



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (ΤΕΙ) ΣΕΡΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Σύνδεση Υπεράκτιου Αιολικού Σταθμού Παραγωγής
Ηλεκτρικής Ενέργειας με το Εθνικό Δίκτυο για Μεταφορά
της Παραγόμενης Ενέργειας**

Ασνάης Δημήτριος

Επιβλέπων καθηγητής: Δημήτριος Καλπακτσόγλου

2015

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	7
1 Εισαγωγή.....	9
2 Ανεμογεννήτριες.....	16
2.1 Διάταξη και εξαρτήματα ανεμογεννητριών	16
2.2 Δομή και χαρακτηριστικά των σύγχρονων γεννητριών	19
3 Ηλεκτρονικά Ισχύος	23
3.1 Η διάδος:	23
3.2 Το transistor ισχύος (BJT)	24
3.3 Το διπολικό transistor απομονωμένης πύλης (IGBT):	24
3.4 Ανορθωτές – Αντιστροφείς.....	25
3.5 Γέφυρα πλήρους ανόρθωσης:	25
3.6 Τριφασική γέφυρα πλήρους ανόρθωσης:	26
3.7 Κυκλομετατροπέας.....	29
4 Συνδέσεις.....	30
4.1 Διασύνδεση γεννητριών.....	30
4.2 Υποβρύχια καλώδια.....	31
5 Προσομοίωση-Αποτελέσματα.....	37
5.1 Το κύκλωμα της γεννήτριας.....	37
5.2 Σύνδεση γεννητριών σε σειρά.....	41
5.3 Σύνδεση μονάδας με το δίκτυο	45
6 Συνδεσμολογίες	46
6.1 Σύνδεση πριν τη διάδο	46
6.2 Συνδεσμολογία ανύψωσης τάσεως.....	47

6.3	Σύνδεση πριν το μετατροπέα	49
7	Επίλογος.....	51
	Βιβλιογραφία	52

ΔΗΛΩΣΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως

αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Διπλωματική μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Πτυχιακού Τίτλου των Πτυχιακών Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η ΠΔΕ προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Όνομα & Επώνυμο Συγγραφέα (Με Κεφαλαία):

.....

Υπογραφή (Ολογράφως, χωρίς μονογραφή):

.....

Ημερομηνία (Ημέρα – Μήνας – Έτος):

.....

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής υλοποιήθηκε με την υποστήριξη ενός αριθμού ανθρώπων στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου. Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή, κύριο Δημήτριο Καλπακτσόγλου για την καθοδήγηση και για τη βοήθεια του στην εκπόνηση της παρούσης εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους που με στήριξαν ηθικά και πρακτικά ώστε να φέρω σε πέρας αυτό το εγχείρημα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος το φίλο μου Σέργιο Σπυράτο ο οποίος πρόσφερε την αντικειμενική και κριτική του ματιά στο φιλτράρισμα και τη συγκέντρωση των απαιτούμενων πληροφοριών.

Πρόλογος

Με αφορμή την πετρελαϊκή κρίση του 1973, οι χώρες που ήταν σε εμπάργκο στράφηκαν σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας φέρνοντας έτσι τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) στο προσκήνιο και στη σύγχρονη εποχή. Το αρχικό ενδιαφέρον ήταν γύρω από την ηλιακή και αιολική ενέργεια ενώ στην πορεία των ετών ανακαλύφθηκαν κι άλλοι τρόποι παραγωγής ενέργειας. Ακόμα και σήμερα όμως, η κυριότερη παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές προέρχεται από τον ήλιο και τον αέρα.

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό τη μελέτη ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο και τη μεταφορά της στο εγχώριο δίκτυο. Επίσης μελετώνται τα ηλεκτρολογικά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις περιπτώσεις.

Η εργασία περατώνεται σε δύο στάδια. Αρχικά έχουμε τη βιβλιογραφική έρευνα, που εκτείνεται τόσο σε συγγράμματα όσο και έρευνα στο διαδίκτυο (εργασίες, άρθρα, ξενόγλωσσα συγγράμματα) ώστε να συγκεντρωθούν αρκετά στοιχεία για τις σύγχρονες γεννήτριες και τα ηλεκτρονικά ισχύος τα οποία χρησιμοποιούνται σε διατάξεις ανεμογεννητριών. Ακολουθεί το πειραματικό μέρος. Χρησιμοποιώντας το προγραμματιστικό εργαλείο Matlab, φτιάξαμε τα κυκλωματικά διαγράμματα με τα οποία θα ήταν δυνατόν να γίνει πράξη η παρούσα συνδεσμολογία. Τέλος, μελετήσαμε τις γραφικές παραστάσεις που προέκυψαν από τα προαναφερθέντα διαγράμματα και τις σχολιάσαμε.

1^ο Μέρος:
Βιβλιογραφική
Έρευνα

1 Εισαγωγή

Από την αρχαιότητα, οι άνθρωποι προσπάθησαν να δαμάσουν τα στοιχεία της φύσης, το καθένα με ξεχωριστό τρόπο, ανάλογα με τις ανάγκες τους. Η εκμετάλλευση του ανέμου έγινε με τα πανιά. Πρώτα με τα ιστιοφόρα και αργότερα με τους ανεμόμυλους. Παρόλο που δεν υπήρχε ηλεκτρική ενέργεια, ο ανεμόμυλος μπορούσε να έχει κι άλλες χρήσεις (για άλεσμα σιτηρών ή για άντληση νερού). Ο πρώτος ανεμόμυλος κατασκευάστηκε τον 1^ο αιώνα μ.Χ. ενώ οι ιστορικοί έχουν ανακαλύψει πως οι Κινέζοι, οι Αιγύπτιοι και οι Πέρσες τους χρησιμοποιούσαν πολλούς αιώνες πριν τη γέννηση του Χριστού.

Πίνακας 1:Χρονολογική εξέλιξη της ανεμομηχανής

Χρονολογία (σε έτη μ.Χ.)	Γεγονός
1200	Στην Ευρώπη χρησιμοποιούνται ανεμόμυλοι οριζόντιου άξονα για γεωργικές εργασίες
1500	Οι Ολλανδία χρησιμοποιεί ανεμόμυλους ως μέρος των αντιπλημμυρικών έργων της χώρας
1600	Οι ανεμόμυλοι φτάνουν στην Αμερική από τους αποίκους
1700	Η ατμομηχανή εκτοπίζει τους ανεμόμυλους
1860	Οι αμερικανικές φάρμες υιοθετούν τους πολυπτέρυγους ανεμόμυλους για την άντληση νερού
1870	Το Σικάγο ανέρχεται στη βιομηχανία των ανεμόμυλων
1900	Παράγεται ηλεκτρισμός από αιολική ενέργεια στη Δανία
1920	Οι μεταλλικοί ανεμόμυλοι δίνουν ρεύμα στις αγροτικές περιοχές τις Αμερικής
1930	Οι ανεμόμυλοι αντικαθίστανται από το εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης
1940	Κατασκευή του πρώτου δίπτερου ανεμοκινητήρα μεγάλης ισχύος στο Vermont (U.S.A.)
1950	Η ατομική ενέργεια παραγκωνίζει το ενδιαφέρον για την αιολική
1960	Η ρύπανση της ατμόσφαιρας από τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γίνεται αισθητή

1973	Η αιολική ενέργεια ξαναμπαίνει στο προσκήνιο λόγω της Πετρελαϊκής Κρίσης
1976	Διαθέτονται τα πρώτα μεγάλα ποσά από κράτη με οικονομική δύναμη για πειράματα και ανάπτυξη στις αιολικές μηχανές
1983	Η ισχύς των ανεμοκινητήρων ανέρχεται σε 3 MW
1990	Η ισχύς των ανεμοκινητήρων ανέρχεται σε 7 MW

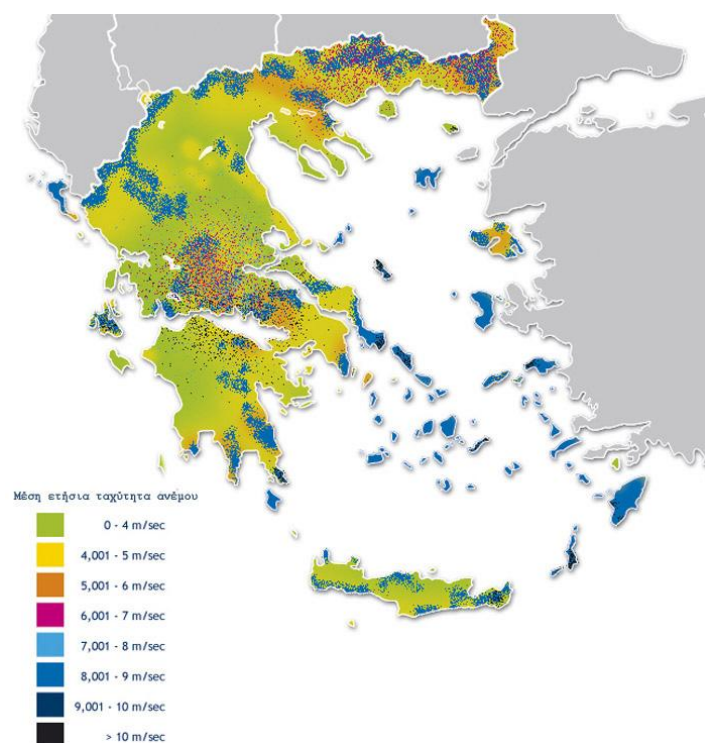
Όπως φαίνεται και στον πίνακα, κατά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, έγινε αντιληπτό πως υπήρχε ανάγκη για καινούριες πηγές ενέργειας. Λίγα χρόνια αργότερα, οι οικολογικά συνειδητοποιημένοι αυξάνουν και μαζί τους αυξάνει και η ζήτηση για πηγές φιλικές προς το περιβάλλον. Με την τεχνολογία να εξελίσσεται, οι αιολικές μηχανές αλλάζουν σχεδόν ριζικά, μη έχοντας πλέον σχεδόν κανένα κοινό με τις παλαιότερες. Σημαντική διαφορά και σημάδι της εξέλιξης τους, η αρχή λειτουργίας τους. Ενώ οι παραδοσιακές μηχανές εκμεταλλεύονταν την αντίσταση των πτερυγίων τους στον άνεμο, οι σύγχρονες χρησιμοποιούν την άνωση. Για να φανεί η οξύτατη διαφορά, αρκεί να αναφέρουμε πως στην άτρακτο της ανεμογεννήτριας η άνωση μπορεί να είναι ακόμα και 10 φορές εντονότερη από την αντίσταση.

Στα εγχώρια δεδομένα, οι Έλληνες από την αρχαιότητα μέχρι και τον 19ο αιώνα φαίνονται να χρησιμοποιούν ανεμόμυλους για το άλεσμα των σιτηρών και των δημητριακών. Ειδικότερα στα νησιά, που ο άνεμος κάνει αισθητή την παρουσία του, οι ανεμόμυλοι είναι πάμπολλοι. Στη δεκαετία του '60, η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.) έκανε μια έρευνα για να υπολογίσει πόσοι ανεμόμυλοι υπάρχουν στη χώρα, ρωτώντας τους μετεωρολογικούς σταθμούς που είναι διασκορπισμένοι σ' αυτήν. Από τους 70 σταθμούς, μόνο οι 10 απάντησαν πως στην περιοχή τους υπήρχαν ανεμόμυλοι για άλεσμα σιτηρών ενώ άλλοι 15 είπαν πως υπάρχουν μεν ανεμόμυλοι στην περιοχή τους, οι οποίοι όμως είναι πλέον εγκαταλελειμμένοι. Επίσης, αναφέρθηκαν αρκετοί ανεμόμυλοι που χρησίμευαν όμως στην άντληση νερού, στη Ρόδο, στην Κρήτη, στους Φούρνους κ.ά. Εντύπωση προκάλεσε στους μελετητές η μαρτυρία πως στη Σητεία, υπήρχε (1960) μια τεχνική πρακτικής αποθήκευσης της αιολικής ενέργειας. Το νερό που αντλούνταν από έναν ανεμόμυλο, αποθηκευόταν σε κάποιο υψόμετρο και χρησίμευε ως υδατόπτωση σε κάποιον νερόμυλο.

Πίνακας 2: Μετρήσεις αιολικού δυναμικού από ΔΕΗ/ΔΕΜΕ

Τοποθεσία	Μέση ταχύτητα (m/s)	Περίοδος μετρήσεων
Ανδρος	9,7	1981-90
Τήνος	9,5	1987-90
Μύκονος	10,8	1983-90
Σύρος	8,1	1988-90
Κρήτη	8,1	1981-83
Λήμνος	8,1	1986-90
Λέσβος	8,7	1987-90
Χίος	8,1	1986-89
Σάμος	10,4	1986-90
Εύβοια	9,2	1989-90
Κάρπαθος	9,6	1983-89
Σκύρος	6,5	1987-89
Σαμοθράκη	6,6	1986-89

Όλα αυτά τα στοιχεία είναι σημάδια πως η χώρα μας έχει ιστορία στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και πως το δυναμικό της μπορεί να αξιοποιηθεί για να καλύψει τις ανάγκες για ηλεκτρισμό τουλάχιστον σε κάποιο βαθμό.

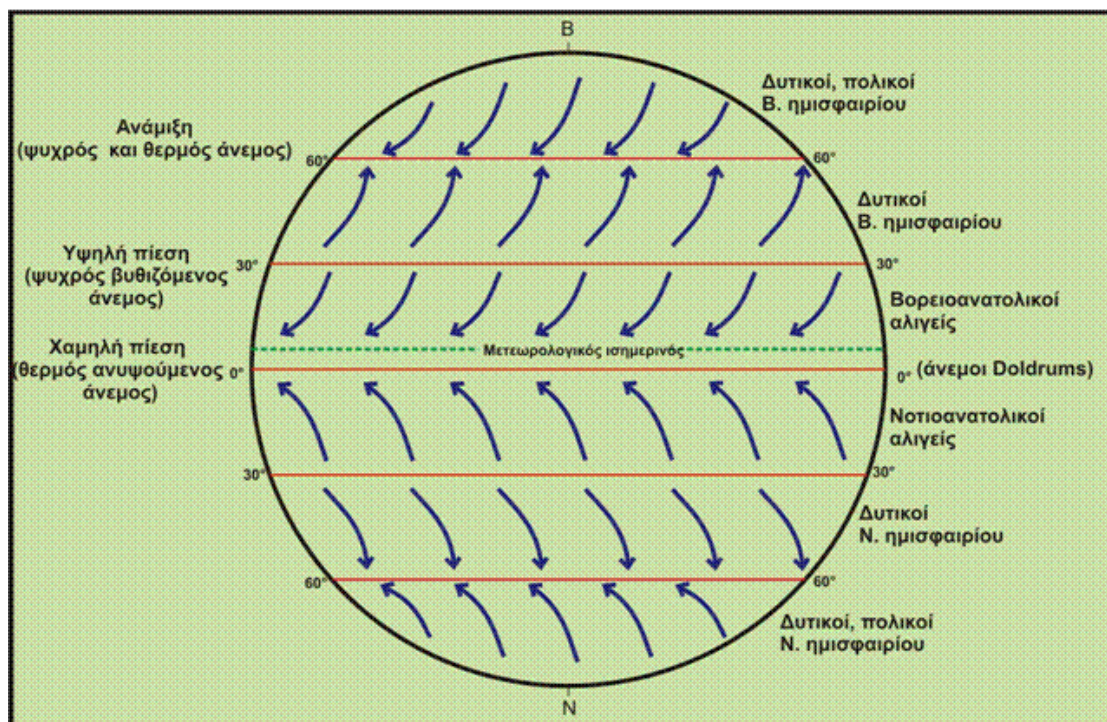


Εικόνα 1:
Χάρτης αιολικού δυναμικού της Ελλάδος

Για να φτάσουμε όμως να χρησιμοποιήσουμε τον άνεμο για τις ανάγκες μας, πρέπει αυτός να υπάρχει.

Η ύπαρξη του ανέμου οφείλεται στον ήλιο. Η θερμότητα που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μεταβάλλει την κινητική κατάσταση της ατμόσφαιρας σε τέτοιο βαθμό ώστε οι θερμές (ελαφρύτερες) αέριες μάζες από τον Ισημερινό να ανυψώνονται κινούμενες προς Βορρά και Νότο, ενώ οι ψυχρότερες (βαρύτερες) αέριες μάζες από τους Πόλους, να χαμηλώνουν. Η κίνηση αυτή σταματά στις 30°, βόρεια και νότια αντίστοιχα, όπου ο αέρας βυθίζεται ενώ ταυτόχρονα προκαλείται μια απόκλιση της ροής προς τα ανατολικά (για το θερμό αέρα) και τα δυτικά (για το ψυχρό αέρα) εξαιτίας της περιστροφής της Γης (δύναμη Coriolis). Οι θερμοκρασιακές μεταβολές στη θάλασσα και στην ξηρά καθώς και τα “εμπόδια” που υπάρχουν στην τελευταία (όρη, κοιλάδες, δάση, πόλεις κ.α.) επηρεάζουν τη ροή του ανέμου στην εκάστοτε περιοχή.

