

**Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ, ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ**  
**Α/Γ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**

**Εισηγητής: ΤΖΑΓΚΑΡΑΚΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ**  
**Σπουδαστές: ΠΑΠΑΦΙΛΙΠΠΟΥ ΦΙΛΙΠΠΟΣ**  
**ΠΙΝΑΚΟΥΛΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ, Μάιος 2007**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αν και φαίνεται τυπική η διαδικασία των ευχαριστιών, εντούτοις περιλαμβάνει γνήσια συναισθήματα που έχουν κατασταλάξει κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Κατά την πάροδο του χρόνου που χρειάστηκε για να ολοκληρωθεί η εργασία, οι εμπειρίες ήταν πολλές και ιδιαίτερα χρήσιμες για την μελλοντική πορεία μας στο χώρο της τεχνολογίας.

Για όλα αυτά τα χρήσιμα στοιχεία που αποκομίσαμε, κύριος υπεύθυνος είναι ο εισηγητής και καθηγητής του Τ.Ε.Ι Κρήτης Γ.Τζαγκαράκης, τον οποίο και ευχαριστούμε θερμότατα. Χάρη σ' αυτόν αποκτήσαμε γνώσεις και εμπειρίες πολύτιμες.

Πολύτιμη ήταν η βοήθεια που μας παρείχε ο καθηγητής Τ.Ε.Ι Κρήτης Ι.Μηναδάκης, ο οποίος μας καθοδήγησε και μας συμβούλεψε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας, και γι' αυτό τον ευχαριστούμε ειλικρινά.

Επίσης θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή Τ.Ε.Ι Κρήτης Δ.Χρηστάκη για την άψογη συνεργασία που μας προσέφερε καθώς και για τις γνώσεις που χωρίς δισταγμό μοιράστηκε μαζί μας.

Τέλος, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον συνάδελφο και φίλο Α.Ζερίτη, τον Γ.Κουτσαυτάκη και την GRAFIKA Ε.Π.Ε για την πολύτιμη βοήθεια που μας παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μας.

*Αφιερώνεται*

*Στους γονείς μου, στο Νίκο και στην γυναίκα  
μου για την υποστήριξη τους  
Στον κ.Γ. Τζαγκαράκη για όσα μου δίδαξε και  
την βοήθεια που μου προσέφερε*

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ανακατασκευή και επέκταση της μετρητικής διάταξης γεννητριών του εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων του Τ.Ε.Ι Κρήτης. Η κατασκευή αυτή πραγματοποιήθηκε για να εξάγει τις καμπύλες ισχύος των μικρών γεννητριών που σχεδιάζονται στο εργαστήριο. Σύμφωνα με τις μετρήσεις που θα καταγραφούν, μπορούν να βγουν ασφαλή συμπεράσματα για την προσομοίωση και τον σχεδιασμό γεννήτριας 5 KW.

Η διάταξη αποτελείται από τριφασικό inverter, ο οποίος ελέγχεται με τη χρήση ποτενσιόμετρου και ελέγχει πλήρως τριφασικό ασύγχρονο κινητήρα, ισχύος 7.5kW. Ο κινητήρας μέσω ιμάντα, περιστρέφει την υπό μέτρηση γεννήτρια, η οποία μέσω τριφασικής ανορθωτικής διάταξης και με τη βοήθεια διακόπτη τριών θέσεων, τροφοδοτεί συστοιχίες ωμικών φορτίων. Οι συστοιχίες των ωμικών φορτίων αποτελούνται από λαμπτήρες αλογόνου (24V, 100W) με δυνατότητα μέτρησης γεννητριών στα 24, 48, 96V και με ισχύ έως 6kW (με τη χρήση της διάταξης επέκτασης).

Με τη χρήση κατάλληλης διάταξης καταγραφής, είναι δυνατή η μέτρηση και καταγραφή των μεγεθών της ανορθωμένης τάσης και έντασης, της ροπής του κινητήρα καθώς και της συχνότητας του inverter. Μέσω κατάλληλου λογισμικού επιτυγχάνεται η καταγραφή, ο υπολογισμός και συσχετισμός των προηγούμενων μεγεθών με τις στροφές, τη μηχανική και ηλεκτρική ισχύ και το βαθμό απόδοσης.

Οι καμπύλες ισχύος που θα εξαχθούν, θα δώσουν σημαντικές πληροφορίες στην προσπάθεια προσομοίωσης των γεννητριών.

Πιο συγκεκριμένα, με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού προσομοίωσης, θα είναι εφικτό να σχεδιαστούν οι γεννήτριες του εργαστηρίου σε εικονικό περιβάλλον, υπό κλίμακα 1:1 και λαμβάνοντας υπ' όψιν τα πραγματικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί στις γεννήτριες. Μετά την προσομοίωση, θα ακολουθήσει ο υπολογισμός του μαγνητικού πεδίου που αναπτύσσεται στα τυλίγματά των γεννητριών. Στη συνέχεια και σε συνδυασμό των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει απ' τις μετρήσεις, θα γίνει προσπάθεια για συσχέτιση του μαγνητικού πεδίου, των υλικών κατασκευής και των διαστάσεων των γεννητριών.

Βάσει αυτής της συσχέτισης, θα ακολουθήσει διαδικασία σχεδιασμού τριφασικής γεννήτριας, ισχύος 5kW αλλά και προσπάθεια βελτιστοποίησης του σχεδιασμού της. είτε με τη χρήση νέων υλικών κατασκευής είτε μέσω διαφορετικής διάταξης τοποθέτησης των μαγνητών.

Τέλος θα πρέπει να τονιστεί ως επιπλέον στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας, η χρήση της ως τεχνικό εγχειρίδιο για τη λειτουργία και ρύθμιση της μετρητικής διάταξης ως πειραματικό, μετρητικό αλλά και εκπαιδευτικό εργαλείο.

## Περιεχόμενα

1. Γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος .....	12
1.1 Σύντομη περιγραφή γεννητριών.....	12
<u>1.1.1</u> Γενικά.....	12
<u>1.1.2</u> Διάκριση εναλλακτών.....	13
<u>1.1.3</u> Κατασκευαστικό μέρος εναλλακτών.....	15
1.2 Ανεμογεννήτριες Μεταβλητών Στροφών .....	15
1.3 Μέρη Ανεμογεννήτριας .....	18
1.4 Γενική περιγραφή σύγχρονων γεννητριών .....	19
<u>1.4.1</u> Στάτης.....	19
<u>1.4.2</u> Δρομέας.....	21
1.5 Υλικά πειραματικών γεννητριών.....	25
2. Μαγνητικό πεδίο .....	26
2.1 Περιγραφή μαγνητικού πεδίου .....	26
<u>2.1.1</u> Ένταση μαγνητικού πεδίου H .....	29
<u>2.1.2</u> Μαγνητική επαγωγή .....	30
<u>2.1.3</u> Μαγνητική επαγωγή και ένταση μαγνητικού πεδίου σε υλικό .....	33
<u>2.1.4</u> Τρόποι σύνδεσης τυλιγμάτων .....	34
2.2 Μόνιμοι μαγνήτες .....	36
<u>2.2.1</u> Εισαγωγή.....	36
<u>2.2.2</u> Σκληροί φερρίτες.....	37
<u>2.2.3</u> Νεοδύμιο - σίδηρος - βόριο (Nd-Fe-B).....	38
<u>2.2.4</u> Βασικά υλικά παραγωγής μόνιμων μαγνητών .....	39
3. Περιγραφή μετρητικής διάταξης (Μ.Δ) .....	40
3.1 Εισαγωγή.....	40
3.2 INVERTER.....	41
3.3 ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (ΑΤΚ) .....	44

<u>3.3.1</u>	Εισαγωγή .....	44
<u>3.3.2</u>	Διολίσθηση κινητήρων .....	45
<u>3.3.3</u>	Στοιχεία κινητήρα εργαστηρίου .....	45
3.4	Ανορθωτική διάταξη .....	46
3.5	Πλακέτα – Αισθητήρια .....	48
<u>3.5.1</u>	Μέτρηση τάσης .....	48
<u>3.5.2</u>	Μέτρηση ρεύματος .....	48
<u>3.5.3</u>	Μέτρηση ροπής .....	49
3.6	Συνδεσμολογία φορτίων .....	49
<u>3.6.1</u>	Φορτία μέχρι 1 KW / Γεννήτρια 24V .....	50
<u>3.6.2</u>	Φορτία μέχρι 2 KW / Γεννήτρια 24V .....	51
<u>3.6.3</u>	Φορτία μέχρι 2 KW / γεννήτρια 48V .....	52
<u>3.6.4</u>	Φορτία μέχρι 4 KW / γεννήτρια 48V .....	53
<u>3.6.5</u>	Φορτία μέχρι 4 KW/γεννήτρια 96V .....	54
3.7	Πρόγραμμα καταγραφής δεδομένων .....	55
<u>3.7.1</u>	Λειτουργία επιμέρους VI .....	55
<u>3.7.2</u>	Βαθμονόμηση .....	70
<u>3.7.3</u>	Μέτρηση μεγεθών .....	70
3.8	Κάρτα Labview .....	73
3.9	ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ .....	74
4.	Διαδικασία Μέτρησης .....	77
4.1	Εγχειρίδιο διαδικασίας μέτρησης .....	77
4.2	Αποτελέσματα μετρήσεων .....	80
5.	Magnet .....	82
5.1	Γενική Περιγραφή Magnet .....	82
5.2	Βήματα .....	82
5.3	Μαγνήτες .....	83
5.4	Επιλογή Υλικών .....	84
5.5	Προσομοίωση γεννήτριας 1 KW 10p .....	85

5.6	Προσομοίωση γεννήτριας 1 KW 12p.....	87
5.7	Προσομοίωση γεννήτριας 1,8 KW 16p.....	89
5.8	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ .....	91
5.9	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	96
6.	Σχεδιασμός, Προσομοίωση και Βελτιστοποίηση Γεννήτριας 5 kW .....	97
6.1	Σχεδιασμός και προσομοίωση γεννήτριας 5 KW.....	97
6.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	99
6.3	Βελτιστοποίηση γεννήτριας 5 KW .....	100
6.4	Συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας .....	102
	BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	104

### Λίστα σχημάτων

Σχήμα 1:	Διάκριση γεννητριών E.P .....	13
Σχήμα 2.	Σχηματική μορφή άξονα.....	21
Σχήμα 3	Σχηματική μορφή ελασμάτων .....	22
Σχήμα 4.	καμπύλες της Η.Ε.Δ. των τριών πλαισίων .....	27
Σχήμα 5:	Γραμμές μαγνητικής επαγωγής ενός απλού ραβδόμορφου <a href="#">μαγνήτη</a> .....	32
Σχήμα 6:	Δυναμικές γραμμές μαγνητικής επαγωγής σε διαμαγνητικό (a), παραμαγνητικό (b) σε σιδηρομαγνητικό (c) υλικό. ....	34
Σχήμα 7:	Συνδεσμολογία αστέρα .....	35
Σχήμα 8:	Συνδεσμολογία τριγώνου .....	35
Σχήμα 9:	Μαγνητική επαγωγή B, συναρτήσεως της έντασης μαγνητικού πεδίου H .....	36
Σχήμα 10:	Μονογραμμικό σχέδιο μετρητικής διάταξης .....	40
Σχήμα 11:	Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας εργαστηρίου .....	46
Σχήμα 12.	Ανορθωτική διάταξη μετρητικής διάταξης.....	47



## Λίστα διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Κυκλώματος του MM420 .....	43
Διάγραμμα 2. Βαθμονόμηση τάσης.....	70
Διάγραμμα 3. Βαθμονόμηση ρεύματος .....	71
Διάγραμμα 4. Βαθμονόμηση ροπής.....	71
Διάγραμμα 5. Ροπή συναρτήσει στροφών .....	80
Διάγραμμα 6. Μηχανική ισχύς συναρτήσει στροφών .....	80
Διάγραμμα 7. Ηλεκτρική ισχύς συναρτήσει στροφών.....	81
Διάγραμμα 8. Βαθμός απόδοσης συναρτήσει στροφών .....	81

## Λίστα πινάκων

Πίνακας 1. Τιμές της σύγχρονης ταχύτητας περιστροφής για συγκεκριμένο αριθμό πόλων και συχνότητας γεννήτριας .....	14
Πίνακας 2. Ταχύτητα περιστροφής εναλλακτήρα ανάλογα με τον τύπο της μηχανής.....	14
Πίνακας 3: Τυπικές τάξεις μεγέθους μαγνητικής επαγωγής .....	31
Πίνακας 4: Πολικά και φασικά μεγέθη .....	36
Πίνακας 5. Καταστάσεις μετρητικής διάταξης για μετρήσεις γεννητριών 1 KW / 24V .....	50
Πίνακας 6. Καταστάσεις μετρητικής διάταξης για μετρήσεις γεννητριών 2 KW / 24V .....	51
Πίνακας 7. Καταστάσεις μετρητικής διάταξης για μετρήσεις γεννητριών 2 KW / 48V .....	52
Πίνακας 8. Καταστάσεις μετρητικής διάταξης για μετρήσεις γεννητριών 4KW / 48V .....	53
Πίνακας 9. Καταστάσεις μετρητικής διάταξης για μετρήσεις γεννητριών 4KW / 96V .....	54
Πίνακας 10. Τα χαρακτηριστικά NI USB-6009 .....	73
Πίνακας 11. Καταστάσεις μετρητικής διάταξης για μετρήσεις γεννητριών 6KW / 96V .....	75
Πίνακας 12. Ιδιότητες των υλικών .....	84

Πίνακας 13. Υπολογισμός μαγνητικής επαγωγής .....	92
Πίνακας 14. Υπολογισμός μαγνητικής επαγωγής.....	99
Πίνακας 15. Σύγκριση μαγνητικής επαγωγής.....	101

#### Λίστα εικόνων

Εικόνα 1: Στιγμαίειες τιμές τάσης.....	29
Εικόνα 2: Στιγμαίειες τιμές έντασης ρεύματος.....	29
Εικόνα 3 : Χαρακτηριστική καμπύλη εξόδου τριφασικής γεννήτριας E.P .....	46
Εικόνα 4: Χαρακτηριστική καμπύλη εξόδου ανορθωτικής γέφυρας .....	47
Εικόνα 5: Χαρακτηριστική καμπύλη εξόδου ανορθωτικής διάταξης .....	47
Εικόνα 6: Αισθητήριο τάσης .....	48
Εικόνα 7: Αισθητήριο ρεύματος.....	48
Εικόνα 8: Αισθητήριο ροπής τοποθετημένο στην διάταξη.....	49
Εικόνα 9: Διακόπτης A .....	50
Εικόνα 10: Διακόπτης Γ στη θέση 1 .....	50
Εικόνα 11 : Διακόπτης A συνδεδεμένος με τον Γ .....	51
Εικόνα 12: Διακόπτης Γ στη θέση 2 .....	52
Εικόνα 13 : Διακόπτης A συνδεδεμένος με το E .....	53
Εικόνα 14: Διακόπτης Γ στη θέση 3 .....	54
Εικόνα 15 : Επέκταση μετρητικής διάταξης.....	74
Εικόνα 16: Διακόπτες μετρητικής διάταξης .....	76
Εικόνα 17: Διάταξη ελέγχου μετρήσεων.....	76
Εικόνα 18: Απεικόνιση δυναμικών γραμμών.....	84
Εικόνα 19: Σχεδίαση γεννήτριας 1 KW 10p.....	85
Εικόνα 20: Προσομοίωση γεννήτριας 1 KW 10p.....	86
Εικόνα 21: Απεικόνιση μαγνητικής επαγωγής B .....	86
Εικόνα 22: Σχεδίαση γεννήτριας 1 KW 12p.....	87
Εικόνα 23: Προσομοίωση γεννήτριας 1 KW 12p.....	88
Εικόνα 24: Απεικόνιση μαγνητικής επαγωγής B .....	88
Εικόνα 25: Σχεδίαση γεννήτριας 1,6 KW 16p.....	89
Εικόνα 26: Προσομοίωση γεννήτριας 1,6 KW 16p.....	90
Εικόνα 27: Απεικόνιση μαγνητικής επαγωγής B .....	90

Εικόνα 28: Σχεδιασμός γεννήτριας 5 KW 24p .....	98
Εικόνα 29: Προσομοίωση γεννήτριας 5 KW 24p .....	98
Εικόνα 30: Απεικόνιση μαγνητικής επαγωγής B .....	99
Εικόνα 31: Προσομοίωση γεννήτριας 5 KW με NdFeB .....	100
Εικόνα 32: Απεικόνιση μαγνητικής επαγωγής B .....	101

# 1. Γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος

## 1.1 Σύνομη περιγραφή γεννητριών

### 1.1.1 Γενικά

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίζονται σε δυο κατηγορίες που είναι:

- οι ασύγχρονες και
- οι σύγχρονες ή εναλλακτήρες

Πιο συγκεκριμένα:

**Ασύγχρονες γεννήτριες E.P** είναι εκείνες που η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγουν:

- είναι ανεξάρτητη από την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα τους και
- η διέγερση τους γίνεται με E.P

Οι ασύγχρονες γεννήτριες E.P χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια στην πράξη και σε ειδικές μόνο περιπτώσεις .

**Σύγχρονες γεννήτριες E.P** είναι εκείνες που η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγουν :

- είναι ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής του δρομέα τους που λέγεται “σύγχρονη”  $n_s$  και
- η διέγερση τους γίνεται με συνεχές ρεύμα.

Η σύγχρονη γεννήτρια E.P στην πράξη συναντάται με την ονομασία “**εναλλακτήρας**”. Η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής του δρομέα των εναλλακτών δίνεται από τη σχέση :

$$n_s = 60 \cdot f / p \quad [\text{στρ}/\text{min}] \quad (1)$$

όπου:  $f =$  η συχνότητα [Hz] του εναλλασσόμενου ρεύματος που για το εθνικό μας δίκτυο είναι:  $f = 50 \text{ Hz}$

$p =$  ο αριθμός ζευγών των πόλων της ηλεκτρικής μηχανής.

Οι σύγχρονες γεννήτριες Ε.Ρ (εναλλακτήρες) χρησιμοποιούνται ευρέως στην πράξη για την παραγωγή του εναλλασσόμενου ρεύματος του δικτύου γι' αυτό και εγκαθίστανται στους Σταθμούς Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας της ΔΕΗ.

### 1.1.2 Διάκριση εναλλακτών:

Οι εναλλακτήρες διακρίνονται σε κατηγορίες που αφορούν:

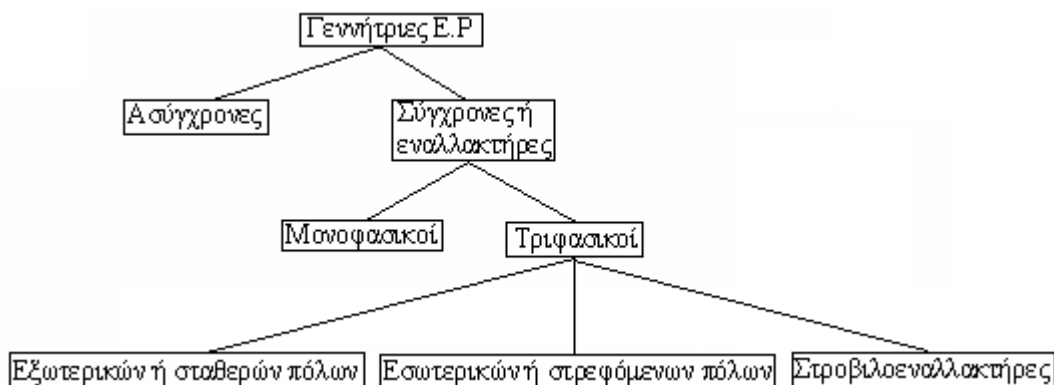
**A. το είδος του τυλίγματος Ε.Ρ** του επαγωγικού τυμπάνου και χωρίζονται σε:

- μονοφασικούς που χρησιμοποιούνται στην πράξη σε ειδικές μόνο περιπτώσεις και
- τριφασικούς που χρησιμοποιούνται συνήθως στην πράξη για την παραγωγή Ε.Ρ από τη ΔΕΗ , και σ' αυτούς θα αναφερόμαστε παρακάτω .

**B. τη θέση τοποθέτησης των μαγνητικών πόλων τους** και χωρίζονται σε :

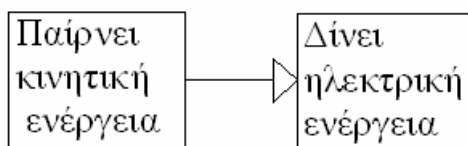
- εξωτερικών ή σταθερών πόλων
- εσωτερικών ή στρεφόμενων πόλων και
- στροβιλοεναλλακτήρες (που ουσιαστικά αποτελούν μια κατασκευαστική παραλλαγή των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους)

Η γενική διάκριση των γεννητριών Ε.Ρ δίνεται παρακάτω. (Σχ.1)



Σχήμα 1: Διάκριση γεννητριών Ε.Ρ

Ο εναλλακτήρας, σαν γεννήτρια Ε.Ρ, κατά τη λειτουργία του παίρνει κινητική ενέργεια και δίνει ηλεκτρική ενέργεια



Η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής ενός εναλλακτήρα εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό ζευγών των μαγνητικών πόλων και για συγκεκριμένες τιμές συχνότητας παραγόμενου ρεύματος δίνεται στον Πίνακα 1.

α/α	Συχνότητα (Hz)	Αριθμός ζεύγων πόλων									
		1	2	3	4	5	6	8	10	20	50
		Σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής ns = 60*f/p (στρ/min)									
1	50	3000	1500	1000	750	600	500	375	300	150	60
2	16 2/3	1000	500	333	250	200	Δεν χρησιμοποιούνται				
3	60	3600	1800	1200	900	720	600	450	360	180	72

Πίνακας 1. Τιμές της σύγχρονης ταχύτητας περιστροφής για συγκεκριμένο αριθμό πόλων και συχνότητας γεννήτριας

Ο τρόπος μετάδοσης κίνησης στον άξονα του εναλλακτήρα εξαρτάται από το είδος της κινητήριας μηχανής και την σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής που αναπτύσσει. Οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις αναφέρονται στον Πιν. 2.

α/α	Ταχύτητα περιστροφής εναλλακτήρα (στρ/min)	Είδος κινητήριας μηχανής
1.	> 500	Υδροστρόβιλος
2.	220-2000	Μηχανή ατμού βενζίνης ή πετρελαίου
3.	N-3600	Στρόβιλος αέρα ή ατμού

Πίνακας 2. Ταχύτητα περιστροφής εναλλακτήρα ανάλογα με τον τύπο της μηχανής

### **1.1.3 Κατασκευαστικό μέρος εναλλακτήρων**

Οι εναλλακτήρες που χρησιμοποιούνται πάντα στην πράξη αποτελούνται από δυο βασικά τμήματα :

- **το στάτη** που αποτελεί το ακίνητο μέρος μιας ηλεκτρικής μηχανής και
- **το δρομέα** που αποτελεί το περιστρεφόμενο μέρος μιας ηλεκτρικής μηχανής. Η κατασκευή των βασικών τμημάτων των εναλλακτήρων διαφέρει ανάλογα με το είδος τους .

## **1.2 *Ανεμογεννήτριες Μεταβλητών Στροφών***

Η αιολική ενέργεια θεωρείται ο ταχύτερα αναπτυσσόμενος κλάδος της παραγωγής ενέργειας. Σήμερα, η εγκατεστημένη ισχύς ανεμογεννητριών διεθνώς είναι άνω των 10.000 MW. Το ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου οφείλεται κυρίως στην ευαισθητοποίηση παγκοσμίως σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος. Οι δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την λειτουργία των θερμοηλεκτρικών σταθμών έχουν οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στην άνθηση των λεγόμενων 'εναλλακτικών' τρόπων παραγωγής ενέργειας, οι οποίοι αποσκοπούν κυρίως στην διαφύλαξη της περιβαλλοντικής ισορροπίας και την ορθότερη διαχείριση των περιορισμένων ενεργειακών πόρων του πλανήτη μας. Το κόστος παραγωγής της αιολικής ενέργειας είναι πλέον συγκρίσιμο με το κόστος της θερμοηλεκτρικής, ενώ συνεχώς μειώνεται με την αύξηση της ζήτησης και την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Επιπλέον και σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, είναι η φθηνότερη και περισσότερο διαδεδομένη. Έτσι, είναι σαφές πως στα επόμενα χρόνια η αιολική ενέργεια θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο χώρο της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Όπως είναι γνωστό, η σχεδίαση μιας ανεμογεννήτριας προϋποθέτει τη μελέτη του αεροδυναμικού, του μηχανικού και του ηλεκτρικού της μέρους, επομένως είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που απαιτεί τη στενή συνεργασία μηχανικών διαφόρων ειδικοτήτων..

Τα τελευταία έτη, η έρευνα στον τομέα των ανεμογεννητριών στοχεύει κυρίως στην ανάπτυξη τεχνολογιών για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους. Από την πληθώρα των προτεινομένων διατάξεων, επιλέγεται η εξέταση

μιας ανεμογεννήτριας μεταβλητών στροφών, με *σύγχρονη ηλεκτρική γεννήτρια μονίμων μαγνητών*, για την οποία πραγματοποιείται η σχεδίαση του συστήματος ελέγχου του ηλεκτρικού της μέρους.

Η σύνδεση σύγχρονης ή ασύγχρονης γεννήτριας απευθείας στο δίκτυο, συνεπάγεται τον καθορισμό της συχνότητας λειτουργίας από την συχνότητα του δικτύου, οπότε έχουμε λειτουργία σταθερών στροφών. Η λειτουργία μεταβλητών στροφών, δηλαδή ουσιαστικά η αποδέσμευση από την συχνότητα του δικτύου, επιτυγχάνεται με την παρεμβολή μετατροπέων συχνότητας μεταξύ της ηλεκτρικής γεννήτριας και του δικτύου. Η χρήση μηχανικών κιβωτίων ταχυτήτων μεταβλητού λόγου δε συναντάται στην πράξη. Γενικά, υπάρχει η τάση ανάπτυξης συστημάτων χωρίς μηχανικό κιβώτιο ταχυτήτων (gearless), λόγω των εγγενών μειονεκτημάτων αυτών (κόστος, πολυπλοκότητα, βάρος, απώλεια μεταφερόμενης ισχύος, ανάγκη συντήρησης).

Η λειτουργία μεταβλητών στροφών επιτρέπει τη λειτουργία υπό της βέλτιστες στροφές (δηλαδή με το βέλτιστο αεροδυναμικό συντελεστή ισχύος) για μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων ανέμου και συνεπώς την καλύτερη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, με αύξηση της παραγόμενης ενέργειας που μπορεί να φτάσει το 5 έως 10%.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της λειτουργίας μεταβλητών στροφών συνδέεται με τα δυναμικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Οι μηχανικές υπερφορτίσεις στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης (drive train), οι οποίες καταπονούν κυρίως το κιβώτιο ταχυτήτων και προκαλούν αντίστοιχες μεταβολές της ηλεκτρομαγνητικής ροπής και της παραγόμενης ισχύος, εξαρτώνται από τη στρεπτική (torsional) δυσκαμψία και στην περίπτωση των ανεμογεννητριών σταθερών στροφών είναι γενικά εντονότερες αν η κλίση της χαρακτηριστικής στροφών-ροπής της γεννήτριας είναι απότομη. Με την λειτουργία μεταβλητών στροφών η σύνδεση με το δίκτυο γίνεται 'ελαστική' και η επίδραση των μεταβολών του ανέμου μπορεί να μειωθεί με τη χρησιμοποίηση της αδρανείας των στρεφόμενων μαζών για την μείωση των δυναμικών φορτίσεων σε ολόκληρο το σύστημα και ειδικότερα στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης και το δρομέα. Η μείωση των μηχανικών καταπονήσεων επιτρέπει την αύξηση της αναμενόμενης διάρκειας ζωής των μηχανικών συνιστωσών, τη βελτίωση της αξιοπιστίας της διάταξης καθώς και



την ορθότερη διαστασιολόγηση των στοιχείων του μηχανικού μέρους (αποφυγή του λεγόμενου over-engineering), με συνακόλουθη μείωση του ολικού βάρους και κόστους.

Σημαντικό πλεονέκτημα είναι επίσης η 'φιλικότητα' που παρουσιάζουν προς το ηλεκτρικό δίκτυο με τη χρήση κατάλληλου τύπου αντιστροφέα στην έξοδο. Στον ορό αυτό συμπεριλαμβάνεται η καλύτερη ποιότητα ισχύος που παρέχουν, η δυνατότητα λειτουργίας με ρυθμιζόμενο συντελεστή ισχύος (επαγωγικό ή χωρητικό) ανάλογα με τις ανάγκες και ακόμα η δυνατότητα ρύθμισης της ενεργού ισχύος και του ρυθμού μεταβολής αυτής. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, το κύκλωμα ελέγχου είναι σε θέση να απομονώσει ταχύτατα τη διάταξη, ελαχιστοποιώντας έτσι την συνεισφορά της γεννήτριας. Ας σημειωθεί ότι η δυνατότητα ρύθμισης της ροής ισχύος, που είναι ιδιαίτερα επιθυμητή σε αιολικά πάρκα υπό μερική φόρτιση ή σε απομονωμένη λειτουργία, δεν είναι γενικά ευχερής με συστήματα ανεμογεννητριών σταθερών στροφών.

Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών μεταβλητών στροφών συγκαταλέγεται και η μείωση των επιπέδων του θορύβου, όταν οι στροφές είναι χαμηλές. Ο παραγόμενος θόρυβος μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα όταν οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται κοντά σε κατοικημένες περιοχές.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των διατάξεων μεταβλητών στροφών είναι το αυξημένο κόστος και πολυπλοκότητα λόγω της ύπαρξης των μετατροπών ηλεκτρονικών ισχύος. Ένα ακόμα πρόβλημα είναι η έγχυση αρμονικών στο δίκτυο με την παραμόρφωση της τάσης εξόδου.

Λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων τους, η χρήση των ανεμογεννητριών μεταβλητών στροφών αναμένεται να γενικευθεί στο μέλλον με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος, η οποία επιτρέπει την κατασκευή μετατροπών ισχύος με χαμηλό κόστος, υψηλή αξιοπιστία και πολύ ικανοποιητικά λειτουργικά χαρακτηριστικά.

Η επιλογή της σύγχρονης γεννήτριας προσφέρει τη δυνατότητα ευρείας μεταβολής της ταχύτητας λειτουργίας της μηχανής (π.χ. 5% έως 110% των ονομαστικών στροφών). Το ίδιο μπορεί να επιτευχθεί και με τη χρήση ασύγχρονης γεννήτριας, με τη διαφορά ότι απαιτείται σαφώς πιο σύνθετος

μετατροπέας ισχύος για την οδήγηση της (συνήθως πηγής τάσης PWM) καθώς και πιο σύνθετος έλεγχος.

