

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός 1155

**ΘΕΜΑ : <<Μελέτη χαρακτηριστικών λειτουργίας ηλεκτρικών μηχανών
AC και DC με μεταβαλλόμενο φορτίο μέσω σερβοπέδης που ελέγχεται από
ρυθμιστή στροφών και του κατάλληλου λογισμικού>>**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ 4936

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΛΕΒΕΝΤΑΚΗΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ 4884

ΠΑΤΡΑ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην συγκεκριμένη εργασία θα εξετάσουμε αρχικά την λειτουργία μιας μονάδας σερβοπέδης για την λειτουργία μηχανών εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος υπό μεταβαλλόμενο φορτίο. Πιο συγκεκριμένα θα ασχοληθούμε με τον έλεγχο της σερβοπέδης μέσω ρυθμιστή στροφών (*servo – drive*) και του τρόπου επικοινωνίας μέσω των εισόδων - εξόδων του ρυθμιστή στροφών. Για την εφαρμογή μας θα χρησιμοποιηθεί η σερβοπέδη της εταιρείας *Lucas Nulle* σε συνεργασία με το ρυθμιστή στροφών της εταιρείας *Lenze*.

Η αρχική λειτουργία θα είναι η λειτουργία της σερβοπέδης σε συνεργασία τόσο με ηλεκτρικές μηχανές *AC* όσο και με ηλεκτρικές μηχανές *DC* και ο απευθείας έλεγχος της από το ρυθμιστή στροφών για λειτουργία 4 τεταρτημορίων. Από την συγκεκριμένη λειτουργία θα πάρουμε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών (τάσης, ρεύματος, ροπής, στροφές) μέσω κατάλληλων οργάνων καθώς και των εξόδων του ρυθμιστή στροφών με σκοπό να πάρουμε τις χαρακτηριστικές λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών.

Στη συνέχεια θα μελετηθούν τα προγράμματα (λογισμικά) της *Lucas Nulle ACMA* (για τον έλεγχο ηλεκτρικών μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος) και *DCMA* (για τον έλεγχο ηλεκτρικών μηχανών συνεχούς ρεύματος). Με τα συγκεκριμένα λογισμικά μπορούμε να ελέγξουμε την σερβοπέδη και κατά επέκταση το ζεύγος σερβοπέδης - ηλεκτρικής μηχανής *AC* ή *DC* για λειτουργία 4 τεταρτημορίων (κινητήρας-γεννήτρια). Επίσης, μέσω των συγκεκριμένων προγραμμάτων θα μπορούμε να λάβουμε τόσο σε πραγματικό χρόνο όσο και σε αποθηκεύσιμη μορφή τις χαρακτηριστικές λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών *A.C.* και *D.C.*

Τέλος, θα γίνουν συγκεκριμένες εφαρμογές λήψης των χαρακτηριστικών λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών *AC* και *DC* της εταιρείας *Lucas Nulle* που διαθέτει το εργαστήριο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
---------------	---

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
------------------	---

Κεφάλαιο 1^ο

Ηλεκτρικές Μηχανές Συνεχούς Ρεύματος (D.C.)

Ενότητα 1.1.

Σύντομη ιστορική ανασκόπηση, κατασκευαστικά στοιχεία μηχανών Σ.Ρ....	9
--	---

Εισαγωγή

1.1.1) Σύντομη ιστορική ανασκόπηση και χρήσεις μηχανών Σ.Ρ.....	10
1.1.2) Κατασκευαστικά στοιχεία Μηχανών Σ.Ρ.	11
1.1.3) Τα μέρη μιας μηχανής Σ.Ρ.....	14
1.1.4) Τυποποίηση ακροδεκτών γεννητριών και κινητήρων Σ.Ρ.	17
1.1.5) Είδη προστασίας κινητήρων.....	18

Ενότητα 1.2.

Είδη γεννητριών Σ.Ρ. και χαρακτηριστικά τους.....	20
---	----

1.2.1) Αρχή λειτουργίας των Γεννητριών Σ.Ρ.	20
1.2.2) Το ισοδύναμο κύκλωμα μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος.....	22
1.2.3) Είδη γεννητριών Σ.Ρ.....	22
1.2.4) Γεννήτριες ξένης διέγερσης.....	23
Χαρακτηριστική Φορτίου της Γεννήτριας Σ.Ρ. Ξένης Διέγερσης.....	24
1.2.5) Γεννήτριες παράλληλης διέγερσης.	25
Χαρακτηριστική Φορτίου της Γεννήτριας Σ.Ρ. Παράλληλης Διέγερσης.....	27
1.2.6) Γεννήτριες διέγερσης σειράς.....	28
Χαρακτηριστική Φορτίου της Γεννήτριας Σ.Ρ. Διέγερσης Σειράς.....	29
1.2.7) Γεννήτριες αθροιστικής σύνθετης διέγερσης.....	30
Χαρακτηριστική Φορτίου της Γεννήτριας Σ.Ρ. Αθροιστικής Σύνθετης Διέγερσης...31	

Ενότητα 1.3.

Είδη κινητήρων Σ.Ρ. και χαρακτηριστικά τους.....	33
--	----

1.3.1) Αρχή λειτουργίας των κινητήρων Σ.Ρ.....	33
1.3.2) Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος.	33
1.3.3) Είδη κινητήρων Σ.Ρ.....	35

1.3.4) Κινητήρες συνεχούς ρεύματος με μόνιμους μαγνήτες.....	35
1.3.5) Κινητήρες συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης και παράλληλης διέγερσης.....	39
Χαρακτηριστική Φορτίου ενός Κινητήρα Σ.Ρ. Παράλληλης Διέγερσης.....	39
1.3.6) Κινητήρες συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς.....	43
Χαρακτηριστική Φορτίου ενός Κινητήρα Σ.Ρ. με διέγερση Σειράς.....	44
1.3.7) Κινητήρες συνεχούς ρεύματος Αθροιστικής σύνθετης διέγερσης.....	47
Χαρακτηριστική Φορτίου ενός Κινητήρα Σ.Ρ. Αθροιστικής Σύνθετης Διέγερσης....	49

Κεφάλαιο 2^ο

Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες

Ενότητα 2.1.

Γενικές γνώσεις για Ασύγχρονους Τριφασικούς Κινητήρες.....52

2.1.1) Είδη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....	52
2.1.2) Αρχή λειτουργίας ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....	54
2.1.3) Κατασκευαστικά στοιχεία ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....	55
2.1.4) Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.....	55
2.1.5) Ολίσθηση.....	58
2.1.6) Ροπή ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....	58

Ενότητα 2.2.

Ασύγχρονοι τριφασικοί Κινητήρες Δακτυλιοφόρου Δρομέα..... 60

2.2.1) Κατασκευαστικά μέρη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων Δακτυλιοφόρου Δρομέα.....	60
2.2.2) Ακροδέκτες, συνδεσμολογίες.....	61
2.2.3) Τάση λειτουργίας.....	63
2.2.4) Εκκίνηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα.....	65
2.2.5) Ρύθμιση στροφών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα με δακτυλίδια.....	67
2.2.6) Αλλαγή φοράς περιστροφής.....	72

Ενότητα 2.3.

Ασύγχρονοι τριφασικοί Κινητήρες Βραχυκυκλωμένου Δρομέα..... 73

2.3.1) Κατασκευαστικά μέρη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα.....	73
2.3.2) Εκκίνηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.....	77
2.3.3) Ρύθμιση στροφών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.....	87

Κεφάλαιο 3^ο

Σερβοκινητήρες και περιγραφή-επεξήγηση της μονάδας LUCAS-NULLE και των προγραμμάτων της.

Ενότητα 3.1.

Σερβοκινητήρες.....	98
3.1.1) Σερβοκινητήρες DC.....	100
3.1.2) Σερβοκινητήρες AC.	101
3.1.3) Servodrives.....	102
3.1.4) Εφαρμογές.....	104

Κεφάλαιο 4^ο

Μονάδα Ελέγχου Σερβοκινητήρα LUCAS-NULLE για λειτουργία ως Servo-brake

Ενότητα 4.1.

Περιγραφή-επεξήγηση της μονάδας LUCAS-NULLE και των προγραμμάτων της.....	107
4.1.1) Οδηγίες ασφαλούς λειτουργίας.....	108
4.1.2) Ταυτοποίηση Σχεδιαγράμματος Panel.....	109
4.1.3) Χρησιμοποίηση της οθόνης LCD.....	112
4.1.4) Οδηγίες σύνδεσης, λειτουργία.....	113
4.1.5) Βασικοί Τρόποι λειτουργίας, 1-4.....	114
4.1.6) Εκτεταμένοι τρόποι εφαρμογής, 11-14.....	118
4.1.7) Ρυθμίσεις και καθορισμός των παραμέτρων για τις εκτεταμένες εφαρμογές.....	122
4.1.8) Παράδειγμα περιγραφής άσκησης με τον εξοπλισμό.....	124
4.1.9) Τεχνικά στοιχεία συσκευής.....	126
4.1.10) Τεχνικά πρότυπα & οδηγίες.....	127

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Διεξαγωγή Πειραμάτων και λήψη χαρακτηριστικών λειτουργίας σε Ασύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές A.C. με την βοήθεια του λογισμικού ACTIVE ASMA

Ενότητα 5.1.

Περιγραφή-επεξήγηση του προγράμματος ACTIVE ASMA.....129

5.1.1) Επισκόπηση.....	129
5.1.2) Απαιτήσεις συστήματος.....	130
5.1.3) Εγκατάσταση.....	130
5.1.4) Έναρξη του προγράμματος.....	131
5.1.5) Πρώτα Βήματα.....	132
5.1.6) Εντολές και Μενού.....	138
5.1.7) Σημειώσεις ασφαλείας.....	142

Ενότητα 5.2.

Διεξαγωγή Πειραμάτων και λήψη χαρακτηριστικών λειτουργίας σε ασύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές A.C.....144

5.2.1) Πείραμα με AC κινητήρες Δακτυλιοφόρου Δρομέα.....	145
Συνδεσμολογία κυκλώματος.....	146
Απαραίτητες ρυθμίσεις για την διεξαγωγή του πειράματος.....	147
Χαρακτηριστικές λειτουργίας των AC κινητήρων.....	151
5.2.2) Πείραμα με AC κινητήρες Βραχυκυκλωμένου Δρομέα.....	153
Συνδεσμολογία κυκλώματος.....	154
Απαραίτητες ρυθμίσεις για την διεξαγωγή του πειράματος.....	155
Χαρακτηριστικές λειτουργίας των AC κινητήρων.....	159

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Διεξαγωγή Πειραμάτων και λήψη χαρακτηριστικών λειτουργίας σε ηλεκτρικές μηχανές D.C. με την βοήθεια του λογισμικού ACTIVE DCMA

Ενότητα 6.1.

Περιγραφή-επεξήγηση του προγράμματος ACTIVE DCMA.....162

6.1.1) Επισκόπηση.....	162
6.1.2) Απαιτήσεις συστήματος.....	163
6.1.3) Εγκατάσταση.....	163
6.1.4) Έναρξη του προγράμματος.....	164
6.1.5) Πρώτα Βήματα.....	165
6.1.6) Εντολές και Μενού.....	170
6.1.7) Σημειώσεις ασφαλείας.....	175

Ενότητα 6.2.

Διεξαγωγή Πειραμάτων και λήψη χαρακτηριστικών λειτουργίας σε ηλεκτρικές μηχανές D.C.....176

6.2.1) Πείραμα με DC κινητήρες..... 177

 Συνδεσμολογία κυκλώματος..... 178

 Απαραίτητες ρυθμίσεις για την διεξαγωγή του πειράματος..... 179

 Χαρακτηριστικές λειτουργίας των DC κινητήρων..... 182

Βιβλιογραφία - Αναφορές.....184

Κεφάλαιο 1^ο
Ηλεκτρικές Μηχανές Συνεχούς Ρεύματος (D.C.)

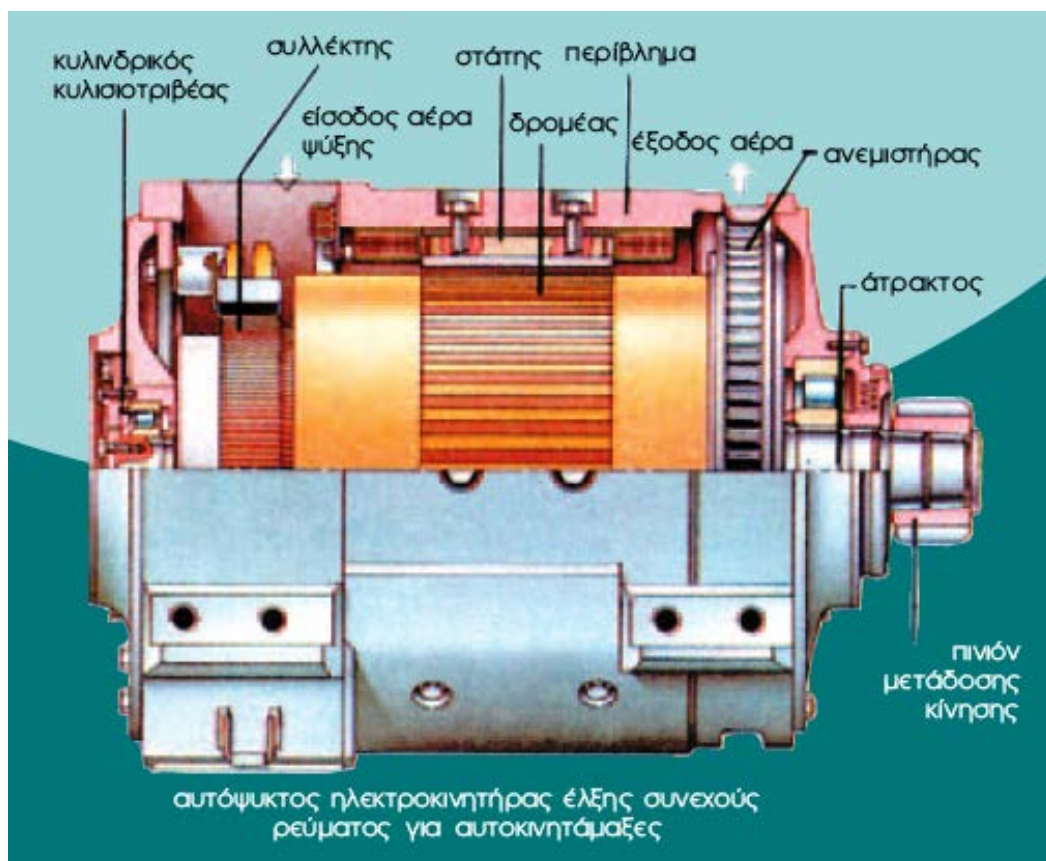
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (Σ.Ρ)

1.1) Σύντομη ιστορική ανασκόπηση, κατασκευαστικά στοιχεία μηχανών Σ.Ρ.

► Είναι ευρύτατα γνωστό, ότι το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει μια χώρα, χαρακτηρίζει και το επίπεδο της τεχνικής ανάπτυξής της.

Ο ηλεκτρισμός διαδόθηκε χάρη στην κατασκευή φθηνών και αποδοτικών ηλεκτρικών μηχανών. Σήμερα κάθε βιομηχανική εγκατάσταση χρησιμοποιεί ηλεκτρικές μηχανές. Η γνώση της λειτουργίας και των χαρακτηριστικών αυτών των μηχανών κυρίως κρίνεται απαραίτητη για την ορθή αντιμετώπιση των προβλημάτων που αφορούν στην επιλογή, εγκατάσταση, στη χρησιμοποίηση και στη συντήρησή τους.



1.1.1) Σύντομη ιστορική ανασκόπηση και χρήσεις μηχανών Σ.Ρ.

Η ανακάλυψη του νόμου της επαγωγής από τον Faraday, ο οποίος βασίστηκε στα πειράματα του Oersted και Ampere το 1820, βοήθησε το Γάλλο Hippolyte Pixii το 1832 να κατασκευάσει την πρώτη μηχανή Συνεχούς Ρεύματος (Σ.Ρ.) ως γεννήτρια.

Ο ίδιος κατασκεύασε την ίδια χρονολογία και μια απλή γεννήτρια (E.P.) A.C., η οποία όμως δεν έγινε γνωστή.

Η πρώτη ηλεκτρική μηχανή του Pixii είχε συλλέκτη δύο τομέων για την ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσης που παραγόταν στους αγωγούς. Η κυμάτωση της ανορθωμένης τάσης ήταν πολύ μεγάλη.

Η πρώτη μηχανή Σ.Ρ. με περιέλιξη τυμπάνου που τοποθετήθηκε μέσα στα λούκια του δρομέα και με συλλέκτη αρχικά δύο τομέων έγινε από τον Werner Von Siemens το 1856. Η κατασκευή αυτή έγινε αφορμή για την εξέλιξη των ηλεκτρικών μηχανών.

Το 1860 ο Pacinotti κατασκεύασε τη μηχανή με τον επαγωγικό δακτύλιο και συλλέκτη με πολλούς τομείς.

Το 1870 ο Gramme κατασκεύασε μηχανή που είχε το πλεονέκτημα της μικρής κυμάτωσης της ανορθωμένης τάσης της.

Η μηχανή αυτή εγκαταλείφθηκε σύντομα λόγω των μεγάλων τεχνικοοικονομικών μειονεκτημάτων της δακτυλιοειδούς της περιέλιξης.

Ο τύπος της μηχανής Σ.Ρ. που επικράτησε τελικά ήταν αυτός του F.V. Hefner - Alteneck (1872) που είχε περιέλιξη τυμπάνου και συλλέκτη με πολλούς τομείς.

Σήμερα, είναι γνωστό, ότι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται E.P.

Παρ' όλα αυτά όμως οι μηχανές Σ.Ρ. κατέχουν ένα σημαντικό μέρος στην ηλεκτρική κίνηση πολύ μικρών, μικρών, μεσαίων και μεγάλων ισχύων (μέχρι 8MW).

Πολλά εργοστάσια χρησιμοποιούν γεννήτριες Σ.Ρ. για την παραγωγή της απαιτούμενης ισχύος για τη λειτουργία κινητήρων Σ.Ρ.

Ηλεκτροκινητήρες Σ.Ρ. χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές κινήσεις με έλεγχο της περιστροφικής ταχύτητας, όπως μεταφορικές εγκαταστάσεις, εργαλειομηχανές, τροχιοδρομικά οχήματα κ.λπ.

► Συγκριτικά με τους κινητήρες E.P., οι κινητήρες Σ.Ρ. παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά ανωτερότητας που τους κάνουν αναντικατάστατους σε κινήσεις υψηλών απαιτήσεων όπως π.χ. στα έλαστρα.

Η τροφοδότηση με **ηλεκτρονικά ισχύος** τελειοποίησε πολλές από τις εφαρμογές αυτές. Οι μικροί κινητήρες Σ.Ρ. χρησιμοποιούνται γενικά σε όλες τις εφαρμογές όπου διατίθεται συνεχής ή ημιανορθωμένη τάση, όπως σε αυτοματισμούς αεροπλάνων, συστήματα ψύξης ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, μικρούς διεγέρτες, σερβομηχανισμούς, παιχνίδια, μαγνητόφωνα, μονάδες μαγνητικών ταινιών, εκτυπωτές υπολογιστών, μηχανές συγχρονισμών, φωτοτυπικά μηχανήματα κ.λπ.

1.1.2) Κατασκευαστικά στοιχεία Μηχανών Σ.Ρ.

Κάθε μηχανή Σ.Ρ. αποτελείται από το ακίνητο μέρος, το οποίο ονομάζεται **στάτης** και από το κινητό μέρος, το οποίο ονομάζεται **δρομέας**.

► Ο **στάτης** είναι το συγκρότημα των ακίνητων τμημάτων της μηχανής και έχει ως κύριο προορισμό του να δημιουργεί καθορισμένη μαγνητική ροή.

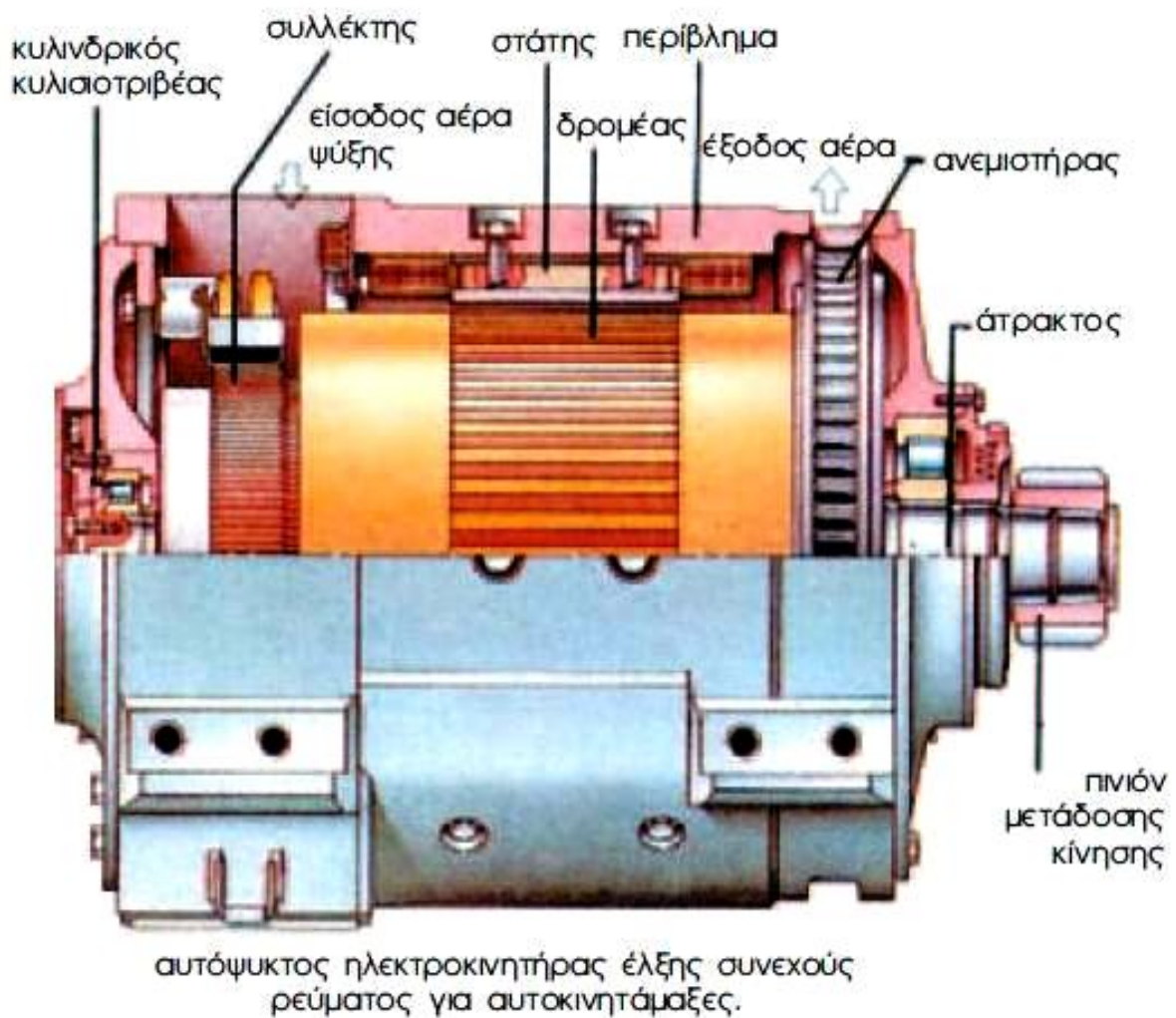
Ο στάτης αποτελείται από:

1. το ζύγωμα
2. τους μαγνητικούς πόλους
3. τα πέδιλα των πόλων
4. τα τυλίγματα των πόλων
5. τα καλύμματα (καπάκια)
6. τους ψηκτροφορείς
7. τα σιδερένια δακτυλίδια
8. τους βραχίονες
9. τις ψηκτροθήκες
10. τις ψήκτρες
11. τα ελατήρια πίεσης των ψηκτρών

► Ο **δρομέας** είναι το συγκρότημα των κινητών τμημάτων της μηχανής, και αποτελείται από:

1. τον άξονα
2. τον πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου
3. το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου
4. το συλλέκτη
5. τον ανεμιστήρα
6. την πλήμνη

Στο σχήμα 1.2 φαίνεται σε τομή αυτόψυκτος ηλεκτροκινητήρας Σ.Ρ. που χρησιμοποιείται σε αυτοκινητάμαξες.



Σχ. 1.2: Τομή ηλεκτροκινητήρα Σ.Ρ.

1.1.3) Τα μέρη μιας μηχανής Σ.Ρ.

Α) **Στάτης**. Ο στάτης αποτελείται από:

1. Το **ζύγωμα** που αποτελεί τον κορμό της μηχανής και κατασκευάζεται από χυτοχάλυβα ή ελατό σίδηρο. Μέσα από το ζύγωμα κλείνει το μαγνητικό κύκλωμα.
2. Τους **μαγνητικούς πόλους** που στερεώνονται στο ζύγωμα και κατασκευάζονται από ελατό σίδηρο, εφ' όσον ανήκουν σε δυναμογεννήτρια, δηλαδή, σε γεννήτρια που έχει τύλιγμα στους πόλους. Στις μαγνητογεννήτριες, δηλαδή στις γεννήτριες με μόνιμους μαγνήτες, οι πόλοι κατασκευάζονται από χάλυβα. Προορισμός των πόλων είναι να εξασφαλίσουν τη μαγνητική ροή που γεννιέται από τα τυλίγματα, τα οποία περιβάλλουν τους πόλους.

Το ρεύμα με το οποίο τροφοδοτούνται οι πόλοι καλείται ρεύμα διέγερσης.

Κάθε πόλος αποτελείται από τον πυρήνα και το τύλιγμά του που μεταξύ τους παρεμβάλλεται μόνωση. Ο πυρήνας συγκροτείται συνήθως από μονωμένα ειδικά ελάσματα σιδήρου, πάχους περίπου 1,5mm.

3. Τα **πέδιλα των πόλων** είναι το πλατύτερο μέρος του πόλου και βρίσκονται πλησιέστερα στο επαγωγικό τύμπανο.

Αποτελούν συνήθως ξεχωριστή κατασκευή και βιδώνονται στερεότατα κάτω από τους πόλους. Σκοπός του πέδilu είναι να διαχέει τη ροή σε ένα μεγαλύτερο μέρος της περιφέρειας του δρομέα, από όσο καλύπτει ο κορμός του πυρήνα και να υποβαστάζει το τύλιγμα του πόλου.

Κατασκευάζονται από μονωμένα φύλλα σιδήρου, για την αποφυγή θερμάνσεων και απωλειών από τα ρεύματα *Faucault* (Φουκώ), τα οποία εμφανίζονται εδώ εξ αιτίας των διαταραχών του μαγνητικού πεδίου κατά τη λειτουργία της μηχανής. Υπενθυμίζουμε ότι τα ρεύματα *Faucault* (Φουκώ) ή δινορρεύματα είναι επαγωγικά ρεύματα τα οποία εμφανίζονται μέσα στη μάζα του υλικού σε μορφή κλειστών τροχιών (δινών) και προξενούν απώλειες.

4. Το **τύλιγμα του πόλου** αποτελείται από πολλές σπείρες χάλκινου μονωμένου σύρματος, οι οποίες, αφού λάβουν με τη βοήθεια καλουπιού τη μορφή του πυρήνα, τυλίγονται με βαμβακερή ταινία και βαφτίζονται σε μονωτικό βερνίκι. Τα άκρα του τυλίγματος μένουν ελεύθερα για την ηλεκτρική του σύνδεση. Το σύνολο των τυλιγμάτων των μαγνητικών πόλων ονομάζεται **τύλιγμα διέγερσης** της μηχανής.

Σε πολλές μηχανές Σ.Ρ. έχουμε δύο τυλίγματα σε κάθε πόλο, το καθένα ανεξάρτητο από το άλλο. Το ένα τύλιγμα, που αποτελείται από πολλές σπείρες με λεπτό σύρμα, ονομάζεται παράλληλο τύλιγμα, ενώ το άλλο που αποτελείται από λίγες σπείρες και χονδρό σύρμα, ονομάζεται τύλιγμα σειράς.

5. Τα **καλύμματα** (καπάκια) στερεώνονται με κοχλίες στο ζύγωμα και χρησιμεύουν για να στηρίζουν τον άξονα του δρομέα και τον ψηκτροφορέα και να προφυλάσσουν το εσωτερικό της μηχανής. Τα καλύμματα φέρουν ενσωματωμένο και από ένα έδρανο μέσω του οποίου στρέφεται ο άξονας του δρομέα.
6. Τον **ψηκτροφορέα** που είναι το σύστημα στο οποίο στερεώνονται οι ψηκτροθήκες. Ο ψηκτροφορέας στερεώνεται στο κάλυμμα της μηχανής το οποίο βρίσκεται από την πλευρά του συλλέκτη.

Η στερέωση γίνεται κατά τρόπο ώστε να είναι δυνατή η μετάθεση της θέσης επαφής των ψηκτρών πάνω στο συλλέκτη.

Ο ψηκτροφορέας αποτελείται από ένα **σιδερένιο δακτύλιο**, τους **βραχίονες** των ψηκτροθηκών και τις **ψηκτροθήκες**.

Στο σιδερένιο δακτύλιο στερεώνονται οι βραχίονες υποστήριξης των ψηκτροθηκών. Οι βραχίονες είναι δυο, τέσσερις ή περισσότεροι και είναι ηλεκτρικά μονωμένοι ως προς το σιδερένιο δακτύλιο. Στους βραχίονες στηρίζονται οι ψηκτροθήκες, δηλαδή μεταλλικές θήκες, μέσα στις οποίες τοποθετούνται οι ψήκτρες.

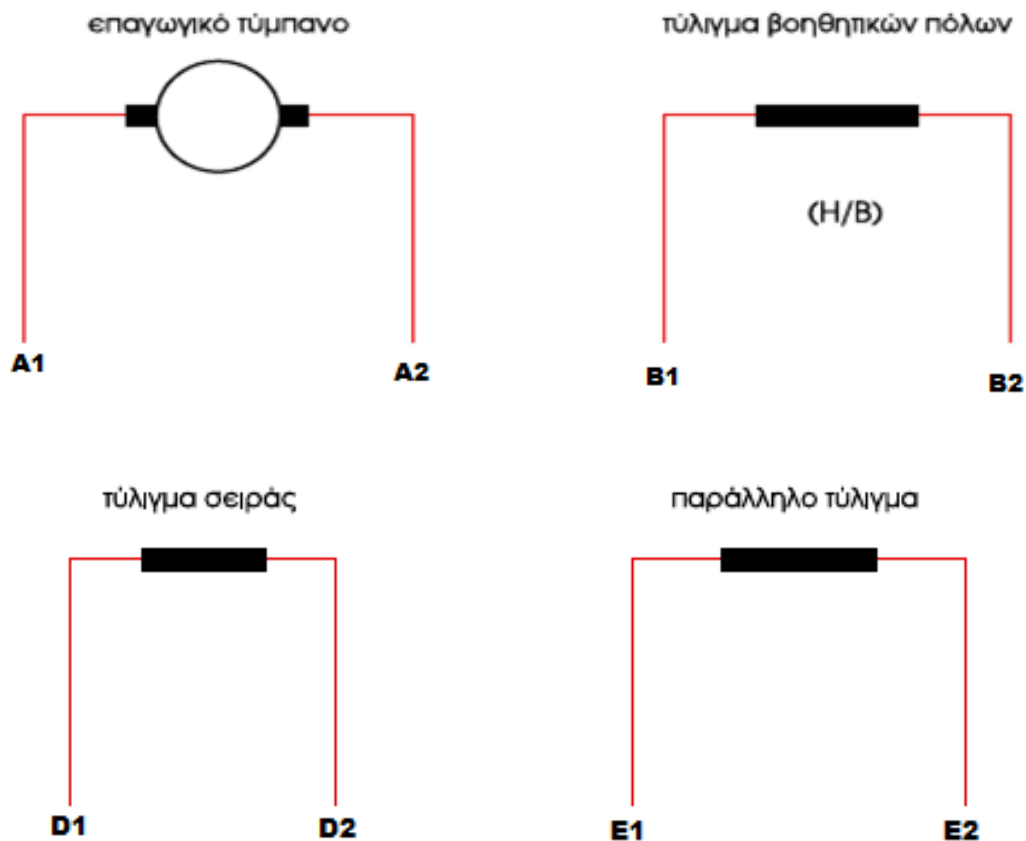
7. Τις **ψήκτρες** που είναι συνήθως τεμάχια από σκληρό άνθρακα ή γραφίτη ή από ένα μίγμα άνθρακα και χαλκού. Τοποθετούνται μέσα στις ψηκτροθήκες και πιέζονται από **ελατήριο**, ώστε να επιτυγχάνεται καλή επαφή με την επιφάνεια του συλλέκτη. Τα ελατήρια αυτά ρυθμίζονται έτσι, ώστε η πίεση που ασκεί η ψήκτρα στο συλλέκτη να μην είναι ούτε πολύ μεγάλη, ούτε πολύ μικρή. Αν η πίεση είναι μικρή, θα έχουμε κακή επαφή ψηκτρών και συλλέκτη, σπινθηρισμούς και κάψιμο του συλλέκτη. Αντίθετα, αν η πίεση είναι πολύ μεγάλη, θα έχουμε μεγάλη φθορά των ψηκτρών και υπερθέρμανση του συλλέκτη.

B) Δρομέας. Ο δρομέας αποτελείται από:

1. Τον **άξονα**, που φέρει το επαγωγικό τύμπανο, το συλλέκτη και τον ανεμιστήρα και στρέφεται πάντοτε μαζί με αυτά
2. Τον **πυρήνα** του επαγωγικού τυμπάνου, ο οποίος παρέχει μια οδό μικρής μαγνητικής αντίστασης για τη δίοδο των μαγνητικών γραμμών των πόλων και φέρει σε αυτό, το τύλιγμα του τυμπάνου. Κατασκευάζεται από πολλά μαγνητικά ελάσματα, τα οποία κάμπτονται σε ειδικές πρέσες. Τα μαγνητικά ελάσματα είναι μονωμένα μεταξύ τους, για να μειωθούν οι απώλειες λόγω δινορρευσμάτων.
3. Το **τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου**, το οποίο κατασκευάζεται από μονωμένο χάλκινο αγωγό κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής. Ο αγωγός κυκλικής διατομής χρησιμοποιείται κυρίως στις μηχανές μικρής ισχύος ή στις μηχανές υψηλής τάσης. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις προτιμάται ο αγωγός ορθογωνικής διατομής, διότι με αυτόν κατασκευάζονται σπείρες μεγαλύτερης αντοχής και γίνεται μεγαλύτερη εκμετάλλευση του χώρου των οδοντώσεων.
4. Το **συλλέκτη** που κατασκευάζεται από πολλά χάλκινα ελάσματα τα οποία ονομάζονται τομείς του συλλέκτη.
Για να αποφευχθεί βραχυκύκλωση των τομέων του συλλέκτη, τοποθετούνται μονώσεις μεταξύ τους και προς τις πλευρές των τεμαχίων συγκράτησης. Η μεταξύ τους μόνωση γίνεται με μίκα και φίμπερ.
Ο σκοπός του συλλέκτη είναι να παίρνει ή να μεταβιβάζει το ρεύμα (περίπτωση κινητήρα ή γεννήτριας).
5. Τον **ανεμιστήρα** που στερεώνεται στον άξονα και δημιουργεί κατά την περιστροφή του ρεύμα αέρα, που εισέρχεται στη μηχανή από το άνοιγμα του ενός καλύμματος και εξέρχεται από το άνοιγμα του άλλου καλύμματος.
6. Την **πλήμνη** που χρησιμοποιείται στις μηχανές μεγάλης σχετικά ισχύος, για να μειώσουμε το βάρος των μαγνητικών ελασμάτων, που στοιχίζουν ακριβά, αλλά και για να διευκολύνουμε την ψύξη του πυρήνα.

1.1.4) Τυποποίηση ακροδεκτών γεννητριών και κινητήρων Σ.Ρ.

Η τυποποίηση των ακροδεκτών τόσο των γεννητριών όσο και των κινητήρων είναι ακριβώς η ίδια. Σκοπός της τυποποίησης είναι να αναγνωρίζονται εύκολα οι ακροδέκτες της μηχανής που καταλήγουν εξωτερικά στο κουτί της (κιβώτιο ακροδεκτών). Στο σχήμα 1.3 απεικονίζεται η παλαιά τυποποίηση των ακροδεκτών σε παρένθεση, ενώ εκτός παρένθεσης η νέα.



Σχ. 1.3: Αναγνώριση ακροδεκτών μηχανών Σ.Ρ.

Όπως παρατηρούμε και στο σχήμα 1.3, οι ακροδέκτες του επαγωγίμου μέσω των ψηκτρών συμβολίζονται με τα γράμματα A_1 και A_2 και οι βοηθητικοί πόλοι συμβολίζονται με τα γράμματα B_1 και B_2 αντί του H/B που ίσχυε παλαιότερα.

Οι ακροδέκτες του τυλίγματος σειράς συμβολίζονται με D_1 και D_2 . Τέλος το παράλληλο τύλιγμα συμβολίζεται με E_1 και E_2 .

1.1.5) Είδη προστασίας κινητήρων.

Όταν πρόκειται να κατασκευάσουμε έναν κινητήρα, θα πρέπει για λόγους ασφάλειας να γνωρίζουμε και τις συνθήκες στις οποίες θα εργαστεί.

Πρέπει απαραιτήτως, κάθε φορά, να καθορίζουμε το είδος του περιβλήματός του, τον τρόπο στήριξής του, αλλά και τον τρόπο ψύξης των τυλιγμάτων του. Από το τελευταίο εξαρτάται η διαμόρφωση του περιβλήματος, ώστε να αποφεύγεται η εισχώρηση στο εσωτερικό του ξένων σωμάτων, σκόνης, νερού κ.λπ.

Έτσι, ανάλογα με το περίβλημα, διακρίνουμε τους παρακάτω τύπους κινητήρων:

1. κινητήρες με κοινό (ανοικτό) περίβλημα
2. κινητήρες με κλειστό περίβλημα
3. κινητήρες με τμήμα του περιβλήματος κλειστό
4. κινητήρες με ειδική μορφή περιβλήματος

► Συνθήκες λειτουργίας

Οι τυποποιημένοι κινητήρες μπορούν να εργασθούν στις παρακάτω συνθήκες σύμφωνα με τους Διεθνείς Κανονισμούς IEC 34-1. Βέβαια, κατόπιν ειδικής παραγγελίας, είναι δυνατή η κατασκευή κινητήρων που να ανταποκρίνονται σε διαφορετικές συνθήκες.

Υψόμετρο

Το υψόμετρο δεν πρέπει να ξεπερνά τα 1000m από την επιφάνεια της θάλασσας.

Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος και, συγκεκριμένα, η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου πρέπει να είναι έως 40°C.

Εάν ένας κινητήρας προορίζεται να εργασθεί σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 1000m, πρέπει αντίστοιχα η θερμοκρασία περιβάλλοντος να είναι μικρότερη των 40°C.

► Βαθμός προστασίας

Ο βαθμός προστασίας των περιστροφικών ηλεκτρικών μηχανών προδιαγράφεται από τους IEC 34-5, οι οποίοι μας ορίζουν:

1. **Την προστασία του ανθρώπου** έναντι επαφής με μέρη υπό τάση ή κινούμενα μέρη, εκτός από το άκρο του άξονα.
2. **Την προστασία της μηχανής** έναντι εισχώρησης ξένων στερεών σωμάτων.
3. **Την προστασία της μηχανής** έναντι εισχώρησης νερού.
4. **Τον κωδικοποιημένο χαρακτηρισμό** των διάφορων βαθμών προστασίας.
5. **Τις δοκιμές για την πιστοποίηση** του βαθμού προστασίας.

Οι προδιαγραφές αυτές δεν ορίζουν βαθμούς προστασίας έναντι μηχανικών βλαβών της μηχανής, ή έναντι συνθηκών υγρασίας (που έχει προέλθει π.χ. από συμπύκνωση), ή έναντι οξειδωτικών ατμών, ή μούχλας, ή ζουφίων. Επίσης οι προδιαγραφές αυτές δεν αναφέρονται σε προστασία για χρήση της μηχανής σε εκρηκτική ατμόσφαιρα.

Εξωτερικά περιφράγματα, τα οποία τοποθετούνται για την προστασία των ανθρώπων, δεν λαμβάνονται υπ' όψιν στο βαθμό προστασίας.

► Συμβολισμός

Ο κωδικός που χαρακτηρίζει το βαθμό προστασίας αποτελείται από τα γράμματα IP συνοδευόμενα από δυο χαρακτηριστικούς αριθμούς. Ο πρώτος χαρακτηριστικός αριθμός συμβολίζει την προστασία των ανθρώπων και την προστασία της μηχανής έναντι εισχώρησης ξένων στερεών σωμάτων. Ο δεύτερος χαρακτηριστικός αριθμός συμβολίζει την προστασία της μηχανής έναντι εισχώρησης νερού.

Οι πιο συνηθισμένοι βαθμοί προστασίας των ηλεκτροκινητήρων είναι οι εξής:

1) IP 23: Ο κινητήρας είναι εσωτερικά αεριζόμενος. Έχει προστασία έναντι επαφών με τα δάχτυλα και έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου μεγαλύτερης από 12mm. Έχει προστασία έναντι ραντισμού νερού υπό γωνία μικρότερη ή ίση των 60° από την κατακόρυφο.
2) IP 44: Ο κινητήρας είναι εξωτερικά αεριζόμενος. Έχει προστασία έναντι επαφών με εργαλεία, σύρματα και παρόμοια αντικείμενα καθώς και έναντι στερεών σωμάτων διαμέτρου μεγαλύτερης από 1mm. Έχει προστασία έναντι ψεκασμού νερού προς όλες τις κατευθύνσεις.
3) IP 54: Ο κινητήρας είναι εξωτερικά αεριζόμενος. Έχει πλήρη προστασία έναντι επαφών και προστασία έναντι σκόνης. Έναντι νερού έχει την ίδια προστασία όπως ο IP 44.
4) IP 55: Ο κινητήρας είναι εξωτερικά αεριζόμενος. Έχει την ίδια προστασία όπως ο IP 54 έναντι επαφών και ξένων σωμάτων. Έχει προστασία έναντι εκτόξευσης νερού από όλες τις κατευθύνσεις.

Όταν μας ενδιαφέρει να ορίσουμε το βαθμό προστασίας μόνο όσον αφορά στην προστασία έναντι νερού ή μόνο έναντι επαφών, ένας χαρακτηριστικός αριθμός αρκεί. Ο παραλειπόμενος αριθμός πρέπει να συμπληρωθεί με το γράμμα X, π.χ. IPX5 ή IP2X.

1.2) Είδη γεννητριών Σ.Ρ. και χαρακτηριστικά τους.

1.2.1) Αρχή λειτουργίας των Γεννητριών Σ.Ρ.

Για τη λειτουργία των ηλεκτρικών μηχανών απαιτούνται τρία είδη υλικών:

1. **ηλεκτρικοί αγωγοί**, για τη δίοδο του ρεύματος (κατά κανόνα χάλκινοι, σπανιότερα από αλουμίνιο, ορείχαλκο ή μπρούντζο).
2. **μονωτικά υλικά**, για την παρεμπόδιση διαρροής του ηλεκτρικού ρεύματος από τους αγωγούς (ελαστικό, συνθετικά υλικά, χαρτί εμποτισμένο σε μονωτικό βερνίκι).
3. **σίδηρος**, (σιδηροελάσματα) για την οδήγηση του μαγνητικού πεδίου

Με άλλα λόγια για να λειτουργήσει μια γεννήτρια πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω βασικές συνθήκες:

- 1) Να υπάρχει **μαγνητικό πεδίο (B)**.
- 2) Να υπάρχει **αγωγός** (ή πλαίσιο) εντός του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή, να υπάρχει τύλιγμα στη μηχανή.
- 3) Να υπάρχει σχετική **κίνηση του αγωγού** (ή πλαισίου) ως προς το μαγνητικό πεδίο ή **του πεδίου ως προς τον αγωγό**.

Αποτέλεσμα των παραπάνω συνθηκών είναι η ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικής δύναμης ($HEΔ$) στα άκρα αυτού του αγωγού (ή πλαισίου).

Αυτή η $HEΔ$ προέρχεται από επαγωγή και είναι ανάλογη:

1. της μαγνητικής επαγωγής (B) του ομογενούς μαγνητικού πεδίου,

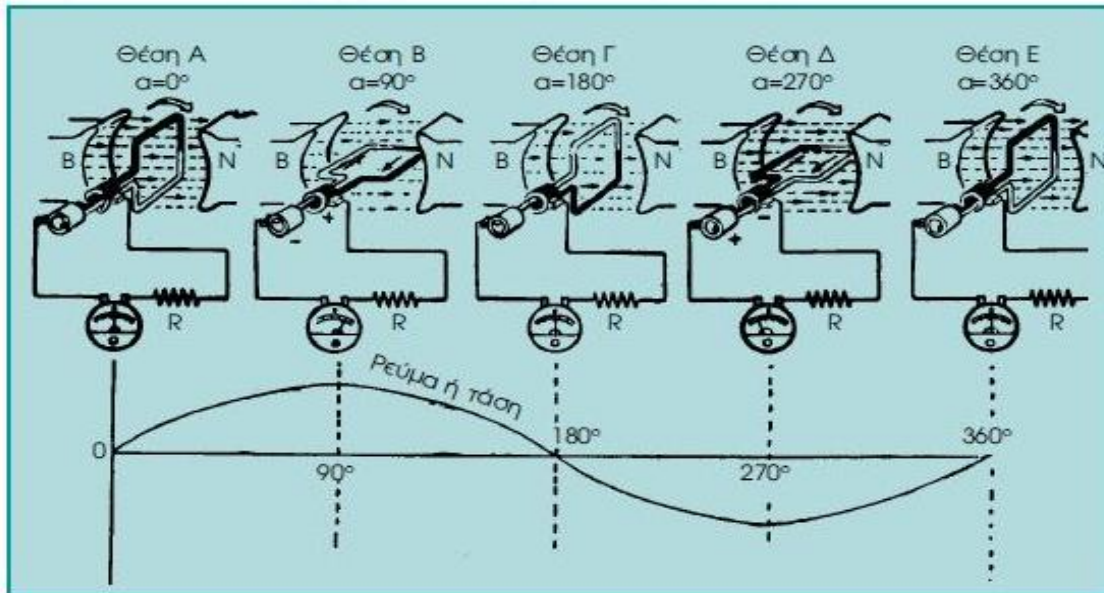
$$\text{(σε Tesla } 1T = 1 \frac{Vs}{m^2}\text{)}$$

2. του μήκους (l) του τμήματος του αγωγού το οποίο βρίσκεται υπό την επίδραση του μαγνητικού πεδίου (ενεργό μήκος σε m),
3. της ταχύτητας ($u = 2\pi r n$, όπου n : $στρ/s$) της μεταβολής της κίνησης του αγωγού (σε m/s),
4. του ημίτονου της γωνίας (α), η οποία σχηματίζεται μεταξύ των κατευθύνσεων της κίνησης και του μαγνητικού πεδίου.