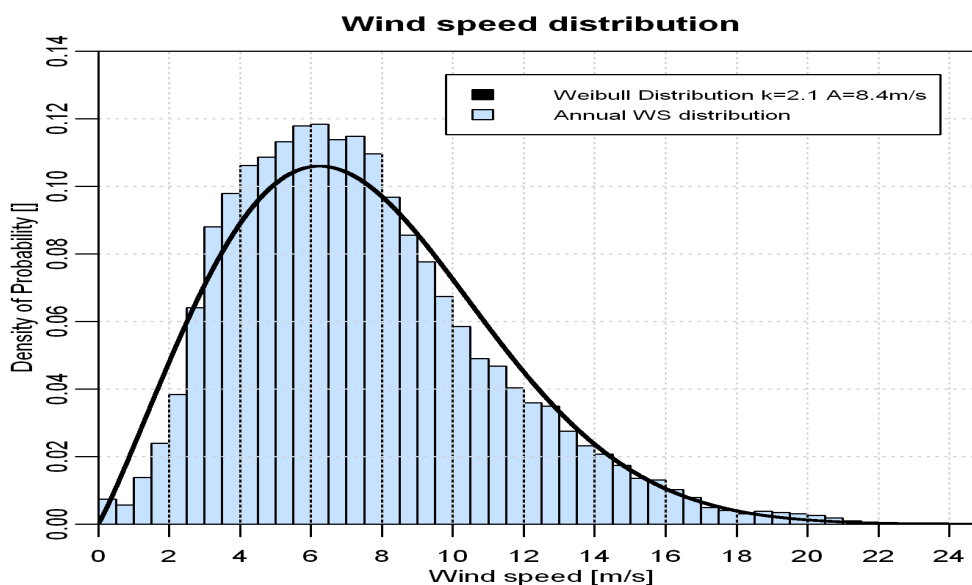
Εικόνα 2: Παγκόσμια κατανομή των ανέμων



Δεν αρκεί όμως να υπάρχει ο άνεμος. Πρέπει να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του ώστε να είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε κατά πόσο η ανεμογεννήτρια λειτουργεί στον επιθυμητό βαθμό. Από τις μελέτες των τελευταίων ετών ξέρουμε πως μεγάλες ταχύτητες ανέμων συναντάμε κυρίως στις κορυφές των λόφων, τα πελάγη και στις εκτεθειμένες ακτές, καθώς επίσης και πως σημαντικό ρόλο παίζουν χαρακτηριστικά όπως η κατεύθυνση του ανέμου, η μέση ταχύτητα, η μορφολογία του εδάφους και οι ημερήσιες, εποχιακές και ετήσιες μεταβολές του ανέμου. Από τις μελέτες αυτές διαπιστώθηκε πως τα χαρακτηριστικά αυτά ποικίλουν από τόπο σε τόπο και πως αν η παρατήρηση συνεχιστεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων θα είναι παραπάνω από ικανοποιητική, ενώ συγχρόνως, αυτά τα χαρακτηριστικά βοηθούν στην εκτίμηση της ενεργειακής και οικονομικής απόδοσης ενός αιολικού σταθμού.

Από αυτά τα χαρακτηριστικά, η ταχύτητα είναι ίσως το πιο σημαντικό. Οι ταχύτητες που μετρώνται σε μια περιοχή σε διάρκεια κάποιων ετών, συγκεντρώνονται σε ένα διάγραμμα που προσομοιώνεται αρκετά καλά από την πιθανοτική κατανομή Weibull, και έτσι παίρνουμε μια μαθηματική μοντελοποίηση των ταχυτήτων του ανέμου συναρτήσει της πιθανότητας της εκάστοτε ταχύτητας.

Εικόνα 3: Κατανομή Weibull



Η κατανομή αυτή παρουσιάζει τις μεταβολές μέσα σε ένα έτος αλλά και από το ένα έτος στο άλλο, για όσα έτη έχει καλύψει η μελέτη.

Γνωρίζοντας τις ταχύτητες που αναπτύσσονται στην περιοχή που μας ενδιαφέρει, ξεκινάμε να μελετάμε την ενέργεια που μεταφέρει ο άνεμος εκεί. Συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε την ισχύ και τη διαθέσιμη ενέργεια μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Μετά από διάφορα πειράματα και υπολογισμούς, καταλήγουμε στην εξίσωση της ενέργειας του ανέμου:

$$W_t = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot t$$

Όπου ρ η πυκνότητα του αέρα, A το εμβαδόν μιας επιφάνειας που διαρρέεται από αέρα, V η ταχύτητα και t ο χρόνος που η επιφάνεια διαρρέεται από αέρα. Αυτή η ενέργεια είναι που θα περιστρέψει τα πτερύγια και θα μετατραπεί σε ηλεκτρική στη γεννήτρια.

Παρατηρούμε πως στις ανεμογεννήτριες παίζει ρόλο μόνο η μεταβολή της ταχύτητας και πως η θερμοκρασία του αέρα στα πτερύγια δεν αλλάζει. Άρα πρέπει να έχουμε στα χέρια μας μια ικανοποιητική σειρά μετρήσεων για την ταχύτητα του ανέμου προτού ξεκινήσουμε να υπολογίζουμε την ισχύ του. Επιπροσθέτως, πρέπει να συνυπολογίσουμε το ύψος στο οποίο μεταβάλλεται η ταχύτητα ώστε να βρούμε το βέλτιστο σημείο στο οποίο θα τοποθετηθεί η άτρακτος της ανεμογεννήτριας.

Ο λόγος που οι υπολογισμοί μας πρέπει να είναι εξαιρετικά ακριβείς είναι πως ακόμα και η βέλτιστη θέση σε ικανοποιητικές ταχύτητες δε θα παράγει ισχύ (ρεύματος) περισσότερη από το 30% της ισχύος του αέρα ετησίως. Και επειδή η ανεμογεννήτρια δε θα λειτουργεί σε όλη τη διάρκεια του χρόνου, το ποσοστό αυτό μειώνεται κι άλλο. Επίσης, οι άνεμοι με ταχύτητες μικρότερες των 5 m/s δε μπορούν να υπερνικήσουν τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες οπότε η γεννήτρια δε λειτουργεί (όριο αποκοπής). Αλλά και πάνω από μία συγκεκριμένη ταχύτητα, η γεννήτρια σταμάτα να λειτουργεί και ασφαρίζεται για να αποφευχθούν ζημιές στα μηχανικά της μέρη. Η ταχύτητα αυτή εξαρτάται από το μέγεθος της γεννήτριας, καθώς είναι λογικό πως μια στιβαρότερη και μεγαλύτερη κατασκευή μπορεί να αντέξει μεγαλύτερες καταπονήσεις από μία μικρότερη.

Για να αποφύγουμε την καταστροφή μιας γεννήτριας από υπερβολικά δυνατούς ανέμους, χρησιμοποιούμε δύο τρόπους πέδησης, οι οποίοι επηρεάζουν και την ισχύ εξόδου. Η πρώτη είναι η μηχανική ρύθμιση στροφών σύμφωνα με την οποία μειώνουμε την επιφάνεια που διαρρέεται από αέρα αλλάζοντας τη γωνία των περιστρεφόμενων πτερυγίων. Η δεύτερη είναι ένας τύπος “φρένου” που αποτελείται από ένα μειωτήρα, ο οποίος σταματά την κίνηση του άξονα της γεννήτριας όταν αυτός τείνει να περιστραφεί με ταχύτητα μεγαλύτερη από το όριο αντοχής της.

Μια ακόμα σημαντική παράμετρος που πρέπει να εξετάσουμε είναι η επιλογή των καλύτερων σημείων που μπορεί να τοποθετηθεί μια ανεμογεννήτρια.

Έχει εκτιμηθεί πως από το σύνολο της στέρεας επιφάνειας του πλανήτη, στο 27% της ηπειρωτικής επιφάνειας, συναντώνται άνεμοι ταχύτητας μεγαλύτερης των 5,1 m/s σε υψόμετρο άνω των 10 m. Από αυτήν την επιφάνεια όμως, μόνο το 4% είναι κατάλληλο για την εγκατάσταση αιολικών σταθμών. Εν συνεχεία, στο 50% της ηπειρωτικής επιφάνειας φυσούν άνεμοι με ταχύτητες κυμαινόμενες από 4,4 ~ 5,1 m/s, ιδανικοί για μικρές ανεμογεννήτριες. Οι επιστήμονες εκτιμούν πως η αιολική ενέργεια μπορεί να καλύψει το 1,5% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης, εάν οι ρυθμοί εκμετάλλευσης της συνεχιστούν με την ίδια ζέση και στο μέλλον, ενώ αν εκχωρηθούν κίνητρα για την ταχύτερη ανάπτυξη της (οικολογικά, οικονομικά κ.ά.), το ποσοστό θα μπορούσε και να τριπλασιαστεί.

2 Ανεμογεννήτριες

Ο πιο σύγχρονος τρόπος εκμετάλλευσης του ανέμου είναι μέσω της ανεμογεννήτριας. Οι ανεμογεννήτριες υπάγονται σε δύο βασικές κατηγορίες, αυτές του οριζοντίου και αυτές του κατακόρυφου άξονα.

Για την κατηγορία του οριζόντιου άξονα παρατηρούνται τα εξής χαρακτηριστικά:

- δυνατότητα τοποθέτησης σε μεγαλύτερο υψόμετρο
- πιο δαπανηρή κατασκευή
- καλύτερος συντελεστής ισχύος.



Ενώ για αυτές του κατακόρυφου γνωρίζουμε ότι:

- δεν απαιτείται προσανεμισμός
- είναι προτιμότερες για χρήση σε μικρή κλίμακα (π.χ. οικιακή)
- λειτουργούν πιο αποτελεσματικά από αυτές του οριζοντίου σε περιοχές με υψηλή τύρβη
- είναι οικονομικότερες στην κατασκευή

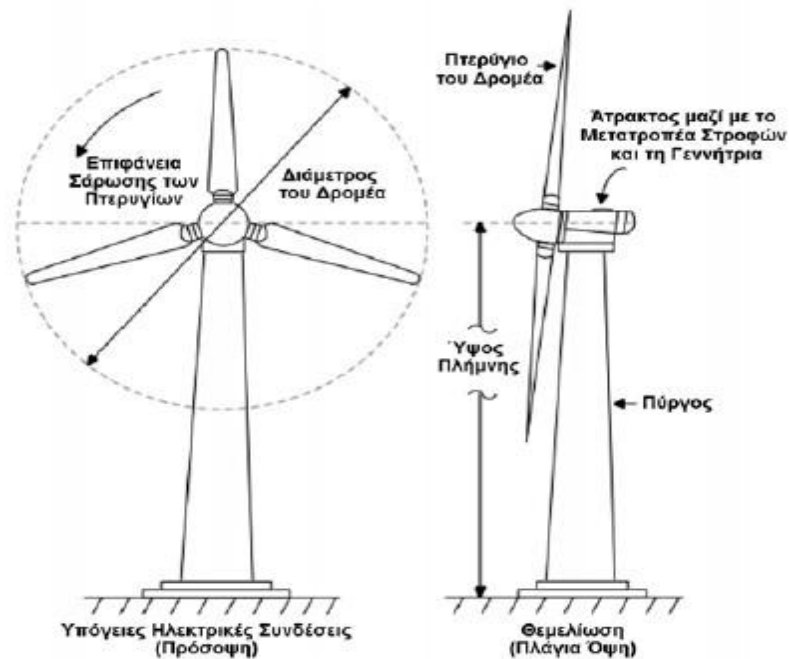


Στο παρόν αιολικό πάρκο, χρησιμοποιούμε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα και μόνο αυτές θα αναλυθούν παρακάτω.

2.1 Διάταξη και εξαρτήματα ανεμογεννητριών

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διάταξη και τα κύρια εξαρτήματα μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα. Επίσης παρατηρούμε τις παραμέτρους που την προσδιορίζουν. Αυτές είναι:

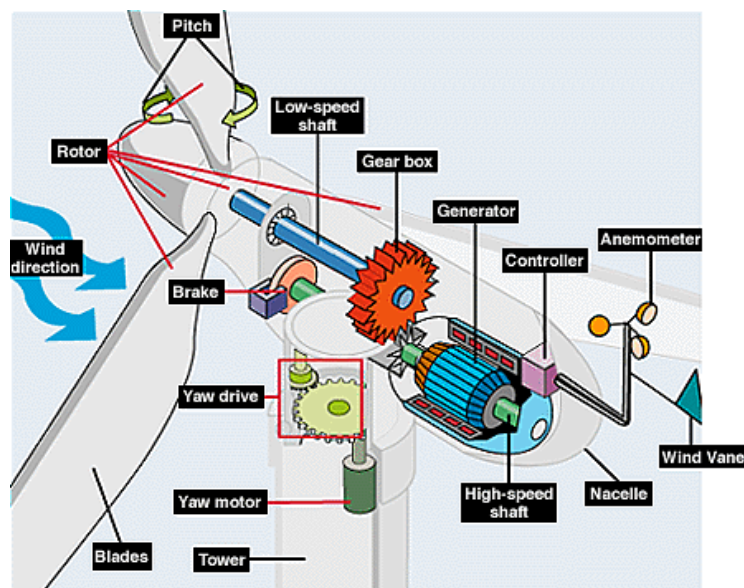
Εικόνα 4: Βασικά χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας



- Ύψος της πλήμνης
- Επιφάνεια σαρώσεως
- Στερεότητα (Σύνολο επιφάνειας πτερυγίων/Επιφάνεια σαρώσεως)
- Λόγος ταχύτητας ακραίου σημείου (ο λόγος της ταχύτητας του ακραίου σημείου του πτερυγίου προς την ταχύτητα του ανέμου)
- Εκτιμητέα ισχύς (η μέγιστη συνεχής ισχύς εξόδου)

Στη συνέχεια παραθέτονται τα κυριότερα εξαρτήματα που απαρτίζουν μια ανεμογεννήτρια (τα περισσότερα απ' αυτά βρίσκονται στο εσωτερικό της ατράκτου, η οποία είναι συνδεδεμένη σε έναν πύργο και προσαναμιζείται για μεγαλύτερη απόδοση).

Εικόνα 5:
Κύρια μέρη μιας
ανεμογεννήτριας



- **Η έλικα:** Αποτελείται συνήθως από δύο ή τρία πτερύγια και η ταχύτητα ακραίου σημείου τους μπορεί να φτάσει και τα 70 m/s. Κατασκευάζεται από ενισχυμένο πλαστικό (με ίνες γυαλιού ή άνθρακα) ή ένα κράμα χάλυβα και αργιλίου. Μπορεί να τοποθετηθεί στον πύργο κατά πλώρη (από μπροστά) ή κατά πρύμνη (από πίσω), αν και κατά γενική ομολογία, η κατά πλώρη τοποθέτηση προτιμάται.
- **Σύστημα μετάδοσης της κίνησης:** Το σύστημα αυτό αποτελείται αρχικά από τον άξονα τον οποίο περιστρέφει η έλικα. Αμέσως μετά είναι το κιβώτιο ταχυτήτων, δηλαδή ο μειωτήρας, που αυξάνει τις στροφές για να είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, μαζί με το σύστημα πέδησης (φρένο) για να σταματάει η περιστροφή όταν ο άνεμος αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες.
- **Η γεννήτρια:** Για τη λειτουργία των ανεμογεννητριών χρησιμοποιούνται αποκλειστικά γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος που χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις σύγχρονες και τις επαγωγικές. Οι σύγχρονες παράγουν ρεύμα ίδιας συχνότητας με το δίκτυο στο οποίο συνδέονται ενώ οι επαγωγικές παράγουν ρεύμα ελαφρώς μεγαλύτερης συχνότητας. Τα βασικά τμήματα τους είναι ο στάτης, ένας σιδηρούς πυρήνας όπου εδράζουν τα τριφασικά τυλίγματα, και ο δρομέας, το μέρος που περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα και παράγει τάση. Οι δρομείς των δύο γεννητριών είναι πολύ διαφορετικοί μεταξύ τους. Στις σύγχρονες γεννήτριες ο δρομέας αποτελείται από τυλίγματα πηνίου που διαρρέονται από ρεύμα (για μεγάλες μηχανές) ή από μόνιμο μαγνήτη (για μικρές). Στις επαγωγικές όμως, ο δρομέας είναι μεταλλικές βραχυκυκλωμένες ράβδοι σε διάταξη κλωβού που επάγουν ρεύμα στο στάτη καθώς κινούνται μέσα στο περιστρεφόμενο πεδίο του τελευταίου.
- **Σύστημα πέδησης:** Το φρένο μιας ανεμογεννήτριας αποτελείται από ένα κιβώτιο ταχυτήτων που σταμάτα την περιστροφή του άξονα όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει μια προκαθορισμένη τιμή που ποικίλει ανάλογα τη γεννήτρια.
- **Σύστημα προσανεμισμού:** Σε αντιστοιχία με τα trackers των φωτοβολταϊκών συστημάτων, στην άτρακτο μιας ανεμογεννήτριας τοποθετείται ένα ανεμούριο το οποίο, ανάλογα με τη φορά του ανέμου, δίνει το σήμα για να στραφεί η ανεμογεννήτρια προς την κατεύθυνση που φυσάει ο άνεμος, ώστε η ροή να είναι πάντα κάθετη στην επιφάνεια σαρώσεως. Η περιστροφή γίνεται μέσω ενός οδοντωτού δακτυλίου που βρίσκεται στη βάση της άτρακτου.
- **Πύργος στήριξης:** Η βάση πάνω στην οποία στηρίζεται η άτρακτος. Κατασκευάζεται από χάλυβα ή σκυρόδεμα με γερά θεμέλια για να αντέχει στο βάρος αλλά και στη δύναμη του ανέμου. Συνήθως είναι κούφιος για να γίνεται η πρόσβαση στην άτρακτο σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες.
- **Σύστημα εποπτείας και ελέγχου:** Για να ολοκληρωθεί η κατασκευή μιας γεννήτριας δεν πρέπει μόνο να λειτουργεί αλλά και να συνεχίσει να λειτουργεί. Κάθε ανεμογεννήτρια είναι εξοπλισμένη με ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου που στέλνει σήμα στο σταθμό παραγωγής κάθε φορά που ανιχνεύει κάποιο πρόβλημα.

