορθωτικής διάταξης και της γεννήτριας συναρτήσσει των περιστροφών της φτερωτής ανά λεπτό.



**Διάγραμμα 5. 3. Βαθμός απόδοσης συστήματος του συστήματος της ανεμογεννήτριας συναρτήσσει των στροφών φτερωτής.**

Ο βαθμός απόδοσης ορίζεται ως λόγος της ισχύος εξόδου προς την ισχύ εισόδου, όπως περιγράφεται στην εξίσωση (5 1):

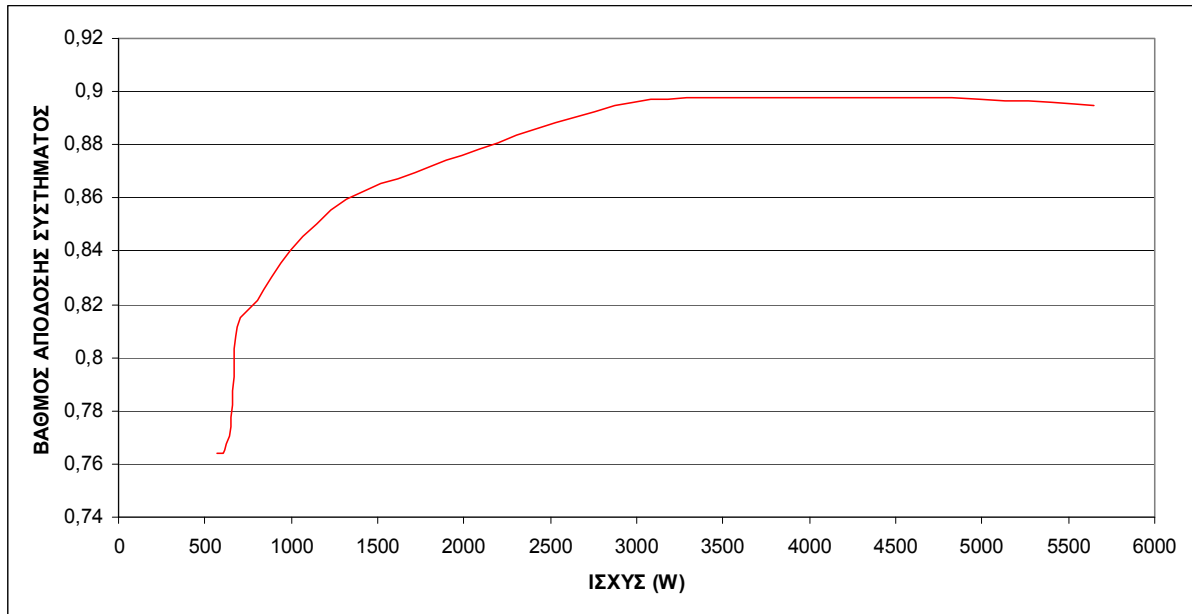
$$n = \frac{P_{\text{εξόδου}}}{P_{\text{εισόδου}}} \quad (5 1)$$

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα, για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του συστήματος, ως ισχύς εξόδου, ορίστηκε η ισχύς του αντιστροφέα και ως ισχύς εισόδου, ορίστηκε η ισχύς της γεννήτριας.



### 6.3.4 Καμπύλη βαθμού απόδοσης (συναρτήσει ισχύος γεννήτριας).

Στο Διάγραμμα 5. 4 παρουσιάζεται η καμπύλη απόδοσης του αντιστροφέα, της ανορθωτικής διάταξης και της ανεμογεννήτριας. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα, της ανορθωτικής διάταξης και της γεννήτριας συναρτήσει της παραγόμενης ισχύος απ' την ανεμογεννήτρια.



Διάγραμμα 5. 4 .Βαθμός απόδοσης του συστήματος της ανεμογεννήτριας συναρτήσει ισχύος ανεμογεννήτριας.

Ο βαθμός απόδοσης υπολογίστηκε απ' τη σχέση (5 1), θεωρώντας ισχύ εξόδου την ισχύ του αντιστροφέα και ισχύ εισόδου την ισχύ της γεννήτριας.

Διαπιστώνεται αύξηση του βαθμού απόδοσης του συστήματος με την αύξηση των στροφών της φτερωτής. Αυτό οφείλετε κύριος στην ανοδική πορεία του βαθμού απόδοσης του αντιστροφέα συναρτήσει της αύξησης ισχύος εισόδου.



## 7. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ 5 KW

### 7.1 Μελέτη Εγκατάστασης

Υπολογισμός διατομών και τύπων των αγωγών εγκατάστασης σύνδεσης και συστήματος ελέγχου της Α/Γ [29].

Η διαδικασία για την επιλογή της σωστής διατομής γίνεται βάση κανονισμού του (Ε.Λ.Ο.Τ. HD-384) και η επαλήθευση για το δίκτυο συνεχούς ρεύματος δυο αγωγών με βάση το τύπο :

$$\Delta v = \frac{\rho \times 2l \times I}{s} \quad \text{V (6.1)}$$

Ενώ για το δίκτυο εναλλασσομένου ρεύματος με βάση τον τύπο:

$$\Delta v = \frac{\rho \times 2l \times I \times \cos \phi}{s} \quad \text{V (6.2)}$$

Και για το τριφασικό δίκτυο επαληθεύεται από το τύπο:

$$\Delta v_{\phi} = \frac{\rho \times l \times I_{\phi} \times \cos \phi}{s} \quad \text{V (6.3)}$$

Όπου :  $\Delta v =$  πτώση τάσης = 4 %

$\rho =$  ειδική αντίσταση του χαλκού = 0.017  $\Omega$

$l =$  μήκος αγωγού σε  $m$  (  $\times 2$  γιατί το μήκος είναι συνολικό )

$s =$  διατομή του αγωγού σε  $mm^2$

$I =$  ένταση ρεύματος A



Ο υπολογισμός διατομών των τμημάτων δικτύου Γ1 και Γ2 (ανεμογεννήτρια – ανορθωτική διάταξη και ανορθωτικής διάταξης – αντιστροφέα αντίστοιχα) γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τους βαθμούς απόδοσης της ανορθωτικής διάταξης (95,5 %) και του αντιστροφέα (83,3 %). Επομένως για τη δεδομένη ισχύ εξόδου του αντιστροφέα (5 KW), η παραγόμενη απ'την Α/Γ ισχύς στην είσοδο του είναι 6,033 KW.

Η ελάχιστη πολική τάση στην είσοδο του προηγούμενου με εφαρμοσμένη ισχύ 6,033 KW είναι της τάξης των 228 V, ενώ η μέγιστη πολική τάση χωρίς φορτίο είναι 311 V. Το μέγιστο εναλλασσόμενο ρεύμα εισόδου της ανορθωτικής διάταξης είναι 19,1 A (ανά φάση), ενώ το συνεχές ρεύμα είναι 23,4 A .

$$I_d = \frac{I_\phi}{0,816} \text{ A} \quad (6.4)$$

Όπου  $I_d$  : ρεύμα εξόδου ανορθωτικής διάταξης.

$I_\phi$  : ρεύμα εισόδου ανορθωτικής διάταξης.

Η μέγιστη συνεχής τάση είναι 420 V και η ελάχιστη 307,8 V για 350 ονομαστικές στροφές ανά λεπτό (δεδομένα κατασκευάστριας εταιρίας).

$$V_d = V_\pi \times 1,35 \text{ V} \quad (6.5)$$

Όπου  $V_d$  : τάση εξόδου ανορθωτικής διάταξης.

$V_\pi$  : πολική τάση

Στο Πίνακα 6 .1 παρουσιάζεται η αντιστοιχία των γραμμών σύνδεσης σε τμήματα δικτύου (Τ/Δ). Στο Πίνακα 6. 2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα, οι επιλογές των διατομών και ο τύπος του εκάστοτε αγωγού βάση του πρότυπου κανονισμού ΕΛΟΤ HD-384.



ΤΜΗΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΓΡΑΜΜΗ
Γ1	ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ-ΑΝΟΡΘΩΣΗ
Γ2	ΑΝΟΡΘΩΣΗ-ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ
Γ3	ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ-ΔΙΚΤΥΟ
Γ4	ΔΙΚΤΥΟ-UPS
Γ5	UPS-ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ 230VAC/24VDC
Γ6	Α/Γ-ΦΟΡΤΙΑ(ΜΙΚΡΑ)
Γ7	Α/Γ-ΦΟΡΤΙΑ(ΜΕΓΑΛΑ)
Γ8	ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ(24DC)-ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΣ(ΦΟΡΤΙΟΥ)
Γ9	ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ(24DC)-ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΣ(ΦΟΡΤΙΟΥ)
Γ10	ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ(24DC)-ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ(ΕΜΒΟΛΟΥ)
Γ11	ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ(24DC)-ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΣ(ΕΜΒΟΛΟΥ)
Γ12	ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ(24DC)-ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΣ(ΕΜΒΟΛΟΥ)
Γ13	ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ(24DC)-ΑΣΦΑΛΕΙΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ (ΕΜΒΟΛΟΥ)
Γ14	ΤΡΟΦ(24DC)-ΑΣΦΑΛΕΙΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ-ΕΜΒΟΛΟ
Γ15	ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ(24DC)-PLC
Γ16	ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ(24DC)-MODULE
Γ17	UPS-ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ ( $\pm 15V$ )
Γ18	ΑΝΩΡΘΩΣΗ(DC)-LEM
Γ19	ΔΙΚΤΥΟ-ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ(9Vdc)
Γ20	PLC-ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ 50W
Γ21	PLC-ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ 200W
Γ22	LEM-PLC
Γ23	PLC-ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ(9Vdc)
Γ24	PLC-BUTTON OPEN
Γ25	PLC-BUTTON CLOSE
Γ26	PLC-HALL
Γ27	HALL-ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ( $\pm 15V$ )
Γ28	ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ-PLC
Γ29	ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ-3Φ. ΛΥΧΝΙΑ

Πίνακας 6.1





Τ/Δ	ΜΗΚΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (m)	ΦΟΡΤΙΟ ΓΡΑΜΜΗΣ (W)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΝΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (A)	ΥΠΟΛΟΓΙΣΙΜΗ ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ (V)	ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ (V)	ΕΠΥΘ. ΔΙΑΤΟΜΗ (mm <sup>2</sup> )	ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΩΓΩΝ	ΤΥΠΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ
Γ1	28	6034	19,1	3,637	5,264	2,5	3	ΝΥΥ
Γ2	10	6033	23,4	1,326	12,312	6	2	ΝΥΑ
Γ3	2	5060	22	0,249	9,2	6	3	ΝΥΑ
Γ4	3	966	4,2	0,286	9,2	1,5	3	ΝΥΑ
Γ5	3	805	3,5	0,238	9,2	1,5	3	ΝΥΑ
Γ6	8	2450	4,02	0,364	5,264	1,5	3	ΝΥΑ
Γ7	8	14700	14	0,762	5,264	2,5	3	ΝΥΑ
Γ8	2	2,4	0,1	0,009	0,96	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ9	2	2,4	0,1	0,009	0,96	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ10	32	240	10	0,680	0,96	16	2	ΝΥΥ
Γ11	1,5	1,2	0,05	0,003	0,96	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ12	1,5	1,2	0,05	0,003	0,96	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ13	2	0,96	0,04	0,004	0,96	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ14	32	240	10	0,680	0,96	16	2	ΝΥΥ
Γ15	1,5	1,8	0,075	0,005	0,96	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ16	1,5	1,2	0,05	0,003	0,96	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ17	3	69	0,3	0,041	9,2	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ18	3	2	0,005	0,001	16	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ19	3	69	0,3	0,041	9,2	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ20	3	50	0,02	0,003	0,96	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ21	3	200	0,02	0,003	0,96	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ22	2	0,2	0,02	0,002	0,4	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ23	2	69	0,3	0,027	0,36	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ24	3	0,24	0,01	0,001	0,96	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ25	3	0,24	0,01	0,001	0,96	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ26	10	0,2	0,02	0,009	0,4	0,75	2	ΝΥΑΦ
Γ27	13	0,45	0,03	0,018	0,6	0,75	3	ΝΥΑΦ
Γ28	13	30	1	0,589	1,2	0,75	1	ΝΥΑΦ
Γ29	1	155,5	0,5	0,023	5,2	0,75	3	ΝΥΑΦ

Πίνακας 6. 2

## 7.2 Μελέτη Εγκατάστασης Γείωσης



Γείωση είναι η ένωση ενός σημείου ενός κυκλώματος ή ενός μεταλλικού αντικειμένου με μια εγκατάσταση γείωσης. Εγκατάσταση γείωσης είναι ένα ή περισσότερα συνδεδεμένα ηλεκτρόδια γείωσης. Η γείωση μπορεί να είναι συνεχής ή να διακόπτεται παρεμβάλλοντας ένα διάκενο σπινθηριστή, οπότε μιλάμε για ανοιχτή γείωση.