Η σχέση που δίνει την $HEΔ$ είναι:

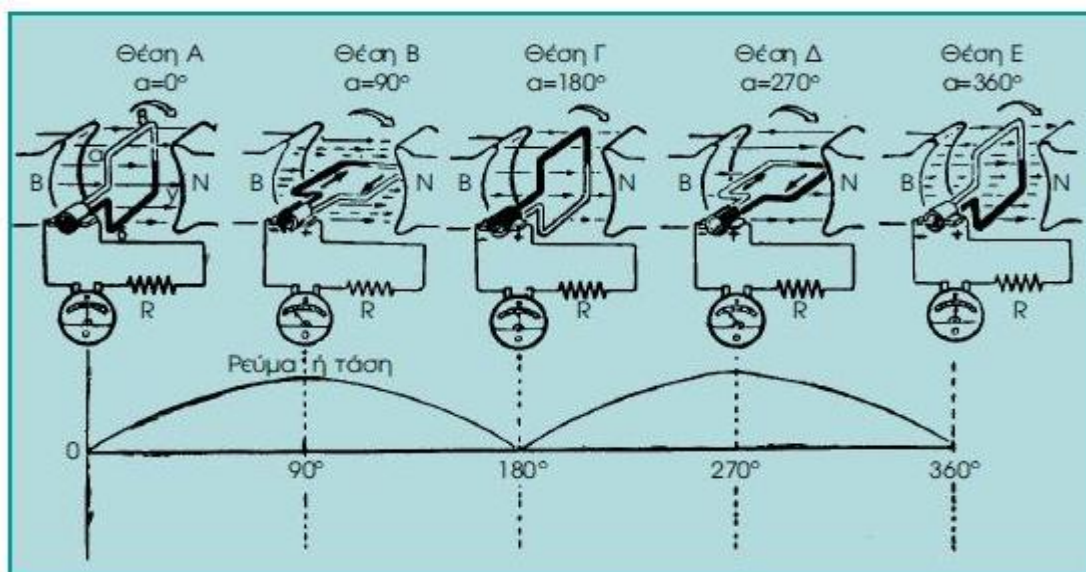
$$E = B l u \eta \mu \alpha \text{ (σε } V\text{)}$$

Στο σχήμα 1.4 φαίνεται η πορεία και τα στάδια της αναπτυσσόμενης από το πλαίσιο $HE\Delta$, καθώς αυτό στρέφεται σε σταθερό μαγνητικό πεδίο. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και η εναλλασσόμενη μορφή του παραγόμενου ρεύματος.



Σχ. 1.4: Πορεία της ανάπτυξης εναλλασσόμενης ΗΕΔ, σε πλαίσιο στρεφόμενο μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο.

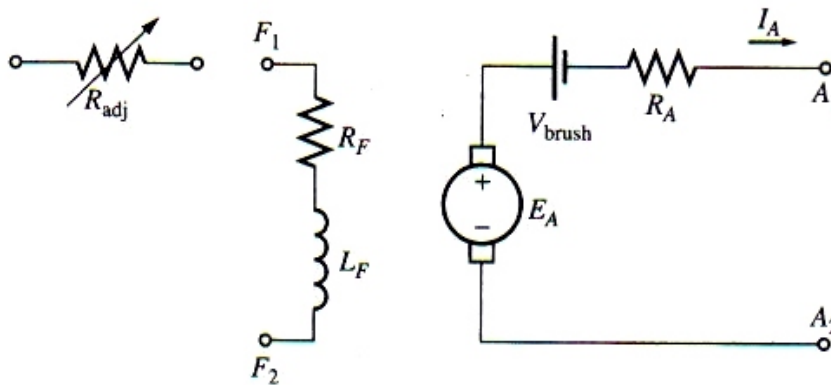
Στο σχήμα 1.5 φαίνεται η πορεία και τα στάδια της ανόρθωσης, δηλαδή, της μετατροπής του Ε.Ρ. σε Σ.Ρ. η οποία εκτελείται από το συλλέκτη.



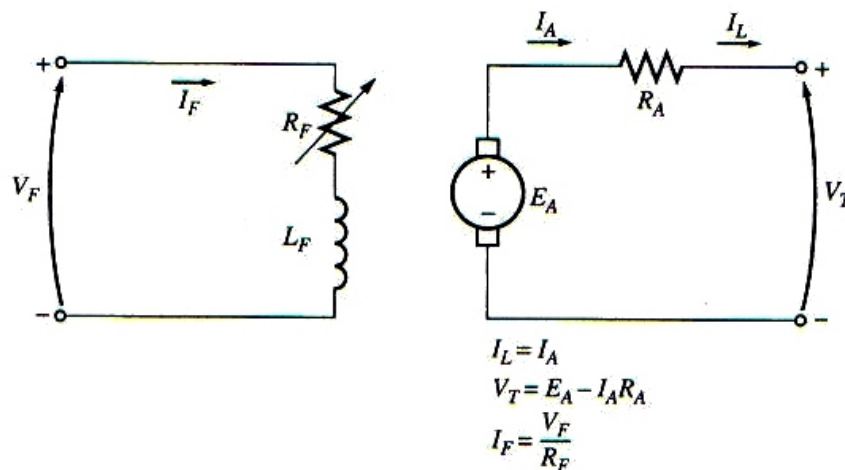
Σχ. 1.5: Ανορθωτική δράση του συλλέκτη.

1.2.2) Το ισοδύναμο κύκλωμα μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος.

Το ισοδύναμο κύκλωμα μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος παρουσιάζεται στο Σχ.1.6, και μια απλοποιημένη έκδοσή του παρουσιάζεται στο Σχ.1.7. Μοιάζουν με τα ισοδύναμα κυκλώματα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος, εκτός από ότι η κατεύθυνση ροής του ρεύματος και οι απώλειες ψηκτρών είναι αντίστροφες.



Σχ. 1.6: Το ισοδύναμο κύκλωμα μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος.



Σχ. 1.7: Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος, στο οποίο οι αντιστάσεις των τυλιγμάτων διέγερσης και η μεταβλητή αντίσταση συνδυάζονται στην τιμή της R_F .

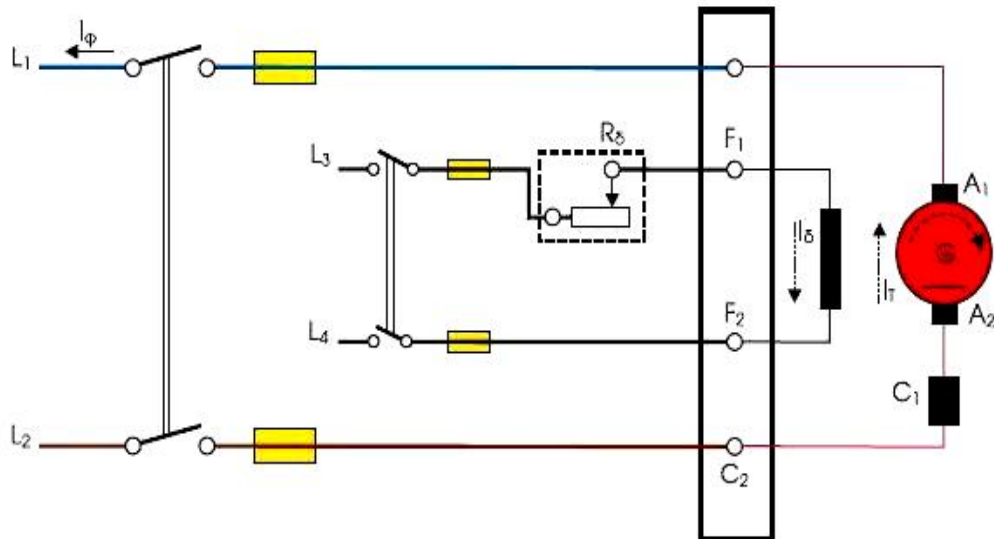
1.2.3) Είδη γεννητριών Συνεχούς Ρεύματος.

Τις γεννήτριες Σ.Ρ., ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο είναι συνδεδεμένο το τύλιγμα διέγερσής τους, τις διακρίνουμε σε τέσσερις κατηγορίες:

- γεννήτριες ξένης διέγερσης
- γεννήτριες παράλληλης διέγερσης
- γεννήτριες διέγερσης σειράς
- γεννήτριες σύνθετης διέγερσης.

1.2.4) Γεννήτριες ξένης διέγερσης.

Στις γεννήτριες αυτές το τύλιγμα διέγερσης τροφοδοτείται από μια ξένη πηγή (σχ.1.8).



Σχ. 1.8: Γεννήτρια ξένης διέγερσης.

Χρησιμοποιούνται εκεί όπου απαιτείται τάση εξόδου ικανή να μεταβάλλεται σε μεγάλα όρια, με τη βοήθεια της μεταβολής του ρεύματος διέγερσης. Χρησιμοποιούνται επίσης για την τροφοδότηση της διέγερσης των πολύ μεγάλων γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος και σε ορισμένες περιπτώσεις, για ηλεκτροσυγκολλήσεις.

Στις γεννήτριες ξένης διέγερσης, η **διακύμανση τάσης** είναι 5-10 %, όταν λειτουργούν με την ονομαστική τους ένταση διέγερσης και τις ονομαστικές τους στροφές. Διευκρινίζεται ότι η διακύμανση τάσης δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon\% = \frac{U_0 - U_N}{U_N} * 100\%$$

όπου U_0 : είναι η τάση της γεννήτριας όταν εργάζεται χωρίς φορτίο και

U_N : είναι η τάση της γεννήτριας όταν εργάζεται με το πλήρες φορτίο της, δηλαδή όταν δίνει την ισχύ για την οποία είναι κατασκευασμένη.

Χαρακτηριστική Φορτίου της Γεννήτριας Συνεχούς Ρεύματος Ξένης Διέγερσης.

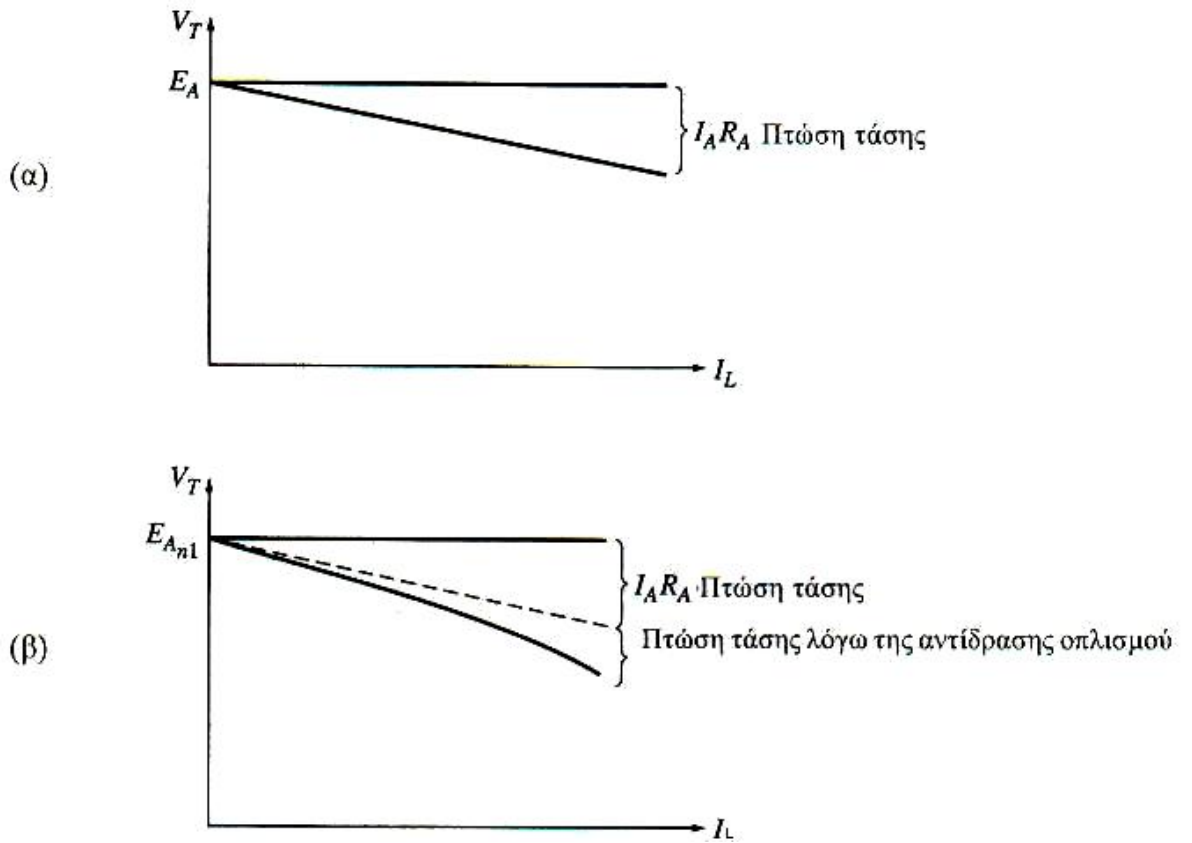
Χαρακτηριστική φορτίου μιας συσκευής ονομάζεται η γραφική παράσταση μεταξύ των ποσοτήτων εξόδου της συσκευής. Οι ποσότητες εξόδου μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος είναι η τάση στα άκρα της και το ρεύμα φορτίου. Έτσι, η χαρακτηριστική φορτίου μιας γεννήτριας ξένης διέγερσης είναι η γραφική παράσταση της V_T ως προς το I_L για μια σταθερή τιμή της ταχύτητας ω . Από το νόμο των τάσεων του Kirchhoff η τάση στα άκρα της γεννήτριας είναι

$$V_T = E_A - I_A R_A$$

Αφού η τάση που παράγεται στο εσωτερικό της γεννήτριας είναι ανεξάρτητη του ρεύματος I_A , η χαρακτηριστική φορτίου της γεννήτριας ξένης διέγερσης θα είναι μια ευθεία γραμμή, όπως φαίνεται στο Σχ.1.9α.

Τι συμβαίνει, όμως σε μια τέτοιου είδους γεννήτρια κατά την αύξηση του φορτίου; Με την αύξηση του φορτίου που τροφοδοτεί η γεννήτρια, προφανώς το I_L (δηλαδή το I_A) αυξάνεται. Η αύξηση του ρεύματος οπλισμού προκαλεί αύξηση της πτώσης τάσης $I_A R_A$ κι έτσι η τάση στα άκρα της γεννήτριας μειώνεται.

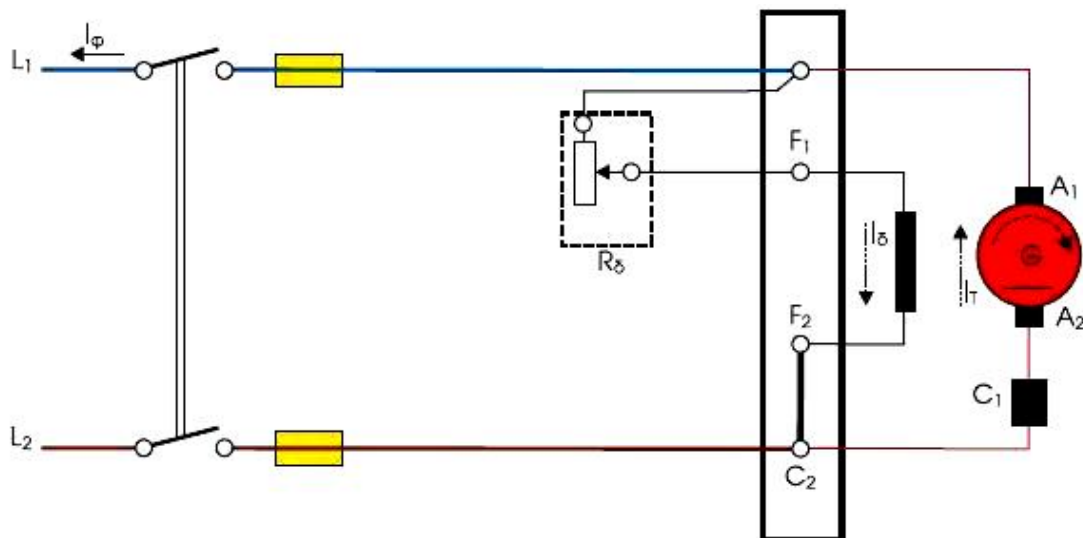
Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί εδώ ότι η παραπάνω χαρακτηριστική φορτίου δεν είναι πάντα ακριβής. Στις γεννήτριες που δεν διαθέτουν τυλίγμα αντιστάθμισης η αύξηση του ρεύματος οπλισμού προκαλεί αντίστοιχη αύξηση της αντίδρασης οπλισμού και αυτή με τη σειρά της εξασθένηση της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό τους. Αυτή η εξασθένηση μειώνει την $E_A = K\Phi \downarrow \omega$, πράγμα που σημαίνει αντίστοιχη μείωση της τάσης στα άκρα της γεννήτριας. Έτσι η χαρακτηριστική φορτίου παίρνει τη μορφή του Σχ.1.9β. Στις γραφικές παραστάσεις που σχεδιάζονται παρακάτω θα θεωρηθεί ότι οι γεννήτριες διαθέτουν αντισταθμιστικά τυλίγματα, εκτός και αν σημειωθεί το αντίθετο. Είναι όμως πολύ σημαντικό να κατανοηθεί το γεγονός ότι η αντίδραση οπλισμού παραμορφώνει τις χαρακτηριστικές φορτίου των γεννητριών που δεν διαθέτουν αντισταθμιστικά τυλίγματα.



Σχ. 1.9: Η χαρακτηριστική φορτίου μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος ξένης διέγερσης. (α) που διαθέτει και (β) που δε διαθέτει τυλίγματα αντιστάθμισης.

1.2.5) Γεννήτριες παράλληλης διέγερσης.

Οι γεννήτριες παράλληλης διέγερσης ή γεννήτριες διακλάδωσης (σχ.1.10) είναι αυτοδιεγειρόμενες μηχανές.



Σχ. 1.10: Γεννήτρια παρράλληλης διέγερσης.

Για την αυτοδιέγερση χρησιμοποιούν τη μαγνητική ροή του παραμένουτος στους πυρήνες των πόλων μαγνητισμού. Ως τιμή της μαγνητικής ροής του παραμένουτος μαγνητισμού λαμβάνεται συνήθως το 2-8% της τιμής της μαγνητικής ροής που απαιτείται για την κανονική λειτουργία.

Το τυλίγμα διέγερσης που αποτελείται από μεγάλο αριθμό σπειρών, συνδέεται παράλληλα προς το εξωτερικό φορτίο και προς το επαγωγικό τύμπανο, γι' αυτό οι γεννήτριες αυτές ονομάζονται γεννήτριες παράλληλης διέγερσης.

Κατά τη συνδεσμολογία της μηχανής, ιδιαίτερη προσοχή δίδεται στο κύκλωμα διέγερσης.

Είναι απαραίτητο κατά την τροφοδότηση του τυλίγματος διέγερσης, να ενισχύεται το μαγνητικό πεδίο των πόλων και όχι να εξασθενεί, διότι η μηχανή θα πάψει να αυτοδιεγείρεται.

► Επομένως, τα πηνία των πόλων (πηνία διέγερσης) πρέπει να εξασφαλίζουν μαγνητικό πεδίο όμοιας πολικότητας προς εκείνο του παραμένουτος στον πυρήνα μαγνητισμού. Λόγω του μαγνητισμού αυτού παράγεται στη γεννήτρια μια αρχική τάση εξόδου. Η τάση αυτή χρησιμοποιείται για τη διέλευση του ρεύματος μέσα από τα τυλίγματα του πεδίου. Το ρεύμα αυτό, αυξάνει την ένταση του μαγνητικού πεδίου και στη συνέχεια αυξάνει και την παρεχόμενη τάση εξόδου. Η αύξηση αυτής της τάσης φτάνει μια μέγιστη τιμή που εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής, τις σπείρες του επαγωγίμου και τις σπείρες των μαγνητικών πόλων. Στις γεννήτριες με παράλληλη διέγερση επιτρέπεται η ανάπτυξη της πλήρους τάσης εξόδου, πριν συνδέσουμε σ' αυτές το φορτίο.

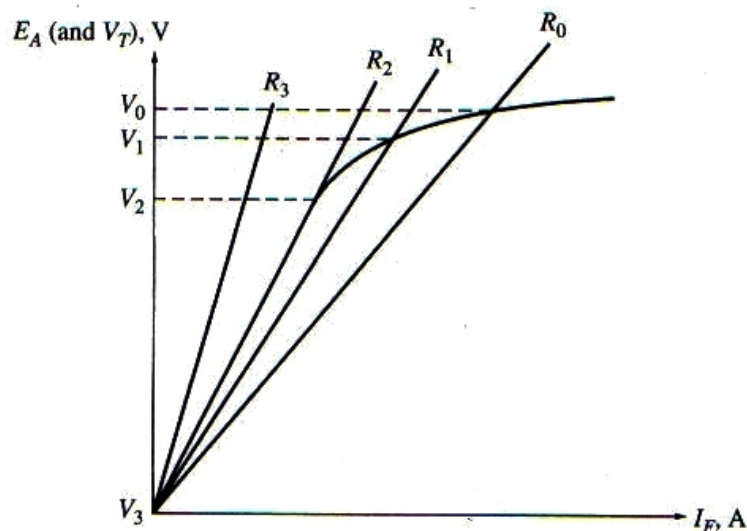
Στις γεννήτριες παράλληλης διέγερσης, η διακύμανση της τάσης είναι μικρή, αλλά οπωσδήποτε μεγαλύτερη από αυτή των γεννητριών ξένης διέγερσης. Αυτό συμβαίνει, διότι με τη φόρτιση της μηχανής ελαττώνεται η ένταση διέγερσης στις γεννήτριες παράλληλης διέγερσης, ενώ στις γεννήτριες ξένης διέγερσης η ένταση διέγερσης παραμένει σταθερή. Φυσικά μπορούμε να ελαττώσουμε τη διακύμανση τάσης πολύ ή ακόμη και να τη μηδενίσουμε σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν μεταβάλλουμε κατάλληλα τη ρυθμιστική αντίσταση διέγερσης.

Εάν η γεννήτρια εξακολουθήσει να φορτίζεται πέραν του ονομαστικού της φορτίου, θα παρουσιάσει σημαντικά μεγαλύτερη και συνεχώς αυξανόμενη πτώση τάσης.

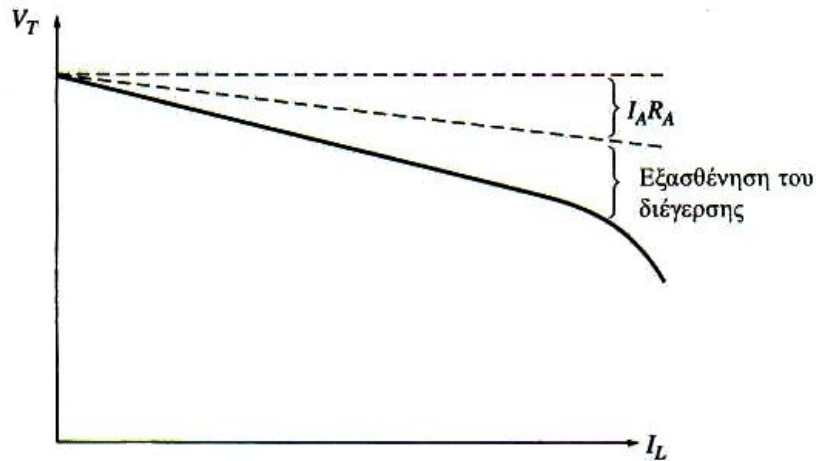
Χαρακτηριστική Φορτίου της Γεννήτριας Συνεχούς Ρεύματος Παράλληλης Διέγερσης.

Η χαρακτηριστική φορτίου μιας γεννήτριας παράλληλης διέγερσης διαφέρει απ' αυτή της γεννήτριας ξένης διέγερσης, επειδή η τιμή του ρεύματος διέγερσής της εξαρτάται άμεσα από την τάση στα άκρα της μηχανής. Για την καλύτερη κατανόηση της χαρακτηριστικής φορτίου μιας τέτοιας γεννήτριας ας υποθεθεί ότι η μηχανή είναι αρχικά αφόρτιστη και ότι με αργό ρυθμό προστίθενται κάποια φορτία στα άκρα της.

Καθώς το φορτίο της γεννήτριας αυξάνεται, το I_L αυξάνεται και μαζί μ' αυτό, το $I_A = I_L + I_F$ αυξάνεται επίσης. Κάθε αύξηση του I_A σημαίνει αύξηση της πτώσης τάσης $I_A R_A$ στην αντίσταση οπλισμού της γεννήτριας, πράγμα που προκαλεί μείωση στην τάση $V_T = E_A - I_A R_A$. Ως εδώ, η συμπεριφορά της γεννήτριας παράλληλης διέγερσης είναι ακριβώς η ίδια μ' αυτή της γεννήτριας ξένης διέγερσης. Τώρα όμως, η μείωση της V_T ελαττώνει και την τιμή του ρεύματος διέγερσης. Το γεγονός αυτό προκαλεί μείωση της μαγνητικής ροής στην μηχανή και κατ' επέκταση μείωση της E_A . Τελικά η μείωση της E_A επιβάλλει παραπέρα μείωση της τάσης στα άκρα της γεννήτριας ($V_T = E_A - I_A R_A$). Η χαρακτηριστική φορτίου που προκύπτει, φαίνεται στο Σχ.1.12. Ας σημειωθεί ότι η σταδιακή μείωση της τάσης εξόδου είναι πιο απότομη από την απλή πτώση τάσης $I_A R_A$ που εμφανίζεται στις γεννήτριες ξένης διέγερσης. Μ' άλλα λόγια η διακύμανση τάσης εδώ είναι χειρότερη (μεγαλύτερη) από τη διακύμανση τάσης μιας γεννήτριας ξένης διέγερσης (υποτίθεται βέβαια ότι οι δυο γεννήτριες διακρίνονται για την ίδια τιμή της ταχύτητας και της αντίστασης διέγερσης).



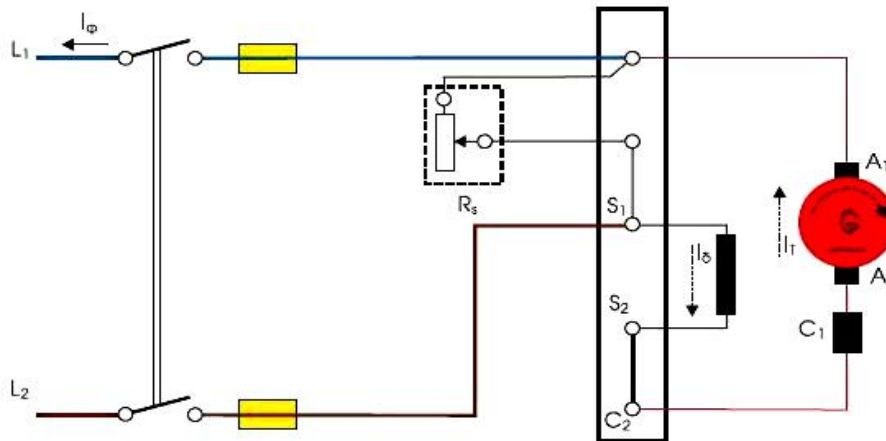
Σχ. 1.11: Μεταβολή της αντίστασης διέγερσης μιας γεννήτριας παράλληλης διέγερσης. Φαίνονται οι επιπτώσεις της μεταβολής στην τάση εξόδου κατά την λειτουργία χωρίς φορτίο. Αν ισχύει $R_F > R_2$ (η R_2 είναι η κρίσιμη αντίσταση), η γεννήτρια δεν αυτοδιεγείρεται.



Σχ. 1.12: Η χαρακτηριστική φορτίου μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος παράλληλης διεγερσης.

1.2.6) Γεννήτριες διεγερσης σειράς.

Οι γεννήτριες διεγερσης σειράς είναι αυτοδιεγειρόμενες μηχανές, όπως και οι γεννήτριες παράλληλης διεγερσης. Ονομάζονται γεννήτριες διεγερσης σειράς διότι το τύλιγμα διεγερσής τους συνδέεται σε σειρά με το φορτίο της μηχανής (σχ. 1.13).



Σχ. 1.13: Γεννήτρια διεγερσης σειράς.

Η αυτοδιέγερσή τους επιτυγχάνεται, όπως και στις γεννήτριες παράλληλης διεγερσης, με τη διαφορά ότι, στις γεννήτριες διεγερσης σειράς το φορτίο πρέπει να είναι συνδεδεμένο μόνιμα στη μηχανή, ώστε να υπάρξει η δυνατότητα της κυκλοφορίας του ρεύματος διεγερσης στο τύλιγμα των πόλων. Είναι αυτονόητο ότι το ρεύμα φόρτισης είναι και ρεύμα διεγερσης, οπότε το τύλιγμα της διεγερσης θα πρέπει να κατασκευάζεται από σύρμα μεγάλης διατομής και μικρού αριθμού σπειρών.

Όταν μεταβάλλεται το φορτίο, μεταβάλλεται η πτώση τάσης στα άκρα του τυλίγματος διεγερσης. Αυτή η πτώση τάσης έχει ως συνέπεια τη μεταβολή της πολικής τάσης.

Συμπέρασμα

Οι γεννήτριες σειράς δεν παρουσιάζουν σταθερότητα τάσης, σε αντίθεση με τις γεννήτριες ξένης και παράλληλης διέγερσης.

Έτσι οι γεννήτριες σειράς δε χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση δικτύων με μεταβλητό φορτίο (φωτισμός, κίνηση) και έχουν μόνο περιορισμένες και ειδικές εφαρμογές. Η σπουδαιότερη εφαρμογή είναι η χρησιμοποίησή τους σε δίκτυα μεγάλου μήκους, όπως τα δίκτυα έλξης, όπου η αύξηση του φορτίου εμφανίζει μεγάλες πτώσεις τάσης στις γραμμές μεταφοράς.

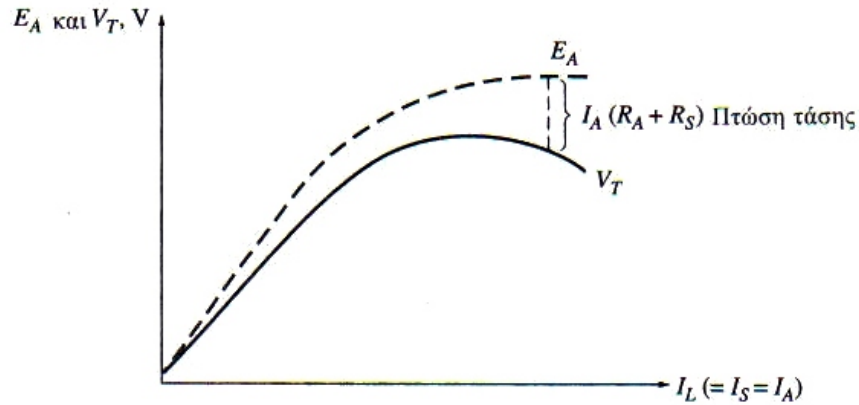
Η γεννήτρια σειράς τοποθετείται κατά μήκος της γραμμής έτσι ώστε, όταν αυξάνει το φορτίο, αυξάνει η παραγόμενη από αυτήν τάση, η οποία αντισταθμίζει τις πτώσεις τάσης στις γραμμές.

Μια άλλη εφαρμογή των γεννητριών αυτών είναι στις ηλεκτροσυγκολλήσεις (όπου το ρεύμα πρέπει να είναι σταθερό, παρά τις μεγάλες διακυμάνσεις τάσης, οι οποίες προκαλούνται από το ηλεκτρικό τόξο), για να έχουμε την ίδια ανάπτυξη θερμότητας RI^2 και επομένως καλές συγκολλήσεις.

Χαρακτηριστική Φορτίου της Γεννήτριας Συνεχούς Ρεύματος Διέγερσης Σειράς.

Η καμπύλη μαγνήτισης μιας γεννήτριας με διέγερσης σειράς μοιάζει με τις αντίστοιχες καμπύλες όλων των άλλων γεννητριών. Όμως, στη λειτουργία χωρίς φορτίο το ρεύμα διέγερσης είναι μηδενικό και η τάση στα άκρα της γεννήτριας περιορίζεται σε μια μικρή τιμή που δίνεται από την παραμένουσα μαγνήτιση. Με την αύξηση του φορτίου το ρεύμα διέγερσης παίρνει μεγαλύτερες τιμές και η E_A αυξάνεται με γρήγορο ρυθμό. Αυτή η αύξηση της E_A στην αρχή είναι πιο μεγάλη από την αύξηση της πτώση τάσης $I_A(R_A + R_S)$ πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της V_T . Κατόπιν, όταν η μηχανή πλησιάζει τον κορεσμό, η E_A γίνεται σχεδόν σταθερή. Σ' αυτό το σημείο η πτώση τάσης $I_A(R_A + R_S)$ αρχίζει να γίνεται μεγαλύτερη από την E_A (σε απόλυτη τιμή) κι έτσι η V_T αρχίζει να ελαττώνεται.

Η παραπάνω χαρακτηριστική φαίνεται στο Σχ.1.14. Προφανώς, μια τέτοια μηχανή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή σταθερής τάσης. Εξάλλου η διακύμανση τάσης έχει εδώ μεγάλη αρνητική τιμή.

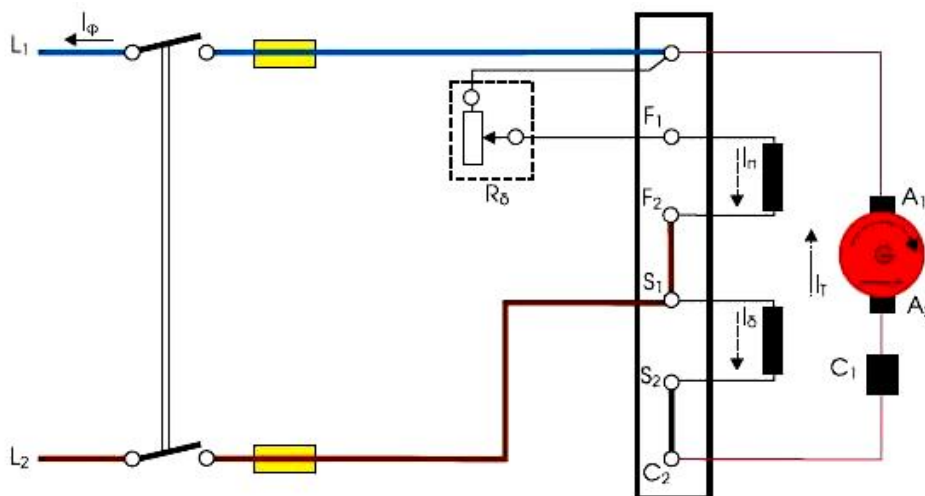


Σχ. 1.14: Υπολογισμός της χαρακτηριστικής φορτίου μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος με διέγερσης σειράς.

Οι γεννήτριες με διέγερσης σειράς έχουν μόνο λίγες ειδικές εφαρμογές στις οποίες είναι εκμεταλλεύσιμη η απότομη χαρακτηριστική φορτίου της μηχανής. Οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροσυγκόλληση έχουν σκόπιμα μεγάλη αντίδραση οπλισμού, ώστε να παρουσιάζουν χαρακτηριστική φορτίου όμοια μ' αυτή του Σχ.1.14. Όταν, πριν γίνει η συγκόλληση, τα ηλεκτρόδια ενώνονται μεταξύ τους, εμφανίζεται ένα πολύ μεγάλο ρεύμα. Μετά τη απομάκρυνση των ηλεκτροδίων η τάση της γεννήτριας αυξάνεται πάρα πολύ σύντομα, ενώ το ρεύμα της παραμένει υψηλό. Αυτή η μεγάλη τάση συντηρεί μεταξύ των ηλεκτροδίων το ηλεκτρικό τόξο που χρησιμοποιείται για την συγκόλληση των μετάλλων.

1.2.7) Γεννήτριες αθροιστικής σύνθετης διέγερσης.

Ονομάζονται γεννήτριες αθροιστικής σύνθετης διέγερσης, διότι το τύλιγμα διέγερσης αποτελείται από τύλιγμα σειράς και από παράλληλο τύλιγμα (σχ. 1.15).



Σχ. 1.15: Γεννήτρια (αθροιστικής) σύνθετης διέγερσης.

Το τύλιγμα σειράς είναι δυνατό να συνδεθεί κατά δυο τρόπους:

1ος Τρόπος: Το τύλιγμα σειράς συνδέεται έτσι ώστε να ενισχύεται το μαγνητικό πεδίο που προκαλείται από το παράλληλο τύλιγμα. Με αυτή τη σύνδεση, οι γεννήτριες παρουσιάζουν μικρή μεταβολή της τάσης, όταν μεταβάλλεται το φορτίο. Χαρακτηρίζονται ως γεννήτριες με **υπερσύνθετη** ή με **αθροιστική σύνθετη διέγερση**.

Λόγω αυτής της ιδιαιτερότητας, οι γεννήτριες αυτές είναι κατάλληλες για την τροφοδότηση δικτύων μεταβαλλόμενου φορτίου, τα οποία παρουσιάζουν μεγάλες πτώσεις τάσης (δίκτυα μεγάλου μήκους), όπως είναι τα δίκτυα κίνησης, έλξης κ.λπ. Το πλεονέκτημα των γεννητριών αυτών είναι ότι προσφέρουν μεγάλο ρεύμα βραχυκύκλωσης.

2ος Τρόπος: Το τύλιγμα σειράς συνδέεται κατά τρόπο τέτοιο ώστε να εξασθενεί το μαγνητικό πεδίο, (αλλαγή σύνδεσης του S_1-S_2) που προκαλείται από το παράλληλο τύλιγμα. Αυτή η σύνδεση καλείται σύνδεση σε αντίζευξη. Οι γεννήτριες αυτές ονομάζονται γεννήτριες με **διαφορική σύνθετη διέγερση**. Με αυτή τη σύνδεση οι γεννήτριες παρουσιάζουν μεγάλη πτώση τάσης και μικρό ρεύμα βραχυκύκλωσης. Λόγω αυτής της ιδιότητας, οι γεννήτριες αυτές χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση συσκευών στις οποίες το βραχυκύκλωμα είναι σύνηθες, όπως π.χ. στις συσκευές ηλεκτροσυγκόλλησης - βολταϊκού τόξου κ.λπ.

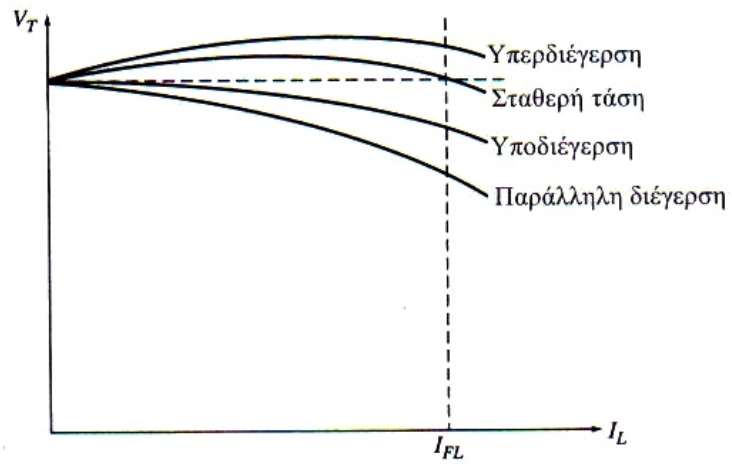
Χαρακτηριστική Φορτίου της Γεννήτριας Συνεχούς Ρεύματος Αθροιστικής Σύνθετης Διέγερσης.

Για την καλύτερη κατανόηση της χαρακτηριστικής φορτίου των γεννητριών αυτού του είδους είναι απαραίτητη η παράθεση των φαινομένων που συναγωνίζονται μεταξύ τους κατά την λειτουργία της γεννήτριας.

Ας υποθεθεί ότι το φορτίο της γεννήτριας αυξάνεται. Μαζί μ' αυτό αυξάνεται και το ρεύμα φορτίου I_L . Αφού ισχύει $I_A = I_L + I_F \uparrow$, το ρεύμα οπλισμού I_A θα αυξηθεί. Έτσι, στη γεννήτρια εμφανίζονται ταυτόχρονα τα δυο παρακάτω φαινόμενα:

- Η αύξηση του ρεύματος I_A προκαλεί αύξηση της πτώσης τάσης $I_A(R_A + R_S)$. Το γεγονός αυτό τείνει να μειώσει την τάση στα άκρα της γεννήτριας $V_T = E_A - I_A \uparrow (R_A + R_S)$
- Η αύξηση του ρεύματος I_A προκαλεί αντίστοιχη αύξηση στη μαγνητεγερτική δύναμη του τυλίγματος διέγερσης σειράς ($\mathcal{G}_{SE} = NseI_A$). Έτσι, η συνολική μαγνητεγερτική δύναμη $\mathcal{G}_{tot} = N_F I_F + NseI_A$ αυξάνεται και μαζί της αυξάνεται η μαγνητική ροή στη γεννήτρια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της E_A , πράγμα που κάνει τη $V_T = E_A - I_A \uparrow (R_A + R_S)$ να αυξάνεται.

Όλα τα παραπάνω είδη χαρακτηριστικών φορτίου φαίνονται στο Σχ. 1.16



Σχ. 1.16: Χαρακτηριστικές φορτίου γεννητριών συνεχούς ρεύματος αθροιστικής σύνθετης διέγερσης.

1.3) Είδη κινητήρων Σ.Ρ. και χαρακτηριστικά τους.

1.3.1) Αρχή λειτουργίας των κινητήρων Σ.Ρ.

Όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, αναπτύσσεται σ' αυτόν από το μαγνητικό πεδίο δύναμη που τείνει να τον κινήσει προς ορισμένη κατεύθυνση.

Η δύναμη αυτή είναι η συνισταμένη των δυνάμεων *Laplace*, στις οποίες υπόκεινται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, τα οποία κινούνται μέσα στον αγωγό.

Το μέγεθος της δύναμης αυτής είναι ανάλογο προς:

- 1) τη μαγνητική επαγωγή (B) του πεδίου (σε T)
- 2) την ένταση του ρεύματος (I), που διαρρέει τον αγωγό (σε A)
- 3) το μήκος του αγωγού (l), ο οποίος βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο (ενεργό μήκος σε m)
- 4) τη γωνία (α), την οποία σχηματίζουν οι διευθύνσεις του αγωγού και του πεδίου.

Το μέτρο της δύναμης (F) που ασκείται στον αγωγό δίνεται από τη σχέση:

$$F = BIl\eta\mu\alpha \text{ (σε N)}$$

1.3.2) Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος φαίνεται στο Σχ. 1.17-α. Τα κύκλωμα οπλισμού παριστάνεται με μια ιδανική πηγή τάσης E_A και μια αντίσταση R_A . Στην ουσία πρόκειται για το ισοδύναμο *Thevenin* της συνολικής δομής του δρομέα, που περιλαμβάνει τους αγωγούς του δρομέα, τους βοηθητικούς πόλους και το τύλιγμα αντιστάθμισης, αν υπάρχει. Η πτώση τάσης V_{brush} στις ψήκτρες παρουσιάζεται με μια μικρή πηγή συνεχούς τάσης που έχει πολικότητα αντίθετη προς το ρεύμα του δρομέα της μηχανής. Τα τυλίγματα της διέγερσης, που παράγουν την κύρια μαγνητική ροή του κινητήρα παρουσιάζονται με την αυτεπαγωγή L_F και την αντίσταση R_F . Η αντίσταση R_{adj} παρουσιάζει την εξωτερική μεταβλητή αντίσταση που χρησιμοποιείται για την ρύθμιση της ποσότητας του ρεύματος της διέγερσης.

Σ' αυτό το κύκλωμα μπορούν να γίνουν κάποιες απλοποιήσεις. Η πτώση τάσης στις ψήκτρες είναι πολύ μικρό κλάσμα της παραγόμενης τάσης στα άκρα του κινητήρα. Έτσι, σε περιπτώσεις που δεν είναι σημαντική, μπορεί να παραλειφθεί ή να περιληφθεί προσεγγιστικά

στην τιμή της R_A . Η εσωτερική αντίσταση των αγωγών διέγερσης μπορεί επίσης να συμπεριληφθεί στην τιμή της μεταβλητής αντίστασης R_{adj} , οπότε η συνολική τιμή των δύο αντιστάσεων συμβολίζεται με R_F (βλ. Σχ. 1.17-β). Μια ακόμη παραλλαγή του ισοδύναμου κυκλώματος περιλαμβάνει όλους τους αγωγούς διέγερσης του κινητήρα.

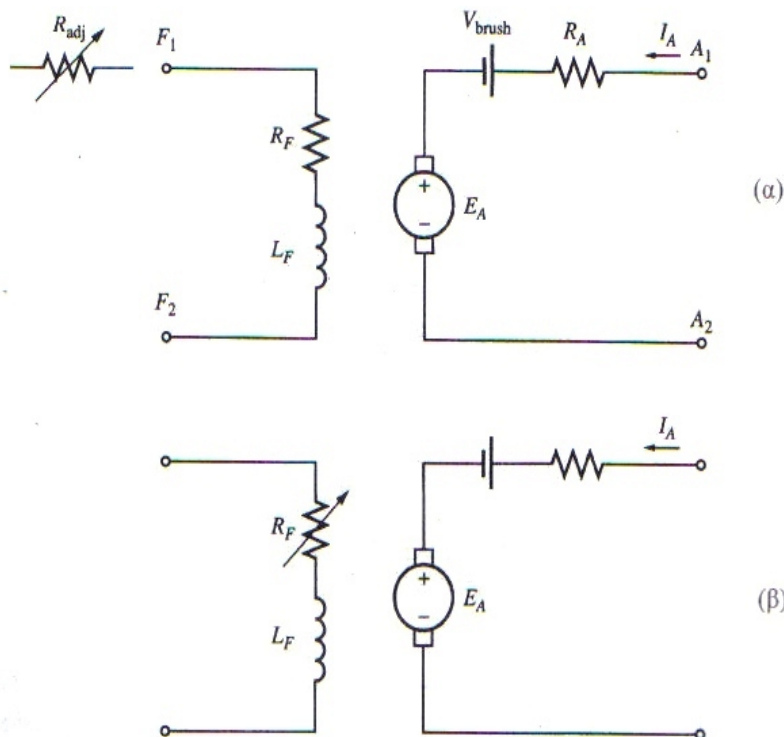
Η τάση εξ επαγωγής που αναπτύσσεται στο εσωτερικό της μηχανής δίνεται από την εξίσωση

$$E_A = K\Phi \omega$$

Ενώ η επαγόμενη ροπή στον άξονα της δίνεται από την

$$t_{ind} = K\Phi I_A$$

Οι δύο παραπάνω εξισώσεις, ο νόμος των τάσεων του *Kirchhoff* για το κύκλωμα οπλισμού και η καμπύλη μαγνήτισης της μηχανής αποτελούν τα απαραίτητα εργαλεία για την ανάλυση της συμπεριφοράς ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος.



Σχ. 1.17: (α) Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος (β) Το απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα του κινητήρα. Εδώ η πτώση τάσης στις ψήκτρες δε λαμβάνεται υπόψη και η R_{adj} υπολογίζεται μαζί με την αντίσταση διέγερσης.

1.3.3) Είδη κινητήρων Σ.Ρ.

Τέσσερις είναι οι βασικές κατηγορίες κινητήρων συνεχούς ρεύματος:

- Κινητήρας συνεχούς ρεύματος με μόνιμους μαγνήτες
- Κινητήρας συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης και παράλληλης διέγερσης
- Κινητήρας συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς
- Κινητήρας συνεχούς ρεύματος αθροιστικής σύνθετης διέγερσης

1.3.4) Κινητήρες συνεχούς ρεύματος με μόνιμους μαγνήτες.

Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος με μόνιμους μαγνήτες διαθέτει κύριους πόλους κατασκευασμένους από μόνιμους μαγνήτες. Τέτοιου είδους κινητήρες σε μερικές εφαρμογές παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με τους κινητήρες παράλληλης διέγερσης. Επειδή αυτοί οι κινητήρες λειτουργούν χωρίς ρεύμα διέγερσης, δεν παρουσιάζουν απώλειες χαλκού στο τύλιγμα της διέγερσης, όπως οι κινητήρες παράλληλης διέγερσης. Ακόμη, αφού δε διαθέτουν τυλίγματα διέγερσης, είναι δυνατό να έχουν μικρότερο μέγεθος από τους αντίστοιχους κινητήρες παράλληλης διέγερσης. Οι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες συναντώνται πολύ συχνά σε μικρά μεγέθη με ονομαστική ισχύ ίση με κλάσμα του ίππου, όπου το κόστος και ο χώρος για ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης δεν μπορεί να εξασφαλιστεί.

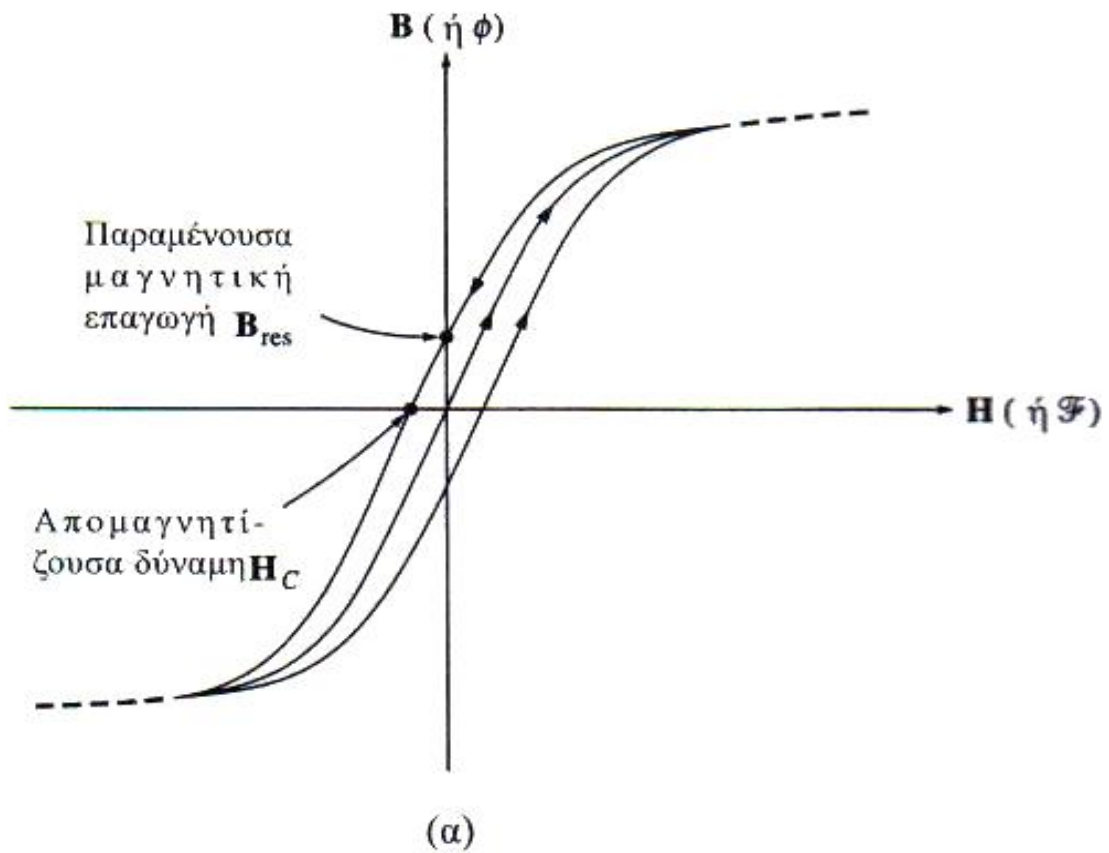
Όμως, αυτοί οι κινητήρες παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα. Οι μόνιμοι μαγνήτες δεν είναι δυνατό να παράγουν τόσο μεγάλη μαγνητική επαγωγή, όσο ένα ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης και έτσι ο κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες παρουσιάζει μικρότερη επαγόμενη ροπή τ_{ind} ανά μονάδα ρεύματος οπλισμού I_A από τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης που έχει το ίδιο μέγεθος και την ίδια δομή. Επίσης, αυτοί οι κινητήρες παρουσιάζουν τον κίνδυνο της απομαγνήτισης. Το ρεύμα οπλισμού I_A στις μηχανές συνεχούς ρεύματος παράγει κάποιο δικό του μαγνητικό πεδίο. Η μαγνητεγερτική δύναμη του οπλισμού αφαιρείται από την μαγνητεγερτική δύναμη των πόλων σε κάποια σημεία κάτω από τα πέλματα των πόλων και προστίθεται στη μαγνητεγερτική δύναμη των πόλων σε κάποια άλλα σημεία κάτω από τα πέλματα των πόλων μειώνοντας τη συνολική μαγνητική ροή στο εσωτερικό της μηχανής. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται *αντίδραση οπλισμού*, Σ' έναν κινητήρα με μόνιμους μαγνήτες η μαγνητική ροή των πόλων είναι ίση με την παραμένουσα ροή των μαγνητών. Αν το ρεύμα οπλισμού γίνει πολύ μεγάλο, υπάρχει μια πιθανότητα η μαγνητεγερτική δύναμη του οπλισμού να απομαγνήτισει τους πόλους, μειώνοντας μόνιμα ή αντιστρέφοντας το μαγνητικό πεδίο τους, Η απομαγνήτιση μπορεί, επίσης, να συμβεί μετά

από υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια παρατεταμένων υπερφορτίσεων.

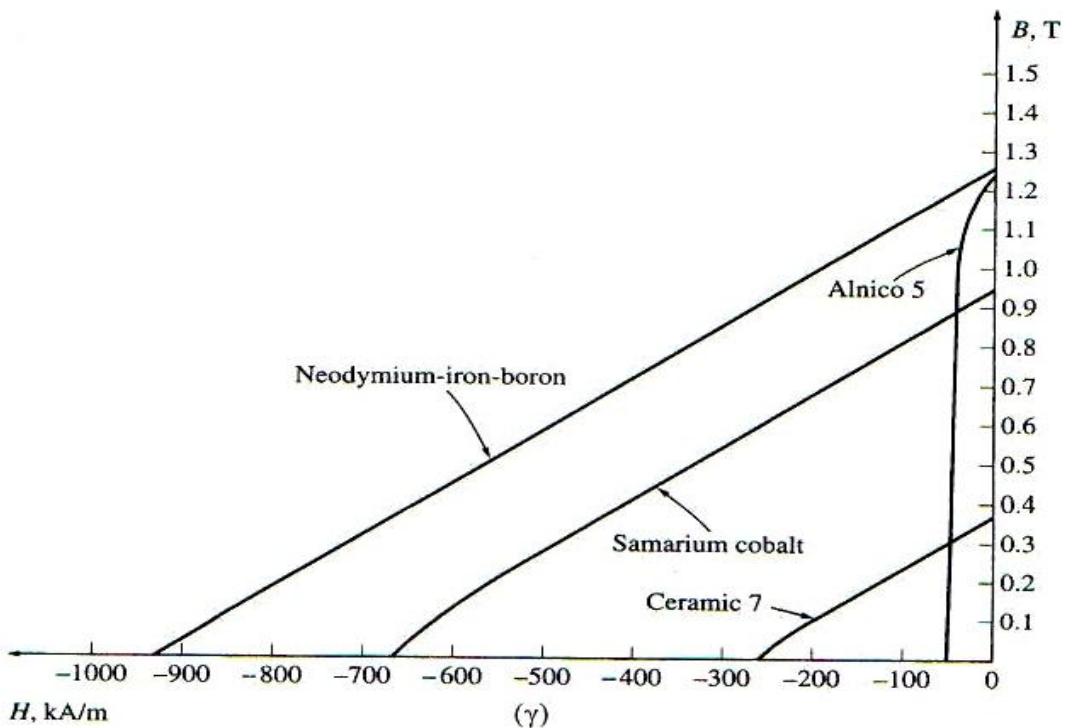
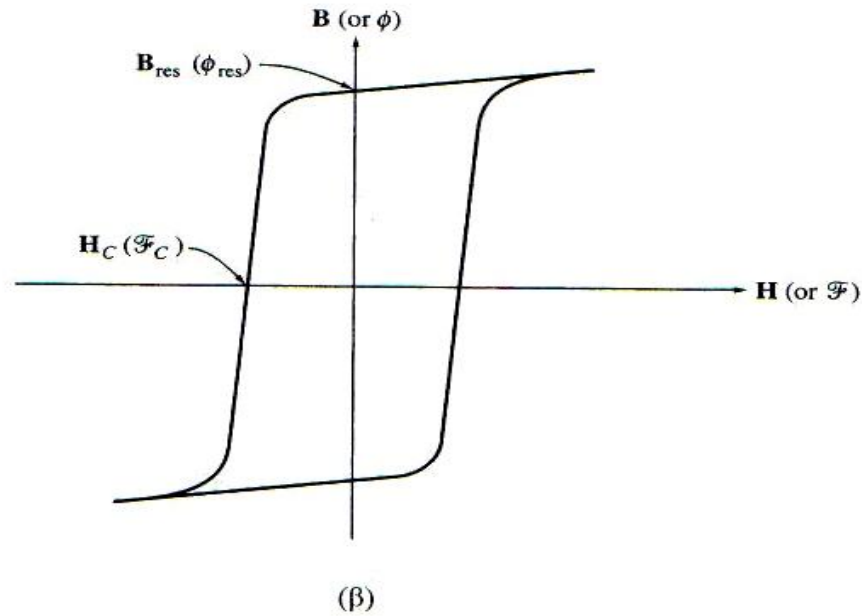
Το Σχ. 1.18-α, δείχνει την καμπύλη μαγνήτισης ενός τυπικού σιδηρομαγνητικού υλικού. Πρόκειται για την γραφική παράσταση της μαγνητικής επαγωγής \mathbf{B} συναρτήσει της έντασης \mathbf{H} του πεδίου. Αν μια μεγάλη εξωτερική μαγνητεγερτική δύναμη εφαρμοστεί στο υλικό και μετά απομακρυνθεί, στο υλικό θα αναπτυχθεί μια παραμένουσα μαγνητική επαγωγή \mathbf{B}_{res} . Για να γίνει μηδενική η παραμένουσα ροή, είναι αναγκαία η εφαρμογή μιας απομαγνητίζουσας δύναμης \mathbf{H}_c με φορά αντίθετη από τη φορά της μαγνητικής έντασης \mathbf{H} που εγκατέστησε αρχικά το μαγνητικό πεδίο. Στις συνηθισμένες εφαρμογές των ηλεκτρικών μηχανών, όπως στους δρομείς και στους στάτες, το σιδηρομαγνητικό υλικό που επιλέγεται θα πρέπει να έχει τις μικρότερες δυνατές \mathbf{B}_{res} και \mathbf{H}_c επειδή ένα τέτοιο υλικό παρουσιάζει μικρές απώλειες υστέρησης.

Αντίθετα, το κατάλληλο υλικό για τους πόλους ενός κινητήρα με μόνιμους μαγνήτες θα πρέπει να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη δυνατή παραμένουσα μαγνητική επαγωγή \mathbf{B}_{res} και ταυτόχρονα τη μεγαλύτερη δυνατή απομαγνητίζουσα δύναμη \mathbf{H}_c . Η καμπύλη μαγνήτισης ενός τέτοιου υλικού φαίνεται στο Σχ. 1.18-β. Η μεγάλη τιμή \mathbf{B}_{res} παράγει μεγάλη μαγνητική ροή στο εσωτερικό της μηχανής, ενώ η μεγάλη τιμή της \mathbf{H}_c σημαίνει ότι για την απομαγνήτιση των πόλων απαιτείται πολύ μεγάλο ρεύμα.

Τα τελευταία 30 χρόνια έχει δημιουργηθεί ένας μεγάλος αριθμός καινούργιων μαγνητικών υλικών που έχουν τα κατάλληλα χαρακτηριστικά για την παραγωγή μόνιμων μαγνητών. Οι βασικοί τύποι τέτοιων υλικών είναι τα κεραμικά μαγνητικά υλικά και τα μαγνητικά υλικά σπάνιων γαιών. Το Σχ. 1.19-γ, φαίνεται το δεύτερο τεταρτημόριο των καμπυλών μαγνήτισης για κάποιους τυπικούς κεραμικούς μαγνήτες και μαγνήτες σπάνιων γαιών σε σύγκριση με την καμπύλη μαγνήτισης ενός συμβατικού σιδηρομαγνητικού κράματος. Από τη σύγκριση είναι φανερό ότι οι καλύτεροι μαγνήτες σπάνιων γαιών μπορούν να παράγουν την ίδια παραμένουσα ροή με τα συμβατικά σιδηρομαγνητικά κράματα, ενώ ταυτόχρονα είναι απρόσβλητοι από τα προβλήματα απομαγνήτισης που οφείλονται στην αντίδραση οπλισμού.



Σχ. 1.18: (α) Η καμπύλη μαγνήτισης ενός σιδηρομαγνητικού υλικού. Φαίνεται ο βρόχος υστέρησης. Μετά την εφαρμογή μιας μεγάλης μαγνητικής έντασης H στον πυρήνα και αφού αυτή απομακρυνθεί, στον πυρήνα παραμένει η παραμένουσα μαγνητική επαγωγή B_{res} . Αν στον πυρήνα εφαρμοστεί μια απομαγνητίζουσα δύναμη H_c αντίθετης πολικότητας, η παραμένουσα μαγνητική ροή μηδενίζεται. Σ' αυτή την περίπτωση μια σχετικά μικρή τιμή της H απομαγνητίζει τον πυρήνα (β). Η καμπύλη μαγνήτισης ενός σιδηρομαγνητικού υλικού είναι κατάλληλο για την κατασκευή μόνιμων μαγνητών. Φαίνεται η μεγάλη παραμένουσα μαγνητική επαγωγή B_{res} και η σχετικά μεγάλη απομαγνητίζουσα δύναμη H_c



Σχ. 1.18 (γ) Το δεύτερο τεταρτημόριο των καμπυλών μαγνήτισης για κάποια τυπικά μαγνητικά υλικά. Φαίνεται ότι οι μαγνήτες σπάνιων γαιών συνδυάζουν μεγάλη παραμένουσα μαγνητική επαγωγή και μεγάλη απομαγνητίζουσα δύναμη.

Ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος με μόνιμους μαγνήτες είναι βασικά η ίδια μηχανή με τον κινητήρα παράλληλης διέγερσης εκτός από το γεγονός ότι ο κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες παρουσιάζει σταθερή μαγνητική ροή. Έτσι, δεν είναι δυνατή η ρύθμιση της ταχύτητας ενός τέτοιου κινητήρα με τη μεταβολή του ρεύματος διέγερσης ή της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό του. Οι μόνοι δυνατοί τρόποι ελέγχου της ταχύτητας ενός κινητήρα με μόνιμους μαγνήτες είναι ο έλεγχος μέσω της τάσης ή της αντίστασης οπλισμού.

1.3.5) Κινητήρες συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης και παράλληλης διέγερσης.

Τα ισοδύναμα κυκλώματα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης διέγερσης και ενός παράλληλης διέγερσης, φαίνονται στα Σχ. 1.19α και β, αντίστοιχα. Το κύκλωμα διέγερσης ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης διέγερσης τροφοδοτείται από μια ανεξάρτητη πηγή συνεχούς τάσης, ενώ το αντίστοιχο κύκλωμα ενός κινητήρα παράλληλης διέγερσης τροφοδοτείται από το κύκλωμα οπλισμού του. Αν θεωρηθεί πως η τάση τροφοδοσίας ενός κινητήρα παραμένει σταθερή, δεν υπάρχει καμία πρακτική διαφορά ανάμεσα στους δύο παρακάτω τύπους κινητήρων. Έτσι, αν δε σημειωθεί το αντίθετο, η ανάλυση ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης περιλαμβάνει και την ανάλυση του αντίστοιχου κινητήρα ανεξάρτητης διέγερσης.

Ο νόμος των τάσεων του *Kirchhoff* για το κύκλωμα δρομέα αυτών των κινητήρων παίρνει την εξής μορφή

$$V_T = E_A + I_A R_A \quad (1.1)$$

Χαρακτηριστική Φορτίου ενός Κινητήρα Συνεχούς Ρεύματος Παράλληλης Διέγερσης.

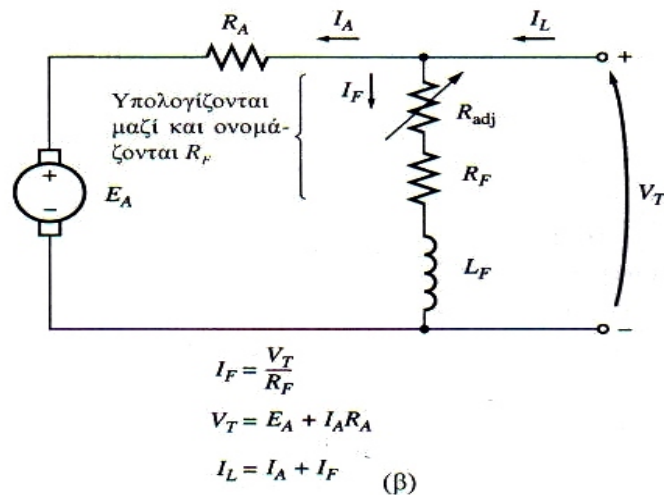
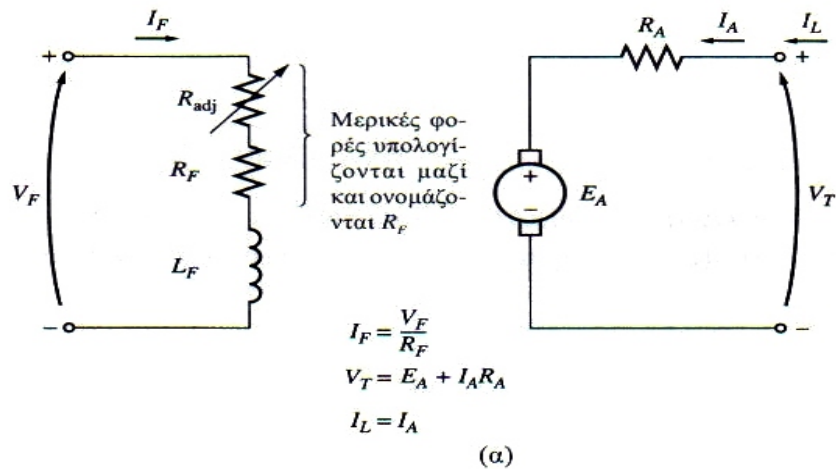
Χαρακτηριστική φορτίου μιας μηχανής ονομάζεται η γραφικά παράσταση μεταξύ των ποσοτήτων εξόδου της μηχανής αυτής. Επειδή τα μεγέθη εξόδου ενός κινητήρα είναι η ροπή στον άξονά του και η ταχύτητα περιστροφής του, η χαρακτηριστική φορτίου του κινητήρα είναι το διάγραμμα της ροπής εξόδου ως προς τη ταχύτητά του.

Όμως, ποια είναι η απόκριση ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης στη μεταβολή του φορτίου του; Ας υποθεθεί πως το φορτίο που εφαρμόζεται στον άξονα ενός τέτοιου κινητήρα αυξάνεται. Η ροπή του φορτίου (τ_{load}) θα ξεπεράσει σε μέγεθος τη ροπή που παράγει η μηχανή (τ_{ind}) και η ταχύτητα περιστροφής θα αρχίσει να ελαττώνεται. Όταν η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα ελαττώνεται, η τάση που παράγει στο εσωτερικό του μειώνεται ($E_A = K\Phi \omega \downarrow$), κι έτσι το ρεύμα οπλισμού του $I_A = (V_T - E_A \downarrow)/R_A$ αυξάνεται. Η αύξηση του ρεύματος οπλισμού προκαλεί την παραγωγή μεγαλύτερης ροπής από τον κινητήρα ($\tau_{ind} = K\Phi I_A \uparrow$) και τελικά, η ροπή του κινητήρα γίνεται ίση με τη ροπή που εφαρμόζει σ' αυτόν το φορτίο. Αυτό συμβαίνει σε μία ταχύτητα περιστροφής μικρότερη από την αρχική.

Η χαρακτηριστική εξόδου ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης εξάγεται από τις εξισώσεις της επαγόμενης τάσης και της ροπής στον κινητήρα, καθώς και από τον νόμο των τάσεων του *Kirchhoff*. Η εξίσωση του νόμου των τάσεων του

Kirchhoff στον κινητήρα παράλληλης διέγερσης έχει την εξής μορφή

$$V_T = E_A + I_A R_A \quad (1.1)$$



Σχ. 1.19: (α) Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος ανεξάρτητης διέγερσης. (β) Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης.

Ακόμη ισχύει η $E_A = K\Phi \omega$, οπότε

$$V_T = K\Phi \omega + I_A R_A \quad (1.2)$$

Λόγω της $t_{ind} = K\Phi I_A$, το I_A εκφράζεται ως εξής

$$I_A = \frac{\tau_{ind}}{K\Phi} \quad (1.3)$$

Ο συνδυασμός των Εξ. (1.2) και (1.3) δίνει την

$$V_T = K\Phi \omega + \frac{\tau_{ind}}{K\Phi} R_A \quad (1.4)$$

Αν τελικά η Εξ. (1.4) λυθεί ως προς την ταχύτητα ω του κινητήρα, δίνει

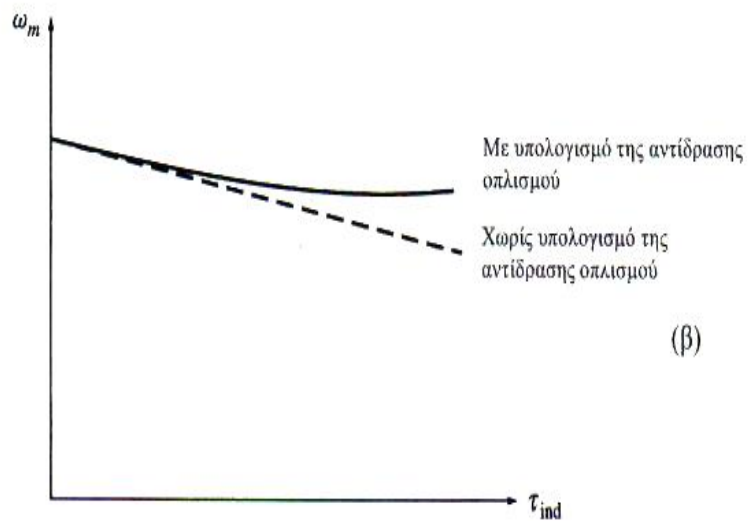
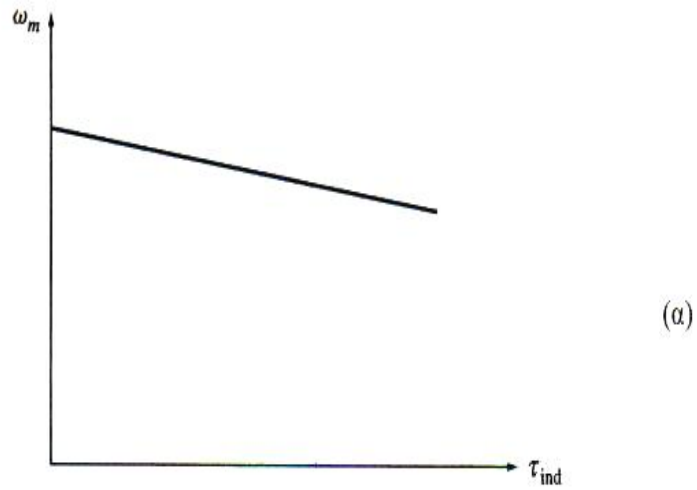
$$\omega = \frac{V_T}{K\Phi} - \frac{R_A}{(K\Phi)^2} \tau_{\text{ind}} \quad (1.5)$$

Αυτή η εξίσωση είναι μία ευθεία με αρνητική κλίση. Στο Σχ. 1.20-α, φαίνεται η χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης.

Εδώ πρέπει να υπογραμμιστεί ένα σημαντικό στοιχείο: Για να ισχύει η παραπάνω γραμμική σχέση μεταξύ της ταχύτητας και της ροπής ενός κινητήρα, καθώς το φορτίο μεταβάλλεται, όλοι οι άλλοι παράγοντες της έκφρασης θα πρέπει να παραμένουν σταθεροί. Η πηγή εισόδου θεωρείται ότι τροφοδοτεί τον κινητήρα με σταθερή τάση. Στην αντίθετη περίπτωση οι μεταβολές της τάσης επηρεάζουν τη μορφή της καμπύλης ροπής – ταχύτητας του κινητήρα.

Επίσης, το φαινόμενο της αντίδρασης οπλισμού, που μπορεί να εμφανίζεται στο εσωτερικό του κινητήρα, επηρεάζει την καμπύλη ροπής – ταχύτητας. Αν ένας κινητήρας παρουσιάζει αντίδραση οπλισμού, με την αύξηση του φορτίου του τα φαινόμενα εξασθένησης της μαγνητικής ροής προκαλούν μείωση της ροής στο εσωτερικό του. Όπως δείχνει η Εξ. (1.5), η μείωση της μαγνητικής ροής έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας χωρίς αντίδραση οπλισμού. Η χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας ενός κινητήρα παράλληλης διέγερσης, στον οποίο υπολογίζεται και η αντίδραση οπλισμού, φαίνεται στο Σχ. 1.20-β. Αν ο κινητήρας διαθέτει τυλίγματα αντιστάθμισης, προφανώς δεν εμφανίζεται εξασθένηση της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό του, αλλά αντίθετα αυτή η ροή διατηρείται σταθερή.

Αν για κάθε τιμή του φορτίου είναι γνωστή η ταχύτητα και το ρεύμα οπλισμού ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης, αν δηλαδή είναι δεδομένη η καμπύλη ροπής – ταχύτητας, τότε μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα σε οποιαδήποτε άλλη φόρτιση, με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστό ή μπορεί να προσδιοριστεί το ρεύμα οπλισμού σ' αυτή τη φόρτιση.



Σχ. 1.20: (α) Χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος παράλληλης ή ανεξάρτητης διέγερσης, ο οποίος διαθέτει τυλίγματα αντιστάθμισης για την απαλοιφή της αντίδρασης οπλισμού. (β) Η χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας του κινητήρα που παρουσιάζει αντίδραση οπλισμού.

1.3.6) Κινητήρες συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς.

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς είναι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, των οποίων τα τυλίγματα διέγερσης διαθέτουν σχετικά λίγες σπείρες συνδεδεμένες στη σειρά με το κύκλωμα οπλισμού. Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός τέτοιου κινητήρα συνεχούς ρεύματος φαίνεται στο Σχ.1.21. Το ρεύμα οπλισμού, το ρεύμα διέγερσης και το ρεύμα εισόδου I σ' έναν κινητήρα με διέγερση σειράς έχουν την ίδια τιμή. Ο νόμος των τάσεων του Kirchhoff στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς παίρνει την παρακάτω μορφή

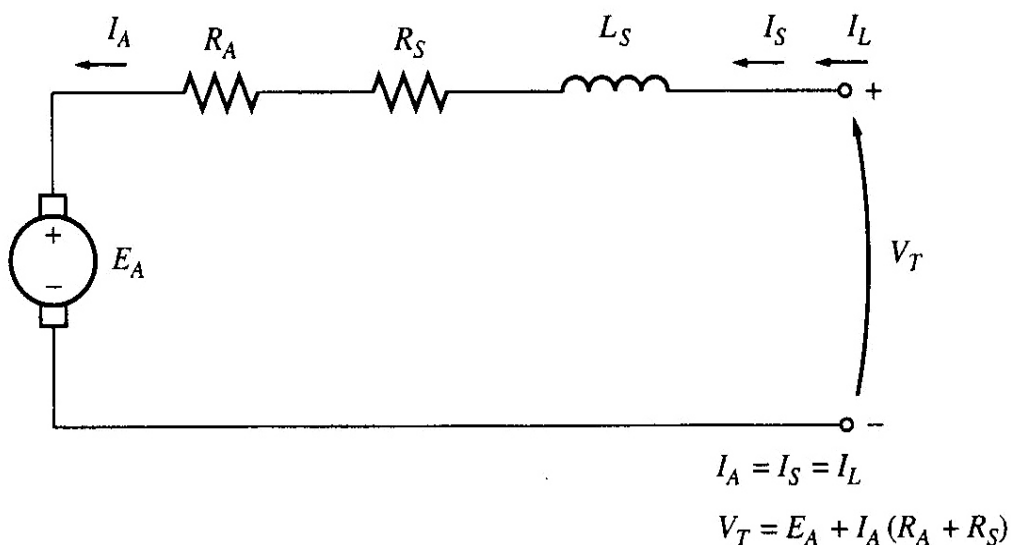
$$V_T = E_A + I_A(R_A + R_S) \quad (1.6)$$

Επαγόμενη Ροπή στον Άξονα ενός Κινητήρα με διέγερση Σειράς.

Η χαρακτηριστική φορτίου ενός κινητήρα με διέγερση σειράς είναι πολύ διαφορετική απ' αυτήν του κινητήρα παράλληλης διέγερσης που εξετάστηκε στα προηγούμενα. Το βασικό χαρακτηριστικό ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς είναι το γεγονός ότι η μηχανική ροή στο εσωτερικό του είναι ανάλογη του ρεύματος οπλισμού, πριν φυσικά την εμφάνιση κορεσμού. Η αύξηση του ρεύματος εισόδου προκαλεί αύξηση της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό του κινητήρα. Όπως αναφερθήκαμε στα προηγούμενα, αυτή η αύξηση της μαγνητικής ροής μειώνει την ταχύτητα περιστροφής. Το αποτέλεσμα είναι ότι η καμπύλη ροπής – ταχύτητας ενός κινητήρα με διέγερση σειράς παρουσιάζει πολύ απότομη κλίση.

Η επαγόμενη ροπή μιας τέτοιας μηχανής δίνεται από την Εξ.

$$t_{ind} = K\Phi I_A$$



Σχ. 1.21: Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς.

Η μαγνητική ροή στο εσωτερικό αυτής της μηχανής είναι ανάλογη προς το ρεύμα οπλισμού της (φυσικά πριν τον κορεσμό του μετάλλου του). Δηλαδή, αυτή η μαγνητική ροή μπορεί να οριστεί ως εξής

$$\Phi = cI_A \quad (1.7)$$

όπου c είναι ένας σταθερός συντελεστής αναλογίας. Η επαγόμενη ροπή στον κινητήρα δίνεται απ την

$$\tau_{\text{ind}} = K\Phi I_A = KcI_A^2 \quad (1.8)$$

Με άλλα λόγια, η ροπή του κινητήρα είναι ανάλογη με το τετράγωνο του ρεύματος οπλισμού του. Το προφανές συμπέρασμα αυτής της σχέσης είναι ότι ο κινητήρας με διέγερση σειράς δίνει τη μεγαλύτερη ροπή ανά μονάδα ρεύματος από οποιοδήποτε κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Αυτός ακριβώς είναι ο λόγος που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές, όπου απαιτείται πολύ μικρή ροπή. Τέτοιου είδους εφαρμογές είναι οι κινητήρες εκκίνησης (μίζες) στα αυτοκίνητα, οι κινητήρες των ανελκυστήρων και των μηχανών έλξης στην ηλεκτροκίνηση.

Χαρακτηριστική Φορτίου ενός Κινητήρα Συνεχούς Ρεύματος με διέγερση Σειράς.

Η ανάλυση που γίνεται εδώ με σκοπό τον προσδιορισμό της χαρακτηριστική φορτίου ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς βασίζεται στην υπόθεση ότι η καμπύλη μαγνήτισης του κινητήρα είναι γραμμική. Κατόπιν στη γραφική ανάλυση θα συνυπολογιστούν και οι επιπτώσεις του κορεσμού στους πόλους της μηχανής.

Σε μια υποθετική γραμμική καμπύλη μαγνήτισης η μαγνητική ροή δίνεται απ την Εξ. (1.7)

$$\Phi = cI_A \quad (1.7)$$

Αυτή η σχέση θα χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστεί η χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας του κινητήρα με διέγερση σειράς

Οι υπολογισμοί ξεκινούν από τον νόμο των τάσεων του *Kirchhoff*

$$V_T = E_A + I_A(R_A + R_S) \quad (1.6)$$

Λόγω της Εξ. (1.6), το ρεύμα οπλισμού του κινητήρα δίνεται απ την σχέση

$$I_A = \sqrt{\frac{\tau_{\text{ind}}}{K_C}}$$

Επίσης, ισχύει η $E_A = K\Phi \omega$. Αντικαθιστώντας αυτές τις δύο σχέσεις στη Εξ. (1.6)

$$V_T = K\Phi \omega + \sqrt{\frac{\tau_{\text{ind}}}{K_C}} (R_A + R_S) \quad (1.9)$$

Αν γίνει δυνατή απαλοιφή της ροής στην παραπάνω εξίσωση, αυτή θα δώσει αμέσως τη σχέση της ροπής με την ταχύτητα του κινητήρα. Για την απαλοιφή της ροής ας σημειωθεί ότι

$$I_A = \frac{\Phi}{c}$$

κι έτσι η εξίσωση της επαγόμενης ροπής γράφεται ως εξής

$$\tau_{\text{ind}} = \frac{K}{c} \Phi^2$$

Οπότε η μαγνητική ροή στο εσωτερικό του κινητήρα είναι

$$\Phi = \sqrt{\frac{c}{K}} \sqrt{\tau_{\text{ind}}} \quad (1.10)$$

Αντικαθιστώντας την Εξ. (1.10) στην Εξ. (1.9) και λύνοντας ως προς την ταχύτητα

$$\begin{aligned} V_T &= K \sqrt{\frac{c}{K}} \sqrt{\tau_{\text{ind}}} \omega + \sqrt{\frac{\tau_{\text{ind}}}{K_C}} (R_A + R_S) \\ \sqrt{Kc} \sqrt{\tau_{\text{ind}}} \omega &= V_T - \frac{R_A + R_S}{\sqrt{Kc}} \sqrt{\tau_{\text{ind}}} \\ \omega &= \frac{V_T}{\sqrt{Kc} \sqrt{\tau_{\text{ind}}}} - \frac{R_A + R_S}{K_C} \end{aligned}$$

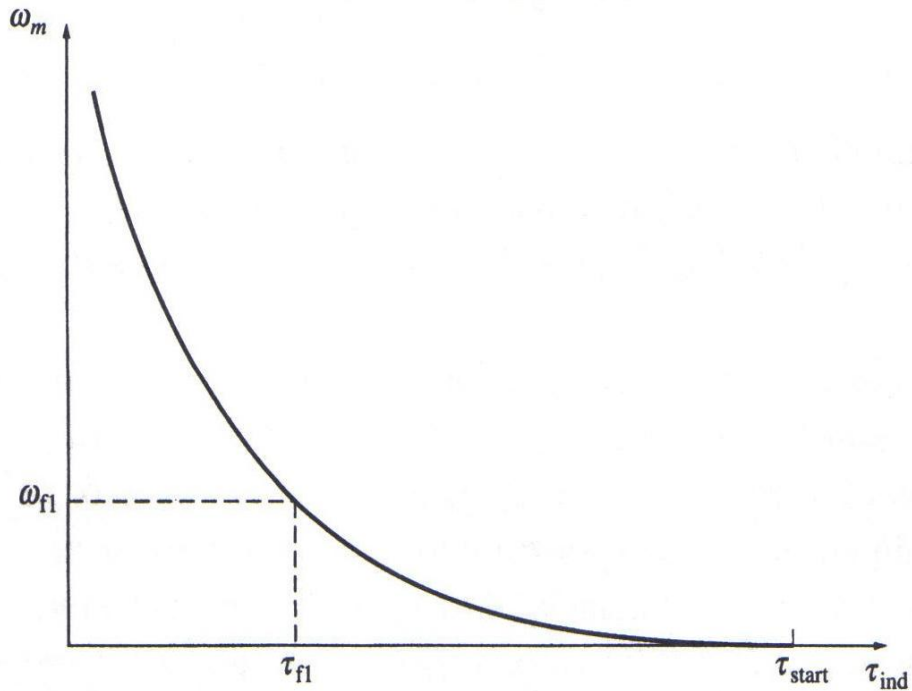
Δηλαδή, η τελική σχέση ροπής – ταχύτητας είναι η

$$\omega = \frac{V_T}{\sqrt{Kc} \sqrt{\tau_{\text{ind}}}} - \frac{R_A + R_S}{K_C} \quad (1.11)$$

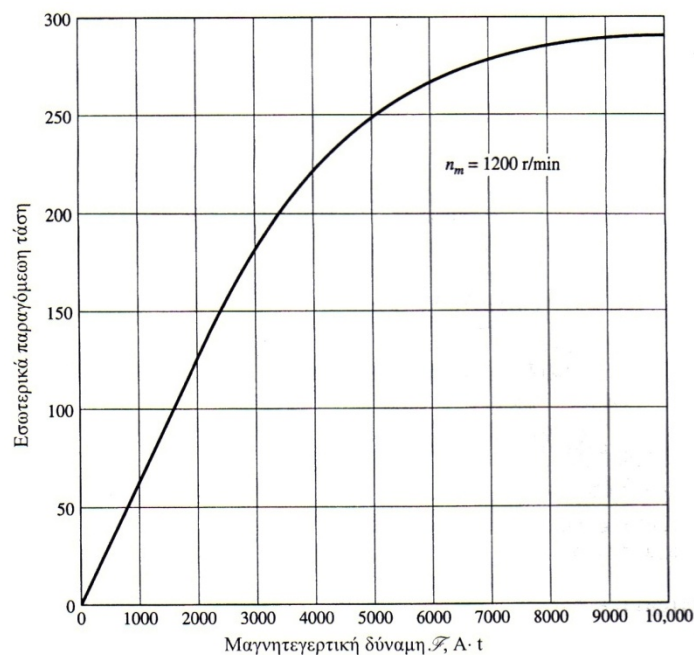
Το συμπέρασμα είναι ότι η ταχύτητα ενός ακόρεστου κινητήρα με διέγερση σειράς μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα προς την τετραγωνική ρίζα της ροπής του. Πρόκειται για μια αρκετά σπάνια σχέση. Η ιδανική καμπύλη που προκύπτει φαίνεται στο Σχ. 1.22.

Ένα μειονέκτημα των κινητήρων με διέγερση σειράς γίνεται αμέσως φανερό από την παραπάνω εξίσωση. Όταν η ροπή του κινητήρα πλησιάζει τη μηδενική τιμή, η ταχύτητά του γίνεται άπειρη. Στην πράξη η ροπή του κινητήρα δεν είναι δυνατό να μηδενιστεί, επειδή πρέπει να ξεπεραστούν τουλάχιστον οι απώλειες πυρήνα, οι μηχανικές και οι καταναμημένες

απώλειες. Όμως αν δεν συνδεθεί κανένα άλλο φορτίο στον κινητήρα, η ταχύτητά του θα γίνει γρήγορα πολύ μεγάλη προκαλώντας σημαντικές βλάβες στην μηχανή. Ποτέ ένας κινητήρας διέγερση σειράς δεν πρέπει να μένει χωρίς φορτίο, ούτε να συνδέεται στο φορτίο του μέσω κάποιου ιμάντα ή άλλου μηχανισμού που θα μπορούσε να σπάσει, Στην περίπτωση αυτή, αν ο κινητήρας μείνει χωρίς φορτίο, καθώς περιστρέφεται, τα αποτελέσματα θα είναι φοβερά.



Σχ. 1.22: Η χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς.



Σχ. 1.23: Η καμπύλη μαγνήτισης του κινητήρα για ταχύτητα περιστροφής $n_m = 1200 \text{ r/min}$.

Έλεγχος της Ταχύτητας στους Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος με διέγερση Σειράς.

Αντίθετα από ότι συμβαίνει στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος παράλληλης διέγερσης, στους κινητήρες με διέγερση σειράς υπάρχει μόνο μια αποδοτική μέθοδος μεταβολής της ταχύτητάς του. Σ' αυτή τη μέθοδο ρυθμίζεται η τάση εισόδου στον κινητήρα. Όταν αυξάνεται η τάση εισόδου, αυξάνεται ο πρώτος όρος της Εξ. (1.11) κι έτσι ο κινητήρας περιστρέφεται γρηγορότερα για οποιαδήποτε δεδομένη ροπή.

Η ταχύτητα των κινητήρων συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς μπορεί, επίσης, να μεταβάλλεται με την εισαγωγή μιας αντίστασης σε σειρά με το κύκλωμα του κινητήρα αλλά αυτή η μέθοδος είναι αρκετά δαπανηρή και χρησιμοποιείται μόνο στις ενδιάμεσες περιόδους της εκκίνησης ορισμένων κινητήρων.

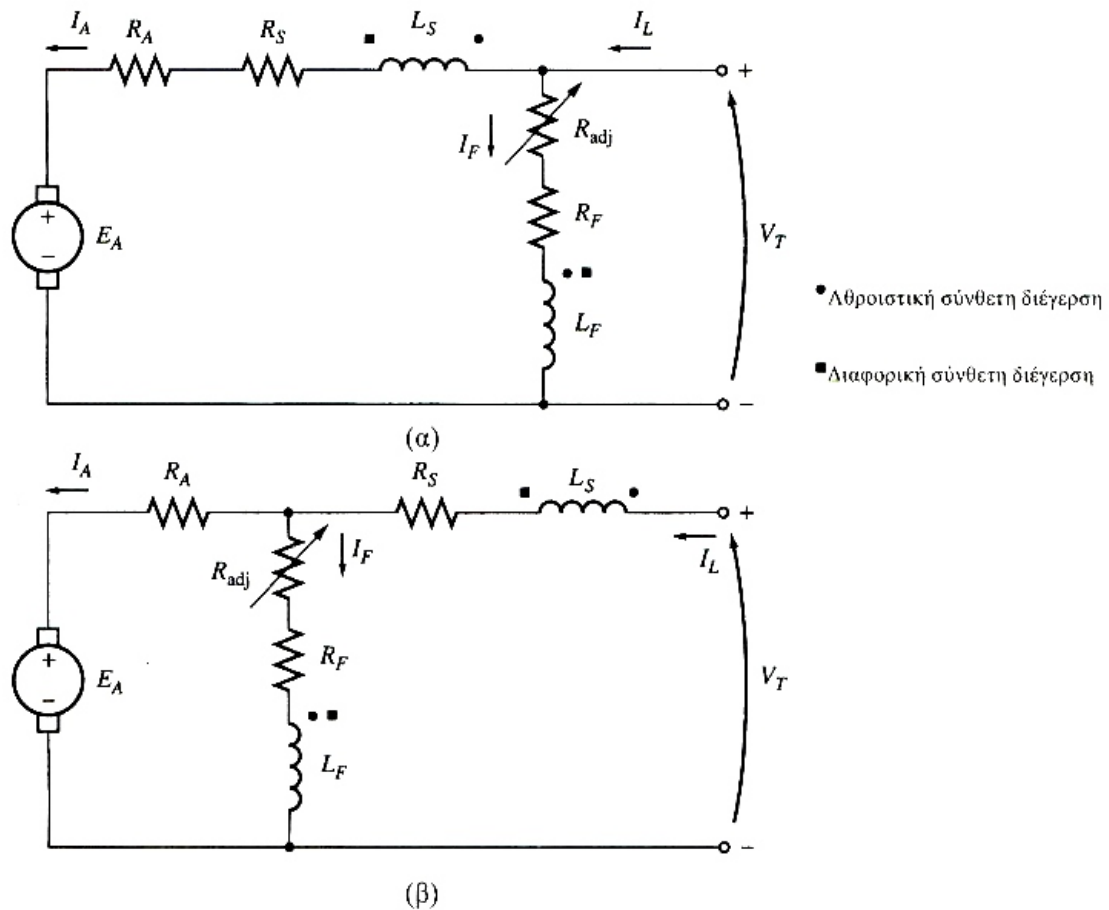
Πριν από χρόνια δεν υπήρχε καμία βολική μέθοδος για τη ρύθμιση της V_T κι έτσι η μόνη τεχνική ελέγχου της ταχύτητας ενός τέτοιου κινητήρα ήταν η δαπανηρή τεχνική της σύνδεσης μιας αντίστασης σε σειρά με τον οπλισμό του. Στις μέρες μας η ανάπτυξη κυκλωμάτων ελέγχου με θυρίστορ έχει μεταβάλει αυτή την κατασκευή.

1.3.7) Κινητήρες συνεχούς ρεύματος Αθροιστικής σύνθετης διέγερσης.

Η διέγερση ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος σύνθετης διέγερσης αποτελείται από τύλιγμα σειράς κι ένα παράλληλο τύλιγμα. Στο Σχ. 1.24, φαίνεται ένας τέτοιος κινητήρας. Η φορά των μαγνητεγερτικών δυνάμεων στο εσωτερικό του δίνεται με τη γνωστή σύμβαση: Το ρεύμα που κατευθύνεται προς το σημειωμένο άκρο του τυλίγματος παράγει θετική μαγνητεγερτική δύναμη, ενώ το ρεύμα που απομακρύνεται από το σημειωμένο άκρο του τυλίγματος παράγει αρνητική μαγνητεγερτική δύναμη. Στο Σχ. 1.24, τα κυκλικά σημάδια αντιστοιχούν σε κινητήρα αθροιστικής σύνθετης διέγερσης, ενώ τα τετράγωνα σημάδια αντιστοιχούν σε κινητήρα διαφορικής σύνθετης διέγερσης.

Ο νόμος των τάσεων Kirchhoff του κινητήρα συνεχούς ρεύματος σύνθετης διέγερσης είναι

$$V_T = E_A + I_A(R_A + R_S) \quad (1.12)$$



Σχ. 1.24: Τα ισοδύναμα κυκλώματα δύο κινητήρων σύνθετης διέγερσης: (α) Μεταπαράλληλη συνδεσμολογία. (β) Προπαράλληλη συνδεσμολογία.

Τα ρεύματα στο εσωτερικό του κινητήρα συνδέονται μεταξύ τους σύμφωνα με τις σχέσεις

$$I_A = I_L - I_F \quad (1.13)$$

$$I_F = \frac{V_T}{R_F} \quad (1.14)$$

Η συνισταμένη μαγνητευερτική δύναμη και το ισοδύναμο ενεργό ρεύμα παράλληλης διέγερσης ενός κινητήρα σύνθετης διέγερσης δίνονται από τις εξισώσεις

$$\mathcal{G}_{net} = \mathcal{G}_F \pm \mathcal{G}_{SE} - \mathcal{G}_{AR} \quad (1.15)$$

και

$$I_F^* = I_F \pm \frac{N_{se}}{N_F} I_A - \frac{\mathcal{G}_{AR}}{N_F} \quad (1.16)$$

όπου το θετικό πρόσημο των εξισώσεων αντιστοιχεί στον κινητήρα αθροιστικής σύνθετης διέγερσης και το αρνητικό στον κινητήρα διαφορικής σύνθετης διέγερσης.