Αντίθετα, χρησιμοποιώντας σύγχρονη γεννήτρια αρκεί ένας απλός μη ελεγχόμενος ανορθωτής. Η σύγχρονη γεννήτρια μονίμων μαγνητών προσφέρει μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως οι μηδενικές απώλειες χαλκού στο δρομέα, η απλούστερη κατασκευή, το μικρότερο βάρος και όγκος για τα ίδια ονομαστικά μεγέθη, με μειωμένες απώλειες και άρα καλύτερο βαθμό απόδοσης.

Τα μειονεκτήματα είναι ότι οι τιμές των υλικών μονίμων μαγνητών είναι σχετικά υψηλές (με εξαίρεση τους φερρίτες) και ότι τα μαγνητικά χαρακτηριστικά μεταβάλλονται με το χρόνο. Ωστόσο, με δεδομένο τον τρόπο σχεδίασης των γεννητριών αυτών, είναι δυνατή η ενσωμάτωση μεγάλου αριθμού μαγνητικών πόλων ώστε να καθίστανται περιττή η χρήση του κιβωτίου ταχυτήτων ανύψωσης των στροφών. Για τους ανωτέρω λόγους οι σύγχρονες γεννήτριες μονίμων μαγνητών συνιστούν αντικείμενο συνεχούς μελέτης τα τελευταία χρόνια και η χρήση τους σε συστήματα ανεμογεννητριών αποτελεί πραγματικά μια τεχνολογία αιχμής.

### **1.3 Μέρη Ανεμογεννήτριας**

Τα κυρίως τμήματα μιας ανεμογεννήτριας είναι τα εξής:

#### **α) Πτέρυγες/ σύστημα ρότορα**

Το σύστημα του ρότορα αποτελείται από δύο ή τρεις πτέρυγες και είναι φτιαγμένες συνήθως από υαλόνημα. Οι πτέρυγες μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε περιστροφικές δυνάμεις μπορούν να στρέψουν μια γεννήτρια. Η ενίσχυση με ύφανση γυαλιού που διαρρέει όλο το μήκος τους, εξασφαλίζει την υψηλή ανθεκτικότητά τους, διατηρώντας το βάρος τους ιδιαίτερα μικρό.

#### **β) Γεννήτρια**

Η γεννήτρια είναι το μέσο που μετατρέπει την κινητική ενέργεια που λαμβάνει ο ρότορας σε ηλεκτρική ενέργεια.

### γ) Σύστημα ουράς

Το σύστημα ουράς, αποτελούμενο από το σωλήνα της ουράς, το πτερύγιο και ένα γραμμικό επενεργητή διατηρεί τον ρότορα εντός της ροής του ανέμου σε ταχύτητες που του έχουν οριστεί. Το σύστημα ελέγχου μέσω του γραμμικού επενεργητή, στρέφει τον ρότορα εκτός ροής ανέμου για να περιορίσει την ταχύτητα του.

### δ) Ιστός ανεμογεννήτριας

Τον ιστό, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο ιστός είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα.

### ε) Βάση ανεμογεννήτριας

Η βάση στηρίζει όλο το σύστημα της ανεμογεννήτριας και είναι κατασκευασμένη με το ίδιο υλικό με αυτό του ιστού.

## **1.4 Γενική περιγραφή σύγχρονων γεννητριών**

### **1.4.1 Στάτης**

1. Ο προορισμός του στάτη στους εναλλακτήρες σταθερών πόλων είναι
  - να στηρίζει την ηλεκτρική μηχανή
  - να δημιουργεί καθορισμένη μαγνητική ροή στο εσωτερικό της ηλεκτρικής μηχανής
  - να τροφοδοτεί το φορτίο με ηλεκτρική ενέργεια με τους ανάλογους αγωγούς.

Τα μέρη τα οποία περιλαμβάνει ο στάτης ενός εναλλακτήρα με σταθερούς πόλους είναι τα πιο κάτω:

2. **Το ζύγωμα** που αποτελεί τον κορμό του εναλλακτήρα. Το σχήμα του είναι κυλινδρικό και έχει:
  - διαμόρφωση στήριξης στο κάτω μέρος ώστε να αποτελεί την βάση και
  - κρίκο μεταφοράς στο πάνω μέρος.

Η κατασκευή του είναι από χυτοσίδηρο και ο προορισμός του είναι η δημιουργία κλειστού μαγνητικού κυκλώματος στην ηλεκτρική μηχανή.

**Ο πυρήνας των μαγνητικών πόλων** που στερεώνεται με ειδικές βίδες στο εσωτερικό μέρος του ζυγώματος η κατασκευή του πυρήνα των μαγνητικών πόλων των εναλλακτών είναι από **Ελάσματα** που είναι μονωμένα μεταξύ τους. Αυτό γίνεται για την αποφυγή των επαγωγικών ρευμάτων Foucault (δινορρεύματα) και **Σκληρό σιδηρομαγνητικό υλικό** για την ύπαρξη σημαντικής ποσότητας παραμένοντα μαγνητισμού όταν ο εναλλακτήρας δεν λειτουργεί.

Ο αριθμός των μαγνητικών πόλων είναι πάντα ζυγός αριθμός . Έτσι, αναφερόμαστε στα ζεύγη των μαγνητικών πόλων που συμβολίζονται με  $p$  .

Ανάλογα με τον αριθμό των μαγνητικών πόλων που έχει ένας εναλλακτήρας χαρακτηρίζεται σαν διπολικός, τετραπολικός, εξαπολικός, οκταπολικός κ.λ.π.

Η μαγνητική ροή  $\Phi$  του μαγνητικού πεδίου ορίζεται από τον κατασκευαστή .

3. Τα καλύμματα ή καπάκια που στερεώνονται με βίδες στο ζύγωμα και βρίσκονται σε ζευγάρια. Η κατασκευή τους είναι από χυτοσίδηρο και στο κέντρο τους φέρουν τα έδρανα (ρουλεμάν ) .

Ο προορισμός τους είναι:

- να στηρίζουν τον άξονα ώστε να είναι δυνατή η περιστροφή τους στα έδρανα
- να προφυλάσσουν το εσωτερικό μέρος του εναλλακτήρα από διάφορα σκουπίδια ή μικροαντικείμενα .

4. Ο ψηκτροφορέας ο οποίος αποτελείται από :

- τη βάση, η οποία με την σειρά της αποτελείται από ένα σιδερένιο δακτυλίδι. Η βάση χρησιμεύει για την στερέωση του συστήματος του ψηκτροφορέα στο εσωτερικό μέρος του καλύμματος προς την πλευρά των δακτυλιδιών .
- **τις τρεις ψηκτροθήκες** που είναι μεταλλικές και στο εσωτερικό τους τοποθετούνται οι ψήκτρες. Το σύστημα του ψηκτροφορέα δίνει την δυνατότητα μετακίνησης των ψηκτρών .

5. Οι ψήκτρες που είναι κατασκευασμένες από ηλεκτραγώγιμο άνθρακα και χαλκό. Αυτές τοποθετούνται μέσα στις ψηκτροθήκες και με ελατηριωτό μηχανισμό που βρίσκεται στο σύστημα του ψηκτροφορέα πιέζονται, για να εφάπτονται στους δακτυλίους. Στο αντίθετο μέρος της επαφής του, έχουν αγωγό κατασκευασμένο από ευλύγιστη πλέξη χάλκινου σύρματος. Ο προορισμός των ψηκτρών στους εναλλακτήρες σταθερών πόλων είναι να παίρνουν την ηλεκτρική ενέργεια από αυτόν και να την οδηγούν προς τον καταναλωτή.

6. Το **κιβώτιο ακροδεκτών** που βρίσκεται στο εξωτερικό μέρος του ζυγώματος και έχει ίδια εξωτερική κατασκευή με αυτό. Στο κιβώτιο ακροδεκτών καταλήγουν σε συγκεκριμένες θέσεις τα άκρα των διαφόρων τυλιγμάτων που περιλαμβάνει ο εναλλακτήρας. Στους ακροδέκτες του κιβωτίου ακροδεκτών γίνεται η σύνδεση των καλωδίων τροφοδοσίας φορτίων των καταναλωτών με τον εναλλακτήρα.

#### 1.4.2 Δρομέας

Ο προορισμός του δρομέα είναι:

- i. να περιστρέφεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο των πόλων
- ii. να δημιουργεί το φαινόμενο της επαγωγής στους αγωγούς που διαθέτει

Τα μέρη τα οποία περιλαμβάνει ο δρομέας ενός εναλλακτήρα με σταθερούς πόλους είναι τα πιο κάτω:

1. Ο **άξονας** που είναι κατασκευασμένος από ασάλι. Κατά μήκος της επιφάνειας του διαθέτει προεξοχή που δίνει τη δυνατότητα προσαρμογής σ' αυτόν διάφορα εξαρτήματα. (Σχ.2)



Σχήμα 2. Σχηματική μορφή άξονα

Τα άκρα του άξονα προσαρμόζονται στα έδρανα . Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η εύκολη περιστροφή του δρομέα στο εσωτερικό μέρος του εναλλακτήρα.

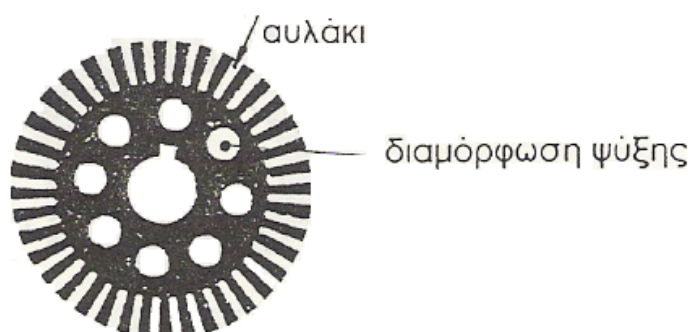
2. Το επαγωγικό τύμπανο, που περιλαμβάνει :

- i. πυρήνα και
- ii. τύλιγμα

Πιο συγκεκριμένα :

### 2.1 Ο πυρήνας του επαγωγικού τυμπάνου

Είναι κατασκευασμένος από **ελάσματα** σιδηρομαγνητικού υλικού που είναι μονωμένα μεταξύ τους για την αποφυγή των επαγωγικών ρευμάτων Foucault. Η μορφή τους φαίνεται στο Σχ.3



Σχήμα 3 Σχηματική μορφή ελασμάτων

Τα ελάσματα του επαγωγικού τυμπάνου στερεώνονται στον άξονα με ειδικές σφήνες. Κατά μήκος της επιφάνειας του πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου σχηματίζονται αυλάκια μέσα στα οποία τοποθετείται το τύλιγμα .

### 2.2 Το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου

Αυτό αποτελείται από επισμαλτωμένο αγωγό χαλκού

- i. κυκλικής ή
- ii. ορθογωνικής διατομής

Το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου τοποθετείται στον πυρήνα :

- απ' ευθείας ή
- με διαμόρφωση σε ειδικά καλούπια

Ανάλογα με τη μορφή της εγκοπής του πυρήνα χρησιμοποιείται και ειδικός τύπος σφήνας. Ο σκοπός των σφηνών είναι η προστασία του τυλίγματος από τις φυγοκεντρικές δυνάμεις που αναπτύσσονται σ' αυτό όταν ο δρομέας περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα .

Τα άκρα των ομάδων του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου των εναλλακτών με σταθερούς πόλους, καταλήγουν στα δακτυλίδια .

Ο προορισμός του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου (που βρίσκεται μέσα στο σταθερό μαγνητικό πεδίο των πόλων) είναι η δημιουργία του φαινομένου της επαγωγής στους αγωγούς του όταν στρέφεται ο δρομέας μέσα στο μόνιμο μαγνητικό πεδίο των πόλων .

**3. Τα δακτυλίδια** που έχουν κατασκευή από ορείχαλκο και ο αριθμός τους εξαρτάται από τον αριθμό των φάσεων του εναλλακτήρα. Έτσι στους τριφασικούς εναλλακτήρες με σταθερούς πόλους υπάρχουν τρία δακτυλίδια .

Τα δακτυλίδια:

- i. είναι μονωμένα μεταξύ τους με μίκα
- ii. στερεώνονται με ειδικό τρόπο στον άξονα του εναλλακτήρα .

Στα δακτυλίδια καταλήγουν τα άκρα του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου του εναλλακτήρα σταθερών πόλων .

Ο προορισμός των δακτυλιδιών είναι να μεταβιβάζουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στο τριφασικό τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου του εναλλακτήρα σταθερών πόλων στην κατανάλωση .

**4. Ο ανεμιστήρας** που βρίσκεται τοποθετημένος πάνω στον άξονα και προς την αντίθετη πλευρά των δακτυλιδιών. Ο προορισμός του ανεμιστήρα είναι να δημιουργεί ψύξη τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου, επειδή κατά την λειτουργία του εναλλακτήρα των σταθερών πόλων διαρρέονται από ρεύματα μεγάλων τιμών και αναπτύσσουν θερμότητα Joule.

Η κατασκευή τους είναι:

- i. σε μορφή φτερωτής πλαστική ύλη ή
- ii. από αλουμίνιο σε μορφή φτερωτής.

Η βασική διαφορά της σύγχρονης γεννήτριας μόνιμων μαγνητών από μια κοινή σύγχρονη γεννήτρια είναι η απουσία του τυλίγματος διέγερσης.

Το πεδίο διέγερσης της μηχανής δημιουργείται από τη συστοιχία των μονίμων μαγνητών, οι οποίοι βρίσκονται τοποθετημένοι περιμετρικά στην επιφάνεια του δρομέα, ώστε να δημιουργούν ακτινικό μαγνητικό πεδίο.

### **Βαθμός απόδοσης**

Η σύγχρονη γεννήτρια είναι μια σύγχρονη μηχανή που λειτουργεί ως γεννήτρια μετατρέποντας μηχανική ισχύ σε τριφασική ηλεκτρική ισχύ στην έξοδο της. Φυσικά μια σύγχρονη γεννήτρια παρουσιάζει απώλειες κατά την μετατροπή της μηχανικής ισχύος σε ηλεκτρική, για αυτό και ποτέ η ισχύς εισόδου της δεν είναι ίση με την ισχύ εξόδου. Η ισχύς εισόδου της γεννήτριας είναι η μηχανική ισχύς που εφαρμόζεται στον άξονα της και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P_{\text{μηχ}} = T * \omega \quad (2)$$

Όπου T είναι η ροπή του συστήματος και μετριέται σε N\*m και  $\omega$  είναι η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας και ισχύει  $\omega = 2 * \pi * f$  (όπου f η συχνότητα περιστροφής της γεννήτριας )

Η ηλεκτρική ισχύς στην έξοδο της γεννήτριας δίδεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P_{\text{ac}} = 3 * V * I * \cos\phi \quad (3)$$

Η αντίστοιχη

$$P_{\text{dc}} = V * I \quad (4)$$

Ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας υπολογίζεται από τον λόγο της ηλεκτρικής ισχύς εξόδου(dc ή ac) προς την μηχανική ισχύς εισόδου της γεννήτριας.

$$\eta = P_{\text{ηλεκτ}} / P_{\text{μηχ}} * 100\% \quad (5)$$



## 1.5 Υλικά πειραματικών γεννητριών

- Ο στάτης των γεννητριών του εργαστηρίου αποτελείται από μαλακό σίδηρο.
- Ο άξονας των γεννητριών του εργαστηρίου αποτελείται από μαλακό σίδηρο.
- Το περίβλημα του άξονα αποτελείται από αλουμίνιο

Ο **μαλακός σίδηρος** μέσα στη σπείρα καθιστά το μαγνητικό πεδίο ισχυρότερο επειδή γίνεται ο ίδιος μαγνήτης όταν ρέει το ρεύμα. Επίσης χρησιμοποιείται επειδή χάνει το μαγνητισμό του μόλις το ρεύμα σταματά.

Το **αλουμίνιο** είναι ένα ελαφρύ μέταλλο στο οποίο μπορεί να ασκηθεί τεράστια δύναμη με την ανάμιξη άλλων μετάλλων (κράμα). Διευθύνει τη θερμότητα και την ηλεκτρική ενέργεια, απεικονίζει την ελαφριά και ακτινοβόλο ενέργεια και αντιστέκεται στη διάβρωση. Είναι επίσης μη μαγνητικό, μη τοξικό, και μπορεί να διαμορφωθεί με όλες τις γνωστές διαδικασίες εργασίας μετάλλων. Η πυκνότητα του είναι  $2.7 \text{ kg/dm}^3$  ή περίπου το ένα τρίτο της πυκνότητας του χάλυβα. Τα κράματα αλουμινίου έχουν τις έκτατες δυνάμεις μεταξύ 70 και  $700 \text{ N/mm}^2$ , στις χαμηλές θερμοκρασίες, η ασκούμενη δύναμη αυξάνεται χωρίς να γίνονται εύθραυστα, σε αντίθεση με τα περισσότερα κράματα χάλυβα. Στις υψηλές θερμοκρασίες οι δυνάμεις μειώνονται. Στις σταθερές θερμοκρασίες άνω των  $100^\circ\text{C}$  η δομική δύναμη επηρεάζεται τόσο πολύ, γι'αυτό πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη προσοχή. Έναντι άλλων μετάλλων το αλουμίνιο έχει έναν σχετικά μεγάλο συντελεστή της γραμμικής επέκτασης. Σε μερικές κατασκευές είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη αυτό. Είναι ένας άριστος αγωγός της θερμότητας και της ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι απλό να κατασκευαστεί με περισσότερες διατρητικές και μηχανικές τεχνικές, και είναι επίσης κατάλληλο για την προηγμένη σύνδεση και ένωση. Όπως τα περισσότερα μέταλλα, το αλουμίνιο αντιδρά με το οξυγόνο στον αέρα. Το στρώμα οξειδίων που δημιουργείται είναι πολύ λεπτό. Αυτό είναι συμπαγές και παρέχει πολύ ισχυρή προστασία διάβρωσης.

Οι μόνιμοι μαγνήτες των γεννητριών είναι φερρίτης 3.8, οι ιδιότητες των οποίων αναφέρονται στο κεφάλαιο των μόνιμων μαγνητών (2.2)

## 2. Μαγνητικό πεδίο

### 2.1 Περιγραφή μαγνητικού πεδίου

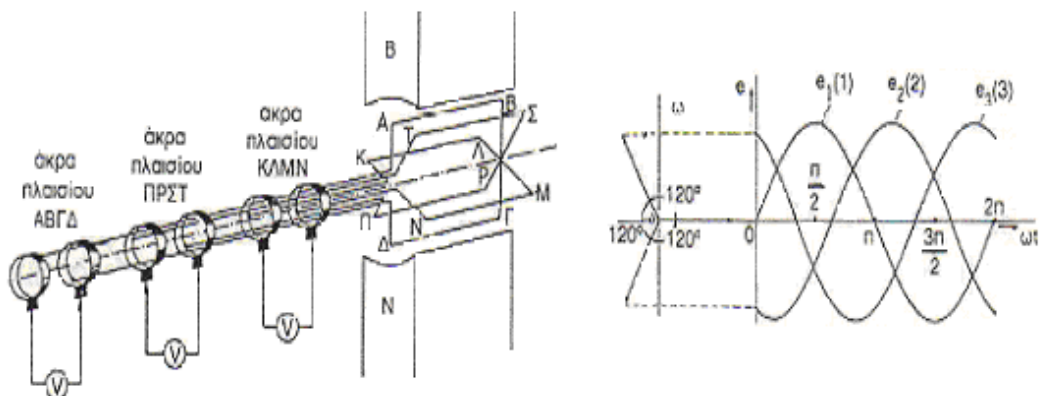
Μία από τις θεμελιώδεις ιδέες του μαγνητισμού είναι η έννοια του μαγνητικού πεδίου. Όταν σε μία περιοχή του χώρου δημιουργείται μαγνητικό πεδίο αυτό σημαίνει, ότι στην περιοχή αυτή υπάρχει μία μεταβολή της ενέργειας. Ακόμη περισσότερο, υπάρχει μία βαθμίδα ενέργειας, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση δυνάμεων. Οι δυνάμεις, που εμφανίζονται ανιχνεύονται από την επιτάχυνση ενός ηλεκτρικού φορτίου, που κινείται μέσα στο μαγνητικό πεδίο, από την δύναμη, που ασκείται σε ρευματοφόρο αγωγό, από την στρέψη ενός μαγνητικού διπόλου, όπως ο ραβδοειδής μαγνήτης ή ακόμη και από των αναπροσανατολισμό των μαγνητικών ροπών των ηλεκτρονίων σε ορισμένους τύπους ατόμων. Η απόκλιση της βελόνας μιας πυξίδας, που αποτελεί παράδειγμα μαγνητικού διπόλου, είναι ίσως η πιο οικεία ιδιότητα ενός μαγνητικού πεδίου.

Το μαγνητικό πεδίο είναι πάντα αποτέλεσμα της κίνησης ηλεκτρικών φορτίων. Για παράδειγμα, ένα ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει σε αγωγό, όπως πρώτος ανακάλυψε ο Oersted το 1819. Μαγνητικό πεδίο παράγεται και από έναν μόνιμο μαγνήτη. Στην περίπτωση αυτή, δεν υπάρχουν συμβατικά ηλεκτρικά ρεύματα, αλλά η τροχιακή και περιστροφική κίνηση των ηλεκτρονίων, τα λεγόμενα ρεύματα Ampère, στο εσωτερικό του μόνιμου μαγνήτη, που οδηγούν στη μαγνήτιση του υλικού στον εσωτερικό, και στην δημιουργία μαγνητικού πεδίου στον εξωτερικό χώρο. Το μαγνητικό πεδίο ασκεί δυνάμεις τόσο σε ρευματοφόρους αγωγούς, όσο και σε μόνιμους μαγνήτες.

Η δράση των μαγνητικών πεδίων είναι ο βασικός μηχανισμός μετατροπής ενέργειας στους κινητήρες, στις γεννήτριες και στους μετασχηματιστές. Τέσσερις είναι οι βασικές αρχές σύμφωνα με τις οποίες δρουν τα μαγνητικά πεδία:

1. Ένας ρευματοφόρος αγωγός παράγει γύρω του μαγνητικό πεδίο.
2. Ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο του οποίου οι δυναμικές γραμμές διέρχονται μέσα από κάποιο πηνίο (αγωγός σε σπείρες), επάγει τάση στα άκρα του πηνίου (σ' αυτήν την αρχή βασίζεται η λειτουργία του μετασχηματιστή).
3. Σ' ένα ρευματοφόρο αγωγό που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο εξασκείται δύναμη εξ' επαγωγής (αρχή λειτουργίας του κινητήρα).
4. Στα άκρα ενός αγωγού που κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο επάγεται τάση (αρχή λειτουργίας της γεννήτριας).

Η περιστροφή τριών πλαισίων-τοποθετημένων έτσι ώστε να σχηματίζουν γωνία 120 μοίρες μεταξύ τους, μέσα σε μαγνητικό πεδίο έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση εναλλασσόμενης Η.Ε.Δ στα άκρα του (Σχ 4).



Σχήμα 4. καμπύλες της Η.Ε.Δ. των τριών πλαισίων

Πιο συγκεκριμένα στο Σχ. 4 διακρίνεται:

- **η καμπύλη της Η.Ε.Δ (1)**, που δημιουργείται από την περιστροφή του πλαισίου (1) με πλευρικούς αγωγούς ΑΒ, ΓΔ μέσα στο μαγνητικό πεδίο.
- **η καμπύλη της Η.Ε.Δ (2)**, που δημιουργείται από την περιστροφή του πλαισίου (2) με πλευρικούς αγωγούς ΚΛ, ΜΝ μέσα στο μαγνητικό πεδίο και καθυστερεί ως προς την καμπύλη (1) κατά 120 μοίρες που είναι η διαφορά γωνίας τοποθέτησης των δυο πλαισίων και

- η **καμπύλη της Η.Ε.Δ (3)**, δημιουργείται από την περιστροφή του πλαισίου (3) με πλευρικούς αγωγούς ΠΡ,ΣΤ μέσα στο μαγνητικό πεδίο και καθυστερεί ως προς την καμπύλη (2) κατά 120 μοίρες που είναι η διαφορά γωνίας τοποθέτησης των δυο πλαισίων.

Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται γιατί ότι συμβαίνει στον αγωγό ΑΒ μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, θα συμβεί το ίδιο στον αγωγό ΚΛ μετά την στροφή του συστήματος των πλαισίων κατά 120 μοίρες και θα συμβεί το ίδιο στον αγωγό ΠΡ μετά από στροφή του συστήματος των πλαισίων κατά 120 μοίρες.

Στην τριφασική γεννήτρια Ε.Ρ το ένα από τα άκρα των πλαισίων συνδέονται μεταξύ τους, έτσι ώστε, να εξέρχονται τρία ελεύθερα άκρα. Αυτά συνδέονται τελικά στα δακτυλίδια που πλέον είναι τρία (και όχι έξι.) Οι τριφασικές γεννήτριες Ε.Ρ έχουν μπορούν να είναι κατασκευασμένες είτε με:

- α) πλαίσια περιστρεφόμενα μέσα σε ακίνητο μαγνητικό πεδίο, είτε με
- β) πλαίσια ακίνητα μέσα σε μαγνητικό πεδίο που στρέφεται.

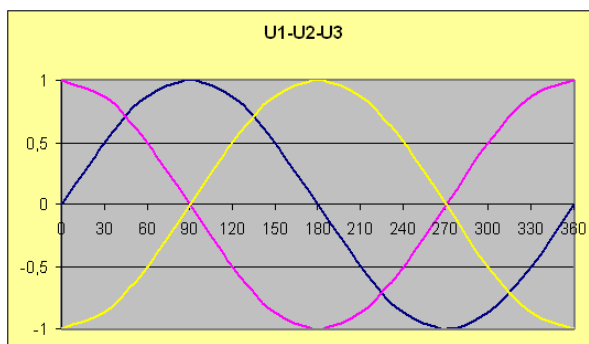
Οι στιγμιαίες τιμές που παράγουν τα δυο στρεφόμενα πλαίσια μέσα στο μαγνητικό πεδίο, περιγράφονται απ'τις σχέσεις:

$$U_1 = U_m * \eta\mu(\omega t) \quad (6)$$

$$U_2 = U_m * \eta\mu(\omega t + 2\pi/3) \quad (7)$$

$$U_3 = U_m * \eta\mu(\omega t - 2\pi/3) \quad (8)$$

και παρουσιάζονται στην Εικ.1.



### Εικόνα 1: Στιγμιαίες τιμές τάσης

Το άθροισμα των στιγμιαίων τιμών των τάσεων για την κάθε χρονική στιγμή, είναι μηδέν. Δηλαδή:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \Leftrightarrow U=0$$

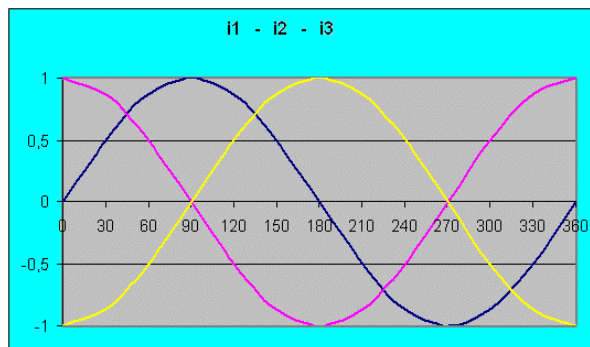
Οι στιγμιαίες τιμές των εντάσεων των ρευμάτων που διαρρέουν τα δυο στρεφόμενα πλαίσια μέσα στο μαγνητικό πεδίο, αντίστοιχα είναι: (Εικ.2)

$$i_1 = I_m * \eta \mu \omega t \quad (9)$$

$$i_2 = I_m * \eta \mu(\omega t + 2\pi/3) \quad (10)$$

$$i_3 = I_m * \eta \mu(\omega t - 2\pi/3) \quad (11)$$

και παρουσιάζονται στην Εικ.2.



Εικόνα 2: Στιγμιαίες τιμές έντασης ρεύματος

Τέλος, το άθροισμα των στιγμιαίων τιμών των εντάσεων των ρευμάτων για την κάθε χρονική στιγμή, είναι μηδέν. Δηλαδή:

$$i = i_1 + i_2 + i_3 \quad i = 0 \quad (12)$$

#### 2.1.1 Ένταση μαγνητικού πεδίου $H$

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να ορισθεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου  $H$ . Για να δοθεί έμφαση στη σχέση μαγνητικού πεδίου  $H$  και ηλεκτρικού ρεύματος, είναι καλύτερα η μονάδα της έντασης του μαγνητικού πεδίου, η ένταση του ρεύματος ανά μέτρο, να ορισθεί με όρους ρεύματος. Το μαγνητικό πεδίο  $H$  είναι η ένταση του ρεύματος ανά μέτρο,  $A/m$ , που παράγεται από ένα σωληνοειδές απείρου μήκους, που περιέχει  $n$  περιελίξεις ανά μέτρο και

διαρρέεται από ρεύμα έντασης  $1/n$  A. Βέβαια, το σωληνοειδές άπειρου μήκους είναι μία υποθετική έννοια. Ένας πιο πρακτικός, εναλλακτικός, τρόπος να ορισθεί η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι ο ακόλουθος. Ρεύμα έντασης 1 A που διαρρέει έναν ευθύγραμμο αγωγό μήκους ενός μέτρου παράγει ένταση επαπτομενικού μαγνητικού πεδίου  $1/4\pi$  A/m σε ακτινική απόσταση ενός μέτρου.

Η παραπάνω θεώρηση του μαγνητικού πεδίου  $H$  καθορίζεται μόνον από το μέγεθος και την κατανομή των ρευμάτων, που το παράγουν, και είναι ανεξάρτητη από το μαγνητικό μέσο. Η θεώρηση αυτή επιτρέπει την διάκριση μεταξύ μαγνητικού πεδίου και μαγνητικής επαγωγής. Όπως θα δούμε, όμως, στα επόμενα η θεώρηση αυτή πρέπει να τροποποιηθεί υπό προϋποθέσεις, ιδιαίτερα όταν λαμβάνονται υπ' όψιν πεδία απομαγνήτισης στα μαγνητικά υλικά. Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητο να ορισθεί η μονάδα έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος.

Δύο ευθύγραμμοι ρευματοφόροι αγωγοί απείρου μήκους, τοποθετούνται παράλληλα σε απόσταση  $d$  στο κενό. Το μέτρο της δύναμης, που ασκούν ο ένας στον άλλο ανά μονάδα μήκους δίνεται από τη σχέση (9):

$$F = \frac{\mu_0 \times I_2}{2 \times \pi \times d} \quad N/m \quad (13)$$

Όταν οι αγωγοί είναι από το ίδιο υλικό με την ίδια διατομή, βρίσκονται σε απόσταση  $d = 1$  m, και διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα  $I$ , η δύναμη, που ασκείται ανά μονάδα μήκους είναι ίση με  $2 \times 10^{-7}$  N/m. Στην περίπτωση αυτή η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος  $I$  ισούται με 1 A. Η σταθερά  $\mu_0$ , η διαπερατότητα του κενού, είναι ίση με  $4\pi \times 10^{-7}$  kgms<sup>-2</sup>A<sup>-2</sup> στο σύστημα μονάδων SI και  $\mu_0 = 1$  στο σύστημα μονάδων CGS.

