



Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΕΡΟΣΗΡΑΓΓΑΣ
ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ
ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ



Επιβλέπων Καθηγητής: ΠΑΝΤΕΛΗΣ Β. ΜΑΛΑΤΕΣΤΑΣ

Σπουδαστές:

ΚΑΡΝΑΒΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΑΜ: 37886

ΧΡΥΣΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΑΜ: 37930

ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2012



National Advisory Committee for Aeronautics
Aircraft Engine Research Laboratory

Εικόνα Εξωφύλλου

Πρόκειται για φωτογραφία που δόθηκε στη δημοσιότητα και απεικονίζει την φτερωτή διαμέτρου 31 ποδών (9.5 μέτρων) που βρίσκεται μέσα στην αεροσήραγγα προσομοίωσης υψομέτρου της NASA. Η λειτουργία της είχε ξεκινήσει λίγες εβδομάδες πριν το 1944. Το υλικό των πτερυγίων του δωδεκαπτέρυγου ανεμιστήρα είναι ξύλο ερυθρελάτης και η κίνηση εξασφαλιζόταν, για την εποχή εκείνη, με κινητήρα 18000 ίππων. Ο σχεδιασμός της έλικας πραγματοποιήθηκε από μηχανικούς του Langley laboratory, Ημερομηνία λήψης: 29/2/1944

Πηγή: <http://awt.grc.nasa.gov/galleries/detail.np/detail-35.html>

**Στους Καθηγητές μας,
που μας εισήγαγαν και μας οδήγησαν στον κόσμο της έρευνας στην ηλεκτρολογία**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	6
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	7
1.1 Η ιστορία της αεροσήραγγας	7
1.2 Χρονολόγιο ανάπτυξης αεροσηράγγων	9
1.3 Περιγραφή και λειτουργία της αεροσήραγγας	10
1.3.1 Αεροδυναμικές Σήραγγες	10
1.3.2 Πεδίο δοκιμών	11
1.3.3 Η δομή της αεροσήραγγας	11
1.3.4 Η ταχύτητα του αέρα	14
1.3.5 Κόστος αεροδυναμικής σήραγγας	14
1.3.6 Τρόποι μέτρησης δυνάμεων και ροπών	15
1.3.7 Ανακεφαλαίωση	16
2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	17
2.1 Σύντομη θεωρητική ανάπτυξη για την λειτουργία των επαγωγικών κινητήρων	17
2.1.1 Η επαγόμενη ροπή	20
2.1.2 Ροπή ανατροπής	21
2.2 Σύντομη θεωρητική ανάπτυξη για τον Σ.Ρ. κινητήρα ξένης διέγερσης	22
2.2.1 Αρχή λειτουργίας Σ.Ρ. μηχανής - Επαγόμενη ροπή σε στοιχειώδες πλαίσιο	23
2.2.2 Ο ηλεκτρικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης	25
2.2.3 Τι συμβαίνει σε περίπτωση διακοπής τροφοδοσίας του τυλίγματος διέγερσης	27
2.3 Μαθηματική περιγραφή των μεθόδων ελέγχου κινητήρων Ε.Ρ.	28
2.3.1 Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή της συχνότητας	28
2.3.2 Η επίδραση του λόγου V/f	29
2.3.3 Εξήγηση της διατήρησης της ροπής στην περίπτωση χαμηλών στροφών	30
2.3.4 Έλεγχος με r/wm	30
2.4 Μαθηματική περιγραφή του ελέγχου κινητήρων Σ.Ρ.	33
2.4.1 Έλεγχος κινητήρα Σ.Ρ. μέσω πλήρως ελεγχόμενης τριφασικής γέφυρας	33
2.4.2 Συνεχής αγωγή	34
2.4.3 Περί του ρόλου της διόδου ελευθέρως ροής	36
2.4.4 Ασυνεχής αγωγή	37
3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	38
3.1 Δομικό διάγραμμα ηλεκτρικής εγκατάστασης	38
3.2 Απαιτήσεις ροπής αεροσήραγγας	39
3.3 Υλικό ηλεκτρικής κίνησης	40
3.3.1 Η επιλογή του ηλεκτρικού κινητήρα Ε.Ρ. βραχυκυκλωμένου δρομέα	40
3.3.1.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά επαγωγικού κινητήρα	41
3.3.1.2 Κατανόηση στοιχείων πινακίδας κινητήρα	42
3.3.1.3 Επεξήγηση εννοιών	42
3.3.1.4 Ηλεκτρικοί έλεγχοι	44
3.3.1.5 Μηχανική συντήρηση κινητήρα	44
3.3.2 Ο Ηλεκτρικός κινητήρας Σ.Ρ. ξένης διέγερσης	45
3.3.2.1 Περιγραφή του κινητήρα του εργαστηρίου	45
3.3.2.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά – πινακίδα κινητήρα	48

3.3.2.3	Στοιχεία συντήρησης κινητήρα	48
3.4	Υλικό ελέγχου των κινητήρων	49
3.4.1	Ο αντιστροφέας Micromaster 430 για τον έλεγχο του κινητήρα E.P.	49
3.4.1.1	Το μπλοκ διάγραμμα του MICROMASTER 430	51
3.4.1.2	Τεχνικά μεγέθη του αντιστροφέα Micromaster 430	52
3.4.1.3	Τερματικές επαφές ελέγχου του αντιστροφέα Micromaster 430	52
3.4.1.4	Παράδειγμα εφαρμογής με χρήση των τερματικών επαφών	53
3.4.2	Ο μετατροπέας Sinamics dcm dc converter για τον έλεγχο του Σ.Ρ. κινητήρα	54
3.4.2.1	Ηλεκτρικό διάγραμμα Sinamics Dcm Dc Converter	55
3.4.2.1.1	Το κύκλωμα τριφασικής ανόρθωσης του μετατροπέα Sinamics Dcm Dc Converter	58
3.4.2.1.2	Κύκλωμα παροχής για το τύλιγμα διέγερσης	59
4	ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	60
4.1	Η διασύνδεση του Μετατροπέα EP/ΣΡ με τον υπολογιστή	60
4.1.1	Σειριακή διεπαφή – serial interface	60
4.1.2	Σύνδεση μέσω διεπαφής Profibus	62
4.2	Η διασύνδεση του Μετατροπέα EP/ΣΡ/EP με τον υπολογιστή	63
4.2.1	Το λογισμικό Starter	63
5	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ	64
5.1	Δομή του ηλεκτρικού πίνακα κίνησης	64
5.2	Επιλογή διατομής καλωδίων κατά ΕΛΟΤ HD 384	65
5.2.1	Για την τροφοδοσία του κινητήρα E.P.	65
5.2.1.1	Συντελεστής K1	66
5.2.1.2	Συντελεστής K2	67
5.2.1.3	Συντελεστής K3	68
5.2.1.4	Εύρεση διατομής	70
5.2.2	Για την τροφοδοσία του τυλίγματος τυμπάνου από την πλευρά του E.P.	71
5.2.2.1	Εύρεση διατομής	72
5.2.3	Για την τροφοδοσία του τυλίγματος διέγερσης από την πλευρά του E.P.	72
5.2.3.1	Εύρεση διατομής καλωδίου τροφοδοσίας τυλίγματος διέγερσης	73
5.2.4	Για την τροφοδοσία του τυλίγματος τυμπάνου από την πλευρά του Σ.Ρ.	73
5.2.4.1	Υπολογισμός πτώσης τάσης	74
5.2.4.2	Εκτίμηση διατομής καλωδίου	74
5.2.5	Για το τύλιγμα διέγερσης από την πλευρά του συνεχούς ρεύματος	74
5.2.6	Συνοπτικός πίνακας διατομών και ασφαλειών	75
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ		
	Σκοπός της μελέτης	77
	Ερευνητικά Ερωτήματα	78
	Υλικό μελέτης	78
	Κατανόηση του θέματος της μελέτης	79
	Αποσαφήνιση του σκοπού της μελέτης	80
	Φάσεις μελέτης για την ηλεκτρική εγκατάσταση	80
	Φάσεις κατασκευής της ηλεκτρικής εγκατάστασης της αεροσήραγγας	81
	Πίνακας αυτοματισμού και εγκατάσταση inverter & converter	82
	Μηχανική εγκατάσταση αντιστροφέα Micromaster 430	83
	Μηχανική εγκατάσταση μετατροπέα Sinamics Dcm	84

Ηλεκτρικές συνδέσεις –Τοπολογία	86
Ηλεκτρική εγκατάσταση αντιστροφέα micromaster 430	86
Ηλεκτρικές συνδέσεις αντιστροφέα micromaster 430	87
Ηλεκτρική εγκατάσταση μετατροπέα sinamics dcu	88
Η τροφοδοσία του τυλίγματος τυμπάνου	88
Η τροφοδοσία του τυλίγματος διέγερσης	89
Η τροφοδοσία του κυκλώματος ελέγχου	89
Η εγκατάσταση του επαγωγικού κινητήρα	90
Οι πιθανοί τρόποι ηλεκτρικής σύνδεσης του επαγωγικού κινητήρα του εργαστηρίου	91
Εύρεση της διαδοχής φάσεων	92
Η ηλεκτρική σύνδεση στο κιβώτιο ακροδεκτών	94
Η ηλεκτρική σύνδεση του κινητήρα Σ.Ρ.	96
Ψηφιακές διασυνδέσεις	97
Σύνδεση του αντιστροφέα Micromaster 430 με υπολογιστή	97
Γειώσεις	98
Το ηλεκτρολογικό σχέδιο του πίνακα κίνησης	100
ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	101
Summary	104
Λέξεις Κλειδιά	105
Βιβλιογραφία	106

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η φωτογραφία του εξωφύλλου απεικονίζει την μέση χρονική στιγμή που η αναζήτηση της μηχανικής για το περιβάλλον που θα στεγάσει πειράματα συναφή με την πτήση στοιχείων έχει πλέον αποκρυσταλλωθεί και υλοποιηθεί, με τα μυστικά της αεροδυναμικής να έχουν σε μεγάλο βαθμό αποκαλυφθεί, τουλάχιστον για τους ειδικούς. Καμία ιστορική στιγμή δεν μπορεί να διεκδικήσει απόλυτα την ανάγκη του ανθρώπου να πετάξει και να επιζήσει ούτως ώστε να σχηματίσει μνήμη της εμπειρίας του αυτής. Ο Δαίδαλος, μεθυσμένος από την επιθυμία πτήσης, αγνόησε τους παράγοντες κινδύνου ενός πειράματος στο φυσικό περιβάλλον με αποτέλεσμα τα γνωστά τραγικά αποτελέσματα. Ο Leonardo Da Vinci, με τη βοήθεια “πιλότου”, “πέταξε” και πλανήθηκε στον χώρο με τις μοναδικές μηχανές του, με τίμημα μερικές γρατσουνιές [17]. Η μέριμνα του διαφωτισμού για το πείραμα και την παρατήρηση εδραιώνουν την ανάγκη για ασφαλείς συνθήκες και εισηγείται εμπεριστατωμένα τις δυνατότητες και τα οφέλη της προσομοίωσης με σκοπό την πρόβλεψη [22]. Στις μέρες μας έχει πλέον επιτευχθεί η μέγιστη πειραματική δυνατότητα σε συνθήκες απόλυτης ασφάλειας, όχι μόνο για τις ιπτάμενες δομές αλλά και για όσα σώματα έρχονται σε δυναμική επαφή ή σύγκρουση με το στοιχείο του αέρα.

Η αεροσήραγγα, της οποίας η εγκατάσταση παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, δεν αποτελεί παρά, εξεταζόμενη διαχρονικά, μια υλοποίηση της επιθυμίας του ανθρώπου για προσομοίωση που θα του δίνει τη δυνατότητα παρατήρησης και καταγραφής των ιδιοτήτων των δοκιμίων σε συνθήκες ασφάλειας. Το περιβάλλον προσομοίωσης της συγκεκριμένης αεροσήραγγας “ζωντανεύει” με τον πιο διαδεδομένο για τις μέρες μας τρόπο: ηλεκτρικά. Οι εκπαιδευτικές χρήσεις των περιβαλλόντων προσομοίωσης είναι γνωστές τουλάχιστον από τότε που η παιδαγωγική επιστήμη τα στράτευσε για τους εκάστοτε μαθησιακούς και σπουδαστικούς σκοπούς [16].

1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1 Η ιστορία της αεροσήραγγας

Οι ερευνητές του 19ου αιώνα ξεκίνησαν να δημιουργούν ιπτάμενες μηχανές σύμφωνα με τις πτητικές δομές των πουλιών που μελετούσαν. Τα σκάφη αυτά, με την μορφή πουλιών, απέτυχαν παταγωδώς. Γρήγορα συνειδητοποιήσαν ότι δεν γνώριζαν τίποτε σχετικά με την πτήση και τις δυνάμεις που επιδρούν στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον αέρα.

Για να πραγματοποιηθεί πτήση, έπρεπε πρώτα να κατανοηθεί η ροή του αέρα πάνω από αεροπλανικές επιφάνειες. Αυτό σήμαινε ότι έπρεπε να δημιουργηθούν εργαστήρια εξοπλισμένα με κατάλληλες επιφάνειες ώστε αυτές να μπορούν να δοκιμαστούν υπό ελεγχόμενες συνθήκες.

Με τα δεδομένα αυτά, δεν προκαλεί έκπληξη που η πρώτη αεροσήραγγα κατασκευάστηκε 30 χρόνια πριν οι αδερφοί Ράιτ (Wright Brothers) πραγματοποιήσουν τις πρώτες προσπάθειες πτήσης το 1902 με θετικά, όπως είναι γνωστό, αποτελέσματα.

[23]

Οι αεροσήραγγες χρησιμοποιήθηκαν για να μελετηθούν τα στοιχεία πτήσης από το 1871. Αρχικά ήταν κατασκευές μικρής κλίμακας, ανοιχτού βρόχου, όπως η σήραγγα των αδερφών Ράιτ, με θάλαμο δοκιμών των 16 ιντσών. Οι αεροσήραγγες μεγάλωσαν σε όγκο και πολυπλοκότητα κυρίως μετά την αεροσήραγγα κλειστού βρόχου του Ludwig Prandtl το 1909. Από τότε κατασκευάστηκαν αεροσήραγγες σε πληθώρα μεγεθών και σχημάτων, με διάφορες ταχύτητες βασιζόμενες στην τρέχουσα τεχνολογία και τους ερευνητικούς σκοπούς της εκάστοτε εποχής.

[24]



Εικόνα 1.1: Ατμοσφαιρική αεροσήραγγα 5 ποδών (1.5m) του ερευνητικού κέντρου Langley της NASA (Langley Research Center Hampton, Va).

Η πρώτη αεροσήραγγα του ερευνητικού κέντρου Langley, εικόνα 1.1, κατασκευασμένη το 1920, με σκοπό να βοηθήσει τους άπειρους, στον τομέα αυτό μηχανικούς, να αποκτήσουν σχετική εμπειρία. Η συγκεκριμένη αεροσήραγγα, αν και δεν θα μπορούσε να θεωρηθεί επιτυχημένη σαν κατασκευή, ωστόσο βοήθησε στην εξάσκηση των μηχανικών.

Πηγή: <http://awt.grc.nasa.gov/siteimgdetail/detail.np/detail-47.html>

1.2 Χρονολόγιο ανάπτυξης αεροσηράγγων

Πίνακας 1.1

Έτος	Περιγραφή	Σχεδιαστής	Τοποθεσία
1871	Πρώτη αεροσήραγγα	Frank Wenham	Μεγάλη Βρετανία
1897	Ρωσική σήραγγα	Konstantin Tsiolkovsky	Ρωσία
1901	Σήραγγα 16x16 ιντσών	Wright Brothers	Dayton, OH
1901	Σήραγγα 16x16 ποδών	Albert Zahm	Catholic University
1904	Ρωσική σήραγγα	Dimitri Riabouchinsky	Μόσχα
1909	Πρώτη κλειστού τύπου σήραγγα	Ludwig Prandtl	Πανεπιστήμιο του Göttingen
1912	Δίδυμες σήραγγες	Gustav Eiffel	Παρίσι, Γαλλία
1917	Πρώτη μοντέρνα σήραγγα	Ludwig Prandtl	Πανεπιστήμιο του Göttingen
1923	Σήραγγα μεταβλητής πυκνότητας	Max Munk	Langley Field
1927	Propeller Research Tunnel		Langley Field
1931	Σήραγγα πλήρους κλίμακας	Smith DeFrance	Langley Field
1936	Πρώτη υπερηχητική σήραγγα		Peenemunde
1936	Σήραγγα υψηλής ταχύτητας Kirsten	William Boeing	Πανεπιστήμιο του Wisconsin
1938	Σήραγγα προσομοίωσης υψομέτρου		Τεχνολογικό Ινστιτούτο Μασαχουσέτης (MIT)
1939	Σήραγγα υψηλής ταχύτητας 16 ποδών		Langley Field
1942	Πρώτη υπερηχητική σήραγγα Η.Π.Α.		Langley Field
1944	Αεροσήραγγα προσομοίωσης υψομέτρου NASA	Al Young Lou Monroe	NACA Lewis
1944	Σήραγγα 40x80 ποδών	Carl Bioletti	NACA Ames
1948	Υπερηχητική αεροσήραγγα 8x6 ποδών		NACA Lewis
1955	Υπερηχητική αεροσήραγγα 10x10 ποδών		NACA Lewis
1955	Αεροσήραγγα πρόωσης		AEDC

Πηγή: http://awt.grc.nasa.gov/students_TunnelHistory.aspx

1.3 Περιγραφή και λειτουργία της αεροσήραγγας

1.3.1 Αεροδυναμικές Σήραγγες

Η αεροδυναμική σήραγγα είναι ένα μέσο που δημιουργεί ρεύμα αέρα με ελεγχόμενες συνθήκες ταχύτητας θερμοκρασίας, πίεσης κ.λπ. Η λειτουργία της βασίζεται στην αρχή της σχετικότητας της κίνησης, σύμφωνα με την οποία η αντίσταση του αέρα πάνω σ' ένα στρώμα θα είναι η ίδια αν ο αέρας κινείται, ως προς το σώμα, με κάποια ταχύτητα ή το σώμα κινείται, ως προς τον αέρα, με την ίδια ταχύτητα. Η ιδιότητα αυτή εξυπηρετεί την έρευνα γιατί όντας ακίνητο π.χ. ένα αεροπλάνο, υπάρχει η άνεση να εξετασθούν οι αντιδράσεις, του όταν βρίσκεται στο ρεύμα αέρα της σήραγγας που είναι ακριβώς οι ίδιες με εκείνες που θα είχε το αεροπλάνο εάν εκινείτο στον αέρα με την ίδια ταχύτητα. Είναι δυνατό να τοποθετηθούν, ή να αφαιρεθούν, ή να διορθωθούν διάφορες αεροδυναμικές επιφάνειες κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, ώστε το μοντέλο να αποκτήσει την κατάλληλη μορφή για να ανταποκρίνεται στις απαιτούμενες επιδόσεις.

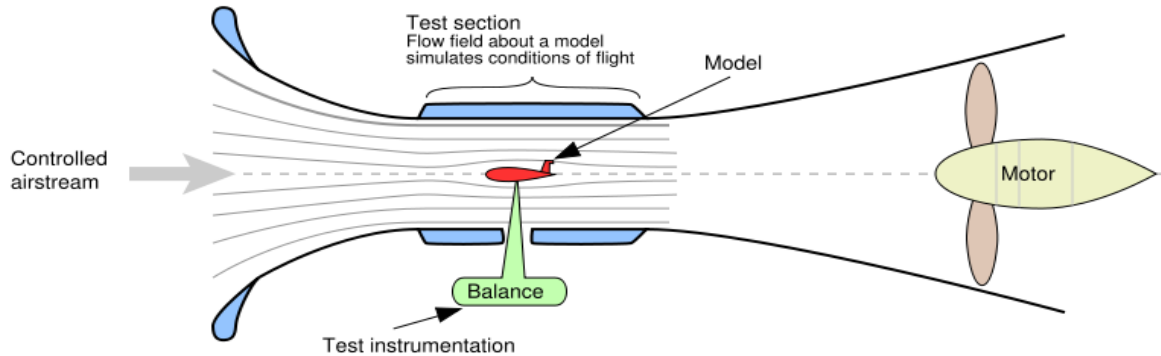
Η αεροδυναμική σήραγγα που χρησιμοποιείται για τα αεροπλάνα, είναι εξίσου χρήσιμη για πειράματα σε όλα τα μεταφορικά μέσα που η ταχύτητά τους είναι μεγάλη και δημιουργεί υπολογίσιμη αντίσταση αέρα. Η απαίτηση της ασφαλούς και άνετης μεταφοράς με μεγάλες ταχύτητες, αλλά και με το μικρότερο δυνατό κόστος, προϋποθέτει, πέρα από τα άλλα, ειδική σχεδίαση που να εξασφαλίζει ευστάθεια στους ελιγμούς και τη μικρότερη, για κάθε ταχύτητα, οπισθέλκουσα. Η τελευταία είναι σημαντική σε ό,τι αφορά το λειτουργικό κόστος του μεταφορικού μέσου. Είναι γνωστό ότι η ισχύς του κινητήρα έχει άμεση σχέση με την οπισθέλκουσα, που και αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με το τετράγωνο της μεταβολής της ταχύτητας. Για παράδειγμα, σε διπλασιασμό της ταχύτητας, τετραπλασιάζεται η οπισθέλκουσα και αυξάνεται δυσανάλογα η ισχύς του κινητήρα. Επειδή η κατανάλωση σε καύσιμα είναι σχεδόν ανάλογη προς την ισχύ, βγαίνει αβίαστα το συμπέρασμα ότι η μείωση της οπισθέλκουσας κάθε μεταφορικού μέσου θα έχει, εκτός των άλλων, μικρότερο λειτουργικό κόστος. [15]

1.3.2 Πεδίο δοκιμών

Η αεροδυναμική σήραγγα, πέραν της εφαρμογής στην αεροδυναμική και πτήση, χρησιμεύει για τη σχεδίαση ιστιοπλοϊκών σκαφών, γιατί και στην περίπτωση αυτή ο άνεμος είναι η κύρια και μοναδική κινητήρια δύναμη του σκάφους. Ακόμη δεν πρέπει να παραλειφθεί η συμβολή της αεροδυναμικής σήραγγας στη σχεδίαση των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για πολλές άλλες παραγωγικές εργασίες. Π.χ. οι αεροδυναμικές σήραγγες χρησιμοποιούνται και για στατικές κατασκευές που καταπονούνται από τον άνεμο. Τέτοιες περιπτώσεις είναι οι κεραίες, τα υπόστεγα, οι ουρανοξύστες και οι ειδικές κατασκευές όπως ο πύργος του Eiffel στο Παρίσι ή άλλες ανάλογες κατασκευές που υπάρχουν σε πολλές πόλεις. Τέλος, οι κατασκευές που λειτουργούν με ρεύμα αέρα, όπως έλικες, στρόβιλοι ή αλεξίπτωτα σχεδιάζονται και δοκιμάζονται με τη βοήθεια της αεροδυναμικής σήραγγας.

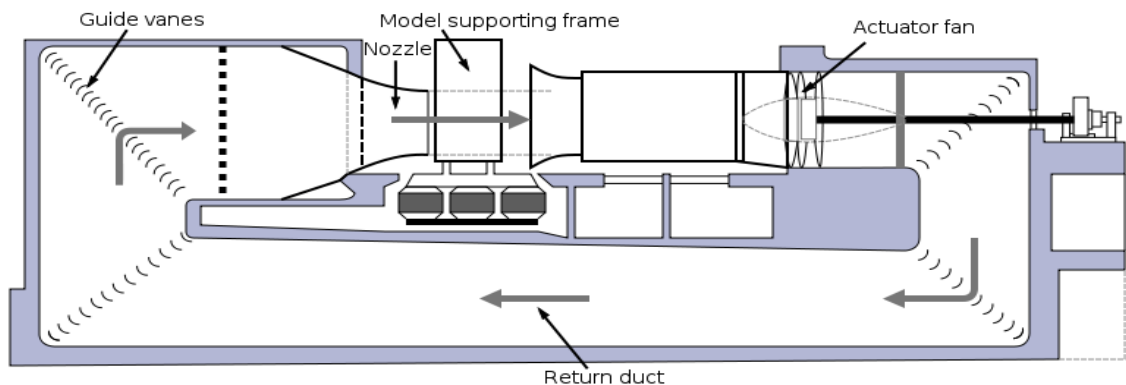
1.3.3 Η δομή της αεροσήραγγας

Τα κύρια μέρη μιας ολοκληρωμένης σήραγγας είναι οι αγωγοί αέρα, το συγκρότημα παραγωγής ρεύματος αέρα, οι συσκευές μετρήσεων και υπολογισμών και το σύστημα στήριξης τηλεκίνησης και τηλεοπτικής παρακολούθησης της δοκιμής. Ανάλογα με την ταχύτητα που έχει ο αέρας στο θάλαμο δοκιμών, οι σήραγγες διακρίνονται σε **υποηχητικές** ή μικρών ταχυτήτων και σε **υπερηχητικές** ή μεγάλων ταχυτήτων. Επίσης ο τρόπος κυκλοφορίας του αέρα τις χωρίζει σε σήραγγες, **ανοικτού και κλειστού κυκλώματος**.



Σχήμα 1.1: Αεροσήραγγα ανοιχτού κυκλώματος

Πηγή: http://www.enotes.com/topic/Subsonic_and_trasonic_wind_tunnel



Σχήμα 1.2: Αεροσήραγγα κλειστού κυκλώματος

Πηγή: http://www.enotes.com/topic/Subsonic_and_trasonic_wind_tunnel

Τέλος υπάρχουν διάφορα είδη σήραγγων για ειδικές χρήσεις, όπως σήραγγες κατακόρυφης ροής για την έρευνα της περιδίνησης και σήραγγες μεταβαλλόμενης πίεσης. Ανεξάρτητα από το μέγεθος ή το είδος της σήραγγας οι αγωγοί που συνθέτουν το σύστημα κυκλοφορίας του αέρα είναι γενικά οι συγκλίνοντες, οι αποκλίνοντες και εκείνοι που αποτελούν το τμήμα δοκιμών.

Η διατομή του τμήματος δοκιμών είναι στις υποηχητικές σήραγγες σταθερή σε όλο το μήκος, ενώ στις υπερηχητικές σήραγγες οι αγωγοί του τμήματος δοκιμών έχουν μεταβλητή διατομή προκειμένου να αναπτύξουν πρώτα τη διηχητική και στη συνέχεια την υπερηχητική ταχύτητα. Οι συγκλίνοντες αγωγοί αυξάνουν την ταχύτητα του αέρα λόγω του σχήματός των και ελαττώνουν τους στροβιλισμούς λόγω των διατάξεων που περιέχουν. Ο αέρας απαλλαγμένος κατά το δυνατόν από δίνες και στρόβιλους αποδίδεται στο θάλαμο δοκιμών, και από εκεί παραλαμβάνεται από τους αποκλίνοντες αγωγούς. Αυτοί οι αγωγοί λόγω του σχήματός τους, ελαττώνουν την ταχύτητα του αέρα και του αυξάνουν την πίεση. Τέλος, για την περίπτωση σήραγγων κλειστού κυκλώματος, υπάρχουν σωλήνες που οδηγούν τη ροή από τον αποκλίνοντα στο συγκλίνοντα αγωγό, με τη βοήθεια ανεμιστήρα. Η βασική απαίτηση για την καλή λειτουργία μιας αεροδυναμικής σήραγγας είναι να έχει ροή αέρα στο χώρο δοκιμών, ελεγχόμενης ταχύτητας, αστρόβιλη και ομοιόμορφη. Η προσιτότητα στο χώρο δοκιμών και η δυνατότητα αλλαγής θέσης του δοκιμίου (υπό κλίμακα μοντέλου του προς εξέταση αντικειμένου) χωρίς να σταματήσει η σήραγγα, διευκολύνει πολύ τη διεξαγωγή της έρευνας. Οι σήραγγες ανοικτού κυκλώματος διακρίνονται σε σήραγγες με αναρρόφηση και σε σήραγγες με άσκηση πίεσης, ανάλογα με τη θέση του ανεμιστήρα ως προς το χώρο δοκιμής και τη φορά της κίνησης της ροής. Υπάρχουν μικρές υπερηχητικές σήραγγες που αντί για κινητήρα με ανεμιστήρα διαθέτουν δεξαμενή αέρα είτε με πολύ υψηλή είτε με πολύ χαμηλή πίεση. Οι διαφορές των πιέσεων, με την πίεση του περιβάλλοντος δημιουργούν ρεύμα αέρα που διατρέχει τη σήραγγα. Οι σήραγγες αυτές είναι μικρού μεγέθους, λειτουργούν κατά περιόδους και για ελάχιστο χρονικό διάστημα, και χρησιμοποιούνται κυρίως για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Το πρόβλημα της ομοιόμορφης και αστρόβιλης ροής μέσα στο χώρο των δοκιμών είναι μόνιμο για όλα τα είδη των σήραγγων και είναι πιο σύνθετο στις σήραγγες κλειστού κυκλώματος. Το περιστρεφόμενο ρεύμα ακριβώς πίσω από τους ανεμιστήρες ευθυγραμμίζεται με ειδικό πτερύγιο (ευθυγραμμιστήρες). Πρόβλημα επίσης δημιουργείται στις γωνίες των αγωγών όπου η ροή αναγκάζεται να αλλάξει διεύθυνση. Η μεταβολή διεύθυνσης της ροής γίνεται ομαλά με την κατάλληλη παρεμβολή κατευθυντήριων πτερυγίων στις γωνίες των σωλήνων. Τέλος η απαίτηση αστρόβιλης ροής στο τμήμα δοκιμών δημιουργεί την ανάγκη παρεμβολής κυψελών και εσχάρων που έχουν σκοπό να σπάει τους στροβίλους με αποτέλεσμα να ελαττώνεται ο στροβιλισμός του ρεύματος. Η λειότητα των εσωτερικών επιφανειών του κυκλώματος συντελεί θετικά στην ελάττωση του στροβιλισμού.