Το σημαντικότερο κομμάτι στην ανεμογεννήτρια είναι η σύγχρονη γεννήτρια που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.

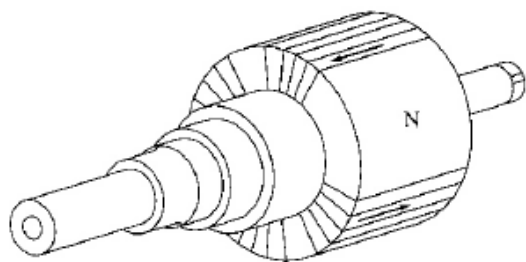
2.2 Δομή και χαρακτηριστικά των σύγχρονων γεννητριών

Σύγχρονη γεννήτρια (εναλλακτήρας) καλείται η σύγχρονη μηχανή η οποία μετατρέπει μηχανική ενέργεια σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική. Η λειτουργία της προϋποθέτει τη διαρροή του τυλίγματος του δρομέα της με συνεχές ρεύμα που δημιουργεί μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της γεννήτριας, η οποία επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

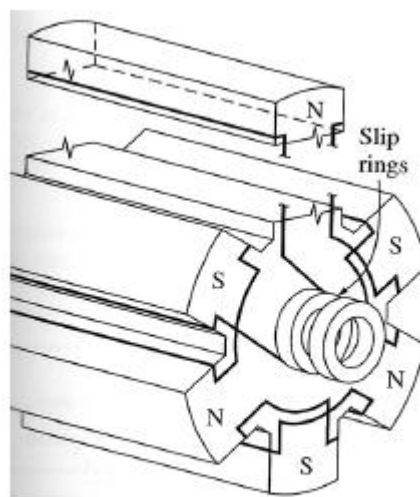
1. Με τροφοδοσία από εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος, άρα ο δρομέας θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ψήκτρες και δαχτυλίδια.
2. Με τροφοδοσία από ειδική πηγή συνεχούς ρεύματος τοποθετημένη πάνω στον άξονα της γεννήτριας.

Καθώς ο δρομέας περιστρέφεται, κινούμενος από άλλη κινητήρια μηχανή, το πεδίο περιστρέφεται μαζί του παράγοντας έτσι τριφασική τάση στα τυλίγματα του στάτη, την οποία και λαμβάνουμε στην έξοδο της μηχανής.

Οι σύγχρονες γεννήτριες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τύπο του δρομέα τους. Η πρώτη κατηγορία είναι αυτή των έκτυπων πόλων. Οι πόλοι αυτοί φαίνονται στην επιφάνεια του δρομέα και χρησιμοποιούνται για μηχανές που έχουν περισσότερους από τέσσερις πόλους. Η δεύτερη είναι αυτή του κυλινδρικού δρομέα όπου οι πόλοι είναι στο ίδιο επίπεδο με την επιφάνεια του δρομέα και χρησιμοποιούνται σε μηχανές με δύο ή τέσσερις πόλους.



Εικόνα 7: *Κυλινδρικός δρομέας*



Εικόνα 6: *Δρομέας εκτύπων πόλων*

Το πρόβλημα για το δρομέα είναι στην κατασκευή. Καθώς στο εσωτερικό του δρομέα αναπτύσσονται δινορρεύματα, λόγω της συχνής μεταβολής του μαγνητικού πεδίου, καταλήγουμε να έχουμε απώλειες. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, για την κατασκευή και των δύο τύπων δρομέων, χρησιμοποιούνται δυναμοελάσματα τα οποία αποδεδειγμένα συμβάλλουν στη μείωση αυτών των απωλειών.

Όταν η τροφοδοσία γίνεται από εξωτερική πηγή, ο δρομέας της γεννήτριας φέρει επάνω του μεταλλικά δαχτυλίδια και ψήκτρες. Τα δαχτυλίδια είναι μονωμένα από το δρομέα και τον καλύπτουν περιμετρικά. Συνηθίζεται να συνδέουμε το ένα άκρο του τυλίγματος του δρομέα με το πρώτο δαχτυλίδι και το άλλο άκρο με το δεύτερο. Σε κάθε δαχτυλίδι εφάπτεται και μία ψήκτρα, καθεμία από τις οποίες συνδέονται με το θετικό και το αρνητικό άκρο της πηγής ανά μία. Έτσι φτάνουμε στην επιθυμητή συνεχή τροφοδοσία του δρομέα.

Παρόλα αυτά, η χρήση αυτής της μεθόδου έχει τα μειονεκτήματά της. Αρχικά, λόγω της τριβής, οι ψήκτρες φθείρονται σε τακτά διαστήματα, συνεπώς πρέπει να αντικαθιστώνται. Επιπροσθέτως, για ρεύματα μεγάλων εντάσεων, εμφανίζεται μεγάλη πτώση τάσης στις ψήκτρες που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές απώλειες. Αποτέλεσμα αυτών είναι ο περιορισμός της χρήσης αυτής της μεθόδου σε γεννήτριες μικρής ισχύος, όπου επιθυμούμε τη μείωση του κόστους.

Αν όμως πρόκειται για γεννήτριες μεγαλύτερης ισχύος, προτιμάτε ο δεύτερος τρόπος τροφοδοσίας του δρομέα, δηλαδή μια διεγερτήρια μηχανή χωρίς ψήκτρες.

Πρόκειται για μικρές γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος που το κύκλωμα διέγερσής τους τροφοδοτείται από το στάτη της κύριας γεννήτριας και το κύκλωμα οπλισμού τοποθετείται στον άξονα του δρομέα. Κατόπιν, χρησιμοποιώντας έναν τριφασικό ανορθωτή, που βρίσκεται πάνω στον άξονα της μηχανής ανορθώνουμε την τριφασική έξοδο της διεγέρτριας και έτσι το συνεχές ρεύμα εξόδου από τον ανορθωτή καταλήγει στο τύλιγμα διέγερσης της σύγχρονης γεννήτριας. Έτσι μπορούμε να μεταβάλλουμε το ρεύμα διέγερσης της σύγχρονης γεννήτριας, αλλάζοντας απλά την ποσότητα του συνεχούς ρεύματος διέγερσης της διεγέρτριας που υπάρχει πάνω στο στάτη.

Αν όμως επιθυμούμε να ανεξαρτητοποιήσουμε εντελώς την τροφοδοσία του δρομέα από εξωτερικές πηγές, μπορούμε να τοποθετήσουμε μια προ-διεγέρτρια μηχανή στο υπάρχον σύστημα. Η μηχανή αυτή είναι όμοια με την προαναφερθείσα διεγέρτρια, με τη διαφορά πως αυτή περιέχει μόνιμους μαγνήτες και τοποθετείται στον άξονα της κύριας γεννήτριας του συστήματος. Η προ-διεγέρτρια τροφοδοτεί τη διέγερση της διεγέρτριας με ανορθωμένη τριφασική τάση. Έτσι η διεγέρτρια τροφοδοτεί τη σύγχρονη γεννήτρια και η τελευταία δεν έχει ανάγκη από εξωτερικές πηγές.

Οι σύγχρονες γεννήτριες ονομάζονται έτσι γιατί οι συχνότητες των τάσεων που παράγουν είναι συγχρονισμένες με την συχνότητα περιστροφής τους. Ο δρομέας αυτών των γεννητριών αποτελείται από έναν ηλεκτρομαγνήτη που το πεδίο του περιστρέφεται με φορά ίδια μ' αυτή του δρομέα. Η παρακάτω εξίσωση περιγράφει τη σχέση ανάμεσα στην ηλεκτρική συχνότητα του στάτη και την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου αλλά και την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής και της ηλεκτρικής της συχνότητας:

$$f_e = \frac{P \cdot n_m}{120}$$

όπου f_e η ηλεκτρική συχνότητα σε Hz, n_m η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου σε r/min και P ο αριθμός των πόλων. Όμως οι γεννήτριες παράγουν συχνότητες 50 ή 60 Hz, οπότε η ταχύτητα περιστροφής τους για καθορισμένο αριθμό πόλων είναι συγκεκριμένη.

Στις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος, για να υπολογίσουμε το πλάτος της τάσης στα άκρα της κάθε φάσης, χρησιμοποιούμε την εξίσωση:

$$E_A = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot N_C \cdot \varphi \cdot f$$

Το πλάτος λοιπόν εξαρτάται από τη μαγνητική ροή φ , από την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής και από κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.

Εκτός από τα χαρακτηριστικά μεγέθη, χρειαζόμαστε και άλλα στοιχεία για τη λειτουργία των σύγχρονων γεννητριών.

Ανάμεσα στην τάση στα άκρα της γεννήτριας (E_A) και στην τάση στα άκρα της μηχανής (V_φ) υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις.

- Η αντίδραση οπλισμού (παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου στο διάκενο της μηχανής που οφείλεται στο ρεύμα του στάτη)
- Οι αυτεπαγωγές των οπλισμών του στάτη
- Οι αντιστάσεις των αγωγών του στάτη
- Το σχήμα των έκτυπων πόλων του δρομέα

Αυτές οι διαφοροποιήσεις είναι άξιες μελέτης, καθώς έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη λειτουργία της μηχανής. Όμως θα ασχοληθούμε μόνο με την αντίδραση οπλισμού, που είναι και η σημαντικότερη οπότε και αναφέρεται πρώτη. Οι επόμενες δύο προκύπτουν από την αντίδραση οπλισμού ενώ η τελευταία έχει να κάνει με άλλο τύπο δρομέα.

Η αντίδραση οπλισμού εμφανίζεται επειδή το τύλιγμα του στάτη παραμορφώνει την τάση στα άκρα της γεννήτριας. Καθώς περιστρέφεται ο δρομέας, παράγεται η τάση E_A σε όλες τις φάσεις του στάτη. Αν όμως συνδέσουμε ένα φορτίο στα δύο άκρα της μηχανής, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να εμφανιστεί ρεύμα στους αγωγούς του στάτη. Από το ρεύμα αυτό θα προκληθεί ένα νέο πεδίο στο εσωτερικό της μηχανής. Επακόλουθα το πεδίο του στάτη επηρεάζει την τάση στα άκρα των φάσεων αλλά και το μαγνητικό πεδίο που προϋπήρχε.

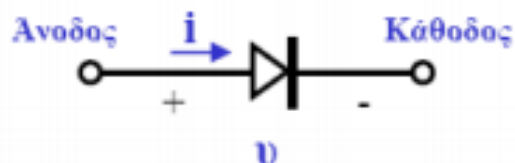
3 Ηλεκτρονικά Ισχύος

Τα τελευταία χρόνια οι ηλεκτρονικές μονάδες οδήγησης (solid-state drive packages) έχουν αναπτυχθεί αρκετά ώστε κάθε πρόβλημα ρύθμισης της ισχύος να επιδέχεται επίλυση. Έτσι, καταφέρνουμε να λειτουργούμε κινητήρες συνεχούς ρεύματος με πηγές εναλλασσόμενης τάσης και το αντίστροφο, ενώ έχουμε τη δυνατότητα να αλλάζουμε τη συχνότητα μιας εναλλασσόμενης πηγής. Στη διάδοση της χρήσης τους συνέβαλε και το γεγονός πως έγιναν πολύ πιο οικονομικές από τα προηγούμενα χρόνια και ταυτόχρονα έγιναν πολύ πιο αξιόπιστες. Οι μονάδες οδήγησης συνέβαλαν και στην εξέλιξη των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος, που μπορούν πλέον να αναλαμβάνουν αυτά που έκαναν μέχρι πρότινος μόνο οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Όμως και οι τελευταίοι επωφελήθηκαν από την ανάπτυξη των μονάδων οδήγησης, καθώς βελτίωσαν την ευελιξία τους. Για να ελέγξουμε τους κινητήρες, χρησιμοποιούμε κάποιους βασικούς τύπους ημιαγωγικών διατάξεων. Κάποιες απ' αυτές είναι:

3.1 Η δίοδος:

Είναι το ημιαγωγικό στοιχείο που σχεδιάστηκε για να άγει μόνο προς μία κατεύθυνση. Όταν εφαρμόζουμε τάση κατά την ορθή φορά, η δίοδος διαρρέεται από μεγάλο ρεύμα. Αν εφαρμόσουμε τάση κατά την αντίθετη φορά, το ρεύμα μπορεί να έχει τιμή μικρότερη από μερικά μA ενώ αν αυξήσουμε την τάση, η δίοδος θα καταρρεύσει επιτρέποντας στο ρεύμα να ρέει αντίστροφα. Για να τις χαρακτηρίσουμε, χρησιμοποιούμε δύο παραμέτρους: α) Το ποσό της ενέργειας που είναι ασφαλές να καταναλώσουν και β) το μέγιστο σημείο που η δίοδος δε θα καταρρεύσει από την ανάστροφη τάση.

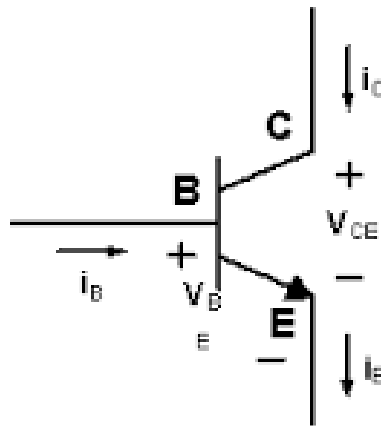
Εικόνα 8: Δίοδος



3.2 Το transistor ισχύος (BJT)

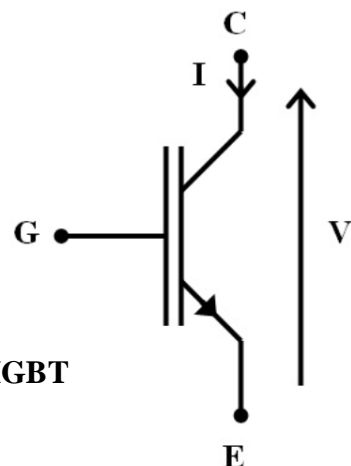
Τα transistors ισχύος χρησιμοποιούνται σε συχνά σε inverters καθώς επίσης και ως διακόπτες στις ηλεκτρικές μηχανές, επιτρέποντας ή σταματώντας το ρεύμα που διαρρέει τη μηχανή. Τα transistors πρέπει να οδηγούνται με μεγάλο ρεύμα βάσης ώστε να υπάρχει πλήρης κορεσμός και να είμαστε σίγουροι πως άγει αλλά δεν καταναλώνει μεγάλη ισχύ.

Εικόνα 9: BJT



3.3 Το διπολικό transistor απομονωμένης πύλης (IGBT):

Συνδυάζει ένα transistor μετάλλου-οξειδίου-ημιαγωγού με επίδραση πεδίου (MOSFET) και ένα transistor ισχύος (BJT). Το IGBT συμπεριφέρεται ως MOSFET στην είσοδο ενώ στην έξοδο ως BJT. Η τάση που εφαρμόζεται στην πύλη του είναι αυτό που ελέγχει το IGBT ενώ η ίδια η πύλη διαρρέεται από μια μικρή ποσότητα ρεύματος που μπορεί να αλλάζει κατάσταση ταχύτερα απ' το BJT. Γι' αυτούς τους λόγους τα IGBT προτιμούνται σε εφαρμογές μεγάλης ισχύος και υψηλής συχνότητας.



Εικόνα 10: IGBT

3.4 Ανορθωτές – Αντιστροφείς

Η στατική μετατροπή συχνότητας αποτελεί μια απ' τις πλέον αναπτυσσόμενες περιοχές των ηλεκτρονικών ισχύος στη σημερινή εποχή. Πρόκειται για τη μετατροπή εναλλασσόμενης ισχύος μιας συχνότητας σε εναλλασσόμενη ισχύ μιας άλλης συχνότητας με τη χρήση ηλεκτρονικών διακοπών. Οι δύο κλασσικές μέθοδοι στατικής μετατροπής συχνότητας εναλλασσόμενου ρεύματος είναι οι κυκλομετατροπείς (cycloconverters) και οι ανορθωτές-αντιστροφείς (rectifiers-inverters).