### 2.1.2 Μαγνητική επαγωγή

Όταν ένα μαγνητικό πεδίο παράγεται σε ένα μέσο από ένα ηλεκτρικό ρεύμα, η απόκριση του μέσου είναι η μαγνητική του επαγωγή  $B$ . Η μαγνητική επαγωγή ορισμένες φορές αναφέρεται και σαν πυκνότητα μαγνητικής ροής, που είναι σωστός όρος, ενώ άλλες φορές αναφέρεται, ατυχώς, και σαν μαγνητικό πεδίο. Όταν στον κενό χώρο δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο

εμφανίζεται η μαγνητική ροή  $\Phi$ . Η μαγνητική ροή δίνεται σε μονάδες weber (Wb) και ο ρυθμός μεταβολής της μπορεί να μετρηθεί, καθώς παράγει ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) σε ένα κλειστό κύκλωμα αγωγού μέσα από τον οποίο περνά η μαγνητική ροή. Όμως, το ποσό μαγνητικής ροής, που παράγεται από ένταση μαγνητικού πεδίου  $H$ , εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου και μεταβάλλεται από μέσο σε μέσο. Η μαγνητική επαγωγή μπορεί να ορισθεί σαν η μαγνητική ροή 1 Wb, που περνά από επιφάνεια εμβαδού 1 m<sup>2</sup>. Καθώς η μαγνητική ροή εξαρτάται από το μέσο, η μαγνητική επαγωγή είναι κι αυτή ιδιότητα του μέσου, σε αντίθεση με την ένταση του μαγνητικού πεδίου, που είναι μία ιδιότητα του χώρου.

Συνηθέστερα, η μαγνητική επαγωγή ορίζεται με όρους δύναμης, που ασκείται σε κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο ή σε ηλεκτρικό ρεύμα και μετράται σε μονάδες tesla (T), κατ' αναλογία προς τον ορισμό της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, που ορίζεται με όρους δύναμης, που ασκείται σε στατικά ηλεκτρικά φορτία. Εάν ένα ηλεκτρικό φορτίο  $q$  κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο με ταχύτητα  $v$  η δύναμη  $F$ , που ασκείται στο φορτίο δίνεται από τη σχέση (10):

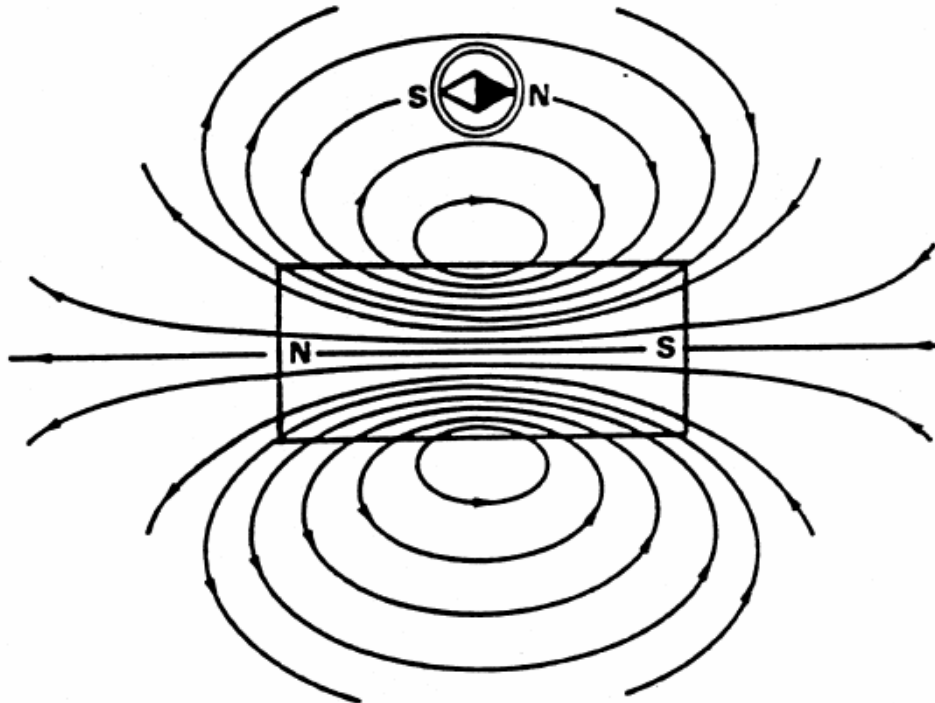
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (14)$$

Η εξίσωση (2) ορίζει το tesla (T), τη μονάδα της μαγνητικής επαγωγής B. Ένα tesla είναι η μαγνητική επαγωγή σε ένα σημείο του χώρου, όπου ασκείται δύναμη 1 N σε ηλεκτρικό φορτίο 1 Cb, που κινείται με ταχύτητα 1 m/s κάθετα προς την μαγνητική επαγωγή. Στον Πίνακα 3 δίνονται ορισμένες τιμές μαγνητικής επαγωγής με διαφορετική τάξη μεγέθους.

Πηγή	<b>B [T]</b>
Μαγνητική επαγωγή στην επιφάνεια της γης	5 X 10 <sup>-5</sup>
Μόνιμοι μαγνήτες	10 <sup>-2</sup> - 1
Ηλεκτρομαγνήτες με πυρήνα σιδήρου	μέχρι 3
Υπεραγώγιμοι μαγνήτες	μέχρι 20

Πίνακας 3: Τυπικές τάξεις μεγέθους μαγνητικής επαγωγής

Η μαγνητική επαγωγή  $\mathbf{B}$  μπορεί να περιγραφεί σχηματικά από τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου, που είναι πάντα κλειστές διαδρομές, όπως φαίνεται στο Σχ.5



Σχήμα 5: Γραμμές μαγνητικής επαγωγής ενός απλού ραβδόμορφου μαγνήτη

Σε πολλά μέσα, και στο κενό, η μαγνητική επαγωγή  $\mathbf{B}$  είναι μία γραμμική συνάρτηση της έντασης του μαγνητικού πεδίου  $\mathbf{H}$ . Ειδικότερα, στον κενό χώρο ισχύει:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} = 4\pi \times 10^{-7} \vec{H} \quad (15)$$

όπου  $\mu_0$  είναι η διαπερατότητα του κενού, η οποία είναι παγκόσμια σταθερά και μετράται σε H/m.



### 2.1.3 Μαγνητική επαγωγή και ένταση μαγνητικού πεδίου σε υλικό

Όταν ένα υλικό τοποθετείται μέσα σε εξωτερική μαγνητική επαγωγή,  $\mathbf{B}_0$ , τρεις τύποι μαγνητικής συμπεριφοράς είναι δυνατοί: διαμαγνητισμός, παραμαγνητισμός και σιδηρομαγνητισμός. Μέσα σε ένα διαμαγνητικό υλικό η εσωτερική μαγνητική επαγωγή,  $\mathbf{B}_{int}$ , είναι λίγο μικρότερη από την εξωτερική μαγνητική επαγωγή,  $\mathbf{B}_0$ . Μέσα σε ένα παραμαγνητικό υλικό η εσωτερική μαγνητική επαγωγή,  $\mathbf{B}_{int}$ , είναι λίγο μεγαλύτερη από την εξωτερική μαγνητική επαγωγή,  $\mathbf{B}_0$ , ενώ μέσα σε ένα σιδηρομαγνητικό υλικό η εσωτερική μαγνητική επαγωγή,  $\mathbf{B}_{int}$ , είναι πολύ μεγαλύτερη από την εξωτερική μαγνητική επαγωγή,  $\mathbf{B}_0$ . Με άλλα λόγια, οι δυναμικές γραμμές της μαγνητικής επαγωγής αραιώνουν από ένα διαμαγνητικό υλικό, συγκεντρώνονται από ένα παραμαγνητικό υλικό, και από ένα σιδηρομαγνητικό υλικό, όπως φαίνεται στο Σχ. 6. Μετρήσεις σε διαμαγνητικά και παραμαγνητικά υλικά δείχνουν, ότι σε μικρά εφαρμοζόμενα μαγνητικά πεδία η μαγνητική επαγωγή  $\mathbf{B}_{int}$  είναι ευθέως ανάλογη προς την ένταση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου  $\mathbf{H}$ :

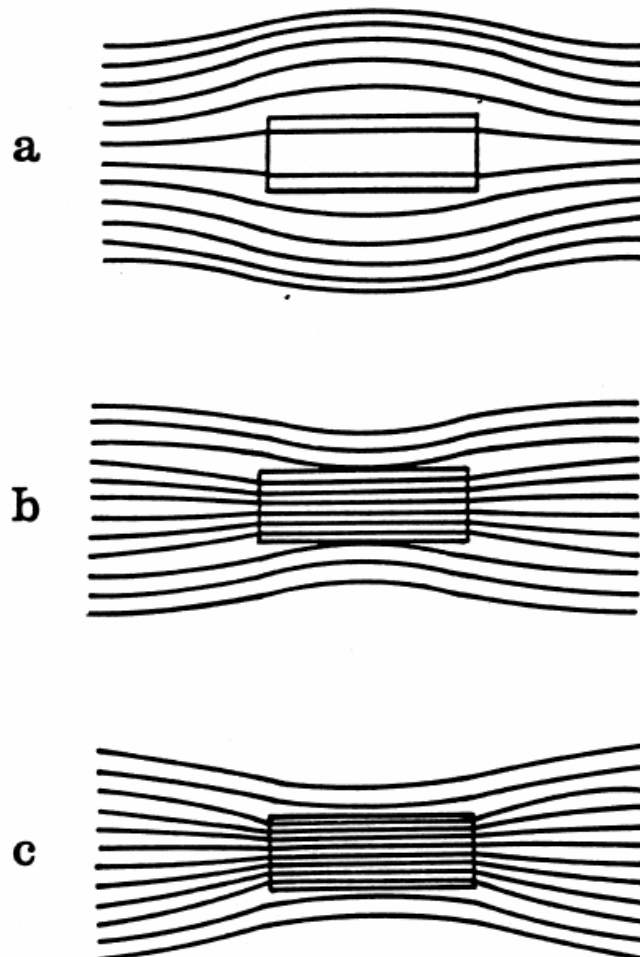
$$\mathbf{B}_{int} = \mu_r \times \mu_0 \times \mathbf{H} \quad (16)$$

όπου,  $\mu_r$  είναι η σχετική διαπερατότητα του μαγνητικού υλικού, που είναι αδιάστατο μέγεθος, σε δεδομένη θερμοκρασία και πίεση. Στα διαμαγνητικά και παραμαγνητικά υλικά η ένταση του εσωτερικού μαγνητικού πεδίου  $\mathbf{H}_{int}$  δεν διαφέρει ουσιαστικά από την ένταση του εξωτερικού μαγνητικού πεδίου  $\mathbf{H}$ . Η διαπερατότητα ενός μαγνητικού υλικού,  $\mu$ , ορίζεται από την σχέση:

$$\mu = \mu_r \times \mu_0 \quad (17)$$

σε μονάδες του  $\mu_0$ , δηλαδή,  $\text{kgms}^{-2}\text{A}^{-2}$ ,  $\text{H/m}$  ή  $\text{Tm/A}$ . Η σχετική διαπερατότητα είναι ένα μέτρο της ευκολίας με την οποία οι δυναμικές γραμμές διαπερνούν ένα υλικό και ισχύει  $\mu < 1$  για τα διαμαγνητικά υλικά και  $\mu > 1$  για τα παραμαγνητικά. Στην περίπτωση των σιδηρομαγνητικών υλικών, η σχέση ανάμεσα στο  $\mathbf{B}_{int}$  και στο  $\mathbf{H}_{int}$  δεν είναι τόσο απλή, διότι γενικά εξαρτάται από την μαγνητική προϊστορία του δείγματος. Σε ένα σιδηρομαγνητικό υλικό η ένταση του εσωτερικού μαγνητικού πεδίου  $\mathbf{H}_{int}$

μπορεί να διαφέρει ουσιαστικά από την ένταση του εφαρμοζόμενου μαγνητικού πεδίου  $H$ , λόγω του πεδίου απομαγνήτισης, όπως φαίνεται στο Σχ. 6:



Σχήμα 6: Δυναμικές γραμμές μαγνητικής επαγωγής σε διαμαγνητικό (a), παραμαγνητικό (b) σε σιδηρομαγνητικό (c) υλικό.

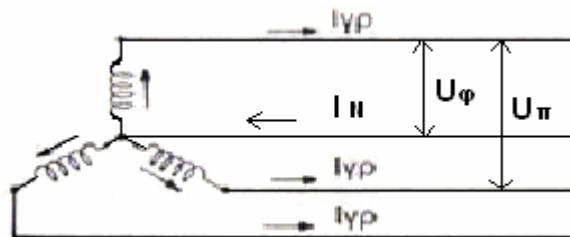
#### 2.1.4 Τρόποι σύνδεσης τυλιγμάτων

Οι τρόποι με τους οποίους είναι δυνατόν να συνδεθούν τα άκρα των τυλιγμάτων στο εσωτερικό μιας τριφασικής γεννήτριας Ε.Ρ είναι:

- i) η σύνδεση σε **αστέρα** και
- ii) η σύνδεση σε **τριγώνου**

Πιο συγκεκριμένα:

**Σύνδεση αστέρα:** είναι εκείνη που το άκρο του κάθε τυλίγματος ενώνεται με τα άλλα δυο σε ένα κοινό σημείο [κόμβος]. Έτσι υπάρχουν τρία ελεύθερα άκρα απ' όπου ξεκινούν οι αγωγοί για την τροφοδοσία των καταναλώσεων. (Σχ.5)

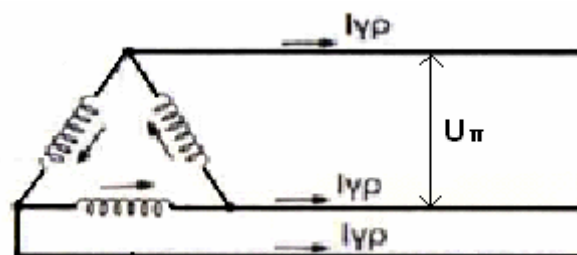


Σχήμα 7: Συνδεσμολογία αστέρα

Το κοινό άκρο των τριών τυλιγμάτων λέγεται **ουδέτερος κόμβος** και αν από αυτόν ξεκινά αγωγός, λέγεται **ουδέτερος αγωγός**.

Η διαφορά δυναμικού που υπάρχει μεταξύ των δυο μη κοινών αγωγών του πλαισίου λέγεται **πολική τάση** και συμβολίζεται  **$U_{\pi}$** . Η διαφορά δυναμικού που υπάρχει μεταξύ του ουδέτερου αγωγού και ενός από τους μη κοινούς αγωγούς του πλαισίου λέγεται **φασική τάση** και συμβολίζεται  **$U_{\phi}$** .

**Σύνδεση τριγώνου:** είναι εκείνη που τα άκρα των τυλιγμάτων ανά δυο ενώνονται μεταξύ τους. Έτσι υπάρχουν τρία διαφορετικά σημεία απ' όπου ξεκινούν οι αγωγοί για την τροφοδοσία των καταναλώσεων. (Σχ.6)



Σχήμα 8: Συνδεσμολογία τριγώνου

Στη σύνδεση τριγώνου υπάρχει μόνο η **πολική τάση**. Η ένταση του ρεύματος που διέρχεται μέσα από τους αγωγούς σύνδεσης των πλαισίων λέγεται **ρεύμα γραμμής** ή **πολικό ρεύμα** και συμβολίζεται  **$I_{\gamma\rho}$** . Η ένταση που διαρρέει τα τυλίγματα λέγεται **ρεύμα φάσης** και συμβολίζεται  **$I_{\phi}$** .

Συνοπτικά τα πολικά και φασικά μεγέθη, παρουσιάζονται στον πίνακα 4:

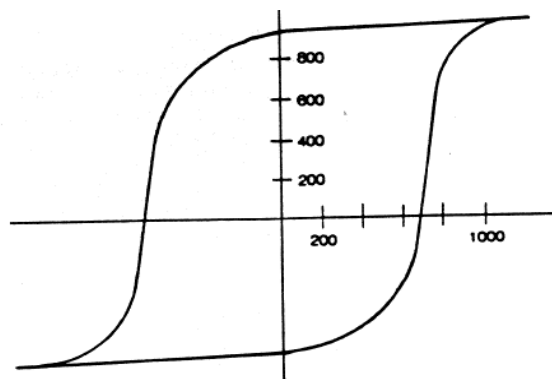
α/α	Σύνδεση αστέρα Υ	Σύνδεση τριγώνου Δ
τάση	$U_{\phi} = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$	$U_n$
ένταση	$I_{\gamma\rho} = I_{\phi}$	$I_{\phi} = \frac{I_{\gamma\rho}}{\sqrt{3}}$

Πίνακας 4: Πολικά και φασικά μεγέθη

## 2.2 Μόνιμοι μαγνήτες

### 2.2.1 Εισαγωγή

Μαζί με τους ηλεκτρικούς χάλυβες και τα υλικά μαγνητικής εγγραφής οι μόνιμοι μαγνήτες είναι η σημαντικότερη κατηγορία μαγνητικών υλικών. Μερικές από τις πιο γνωστές εφαρμογές τους είναι σε ηλεκτρικούς κινητήρες και γεννήτριες, μεγάφωνα, οθόνες τηλεόρασης, όργανα μέτρησης, κ.λ.π. Η επιλογή του κατάλληλου μαγνητικού υλικού για μόνιμο μαγνήτη με βάση το βρόχο υστέρησης εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής. Οι ιδιότητες των μονίμων μαγνητών περιγράφονται με τον καλύτερο τρόπο από την λεγόμενη “καμπύλη απομαγνήτισης”, που είναι το δεύτερο τεταρτημόριο του βρόχου υστέρησης, που προκύπτει, όταν η μαγνήτιση μειώνεται από τη μαγνήτιση κόρου. Είναι πολύ σημαντικό, να τονισθεί, ότι οι τελικές μαγνητικές ιδιότητες των υλικών μονίμων μαγνητών καθορίζονται από την μεταλλουργική επεξεργασία τους και από τη χημική τους σύσταση.



Σχήμα 9: Μαγνητική επαγωγή B, συναρτήσει της έντασης μαγνητικού πεδίου H

Το 1983 ανακαλύφθηκε ένα νέο υλικό μόνιμου μαγνήτη με βάση την διαμεταλλική ένωση  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ . Σε σύγκριση με τα μέχρι τότε χρησιμοποιούμενα υλικά παρουσιάζει πολύ καλύτερες μαγνητικές ιδιότητες, όπως, π.χ., συνεκτικό πεδίο μέχρι και  $1.12 \times 10^6 \text{ A/m}$  ( $14000 \text{ Oe}$ ) σε σχέση με τον αμέσως προηγούμενο προκάτοχό του, που με βάση τις διαμεταλλικές ενώσεις  $\text{SmCo}_5$ - $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  παρουσιάζει συνεκτικό πεδίο μέχρι  $0.72 \times 10^6 \text{ A/m}$  ( $9000 \text{ Oe}$ ).

Η πιο πρόσφατη εξέλιξη, που αφορά στην ανακάλυψη νέων υλικών με ιδιότητες κατάλληλες για μόνιμους μαγνήτες, είναι η ανακάλυψη από τους J.M.D. Coey et al. το 1990. Η ανακάλυψη αυτή δραματική βελτίωση των μαγνητικών ιδιοτήτων των υλικών αυτών. Η έρευνα για την εμπορική αξιοποίηση των υλικών αυτών είναι ακόμη σε εξέλιξη.

Μία σημαντική παράμετρος, που χαρακτηρίζει ένα μόνιμο μαγνήτη είναι το μέγιστο ενεργειακό γινόμενο  $(\text{BH})_{\text{max}}$ , που εκφράζει τη μαγνητική ενέργεια, που είναι αποθηκευμένη στο μόνιμο μαγνήτη. Η σημασία της παραμέτρου αυτής θα συζητηθεί στα επόμενα κεφάλαια. Για πολλά χρόνια το μέγιστο ενεργειακό γινόμενο ήταν της τάξης των  $50 \times 10^3 \text{ J/m}^3$ . Με την ανάπτυξη των μονίμων μαγνητών Sm-Co έφθασε τα  $160 \times 10^3 \text{ J/m}^3$ , ενώ οι μόνιμοι μαγνήτες Nd-Fe-B εμφανίζουν μέγιστο ενεργειακό γινόμενο μέχρι και  $320 \times 10^3 \text{ J/m}^3$ .

Στις περισσότερες εφαρμογές μεγάλο ρόλο παίζει η σταθερότητα των μονίμων μαγνητών. Για το λόγο αυτό τα υλικά πρέπει να χρησιμοποιούνται σε θερμοκρασίες αρκετά χαμηλότερες από τη θερμοκρασία Curie\*, καθώς η αυθόρμητη μαγνήτιση μειώνεται πολύ γρήγορα για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από το 75% της θερμοκρασίας Curie. Λόγω της σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας Curie της ένωσης Nd-Fe-B,  $312^\circ\text{C}$ , η χρήση αυτού του εξαιρετικού μαγνητικού υλικού περιορίζεται σε σχετικά χαμηλότερες θερμοκρασίες. (\* Η θερμοκρασία μετάβασης από την σιδηρομαγνητική στην παραμαγνητική συμπεριφορά ονομάζεται *θερμοκρασία Curie*.)

### 2.2.2 Σκληροί φερριτές

Τα υλικά αυτά, γνωστά και ως κεραμικοί μαγνήτες, αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του '50. Οι σκληροί εξαγωγικοί φερριτές που χρησιμοποιούνται είναι οι φερριτές του βαρίου ή του στροντίου ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  ή  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ ).

Είναι σχετικά φθηνοί στην παραγωγή και εμπορικά παραμένουν μέχρι σήμερα οι σπουδαιότεροι μόνιμοι μαγνήτες. Παρουσιάζουν συνεκτικά πεδία μεγαλύτερο από το Alnico, 150 – 250 kA/m, αλλά χαμηλό ενεργειακό γινόμενο, της τάξης των 20 kJ/m<sup>3</sup>.

### **2.2.3 Νεοδύμιο - σίδηρος - βόριο (Nd-Fe-B)**

Το υλικό αυτό ανακαλύφθηκε το 1983 κυρίως εξ αιτίας των οικονομικών συνθηκών της εποχής εκείνης. Λόγω των προβλημάτων στην προμήθεια κοβαλτίου δημιουργήθηκε η ανάγκη για ένα νέο μαγνητικό υλικό, που θα αντικαθιστούσε το Sm-Co παρά το γεγονός, ότι το τελευταίο κάλυπτε τις ανάγκες της εποχής στις εφαρμογές. Είχαν προηγηθεί ορισμένες προσπάθειες για την ανάπτυξη υλικών με βάση κράματα Nd-Fe, όμως παρά το μεγάλο συνεκτικό πεδίο οι ιδιότητες τέτοιων κραμάτων δεν ήταν επαρκώς επαναλήψιμες.

Από την έρευνα προέκυψε, ότι η προσθήκη μικρής ποσότητας βορίου βελτιώνει δραματικά τις μαγνητικές ιδιότητες των υλικών αυτών. Στα κράματα Nd-Fe-B η κύρια φάση περιέχει την διαμεταλλική ένωση Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B, που παρουσιάζει μεγαλύτερο συνεκτικό πεδίο και ενεργειακό γινόμενο από την Sm-Co. Οι μαγνητικές ιδιότητες των υλικών Nd-Fe-B είναι πολύ ευαίσθητες στη μεταλλουργική κατεργασία. Παρακάτω περιγράφεται συνοπτικά η μέθοδος παραγωγής της διαμεταλλικής ένωσης Nd-Fe-B που αναπτύχθηκε από τους Sagawa et al. και περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω. Τα συστατικά Nd, Fe, B τήκονται σε επαγωγικό φούρνο μέσα σε μία δειγματοδόχη από αλουμίνια παρουσία αδρανούς ατμόσφαιρας, π.χ. αργού, για την αποφυγή της οξειδωσης. Το κράμα κονιορτοποιείται σε σκόνη με σωματίδια διαμέτρου περίπου 3 μm. Τα σωματίδια προσανατολίζονται σε μαγνητικό πεδίο 800 kA/m, μορφοποιούνται σε δισκία κάτω από πιέσεις 200 MPa και υφίστανται συμπίκνωση μάζας χωρίς να λιώσουν (sintering) σε θερμοκρασίες 1050-1150°C.

Το κυριότερο πλεονέκτημα των κραμάτων Nd-Fe-B σε σχέση με το Sm-Co είναι το φθηνό τους κόστος. Το μειονέκτημα τους είναι η σχετικά χαμηλή τιμή της θερμοκρασίας Curie, (300-500°C). Αυτό σημαίνει, ότι οι μαγνητικές τους ιδιότητες είναι περισσότερο ευαίσθητες στη θερμοκρασία σε σχέση με το Sm-Co (TC=720°C) κι έτσι δεν είναι κατάλληλα για ορισμένες εφαρμογές σε

συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών. Τυπικές τιμές του συνεκτικού πεδίου των υλικών αυτών βρίσκονται στην περιοχή των 1100 kA/m και του μέγιστου ενεργειακού γινομένου 300-350 kJ/m<sup>3</sup>.

#### **2.2.4 Βασικά υλικά παραγωγής μονίμων μαγνητών**

Οι τέσσερις οικογένειες υλικών είναι οι AlNiCo, σκληροί φερρίτες (Ferrites) , SmCo και NdFeB.

Η βιομηχανική εκμετάλλευση τέτοιων διαφορετικών υλικών, καταδεικνύει ότι τα μαγνητικά κριτήρια απόδοσης, ειδικά το μέγιστο ενεργειακό προϊόν, δεν είναι τα μόνα κριτήρια. Οι τεχνικοί περιορισμοί όπως θερμοκρασία εργασίας, θερμική σταθερότητα, δυνατότητες ελαχιστοποίησης του μεγέθους τους (miniaturization) κ.λ.π., καθώς και οι περιορισμοί δαπανών, παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή του τύπου μαγνητών.

Οι ferrites και οι μαγνήτες NdFeB παρέχουν την ενέργεια σε χαμηλή τιμή, και κατά συνέπεια, αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς. Η επιλογή εξαρτάται από το αν έχουμε ως προτεραιότητα το κόστος ή την απόδοση.

Οι Ferrites είναι ακόμα εμπορικά επιτυχείς σήμερα, αν και ανακαλύφθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '50. Είναι αρκετά καλοί να εκπληρώσουν τις περισσότερες κλασσικές βιομηχανικές ανάγκες με χαμηλό κόστος. Καλύπτουν την πλειοψηφία των εφαρμογών παραδοσιακής και μαζικής παραγωγής όπως μηχανές και εξαρτήματα αυτοκινήτων.

Οι μαγνήτες NdFeB προτιμώνται για τις εφαρμογές υψηλής απόδοσης, συμπεριλαμβανομένου και του πάντα αυξανόμενου αριθμού νέων εφαρμογών που απαιτούν ελαχιστοποίηση μεγέθους (miniaturization), όπως για παράδειγμα τους ενεργοποιητές (actuator) που χρησιμοποιούνται ως κεφαλές στην μαγνητική εγγραφή.

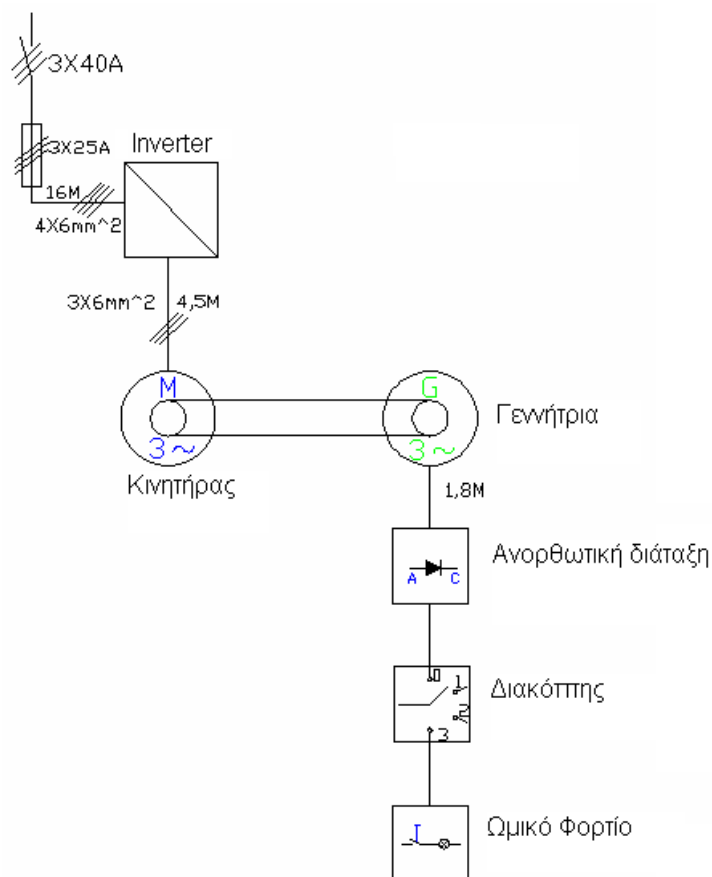
### 3. Περιγραφή μετρητικής διάταξης (Μ.Δ)

#### 3.1 Εισαγωγή

Η μετρητική διάταξη αποτελείται από:

- 1) Inverter της Siemens τον MM 420
- 2) Ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα
- 3) Γεννήτρια Ε.Ρ
- 4) Τριφασική ανόρθωση
- 5) Διάταξη ωμικών φορτίων ( λαμπτήρες )

Η συνδεσμολογία των παραπάνω καθώς και οι διατομές-αποστάσεις των αγωγών φαίνεται και στο μονογραμμικό σχέδιο (Σχ. 10)



Σχήμα 10: Μονογραμμικό σχέδιο μετρητικής διάταξης

Ο inverter τροφοδοτείται από το δίκτυο της Δ.Ε.Η με τριφασικό ρεύμα και τάση 400V. Αυτός με την σειρά του ελέγχει τον κινητήρα πλήρως (εκκίνηση, σταμάτημα, στροφές και αναστροφή).



Ο κινητήρας μέσω ενός ιμάντα περιστρέφει την γεννήτρια και εκείνη τροφοδοτεί την τριφασική ανορθωτική διάταξη. Από την ανόρθωση και μέσω ενός διακόπτη είναι δυνατή η λειτουργία.