Ο στροβιλισμός του αέρα επηρεάζει άμεσα το πάχος του οριακού στρώματος στα εσωτερικά τοιχώματα του χώρου δοκιμής, γιατί περιορίζει την εκμεταλλεύσιμη περιοχή που προορίζεται για πειράματα.

Το τμήμα δοκιμών μπορεί να είναι ανοικτό (χωρίς τοιχώματα) ή κλειστό (με τοιχώματα). Το ανοικτό τμήμα δοκιμών προσφέρεται για χαμηλές ταχύτητες, είναι προσιτό και παρέχει τη δυνατότητα να γίνει μεταβολή της θέσης του δοκιμίου ή αντικατάστασή του απευθείας από εκείνον που εκτελεί το πείραμα, χωρίς να σταματήσει η σήραγγα, αρκεί αυτή να λειτουργεί σε χαμηλά στοιχεία. Το κλειστό τμήμα δοκιμών προσφέρεται για μεγάλες ταχύτητες, και στα σύγχρονα εργαστήρια Πανεπιστημίων και εργοστασίων συνοδεύεται από σύστημα τηλεχειρισμού και τηλεοπτικής παρακολούθησης των δοκιμών.

1.3.4 Η ταχύτητα του αέρα

Η ταχύτητα αέρα στο χώρο των δοκιμών πρέπει να ρυθμίζεται ανάλογα για να υπάρχει δυνατότητα εκτέλεσης πειραμάτων κάτω από διάφορες ταχύτητες. Οι υποηχητικές ταχύτητες ρυθμίζονται συνήθως με τη μεταβολή των στροφών του ανεμιστήρα που παράγει το ρεύμα μέσα στη σήραγγα. Οι υπερηχητικές ταχύτητες ρυθμίζονται από τη μεταβολή του σχήματος του αγωγού που αποτελεί το χώρο δοκιμής. Για ένα δεδομένο αγωγό τμήματος δοκιμής σε μια υπερηχητική σήραγγα, η ταχύτητα αέρος εξαρτάται από τη διατομή εισαγωγής του αγωγού (λαιμός). Όσο πιο μικρή είναι η διατομή τόσο μεγαλύτερες ταχύτητες αναπτύσσονται στο χώρο δοκιμών. Επομένως ο έλεγχος της ταχύτητας εξασφαλίζεται με τον έλεγχο της μεταβολής του λαιμού εισόδου. Τα εύκαμπτα τοιχώματα του λαιμού και τα αφαιρετά ακροφύσια (Μπλοκ) παρέχουν τη δυνατότητα στον ερευνητή να έχει την επιθυμητή διατομή του λαιμού, επομένως και την ταχύτητα αέρα στο χώρο δοκιμής. Ο χρησιμοποιούμενος αέρας στις σύγχρονες αεροδυναμικές σήραγγες, πρέπει να είναι ελεγχόμενος από πλευράς θερμοκρασίας, πίεσης, υγρασίας και καθαρότητας. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η συμπλήρωση της σήραγγας με τα αντίστοιχα όργανα μέτρησης, καθώς επίσης με αντλίες πίεσης ή κενού, θερμαντήρες, ξηραντήρες και φίλτρα.

1.3.5 Κόστος αεροδυναμικής σήραγγας

Το κόστος της αεροδυναμικής σήραγγας σε ό,τι αφορά την κατασκευή, εγκατάσταση αλλά και λειτουργία της είναι σεβαστό γιατί στην κατασκευή πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρελκόμενα (π.χ. ζυγός) στην εγκατάσταση στο ειδικό υπόστεγο και την υποδομή για λειτουργία του κινητήρα, και στη λειτουργία τα τεράστια έξοδα για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ισχύος. Αρκεί να αναφερθεί ότι η απαιτούμενη ισχύς για την παραγωγή ρεύματος είναι ανάλογη προς τον κύβο της ταχύτητας. Το κόστος γίνεται ακόμη μεγαλύτερο όταν πρόκειται για υπερηχητική σήραγγα όπου για να επιτευχθεί ταχύτητα Ma 3 χρειάζεται ισχύς κινητήρα 25 HP για κάθε τετραγωνικό εκατοστό διατομής Τμήματος δοκιμής. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για την αμερικανική σήραγγα Lewis με διατομή τμήματος δοκιμής 10x10 πόδια και ταχύτητα 3.400ft/sec χρειάζεται ισχύς 238.200HP, το δε κόστος της λειτουργίας ανέρχεται περίπου σε \$3.000 την ώρα, (έτος 1994). Τέλος υπάρχουν και λειτουργούν σήραγγες λίαν υψηλών ταχυτήτων (HYPERSONIC TUNELS), οι οποίες χρησιμοποιούνται για έρευνες και δοκιμές σε ταχύτητες της τάξης των 4,5 Ma και περισσότερο. Οι πύραυλοι και τα διαστημόπλοια πετούν σε τέτοιες ταχύτητες, επομένως είναι χρήσιμο μέχρι απαραίτητο να δοκιμάζονται ανάλογα με τη βοήθεια των σήραγγων αυτών. Οι αεροδυναμικές σήραγγες θα ήταν άχρηστες εάν δεν χρησιμοποιούντο παράλληλα οι απαιτούμενες συσκευές με τα αντίστοιχα όργανα που μετρούν τις επιδράσεις του ρεύματος αέρα πάνω στο υπό εξέταση δοκίμιο. Το είδος της σήραγγας, οι συνθήκες λειτουργίας της, το δοκίμιο και το αντικείμενο της έρευνας προσδιορίζουν τις συσκευές που πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Η ταχύτητα του αέρα στο χώρο δοκιμής και σε οποιοδήποτε άλλο μέρος της σήραγγας μετράται συνήθως με το σύστημα Pitot. Η ευχέρεια μετακίνησης των σωλήνων του συστήματος επιτρέπει την έρευνα του οριακού στρώματος στο χώρο δοκιμών και στον προσδιορισμό της εκμεταλλεύσιμης περιοχής. Η μέθοδος του θερμού αγωγού είναι πολύ πιο απλή αλλά και κατάλληλη για χαμηλές ταχύτητες και για τη μέτρηση ακανόνιστων μεταβολών της ταχύτητας όπως συμβαίνει στην περίπτωση των στροβιλισμών.

1.3.6 Τρόποι μέτρησης δυνάμεων και ροπών

Οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο δοκίμιο μετρώνται κατά κανόνα με το ζυγό. Οι διευθύνσεις των δυνάμεων είναι σαφώς καθορισμένες και προσδιορίζονται, στις παράλληλες προς τη ροή, στις κατακόρυφες και στις οριζόντιες κάθετες προς τη ροή. Εκτός από τις δυνάμεις είναι δυνατό να μετρηθούν με τη βοήθεια του ζυγού και οι ροπές που αναπτύσσονται πάνω στο δοκίμιο. Η ακρίβεια στις μετρήσεις με το ζυγό είναι απαραίτητη, γιατί σε ενάντια περίπτωση η αναγωγή από το μοντέλο στο πραγματικό αντικείμενο θα οδηγήσει σε αποτελέσματα που θα απέχουν πολύ από τα σωστά. Η χρήση ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στο ζυγό αυξάνει την ακρίβεια των μετρήσεων. Οι στατικές πιέσεις που ασκούνται πάνω στην εξωτερική επιφάνεια του δοκιμίου μετρώνται από το μανόμετρο. Οι λήψεις των πιέσεων γίνονται από κατάλληλες οπές που έχουν γίνει σε στρατηγικά σημεία των επιφανειών και από εκεί διοχετεύονται στο μανόμετρο. Η κατανομή των πιέσεων που ασκούνται ταυτόχρονα πάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου γίνεται με τη βοήθεια του πολυμανόμετρου. Τυπικό πείραμα είναι ο προσδιορισμός των στατικών πιέσεων στις επιφάνειες της πτέρυγας για διάφορες γωνίες προσβολής με τη βοήθεια του πολυμανόμετρου. Υπάρχουν οπτικές μέθοδοι παρακολούθησης της ροής.

1.3.7 Ανακεφαλαίωση

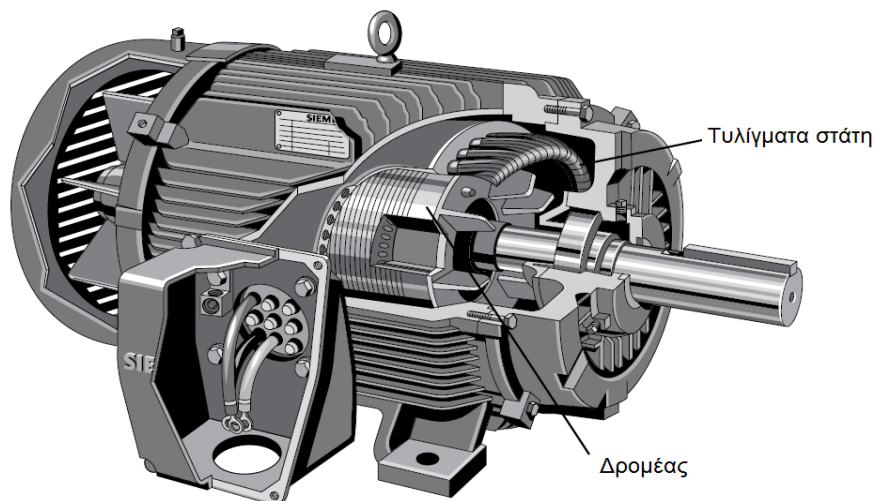
Σε περίπτωση αδυναμίας χρησιμοποίησης μεγάλης σήραγγας κατάλληλης για σώμα μεγάλων διαστάσεων, χρησιμοποιούνται μικρότερες σήραγγες και στη θέση του μεγάλου σώματος χρησιμοποιείται μικρό ομοίωμα κατάλληλο για τη χρησιμοποιούμενη σήραγγα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων πρέπει να αναχθούν στο σώμα με τις πραγματικές διαστάσεις. Για να πετύχει το πείραμα και τα αποτελέσματα των μετρήσεων να είναι σωστά πρέπει το μοντέλο και το σώμα να έχουν κατά την κίνηση στον αέρα, τον ίδιο αριθμό Reynolds (Re). Οι μεγάλες πρόοδοι που γίνονται στα επίγεια και εναέρια μεταφορικά μέσα, στη διαστημική έρευνα, στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, και στην καθ' ύψος ανάπτυξη επίγειων μεταλλικών στατικών κατασκευών, όπως πύργοι, κεραιές και ουρανοξύστες, καθιστούν την αεροδυναμική σήραγγα απαραίτητο βοήθημα. Πέρα από αυτά, η αεροδυναμική σήραγγα είναι

ένα σημαντικό εκπαιδευτικό βοήθημα για την προετοιμασία των επιστημόνων στους τομείς που αναφέρθηκαν. [15]

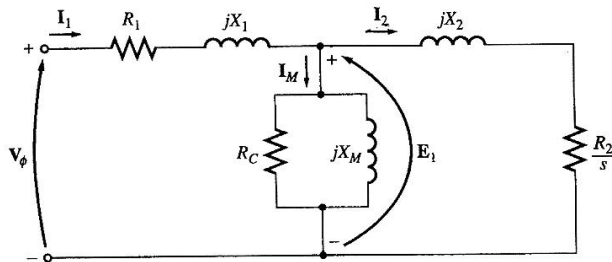
2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Προκειμένου να γίνουν κατανοητά τα χαρακτηριστικά του επαγωγικού κινητήρα και του κινητήρα συνεχούς ρεύματος, που αφορούν στην εγκατάσταση και την συμπεριφορά κατά την διάρκεια της λειτουργίας, είναι απαραίτητο να αναφερθούν και να ερμηνευτούν, στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας, οι θεμελιώδεις μαθηματικές περιγραφές τους.

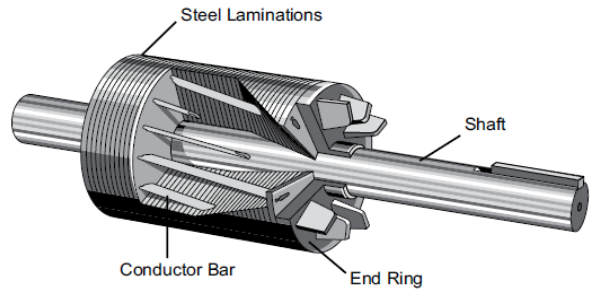
2.1 Σύντομη θεωρητική ανάπτυξη για την λειτουργία των επαγωγικών κινητήρων



Σχήμα.2.1: Επαγωγικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα
Πηγή: Siemens Technical educational Program, STEP series



Σχήμα 2.2: Το ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα.
Πηγή: Ηλεκτρικές Μηχανές S. J. Chapman



Σχήμα 2.3: Ο δρομέας του επαγωγικού κινητήρα. Διακρίνονται οι ράβδοι του κλωβού (Conductor Bar), Step Series

- Οι στροφές n ενός κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος σύμφωνα με τη σχέση (1) είναι ανάλογες της συχνότητας f και αντιστρόφως ανάλογες του αριθμού των πόλων της μηχανής P :

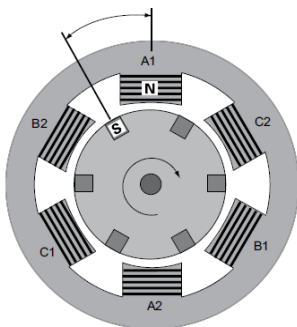
$$n = \frac{120f}{P} [rpm] \quad (1)$$

- Η ταχύτητα ολίσθησης της μηχανής (slip speed):

$$n_{slip} = n_{sync} - n_m [rpm] \quad (2)$$

Όπου n_{sync} η σύγχρονη ταχύτητα των μαγνητικών πεδίων και n_m η ταχύτητα των στρεφόμενων μαζών.

- Η ολίσθηση s (slip) της μηχανής: $s = \frac{n_{sync} - n_m}{n_{sync}}$ (3)



Σχήμα. 2.4: Εικονική περιγραφή της ολίσθησης.
Πηγή: Siemens Technical educational Program

Επιλύοντας ως προς n_m για την μηχανική ταχύτητα ή ταχύτητα των στρεφόμενων μαζών σε στροφές ανά λεπτό:

$$n_m = (1 - s)n_{sync} \text{ ή σε rad/sec: } \omega_m = (1 - s)\omega_{sync} \quad (4)$$

Ως προς την ολίσθηση διακρίνονται οι παρακάτω τρεις καταστάσεις:

α) Η συχνότητα f_r στο δρομέα για $n_m = 0 \text{ rpm}$ είναι $f_r = f_e$, όπου f_e η συχνότητα του δικτύου που τροφοδοτεί την μηχανή και η ολίσθηση $s = 1$.

β) Η συχνότητα f_r στο δρομέα για $n_m = n_{sync} \text{ rpm}$ είναι $f_r = 0 \text{ Hz}$ και η ολίσθηση $s = 0$.

γ) Η συχνότητα f_r στο δρομέα για $n_m \neq n_{sync} \neq 0$ είναι $f_r = sf_e$ ή $f_r = \frac{P}{120}(n_{sync} - n_m)$
δηλαδή αφορά όλες τις ενδιάμεσες καταστάσεις από $s=1$ μέχρι $s=0$.

• Η ροπή που ασκείται στον άξονα του δρομέα είναι:

$$\tau_{load} = \frac{P_{out}}{\omega_m} [N \cdot m] \quad (5)$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει το συμπέρασμα πως όσο αυξάνεται η γωνιακή ταχύτητα των στρεφόμενων μαζών τόσο η ροπή στον άξονα του δρομέα μειώνεται.

$P_{out} = P_{conv} - P_{tot}$ η ισχύς εξόδου του κινητήρα σε Watt

$P_{tot} = P_{F\&W} + P_{misc}$

$P_{F\&W}$ = Απώλειες τριβής και ανεμισμού, P_{misc} = Κατανεμημένες απώλειες

P_{conv} = Η ποσότητα της ισχύος που μετατρέπεται από ηλεκτρική σε μηχανική:

$P_{conv} = P_{AG} - P_{RCL}$

P_{RCL} = Οι απώλειες χαλκού του δρομέα

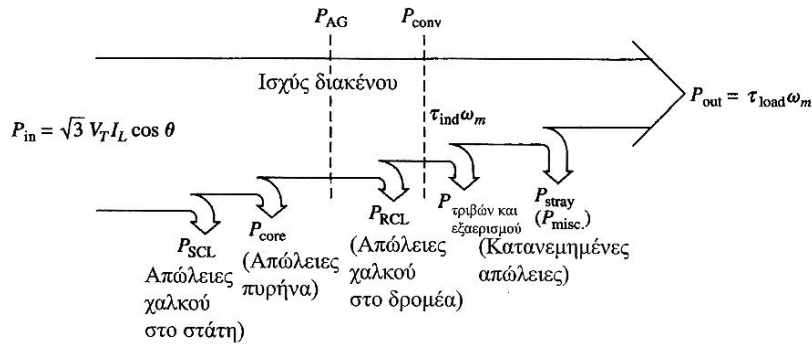
P_{AG} = Οι απώλειες διακένου: $P_{AG} = P_{in} - P_{SCL} - P_{core}$

P_{in} = Η ισχύς εισόδου $P_{in} = \sqrt{3}V_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \nu \nu \phi$

P_{SCL} = Οι απώλειες χαλκού του στάτη

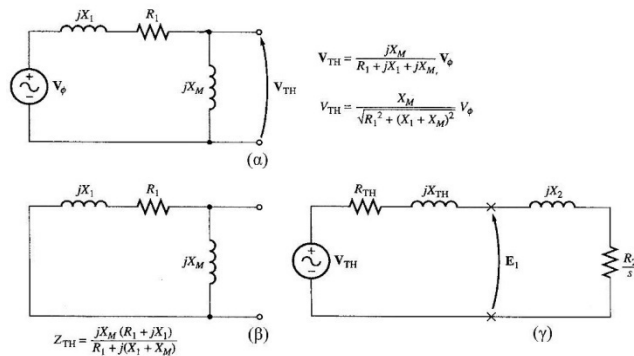
P_{core} = Οι απώλειες πυρήνα

[1]



Σχήμα. 2.5: Διάγραμμα απωλειών επαγωγικού κινητήρα
Πηγή: Ηλεκτρικές Μηχανές S. J. Charpman

2.1.1 Η επαγόμενη ροπή



Σχήμα. 2.6: (α) Η ισοδύναμη τάση κατά Thevenin, (β) Η ισοδύναμη εμπέδηση κατά Thevenin, (γ) Το απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα ενός επαγωγικού κινητήρα.
Πηγή: Ηλεκτρικές Μηχανές S. J. Charpman

Με βάση το απλοποιημένο ισοδύναμο ενός επαγωγικού κινητήρα, σχήμα 2.6γ, η επαγόμενη ροπή δίνεται από τη σχέση: $\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_{sync}} = \frac{3V_{TH}^2 R_2 / s}{\omega_{sync} [(R_{TH} + R_2 / s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2]}$ [Nm] (6)

Από την παραπάνω σχέση γίνεται αντιληπτό πως η ροπή του επαγωγικού κινητήρα εξαρτάται από το τετράγωνο της τάσης που τον τροφοδοτεί για μια δεδομένη ισχύ της ολίσθησης.

$$\text{Όπου } P_{AG} = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} = \frac{3V_{TH}^2 R_2 / s}{(R_{TH} + R_2 / s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2} \text{ η ισχύς διακένου} \quad (7)$$

$$\text{Και } I_2 = \frac{V_{TH}}{Z_{TH} + Z_2} = \frac{V_{TH}}{\sqrt{(R_{TH} + R_2 / s)^2 + (X_{TH} + X_2)^2}} \text{ το μέτρο του ρεύματος που διαρρέει} \\ \text{την αντίδραση } jX_2 \text{ και την αντίσταση } \frac{R_2}{s} \text{ του τυμπάνου} \quad (8)$$

$$V_{TH} = V_\Phi \frac{X_M}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_M)^2}} \text{ Το μέτρο της τάσης Thevenin} \quad (9)$$

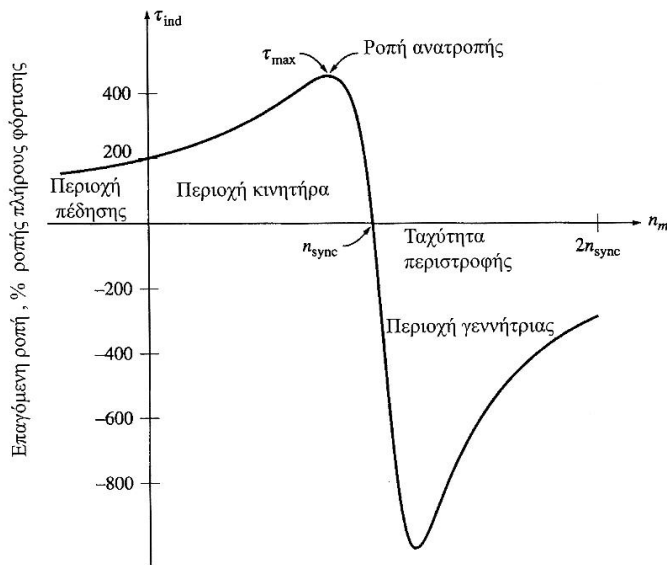
$$Z_{TH} = R_{TH} + jX_{TH} \frac{jX_M(R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_M)} \text{ [ohm] Η σύνθετη αντίσταση Thevenin} \quad (10)$$

[1]

2.1.2 Ροπή ανατροπής

Ένα σημαντικό στοιχείο που αφορά στην συμπεριφορά του επαγωγικού κινητήρα είναι η ροπή ανατροπής. Από το διάγραμμα ροπής-ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα, σχήμα 2.7, η επαγόμενη ροπή τ_{ind} είναι μηδέν στην σύγχρονη ταχύτητα n_{sync} . Στο σημείο αυτό, η ροπή του κινητήρα είναι η μέγιστη επιτρεπτή και είναι δυο έως τρεις φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ροπή του κινητήρα κατά την πλήρη φόρτιση. Εάν ο δρομέας του κινητήρα περιστραφεί με ταχύτητα μεγαλύτερη της σύγχρονης ταχύτητας n_{sync} τότε η φορά της επαγόμενης ροπής αντιστρέφεται και ο κινητήρας συμπεριφέρεται ως γεννήτρια δηλαδή αλλάζει τεταρτημόριο λειτουργίας. Η περίπτωση αυτή παρουσιάζει ενδιαφέρον, αφού είναι δυνατόν να προκληθεί σκόπιμα η ροπή ανατροπής και σε χαμηλότερες στροφές (plugging), αν αντιμετωπισθούν οι δύο από τις τρεις φάσεις που τροφοδοτούν τον κινητήρα. Το αποτέλεσμα θα είναι το απότομο σταμάτημα του κινητήρα, αφού όσο ο κινητήρας θα τείνει να περιστρέφεται αντίστροφα, θα μετατρέπεται η αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια των στρεφόμενων μαζών του σε ηλεκτρική και θα επιστρέφει στο δίκτυο (λειτουργία γεννήτριας) που προηγουμένως τον τροφοδοτούσε. Το φαινόμενο αυτό της γεννήτριας, συμβαίνει όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η αντίστροφη δυναμική περιστροφή.

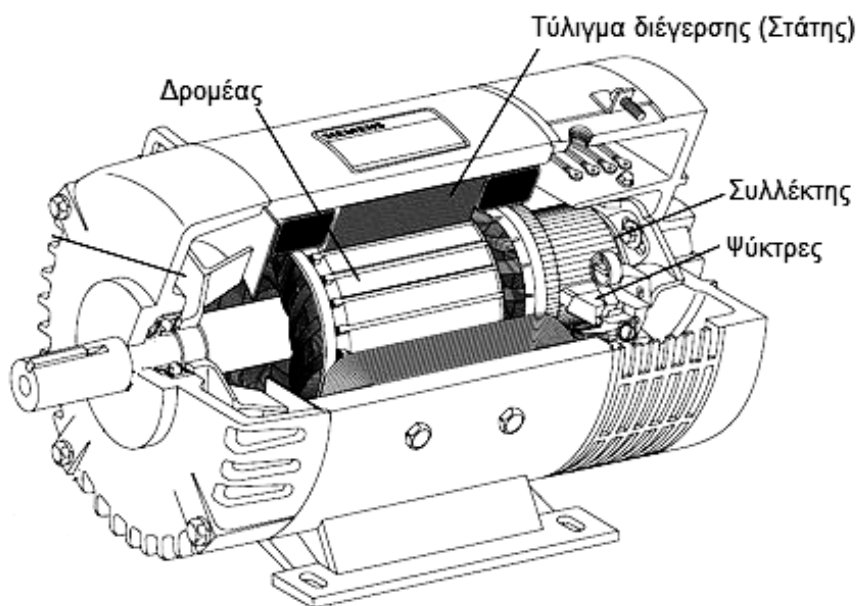
Στην εγκατάσταση της αεροσήραγγας, αν και υπάρχει η δυνατότητα αυτή στον μετατροπέα συχνότητας, δεν θα εφαρμοστεί, επειδή στην πέδηση αυτού του τύπου που συζητήθηκε παραπάνω, υπάρχει κίνδυνος να αποκολληθεί ο κινητήρας από τις βάσεις του με μια απότομη ακινητοποίηση, λόγω της πιθανής μεγάλης αδράνειας των στρεφόμενων μαζών. [1]



Σχήμα 2.7: Διάγραμμα ροπής – στροφών

Πηγή: Ηλεκτρικές Μηχανές S. J. Chapman

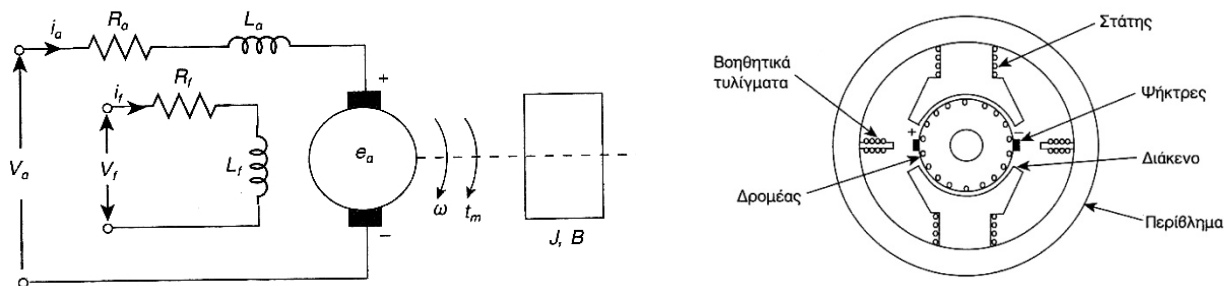
2.2 Σύντομη θεωρητική ανάπτυξη για τον Σ.Ρ. κινητήρα ξένης διέγερσης



Σχήμα 2.8: Κινητήρας Σ.Ρ.

Πηγή: Siemens Technical educational Program, STEP series

Στο σχήμα 2.10 δείχνεται ένας διπολικός κινητήρας σε κάθετη τομή. Ξεχωρίζουν τα τυλίγματα και οι δυο πόλοι του στάτη καθώς και οι ψήκτρες, στο σταθερό μέρος της μηχανής. Στο περιστρεφόμενο μέρος (δρομέας ή τύμπανο) υπάρχουν τα τυλίγματα τυμπάνου και ο συλλέκτης.



Σχήμα.2.9: Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης
Πηγή: Ασκήσεις ηλεκτρικής κίνησης, Π. Β. Μαλατέστας

2.10: Τομή του κινητήρα συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης
Πηγή: Ασκήσεις ηλεκτρικής κίνησης, Π. Β. Μαλατέστας

Περιγραφή σχήματος 2.9:

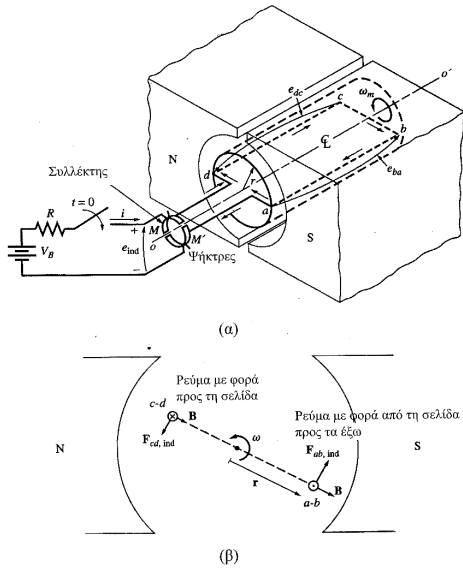
Ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης όπου L_a και R_a αντίσταση και αυτεπαγωγή τυμπάνου, και L_f , R_f αντίστοιχα, η αντίσταση και αυτεπαγωγή του τυλίγματος διέγερσης.

[1], [8]

2.2.1 Αρχή λειτουργίας Σ.Ρ. μηχανής - Επαγόμενη ροπή σε στοιχειώδες πλαίσιο

Το πλαίσιο του σχήματος (2.11) βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο B , που σχηματίζεται από τους δυο πόλους μόνιμου μαγνήτη και έχει την δυνατότητα περιστροφής. Η τροφοδοσία του με συνεχές ρεύμα εξασφαλίζεται μέσω του συλλέκτη. Ο συλλέκτης περιλαμβάνει δυο αγωγία ημικύκλια που αποτελούν τους πόλους των δυο άκρων του πλαισίου.