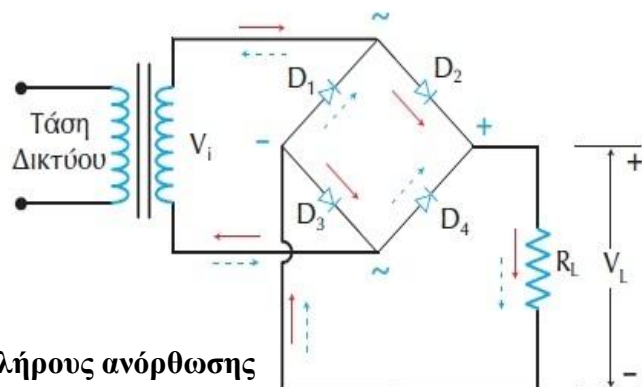
Το ζεύγος ανορθωτή-αντιστροφέα αποτελείται από δύο τμήματα:

- Τον ανορθωτή, που παράγει συνεχή ισχύ
- Τον αντιστροφέα, που μετατρέπει τη συνεχή ισχύ σε εναλλασσόμενη

Πρόκειται για κυκλώματα που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή. Η συνεχής τάση στην έξοδο των ανορθωτών πρέπει με κάποιο τρόπο να εξομαλυνθεί. Γι' αυτό μελετάμε την κυμάτωση. Όσο μικρότερη είναι η κυμάτωση τόσο ομαλότερη είναι και η συνεχής κυματομορφή που παράγεται. Δύο βασικοί τύποι ανορθωτών που θα συναντήσουμε και παρακάτω είναι:

3.5 Γέφυρα πλήρους ανόρθωσης:

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, αποτελείται από τέσσερις διόδους απ' τις οποίες οι δύο άγουν κατά τη θετική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσης περιόδου ενώ οι άλλες δύο κατά την αρνητική. Στην έξοδο της γέφυρας η τάση είναι πιο ομαλή σε σχέση με άλλους ανορθωτές αλλά ακόμα κι εδώ υπάρχουν εναλλασσόμενες συνιστώσες.

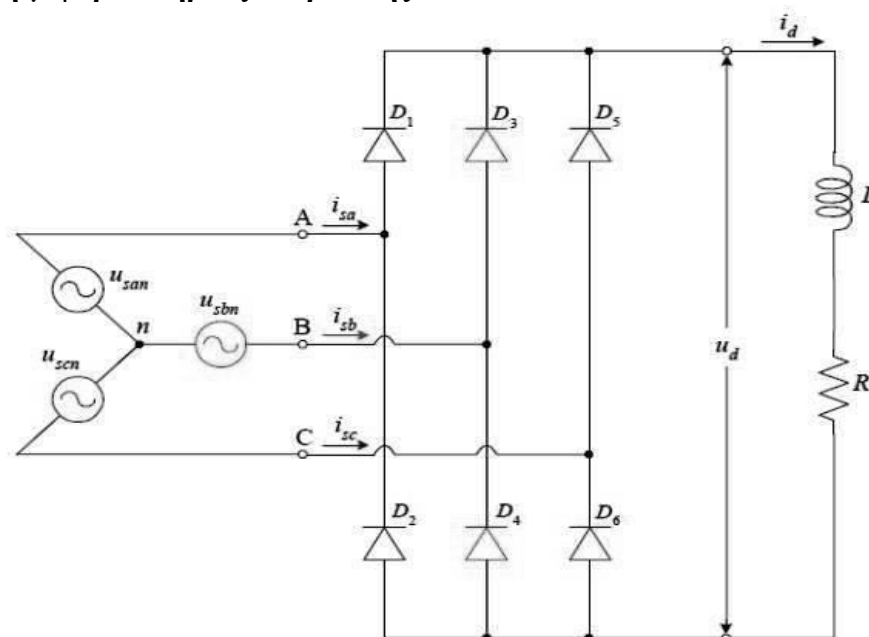


Εικόνα 11: Γέφυρα πλήρους ανόρθωσης

3.6 Τριφασική γέφυρα πλήρους ανόρθωσης:

Πληρέστερος από τον τριφασικό ανορθωτή, ο πλήρης τριφασικός ανορθωτής αναλαμβάνει τη σύνδεση της μεγαλύτερης φάσης με το φορτίο κάθε χρονική στιγμή και επιπλέον, έχει τρεις διόδους προσανατολισμένες έτσι ώστε οι άνοδοι τους να επικοινωνούν με το φορτίο και οι κάθοδοι με την τροφοδοσία. Αυτή η συνδεσμολογία επιτυγχάνει τη σύνδεση της μικρότερης τάσης εισόδου (από τις τρεις) με το φορτίο. Τελικώς, ο τριφασικός ανορθωτής συνδέει τη μεγαλύτερη και τη μικρότερη είσοδο από κάθε τριάδα εισόδων, στα δύο άκρα του φορτίου, καθιστώντας τον την ιδανικότερη επιλογή για την ελάχιστη έξοδο εναλλασσόμενης συχνότητας.

Εικόνα 12: Τριφασική γέφυρα πλήρους ανόρθωσης



Για να ολοκληρωθεί το κύκλωμα, χρειαζόμαστε και έναν αντιστροφέα. Συνηθέστερο παράδειγμα είναι ο αντιστροφέας αυτομετάβασης. Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που το φορτίο δεν είναι σίγουρο πως θα μπορεί να προσφέρει την κατάλληλη αντίστροφη τάση για την πραγματοποίηση της μετάβασης. Πρόκειται για έναν αντιστροφέα όπου όταν ένα SCR αρχίζει να άγει, τα υπόλοιπα ενεργά SCR αποκόπτονται με ενέργεια αποθηκευμένη σ' έναν πυκνωτή. Επίσης είναι δυνατό να σχεδιάσουμε αντιστροφέας αυτομετάβασης χρησιμοποιώντας GTO ή transistor ισχύος, καθώς εκεί δεν είναι αναγκαίοι οι πυκνωτές μετάβασης.

Οι αντιστροφείς αυτομετάβασης υπόκεινται σε τρεις κατηγορίες:

- Αντιστροφείς πηγών ρεύματος (CSI)
- Αντιστροφείς πηγών τάσης (VSI)
- Αντιστροφείς διαμόρφωσης εύρους παλμού (PWM)

Οι δύο πρώτες κατηγορίες είναι αρκετά απλές και η χρήση τους είναι περισσότερο διαδεδομένη κατά καιρούς. Η τελευταία κατηγορία προϋποθέτει την ύπαρξη πολύπλοκων κυκλωμάτων ελέγχου και διακοπτικά στοιχεία ταχύτερης απόκρισης απ' ό,τι των αντιστροφών CSI και VSI.

Στο σύστημα CSI η σύνδεση μεταξύ αντιστροφέα και ανορθωτή γίνεται μέσω ενός πηνίου L_S συνδεδεμένο σε σειρά, του οποίου η αυτεπαγωγή είναι αρκετά μεγάλη ώστε το συνεχές ρεύμα να είναι όσο το δυνατόν σταθερότερο. Και επειδή το ρεύμα I_S αναγκάζεται να παραμένει σταθερό η κυματομορφή του ρεύματος εξόδου των SCR είναι προσεγγιστικά τριγωνική. Στο παρόν σύστημα μπορούμε εύκολα να περιορίσουμε τις υπερεντάσεις, όμως η τάση εξόδου που ανταποκρίνεται στις μεταβολές του φορτίου καλύπτει αναγκαστικά μεγάλο εύρος τιμών.

Στη διάταξη VSI, συνδέουμε τον ανορθωτή και τον αντιστροφέα μέσω ενός πηνίου L_S συνδεδεμένου σε σειρά και ενός πυκνωτή C συνδεδεμένου παράλληλα. Για να παραμένει η τάση V_C ικανοποιητικά σταθερή επιθυμούμε αρκετά μεγάλη χωρητικότητα στον πυκνωτή. Επίσης για τον ίδιο λόγο κυματομορφή εξόδου της τάσης γραμμής στο SCR θα πλησιάζει μια τετραγωνική μορφή ενώ το ρεύμα εξόδου θα έχει τριγωνική κυματομορφή. Στο παρόν κύκλωμα η τάση μεταβάλετε ελάχιστα, σε αντίθεση με τα ρεύματα που κινούνται σε τιμές με μεγάλες διαφορές μεταξύ τους εξαιτίας των μεταβολών του φορτίου, δυσκολεύοντας έτσι την προστασία του κυκλώματος από τις υπερεντάσεις.

Μεταβάλλοντας τους παλμούς έναυσης που εφαρμόζονται στις πύλες των SCR καταφέρνουμε εύκολα να ρυθμίσουμε τις συχνότητες των αντιστροφέων και των δύο παραπάνω ομάδων, ιδιότητα που τους καθιστά ικανούς για τη χρήση ως ρυθμιστές ταχύτητας κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η τρίτη κατηγορία αντιστροφέων αυτομετάβασης καλύπτει μεγαλύτερο έδαφος πληροφοριών. Πρόκειται για μια διαδικασία ρύθμισης του εύρους των παλμών μιας παλμοσειράς σε αναλογία με το πλάτος ενός μικρού σήματος ελέγχου. Δηλαδή το

εύρος των παλμών που παράγονται αυξάνονται, όταν αυξάνεται το πλάτος της τάσης ελέγχου. Αντικαθιστώντας την τάση εξόδου σε ένα κύκλωμα PWM με ένα ημίτονο σε μια συγκεκριμένη συχνότητα μπορούμε να αναπαραγάγουμε μια κυματομορφή ισχύος, όπου η μέση τιμή της τάσης υπόκειται σε ημιτονοειδή μεταβολή και είναι κατάλληλη για να οδηγήσει κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ορισμένα κυκλώματα PWM χρησιμοποιούν IGBT. Στις συγκεκριμένες διατάξεις είναι υποχρεωτικό να υπάρχουν συγκριτές. Δηλαδή, εξαρτήματα που συγκρίνουν την τάση εισόδου με κάποιο σήμα αναφοράς επιτυγχάνοντας τον έλεγχο των IGBT.

Πειραματικά έχει παρατηρηθεί πως όταν σε ένα σύστημα PWM εφαρμόζονται διαφορετικές τάσεις ελέγχου, οι τελευταίες μεταβάλλουν ημιτονοειδώς το εύρος της παραγόμενης παλμοσειράς. Συνεπώς η μέση τάση της κυματομορφής εξόδου σε όλες τις μικρές της περιοχές συμπεριφέρεται αναλογικά με τη μέση τάση του σήματος ελέγχου στο ίδιο σημείο. Η βασική συχνότητα της κυματομορφής εξόδου συμπίπτει με τη συχνότητα τάσης ελέγχου. Παρόλα αυτά, η τάση εξόδου περιέχει κάποιες αρμονικές συνιστώσες που δε σχετίζονται με τις εφαρμογές ελέγχου κινητήρων. Αυτές οι συνιστώσες είναι δυνατό να προκαλέσουν αύξηση της θερμοκρασίας στον κινητήρα που οδηγεί ο αντιστροφείας. Χρησιμοποιώντας έναν κινητήρα ειδικά σχεδιασμένο για τις ανάγκες μας ή υποβιβάζοντας ένα συμβατικό κινητήρα, μπορούμε να αποφύγουμε τα προβλήματα.

Ένας πλήρης τριφασικός αντιστροφείας αποτελείται από τρεις μονοφασικούς αντιστροφείς όπως αυτοί περιγράφηκαν παραπάνω, με τις τάσεις ελέγχου του καθενός να παρουσιάζονται ως ημίτονα με διαφορά φάσης 120° μεταξύ τους. Για να ελέγξουμε τη συχνότητα, απλά μεταβάλλουμε τη συχνότητα της τάσης ελέγχου κατά το δοκούν.

Από τα πειράματα που έχουν διεξαχθεί, είναι επιτακτική η ανάγκη για ταχύτερα διακοπτικά στοιχεία από τους υπάρχοντες αντιστροφείς πηγών ρεύματος και τάσης. Προς το παρόν, τα PWM χρήζουν τη βοήθεια των GTO, IGBT και άλλων διακοπτικών στοιχείων υψηλής συχνότητας, ενώ η τάση ελέγχου των συγκριτών τροφοδοτείται ψηφιακά από έναν επεξεργαστή στη μονάδα ελέγχου του κινητήρα. Επίσης, ο επεξεργαστής μετατρέπει την τάση ελέγχου για να τη δημιουργία διαφορετικών επιπέδων συχνότητας και τάσης.

3.7 Κυκλομετατροπέας

Κλείνοντας το κεφάλαιο για τα ηλεκτρονικά ισχύος θα αναφερθούμε στο δεύτερο τρόπο στατικής μετατροπής συχνότητας εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο κυκλομετατροπέας είναι ένα σύστημα που μετατρέπει απευθείας την εναλλασσόμενη ισχύ μιας συχνότητας σε εναλλασσόμενη ισχύ μιας άλλης συχνότητας. Συγκριτικά με τη διάταξη ανορθωτή-αντιστροφέα, παρατηρούμε πως η χρήση του κυκλομετατροπέα καθιστά αναγκαία την ύπαρξη περισσότερων SCR. Επιπροσθέτως, η συνδεσμολογία στα κυκλώματα έναυσης είναι άκρως περιπλοκότερη από αυτήν του ανορθωτή-αντιστροφέα. Παρά τα μειονεκτήματα τους όμως, οι κυκλομετατροπείς συχνά αποτελούν πιο οικονομική λύση, στο σύνολο της κατασκευής τους, ενώ πληρούν τις προϋποθέσεις να λειτουργούν σε μεγαλύτερη ισχύ.

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας επιτύχαμε την κατασκευή δύο ειδών κυκλομετατροπέων:

- σταθερής συχνότητας
- μεταβλητής συχνότητας

Στην 1^η κατηγορία είναι τα συστήματα που παρέχουν ισχύ μιας συχνότητας, προερχόμενη όμως από πηγή διαφορετικής συχνότητας. Η 2^η κατηγορία, περιλαμβάνει τα συστήματα εκείνα που παράγουν μεταβλητή τάση και συχνότητα από πηγές συνεχούς τάσης και συχνότητας. Μια συνήθης εφαρμογή των τελευταίων είναι οι μονάδες οδήγησης επαγωγικών κινητήρων.

Εντρυφώντας στα επί μέρους κομμάτια του κυκλομετατροπέα, μπορούμε να παρατηρήσουμε την πολυπλοκότητα της κατασκευής. Παρόλα αυτά, στο σύνολο της, αυτή η διάταξη διέπεται από μια αρκετά απλοϊκή βασική ιδέα λειτουργίας. Ξεκινώντας από την είσοδο του, έχουμε μια τριφασική πηγή αποτελούμενη από τρεις τάσεις ίσες σε πλάτος και με διαφορά φάσης 120° μεταξύ τους, όταν στην έξοδο επιθυμούμε κάποια συγκεκριμένη κυματομορφή, συνηθέστερα ένα ημίτονο διαφορετικής συχνότητας. Επιλέγοντας ένα συνδυασμό των τριών φάσεων της εισόδου, που σε κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι πιο κοντά στην τάση εξόδου που επιζητούμε, ο κυκλομετατροπέας παράγει την επιθυμητή κυματομορφή.

4 Συνδέσεις

Αφού είδαμε τα εξαρτήματα που αποτελούν τις γεννήτριες που θα χρησιμοποιήσουμε καθώς και τα ηλεκτρονικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σ' αυτές και στα υπόλοιπα μέρη του δικτύου που κατασκευάσαμε, πρέπει να ξέρουμε πως θα συνδέσουμε τις γεννήτριες μεταξύ τους αλλά και πως θα μεταφέρουμε την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στους σταθμούς διαμοιρασμού.

4.1 Διασύνδεση γεννητριών

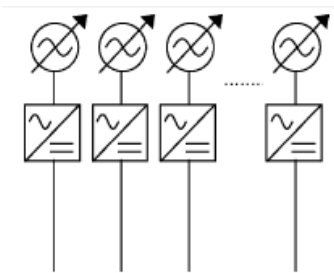
Η διασύνδεση των γεννητριών ξεκινάει από τον παραλληλισμό τους. Οι γεννήτριες συνδέονται παράλληλα αλλά για να γίνει αυτή η σύνδεση πρέπει να ακολουθηθεί μια διαδικασία στην οποία η προς παραλληλισμό γεννήτρια συνδέεται με μια άλλη. Η διαδικασία αυτή αποτελείται από τέσσερις ελέγχους που πρέπει να ισχύουν για να γίνει η σύνδεση με ασφάλεια:

- Οι δύο γεννήτριες πρέπει να έχουν ίσες τις ενεργές τιμές των πολικών τους τάσεων.
- Πρέπει να έχουν ίδια σειρά διαδοχής στις φάσεις τους.
- Στις φάσεις α και α' πρέπει να έχουμε ίσες φάσεις των τάσεων.
- Η γεννήτρια που πρόκειται να παραλληλιστεί, οφείλουμε να έχει ελαφρώς μεγαλύτερη συχνότητα από αυτήν στην οποία την παραλληλίζουμε.