Υπάρχουν τριών ειδών γειώσεις, ανάλογα με τη χρήση τους :

- Γείωση λειτουργίας
- Γείωση προστασίας
- Γείωση του συστήματος της αντικεραυνικής προστασίας

Όσων αφορούν τη μελέτη γείωσης της Α/Γ, θα γίνει χρήση της τρίτης μεθόδου .

Η γείωση του συστήματος της αντικεραυνικής προστασίας είναι η ανοιχτή ή η συνεχής γείωση των προστατευτικών διατάξεων κατά των κεραυνών. Αυτές οι γειώσεις διοχετεύουν το ρεύμα των κεραυνών προς τη γη. Οι ανοιχτές γειώσεις μειώνουν την ηλεκτρομηχανική διάβρωση.

Το ηλεκτρόδιο γείωσης που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο γειωτής ράβδου. Είναι σωλήνας ονομαστικής διαμέτρου μεγαλύτερης της μίας ίντσας ή μια ράβδος στρογγυλή ή προφίλ από γαλβανισμένο χάλυβα. Η ράβδος καρφώνεται κατακόρυφα ή λοξά (π.χ. 20°), ως προς τη κατακόρυφο στο έδαφος σε βάθος (π.χ. 2,5 m) με σφυρί χεριού ή μηχανικό. Το κάτω μέρος διαμορφώνεται σαν ακίδα για να οδηγείται καλύτερα στο έδαφος. Η αντίσταση δεν εξαρτάται σημαντικά απ' το πάχος της ράβδου. Εφόσον το επιτρέπει η μηχανική αντοχή, προτείνονται ηλεκτρόδια χαλκού ή επιμολυβδωμένα ηλεκτρόδια, γιατί αντέχουν στη διάβρωση.



Οι τύποι που δίδουν την αντίστασή της καταγράφονται παρακάτω :

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \quad (6.6) \quad \text{όπου } d : \text{πάχος του αγωγού, } A : \text{διατομή του αγωγού,}$$

$$RAI = \frac{\rho}{2\pi \times l_{eff}} \quad (6.7) \quad \text{όπου } RAI : \text{αντίσταση του ενός πασάλου,}$$

$\rho$  : ειδική αντίσταση του υλικού του αγωγού,

$l_{eff}$  : 1–0.5m

$$RA = \frac{\rho}{l_{eff}} \quad (6.8)$$

Ο τελευταίος αποτελεί ένα προσεγγιστικό τύπο υπολογισμού.

Βάση της σχετικής θεωρίας η εγκατάσταση της γείωσης γίνεται με τον εξής τρόπο :

Στη βάση στήριξης της ανεμογεννήτριας καρφώνονται κατακόρυφα και σε μήκος 2,5 μέτρα χάλκινοι γειωτές ράβδοι (μία σε κάθε γωνία της βάσης). Έπειτα στον έναν θα συνδεθεί χάλκινος αγωγός σε απόσταση 2,5 έως 3 μέτρα απ'τη βάση στήριξής (με χάλκινο κολάρο) με άλλους τρεις σε μορφή τριγώνου. Το μήκος του χάλκινου αγωγού, δηλαδή της περιμέτρου του τριγώνου θα είναι 6–9m. Το τρίγωνο αυτό θα είναι λίγα εκατοστά κάτω από έδαφος για τη καλύτερη δυνατή αγωγιμότητα (σχήμα 2 , παράρτημα Β).



### 7.3 Μελέτη Αντικεραυνικής Προστασίας

Ο υπολογισμός αντικεραυνικής προστασίας γίνεται με βάση το παρακάτω τύπο :

$$R = A+B+C+D+E+F+G \quad (6.9)$$

Ο τύπος αυτός την προσδίδει την αναγκαιότητα εγκαταστάσεως αντικεραυνικής προστασίας . Για τον υπολογισμό του ανώτερου δίδονται τα επόμενα στοιχεία.

Στη περίπτωση που το άθροισμα R είναι :

1.  $R \leq 40$  : μη αναγκαία αντικεραυνική προστασία.
2.  $R \leq 50$  : συνίσταται αντικεραυνική προστασία.
3.  $R \geq 50$  : αναγκαία αντικεραυνική προστασία.

A. ΧΡΗΣΗ :	ΜΕΓΕΘΟΣ A
Σπίτια και κτίρια μικρών διαστάσεων	2
Ομοίως αλλά με εξωτερικούς χώρους	4
Εργοστάσια , εργαστήρια	6
Γραφεία ,ξενοδοχεία ,πολυκατοικίες	7
Εκκλησίες ,θέατρα ,μουσεία ,αεροδρόμια	8
Σχολεία ,νοσοκομεία ,παιδικοί σταθμοί	10

B. ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΜΕΓΕΘΟΣ B
Μεταλλικός σκελετός ,μη μεταλλική οροφή	1
Οπλισμένο σκυρόδεμα , μη μεταλλική οροφή	2
Πλινθοδομή χωρίς σκυρόδεμα , μη μεταλλική οροφή	4
Μεταλλικός σκελετός και οροφή	5
Πλινθοδομή με μεταλλική οροφή	8
Κτίριο με ξύλινη οροφή και κεραμίδια	10

C. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΜΕΓΕΘΟΣ C
Κατοικίες ,εργοστάσια ,μηχανήματα	2
Αγροτικά προϊόντα – ξύλα κ.τ.λ.	5
Σταθμοί ενέργειας ,τηλεφωνικά κέντρα	6
Ιστορικά μνημεία ,μουσεία	8
Σχολεία ,νοσοκομεία ,καύσιμα	10



D. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΜΕΓΕΘΟΣ D
Κτίρια γειτονεύοντα με άλλα κτίρια – δέντρα	2
Κτίριο αραιή περιοχή δομήσεως	5
Μεμονωμένο κτίριο	10

E. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ E
Πεδιάδα	2
Λόφος	6
Βουνό ως 1000 m και παραλίες	8
Βουνό πάνω από 1000 m	10

F. ΥΨΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ( ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ )	ΜΕΓΕΘΟΣ F
Μέχρι 9 m	2
Μέχρι 18 m	5
Μέχρι 24 m	8
Μέχρι 30 m	11
Μέχρι 38 m	16
Μέχρι 46 m	22
Μέχρι 53 m	30

G. ΙΣΟΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	ΜΕΓΕΘΟΣ G
Μέχρι 20 m	20
Μέχρι 24 m	24
Μέχρι 27 m	27
Μέχρι 30 m	30
Μέχρι 35 m	35
Μέχρι 40 m	40
Μέχρι 45 m	45
Μέχρι 50 m	50
Μέχρι 60 m	60



Γεωγραφικά στον Ελλαδικό χώρο οι ισοκεραυνικές περιοχές κατανέμονται με τα μέχρι σήμερα ως κατωτέρω :

Μέχρι 30 m : Α. Πελοπόννησος ,Α. Στερεά , Εύβοια ,Α. Κρήτη

Μέχρι 40 m : Κεντρική Πελοπόννησος ,Κεντρική Μακεδονία ,  
Α. Μακεδονία ,Θράκη ,Β. Σποράδες ,Κυκλάδες .

Μέχρι 50 m : Δ. Μακεδονία , Κρήτη ,Α. Νησιά Αιγαίου  
Ν. Πελοπόννησος .

Μέχρι 60 m : Νησιά Ιονίου ,Ηπειρος Δυτική και Κεντρική Στερεά ,  
Δ. Πελοπόννησος .

Ο υπολογισμός για την αναγκαιότητα αντικεραυνικής προστασίας θα γίνει για τη περιοχή που βρίσκεται το εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης, στο χώρο του οποίου είναι εγκατεστημένη η ανεμογεννήτρια των 5 KW.

Η ανεμογεννήτρια θα έχει αντικεραυνική προστασία ανεξάρτητα του αθροίσματος R (αναγκαιότητα αντικεραυνικής προστασίας). Η αλήθεια είναι πως σε περίπτωση πτώσης κεραυνού καμία ανεμογεννήτρια δεν είναι προστατευμένη 100 % .

Ο παράγοντας R με βάση τα δεδομένα της περιοχής και της κατασκευής του κτιρίου προκύπτει βάσει των συντελεστών του ( μεγέθη A-G ), ως εξής :

$$A = 2 , B = 2 , C = 2 , D = 5 , E = 6 , F = 2 , G = 30$$

Οπότε ο παράγοντας R θα έχει τελικό άθροισμα  $R = 49$  .Με τα όσα προαναφέρθηκαν η εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας δεν κρίνεται αναγκαία αλλά συνίσταται (οριακό άθροισμα του παράγοντα R).

Η αντικεραυνική προστασία για την ανεμογεννήτρια ακολουθεί τους κανονισμούς και έχει ως εξής :

Στο εξωτερικό περίβλημα της ηλεκτρογεννήτριας θα τοποθετηθεί μια ακίδα μήκους 30 εκατοστών, μεταλλική. Επίσης ο πυλώνας στήριξης της είναι μεταλλικός με αποτέλεσμα ο κεραυνός που πιθανόν πέσει στη ακίδα θα μεταφερθεί μέσω αυτού στη βάση της και από εκεί καταλήγει στο τρίγωνο γείωσης μερικά εκατοστά κάτω από τη γη, όπως προαναφέρθηκε στη προηγούμενη παράγραφο (σχήμα 3, παράρτημα Β).



## 8. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Όσον αφορά τον έλεγχο, αν και πραγματοποιήθηκε θεωρητική μελέτη, αλλά και προσομοίωση των λειτουργιών που αποτελούν το σύστημα ελέγχου, παρουσιάστηκαν σοβαρά προβλήματα κατά την εφαρμογή και λειτουργία της πρώτης έκδοσης. Οι αιτίες ποικίλες. Κάποιες φορές ήταν αδύνατη η προμήθεια συγκεκριμένων διατάξεων απ' την αγορά, και άλλες φορές υπήρξαν περιπτώσεις αστοχίας υλικών.

Κατηγοριοποιώντας τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν, οι δύο βασικές κατηγορίες αποτελούνται από προβλήματα που είτε εμφανίστηκαν σε τμήματα της ανεμογεννήτριας εκτός του συστήματος ελέγχου (περιφερειακά), είτε στο ίδιο το σύστημα ελέγχου.

- Ως προς τα περιφερειακά συστήματα, τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν, ήταν:

### 1. Γεννήτρια

α. Η παροχή της καλωδίωσης των φάσεων της γεννήτριας γίνεται με απλούς μεταλλικούς συνδετήρες, χωρίς πρόβλεψη για τυχόν καταπονήσεις.

β. Δεν παρέχεται αγωγός ουδετέρου.

γ. Έλλειψη καμπύλης ισχύος γεννήτριας. Ο κατασκευαστής δεν παρέχει ικανοποιητικές πληροφορίες, ενώ στο εργαστήριο δεν υπάρχει δυνατότητα μέτρησης της γεννήτριας την τρέχουσα περίοδο.

Η επόμενη γεννήτρια θα κατασκευαστεί με λυμένα τα παραπάνω προβλήματα, ενώ πρόκειται να λειτουργήσει διάταξη δοκιμαστική λειτουργίας γεννητριών, στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας.