Το ημικυκλικό σχήμα των επαφών του συλλέκτη είναι απαραίτητο, αφού εξασφαλίζει τον



Σχήμα 2.11: (α) Στοιχειώδες πλαίσιο
(β) Ζεύγος δυνάμεων

Πηγή: Ηλεκτρικές Μηχανές S. J. Charman

αγώγιμο δρόμο του ρεύματος μεταξύ πηγής και πλαισίου και την περιστροφή του παράλληλα. Στο σταθερό μέρος βρίσκονται οι ψήκτρες των οποίων η σύσταση είναι σκληρός άνθρακας, γραφίτης ή μίγμα άνθρακα και χαλκού.

Σε κάθε πλευρά του πλαισίου (ab, bc, cd, da) η επαγόμενη δύναμη F εξαρτάται από την σχέση $F = B \cdot i \cdot l$ (Newton)

$$(1)$$

και η αντίστοιχη ροπή από $\tau = r \cdot F \cdot \sin \theta$, σχήμα 2.9 (β), όπου θ είναι η γωνία μεταξύ των διανυσμάτων r και F .

Για τις πλευρές ab και cd ισχύει, σχήμα 2.11α,

$$F_{ab} = B \cdot i \cdot l \quad \text{και} \quad F_{cd} = B \cdot i \cdot l. \quad \text{Η ροπή του ζεύγους δυνάμεων είναι}$$

$$\tau_{ab} + \tau_{cd} = 2 \cdot r \cdot (B \cdot i \cdot l) \cdot \sin 90^\circ$$

$$\Leftrightarrow \tau_{ind} = 2 \cdot r \cdot B \cdot i \cdot l, \quad \text{με φορά αντίστροφη αυτής του ρολογιού. Αντίστοιχα, αν η γωνία του}$$

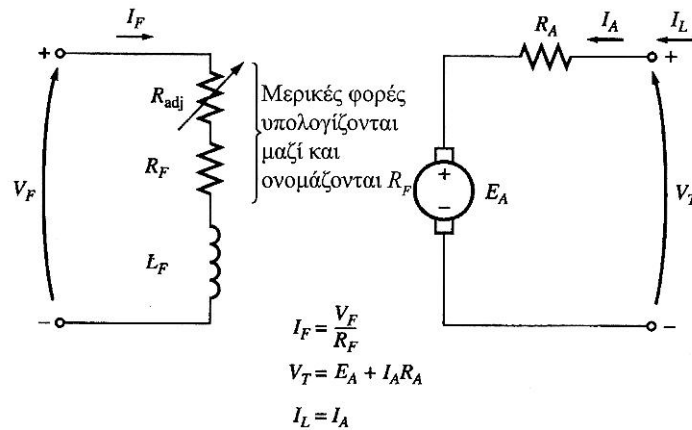
$$\text{πλασίου, σε σχέση με το } B, \text{ είναι } 0^\circ, \text{ τότε ισχύει: } \tau_{ind} = 2 \cdot r \cdot (B \cdot i \cdot l) \cdot \sin 0^\circ \Leftrightarrow \tau_{ind} = 0.$$

Συνοψίζοντας, όταν το πλαίσιο διαρρέεται από συνεχές ρεύμα και είναι παράλληλο στο μαγνητικό πεδίο B , η ροπή στρέψης είναι μηδενική, ενώ όταν το πλαίσιο είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πλαισίου η ροπή που τείνει να το περιστρέψει είναι η μέγιστη. Για τις πλευρές του πλαισίου bc και da, αφού το I είναι παράλληλο στο B , για κάθε γωνία του πλαισίου σε σχέση με το B , ισχύει, $F_{bc} = 0$, $F_{da} = 0$ και $\tau_{bc} = 0$, $\tau_{da} = 0$.

[1]

2.2.2 Ο ηλεκτρικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης

Σύμφωνα με τον νόμο του Kirchhoff ισχύει για το κύκλωμα δρομέα: $V_T = E_A + I_A R_A$ (1)



Σχήμα 2.12: Ισοδύναμο κύκλωμα κινητήρα Σ.Ρ. ξένης διέγερσης.

Πηγή: Ηλεκτρικές Μηχανές S. J. Chapman

$$\text{Και } I_A = I_L \quad (2)$$

$$\text{Και για το κύκλωμα διέγερσης: } I_F = \frac{V_F}{R_F} \quad (3)$$

$$\text{Όπου } E_A = K\phi\omega \quad (4)$$

η εξίσωση της τάσης εξ επαγωγής που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της μηχανής ή $E_A = K\phi n$ (5)

όταν η ταχύτητα n , δίνεται σε στροφές ανά λεπτό.

Όπου ϕ η μαγνητική ροή του πεδίου στο εσωτερικό της μηχανής σε Wb και ω η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της μηχανής σε rad/sec.

$$\text{Η σχέση που μετατρέπει τις στροφές ανά λεπτό σε rad/sec: } \omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Κ σταθερά που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά στοιχεία της μηχανής

Αντίστοιχα η επαγόμενη ροπή (inducted torque) στον άξονα της μηχανής είναι

$$\tau_{ind} = K\phi I_A \quad (6)$$

Από τις σχέσεις (4) και (6) προκύπτει ότι: $\tau_{ind} = \frac{E_A}{\omega} I_A$ (7)

Ακόμη, από τις σχέσεις (1) και (4) συνεπάγεται επίσης: $V_T = K\phi\omega + I_A R_A$ (8)

Και από την (6): $I_A = \frac{\tau_{ind}}{K\phi}$ (9)

Με σύνθεση των σχέσεων (8) και (9): $V_T = K\phi\omega + \frac{\tau_{ind}}{K\phi} R_A$ (10)

Η ταχύτητα ω του κινητήρα θα είναι: $\omega = \frac{V_T}{K\phi} - \frac{R_A}{(K\phi)^2} \tau_{ind}$ (11)

Από την σχέση (11) διαπιστώνεται πως με την μείωση της μαγνητικής ροής, που μπορεί να προκληθεί από διακοπή ρεύματος στο κύκλωμα διέγερσης, υπάρχει αύξηση της ταχύτητας. Ειδικότερα, αν στον δρομέα δεν υπάρχει φορτίο, η αύξηση των στροφών είναι ανεξέλεγκτη.

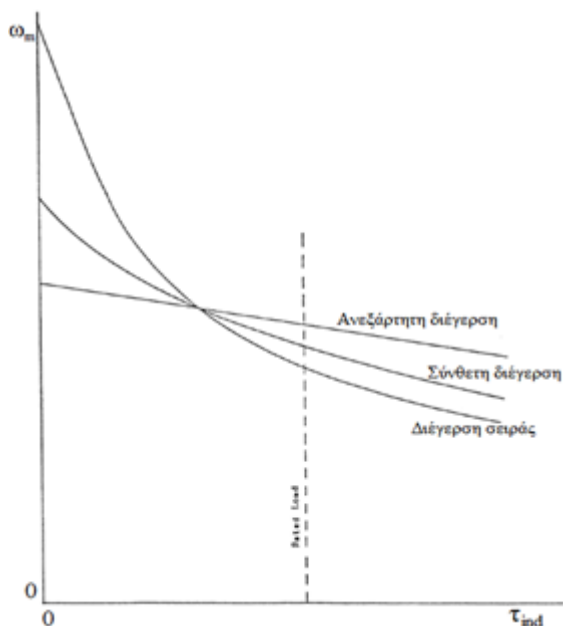
Στο σχήμα 2.13 διακρίνονται οι χαρακτηριστικές κινητήρων συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης διέγερσης, σύνθετης διέγερσης και διέγερσης σειράς. Ο κινητήρας ξένης διέγερσης, που είναι και ο κινητήρας της εγκατάστασής μας, έχει γραμμική σχέση ροπής στροφών. Ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τους άλλους δύο τύπους κινητήρων, είναι πως ο συγκεκριμένος τύπος ενδείκνυται για ρύθμιση στροφών λόγω της γραμμικής άρα και προβλέψιμης, συμπεριφοράς του.

Η σχέση που εκφράζει τη διαδικασία μετατροπής ισχύος στο εσωτερικό του κινητήρα:

$$P_{conv} = E_A I_A = \tau_{ind} \omega \quad (12)$$

Και η επαγόμενη ροπή: $\tau_{ind} = \frac{E_A I_A}{\omega}$

[1]



Σχήμα 2.13: Χαρακτηριστικές ροπής – στροφών
Πηγή: Siemens Technical educational Program

2.2.3 Τι συμβαίνει σε περίπτωση διακοπής τροφοδοσίας του τυλίγματος διέγερσης

Αν για οποιοδήποτε λόγο, το κύκλωμα διέγερσης διακοπεί κατά την λειτουργία της μηχανής, τότε η μαγνητική ροή ϕ του πεδίου στο εσωτερικό της μηχανής θα μειωθεί σημαντικά. Αντίστοιχα θα μειωθεί και η τάση εξ επαγωγής σύμφωνα με τη σχέση $E_A = K\phi\omega$. Η μείωση της αντίθετης αυτής τάσης E_A , που προκαλείται από το ρεύμα διέγερσης και που δρούσε ως περιοριστής του ρεύματος οπλισμού, παύει να υφίσταται με αποτέλεσμα το ρεύμα στον οπλισμό (ή δρομέα ή τυμπάνου) να αυξάνεται απεριόριστα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η επαγόμενη ροπή να είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την ροπή του φορτίου που εφαρμόζεται στη μηχανή. Επομένως η ταχύτητα της μηχανής αυξάνεται συνεχώς μέχρι να φτάσει σε σημείο που δεν ελέγχεται πλέον. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται *διαφυγή*. Στην περίπτωση της αεροσήραγγας της παρούσας μελέτης, μια ενδεχόμενη διακοπή στο ρεύμα του τυλίγματος

διέγερσης δεν μπορεί να προκαλέσει απεριόριστη αύξηση στροφών αφού οι απαιτήσεις ροπής της φτερωτής αυξάνονται παραβολικά καθώς αυξάνονται οι στροφές, (βλ. § 3.2), επομένως θα απέλθει ένα σημείο ισορροπίας. Επίσης έχει προβλεφθεί κατάλληλη ρύθμιση στον μετατροπέα Σ.Ρ. Sinamics dcm, έτσι ώστε σε περίπτωση μείωσης ή μηδενισμού του ρεύματος διέγερσης να διακόπτεται και το ρεύμα οπλισμού που ολοένα θα αυξανόταν.

[1]

2.3 Μαθηματική περιγραφή των μεθόδων ελέγχου κινητήρων

E.P.

2.3.1 Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή της συχνότητας

Σύμφωνα με την θεμελιώδη σχέση $n = \frac{120f}{P} [rpm]$, (1)

αν η συχνότητα που εφαρμόζεται στον στάτη μεταβληθεί, ο ρυθμός περιστροφής του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου n_{sync} στον στάτη μεταβάλλεται ανάλογα. Με τον έλεγχο της συχνότητας είναι δυνατόν να ρυθμιστεί η ταχύτητα ενός επαγωγικού κινητήρα επάνω και κάτω από την βασική ταχύτητα (base speed). Για να είναι ασφαλής η λειτουργία του κινητήρα, όταν ο κινητήρας, μέσω μεταβολής της συχνότητας, περιστρέφεται με ταχύτητες μικρότερες της βασικής ταχύτητας, θα πρέπει η τάση που εφαρμόζεται στον στάτη να περιορίζεται γραμμικά με την μείωση της συχνότητας. Όπως θα δειχθεί παρακάτω, θα πρέπει ο λόγος V/f να παραμένει σταθερός. Αν η διαδικασία που περιγράφηκε δεν ακολουθηθεί, τότε το μαγνητικό κύκλωμα του στάτη οδηγείται σε κορεσμό και το ρεύμα μαγνήτισης του κινητήρα μπορεί να πάρει μεγάλες τιμές.

Ο ηλεκτρικός επαγωγικός κινητήρας είναι ουσιαστικά ένας στρεφόμενος μετασχηματιστής και όπως σε κάθε μετασχηματιστή η μαγνητική ροή του πυρήνα (ή αντίστοιχα του στάτη) υπολογίζεται από το νόμο του Faraday

$$v(t) = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

Αν η τάση του δικτύου που τροφοδοτεί τον κινητήρα είναι $v(t) = V_m \sin \omega t$, η μαγνητική ροή φ που προκύπτει είναι:

$$\varphi(t) = \frac{1}{N_p} \int v(t) dt = \frac{1}{N_p} \int V_m \sin \omega t dt = -\frac{V_m}{\omega N_p} \cos \omega t \quad (3)$$

Από την τελευταία σχέση εξάγεται το συμπέρασμα πως αν μειωθεί κατά 10% η συχνότητα που εφαρμόζεται στο στάτη αλλά το πλάτος της τάσης του στάτη παραμένει σταθερό, η μαγνητική ροή στον πυρήνα του κινητήρα αυξάνεται αντίστοιχα κατά περίπου 10% ενώ το ρεύμα μαγνήτισης στο εσωτερικό του κινητήρα αυξάνεται επίσης. Οι επαγωγικοί κινητήρες κατασκευάζονται με σκοπό να λειτουργούν κοντά στο σημείο κορεσμού της καμπύλης μαγνήτισης κι έτσι η αύξηση της μαγνητικής ροής, που οφείλεται στην μείωση της συχνότητας, προκαλεί σοβαρή αύξηση στο ρεύμα μαγνήτισης του κινητήρα. Όταν όμως το πλάτος της τάσης που εφαρμόζεται σε έναν επαγωγικό κινητήρα μεταβάλλεται γραμμικά με την συχνότητα σε ταχύτητες μικρότερες από την βασική ταχύτητα, η μαγνητική ροή του κινητήρα παραμένει σταθερή όπως επίσης και το ρεύμα μαγνήτισης.

[1], [2]

2.3.2 Η επίδραση του λόγου V/f

Από την ανάλυση του ισοδύναμου του ασύγχρονου κινητήρα, η γενική έκφραση ροπής δίνεται από την σχέση:

$$T = \frac{3P}{4\pi} \left(\frac{V_1}{f_1} \right)^2 \frac{f_2 \frac{X_m}{R_2}}{\left[R_1 + \frac{f_2}{f_1 R_2} (X_m^2 - X_{11} X_{22}) \right]^2 + \left(X_{11} + \frac{f_2 R_1 X_{22}}{f_1 R_2} \right)^2} \quad (4)$$

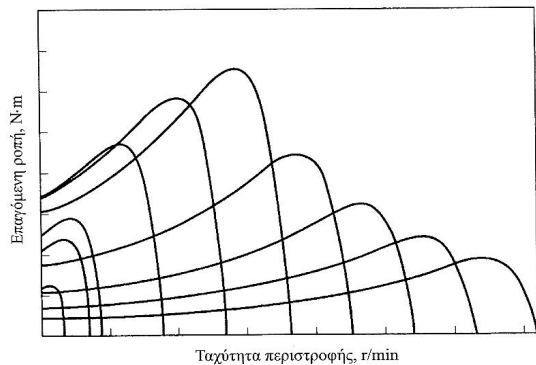
Όπου:

$$X_{11} = X_1 + X_m \quad \text{και} \quad X_{22} = X_2 + X_m$$

Στο σχήμα 2.14, διακρίνονται οι χαρακτηριστικές ροπής-στροφών με λόγο V/f σταθερό και στο σχήμα 2.15 οι χαρακτηριστικές ροπής-στροφών χωρίς V/f σταθερό.

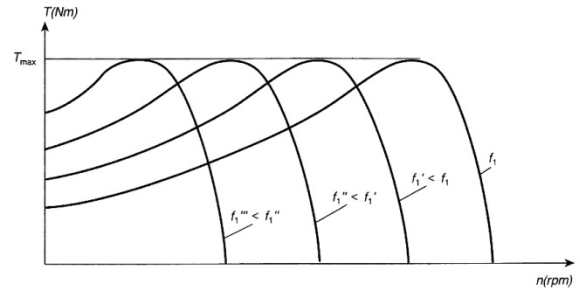
Είναι εμφανές πως όταν ο λόγος V/f παραμένει σταθερός, παραμένει σταθερή και η ροπή του επαγωγικού κινητήρα. Το φαινόμενο αυτό είναι σημαντικό αφού υπάρχει πλήρης εκμετάλλευση της διαθέσιμης ροπής του κινητήρα ακόμη και στις χαμηλές στροφές.

[8]



Σχήμα 2.14: Χαρακτηριστικές ροπής-στροφών χωρίς λόγο V/f σταθερό.

Πηγή: Ηλεκτρικές Μηχανές S. J. Chapman



Σχήμα 2.15: Χαρακτηριστικές ροπής-στροφών με λόγο V/f σταθερό.

Πηγή: Ασκήσεις ηλεκτρικής κίνησης, Π. Β. Μαλατέστας

2.3.3 Εξήγηση της διατήρησης της ροπής στην περίπτωση χαμηλών στροφών

Κατά την εκκίνηση του επαγωγικού κινητήρα η συχνότητα του δρομέα, που είναι χαμηλή, είναι ίση με τη συχνότητα του στάτη. Όσο λοιπόν πιο χαμηλή είναι η συχνότητα, τόσο υπερिशύει ο ωμικός χαρακτήρας στο δρομέα ($R_2 \gg X_2$) με αποτέλεσμα η γωνία των δυο πεδίων, διακένου και δρομέα να πλησιάζει τις 90° , δηλαδή προσεγγίζεται η ιδανική συνθήκη παραγωγής ροπής.

[8]

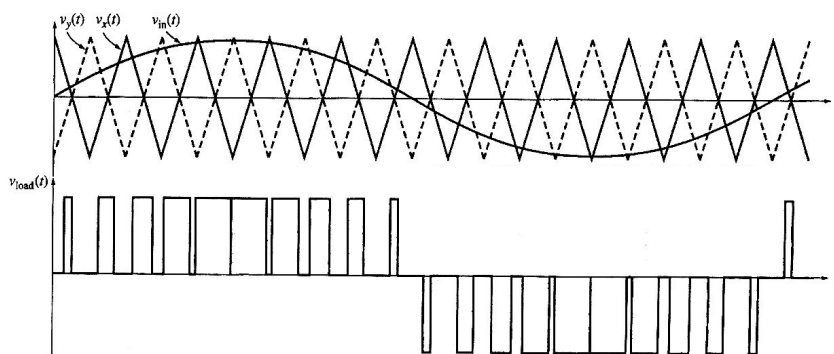
2.3.4 Έλεγχος με PWM

Επειδή η σύνθεση μιας καθαρά ημιτονικής τάσης με μεταβαλλόμενη συχνότητα και πλάτος από έναν μετατροπέα συχνότητας EP/ΣΡ/EP είναι υπερβολικά πολύπλοκη, άρα και δαπανηρή, έχει υιοθετηθεί μια εναλλακτική λύση που ταιριάζει καλύτερα στον on-off χαρακτήρα λειτουργίας των διακοπτικών στοιχείων. Με την βοήθεια μικροελεγκτών παίρνονται δείγματα του ημιτονοειδούς σήματος αναφοράς που μεταφράζονται σε παλμούς αντίστοιχου εύρους. Δεδομένου ότι η ταχύτητα των μικροελεγκτών είναι της τάξης των MHz, είναι εμφανές πως μέσα σε μια ημιπερίοδο της τάξης των 50Hz του ημιτονικού

σήματος αναφοράς, μπορούν να παρθούν 20000 δείγματα, να συγκριθούν και να παραχθούν οι κατάλληλοι παλμοί. Τα διακοπτικά στοιχεία, στην περίπτωση αυτή, μπορεί να αλλάζουν κατάσταση κατά χιλιάδες φορές το δευτερόλεπτο.

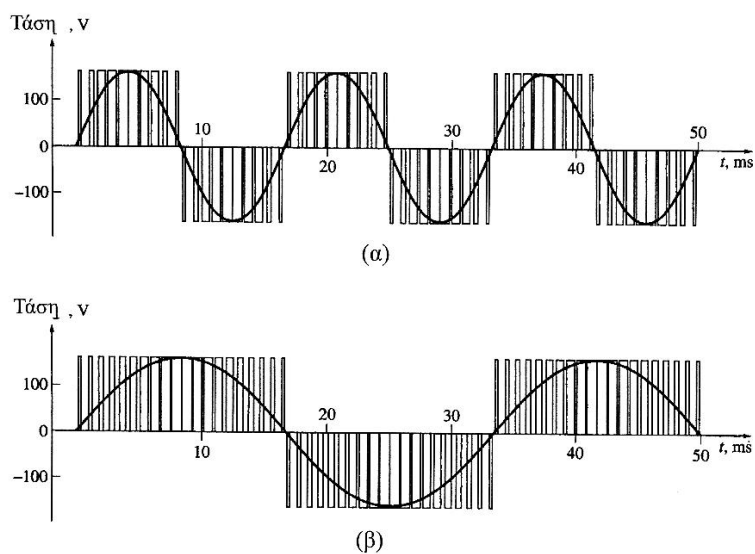
Σημαντικό επίσης είναι πως το εμβαδόν της ημιτονοειδούς ημιπεριόδου είναι το ίδιο με το άθροισμα του εμβαδού της παλμοσειράς από 0° - 180° . Επίσης, στην διαμόρφωση εύρους παλμών (pulse width modulation) τόσο η τάση όσο και η συχνότητα της εξόδου μπορούν να μεταβάλλονται ανεξάρτητα μεταξύ τους για την επίτευξη της επιθυμητής ροπής, αν πρόκειται για έλεγχο κινητήρα.

[1]



Σχήμα 2.16: Διαμόρφωση παλμών
Πηγή: Ηλεκτρικές Μηχανές S. J. Chapman

Στο σχήμα 2.13, φαίνεται το πώς, μέσα από την σύγκριση ενός ημιτονικού σήματος ($V_{in}(t)$) και σημάτων αναφοράς ($V_y(t)$) και ($V_x(t)$) προκύπτει η διαμόρφωση παλμών.

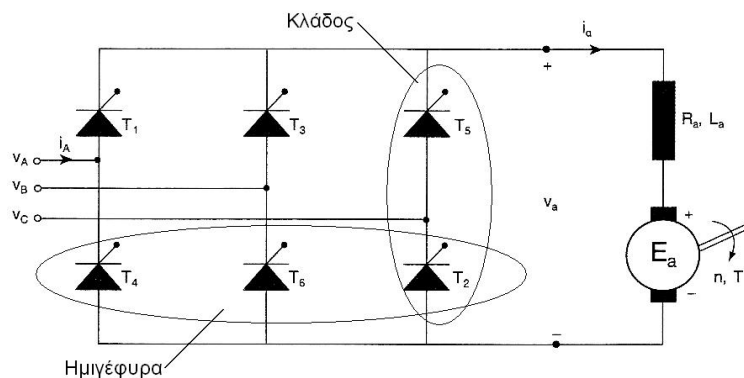


Σχήμα 2.17: (α), (β) Διαμόρφωση παλμών
Πηγή: Ηλεκτρικές Μηχανές S. J. Chapman

Στο σχήμα 2.14 δείχνεται η διαμόρφωση εύρους παλμών, σε μια φάση, με συχνότητα (α) 50Hz και (β), με συχνότητα 30Hz. Η ενεργός τιμή της τάσης (rms) που ισοδυναμεί με τους παλμούς περιγράφεται με το ημιτονικό κύμα.

2.4 Μαθηματική περιγραφή του ελέγχου κινητήρων Σ.Ρ.

2.4.1 Έλεγχος κινητήρα Σ.Ρ. μέσω πλήρως ελεγχόμενης τριφασικής γέφυρας



Σχήμα 2.18: Τριφασική πλήρως ελεγχόμενη γέφυρα
Πηγή: Ασκήσεις ηλεκτρικής κίνησης, Π. Β. Μαλατέστας

Η πλήρως ελεγχόμενη τριφασική γέφυρα είναι η διάταξη μέσω της οποίας γίνεται ο έλεγχος των στροφών του Κινητήρα Σ.Ρ. Ξένης Διέγερσης της παρούσας εργασίας. Γενικότερα, είναι η διάταξη που χρησιμοποιείται περισσότερο για τον έλεγχο κινητήρων Σ.Ρ. Υπάρχουν επίσης εφαρμογές της πλήρως ελεγχόμενης τριφασικής γέφυρας σε διατάξεις ηλεκτροσυγκόλλησης και ηλεκτρικών φούρνων για τήξη μετάλλων.

Η συνέχεια ή η ασυνέχεια της τάσης εξόδου, επομένως και του ρεύματος αν υπάρχει φορτίο, εξαρτάται από τα διαστήματα αγωγής των διακοπτικών στοιχείων.

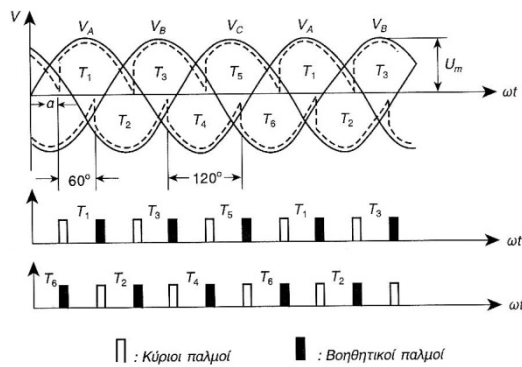
Για την ανόρθωση της τάσης, άγουν σε κάθε ημιπερίοδο δυο διακοπτικά στοιχεία διαφορετικού κλάδου και ημιγέφυρας. Οι παλμοί έναυσης δυο διαδοχικών προς έναυση θυρίστορ διαφέρουν μεταξύ τους κατά 60° . Στον πίνακα 2.1 διακρίνονται τα διαστήματα αγωγής στην τριφασική ελεγχόμενη ανόρθωση.

[8]

Πίνακας 2.1

Διαστήματα αγωγής	Θυρίστωρ σε αγωγή	Τάση εξόδου
$30+\alpha \leq \omega t \leq 90+\alpha$	T_1 και T_6	$V_a(t) = V_A(t) - V_B(t)$
$90+\alpha \leq \omega t \leq 150+\alpha$	T_1 και T_2	$V_a(t) = V_A(t) - V_C(t)$
$150+\alpha \leq \omega t \leq 210+\alpha$	T_3 και T_6	$V_a(t) = V_B(t) - V_C(t)$
$210+\alpha \leq \omega t \leq 270+\alpha$	T_3 και T_4	$V_a(t) = V_B(t) - V_A(t)$
$270+\alpha \leq \omega t \leq 330+\alpha$	T_5 και T_4	$V_a(t) = V_C(t) - V_A(t)$
$330+\alpha \leq \omega t \leq 390+\alpha$	T_5 και T_6	$V_a(t) = V_C(t) - V_B(t)$

Πηγή: Ασκήσεις ηλεκτρικής κίνησης, Π. Β. Μαλατέστας

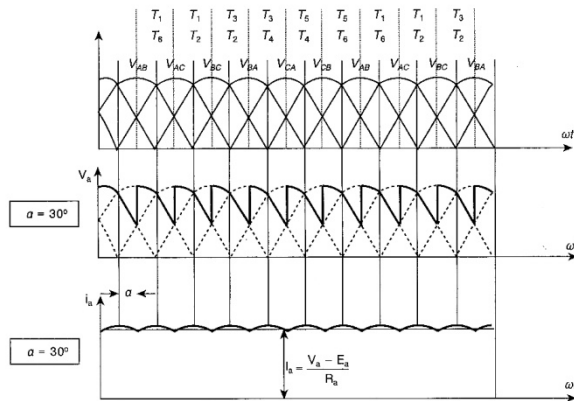


Σχήμα 2.19: Ακολουθία παλμών

Πηγή: Ασκήσεις ηλεκτρικής κίνησης, Π. Β. Μαλατέστας

2.4.2 Συνεχής αγωγή

Στην συνεχή αγωγή για γωνία έναυσης π.χ. $\alpha=30^\circ$, σχήμα 2.20, δεν παρουσιάζει διακοπές. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αντίδραση του τυλίγματος τυμπάνου λόγω αυτεπαγωγής.