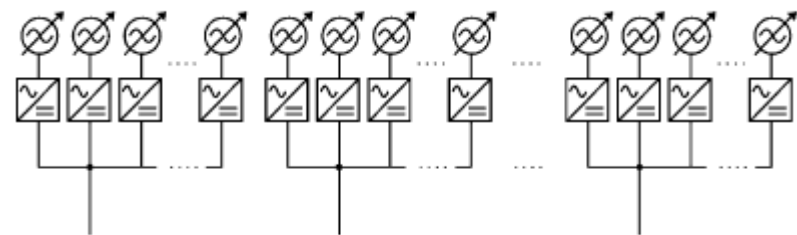
Αφού σιγουρευτούμε πως οι δύο (ή περισσότερες) γεννήτριες πληρούν όλες τις προϋποθέσεις και παραλληλιστούν, πρέπει με κάποιο τρόπο να μεταφέρουμε την παραγόμενη ενέργεια στο κεντρικό δίκτυο. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι οι οποίοι μπορούν να συνδυαστούν και να αναπτυχθούν, παρέχοντας μας το επιθυμητό αποτέλεσμα για την εκάστοτε περίπτωση. Ο α) τρόπος είναι κάθε γεννήτρια να

συνδέεται ατομικά με την ξηρά ενώ ο β) είναι να υπάρχει παράλληλη σύνδεση μεταξύ τους και μετά ένα συγκεντρωτικό καλώδιο να φτάνει ως το δίκτυο.

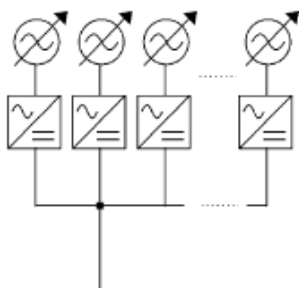
Συνδυάζοντας αυτά τα δύο έχουμε τον γ) τρόπο, όπου οι γεννήτριες συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους κατά ομάδες και μετά η κάθε ομάδα έχει δικό της ξεχωριστό καλώδιο ενώ ο δ) επιτυγχάνεται όταν τα καλώδια της κάθε ομάδας συνδέονται κι αυτά παράλληλα με τη σειρά τους ώστε να υπάρχει μόνο ένα τελικό που συνδέει το πλήθος με το δίκτυο.



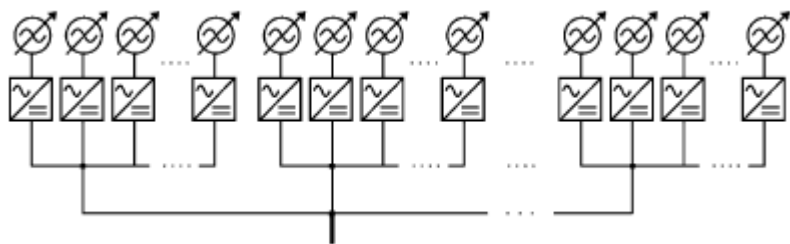
Εικόνα 14α:
Ατομική σύνδεση



Εικόνα 13β: Παράλληλη σύνδεση και επιμέρους ομαδοποίηση



Εικόνα 16:
Παράλληλη σύνδεση



Εικόνα 15: Παράλληλη σύνδεση και ολική ομαδοποίηση

4.2 Υποβρύχια καλώδια

Για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από το ηπειρωτικό τμήμα μιας χώρας στα νησιά της ή σε κατοικημένα σημεία γης μέσα σε ποτάμια ή λίμνες, όπου δεν γίνεται παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιούνται υποβρύχια καλώδια.

Για τη χερσαία μεταφορά του ρεύματος, πιο συνηθισμένη είναι η χρήση καλωδίων που μεταφέρουν εναλλασσόμενο ρεύμα καθώς είναι ευκολότερη η αύξηση (ή μείωση) της τάσης του μεταφερόμενου ρεύματος από μετασχηματιστές. Αυτό έχει ως επακόλουθο τη μείωση των απωλειών οι οποίες είναι ανάλογες με το τετράγωνο της έντασης του ρεύματος. Αυξάνοντας την τάση, η ένταση μειώνεται αρκετά άρα και οι απώλειες. Όσον αφορά το συνεχές ρεύμα, η αύξηση (ή μείωση) της τάσης είναι πιο πολύπλοκη και δαπανηρή, οπότε και δεν προτιμάται στη σύγχρονη εποχή.

Παρόλα αυτά, στις υποβρύχιες μεταφορές, τα καλώδια που μεταφέρουν συνεχές ρεύμα χρησιμοποιούνται πιο συχνά. Καθώς τα καλώδια που μεταφέρουν εναλλασσόμενο ρεύμα σχεδιάζονται έτσι ώστε να μπορούν να διαχειρίζονται την ημιτονοειδή τάση του εναλλασσομένου, η ενεργός τάση που μπορούν να μεταφέρουν είναι μόνο το 0.7 της μεταφερόμενης. Στα καλώδια του συνεχούς ρεύματος, η ενεργός τάση φτάνει τις 1.4 φορές περισσότερο από αυτά του εναλλασσόμενου ρεύματος. Συνοψίζοντας, για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας τόσο στην ξηρά όσο και υποβρυχίως, προτιμώνται τα καλώδια μεταφοράς συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC).

Για τα αιολικά πάρκα στην ανοιχτή θάλασσα, χρησιμοποιούνται κυρίως συστήματα μεταφοράς εναλλασσόμενου τριφασικού ρεύματος που κατασκευάζονται από καλώδια με τρεις πυρήνες στα οποία και οι τρεις μονωμένοι αγωγοί τοποθετούνται σε ένα υποβρύχιο καλώδιο, όταν έχουμε μικρές διαδρομές, ενώ στις μεγαλύτερες χρησιμοποιούμε συστήματα κατασκευασμένα από τρία καλώδια ενός πυρήνα που μονώνονται ξεχωριστά σχηματίζοντας μια τριάδα υποβρυχίων καλωδίων όπου κάθε ένα μεταφέρει μία φάση του τριφασικού ρεύματος. Στο τελευταίο σύστημα χρησιμοποιείται και ένα τέταρτο καλώδιο το οποίο δε μεταφέρει ρεύμα αλλά υπάρχει σαν εφεδρικό στην περίπτωση που ένα από τα τρία παρουσιάσει κάποιο πρόβλημα. Χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο διακόπτη ανάμεσα στα τέσσερα καλώδια, το τέταρτο μπορεί να πάρει τη θέση οποιουδήποτε υποστεί βλάβη.



Εικόνα 15: Μονό καλώδιο



Εικόνα 16: Τριπλό καλώδιο

Ανάμεσα στα υποβρύχια καλώδια που χρησιμοποιούνται σήμερα, είναι και τα εξής:

Περιοχές που συνδέονται	Μεταφερόμενη τάση [kV]
Ισπανία – Μαρόκο, μέσω του Στενού του Γιβραλτάρ	400
Ιταλία – Σικελία	380
Σουηδία – νήσος Μπόρνχολμ (Δανία)	60
Βρετανική Κολομβία – νήσος Βανκούβερ (Καναδάς)	525
Αγγλία – νήσος του Μαν	90

Αυτές οι συνδέσεις, έχουν γίνει με καλώδια μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος. Όμως υπάρχουν και συνδέσεις όπου προτιμήθηκε η μεταφορά συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης (HVDC):

Περιοχές που συνδέονται	Μεταφερόμενη τάση
-------------------------	-------------------

	[kV]
Πολιτεία της Βικτώρια – Τασμανία (Αυστραλία)	500
Ολλανδία – Μεγάλη Βρετανία	450
Εσθονία (βόρεια) – Φινλανδία (νότια)	330
Eemshaven (Ολλανδία) – Fedra (Νορβηγία)	450

Επίσης, υπάρχουν προτάσεις και για άλλες μεγάλες και μικρότερες διασυνδέσεις χωρών (και ηπείρων):

- Ευρασιατική Διασύνδεση, θα συνδέει σταθμούς παραγωγής από το Ισραήλ με την Κύπρο και την Ελλάδα
- Μόντρεαλ – Νέα Υόρκη, ξεκινώντας από τα νότια του Μόντρεαλ, διασχίζοντας τη λίμνη Champlain (Σαμπλαίν) και ακολουθώντας τον ποταμό Hudson (Χάντσον) έως την πόλη της Νέας Υόρκης (συνολική διαδρομή: 640χλμ).
- Ινδία – Σρι Λάνκα, μια μεταφορά 400 kV με καλώδια HVDC
- Ατλαντική Αιολική Σύνδεση, ανάμεσα στο Delaware και το New Jersey (ΗΠΑ) που θα ενώνει το ηπειρωτικό κομμάτι της χώρας με τα αιολικά πάρκα στα ανοιχτά του Ατλαντικού.
- Σύνδεση Νορβηγίας και Γερμανίας, έως το 2018, που θα μπορεί να μεταφέρει 1.400 MW ανάμεσα στις δύο χώρες.

Κλείνοντας, βλέπουμε τους τέσσερις συνηθέστερους τρόπους με τους οποίους συνδέουμε υπεράκτια αιολικά πάρκα με την ξηρά:

- Στον 1^ο τρόπο, συνδέουμε το πλήθος των γεννητριών μεταξύ τους με γραμμές συνεχούς τάσης και κατόπιν ένα καλώδιο τις ενώνει με την ξηρά. Εκεί, ένας ανορθωτής αλλάζει την τάση σε εναλλασσόμενη των 50 έως 60 Hz και τη διοχετεύει στο δίκτυο. Τέλος, ένας μετασχηματιστής διορθώνει τυχόν αυξομειώσεις στην εισερχόμενη τάση για την προστασία του δικτύου.
- Ο 2^{ος} τρόπος μοιάζει αρκετά με τον πρώτο, με τη διαφορά πως ο ανορθωτής εδώ είναι υπεράκτιος. Εδώ η προστασία και η συντήρηση του ανορθωτή είναι πιο απαιτητική, καθώς εξαρτάται και από τις καιρικές συνθήκες, ενώ πρέπει να επιλεγθεί αν θα βρίσκεται στον πυθμένα ή στην επιφάνεια της θάλασσας σε ειδικά διαμορφωμένη πλατφόρμα. Ωστόσο, αυτή η διάταξη δεν απαιτεί την ύπαρξη μετασχηματιστή και συνδέεται απευθείας στο δίκτυο.

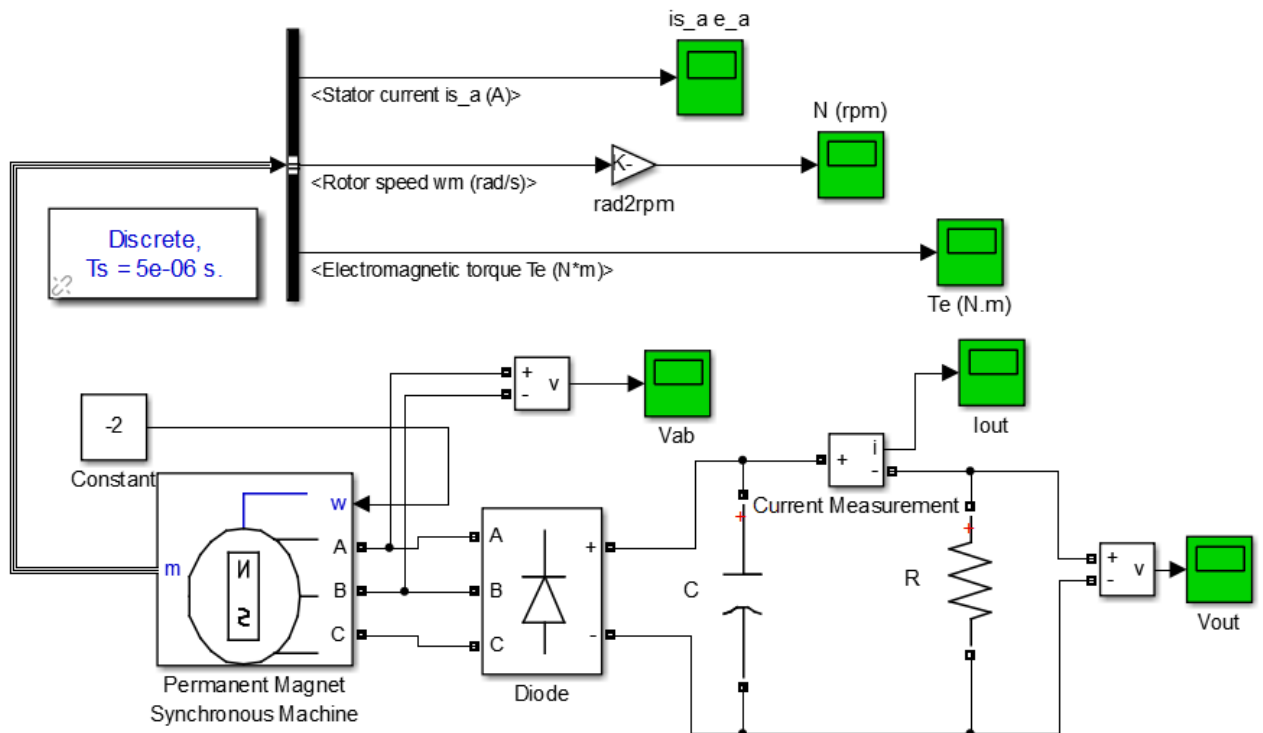
- Στον 3^ο τρόπο διασύνδεσης, και ο μετασχηματιστής έχει μεταφερθεί υπεράκτια, αντιμετωπίζοντας τα ίδια προβλήματα με το 2^ο τρόπο, όμως εδώ οι απώλειες είναι κατά πολύ λιγότερες, καθώς η τάση αυξάνεται σημαντικά και η ένταση μειώνεται.
- Στον 4^ο και τελευταίο τρόπο, η διαφορά είναι πως χρησιμοποιούμε καλώδια HVDC ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες μεταφοράς, χωρίς βέβαια να μπορούμε να αποφύγουμε τις απώλειες των εξαρτημάτων.

2^ο Μέρος:

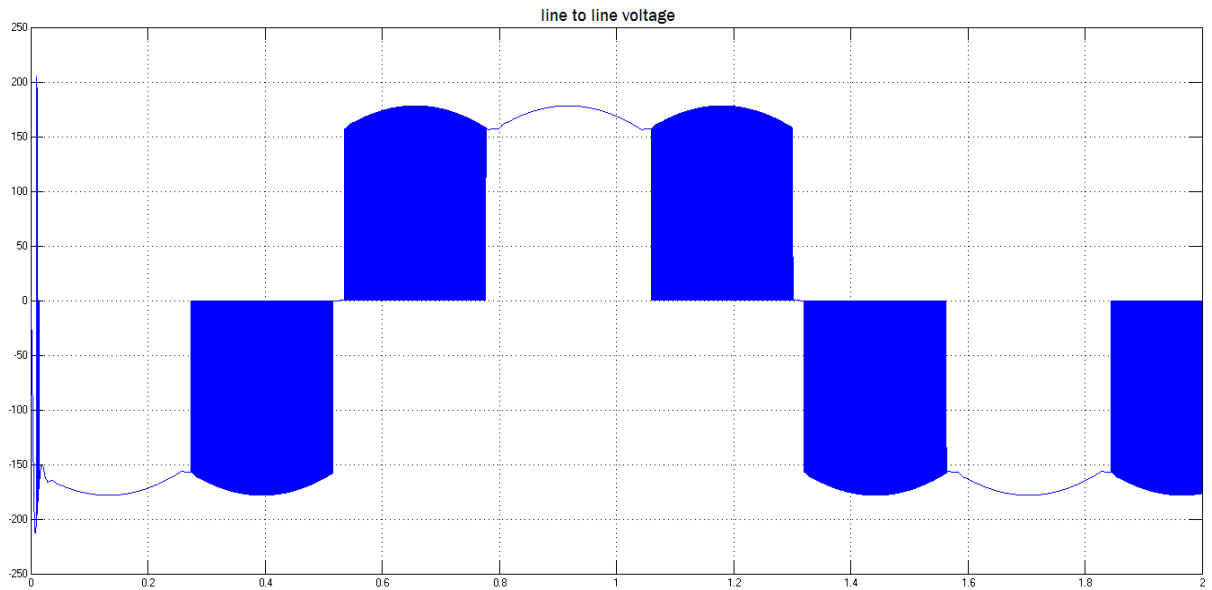
**Πειραματικός σχεδιασμός
στο πρόγραμμα MatLab
και παρατηρήσεις έρευνας**