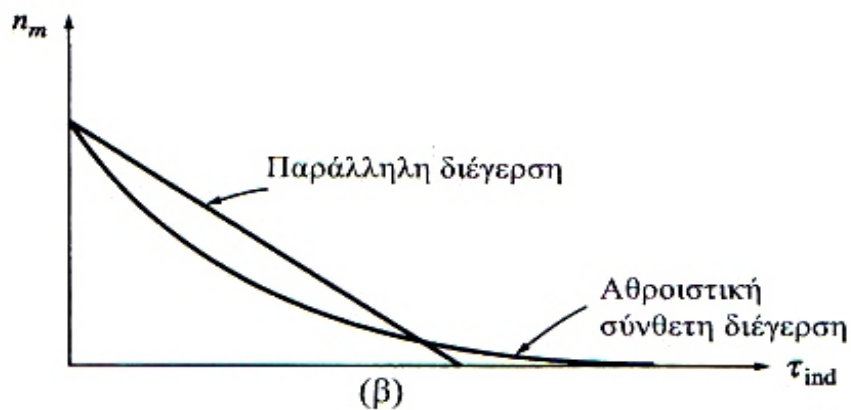
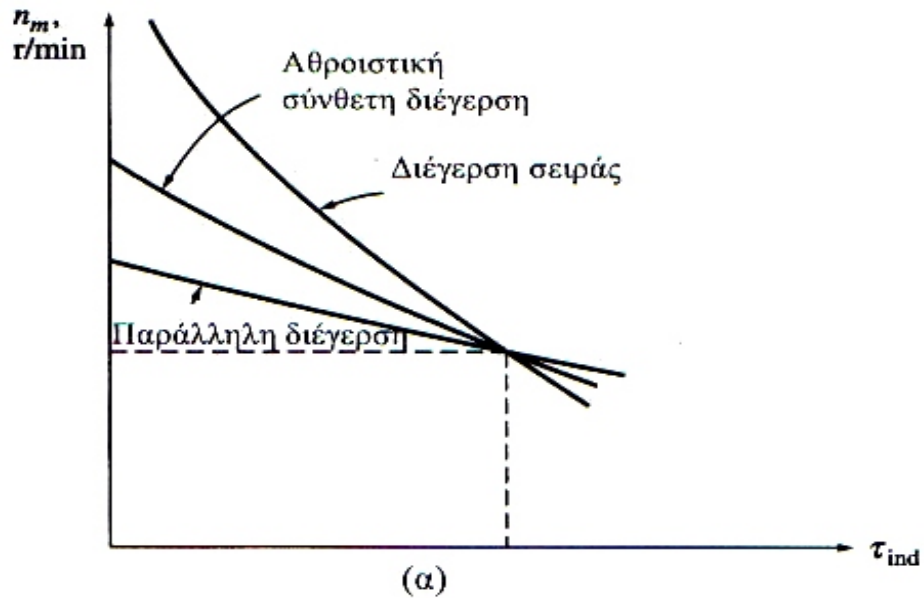
Οι Χαρακτηριστικές Ροπής – Ταχύτητας ενός Κινητήρα Συνεχούς Ρεύματος Αθροιστικής Σύνθετης Διέγερσης.

Στο εσωτερικό ενός κινητήρα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος αθροιστικής σύνθετης διέγερσης υφίσταται μαγνητική ροή της οποίας το ένα μέρος είναι σταθερό, ενώ το υπόλοιπο είναι ανάλογο του ρεύματος οπλισμού (η αλλιώς του φορτίου). Αυτό σημαίνει πως ο κινητήρας αθροιστικής σύνθετης διέγερσης διαθέτει μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης από ότι ο κινητήρας παράλληλης διέγερσης (του οποίου η μαγνητική ροή είναι σταθερή) και μικρότερη ροπή εκκίνησης από ότι ο κινητήρας διέγερσης σειράς (του οποίου η μαγνητική ροή είναι ανάλογη του ρεύματος οπλισμού).

Ο κινητήρας αθροιστικής σύνθετης διέγερσης συνδυάζει κατά κάποιο τρόπο τα πλεονεκτήματα των κινητήρων διέγερσης σειράς και των κινητήρων παράλληλης διέγερσης. Διαθέτει αρκετά υψηλή ροπή εκκίνησης, όπως ο κινητήρας διέγερσης σειράς και δεν επιταχύνεται ασταμάτητα κατά την αφόρτιστη λειτουργία, όπως ο κινητήρας παράλληλης διέγερσης.

Όταν το φορτίο ενός τέτοιου κινητήρα είναι μικρό, το τύλιγμα διέγερσης σειράς δεν παίζει μεγάλο ρόλο και ο κινητήρας συμπεριφέρεται σχεδόν ως κινητήρας παράλληλης διέγερσης. Σε μεγάλη αύξηση του φορτίου, η μαγνητική ροή του τυλίγματος διέγερσης σειράς γίνεται πολύ σημαντική κι έτσι η καμπύλη ροπής – ταχύτητας μοιάζει μ' αυτή ενός κινητήρα διέγερσης σειράς. Στο Σχ. 1.25, γίνεται η σύγκριση των χαρακτηριστικών φορτίου των τριών τύπων κινητήρα.

Η διαδικασία υπολογισμού της χαρακτηριστικής ροπής – ταχύτητας ενός κινητήρα αθροιστικής σύνθετης διέγερσης με τη μέθοδο της γραφικής ανάλυσης είναι όμοια μ' αυτή που ακολουθήθηκε στις περιπτώσεις των κινητήρων με διέγερσης σειράς και με παράλληλη διέγερση.



Σχ. 1.25: (α) Σύγκριση της χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας ενός κινητήρα αθροιστικής σύνθετης διέγερσης μ' αυτές των κινητήρων παράλληλης διέγερσης και διέγερσης σειράς που παρουσιάζουν τα ίδια ονομαστικά στοιχεία πλήρους φόρτισης. (β) Σύγκριση της χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας ενός κινητήρα αθροιστικής σύνθετης διέγερσης μ' αυτή του κινητήρα παράλληλης διέγερσης που παρουσιάζει την ίδια ταχύτητα στη λειτουργία χωρίς φορτίο.

Κεφάλαιο 2^ο
Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες

Κεφάλαιο 2^ο

Ασύγχρονοι Τριφασικοί Κινητήρες

2.1) Γενικές γνώσεις για Ασύγχρονους Τριφασικούς Κινητήρες (Α.Τ.Κ)

2.1.1) Είδη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

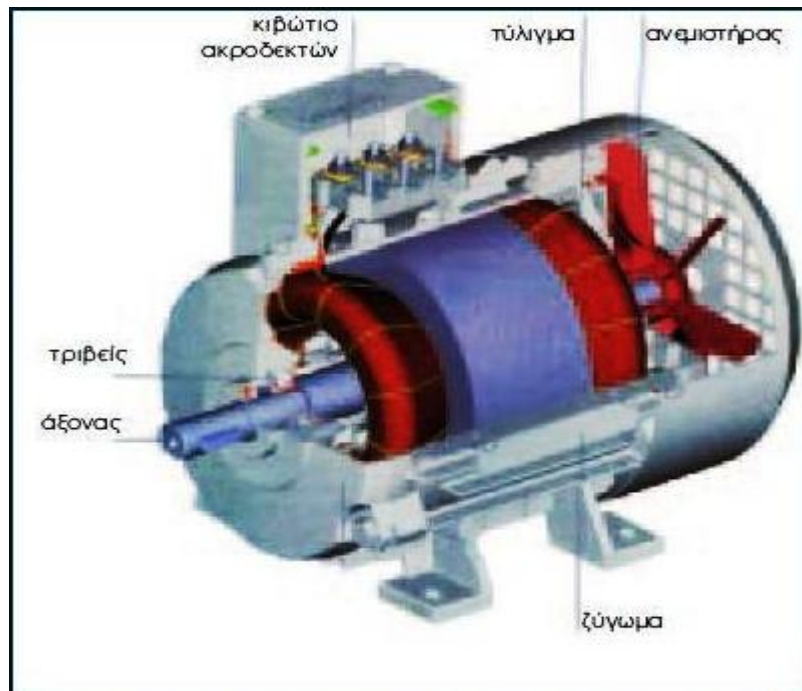
Οι ασύγχρονοι κινητήρες λόγω της απλότητας της κατασκευής τους, του χαμηλού κόστους, της ελάχιστης συντήρησης και της μεγάλης συγκέντρωσης ισχύος, είναι οι πιο διαδεδομένοι κινητήρες στη βιομηχανία.

Ονομάζονται διαφορετικά και **επαγωγικοί κινητήρες**, γιατί το ρεύμα διέγερσης του δρομέα δημιουργείται από επαγωγή αντί να παρέχεται με ηλεκτρική σύνδεση από κάποια πηγή.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες διακρίνονται σε **μονοφασικούς** και **τριφασικούς**. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτύξουμε τους τριφασικούς κινητήρες. Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες ανάλογα με τη κατασκευή του δρομέα **διακρίνονται** σε δύο τύπους:

α) κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα,

β) κινητήρας με δακτυλιοφόρο δρομέα.

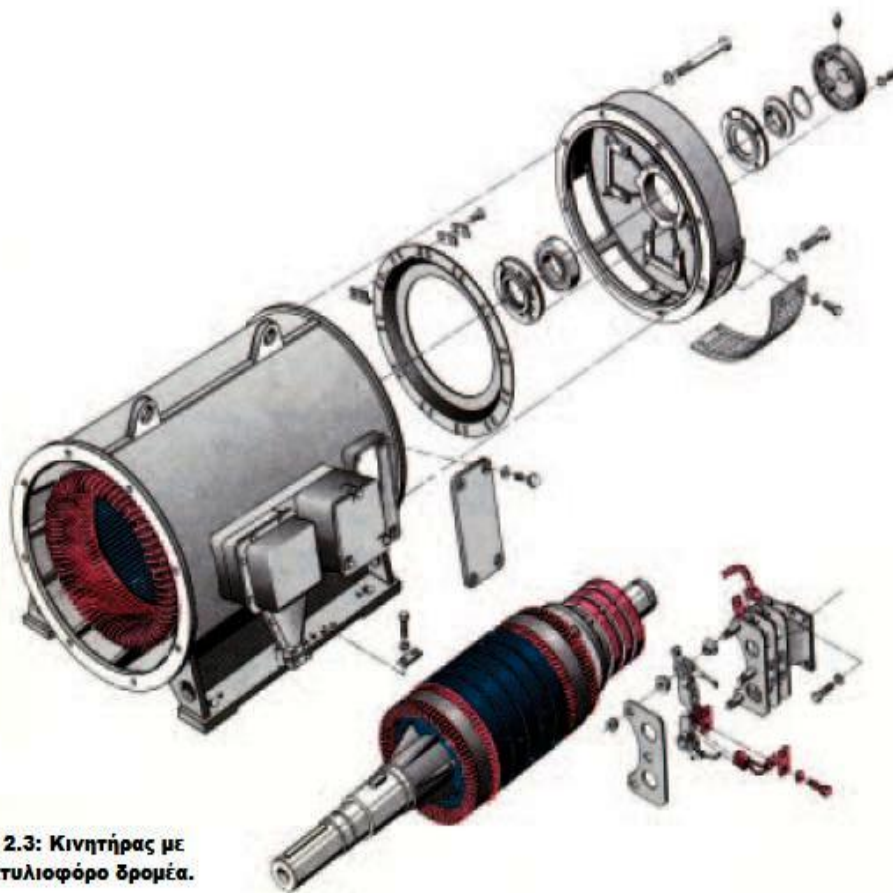


Σχ. 2.1: Ασύγχρονος Τριφασικός Κινητήρας.

ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (Α.Τ.Κ.)



Σχ. 2.2: Κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα.



Σχ. 2.3: Κινητήρας με δακτυλιοφόρο δρομέα.

2.1.2) Αρχή λειτουργίας ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος μέσα από το συλλέκτη τροφοδοτείται με ρεύμα ο δρομέας που βρίσκεται σε μαγνητικό πεδίο δημιουργούμενο από το τύλιγμα διέγερσης. Αποτέλεσμα αυτών είναι η δημιουργία **μαγνητικής δύναμης (Laplace)** που περιστρέφει το δρομέα.

Στους ασύγχρονους κινητήρες, ο δρομέας είναι ηλεκτρικά ανεξάρτητος από το στάτη και δεν τροφοδοτείται με ρεύμα από το δίκτυο. Στα τρία τυλίγματα του στάτη δίνουμε τριφασικό ρεύμα και δημιουργείται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που τέμνει τις σπείρες του δρομέα. Στο δρομέα αναπτύσσονται επαγωγικά ρεύματα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μαγνητικής δύναμης (*Laplace*) που περιστρέφει το δρομέα (σχ. 2.4).



Σχ. 2.4: Μαγνητικές δυνάμεις.

Η ταχύτητα περιστροφής n του κινητήρα είναι πάντοτε μικρότερη από τη σύγχρονη ταχύτητα n_s του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Αν υποθέσουμε ότι $n = n_s$, τότε οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου δεν θα «κόβουν» τους αγωγούς του δρομέα αφού θα κινούνται με την ίδια ταχύτητα, δεν θα έχουμε επαγωγή και φυσικά θα μηδενισθεί η μαγνητική δύναμη και θα σταματήσει ο κινητήρας. Όπως είναι γνωστό:

$$F = B_\sigma I_\delta l \quad (2.1)$$

όπου: F : μαγνητική δύναμη (*Laplace*) σε (N)

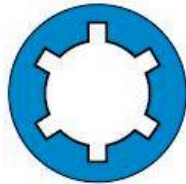
B_{σ} : μαγνητική επαγωγή στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου σε T (VS/m^2)

I_{δ} : ρεύμα δρομέα από επαγωγή σε (A)

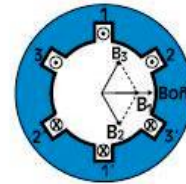
l : μήκος αγωγού δρομέα σε (m)

2.1.3) Κατασκευαστικά στοιχεία ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

Το ακίνητο μέρος ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα, ο **στάτης**, αποτελεί το μόνο στοιχείο που συνδέεται ηλεκτρικά με το δίκτυο. Είναι κατασκευασμένος από πολλά μαγνητικά ελάσματα, συνήθως πυριτιούχου χάλυβα, που κόβονται σε ειδικές πρέσες και έχουν τη μορφή του σχήματος 2.5.



Σχ. 2.5: Μαγνητικά ελάσματα στάτη.

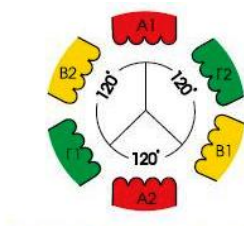


Σχ. 2.6: Μαγνητικό πεδίο στάτη.

Τα ελάσματα αυτά είναι περασμένα με ειδικό μονωτικό βερνίκι, συγκρατούνται με κοχλίες και σχηματίζουν το ζύγωμα της μηχανής. Σχηματίζονται αυλάκια (οδοντώσεις) μέσα στα οποία τοποθετούνται οι τρεις φάσεις του τυλίγματος, ώστε να δημιουργείται στο εσωτερικό ένα μαγνητικό πεδίο $B_{ολ}$, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6.

2.1.4) Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

Ο στάτης κάθε ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα αποτελείται από τρία τυλίγματα (A,B,Γ) που σχηματίζουν γωνίες 120° μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7. Όταν εφαρμοσθεί εναλλασσόμενη τάση στο στάτη, έχουμε ροή ρεύματος μέσα από τα πηνία. Η μαγνητική ροή εξαρτάται από τη φορά του ρεύματος.



Σχ. 2.7: Τριφασικό τύλιγμα στάτη.

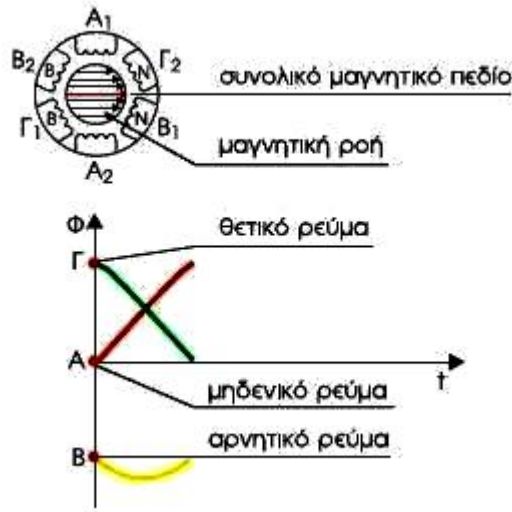
Αν υποθέσουμε ότι θετική φορά ρεύματος δημιουργεί στα πηνία A_1, B_1, Γ_1 Βόρειο μαγνητικό πόλο (B) και στα A_2, B_2, Γ_2 Νότιο μαγνητικό πόλο (N), καταλήγουμε στον πίνακα:

Πίνακας 2.1.

Δημιουργία μαγνητικών πόλων

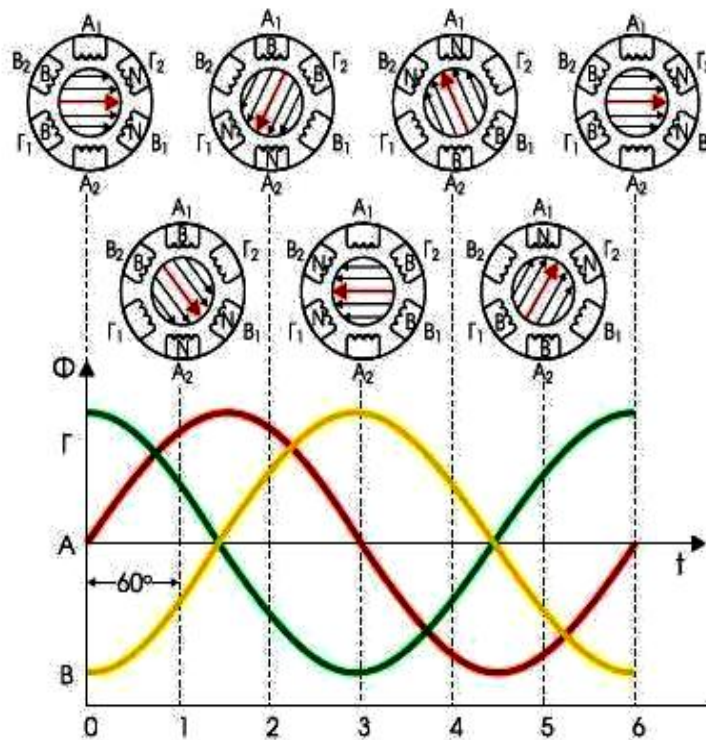
Πηνίο	Φορά Ρεύματος	
	A_1	Θετική (+)
	Βόρειος (B)	Νότιος (N)
A_2	Νότιος (N)	Βόρειος (B)
B_1	Βόρειος (B)	Νότιος (N)
B_2	Νότιος (N)	Βόρειος (B)
Γ_1	Βόρειος (B)	Νότιος (N)
Γ_2	Νότιος (N)	Βόρειος (B)

Τα τρία τυλίγματα του στάτη τροφοδοτούνται με τριφασικό ρεύμα. Για να γίνει κατανοητή η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου επιλέγουμε τη χρονική στιγμή μηδέν ($t=0$). Το ρεύμα στο πηνίο A είναι μηδέν, στο B είναι αρνητικό και στο Γ θετικό. Με βάση τον προηγούμενο πίνακα τα B_1 και Γ_2 είναι Νότιοι πόλοι και τα B_2 και Γ_1 Βόρειοι πόλοι. Η δημιουργούμενη συνολική μαγνητική ροή φαίνεται στο σχήμα 2.8.



Σχ. 2.8: Δημιουργία μαγνητικής ροής.

Αν με τον ίδιο τρόπο εξετάσουμε το δημιουργούμενο μαγνητικό πεδίο για τριφασικό σύστημα παροχής και για χρόνους που αντιστοιχούν σε γωνίες 60° , όταν το ρεύμα συμπληρώσει φάση 360° , το μαγνητικό πεδίο έχει περιστραφεί αντίστοιχα κατά 360° .



Σχ. 2.9: Στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο.

2.1.5) Ολίσθηση.

Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται με ταχύτητα που εξαρτάται από τη συχνότητα (f) του ρεύματος τροφοδοσίας και τα ζεύγη πόλων (p) του τυλίγματος του στάτη.

Η ταχύτητα αυτή λέγεται **σύγχρονη ταχύτητα** n_s .

$$n_s = \frac{60f}{p}$$

n_s : σύγχρονη ταχύτητα σε $στρ/min$ ($\Sigma. A. \Lambda$)

f : συχνότητα τροφοδοσίας σε Hz ($1/sec$)

P : ζεύγη μαγνητικών πόλων

Ο δρομέας του κινητήρα περιστρέφεται με ταχύτητα n που εξαρτάται από το φορτίο του άξονα. Ο λόγος της διαφοράς μεταξύ της σύγχρονης ταχύτητας n_s και της ταχύτητας του κινητήρα n , προς τη σύγχρονη ταχύτητα, ονομάζεται **ολίσθηση** s :

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Η ολίσθηση ενός κινητήρα δεν είναι σταθερή, μεταβάλλεται με το φορτίο και αυξάνεται με αυτό.

2.1.6) Ροπή ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία του κινητήρα είναι η ροπή (T) που μπορεί να αναπτύξει στον άξονά του για να περιστρέψει το φορτίο.

Μέσα από σχέσεις της Μηχανικής καταλήγουμε στην έκφραση της ροπής:

όπου:

$$T = \frac{9,55 * P}{n}$$

T : ροπή (σε N_m)

P : αποδιδόμενη ισχύς (σε W)

n : ταχύτητα κινητήρα (σε $στρ/min$)

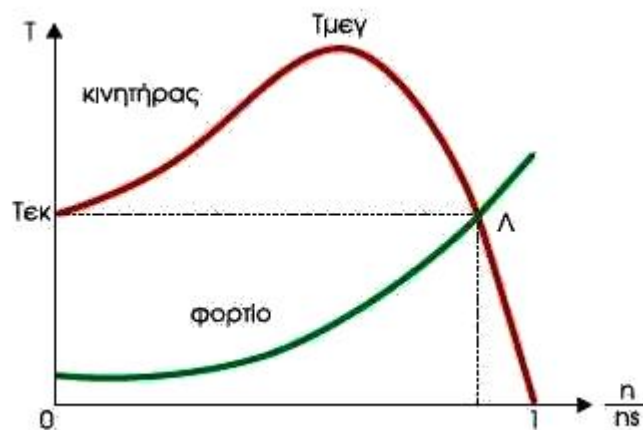
Στο σχήμα 2.10 φαίνεται η τυπική καμπύλη ροπής-στροφών ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα. Η καμπύλη αυτή είναι σημαντική για τη λειτουργία των κινητήρων. Κατά την εκκίνηση, όταν οι στροφές είναι πρακτικά μηδέν, η ροπή του κινητήρα έχει τιμή $T_{εκκ}$ και λέγεται **ροπή εκκίνησης**. Καθώς αυξάνονται οι στροφές, αυξάνεται και η ροπή μέχρι την τιμή $T_{μεγ}$, που λέγεται **μέγιστη ροπή** ή **ροπή ανατροπής**.

Στη συνέχεια η ροπή μειώνεται απότομα και μηδενίζεται, όταν η ταχύτητα του κινητήρα φθάσει τη σύγχρονη ταχύτητα.

Στο σχήμα 2.10 φαίνεται και η καμπύλη ροπής-στροφών του φορτίου. Σε κάθε ταχύτητα η διαφορά μεταξύ της ροπής του κινητήρα και της ροπής του φορτίου λέγεται **ροπή επιτάχυνσης**.

Η ροπή εκκίνησης του κινητήρα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ροπή εκκίνησης του φορτίου. Η ροπή του κινητήρα πρέπει να παραμένει μεγαλύτερη από τη ροπή του φορτίου όλο το διάστημα που ο κινητήρας επιταχύνεται μέχρι να φθάσει στη ταχύτητα λειτουργίας του. Η ταχύτητα λειτουργίας και η ροπή λειτουργίας καθορίζονται από το **σημείο λειτουργίας Λ** που είναι η τομή των δύο καμπυλών του σχήματος 2.10.

Η λειτουργία του κινητήρα στο τμήμα της καμπύλης πριν τη μέγιστη ροπή ($T_{μεγ}$) είναι **ασταθής λειτουργία** και μετά τη μέγιστη ροπή είναι **ευσταθής λειτουργία**. Ο κινητήρας εργάζεται στην ευσταθή περιοχή για να μπορεί να προσαρμόζεται αυτόματα στις διακυμάνσεις του φορτίου. Στην περιοχή αυτή, αν για κάποιο λόγο αυξηθεί το φορτίο, θα μειωθεί η ταχύτητα και κατόπιν θα αυξηθεί η ροπή ώστε να μπορέσει ο κινητήρας να περιστρέψει το φορτίο.



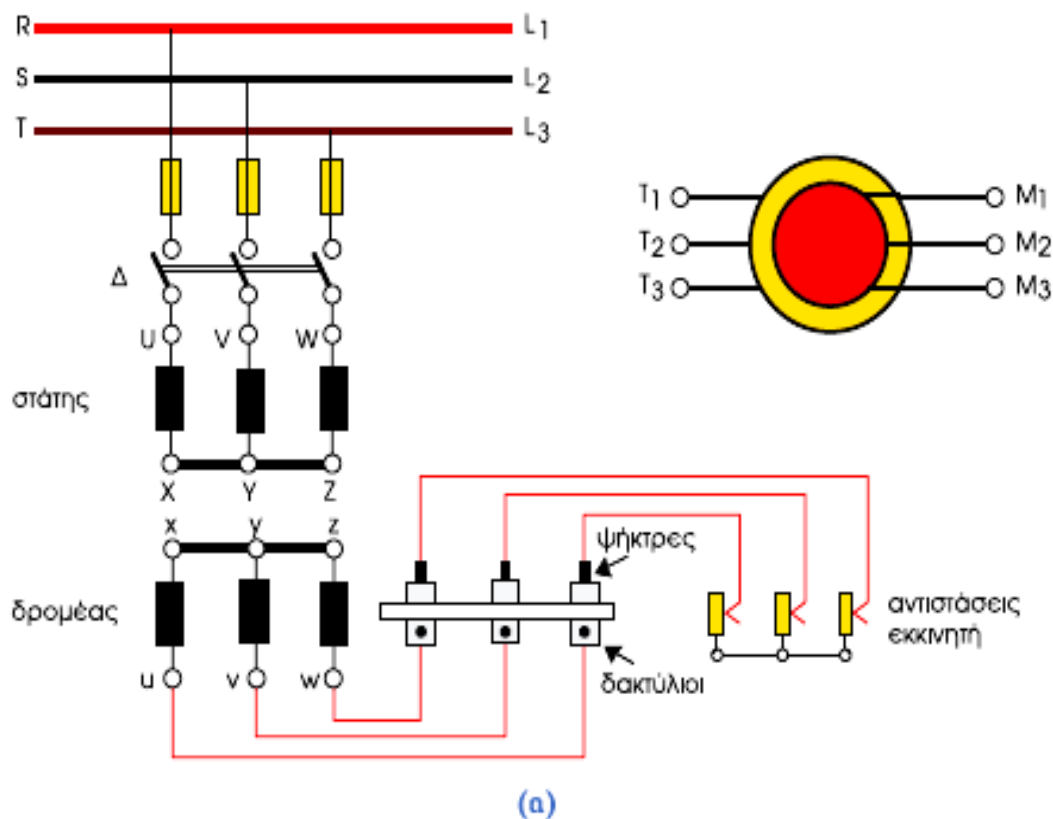
Σχ.2.10: Καμπύλη ροπής - ταχύτητας ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.

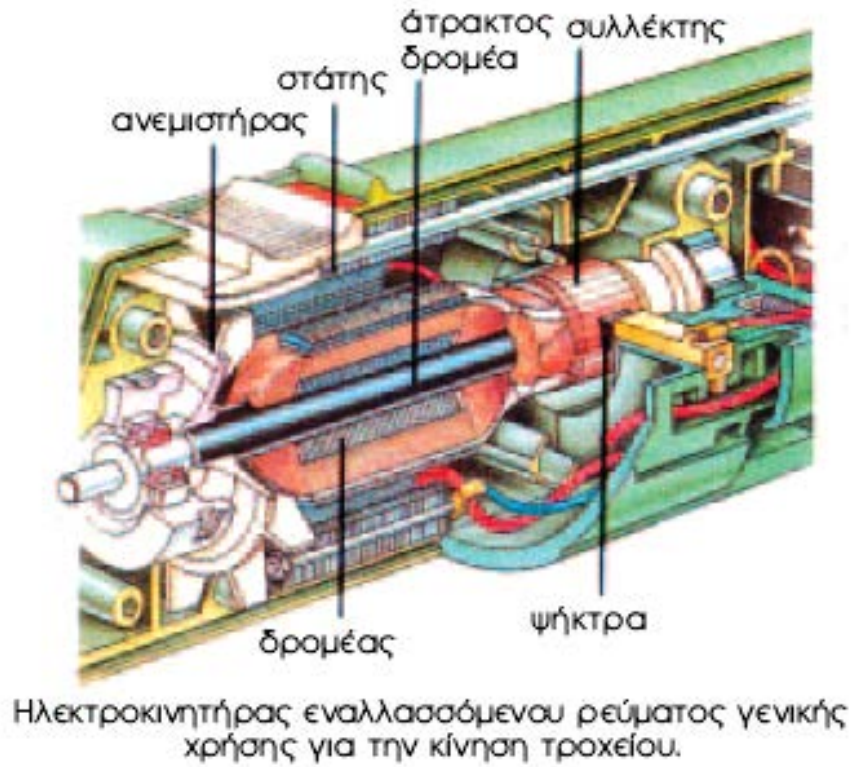
2.2) Ασύγχρονοι τριφασικοί Κινητήρες Δακτυλιοφόρου Δρομέα.

2.2.1) Κατασκευαστικά μέρη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων Δακτυλιοφόρου Δρομέα.

Ο στάτης του κινητήρα με δακτυλίδια δεν έχει καμία διαφορά από το στάτη του κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα. Ο δρομέας όμως είναι τελείως διαφορετικός. Αποτελείται από μαγνητικά ελάσματα με εγκοπές που σχηματίζουν οδοντώσεις μέσα στις οποίες τοποθετείται το τύλιγμα. Ο αριθμός των πόλων του δρομέα είναι ίδιος με τον αριθμό των πόλων του στάτη. Το τύλιγμα του δρομέα είναι συνδεδεμένο κατ' αστέρα ή τρίγωνο, τα τρία άκρα του οποίου συνδέονται σε τρία μονωμένα μεταξύ τους **δακτυλίδια**, στερεωμένα πάνω στον άξονα του δρομέα.

Στα δακτυλίδια εφάπτονται **ψηκτρες**, με ψηκτροθήκες στερεωμένες στο στάτη. Μέσω των ψηκτρών, κάθε φάση του δρομέα συνδέεται με την αντίσταση ενός τριφασικού **εκκινητή**, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.11. Με τις αντιστάσεις του εκκινητή μπορούμε να επιτύχουμε εκκίνηση με χαμηλό ρεύμα και μεγάλη ροπή.



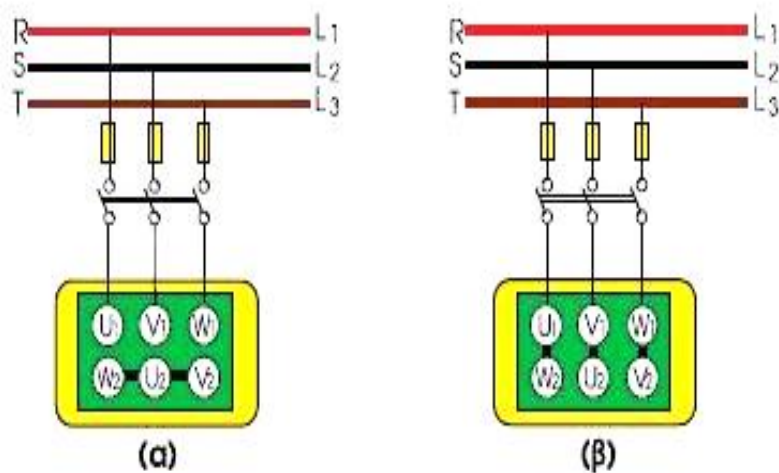


(β)

Σχ. 2.11: Συνδεσμολογία ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα με δακτυλίδια.

2.2.2) Ακροδέκτες, συνδεσμολογίες.

Σύμφωνα με τη σύγχρονη τυποποίηση τα τρία τυλίγματα έχουν ακροδέκτες U_1-U_2 , V_1-V_2 και W_1-W_2 (σχ. 2.12).

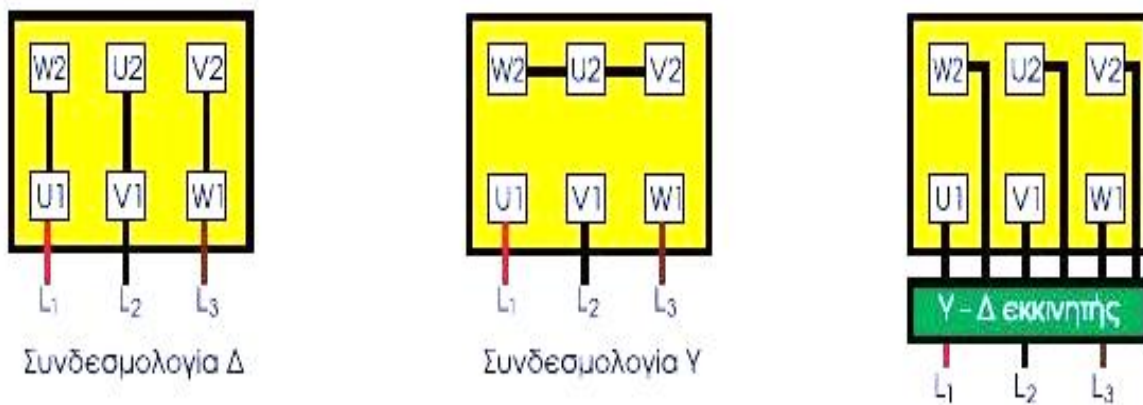


Σχ. 2.12 : Σύνδεση των τριών φάσεων του στάτη (α) σε αστέρα (Y) και (β) σε τρίγωνο (Δ).

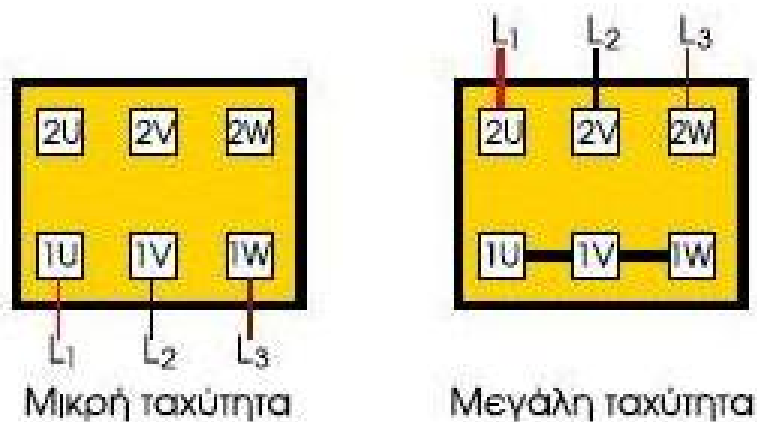
Τα συνηθέστερα κιβώτια ακροδεκτών είναι:

1. ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα μιας ταχύτητας (σχ. 2.13)
2. ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα δύο ταχυτήτων (σχ. 2.14)
3. ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα τριών ταχυτήτων
4. ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα πολλαπλών ταχυτήτων.

Στο κιβώτιο ακροδεκτών υπάρχει συνήθως ακροδέκτης γείωσης με ένδειξη *PE*, αν και οι κινητήρες, τις περισσότερες φορές, έχουν γείωση ιδιαίτερη, απ' ευθείας στο κέλυφος του κινητήρα της μηχανής.



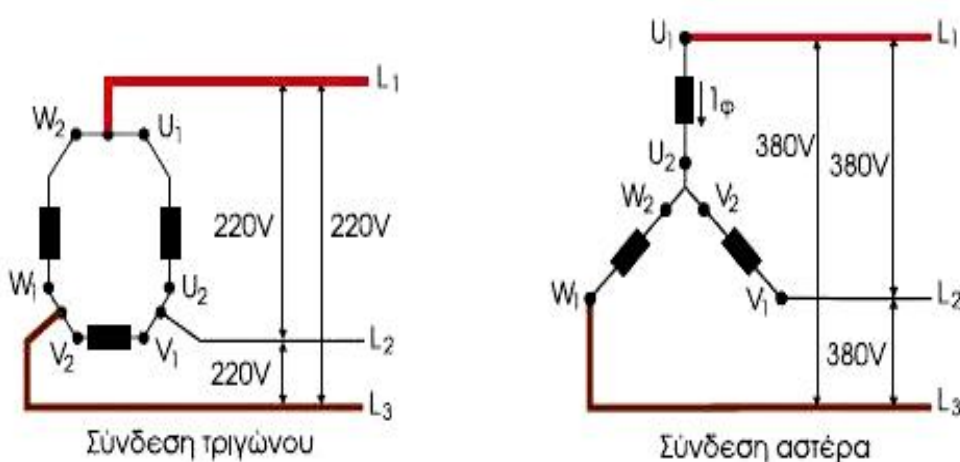
Σχ. 2.13: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας μιας ταχύτητας.



Σχ. 2.14: Συνδέσεις κιβωτίου ακροδεκτών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα δύο ταχυτήτων.

2.2.3) Τάση λειτουργίας.

Τα πηνία των τριών φάσεων του κινητήρα ανάλογα με τη διατομή τους μπορούν να εργασθούν σε μία καθορισμένη από τον κατασκευαστή τάση. Αυτή υποχρεωτικά αναγράφεται στην πινακίδα της μηχανής. Για παράδειγμα, αν η ένδειξη είναι **220VΔ/ 380VΥ**, ο κινητήρας μπορεί να εργασθεί με πολική τάση δικτύου **220V** σε σύνδεση τριγώνου και **380V** σε σύνδεση αστέρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.15.



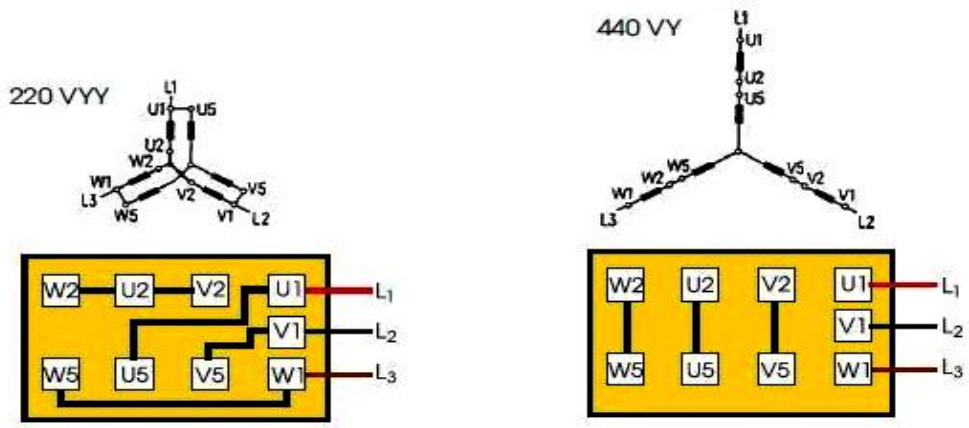
Σχ. 2.15: Τάσεις λειτουργίας σε Υ και Δ, με ένδειξη πινακίδας 220V Δ/380V Υ.

Άλλες συνηθισμένες ενδείξεις είναι: **380VΔ, 380VΔ/660VΥ**.

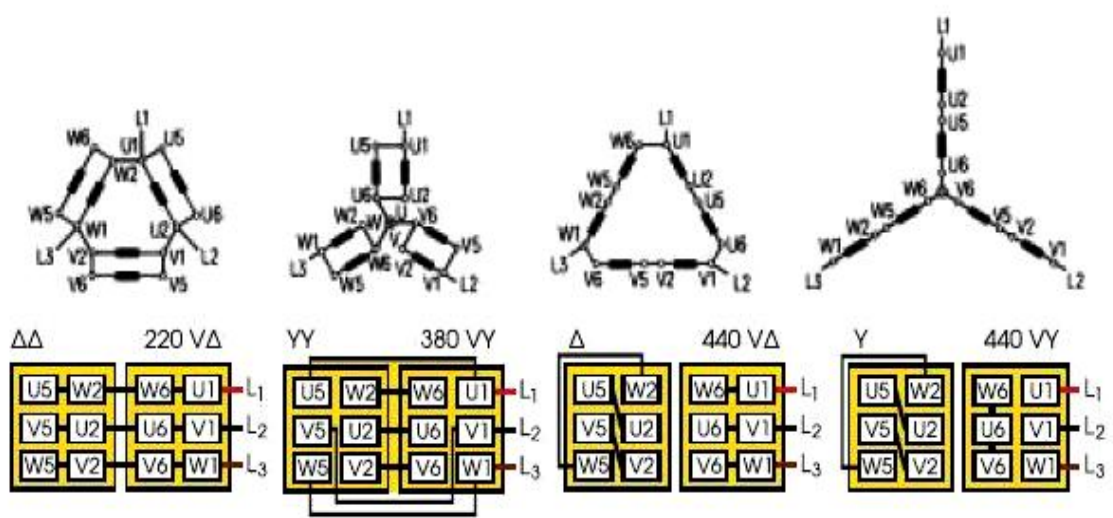
Η χαμηλή τάση του δικτύου της ΔΕΗ είναι 220/380V, που σημαίνει, ότι μπορούμε να έχουμε πολική τάση στη μηχανή **380V**. Στο σχήμα 2.15, **μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο η σύνδεση αστέρα**.

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς *IEC*, η επιτρεπόμενη διακύμανση τάσης τροφοδοσίας είναι $\pm 5\%$ της ονομαστικής. Οι κινητήρες πρέπει να μπορούν να αποδίδουν την πλήρη ισχύ τους σε μεταβολή της τάσης από 105% έως 95% αλλά υπό ονομαστική συχνότητα. Επίσης η νέα τυποποίηση της χαμηλής τάσης του δικτύου της Δ.Ε.Η. είναι 230/400V.

Κατασκευάζονται ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες που μπορούν να λειτουργήσουν σε δύο τάσεις τροφοδοσίας. Αυτοί έχουν δύο τυλίγματα ανά φάση σε κιβώτιο εννιά και δώδεκα άκρων, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.16 και 2.17.



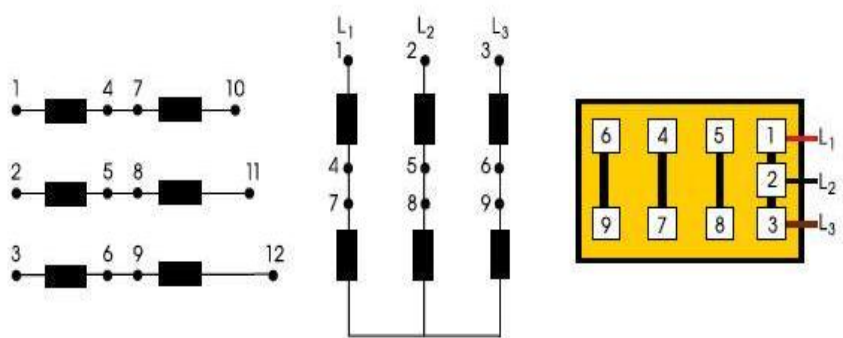
Σχ. 2.16: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας πολλαπλών τάσεων, 9 άκρων (SIEMENS).



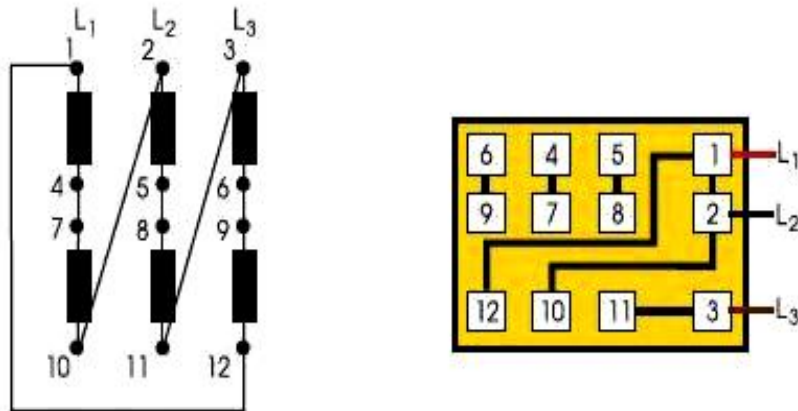
Σχ. 2.17: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας πολλαπλών τάσεων 12 άκρων (SIEMENS).

Παρατηρούμε ότι, για μικρές τάσεις τα τυλίγματα συνδέονται παράλληλα και για μεγάλες σε σειρά, τόσο στον αστέρα όσο και στο τρίγωνο.

Άλλη τυποποίηση ακροδεκτών κινητήρων πολλαπλών τάσεων είναι με αριθμούς. Τα άκρα κάθε πηνίου διαφέρουν κατά τον αριθμό τρία (3), όπως φαίνεται στα σχήματα 2.18 και 2.19.



Σχ. 2.18: Συνδεσμολογία αστέρα μεγάλης τάσης εννιά ακροδεκτών.



Σχ. 2.19: Συνδεσμολογία τριγώνου μεγάλης τάσης δώδεκα ακροδεκτών.
(Λείπουν οι ακροδέκτες 10,11,12)

2.2.4) Εκκίνηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα.

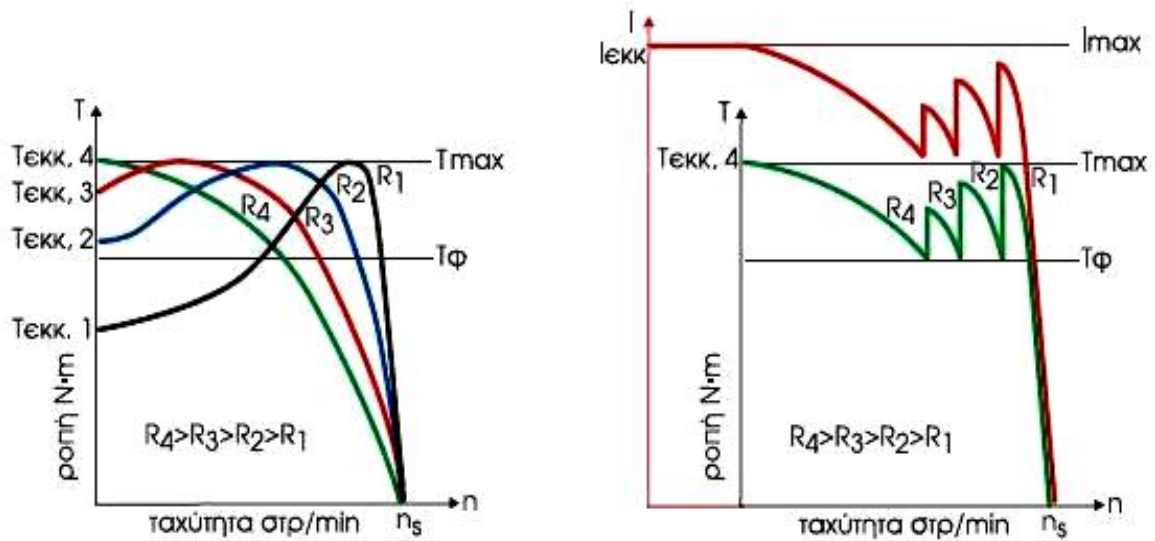
Όπως αναφέραμε στο κύκλωμα του δρομέα, στο σχήμα 2.11 είναι δυνατή η σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων μέσω δακτυλιδιών και ψηκτρών.