Σχήμα 2.20: Συνεχής αγωγή
Πηγή: Ασκήσεις ηλεκτρικής κίνησης, Π. Β.
Μαλατέστας

Η μέση τιμή της τάσης τυμπάνου V_a , στην συνεχή αγωγή είναι:

$$\begin{aligned} V_a &= \frac{1}{T} \int_0^T V_a(t) dt = \frac{6}{2\pi} \int_{\alpha+30^\circ}^{\alpha+90^\circ} V_{AB}(\omega t) d\omega t = \frac{3}{\pi} \int_{\alpha+30^\circ}^{\alpha+90^\circ} \sqrt{3} V_m \sin(\omega t + 30^\circ) d\omega t = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \cos \alpha = \\ &= \frac{3\sqrt{2}(\sqrt{3} V_{rms})}{\pi} \cos \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

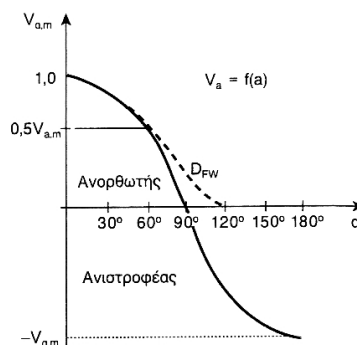
Όπου:

- $V_{L,rms}$ η ενεργός τιμή της πολικής τάσης εισόδου
- V_m η μέγιστη (στιγμιαία) τιμή της φασικής τάσης εισόδου

Η μέση τιμή του ρεύματος τυμπάνου I_a στην συνεχή αγωγή είναι:

$$I_a = \frac{V_a - E_a}{R_a} = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi R_a} \cos \alpha - \frac{E_a}{R_a} \quad (2)$$

[8]



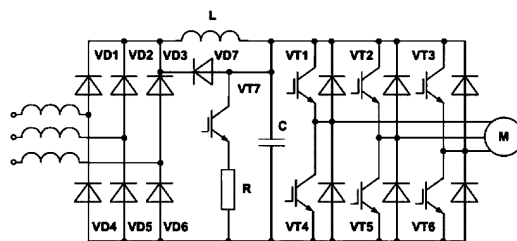
Σχήμα 2.21: Διάγραμμα λειτουργίας μετατροπέα

Πηγή: Πηγή: Ασκήσεις ηλεκτρικής κίνησης, Παντελής Β. Μαλατέστας

2.4.3 Περί του ρόλου της διόδου ελευθέρως ροής

Για τη μεταβολή της γωνίας έναυσης στο διάστημα από $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$ η τάση $V_a(t)$ του τυλίγματος τυμπάνου είναι πάντα θετική, δηλαδή ισχύει η λειτουργία ελεγχόμενου ανορθωτή. Ωστόσο, για γωνίες έναυσης από $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ η μέση τιμή της τάσης γίνεται αρνητική, οπότε, αν ταυτόχρονα αντιστραφεί και η πολικότητα της Α.Η.Ε.Δ., μέσω του ρεύματος διέγερσης, θα έχουμε λειτουργία ανιστροφέα, δηλαδή η δυναμική ενέργεια των στρεφόμενων μαζών του κινητήρα θα μετατρέπεται σε ηλεκτρική και θα προσφέρεται στο δίκτυο που προηγουμένως τροφοδοτούσε τον κινητήρα. Εάν προστεθεί μια διάδος ελευθέρως ροής στους ακροδέκτες του τυλίγματος τυμπάνου, η τάση των ακροδεκτών θα παίρνει μόνο θετικές τιμές, δηλαδή θα περιορίζεται η λειτουργία του κινητήρα και της γέφυρας στο 1^ο τεταρτημόριο.

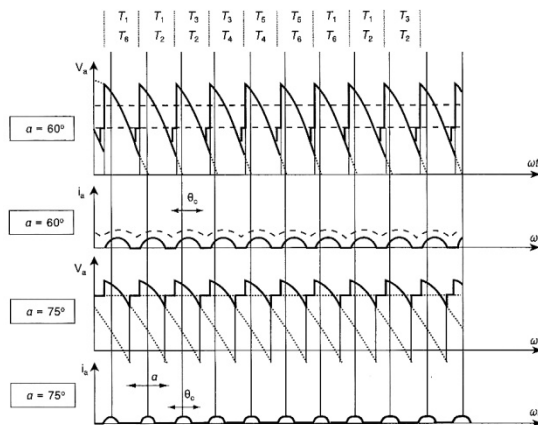
[14]



Σχήμα 2.22: Πιθανός τρόπος τοποθέτησης διόδων ελεύθερης ροής

2.4.4 Ασυνεχής αγωγή

Στην περίπτωση που η αυτεπαγωγή του τυλίγματος τυμπάνου είναι αρκετά μικρή, ή υπάρχουν μικρά φορτία σε υψηλές στροφές σε συνδυασμό με γωνία έναυσης μεγαλύτερη των 60° , η αγωγή του ρεύματος μπορεί να γίνει ασυνεχής.



Σχήμα 2.23: Ασυνεχής αγωγή
Πηγή: Ασκήσεις ηλεκτρικής κίνησης, Π. Β. Μαλατέστας

Η μέση τιμή της τάσης τυμπάνου V_a , στην ασυνεχή αγωγή είναι:

$$V_a = \frac{3}{\pi} \int_{a+30^\circ}^{a+90^\circ} V_a(\omega t) d\omega t = \frac{3}{\pi} \left[\int_{a+30^\circ}^{a+\theta_c} \sqrt{3}V_m \sin(\omega t + 30^\circ) d\omega t + \int_{a+\theta_c+30^\circ}^{a+90^\circ} E_a d\omega t \right]$$

$$V_a = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} [\cos(a + 60^\circ) - \cos(a + 60^\circ + \theta_c)] + \frac{3E_a}{\pi} (60^\circ - \theta_c) \quad (3)$$

Η μέση τιμή του ρεύματος τυμπάνου I_a είναι:

$$I_a = \frac{3}{\pi} \int_{a+90^\circ}^{a+\theta_c+30^\circ} i_a(\omega t) d\omega t \quad (4)$$

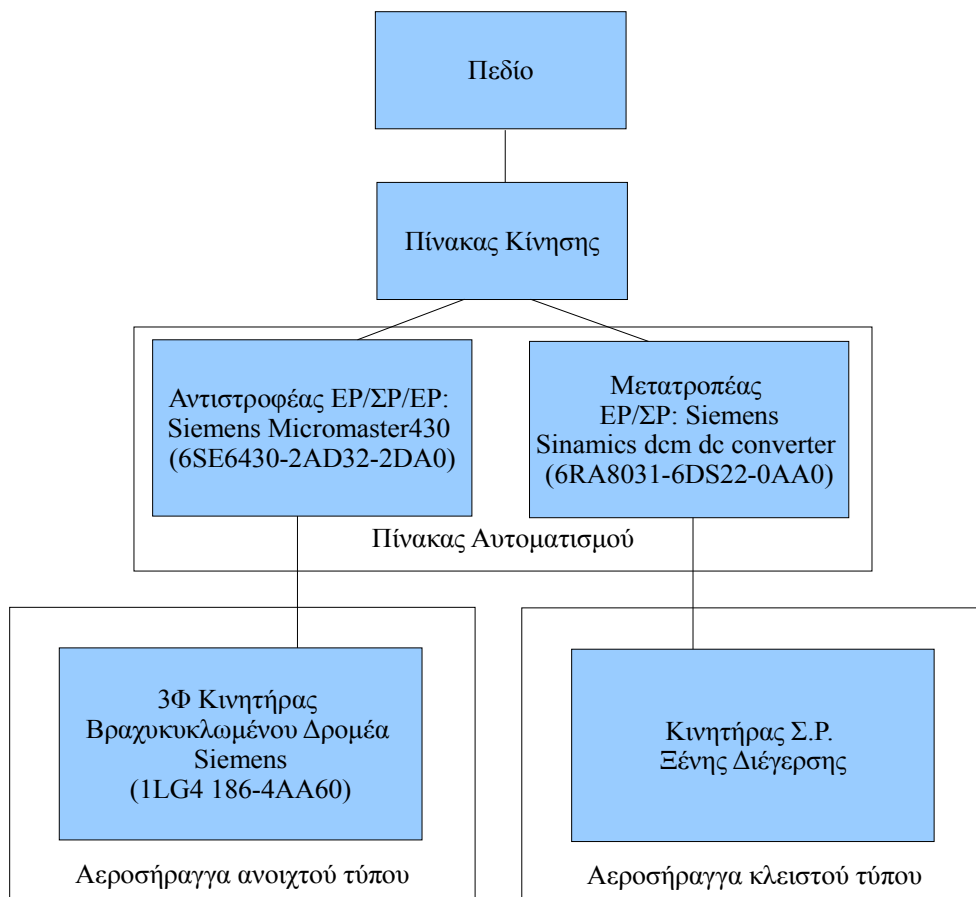
Όπου θ_c , η γωνία αγωγής που εξαρτάται από την αυτεπαγωγή του τυλίγματος τυμπάνου και από τις συνθήκες φόρτισης του κινητήρα.

[8]

3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

3.1 Δομικό διάγραμμα ηλεκτρικής εγκατάστασης

Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζεται η δομή των στοιχείων της ηλεκτρικής εγκατάστασης, όπως θα πρέπει να είναι όταν αυτή περατωθεί.



Σχήμα 3.1: Δομή εγκατάστασης αεροσηράγγων του εργαστηρίου Μετρήσεων Τεχνικών

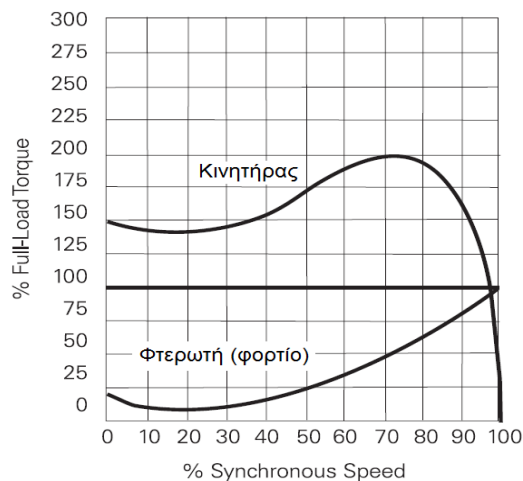
Μεγεθών

3.2 Απαιτήσεις ροπής αεροσήραγγας

Καθώς ένας κινητήρας λειτουργεί σε ταχύτητα πλήρους φόρτισης, το ποσό της παραγόμενης ροπής πρέπει πάντοτε να υπερβαίνει τις απαιτήσεις ροπής του φορτίου. Οι φτερωτές των αεροσηράγγων του εργαστηρίου παρουσιάζουν μέγιστη ζήτηση ροπής, για ταχύτητες παραγόμενου αέρα μέχρι 30m/s, περίπου 125Nm. Ωστόσο, για την εκκίνησή τους, η ζήτηση ροπής είναι μόλις το 20% της ζήτησης στο πλήρες φορτίο. Στο σχήμα 3.2 φαίνεται πως μεταβάλλεται η καμπύλη ζήτησης ροπής για το συγκεκριμένο είδος φορτίου σε σχέση με τις στροφές. Η ζήτηση ροπής μειώνεται ελαφρά κατά την εκκίνηση και στη συνέχεια αυξάνεται παραβολικά, όσο οι στροφές πλησιάζουν την σύγχρονη ταχύτητα. Η συμπεριφορά αυτή του φορτίου το κατατάσσει στα μη γραμμικά φορτία. Αντίστοιχα, η παραγωγή ροπής από τους κινητήρες του εργαστηρίου, υπερκαλύπτει την ζήτηση που προαναφέρθηκε, φυσικά μέσα στα όρια στροφών των κινητήρων.

Ενδεικτικά, για το πώς κλιμακώνεται η ζήτηση ισχύος, όπως αναφέρεται και στο κεφ. 1.3.5, όταν πρόκειται για υπερηχητική σήραγγα που χρειάζεται να επιτευχθεί ταχύτητα $Ma \approx 3$, απαιτείται ισχύς κινητήρα 25 HP για κάθε τετραγωνικό εκατοστό διατομής Τμήματος δοκιμής.

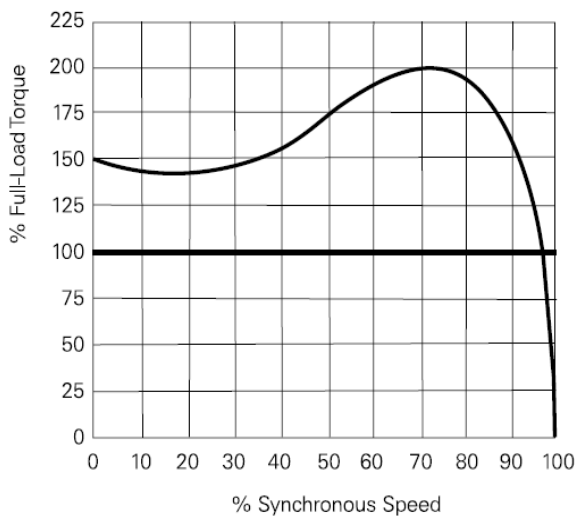
[11]



3.3 Υλικό ηλεκτρικής κίνησης

3.3.1 Η επιλογή του ηλεκτρικού κινητήρα E.P. βραχυκυκλωμένου δρομέα

Ο κινητήρας που θα εγκατασταθεί στην **ανοιχτού τύπου** αεροσήραγγα είναι ο τριφασικός Siemens 1LG4186-4AA60. Τα κριτήρια επιλογής του κινητήρα είναι η αυξημένη ροπή στις υψηλές στροφές (χαρακτηριστικό των επαγωγικών κινητήρων γενικής χρήσης), σύμφωνα με τις απαιτήσεις ροπής της αεροσήραγγας που περιγράφονται στο 3.2, καθώς επίσης η μηχανική του αντοχή αλλά και η αντοχή σε μεγάλες θερμοκρασίες λειτουργίας. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου τύπου κινητήρα είναι πως χρειάζεται ελάχιστη συντήρηση, καθώς δεν περιέχει ψήκτρες ούτε εκτεθειμένα κινούμενα ηλεκτρικά μέρη, αν εξαιρεθεί ο συμπαγής αλλά προστατευμένος κατά τα άλλα κλωβός του δρομέα. Σαν μειονέκτημα, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η “τυπική αποδοτικότητα” (standard efficiency) που αντιστοιχεί πρακτικά σε χαμηλή κλάση απόδοσης (IE1 κατά IEC 60034). Ως αντιστάθμισμα όμως, θα μπορούσε να θεωρηθεί η εξαιρετικά μεγάλη αντοχή και η συνεπαγόμενη αξιοπιστία. Στην περίπτωση της επιλογής βαθμού αποδοτικότητας κινητήρων, σημαντικό ρόλο παίζει το κόστος, αφού ένας αποδοτικότερος κινητήρας (τύπου IE3) αλλά εξίσου αξιόπιστος (με τον IE1) είναι δυνατόν να κοστίζει μέχρι και τρεις φορές περισσότερο.



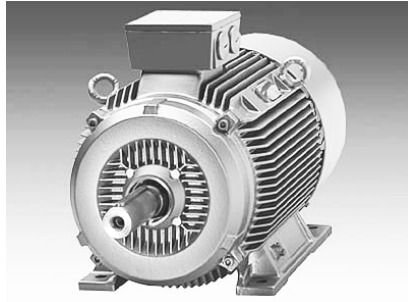
Σχήμα 3.3: Χαρακτηριστική ταχύτητας – ροπής της IE1 κλάσης κινητήρων
Πηγή: Siemens Technical Education Program

3.3.1.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά επαγωγικού κινητήρα

Πίνακας 3.1

Τύπος: 1LG4186-4AA60, Κατασκευαστής: Siemens		
Product specifications	Ιδιότητες προϊόντος	
Power (kW)	Ισχύς (kW)	22
Speed (rpm)	Ταχύτητα (σ.α.λ.)	1 465
Efficiency	Αποδοτικότητα	EFF2
Number of poles (pole)	Αριθμός πόλων	4
Motor housing	Πλαισίωση κινητήρα	cast iron / χυτοσίδηρος
Protection	Προστασία	IP55
Motor frame size	Μέγεθος πλαισίου κινητήρα	180L
Insulation class	Κλάση μόνωσης	F
Rated voltage (V)	Ονομαστική τάση (V)	400/690V Δ/Y 50Hz, 460V Δ 60Hz
Rated input current (A)	Ονομαστικό ρεύμα (A)	41,5/24,06
Output torque (Nm)	Ροπή στον άξονα (Nm)	143
Weight (kg)	Βάρος (kg)	155
Motor load	Φορτίο κινητήρα	S1
Bearings DE/NDE	Ενσφαιροι τριβείς	6210 Z C3 / 6210 Z C3

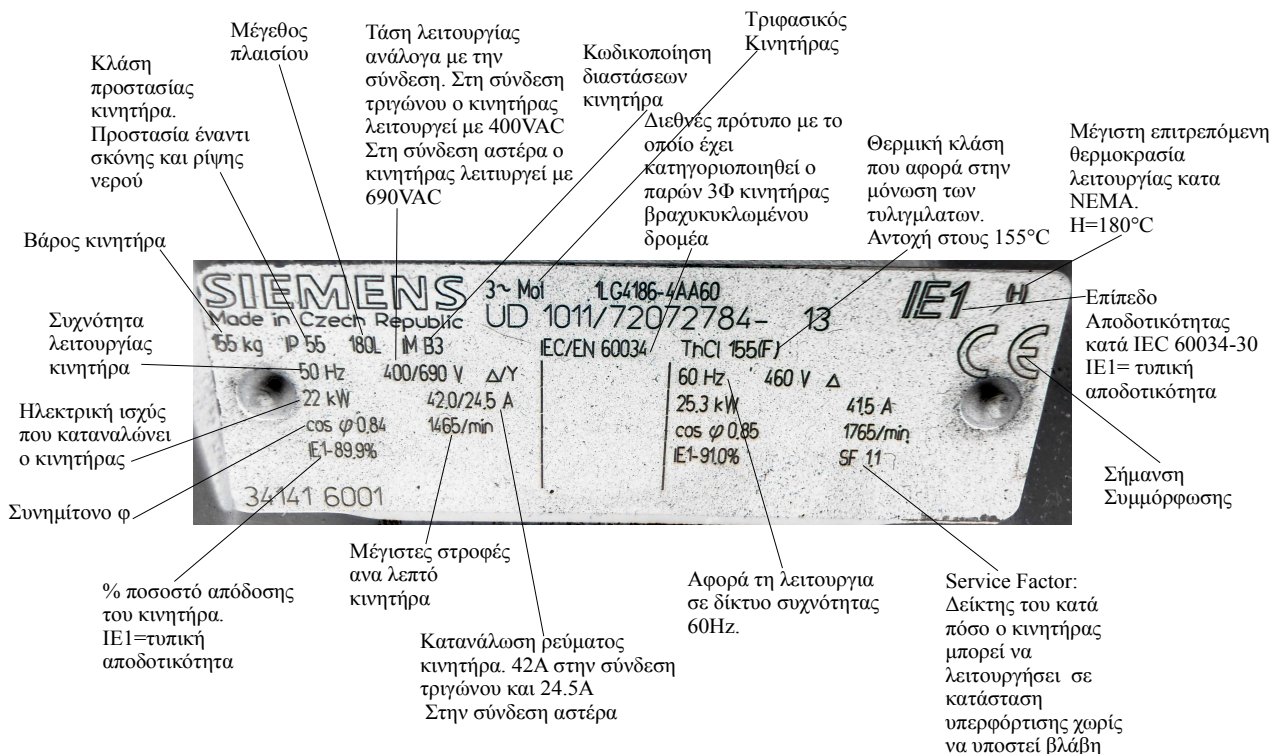
Πηγή: <http://electromotory.cz/goods/index/id/100>



Εικόνα 3.2: Όψη κινητήρα εργαστηρίου

3.3.1.2 Κατανόηση στοιχείων πινακίδας κινητήρα

Για την σωστή σύνδεση και τον χειρισμό του κινητήρα, είναι απαραίτητη η γνώση και η ερμηνεία των στοιχείων που αναγράφονται στην πινακίδα του. Στην εικόνα () υπάρχει η εξήγηση των στοιχείων που αναγράφονται στην πινακίδα.



Εικόνα 3.3: Φωτογραφία από την πινακίδα του κινητήρα Ε.Ρ. του εργαστηρίου Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών

3.3.1.3 Επεξήγηση εννοιών

Σήμανση συμμόρφωσης CE

Η σήμανση «CE» επιβεβαιώνει τη συμμόρφωση ενός προϊόντος προς τις Ευρωπαϊκές Κοινοτικές απαιτήσεις που βαρύνουν τον κατασκευαστή του προϊόντος αυτού. Υποδεικνύει ότι το προϊόν είναι σύμφωνο προς όλες τις κοινοτικές διατάξεις που προβλέπουν την εναπόθεσή του.

Τα κράτη μέλη δεν δύνανται να περιορίσουν τη διάθεση στην αγορά και τη θέση σε λειτουργία προϊόντων που φέρουν το σήμα «CE», εκτός αν υπάρχουν αποδείξεις περί μη συμμόρφωσης του προϊόντος. Η σήμανση θα πρέπει να τοποθετείται πριν τη διάθεση ενός προϊόντος στην ευρωπαϊκή αγορά και τη θέση του σε λειτουργία.

[19]

Service Factor

Ο παράγοντας λειτουργίας (service factor – SF) είναι ένα μέγεθος που υποδεικνύει την περιοδική υπέρβαση φόρτισης κατά τη λειτουργία κινητήρων, δίχως αυτοί να υφίστανται καταστροφή. Ο κατά NEMA τυπικός παράγοντας λειτουργίας για ερμητικά κλειστούς κινητήρες είναι 1.0. Εάν ένας κινητήρας λειτουργεί μόνιμα με παράγοντα λειτουργίας μεγαλύτερο της μονάδας θα έχει μικρότερο προσδόκιμο χρόνου ζωής.

Για παράδειγμα ένας κινητήρας 1 HP με παράγοντα λειτουργίας $SF = 1.15$ μπορεί να λειτουργήσει περιοδικά με ισχύ υπερφόρτισης $1 \text{ HP} \times 1.15 = 1.15 \text{ HP}$ χωρίς να καταστραφούν τα τυλίγματα και οι τριβείς του.

[4]

IEC 60034: Είναι ένα διεθνές πρότυπο της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (International Electrotechnical Commission) για τις περιστρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές.

[18]

NEMA (National Electrical Manufacturers Association – NEMA)

(Αμερικάνικη) Εθνική Ένωση Κατασκευαστών Ηλεκτρικών Μηχανημάτων

[20]

IE1

Ο νέος κανονισμός IEC 60034-30:2008, ορίζει τα ακόλουθα επίπεδα αποδοτικότητας των τριφασικών κινητήρων χαμηλής τάσης, ισχύος 0.75 από έως 375 kW.

IE1 = Τυπική αποδοτικότητα

IE2 = Υψηλή αποδοτικότητα

IE3 = Άριστη αποδοτικότητα

[12]

3.3.1.4 Ηλεκτρικοί έλεγχοι

Στον πίνακα 3.2 εμφανίζεται η αντίσταση μόνωσης που θα πρέπει να έχουν τα τυλίγματα του κινητήρα σε δυο καταστάσεις.

Πίνακας 3.2

	Ονομαστική τάση δοκιμής $U_{rated} < 2kV$
Τάση μέτρησης στο κύκλωμα	500 V
Ελάχιστη αντίσταση μόνωσης για καινούργια τυλίγματα ή επισκευασμένα	10MΩ
Ελάχιστη απαιτούμενη ειδική αντίσταση μόνωσης μετά από μακρά περίοδο λειτουργίας	0.5 MΩ/kV

Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, 5610000002001 EN, 01/2010

3.3.1.5 Μηχανική συντήρηση κινητήρα

- Αναλίπανση: Κατά βούληση, αν διαπιστωθεί αλλοίωση του γράσου στα ρουλεμάν ή αν έχουν περάσει 12 μήνες χωρίς λειτουργία.
- Καθαρισμός των αυλών διέλευσης αέρα ψύξης: Κατά βούληση, αν διαπιστωθεί πως έχουν φράξει.
- Χρόνος ζωής ρουλεμάν: 20000 ώρες λειτουργίας για την περίπτωση που ασκούνται κυρίως ακτινικές δυνάμεις στον άξονα του κινητήρα.

Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, 5610000002001 EN, 01/2010

3.3.2 Ο Ηλεκτρικός κινητήρας Σ.Ρ. ξένης διέγερσης

3.3.2.1 Περιγραφή του κινητήρα του εργαστηρίου

Ο Ηλεκτρικός κινητήρας Σ.Ρ. ξένης διέγερσης βρίσκεται ενσωματωμένος στο εσωτερικό της αεροσήραγγας κλειστού τύπου και λόγω της παλαιότητάς του δεν ήταν εύκολο να βρεθούν τα χαρακτηριστικά του καθώς δεν έφερε πινακίδα στοιχείων.



Εικόνα 3.2 Φωτογραφία από το εσωτερικό της αεροσήραγγας κλειστού τύπου.

Τα χαρακτηριστικά του κινητήρα Σ.Ρ. ξένης διέγερσης εντοπίστηκαν έμμεσα από τα δεδομένα του παλαιού ελεγκτή στροφών, πίνακας 3.3, και επιβεβαιώθηκαν κατά την μόνιμη κατάσταση λειτουργίας από την πληροφόρηση που παρείχε στον χρήστη, μέσω της διεπιφάνειας της οθόνης του υπολογιστή, το κινητήριο σύστημα Sinames Dcm Dc Converter.

Technical Description		Lenze				
Simplatron Controllers Type 481-485						
The Simplatron Controller range 480 comprises five models with output powers of between 10 kW and 88 kW with fully controlled six pulse bridges. They are very compact.						
1. Special Features						
<ul style="list-style-type: none"> - Compact design with potential free heat-sink - Excellent control response through six pulse, 3-phase bridges and well adapted low current control - Galvanic separation through current transformers - Operation with tachometer feedback or armature voltage feedback with I x R compensation - Self synchronization of the input circuitry for 50 and 60 HZ mains - Automatic input phase sequencer - High interference margin through synchronizing filter - Pulse series firing of the thyristors - Built in static and dynamic voltage surveillance, for high operation and safety - Display of the operational states with LEDs - Set value integrator subprint 2003 or winderboard 1071 options 						
2. Technical Data						
Model		481	482	483	484	485
Output Power	P _{el} (kW)	10	22	44	88	110
Mains Voltage	U _{3 LN}	340 ÷ 460 V, 50 ÷ 60 Hz				
Field Voltage	U _F	0,9 x U _{L1,L2 (N)}				
Max. Field Current	I _F (A)		8			10
Armature Voltage	U _A (V)		440			
Armature Current	I _A (A)	23	50	100	200	250
Nominal Master Voltage	U _{LN} (V)	10 ÷ 180				
Nominal Tacho Voltage	U _{TN} (V)	10 ÷ 180				
Field Fuse	F 101	1 x FF 16 A / 500 V (6,3x32)				305 725
Control Fuse	F 102 F 103 F 104	3 x F 1 A / 450 V (5x25)				307 290
Ambient Temperature Range	T _u (°C)	0 ÷ 45				
Set Value Potentiometer	R ₁	10 kOhm / W / Lin.				
Weight	(kg)	4,5	5,5	8,5	10,5	13
Control Board 4081	Art.-No.	321 458				
Chassis Unit E	Art.-No.	321454	321455	321456	321457	321659
Options (to be ordered separately)						
Mains Fuses F ₁ , F ₂ , F ₃		3x FF25A 14x51	3x FF50A 22x57	3x FF100A 00.80	3x FF200A 00.80	3x FF315A 00.80
Art.-No.		307959	307173	307246	321542	321691
Fuse Holder		3x 308290	3x 308291	3x 321543	3x 321543	3x 321543
Art.-No.						
Mains Choke		3x 880µH	3x 750µH	3x 380µH	3x 165µH	3x 115µH
Art.-No.		307342	307343	307345	308234	308382
The fitting of the mains choke is not a controller requirement but is imperative in some areas through CEEB rules.						
Bearb. DRAWN	EK25/Sq	22.2.82	Lenze GmbH & Co KG Aerzen, 3250 Hameln		Zeichnungs-Nr.	Drawing-No
Geprüft: checked:					MB 33.0668/1b	GB

All rights reserved.
Es diese Technische Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor.

23.08.1993

Änderungen:
modifications:

Πίνακας 3.3: Τεχνική περιγραφή του παλαιού ελεγκτή στροφών
Πηγή: Αρχείο Εργαστηρίου Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών

3.3.2.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά – πινακίδα κινητήρα

Στον πίνακα 3.3 διακρίνονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά από την τεχνική περιγραφή του παλαιού ελεγκτή στροφών (Simplatron Controller, range 482, της Lenze GmbH).

Με δεδομένες τις τιμές αυτές, δημιουργήθηκε εκ νέου η πινακίδα του κινητήρα, πίνακας 3.4 και δομήθηκε ο προγραμματισμός του μετατροπέα DCM DC Converter της Siemens.

Πίνακας 3.4

ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ Σ.Ρ. ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ/SEPARATELY EXCITED DC MOTOR					
Τύμπανο / Armature		Διέγερση / Field Supply		Ηλεκτρική ισχύς / Output Power	Εύρος στροφών / Speed
U _A (V)	I _A (A)	U _F (V)	I _F (A)	kW	rpm
440	5-55	0,9xU _{LI,L3} (N) =360VDC	max 8 min 2.4	2.76 - 27	30~3000

3.3.2.3 Στοιχεία συντήρησης κινητήρα

Δεδομένης της έλλειψης στοιχείων του κινητήρα λόγω παλαιότητάς του, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ένας έλεγχος όπως επιβάλλεται από τους κανονισμούς. Κατά NEMA ισχύουν για την κλάση του κινητήρα Σ.Ρ. του εργαστηρίου τα εξής:

[10],[21]

- Ψήκτρες

Περιοδικά οι ψήκτρες πρέπει να επιθεωρούνται και η σκόνη που έχει παραχθεί από την λειτουργία τους πρέπει να απομακρύνεται. Εάν οι ψήκτρες έχουν φθαρεί κατά το ήμισυ του αρχικού τους μήκους, χρήζουν αντικατάστασης. Η επιφάνεια του συλλέκτη αντίστοιχα, θα πρέπει να λειανθεί σε τόρνο και η μόνωση μίκας ανάμεσα στα χάλκινα τμήματα του συλλέκτη θα πρέπει να κοπεί.