5 Προσομοίωση-Αποτελέσματα

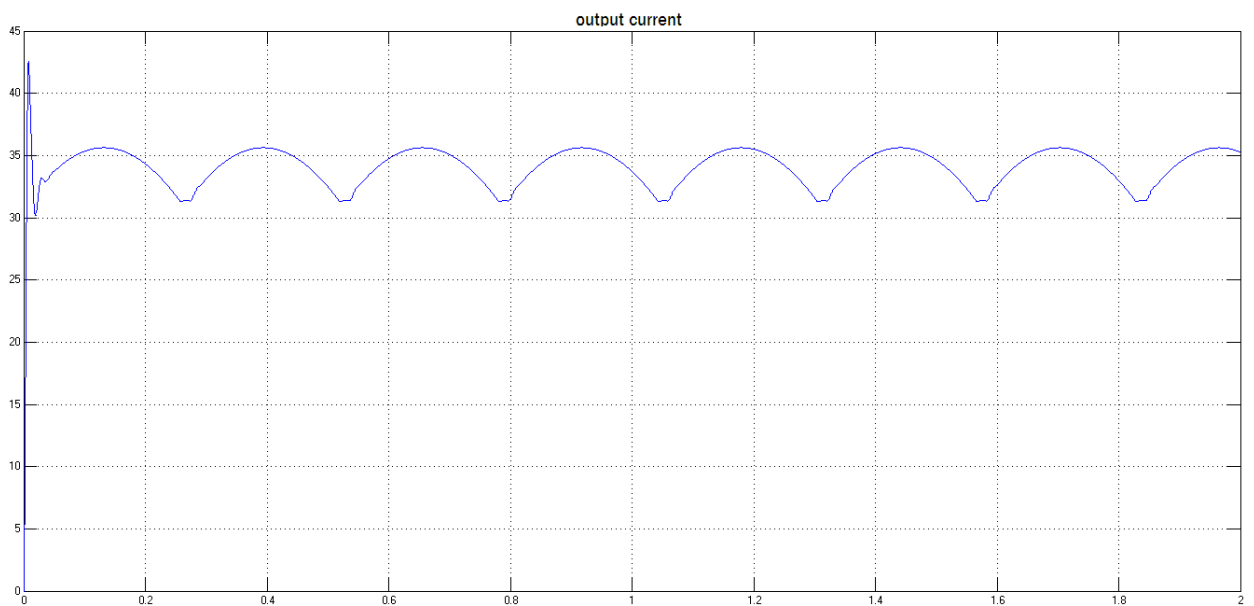
5.1 Το κύκλωμα της γεννήτριας



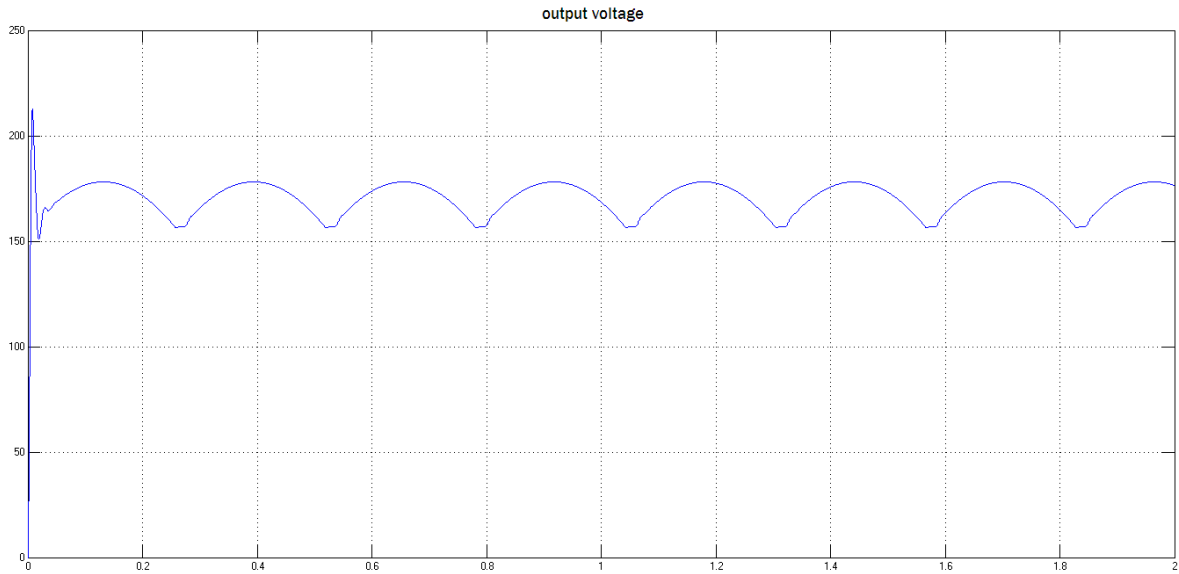
Εδώ παρουσιάζεται το βασικό κύκλωμα που βρίσκεται στο εσωτερικό μιας ανεμογεννήτριας μαζί με κάποια επιπλέον στοιχεία που προστέθηκαν για να μπορέσουμε να δούμε τα αποτελέσματα από τα επιμέρους στοιχεία της. Τα αποτελέσματα από τα πολύμετρα που έχουμε τοποθετήσει παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.



Η πρώτη γραφική παράσταση παρουσιάζει την τάση μεταξύ της 1^{ης} και της 2^{ης} φάσης της γεννήτριας. Το βολτόμετρο έχει τοποθετηθεί ανάμεσα στην έξοδο της ηλεκτρογεννήτριας και πριν από το κύκλωμα ανόρθωσης με διόδους.

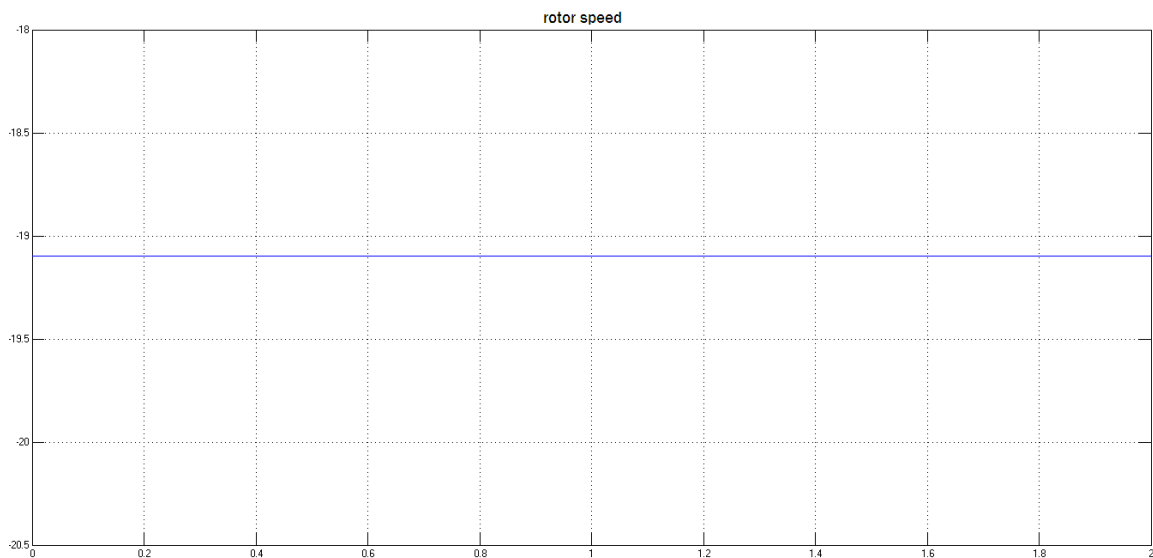


Στο δεύτερο διάγραμμα, παρουσιάζεται το ρεύμα εξόδου από ένα αμπερόμετρο συνδεδεμένο στο κύκλωμα κατανάλωσης. Στην αρχή παρουσιάζεται το φαινόμενο της εμφάνισης υπέρ-ρεύματος το οποίο και γρήγορα σταθεροποιείται.



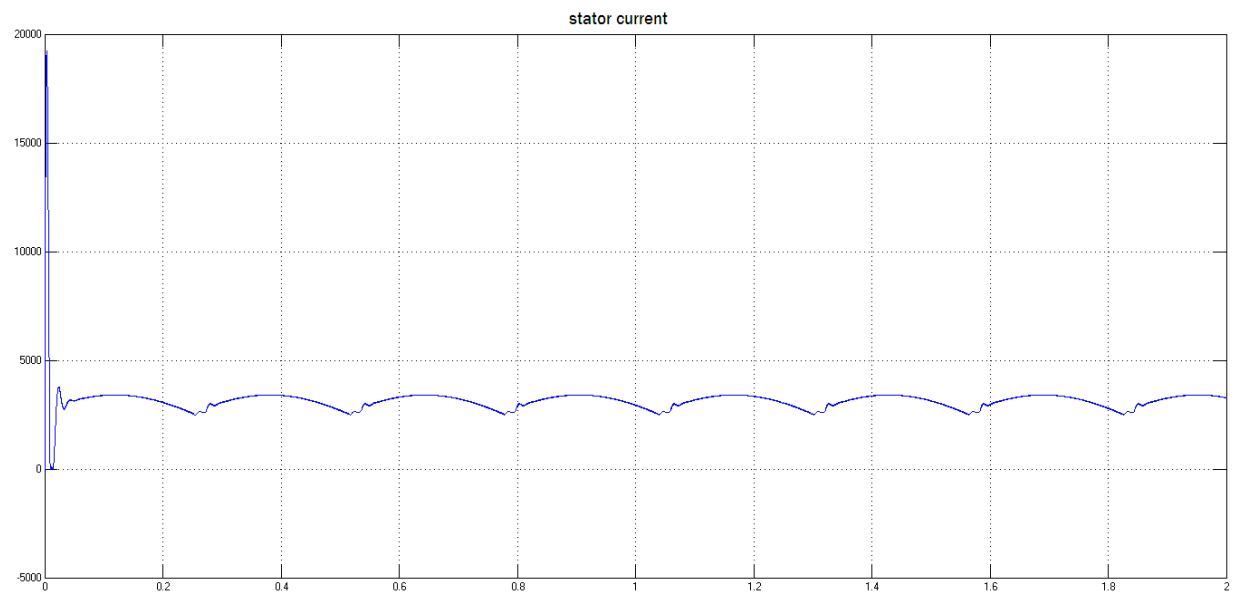
Σ' αυτό το διάγραμμα φαίνεται η τάση εξόδου της γεννήτριας όπως μετρήθηκε στα άκρα του κυκλώματος κατανάλωσης.

Όπως και στα προηγούμενα διαγράμματα, έτσι κι εδώ η παράσταση σταθεροποιείται λίγο μετά την έναρξη της γεννήτριας.



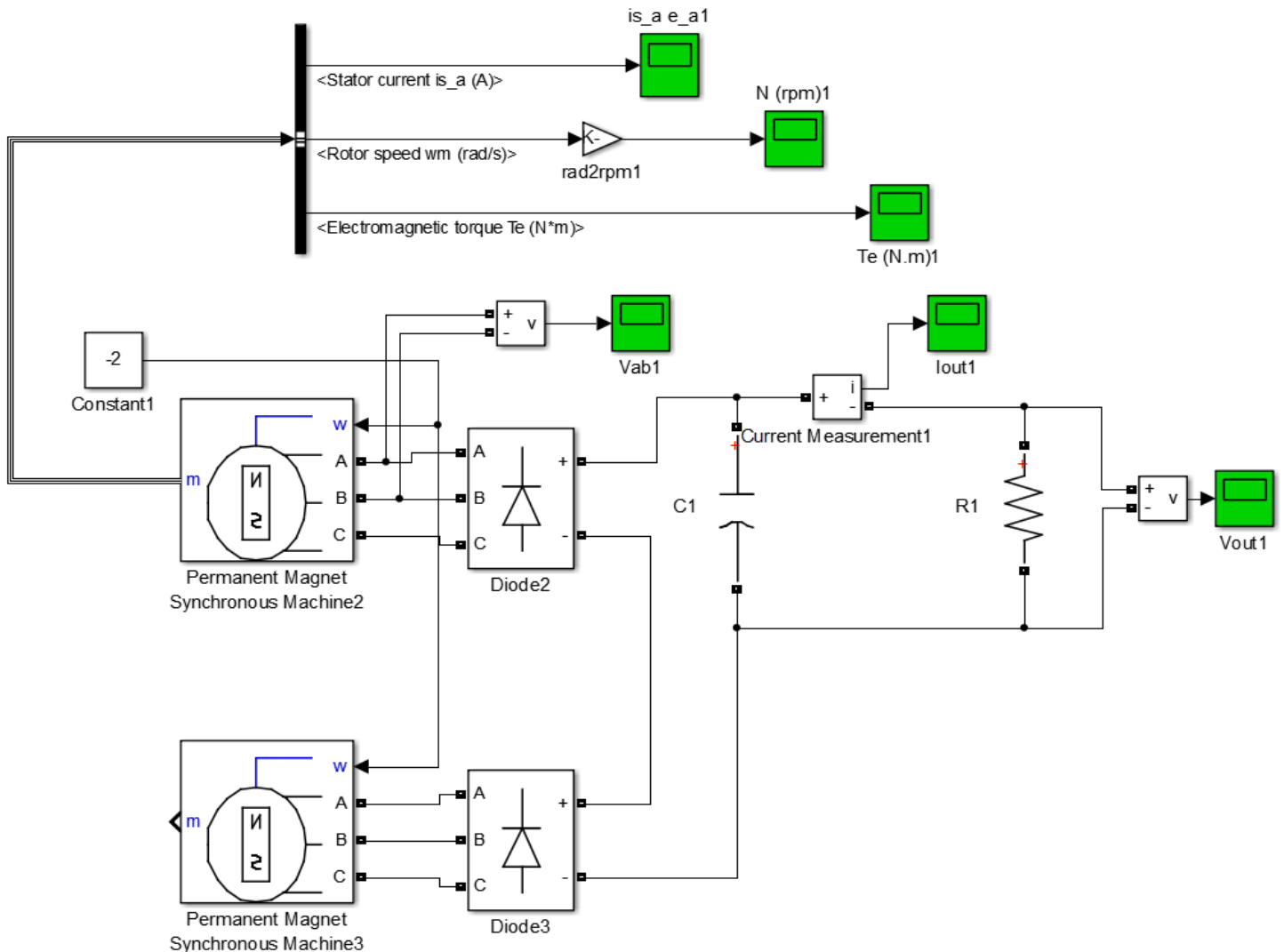
Εδώ παρατηρούμε την ταχύτητα του ρότορα. Η διαφορά με τις υπόλοιπες χαρακτηριστικές είναι στην αρχή της παράστασης. Οι στροφές είναι σταθερές ακόμα και στην έναρξη, πράγμα αναμενόμενο, και παραμένουν σταθερές σε όλη τη διάρκεια. Αυτό που παρατηρούμε είναι πως η γραφική παράσταση βρίσκεται στα

αρνητικά. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι γιατί η γεννήτρια περιστρέφεται με αντίθετη φορά για να λειτουργεί ως γεννήτρια και όχι ως κινητήρας.

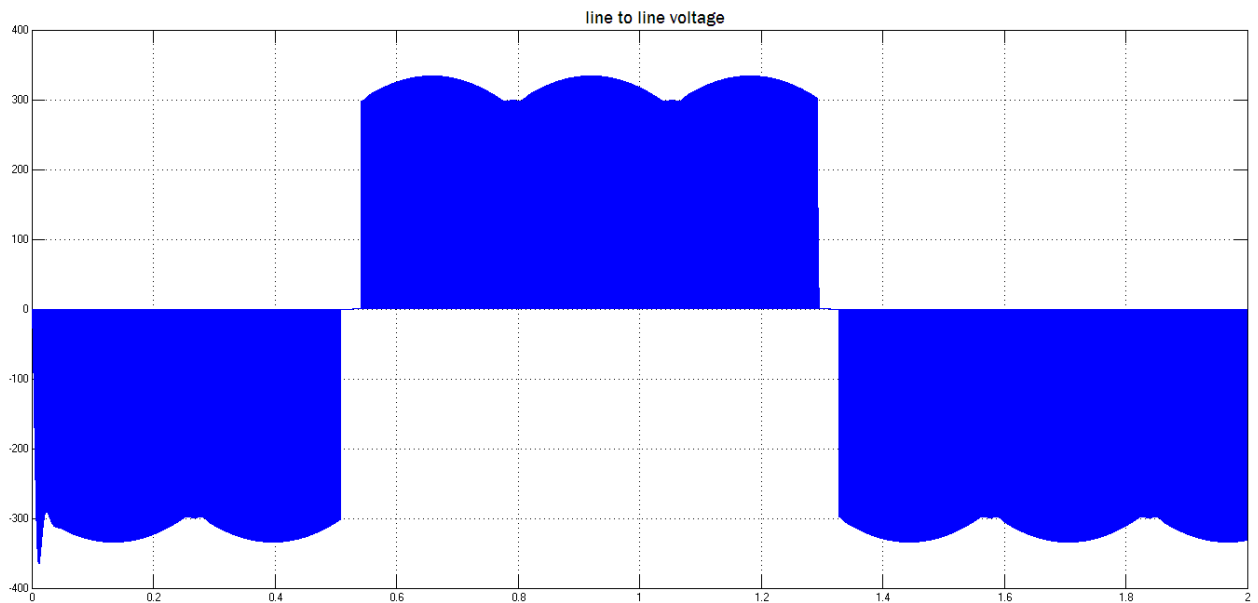


Στην τελευταία γραφική παράσταση έχουμε το ρεύμα του στάτορα. Δηλαδή το ρεύμα που δημιουργεί το πεδίο μέσα στο οποίο περιστρέφεται ο ρότορας. Αυτό που παρατηρούμε και εδώ είναι πως το ρεύμα κάνει μια ανωμαλία στην έναρξη της μηχανής και λίγο μετά σταθεροποιείται στην τιμή που θα έχει σε όλη την υπόλοιπη λειτουργία της.