Ξεκινώντας από μία αντίσταση R_1 ίση με την ωμική αντίσταση των τυλιγμάτων του δρομέα $R_1=R_{\delta\rho}$, προσθέτουμε βηματικά εξωτερικές αντιστάσεις R , έτσι ώστε $R_2=R_1+R$, $R_3=R_1+2R$, $R_4=R_1+3R$.

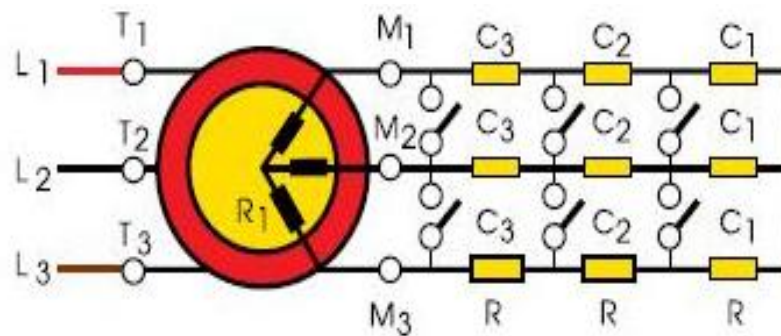
► Παρατηρούμε από τις καμπύλες $T - n$ και $I - n$ ότι, καθώς αυξάνεται η αντίσταση του δρομέα, η μέγιστη ροπή T_{max} παραμένει σταθερή, αλλά πραγματοποιείται σε μικρότερη ταχύτητα.

Με την προσθήκη της R_4 έχουμε επιτύχει ροπή εκκίνησης ίση με τη μέγιστη $T_{εκκ,4}=T_{max}$ και ρεύμα εκκίνησης αρκετά χαμηλό σε σχέση με αυτό που θα είχαμε με αντίσταση δρομέα ίση με την R_1 . Στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας ο κινητήρας παρουσιάζει μεγάλη ολίσθηση και φυσικά μικρή απόδοση. Στην εκκίνηση έχουμε συνδεδεμένη την αντίσταση R_4 και, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα, βηματικά αφαιρούνται οι αντιστάσεις μέσω χειροκίνητου διακόπτη ή καλύτερα αυτόματα μέσω ηλεκτρονόμου και χρονοδιακόπτη. Λίγο πριν φθάσει ο κινητήρας στις ονομαστικές του στροφές, έχουν βραχυκυκλωθεί οι εξωτερικές αντιστάσεις και λειτουργεί μόνο με την αντίσταση του δρομέα σαν κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Στο σχήμα 2.21 φαίνεται η διάταξη των επαφών των ηλεκτρονόμων C_1, C_2, C_3 που βαθμιαία κλείνουν. Στο σχήμα 2.20 φαίνεται η αντίστοιχη πριονωτή μεταβολή της ροπής του κινητήρα.



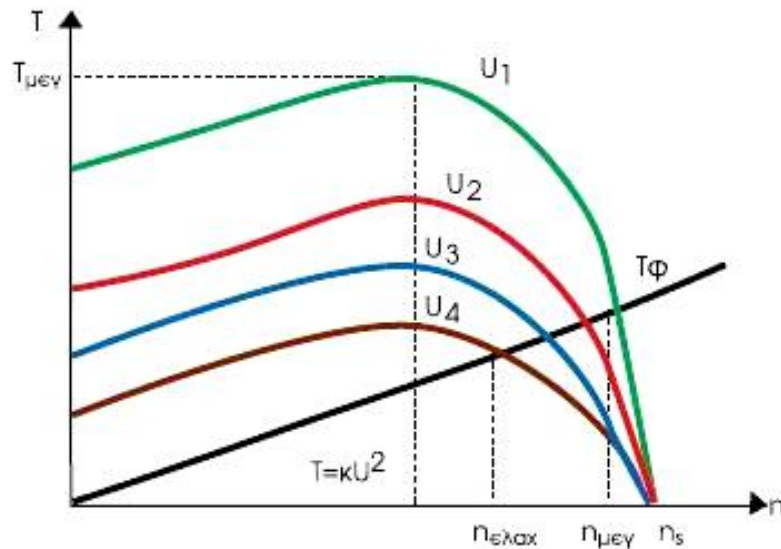
Σχ. 2.20: Εκκίνηση ασύγχρονου κινητήρα με δακτυλίδια με παρεμβολή αντιστάσεων.



Σχ. 2.21: Αυτοματισμός εκκίνησης ασύγχρονου κινητήρα με δακτυλίδια.

2.2.5) Ρύθμιση στροφών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα με δακτυλίδια.

Η ταχύτητα περιστροφής $n = \frac{60 \cdot f \cdot (1-s)}{p}$ μπορεί να μεταβληθεί επιδρώντας σε τρεις παραμέτρους p, f, s . Οι μέθοδοι είναι ίδιες, μόνο που στον κινητήρα με δακτυλιοφόρο δρομέα μας δίνονται μεγαλύτερα περιθώρια ρύθμισης με ταυτόχρονη μεταβολή της αντίστασης του δρομέα.



Σχ. 2.22: Χαρακτηριστικές T-n με $U_1 > U_2 > U_3 > U_4$.

► Αλλαγή ολίσθησης s

Την ολίσθηση μπορούμε να τη μεταβάλλουμε με αλλαγή της τάσης τροφοδοσίας του στάτη ή με αλλαγή της αντίστασης του δρομέα.

1. Αλλαγή της τάσης τροφοδοσίας του στάτη

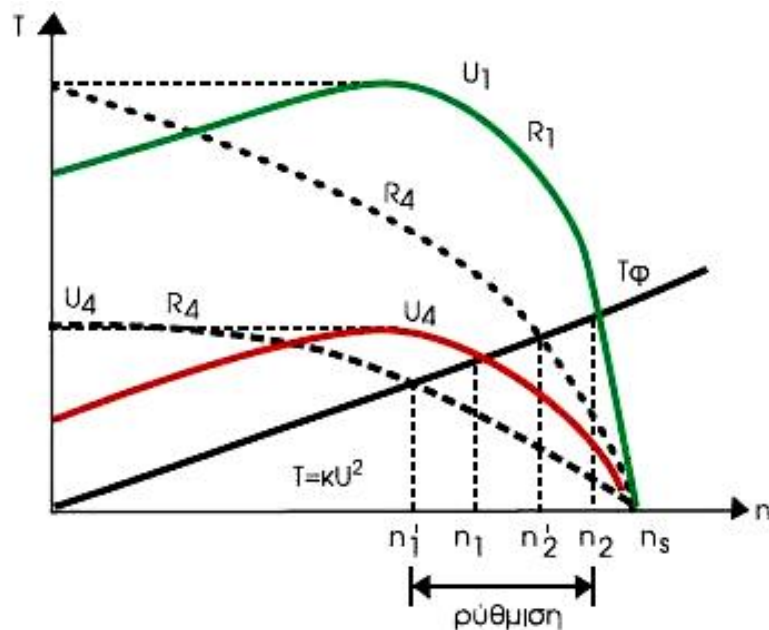
Η αλλαγή της τάσης τροφοδοσίας του στάτη δίνει τις χαρακτηριστικές $T - n$ του σχήματος 2.22. Η ρύθμιση των στροφών γίνεται σε ένα μικρό εύρος από $n_{ελαχ}$, μέχρι $n_{μεγ}$. Πρέπει να υπερκαλύπτεται φυσικά η ροπή του φορτίου. Σε κάθε εφαρμογή υπάρχει μία ελάχιστη τιμή τάσης του στάτη που, αν ξεπεραστεί, οδηγεί το σύστημα σε ασταθή λειτουργία. Για να βελτιωθεί το σύστημα από πλευράς ευστάθειας πρέπει να έχουμε κινητήρα με δρομέα με μεγάλη αντίσταση.

Αν ο κινητήρας είναι με βραχυκυκλωμένο δρομέα θα έχουμε σε κανονική λειτουργία υπερθέρμανση, απώλειες και μικρό βαθμό απόδοσης.

Η μέθοδος ενδείκνυται κυρίως για κινητήρα με δακτυλιοφόρο δρομέα, που μπορούμε να προσθέσουμε βηματικά εξωτερικές αντιστάσεις και να επιτύχουμε την ίδια μέγιστη ροπή σε μικρότερη ταχύτητα.

Στο σχήμα 2.23 φαίνονται για δύο τάσεις τροφοδοσίας $U_1 > U_2$, οι καμπύλες $T - n$ με αντιστάσεις δρομέα R_1 και R_4 με $R_4 > R_1$.

Με συνδυασμό τιμής αντίστασης δρομέα και τάσης τροφοδοσίας μπορούμε να επιτύχουμε ρύθμιση της ταχύτητας του κινητήρα με μεγάλα περιθώρια. Η ελάχιστη ταχύτητα είναι n_1 και η μέγιστη n_2 . **Η μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας γίνεται ηλεκτρονικά με παρεμβολή μετατροπέα έξι θυρίστορ, δύο ανά φάση τοποθετημένα ανάστροφα (TRIAC).** Η αλλαγή της γωνίας έναυσης των θυρίστορ μεταβάλλει την τάση τροφοδοσίας.

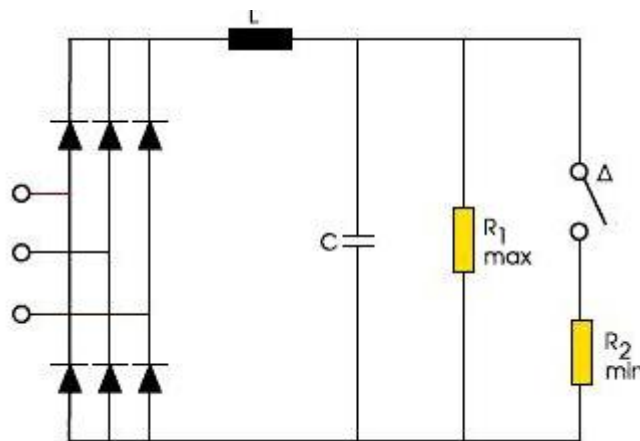


Σχ. 2.23: Χαρακτηριστικές T-n με αλλαγή τάσης τροφοδοσίας και αντίστασης δρομέα.

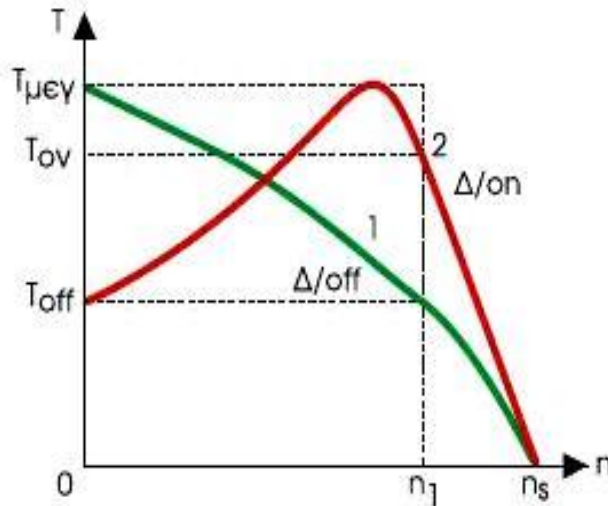
2. Αλλαγή αντίστασης δρομέα μέσω διακόπτη (σύστημα ON-OFF)

Οι τάσεις που παράγονται στο δρομέα, ανορθώνονται με μία γέφυρα, εξομαλύνονται με φίλτρο L, C και έτσι παράγεται μια συνεχής τάση που δεν παρουσιάζει αιχμές μεταγωγικής έντασης (σχ. 2.24). Όταν ο διακόπτης Δ είναι ανοικτός (Δ/off), ο δρομέας είναι συνδεδεμένος με την αντίσταση R_1 που έχει μεγάλη τιμή και ακολουθεί την καμπύλη 1 του σχήματος 2.25. Όταν ο διακόπτης Δ είναι κλειστός (Δ/on), είναι συνδεδεμένες οι αντιστάσεις R_1 και παράλληλα η R_2 , η οποία είναι πολύ μικρή. Η συνολική αντίσταση είναι μικρή και ο κινητήρας ακολουθεί την καμπύλη 2. Αν ο χρόνος που παραμένει ανοικτός ο διακόπτης είναι t_{on} και ο χρόνος που παραμένει κλειστός t_{off} , για μία ταχύτητα n_1 , η μέση ροπή θα είναι:

$$\mathbf{T} = \frac{T_{off} * t_{off} + T_{on} * t_{on}}{t_{on} + t_{off}}, \text{ άρα θα έχουμε } \mathbf{T} = \frac{T_{off} + \frac{t_{on}}{t_{off}} * T_{on}}{1 + \frac{t_{on}}{t_{off}}}$$



Σχ. 2.24: Κύκλωμα αλλαγής αντίστασης δρομέα μέσω διακόπτη.



Σχ. 2.25: Καμπύλες T-n σε κύκλωμα αλλαγής αντίστασης δρομέα μέσω διακόπτη.

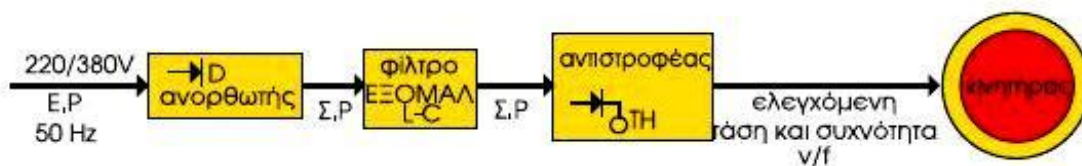
Μέσω ηλεκτρονικής συσκευής οδήγησης μπορεί να μεταβληθεί ο λόγος $ton/toff$ με αποτέλεσμα να μεταβληθεί η μέση ροπή του δρομέα. Η ροπή του φορτίου είναι συγκεκριμένη, άρα έτσι θα ρυθμιστεί η ταχύτητα.

► Στατική ρύθμιση ολίσθησης και ανάκτηση ισχύος

Τα συστήματα ρύθμισης ταχύτητας δακτυλιοφόρων κινητήρων που μελετήσαμε, στηρίζονται στη μεταβολή της εξωτερικής αντίστασης του δρομέα. Ο τρόπος αυτός αυξάνει τις θερμικές απώλειες και φυσικά μας δίνει χαμηλό βαθμό απόδοσης.

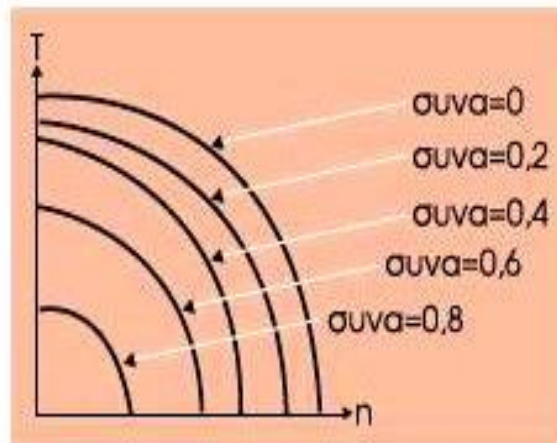
Τα ηλεκτρονικά ισχύος μας βοηθούν να αλλάξουμε τη χαρακτηριστική ροπής - στροφών (T-n) χωρίς απώλειες. Περίπου το 90% της ισχύος του δρομέα αντί να μετατραπεί σε θερμότητα πάνω στις εξωτερικές αντιστάσεις, επιστρέφει στο δίκτυο τροφοδοσίας.

Η διάταξη με την οποία επιτυγχάνεται η ρύθμιση ταχύτητας και ταυτόχρονα η ανάκτηση ισχύος είναι η γνωστή διάταξη **ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών** που μελετήσαμε στη ρύθμιση ταχύτητας κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα. Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής θα μπορούσε να τροφοδοτήσει το στάτη με ελεγχόμενη τάση και συχνότητα (σχ. 2.26) και έτσι να ελεγχθεί η ταχύτητα, όπως στους κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα.

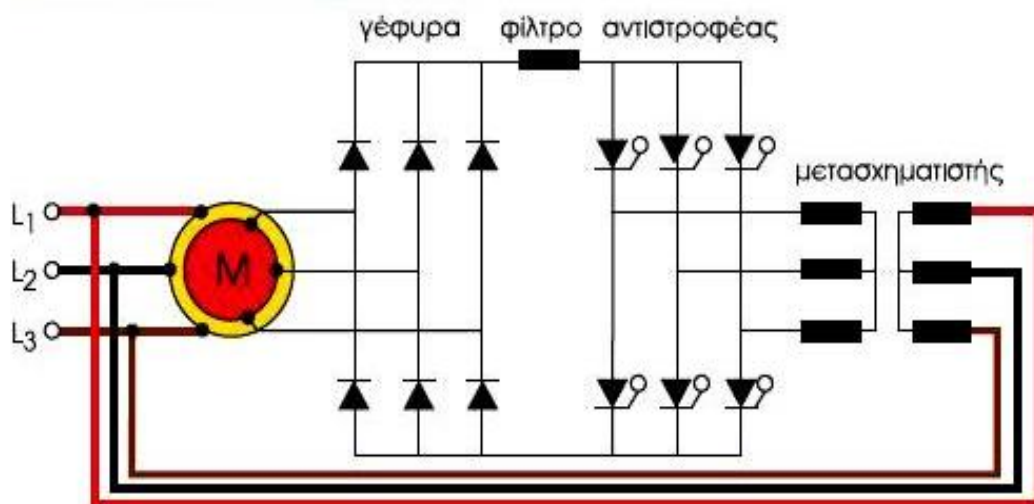


Σχ. 2.26: Μετατροπέας EP/EP.

Στους κινητήρες με δακτυλίδια μπορούμε όμως να συνδέσουμε τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή στο δρομέα, να μεταβάλλουμε τη γωνία έναυσης των θυρίστορ και έτσι να αλλάξει η χαρακτηριστική ροπής - στροφών ($T - n$) και ταυτόχρονα να ανατροφοδοτηθεί το δίκτυο τροφοδοσίας, όπως φαίνεται στα σχήματα 2.27 και 2.28.



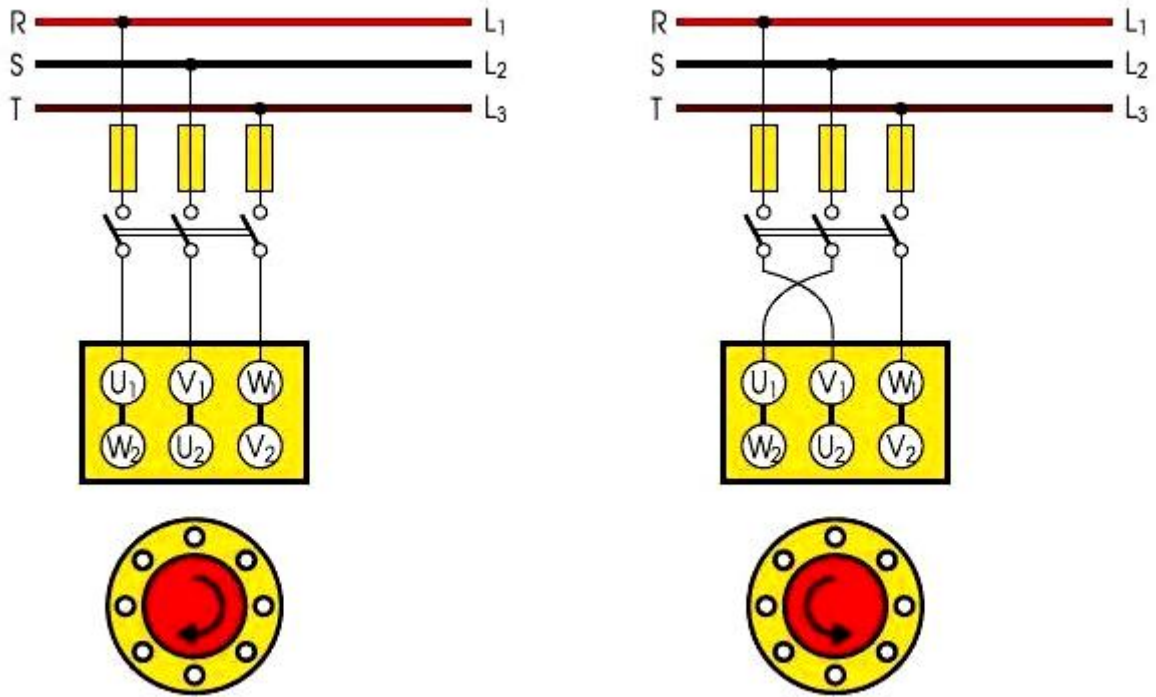
Σχ. 2.27: Χαρακτηριστικές ροπής - στροφών για διάφορες γωνίες έναυσης των θυρίστορ.



Σχ. 2.28: Έλεγχος ταχύτητας δακτυλιοφόρου κινητήρα με μετατροπέα EP/EP (CASCADÉ).

2.2.6) Αλλαγή φοράς περιστροφής.

Η αλλαγή φοράς περιστροφής του κινητήρα επιτυγχάνεται με την αλλαγή της φοράς περιστροφής του μαγνητικού πεδίου. Για να γίνει αυτή η αλλαγή αντιμεταθέτουμε τις συνδέσεις των δύο από τους τρεις αγωγούς που τροφοδοτούν τον κινητήρα (σχ. 2.29).

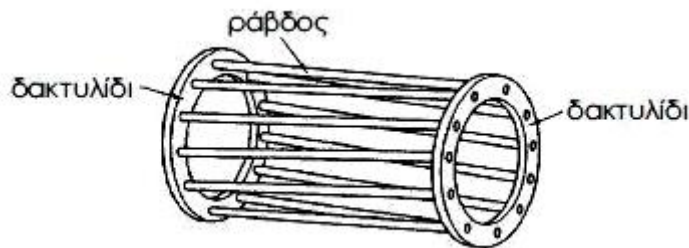


Σχ. 2.29: Αλλαγή φοράς περιστροφής.

2.3) Ασύγχρονοι τριφασικοί Κινητήρες Βραχυκυκλωμένου Δρομέα.

2.3.1) Κατασκευαστικά μέρη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Το τύλιγμα του δρομέα αποτελείται από μεταλλικές ράβδους από χαλκό ή ορείχαλκο, τα άκρα των οποίων βραχυκυκλώνονται από δύο δακτυλίδια βραχυκύκλωσης (σχ. 2.30).



Σχ. 2.30: Τύλιγμα κλωβού δρομέα.

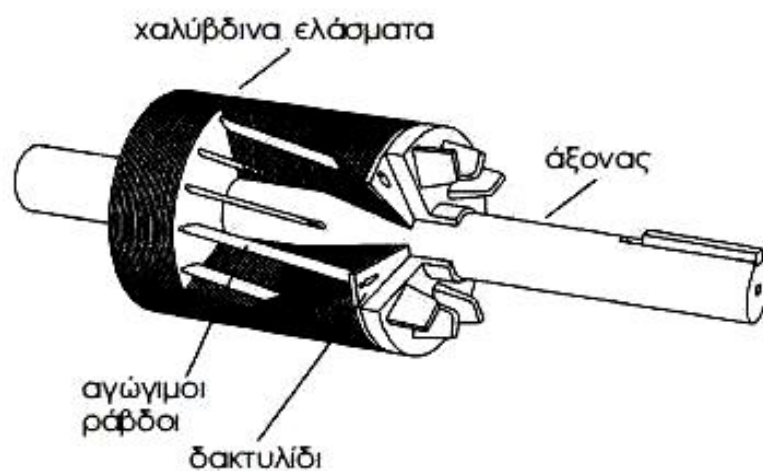
Η σύνδεση γίνεται με συγκόλληση ή χύτευση. Ο δρομέας δεν συνδέεται ηλεκτρικά με άλλο τμήμα του κινητήρα και το ρεύμα που κυκλοφορεί σ' αυτόν είναι από επαγωγή λόγω του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

Αν τα αυλάκια στο τύμπανο του δρομέα είναι απλά, το τύλιγμα λέγεται **απλού κλωβού**, αν φέρει διπλά αυλάκια το τύλιγμα λέγεται **διπλού κλωβού** και αν τα αυλάκια είναι βαθειά, το τύλιγμα λέγεται με **βαθειά αυλάκια** (σχ. 2.31).

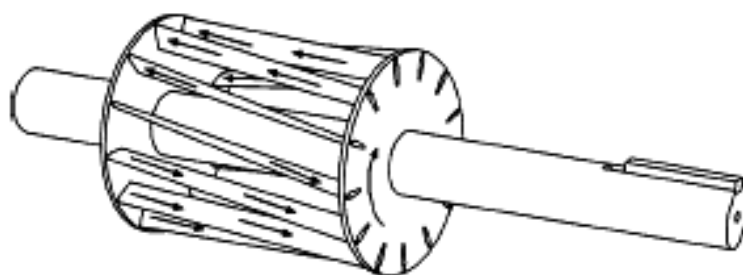


Σχ. 2.31: Διάφοροι τύποι αυλακιών δρομέα.

Οι κινητήρες με τύλιγμα απλού κλωβού είναι γενικά απλής κατασκευής, έχουν μικρό κόστος και καλό βαθμό απόδοσης. Στους μικρούς κινητήρες το τύλιγμα απλού κλωβού κατασκευάζεται από καθαρό αλουμίνιο που χύνεται μέσα στα αυλάκια. Το μειονέκτημα των κινητήρων απλού κλωβού είναι το **μεγάλο ρεύμα εκκίνησης με αντίστοιχα μικρή ροπή εκκίνησης**. Λόγω των δυσμενών συνθηκών εκκίνησης, οι κινητήρες απλού κλωβού είναι κινητήρες μικρής ισχύος. Τα παραπάνω μειονεκτήματα μειώνονται, όταν οι κινητήρες έχουν τύλιγμα διπλού κλωβού ή τύλιγμα με βαθιά αυλάκια.



Σχ. 2.32: Κατασκευή τυλίγματος κλωβού με παρεμβολή χαλύβδινων ελασμάτων.

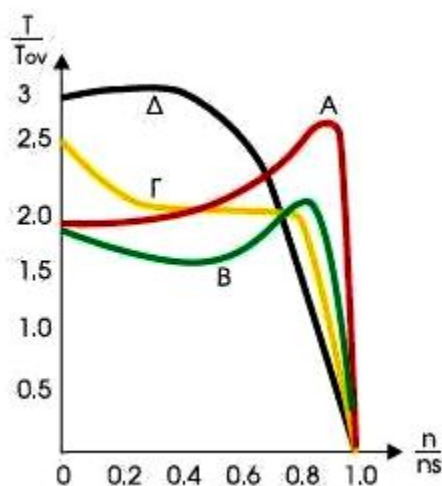


Σχ. 2.33: Κυκλοφορία ρευμάτων.

► Κατασκευαστικές κλάσεις κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα

Οι κατασκευαστές προσπαθούν να μεταβάλλουν την αντίσταση και την αντίδραση των τυλιγμάτων του δρομέα μεταβάλλοντας το μέγεθος, τη μορφή και το βάθος των αυλακιών του, όπως φαίνεται στα σχήματα 2.31, 2.32, 2.33. Έτσι επιτυγχάνουν **μεγάλη ροπή εκκίνησης και μικρό ρεύμα εκκίνησης** του κινητήρα. Αυτά είναι απαραίτητα για την ομαλή εκκίνησή του και την ανεπιθύμητη πτώση τάσης του δικτύου, που προκαλεί ταλαντώσεις στη λειτουργία διπλανών συσκευών.

Έχει γίνει διαχωρισμός των κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα σε τέσσερις κλάσεις ανάλογα με τη συμπεριφορά τους κατά την εκκίνηση και κατά την κανονική λειτουργία (σχ. 2.34).



Σχ. 2.34: Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας για Α,Β,Γ,Δ κλάση κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.

► **Κλάση Α:** Κανονική ροπή εκκίνησης και κανονικό ρεύμα εκκίνησης. Έχουν τύλιγμα απλού κλωβού και διακρίνονται για την καλή επίδοση λειτουργίας σε βάρος της εκκίνησης. Η **μέγιστη ροπή** είναι μεγαλύτερη του $2,5 * T_{0v}$ και σε ταχύτητα πάνω από $0,8 * n_s$ που σημαίνει ολίσθηση μικρότερη του 0,2. Το ρεύμα εκκίνησης είναι μεγάλο ίσο με $5 \div 8 * I_{0v}$. Χρησιμοποιούνται για κίνηση μηχανημάτων σταθερής ταχύτητας χωρίς μεγάλη ροπή εκκίνησης, όπως εργαλειομηχανές, αντλίες, ανεμιστήρες.

► **Κλάση Β:** Κανονική ροπή εκκίνησης ίδια με την κλάση Α, μικρή ολίσθηση και ρεύμα εκκίνησης το 75% της κλάσης Α. Το ρεύμα εκκίνησης μειώθηκε με σχεδιασμό τυλίγματος υψηλής αντίδρασης σκέδασης ενώ η ροπή εκκίνησης είναι ίδια με την κλάση Α με κατασκευή όμως διπλού κλωβού ή κλωβού με βαθειά αυλάκια. Οι εφαρμογές τους είναι ίδιες με την κλάση Α και έχουν αντικαταστήσει στη σύγχρονη τεχνολογία τους κινητήρες κλάσης Α, λόγω του χαμηλότερου ρεύματος εκκίνησης.

► **Κλάση Γ:** Έχουν τύλιγμα δρομέα διπλού κλωβού μεγαλύτερης αντίστασης από την Α και τη Β κλάση. Αναπτύσσουν μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης, χρειάζονται μικρότερο ρεύμα εκκίνησης, έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης και μεγαλύτερη ολίσθηση από τις δύο προηγούμενες κλάσεις. Έχουν μεγαλύτερο κόστος και χρησιμοποιούνται σε φορτία που χρειάζονται μεγάλη ροπή εκκίνησης όπως συμπιεστές, μεταφορικές ταινίες, ισχύος 10PS μέχρι 300PS.

► **Κλάση Δ:** Έχουν τύλιγμα απλού κλωβού με ράβδους από ορείχαλκο, μικρότερης διατομής για να παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση. Αναπτύσσουν πολύ μεγάλη ροπή εκκίνησης με χαμηλό ρεύμα εκκίνησης. Η μέγιστη ροπή ξεπερνά την τριπλάσια της ονομαστικής και επιτυγχάνεται σε χαμηλές ταχύτητες με ολίσθηση 0,5 έως 0,11 με χαμηλό βαθμό απόδοσης.

Χρησιμοποιούνται για κίνηση διακοπτόμενων φορτίων που χρειάζονται μεγάλη επιτάχυνση και για κρουστικά φορτία όπως πρέσες, διατρητικά μηχανήματα, ψαλίδια και μηχανήματα με σφόνδυλο.

2.3.2) Εκκίνηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο δίκτυο με έναν απλό εξοπλισμό.

Κατά την εκκίνηση όμως απορροφούν ρεύμα τετραπλάσιο μέχρι οκταπλάσιο του ονομαστικού, που προκαλεί στιγμιαία πτώση τάσης του δικτύου και η οποία έχει επιπτώσεις στους άλλους καταναλωτές. Η πτώση τάσης, που λέγεται και βύθιση τάσης δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα σε κινητήρες, ηλεκτρονικά μηχανήματα κ.α. Σύμφωνα με τους κανονισμούς IEC όπως είδαμε, η τροφοδοσία των κινητήρων μπορεί να έχει διακύμανση 5%.

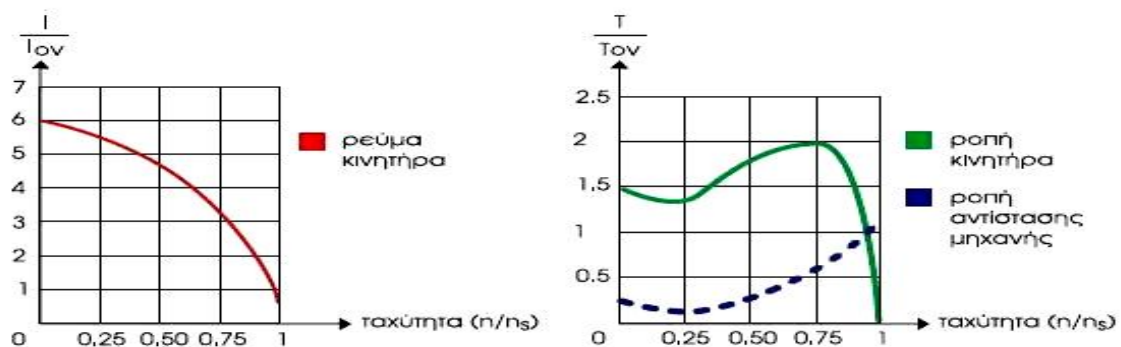
Αρκετές μέθοδοι εκκίνησης αναπτύχθηκαν προκειμένου να επιλύσουν τα προβλήματα της εκκίνησης:

α) Απευθείας εκκίνηση

Ο κινητήρας συνδέεται στο δίκτυο μέσω τριπολικού διακόπτη (σχήμα 2.12). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε κινητήρες μικρής ισχύος μέχρι 1,5PS. Δημιουργεί πτώση τάσης στο δίκτυο, γι' αυτό η ΔΕΗ έχει εκδώσει σχετική οδηγία που προσδιορίζει το μέγιστο ρεύμα εκκίνησης στην περίπτωση αυτή.

► Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

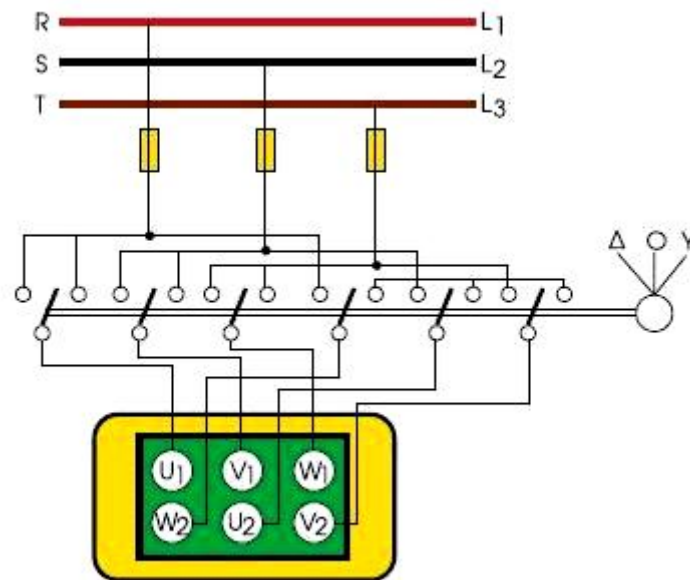
- Ρεύμα εκκίνησης: $I_{εκκ} \cong 6 * I_{ον}$.
Μεγάλο ρεύμα εκκίνησης, δημιουργία πτώσης τάσης.
- Ροπή εκκίνησης: $T_{εκκ} \cong 1,5 * T_{ον}$.
Μεγάλη ροπή εκκίνησης, δυνατότητα εκκίνησης με φορτίο.
- Απλός εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.



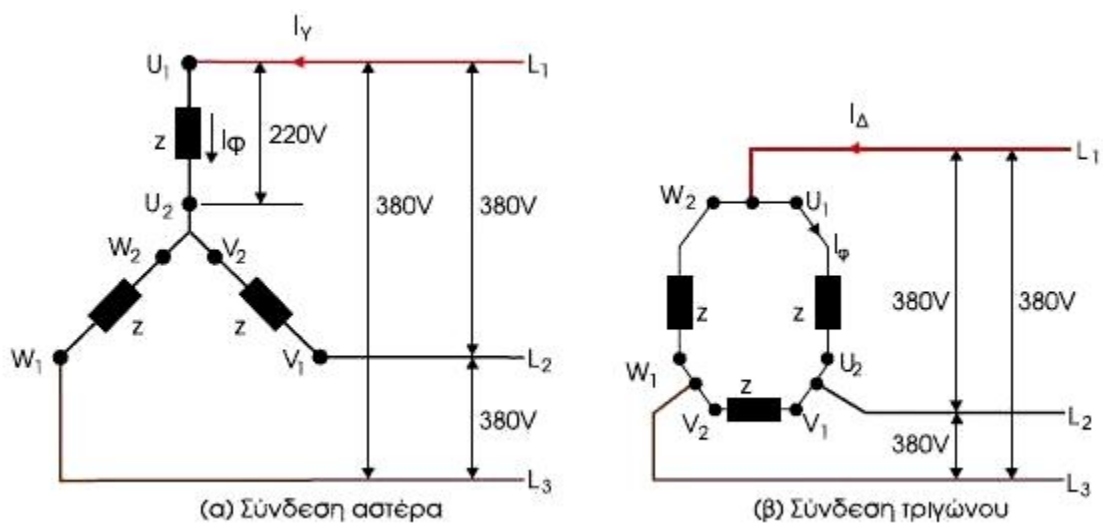
Σχ. 2.35: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με απευθείας εκκίνηση.

β) Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα - τριγώνου Y-Δ

Η εκκίνηση γίνεται με ειδικό χειροκίνητο ή με αυτόματο διακόπτη αστέρα - τριγώνου (Y-Δ). Στο σχήμα 2.36 φαίνεται ένας χειροκίνητος διακόπτης αστέρα-τριγώνου.



Σχ. 2.36: Χειροκίνητος διακόπτης Y-Δ.



Σχ. 2.37: Τάσεις και Ρεύματα σε σύνδεση Y-Δ.

Κατά την εκκίνηση ο διακόπτης στρέφεται στη θέση Y και οι επαφές του ενώνουν τους ακροδέκτες W_2, U_2, V_2 και συνδέουν το στάτη σε αστέρα που τροφοδοτεί κάθε φάση του κινητήρα με φασική τάση δικτύου. Για δίκτυο Χ.Τ. ΔΕΗ: $U_\phi = 220V$.

Όταν ο κινητήρας φθάσει σε κάποιο οριακό αριθμό στροφών, στρέφουμε το διακόπτη στη θέση Δ . Οι επαφές του ενώνουν τους ακροδέκτες $U_1 - W_2, V_1 - U_2, W_1 - V_2$ συνδέοντας το στάτη σε τρίγωνο και τροφοδοτώντας κάθε φάση του κινητήρα με πολική τάση δικτύου, για δίκτυο Χ.Τ. ΔΕΗ: $U_\pi = U = \sqrt{3} * U_\phi = \sqrt{3} * 220 = 380V$.

Αν ο κινητήρας ξεκινούσε απ' ευθείας σε συνδεσμολογία τριγώνου, το ρεύμα εκκίνησης μέσα από κάθε φάση του θα ήταν: $I_\phi = U_\pi / Z$ όπου Z , η σύνθετη αντίσταση κάθε φάσης του κινητήρα. Από το δίκτυο θα απορροφούσε ρεύμα: $I_\Delta = \sqrt{3} * I_\phi = \sqrt{3} * U_\pi / Z$.

Σε συνδεσμολογία αστέρα όμως, το ρεύμα εκκίνησης μέσα από κάθε φάση του κινητήρα θα είναι:

$$I_\phi = U_\phi / Z = U_\pi / \sqrt{3} * Z$$

Από το δίκτυο θα απορροφούσε ρεύμα $I_\gamma = I_\phi$ λόγω αστέρα

$$I_\gamma = I_\phi = U_\pi / \sqrt{3} * Z = \frac{I_\Delta}{3}$$

Συνεπώς θα έχουμε: $I_\gamma = \frac{I_\Delta}{3}$

Συμπέρασμα

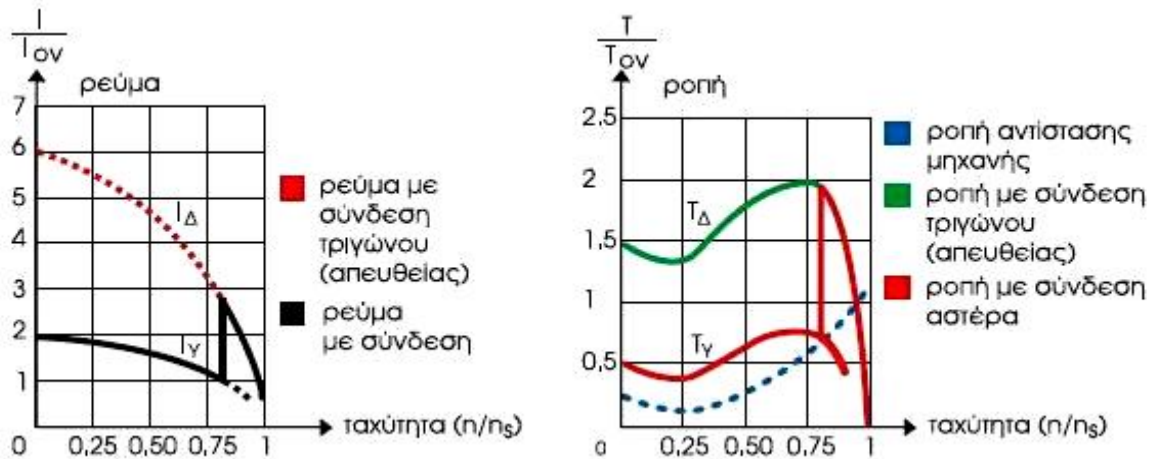
Με συνδεσμολογία αστέρα ο κινητήρας μειώνει τρεις φορές το ρεύμα εκκίνησης σε σχέση με τη συνδεσμολογία τριγώνου.

► Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- Ρεύμα εκκίνησης: $I_{εκκ} \cong 2 * I_{ον}$.
- Ροπή εκκίνησης: $T_{εκκ} \cong 0,5 * T_{ον}$

Δηλαδή η ροπή εκκίνησης μειώθηκε κατά τρεις φορές και πρέπει η εκκίνηση να γίνει χωρίς φορτίο ή με μικρή ροπή φορτίου.

1. Παρατηρούνται αιχμές ρεύματος και ροπής κατά τη μεταλλαγή από αστέρα σε τρίγωνο.
2. Σύνθετος εξοπλισμός.
3. Αδυναμία ρύθμισης.



Σχ. 2.38: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με διακόπτη Y-Δ.

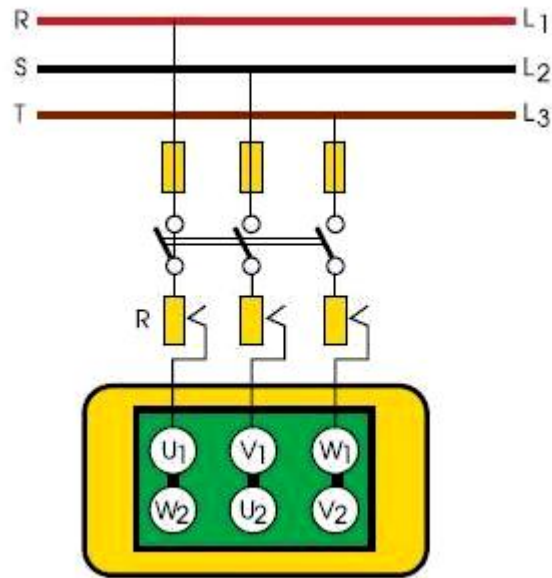
γ) Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη

Με τη διάταξη του σχήματος 2.39 παρεμβάλλουμε σε σειρά με το τύλιγμα του στάτη αντιστάσεις R . Έτσι ο κινητήρας εκκινεί με ελαττωμένη τάση και φυσικά ελαττωμένη ένταση. Προοδευτικά, καθώς αυξάνεται η ταχύτητα, ελαττώνουμε την αντίσταση μέχρι ο κινητήρας να αποκτήσει την ονομαστική του ταχύτητα, οπότε ο εκκινητής τίθεται εκτός δικτύου.

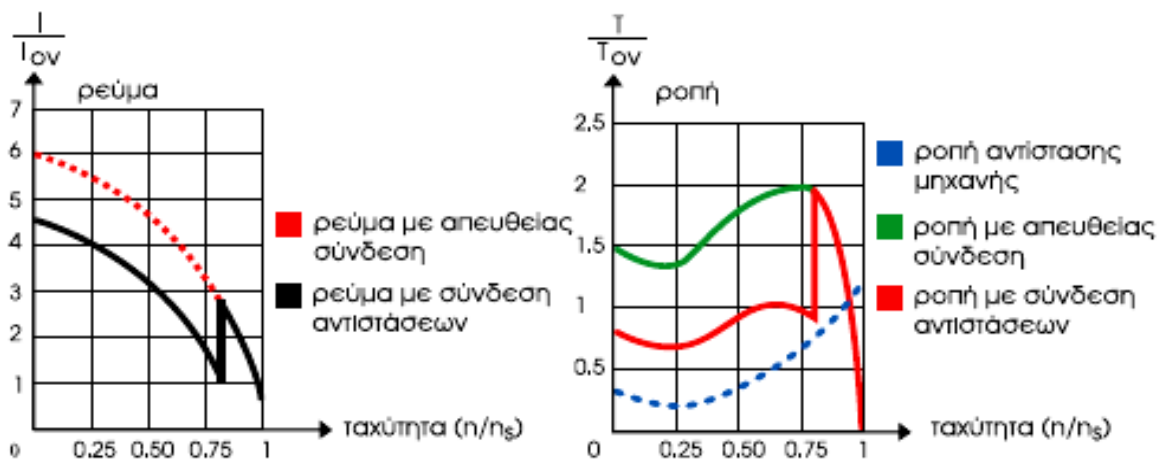
► Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- Ρεύμα εκκίνησης: $I_{εκκ} \cong 4,5 * I_{ον}$.
- Ροπή εκκίνησης: $T_{εκκ} \cong 0,75 * T_{ον}$ δηλαδή έχουμε μικρή ροπή εκκίνησης.
- Σύνθετος εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.

Θα μπορούσαν οι αντιστάσεις να αντικατασταθούν από στραγγαλιστικά πηνία που δεν έχουν κατανάλωση ισχύος.



Σχ. 2.39: Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη.



Σχ. 2.40: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με αντιστάσεις στο στάτη.

δ) Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.

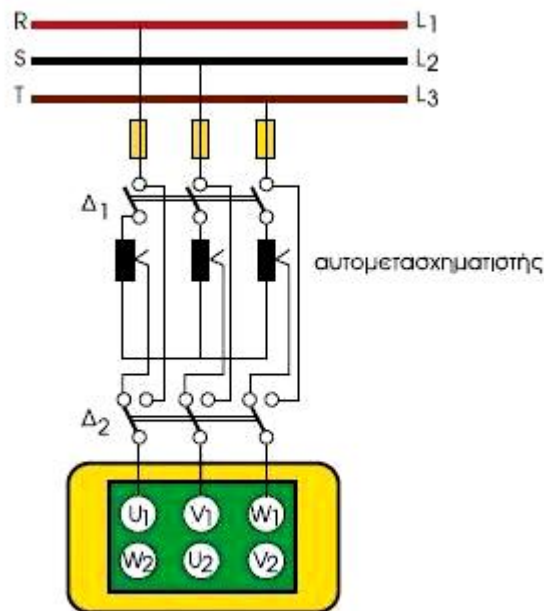
Κατά την εκκίνηση κλείνουμε το διακόπτη Δ_1 και τροφοδοτούμε τον κινητήρα με ελαττωμένη τάση μέσω του αυτομετασχηματιστή. Όταν η ταχύτητα του κινητήρα φθάσει περίπου στο 80% της κανονικής, πατάμε τον μεταγωγικό διακόπτη Δ_2 και θέτουμε τον κινητήρα υπό πλήρη τάση δικτύου. Ταυτόχρονα ανοίγουμε το διακόπτη Δ_1 και θέτουμε τον αυτομετασχηματιστή εκτός τάσης (σχ. 2.41).