[10]

- Αναλίπανση:

Στον πίνακα 3.5, υπάρχουν τα διαστήματα αναλίπανσης, για Σ.Ρ. κινητήρες της κλάσης του εργαστηρίου, με ονομαστικές στροφές ανά λεπτό, από 900 μέχρι 3600. Ο Σ.Ρ. κινητήρας του εργαστηρίου ανήκει στην κατηγορία των 3600 ΣΑΛ και θα πρέπει να λιπαίνεται κάθε 3600 ώρες λειτουργίας

[10]

Πίνακας 3.5

Πίνακας στοιχείων αναλίπανσης				
NEMA (IEC) Frame Size	Rated Speed (RPM) Τυπική ταχύτητα Σ.Α.Λ.			
	3600	1800	1200	900
Over 210 to 280 incl. (180)	3600Hrs	9500Hrs	15000Hrs	18000Hrs

Πηγή: AC & DC Motor Installation & Maintenance NEMA (IEC)

- Αντίσταση μόνωσης

Η κατά προσέγγιση αντίσταση μόνωσης που είναι αναμενόμενη για έναν καθαρό και χωρίς υγρασία κινητήρα σε 40°C, όταν η τάση δοκιμής εφαρμόζεται για ένα λεπτό, μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$R_m = U_n + 1$$

όπου:

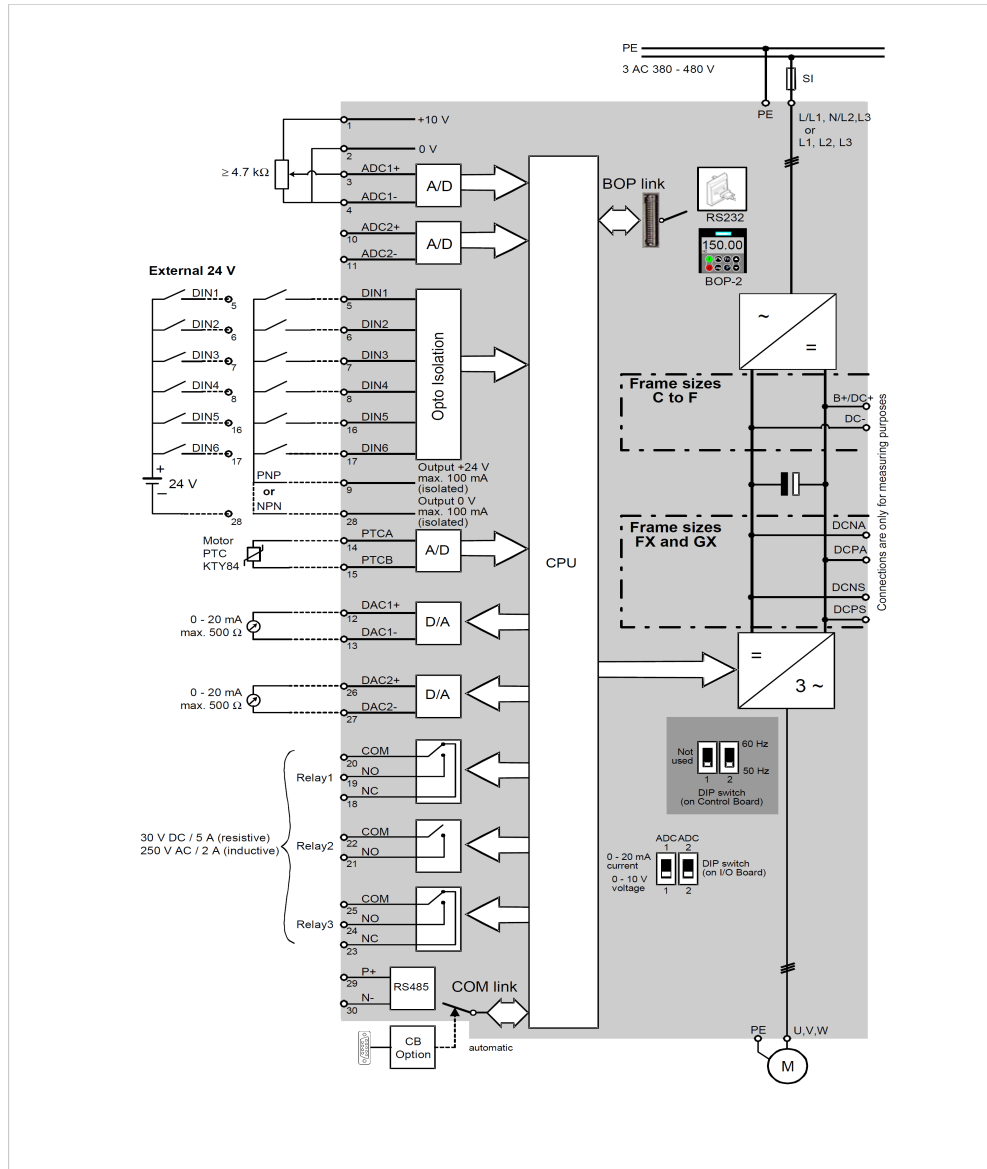
R_m , η ελάχιστη αντίσταση μόνωσης των τυλιγμάτων σε ΜΩ, για θερμοκρασία 40°C και U_n , η ονομαστική τάση του κινητήρα σε kV.

[5]

3.4 Υλικό ελέγχου των κινητήρων

3.4.1 Ο αντιστροφέας Micromaster 430 για τον έλεγχο του κινητήρα E.P.

Ο αντιστροφέας Micromaster 430 είναι ένας μετατροπέας συχνότητας E.P./Σ.Ρ./E.P. Όπως δείχτηκε και στην θεωρητική ανασκόπηση, οι στροφές ανά λεπτό του κινητήρα είναι ανάλογες της συχνότητας και αντιστρόφως ανάλογες του αριθμού πόλων του κινητήρα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, αλλά και γενικότερα στην σύγχρονη ηλεκτρική κίνηση, ο έλεγχος των στροφών του κινητήρα πραγματοποιείται μέσω της μεταβολής της συχνότητας με σταθερό λόγο V/f.



Σχήμα 3.4: Μπλοκ διάγραμμα Micromaster 430
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, 6SE6400-5AE00-0BP0

3.4.1.1 Το μπλοκ διάγραμμα του MICROMASTER 430

Η αρχιτεκτονική του μετατροπέα συχνότητας, σχήμα 3.4, δανείζεται την δομή του κλασσικού αυτοματισμού, δηλαδή το κύκλωμα ισχύος είναι διαχωρισμένο από το κύκλωμα ελέγχου. Η Κεντρική Μονάδα Επεξεργαστή που αποτελεί το κύκλωμα ελέγχου και είναι απομονωμένη από το υπόλοιπο κύκλωμα με οπτική σύζευξη, επικοινωνεί με το περιφερειακό περιβάλλον μέσω των τερματικών εισόδων και εξόδων που αναφέρονται στο κεφάλαιο 3.6.1.3. Η ίδια μονάδα παράγει την κατάλληλη παλμοδότηση στα διακοπτικά στοιχεία (θυρίστορ) που ανήκουν στο κύκλωμα ισχύος σύμφωνα με τις απαιτήσεις του σχεδίου της ηλεκτρικής κίνησης. Ως προς το κύκλωμα ισχύος, διακρίνεται ο μετατροπέας EP/ΣΡ που τροφοδοτείται από το δίκτυο της ΔΕΗ, και επίσης ο αντιστροφέας ΣΡ/ΕΡ που τροφοδοτεί τον επαγωγικό κινητήρα.

3.4.1.2 Τεχνικά μεγέθη του αντιστροφέα Micromaster 430

Στον πίνακα 3.6 παρουσιάζονται τα τεχνικά και ηλεκτρικά μεγέθη του αντιστροφέα αλλά και επιπλέον πληροφορίες και στοιχεία που αφορούν την εγκατάσταση, όπως βάρος, ροπή σύσφιξης ακροδεκτών και απαίτηση για αέρα ψύξης.

Πίνακας 3.6

Τεχνικά χαρακτηριστικά, Τάση εισόδου 3-Φ 380 V – 480 V, ± 10 %			
Order No.	Αριθμός Παραγγελίας	6SE6430 - 2AD32-2DA0	
Frame Size	Μέγεθος πλαισίου	D	
Output Rating (VT)	Κλάση Ισχύος	[kW] [hp]	22,0 30,0
Output Power	Ισχύς Εξόδου	[kVA]	29,0
VT-Input Current I)	Ρεύμα Εισόδου	[A]	43,0
VT-Output Current max.	Μέγιστο ρεύμα Εξόδου	[A]	45,0
Fuse	Ασφάλεια (αγωγών)	[A]	50
Input Cable, min.	Ελάχιστη διατομή αγωγού εισόδου	[mm ²]	10,0 8
Input Cable, max.	Μέγιστη διατομή αγωγού εισόδου	[mm ²]	35,0 2
Output Cable, min.	Ελάχιστη διατομή αγωγού εξόδου	[mm ²]	10,0 8
Output Cable, max.	Μέγιστη διατομή αγωγού εξόδου	[mm ²]	35,0 2
Tightening torques for power terminals	Ροπή σύσφιξης τερματικών ακροδεκτών	[Nm] [lbf.in]	10, 89
Required cooling air flow	Απαιτούμενη ροή αέρα ψύξης	[l/s]	2 x 54,9
Weight	Βάρος	[kg] [lbs]	16,0 35,0

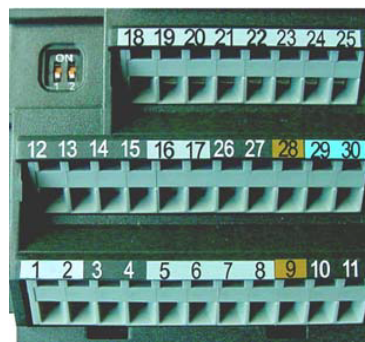
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, 6SE6400-5AE00-0BP0

3.4.1.3 Τερματικές επαφές ελέγχου του αντιστροφέα Micromaster 430

Ο αντιστροφέας Siemens προσφέρει ένα πλήθος τερματικών επαφών, που αποτελούν τις εισόδους και εξόδους αναλογικών και ψηφιακών πληροφοριών, βάσει των οποίων μπορεί να υπάρξει ανατροφοδότηση για την κατάσταση του κινητήρα που αποσκοπεί στον έλεγχό του. Στον πίνακα 3.7, περιγράφονται οι λειτουργίες των τερματικών επαφών.

Πίνακας 3.7

Τερματική επαφή	Λειτουργία
1	Έξοδος +10 V
2	Έξοδος 0 V
3	Αναλογική είσοδος 1 (+)
4	Αναλογική είσοδος 1 (-)
5	Ψηφιακή είσοδος 1
6	Ψηφιακή είσοδος 2
7	Ψηφιακή είσοδος 3
8	Ψηφιακή είσοδος 4
9	Απομονωμένη έξοδος +24 V / max. 100 mA
10	Αναλογική είσοδος 2 (+)
11	Αναλογική είσοδος 2 (-)
12	Αναλογική έξοδος 1 (+)
13	Αναλογική έξοδος 1 (-)
14	Σύνδεση για PTC / KTY84
15	Σύνδεση για PTC / KTY84
16	Ψηφιακή είσοδος 5
17	Ψηφιακή είσοδος 6
18	Ψηφιακή έξοδος 1 / NC contact
19	Ψηφιακή έξοδος 1 / NO contact
20	Ψηφιακή έξοδος 1 / Changeover contact
21	Ψηφιακή έξοδος 2 / NO contact
22	Ψηφιακή έξοδος 2 / Changeover contact
23	Ψηφιακή έξοδος 3 / NC contact
24	Ψηφιακή έξοδος 3 / NO contact
25	Ψηφιακή έξοδος 3 / Changeover contact
26	Αναλογική έξοδος 2 (+)
27	Αναλογική έξοδος 2 (-)
28	Απομονωμένη έξοδος 0 V / max. 100 mA
29	Θύρα RS485
30	Θύρα RS485



Εικόνα 3.1: Τερματικές επαφές ελέγχου αντιστροφέα

Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, 6SE6400-5AE00-0BP0

3.4.1.4 Παράδειγμα εφαρμογής με χρήση των τερματικών επαφών

Πίνακας 3.8

Είσοδος/Εξοδος	Τερματικές επαφές	Παράμετροι	Λειτουργία
Ψηφιακή είσοδος 1	5	P0701 = 1	ON / OFF1 (I/O)
Ψηφιακή είσοδος 2	6	P0702 = 12	Αλλαγή φοράς περιστροφής
Ψηφιακή είσοδος 3	7	P0703 = 9	Αναγνώριση σφάλματος (Ack)
Ψηφιακή είσοδος 4	8	P0704 = 15	Αναγνώριση σφάλματος
Ψηφιακή είσοδος 5	16	P0705 = 15	Σταθερό σημείο ρύθμισης (direct)
Ψηφιακή είσοδος 6	17	P0706 = 15	Σταθερό σημείο ρύθμισης (direct)
Ψηφιακή είσοδος 7	Via ADC1	P0707 = 0	Σταθερό σημείο ρύθμισης (direct)
Ψηφιακή είσοδος 8	Via ADC2	P0708 = 0	Ψηφιακή είσοδος απενεργοποιημένη
Περαιτέρω εργοστασιακή ρύθμιση			
Όριο ρεύματος κινητήρα, P0640 = 110 %			
Ελάχιστη συχνότητα, P1080 = 0 Hz			
Μέγιστη συχνότητα P1082 = 50 Hz			
Ράμπα χρόνου επιτάχυνσης, P1120 = 10 s			
Ράμπα χρόνου επιβράδυνσης, P1121 = 10 s			
Ψύξη κινητήρα, P0335 = 0			

Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, 6SE6400-5AE00-0BP0

Ο μετατροπέας συχνότητας MICROMASTER 430 έχει προρυθμιστεί εργοστασιακά έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργήσει χωρίς καμία επιπρόσθετη παραμετροποίηση για τετραπολικούς κινητήρες τύπου 1LA7 (κατασκευής Siemens). Στον πίνακα 3.8 δείχνεται ένα παράδειγμα σύνδεσης διακοπών και μεταβλητών αντιστάσεων για τον έλεγχο των στροφών και της φοράς περιστροφής. Στην παρούσα εργασία, επειδή πρόκειται να οδηγηθεί διαφορετικού τύπου κινητήρας, θα εκτελεστεί η διαδικασία παραμετροποίησης.

[9]

3.4.2 Ο μετατροπέας Sinamics dcm dc converter για τον έλεγχο του Σ.Ρ. κινητήρα

Ο μετατροπέας Sinamics dcm, στον βασικό του πυρήνα, δεν είναι τίποτε άλλο παρά μια τριφασική πλήρως ελεγχόμενη γέφυρα με θυρίστορ, δηλαδή ένας μετατροπέας ΕΡ/ΣΡ. Επιπλέον διαθέτει και μια μικρότερη από άποψη ισχύος, διφασική ημιελεγχόμενη διάταξη, για την ρύθμιση της ισχύος στο τύλιγμα διέγερσης. Στον πίνακα 3.9 παρουσιάζονται τα τεχνικά μεγέθη του μετατροπέα.

Πίνακας 3.9

Ονομαστική τάση παροχής τυλίγματος τυμπάνου	V	3-Φ. 400 V AC (+15% / -20%)
Ονομαστική τάση παροχής ηλεκτρονικών στοιχείων	V	2-Φ. 380 (- 25 %) to 480 V AC (+10 %); In = 1 A ή 1-Φ. 190 (- 25 %) to 240 V AC (+10 %); In = 2 A (- 35 % for 1 min.)
Ονομαστική DC τάση εξόδου	V	485
Ονομαστική συχνότητα	Hz	45 to 65 10)
Δυνατότητα υπερφόρτισης		Max. 1.8 επι του ονομαστικού Σ.Ρ.
Βαθμός προστασίας		IP00 κατά DIN EN 60529
Κλάση προστασίας		Class I (με αγωγό γείωσης προστασίας) και class III (PELV) κατά EN 61800-5-1
Ονομαστικό Σ.Ρ.	A	125
Ονομαστικό ρεύμα εισόδου τυλίγματος τυμπάνου	A	104
Ονομαστική ισχύς	kW	60.6
Απώλεια ισχύος στο ονομαστικό Σ.Ρ.	W	409
Ονομαστική τάση παροχής τυλίγματος διέγερσης	V	2-Φ. 400 V AC (+15 % / - 20 %)
Ονομαστική DC τάση τροφοδοσίας τυλίγματος διέγερσης	V	325
Ονομαστικό ρεύμα τυλίγματος διέγερσης	A	10
Τύπος ψύξης		Αερόψυξη με φυσική κυκλοφορία
Διαστάσεις (ΥxΠxB)	mm	385x268x252
Βάρος (κατά προσέγγιση)	kg	14
SINAMICS DCM DC Converters Operating Instructions, 10.2011, C98130-A7066-A1-04-7619)		

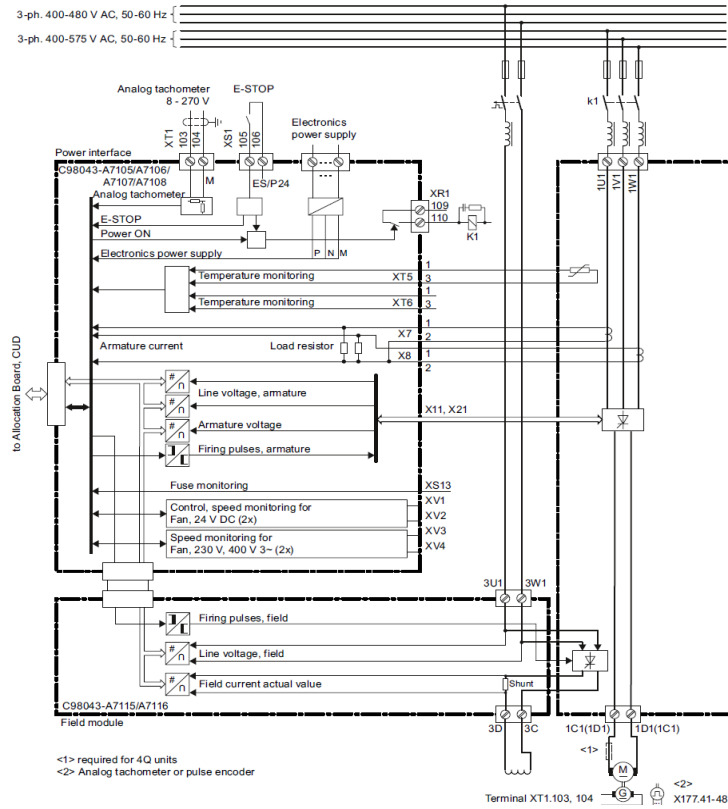
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, SINAMICS DCM DC Converters Operating Instructions, 10.2011, C98130-A7066-A1-04-7619

3.4.2.1 Ηλεκτρικό διάγραμμα Sinamics Dcm Dc Converter

Στο ηλεκτρικό διάγραμμα, σχήμα 3.5, διακρίνεται η συνολική λειτουργική δομή του μετατροπέα. Στο δεξί μέρος βρίσκεται το κύκλωμα ισχύος που περιλαμβάνει τον μετατροπέα, συμβολισμένο με ένα διακοπτικό στοιχείο (θυρίστορ). Στο αριστερό μέρος βρίσκεται το

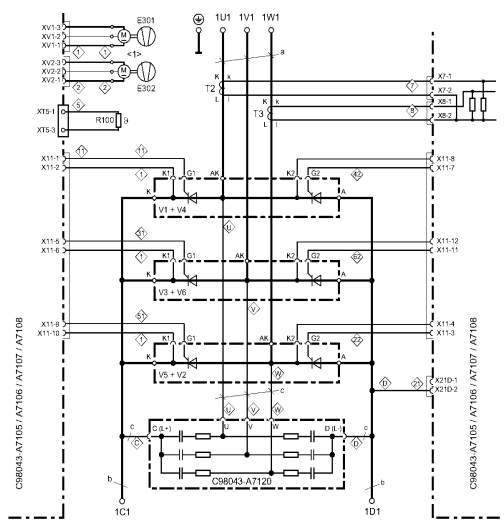
κύκλωμα ελέγχου με την μονάδα επεξεργαστή, τις εισόδους, τις εξόδους και την εξωτερική τροφοδοσία. Όπως και στον αντιστροφέα Micromaster 430, το κύκλωμα ελέγχου είναι απομονωμένο γαλβανικά από το δίκτυο της ΔΕΗ και η επικοινωνία εισόδων – εξόδων γίνεται μέσω οπτικής σύζευξης. Ενδεικτικά, ξεχωρίζει η έξοδος που παρέχει την παλμοδότηση στα διακοπτικά στοιχεία για τον έλεγχο του τυμπάνου (firing pulses, armature). Αντίστοιχα, στο κάτω μέρος του διαγράμματος διακρίνεται η έξοδος για την παλμοδότηση στα διακοπτικά στοιχεία του τυλίγματος διέγερσης (firing pulses, field). Μια είσοδος που ξεχωρίζει, είναι η είσοδος αναλογικού ταχομέτρου (analog tachometer). Με βάση την πληροφορία των στροφών του κινητήρα μέσω encoder ή αναλογικού στοιχείου, υπάρχει η δυνατότητα για έλεγχο στροφών κλειστού βρόχου. Στην περίπτωση της παρούσας εφαρμογής, ο έλεγχος των στροφών του κινητήρα πραγματοποιείται έμμεσα μέσω EMF (electromagnetic force) control, δηλαδή μέσω της έντασης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από το ρεύμα τυμπάνου στους αγωγούς που το τροφοδοτούν.

[13]



Σχήμα 3.5: Ηλεκτρικό διάγραμμα μετατροπέα
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, SINAMICS DCM DC Converters
Operating Instructions,
10.2011, C98130-A7066-A1-04-7619

3.4.2.1.1 Το κύκλωμα τριφασικής ανόρθωσης του μετατροπέα Sinamics Dcm Dc Converter



Σχήμα 3.6: Ηλεκτρικό διάγραμμα θυρίστορ
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, C98130-A7066-
A1-04-7619

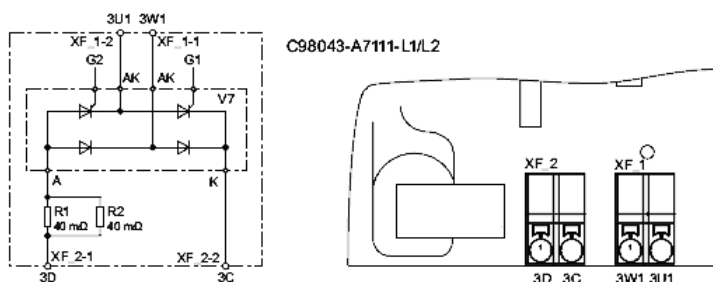
Ο μετατροπέας Σ.Ρ. αποτελείται από έξι διακοπτικά στοιχεία. Στην είσοδο η κάθε φάση U1, V1, W1, είναι συνδεδεμένη στον αντίστοιχο κλάδο. Στις επαφές εξόδου 1C1, 1D1, καταλήγουν θετικής η πολικότητας ημιγέφυρα και η αρνητικής αντίστοιχα.

3.4.2.1.2 Κύκλωμα παροχής για το τύλιγμα διέγερσης

Αντίστοιχα, και για την τροφοδότηση του τυλίγματος διέγερσης υπάρχει κύκλωμα ημιελεγχόμενης ανόρθωσης. Θα πρέπει να σημειωθεί πως ο έλεγχος του κινητήρα συνεχούς ρεύματος πραγματοποιείται αποκλειστικά με την πλήρως ελεγχόμενη τριφασική γέφυρα που τροφοδοτεί το τύλιγμα του τυμπάνου. Η χρησιμότητα του κυκλώματος ημιελεγχόμενης ανόρθωσης για το ρεύμα διέγερσης αφορά στην αρχική παραμετροποίηση του μετατροπέα.

Για παράδειγμα μπορεί να ρυθμιστεί το ρεύμα διέγερσης (μέσω των θυρίστορ) για έναν συγκεκριμένο τύπο κινητήρα μόνιμα στα 5.2A. Αυτό σημαίνει πως κατά την δυναμική κατάσταση του κινητήρα ο έλεγχος των στροφών θα πραγματοποιείται μόνο με τον έλεγχο του ρεύματος τυμπάνου, ενώ το ρεύμα διέγερσης θα παραμένει πάντοτε σταθερό στα 5.2A με την βοήθεια των θυρίστορ της ημιελεγχόμενης γέφυρας. Η σταθερή τάση, και κατά συνέπεια το σταθερό ρεύμα τυλίγματος διέγερσης, εξασφαλίζουν γραμμική σχέση ροπής – στροφών του κινητήρα (σχήμα 2.13, § 2.2.2).

[13]



Σχήμα 3.7: Ηλεκτρικό διάγραμμα θυρίστορ
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, C98130-A7066-A1-04-7619

4 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ένα σημαντικό τμήμα της εγκατάστασης και της λειτουργίας των κινητήρων, είναι η διασύνδεση των κινητήριων συστημάτων με τον υπολογιστή. Η παρακολούθηση και διαχείριση των δεδομένων κίνησης πρέπει να είναι ανά πάσα στιγμή διαθέσιμες στον χειριστή έτσι ώστε να εξυπηρετούνται οι ανάγκες ηλεκτρικής κίνησης της αεροσφάραγας, σε πραγματικό χρόνο (real time). Σε περίπτωση σφάλματος, το λογισμικό οδήγησης είναι εφοδιασμένο με κατάλληλο διαγνωστικό εργαλείο για την αναγγελία σφαλμάτων, βλαβών και προειδοποιήσεων.

4.1 Η διασύνδεση του Μετατροπέα ΕΡ/ΣΡ με τον υπολογιστή

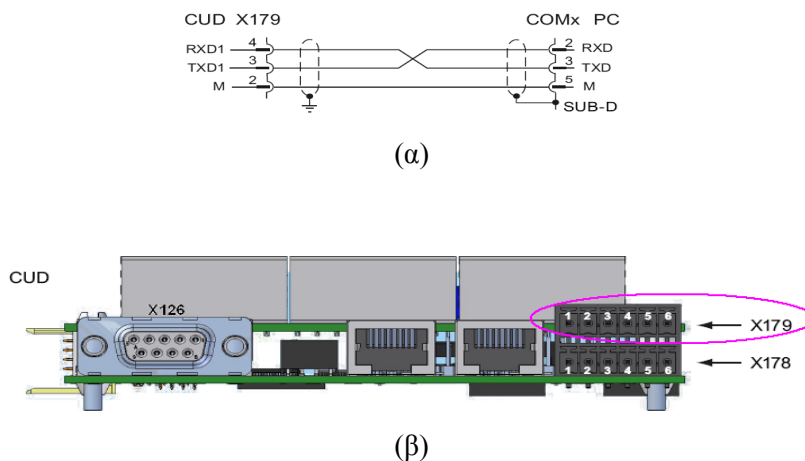
Δυο πιθανές διασυνδέσεις του μετατροπέα με τον υπολογιστή υπάρχουν χρησιμοποιώντας το λογισμικό STARTER. Αυτές είναι μέσω της σειριακής διεπαφής και μέσω διεπαφής profibus.

4.1.1 Σειριακή διεπαφή – serial interface

Στην περίπτωση αυτή, αν υπάρχει διαθέσιμη σειριακή θύρα στον υπολογιστή, είναι εφικτή η φυσική σύνδεση μέσω του module CUD (Control Unit) που βρίσκεται στο μπροστινό τμήμα του μετατροπέα. Η διασύνδεση με τον υπολογιστή δείχνεται στο σχήμα 4.1α. Στο σχήμα 4.1β, διακρίνεται η σειριακή θύρα (x179) που προορίζεται για την σύνδεση στον υπολογιστή. Απαραίτητο είναι ο αγωγός να διαθέτει και αντιπαρασιτική θωράκιση τύπου μπλεντάζ η οποία πρέπει να είναι γειωμένη. Πρακτικά, η διασύνδεση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί αν χρησιμοποιηθεί ένα σειριακό καλώδιο με υποδοχή 9pin (RS232 interface) από την πλευρά του υπολογιστή, και από την πλευρά του μετατροπέα αρκεί να συνδεθούν τα συρματίδια στις επαφές 2,3,4 του τερματικού x179 (USS interface) και να εξασφαλιστεί η συνέχεια γείωσης της θωράκισης.

Εάν ο υπολογιστής δεν διαθέτει σειριακή έξοδο αλλά έξοδο USB, είναι δυνατόν να επιτευχθεί η σύνδεση που συζητήθηκε παραπάνω, αν τοποθετηθεί κατάλληλος μετατροπέας από USB διεπαφή, σε σειριακή.

[13]



Σχήμα 4.1: (α) Διαμόρφωση συνδέσεων, (β) Τερματικές επαφές x179
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, C98130-A7066-A1-04-7619

Στον πίνακα 4.1 δείχνεται ο ρόλος των αγωγών της σειριακής διεπαφής

Πίνακας 4.1

Τερματική επαφή X179	Λειτουργία	Τεχνικά δεδομένα
1	Παροχή (έξοδος)	4.4 to 5.4 VDC Εσωτερική τροφοδοσία
2	Γείωση-σασσί	
3	TXD1	Αποστολή δεδομένων κατά το πρότυπο RS232 (V.24)
4	RXD1	Λήψη δεδομένων κατά το πρότυπο RS232 (V.24)
5	TXD2	Αποστολή δεδομένων κατά το πρότυπο RS232 (V.24)
6	RXD2	Λήψη δεδομένων κατά το πρότυπο RS232 (V.24)
Module C98043-A7100-L1/L2, Standard/Advanced CUD		

Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, C98130-A7066-A1-04-7619

4.1.2 Σύνδεση μέσω διεπαφής Profibus

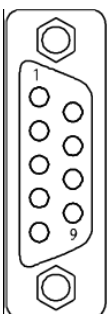
Η φυσική σύνδεση του μετατροπέα με τον υπολογιστή μέσω της διεπαφής Profibus, είναι εφικτή, αν είναι διαθέσιμη η εξωτερική μονάδα CP571,1 που είναι ένας αμφίδρομος μεταφραστής πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Η εξωτερική μονάδα CP5711 επικοινωνεί με τον υπολογιστή μέσω της ευρύτατα διαδεδομένης διεπαφής USB, και με τον μετατροπέα μέσω της διεπαφής Profibus χρησιμοποιώντας καλώδιο τύπου MPI.