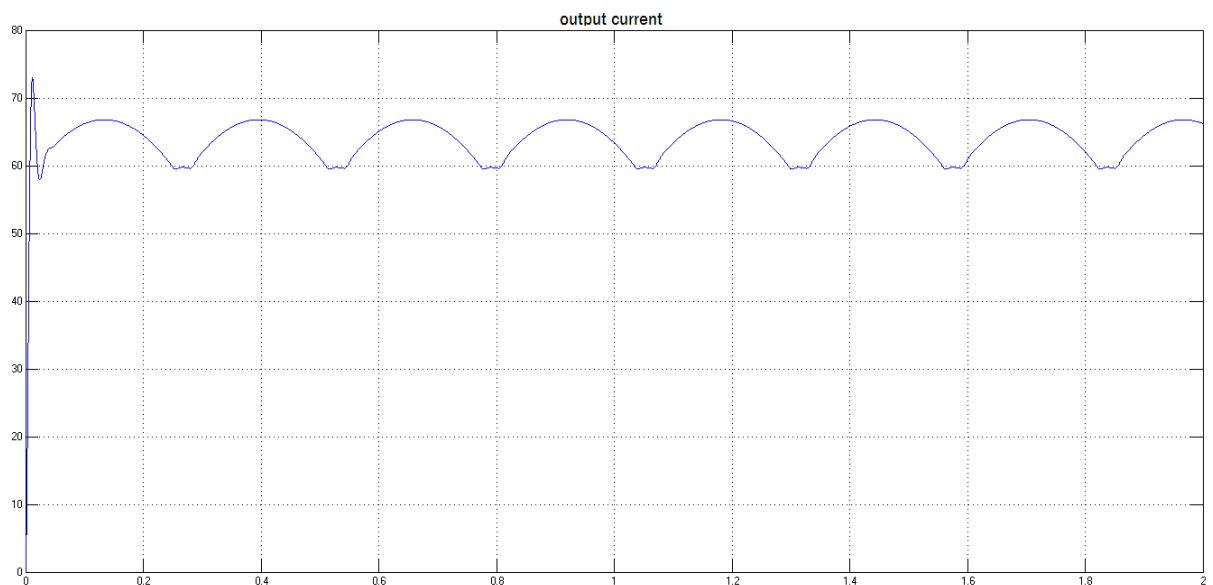
5.2 Σύνδεση γεννητριών σε σειρά



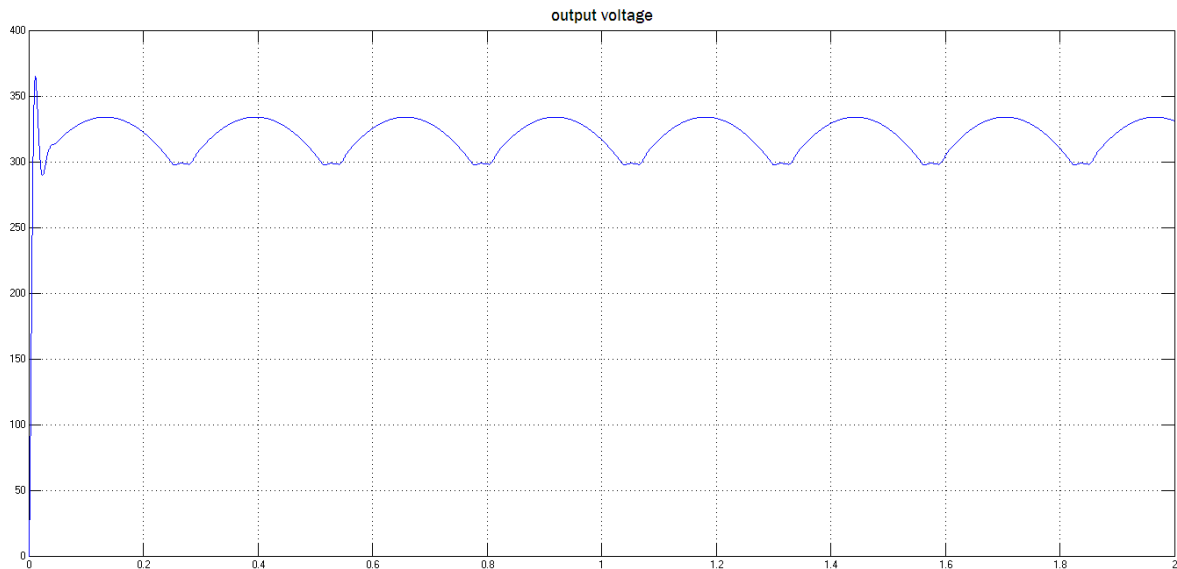
Σ' αυτό το σχεδιάγραμμα παρουσιάζονται δύο σύγχρονες γεννήτριες συνδεδεμένες σε σειρά. Η σύνδεση των γεννητριών, όπως έχει αναφερθεί καινωρίτερα, είναι επιτακτική αν θέλουμε να πετύχουμε κάποια συγκεκριμένη τάση. Παραδείγματος χάριν, μπορεί να χρειαζόμαστε μια τάση 300Volt τη στιγμή που μια μεμονωμένη γεννήτρια παράγει μόλις 200V. Έτσι συνδέουμε δύο γεννήτριες σε σειρά ($200+200=400$ Volts) και με τα κατάλληλα ηλεκτρονικά στοιχεία υποβιβάζουμε την τάση στο επιθυμητό. Παρακάτω βλέπουμε τις γραφικές παραστάσεις που προκύπτουν απ' τη σύνδεση των δύο γεννητριών σε σειρά.



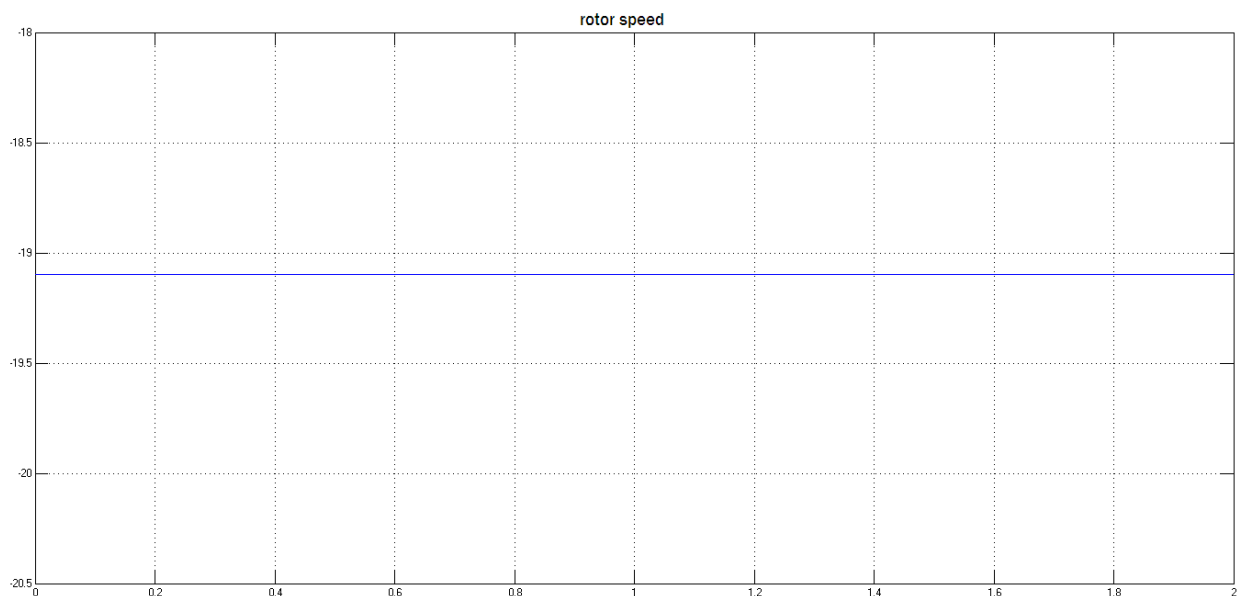
Όπως και πριν, η πρώτη γραφική παράσταση είναι για την τριφασική τάση της γεννήτριας. Κι εδώ το βολτόμετρο είναι τοποθετημένο ανάμεσα στη γεννήτρια και τη γέφυρα διόδου αλλά επειδή είναι συνδεδεμένες οι δύο γεννήτριες το αποτέλεσμα είναι μια γραφική παράσταση σε εύρος διπλάσιο της προηγούμενης. Και πάλι, η αρχή της παράστασης είναι το σημείο στο οποίο η παράσταση δεν είναι σταθερή λόγω του ξεκινήματος των γεννητριών. Λίγο μετά παρατηρούμε τη σταθεροποίηση της.



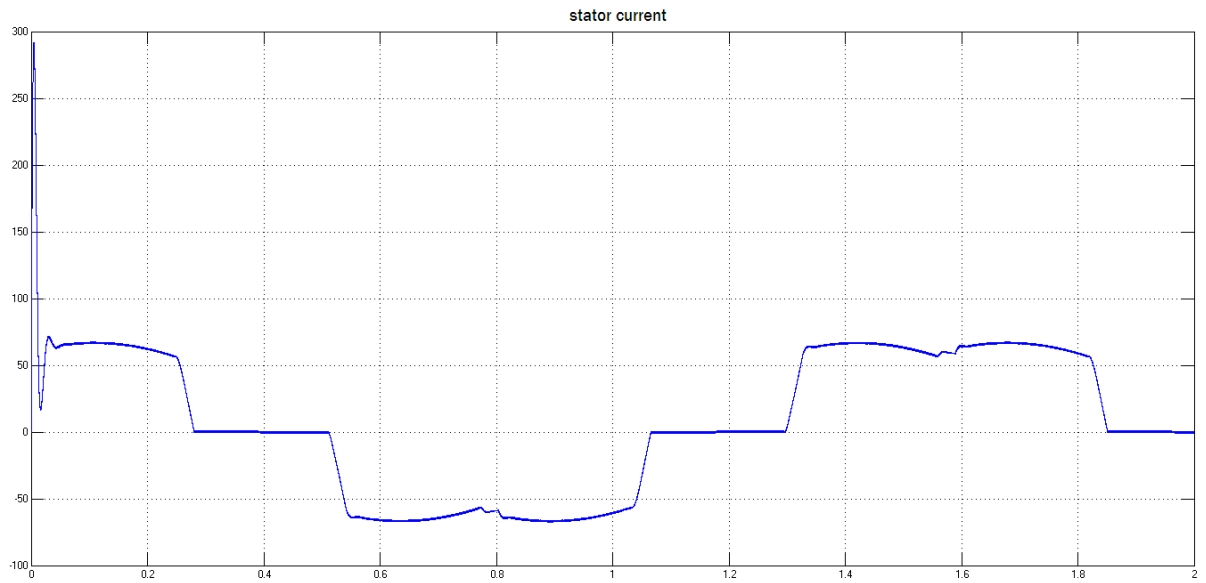
Το δεύτερο διάγραμμα είναι για το ρεύμα εξόδου και όπως και πριν έχει μετρηθεί στο κύκλωμα κατανάλωσης. Και εδώ, λόγω της έναρξης των γεννητριών υπάρχει μια διαφοροποίηση η οποία καταλήγει σε σταθεροποίηση. Παρατηρώντας το διάγραμμα βλέπουμε πως το ρεύμα έχει σχεδόν διπλασιαστεί.



Το τρίτο διάγραμμα παρουσιάζει την τάση εξόδου των δύο γεννητριών όπως αυτή μετρήθηκε στα άκρα του κυκλώματος κατανάλωσης. Παρατηρούμε και εδώ την αρχική ανωμαλία στην έναρξη της γεννήτριας ενώ ακολουθεί η ισορροπία. Και εδώ βλέπουμε την τάση να έχει διπλασιαστεί ως φυσικό επακόλουθο της σύνδεσης των δύο γεννητριών.

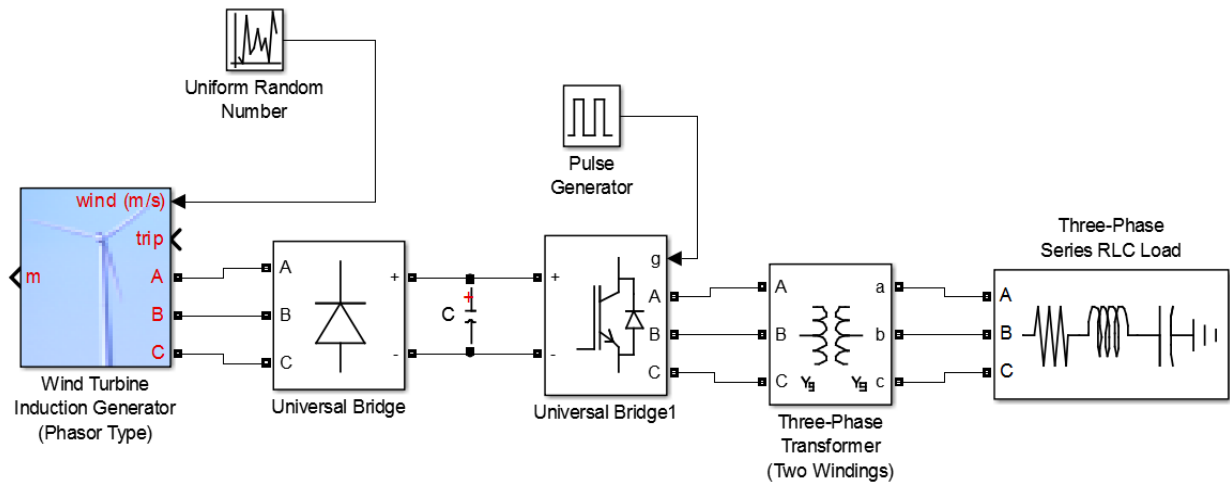


Το επόμενο διάγραμμα παρουσιάζει την ταχύτητα του ρότορα. Δηλαδή τις στροφές με τις οποίες περιστρέφεται. Παρόλο που έχουμε δύο συνδεδεμένες γεννήτριες, η ταχύτητα είναι ίσως το μοναδικό χαρακτηριστικό που δεν επηρεάζεται. Η κάθε γεννήτρια περιστρέφεται με τη δική της ταχύτητα.



Η τελευταία γραφική παράσταση παρουσιάζει το ρεύμα που διαρρέει το στάτορα. Παρόλο που στα προηγούμενα διαγράμματα παρατηρούμε μια αύξηση (σχεδόν διπλασιασμό) των τιμών στις οποίες κινούνται οι παραστάσεις, εδώ παρατηρούμε μια μείωση. Ενώ η πρώτη γραφική παράσταση βρίσκεται λίγο κάτω απ' τα 5000 A, οι συνδεδεμένες γεννήτριες έχουν μια μεγάλη πτώση, σταθεροποιημένες στις τιμές ανάμεσα στα 50 και -50 A.

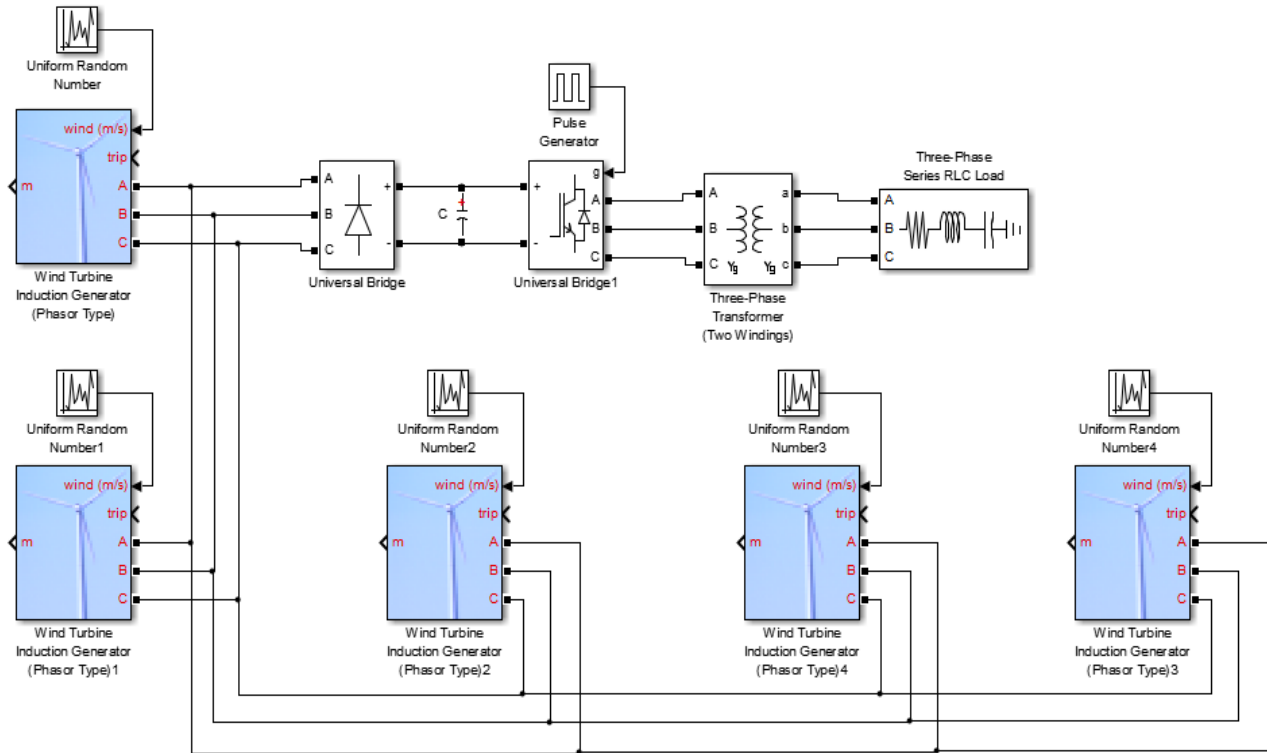
5.3 Σύνδεση μονάδας με το δίκτυο



Εδώ βλέπουμε το βασικό κύκλωμα που συνδέει την ανεμογεννήτρια με το εθνικό δίκτυο. Όλα ξεκινούν από την ανεμογεννήτρια που κινείται από τον άνεμο. Το πρόβλημα είναι πως ο άνεμος δεν είναι ποτέ σταθερός με αποτέλεσμα η τάση που παράγεται να μην είναι κι αυτή σταθερή. Έτσι το πρώτο στάδιο μετά την ανεμογεννήτρια είναι μια γέφυρα διόδων που θα μετατρέψει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Επειδή όμως το ρεύμα στο δίκτυο είναι εναλλασσόμενο, το συνεχές ρεύμα πρέπει να αλλάξει και πάλι, αυτή τη φορά με ένα αντιστροφέα από IGBTs. Ανάμεσα στα δύο ηλεκτρονικά ισχύος, παρεμβάλετε ένας πυκνωτής που θα τροφοδοτεί το IGBTσταθερά ώστε να μην υπάρχουν αυξομειώσεις στην τάση. Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο γίνεται με τη βοήθεια μιας γεννήτριας παλμών. Το τελευταίο στάδιο πριν το δίκτυο κατανάλωσης είναι ένας τριφασικός μετασχηματιστής που αυξάνει την τάση στην επιθυμητή τιμή που απαιτείται από το δίκτυο μεταφοράς.