### 2. Έμβολο

α. Αργή ανταπόκριση. Δεδομένου ότι ολόκληρο το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας βασίζεται στη χρήση του εμβόλου, η σημασία της επιλογής του είναι ιδιαίτερα σημαντική.

β. Στεγανότητα. Υπό συνθήκες βροχόπτωσης, παρατηρήθηκε ότι η λειτουργία του εμβόλου διακόπτεται λόγω χαμηλού βαθμού στεγανότητας.

γ. Χαμηλή τάση λειτουργίας. Λόγω της χαμηλής τάσης τροφοδοσίας (24Vdc), οι απώλειες ισχύος είναι μεγάλες. Για κατάλληλη τροφοδοσία, συνεπάγεται είτε καλωδίωση υψηλού κόστους, είτε τροποποίηση του συστήματος τροφοδοσίας και κατά συνέπεια προσθήκη νέων διατάξεων στο σύστημα ελέγχου.



Έχει επιλεγθεί νέο έμβολο με εναλλασσόμενη τάση τροφοδοσίας (230Vac), υψηλότερη ταχύτητα απόκρισης, και υψηλό βαθμό προστασίας.

### 3. Επαγωγικός ανιχνευτής

Κατασκευή ατράκτου ανεμογεννήτριας. Αδυναμία προσαρμογής επαγωγικού ανιχνευτή καταγραφής περιστροφών φτερωτής. Δεν είχε προβλεφθεί στα αρχικά σχέδια και η τοποθέτησή του είχε μικρό χρόνο ζωής.

Στην επόμενη έκδοση της ανεμογεννήτριας, προβλέπεται πλέον κατάλληλη θέση τοποθέτησης του επαγωγικού ανιχνευτή, ενώ θα κατασκευαστεί και ηλεκτρονική διάταξη υπολογισμού των στροφών της φτερωτής μέσω της παραγόμενης τάσης.

### 4. Αντιστροφέας δικτύου Χ.Τ.

Η επιλογή του αντιστροφέα έγινε με κριτήριο την τάση έναρξης λειτουργίας του, αποσκοπώντας στην εκμετάλλευση ολόκληρης της παραγόμενης ενέργειας. Η επιλογή του αντιστροφέα, έγινε γνωρίζοντας ότι η ονομαστική τάση λειτουργίας της γεννήτριας είναι 311V, κρίνοντας ακατάλληλο αντιστροφέα άλλης εταιρείας με δυνατότητα χρήσης για μικρές ανεμογεννήτριες. Ο τελευταίος, έχει τάση ενεργοποίησης 250V, ενώ αυτός που χρησιμοποιείται, έχει τάση έναρξης λειτουργίας 125V. Τελικά κρίθηκε ότι η συμπεριφορά του δεν μπορεί να ακολουθήσει τις διακυμάνσεις που παρουσιάζονται κατά τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας.

Στην καινούργια έκδοση της ανεμογεννήτριας, επιλέχθηκε ο αντιστροφέας που είναι κατάλληλος για ανεμογεννήτριες σε συνδυασμό με νέα ονομαστική τάση γεννήτριας, 350V.

- Ως προς το σύστημα ελέγχου, τα προβλήματα ήταν:
  1. Αντίσταση μέτρησης συνεχούς παραγόμενης έντασης. Ελαττωματική σύνδεση, με αποτέλεσμα την καταστροφή της. Κατά τη δεύτερη έκδοση, χρησιμοποιήθηκε μεγαλύτερη αντίσταση με κατάλληλη τοποθέτηση-σύνδεση, χωρίς κολλήσεις.
  2. Αισθητήρες μέτρησης τάσης - έντασης. Λόγω υψηλού κόστους αγοράς, σχεδιάστηκαν, κατασκευάστηκαν και βαθμονομήθηκαν οι παρακάτω διατάξεις:
    - Αισθητήρας συνεχούς τάσης
    - Τροφοδοτικό (230 Vac / 9 Vdc)
  3. Τροφοδοτικό συνεχούς τάσης ( $\pm 15\text{Vdc}$ ). Για την τροφοδοσία των διατάξεων μέτρησης συνεχούς τάσης – έντασης και παραγόμενης ισχύος, ήταν απαραίτητη η κατασκευή κατάλληλου τροφοδοτικού, δεδομένου του υψηλού κόστους αγοράς.
  4. Μεγάλο μέγεθος πίνακα συστήματος ελέγχου. Το μέγεθος του πίνακα, μειώθηκε κατά 48% στην δεύτερη έκδοση.





5. Μεγάλος αριθμός ηλεκτρονόμων. Ο αριθμός των ηλεκτρονόμων μειώθηκε κατά 70 % την δεύτερη έκδοση.

### **Συμπεράσματα**

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει απ' την επεξεργασία των μετρήσεων είναι ο ικανοποιητικός βαθμός απόδοσης του συστήματος της τάξης του 89 % .

### **Μελλοντικές επιλογές**

Γνωρίζοντας πλέον τα βασικότερα προβλήματα του συστήματος, περιλαμβανομένων και αυτών της γεννήτριας και του μηχανισμού προσανέμισης, αποκτήθηκε πολύτιμη εμπειρία για την σχεδίαση της επόμενης έκδοσης της ανεμογεννήτριας και του συστήματος ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα τα συμπεράσματα που αφορούν την επόμενη έκδοση είναι:

- Γεννήτρια
  1. Επιλογή γεννήτριας με αγωγό ουδετέρου
  2. Καμπύλη ισχύος, μέσω διάταξης δοκιμής
- Άτρακτος
  1. Τοποθέτηση επαγωγικού ανιχνευτή
- Έμβολο
  1. Εναλλασσόμενη τάση τροφοδοσίας
  2. Μεγαλύτερη ταχύτητα απόκρισης
- Ιστός
  1. Αισθητήρες μέτρησης περιστροφής γεννήτριας ως προς τον άξονα του ιστού για αποφυγή περιστροφής καλωδίωσης.
  2. Υποδοχή προσέγγισης καλωδίων, για αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος.
- Αντιστροφέας δικτύου X.T.
  1. Κατάλληλος για ανεμογεννήτριες. Δυνατότητα ρύθμισής του βάσει της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας.



- Σύστημα ελέγχου

1.Μικρότερος όγκος

2.Χαμηλότερο κόστος

3.Προγραμματιζόμενος ελεγκτής, εναλλασσόμενης τροφοδοσίας → κατάργηση τροφοδοτικού

4.Δυνατότητες της επόμενης έκδοσης :

Έλεγχος θερμοκρασίας.

Έλεγχος εξ' αποστάσεως.

Δυνατότητα καταγραφής στροφών περιστροφής ως προς τον άξονα του ιστού.

Μέτρηση στροφών μέσω τάσης και μέσω επαγωγικού ανιχνευτή.

Δυνατότητα βραχυκύκλωσης φάσεων σε περίπτωση δυσλειτουργίας.

Δυνατότητα ενεργοποίησης αντιστάσεων απόρριψης φορτίου με μικρότερο βήμα.

Αντικατάσταση των ηλεκτρικών φορτιών με ηλεκτρονικά φορτία ώστε να εισάγονται στο κύκλωμα με πλήρη αρμονία και διαχείριση.

Αντικατάσταση των μηχανικών ηλεκτρονόμων του εμβόλου από ηλεκτρονική διάταξη (μείωση ρυθμού συντήρησης, μείωση θορύβου).

Ενδεικτικές διατάξεις πίνακα (τάση, ένταση, ισχύς, ενέργεια UPS).

Ενδεικτικές λυχνίες πίνακα (φάσεις ανεμογεννήτριας).

Θερμοκρασιακός έλεγχος πίνακα.

Εξαερισμός πίνακα.

Η παρούσα εργασία βρίσκεται σε διαδικασία απόκτησης διπλώματος ευρεσιτεχνίας.



## 9. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφεται το κόστος των υλικών και των ωρών εργασίας που χρειάστηκαν για την ανάπτυξη του συστήματος ελέγχου της ανεμογεννήτριας. Η οικονομοτεχνική αυτή μελέτη πραγματοποιήθηκε και για τις δύο εκδόσεις του του συστήματος ελέγχου, οι οποίες παρουσιάστηκαν προηγουμένως.

Η σύγκριση που ακολουθεί στη συνέχεια, μεταξύ των δύο εκδόσεων, έχει στόχο να τονίσει ότι η καινούργια έκδοση, εκτός από μεγαλύτερη ασφάλεια και μικρότερες διαστάσεις, χαρακτηρίζεται και από μικρότερο κόστος.

Το σύστημα του ελέγχου αποτελείται απ' τον πίνακα, όλες τις διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν, είτε αυτές υπήρχαν στην αγορά είτε χρειάστηκε να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν. Στην τελευταία περίπτωση, περιλαμβάνονται διατάξεις που είτε δεν ήταν δυνατή η εύρεση τους στην αγορά είτε χαρακτηριζόταν από υψηλό κόστος.

Στο τελικό κόστος περιλαμβάνεται και το κόστος των ωρών εργασίας που θα χρειαστούν για την κατασκευή των ηλεκτρονικών διατάξεων, ενώ δεν περιλαμβάνεται η τιμή του inverter (περίπου 2700 €).

### 9.1 Οικονομοτεχνική μελέτη 1<sup>ης</sup> έκδοσης

Για την πρώτη έκδοση, ο εξοπλισμός του συστήματος ελέγχου είναι το PLC, η τριφασική ανόρθωση (ac/dc), οι συσσωρευτές, τα αισθητήρια, οι μετατροπείς της τάσης (τροφοδοτικά) και οι ηλεκτρονόμοι ισχύος .

Οι τιμές που καταγράφονται στον πίνακα 7.1 αφορούν αποκλειστικά το κόστος υλικών (δεν περιλαμβάνεται το κόστος του αντιστροφέα, αλλά ούτε και η αμοιβή του εργατικού δυναμικού).



α/α	ΥΠΟΣΤΗΜΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ (€)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)
1	ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗΣ	12V/18 Ah	47.00 €	2	94.00 €
2	ΑΣΦΑΛΕΙΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ (PCB)	24VDC/10A	15.60 €	1	15.60 €
3	ΑΣΦΑΛΕΙΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ (1X10)	10A	3.30 €	2	6.60 €
4	ΑΣΦΑΛΕΙΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ (1X40)	40A	3.30 €	1	3.30 €
5	ΔΙΠΟΛΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ	2x10A	2.50 €	1	2.50 €
6	ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΜΕΤΑΓΩΓΙΚΟΣ	40A	9.00 €	2	18.00 €
7	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ ΠΙΝΑΚΑ	250V/4A	3.00 €	2	6.00 €
8	BUTTON ΠΙΝΑΚΑ	250V/4A	4.00 €	2	8.00 €
9	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ ΑΠΛΗ	ΦΩΤΕΙΝΗ ΕΝΔΕΙΞΗ	2.60 €	1	2.60 €
10	3Φ ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΗ ΓΕΦΥΡΑ	1200V-1800V/38A	48.00 €	1	48.00 €
11	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ	230VAC / 45A	170.00 €	1	170.00 €
12	ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ	24V / 10A	174.20 €	1	174.20 €
13	ΦΟΡΤΙΣΤΗΣ	12/24 V , 15 A	48.00 €	1	48.00 €
14	ΠΥΚΝΩΤΗΣ	450V / 4700μF	60.00 €	1	60.00 €
15	P.L.C.	24V (8 I/O) (2 AN) (4 D.O.)	130.00 €	1	130.00 €
16	MODULE AM2 (ΕΠΕΚΤΑΣΗ) PLC	ANALOG IN	104.00 €	2	208.00 €
17	ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΕΝΤΑΣΗΣ	0.1 Ω/50W	5.00 €	2	10.00 €
18	ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΤΑΣΗΣ	10-500V(Vpn) /10a(Ipn)	68.60 €	1	68.60 €
19	ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ Μ.Τ.	230VAC-15VDC/0.9VA	11.90 €	1	11.90 €
20	RELEY ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ	24VDC/10A	5.00 €	3	15.00 €
21	ΒΑΣΗ RELEY	400V/10A	2.00 €	3	6.00 €
22	RELEY BACK UP ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ	24VDC/10A	13.00 €	8	104.00 €
23	ΒΑΣΗ RELEY	400V/10A	4.00 €	8	32.00 €
24	RELEY ΕΜΒΟΛΟΥ	24VDC/20A/11KW	22.20 €	2	44.40 €
25	RELEY ΦΟΡΤΙΟΥ	24VDC/40A	40.00 €	3	120.00 €
26	ΚΟΥΤΙ ΠΙΝΑΚΑ (ΕΛΕΓΧΟΥ)	1m x 80cm	160.00 €	1	100.00 €
27	ΚΑΛΩΔΙΟ ΠΙΝΑΚΑ	10A	15.00 €	1	15.00 €
28	ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΘΗΚΗ	81X56X40	7.00 €	2	14.00 €
29	ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΘΗΚΗ	82X80X85	17.00 €	1	17.00 €
30	ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΘΗΚΗ	85X65X42	21.00 €	1	21.00 €
31	ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ (DUMMY LOAD)	50Ω/1KW	3.00 €	10	30.00 €
32	ΚΑΚΑΣΚΕΥΗ (DUMMY LOAD)		80.00 €	1	80.00 €
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>					<b>1.683,70 €</b>

πίνακας 7.1

Το συνολικό κόστος εξοπλισμού, διαφοροποιείται με την προσθήκη του κόστους αγοράς του αντιστροφέα (2.700 €), και ανέρχεται στα 4.383,70 €.