► **Χαρακτηριστικά λειτουργίας:**

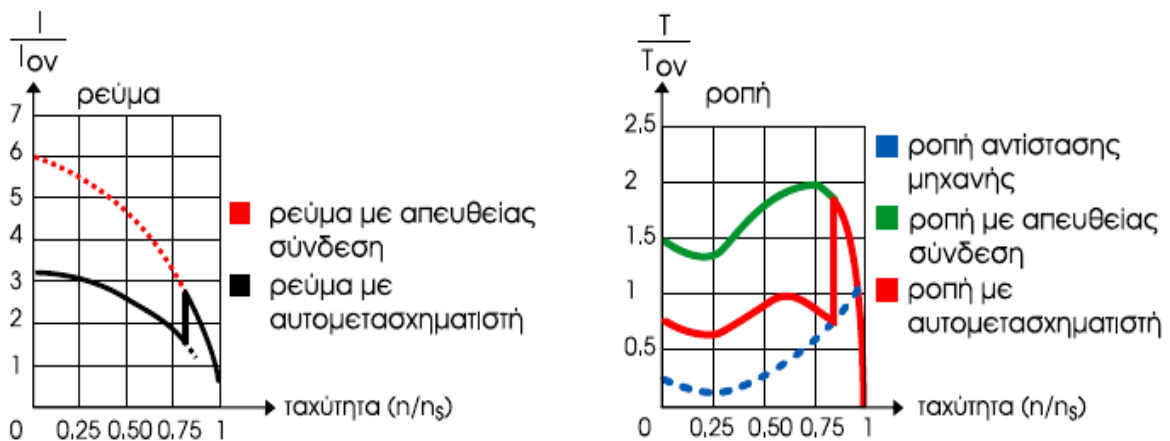
- Ρεύμα εκκίνησης: $I_{εκκ} \cong 3,5 * I_{ον}$.
- Ροπή εκκίνησης: $T_{εκκ} \cong 0,8 * T_{ον}$.
- Μικρή ροπή εκκίνησης.
- Σύνθετος εξοπλισμός.
- Αδυναμία ρύθμισης.

Το ρεύμα εκκίνησης μειώνεται ανάλογα με τη μείωση της τάσης τροφοδοσίας και η ροπή εκκίνησης μειώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της τάσης τροφοδοσίας του κινητήρα.

Αν ο κινητήρας ξεκινά με φορτίο στον άξονά του, χρειάζεται έλεγχος της καμπύλης φορτίου και της καμπύλης του κινητήρα με μειωμένο ρεύμα εκκίνησης (σχ. 2.42).



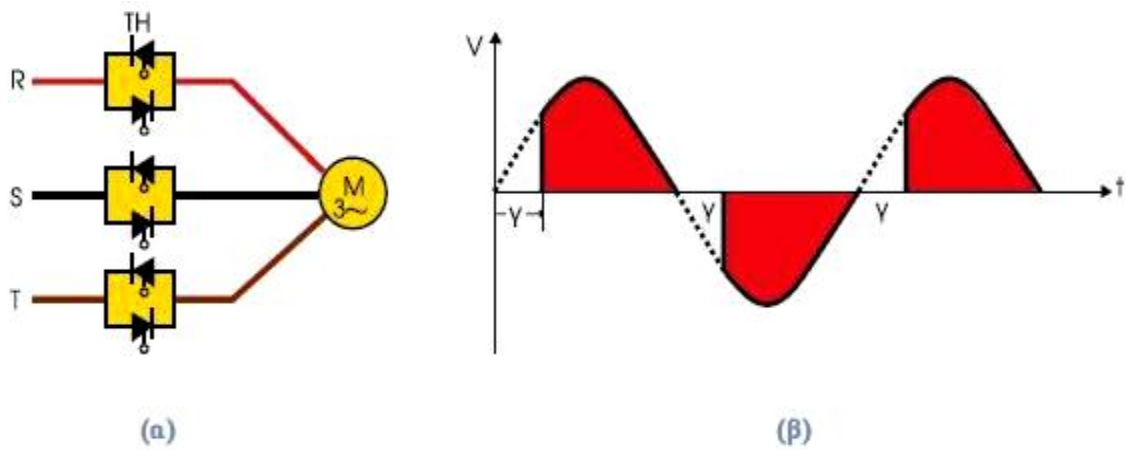
Σχ. 2.41: Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.



Σχ. 2.42: Χαρακτηριστικές λειτουργίες ασύγχρονου κινητήρα με αυτομετασχηματιστή.

ε) Εκκίνηση με ηλεκτρονικό εκκινητή

Ο ηλεκτρονικός εκκινητής είναι μία ηλεκτρονική συσκευή που επιτρέπει τον έλεγχο της διαδικασίας εκκίνησης του κινητήρα. Ανάλογα με τη ροπή του φορτίου, μπορούμε να προσαρμόσουμε την τάση του κινητήρα και να επιτύχουμε την βέλτιστη εκκίνηση, τόσο από άποψη ροπής, όσο και από άποψη έντασης ρεύματος.



Σχ. 2.43: Ηλεκτρονικός εκκινητής α) Συνδεσμολογία θυρίστορ, β) Τάση τροφοδότησης κινητήρα και γ) Λειτουργίες μικροεπεξεργαστή.

Η τροφοδοσία του κινητήρα γίνεται με προοδευτική αύξηση της τάσης εκκίνησης, με τη παρεμβολή έξι θυρίστορ, δύο ανά φάση, τοποθετημένων ανάστροφα όπως φαίνεται στο σχήμα 2.43α.

Η τάση μεταβάλλεται με τη γωνία έναυσης (γ) των θυρίστορ μετά από κάθε πέρασμα του εναλλασσόμενου ρεύματος από το μηδέν. Αυτή η τεχνική εγγυάται ευστάθεια και ομαλή περιστροφή του κινητήρα χωρίς μηχανικά κτυπήματα στη φάση της εκκίνησης. Οι ηλεκτρονικοί εκκινητές έχουν δυνατότητα ρύθμισης των χαρακτηριστικών λειτουργίας κατά την εκκίνηση και το σταμάτημα. Συνήθως διατίθενται διάφορα προγράμματα με διαφορετικές καμπύλες ρεύματος-ροπής-στροφών, ώστε να προσαρμόζεται η εκκίνηση στις εκάστοτε παραμέτρους του φορτίου. Ένας μικροεπεξεργαστής, (σχ.2.43β) ελέγχει και βελτιστοποιεί διαρκώς τις βασικές παραμέτρους του εκκινητή και του κινητήρα. Αυτές είναι:

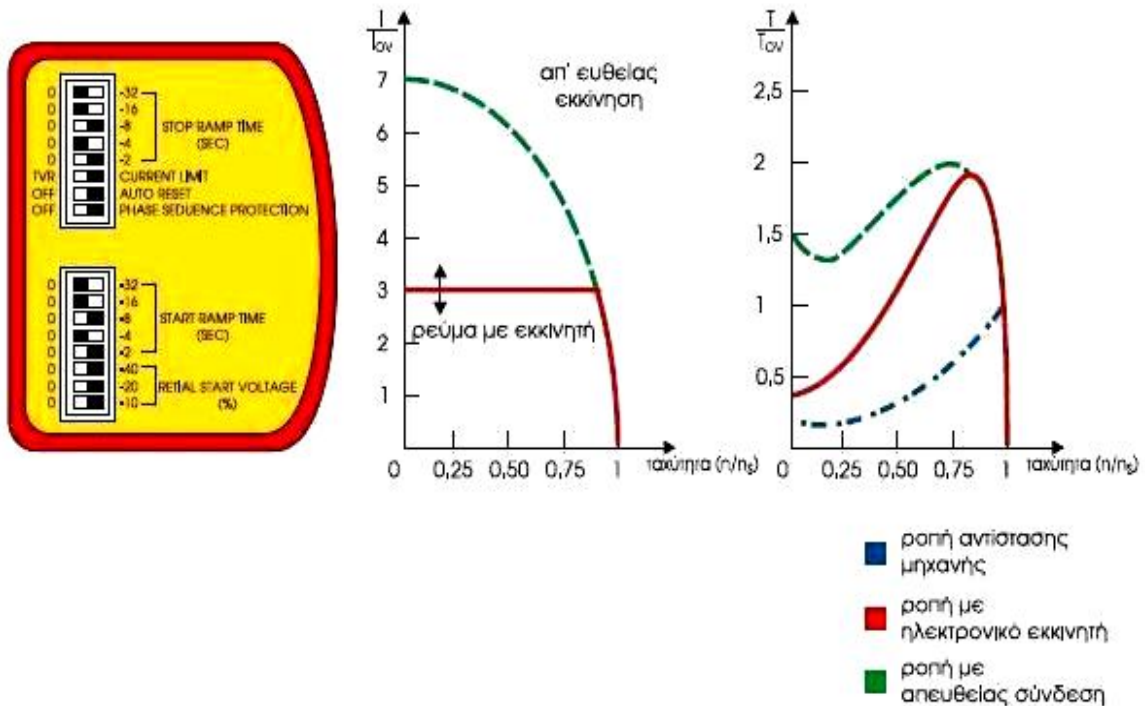
- Οι συνθήκες εκκίνησης και σταματήματος.
- Η υπερθέρμανση του κινητήρα με υπολογισμό της θερμικής του εικόνας και δυνατότητα θερμικής προστασίας.
- Το ρεύμα του κινητήρα συγκρινόμενο με το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα που εξαρτάται από το μέγεθος του εκκινητή, το ονομαστικό ρεύμα του κινητήρα και τη διάρκεια λειτουργίας.
- Η προστασία του κινητήρα και ο εκκινητής.
- Η επιτήρηση του δικτύου παροχής (μείωση τάσης, απουσία φάσης).
- Ο διάλογος και η σηματοδότηση κατάστασης και σφαλμάτων.
- Η ρύθμιση του χρόνου εκκίνησης και παύσης του κινητήρα.

► Οι σύγχρονοι εκκινητές διαθέτουν ειδικό χειριστήριο, όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα 2.44, προκειμένου ο προγραμματισμός των παραμέτρων τους να γίνεται εύκολα και γρήγορα.

Με το χειριστήριο επιλέγονται τα ακόλουθα:

- Ο τρόπος εκκίνησης του κινητήρα.
- Ο χρόνος εκκίνησης και παύσης λειτουργίας.
- Η ενεργοποίηση της αυτόματης επανεκκίνησης μετά από σφάλμα.
- Η εφαρμοσμένη αρχική τάση κατά την έναρξη της εκκίνησης.
- Η προστασία έναντι σφάλματος στη διαδοχή των φάσεων (φορά περιστροφής).

- Οι κατασκευαστές διαθέτουν πίνακες στους οποίους φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά ενός εκκινητή, βάσει των οποίων γίνεται η επιλογή του.

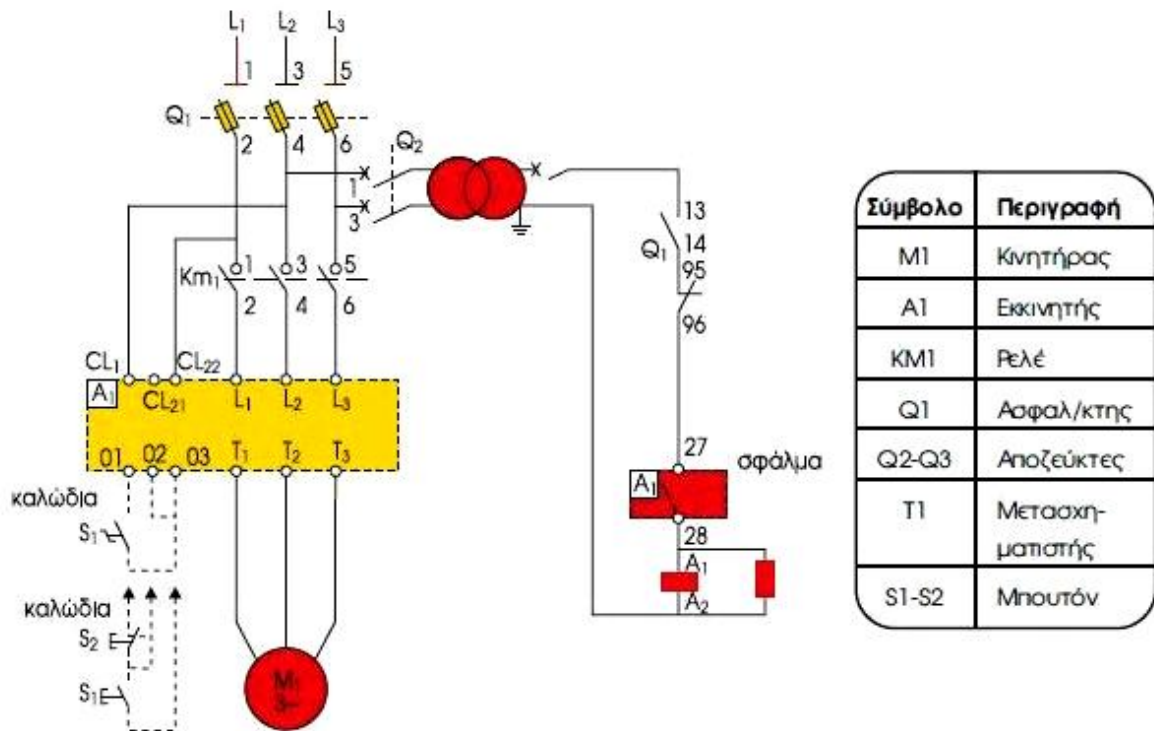


Σχ. 2.44: α) Χειριστήριο ηλεκτρονικού εκκινητή, β) Χαρακτηριστική λειτουργίας ασύγχρονου κινητήρα με ηλεκτρονικό εκκινητή.

► Χαρακτηριστικά λειτουργίας:

- ρεύμα εκκίνησης: $I_{εκκ} \cong 2 \div 5 * I_{ov}$.
- ροπή εκκίνησης: $T_{εκκ} \cong 0,5 \div 1 * T_{ov}$.
- δυνατότητα ρύθμισης των παραπάνω παραμέτρων με τις ράμπες επιτάχυνσης και επιβράδυνσης.

Διάγραμμα σύνδεσης ηλεκτρονικού εκκινητή



Σχ. 2.45: Διάγραμμα σύνδεσης ηλεκτρονικού εκκινητή (Altistart Telemecanique).

2.3.3) Ρύθμιση στροφών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Η ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα δίνεται από τη σχέση: $n = n_s (1 - s)$. Αντικαθιστώντας τη σύγχρονη ταχύτητα n_s έχουμε :

$$n = \frac{60 * f * (1 - s)}{p}$$

Όπου f : είναι η συχνότητα της τάσης τροφοδότησης σε Hz

p : είναι το πλήθος των ζευγών των μαγνητικών πόλων και

s : είναι η ολίσθηση

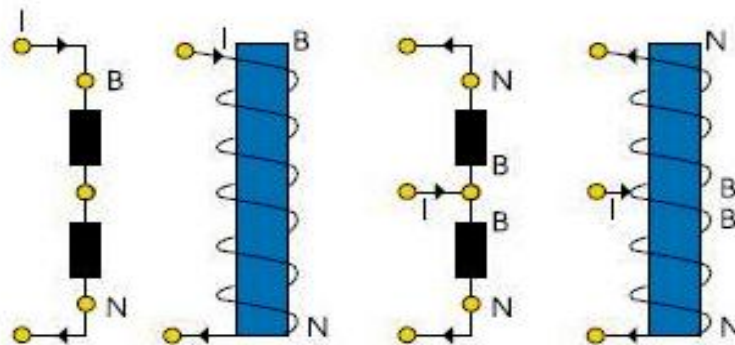
Από την παραπάνω σχέση συμπεραίνουμε ότι, για να αλλάξει η ταχύτητα πρέπει να αλλάξει η συχνότητα f ή το πλήθος των πόλων p , αφού η ολίσθηση s στους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα αλλάζει κυρίως με το φορτίο.

α) Ρύθμιση στροφών με αλλαγή του πλήθους των πόλων

Η ταχύτητα του κινητήρα είναι αντιστρόφως ανάλογη του πλήθους των ζευγών των μαγνητικών πόλων. Για την αλλαγή του πλήθους των πόλων υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι:

1. Μέθοδος διαδοχικών πόλων.
2. Πολλαπλά τυλίγματα στο στάτη.
3. Διαμόρφωση πλάτους του πόλου (PAM).

► Η μέθοδος των διαδοχικών πόλων βασίζεται στη δυνατότητα διπλασιασμού κάθε φορά των πόλων με απλές αλλαγές στη συνδεσμολογία των πηνίων διέγερσης. Η βασική ιδέα φαίνεται στο σχήμα 2.46. Με αλλαγή του σημείου τροφοδοσίας των δύο πηνίων, διπλασιάζονται οι πόλοι.



Σχ. 2.46: Διπλασιασμός πόλων με αλλαγή τροφοδότησης.

► Η μέθοδος πολλαπλών τυλιγμάτων καλύπτει το μειονέκτημα της προηγούμενης μεθόδου που είναι το ότι έχουμε μόνο δύο ταχύτητες, με λόγο 2:1. Το μειονέκτημα αυτό ξεπερνιέται με τη **δημιουργία στάτη πολλαπλών τυλιγμάτων**. Η παρεμβολή του ενός ή του άλλου τυλίγματος μας δίνει διαφορετική ταχύτητα. Πρακτικά ο στάτης δεν μπορεί να περιλάβει πολλές περιελίξεις, γιατί αυξάνεται πολύ το κόστος. Συνδυάζοντας τη μέθοδο των διαδοχικών πόλων και των πολλαπλών τυλιγμάτων συνήθως κατασκευάζεται κινητήρας μέχρι τεσσάρων ταχυτήτων.

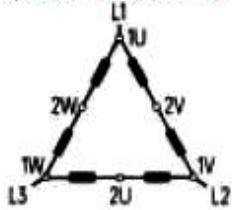
► Η μέθοδος της **διαμόρφωσης πλάτους του πόλου (PAM)** είναι ένας τρόπος αλλαγής του πλήθους των πόλων του στάτη με λόγο διαφορετικό από 2 προς 1, που επιτυγχάνεται με τη μεταβολή των συνδέσεων στα έξι άκρα του στάτη. Το κόστος κατασκευής του στάτη είναι μικρότερο από το αντίστοιχο της μεθόδου πολλαπλών τυλιγμάτων. Στον πίνακα 2.2 φαίνεται ο λόγος των πόλων και οι αντίστοιχες σύγχρονες ταχύτητες και στα σχήματα 2.47, 2.48, 2.49, 2.50 διάφορες συνδεσμολογίες κινητήρων δύο και τριών ταχυτήτων.

Πίνακας 2.2

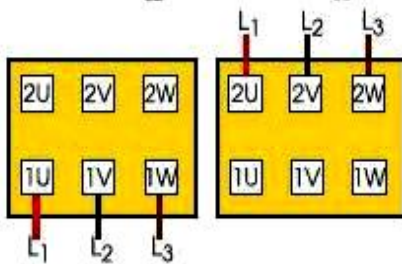
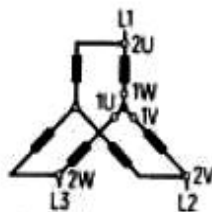
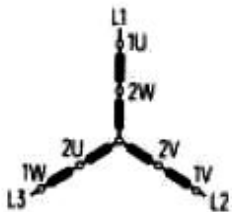
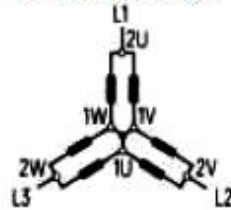
Λόγος ζευγών πόλων με τις αντίστοιχες σύγχρονες ταχύτητες

Λόγος ζευγών πόλων	Σύγχρονη ταχύτητα: $n_s = 60f/p$ (στρ/μιν)
	$f = 50\text{Hz}$
1:4	3000/750
2:3	1500/1000
2:5	1500/600
3:4	1000/750
3:5	1000/600
4:5	750/600
4:6	750/500
5:6	600/500

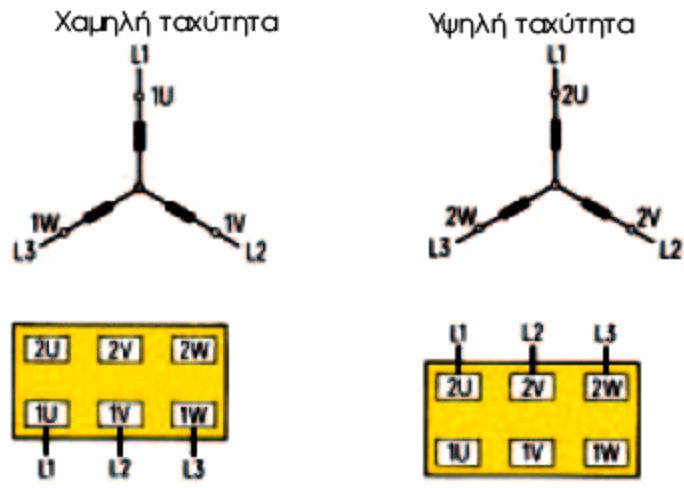
Χαμηλή ταχύτητα



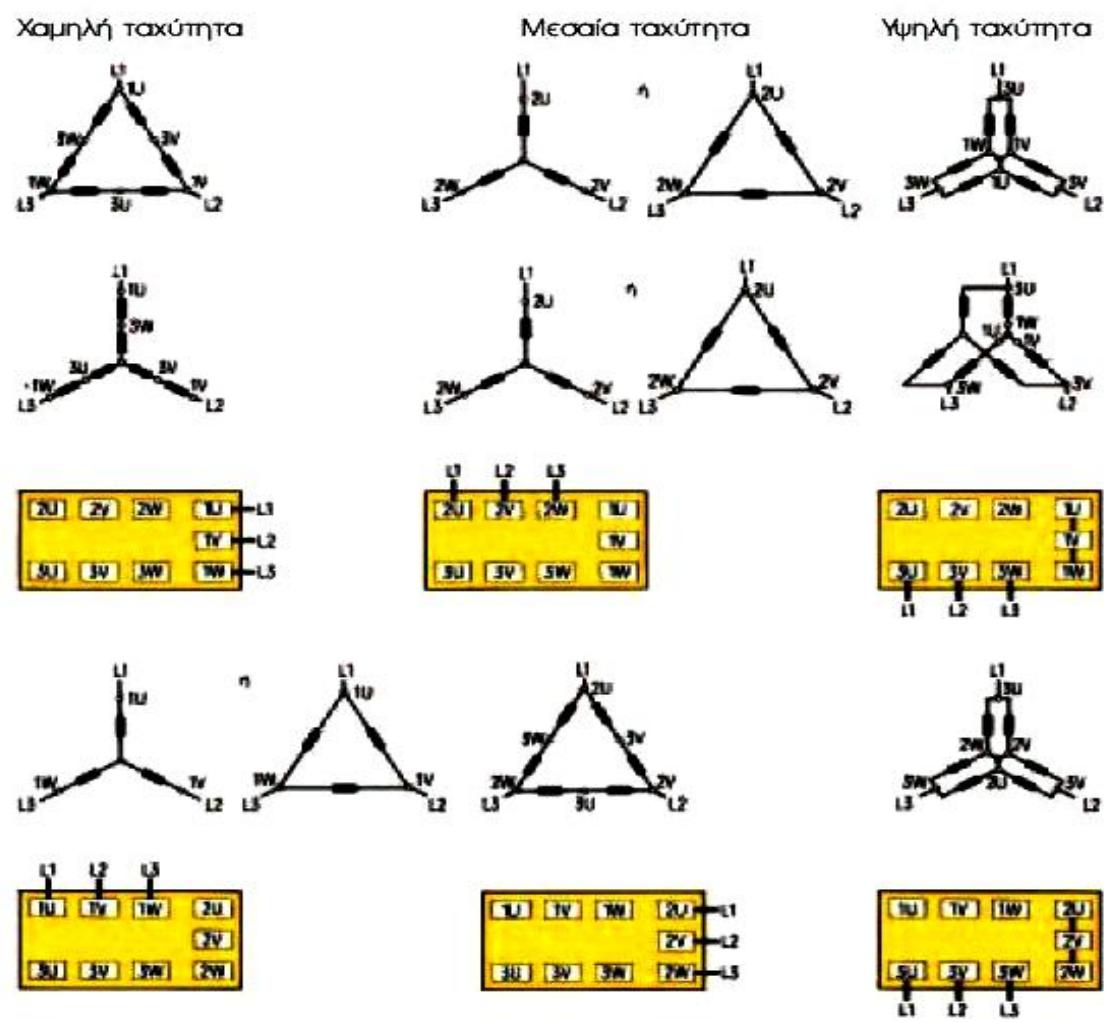
Υψηλή ταχύτητα



Σχ. 2.47: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δύο (2) ταχυτήτων με ένα τύλιγμα (Σύνδεση Dahlander ή PAM).

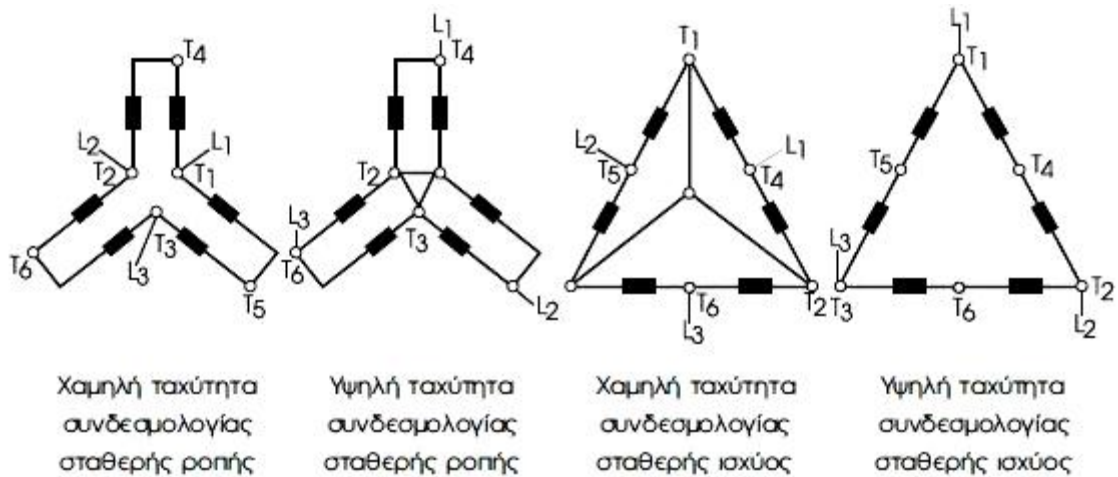


Σχ. 2.48: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας δύο(2) ταχυτήτων με (2) ξεχωριστά τυλίγματα.



Σχ. 2.49: Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας τριών (3) ταχυτήτων με δύο (2) ξεχωριστά τυλίγματα, ένα (1) σε Dahlander ή σε σύνδεση PAM. Χρειάζονται εννέα (9) άκρα

Μπορεί να συναντήσουμε τα ίδια κυκλώματα με άλλες πινακίδες ακροδεκτών:



Σχ.2.50: Διάφορες συνδεσμολογίες ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.

β) Ρύθμιση των στροφών με μεταβολή της συχνότητας.

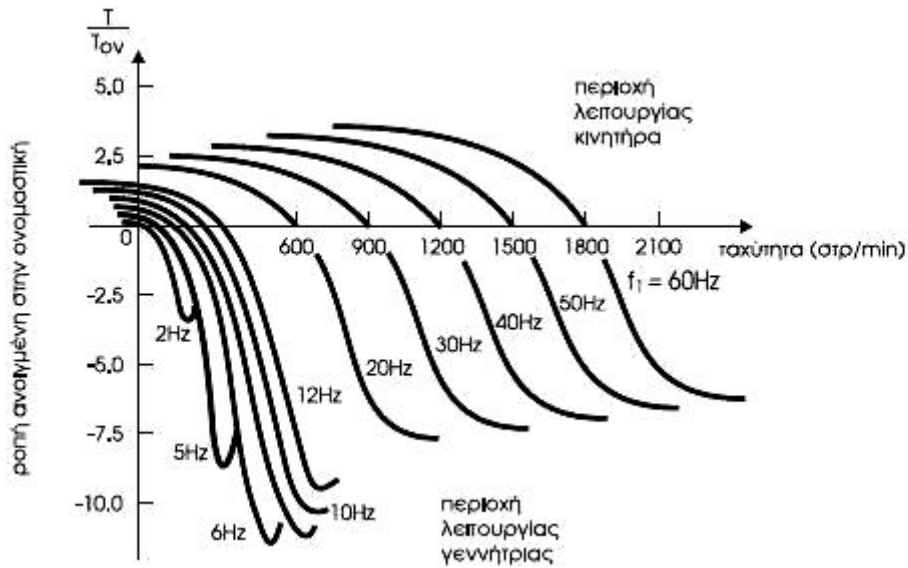
► Γενικά :

Ο ασύγχρονος κινητήρας τροφοδοτείται με τάση μεταβλητής συχνότητας, που έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του σύγχρονου αριθμού στροφών σύμφωνα με τη σχέση :

$$n_s = \frac{60 * f}{p}$$

Αυτό με τη σειρά του προκαλεί τη μετατόπιση της καμπύλης ροπής - στροφών του κινητήρα προς τα δεξιά, όσο αυξάνεται η συχνότητα. Το σημείο λειτουργίας του κινητήρα μεταβάλλεται με αποτέλεσμα την ελέγξιμη μεταβολή των στροφών του, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.51.

Ταυτόχρονα με τη μεταβολή της συχνότητας μεταβάλλεται και η τάση τροφοδοσίας, ώστε να μην αυξάνεται το ρεύμα, όταν μειώνεται η συχνότητα και να επιτυγχάνεται οικονομική και αποδοτική λειτουργία του κινητήρα. Η μέθοδος αυτή λέγεται **βαθμωτού ελέγχου σταθερού λόγου V/f** .

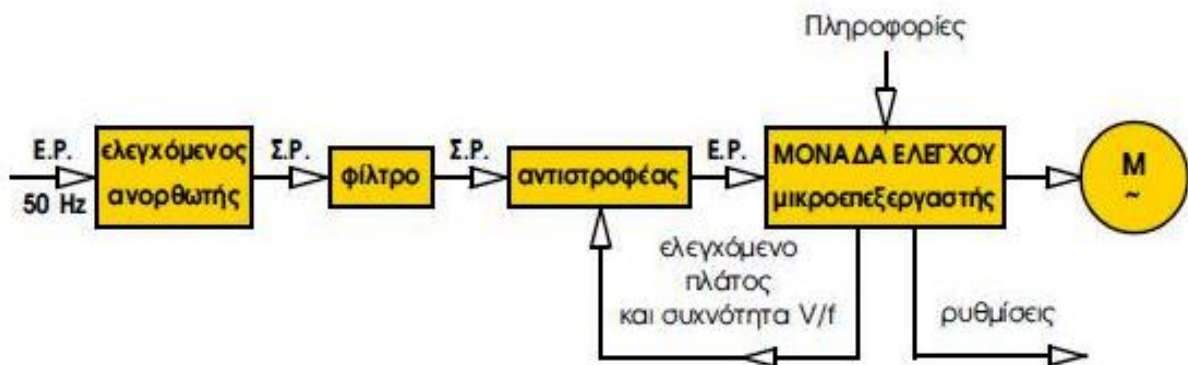


Σχ. 2.51: Μεταβολή της καμπύλης Ροπής Στροφών ενός ασύγχρονου κινητήρα καθώς η συχνότητα λειτουργίας του μεταβάλλεται.

Τη δυνατότητα παροχής ρυθμιζόμενης τάσης και συχνότητας μας την έδωσε η ταχύτατη ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος και ειδικά των ημιαγωγικών διακοπών όπως: **Θυρίστωρ (SRC)**, **διπολικό τρανζίστωρ ισχύος (BJT)**, **τρανζίστωρ MOSFET**, **τρανζίστωρ IGBT** και **θυρίστωρ GTO**. Με τα στοιχεία αυτά μπορούμε να ελέγξουμε ισχύ μέχρι 400kW.

► Δομή ηλεκτρονικών ρυθμιστών στροφών

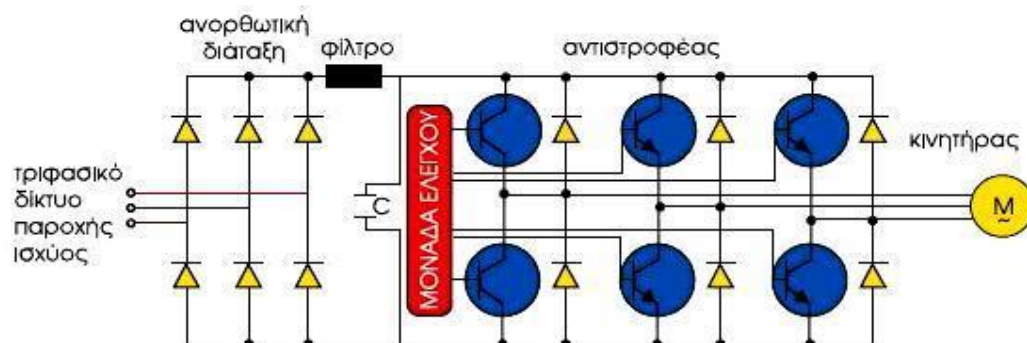
Ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής στροφών περιλαμβάνει έναν ελεγχόμενο ανορθωτή, ένα φίλτρο, έναν αντιστροφέα που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρυθμιζόμενης τάσης και συχνότητας και μία μονάδα ελέγχου.



Σχ. 2.52: Δομικό διάγραμμα ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών.

Αναλυτικά, όπως φαίνεται στο κύκλωμά του (σχ. 2.52) ο ηλεκτρονικός ρυθμιστής περιλαμβάνει:

- **Ανορθωτική διάταξη** που αποτελείται από διόδους ή θυρίστορ. Σκοπός της διάταξης είναι η μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης του δικτύου σε συνεχή με σταθερή ή ρυθμιζόμενη τιμή
- Η συνεχής τάση που προκύπτει περνά από ένα **φίλτρο** για εξομάλυνση. Το φίλτρο αυτό αποτελείται από συστοιχία πυκνωτών και πηνίων.
- Η τάση που έχει εξομαλυνθεί, τροφοδοτεί **τον αντιστροφέα** που τη μετατρέπει σε εναλλασσόμενη μεταβλητής συχνότητας και πλάτους. Ο αντιστροφέας αποτελείται από θυρίστορ ή τρανζίστορ. Ο τύπος καθορίζεται από την ισχύ και τη συχνότητα λειτουργίας.
- **Η μονάδα ελέγχου** επικοινωνεί με όλα τα τμήματα, εποπτεύει και ελέγχει τη λειτουργία του συστήματος. Περιλαμβάνει ένα μικροεπεξεργαστή στη μνήμη του οποίου μπορούμε να εγγράψουμε διάφορες ρυθμίσεις και έτσι να αναγνωρίζει στιγμιαία τα χαρακτηριστικά του κινητήρα και να αυτοπροσαρμόζεται, να δίνει επιπλέον ροπή στην εκκίνηση και όταν αυτή ζητηθεί από το φορτίο.



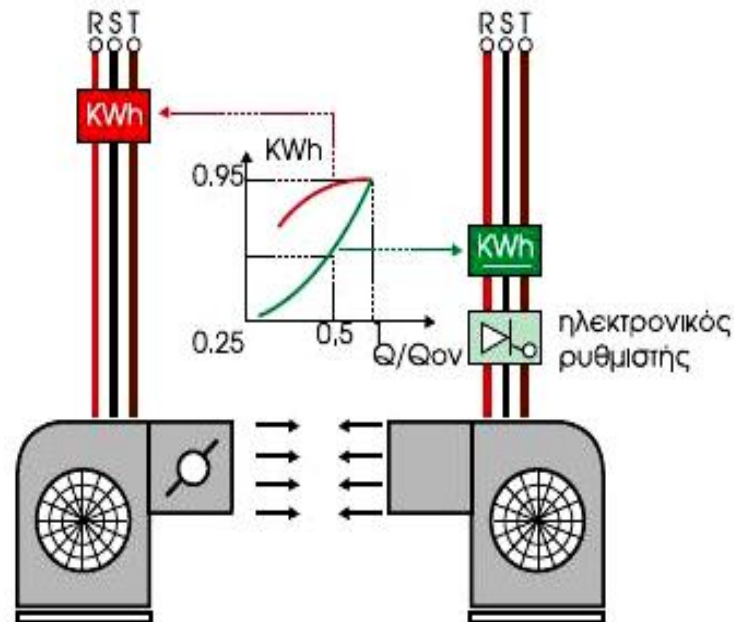
Σχ. 2.53: Κύκλωμα ισχύος ενός ηλεκτρονικού ρυθμιστή στροφών με διπολικά τρανζίστορ.



Σχ. 2.54: Ηλεκτρονικός ρυθμιστής ταχύτητας.

Πρακτική εφαρμογή ηλεκτρονικού ρυθμιστή ταχύτητας

Στο σχήμα 2.55 φαίνεται μία μονάδα εξαερισμού ενός δικτύου αεραγωγών. Να προταθούν τεχνικές λύσεις για ρύθμιση της παροχής αέρα.



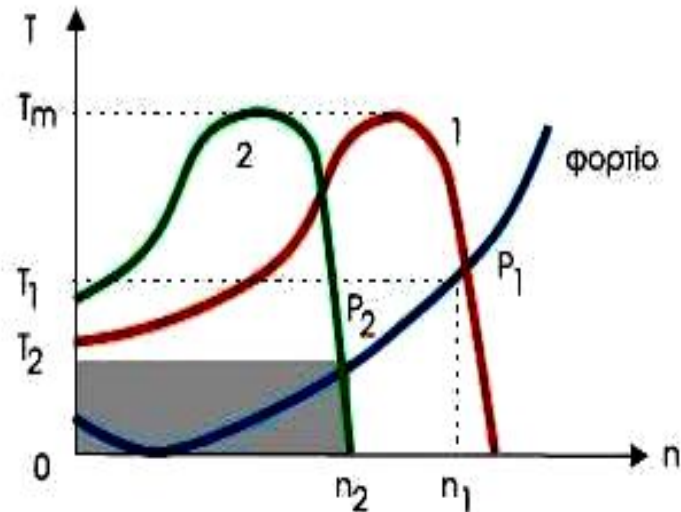
Σχ. 2.55: Μονάδα εξαερισμού.

Για να έχουμε αυτόματη ρύθμιση της παροχής υπάρχουν δύο τεχνικές λύσεις:

- Τροφοδοσία από το δίκτυο ηλεκτρικού κινητήρα που κινεί ένα διάφραγμα (κλαπέτο) και
- Παρεμβολή μεταξύ του δικτύου και του κινητήρα ενός ηλεκτρονικού ρυθμιστή ταχύτητας.

Στο διάγραμμα του σχήματος 2.55, με άξονες τις μεταβλητές, κατανάλωση ενέργειας (kwh) και λόγο παροχής αέρα ως προς την ονομαστική παροχή Q/Q_{0n} , φαίνονται οι δύο καμπύλες που αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικούς τρόπους ρύθμισης της παροχής. Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας από το διάφραγμα είναι φανερή και εξηγείται από την ενέργεια που καταναλώνεται από τις δημιουργούμενες δίνες. Όπως φαίνεται από τις καμπύλες, για μείωση της παροχής αέρα στο μισό έχουμε περίπου τέσσερις φορές λιγότερη ενέργεια με την παρεμβολή του ηλεκτρονικού ρυθμιστή ταχύτητας.

Στο σχήμα 2.56 φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη ροπής-ταχύτητας ενός ασύγχρονου κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα και η χαρακτηριστική καμπύλη της ροπής αντίστασης-ταχύτητας μιας αντλίας.



Σχ. 2.56: Καμπύλες T-n ασύγχρονου κινητήρα

1: χωρίς ηλεκτρονικό ρυθμιστή

2: με ηλεκτρονικό ρυθμιστή

Στο σχήμα 2.56 φαίνεται η παράλληλη μετατόπιση της καμπύλης T-n του κινητήρα σε μικρότερη ταχύτητα προς τα αριστερά που πραγματοποιείται με μεταβολή της τάσης και της συχνότητας τροφοδοσίας του κινητήρα, ώστε ο λόγος V/f να παραμένει σταθερός. Η μεταβολή αυτή πραγματοποιείται από τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή ταχύτητας. Η παράλληλη μετατόπιση της καμπύλης γίνεται χωρίς να μεταβάλλονται οι επιδόσεις του κινητήρα. Παραμένει σταθερή η μέγιστη ροπή και η ροπή στην περιοχή ευσταθούς λειτουργίας.

- Με τον ηλεκτρονικό ρυθμιστή μπορούμε να χρησιμοποιούμε τον κινητήρα σε μία μεγάλη περιοχή ταχυτήτων, από μηδενική ταχύτητα μέχρι μία μέγιστη ταχύτητα, που καθορίζεται από την μηχανική και ηλεκτρική αντοχή του. Στο σχήμα 2.56 φαίνεται, ότι ο ηλεκτρικός κινητήρας ακολουθώντας την καμπύλη 2, μπορεί να περιστρέψει τη φτερωτή του εξαεριστικού με μικρότερη ταχύτητα n_2 , μικρότερη ροπή T_2 και φυσικά μικρότερη κατανάλωση ισχύος. Μικραίνοντας την ταχύτητα, μπορούμε να επιτύχουμε μεγάλη εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας και να κάνουμε σύντομη απόσβεση του κόστους αγοράς του ρυθμιστή.

► Πλεονεκτήματα ηλεκτρονικών ρυθμιστών

Χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτρονικό ρυθμιστή επιτυγχάνουμε εκτός από την πλήρη ρύθμιση των στροφών και τα εξής επίσης σημαντικά:

1. Ομαλή εκκίνηση και μάλιστα ρυθμιζόμενη με μικρό ρεύμα εκκίνησης. - Ομαλή πέδηση.
2. Αύξηση της ροπής εκκίνησης.
3. Δυνατότητα αυτόματης ή προγραμματιζόμενης ρύθμισης. - Πλήρη έλεγχο των στροφών.
4. Εξοικονόμηση ενέργειας.
5. Δυνατότητα αλλαγής φοράς περιστροφής χωρίς επιπλέον διακόπτες. - Αυξημένη προστασία του κινητήρα.

Τέλος με τη χρήση των ηλεκτρονικών ρυθμιστών στροφών μπορούμε, χρησιμοποιώντας ως πηγή τροφοδοσίας το δίκτυο των 50Hz, να έχουμε κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα με ταχύτητα περιστροφής άνω των 3000στρ/λεπτό.

Η απαρίθμηση αυτών και μόνο των πλεονεκτημάτων, τα οποία μέχρι προ ολίγων ετών εθεωρούντο φαντασία, καταδεικνύει τη μεγάλη υπεροχή της ρύθμισης των στροφών μέσω ηλεκτρονικών ρυθμιστών, έναντι όλων των άλλων παλαιών μεθόδων.

► Εφαρμογές ηλεκτρονικών ρυθμιστών

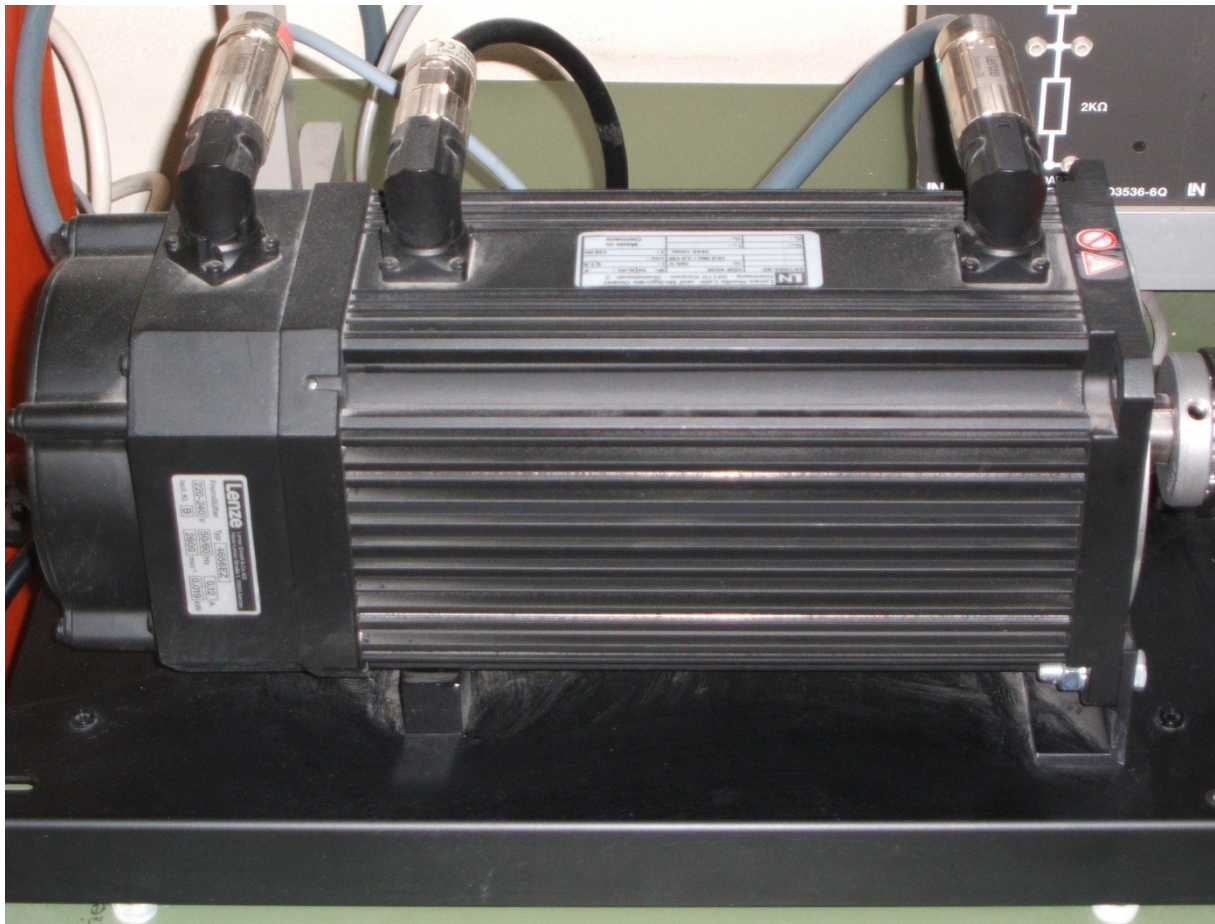
Στη βιομηχανία σήμερα, σε πάρα πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούνται ρυθμιστές στροφών, λόγω της σημαντικής βελτίωσης και αύξησης των δυνατοτήτων τους αλλά και λόγω της σημαντικής πτώσης των τιμών τους. Εδώ θα αναφέρουμε ενδεικτικά ορισμένες, συχνά εμφανιζόμενες εφαρμογές τους:

- Αντλίες
- Ανεμιστήρες
- Παρασκευή και επεξεργασία χάρτου
- Μεταφορικές ταινίες
- Επεξεργασία ξυλείας
- Επεξεργασία μαρμάρου
- Γερανοί
- Συμπιεστές
- Ανελκυστήρες

Κεφάλαιο 3^ο
Σερβοκινητήρες

Κεφάλαιο 3^ο

3.1) Σερβοκινητήρες



Στον τομέα του ελέγχου κίνησης και ειδικότερα σε εφαρμογές ελέγχου θέσεως ταχύτητας και ροπής άξονα χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια ειδικοί κινητήρες που λέγονται σερβοκινητήρες. Με τη χρήση αυτών των κινητήρων δίνεται λειτουργικά η δυνατότητα εκτός από την απλή ρύθμιση των στροφών και της ταχύτητας που γίνονται και στους συνήθεις κινητήρες με ρυθμιστές στροφών και *inverters* να γίνεται πραγματικός έλεγχος της θέσης του άξονα του κινητήρα (*positioning*). Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη στο σώμα του κινητήρα ενός συγκεκριμένου αισθητήρα (*resolver* ή *encoder*) που ελέγχει με συγκεκριμένες διαδικασίες την ταχύτητα και τη θέση του άξονα του κινητήρα. Με την εξέλιξη αυτή η τεχνολογία πέρασε από τον κλασσικό έλεγχο ταχύτητας (*speed control*) στο συνολικό έλεγχο κίνησης (*motion control*). Αυτή η εφαρμογή ήταν καθοριστική και για την εξέλιξη της ρομποτικής.