### **3.2 INVERTER**

Στη μετρητική διάταξη, χρησιμοποιήθηκε ο τριφασικός Inverter, Micro Master 420 της SIEMENS. Ο σκοπός χρήσης του είναι η δυνατότητα να μεταβολής της συχνότητας περιστροφής του κινητήρα. Διαθέτει 6 ψηφιακές και 2 αναλογικές εισόδους, όπου έχουν δυνατότητα ελέγχου του inverter μέσω PLC και Η/Υ.

Τα σημαντικότερα βήματα ρύθμισης του inverter είναι:

#### **1. P0307= ... ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.**

σε αυτή την παράμετρο θα βάλετε την ονομαστική ισχύ του κινητήρα. αυτή η τιμή της ισχύος αναγράφεται στην πινακίδα του κινητήρα.

#### **2. P0310= ... ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.**

σε αυτή την παράμετρο θα βάλετε την ονομαστική συχνότητα λειτουργίας του κινητήρα. αυτή η τιμή αναγράφεται στην πινακίδα του κινητήρα.

#### **3. P0311= ... ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.**

σε αυτή την παράμετρο θα βάλετε την ονομαστική ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. αυτή η τιμή αναγράφεται στην πινακίδα του κινητήρα.

#### **4. P0700=... ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΡΟΣ ΤΟΝ MICROMASTER**

- a. Για εισαγωγή των εντολών από το αποσπώμενο πάνελ (β.ο.ρ). η P0700 πρέπει να έχει την ένδειξη “1”.
- b. Για εισαγωγή εντολών από τις ψηφιακές εισόδους. η P0700 πρέπει να έχει την ένδειξη “2”.

**5. P1000= ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΠΡΟΣΔΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.**

c. Για εισαγωγή της επιθυμητής συχνότητας από το αποσπώμενο πάνελ (β.ο.ρ) η P1000 πρέπει να έχει την ένδειξη “1”.

d. Για να δίνεται η επιθυμητή συχνότητα από την αναλογική είσοδο, η P1000 πρέπει να έχει την ένδειξη “2”.

e. Εισαγωγή της επιθυμητής συχνότητας από τις ψηφιακές εισόδους κάνοντας χρήση των προεπιλεγμένων ψηφιακών συχνοτήτων, η P1000 πρέπει να έχει την ένδειξη “23”.

**6. P1080=... ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

στην συγκεκριμένη παράμετρο καθορίζετε την ελάχιστη συχνότητα λειτουργίας του κινητήρα. η εργοστασιακή τιμή της παραμέτρου είναι 0 hz. επίσης σε αυτή την παράμετρο **μπορούμε να ρυθίσουμε την συχνότητα (δηλαδή την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα).**

**7. P1082=... ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.**

στην συγκεκριμένη παράμετρο καθορίζετε την μέγιστη επιτρεπτή συχνότητα λειτουργίας του κινητήρα. η εργοστασιακή τιμή της παραμέτρου είναι 50 hz.

**8. P1120=... ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΣ.**

στην συγκεκριμένη παράμετρο καθορίζετε τον χρόνο που θα χρειαστεί ο κινητήρας για να φτάσει στις ονομαστικές του στροφές από στάση.

**9. P1121=... ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΕΩΣ.**

στην συγκεκριμένη παράμετρο καθορίζετε τον χρόνο που θα χρειαστεί ο κινητήρας για να φτάσει από τις ονομαστικές του στροφές σε στάση.

**10. P3900=1 ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΓΡΗΓΟΡΗΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ.**

με αυτή την παράμετρο ολοκληρώνεται η διαδικασία της γρήγορης εκκίνησης.

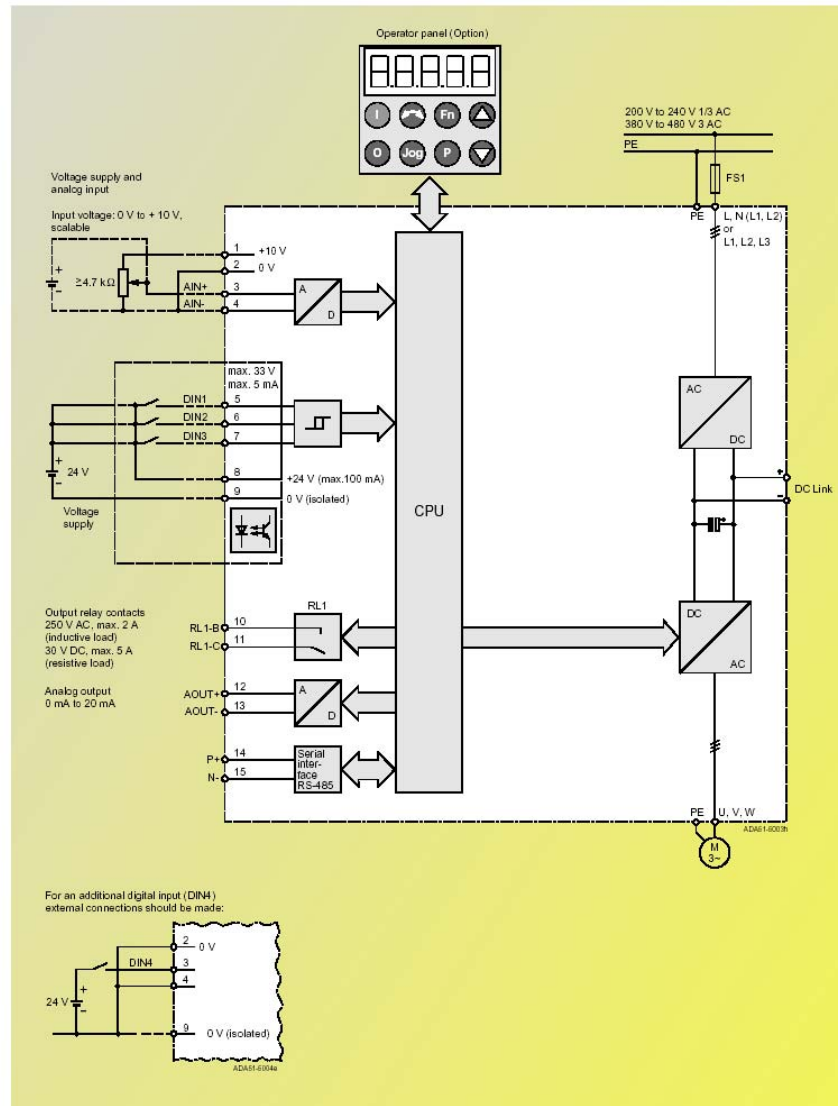
Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζεται το κύκλωμα του inverter του εργαστηρίου:

## MICROMASTER 420

### Circuit Diagram

#### General Circuit Diagram

2



Διάγραμμα 1. Διάγραμμα Κυκλώματος του MM420

### 3.3 ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (ΑΤΚ)

#### 3.3.1 Εισαγωγή

Η λειτουργία των ΑΤΚ βασίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής κατά το οποίο αναπτύσσεται ΗΕΔ στους αγωγούς του τυλίγματος του δρομέα - που είναι ακίνητοι αρχικά - όταν στρέφεται το μαγνητικό πεδίο του στάτη. Αυτός είναι ο λόγος που οι ΑΤΚ λέγονται επαγωγικοί.

Για την εξήγηση της λειτουργίας θεωρούμε ένα στοιχειώδη ΑΤΚ στο δρομέα του υπάρχουν οι αντιδιαμετρικοί αγωγοί, του τυλίγματος της μιας φάσης του.

Τα στάδια για την λειτουργία ενός ΑΤΚ είναι τα παρακάτω :

1) το τριφασικό τυλίγμα του στάτη του ΑΤΚ τροφοδοτείται με ρεύμα από το τριφασικό δίκτυο οπότε δημιουργείται σε αυτό στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο ταχύτητας :

$$n_s = 60 \cdot f / p \quad (18)$$

όπου :  $f$  = η συχνότητα του ρεύματος τροφοδοσίας

$p$  = ο αριθμός ζευγών πόλων του ΑΤΚ

2) οι αγωγοί του δρομέα – που αρχικά είναι ακίνητος – τέμνονται από τις μαγνητικές γραμμές του στρεφόμενου πεδίου, όποτε σε αυτούς αναπτύσσεται ΗΕΔ που η φορά της προσδιορίζεται με τον κανόνα του δεξιού χεριού.

Οι αγωγοί αυτοί - όμως - διαρρέονται και από το επαγωγικό ρεύμα γιατί το ηλεκτρικό κύκλωμα του δρομέα κλείνει μέσα από:

α) τα στεφάνια βραχυκύκλωσης στους ΑΤΚ βραχυκυκλωμένου δρομέα  
και

β) τον εκκινητή στους ΑΤΚ με δακτυλίδια

3) στους ρευματοφόρους αγωγούς του δρομέα που βρίσκονται μέσα στο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο στάτη αναπτύσσονται δυνάμεις Laplace. Από αυτές τις δυνάμεις οι αντιδιαμετρικές αποτελούν μεταξύ τους ζεύγη που δημιουργούν ροπή στρέψης και περιστρέφουν τον δρομέα του κινητήρα.

Η ταχύτητα περιστροφής που αναπτύσσει ο δρομέας του ΑΤΚ είναι η ασύγχρονη “ $n$ ” και είναι μικρότερη από την ταχύτητα περιστροφής  $n_s$  του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

### 3.3.2 Διολίσθηση κινητήρων

Κατά τη λειτουργία ενός ATK ο δρομέας του αναπτύσσει την ασύγχρονη ταχύτητα περιστροφής του  $n$ . Έτσι το εσωτερικό του ATK υπάρχουν δυο ταχύτητες περιστροφής για τις οποίες έχουμε την παρακάτω διάκριση:

$$n_s > n$$

**Η διολίσθηση:**

- είναι σχετικό σφάλμα μεταξύ των δυο παρακάτω  $n$  ταχυτήτων  $n_s$ ,  $n$  και συμβολίζεται με  $S$
- Δίνεται από την σχέση,  $S = (n_s - n) / n_s$  (19)
- Είναι καθαρός αριθμός μικρότερος από την μονάδα και χαρακτηρίζει την ποιότητα του ATK αν :  $s \rightarrow 0$ , ενώ
- οι τιμές της ανήκουν στο φάσμα του (1:8)% της σύγχρονης ταχύτητας περιστροφής  $n_s$ .

### 3.3.3 Στοιχεία κινητήρα εργαστηρίου

Ο Α.Τ.Κ που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο για την πραγματοποίηση των μετρήσεων είναι της ELECTRO ADDA μοντέλο C132/4 (σχήμα 11) με τα εξής ονομαστικά μεγέθη:

$$P = 7,5 \text{ KW}$$

$$\text{Cos}\phi = 0,81$$

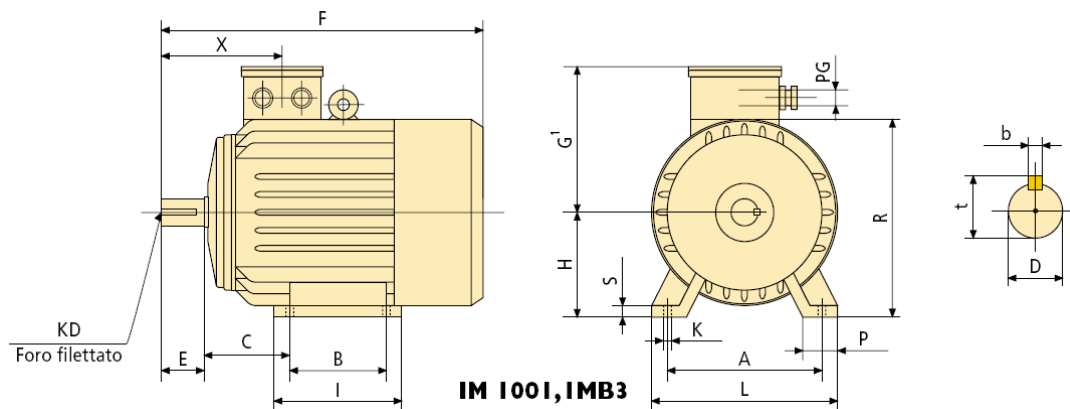
$$n = 1440 \text{ rpm}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$\text{Συνδεσμολογία } \Upsilon: 690 \text{ Volt/ } 9,19 \text{ Amps}$$

$$\text{Συνδεσμολογία } \Delta: 400 \text{ Volt/ } 15,9 \text{ Amps}$$

Στον κινητήρα πραγματοποιήθηκε συνδεσμολογία τριγώνου

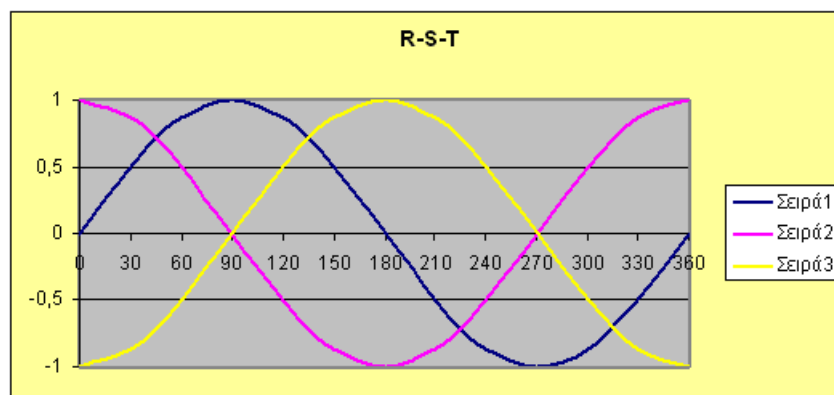


Σχήμα 11: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας εργαστηρίου

### 3.4 Ανορθωτική διάταξη

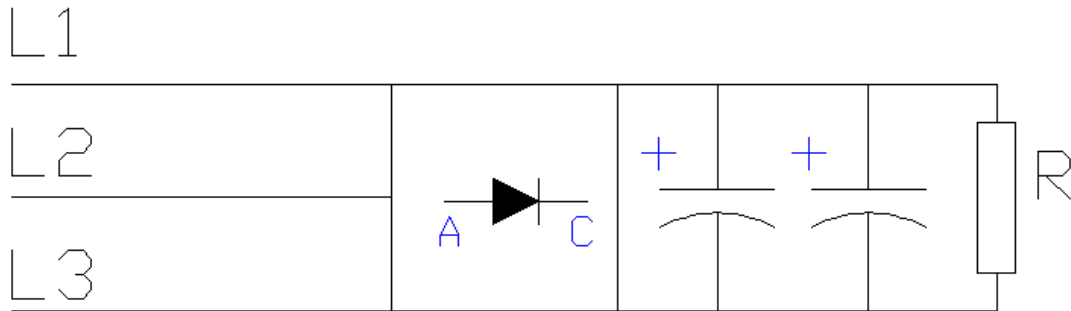
Όπως έχει προαναφερθεί ο σκοπός της διάταξης είναι η μέτρηση, η μελέτη και η εύρεση της καμπύλης ισχύος των γεννητριών οι οποίες επρόκειτο να τροφοδοτήσουν συσσωρευτές (dc). Σε περίπτωση που, η γεννήτρια που εξετάζεται είναι εναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιείται μετά την έξοδο της τριφασική Ανορθωτική διάταξη. Με αυτόν τον τρόπο μετατρέπεται το τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα της γεννήτριας σε συνεχές ρεύμα.

Η ανορθωτική διάταξη αποτελείται από τριφασική γέφυρα πλήρους ανόρθωσης με διόδους έξι παλμών (μη ελεγχόμενη). Στην έξοδο της γέφυρας τοποθετείται ηλεκτρολυτικός πυκνωτής οποίος χρησιμοποιείται σαν φίλτρο εξομάλυνσης για την απόσβεση του βαθμού κυμάτωσης στην dc τάση εξόδου. Οι τρεις φάσεις στην έξοδο της γεννήτριας EP φαίνονται στην Εικ. 3

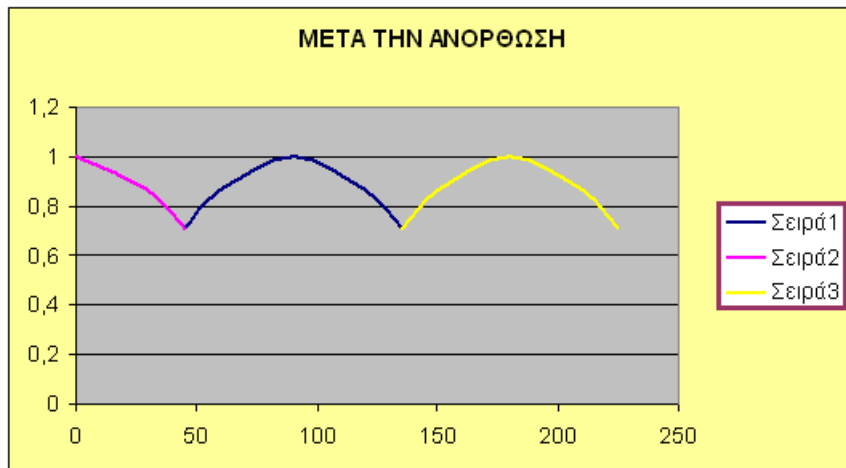


Εικόνα 3 : Χαρακτηριστική καμπύλη εξόδου τριφασικής γεννήτριας E.P

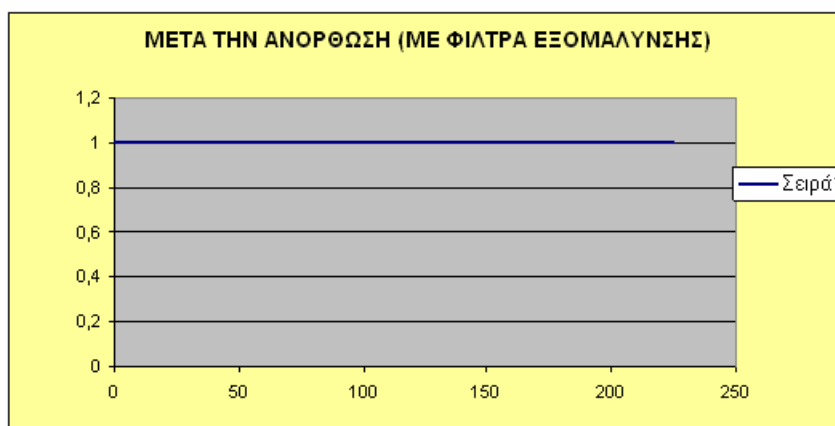
Στην εικ. 4 παρουσιάζονται οι τρεις φάσεις της γεννήτριας μετά την έξοδο της ανορθωτικής γέφυρας ενώ στην εικ. 5 παρουσιάζονται οι τρεις φάσεις της γεννήτριας μετά την έξοδο της ανορθωτικής γέφυρας(Σχ. 12) με φίλτρα εξομάλυνσης (ανορθωτική διάταξη)



Σχήμα 12. Ανορθωτική διάταξη μετρητικής διάταξης



Εικόνα 4: Χαρακτηριστική καμπύλη εξόδου ανορθωτικής γέφυρας



Εικόνα 5: Χαρακτηριστική καμπύλη εξόδου ανορθωτικής διάταξης

### 3.5 Πλακέτα – Αισθητήρια

Τα μεγέθη που παρουσιάζουν ενδιαφέρον είναι η **τάση**, το **ρεύμα** και η **ροπή** του κινητήρα και της γεννήτριας.

Οι μετρήσεις των παραπάνω διεξάγονται μέσω συγκεκριμένων αισθητηρίων τα οποία βγάζουν στην έξοδο τους τάση και με την ανάλογη βαθμονόμηση δίνουν σωστά αποτελέσματα.

Τα αισθητήρια τάσης, ρεύματος και ροπής δίνουν αναλογικό σήμα.

**3.5.1 Μέτρηση τάσης:** Χρησιμοποιείται το αισθητήριο τάσης της RS, **LEM LV25-P** (Εικ. 6). Αυτό το αισθητήριο δέχεται στην είσοδο του τάση +15V και -15V και βγάζει στην έξοδο του υποδιαίστερη τάση.



Εικόνα 6: Αισθητήριο τάσης

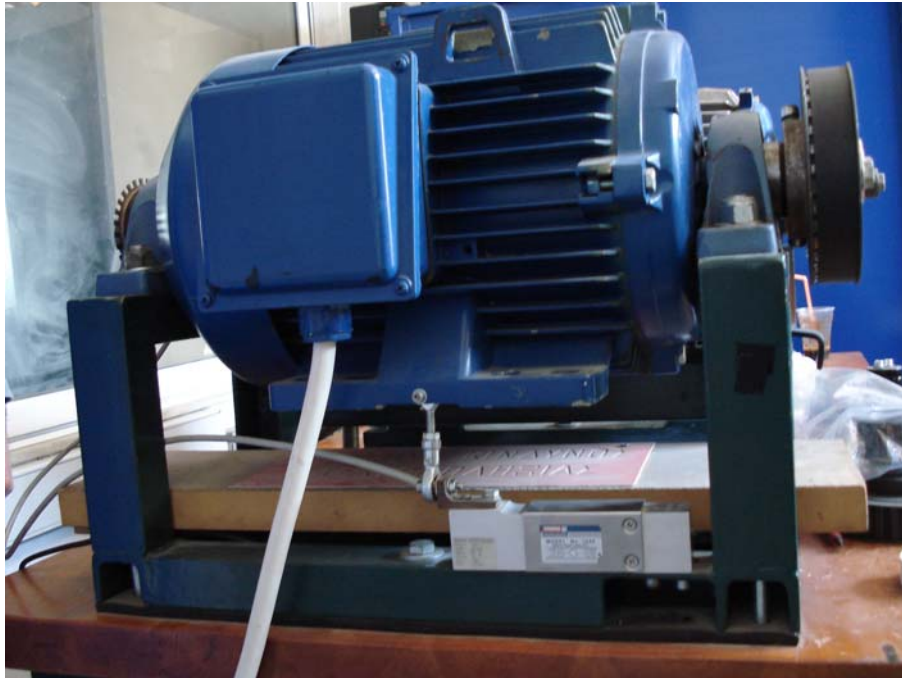
**3.5.2 Μέτρηση ρεύματος :** Χρησιμοποιείται το αισθητήριο ρεύματος της RS, **LEM LTA 100P/SP1**. Όπως φαίνεται στην εικ. 7 μέσα από το αισθητήριο περνά αγωγός και ανάλογα με την ένταση του ρεύματος βγάζει κάποια πολύ μικρή τάση.



Εικόνα 7: Αισθητήριο ρεύματος



**3.5.3 Μέτρηση ροπής :** Χρησιμοποιείται το αισθητήριο ροπής της TEDEA, HUNTLEIGH No. 1040 (εικόνα 8). Το αισθητήριο αυτό τοποθετήθηκε κάτω από τον κινητήρα έτσι ώστε να δέχεται πίεση από αυτόν όταν περιστρέφεται και στην έξοδο του βγάζει τάση.



Εικόνα 8: Αισθητήριο ροπής τοποθετημένο στην διάταξη

Η λειτουργία των αισθητηρίων αναφέρονται αναλυτικά στο Παράρτημα Δ.

### **3.6 Συνδεσμολογία φορτίων**

Στην κατασκευή υπάρχουν σαράντα λαμπτήρες (100W, 24V), που παραλληλίζονται ή μπαίνουν σε σειρά μεταξύ τους με την βοήθεια κατάλληλων διακοπών. Παρακάτω εξηγούνται αναλυτικά οι τέσσερις διαφορετικές συνδεσμολογίες των λαμπτήρων.

### 3.6.1 Φορτία μέχρι 1 KW / Γεννήτρια 24V

ΘΕΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ Α	ΘΕΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ Γ	ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΦΟΡΤΙΩΝ	ΒΗΜΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ
ΑΝΟΙΚΤΟΣ (1)	1 (2)	10 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ	100W	1KW

Πίνακας 5. Καταστάσεις μετρητικής διάταξης για μετρήσεις γεννητριών 1 KW / 24V

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Με την παραπάνω σύνδεση είναι δυνατή η μέτρηση γεννητριών ονομαστικής τάσης 24 volts και ονομαστικής έντασης ρεύματος 42 A. Οι μετρούμενες τιμές δεν επιτρέπεται να υπερβούν τα παραπάνω όρια.



Εικόνα 9: Διακόπτης Α



Εικόνα 10: Διακόπτης Γ στη θέση 1

(1): Εικόνα 9

(2): Εικόνα 10

### 3.6.2 Φορτία μέχρι 2 KW / Γεννήτρια 24V

ΘΕΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ <b>A</b>	ΘΕΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ <b>Γ</b>	ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΦΟΡΤΙΩΝ	ΒΗΜΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ
(3) A-Γ	(4) 1	20 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ	200W	2KW

Πίνακας 6. Καταστάσεις μετρητικής διάταξης για μετρήσεις γεννητριών 2 KW / 24V

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Με την παραπάνω σύνδεση μελετάμε γεννήτριες ονομαστικής τάσης 24 volts και ονομαστικής έντασης ρεύματος 82 A. Οι μετρούμενες τιμές δεν επιτρέπεται να υπερβούν τα παραπάνω όρια.



Εικόνα 11 : Διακόπτης Α συνδεδεμένος με τον Γ

(3): Εικόνα 11

(4): Εικόνα 12

### 3.6.3 Φορτία μέχρι 2 KW / γεννήτρια 48V

ΘΕΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ Α	ΘΕΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ Γ	ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΦΟΡΤΙΩΝ	ΒΗΜΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ
ΑΝΟΙΚΤΟΣ (1)	(4) 2	20 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ 10 ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΑΝΑ ΔΥΟ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	200W	2KW

Πίνακας 7. Καταστάσεις μετρητικής διάταξης για μετρήσεις γεννητριών 2 KW / 48V

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Με την παραπάνω σύνδεση μελετάμε γεννήτριες ονομαστικής τάσης 48 volts και ονομαστικής έντασης ρεύματος 42 A. Οι μετρούμενες τιμές δεν επιτρέπεται να υπερβούν τα παραπάνω όρια.



Εικόνα 12: Διακόπτης Γ στη θέση 2

(1): Εικόνα 9

(4): Εικόνα 12

### 3.6.4 Φορτία μέχρι 4 KW / γεννήτρια 48V

ΘΕΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ Α	ΘΕΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ Γ	ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΦΟΡΤΙΩΝ	ΒΗΜΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ
(5) Α-Ε	(4) 2	40 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ 20 ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΑΝΑ ΔΥΟ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	400W	4KW

Πίνακας 8. Καταστάσεις μετρητικής διάταξης για μετρήσεις γεννητριών 4KW / 48V

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Με την παραπάνω σύνδεση μελετάμε γεννήτριες ονομαστικής τάσης 48 volts και ονομαστικής έντασης ρεύματος 82 A. Οι μετρούμενες τιμές δεν επιτρέπεται να υπερβούν τα παραπάνω όρια.



Εικόνα 13 : Διακόπτης Α συνδεδεμένος με το Ε

(4): Εικόνα 12

(5): Εικόνα 13

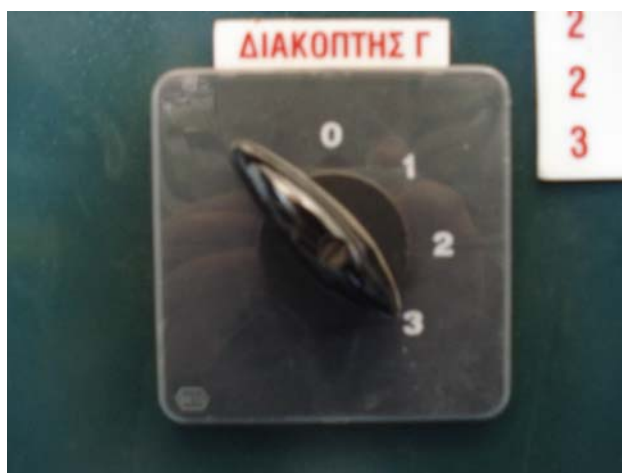
### 3.6.5 Φορτία μέχρι 4 KW/γεννήτρια 96V

ΘΕΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ Α	ΘΕΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ Γ	ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΦΟΡΤΙΩΝ	ΒΗΜΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ
ΑΝΟΙΚΤΟΣ (1)	3 (6)	40 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ 10 ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΑΝΑ ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	400W	4KW

Πίνακας 9. Καταστάσεις μετρητικής διάταξης για μετρήσεις γεννητριών 4KW / 96V

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Με την παραπάνω σύνδεση μελετάμε γεννήτριες ονομαστικής τάσης 96 volts και ονομαστικής έντασης ρεύματος 42 A. Οι μετρούμενες τιμές δεν επιτρέπεται να υπερβούν τα παραπάνω όρια.



Εικόνα 14: Διακόπτης Γ στη θέση 3

(1): Εικόνα 9

(6): Εικόνα 14

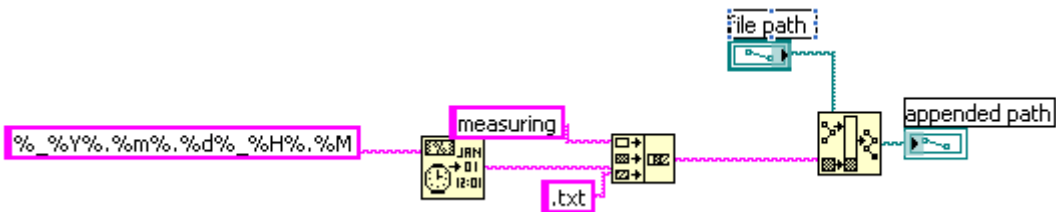
### 3.7 Πρόγραμμα καταγραφής δεδομένων

Το πρόγραμμα (Παράρτημα Γ, Εικ.1) αποτελείται από επιμέρους VIs (εικονικά όργανα) όπου το καθένα εκτελεί κάποια συγκεκριμένη λειτουργία. Παρακάτω θα αναλυθεί η λειτουργία των επιμέρους VI ξεχωριστά και στο τέλος θα γίνει επεξήγηση της συνολικής λειτουργίας όλων των VI.

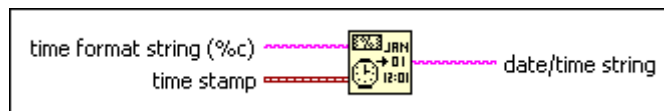
#### 3.7.1 Λειτουργία επιμέρους VI

file name  
file path

##### Αρχειοθέτηση (File path)

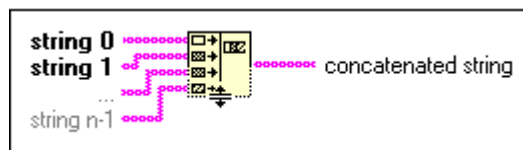


##### Σειρά ημερομηνίας/ χρόνου σχήματος



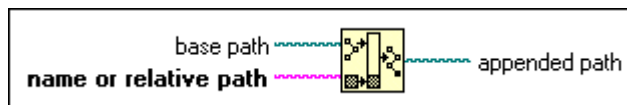
Το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα καταγραφής: έτους, μήνα, μέρα, ώρα, λεπτά, δευτερόλεπτα κ.α

##### Σύνδεση των Strings



Τοποθετεί τα strings σε μονοδιάστατους πίνακες (arrays).