Το τελικό κόστος όμως της συνολικής εγκατάστασης αυξάνεται με τη ενσωμάτωση της αμοιβής των ωρών εργασίας για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας και περιλαμβάνουν:

1. Ηλεκτρολογική εγκατάσταση.
2. Συνδεσμολογία πίνακα ελέγχου.
3. Κατασκευή ηλεκτρονικών διατάξεων.

Οι παραπάνω τιμές καταγράφονται στον πίνακα 7.2 .

ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΑΜΟΙΒΗ ΑΝΑ ΕΡΓΑΤΟΗΜΕΡΑ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΑΤΟΗΜΕΡΩΝ	ΚΟΣΤΟΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	150,00 €	2	300,00 €
ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΠΙΝΑΚΑ	150,00 €	2	300,00 €
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛ. ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ	180,00 €	2	360,00 €
<b>ΤΕΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>			<b>960,00 €</b>

πίνακας 7.2

Στο παρακάτω πίνακα 7.3 παρουσιάζονται συνοπτικά τα οικονομικά μεγέθη της 1<sup>ης</sup> έκδοσης και το τελικό κόστος της ολικής ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.

ΥΠΟΣΤΗΜΑ	ΚΟΣΤΟΣ
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	1.683,70 €
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ	2.700,00 €
ΑΜΟΙΒΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	920,00 €
<b>ΤΕΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>	<b>5.343,70 €</b>

πίνακας 7.3



## 9.2 Οικονομοτεχνική μελέτη 2<sup>ης</sup> έκδοσης

Στη δεύτερη έκδοση η μείωση των περιφερειακών εξαρτημάτων (ηλεκτρονόμων), είναι εμφανής, ενώ πλέον συμπεριλαμβάνεται το τροφοδοτικό αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS), ο αισθητήρας έντασης του ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα και ο μετατροπέας της τάσης του δικτύου.

Στο πίνακα 7.4 παρουσιάζεται το κόστος υλικών.

α/α	Υπόστημα	Χαρακτηριστικά	Τιμή μονάδας(€)	Πποσότητα	Συνολικό κόστος(€)
1	UPS	100W	120,00 €	1	120,00 €
2	ΑΣΦΑΛΕΙΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ (PCB)	24VDC/10A	8,60 €	1	8,60 €
3	ΑΣΦΑΛΕΙΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ (1X10)	10A	3,30 €	2	6,60 €
4	ΑΣΦΑΛΕΙΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ (1X40)	40A	3,30 €	1	3,30 €
5	ΔΙΠΟΛΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ	2x10A	2,50 €	1	2,50 €
6	ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΜΕΤΑΓΩΓΙΚΟΣ	40A	9,00 €	2	18,00 €
7	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ ΠΙΝΑΚΑ	250V/4A	3,00 €	2	6,00 €
8	BUTTON ΠΙΝΑΚΑ	250V/4A	4,00 €	2	8,00 €
9	3Φ ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΗ ΓΕΦΥΡΑ	1200V-1800V/38A	48,00 €	1	48,00 €
10	ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ	24V / 10A	174,20 €	1	174,20 €
11	P.L.C.	24V(IN) (8 I/O) (2 AN) (4D.O.)	130,00 €	1	130,00 €
12	MODULE AM2 (ΕΠΕΚΤΑΣΗ)	ANALOG IN	104,00 €	1	104,00 €
13	ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΕΝΤΑΣΗΣ	300 A (rms)	25,00 €	1	25,00 €
14	ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΕΝΤΑΣΗΣ	0.1 Ω/200W	35,00 €	1	35,00 €
15	ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΕΝΤΑΣΗΣ	0,1Ω/50W	5,00 €	1	5,00 €
16	ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΤΑΣΗΣ	10-500V(Vpn) /10a(Ipn)	68,60 €	1	68,60 €
17	ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ Μ.Τ.	230VAC-15VDC/0.9VA	11,90 €	1	11,90 €
18	ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΤΑΣΗΣ	230VAC--8VDC/0.9VA	4,50 €	1	4,50 €
19	RELEY ΕΜΒΟΛΟΥ	24VDC/20A/11KW	22,20 €	2	44,40 €
20	RELEY ΦΟΡΤΙΟΥ	24VDC/40A	40,00 €	2	80,00 €
21	ΚΟΥΤΙ ΠΙΝΑΚΑ (ΕΛΕΓΧΟΥ)	1m x 80cm	50,00 €	1	50,00 €
22	ΚΑΛΩΔΙΟ ΠΙΝΑΚΑ	10A	15,00 €	1	15,00 €
23	ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΘΗΚΗ	81X56X40	3,00 €	3	9,00 €
24	ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΘΗΚΗ	82X80X85	15,00 €	1	15,00 €
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>					<b>872,60 €</b>

πίνακας 7.4



Το συνολικό κόστος υλικών διαφοροποιείται με την προσθήκη του κόστους αγοράς του αντιστροφέα (2.700 €) με αποτέλεσμα το συνολικό κόστος να διαμορφώνεται στις 3.572,60 €.

Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν και πρέπει να συμπεριληφθούν στο τελικό κόστος, είναι:

1. Ηλεκτρολογική εγκατάσταση.
2. Συνδεσμολογία πίνακα ελέγχου.
3. Κατασκευή ηλεκτρονικών διατάξεων.

Στο πίνακα 7.5 καταγράφεται η αμοιβή ανά είδος και διάρκεια εργασίας.

ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΑΜΟΙΒΗ ΑΝΑ ΕΡΓΑΤΟΗΜΕΡΑ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΑΤΟΗΜΕΡΩΝ	ΚΟΣΤΟΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	150,00 €	2	300,00 €
ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΠΙΝΑΚΑ	150,00 €	1	150,00 €
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛ. ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ	180,00 €	2	360,00 €
<b>ΤΕΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>			<b>810,00 €</b>

πίνακας 7.5

Στο παρακάτω πίνακα 7.6 παρουσιάζονται συνοπτικά τα οικονομικά μεγέθη της 1<sup>ΗΣ</sup> ΕΚΔΟΣΗΣ και το τελικό κόστος της ολικής ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.

ΥΠΟΣΤΗΜΑ	ΚΟΣΤΟΣ
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	872,60 €
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ	2.700,00 €
ΑΜΟΙΒΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	810,00 €
<b>ΤΕΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b>	<b>4.382,60 €</b>

πίνακας 7.6



### 9.3 Συμπεράσματα

Είναι σημαντική η μείωση του κόστους εξοπλισμού αλλά και του τελικού κόστους κατασκευής του συστήματος ελέγχου, μεταξύ των δύο εκδόσεων.

Η μείωση του κόστους (κόστος εξοπλισμού) είναι της τάξης του 48 %. Αυτό οφείλεται κυρίως στη χρήση του τροφοδοτικού αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS). Στην αφαίρεση των συσσωρευτών του μετασχηματιστή (230 V ac/24 V dc), τη μείωση του αριθμού των ηλεκτρονόμων ισχύος. Επίσης η αφαίρεση ακριβών εξαρτημάτων όπως ο πυκνωτής αλλά και η ελάττωση του τελικού όγκου του συστήματος ελέγχου, βοήθησαν στην μείωση του τελικού κόστους υλικών του συστήματος ελέγχου.

Η μείωση που επιτεύχθηκε σε καμία περίπτωση δεν αναιρεί την αξιοπιστία αλλά και την ασφάλεια της 1<sup>ης</sup> έκδοσης. Ουσιαστικά η 2<sup>η</sup> έκδοση αποτελεί τη βελτίωση της προηγούμενης με τα ίδια επίπεδα ελέγχου.





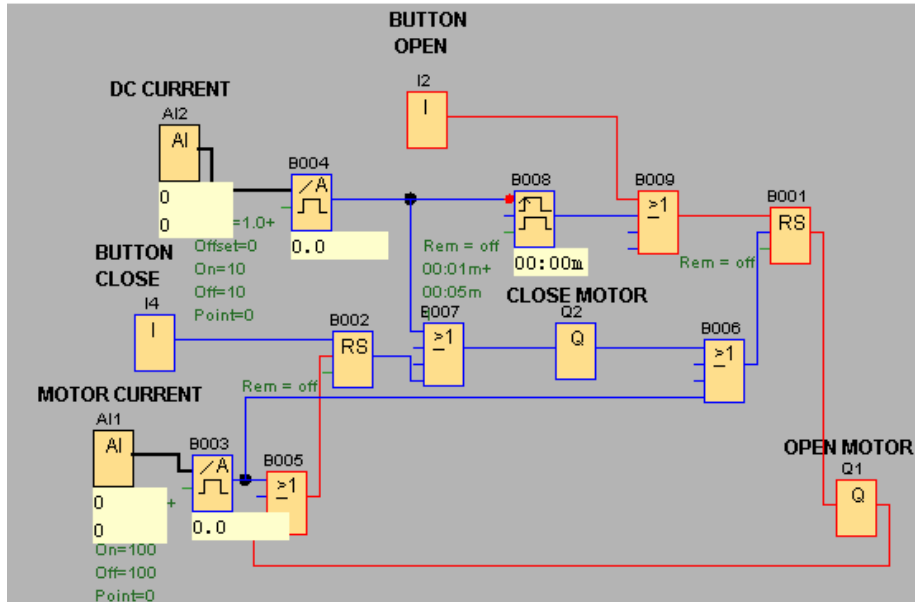
## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

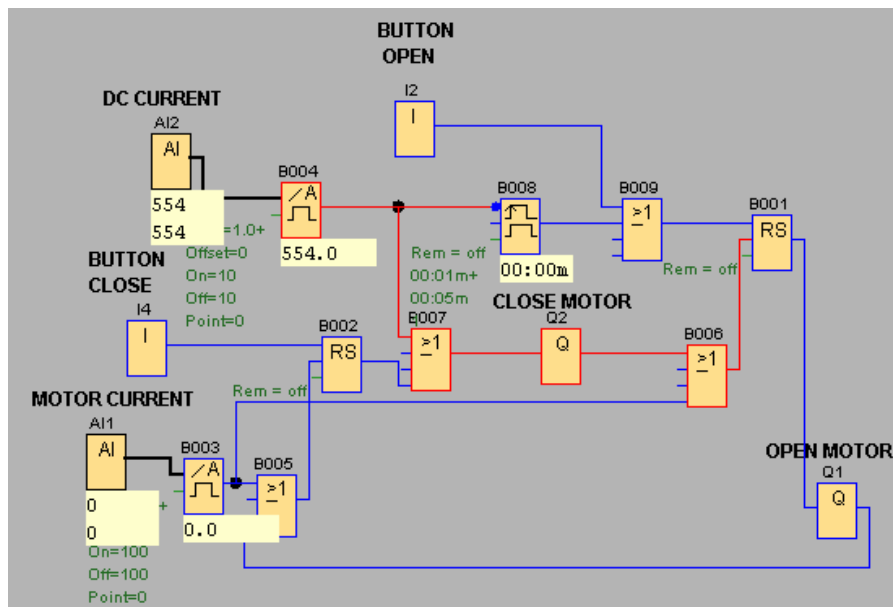
### Κώδικας Προγραμματισμού

Έλεγχος γραμμικού επενεργειτή (τελικών θέσεων).