Οι σερβοκινητήρες δεν μπορούν να επιτελέσουν την τόσο σημαντική λειτουργία τους λειτουργώντας μεμονωμένα, αλλά αποτελούν το βασικό στοιχείο ενός συνολικού συστήματος

αυτοματισμού που επιτελεί *motion control*. Στο συνολικό σερβοσύστημα εντάσσονται εκτός από το σερβοκινητήρα η μονάδα ελέγχου που στην πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι ένα PLC και ο σερβοενισχυτής (*servodrive*) που αποτελεί τον ενδιάμεσο κρίκο μεταξύ της μονάδας ελέγχου και του σερβοκινητήρα.

Οι σερβοκινητήρες είναι οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, χωρίς φυσικά να είναι ίδιοι με τους κοινούς κινητήρες παρόλο που μοιάζουν κατασκευαστικά. Οι σερβοκινητήρες διαφέρουν από τους άλλους κινητήρες στο ότι ενσωματώνουν σύστημα ανάδρασης το οποίο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα σερβομηχανισμό οδήγησης με σκοπό να ελεγχθεί είτε η ροπή είτε η ταχύτητα. Ο σερβομηχανισμός οδήγησης συνίσταται στο σερβοενισχυτή (*servodrive*) που αποτελεί ένα ξεχωριστό στοιχείο του σερβοσυστήματος.

Ωστόσο το σύστημα ανάδρασης είναι ενσωματωμένο στο σερβοκινητήρα. Οι περισσότεροι σερβοκινητήρες φέρουν ενσωματωμένη μια παλμογεννήτρια (*encoder* ή *pulse generator*), αυξητικού ή απόλυτου τύπου (*incremental* ή *absolute type*). Αν η παλμογεννήτρια είναι αυξητικού τύπου τότε παράγουν ένα συγκεκριμένο αριθμό παλμών ανά περιστροφή του άξονα του σερβοκινητήρα, ενώ αν είναι απόλυτου θέσεως τότε δίνουν στην έξοδό τους συγκεκριμένο αριθμό ως αποτέλεσμα μιας ακολουθίας *bit*. Και στις δύο περιπτώσεις τα σήματα μπορούν να μεταφερθούν στη μονάδα ελέγχου, όπου με τον κατάλληλο προγραμματισμό να επιτευχθεί ο βέλτιστος έλεγχος του σερβοκινητήρα. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να αφορά είτε στη θέση περιστροφής του άξονα ως προς τις 360 μοίρες που συνιστούν μια πλήρη περιστροφή, είτε στην ταχύτητα περιστροφής του άξονα, είτε στην αναπτυσσόμενη σε αυτόν ροπή.

Αν εξετάσει κανείς τους σερβοκινητήρες από τη σκοπιά των ηλεκτροκινητήρων, από λειτουργική άποψη κύριο γνώρισμα τους είναι η ικανότητά τους να αναπτύσσουν μεγάλες επιταχύνσεις, όταν ξεκινάμε από πλήρη ακινησία δηλαδή να έχει μικρή ροπή αδράνειας και μεγάλη ροπή στρέψης. Για να πετύχουμε αυτά τα δύο πρέπει:

1. Ο ρότορας να έχει μεγάλο μήκος και μικρή διάμετρο.
2. Να υπάρχουν περιελίξεις αντισταθμίσεως οι οποίες επιτρέποντας ανάπτυξη μεγαλύτερων ρευμάτων αυξάνουν τη ροπή στρέψης.
3. Για μικρής ισχύος κινητήρες προβλέπεται μόνιμος μαγνήτης μέσα στους πόλους του οποίου και γύρω από ένα μόνιμο στέλεχος (όπως στα όργανα κινητού πλαισίου) περιστρέφεται το τύλιγμα του ρότορα.
4. Να είναι μειωμένη η σταθερά χρόνου $L \cdot R$ του τυλίγματος του ρότορα.

Η επιλογή ενός σερβοκινητήρα γίνεται έχοντας υπόψη ότι η ισχύς του θα πρέπει να καλύπτει την ισχύ του φορτίου (ωφέλιμη) και τις τριβές (απώλειες) της διάταξης. Πέραν αυτού ο σερβοκινητήρας πρέπει να λειτουργεί στις επιθυμητές ταχύτητες και να μπορεί να δίνει την απαραίτητη επιτάχυνση στο ρότορα και στο φορτίο. Οι σερβοκινητήρες διακρίνονται σε ηλεκτρικούς AC και DC, σε πνευματικούς και υδραυλικούς.

3.1.1) Σερβοκινητήρες DC

Οι μονοφασικοί σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι βασικά τεσσάρων τύπων.

A) Ο πρώτος τύπος είναι αυτός που τα τυλίγματα του στάτορα τροφοδοτούνται από πηγή σταθερής τάσεως ή ρεύματος, ενώ το τύλιγμα του ρότορα από μια τάση ελέγχου. Οι σερβοκινητήρες αυτοί είναι γνωστοί σαν ελεγχόμενοι από το ρότορα. Σε αυτούς τους σερβοκινητήρες αν διατηρούμε σταθερή την τάση ελέγχου V_E η ροπή στρέψης μικραίνει γραμμικά σε συνάρτηση με την αύξηση της γωνιακής ταχύτητας ω του κινητήρα.

B) Ο δεύτερος τύπος σερβοκινητήρα είναι ο ελεγχόμενος από το στάτορα. Σ' αυτόν τον τύπο το τύλιγμα του ρότορα τροφοδοτείται από μια πηγή σταθερής τάσεως ή ρεύματος ενώ το τύλιγμα του στάτορα από μια τάση ελέγχου. Σε αυτούς τους σερβοκινητήρες η ροπή στρέψης είναι ανεξάρτητη από τη γωνιακή ταχύτητα του ρότορα και εξαρτάται μόνο από τη σταθερά K και το ρεύμα του ρότορα. Ωστόσο αν το μαγνητικό υλικό εργάζεται στον κόρο η ροπή στρέψης επηρεάζεται και από τη γωνιακή ταχύτητα του στάτορα και μάλιστα σε πολύ μεγάλες γωνιακές ταχύτητες η ροπή μικραίνει γιατί αυξάνει πάρα πολύ η αντηλεκτρεγερτική δύναμη.

Γ) Ο τρίτος τύπος είναι ο σερβοκινητήρας με τα τυλίγματα στάτορα και ρότορα σε σύνδεση σειράς: Οι σερβοκινητήρες αυτοί έχουν διπλό τύλιγμα στο στάτορα έτσι που το καθένα να συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του ρότορα με τη βοήθεια ηλεκτρονόμων. Η ροπή στρέψης του κινητήρα μεταβάλλεται εκθετικά και εξαρτάται από τα μεγέθη του ρεύματος ελέγχου και της γωνιακής ταχύτητας. Είναι πολύ μεγάλη κατά την εκκίνηση οπότε η γωνιακή ταχύτητα είναι μικρή, ενώ μικραίνει απότομα όταν η γωνιακή ταχύτητα μεγαλώνει. Χρησιμοποιείται κυρίως εκεί όπου απαιτείται μεγάλη ροπή κατά την εκκίνηση (όπου έχουμε περιστροφή μαζών) αφού η γραμμικότητα δεν παίζει κανένα ρόλο.

Δ) Ένας ιδιαίτερα σημαντικός τύπος σερβοκινητήρας είναι αυτός με μόνιμο μαγνήτη. Ο σερβοκινητήρας του τύπου αυτού έχει αντί για τυλίγματα στάτορα, μόνιμο μαγνήτη, ενώ ο ρότορας έχει κανονικό τύλιγμα μέσα από το οποίο ελέγχεται ο κινητήρας. Μοιάζει πολύ με τους ασύγχρονους κινητήρες παράλληλης διέγερσης και λόγω του μικρού όγκου του χρησιμοποιείται σε Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου πάνω σε αεροπλάνα. Ο μικρός όγκος του κινητήρα πετυχαίνεται με ειδικό κράμα μόνιμου μαγνήτη.

Οι μαγνήτες που χρησιμοποιούνται στους σερβοκινητήρες περιλαμβάνονται στους παρακάτω τέσσερις βασικούς τύπους:

- Οι κεραμικοί μαγνήτες οι οποίοι συνίστανται από οξείδιο του σιδήρου και καρβίδιο του βαρίου ή του στροντίου. Οι κεραμικοί μαγνήτες χρησιμοποιούνται σε κινητήρες μικρής σχετικά ισχύος για μη ενεργοβόρες διαδικασίες ελέγχου.
- Οι μαγνήτες *AlNiCo*, δηλαδή οι μαγνήτες αλουμινίου, νικελίου, κοβαλτίου, οι οποίοι είναι δυνατόν να περιέχουν ίχνη από σίδηρο, χαλκό και τιτάνιο. Σήμερα δε περιλαμβάνονται στο σχεδιασμό των καινούργιων κινητήρων εξαιτίας του υψηλού κόστους τους και της σχετικά εύκολης απομαγνήτισής τους σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος.
- Οι μαγνήτες Σαμαρίου Κοβαλτίου, οι οποίοι λόγω του μεγάλου κόστους τους χρησιμοποιούνται μόνο σε εφαρμογές στις οποίες η υψηλή θερμοκρασία και η αντοχή σε διάβρωση αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους.
- Οι μαγνήτες Νεοδύμιου Σιδήρου Βορίου (*NdFeB*) είναι οι πιο σύγχρονη γενιά μαγνητών. Οι εξαιρετικές μαγνητικές τους ιδιότητες τους καθιστούν παράλληλα κατάλληλους και για συμπαγείς κατασκευές σε χρήσεις που απαιτούν μικρότερα κόστη κατασκευής. Το μεγάλο τους μειονέκτημα είναι ότι διαβρώνονται πολύ εύκολα

3.1.2) Σερβοκινητήρες AC

Οι σερβοκινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος μπορούν να είναι διφασικοί ή τριφασικοί. Οι διφασικοί αποτελούνται από δύο τυλίγματα στο στάτη με τέτοια τοποθέτηση, ώστε να παρουσιάζουν διαφορά φάσεως 90 μοιρών και το ρότορα. Το ένα τύλιγμα ονομάζεται τύλιγμα αναφοράς και τροφοδοτείται από μια εναλλασσόμενη τάση σταθερής τιμής, ενώ το άλλο τύλιγμα είναι τύλιγμα ελέγχου και τροφοδοτείται από την τάση ελέγχου.

Όταν λοιπόν εφαρμοστούν αυτές οι τάσεις στα τυλίγματα τότε δημιουργείται στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο από τα δύο ρεύματα που διαρρέουν τα τυλίγματα και ο ρότορας περιστρέφεται.

Ο ρότορας είναι φτιαγμένος από χάλκινες ράβδους που βραχυκυκλώνουν μεταξύ τους (βραχυκυκλωμένος δρομέας). Η ταχύτητα και η διεύθυνση περιστροφής καθορίζονται από το πλάτος και τη φάση της τάσης ελέγχου. Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος παρουσιάζουν μεγάλη ροπή στρέψης για μικρές γωνιακές ταχύτητες. Η σχέση μεταξύ ροπής και γωνιακής ταχύτητας είναι όμοια με αυτήν των σερβοκινητήρων συνεχούς ρεύματος που ελέγχονται από το ρότορα, δηλαδή η ροπή στρέψης μικραίνει γραμμικά σε συνάρτηση με την αύξηση της γωνιακής ταχύτητας.

3.1.3) Servodrives

Η λειτουργία ανάδρασης σε ένα σερβοκινητήρα αποσκοπεί στο συνεχή έλεγχο των εντολών θέσης και ταχύτητας που δίνονται προς τον κινητήρα. Αυτό επιτυγχάνεται από τον ενισχυτή του σερβοσυστήματος που αποτελεί και το σύστημα οδήγησης του σερβοκινητήρα (*servodrive*). Ο «σερβοενισχυτής» αποτελεί τον ενδιάμεσο σταθμό μεταξύ μονάδας ελέγχου και σερβοκινητήρα. Στην πραγματικότητα το *servodrive* είναι ένα ειδικού τύπου *inverter*, το οποίο όμως χρησιμοποιείται αποκλειστικά για έλεγχο σερβοκινητήρων και γι' αυτό έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να επιτελεί μια πολύ ειδική λειτουργία.

Η λειτουργία των ενισχυτών του σερβοκινητήρα (*servodrives*) πιο συγκεκριμένα αποσκοπεί στο να διατηρεί σταθερές τις απαιτούμενες στροφές, να διατηρεί σταθερή τη ροπή σε όλη την περιοχή στροφών του κινητήρα, αλλά ταυτόχρονα να δίνει τη δυνατότητα της βηματικής κίνησης με απόλυτο έλεγχο των δύο προηγούμενων παραμέτρων. Αναλυτικότερα τα συστήματα οδήγησης σερβοκινητήρων (*servodrives*) επιτελούν τρεις βασικές λειτουργίες:

- Τον έλεγχο της ανάδρασης του «σερβοσυστήματος».
- Τον έλεγχο του κινητήρα.
- Τη μετατροπή ισχύος.

Ο έλεγχος ενός «σερβοσυστήματος» συνίσταται στη ρύθμιση της ταχύτητας και της θέσης ενός κινητήρα. Η ρύθμιση αυτή βασίζεται σε ένα σήμα ανάδρασης. Το βασικότερο «σερβοκύκλωμα» είναι το κύκλωμα της ταχύτητας, του οποίου ο ρόλος είναι να παράγει μια

εντολοδότηση για τη ροπή με σκοπό την ελαχιστοποίηση του σφάλματος μεταξύ της αρχικής εντολοδότησης για την ταχύτητα και την ταχύτητα που λαμβάνεται από το σήμα ανάδρασης. Επειδή στους σερβοκινητήρες κατά κανόνα απαιτείται να υπάρχει και έλεγχος θέσης συνήθως προστίθεται ένα κύκλωμα ελέγχου θέσης σε σειρά με το κύκλωμα ελέγχου ταχύτητας.

Στα κυκλώματα ελέγχου ενός σερβοσυστήματος σημαντική παράμετρος είναι και η ρύθμιση της έντασης του σήματος ανάδρασης. Αν αυτή η ρύθμιση γίνει σε υψηλή στάθμη τότε αφενός μεν τα αποτελέσματα είναι καλύτερα, αφετέρου το συνολικό σερβόσυστημα καθίσταται πιο ασταθές. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται φίλτρα που συνδέονται σε σειρά με τα κυκλώματα ελέγχου ταχύτητας. Ο έλεγχος του κινητήρα συνίσταται στην παραγωγή μιας ροπής κινητήρα που να ανταποκρίνεται στην εντολοδότηση ροπής που στέλνεται από το κύκλωμα ελέγχου του σερβοσυστήματος. Στους κινητήρες που φέρουν ψήκτρες (κατά κύριο λόγο είναι οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος) ο έλεγχος του κινητήρα συνίσταται απλά στον έλεγχο του ρεύματος των τυλιγμάτων καθώς η ροπή του κινητήρα είναι περίπου ανάλογη του ρεύματος των τυλιγμάτων. Τα κυκλώματα ελέγχου ρεύματος είναι όμοια με αυτά του ελέγχου ταχύτητας με τη μόνη διαφορά ότι εργάζονται σε υψηλότερες συχνότητες. Ένα κύκλωμα ελέγχου ρεύματος λαμβάνει την εντολοδότηση ρεύματος και τη συγκρίνει με την τιμή του ρεύματος που λαμβάνεται από το σήμα ανάδρασης και παράγει μια έξοδο που είναι ένα σήμα ρύθμισης τάσης. Αν ο κινητήρας χρειάζεται να δουλέψει με μεγαλύτερη ροπή τότε αυξάνεται η εφαρμοζόμενη σ' αυτόν τάση μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό ρεύμα τυλιγμάτων. Τέλος αναφορικά με τη μετατροπή της ταχύτητας υπάρχουν αλγόριθμοι που στηρίζονται στην ικανότητα της πηγής ισχύος να παράγει το ρεύμα εκείνο που θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις που προκύπτουν από τα κυκλώματα ελέγχου ταχύτητας και θέσης.



Η χρήση εξελιγμένων σερβοκινητήρων είναι δυνατό να μετατρέψει συμβατικές εργαλειομηχανές σε σύγχρονες CNC.

Η σύνδεση του σερβοενισχυτή με το συνολικό σερβόσυστημα γίνεται συνήθως με μια σειρά θυρών επικοινωνίας που διαθέτει ο ειδικός αυτός *inverter*. Μια θύρα μπορεί να χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του *servodrive* με την παλμογεννήτρια του σερβοσυστήματος που συνιστά το τοπικό αισθητήριο του στο ελεγχόμενο σημείο της παραγωγικής ή κατασκευαστικής διαδικασίας. Μια άλλη θύρα μπορεί να συνδέεται με H/Y,

μέσω του οποίου μπορεί να προγραμματίζεται ο σερβοενισχυτής, έτσι ώστε με τον καθορισμό συγκεκριμένων παραμέτρων να επιτυγχάνεται ο βέλτιστος έλεγχος του κινητήρα.

Σε περίπτωση που το ο κεντρικός έλεγχος του σερβοσυστήματος υποστηρίζεται από *PLC* ή *DCS*, τότε ο σερβοενισχυτής μπορεί να διαθέτει κι άλλες θύρες για την εισαγωγή σημάτων από το *PLC* ή το *DCS*. Υπάρχει και η περίπτωση οι σχεδιαστικές επιλογές να απαιτούν τη μεταφορά τοπικών σημάτων μέσω άλλων αισθητηρίων, τερματικών ή ακόμα και μπουτόν στο *servodrive* χωρίς αυτά προηγουμένως να περνάνε από το *PLC* ή το *DCS*. Και σε αυτήν την περίπτωση χρειάζεται ο σερβοενισχυτής να είναι εφοδιασμένος με κατάλληλο αριθμό θυρών.

3.1.4) Εφαρμογές

Η δυνατότητα που προσφέρουν οι σερβοκινητήρες στα συστήματα ελέγχου κίνησης με τον παράλληλο έλεγχο ταχύτητας και θέσης με πολύ μεγάλη ακρίβεια και χωρίς περιορισμούς μηχανικής ισχύος (δηλαδή αναγκαίας ροπής) τους καθιστά κατάλληλους για μια τεράστια γκάμα βιομηχανικών εφαρμογών. Το μεγαλύτερο μέρος από αυτές αναφέρεται σε εξελιγμένη αυτοματοποίηση κατασκευαστικών διαδικασιών και σε μεταφορά και συσκευασία υλικών και προϊόντων.

Αναλυτικότερα οι εφαρμογές που συναντούν οι σερβοκινητήρες στη βιομηχανία είναι:

Σε ρομποτικά συστήματα όλων των ειδών. Σημειώνουμε ότι τα ρομποτικά συστήματα μπορούν να υποστηρίξουν μεταξύ άλλων εξελιγμένες εργαλειομηχανές κατεργασιών υλικών και μηχανές συγκόλλησης και βαφής μετάλλων, αλλά και συστήματα συναρμολόγησης σε κατασκευαστικές βιομηχανίες. Στην κατεργασία των υλικών κατέχουν εξέχοντα ρόλο στην αναβάθμιση των παραδοσιακών εργαλειομηχανών σε εργαλειομηχανές CNC. Χρησιμοποιούνται στις κοπές μετάλλων οποιασδήποτε μορφής. Βρίσκουν ιδιαίτερες εφαρμογές σε τριαξονικά συστήματα κοπής, σε σύγχρονες κοπές εν κινήσει πολλαπλών σταθμών και μπορούν να επιτύχουν κοπές εν κινήσει με συγχρονισμό μέχρι 12 αξόνων. Ιδιαίτερη εφαρμογή συναντούν στις μηχανές συρματοουργίας.

Οι σερβοκινητήρες διευρύνουν την εφαρμογή τους στον κατασκευαστικό τομέα της βιομηχανίες χρησιμοποιούμενοι σε μηχανές που κάνουν επεξεργασία χαρτιού, ξύλου, μαρμάρου. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζουν στις μηχανές παραγωγής πλαστικών προϊόντων

(*extruders*, μηχανές *blow*, κ.λ.π). Ειδικές εφαρμογές βρίσκουν σε διάφορες άλλες βιομηχανίες, όπως στην καπνοβιομηχανία και στην τυπογραφία.

Στον τομέα της μεταφοράς και συσκευασίας υλικών και προϊόντων βρίσκουν μαζική εφαρμογή. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται σε εγκιβωτιστικά συστήματα, σε παλετοποιητικά συστήματα διαφόρων προϊόντων και σε συστήματα *pick and place*. Ακόμα χρησιμοποιούνται σε μηχανές συσκευασίας, σε καρτονέττες και σε ετικετέζες. Τέλος χρησιμοποιούνται σε γεμιστικά μηχανήματα χύδην, στερεών και υγρών προσόντων.

Κεφάλαιο 4^ο

Μονάδα Ελέγχου Σερβοκινητήρα LUCAS- NULLE για λειτουργία ως Servo-brake

4.1) Περιγραφή-επεξήγηση της μονάδας LUCAS-NULLE και των προγραμμάτων της.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε τον σερβοκινητήρα της LUCAS NULLE με κωδικό SE-2663-6E με την μονάδα οδήγησης του SE-2663-6D για λειτουργία ως ελεγχόμενη πέδη. Το σύστημα της πέδης και της μονάδα οδήγησης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Ο σερβο-κινητήρας είναι μια ψηφιακή ελεγχόμενη κινητήρια μηχανή ακριβείας, 4-τεταρτημορίων, με εξαιρετικά χαρακτηριστικά ελέγχου σε όλους τους τρόπους λειτουργίας. Πρόκειται για μια μονάδα, εύκολη στη χρήση της που συνδυάζει τρεις λειτουργίες :

- Πέδη
- κίνηση 4 τεταρτημορίων και
- Προσομοίωση φορτίων

Ο σερβο-κινητήρας είναι κατάλληλος για τις στατικές και δυναμικές ασκήσεις φόρτισης.

Ο πλήρης εξοπλισμός αποτελείται από τη μονάδα ελέγχου και μια ασύγχρονη μηχανή με ενσωματωμένη μονάδα μέτρησης των μοιρών περιστροφής (resolver). Τα καλώδια σύνδεσης βρίσκονται στη μονάδα ελέγχου και συνδέονται στο σερβοκινητήρα με την σωστή πολικότητα.

Με την συγκεκριμένη μονάδα μπορούν να επιλεγούν τέσσερις διαφορετικές βασικές εφαρμογές (1-4) :

1. Έλεγχος ροπής (Πέδη που χρησιμοποιείται για φορτίο)
2. Ταχύτητα ελέγχου (μονάδα)
3. Ροπή αδράνειας (Ροπή αδράνειας)
4. Βηματική κίνηση (έλεγχος θέσης)

Οι παράμετροι για αυτές τις εφαρμογές τίθενται και ρυθμίζονται στο εργοστάσιο, που σώζονται στην μονάδα και μπορούν να ρυθμιστούν μέσω των κλειδιών χειριστού, «SET», «MODE», «RUN», και «OFF», στο μπροστινό μέρος της.

Οι πρόσθετες εφαρμογές (11-14), αποθηκεύονται στη μονάδα λειτουργίας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσω ενός κώδικα. Είναι απενεργοποιημένοι για τις βασικές λειτουργίες και θα περιγραφούν στο δεύτερο μέρος των οδηγιών λειτουργίας.

4.1.1) Οδηγίες ασφαλούς λειτουργίας

Η ψηφιακή μονάδα ελέγχου και ο σερβο-κινητήρας είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για εκπαίδευση στο πεδίο των Ηλεκτρικών Μηχανών & των μονάδων οδήγησης τους (drives) και προορίζονται για χρήση μόνο όπως περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο.

Η ψηφιακή μονάδα ελέγχου και ο σερβο-κινητήρας λειτουργεί συνήθως σε συνδυασμό με μια μηχανή δοκιμής και είναι επίσης δεδομένο ότι η λειτουργία ενός τέτοιου μηχανήματος ελέγχου και των χαρακτηριστικών της, είναι πλήρως γνωστή.

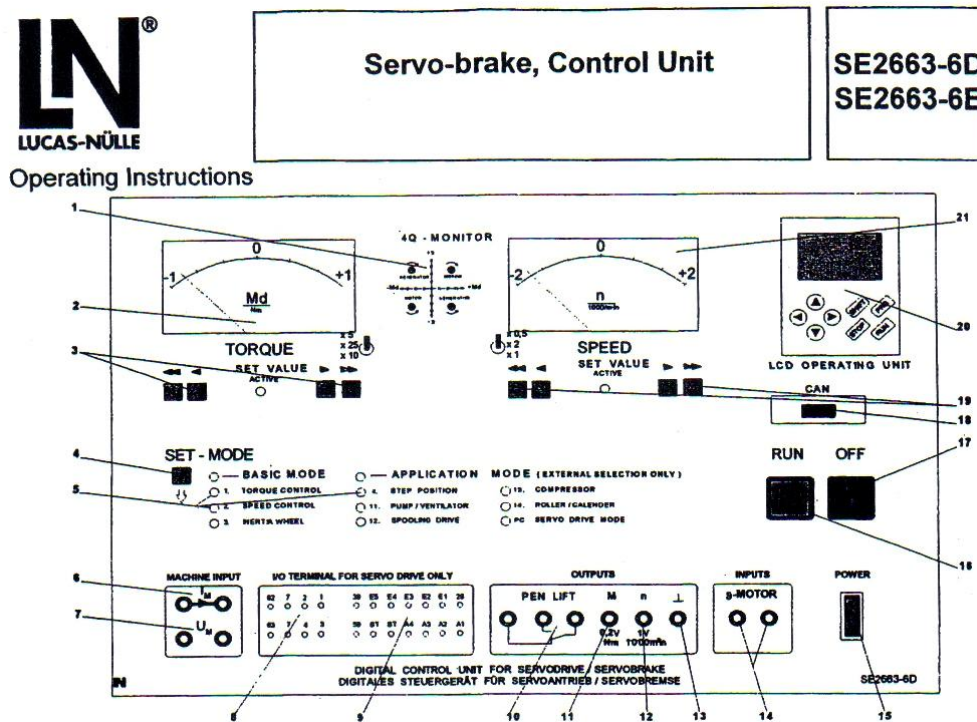
- Ο εξοπλισμός μπορεί να λειτουργεί μόνον σε δωμάτια κατάλληλα εξοπλισμένα με εγκαταστάσεις κατάρτισης
- Όλες οι πηγές τάσης πρέπει να αφαιρεθούν πριν από τις τυχόν τροποποιήσεις για τη συναρμολόγηση του εξοπλισμού.
- Πρέπει να χρησιμοποιούμε πάντα τα ασφαλή καλώδια σύνδεσης και ασφαλείς μπόρνες.
- Μετά το κλείσιμο, υπάρχουν επικίνδυνα υψηλές τάσεις στις εξόδους της μονάδας ελέγχου για τη σύνδεση των μηχανών. Επομένως, είναι απαραίτητο να εισαχθεί ένας χρόνος αναμονής (>5 SEC.), πριν προβούμε σε οποιεσδήποτε αλλαγές στη σύνδεση κυκλωμάτων.
- Μια κατάλληλη μηχανή πρέπει να συνδεθεί πριν θέσουμε σε λειτουργία τη μονάδα ελέγχου.

- Όλες οι αχρησιμοποίητες εισοδοί ή έξοδοι για μια συγκεκριμένη σύνδεση δοκιμής δεν πρέπει να συνδεθούν.
- Οι ηλεκτροστατικές φορτίσεις μπορούν να βλάψουν τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Επομένως, αποφεύγουμε να αγγίζουμε οποιεσδήποτε ακροδέκτες των υποδοχών διασύνδεσης.
- Βεβαιωνόμαστε ότι ο εξοπλισμός είναι τοποθετημένος έτσι ώστε να υπάρχει ελεύθερη ροή του αέρα γύρω από τη μονάδα ελέγχου και τον σερβο-κινητήρα, για την αποφυγή της υπερθέρμανσης.
- Ο σερβο-κινητήρας αναπτύσσει μια μεγάλη ροπή και η ανάρμωση λειτουργία του μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρούς τραυματισμούς.
- Η μηχανή δοκιμής, σε συγκεκριμένους τρόπους λειτουργίας, λειτουργεί ως γεννήτρια και θα τροφοδοτήσει την ενέργεια πίσω στην πηγή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό με την διαθέσιμη πηγή ρεύματος, ο τρόπος λειτουργίας της γεννήτριας πρέπει να αποτραπεί από την εμφάνιση αυτού, για να αποφύγει οποιαδήποτε ζημία στο δίκτυο τροφοδοσίας.
- Το I/O τερματικό μπορεί μόνο να συνδεθεί στον PC-σερβο τρόπο κίνησης, διαφορετικά η μονάδα ελέγχου μπορεί να πάθει σοβαρές ζημιές και να παραγάγει τις απροσδόκητες, απροσδιόριστες ενέργειες του σερβο-κινητήρα.
- Οι έξοδοι για την ταχύτητα «η» και την ροπή «M» δεν πρέπει, κάτω από οποιεσδήποτε συνδεσμολογίες, να συνδεθεί με οποιαδήποτε εξωτερική πηγή τάσης. Αυτό θα προκαλέσει τη βλάβη στα εσωτερικά κυκλώματα.
- Η θερμότητα, η οποία παράγεται κατά τη λειτουργία της μονάδας ελέγχου απορρέει στο πίσω μέρος της μονάδας. Ο εξοπλισμός πρέπει να είναι τοποθετημένος έτσι, ώστε η ελεύθερη ροή του αέρα να είναι εξασφαλισμένη.

4.1.2) **Ταυτοποίηση Σχεδιαγράμματος Panel**

- 1) Επίδειξη 4 τεταρτημόριων. Στους τρόπους λειτουργίας 1-3, δείχνει σε ποιο τεταρτημόριο ροπή-ταχύτητας λειτουργεί η μηχανή δοκιμής.
- 2) Αναλογικός μετρητής για τη ροπή της μηχανής δοκιμής (5% ακρίβεια). Η τιμή που υποδεικνύεται πρέπει να πολλαπλασιάζεται με τον παράγοντα που επιλέγεται στο διακόπτη της θέσης 3 (δεξιά πλευρά του μετρητή).

- 3) Η αναπροσαρμογή της τιμής για τη ροπή, >=Single-step, >>=Multiple steps. Τα κουμπιά είναι ενεργά όταν «SET VALUE» είναι ενεργό.
- 4) Κουμπί για τη ρύθμιση της λειτουργίας. Το κουμπί είναι ενεργό, μόνο όταν η κεντρική μονάδα δεν είναι ενεργοποιημένη ("OFF"). Χρησιμοποιείται για την επιλογή των εφαρμογών 1 έως 4, στη βασική λειτουργία.
- 5) LED, που υποδεικνύουν τον επιλεγμένο τρόπο λειτουργίας του σερβο-κινητήρα.



Σχ. 4.1: Σχεδιάγραμμα του κεντρικού πίνακα επιλογών.

- 6) Είσοδος για μέτρηση του ρεύματος της μηχανής δοκιμής (I_p, max = 25A I_{rms}, max = 16A), σε συνδυασμό με το λογισμικό "Active ASMA" (SO6006-4A) ή "Active DCMA" (SO6006-4B). Η παρούσα είσοδο μέτρησης είναι παράλληλα με τις αναλογικές εισόδους της μονάδας ελέγχου (βλέπε Κεφ. 8). Για την αποφυγή οποιουδήποτε λάθους στα σήματα μέτρησης, οι δύο εισοδοί δεν θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα.
- 7) Είσοδος για τη μέτρηση της τάσης της μηχανής δοκιμής (U_p, max = 600V U_{rms}, max = 400V).

- 8) Προγραμματιζόμενες αναλογικές εισόδους και εξόδους, για χρήση μόνο σε λειτουργία PC-Servo-drive.
- 9) Προγραμματιζόμενες ψηφιακές εισόδους και εξόδους, για χρήση μόνο σε λειτουργία PC-Servo-drive.
- 10) Μεταγωγική επαφή ρελέ που χρησιμοποιείται σε ενέργειες μέτρησης που ενσωματώνουν αυτοματισμό, για την έναρξη μιας εξωτερικής σχεδίασης ή για τον έλεγχο ενός εξωτερικού κυκλώματος (π.χ. εκκίνηση αστέρα-τρίγωνο για την μηχανή δοκιμής).
- 11) Αναλογικές εξόδους δοκιμής για τη μέτρηση ή την εμφάνιση της ροπής (απεικόνιση: 0.2V ανά Nm, 5% ακρίβεια).
- 12) Αναλογικές εξόδους δοκιμής για τη μέτρηση ή την εμφάνιση της ταχύτητας (απεικόνιση: 1V ανά 1000 στροφές/λεπτό, 5% ακρίβεια).
- 13) Κοινό σημείο αναφοράς για τις αναλογικές εξόδους δοκιμής ροπής και ταχύτητα.
- 14) Υποδοχές για σύνδεση της επαφής αισθητήρα θερμοκρασίας της μηχανής δοκιμής.
- 15) Κύριος διακόπτης On/Off
- 16) "RUN" διαθέσιμος διακόπτης για ενεργοποίηση ελεγκτή της μονάδας ελέγχου.
- 17) "OFF" - ο ελεγκτής σβήνει.
- 18) Διεπαφή σύνδεσης για το δίαυλο CAN.
- 19) Η αναπροσαρμογή της τιμής για τη ταχύτητα, >=Single-step, >>=Multiple steps. Τα κουμπιά είναι ενεργά όταν «SET VALUE» είναι ενεργό.

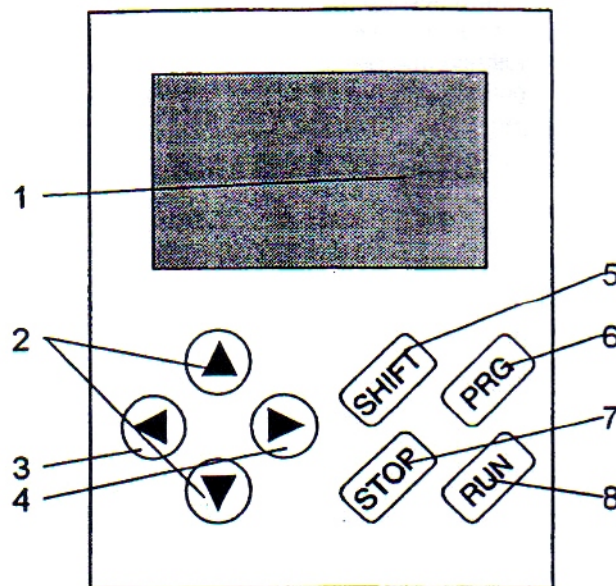
20) Ενότητα χειριστών LCD για το χειροκίνητο έλεγχο και τις παραμέτρους ρύθμισης. Οι παράμετροι για τις εφαρμογές 11-14 αποθηκεύονται στην μονάδα.

21) Αναλογική απεικόνιση για τη ροπή του σερβο-κινητήρα (5% ακρίβεια). Η τιμή που υποδεικνύεται πρέπει να πολλαπλασιάζεται με τον παράγοντα που επιλέγεται στο διακόπτη της θέσης 3 (αριστερή πλευρά του μετρητή).

Στο πίσω μέρος της μονάδας, υπάρχουν πρόσθετες συνδέσεις για άλλα συστήματα διάυλων και εφαρμογές:

- Σύνδεση Resolver X7,
- Σύνδεση Κωδικοποιητή X8,
- Εντολή εισόδου συχνότητας X9 και
- Εντολή εξόδου συχνότητας, X10

4.1.3) Χρησιμοποίηση της οθόνης LCD



Σχ. 3.2: Μονάδα λειτουργίας με οθόνη LCD

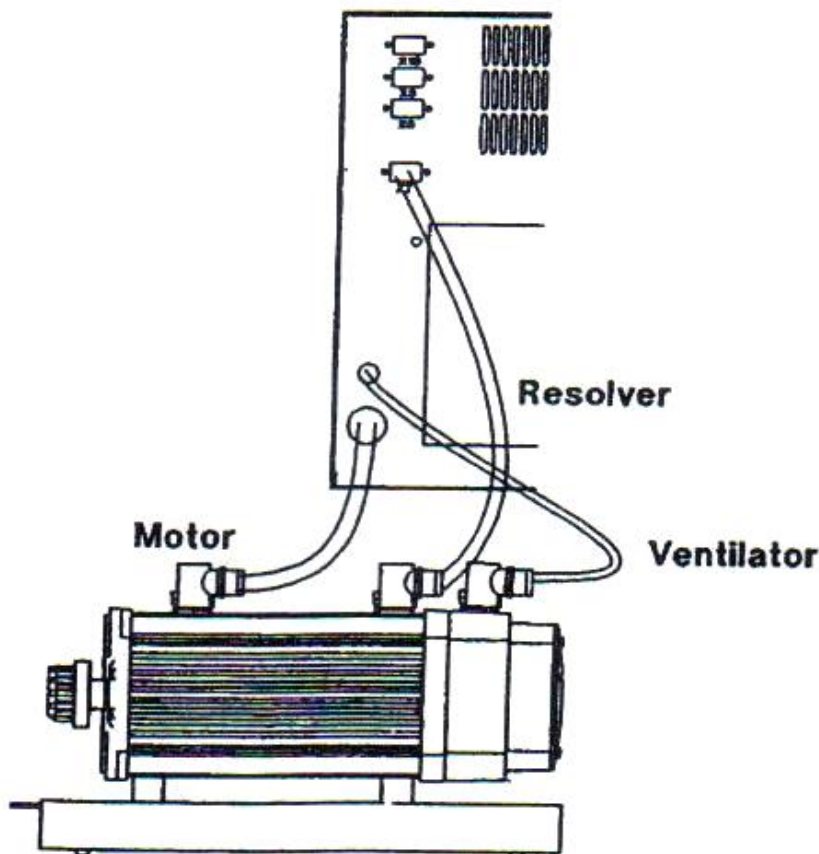
Η τιμή για τους κωδικούς αριθμούς καλείται και αλλάζουν, ως εξής (δείτε επίσης, το τμήμα που εξετάζει τους πρόσθετους τρόπους 11-14 εφαρμογών:

- Η LC-οθόνη (1), παρουσιάζει την τρέχουσα θέση, τον τρόπο προγραμματισμού, την παράμετρο ή την πραγματική τιμή, μέσω κειμένου και αριθμών.
- Το «PRG» κουμπί (6), χρησιμοποιείται για να μεταπηδήσει από το επίπεδο λειτουργίας, στον κώδικα ή στο επίπεδο παραμέτρου.
- Τα ▲ ή ▼ κουμπιά (2), χρησιμοποιούνται για να επιλέξουν τον επόμενο ή προηγούμενο κωδικό αριθμό και το επίπεδο παραμέτρου, για την αύξηση ή τη μείωση της εμφανιζόμενης τιμής.
- Το ► κουμπί (4), χρησιμοποιείται για να αλλάξει παραδείγματος χάριν από το επίπεδο επιλογών στο επίπεδο κώδικα και το ◀ κουμπί (3), από το επίπεδο κώδικα πίσω στο επίπεδο επιλογών.
- Η παράμετρος που έχει εισαχθεί, σώζεται πιέζοντας τα κουμπιά «SHIFT» (5) και «PRG» (6) ταυτόχρονα.
- Το κουμπί "STOP" (7), χρησιμοποιείται για να καλέσει αυτόματα την συνάρτηση ράμπας-φρένου ή για να απενεργοποιήσει τη φόρτιση στη μηχανή δοκιμής.
- Το κουμπί "RUN" (8), ακυρώνει το αποτέλεσμα του "STOP".

4.1.4) **Οδηγίες σύνδεσης, λειτουργία**

1. Πριν από την ενεργοποίηση του σερβο-κινητήρα, η μηχανή δοκιμής και το σύστημα ελέγχου της, πρέπει να συνδεθούν πλήρως και να έτοιμες για λειτουργία. Οι συνδέσεις της πολικότητας του σερβο-κινητήρα πρέπει να εισαχθούν με προσοχή, και οι βίδες στερέωσης να είναι σφικμένες.
2. Η τάση του κεντρικού αγωγού μπορεί να ενεργοποιηθεί, όταν και οι δύο συσκευές, όπως η θερμοκρασία επαφής και η μονάδα ελέγχου έχουν συνδεθεί πλήρως.
3. Τώρα, η απαιτούμενη λειτουργία μπορεί να επιλεγεί στη σερβο-μηχανή (π.χ. έλεγχος ροπής).
4. Ενεργοποιήστε το σερβο-κινητήρα με το κουμπί "RUN". Στις καταστάσεις 1 και 2, ο σερβο-κινητήρας είναι αυτόματα συγχρονισμένος με τη μηχανή δοκιμής (ήδη σε λειτουργία).
5. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας, η ροπή ή η ταχύτητα που απαιτείται ρυθμίζεται με τα κουμπιά "SET VALUE" στην κατεύθυνση της περιστροφής της μηχανής δοκιμής, ή σε αντίθετη περιστροφή.

6. Κατά τη σβήσιμο, πρώτα πατήστε το κουμπί "OFF" στο μπροστινό τμήμα για να διακόψετε την σερβο-πέδη, και τότε η μηχανή δοκιμής μπορεί να σταματήσει.
7. Τέλος, οι δύο μονάδες μπορούν να απενεργοποιηθούν.



4.1.5) Βασικοί Τρόποι λειτουργίας, 1-4

Τρόπος λειτουργίας Έλεγχος ροπής στρέψης

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας εφαρμόζεται για να φορτίσει μηχανές με μια σταθερή ροπή, σε όλο το φάσμα των δυνατοτήτων της ταχύτητάς του, και είναι ιδιαίτερα κατάλληλος στην καταγραφή των χαρακτηριστικών των DC ή σύγχρονων μηχανών. Η προσαρμοσμένη τιμή της ροπής εμφανίζεται στην οθόνη, ενώ η μονάδα βρίσκεται σε λειτουργία, όπου η % ένδειξη αντιστοιχεί στη ροπή σε Nm (100%=100Nm).

Χρησιμοποιώντας το κουμπί "STOP" στη μονάδα λειτουργίας LCD, γίνεται μια αυτόματη αλλαγή στη ροπή, από την τρέχουσα καθορισμένη τιμή σε μια διευθετήσιμη οριακή τιμή (C0472_12=20%), μέχρι η μηχανή δοκιμής να μπλοκάρει. Όταν η λειτουργία ράμπας

είναι ενεργοποιημένη σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, η επαφή "PEN-LIFT" ενεργοποιείται (η επαφή ανοίγει πάλι όταν επιτυγχάνεται το καθορισμένο όριο ή η μηχανή δοκιμής μπλοκάρει). Αυτή η αυτόματη καταγραφή των χαρακτηριστικών φορτίου, μπορεί να ανακτηθεί μέσω ενός plotter ή μέσω της PC-διεπαφής (PCI-1,LM 8912E).

Η πρόσβαση είναι δυνατή στις παρακάτω παραμέτρους, χωρίς κωδικό πρόσβασης, στο μενού χρήστη της μονάδας λειτουργίας:

- Ένδειξη τρέχουσας ταχύτητας (C0051 MCTRL-NACT)
- Ρύθμιση τιμής των στροφών (C0037 Ρύθμισης τιμής σε rpm)
- Σύγκριση απόλυτης τιμής για το σβήσιμο της λειτουργίας ράμπας (αναλογικό C0472_12FCODE), που αναφέρεται στη μέγιστη ροπή 11,3 Nm (μέγιστη ροπή C0057).
- Κωδικός πρόσβασης (κωδικός πρόσβασης C0094)

Ρυθμίζοντας μια καθορισμένη τιμή ταχύτητας στην παράμετρο C0037 στο μενού χρήσης, είναι δυνατό να προσομοιωθεί για παράδειγμα, ένας οδηγός ανύψωσης που φορτώνει την μηχανή δοκιμής με σταθερή ροπή στην προκαθορισμένη τιμή της ταχύτητας. Κατά αυτόν τον τρόπο, η μηχανή δοκιμής μπορεί να ελεγχθεί στα 4 τεταρτημόρια.

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, εάν η μονάδα ελέγχου σβήσει, και μετά ανοίγει πάλι ("OFF και RUN" κουμπιά από το μπροστινό πάνελ), ο ελεγκτής ελέγχει μια καθορισμένη κατάσταση (συγχρονισμός στην τρέχουσα ταχύτητα και μια μηχανή δοκιμής χωρίς φορτίο). Επίσης, πατώντας "OFF", οποιαδήποτε δυνατή κατάσταση βλάβης, αναγνωρίζεται (ισχύει για όλους τους τρόπους λειτουργίας).

Τρόπος λειτουργίας ελέγχου ταχύτητας

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας χρησιμοποιείται για την καταγραφή των χαρακτηριστικών από ηλεκτρικές μηχανές που εμφανίζουν μια pull-out ροπή. Η μηχανή δοκιμής μπορεί να ελεγχθεί και στα 4 τεταρτημόρια, σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας.

Η ταχύτητα του σερβο-κινητήρα, ρυθμίζεται μέσω των κουμπιών "SET VALUE" (>= Single-step, >>= Multiple steps), που βρίσκεται κάτω από τον μετρητή ένδειξης της ταχύτητας.

Με το κουμπί “STOP” στη μονάδα λειτουργίας LCD, όπως για το τρόπο λειτουργίας ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΟΠΗΣ, αρχίζει μια αυτόματη καταγραφή των χαρακτηριστικών (π.χ. για μια ασύγχρονη μηχανή).

Ο μετρητής ροπής, δείχνει την τρέχουσα τιμή της ροπής.

Όπως και στον τρόπο λειτουργίας ΕΛΕΓΧΟΥ ΡΟΠΗΣ, κατά το άνοιγμα (κουμπί “RUN” στο μπροστινό πάνελ), ο σερβο-κινητήρας είναι συγχρονισμένος στην τρέχουσα ταχύτητα της μηχανής δοκιμής.

Η LC-οθόνη παρουσιάζει τρέχουσες τιμές της ταχύτητας (σε rpm.) και της ροπής (σε %).

Η πρόσβαση είναι δυνατή στις παρακάτω παραμέτρους, χωρίς κωδικό πρόσβασης, στο μενού χρήστη της μονάδας λειτουργίας:

- Ένδειξη τρέχουσας ταχύτητας (C0051 MCTRL-NACT)
- Ρύθμιση τιμής των στροφών (C0037 Ρύθμισης τιμής σε rpm)
- Κωδικός πρόσβασης (κωδικός πρόσβασης C0094)

Τρόπος λειτουργίας ροπής αδρανείας

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, ο σερβο-κινητήρας αναδεοκνύει την ανταπόκριση μιας ροπής αδρανείας (‘rotating mass’). Προσαρμόζοντας την μάζα μέσω των κουμπιών ρύθμισης της τιμής της ροπής μπορεί να εξεταστεί η ανταπόκριση των μηχανών με δύσκολο φορτίο εκκίνησης και η ανταπόκριση της πέδησης με μια μεγάλη περιστρεφόμενη μάζα.