Το πλεονέκτημα της διεπαφής Profibus σε σχέση με την σειριακή, είναι πως επιτρέπει, σε βιομηχανικό επίπεδο, την ταυτόχρονη διασύνδεση πολλών κινητήριων συστημάτων, που διαθέτουν την δυνατότητα επικοινωνίας με το πρωτόκολλο Profibus. Ο έλεγχος των συστημάτων που αναφέρθηκαν μπορεί να πραγματοποιηθεί από μια κεντρική υπολογιστική μονάδα.

Στον πίνακα 4.2, δείχνεται η τερματική επαφή x126, η οποία φαινομενικά είναι όμοια με την σειριακή διεπαφή RS232, όπως επίσης και ο ρόλος των αγωγών της σειριακής διεπαφής κατά Profibus

[13]

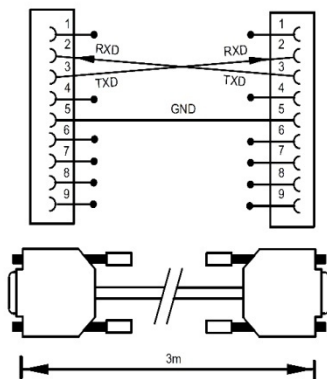
Πίνακας 4.2

Σύνδεση X126	Επαφή	Σήμα	Τεχνικά δεδομένα
	1	-	Δεν έχει καθοριστεί
	2	-	Δεν έχει καθοριστεί
	3	RxD/TxD-P	RS485 λήψη/αποστολή δεδομένων
	4	CNTR-P	Σήμα ελέγχου (TTL)
	5	DGND	Γείωση
	6	VP	Θετική τάση παροχής (5 V +/-10%)
	7	-	Δεν έχει καθοριστεί
	8	RxD/TxD-N	RS485 λήψη/αποστολή δεδομένων
	9	-	Δεν έχει καθοριστεί

Module C98043-A7100-L1/L2, Standard/Advanced CUD

Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, C98130-A7066-A1-04-7619

4.2 Η διασύνδεση του Μετατροπέα ΕΡ/ΣΡ/ΕΡ με τον υπολογιστή



Σχήμα 4.2: Διαμόρφωση συνδέσεων κατά RS232
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens

Αντίστοιχα, και για την επικοινωνία με τον υπολογιστή του μετατροπέα Micromaster 430 χρησιμοποιείται η σειριακή διεπαφή RS232. Η διαφορά στην περίπτωση αυτή είναι στην φυσική διασύνδεση, δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας καλώδιο τύπου RS232 μήκους μέχρι 3m. Η τυπική διάταξη των συρματιδίων για την διεπαφή RS232 δείχνεται στο σχήμα 4.2. [9]

4.2.1 Το λογισμικό Starter

Το λογισμικό Starter είναι το πρόγραμμα μέσω του οποίου καθίσταται δυνατή η παραμετροποίηση του μετατροπέα Sinamics dcm dc converter και micromastret 430.

Το πρόγραμμα, διαθέτει όλα εκείνα τα εργαλεία που χρειάζεται ένας μηχανικός για να μπορέσει να θέσει σε κίνηση τους ηλεκτρικούς κινητήρες που μελετήθηκαν, και να ελέγξει τις στροφές τους. Για να πραγματοποιηθεί η ρύθμιση των παραμέτρων κίνησης, είναι παραπάνω από απαραίτητη η γνώση σε βάθος, της θεωρίας των τριφασικών επαγωγικών

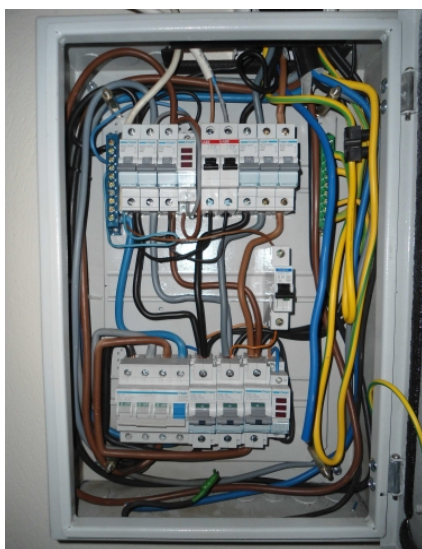
μηχανών, των τριφασικών συστημάτων γενικότερα, των κινητήρων συνεχούς ρεύματος, των ελεγχόμενων μετατροπέων ΕΡ/ΣΡ και μετατροπέων συχνότητας ΕΡ/ΣΡ/ΕΡ.

5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

5.1 Δομή του ηλεκτρικού πίνακα κίνησης

Ο ηλεκτρικός πίνακας κίνησης αποτελείται από τον γενικό τετραπολικό διακόπτη, τις γενικές ασφάλειες 3x100Α και ο καταμερισμός των φορτίων πραγματοποιείται ως εξής:

- Δύο Τριπολικές ασφάλειες (3x63Α, 6000kΑ), μια για την τροφοδοσία του επαγωγικού κινητήρα και μια για το τύλιγμα τυμπάνου του κινητήρα Σ.Ρ.
- Δυο ασφάλειες 16Α για το τύλιγμα της διέγερσης του κινητήρα Σ.Ρ.
- Μια ασφάλεια 2Α για την τροφοδοσία του κυκλώματος ελέγχου του κινητήριου συστήματος του Σ.Ρ. κινητήρα.



Εικόνα 5.1: Φωτογραφία του πίνακα κίνησης του Εργαστηρίου Τεχνικών Μεγεθών

5.2 Επιλογή διατομής καλωδίων κατά ΕΛΟΤ HD 384

5.2.1 Για την τροφοδοσία του κινητήρα Ε.Ρ.

Για την επιλογή της διατομής του καλωδίου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι συντελεστές διόρθωσης των πινάκων κατά ΕΛΟΤ HD 384, καθώς επίσης και το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας.

Ο πρώτος συντελεστής (K1) αφορά την θερμοκρασία. Αν η θερμοκρασία είναι 30°C τότε το K1 είναι 1.

Ο δεύτερος συντελεστής (K2) αφορά την ομαδοποίηση περισσότερων από ένα κυκλωμάτων ή περισσότερων από ένα πολυπολικών καλωδίων σε επαφή ή σε απόσταση μεταξύ τους.

Ο τρίτος συντελεστής (K3) αφορά τον τρόπο εγκατάστασης των πολυπολικών καλωδίων.

Ο τύπος με τον οποίο υπολογίζεται η διατομή του καλωδίου είναι ο εξής:

$$I_{max} = I_{on} \cdot K1 \cdot K2 \cdot K3 \quad (1)$$

5.2.1.1 Συντελεστής K1

ΠΙΝΑΚΑΣ 52-Δ1
Συντελεστές διόρθωσης για θερμοκρασία περιβάλλοντος διαφορετική των 30°C
Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνονται
στους Πίνακες 52-K1, και 52-K2

Θερμοκρασία Περιβάλλοντος °C	Μόνωση	
	PVC	EPR ή XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41

Επειδή η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος για τα Ελληνικά δεδομένα είναι 30°C, το K1 είναι μονάδα.

5.2.1.2 Συντελεστής K2

ΠΙΝΑΚΑΣ 52-E1

Συντελεστές διόρθωσης για την ομαδοποίηση περισσότερων από ένα κυκλωμάτων ή περισσότερων από ένα πολυπολικών καλωδίων σε επαφή ή σε μικρή απόσταση μεταξύ τους.

Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που στους Πίνακες 52-K1 και 52-K2

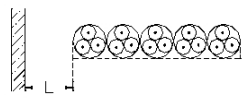
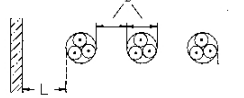
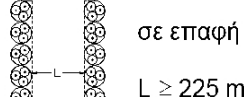
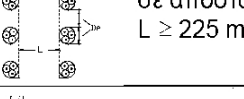
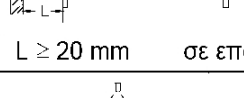
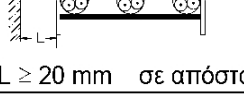
α/α	Τρόπος τοποθέτησης μονωμένων αγωγών ή καλωδίων	Πλήθος κυκλωμάτων ή πολυπολικών καλωδίων											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
1	-Ελεύθερα στον αέρα ή -επάνω στην επιφάνεια δομικού υλικού ή -επιτοίχια γυμνά ή σε σωλήνα ή -εντοιχισμένα γυμνά ή σε σωλήνα	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
2	Σε απλή στρώση, σε επαφή με τοίχο ή με δάπεδο ή επάνω σε συμπαγή φορέα καλωδίων	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70
3	Σε απλή στρώση, στερεωμένη απευθείας κάτω από οροφή	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,61	0,61

- Σημειώσεις:**
1. Αυτοί οι συντελεστές εφαρμόζονται σε ομοιόμορφες ομάδες ισοφορισμένων καλωδίων
 2. Όταν η οριζόντια απόσταση γειτονικών καλωδίων υπερβαίνει το διπλάσιο της διαμέτρου τους δεν απαιτείται καμία διόρθωση.
 3. Οι ίδιοι συντελεστές χρησιμοποιούνται για: ομάδες δύο ή τριών μονοπολικών καλωδίων και πολυπολικά καλώδια.
 4. Αν ένα σύστημα περιλαμβάνει διπολικά και τριπολικά καλώδια, το συνολικό πλήθος των καλωδίων λαμβάνεται ως πλήθος κυκλωμάτων και ο αντίστοιχος συντελεστής πολλαπλασιάζεται επί τις τιμές του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος που δίνονται από τους Πίνακες για διπολικά και για τριπολικά καλώδια αντιστοίχως.
 5. Αν μια ομάδα αποτελείται από n μονοπολικά καλώδια μπορεί να θεωρηθεί είτε ως $n/2$ κυκλώματα δύο φωτιζόμενων αγωγών είτε ως $n/3$ κυκλώματα τριών φωτιζόμενων αγωγών.

Επειδή το καλώδιο είναι επάνω σε συμπαγή φορέα καλωδίων και το πλήθος των πολυπολικών καλωδίων είναι 1, τότε το K2 είναι μονάδα.

5.2.1.3 Συντελεστής K3

ΠΙΝΑΚΑΣ 52-E4
Συντελεστές διόρθωσης για την ομαδοποίηση περισσότερων από ένα πολυπολικών καλωδίων
Εφαρμόζονται για τη διόρθωση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος των πολυπολικών καλωδίων που δίνονται στον Πίνακα 52-K2

Τρόπος εγκατάστασης	Πλήθος φορέων	Πλήθος καλωδίων					
		1	2	3	4	6	9
Οριζόντιοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (βλ σημείωση 2)  L ≥ 20 mm σε επαφή	1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73
	2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
 L ≥ 20 mm σε απόσταση	1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	-
	2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	-
Κατακόρυφοι διάτρητοι φορείς καλωδίων (βλ σημείωση 3)  σε επαφή L ≥ 225 mm	1	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73	0,72
	2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70
 σε απόσταση L ≥ 225 mm	1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	-
	2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	-
Εσχάρες καλωδίων, συρμάτινα πλέγματα, βραχίονες, κλπ (βλ. σημείωση 2)  L ≥ 20 mm σε επαφή	1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
	2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
 L ≥ 20 mm σε απόσταση	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-
	2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	-
	3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	-

Επειδή το καλώδιο είναι σε σχάρα καλωδίων και το πλήθος φορέων και καλωδίων είναι 1, ο συντελεστής K3 είναι μονάδα.

Αντικατάσταση τύπου (1):

$I_{ov}=42A$

Προσαύξηση λόγω κινητήρα 25% , (Προβλέπεται στον Κ.Ε.Η.Ε.)

$I_{max} = I_{ov} \cdot 25\% = 42 \cdot 1,25 = 52,5A$

$I_{max} = I_{ov} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \Rightarrow I_{ov} = I_{max} / (K_1 \cdot K_2 \cdot K_3) = 52,5 / (1 \cdot 1 \cdot 1) \Rightarrow I_{ov} = 52,5A$

[6]

5.2.1.4 Εύρεση διατομής

ΠΙΝΑΚΑΣ 52-K2
Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα (σε A) ηλεκτρικών γραμμών με καλώδια στον αέρα
(σε απόσταση από τοίχους ή άλλα δομικά υλικά)
Μόνωση από PVC ή EPR ή XLPE

Μόνωση	Πλήθος Φορτιζόμενων αγωγών	Πολυπολικά καλώδια	Οι αριθμοί παραπέμπουν στις στήλες που ακολουθούν							
			Μονοπολικά καλώδια							
			Σε επαφή μεταξύ τους				Σε απόσταση μεταξύ τους			
			Διάταξη		Διάταξη		Διάταξη		Διάταξη	
επίπεδη οριζόντια ή κατακόρυφη		τριγωνική		επίπεδη οριζόντια		επίπεδη κατακόρυφη				
PVC	2	2	5	-	-	-	-	-	-	-
	3	1	4	4	7	5				
EPR ή XLPE	2	3	8	-	-	-	-	-	-	-
	3	2	7	6	9	8				
Στήλες										
Χαλκός	mm2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1,5	18,5	22	26	-	-	-	-	-	-
	2,5	25	30	36	-	-	-	-	-	-
	4	34	40	49	-	-	-	-	-	-
	6	43	51	63	-	-	-	-	-	-
	10	60	70	86	-	-	-	-	-	-
	16	80	94	115	-	-	-	-	-	-
	25	101	119	149	110	130	135	141	161	182
	35	126	148	185	137	162	169	176	200	226
	50	153	180	225	167	196	207	216	242	275
	70	196	232	289	216	251	268	279	310	353
	95	238	282	352	264	304	328	341	377	430
	120	276	328	410	308	352	383	396	437	500
	150	319	379	473	356	406	444	456	504	577
	185	364	434	542	409	463	510	521	575	661
	240	430	514	641	485	546	607	615	679	781
300	497	593	741	561	629	703	709	783	902	
400	-	-	-	656	754	823	852	940	1085	
500	-	-	-	749	868	946	982	1083	1253	
630	-	-	-	855	1005	1088	1138	1254	1454	

[3]

Λόγω του χαλκού και των τριών φορτιζόμενων αγωγών από PVC η διατομή των αγωγών ανά φάση προκύπτει: $S=10\text{mm}^2$.

Συνεπώς η διατομή του καλωδίου είναι $4G10\text{mm}^2$.

Ωστόσο, η πλησιέστερη ασφάλεια μετά από την τυποποιημένη ασφάλεια των 50A, είναι 63A, και αντιστοιχεί σε διατομή αγωγού $S=16\text{mm}^2$, επομένως θα γίνει χρήση καλωδίου $4G16\text{mm}^2$ και ασφάλειας 63A.

5.2.2 Για την τροφοδοσία του τυλίγματος τυμπάνου από την πλευρά του E.P.

Συντελεστής K1 (ΠΙΝΑΚΑΣ 52-Δ1)

Επειδή η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος για τα Ελληνικά δεδομένα είναι 30°C , το K1 είναι μονάδα.

Συντελεστής K2 (ΠΙΝΑΚΑΣ 52-Ε1)

Επειδή το καλώδιο είναι επάνω σε συμπαγή φορέα καλωδίων και το πλήθος των πολυπολικών καλωδίων είναι 1, τότε το K2 είναι μονάδα.

Συντελεστής K3 (ΠΙΝΑΚΑΣ 52-Ε4)

Επειδή το καλώδιο είναι σε σχάρα καλωδίων και το πλήθος φορέων και καλωδίων είναι 1 τότε ο συντελεστής K3 είναι μονάδα.

Η ενεργός τιμή του E.P. ρεύματος είναι:

$$I_{a,rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_a^2 \sin^2(t) dt} = \sqrt{\frac{\pi}{2\pi}} \cdot i_a = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot i_a = 0.707i_a, \text{ όπου } i_a \text{ το αντίστοιχο συνεχές,}$$

όμως επειδή υπάρχει μετατροπή από E.P. σε Σ.P. και επίσης γίνεται χρήση διακοπτικών στοιχείων, τα ρεύματα των γραμμών από την πλευρά του E.P. διαφέρουν σε σχέση με την πλευρά του Σ.P.

Η μέγιστη δυνατή ζήτηση απόλυτα **συνεχούς** ρεύματος τυμπάνου του Σ.Ρ. κινητήρα, είναι κατά προσέγγιση 55A. Η ενεργός τιμή (rms) του ρεύματος γραμμής από την πλευρά του 3-Φ εναλλασσόμενου, για διαστήματα αγωγής του κάθε θυρίστορ 120° (συνεχής αγωγή) είναι:

$$I_{a,rms}^2 = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha+30}^{\alpha+90} i_a^2(\omega t) d\omega t = \frac{2}{3} I_{a,rms}^2 .$$

$$I_{a,rms} = \sqrt{\frac{2}{3} 55^2} = 44.9A \cong 45A \text{ η ενεργός τιμή του ρεύματος ανά φάση.}$$

[8]

Εφόσον οι συντελεστές K (κατά HD 384) παραμένουν ίδιοι, αφού οι συνθήκες περιβάλλοντος και όδευσης είναι αντίστοιχες, θα είναι:

$$I_{ov}=45A$$

Επειδή στον HD384 δεν προβλέπεται η προσαύξηση ρεύματος , δεν θα ληφθεί υπόψη.

$$I_{max} = I_{ov} \cdot 25\% = 45 \cdot 1,25 = 56,2A$$

5.2.2.1 Εύρεση διατομής

(ΠΙΝΑΚΑΣ 52-K2)

Λόγω του χαλκού και των τριών φορτιζόμενων αγωγών από PVC η διατομή των αγωγών ανά φάση προκύπτει: $S=10\text{mm}^2$.

Συνεπώς η διατομή του καλωδίου είναι $4G10\text{mm}^2$.

Ωστόσο, η πλησιέστερη ασφάλεια μετά από την τυποποιημένη ασφάλεια των 50A, είναι 63A, και αντιστοιχεί σε διατομή αγωγού $S=16\text{mm}^2$, επομένως θα γίνει χρήση καλωδίου $4G16\text{mm}^2$ και ασφάλειας 63A.

5.2.3 Για την τροφοδοσία του τυλίγματος διέγερσης από την πλευρά του E.P.

Εφόσον για την διέγερση χρησιμοποιείται διφασική ημιελεγχόμενη γέφυρα, θα ισχύει για την rms τιμή του ρεύματος διέγερσης:

$$I_{f,rms}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt = I_f^2 \frac{\pi - \alpha}{\pi}$$

Για ελάχιστη γωνία έναυσης $\alpha=15^\circ$ ή 0.26 ακτίνια, η ενεργός τιμή του ρεύματος γραμμής για ονομαστική τιμή από την πλευρά του συνεχούς, 8A είναι:

$$I_{f,rms} = \sqrt{8^2 \cdot \frac{3,14 - 0,26}{3,14}} = 7,66A$$

[8]

Εφόσον οι συντελεστές K (κατά HD 384) παραμένουν ίδιοι, αφού οι συνθήκες περιβάλλοντος και όδευσης είναι αντίστοιχες, θα ισχύει:

$$I_{ov}=7,66A$$

$$I_{max} = I_{ov} \cdot 25\% = 7,66 \cdot 1,25 = 9,57 \approx 10A$$

$$I_{max} = I_{ov} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \Rightarrow I_{ov} = I_{max} / (K_1 \cdot K_2 \cdot K_3) = 10 / (1 \cdot 1 \cdot 1) \Rightarrow I_{ov} = 10A$$

5.2.3.1 Εύρεση διατομής καλωδίου τροφοδοσίας τυλίγματος διέγερσης

(ΠΙΝΑΚΑΣ 52-K2)

Λόγω του χαλκού και των δυο φορτιζόμενων αγωγών από PVC η διατομή των αγωγών προκύπτει: $S=1.5mm^2$.

Επειδή όμως πρόκειται περί εγκατάστασης κίνησης, και επειδή η απόσταση του κινητήρα από το κινητήριο σύστημα είναι σχετικά μεγάλη (περίπου 35m), θα χρησιμοποιηθεί αγωγός διατομής $S= 2,5 mm^2$.

Συνεπώς η διατομή του καλωδίου είναι $2 \cdot 2,5 mm^2$

5.2.4 Για την τροφοδοσία του τυλίγματος τυμπάνου από την πλευρά του Σ.Ρ.

(1) Η κατά HD 384 έκδοση (ICS: 29.020 91.140.50, παρ. 103.2) καλύπτει μελέτη για κυκλώματα με συνεχές ρεύμα μέχρι 1500V.

Η μέση τιμή της ημιπεριόδου του ανορθωμένου ρεύματος μιας φάσης είναι:

$$I_a = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin(t) dt = \frac{2}{\pi} = 0.636i_a$$

Σε πραγματικές συνθήκες, η ελάχιστη γωνία αγωγής, που αντιστοιχεί στο μέγιστο πιθανό

ρεύμα, θα είναι για την τριφασική γέφυρα $\alpha=30^\circ$ ή $\frac{\pi}{6}$ rad. Αντίστοιχα, το διάστημα

ολοκλήρωσης θα είναι από $\pi/6$ μέχρι $\pi/2$, δηλαδή ταυτίζεται με το διάστημα αγωγής του κάθε θυρίστορ σε συνεχή αγωγή (120°) της τριφασικής γέφυρας.

Η ενεργός τιμή του ρεύματος τυμπάνου είναι $I_{a,rms}^2 = \frac{6}{2\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} i^2 \sin(t) dt = \frac{3}{\pi} \cdot 0.867i^2$

$$I_{a,rms} = \sqrt{\frac{3}{\pi} \cdot 0.867 \cdot 55^2} = 50A \text{ ανά πόλο.}$$

[8]

5.2.4.1 Υπολογισμός πτώσης τάσης

Όπως περιγράφεται και στον ΕΛΟΤ HD 384, παρ. 525.1., αν δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις αναφορικά με τη λειτουργία των συσκευών ή, ενδεχομένως ειδικών διατάξεων προστασίας, συνιστάται στην πράξη, η πτώση τάσης από την αρχή της ηλεκτρικής εγκατάστασης μέχρι το σημείο σύνδεσης οποιασδήποτε ηλεκτρικής συσκευής να μην υπερβαίνει το 4% της ονομαστικής τάσης της εγκατάστασης.

Επειδή η απόσταση του κινητήρα από τον μετατροπέα είναι σχετικά μεγάλη (μήκος καλωδίου περίπου 35m) και η πτώση τάσης στο συνεχές ρεύμα ή έστω στο συνεχές ρεύμα με κυμάτωση, είναι σημαντική, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός αυτής.

$$V_{drop} = \frac{2\rho l}{S} = \frac{2 \cdot 0.0175 \cdot 35 \cdot 50}{10} = \frac{\frac{\Omega \cdot mm^2}{m} m \cdot A}{mm^2} = 6.1V$$

5.2.4.2 Εκτίμηση διατομής καλωδίου

Στην μόνιμη κατάσταση, η τάση του κινητήρα είναι 440VDC, ωστόσο στην περίπτωση του εργαστηρίου, οι στροφές του κινητήρα θα μεταβάλλονται ανάλογα με τους σκοπούς των πειραμάτων. Αυτό σημαίνει πως ο κινητήρας δεν θα λειτουργεί μόνιμα στα 440V αλλά ενδέχεται να λειτουργεί σε χαμηλότερη τάση για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με το ρεύμα να παραμένει σε υψηλά επίπεδα.

Για τον λόγο αυτό θα προτιμηθεί αγωγός 16 mm².

5.2.5 Για το τυλίγμα διέγερσης από την πλευρά του συνεχούς ρεύματος

Για συνεχή αγωγή θα ισχύει:

$$I_{f,rms}^2 = \frac{2}{\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} i^2 \sin(t) dt = \frac{2}{\pi} \cdot 0.867 i^2$$

$$I_{f,rms} = \sqrt{\frac{2}{\pi} \cdot 0.867 \cdot 10^2} = 7.4A$$

Η συγκεκριμένη σχέση επιλέγεται επειδή στον έλεγχο της ισχύος του τυλίγματος διέγερσης χρησιμοποιείται διφασική μη συμμετρική ημιελεγχόμενη διάταξη με διάστημα αγωγής του κάθε θυρίστορ 240°.

Για τους ίδιους λόγους (πτώση τάσης λόγω απόστασης) που αναφέρθηκαν και στην ενότητα υπολογισμού της πτώσης τάσης από την πλευρά του Σ.Ρ. για το ρεύμα τυμπάνου, θα χρησιμοποιηθούν αγωγοί μεγαλύτερης διατομής από αυτήν που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο ρεύμα.

5.2.6 Συνοπτικός πίνακας διατομών και ασφαλειών

Πίνακας 5.1

	AC Τροφοδοσία του DC converter (τύλιγμα τυμπάνου)	AC Τροφοδοσία του DC converter (τύλιγμα διέγερσης)	AC Τροφοδοσία του Inverter	Τροφοδοσία DC κινητήρα (τύλιγμα τυμπάνου)	Τροφοδοσία DC κινητήρα (τύλιγμα διέγερσης)	Τροφοδοσία AC κινητήρα
Ονομ. ρεύμα I _{rms} (A)	45/φάση	7.6	42	50	7.4	42/φάση
Διατομή S (mm ²)	4G16mm ²	2·2,5 mm ²	4G16mm ²	2x16 mm ² +Pe	2·2,5 mm ²	4G16mm ²
Ασφάλεια (A)	3x63A	2x16	3x63A	Τα κινητήρια συστήματα εμπεριέχουν τις απαραίτητες ασφαλιστικές διατάξεις.		

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Σκοπός της μελέτης

Η παρούσα μελέτη έχει σκοπό να παρουσιάσει όλες τις φάσεις της ηλεκτρικής εγκατάστασης δυο αεροσηράγγων και της πειραματικής λειτουργίας τους. Πρόκειται για δυο αεροσήραγγες περιουσίας του ΤΕΙ Πειραιά, οι οποίες είναι εγκατεστημένες στο Ζ κτίριο, σε χώρο επιφανείας 208 τ.μ.

Ερευνητικά Ερωτήματα

- α) Είναι εφικτή η ηλεκτρική εγκατάσταση και η εγκατάσταση βιομηχανικού αυτοματισμού της αεροσήραγγας με τα υπάρχοντα τεχνικά μέσα του εργαστηρίου;
- β) Ποιά είναι τα στάδια που θα πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου να παρουσιαστεί μια ολοκληρωμένη εγκατάσταση;
- γ) Ποιες επιστημονικές προθέσεις υπήρχαν κατά την μελέτη και την εγκατάσταση και κατά πόσο αυτές οι προθέσεις ευοδώθηκαν επιτυχώς στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας

Υλικό μελέτης

Το υλικό της μελέτης της πτυχιακής εργασίας βρίσκεται στο Εργαστήριο Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών του τμήματος Μηχανολογίας του ΤΕΙ Πειραιά και περιλαμβάνει τα εξής μέρη:

- Τις αεροσήραγγες ανοιχτού και κλειστού τύπου.
- Τους ηλεκτρικούς κινητήρες συνεχούς και εναλλασσομένου ρεύματος που αποτελούν τμήμα των αεροσηράγγων.
- Τα κινητήρια συστήματα των κινητήρων που αναφέρθηκαν.
- Την ηλεκτρική εγκατάσταση.

- Την ψηφιακή διασύνδεση των κινητήριων συστημάτων με τον υπολογιστή.
- Άλλο βοηθητικό υλικό - αναλώσιμα

Γενικά στοιχεία για τις δυο αεροσήραγγες του Εργαστηρίου Τεχνικών Μεγεθών

Η πρώτη αεροσήραγγα είναι κλειστού κυκλώματος ροής, με δύο ανοικτά τμήματα δοκιμών ελλειπτικής διατομής 1.0m x 0.69m και μέγιστης ταχύτητας 30 m/s και η δεύτερη είναι αεροσήραγγα, Brough ανοικτού κυκλώματος ροής με κλειστό τμήμα δοκιμών 0.61m x 0.61m x 2.4m και μέγιστη ταχύτητα 30 m/s.

Οι αεροσήραγγες είναι δωρεά του Πανεπιστημίου του Cranfield ως αποτέλεσμα μακρόχρονης συνεργασίας με τον Δρ. Ιωάννη Λεκάκη, καθηγητή του Εργαστηρίου Τεχνικών Μεγεθών Τμήματος Μηχανολογίας του ΤΕΙ Πειραια, και έχουν ως σκοπό την ανάπτυξη τεχνικών μέτρησης και τη μελέτη δυναμικών φαινομένων στην περιοχή της ρευστομηχανικής και αεροδυναμικής, την εκτέλεση πειραμάτων και τη διακρίβωση μετρητικών συστημάτων.

Πηγή: Αρχείο Εργαστηρίου Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών

Κατανόηση του θέματος της μελέτης

Στο στάδιο της μελέτης έπρεπε να αντιμετωπιστούν προβλήματα όπως η εξοικείωση με τον παρακάτω υπάρχοντα εξοπλισμό, δηλαδή:

- Την αεροσήραγγα κλειστού τύπου με τον κινητήρα Σ.Ρ. Ξένης Διέγερσης και την ανοιχτού τύπου αεροσήραγγα με τον Ασύγχρονο Τριφασικό Κινητήρα Βραχυκυκλωμένου Δρομέα. Αναζητήθηκε προηγουμένως η κατάλληλη βιβλιογραφία που να αναφέρεται στα χαρακτηριστικά εκείνα που ενδιαφέρουν στην διαστασιολόγηση της εγκατάστασης.
- Τα κινητήρια συστήματα, που είναι ο μετατροπέας Siemens DCM DC Converter και ο τριφασικός αντιστροφέας Siemens Micromaster 430 καθώς και τα βοηθητικά modules που χρειάζονται για τον τελικό χειρισμό μέσω υπολογιστή. Στο στάδιο αυτό, εκτός από την βιβλιογραφία της Ηλεκτρικής Κίνησης, όσον αφορά τον έλεγχο των κινητήρων με διακοπτικά στοιχεία, έπρεπε να μελετηθούν και οι δυνατότητες του μετατροπέα και του αντιστροφέα ως

τεχνολογικών οντοτήτων που περιέχουν την φιλοσοφία της κατασκευάστριας εταιρείας (Siemens).