Εικόνα 3.6

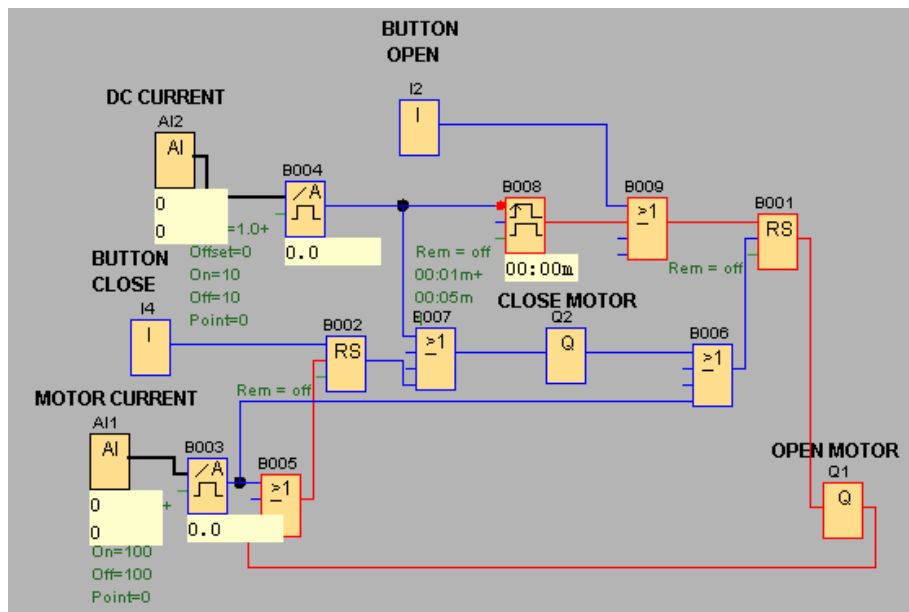
Έλεγχος συνεχούς παραγόμενης έντασης (Idc)



Εικόνα 3.7

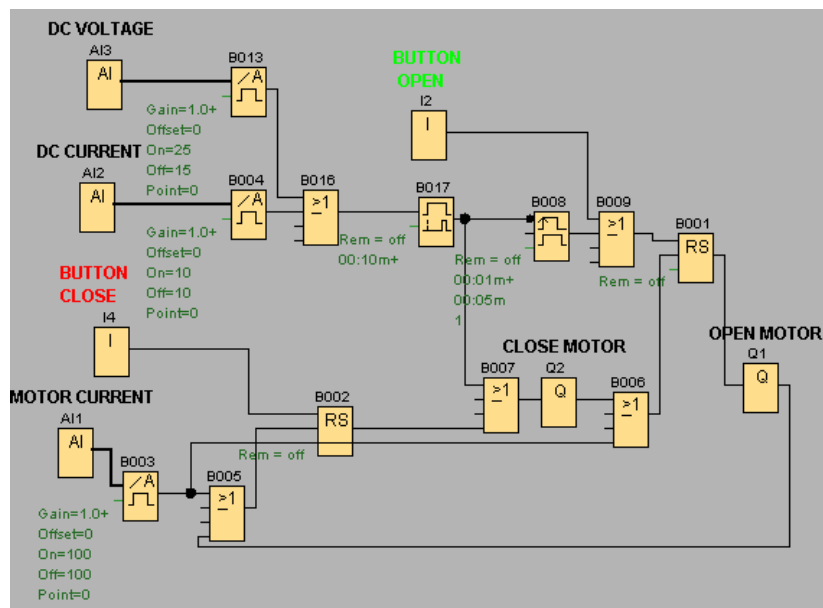


### Ενεργοποίηση βραχίονα προσανεμισμού



Εικόνα 3.8

### Έλεγχος συνεχούς παραγόμενης τάσης (Vdc)

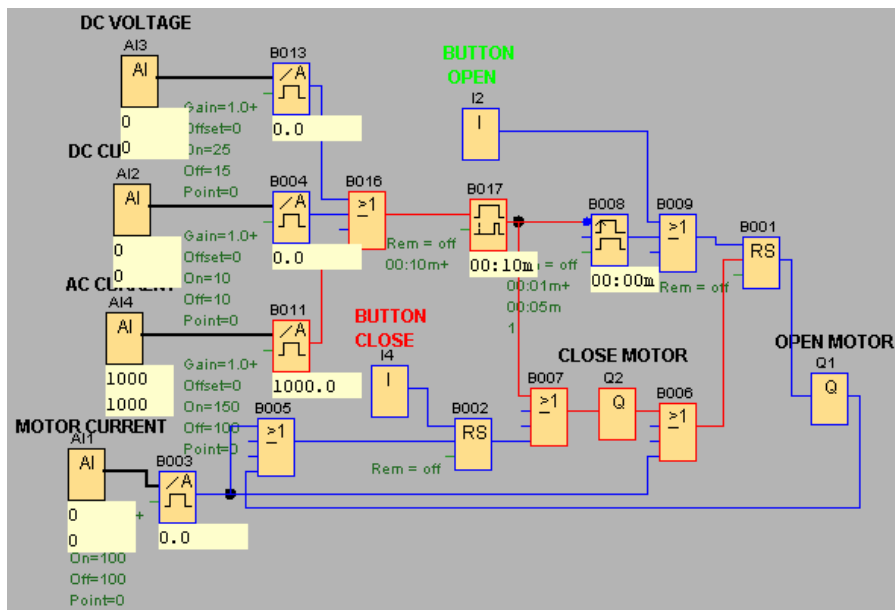


Εικόνα 3.9



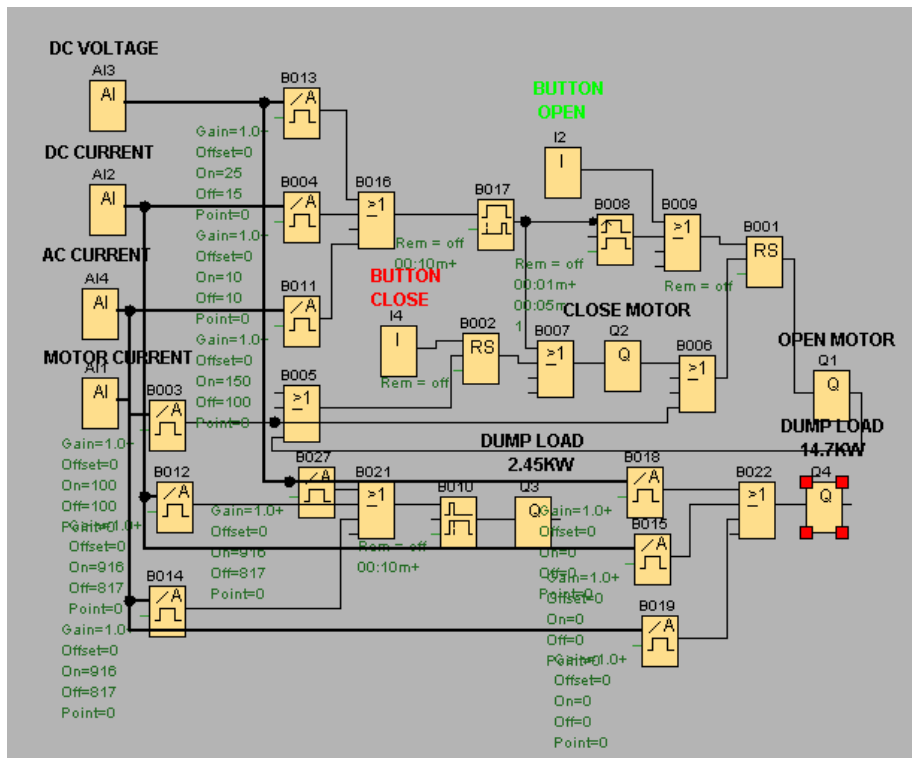


Παραγόμενη εναλλασσόμενη (μεγαλύτερη των επιτρεπτών ορίων)



Εικόνα 3.12

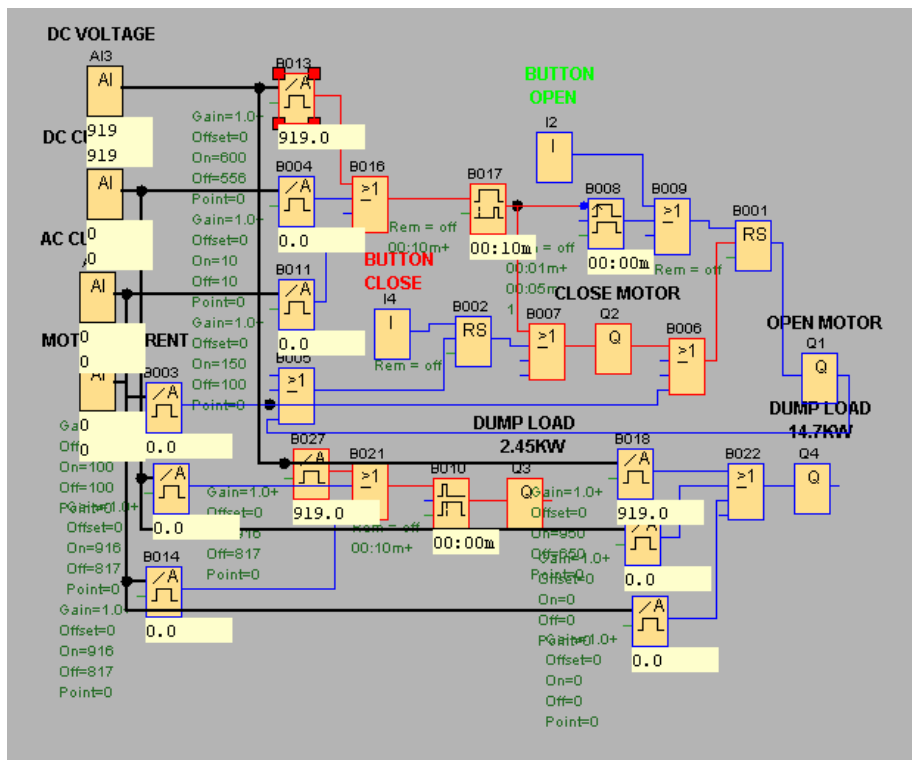
Ενεργοποίηση φορτίων απόρριψης



Εικόνα 3.13

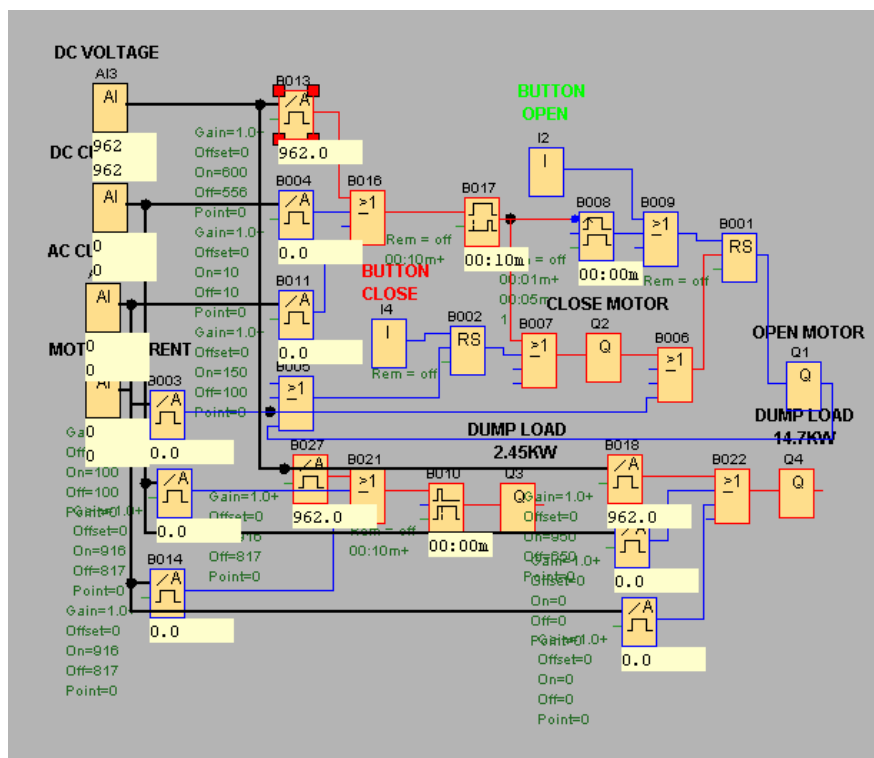


Ενεργοποίηση φορτίων απόρριψης ισχύος 2,45 KW (αυξημένη συνεχής τάση)