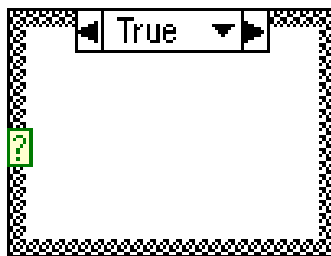
##### Δημιουργία Path



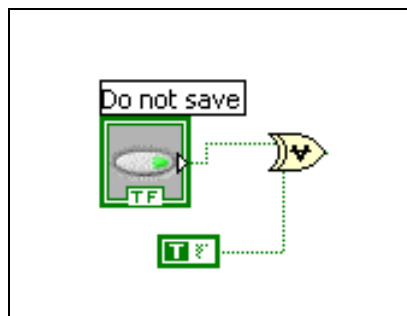
Δημιουργεί ένα νέο path με την επισύναψη ενός ονόματος (ή σχετικού path) σε ένα υπάρχον path.

Σύμφωνα με τα παραπάνω το File path χρησιμοποιείται για την ένδειξη ορισμένων πληροφοριών (ημερομηνία, ώρα, κτλ)

Το File path έχει τοποθετηθεί μέσα σε ένα **case structure** το οποίο δίνει την δυνατότητα όταν η είσοδος του είναι αληθείς να στέλνει τα δεδομένα του VI (File path) ενώ όταν είναι ψευδής τότε τα δεδομένα δεν αποστέλλονται.



#### Διαδικασία ελέγχου αποθήκευσης

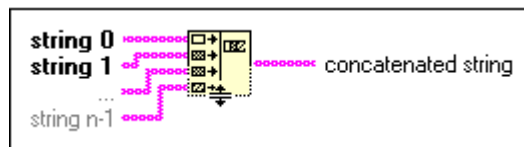
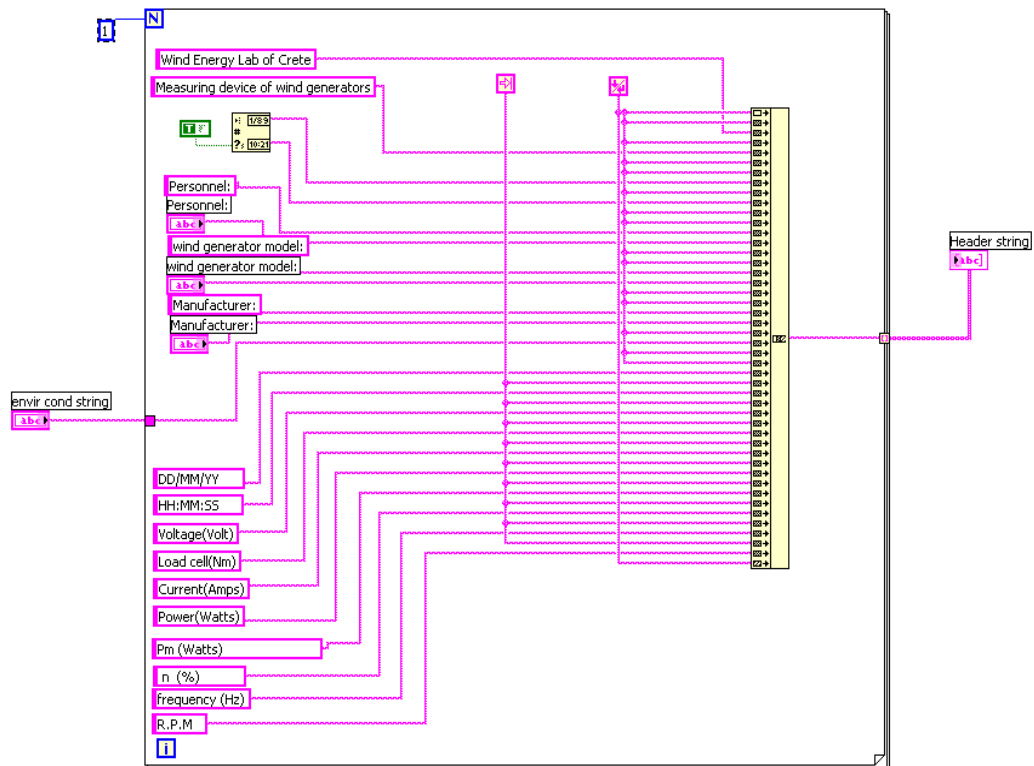


Η διαδικασία αυτή δίνει την δυνατότητα αποθήκευσης και μη αποθήκευσης των μετρήσεων. Με την τοποθέτηση της εντολής XOR της οποίας, η μια είσοδος βρίσκεται μόνιμα σε κατάσταση true και η άλλη μεταβάλλεται από τον χρήστη. Όταν η μεταβαλλόμενη είσοδος βρίσκεται σε κατάσταση true τότε η έξοδος της δίνει false (δηλαδή δεν αποθηκεύει) ενώ όταν βρίσκεται σε κατάσταση false τότε η έξοδος της δίνει true (δηλαδή αποθηκεύει).



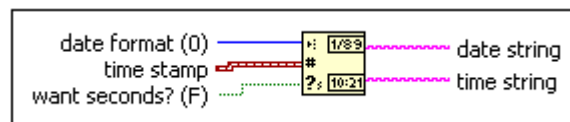


## String



Όπως έχει προαναφερθεί η λειτουργία του είναι να συνδέει τα strings που υπάρχουν στην είσοδο του και να τα τοποθετεί σε ένα μονοδιάστατο array.

### Get Date/Time String



Στις εισόδους του, δέχεται δεδομένα από τον υπολογιστή (ημερομηνία και ώρα) και δίνει στις εξόδους της, στην πρώτη την ημερομηνία και στη

δεύτερη την ώρα.(έχουμε την δυνατότητα στην ώρα να φαίνονται και τα δευτερόλεπτα)

## For Loop



Εκτελεί το sub diagram  $n$  φορές, όπου  $n$  είναι η τιμή που συνδέεται με καλώδιο στην (**N**) αριθμηση. Η επανάληψη (**i**) παρέχει την αριθμηση επανάληψης τρεχόντων βρόχων, η οποία κυμαίνεται από 0 έως  $n-1$ .

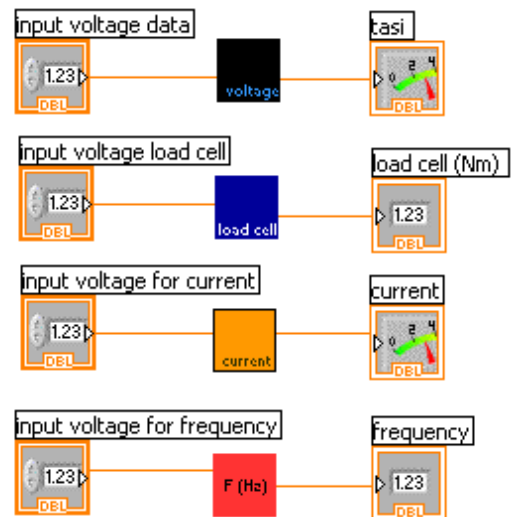
## Μετρητικό



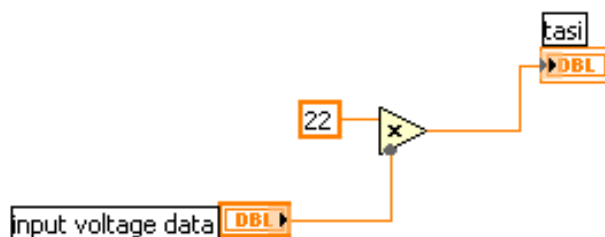
Το **μετρητικό vi** αποτελείται από τέσσερα διαφορετικά vi όπως φαίνεται στην απεικόνιση που ακολουθεί :

- **voltage**
- **load cell**
- **current**
- **frequency**

Παρακάτω γίνεται η ανάλυση της λειτουργίας των παραπάνω vi ξεχωριστά.



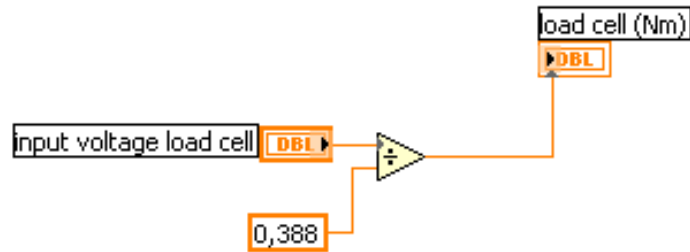
## Voltage



Το **voltage vi** καταγράφει την τάση στα άκρα των φορτίων. Στην είσοδο του δέχεται τάση, από το αισθητήριο τάσης της πλακέτας και με τη κατάλληλη βαθμονόμηση (βλέπε παράγραφο 3.7.2) καταγράφεται η τάση που βρίσκεται στα άκρα των φορτίων.



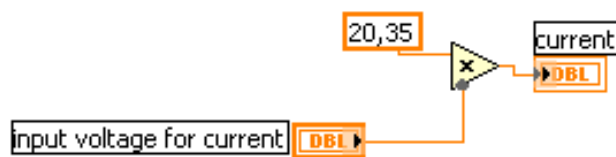
## Load cell



Το **load cell vi** καταγράφει την ροπή του συστήματος(κινητήρα-γεννήτρια). Στην είσοδο του δέχεται τάση, από το αισθητήριο ροπής και με τη κατάλληλη βαθμονόμηση (βλέπε παράγραφο 3.7.2) καταγράφεται η ροπή του συστήματος (κινητήρα-γεννήτρια). Σε περίπτωση που καταγραφεί αρνητικό αποτέλεσμα σημαίνει ότι ο κινητήρας και επομένως η γεννήτρια περιστρέφονται αριστερόστροφα.

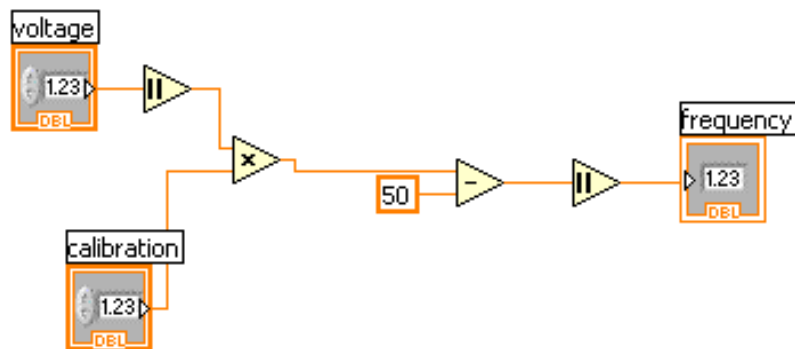


## Current



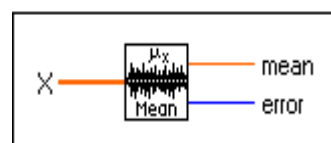
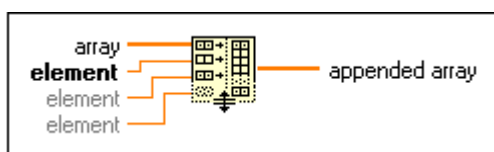
Το **current vi** καταγράφει την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τα φορτία. Στην είσοδο του δέχεται τάση, από το αισθητήριο ρεύματος και με την κατάλληλη βαθμονόμηση καταγράφεται η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τα φορτία.

## Frequency



Το **f(Hz)** vi καταγράφει την συχνότητα περιστροφής **του κινητήρα**. Η συχνότητα του κινητήρα ελέγχεται από ένα ποτενσιόμετρο που έχει τοποθετηθεί στις ψηφιακές εξόδους του inverter. Το ποτενσιόμετρο μεταβάλλει την τάση από μηδέν έως και δέκα volts, όρια τα οποία είναι ανεκτά για τις εισόδους της κάρτας του labview. Για τον λόγο αυτό οδηγείται το σήμα της τάσης απευθείας , χωρίς την τοποθέτηση αισθητηρίου. Από την γνωστή σχέση στροφών με συχνότητα , απεικονίζεται και ο αριθμός των στροφών.

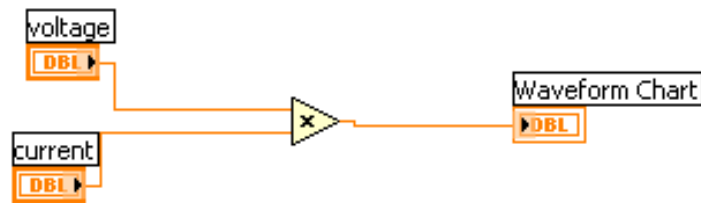
## Build array - Mean



Στην έξοδο του μετρητικού vi έχουν τοποθετηθεί **build arrays** για την μετατροπή των στοιχείων (μετρήσεις) σε διαστατικά arrays και στη συνέχεια η μέθοδος **mean** η οποία δίνει τον μέσο όρο των μετρήσεων του κάθε σήματος χωριστά.



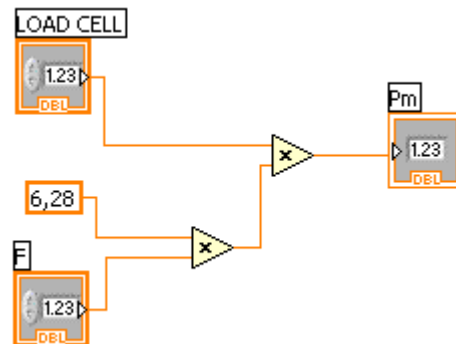
## Power



Το **power vi** καταγράφει την ανορθωμένη ισχύ εξόδου της γεννήτριας με έμμεσο τρόπο. Καταγράφει τις τιμές της τάσης και του ρεύματος τις οποίες πολλαπλασιάζει και μέσω αυτής της διαδικασίας καταγράφεται η ισχύς.



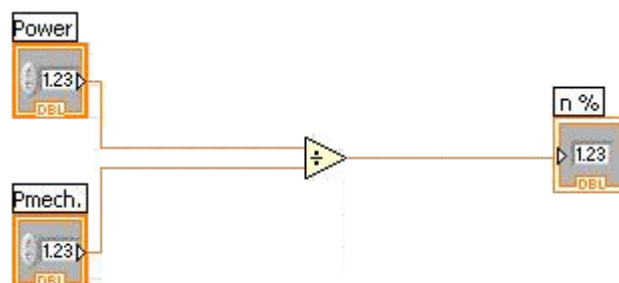
## Pmechanical



Το **Pmech. vi** καταγράφει την ισχύ εισόδου της γεννήτριας που είναι η μηχανική ισχύς εξόδου του κινητήρα. Καταγράφει τις τιμές του **load cell** και της συχνότητας και τις πολλαπλασιάζει μεταξύ τους και με το 6,28 ( $2 \cdot \pi$ ).



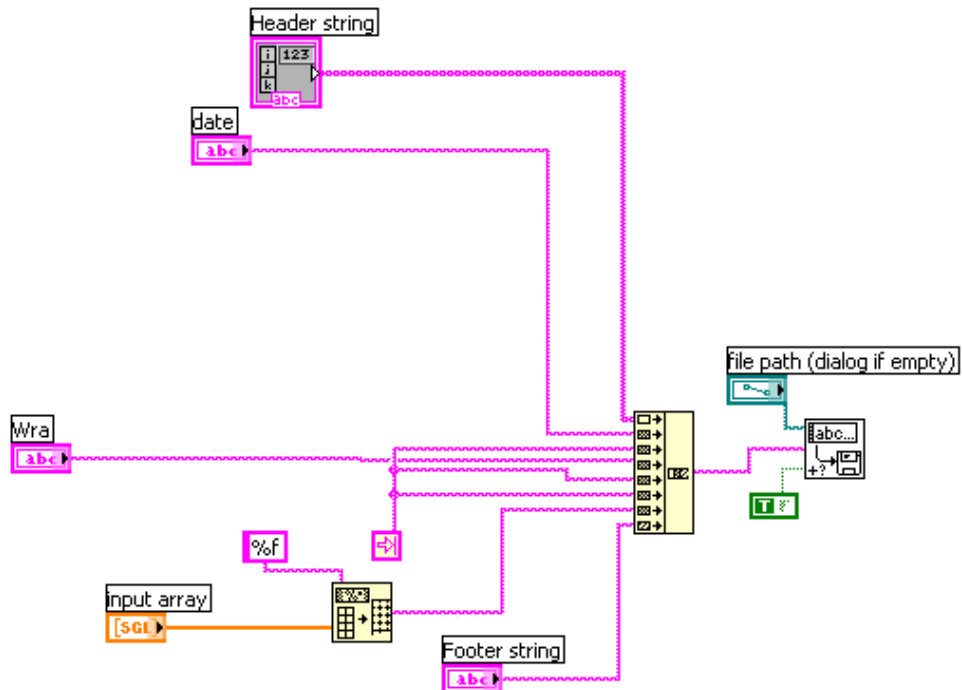
## Βαθμός απόδοσης



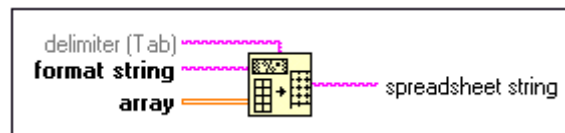
Το **n % vi** καταγράφει τις ισχύς εισόδου και εξόδου της γεννήτριας, τις διαιρεί και βγάζει τον βαθμό απόδοσης της.



## Save

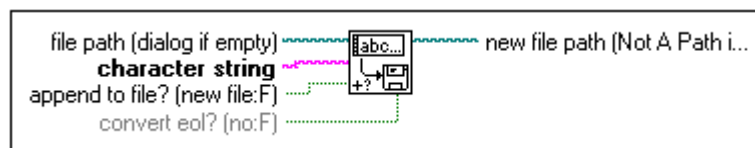


## Array to Spreadsheet String



Μετατρέπει ένα **array** από οποιαδήποτε διάσταση σε **spreadsheet string**.

## Write Characters to File




Γράφει ένα **character string** σε ένα νέο **byte stream** αρχείο ή επισυνάπτει το **string** σε ένα υπάρχον αρχείο. Το VI ανοίγει ή δημιουργεί το αρχείο πριν γραφτεί σε αυτό και κατόπιν το κλείνει.

Γενικά το save vi είναι ο χώρος αποθήκευσης όλων των πληροφοριών που έχουν προαναφερθεί (ημερομηνία, ώρα, έτος, κα.) και των μετρήσεων. Το save vi έχει τοποθετηθεί μέσα σε ένα case structure της οποίας η λειτουργία έχει αναλυθεί παραπάνω (δημιουργία **path**).

## DAQ Assistant

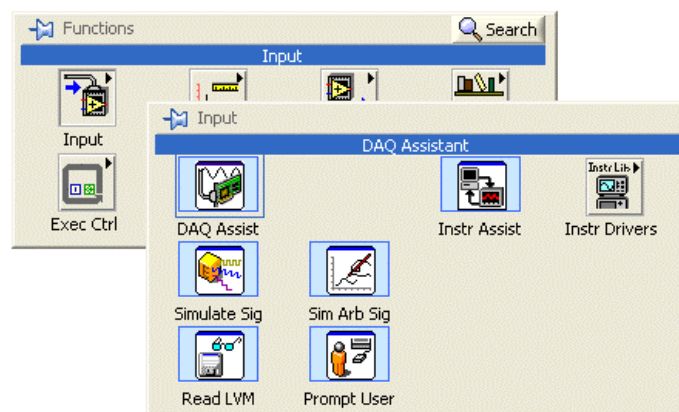
### Block Diagram Inputs

	volt_load cell_current
	data ▶
	error out ▶
	stopped ▶
	task out ▶
	error in ▶
	number of sample ▶
	rate ▶
	stop (F) ▶
	timeout (sec) ▶

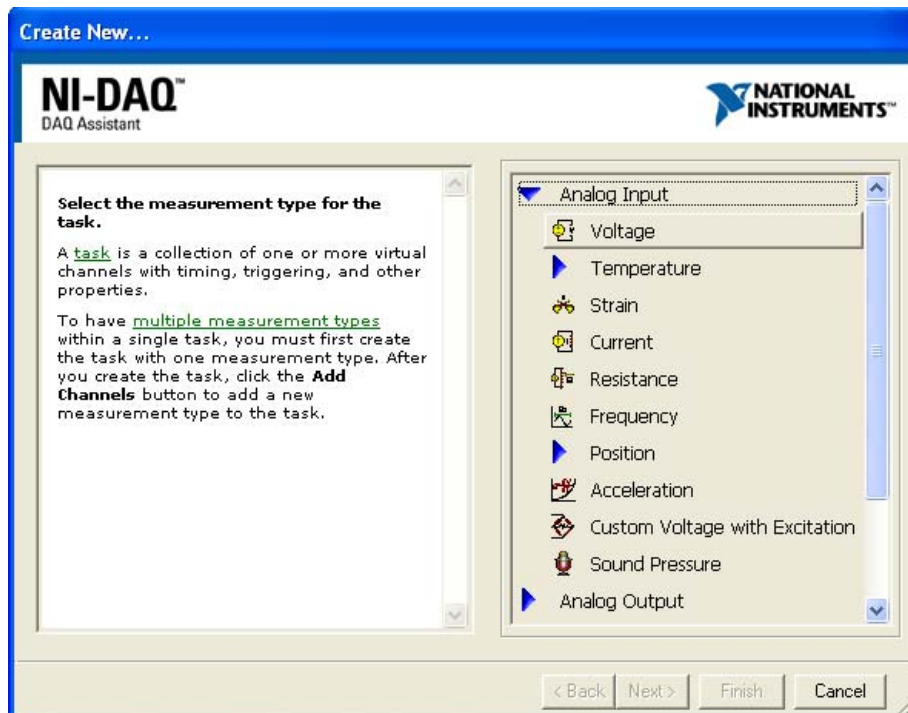
Παράμετροι	Περιγραφή
<b>data</b>	Δέχεται τις μετρήσεις από την κάρτα και μέσω του split signals τις στέλνει στο μετρητικό vi
<b>error in</b>	Περιγράφει τους όρους λάθους που εμφανίζονται πριν τρέξει αυτό το Express VI.
<b>number of samples</b>	Καθορίζει τον αριθμό των δειγμάτων που πρέπει να δημιουργήσει.
<b>rate</b>	Καθορίζει την τιμή των δειγμάτων...
<b>stop</b>	Καθορίζει το σταμάτημα του task, θέτοντας εκτός λειτουργίας τις εισόδους της κάρτας όταν το Express VI ολοκληρώσει την εκτέλεση

Η δημιουργία του DAQ Assistant του προγράμματος γίνεται ως εξής:

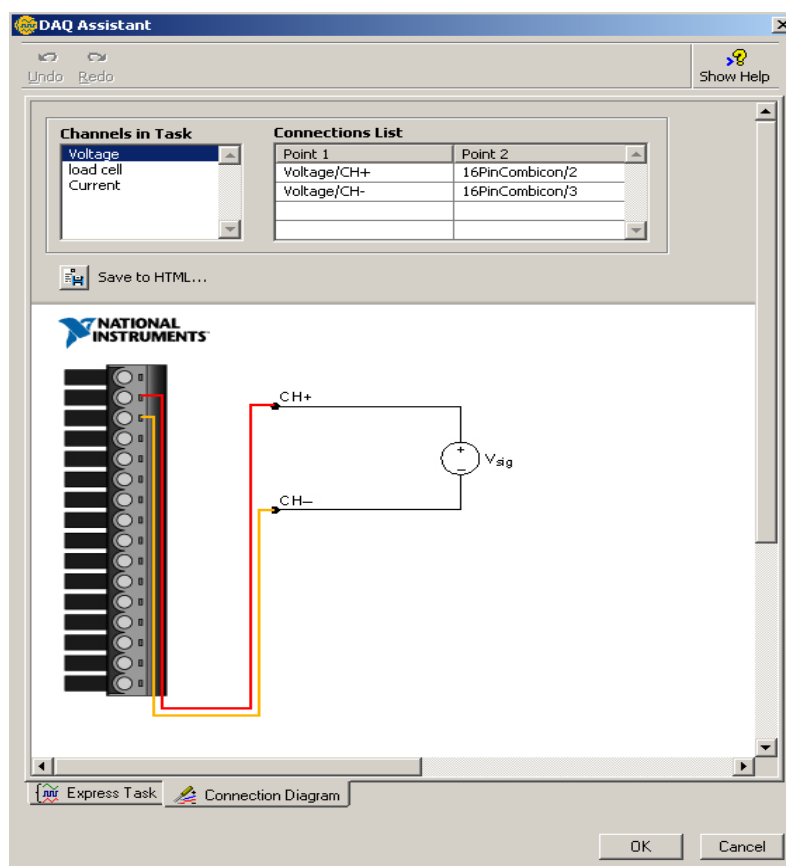
- 1) Επιλέγω από το Block Diagram το DAQ Assistant.



2) Στη συνέχεια επιλέγω Analog input και voltage.



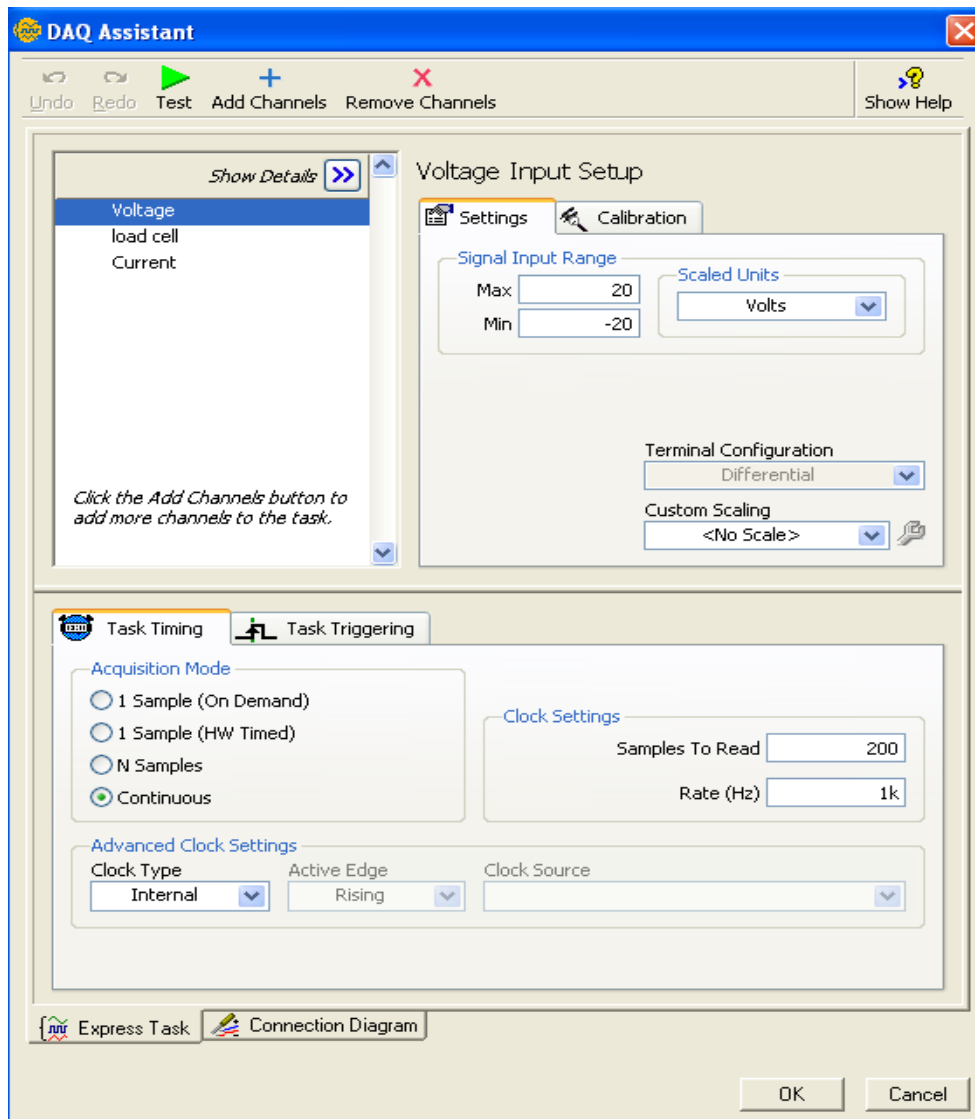
3) Μετά επιλέγω τις εισόδους της κάρτας (a0)





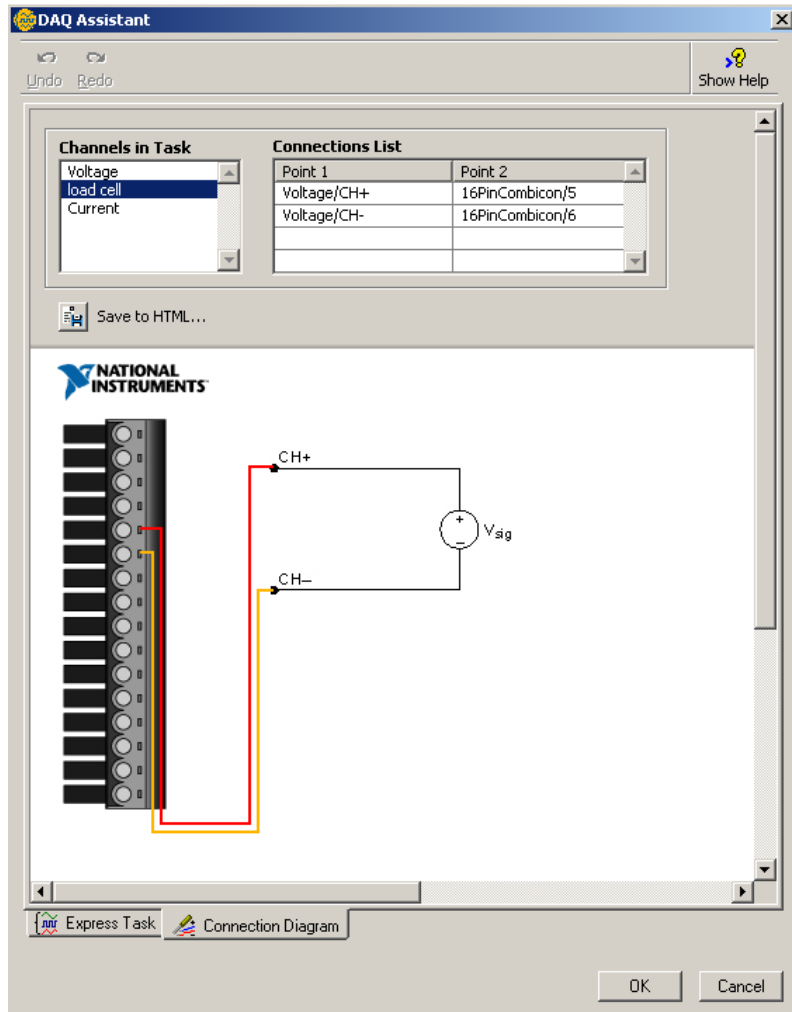
4) Στο τελευταίο στάδιο κάνουμε τις εξής διαδικασίες :

α) Καθορίζουμε τα όρια εισόδου. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις προκαθορισμένες τιμές 10V για ανώτατο όριο και -10V για κατώτατο όριο, εάν δεν γνωρίζουμε τα θεωρητικά όρια του σήματος που μετράμε. β) Επιλέγουμε την τελική διαμόρφωση που χρησιμοποιήσαμε για το σήμα. Στις ρυθμίσεις Task Timing επιλέγουμε Acquire N Samples. Εισάγουμε 200 για το Samples to Read και 1000 για το Rate (Hz).