- Τους ηλεκτρικούς πίνακες και τις καλωδιώσεις ισχυρών και ασθενών ρευμάτων. Με βάση τους διεθνείς και εναρμονισμένους ελληνικούς κανονισμούς, έπρεπε να διαστασιοποιηθεί κατάλληλα η εγκατάσταση έτσι ώστε να μην υπερφορτίζονται οι αγωγοί κατά την λειτουργία, και παράλληλα να είναι ασφαλισμένοι. Επιπρόσθετη μελέτη πραγματοποιήθηκε για την γείωση προστασίας της όλης ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Αποσαφήνιση του σκοπού της μελέτης

Σκοπός της μελέτης είναι να καταδειχτεί το πώς, μέσα από κατάλληλη έρευνα, μπορεί να προκύψει μια ηλεκτρική εγκατάσταση αεροσήραγγας. Αυτή πρέπει να πληροί ορισμένες επιστημονικές προδιαγραφές, δηλαδή όλα τα στοιχεία της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης πρέπει να είναι μελετημένα, και, για κάθε στοιχείο, να μπορεί να δοθεί η απαραίτητη εξήγηση. Με τον όρο ηλεκτρολογική εγκατάσταση αεροσήραγγας, νοείται όλη εκείνη η εγκατάσταση μέσω της οποίας πραγματοποιείται τελικά η ηλεκτρική κίνηση στις φτερωτές των αεροσηράγγων που παράγουν το επιθυμητό αποτέλεσμα, δηλαδή την ροή κατάλληλου όγκου αέρα για τις μετρήσεις του Εργαστηρίου Τεχνικών Μεγεθών.

Φάσεις μελέτης για την ηλεκτρική εγκατάσταση

Η μελέτη για την ηλεκτρική εγκατάσταση μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις φάσεις:

- Η πρώτη φάση περιέχει την **μελέτη για τους ηλεκτρικούς κινητήρες**. Στην αεροσήραγγα κλειστού τύπου βρίσκεται εγκατεστημένος ένας διπολικός κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος Ξένης Διέγερσης και στην αεροσήραγγα ανοιχτού τύπου πρόκειται να εγκατασταθεί ένας τετραπολικός Ασύγχρονος Τριφασικός Κινητήρας Βραχυκυκλωμένου Δρομέα που αντικαθιστά έναν παλιό τετραπολικό μονοφασικό κινητήρα τύπου Universal.

Για να επιτυγχάνεται σωστός έλεγχος των κινητήρων, μέσω κατάλληλης παραμετροποίησης, θα πρέπει να έχει γίνει κατανοητό το θεωρητικό πλαίσιο των συγκεκριμένων ηλεκτρικών μηχανών.

• Η δεύτερη φάση μελέτης και εγκατάστασης περιλαμβάνει τον **σύγχρονο εξοπλισμό αυτοματισμού και οδήγησης των κινητήρων**. Στην διάθεση του εργαστηρίου **Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών** υπάρχουν **δύο ξεχωριστά συστήματα που προορίζονται αντίστοιχα για τον έλεγχο των δύο αεροσηράγγων**. Στο στάδιο αυτό, γίνεται η παραμετροποίηση των στοιχείων των ηλεκτρικών κινητήρων που κινούν τις έλικες των αεροσηράγγων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εργαστηρίου. Τα παραμετροποιημένα αυτά στοιχεία των ηλεκτρικών κινητήρων εισάγονται ηλεκτρονικά στα συστήματα οδήγησης. Ο έλεγχος των κινητήρων μπορεί να πραγματοποιηθεί εξολοκλήρου μέσω υπολογιστή, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει η δυνατότητα ανατροφοδότησης πληροφοριών προς τον χειριστή του εξοπλισμού για την κατάσταση των κινητήρων (αριθμός στροφών, κατανάλωση ρεύματος, ισχύς, συντελεστής ισχύος, κ.α.).

• Η Τρίτη φάση μελέτης αφορά την κλασσική ηλεκτρική εγκατάσταση βιομηχανικού τύπου που θα τροφοδοτεί τον επιμέρους εξοπλισμό. Η ηλεκτρική εγκατάσταση περιλαμβάνει **τον ηλεκτρικό πίνακα κίνησης, τους αγωγούς, τις ασφάλειες και τους διακόπτες**. Η μελέτη και η κατασκευή, στον τομέα αυτό, περιλαμβάνει την διαστασιολόγηση, την ορθή τοποθέτηση και όδευση του ηλεκτρολογικού υλικού, σύμφωνα με το είδος και τις απαιτήσεις ισχύος της εγκατάστασης κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384.

Φάσεις κατασκευής της ηλεκτρικής εγκατάστασης της αεροσήραγγας

Για την περάτωση του τεχνικού μέρους της ηλεκτρικής εγκατάστασης χρειάστηκε να ολοκληρωθούν οι παρακάτω εργασίες:

- **Εγκατάσταση του πίνακα αυτοματισμού**
- **Τοποθέτηση κινητήριων συστημάτων στον πίνακα αυτοματισμού**

- **Ηλεκτρική εγκατάσταση του αντιστροφέα Micromaster 430**
- **Ηλεκτρική εγκατάσταση του μετατροπέα Sinamics dcm**
- **Η σύνδεση του τυλίγματος τυμπάνου του κινητήρα Σ.Ρ. με τον μετατροπέα Sinamics dcm**
- **Η σύνδεση του τυλίγματος διέγερσης του κινητήρα Σ.Ρ. με τον μετατροπέα Sinamics dcm**
- **Η σύνδεση του επαγωγικού κινητήρα με τον αντιστροφέα Micromaster 430**
- **Η εγκατάσταση του επαγωγικού κινητήρα**
- **Η σύνδεση των ακροδεκτών των τυλιγμάτων του επαγωγικού κινητήρα με τον αντιστροφέα Micromaster 430**
- **Οι ψηφιακές διασυνδέσεις των κινητήριων συστημάτων με τον υπολογιστή**
- **Η διασύνδεση των αγωγίων μερών με την εγκατάσταση γείωσης του κτιρίου**

Συμπερασματικά, η επιτυχής έκβαση της συνολικής εγκατάστασης στηρίζεται στην θεωρητική μελέτη, δηλαδή στην κατανόηση της συμπεριφοράς και των ορίων των κινητήρων καθώς και των κινητήριων συστημάτων τους.

Τέλος, σημαντικό ρόλο για την διαστασιολόγηση των αγωγών, εκτός από το πρότυπο HD384 που αποτελεί τον γενικό οδικό χάρτη ασφαλούς χρήσης, διαδραμάτισε και η εξειδικευμένη μελέτη των κινητήριων συστημάτων, επιτρέποντας την εποπτεία αναφορικά με τη κατανάλωση και το είδος του ρεύματος. Η εποπτική αυτή θέση είναι ιδιαίτερος χρήσιμη στην περίπτωση του μετατροπέα Ε.Ρ./Σ.Ρ., όπου υπάρχει μετατροπή συστημάτων.

Πίνακας αυτοματισμού και εγκατάσταση inverter & converter

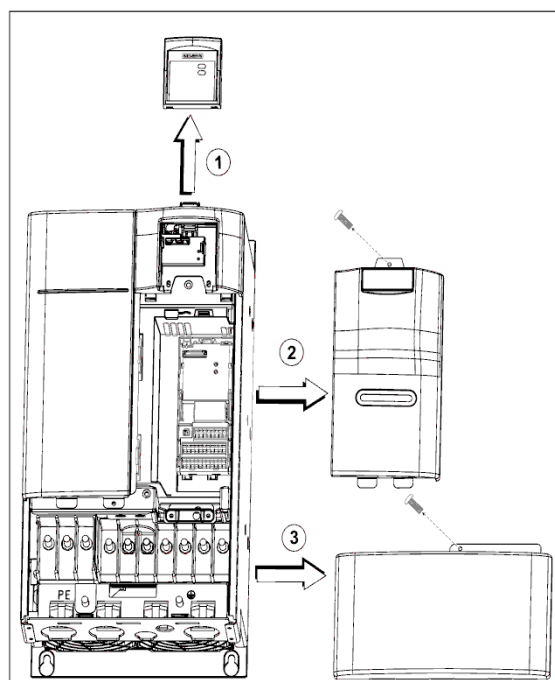
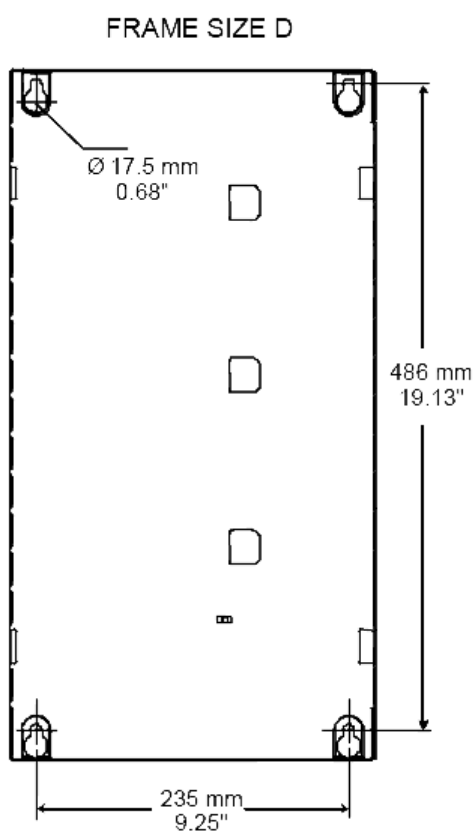
Ο πίνακας αυτοματισμού είναι μεταλλικός βιομηχανικού τύπου, επίτοιχος, και έχει πακτωθεί στον τοίχο του εργαστηρίου. Στο εσωτερικό του περιέχονται ο μετατροπέας συχνότητας Micromaster 430 και ο DC μετατροπέας Sinamics dcm. Οι αγωγοί τροφοδοσίας οδεύουν από το άνω μέρος του πίνακα σε οριζόντια σχάρα.



Εικόνα 1:
Ο πίνακας αυτοματισμού με τα κινητήρια συστήματα σε φάση δοκιμών

Μηχανική εγκατάσταση αντιστροφέα Micromaster 430

Για την μηχανική εγκατάσταση του αντιστροφέα Micromaster 430, χρειάστηκε να ανοιχτούν οπές στην πλάτη της λαμαρίνας του πίνακα αυτοματισμού σύμφωνα με τις διαστάσεις που περιγράφονται στο σχήμα 6.1. Στον πίνακα 6.1 περιέχεται ο τύπος των βιδών και η απαιτούμενη ροπή σύσφιξής τους.



Σχήμα 1 Διαστάσεις αντιστροφέα
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens

Σχήμα 2: Καλύμματα επαφών αντιστροφέα
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens

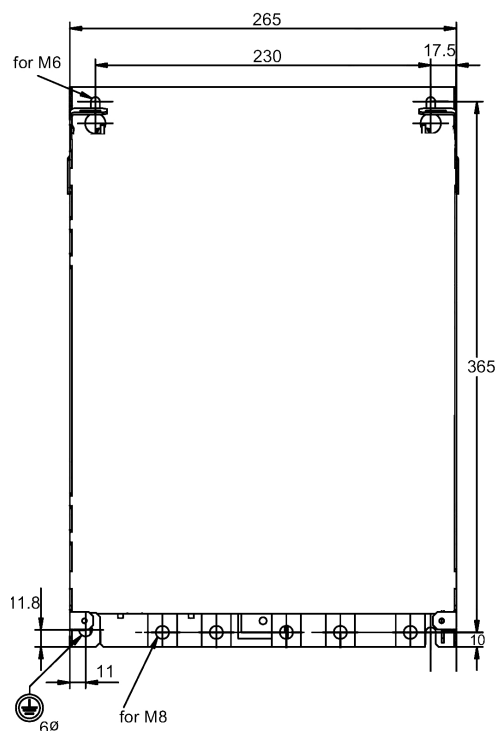
Πίνακας 6.1

Μέγεθος πλαισίου	Συνολικές διαστάσεις (mm)	Μέσα εφαρμογής	Ροπή σύσφιξης
Πλάτος x Ύψος x Βάθος	275 x 520 x 245	4 x M8 βίδες 4 x M8 περικόχλια 4x M8 ροδέλες	3.0 Nm

Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens

Μηχανική εγκατάσταση μετατροπέα Sinamics Dcm

Αντίστοιχα με την περίπτωση του Micromaster 430, ανοίχτηκαν οπές σύμφωνα με τις διαστάσεις που δείχνονται στο σχήμα 6.3. Οι βίδες πάνω στις οποίες στηρίχθηκε ο μετατροπέας είναι τύπου M6.



Σχήμα 3 Διαστάσεις μετατροπέα
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens

Ηλεκτρικές συνδέσεις –Τοπολογία

Ηλεκτρική εγκατάσταση αντιστροφέα micromaster 430

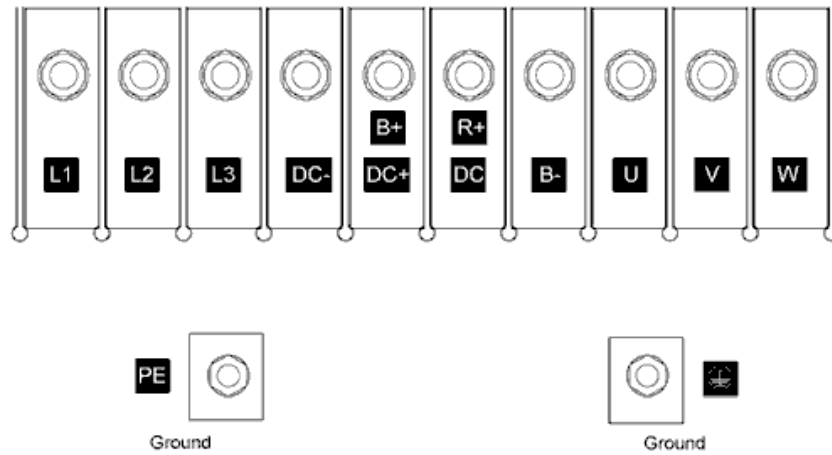
Ο μετατροπέας συχνότητας Micromaster 430 διαθέτει κατάλληλους ακροδέκτες για την σύνδεση των αγωγών εισόδου και εξόδου. Συγκεκριμένα, υπάρχουν οι τρεις ακροδέκτες εισόδου των φάσεων L1, L2, L3 και οι τρεις αντίστοιχοι ακροδέκτες εξόδου U, V, W που προορίζονται για την σύνδεση με τον τριφασικό κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα. Η τροφοδοσία του κυκλώματος ελέγχου, δηλαδή της κεντρικής μονάδας επεξεργαστή, πραγματοποιείται εσωτερικά στον Micromaster 430 μέσω τριφασικού AC/DC μετατροπέα χαμηλής ισχύος, λαμβάνοντας πολική τάση.

Ως προς την σύνδεση των αγωγών του κυκλώματος ισχύος, για την βέλτιστη αγωγιμότητα και προσαρμογή στους αντίστοιχους ακροδέκτες του μετατροπέα συχνότητας, αλλά και για μηχανική αντοχή, στα άκρα τους εφαρμόζονται με πρέσα κατάλληλοι ακροδέκτες (κως), εικόνα 6.8.

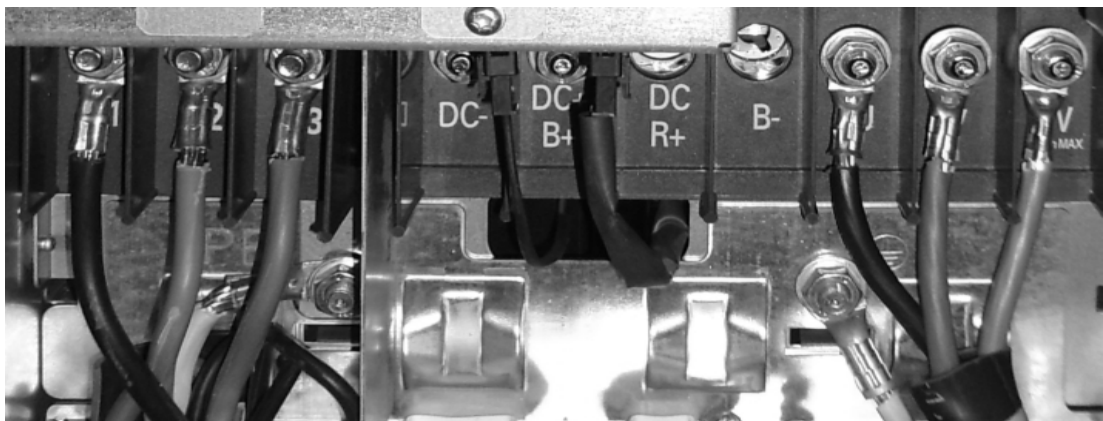
Ο αντιστροφέας Micromaster 430 δεν διαθέτει ακροδέκτη ουδετέρου, επειδή όπως είναι γνωστό από την θεωρία των τριφασικών επαγωγικών μηχανών, δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη του ουδετέρου για την λειτουργία τους. Στη μεν σύνδεση **αστέρα**, σχηματίζεται ο ουδέτερος κόμβος από την διανυσματική άθροιση των τριών φάσεων των τυλιγμάτων του στάτη, δηλαδή το σημείο αναφοράς για τον σχηματισμό της φασικής τάσης στα τυλίγματα βρίσκεται στον κόμβο του ουδετέρου (ένωση των ακροδεκτών U2, V2, W2).

Αντίστοιχα, στην σύνδεση **τριγώνου**, ο κινητήρας λειτουργεί αποκλειστικά με τις πολικές τάσεις του δικτύου. Στην παρούσα εγκατάσταση πραγματοποιείται σύνδεση τριγώνου για τους λόγους που αναφέρονται στο κεφ 6.7.5.1.

Ηλεκτρικές συνδέσεις αντιστροφέα micromaster 430



Σχήμα 4: Ηλεκτρικές επαφές αντιστροφέα
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens

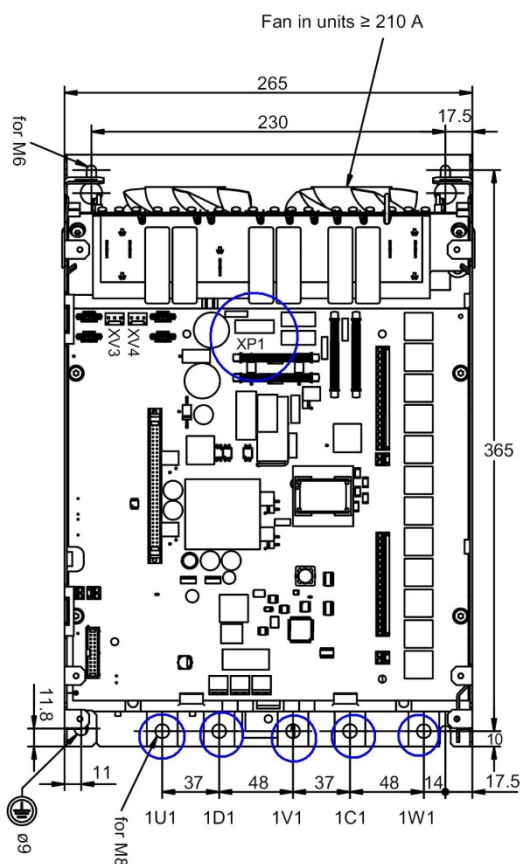


Εικόνα 2: Φωτογραφία από την υλοποίηση ηλεκτρικών συνδέσεων αντιστροφέα

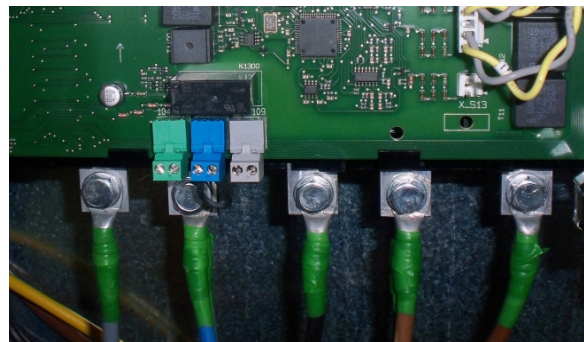
Ηλεκτρική εγκατάσταση μετατροπέα sinamics dcm

Η τροφοδοσία του τυλίγματος τυμπάνου

Για την ηλεκτρική εγκατάσταση του μετατροπέα sinamics dcm dc converter απαιτούνται τρία είδη συνδέσεων. Η σύνδεση εισόδου και εξόδου του τυλίγματος τυμπάνου, η σύνδεση του κυκλώματος διέγερσης και η σύνδεση για την τροφοδότηση του κυκλώματος ελέγχου, του οποίου τα κύρια στοιχεία είναι ο μικροελεγκτής και τα διακοπτικά στοιχεία. Οι ακροδέκτες 1U1, 1V1, 1W1, αποτελούν τις εισόδους του μετατροπέα για την τροφοδοσία του τυλίγματος τυμπάνου, που αντιστοιχούν στις τρεις φάσεις του δικτύου τροφοδοσίας L1, L2, L3, σχήμα 6.3, και η αντίστοιχη DC έξοδος αντιστοιχεί στους ακροδέκτες 1D1, 1C1.



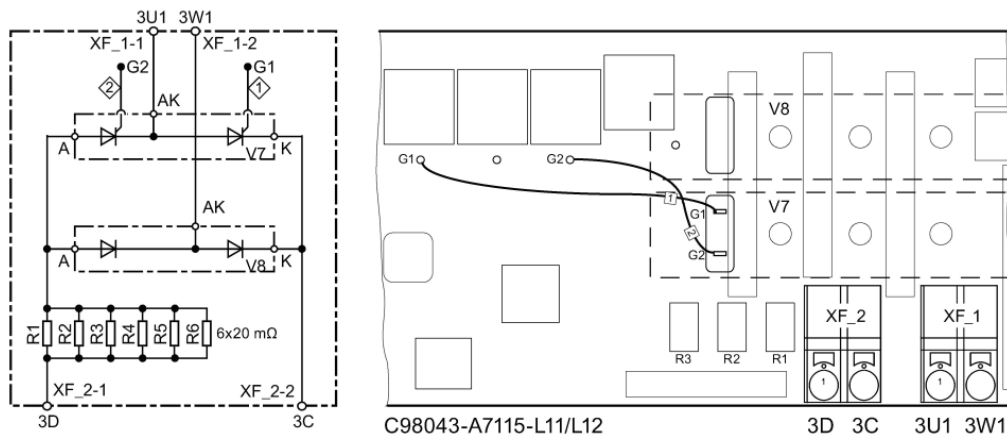
Σχήμα 5: Ηλεκτρικές επαφές μετατροπέα
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens



Εικόνα 3: Φωτογραφία από την υλοποίηση ηλεκτρικών συνδέσεων μετατροπέα

Η τροφοδοσία του τυλίγματος διέγερσης

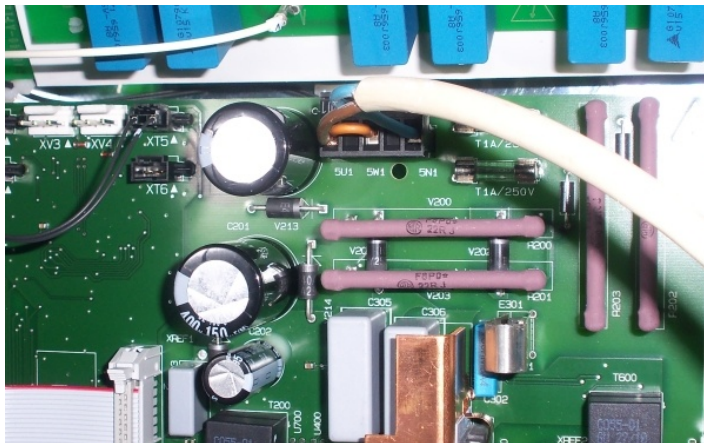
Το κύκλωμα του τυλίγματος διέγερσης τροφοδοτείται με πολική τάση από τις φάσεις L1 και L3 που συνδέονται στις επαφές 3U1 και 3W1 αντίστοιχα. Στους ακροδέκτες 3D (-) και 3C (+) συνδέεται αντίστοιχα το τύλιγμα διέγερσης.



Σχήμα 6: Οι επαφές του κυκλώματος διέγερσης
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens

Η τροφοδοσία του κυκλώματος ελέγχου

Το κύκλωμα ελέγχου τροφοδοτείται μονοφασικά στην επαφή XP1, όπως δείχνεται στην εικόνα 6.3.



Εικόνα 4: Φωτογραφία από την σύνδεση του κυκλώματος ελέγχου

Η εγκατάσταση του επαγωγικού κινητήρα

Ο κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα εδράζεται σε ειδικά διαμορφωμένη χαλύβδινη βάση, που έχει πακτωθεί στο δάπεδο του εργαστηρίου. Στον άξονά του φέρει τροχαλία που κινεί, μέσω πέντε παράλληλων ιμάντων την έλικα της αεροσήραγγας ανοιχτού τύπου. Στο κιβώτιο ακροδεκτών του κινητήρα πραγματοποιείται σύνδεση τριγώνου. Σύμφωνα με την πινακίδα των στοιχείων του κινητήρα, στην σύνδεση τριγώνου, ο κινητήρας λειτουργεί με τάση 400VAC και στη σύνδεση αστέρα λειτουργεί με τάση 690VAC. Επομένως για να μπορέσει ο συγκεκριμένος κινητήρας να λειτουργήσει στο Ελληνικό δίκτυο θα πρέπει να βρίσκεται μόνιμα σε σύνδεση τριγώνου.



Εικόνα 5: Φωτογραφία από την τοποθέτηση του επαγωγικού κινητήρα στο Εργαστήριο Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών

Οι πιθανοί τρόποι ηλεκτρικής σύνδεσης του επαγωγικού κινητήρα του εργαστηρίου

Ο κινητήρας του εργαστηρίου είναι κατασκευασμένος να λειτουργεί σε τάσεις 400 και 690V για αντίστοιχες συνδέσεις Δ και Υ. Έστω η περίπτωση τροφοδότησης με τάση 690VAC:

Στη σύνδεση **αστέρα**, η τάση μεταξύ των ελεύθερων άκρων (U1-V1, U1-W1, V1-W1), των τυλιγμάτων του στάτη είναι η πολική δηλαδή 690VAC, σύμφωνα με την πινακίδα του κινητήρα, ωστόσο η τάση που εφαρμόζεται στο κάθε τύλιγμα είναι η φασική, αφού υπάρχει ο

κόμβος ουδετέρου των ακροδεκτών U2-V2-W2, και έχει τιμή $\frac{690\text{VAC}}{\sqrt{3}} \cong 400\text{VAC}$.

Επομένως τα τυλίγματα του στάτη είναι κατασκευασμένα να δέχονται στα άκρα τους τάση 400VAC. Σε περίπτωση που γινόταν σύνδεση στο ελληνικό δίκτυο, σε σύνδεση **αστέρα**, η

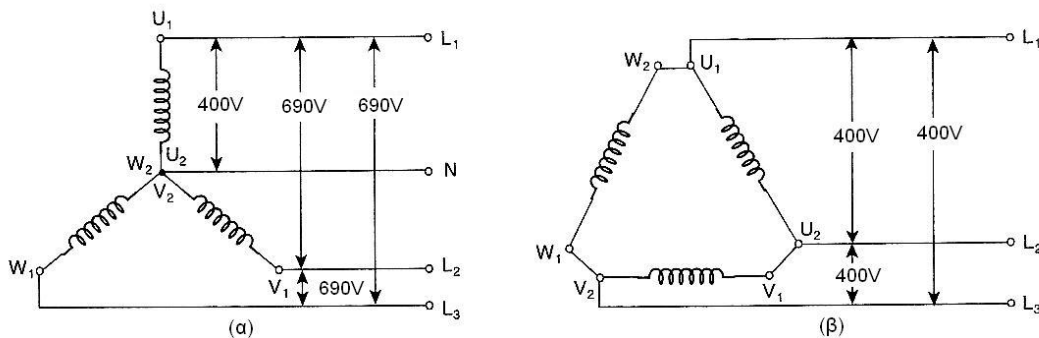
φασική τάση στα άκρα των τυλιγμάτων θα ήταν $\frac{400\text{VAC}}{\sqrt{3}} \cong 230\text{VAC}$, δηλαδή τάση

μικρότερη από την ονομαστική, άρα απαγορευτική για την λειτουργία του κινητήρα. Συνεπώς, η μόνη δυνατή σύνδεση του κινητήρα στο Ελληνικό δίκτυο είναι η μόνιμη σύνδεση σε τρίγωνο, σχήμα 6.5β. Αντίστοιχα, σε δίκτυα με τάσεις φασική/πολική 400/690V, π.χ. στη Σουηδία, ή ακόμη σε ηλεκτρικά δίκτυα ορισμένων πλοίων, η μόνη δυνατή σύνδεση για αυτόν τον κινητήρα είναι η σύνδεση αστέρα, σχήμα 6.5α.

Προτού να ξεκινήσει η χρήση των ηλεκτρονικών ισχύος και των μικροελεγκτών, η σύνδεση αυτού του κινητήρα στο Ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο, σε μόνιμη σύνδεση τριγώνου, θα ήταν τουλάχιστον προβληματική, ως προς την εκκίνηση του κινητήρα, λόγω των υπερβολικά μεγάλων ρευμάτων εκκίνησης.