Εικόνα 3.14

Ενεργοποίηση φορτίων απόρριψης ισχύος 14,7 KW (αυξημένη συνεχής τάση)

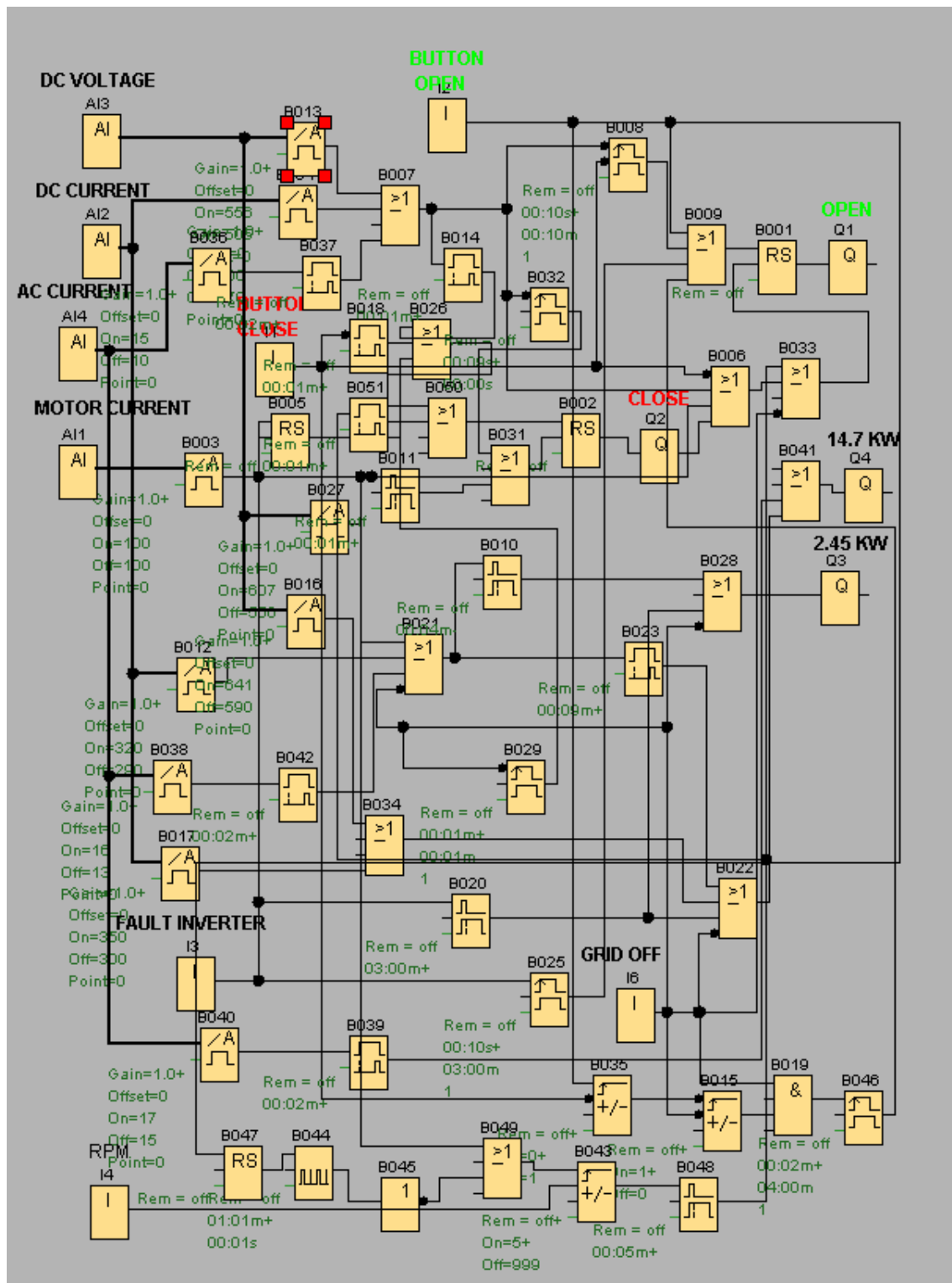


Εικόνα 3.15





Έλεγχος συχνότητας δικτύου

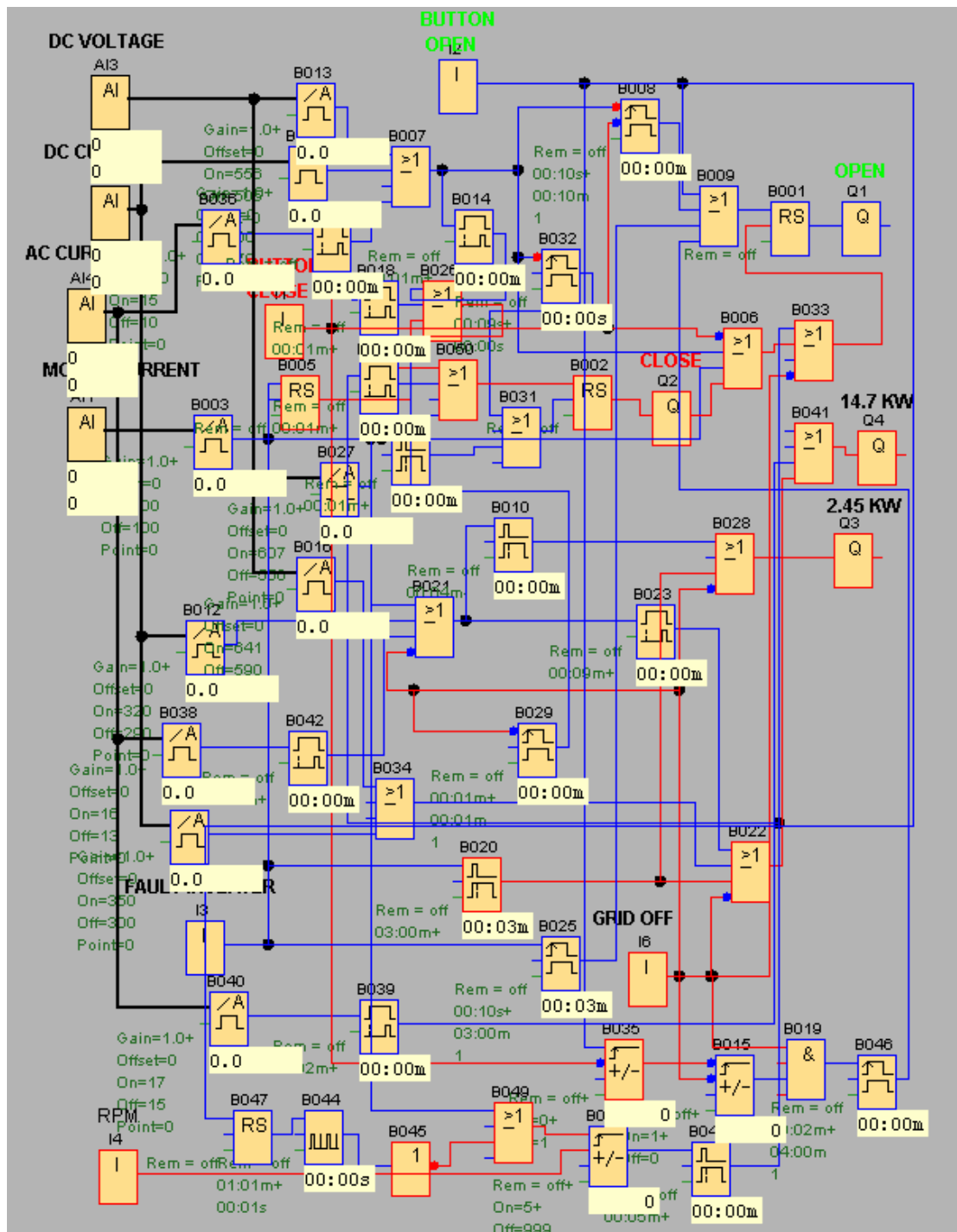


Εικόνα 3.18





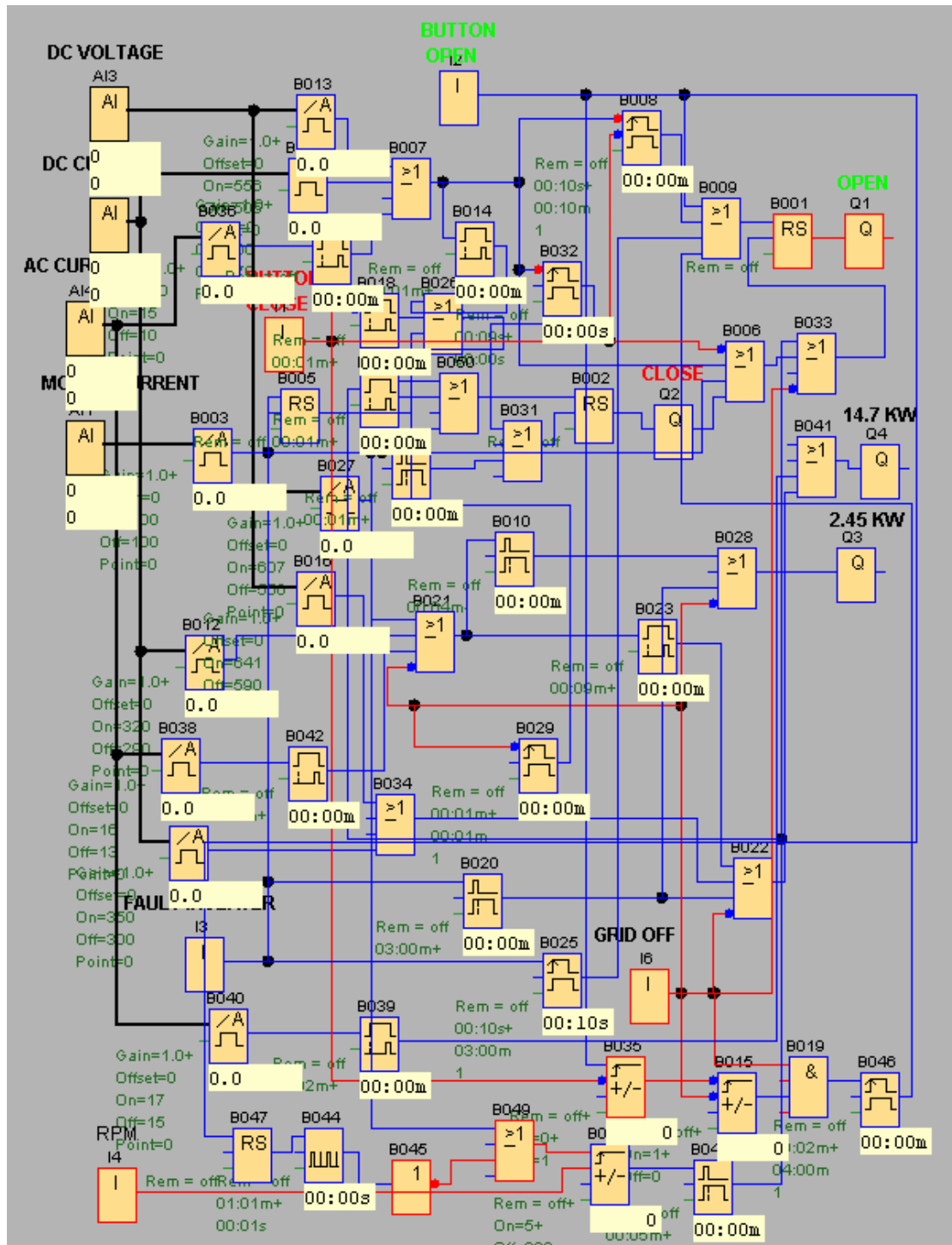
Ενεργοποίηση φορτίων απόρριψης (συχνότητα μικρότερη των 50 Hz)