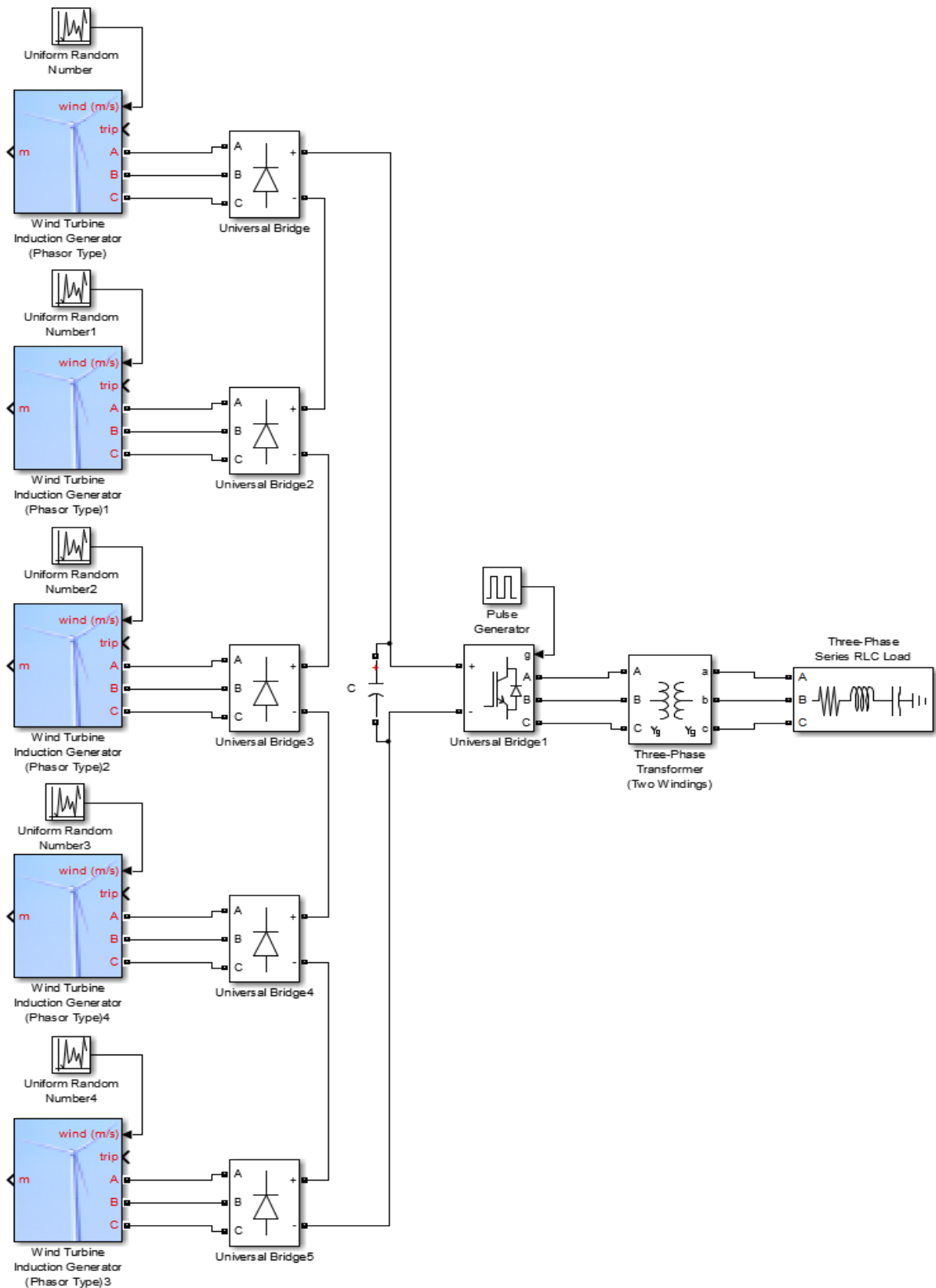
6 Συνδεσμολογίες

6.1 Σύνδεση πριν τη δίοδο



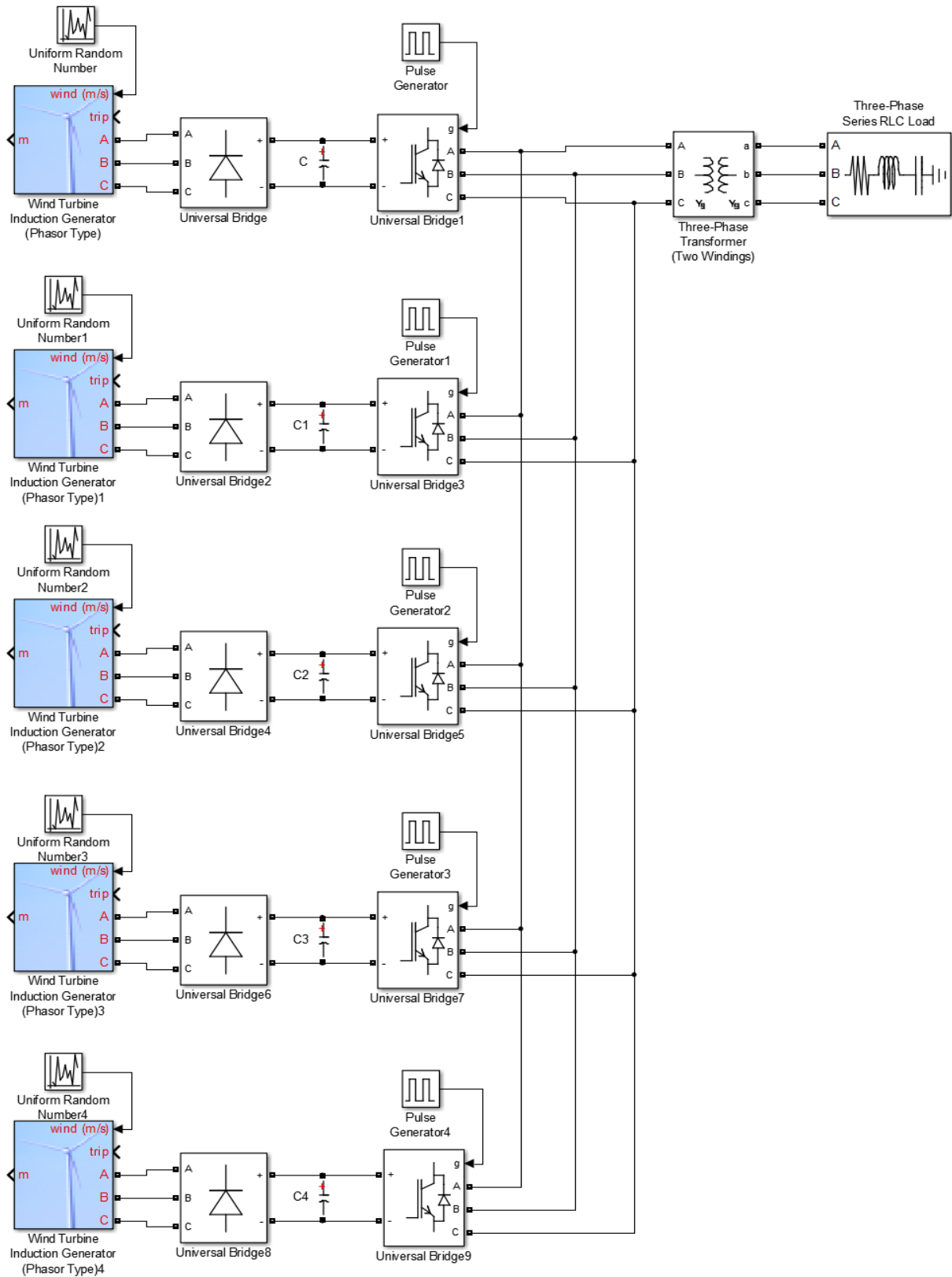
Όπως παρατηρούμε η βασική συνδεσμολογία παραμένει η ίδια. Ένα πολύ βασικό στοιχείο είναι το ότι η κάθε ανεμογεννήτρια είναι συνδεδεμένη με τη δική της “γεννήτρια” τυχαίων αριθμών. Αυτό γίνεται γιατί ο άνεμος δεν είναι ίδιος σε όλες τις διευθύνσεις του οπότε ακόμα και η μικρή απόσταση ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες παίζει κάποιο ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα. Η βασική παρατήρηση όμως εδώ είναι η σύνδεση μεταξύ των ανεμογεννητριών. Σ’ αυτήν την εικόνα βλέπουμε τη σύνδεση να λαμβάνει χώρα πριν από τη γέφυρα δίοδου. Δηλαδή το μη σταθερό εναλλασσόμενο ρεύμα που παράγεται απ’ όλες τις μονάδες συγκεντρώνεται και μετατρέπεται σε συνεχές στο σύνολο του.

6.2 Συνδεσμολογία ανύψωσης τάσεως



Στη δεύτερη συνδεσμολογία δε βλέπουμε μεγάλες διαφορές από την πρώτη. Σ' αυτήν την περίπτωση, κάθε ανεμογεννήτρια συνδέεται με τη δική της δίοδο και το συνεχές ρεύμα συγκεντρώνεται και διαρρέει τον ίδιο πυκνωτή και καταλήγει στο τελικό σύνολο IGBT – μετατροπέα και τελικώς με το κεντρικό δίκτυο. Εδώ η συνδεσμολογία είναι απλούστερη καθώς δεν έχουμε τρεις φάσεις να ενώσουμε αλλά μόνο δύο πόλους (θετικό – αρνητικό). Έτσι το θετικό της 1^{ης} διόδου ενώνεται με το IGBT και το αντίστοιχο αρνητικό με το θετικό της 2^{ης} διόδου. Η διάταξη αυτή συνεχίζεται για όσες διόδους υπάρχουν στο σύστημα (όπου η κάθε μία αντιστοιχεί σε μια ανεμογεννήτρια) μέχρι το αρνητικό της τελευταίας διόδου που ενώνεται με το αρνητικό του IGBT.

6.3 Σύνδεση πριν το μετατροπέα



Στην τελευταία συνδεσμολογία κάθε ανεμογεννήτρια έχει επίσης τη δική της “γεννήτρια” τυχαίων αριθμών για την ταχύτητα του ανέμου όπως και στο προηγούμενο κύκλωμα. Εδώ όμως κάθε μονάδα έχει το δικό της σύστημα διόδου – πυκνωτή – IGBT, μετατρέποντας την παραγόμενη εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή και το ανάποδο. Η διαφορά εδώ είναι πως το ρεύμα συγκεντρώνεται πριν το μετατροπέα. Δηλαδή το εναλλασσόμενο ρεύμα σταθερής τάσης συγκεντρώνεται και η τάση του αυξάνεται για να μεταφερθεί στο δίκτυο.

Κάπου εδώ πρέπει να κάνουμε μια μικρή αναφορά στο κεφάλαιο 4.1 για τον παραλληλισμό των γεννητριών ο οποίος χρησιμεύει για να μπορέσουμε να συνδέσουμε τις γεννήτριες με τον πρώτο και τον τρίτο τρόπο που είδαμε μόλις.

7 Επίλογος

Στην παρούσα εργασία ασχοληθήκαμε με μελέτη συστημάτων ανεμογεννητριών. Με τους τρόπους με τους οποίους συνδέονται μεταξύ τους αλλά και πως συνδέονται με το κεντρικό δίκτυο. Επίσης είδαμε τα επιμέρους στοιχεία που περιέχει κάθε γεννήτρια αλλά τον τρόπο με τον οποία λειτουργούν οι γεννήτριες. Εν συνεχεία, αναλύσαμε τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται τόσο στο εσωτερικό των γεννητριών όσο και ανάμεσα στις συνδέσεις. Τέλος, χρησιμοποιώντας κάποια πραγματικά στοιχεία αλλά και άλλα πλασματικά πήραμε κάποιες μετρήσεις και γραφικές παραστάσεις.

Από αυτά τα αποτελέσματα προέκυψαν τα συμπεράσματα πάνω στα οποία βασίζουμε την όποια μελλοντική μας έρευνα. Βασική παρατήρηση είναι πως στη σύνδεση των γεννητριών σε σειρά τόσο το ρεύμα όσο και η τάση εξόδου αυξάνονται (σχεδόν αθροιστικά) ενώ αν χρησιμοποιήσουμε τα κατάλληλα ηλεκτρονικά στοιχεία μπορούμε να έχουμε την επιθυμητή τιμή. Τα συμπεράσματα όμως δεν αναιρούν το γεγονός πως το παρόν σύστημα είναι καθαρά θεωρητικό.

Για να μπορέσει να λειτουργήσει και στην πράξη, θα χρειαζόντουσαν σημαντικές διαφοροποιήσεις. Αρχικά θα έπρεπε οπωσδήποτε να προστεθεί ένα σύστημα βελτίωσης του συντελεστή ισχύος. Έτσι η παραγόμενη ενέργεια θα αυξανόταν σημαντικά. Επίσης, η μεταφορά σε δίκτυο σε μεγάλη απόσταση θα είχε σίγουρα πολλές απώλειες. Το καλύτερο σκεπτικό, θα ήταν να προστεθεί μία συστοιχία από μπαταρίες ώστε να τροφοδοτείται ο κοντινότερος οικισμός.

Βιβλιογραφία

Βιβλία:

- John F. Walker/Nicholas Jenkins, (2008), Wind Energy Technology, John Wiley & Sons Ltd.
- Γ. ΜΠΕΡΓΕΛΕΣ, (1995), ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ, Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ
- Stephen J. Chapman, (2013), Electric Machinery Fundamentals, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, 4th ed.

Άρθρα από διαδίκτυο:

- http://en.wikipedia.org/wiki/Submarine_power_cable
- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801804000496>
- <http://www.georhythmiki.gr/%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%89%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82-%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%B5%CF%82-%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82/%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%BD%CE%BD%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B5%CF%82/%CF%84%CF%85%CF%80%CE%BF%CE%B9-%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%BD%CE%B7%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%89%CE%BD>

Εικόνες:

- http://emmanuel.branlard.free.fr/work/papers/html/2008ecn/Wind_speed_distribution.png

- http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge768e/E_OCEAN_ALBANAKIS/WEB_PUBLISH/%D6%DC%EA%E5%EB%EF%F2/KEF_6_PeymaTA.files/image056.gif
- http://www.buildnet.gr/files/idiotis/diaxeirish%20kai%20synthrhsh/thermansip-sixi/diaxeirisi_thermansiaioliki_ellada4.jpg
- http://4.bp.blogspot.com/_bTIXESiC2S0/S8tIMkz0CEI/AAAAAAAAAA8/LsneFxlRR3E/s1600/2_5.jpg
- http://apelepalsyrou.weebly.com/uploads/1/0/4/9/10497279/7548450_orig.jpg
- https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSyPhZNmpOP8uWI6EDvFNoCk1b0dqfpgvuyp2NFoj_GhxQgYk6Baw
- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5f/Transistor_IGBT.png
- http://users.sch.gr/kgiannaras/images/subjectimages/genika_elec/s377.JPEG
- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3c/Wolfe_Island_Wind_Project_Submarine_Power_Cable.jpg/489px-Wolfe_Island_Wind_Project_Submarine_Power_Cable.jpg
- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d9/HVDC_Submarine_Cable_Cross_Section_-_from_New_Zealand_Inter-island_scheme.jpg/640px-HVDC_Submarine_Cable_Cross_Section_-_from_New_Zealand_Inter-island_scheme.jpg
- http://www.georythmiki.gr/images/WindTurbines/horizontal_windturbine_thumb.jpg
- http://www.georythmiki.gr/images/WindTurbines/vertical_windturbine.jpg
- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/EERE_illustration_of_a_large_turbine.gif

Πίνακες:

- <http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/IAxBE8.pdf>