Χάρη στις σύγχρονες μεθόδους ηλεκτρικής κίνησης, το γεγονός αυτό δεν αποτελεί μειονέκτημα, αφού ο έλεγχος των στροφών και της ροπής πραγματοποιούνται με ρύθμιση της συχνότητας και του λόγου V/f, όπως δείχτηκε στην θεωρητική ανάπτυξη, επομένως τα ρεύματα εκκίνησης μπορεί να είναι ακόμη και μικρότερα από τα ονομαστικά. Ειδικότερα, στην περίπτωση της αεροσήραγγας, η μόνη ροπή που απαιτείται για την εκκίνηση, είναι αυτή που χρειάζεται για να υπερνικηθεί η σχετικά ελάχιστη αδράνεια μάζας της έλικας και του δρομέα, δηλαδή προσομοιάζει την εκκίνηση χωρίς φορτίο. Φυσικά αυτό ισχύει μόνο για την

εκκίνηση, ενώ όσο αυξάνονται οι στροφές του κινητήρα, άρα και της έλικας, οι απαιτήσεις ροπής για την κίνηση αυξάνονται παραβολικά. [7]



Σχήμα 7: Οι πιθανές συνδέσεις του κινητήρα σε δίκτυο σύμφωνα με την πινακίδα στοιχείων του. (α) Σύνδεση του κινητήρα σε δίκτυο με πολική τάση 690V (σύνδεση αστέρα). (β) Σύνδεση του κινητήρα σε δίκτυο με πολική τάση 400V, Ελληνικό δίκτυο (σύνδεση τριγώνου).

Πηγή σχημάτων: Ασκήσεις ηλεκτρικής κίνησης, Π. Β. Μαλατέστας

Εύρεση της διαδοχής φάσεων

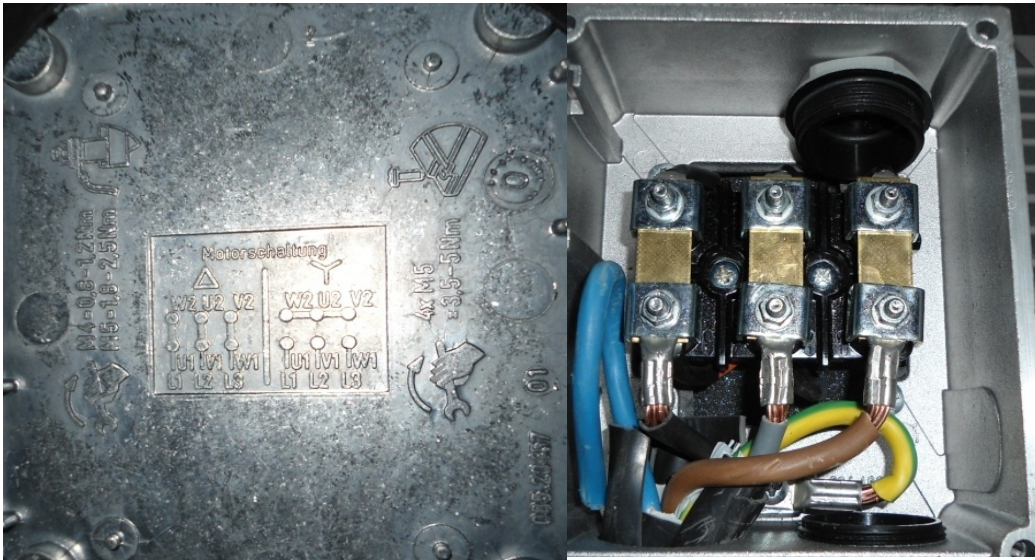
Εφόσον η σειρά διαδοχής των φάσεων επηρεάζει την φορά περιστροφής στον επαγωγικό κινητήρα, έπρεπε αυτή να βισημάνθηκε με τους χρωματικούς κώδικες των καλωδίων, όπως ισχύει κατά IEC: Καφέ, μαύρο, ρεθεί και να επισημανθεί. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι η εξής: Τοποθετήθηκε προσωρινά επιτηρητής φάσης στον πίνακα του εργαστηρίου, και αφού διαπιστώθηκε η σωστή διαδοχή, εγκρί, για τις φάσεις L1, L2, L3 αντίστοιχα.



Εικόνα 6: Φωτογραφία από την τοποθέτηση επιτηρητή τάσης στον πίνακα κίνησης του Εργαστηρίου Μετρήσεων Τεχνικών Μεγεθών

Η ηλεκτρική σύνδεση στο κιβώτιο ακροδεκτών

Με βάση την πινακίδα του κινητήρα, και τα όσα αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο 6.7.5.1, πραγματοποιείται η σύνδεση τριγώνου στο κιβώτιο ακροδεκτών του κινητήρα.

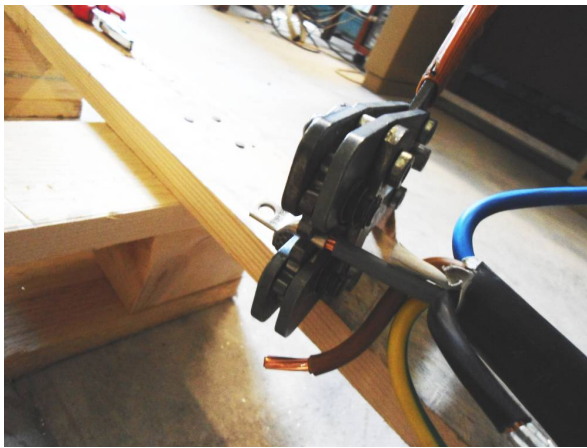


Εικόνα 7: Από το κάλυμμα κιβωτίου ακροδεκτών του κινητήρα. Στο κάλυμμα του κιβωτίου ακροδεκτών του κινητήρα είναι σχεδιασμένες οι πιθανές συνδέσεις με το δίκτυο των έξι ακροδεκτών των τυλιγμάτων του στάτη. Επίσης επισημαίνεται η ροπή σύσφιξης των επαφών

Εικόνα 8: Φωτογραφία από την σύνδεση τριγώνου στον επαγωγικό κινητήρα

Τοποθέτηση ακροδεκτών

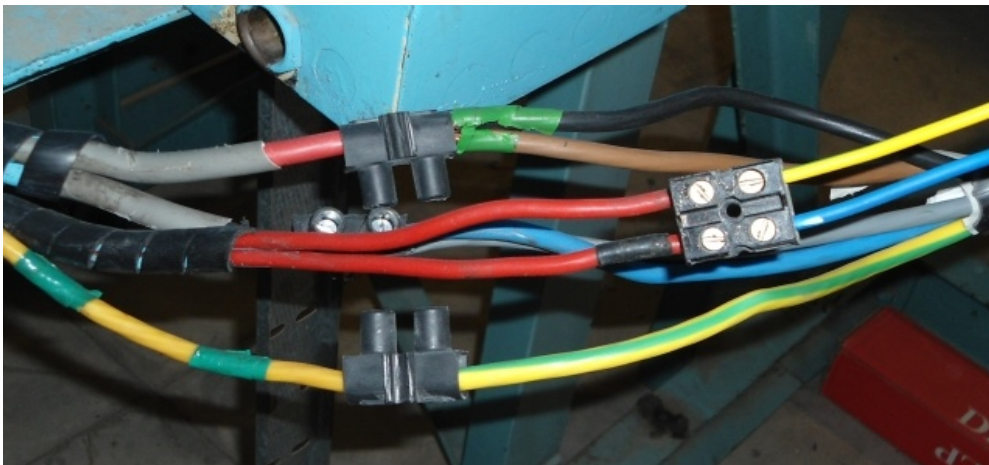
Για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής ηλεκτρικής επαφής των καλωδίων τροφοδοσίας με τους ακροδέκτες του κινητήρα, τοποθετήθηκαν κατάλληλη ακροδέκτες με την βοήθεια ειδικού εργαλείου. Η ίδια πρακτική ακολουθήθηκε και στις λοιπές συνδέσεις της εγκατάστασης.



Εικόνα 9: Από την τοποθέτηση ακροδέκτη με χρήση ειδικής πρέσας.

Η ηλεκτρική σύνδεση του κινητήρα Σ.Ρ.

Η ηλεκτρική σύνδεση στο κιβώτιο ακροδεκτών του κινητήρα Σ.Ρ. περιλαμβάνει την σύνδεση του τυλίγματος τυμπάνου, την σύνδεση του τυλίγματος διέγερσης και την σύνδεση της γείωσης. Αν και τα ρεύματα τροφοδοσίας του κινητήρα, μπορούν να θεωρηθούν συνεχή, εντούτοις έχουν δυναμικό και ως προς γη, αφού δεν υπάρχει γαλβανική απομόνωση στον μετατροπέα Sinamics Dcm.

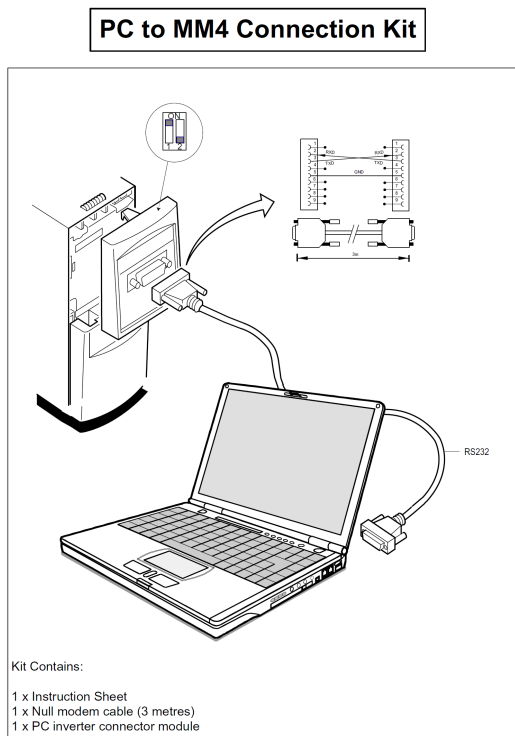


Εικόνα 10: Από την δοκιμαστική σύνδεση του κινητήρα Σ.Ρ.

Ψηφιακές διασυνδέσεις

Σύνδεση του αντιστροφέα Micromaster 430 με υπολογιστή

Στο σχήμα 6.6 δείχνεται η φυσική διασύνδεση του ατιστροφέα Micromaster 430 με τον υπολογιστή και στην εικόνα 6.9 η υλοποίησή της.



Σχήμα 8: Εικονική περιγραφή διασύνδεσης
Πηγή: Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens

Εικόνα 11: Η υλοποίηση της φυσικής
διασύνδεσης του αντιστροφέα μέσω
RS232 interface

Γειώσεις

Στο Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 (Άρθρο 413.1.2, Σημ. 1η) προβλέπεται ότι, στις ΕΗΕ που τροφοδοτούνται από τη ΔΕΗ, εφαρμόζεται εκείνο από τα συστήματα σύνδεσης των γειώσεων TN (ουδετέρωση) ή TT (άμεση γείωση), που εφαρμόζεται στο σύστημα τροφοδότησης (δίκτυο ΔΕΗ).

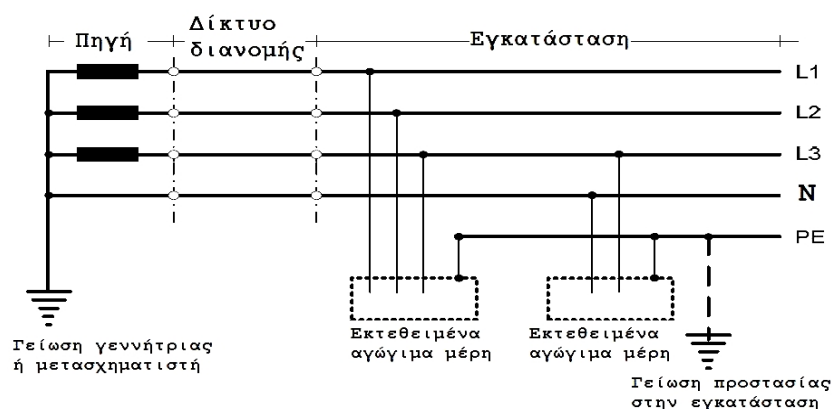
Επειδή η ΔΕΗ εφαρμόζει την άμεση γείωση (σύστημα TT), στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου Αττικής, έχει δοθεί έμφαση στην συνέχεια των ισοδυναμικών ως προς γη συνδέσεων της εγκατάστασης.

Επεξήγηση TT, κατά IEC 60364-3

TT: Το πρώτο γράμμα συμβολίζει την σχέση του συστήματος τροφοδοσίας με τη γη, (T = terra), δηλαδή ο ουδέτερος κόμβος του συστήματος παροχής είναι συνδεδεμένος με την γη. Στην περίπτωση του κτιρίου Ζ του ΤΕΙ Πειραιά, σαν παροχή νοείται ο μετασχηματιστής μέσης τάσης.

Το δεύτερο γράμμα συμβολίζει την σχέση των εκτεθειμένων ηλεκτρικών μερών της εγκατάστασης σε σχέση με τη γη. Δηλαδή απευθείας ηλεκτρική σύνδεση των εκτεθειμένων αγωγίμων μερών με τη γη.

Προϋπόθεση για να χαρακτηριστεί ένα σύστημα γείωσης ως TT, είναι η ανεξαρτητοποίηση του ηλεκτροδίου γείωσης του συστήματος παροχής, από το ηλεκτρόδιο γείωσης της εγκατάστασης και κατ' επέκταση των εκτεθειμένων αγωγίμων μερών της. Δηλαδή ο μοναδικός αγωγίμος δρόμος που θα πρέπει να ενώνει τα δύο συστήματα γειώσεων (του συστήματος τροφοδοσίας και της εγκατάστασης) είναι η γη.



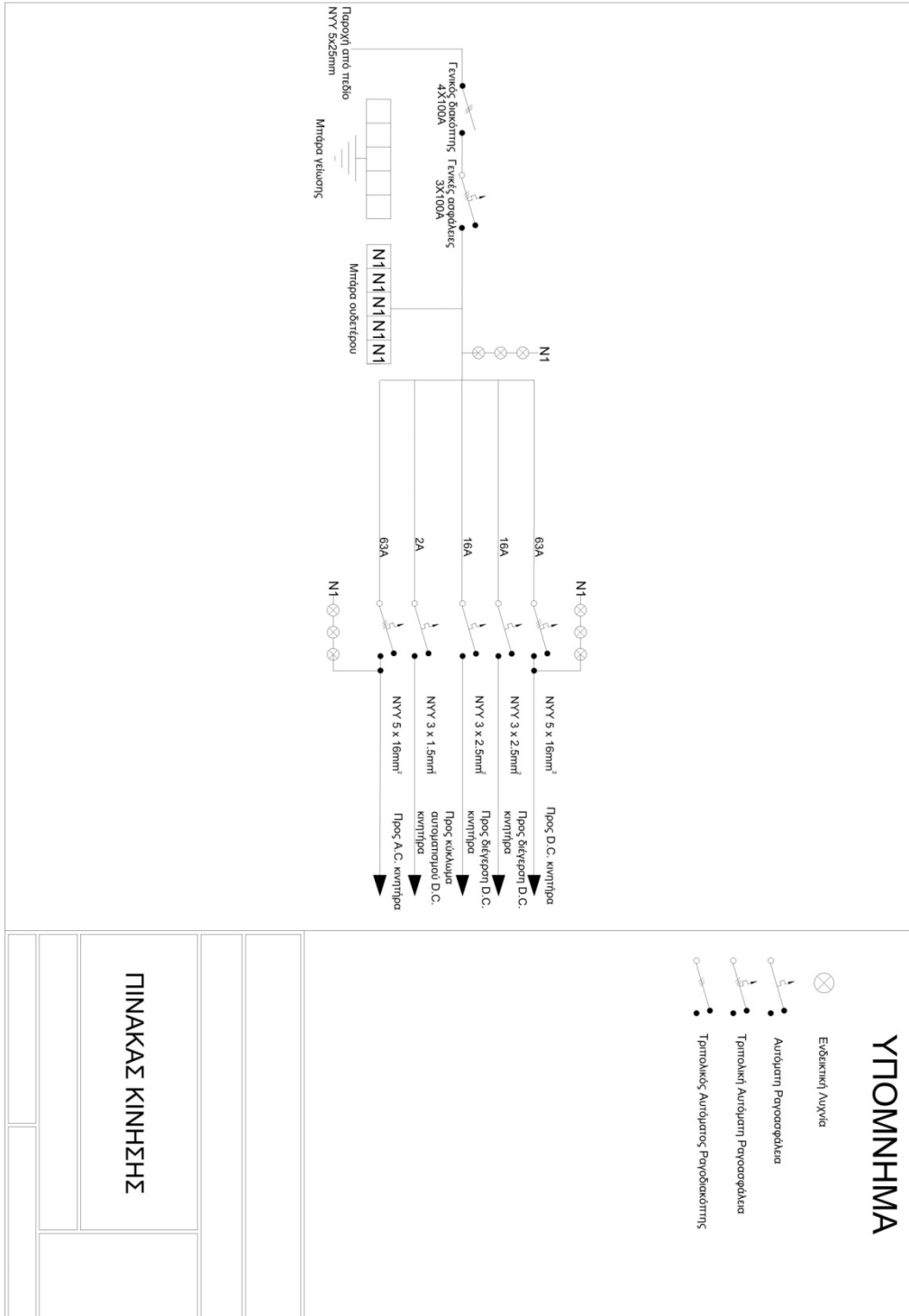
Σχήμα 9: Σύστημα γείωσης TT
Πηγή: IEC 60364-3



Εικόνα 12: Η περίπτωση ισοδυναμικής σύνδεσης στον ζυγό γείωσης του πίνακα κίνησης του εργαστηρίου

Το ηλεκτρολογικό σχέδιο του πίνακα κίνησης

Στο σχήμα 6.8, παρουσιάζεται το ηλεκτρολογικό σχέδιο του πίνακα κίνησης όπως διαμορφώθηκε από την μελέτη διατομών και εγκατάσταση του εξοπλισμού.



Σχήμα 10: Ηλεκτρολογικό σχέδιο πίνακα κίνησης

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποπειράται να παρουσιάσει όλα τα στάδια προετοιμασίας και υλοποίησης σύνθετης ηλεκτρικής εγκατάστασης δυο αεροσηράγγων.

Στηριζόμενοι στα κριτήρια της ακρίβειας, σαφήνειας και εγκυρότητας, προσπαθήσαμε να ενσωματώσουμε τομείς της επιστήμης της ηλεκτρολογίας, που συμβαίνει να ανήκουν στο γνωστικό πεδίο της ηλεκτρικής κίνησης και ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Κατά την διάρκεια εξέλιξης της εγκατάστασης έγιναν κατανοητές, με βάση την θεωρητική μας προπτυχιακή γνώση, οι ιδιότητες και η συμπεριφορά των ηλεκτρικών κινητήρων Σ.Ρ. ξένης διέγερσης και AC βραχυκυκλωμένου δρομέα. Οι δυο τελευταίοι κινητήρες, καθώς και τα αντίστοιχα κινητήρια συστήματα, αποτελούν οργανικά και βασικά στοιχεία της ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Λόγω του μεγέθους των κινητήρων, άρα και του χρηματικού τους κόστους, έπρεπε τα βήματα να γίνονται με μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να μην προκληθεί φθορά στον εξοπλισμό αλλά και να μην υπάρξει κίνδυνος για τους χειριστές. Το ίδιο ισχύει και για τον εξοπλισμό οδήγησης των κινητήρων, που, ακόμη και μια μικρή απόκλιση από τις “σωστές” ρυθμίσεις, θα μπορούσε να οδηγήσει σε απρόβλεπτα αποτελέσματα. Η δυνατότητα λοιπόν πρόβλεψης των αποτελεσμάτων είναι ένα σημαντικό προσόν που κατακτήθηκε στην πρόοδο του project. Εξίσου σημαντική ήταν και η εφαρμογή μέτρων ασφάλειας με απόλυτη επιτυχία,

Στην διάρκεια των δοκιμών δεν έλλειψε και η καταστροφή, μηδαμινού κόστους σε σχέση με τον προϋπολογισμό του project, ηλεκτρονικού υλικού, λόγω προβληματικής μόνωσης των αγωγών στον πίνακα κίνησης, όπως διαπιστώθηκε εκ των υστέρων και επισκευάστηκε. Παρ’ όλα αυτά, στα πλαίσια ενός τέτοιου εγχειρήματος, αυτού του χαρακτήρα συμβάντα ενδέχεται να προκύψουν. Το γεγονός αυτό έπρεπε να αντιμετωπιστεί. Το θετικό σε αυτή την περίπτωση είναι ότι αποκτήθηκαν γνώσεις και δεξιότητες ως προς τη διαχείριση και την επίλυση τέτοιων «κρίσιμων» καταστάσεων. Η παρούσα εργασία, εκτός του θεωρητικού μέρους, είχε και έναν έντονο βιωματικό χαρακτήρα, αφού, οτιδήποτε μελετήθηκε θεωρητικά, έπρεπε να εφαρμοστεί και στην πράξη. Έπρεπε λοιπόν να ακολουθήσουμε την συνακολουθία θεωρία/πράξη και να αναμένουμε το αποτέλεσμα του εγχειρήματός μας.

Αν και δεν περιέχει πείραμα, η ίδια η εγκατάσταση αποτελεί πειραματική εφαρμογή που περιγράφεται και τεκμηριώνεται σε επιστημονική βάση. Η έλλειψη συγκεκριμένου εγχειριδίου εγκατάστασης, παρότι αναμενόμενη, ώθησε στη στοιχειοθέτηση συγκεκριμένης τεχνογνωσίας και την δημιουργία εξειδικευμένης προσέγγισης. Ειδικότερα, η εγκατάσταση πραγματοποιήθηκε με την επιλογή συγκεκριμένης μεθοδολογίας που περιλαμβάνει: (α) μελέτη θεωρίας ηλεκτρικών μηχανών, (β) μελέτη – κατανόηση των δυνατοτήτων του διαθέσιμου υλικού, (γ) εγκατάσταση με βάση τα κατάλληλα πρότυπα και προδιαγραφές. Βάση της αφαίρεσης που προκύπτει από τον **επιστημονικό συλλογισμό, κάποιες πτυχές της μεθοδολογίας επιλέχθηκαν σε βάρος άλλων. Ζητούμενες ήταν, και σε ένα βαθμό κατακτήθηκαν, η πλήρης επίγνωση του τι συμβαίνει σε κάθε φάση της μελέτης και της κατασκευής αλλά και η εκτίμηση με βάση τα δεδομένα, τους κανονισμούς ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και την κοινή λογική, των κινδύνων και των τρόπων αντιμετώπισής τους.**

Ένα γεγονός που αύξησε τον βαθμό δυσκολίας του όλου εγχειρήματος, είναι το μέγεθος και η οικονομική διάσταση του έργου, καθώς αποτελεί μια κατασκευή που θα μπορούσε να προσομοιάζει τις πραγματικές συνθήκες από κάθε άποψη. Αν, για παράδειγμα, η ίδια εργασία γινόταν εκτός σχολής (π.χ. ήταν η ανάθεση έργου για κάποιον οργανισμό), θα έπρεπε - ως μηχανικοί πια οι συγγραφείς - να διαχειριστούν τη όλη κατάσταση και τελικά να φέρουν σε πέρας την όλη κατασκευή, με το μικρότερο δυνατό κόστος για τους ίδιους και την μεγαλύτερη δυνατή ασφάλεια (οικονομική και ασφάλεια προσωπικού). Υπό την επενδυτική αυτή οπτική, το εγχείρημά μας μπορεί να αξιοποιηθεί, αφού βεβαίως ολοκληρωθεί επιστημονικά ο σχεδιασμός του.

Η χρησιμότητα της αεροσήραγγας για το τμήμα της μηχανολογίας ως εργαλείο έρευνας είναι προφανής. Ωστόσο, η ηλεκτρική εγκατάσταση της αεροσήραγγας μπορεί να αποτελέσει πλατφόρμα μελλοντικής έρευνας και για σπουδαστές του τμήματος ηλεκτρολογίας, στις οποίες θα μπορούν να μελετηθούν και να επαληθευτούν πειραματικά σημαντικά κεφάλαια της ηλεκτρικής κίνησης, όπως η μελέτη και ανάλυση του ελέγχου των AC και Σ.Ρ. ηλεκτρικών κινητήρων μεγάλης ισχύος, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των αντιστροφών και των μετατροπών, η ανάλυση της ισχύος του συστήματος, το φιλτράρισμα των αρμονικών και συναφών παραμέτρων που μπορούν να οριστούν στον σχεδιασμό.

Αν και η ηλεκτρική εγκατάσταση έχει περατωθεί στο βασικό της κομμάτι, υπάρχει ακόμη ένα μεγάλο περιθώριο βελτιώσεων. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να προστεθούν αντιπαρασιτικές διατάξεις και συστήματα απαγωγής κρουστικών τάσεων και ρευμάτων για την προστασία του ευαίσθητου ψηφιακού εξοπλισμού, όπως μικροεπεξεργαστών, μνημών flash. Επίσης, θα μπορούσε να προστεθεί μικρή μονάδα αδιάλειπτου παροχής ισχύος (UPS) για την περίπτωση διακοπής της τάσης τροφοδοσίας του ηλεκτρονικού εξοπλισμού αλλά και για την απομόνωσή του από το δίκτυο.

Οι βελτιώσεις αυτές θα προσθέσουν οφέλη τα οποία ενδεχομένως να εκτιμηθούν ως τομείς ενδιαφέροντος ηλεκτρολογικών εργαστηρίων. Το κόστος στην περίπτωση αυτή, θα μπορούσε να καλυφθεί με ενδεχόμενη αναζήτηση οικονομικών πηγών ή διάθεσης εξοπλισμού, π.χ. από τη Siemens. Η παρούσα πτυχιακή εργασία μπορεί να αποτελέσει αφετηρία προς αυτή τη κατεύθυνση.

Περιορισμοί που συναντήθηκαν

- Δεν διατέθηκαν τα δεδομένα που θα παρείχαν προστασία του ευαίσθητου εξοπλισμού.
- Λόγω του περιορισμένου σπουδαστικού χρόνου δεν περατώσαμε τους χρηστικούς οδηγούς για τον χειρισμό των κινητήριων συστημάτων.

Summary

The present student dissertation attempts to describe the specific electric installation between two wind tunnels, currently installed at the Mechanical Engineer Department of the Technological Educational Institute of Piraeus. The intended installation was facilitated by the synthesis of several theories and mathematical descriptions about electric motors and their specific motive systems. At some points of the process of the electric installation, the general norm HD 384 was followed, although at some other points a tailor-made, highly specific approach had to be reached. The evaluation of the installation by the two writers of the present dissertation was overall positive, with some points for improvement and future research to be taken into consideration in future projects.

Λέξεις Κλειδιά

Αεροσήραγα ανοιχτού τύπου
Αεροσήραγα κλειστού τύπου
Επαγωγικός κινητήρας
Pulse Width Modulation
Service Factor
Ασυνεχής αγωγή
Ατμοσφαιρική αεροσήραγα
ΕΛΟΤ HD 384
Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος Ξένης Διέγερσης
Μετατροπέας Ε.Ρ./Σ.Ρ.
Μετατροπέας Ε.Ρ./Σ.Ρ./Ε.Ρ.
Ροπή ανατροπής
Σειριακή διεπαφή
Σύνδεση αστέρα
Σύνδεση τριγώνου
Συνεχής αγωγή
Τύλιγμα διέγερσης
Τύλιγμα τυμπάνου

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] S. J. Chapman, “Ηλεκτρικές Μηχανές”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2010.
- [2] S. J. Chapman, “Electric machinery and power system fundamentals”, McGraw-Hill, 2002.
- [3] ΕΛΟΤ HD 384.
- [4] S.L. Hermann, Electric Motor control, Delmar Cengage Learning 2010.
- [5] IEC 60072-1 Electrical specifications
IEC72-1 Mechanical specifications"
- [6] K.E.H.E.
- [7] I. Kasikci, “Analysis and Design of Low-Voltage Power Systems: An Engineer's Field Guide”, Wiley-Vch, 2004.
- [8] Π. Β. Μαλατέστας, “Ασκήσεις Ηλεκτρικής Κίνησης”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2005.
- [9] MICROMASTER 430, 7.5 kW - 250 kW, Operating Instructions Issue 10/06.
- [10] AC & DC Motor Installation & Maintenance NEMA (IEC) Frames to 200.
- [11] Siemens Technical Education Program.
- [12] A. Sumper & A. Baggini, “Electrical Energy Efficiency Technologies and applications”, John Wiley & Sons, 2012.
- [13] Τεχνικό εγχειρίδιο Siemens, SINAMICS DCM DC Converters Operating Instructions, 10.2011, C98130-A7066-A1-04-7619.
- [14] D. Steinhoff & J. F. Burgess , “Small Business Management Fundamentals”, Tata McGraw-Hill, 2004.

ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

- [15] <http://library.techlink.gr/ptisi/article.asp?mag=2&issue=146&article=3758>.
Κ. Σ. Σωτηρόπουλος, Σμηνάρχου Ε.Α., “Αεροδυναμική και Πτήση – Αεροδυναμικές Σήραγγες”.
- [16] <http://www.creativeteachingsite.com/edusims.html>
- [17] <http://www.flyingmachines.org/davi.html>
- [18] <http://iec.ch/>

- [19] http://europa.eu/legislation_summaries/other/1121013_el.htm
- [20] <http://www.nema.org/about/>
- [21] <http://www.nema.org/stds/mg2.cfm> , NEMA Publication MG2
- [22] <http://plato.stanford.edu/entries/enlightenment/>
- [23] <http://www.grc.nasa.gov/www/k-12/WindTunnel/history.html>
- [24] http://awt.grc.nasa.gov/students_TunnelHistory.aspx