Εικόνα 3.19



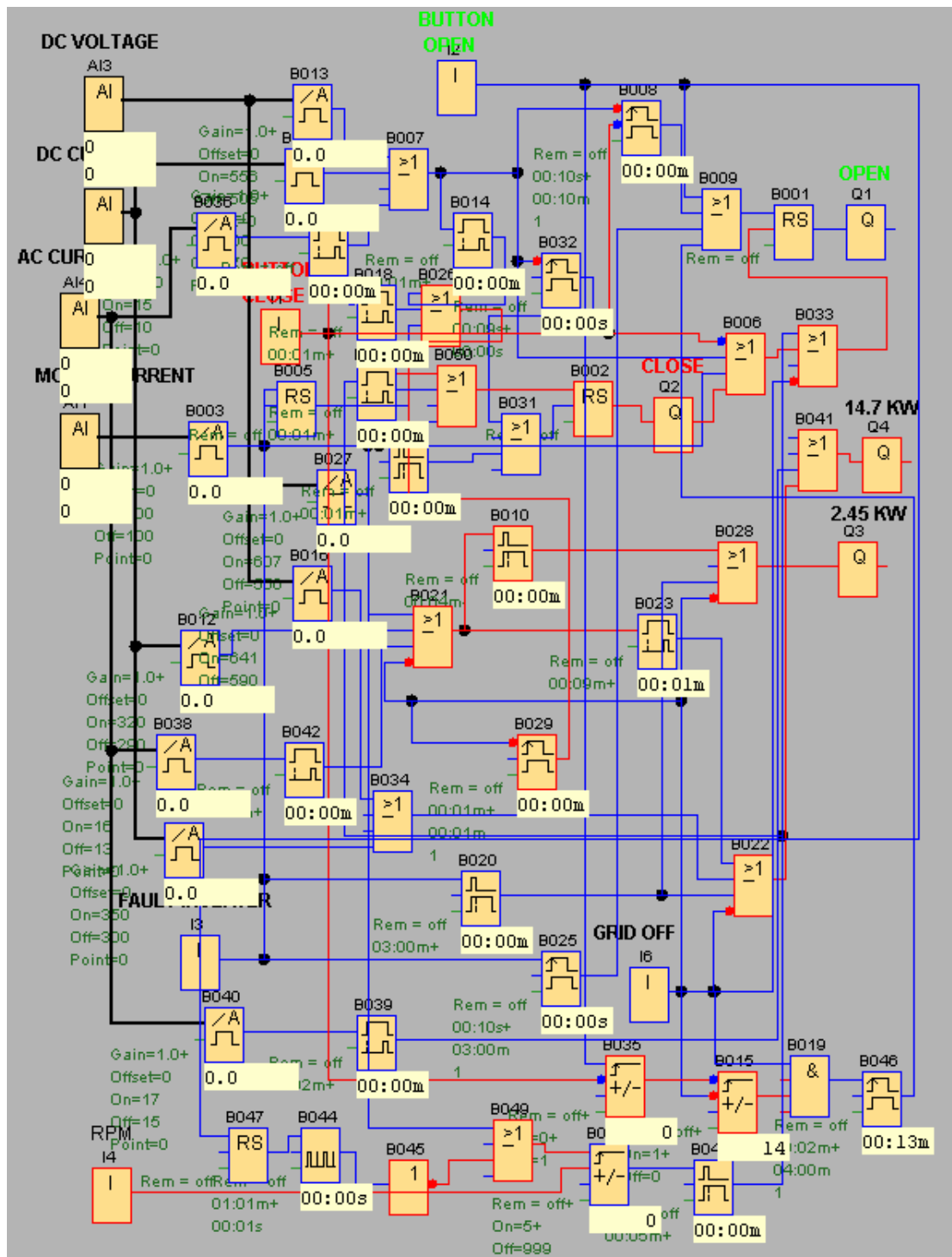
Απενεργοποίηση φορτίων απόρριψης



Εικόνα 3.20



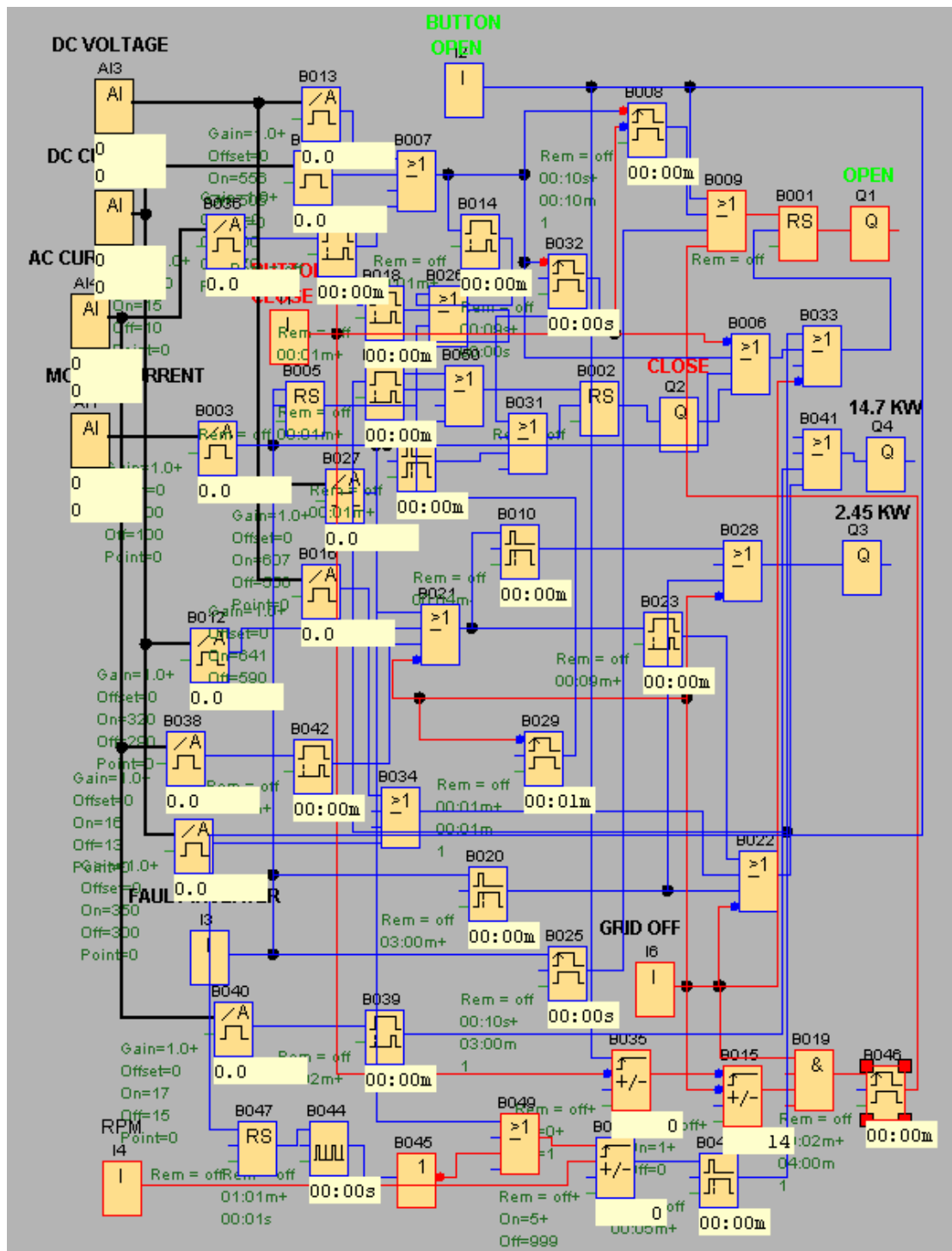
Έλεγχος δικτύου .Δ.Ε.Η.



Εικόνα 3.21



Απενεργοποίηση φορτίων απόρριψης / Επαναφορά δικτύου



Εικόνα 3.22



Κύρια μονάδα ελέγχου PLC logo (mini)



Εικόνα 3.23

Μονάδα επέκτασης (AM 2)



Εικόνα 3.24



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### (1) Σχέδια Εγκατάστασης



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### (2) Βαθμονομήσεις Ηλεκτρονικών Διατάξεων



## ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟΥ ΤΑΣΗΣ

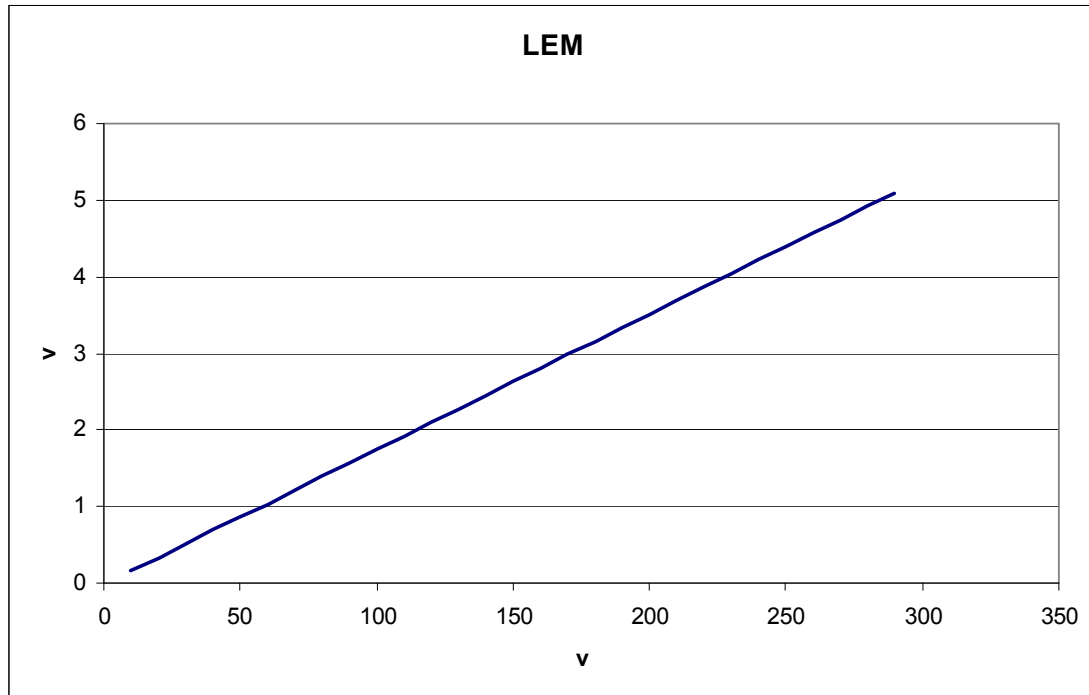
## ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