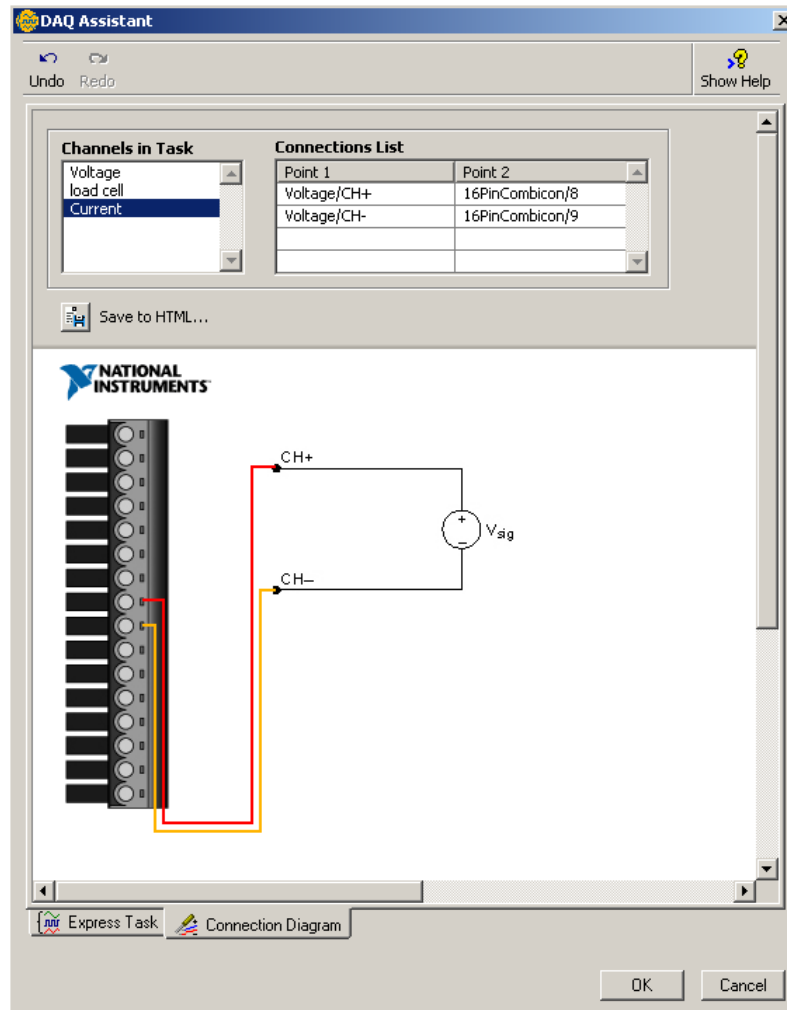
Με την παραπάνω διαδικασία έγινε εισαγωγή του πρώτου καναλιού (αυτό της τάσης). Για την εισαγωγή του δεύτερου καναλιού (load cell) θα ενεργοποιήσουμε την εντολή add channel, θα δώσουμε όνομα στο κανάλι, στην περίπτωση μας το ονομάσαμε load cell και εκτελούμε ακριβώς τις ίδιες ρυθμίσεις με το voltage. Αυτό είναι εφικτό αφού το αισθητήριο του load cell στην έξοδο του δίνει τάση όπως άλλωστε και το αισθητήριο του voltage.

Οι εισοδοί του load cell (a1) είναι οι εξής :



Επίσης για την πρόσθεση του τρίτου καναλιού (current) θα χρησιμοποιήσουμε την εντολή add channel και θα ακολουθήσουμε τις ίδιες διαδικασίες με τα παραπάνω. Ο λόγος που έγινε επιλογή αναλογικών εισόδων, τάση, για όλα τα κανάλια είναι ότι όλα τα αισθητήρια μετράνε τάση.

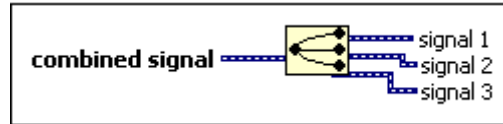
Οι είσοδοι του current είναι (a2) :



Επίσης για την πρόσθεση του τέταρτου καναλιού (f(Hz)) θα χρησιμοποιήσουμε την εντολή add channel και θα ακολουθήσουμε τις ίδιες διαδικασίες με τα παραπάνω. Επίσης και εδώ το σήμα που δέχεται η κάρτα είναι τάση

Οι είσοδοι του f(Hz) είναι το Pin12 (+) και Pin13 (-)

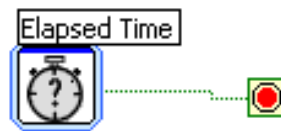
## Split Signals



Στην έξοδο του data του DAQ Assistant τοποθετήθηκε ένα split signals του οποίου η λειτουργία είναι η εξής :

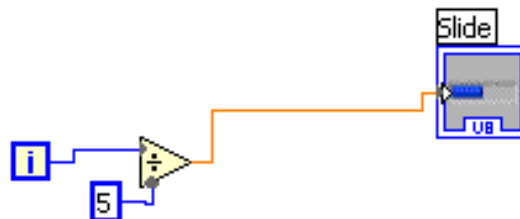
Διασπάει ένα συνδυασμένο σήμα σε δύο ή περισσότερα σήματα. Στην περίπτωση αυτή παίρνει τα συνδυασμένα σήματα, που προαναφέραμε (voltage, load cell, current) από την έξοδο του data και τα διασπάει σε τρία διαφορετικά. Αυτό έγινε για την αποφυγή δημιουργίας τριών διαφορετικών DAQ Assistant.

## Διάρκεια μέτρησης του προγράμματος



Είναι η διάρκεια μέτρησης του προγράμματος το οποίο έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Χρόνος απενεργοποίησης 10 δευτερόλεπτα
- Auto reset



Το  $i$  είναι η αρίθμηση επανάληψης τρεχόντων βρόχων, που στην περίπτωση αυτή είναι 50, οπότε το πρόγραμμα θα τρέχει για 10 δευτερόλεπτα. Αυτό έγινε για να έχουμε και κανονική μέτρηση της διάρκειας του προγράμματος (το Elapsed Time μετράει αντίστροφα).

Σημείωση : Ο χρόνος μπορεί να αλλάξει πολύ εύκολα κάνοντας διπλό αριστερό κλικ πάνω στο elapsed time και να γίνει όσο θέλουμε.

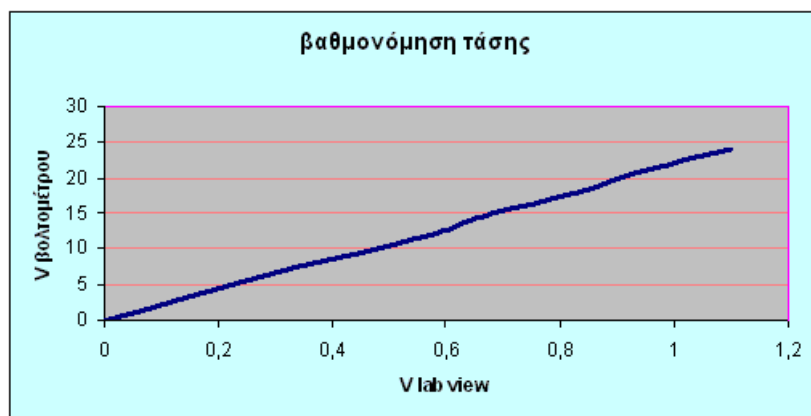
### 3.7.2 Βαθμονόμηση

Όπως αναφέρεται παραπάνω, οι μετρήσεις καταγράφονται και αποθηκεύονται μέσω της εξωτερικής κάρτας **NI USB 6009** στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επίσης αναφέρονται τα όρια της κάρτας (-20V,+20V) τα οποία είναι πολύ χαμηλά και γι' αυτό οι έξοδοι από τα αισθητήρια εμφανίζουν χαμηλή τάση (από mV έως και λίγα V). Είναι, λοιπόν ανάγκη να γίνει η κατάλληλη βαθμονόμηση ξεχωριστά για κάθε μέγεθος προκειμένου να πάρουμε σωστές μετρήσεις.

### 3.7.3 Μέτρηση μεγεθών

#### Μέτρηση τάσης

Στο voltage vi, η τάση που μετρούσαμε ήταν μερικά mV ενώ περιμέναμε μερικά volts. Για τον λόγο αυτό τοποθετήθηκε βολτόμετρο στην έξοδο της ανόρθωσης ώστε να γνωρίζουμε την πραγματική τάση, ενώ ταυτόχρονα η τάση μετρήθηκε μέσω της κάρτας **NI USB 6009**. Απ' τη συσχέτιση των μετρήσεων προέκυψε ότι η μεταξύ τους σχέση ήταν σχεδόν γραμμική (Διάγραμμα 2).

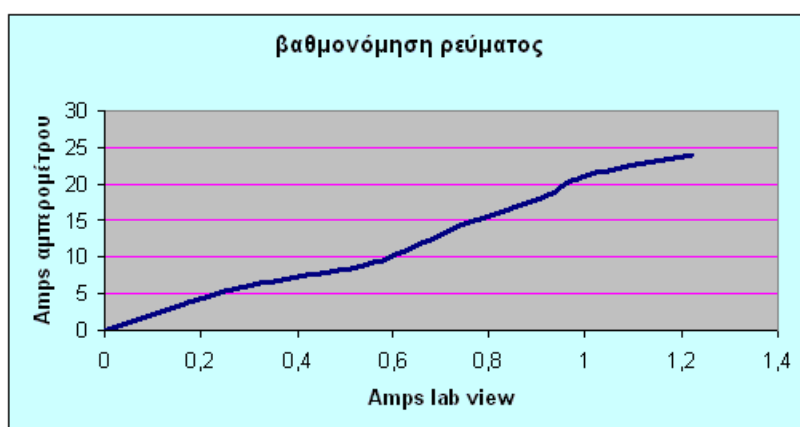


Διάγραμμα 2. Βαθμονόμηση τάσης

Αφού η σχέση τους θεωρείται γραμμική, υπάρχει μια σταθερά μεταξύ των δύο τάσεων. Ο λόγος που πλησιάζει πιο πολύ στην γραμμικότητα είναι το 22.

## Μέτρηση ρεύματος

Η διαδικασία και εδώ είναι όπως η προηγούμενη με την διαφορά ότι εδώ χρησιμοποιήσαμε αμπερόμετρο (Διαγρ. 3).

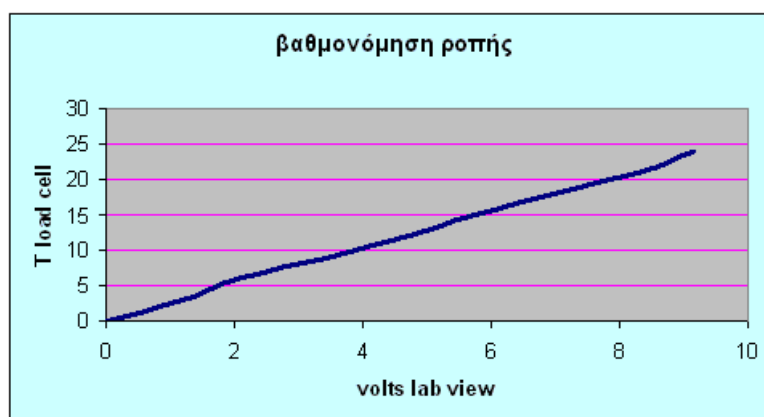


Διάγραμμα 3. Βαθμονόμηση ρεύματος

Αφού η σχέση τους θεωρείται γραμμική, υπάρχει μια σταθερά μεταξύ των δύο ρευμάτων. Ο λόγος που πλησιάζει πιο πολύ στην γραμμικότητα είναι το 20,35.

## Μέτρηση ροπής

Σε αυτή την περίπτωση η διαδικασία είναι διαφορετική από τις παραπάνω. Αρχικά τοποθετήθηκε μεταλλική ράβδος στο κέντρο του κινητήρα. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις έχοντας τοποθετήσει ένα βαρίδι ενός κιλού πάνω στην ράβδο και σε απόσταση 26 cm από το κέντρο του κινητήρα καθώς μετρήσεις χωρίς βαρίδι. Η σχέση  $T=m \cdot g \cdot x$ , δίνει το παρακάτω διάγραμμα. (Διάγρ. 4)



Διάγραμμα 4. Βαθμονόμηση ροπής

Αφού απ' το διάγραμμα φαίνεται ότι η σχέση μεταξύ τάσης και ροπής είναι γραμμική και ο λόγος που πλησιάζει πιο πολύ στην γραμμικότητα είναι το 0,388.

### **Βαθμονόμηση συχνότητας και στροφών**

Στις εισόδους του inverter παρατηρήσαμε ότι η τάση μεταβάλλεται από μηδέν έως και δέκα volt ανάλογα με την θέση του ποτενσιόμετρου. Όταν ο κινητήρας περιστρέφεται με 50 Hz, η τάση στις εισόδους του ποτενσιόμετρου είναι 0 volt ενώ όταν δεν περιστρέφεται (μηδέν Hz), η τάση είναι 10 volts και συνεπώς η σχέση τους είναι αντιστρόφως ανάλογη. Σύμφωνα με τα παραπάνω η σχέση που θα μας δώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η παρακάτω:

$$|V*5 - 50| = f(\text{Hz}) \quad (20)$$

Από την σχέση στροφών με συχνότητα  $n = 60 * f / p$  συνεπάγεται ότι

$$n = 29 * f \quad (\text{rpm})$$

Όπου :

$n$  = στροφές κινητήρα

$f$  = συχνότητα περιστροφής του κινητήρα

$p$  = ζεύγη πόλων κινητήρα



### 3.8 Κάρτα Labview

Η λήψη και καταγραφή των μετρήσεων γίνεται μέσω κάρτας Lab view τύπου **NI USB-6009** (Παράρτημα Γ Εικ.3). Η συγκεκριμένη κάρτα είναι μικρή και εύκολη στη μεταφορά της. Τα χαρακτηριστικά της κάρτας φαίνονται στον Πίνακα 10.

Product USB-6009	Bus USB	Analog Inputs <sup>1</sup> 8 SE/4 DI	Input Resolution (bits) 14	Max Sampling Rate (kS/s) 48	Input Range (V) ±1 to ±20	
Analog Outputs 2	Output Resolution (bits) 12	Output Rate (Hz) 150	Output Range (V) 0 to 5	Digital I/O Lines 12	32 bit Counter 1	Trigger Digital
1 SE = single ended, DI = differential						

Πίνακας 10. Τα χαρακτηριστικά NI USB-6009

### 3.9 ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ



Εικόνα 15 : Επέκταση μετρητικής διάταξης

## Μέτρηση γεννητριών πάνω από 4 KW

Για τις ανάγκες του εργαστηρίου χρειάστηκε να μετρήσουμε γεννήτριες πάνω από 4 KW. Σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε επέκταση της παραπάνω διάταξης για μέτρηση γεννητριών έως 6KW. Η κατασκευή είναι εύκολη στη μεταφορά και μπορεί να προστίθεται και να αφαιρείται πολύ απλά από την παραπάνω διάταξη. Ο πάγκος της είναι φτιαγμένος από ξύλο ενώ ο σκελετός αποτελείται από σίδηρο, οι διαστάσεις της είναι (61cm x 61cm x 61cm) και τέλος η βάση πάνω στην οποία είναι τοποθετημένοι οι διακόπτες και οι λαμπτήρες είναι μεταλλική. Χρησιμοποιήθηκαν μονόκλινα καλώδια 1,5 mm<sup>2</sup> και 16mm<sup>2</sup>, μήκους 5 m και 2 m αντίστοιχα. Η λειτουργία της σε συνδυασμό με την παραπάνω διάταξη είναι η εξής :

ΘΕΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ <b>A</b>	ΘΕΣΗ ΔΙΑΚΟΠΤΗ <b>Γ</b>	ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΦΟΡΤΙΩΝ	ΒΗΜΑ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ
ΑΝΟΙΚΤΟΣ (1)	3 (4)	60 ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ (15 παράλληλα ανά τέσσερις σε σειρά)	400W	6KW

Πίνακας 11. Καταστάσεις μετρητικής διάταξης για μετρήσεις γεννητριών 6KW / 96V

### Παρατηρήσεις :

- Ο πρώτος λαμπτήρας από κάθε γραμμή είναι μόνιμα σε λειτουργία (ανάλογα με την περίπτωση, ανάβει και αντίστοιχος αριθμός λαμπτήρων) και αυτό σημαίνει ότι δεν έχει τοποθετηθεί διακόπτης.
- Το βήμα φορτίου όταν είναι 400W συνίσταται να γίνεται με κλειστό κινητήρα διότι σε περίπτωση μη ταυτόχρονης αλλαγής φορτίου μπορεί να έχουμε την καταστροφή αυτού.
- Ο κάθε λαμπτήρας αντέχει 24V (το μέγιστο 26V). Αυτό σημαίνει ότι η τάση στα άκρα της κάθε διάταξης των τεσσάρων λαμπτήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 96V.

(1): Εικόνα 9

(4): Εικόνα 12



Εικόνα 16: Διακόπτες μετρητικής διάταξης

<b>ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΛΕΓΧΟΥ - ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΕΝΗΗΤΡΙΩΝ</b>						
<b>ΘΕΣΗ ΔΙΑΚ.Γ</b>	<b>ΘΕΣΗ ΔΙΑΚ. Α</b>	<b>ΜΗΧΑΝΗ V W</b>	<b>ΜΕΓΙΣΤΟ ΡΕΥΜΑ(A)</b>	<b>ΜΟΝΙΜΟ ΑΡΧ. ΦΟΡΤΙΟ(W)</b>	<b>ΒΗΜΑ ΦΟΡΤΙΟΥ(W)</b>	
1		24 1	42	100	100	
1	A-Γ	24 2	83	200	200	
2		48 2	42	200	200	
2	A-E	48 4	83	400	400	
3		96 4	42	400	400	

Εικόνα 17: Διάταξη ελέγχου μετρήσεων

## 4. Διαδικασία Μέτρησης

### 4.1 Εγχειρίδιο διαδικασίας μέτρησης

#### Βήμα 1<sup>ο</sup>: Ρύθμιση inverter

Οι παράμετροι του inverter πρέπει να ρυθμιστούν όπως παρακάτω:

P0000:	r	
P0003:	1	
P0004:	0	
P0010:	0	
P0018:	1,18	
P0100:	0	
P0304:	400	(ονομαστική τάση κινητήρα σε volt)
P0305:	15,10	(ονομαστικό ρεύμα κινητήρα σε α)
P0307:	7,50	(ονομαστική ισχύς κινητήρα σε kw)
P0310:	50	(ονομαστική συχνότητα λειτουργίας του κινητήρα)
P0311:	1455	(ονομαστική ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα)
P0700:	1	(επιλογή των πηγών εντολών προς τον micro master)
P0970:	0	
P1000:	0	(επιλογή των πηγών της επιθυμητής συχνότητας)
P1080:	μεταβολή	συχνότητας περιστροφής κινητήρα
P1082:	50	(μέγιστη συχνότητα λειτουργίας)
P1120:	10	(χρόνος επιταχύνσεως)
P1121:	10	(χρόνος επιβραδύνσεως)
P3900:	0	(τέλος διαδικασίας γρήγορης ρύθμισης)

#### Σημείωση:

Όλες οι ρυθμίσεις γίνονται εφόσον είναι κλειστός ο κινητήρας εκτός από την εντολή P1080.

## **Βήμα 2<sup>ο</sup>: Επιλογή κατάλληλης θέσης διακόπτων**

- A. Για γεννήτριες 24V(ισχύος 100W έως 1000W):  
Διακόπτης A : στον αέρα (Εικ. 9)  
Διακόπτης Γ : στην θέση 1 (Εικ 10)  
Βήμα φορτίου: 100W
- B. Για γεννήτριες 24V(ισχύος 1000W έως 2000W):  
Διακόπτης Α: το Α να ενωθεί με το Γ (Εικ. 11)  
Διακόπτης Γ: στην θέση 1 (Εικ 10)  
Βήμα φορτίου: 200W
- Γ. Για γεννήτριες 48V(ισχύος 200W έως 2000W):  
Διακόπτης Α : στον αέρα (Εικ 9)  
Διακόπτης Γ : στην θέση 2 (Εικ 12)  
Βήμα φορτίου: 200W
- Δ. Για γεννήτριες 48V(ισχύος 2000W έως 4000W):  
Διακόπτης Α : το Α θα πρέπει να ενωθεί με το Ε (Εικ 13)  
Διακόπτης Γ : στην θέση 2 (Εικ 12)  
Βήμα φορτίου: 400W
- Ε. Για γεννήτριες 96V(ισχύος 400W έως 4000W):  
Διακόπτης Α : στον αέρα (Εικ 9)  
Διακόπτης Γ : στην θέση 3 (Εικ 14)  
Βήμα φορτίου: 400W
- ΣΤ. Για γεννήτριες 96V(ισχύος 4000W έως 6000W):  
Σύνδεση της επέκτασης.  
Διακόπτης Α : στον αέρα (Εικ 9)  
Διακόπτης Γ : στην θέση 3 (Εικ 14)  
Βήμα φορτίου: 400W

### **Βήμα 3<sup>ο</sup>: Καταγραφή μετρήσεων εύρεσης χαρακτηριστικών καμπύλων**

Η καταγραφή των μετρήσεων υλοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού lab view (Παράρτημα Γ Εικ.1), το οποίο έχει την δυνατότητα να καταγράφει τις τιμές της έντασης ρεύματος, τάσης, ροπής του συστήματος αλλά και τις στροφές, την συχνότητα περιστροφής και τον βαθμό απόδοσης της γεννήτριας και του κινητήρα. Είναι εύκολο στην χρήση του καθώς είναι αρκετή η απλή ενεργοποίησή του για την ταυτόχρονη καταγραφή των μετρήσεων και των τεσσάρων μεγεθών (Παράρτημα Γ Εικ. 2). Οι μετρήσεις τάσης, ρεύματος, ροπής αλλά και στροφών αποθηκεύονται αυτόματα σε αρχείο text μαζί με τα στοιχεία της ημερομηνίας και ώρας που καταγράφηκαν οι μετρήσεις.

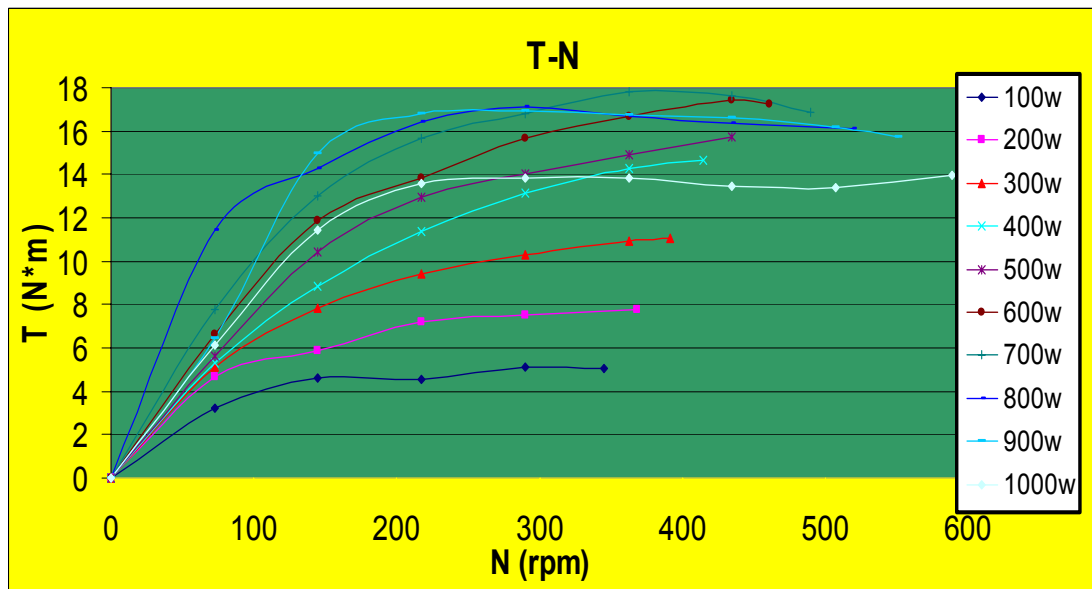
Οι χαρακτηριστικές που παρουσιάζουν ενδιαφέρον είναι:  $P_{out}=f(N)$ ,  $P_{in}=f(N)$ ,  $T=f(N)$  και  $n\%=f(N)$ . Για να πάρουμε τις παραπάνω χαρακτηριστικές θα πρέπει να έχουμε σταθερό φορτίο και να αυξάνουμε τις στροφές **μέχρι η τάση στα άκρα του κάθε λαμπτήρα να φτάσει τα 24V**. Σ' αυτό το διάστημα μπορούν να καταγράψουν μετρήσεις για την χάραξη της χαρακτηριστικής. Το επόμενο στάδιο είναι η αύξηση του φορτίου και η επανάληψη της διαδικασίας.

Επίσης μια άλλη ενδιαφέρουσα χαρακτηριστική είναι αυτή, της τάσης – ρεύματος  $V=f(I)$ . Για την εξαγωγή της παραπάνω χαρακτηριστικής χρειάζεται να δοθεί αρχικό φορτίο και στην συνέχεια να δοθούν οι μέγιστες στροφές στο φορτίο χωρίς αυτό να καταστραφεί. Όταν αποθηκευτεί η μέτρηση προστίθεται και δεύτερο φορτίο και ούτω καθεξής. Έτσι μπορεί να χαραχθεί η πρώτη χαρακτηριστική. Για την δεύτερη χαρακτηριστική αλλάζουμε φορτίο και ακολουθούμε την ίδια διαδικασία, παρομοίως και για τις υπόλοιπες χαρακτηριστικές.

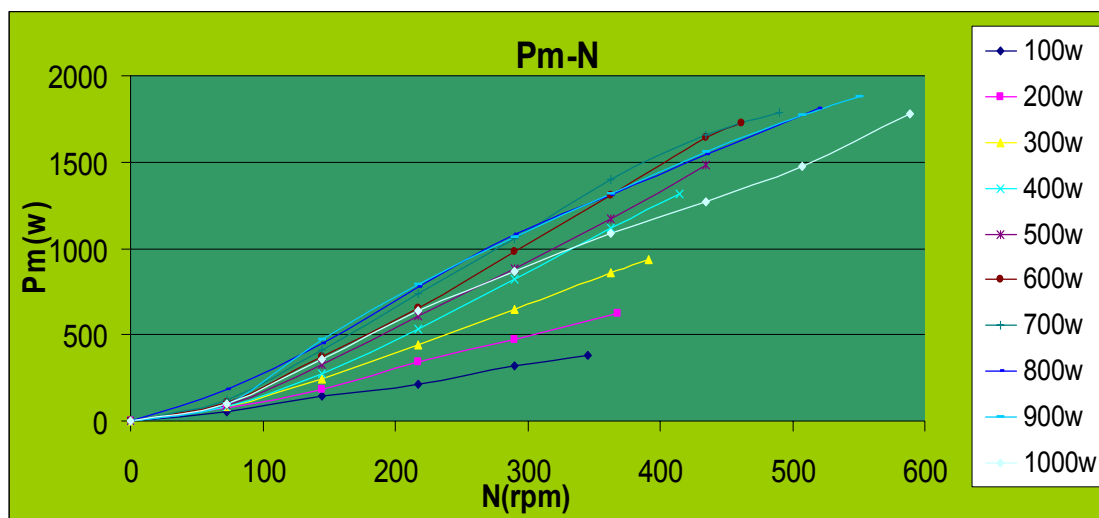
## 4.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

### 4.2.1 Γραφικές παραστάσεις

Οι γραφικές παραστάσεις που εξήχθησαν, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είναι παρουσιάζονται στα διαγράμματα 5-8.

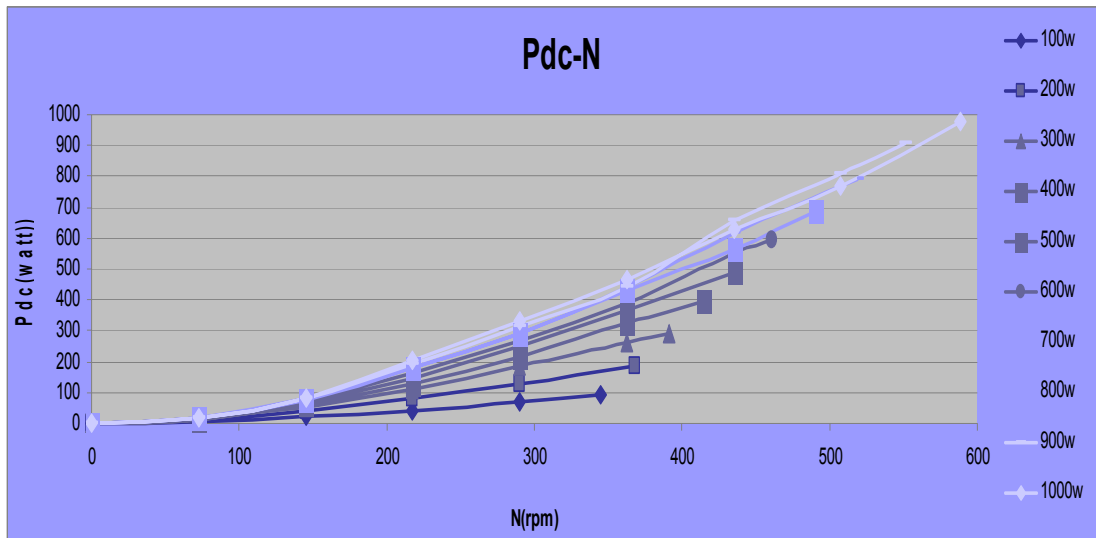


Διάγραμμα 5. Ροπή συναρτήσει στροφών

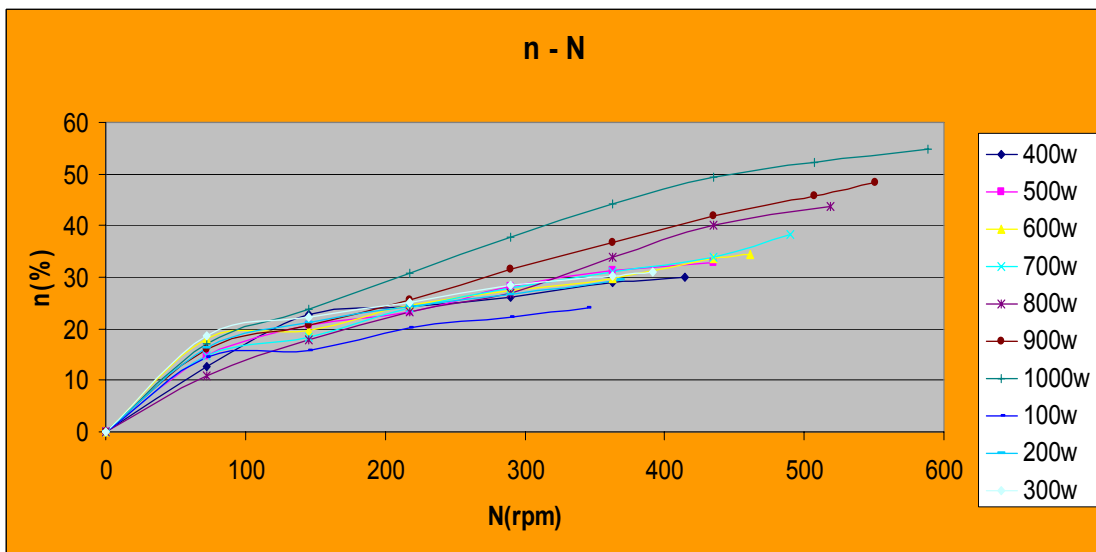


Διάγραμμα 6. Μηχανική ισχύς συναρτήσει στροφών





Διάγραμμα 7. Ηλεκτρική ισχύς συναρτήσει στροφών



Διάγραμμα 8. Βαθμός απόδοσης συναρτήσει στροφών

## **5. Magnet**

### **5.1 Γενική Περιγραφή Magnet**

Το magnet αποτελεί λογισμικό απεικόνισης, όπου εύκολα μπορούν να σχεδιαστούν 2D και 3D μοντέλα, με αποτέλεσμα γρήγορες και ακριβείς λύσεις σε ότι αφορά το μαγνητικό πεδίο. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να σχεδιάσει εκ νέου δυσδιάστατες διατάξεις όπως μετασχηματιστής, κυλινδρικός αγωγός, μαγνήτης και σφαίρα, είτε να εισάγει έτοιμα σχέδια από άλλα λογισμικά όπως είναι το AutoCAD. Στην παρούσα πτυχιακή εισάγονται σε δυσδιάστατη μορφή οι τομές των γεννητριών που έχουν περιγραφεί διεξοδικά στα προηγούμενα κεφάλαια. Στη συνέχεια δίνονται τα ακριβή χαρακτηριστικά των υλικών κατασκευής, τα πλήρη χαρακτηριστικά των τυλιγμάτων καθώς και οι διαστάσεις της γεννήτριας στο χώρο (3D). Το magnet παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της μαγνητικής επαγωγής (B), της έντασης του μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο finite element mesh με δυνατότητα επιλογής του αριθμού των επαναλήψεων της μεθόδου. Ως τελικό αποτέλεσμα είναι η εύρεση των προηγούμενων χαρακτηριστικών σε οποιοδήποτε σημείο της γεννήτριας. Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά, η διαδικασία προγραμματισμού και χρήσης του magnet.

### **5.2 Βήματα**

Τα βήματα προσομοίωσης είναι:

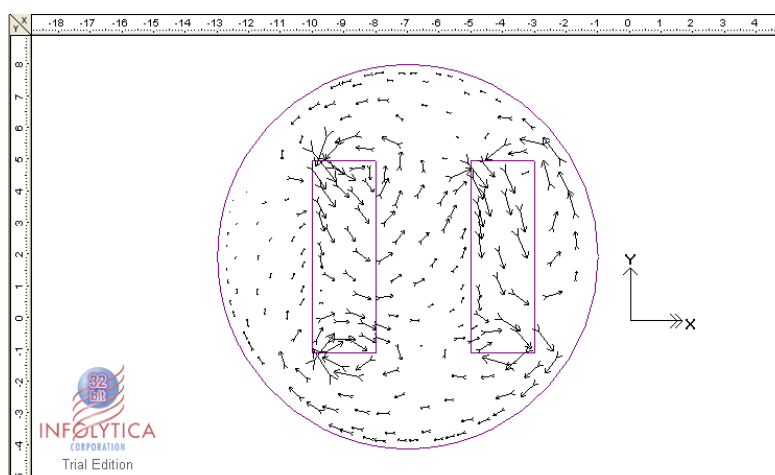
1. *Σχεδιασμός δυσδιάστατης απεικόνισης της διάταξης.* Το magnet δίνει την δυνατότητα σχεδιασμού ενός μοντέλου ή την εισαγωγή σχεδίων που έχουν γίνει μέσω διαφορετικού προγράμματος. Στο παρόν στάδιο, σχεδιάζεται η τομή του στάτη, του ρότορα και των τυλιγμάτων.
2. *Εισαγωγή χαρακτηριστικών υλικών κατασκευής.* Το πρόγραμμα διαθέτει ικανοποιητική βάση δεδομένων με μαγνητικά και μη μαγνητικά υλικά. Επίσης παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη είτε να τροποποιήσει τα χαρακτηριστικά των υλικών της βάσης δεδομένων είτε να προσθέσει καινούργια υλικά με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά. Συνεπώς, οποιαδήποτε υλικά και αν χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή, είναι εφικτή και η μοντελοποίησή τους.

3. *Τρισδιάστατη μοντελοποίηση.* Σ' αυτό το στάδιο και ενώ το αρχικό σχέδιο είναι σε δυσδιάστατη μορφή, λαμβάνει χώρα η εισαγωγή της τρίτης διάστασης όλων των προαναφερθέντων τμημάτων.
4. *Δημιουργία τυλιγμάτων.* Τα τυλίγματα της γεννήτριας μέχρι και το τρίτο στάδιο της μοντελοποίησης, εμφανίζονται ως ευθύγραμμοι αγωγοί χαλκού. Στο στάδιο αυτό και δεδομένου ότι οι υπό μελέτη γεννήτριες είναι τριφασικές, γίνεται η κατάλληλη μετατροπή του απλού χαλκού σε τρία βρογχοτυλίγματα με τον αντίστοιχο αριθμό σπειρών.
5. *Διαδικασία προσομοίωσης.* Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το magnet χρησιμοποιεί τη μέθοδο finite element mesh προκειμένου να επιτύχει την προσομοίωση της διάταξης. Έχοντας, λοιπόν περιγράψει όλα τα στοιχεία της γεννήτριας, ο χρήστης επιλέγει τον αριθμό των επαναλήψεων εφαρμογής της μεθόδου και ενεργοποιεί τη διαδικασία.
6. *Μέτρηση αποτελεσμάτων.* Ο χρήστης πλέον έχει τη δυνατότητα είτε να οπτικά να αντιληφθεί τη φορά του μαγνητικού πεδίου (Εικ. 19) είτε να μετρήσει μαγνητική επαγωγή σε όποιο σημείο της διάταξης επιθυμεί.

### **5.3 Μαγνήτες**

Για την προσομοίωση των μαγνητών εκτός από την εισαγωγή των διαστάσεων του ρότορα, θα πρέπει να καθοριστούν και τα χαρακτηριστικά των μαγνητικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν.

Προκειμένου να δημιουργηθεί το κατάλληλο μαγνητικό πεδίο πρέπει αρχικά να καθοριστεί ο ιδανικός προσανατολισμός των μαγνητών. Μετά από δοκιμές καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ο ιδανικός προσανατολισμός είναι στο radial axis (0,0,1) για τον πρώτο μαγνήτη και για τον δεύτερο radial axis (0,0,-1). Αυτό θα επαναλαμβάνεται εναλλάξ . Εικ.18



Εικόνα 18: Απεικόνιση δυναμικών γραμμών

## 5.4 Επιλογή Υλικών

Για να γίνει προσομοίωση μιας γεννήτριας τα μέρη που χρειάζονται να σχεδιαστούν είναι ο στάτης, άξονας, διάκενα, δακτύλιος, μαγνήτες, αυλάκια και τυλίγματα. Όπως προαναφέραμε θα πρέπει να δηλωθούν τα υλικά από τα οποία αποτελείται το κάθε μέρος της γεννήτριας. Από μαλακό σίδηρο αποτελούνται ο στάτης, τα διάκενα και ο άξονας από αλουμίνιο ο δακτύλιος από φερρίτη 3.8 οι μαγνήτες και από χαλκό τα αυλάκια και τυλίγματα (επίσης θα πρέπει να δηλωθεί σαν υλικό ο αέρας). Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά οι ιδιότητες των υλικών. (Πίνακας 12)

Name	Temper.	Mass density	Coercivity	Conductivity	Relative permittivity	Specific heat	Thermal conductivity	Resistivity	Relative permeability
	(celcius)	(kg/m <sup>3</sup> )	(A/m)	(S/m)		(j/(kgr.C)	(W/(m.C)	(ohm.m)	
Air	20	1,2	0	0	1	1,0056	-	-	1
Aloumin	20	2707	0	38000000	1	896	-	-	1
Ndfeb	20	7390	-827600	-	1	460	9	1,5*e-006	1,1
Copper	20	8954	0	57700000	1	383,1	-	-	1
Ferrite									
3.8	20	5000	-	0	1	-	-	-	-
Soft iron	20	7280	-	0	1	-	-	-	-

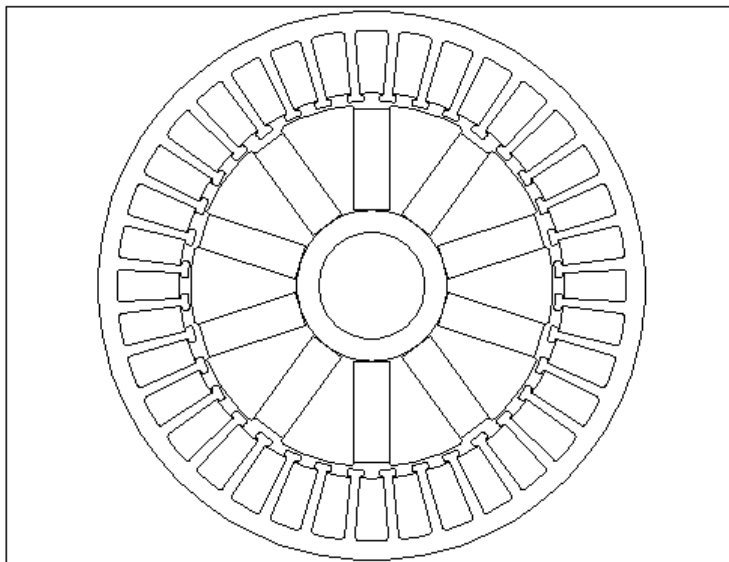
Πίνακας 12. Ιδιότητες των υλικών

## 5.5 Προσομοίωση γεννήτριας 1 KW 10p

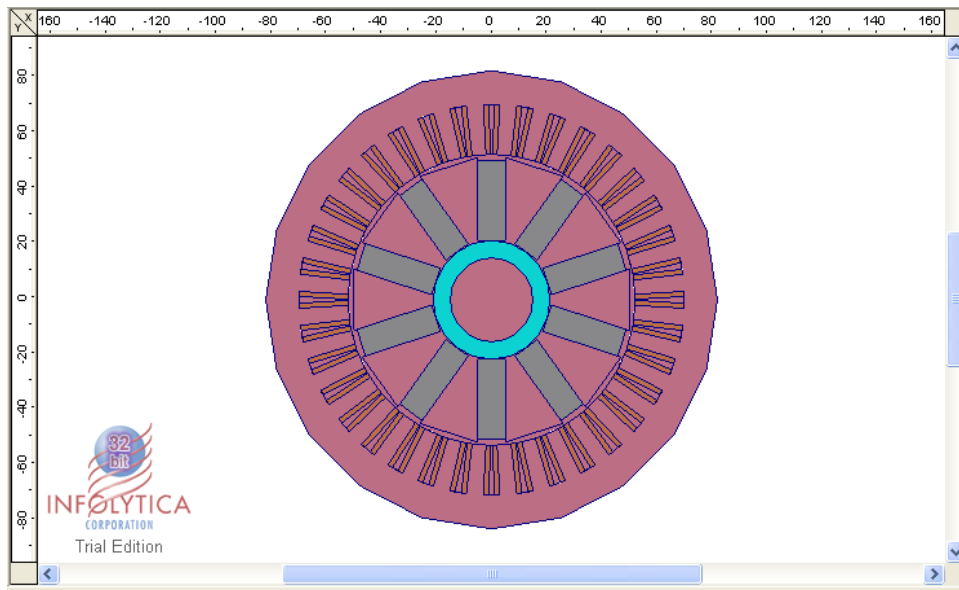
Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει προσομοίωση τριφασικής γεννήτριας 1 kw μέσω του magnet. Η γεννήτρια αποτελείται από 10 πόλους και 36 αυλάκια.

Υλικά γεννήτριας:

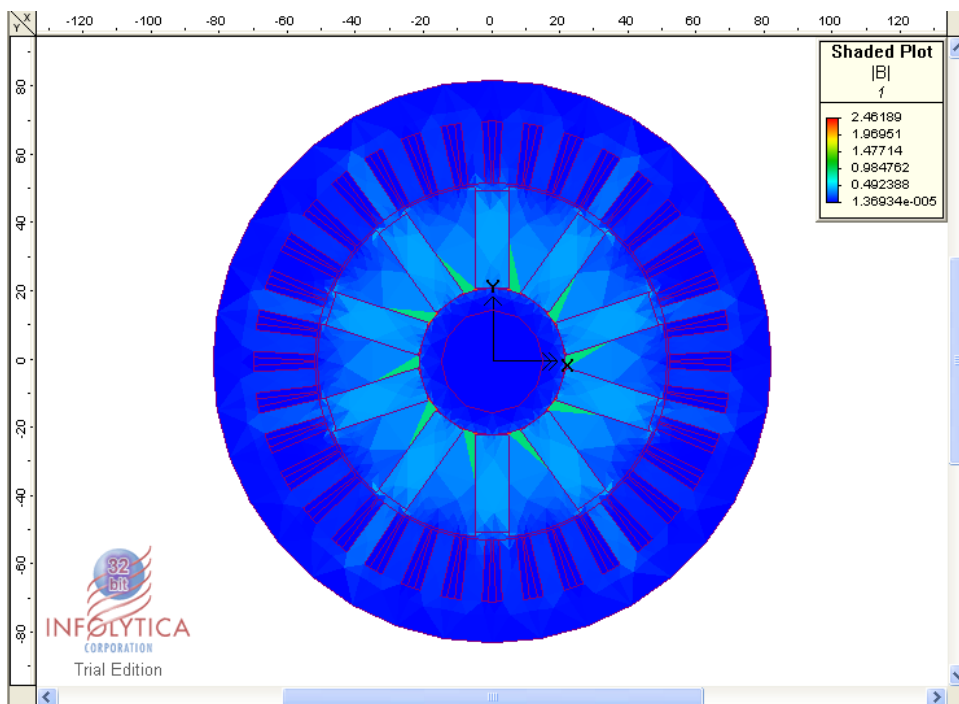
- **Στάτης:** αποτελείται από μαλακό σίδηρο έχει διάμετρο 145mm και βάθος 103mm
- **Άξονας:** αποτελείται από μαλακό σίδηρο έχει διάμετρο 30mm και βάθος 103mm
- **Διάκενα:** αποτελούνται από μαλακό σίδηρο έχουν τραπεζοειδή σχήμα και έχουν μεγάλη βάση 20,38mm, μικρή βάση 3,45mm, ύψος 30mm και βάθος 103mm
- **Δακτύλιος:** αποτελείται από αλουμίνιο έχει εξωτερική διάμετρο 42,5mm, εσωτερική 30mm και βάθος 103mm.
- **Αυλάκια:** αποτελούνται από χαλκό έχουν πλάτος 7,13mm και 9,30, μήκος 18mm και βάθος 103mm.
- **Τυλίγματα:** αποτελούνται από χαλκό με διατομή  $0,75\text{mm}^2$  με 40 σπείρες.
- **Μαγνήτες:** είναι Ferrites 3.8, έχουν μήκος 28,5mm πλάτος 10mm και βάθος 103mm



Εικόνα 19: Σχεδίαση γεννήτριας 1 KW 10p



Εικόνα 20: Προσομοίωση γεννήτριας 1 KW 10p



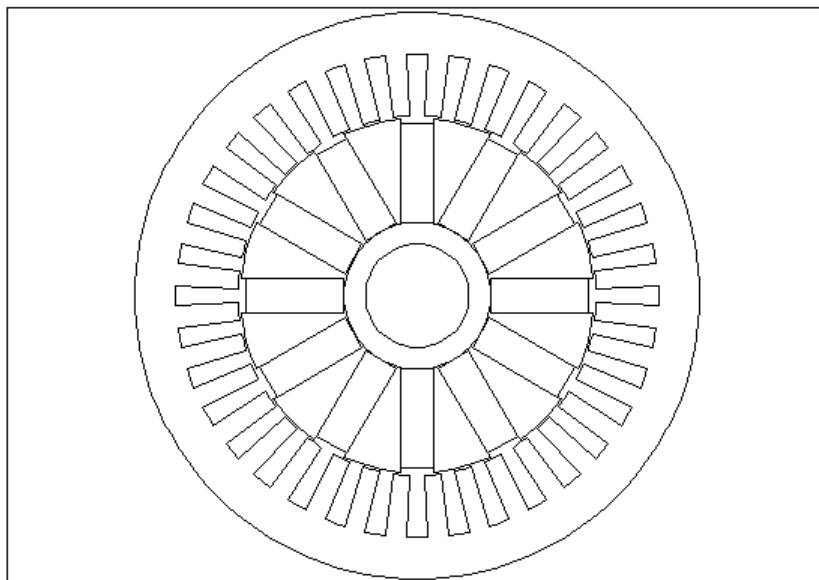
Εικόνα 21: Απεικόνιση μαγνητικής επαγωγής B

## 5.6 Προσομοίωση γεννήτριας 1 KW 12p

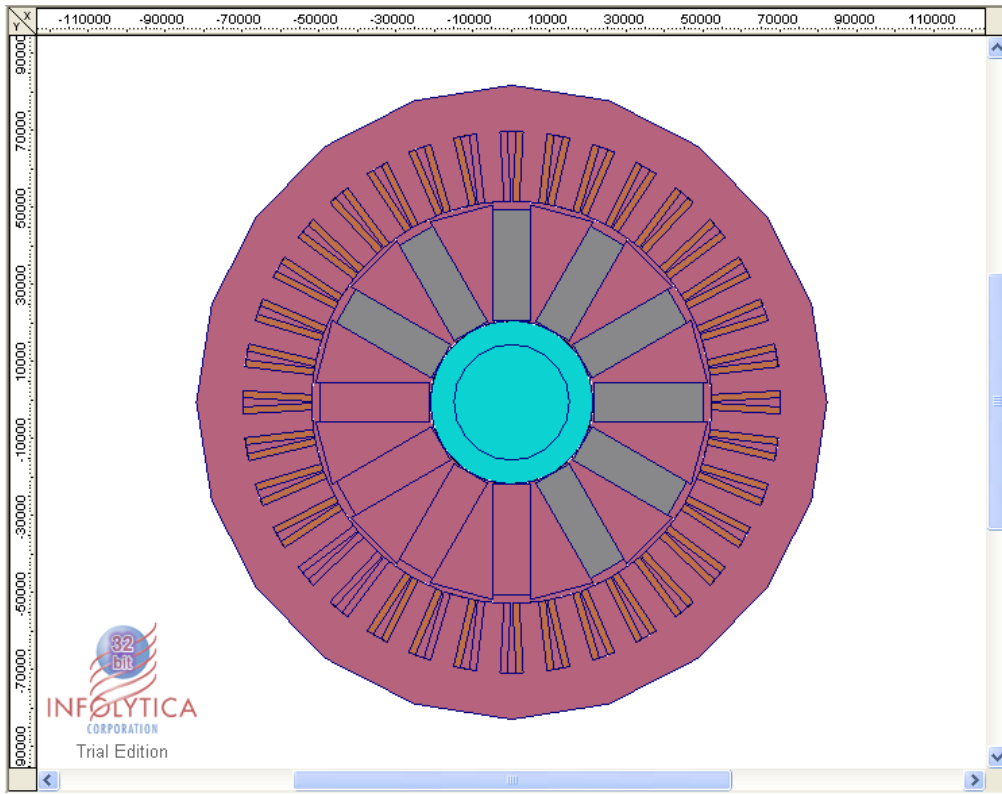
Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει προσομοίωση τριφασικής γεννήτριας 1 kw μέσω του magnet. Η γεννήτρια αποτελείται από 12 πόλους και 36 αυλάκια.

Υλικά γεννήτριας:

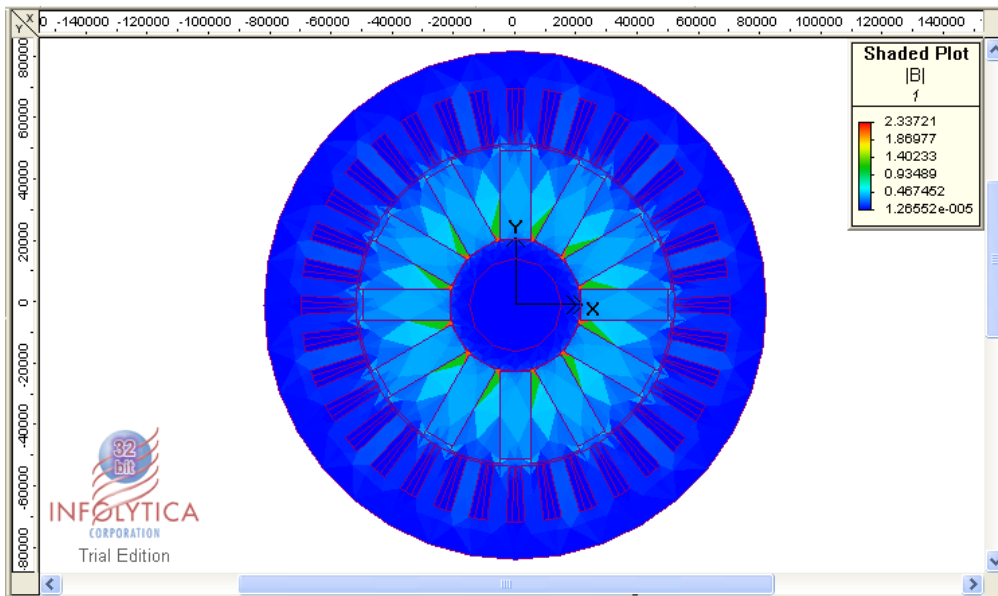
- **Στάτης:** αποτελείται από μαλακό σίδηρο έχει διάμετρο 164mm και βάθος 103mm
- **Άξονας:** αποτελείται από μαλακό σίδηρο έχει διάμετρο 30mm και βάθος 103mm
- **Διάκενα:** αποτελούνται από μαλακό σίδηρο έχουν τραπεζοειδή σχήμα και έχουν μεγάλη βάση 16,18mm, μικρή βάση 1,3mm, ύψος 28mm και βάθος 103mm
- **Δακτύλιος:** αποτελείται από αλουμίνιο έχει εξωτερική διάμετρο 42,5mm, εσωτερική 30mm και βάθος 103mm.
- **Αυλάκια:** αποτελούνται από χαλκό έχουν πλάτος 6,6mm και 4mm, μήκος 18mm και βάθος 103mm.
- **Τυλίγματα:** αποτελούνται από χαλκό με διατομή  $0,75\text{mm}^2$  με 40 σπείρες.
- **Μαγνήτες:** είναι Ferrites 3.8, έχουν μήκος 28,5mm πλάτος 10mm και βάθος 103mm



Εικόνα 22: Σχεδίαση γεννήτριας 1 KW 12p



Εικόνα 23: Προσομίωση γεννήτριας 1 KW 12p



Εικόνα 24: Απεικόνιση μαγνητικής επαγωγής B

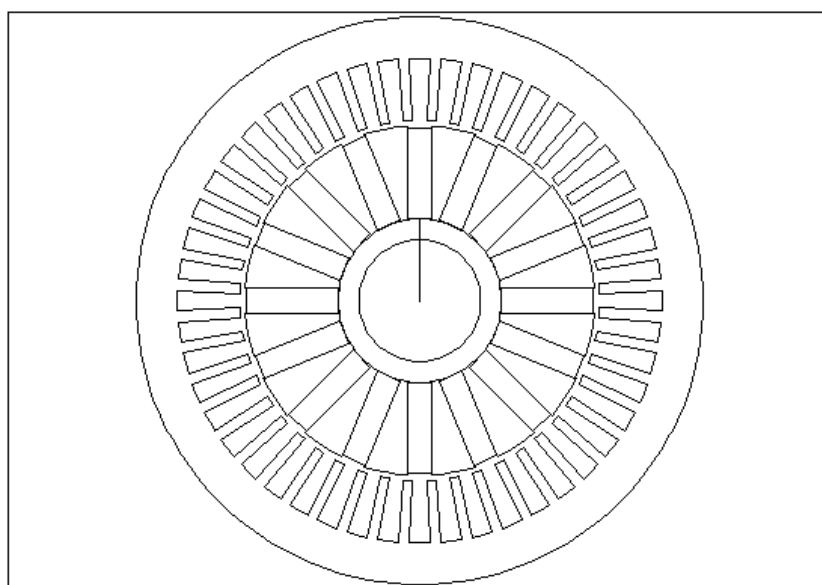


## 5.7 Προσομοίωση γεννήτριας 1,8 KW 16p

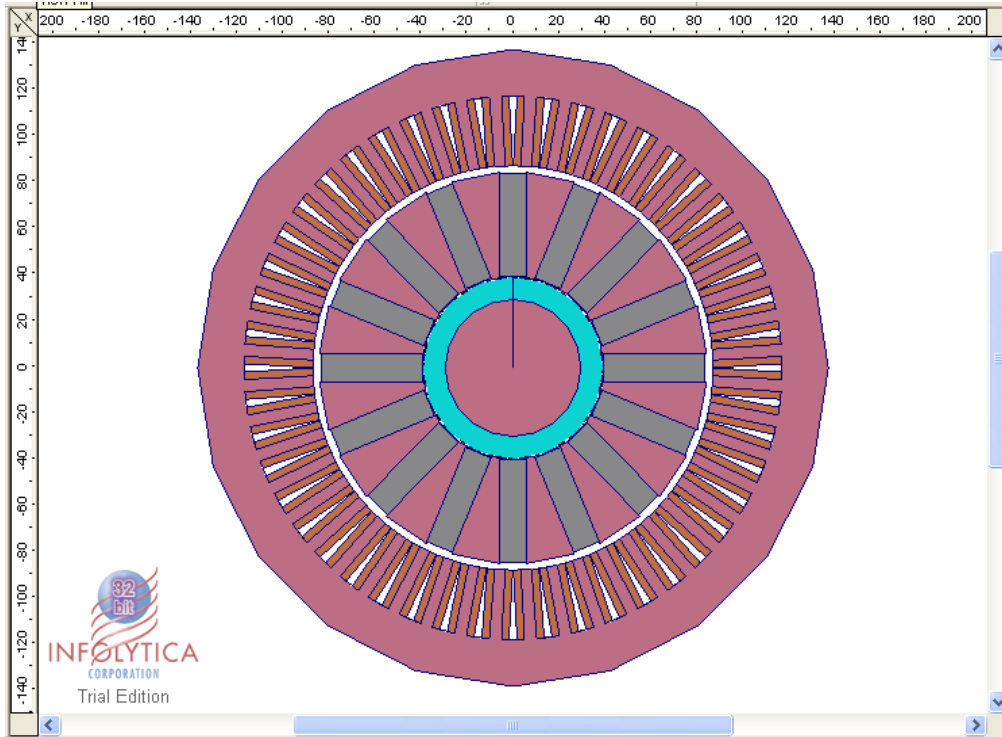
Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει προσομοίωση τριφασικής γεννήτριας 1,8 kw μέσω του magnet. Η γεννήτρια αποτελείται από 16 πόλους και 48 αυλάκια.

Υλικά γεννήτριας:

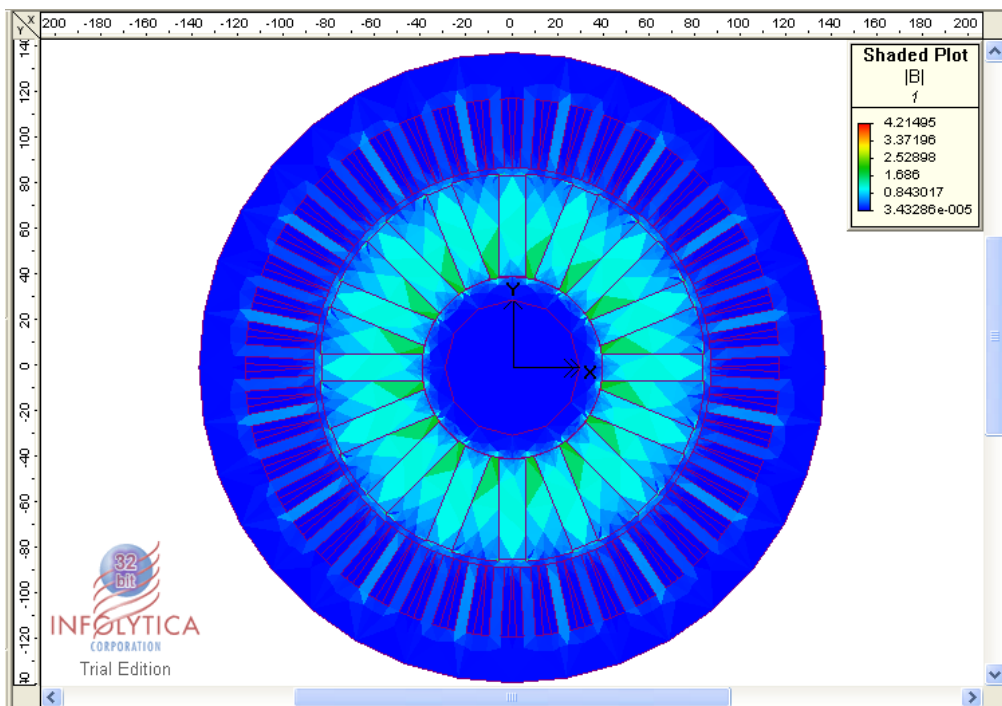
- **Στάτης:** αποτελείται από μαλακό σίδηρο έχει διάμετρο 275mm και βάθος 104mm
- **Άξονας:** αποτελείται από μαλακό σίδηρο έχει διάμετρο 59mm και βάθος 104mm
- **Διάκενα:** αποτελούνται από μαλακό σίδηρο έχουν τραπεζοειδή σχήμα και έχουν μεγάλη βάση 20mm, μικρή βάση 3,5mm, ύψος 45mm και βάθος 104mm
- **Δακτύλιος:** αποτελείται από αλουμίνιο έχει εξωτερική διάμετρο 79mm, εσωτερική 59mm και βάθος 104mm.
- **Αυλάκια:** αποτελούνται από χαλκό έχουν πλάτος 10mm και 6,7mm, μήκος 30mm και βάθος 104mm.
- **Τυλίγματα:** αποτελούνται από χαλκό με διατομή  $0,75\text{mm}^2$  με 40 σπείρες.
- **Μαγνήτες:** είναι Ferrites 3.8, έχουν μήκος 44mm, πλάτος 12mm και βάθος 104mm



Εικόνα 25: Σχεδίαση γεννήτριας 1,6 KW 16p



Εικόνα 26: Προσομοίωση γεννήτριας 1,6 KW 16ρ



Εικόνα 27: Απεικόνιση μαγνητικής επαγωγής B

## 5.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Για τη σχεδίαση της γεννήτριας ισχύος 5kW, έγινε προσπάθεια συσχέτισης της ισχύος, της μαγνητικής επαγωγής (B) και των διαστάσεων της γεννήτριας.