<b>Vdc (V) ΕΙΣΟΔΟΥ</b>	<b>Vdc(V) ΕΞΟΔΟΥ</b>	<b>Vdc(V) ΕΙΣΟΔΟΥ</b>	<b>Vdc(V) ΕΞΟΔΟΥ</b>
10	0,154	300	5,277219
20	0,333	310	5,453762
30	0,512	320	5,630305
40	0,692	330	5,806848
50	0,871	340	5,98339
60	1,031	350	6,159933
70	1,216733	360	6,336476
80	1,393276	370	6,513019
90	1,569819	380	6,689562
100	1,746362	390	6,866105
110	1,922905	400	7,042648
120	2,099448	410	7,21919
130	2,27599	420	7,395733
140	2,452533	430	7,572276
150	2,629076	440	7,748819
160	2,805619	450	7,925362
170	2,982162	460	8,101905
180	3,158705	470	8,278448
190	3,335248	480	8,45499
200	3,51179	490	8,631533
210	3,688333	500	8,808076
220	3,864876	510	8,984619
230	4,041419	520	9,161162
240	4,217962	530	9,337705
250	4,394505	540	9,514248
260	4,571048	550	9,69079
270	4,74759	560	9,867333
280	4,924133	<b>570</b>	<b>10,04388</b>
290	5,100676		





ΓΡΑΦΗΜΑ (Vdc in / Vdc out)



ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟΥ ΕΝΤΑΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ  
ΕΞΟΔΟΥ INVERTER (Idc)

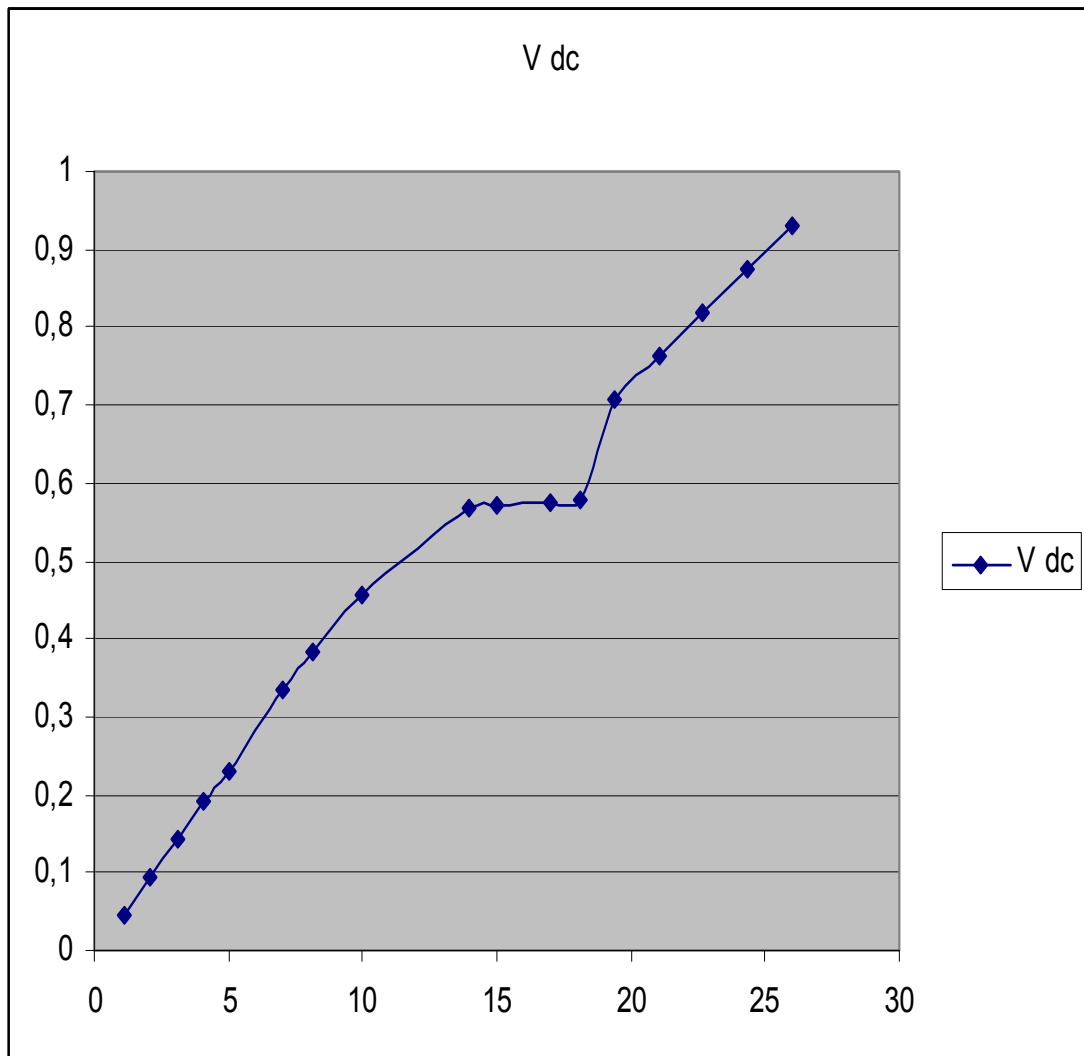


## ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

I dc (A)	V dc (V)
1,1	0,0447
2,1	0,0937
3,1	0,143
4,1	0,19
5	0,231
7	0,334
8,1	0,384
10	0,457
14	0,569
15	0,573
17	0,575
18,1	0,579
19,3	0,70
21,0	0,76
22,6	0,81
24,3	0,87
25,9	0,92



ΓΡΑΦΗΜΑ ( $I_{dc}$ ,  $V_{dc}$ ) :





## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ( DUMMY LOAD ) :

Οι αντιστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την συνδεσμολογία είναι 9 στον αριθμό και έχουν τα εξής χαρακτηριστικά :  $50 \Omega / 1 \text{ KW}$ .

Οι πρώτες 3 είναι σε συνδεσμολογία ΑΣΤΕΡΑ :

Επομένως :

$$V_{\phi} = \frac{V_{\Pi}}{\sqrt{3}} = 202,075 \text{ V} \quad V_{\Pi} = 350 \text{ V}$$

Οπότε:

$$I_{\phi 1} = \frac{V_{\phi}}{R} = \frac{202,075 \text{ V}}{50 \Omega} = 4,05 \text{ A}$$

$$P_1 = 3 * I_{\phi 1} * V_{\phi} = 2,450 \text{ KW}$$

Οι επόμενες 6 είναι συνδεσμολογία ΤΡΙΓΩΝΟΥ :

Επομένως :

$$V_{\Pi} = 350 \text{ V}$$

Οπότε:

$$I_{\phi 2} = \frac{V_{\Pi}}{R/2} = \frac{350 \text{ V}}{50 \Omega / 2} = 14 \text{ A} \quad (25 \Omega \text{ γιατί ανά } 3^{\text{η}} \text{ συνδέονται παράλληλα.)}$$

$$P_2 = 3 * V_{\Pi} * I_{\phi 2} = 14,7 \text{ KW}$$

Το συνολικό φορτίο Ρολ θα είναι :

$$P_{\text{ολ}} = P_1 + P_2 = 2,450 \text{ KW} + 14,7 \text{ KW} = 17,15 \text{ KW}$$



ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ  
ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΕΞΟΔΟΥ ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΗΣ  
ΔΙΑΤΑΞΗΣ :

Υπολογισμός :

Ονομαστικά χαρακτηριστικά :  $P=200 \text{ W} / R=0.1 \Omega$

Η πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης είναι :

$$V_{\max} = \sqrt{200 \times 0.1} = 4.4721 \text{ V}$$

$$I_{\max} = \frac{200}{4.4721} = 44.721 \text{ A}$$

Ονομαστική τάση της γεννήτριας  $V_{\pi} = 228 \text{ V}$

$$V_d = 311 \times 1.35 = 307.8 \text{ V}$$

Όπου  $V_d$  : τάση εξόδου ανορθωτικής διάταξης

Η ισχύς στην έξοδο της ανορθωτικής διάταξης είναι : 6,03 KW

Επομένως το ρεύμα στην έξοδο της ανορθωτικής διάταξης είναι :

$$I_{dc} = \frac{P}{V} = \frac{6.03}{307.8} = 19.6 \text{ A}$$

Τύπος : 200 W / R1 : 0.1  $\Omega$  aluminium housed power wirewound  
resistor

Κωδικός RS : 188 – 239 (stock no).



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Τεχνικά Εγχειρίδια Εξαρτημάτων Συστήματος Ελέγχου (Manuals)



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] : Λευτέρης Ι. Πισκιτζής / Συστήματα αιολικής ενέργειας / [www.eco-build.gr](http://www.eco-build.gr).
- [2] : Μαρία Λίλα / Το πρότυπο του 'πράσινου' νησιού / Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ/(13/03/08)
- [3] : Νίκος Σοφιανός / Μια πράσινη πόλη στο Περσικό κόλπο / energia.gr (25/02/08)
- [4] : [www.wel.gr](http://www.wel.gr)
- [5] : [www.mkw.co.uk](http://www.mkw.co.uk)
- [6] : [www.iscarawind.com](http://www.iscarawind.com)
- [7] : [www.provenenergy.com](http://www.provenenergy.com)
- [8] : [www.aircon-international.com](http://www.aircon-international.com)
- [9] : [www.superwind.com/swe](http://www.superwind.com/swe)
- [10] : [www.rotal.pl](http://www.rotal.pl)
- [11] : [www.bryja-windrower.com](http://www.bryja-windrower.com)
- [12] : [www.eoltec.com](http://www.eoltec.com)
- [13] : [www.bitterrootsolar.com/wind/lakota/lakota](http://www.bitterrootsolar.com/wind/lakota/lakota)
- [14] : [www.bornay.com/indexe](http://www.bornay.com/indexe).
- [15] : [www.fortiswindenergy.co.uk/index](http://www.fortiswindenergy.co.uk/index)
- [16] : [www.windenergysolutions.nl](http://www.windenergysolutions.nl)
- [17] : [www.somapower.com.au/index](http://www.somapower.com.au/index)
- [18] : [www.westwindturbines.co.uk/index.asp](http://www.westwindturbines.co.uk/index.asp)
- [19] : [www.skystreamenergy.com](http://www.skystreamenergy.com)
- [20] : [www.southwest-windpower.com](http://www.southwest-windpower.com)
- [21] : [www.bergey.com](http://www.bergey.com)
- [22] : [www.ec21.com](http://www.ec21.com)



- [23] : Λιγνός Ι., Μπούσλης Π., Πολίτης Π., Χαμηλοθώρης Γ./ Αυτοματισμοί & συστήματα αυτόματου ελέγχου./ Υ.Π.Ε.Π.Θ./2001 Αθήνα.
- [24] : Petrauzella F./ Προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές / Εκδόσεις Τζίολα./ 2000 Θεσσαλονίκη.
- [25] : Stephen J. Chapman./Electric machinery fundamentals./Εκδόσεις Τζίολα, / 2001 Θεσσαλονίκη.
- [26] : Mohan, Undeland, Robbins. / Power electronics (converters, applications & desingn. / Εκδόσεις Τζίολα./1996 Θεσσαλονίκη.
- [27] : Ε. Σερβετάς / Ανορθωτικές διατάξεις. / Ανωτέρα σχολή ηλεκτρονικών / 1969 Αθήνα.
- [28] : Μηναδάκης Ι. / Ηλεκτρικές & ηλεκτρονικές κατασκευές. / Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών – Τμήμα Ηλεκτρολογίας - Τ.Ε.Ι. Κρήτης. / 2004 Ηράκλειο Κρήτης.
- [29] : Ντοκόπουλος Π. / Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών Μέσης & Χαμηλής Τάσης. / Εκδόσεις Ζήτη. / 1992 Θεσσαλονίκη.