Σε πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε, η σύγκριση της μαγνητικής επαγωγής (B) κατά την προσομοίωση με την μαγνητική επαγωγή που έχουμε στην πραγματικότητα, βάσει των μετρήσεων των γεννητριών.

Πίνακας 13. Υπολογισμός μαγνητικής επαγωγής

Αν θεωρήσουμε ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη (E) που αναπτύσσεται σε αγωγό κινούμενο εντός μαγνητικού πεδίου είναι ίδια με την τάση που αναπτύσσεται στα άκρα του τυλίγματος της γεννήτριας κατά μήκος του στάτη, τότε έχουμε:

$$\left. \begin{array}{l} E = B \times u \times L \\ E \square V \end{array} \right\} \Rightarrow \quad (21)$$

Έτσι, η ισχύς δίνεται ως:

$$\begin{aligned} P &= V \times I \stackrel{(21)}{\Rightarrow} \\ P &= B \times u \times L \times I \end{aligned} \quad (22)$$

Η σχέση (22), μέσω της εξίσωσης (23)

$$u = \omega \times r \quad (23)$$

μας δίνει:

$$\begin{aligned} P &= B \times \omega \times r \times L \times I \Rightarrow B = \frac{P}{\omega \times r \times L \times I} \Rightarrow \\ B &= \frac{P}{2 \times \pi \times \frac{N}{60} \times r \times L \times I} \Rightarrow B = \frac{30 \times P}{\pi \times N \times r \times L \times I} \Rightarrow \\ P &= \frac{1}{30} \times B \times \pi \times N \times r \times L \times I \end{aligned} \quad (24)$$

Η σχέση (24), συνδέει την ισχύ με τις διαστάσεις του στάτη καθώς και με το μαγνητικό πεδίο. Η σχέση (24) χρησιμοποιείται προκειμένου να υπολογίσουμε τη μαγνητική επαγωγή που αναπτύσσεται στις γεννήτριες που έχουν ήδη μετρηθεί. Για κάθε γεννήτρια, πραγματοποιείται σύγκριση της μαγνητικής επαγωγής ( $B_{real}$ ) που υπολογίσαμε βάσει της τελευταίας εξίσωσης με τη μαγνητική επαγωγή που υπολογίζει το magnet ( $B_{magnet}$ ). Απ' τη σύγκριση αυτή παρατηρούμε ότι υπάρχει κάποια απόκλιση, την οποία ορίζουμε ως λόγο σύγκρισης (%) της μαγνητικής επαγωγής ( $B_{real}$ ) που υπολογίσαμε προς τη μαγνητική επαγωγή που υπολογίζει το magnet ( $B_{magnet}$ ).

$$k_m = 1 - \frac{B_{real}}{B_{magnet}} \quad (25)$$

Το λόγο αυτό τον ονομάζουμε  $k_m$  και παρατηρούμε ότι και στις δύο γεννήτριες παραμένει στα επίπεδα του 33-35% (πίνακας 13).

1 kw (10p)		1,8 kw	
$P_1$ (W)	992	$P_2$ (W)	1882
$L_1$ (cm)	15,3	$L_2$ (cm)	10,2
$N_1$ (rpm)	650	$N_2$ (rpm)	725
$r_1$ (cm)	5,2	$r_2$ (cm)	10
$I_1$ (A)	41,4	$I_2$ (A)	78,5
$B_{real}$ (Tesla)	0,0024	$B_{real}$ (Tesla)	0,00461
$B_{magnet}$ (Tesla)	0,00368	$B_{magnet}$ (Tesla)	0,00695
$k_m$ (%)	34,89	$k_m$ (%)	33,38

Πίνακας 13. Υπολογισμός μαγνητικής επαγωγής

Ο λόγος που προκύπτει μεταξύ της ισχύος της πρώτης γεννήτριας ( $P_1$ ) και της ισχύος της δεύτερης ( $P_2$ ) είναι ανάλογος με το λόγο που προκύπτει απ' τη σύγκριση της μαγνητικής επαγωγής που υπολογίζει το magnet στην πρώτη γεννήτρια ( $B_{magnet1}$ ) προς τη μαγνητική επαγωγή που υπολογίζει το magnet στη δεύτερη γεννήτρια ( $B_{magnet2}$ ).

Δηλαδή

$$\frac{P_1}{P_2} \propto \frac{B_{magnet1}}{B_{magnet2}} \quad (26)$$

Έτσι θεωρούμε ότι και ο λόγος που προκύπτει μεταξύ της ισχύος της πρώτης γεννήτριας ( $P_1$ ) και της ισχύος της υπό σχεδίασης γεννήτριας ( $P_{5kW}$ ) είναι ανάλογος με το λόγο που προκύπτει απ' τη σύγκριση της μαγνητικής επαγωγής που υπολογίζει το magnet στην πρώτη γεννήτρια ( $B_{magnet1}$ ) προς τη μαγνητική επαγωγή που **θα πρέπει** να υπολογίζει το magnet στην υπό σχεδίαση γεννήτρια ( $B_{magnet5kW}$ ).

$$\frac{P_1}{P_{5kW}} \propto \frac{B_{magnet1}}{B_{magnet5kW}} \quad (27)$$

$$\Rightarrow B_{magnet5kW} \propto \frac{B_{magnet1} \times P_{5kW}}{P_1}$$

Θεωρώντας πλέον ότι η μαγνητική επαγωγή που πρέπει να υπολογιστεί απ' magnet:

$$B_{magnet5kW} = 0,01373 \text{ T}$$

και γνωρίζοντας ότι ο λόγος  $k_m = 34\%$ , είναι δυνατός ο υπολογισμός του  $B_{real}$  για τη γεννήτρια ισχύος 5kW. Δηλαδή έχουμε ότι

$$B_{real5kW} = (1 - K_m) \times B_{magnet5kW} \quad (28)$$

$$B_{real5kW} = 0,66 \times 0,01373 \Rightarrow$$

$$B_{real5kW} = 0,0092 \text{ T}$$

Θεωρώντας  $P_1$ , την ισχύ της πρώτης υπό μέτρησης γεννήτριας και  $P_{5kW}$  την ισχύ της υπό ανάπτυξη γεννήτριας, απ' τη σχέση (29) προκύπτει ότι:

$$\frac{P_1}{P_{5kW}} = \frac{B_1 \times N_1 \times r_1 \times L_1 \times I_1}{B_{5kW} \times N_{5kW} \times r_{5kW} \times L_{5kW} \times I_{5kW}} \quad (29)$$

Παράλληλα, έχοντας θέσει ως παραμέτρους της υπό σχεδίασης γεννήτριας

5kW		
P	5000	W
V	12	m/s
$\lambda$	6	
I	58	A

Πίνακας 14. Παράμετροι της υπό σχεδίασης γεννήτριας

και υπολογίζοντας ότι η διάμετρος D είναι:

$$D = \sqrt{\left(\frac{P_2}{V^3 \times 0,17}\right)} \quad (30)$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{5000}{12^3 \times 0,17}\right)} \Rightarrow$$

$$D = 4,237cm$$

απ' τη σχέση (30) προκύπτει ότι

$$N = \frac{\lambda \times V \times f}{\pi \times D} \quad (31)$$

$$N = \frac{6 \times 12 \times 50}{3,14 \times 4,327} \Rightarrow$$

$$N = 265rpm$$

Επίσης θεωρώντας ότι

$$B_{real5kW} = B_{5kW} \quad (32)$$

έχουμε ότι

$$r_{5kW} \times L_{5kW} = \frac{P_{5kW} \times B_1 \times N_1 \times L_1 \times I_1 \times r_1}{P_1 \times B_{5kW} \times N_{5kW} \times I_{5kW}} \quad (33)$$

$$r_{5kW} \times L_{5kW} = \frac{5000 \times 0,0031 \times 725 \times 10,2 \times 78,5 \times 10}{1882 \times 0,0092 \times 265 \times 58} \Rightarrow$$

$$r_{5kW} \times L_{5kW} = 380,18$$

Η εξίσωση (33), έχει δύο αγνώστους. Τη διάμετρο (r) και το μήκος (L) του στάτη. Σε συνεργασία με τους υπολογισμούς που έγιναν με το λογισμικό Autodesk Inventor, με σκοπό την επιλογή των κατάλληλων διαστάσεων και προκειμένου το κέντρο βάρους της γεννήτριας να βρίσκεται όσο το δυνατό πιο κοντά στον άξονα περιστροφής, τελικός συνδυασμός είναι:

$r = 17\text{cm}$  και  $L = 35\text{cm}$ .

Συνεπώς η γεννήτρια, ισχύος 5kW θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά

5 kw		
P2=	5000	W
L2=	35	cm
N2=	265	rpm
r2=	17	cm
I2=	58	A
Breal=	0,00897	T
Magnet B	0,013589	T
Km (%)	33,99	%

Πίνακας 15. Χαρακτηριστικά γεννήτριας 5kW

Απ' τη σχέση

$$p = \frac{f \times 120}{N} \quad (34)$$

$$p = \frac{50 \times 120}{265} \Rightarrow$$

$$p = 22,64$$

Προκύπτει ότι η γεννήτρια θα είναι 24πολική. Διαθέτοντας πλέον όλες τις διαστάσεις της γεννήτριας, σχεδιάζεται (Εικ. 28) και προσομοιώνεται (Εικ. 29).

Η προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του magnet και υπολογίσθηκε ο λόγος  $k_m = 34\%$ .

## **5.9 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Απ' τον Πίν. 13 διαπιστώνεται ότι η απόκλιση της μαγνητικής επαγωγής που υπολογίζεται με τη χρήση της εξίσωσης (23), έχει 34% απόκλιση απ' τη μαγνητική επαγωγή που μετράται με τη χρήση του magnet και αυτή η διαφορά παραμένει σταθερή κατά τους υπολογισμούς και τις προσομοιώσεις όλων των γεννητριών.

Ως προς τη μελέτη της γεννήτριας ισχύος 1kW, πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση για την περίπτωση που ο στάτης έχει δέκα (10) και δώδεκα (12) πόλους αντίστοιχα. Διαπιστώνεται (Πίν. 13) ότι η μαγνητική επαγωγή είναι αυξημένη στην περίπτωση των δώδεκα (12). Να σημειωθεί ότι η μέτρηση της μαγνητικής επαγωγής πραγματοποιήθηκε και τις δύο φορές στα τυλίγματα του στάτη, στο ίδιο σημείο κάθε περίπτωση.



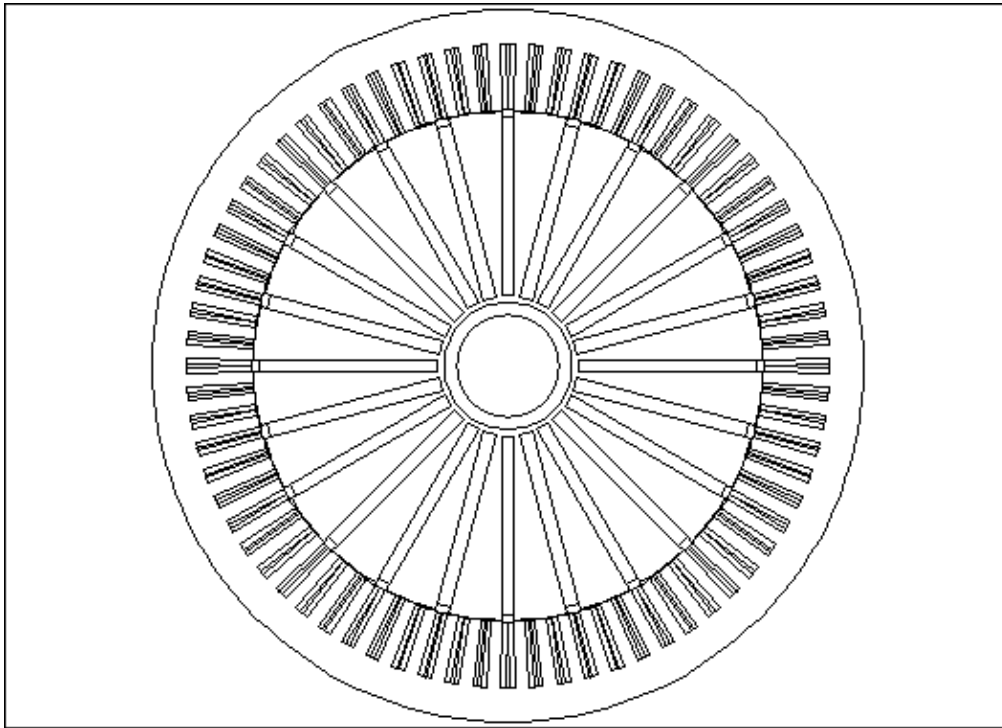
## 6. Σχεδιασμός, Προσομοίωση και Βελτιστοποίηση Γεννήτριας 5 kW

### 6.1 Σχεδιασμός και προσομοίωση γεννήτριας 5 KW

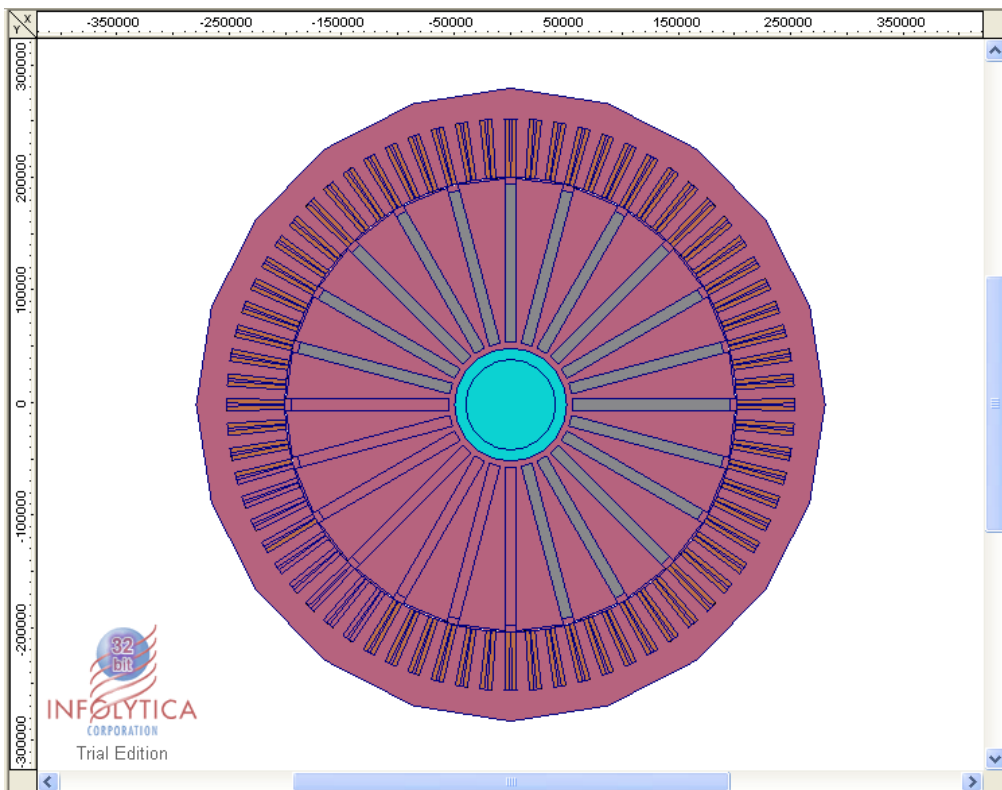
Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει προσομοίωση τριφασικής γεννήτριας 5 kw μέσω του magnet. Η γεννήτρια αποτελείται από 24 πόλους και 72 αυλάκια.

Υλικά γεννήτριας:

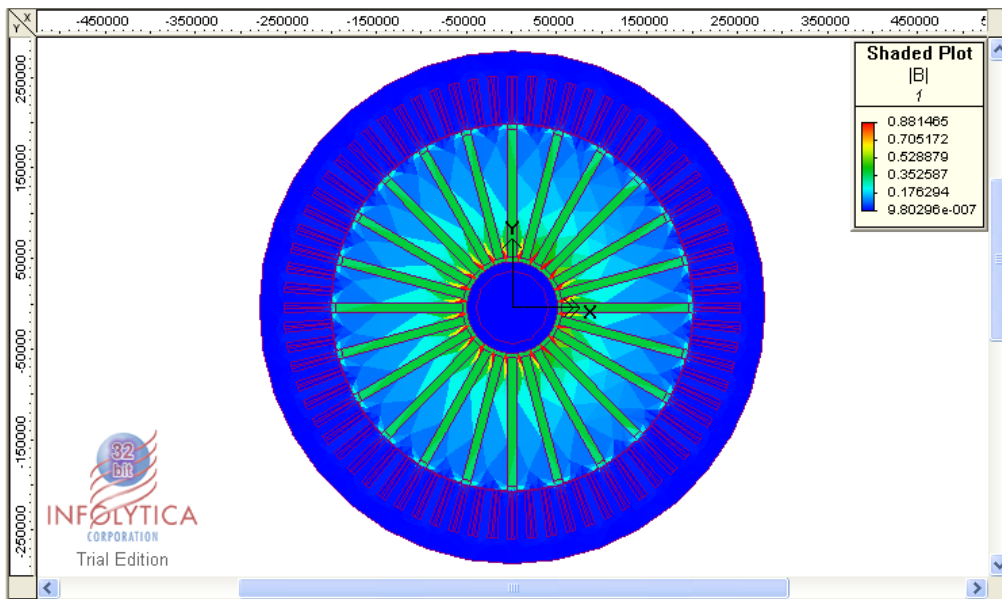
- **Στάτης:** αποτελείται από μαλακό σίδηρο έχει διάμετρο 560mm και βάθος 300mm
- **Άξονας:** αποτελείται από μαλακό σίδηρο έχει διάμετρο 80mm και βάθος 300mm
- **Διάκενα:** αποτελούνται από μαλακό σίδηρο έχουν τραπεζοειδή σχήμα και έχουν μεγάλη βάση 42mm, μικρή βάση 4,4mm, ύψος 145mm και βάθος 300mm
- **Δακτύλιος:** αποτελείται από αλουμίνιο έχει εξωτερική διάμετρο 100mm, εσωτερική 80mm και βάθος 300mm.
- **Αυλάκια:** αποτελούνται από χαλκό έχουν πλάτος 10,8mm και 8,6mm, μήκος 52mm και βάθος 300mm.
- **Τυλίγματα:** αποτελούνται από χαλκό με διατομή  $0,75\text{mm}^2$  με 40 σπείρες.
- **Μαγνήτες:** είναι Ferrites 3.8, έχουν μήκος 140mm πλάτος 10mm και βάθος 300mm



Εικόνα 28: Σχεδιασμός γεννήτριας 5 KW 24p



Εικόνα 29: Προσομοίωση γεννήτριας 5 KW 24p



Εικόνα 30: Απεικόνιση μαγνητικής επαγωγής B

## 6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

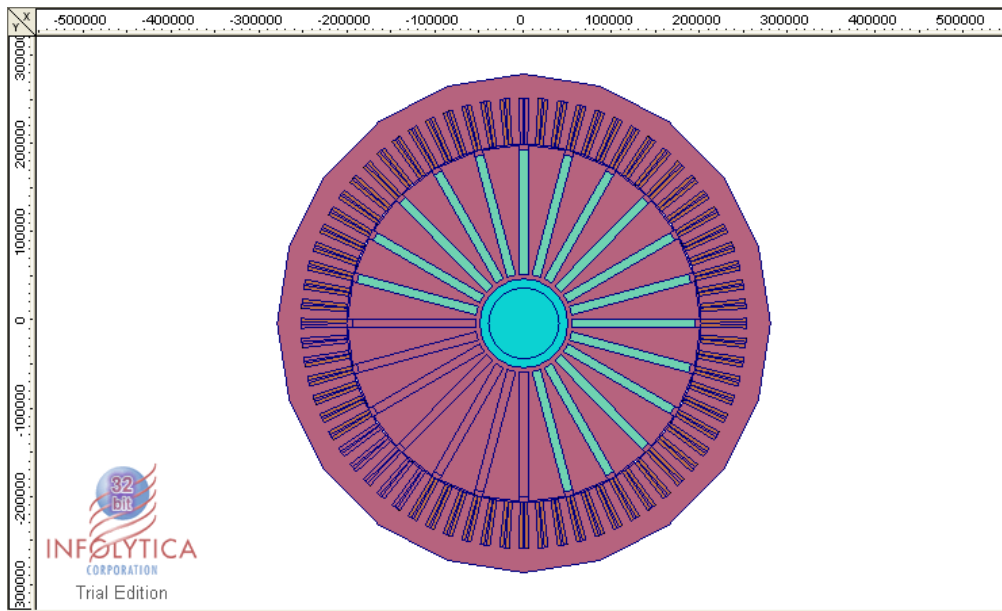
Η απόκλιση ( $k_m$ ) της μαγνητικής επαγωγής που προκύπτει απ' την εξίσωση (23) ως προς τη μαγνητική επαγωγή που υπολογίζεται απ' το magnet, είναι 34%.

5 kw	
$P_2$ (W)	5500
$L_2$ (cm)	35
$N_2$ (rpm)	265
$r_2$ (cm)	17
$I_2$ (A)	58
$B_{real}$ (Tesla)	0,00897
$B_{magnet}$ (Tesla)	0,013589
$k_m$ (%)	33,99

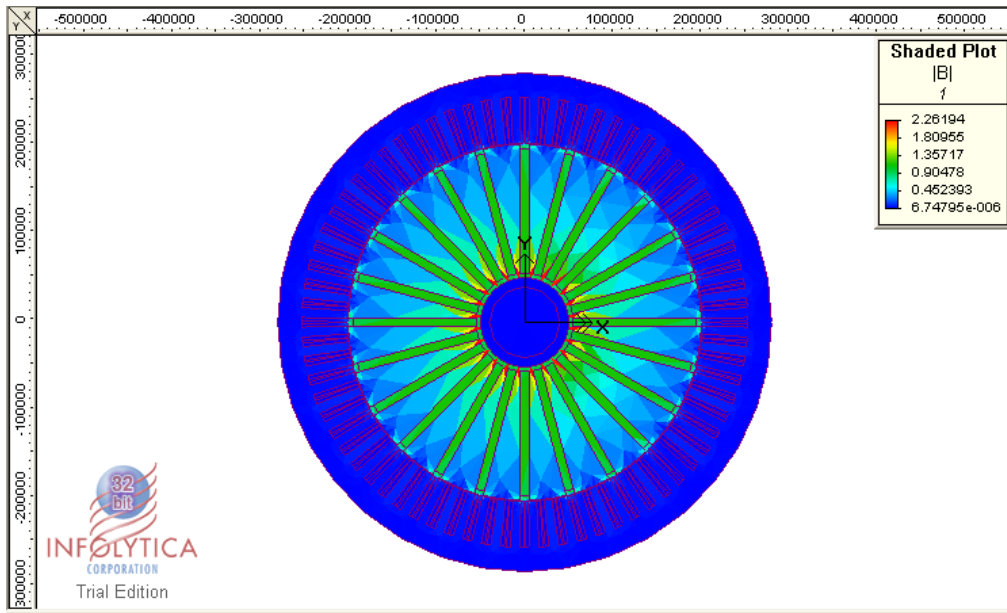
Πίνακας 14. Υπολογισμός μαγνητικής επαγωγής

### 6.3 Βελτιστοποίηση γεννήτριας 5 KW

Η βελτιστοποίηση της γεννήτριας, ισχύος 5 kW, έγινε αναλογικά και με σχεδιαστικό πρότυπο, τη διάταξη των προηγούμενων γεννητριών. Πιο συγκεκριμένα, ενώ πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές προσομοιώσεις με την εναλλαγή υλικών στα διάφορα μέρη της γεννήτριας, διαπιστώθηκε ότι η μόνη ουσιαστική βελτιστοποίηση επετεύχθει με την τοποθέτηση NdFeB (νεοδύμιο-σίδηρος-βόριο) στη θέση του Φερρίτη. Παρατηρήθηκε κατακόρυφη αύξηση της μαγνητικής επαγωγής B. Αυτό θεωρείται ότι έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ισχύος εξόδου της γεννήτριας. Πίν. 15



Εικόνα 31: Προσομοίωση γεννήτριας 5 KW με NdFeB



Εικόνα 32: Απεικόνιση μαγνητικής επαγωγής B

5 kw (ferrite 3.8)		5kW (NdFeB)
$P_2$ (W)	5500	
$L_2$ (cm)	35	
$N_2$ (rpm)	265	
$r_2$ (cm)	17	
$I_2$ (A)	58	
$B_{real}$ (Tesla)	0,00897	
$B_{magnet}$ (Tesla)	0,013589	0,053154
$k_m$ (%)	33,99	

Πίνακας 15. Σύγκριση μαγνητικής επαγωγής

## **6.4 Συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας**

Κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής οι στόχοι που ολοκληρώθηκαν είναι οι παρακάτω:

1. Ανακατασκευάστηκε και ολοκληρώθηκε η μετρητική διάταξη γεννητριών του εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων του Τ.Ε.Ι Κρήτης. Πιο συγκεκριμένα ανασχεδιάστηκε η ηλεκτρολογική σύνδεση της μετρητικής διάταξης, ρυθμίστηκε ο inverter που ρυθμίζει την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και κατά συνέπεια της γεννήτριας.

2. Επίσης κατασκευάστηκε επέκταση της μετρητικής διάταξης με σκοπό τη δυνατότητα μέτρησης μικρών γεννητριών, ισχύος έως και 6kW (96V).

3. Ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται ο προγραμματισμός της μετρητικής κάρτας καθώς και του αντίστοιχου λογισμικού προκειμένου η καταγραφή και αποθήκευση των απαραίτητων μετρήσεων, να είναι πλήρως αυτοματοποιημένη, επιτρέποντας τον εύκολο χειρισμό του inverter μέσω ποτενσιομέτρου και την αυτόματη καταγραφή των μετρήσεων σε κατάλληλης μορφής αρχεία.

4. Με την παρούσα κατασκευή έγινε εφικτή η εξαγωγή καμπύλων ισχύος των μικρών γεννητριών που έχουν σχεδιαστεί στο εργαστήριο μιας και με το κατάλληλο λογισμικό επιτυγχάνεται η καταγραφή, ο υπολογισμός και συσχετισμός των προηγούμενων μεγεθών με τις στροφές, τη μηχανική και ηλεκτρική ισχύ και το βαθμό απόδοσης.

5. Με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού προσομοίωσης πραγματοποιήθηκε, η προσομοίωση των γεννητριών του εργαστηρίου σε εικονικό περιβάλλον, υπό κλίμακα 1:1 και λαμβάνοντας υπ' όψιν τα πραγματικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί στις γεννήτριες. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός της μαγνητικής επαγωγής που αναπτύσσεται στα τυλίγματα των γεννητριών.

6. Επίσης έγινε προσπάθεια συσχέτισης της ισχύος της γεννήτριας με τη μαγνητική επαγωγή και τις διαστάσεις του στάτη της γεννήτριας, ενώ πραγματοποιήθηκε και συσχέτιση μεταξύ της μαγνητικής επαγωγής που προκύπτει απ' τους υπολογισμούς και της μαγνητικής επαγωγής που προκύπτει απ' την προσομοίωση του magnet. Θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι η προσέγγιση αυτή είχε αναλογικό χαρακτήρα και γι' αυτό αφορά γεννήτριες σχεδιασμένες αποκλειστικά με την ίδια κατασκευαστική δομή.

7. Βάσει των προηγούμενων συσχετίσεων, έγινε μελέτη σχεδιασμού τριφασικής γεννήτριας ισχύος 5kW, ενώ ακολούθησαν και προσπάθειες βελτιστοποίησής της με τη χρήση διαφορετικών υλικών κατασκευής. Η επιλογή των τελικών διαστάσεων έγινε με κριτήριο το κέντρο βάρους ενώ το βέλτιστο υλικό κατασκευής αποδείχτηκε το NdFeB.

Συνοπτικά, λοιπόν η παρούσα πτυχιακή έχει χαρακτήρα ερευνητικό μιας και αποτελεί ένα ολοκληρωμένο μετρητικό εργαλείο και αξιόλογη προσπάθεια σχεδιασμού γεννητριών. Παράλληλα μπορεί να χρησιμεύσει ως εκπαιδευτικό εργαλείο καθώς και ως τεχνικό εγχειρίδιο, ενώ σημαντική θα είναι και η συνεισφορά της στην εξέλιξη της διαδικασίας μέτρησης και σχεδιασμού γεννητριών μικρής ισχύος στο εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας του ΤΕΙ Κρήτης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βιβλία

1. Stephen J. Charman, Ηλεκτρικές Μηχανές DC-AC, εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε, Θεσσαλονίκη 1993
2. N. Mohan, T. A. Undeland, W. P. Robbins, Ηλεκτρονικά Ισχύος, εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε, Θεσσαλονίκη 1996
3. Β. Στεργίου, Σ. Τουλόγλου, Ηλεκτρικές Μηχανές Εναλλασσομένου Ρεύματος, εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 1999
4. Κ. Ι. Καλοβρέκτης, LabVIEW για Μηχανικούς, Προγραμματισμός Συστημάτων DAQ, Εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε, Θεσσαλονίκη 2005
5. Ι. ΤΕΓΟΠΟΥΛΟΣ, Ηλεκτρικές μηχανές, Εκδόσεις Συμμετρία, 1991
6. Δ. ΑΛΙΠΡΑΝΤΗΣ, Μοντελοποίηση και Έλεγχος Ανεμογεννήτριας Μεταβλητών Στροφών με Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 1999
7. Κ. Σ. Σούτης, Ανάλυση Συστήματος Ελέγχου Ανεμογεννήτριας με Σύγχρονη Γεννήτρια Μονίμων Μαγνητών σε Αυτόνομη και Διασυνδεμένη Λειτουργία, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα 2004
8. Π. Μαλατέτας, Α. Μανιάς, Ηλεκτρική Κίνηση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2002
9. Στ. Αντωνόπουλος, Τυλίγματα Ηλεκτρικών Μηχανών, Αθήνα 1978
10. Κ. Φωτιάδης, Ηλεκτρικές Μηχανές 1, Ο.Ε.Δ.Β, Αθήνα 1987
11. M. Gussow, Ηλεκτρισμός και Μαγνητισμός, ΕΣΠΙ, Αθήνα 1994