Η στιγμή προσομοίωσης της αδράνειας μπορεί να αλλάξει με το κουμπί “SET VALUE” (>= Single-step, >>= Multiple steps) κάτω από το μετρητή ροπής, από 2 σε 100%, όπου 100% αντιστοιχεί στα 20.000 kg cm². Αυτή η τιμή μπορεί να συγκριθεί με έναν άξονα χάλυβα ($\delta=7.85\text{kg/dm}^3$) με μια μάζα 305kg, διαμέτρου 230mm και 927mm μήκος. Η ελάχιστη τιμή της περιστρεφόμενης μάζας 2%, δεν χρησιμοποιείται με τον έλεγχο, για λόγους σταθερότητας.

Η επαφή PEN-LIFT ενεργοποιείται από μια τιμή κατώτατου ορίου ταχύτητας (C0742_10 = 25%), μέσω των επιλογών της μονάδας λειτουργίας και, στην προκειμένη

περίπτωση για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει ένα κύκλωμα εκκίνησης αστέρα-τριγώνου της μηχανής δοκιμής.

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, η οθόνη παρουσιάζει την τρέχουσα ταχύτητα σε rpm, καθώς επίσης και την ρυθμισμένη στιγμή αδράνειας %.

Η πρόσβαση είναι δυνατή στις παρακάτω παραμέτρους, χωρίς κωδικό πρόσβασης, στο μενού χρήστη της μονάδας λειτουργίας:

- Ένδειξη τρέχουσας ταχύτητας (C0051 MCTRL-NACT)
- Ένδειξη τρέχουσας ροπής-στρέψης (C0704 DIS-IN) σε % (100% = 100Nm)
- PEN-LIFT κατώτατο όριο (ανάλογο C0472_10 FCODE), που αναφέρεται σε 4000 rpm.
- Μέγιστη τιμή της περιστρεφόμενης μάζας σε % (C0260 MPOT1 high)
- Κωδικός πρόσβασης (κωδικός πρόσβασης C0094)

Με τη πάτημα του κουμπιού “STOP” στη μονάδα λειτουργίας, η ροπή αδρανείας «αποσυνδέεται» και επανασυνδέεται όταν πατηθεί το κουμπί “RUN”. Το προκαθορισμένο μέγεθος της περιστρεφόμενης μάζας, παραμένει το ίδιο κατά τη διάρκεια αυτών των διαδικασιών.

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, εάν η μονάδα ελέγχου σβήσει, και μετά ανοίξει πάλι, ο ελεγκτής εμφανίζει μια καθορισμένη κατάσταση (ελάχιστη τιμή της περιστρεφόμενης μάζας = 2%).

Τρόπος λειτουργίας Βηματική κίνηση-έλεγχος θέσης

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, η μονάδα ελέγχου λειτουργεί ως ρυθμιστής γωνιακής κίνησης. Με το πάτημα των κουμπιών “SET VALUE” (> = χαμηλή γωνιακή ταχύτητα, >> = υψηλή γωνιακή ταχύτητα) κάτω από το μετρητή ταχύτητας, δύο ταχύτητες αναφοράς μπορούν να προσαρμοστούν. Αυτές οι ταχύτητες αναφοράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παράδειγμα, για να καταγράψουν την αντίδραση της ροπής σε ένα βηματικό κινητήρα. Υπό τον όρο ότι ένα από τα καθορισμένα κουμπιά τιμής πιέζεται, η επαφή “PEN-LIFT” ενεργοποιείται. Επίσης, μέσω του μενού χρήστη, ο κινητήρας μπορεί να αρχίσει να πλησιάζει μια καθορισμένη θέση (offset στις αυξήσεις).

Η τρέχουσα γωνία στροφών 0 σε $\pm 180^\circ$, παρουσιάζεται στην οθόνη της ενότητας λειτουργίας, καθώς επίσης και η ροπή σε %.

Η πρόσβαση είναι δυνατή στις παρακάτω παραμέτρους, χωρίς κωδικό πρόσβασης, στο μενού χρήστη της μονάδας λειτουργίας:

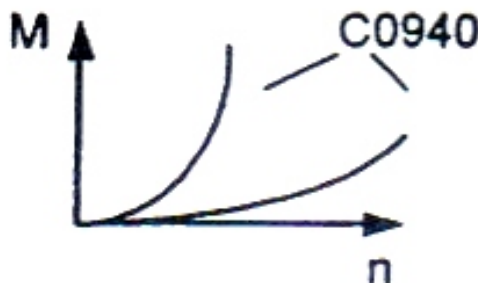
- Τρέχουσα ένδειξη της γωνίας (C0704 ANEG2)
- Γωνιακό offset, 1 rev, =65536 αυξήσεις (C0252 Angle Offset)
- Κωδικός πρόσβασης (κωδικός πρόσβασης C0094)

4.1.6) Εκτεταμένοι τρόποι εφαρμογής, 11-14

Σε αυτό το τμήμα των οδηγιών λειτουργίας, περιγράφονται οι εκτεταμένες λειτουργίες του σερβο-κινητήρα, στις οποίες μπορούμε να έχουμε πρόσβαση αφού έχουμε εισάγει τον κωδικό πρόσβασης. Η εισαγωγή ενός κωδικού για να έχετε πρόσβαση στις εκτεταμένες εφαρμογές, περιγράφεται παρακάτω στο τέλος αυτού του κεφαλαίου.

Τρόπος λειτουργίας ΑΝΤΛΙΑ/ΕΞΑΕΡΙΣΤΗΡΑΣ (PUMP/VENTILATOR)

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, ο σερβο-κινητήρας αναδεικνύει την απόκριση ροπής μιας αντλίας ή ενός ανεμιστήρα (εξαεριστήρας), δηλ. μια αύξηση στην ταχύτητα παράγει μια τετραγωνική αύξηση στη ροπή. Η αντλία ή ο ανεμιστήρας, που έχουν επιλεχτεί, έχουν μια δεδομένη περιστρεφόμενη μάζα, την τιμή της οποίας μπορούμε να αλλάξουμε μέσω των επιλογών χρηστών της μονάδας λειτουργίας. Επιπλέον, το ποσοστό αύξησης της καμπύλης ροπής (διάμετρος των λεπίδων του ανεμιστήρα), μπορεί επίσης να αλλάξει στο μενού χρήστη.



Η LC-οθόνη δείχνει την τρέχουσα ταχύτητα σε rpm, καθώς επίσης και ισχύ σε %. Όταν το κουμπί “STOP” στη μονάδα λειτουργίας πατηθεί, η αντλία (ή ανεμιστήρας), «αποσυνδέεται» και επανασυνδέεται όταν το κουμπί “RUN” πατηθεί. Οι μεταβλητές που έχουν τεθεί, παραμένουν οι ίδιες κατά τη διάρκεια αυτών των διαδικασιών.

Η επαφή PEN-LIFT ενεργοποιείται από μια τιμή κατώτατων ορίων ταχύτητας (C0742_10=25%), μέσω των επιλογών της μονάδας λειτουργίας.

Εάν αυτός ο τρόπος λειτουργίας ξαναφορτωθεί στη μονάδα ελέγχου, οι βασικοί τρόποι λειτουργίας είναι πάλι ενεργοί.

Η πρόσβαση είναι δυνατή στις παρακάτω παραμέτρους, χωρίς κωδικό πρόσβασης, στο μενού χρήστη της μονάδας λειτουργίας:

- Ένδειξη τρέχουσας ταχύτητας (C0051 MCTRL-NACT)
- Αλλαγή της περιστρεφόμενης μάζας (C0223 PCTRL Tn)
- Αλλαγή στην αύξηση της χαρακτηριστικής, διαμέτρου λεπίδας ανεμιστήρα (αριθμητής C0940)
- PEN-LIFT κατώτατο όριο (ανάλογο C0472_10 FCODE), που αναφέρεται σε 4000rpm
- Κωδικός πρόσβασης (κωδικός πρόσβασης C0094)

Τρόπος λειτουργίας SPOOLING DRIVE (επαγωγικός κινητήρας)

Όπως σε μια ανεμογεννήτρια, η ροπή παρουσιάζει γραμμική αύξηση με τον αριθμό των στροφών προς μια κατεύθυνση (+). Προς την αντίθετη κατεύθυνση (-), μόνο η τιμή της περιστρεφόμενης μάζας είναι ενεργή.

Η βασική σπείρα προηγούμενη της ανεμογεννήτριας παρουσιάζει μια περιστρεφόμενη μάζα που μπορεί να αλλάξει από το μενού χρήστη στη μονάδα λειτουργίας. Ομοίως, το πάχος του υλικού του περυγίου μπορεί να αλλάξει, δηλ. η κλίση της χαρακτηριστικής τροποποιείται (δεδομένου ότι η ροπή καταγράφεται σαν συνάρτηση του χρόνου).

Η ένδειξη στη μονάδα λειτουργίας δείχνει την τρέχουσα ταχύτητα σε rpm, και την εφαρμοσμένη ροπή σε %.

Με το πάτημα του κουμπιού “STOP” στη μονάδα λειτουργίας, η διαδικασία (ή επαγωγική) λειτουργίας της ανεμογεννήτριας επαναρυθμίζεται και μόνο η καθορισμένη ποσότητα της περιστρεφόμενης μάζας είναι ενεργή. Όταν το κουμπί “RUN” πατηθεί, η διαδικασία λειτουργίας της ανεμογεννήτριας αρχίζει εκ νέου. Όλες οι μεταβλητές οι οποίες έχουν προσαρμοστεί παραμένουν στις προκαθορισμένες τιμές τους.

Η επαφή PEN-LIFT ενεργοποιείται από μια μη προσαρμόσιμη ροπή κατώτατης τιμής (C0742-10=25%), μέσω των επιλογών της μονάδας λειτουργίας.

Εάν αυτός ο τρόπος λειτουργίας ξαναφορτωθεί στη μονάδα ελέγχου, οι βασικοί τρόποι λειτουργίας είναι πάλι ενεργοί.

Η πρόσβαση είναι δυνατή στις παρακάτω παραμέτρους, χωρίς κωδικό πρόσβασης, στο μενού χρήστη της μονάδας λειτουργίας:

- Ένδειξη τρέχουσας ταχύτητας (C0051 MCTRL-NACT)
- Αλλαγή περιστρεφόμενης μάζας (C0223 PCTRL Tn)
- Αλλαγή στην πυκνότητα του υλικού, γραμμική (C0950 Numerator)
- Αλλαγή στην πυκνότητα του υλικού, 1/2C1000 (C1000 Division) ΠΡΟΣΟΧΗ! Εάν η τιμή μικρότερη από την προεπιλεγμένη, ο σερβο-κινητήρας γίνεται ασταθής.
- PEN-LIFT κατώτατο όριο (C0472_10 FCODE analog)
- Κωδικός πρόσβασης (κωδικός πρόσβασης C0094)

Τρόπος λειτουργίας ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ

Εδώ, ο τρόπος λειτουργίας αντιστοιχεί στην αντίδραση της ροπής ενός συμπιεστή εμβόλων με μια δεξαμενή πίεσης. Με κάθε περιστροφή στη φάση εξόδου, η ροπή αυξάνεται στο μέγιστο και έπειτα, στη φάση αναρρόφησης (επιστροφή), ξαφνικά καταρρέει, κατόπιν αυξάνεται πάλι με την επόμενη περιστροφή στο μέγιστο. Αυτή η επίδραση μπορεί να παρατηρηθεί ως μια γραμμική αυξανόμενη ροπή που προσομοιώνει την αυξανόμενη πίεση στη δεξαμενή.

Ο όγκος της δεξαμενής πίεσης μπορεί να αλλάξει στο μενού χρήστη (στη μονάδα λειτουργίας). Η ανταπόκριση του συμπιεστή εμβόλων μπορεί μόνο να παρατηρηθεί προς μια κατεύθυνση περιστροφής. Στην αντίθετη κατεύθυνση, εμφανίζεται η μέγιστη ροπή.

Η ένδειξη στη μονάδα λειτουργίας δείχνει την τρέχουσα ταχύτητα σε rpm, και την εφαρμοσμένη ροπή σε % (100%=100Nm).

Με το πάτημα του κουμπιού “STOP” στη μονάδα λειτουργίας, η δεξαμενή πίεσης εξαερίζεται (αποσυμπίεση του αέρα). Όταν το κουμπί “RUN” πατηθεί, η δεξαμενή γεμίζει πάλι. Κατά τη διάρκεια αυτής της δράσης, οι καθορισμένες τιμές παραμένουν αμετάβλητες.

Η επαφή PEN-LIFT ενεργοποιείται από μια μη προσαρμόσιμη ροπή κατώτατης τιμής (C0742-10=17%), μέσω των επιλογών της μονάδας λειτουργίας (γραμμική ροπή λόγω της αυξανόμενης πίεσης στη δεξαμενή).

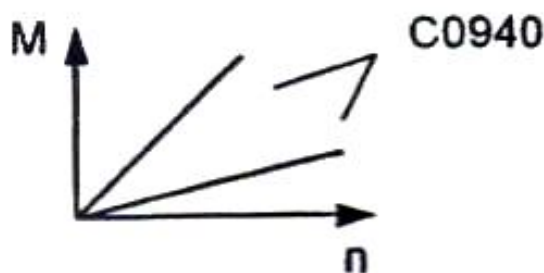
Εάν αυτός ο τρόπος λειτουργίας ξαναφορτωθεί στη μονάδα ελέγχου, οι βασικοί τρόποι λειτουργίας είναι πάλι ενεργοί.

Η πρόσβαση είναι δυνατή στις παρακάτω παραμέτρους, χωρίς κωδικό πρόσβασης, στο μενού χρήστη της μονάδας λειτουργίας:

- Ένδειξη τρέχουσας ταχύτητας (C0051 MCTRL-NACT)
- Αλλαγή στο όγκο της δεξαμενής πίεσης (τμήμα C1000)
- PEN-LIFT κατώτατο όριο (C0472_10 FCODE analog)
- Κωδικός πρόσβασης (κωδικός πρόσβασης C0094)

Τρόπος λειτουργίας ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ/ΠΡΕΣΣΑ

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, ο σερβο-κινητήρας χρησιμοποιείται για να εξετάσει την αντίδραση ροπής μιας κυλινδρικής μηχανής κοπής (rubber-coating machine). Η ροπή φορτίου αυξάνεται γραμμικά με την ταχύτητα. Η πρέσσα έχει μια ορισμένη περιστρεφόμενη μάζα, η τιμή της οποίας μπορεί να αλλάξει μέσω του μενού χρήστη στη μονάδα λειτουργίας. Επίσης, ο ρυθμός αύξησης της καμπύλης ροπής - ταχύτητας, μπορεί να αλλάξει.



Με το πάτημα του κουμπιού “STOP” στη μονάδα λειτουργίας, το ημερολόγιο «αποσυνδέεται» και επανασυνδέεται όταν το κουμπί “RUN” πατηθεί. Κατά τη διάρκεια αυτής της δράσης, οι καθορισμένες τιμές παραμένουν αμετάβλητες.

Η επαφή PEN-LIFT ενεργοποιείται από μια τιμή κατώτατων ορίων ταχύτητας (C0742_10=25%), μέσω των επιλογών της μονάδας λειτουργίας.

Εάν αυτός ο τρόπος λειτουργίας ξαναφορτωθεί στη μονάδα ελέγχου, οι βασικοί τρόποι λειτουργίας είναι πάλι ενεργοί.

Η πρόσβαση είναι δυνατή στις παρακάτω παραμέτρους, χωρίς κωδικό πρόσβασης, στο μενού χρήστη της μονάδας λειτουργίας:

- Ένδειξη τρέχουσας ταχύτητας (C0051 MCTRL-NACT)
- Αλλαγή της περιστρεφόμενης μάζας (C0223 PCTRL Tn)
- Αλλαγή στην αύξηση της χαρακτηριστικής (C0940 Numerator)
- PEN-LIFT κατώτατο όριο (C0472_10 FCODE analog)
- Κωδικός πρόσβασης (κωδικός πρόσβασης C0094)

4.1.7) Ρυθμίσεις και καθορισμός των παραμέτρων για τις πρόσθετες εφαρμογές, 11-14

A) Κωδικός εισόδου για είναι δυνατός ο προγραμματισμός (κωδικός πρόσβασης)

Για λόγους ασφάλειας, οι οδηγίες για την εισαγωγή ενός κωδικού πρόσβασης υπάρχουν σε ένα ξεχωριστό φυλλάδιο, το οποίο προορίζεται μόνο για τον εκπαιδευτικό, ή άλλο αρμόδιο πρόσωπο που διευθύνει την περίοδο εκπαίδευσης.

B) Καθορισμός ενός τρόπου εφαρμογής

1. Πρόσβαση στο μενού χρήστη, με το κουμπί «PRG».
2. Με το «κουμπί «◀» ή «▶», επιλέξτε το επίπεδο επιλογών, «ΜΕΝΟΥ ΧΡΗΣΤΗ».
3. Με το «κουμπί «▲» ή «▼», επιλέξτε το επίπεδο επιλογών, «ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΚΩΔΙΚΩΝ».
4. Μετακίνηση στον κωδικό αριθμό 000200=Par Load με το κουμπί «▶».
5. Μετακινήστε τον κέρσορα προς τον αριθμό του τρέχοντος προγράμματος, π.χ. 4. χρησιμοποιώντας το κουμπί «PRG».
6. Με τα «κουμπιά «▲» ή «▼», αλλάξτε την παράμετρο στον αριθμό που απαιτείται (11, 12, 13 ή 14).
7. Πατώντας τα κουμπιά «SHIFT» και «PRG» ταυτόχρονα, ο κωδικός μεταφέρεται και το αντίστοιχο πρόγραμμα φορτώνεται από τη μονάδα λειτουργίας στη λειτουργική μνήμη της μονάδας ελέγχου. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτωσης, η ένδειξη στη μονάδα λειτουργίας αλλάζει «Busy» και μετά αλλάζει για να δείξει τον τρέχοντα κωδικό αριθμό, 0051. Το LED στο μπροστινό μέρος του πίνακα ανάβει πίνακα για να δείξει ποιος τρόπος λειτουργίας είναι επί του παρόντος ενεργός.

Γ) Αλλαγή σε έναν άλλο τρόπο λειτουργίας

Για να ενεργοποιήσετε έναν άλλο τρόπο λειτουργίας, τα βήματα B 1 - 7 πρέπει να επαναληφθούν, χρησιμοποιώντας τον αριθμό του προγράμματος που απαιτείται.

Δ) Επαναφορά των εφαρμογών στην βασική τους λειτουργία (BASIC MODE)

Οι τρόποι λειτουργίας 1 - 3 μπορούν να επιλεγούν με το κουμπί “SET MODE”, στο μπροστινό μέρος του πίνακα, και ενεργοποιούνται με το κουμπί “RUN”. Εάν ένας από αυτούς τους βασικούς τρόπους έχει επιλεγεί, ο τρόπος λειτουργίας 4 είναι επίσης προσβάσιμος μέσω του κουμπιού “SET MODE”.

Παρατηρήσεις

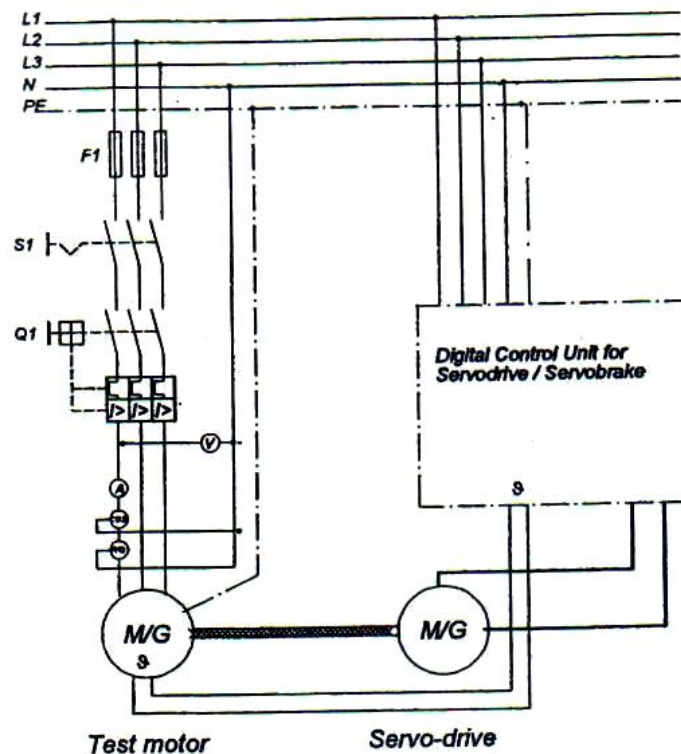
Εάν ένας από τους τρόπους λειτουργίας 11- 14 έχει φορτωθεί, το κουμπί “SET MODE” στο μπροστινό μέρος του πίνακα δεν πρέπει να πατηθεί.

Μόνο μία μοναδική εφαρμογή μπορεί να φορτωθεί στη λειτουργική μνήμη της μονάδας ελέγχου (εισάγοντας τον αριθμό 11, 12, 13 ή 14 στο επίπεδο κώδικα C0002 = Par load).

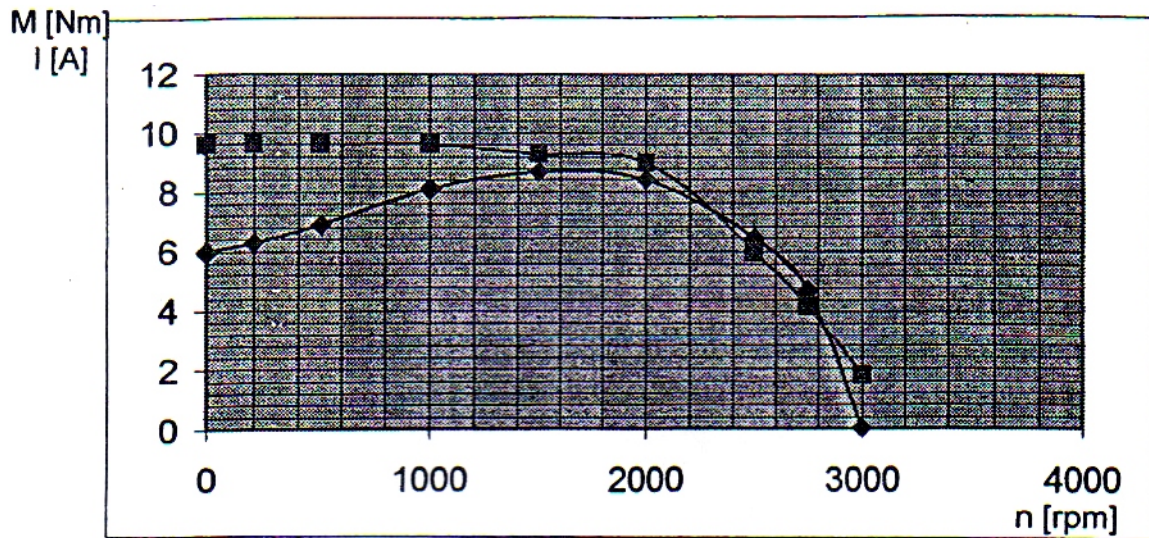
Εάν όλοι οι τρόποι εφαρμογής φορτώνονται από τη μονάδα λειτουργίας στη μονάδα ελέγχου (με την είσοδο του αριθμού 20 σε επίπεδο κώδικα C0002 = Par load), τότε οι βασικοί τρόποι λειτουργίας 1 - 4 πρέπει να ξαναφορτωθούν στο εργοστάσιο. Διαφορετικά, δεν μπορούν πλέον να ενεργοποιηθούν.

4.1.8) Παράδειγμα περιγραφής άσκησης με τον εξοπλισμό

Τίτλος άσκησης : Καταγραφή της χαρακτηριστικής εκκίνησης ενός τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα κλωβού.



Σχ. 4.2: Μηχανή δοκιμής με το σερβο-κινητήρα



4.1.9) Τεχνικά στοιχεία συσκευής

8 Technical Data

Digital Control unit: SE2663-6D
Operating voltage: 320 - 528V / 45 - 65Hz
Nominal power: 9·0kVA
Nominal current: 13·0A
Pulsed current: 19·5A
Weight: 10kg

Motor: Asynchronous servo
 SE2663-6E
Nominal current: 9·1A
Nominal power: 3·9kW
Nominal speed: 3455rpm
Maximum speed: 8000rpm
Frequency: 120Hz
Nominal torque: 10·8Nm
Maximum torque: 27·0Nm
Resolver: 65536 pulses per rev.
Weight: 10·4kg

4.1.10) Τεχνικά πρότυπα & οδηγίες

A) Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC)

Η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα της μονάδας ελέγχου και του σερβο-κινητήρα έχουν ελεγχθεί από κοινού με το τροφοδοτικό LUCAS NULLE μονάδα SO3211-1E με ενσωματωμένους κεντρικούς αγωγούς. Με αυτόν τον συνδυασμό, οι ευρωπαϊκές απαιτήσεις νομικής προστασίας για την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα του εξοπλισμού είναι έγκυρες. Οι παρεμβολές που εκπέμπονται από τη μονάδα ψηφιακού ελέγχου και του σερβο-κινητήρα, είναι κάτω από τη επιτρεπτή οριακή τιμή. Οι παρεμβολές που εκπέμπονται από τις εξωτερικές συσκευές επηρεάζουν οριακά την λειτουργικότητα στο ελάχιστο της εξασφαλισμένης ποιότητας. Παρεμβολές κατά την λειτουργία είναι δυνατές λόγω των επιπτώσεων των υψηλών συχνοτήτων (HF) και των ηλεκτρικών πεδίων σε κοντινή απόσταση (π.χ. κινητά τηλέφωνα).

Test	European standard	German standard
Interference emission	EN 55011 Class A Group 1	VDE 0875 Part 11 Class A, Group 1
Immunity to interference	EN 50082	VDE 0839-82-1

B) Πρότυπα ασφαλείας της συσκευής

Η εκπαιδευτική μονάδα έχει σχεδιαστεί και δοκιμαστεί σύμφωνα με τα παρακάτω:

Test	German standard
Electrically-operated, process measuring and control systems and laboratory equipment	DIN VDE 0411 Sect 1 (IEC 1010-1; EN 61010)
Cable and voltage supply sockets, colour-coding	IEC 446

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

**Διεξαγωγή Πειραμάτων και λήψη
χαρακτηριστικών λειτουργίας σε Ασύγχρονες
ηλεκτρικές μηχανές A.C. με την βοήθεια του
λογισμικού ACTIVE ASMA**

5.1) Περιγραφή-επεξήγηση του προγράμματος ACTIVE ASMA

5.1.1) Επισκόπηση

Το **Active ASMA** είναι ένα πρόγραμμα για την καταγραφή των χαρακτηριστικών των **ασύγχρονων μηχανών** που έχει αναπτυχθεί ειδικά για χρήση με την μονάδα οδήγησης του σερβοκινητήρα της LUCAS-NÜLLE που χρησιμοποιείται για πέδηση (ενεργό φρένο). Το πρόγραμμα ενσωματώνει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Μέτρηση, υπολογισμός και γραφική απεικόνιση όλων των σχετικών μεταβλητών μιας τριφασικής ασύγχρονης μηχανής. Ταυτόχρονη απεικόνιση των μετρούμενων και των υπολογιζόμενων τιμών (π.χ. άμεση απεικόνιση της απόδοσης).
- Μέτρηση της τάσης, του ρεύματος γραμμής (RMS τιμές) και της ενεργού ισχύος.
- Μέτρηση των ενεργών τιμών, ακόμη και όταν η τάση ή το ρεύμα δεν είναι ακριβώς ημιτονοειδής (μετατροπέας συχνότητας).
- Καθορισμός της ταχύτητας ή της ροπής που ελέγχουν την λειτουργία.
- Καθορισμός των οριακών τιμών της ταχύτητας ή της ροπής για να αποφευχθεί η απρόσμενη φόρτωση της μηχανής υπό δοκιμή.
- Λειτουργία και στα τέσσερα τεταρτημόρια.
- Κατάλληλο για ηλεκτρικές μηχανές κάθε ονομαστικής ισχύος (όλες οι ηλεκτρικές μηχανές της LN ή ηλεκτρικές μηχανές άλλων κατασκευαστών).
- Προαιρετική αυτόματη ή χειροκίνητη μέτρηση. Ελεύθερα προσδιορίσιμη λειτουργία κεκλιμένων ραμπών για H / Y με τη βοήθεια των ασκήσεων φόρτωσης. Η απεικόνιση των χαρακτηριστικών από διάφορες ασκήσεις επιτρέπει τις αλλαγές των παραμέτρων που πρέπει να γίνουν.
- Εμφάνιση των κυματομορφών της τάσης, έντασης και της αποδοτικότητας με λειτουργία αντίστοιχη του παλμογράφου
- Δυνατότητα για το μαρκάρισμα των διαγραμμάτων με οποιαδήποτε κείμενα.
- Ελεύθερα προσδιορίσιμο μενού για γρήγορη και απλή φόρτωση των ασκήσεων (ελάχιστος χρόνος προετοιμασίας).
- Υποστηρίζει όλα τα βοηθητικά προγράμματα των Windows για την παραγωγή ασκήσεων σε έντυπη μορφή. Η γραφική παράσταση και οι μετρούμενες τιμές μπορούν να εξαχθούν ως αρχείο ή μέσω του clipboard για περαιτέρω χρήση σε ένα

πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου ή λογιστικά φύλλα. Η γραφική παράσταση μπορεί να τυπωθεί σε όλους τους υποστηριζόμενους εκτυπωτές.

- Βοήθεια Online. Υποστηρίζει την άμεση βοήθεια των Windows™ («Τι είναι αυτό;»).

Το πρόγραμμα είναι πλήρως ενσωματωμένο στο γραφικό-βασισμένο περιβάλλον των παραθύρων των Microsoft® Windows και χρησιμοποιεί το τυπικό χρήστη - διασύνδεση όλων των προγραμμάτων εφαρμογής των Windows. Κατά συνέπεια όταν η λειτουργία των παραθύρων Microsoft® Windows είναι ήδη γνωστή, η λειτουργία αυτού του προγράμματος δεν πρέπει να παρουσιάσει καμία δυσκολία.

5.1.2) Απαιτήσεις συστήματος

Για την ολοκλήρωση των ασκήσεων, σε συνδυασμό με το πρόγραμμα αυτό, απαιτούνται τα ακόλουθα στοιχεία:

- Η μονάδα ελέγχου σερβοκινητήρα της LUCAS-NÜLLE μαζί με το σύστημα πέδησης (σερβοκινητήρας) (SE2663-6A, SO3636-6R ή **SE2663-6D**, **SE2663-6E**).
- Η μονάδα διασύνδεσης της μονάδας σερβοκίνησης με τον H/Y (module interface) RS232/RS485 (**LM8925**).
- Το καλώδιο σύνδεσης για το interface module (**LM9028**).
- Μαζί με το καλώδιο σύνδεσης απαιτείται ένας ενισχυτής απομόνωσης και μια κατάλληλη διακλάδωση δοκιμής για την ανίχνευση και καταστολή ρευμάτων και τάσεων παρεμβολών (στην περίπτωση που εξετάζουμε είναι ενσωματωμένος στην μονάδα ελέγχου **SE2663-6D**).
- Η / Υ με Microsoft® Windows™ 98/ME ή Windows 2000/XP και σειριακή θύρα για την σύνδεση της μονάδας ελέγχου της σερβοπέδης.

5.1.3) Εγκατάσταση

Για να εγκατασταθεί το λογισμικό απαιτείται τουλάχιστον 2 MByte ελεύθερης μνήμης στο σκληρό δίσκο του H/Y. Το πρόγραμμα εγκατάστασης απαιτεί ότι μια κατάλληλη έκδοση των Windows είναι εγκατεστημένη ήδη στον σκληρό δίσκο. Εάν αυτό δεν συμβαίνει, πρέπει να εγκατασταθούν τα Windows πριν αρχίσει η εγκατάσταση του λογισμικού.

1. Τοποθετούμε το CD στη μονάδα CD-ROM.
Εάν η αυτόματη ειδοποίηση που εισαγάγετε στον υπολογιστή σας είναι ενεργή, το βοηθητικό παράθυρο εγκατάστασης θα εμφανιστεί αυτόματα. Στην περίπτωση αυτή, μπορούμε να παραλείψουμε το επόμενο βήμα.
2. Στο μενού Έναρξη, επιλέγουμε την εντολή " **Run** ". Στο παράθυρο εισαγωγής του πλαισίου διαλόγου «γραμμών εντολής», πληκτρολογούμε την εντολή d: \ setup.exe (που αντικαθιστά το **d** με το αντίστοιχο γράμμα που δείχνει στη μονάδα CD).
3. Κάνουμε κλικ στο κείμενο "Εγκατάσταση αγγλικής έκδοσης" για να ξεκινήσει η εγκατάσταση.
4. Ακολουθούμε τις οδηγίες της βοήθειας εγκατάστασης.

Σημαντικό Το Windows Installer πρέπει να είναι παρών στο σύστημά του H/Y προκειμένου να εγκατασταθεί το λογισμικό. Εάν αυτό δεν υπάρχει, θα δημιουργηθεί στο σύστημά μας πριν αρχίσει η πραγματική εγκατάσταση του λογισμικού. Το πρόγραμμα εγκατάστασης θα αντιγράψει τα απαραίτητα αρχεία στον σκληρό δίσκο και θα δημιουργήσει μια ομάδα προγραμμάτων στο μενού έναρξης.

5.1.4) Έναρξη του προγράμματος

Προτού μπορέσει να χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα πρέπει να είμαστε βέβαιοι ότι η μονάδα ελέγχου της σερβοπέδης είναι σωστά συνδεδεμένη στην σειριακή θύρα.

Κάνουμε κλικ στο κουμπί "Start" στα αριστερά της γραμμής εργασιών, επιλέγουμε "Προγράμματα" και την ομάδα, όπου το επιθυμητό πρόγραμμα πραγματοποιείται (τεχνικές προεπιλογής **Drive**) για να ξεκινήσει το πρόγραμμα.

Στην έναρξη, ανοίγει το κύριο παράθυρο. Αν δεν υπάρχει συνδεδεμένη η σερβο-πέδη ή εάν η μονάδα ελέγχου της δεν είναι ενεργοποιημένη, εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου που κλείνει όταν οι παράμετροι για την διασύνδεση της μονάδας ελέγχου αλλάξουν.

Να θυμίσουμε ότι το πρόγραμμα χρησιμοποιεί αρχικά τις προεπιλεγμένες τιμές για τη διεύθυνση της συσκευής και baudrate (η διεύθυνση της συσκευής είναι στο C0009 και το baudrate είναι C0125). Εάν αλλάξουμε τις συγκεκριμένες τιμές στο παράθυρο διαλόγου, οι νέες τιμές χρησιμοποιούνται αυτόματα την επόμενη φορά που θα εκκινήσουμε το πρόγραμμα.

Κάνοντας κλικ στο κουμπί "Demo", το πρόγραμμα μπορεί να λειτουργήσει σε κατάσταση προσομοίωσης. Στην κατάσταση αυτή οι λειτουργίες που σχετίζονται με τη σερβοπέδη απενεργοποιούνται, ενώ τα αποθηκευμένα δεδομένα μπορούν να φορτωθούν και να εκτυπωθούν.

5.1.5) Πρώτα Βήματα

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα περιγραφεί η χρήση και ο χειρισμός του προγράμματος, χρησιμοποιώντας το παράδειγμα μιας τριφασικής ασύγχρονης μηχανής με περιελιγμένο δρομέα. Οι διάφορες ασκήσεις που θα παρουσιαστούν θα πρέπει να αναδείξουν τις δυνατότητες του προγράμματος.

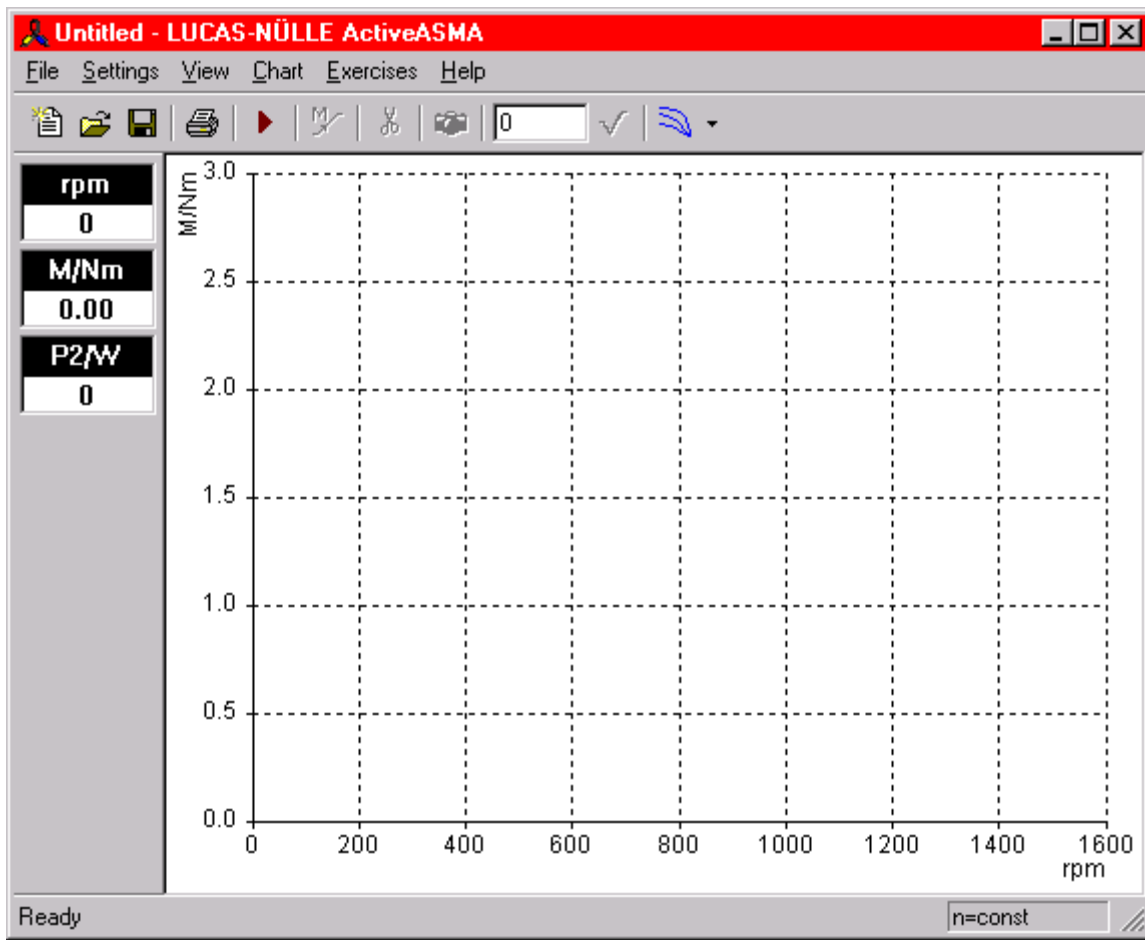
Για την άσκηση που περιγράφεται σε αυτό το τμήμα, απαιτούνται τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τριφασική ασύγχρονη μηχανή με περιελιγμένο δρομέα, 300 W της LN
- Μονάδα αντίστασης για την μηχανή με περιελιγμένο δρομέα
- Καλώδια σύνδεσης ασφαλείας 4mm

Εάν χρησιμοποιηθεί διαφορετικός εξοπλισμός από αυτόν που περιγράφουμε, οι ακόλουθες σημειώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οδηγός για τον τρόπο λειτουργίας. Για παράδειγμα, αν χρησιμοποιείται μια μηχανή με **διαφορετική ονομαστική τιμή ισχύος, συνήθως είναι μόνο απαραίτητο να αλλάξει η κλίμακα στους άξονες.**

Προτού ξεκινήσουμε πρέπει να κάνουμε τις απαραίτητες συνδέσεις στην άσκηση ενώ ανατρέχουμε στις οδηγίες λειτουργίας για την σερβοπέδη.

Όταν όλες οι συνδέσεις και ρυθμίσεις της άσκησης έχουν ολοκληρωθεί, μπορούμε να ξεκινήσουμε το πρόγραμμα. Με την έναρξη του προγράμματος παρουσιάζεται το παράθυρο του προγράμματος που φαίνεται παρακάτω:



Εκτός από τα στοιχεία που είναι γνωστά από άλλες εφαρμογές των Windows (γραμμή τίτλου, γραμμή μενού ...), το παράθυρο περιέχει μια γραμμή εργαλείων κάτω από τη γραμμή μενού, ένα πάνελ στα αριστερά με τα μετρούμενα μεγέθη που έχουμε επιλέξει και μια γραμμή κατάστασης στο κάτω μέρος του παραθύρου .

Στη συνέχεια, το πρόγραμμα και ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός πρέπει να προσαρμοστούν στη άσκηση που χρησιμοποιείται. Από το μενού **Ρυθμίσεις**, επιλέγουμε το στοιχείο **Preset**. Ύστερα επιλέγουμε την καρτέλα **Machine** και εισάγουμε τα απαραίτητα στοιχεία από την ταμπέλα της ηλεκτρικής μηχανής που θα χρησιμοποιήσουμε και στην καρτέλα Κλίμακα, πληκτρολογούμε τις αντίστοιχες τιμές.

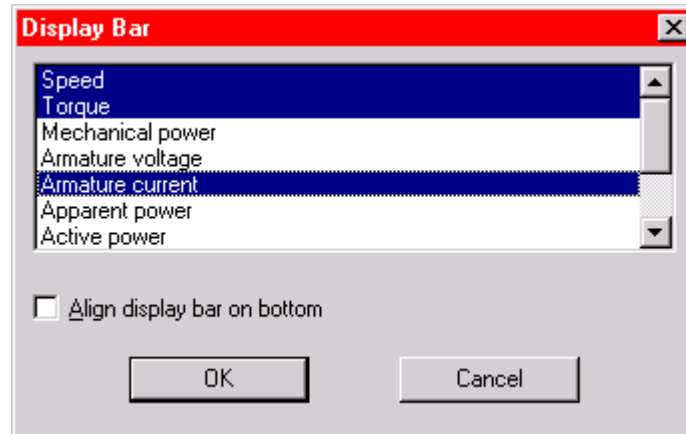
Η καρτέλα **Circuit** χρησιμοποιείται για να επιλέξουμε τον τύπο του κυκλώματος δοκιμής που θα χρησιμοποιηθεί.

Εάν απαιτούνται περαιτέρω πληροφορίες για τις παραπάνω καρτέλες, επιλέγουμε το πλήκτρο F_1 οποιαδήποτε στιγμή.

Με τις παραπάνω ενέργειες ολοκληρώνουμε την προετοιμασία. Δεδομένου ότι στην άσκηση χρησιμοποιείται μια μηχανή περιελιγμένου δρομέα με μεταβλητή αντίσταση

εκκίνησης, μια προφανής δοκιμή είναι να εξεταστεί η επίδραση των διαφορετικών τιμών αντίστασης κατά την εκκίνηση για την μελέτη λειτουργίας της μηχανής. Αρχικά η δοκιμή που πρέπει να γίνει, είναι πώς η αντίσταση εκκίνησης επηρεάζει την ταχύτητα και το ρεύμα με δεδομένη σταθερή τιμή της ροπής.


Πρέπει να καθοριστούν, πρώτα τα μετρούμενα μεγέθη που πρόκειται να εμφανιστούν στο sidebar. Για αυτό, επιλέγουμε **Measured values** στο μενού **View**. Οι καταχωρήσεις στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγουν πρέπει να γίνουν, όπως παρουσιάζονται παρακάτω:



Με την παραπάνω ρύθμιση, μόνο οι τιμές για την ταχύτητα, τη ροπή και το ρεύμα του στάτη θα εμφανίζονται στο sidebar.


Τέλος, από το **Chart** menu, επιλέγουμε **Ιδιότητες**. Στην καρτέλα "Axes", επιλέγουμε "Single measurement" για τον άξονα X και για τον άξονα Y επιλέγουμε "Speed" και "Stator current".


Δεδομένου ότι η άσκηση εκτελείται με σταθερή ροπή, από το **Settings/Mode menu** επιλέγουμε **Torque control**.

Ενεργοποιώντας τη μηχανή δοκιμής θα αρχίσει η ανίχνευση της μετρούμενης τιμής με την εντολή **Switch drive on** στο μενού **Settings**. Εναλλακτικά, κάνουμε κλικ στο κουμπί  στη γραμμή εργαλείων με το ποντίκι.

Αν η μονάδα οδήγησης δεν έχει οριστεί σε "RUN", στο πρόγραμμα θα εμφανίσει ένα μήνυμα.

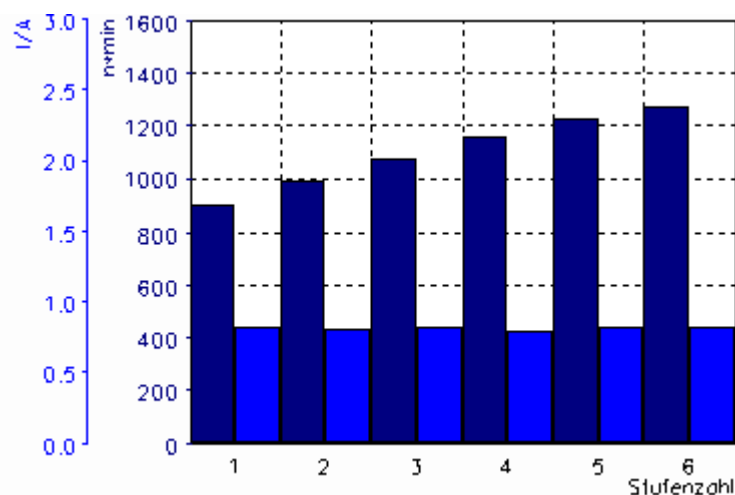
Μετά την ενεργοποίηση της μονάδας οδήγησης, ορισμένες εντολές στη γραμμή μενού και μερικά κουμπιά στη γραμμή εργαλείων, θα απενεργοποιηθούν.

Στην έναρξη της γραμμής εργαλείων, πληκτρολογούμε την τιμή 2 και πατάμε το πλήκτρο RETURN (εναλλακτικά, χρησιμοποιήστε το κουμπί ). Η μηχανή δοκιμής φρενάρει τώρα με $2N_m$.


Με την επιλογή του **Save value** από το **Chart** menu (ή το κουμπί ) , η πρώτη τιμή μέτρησης αποθηκεύεται και εμφανίζεται αμέσως στο διάγραμμα.

Τώρα αλλάζουμε την αντίσταση εκκίνησης σταδιακά σε κάθε στάδιο, σώζοντας την αντίστοιχη τιμή.

Το αποτέλεσμα θα είναι όπως φαίνεται παρακάτω:



Είναι εμφανές ότι **με σταθερή ροπή, το ρεύμα παραμένει το ίδιο**, παρά τις διαφορετικές τιμές της αντίστασης εκκίνησης, ενώ **η ταχύτητα αυξάνεται όταν η αντίσταση εκκίνησης μειώνεται**.


Κλείνουμε τη μετρούμενη τιμή ανίχνευσης επιλέγοντας **Switch drive off** στο **Settings** menu ή κάνουμε κλικ στο κουμπί  στη γραμμή εργαλείων ξανά.

Οι ρυθμίσεις της άσκησης θα πρέπει να αποθηκεύονται στο σκληρό δίσκο για να χρησιμοποιηθούν και πάλι αργότερα. Από το **File** menu, επιλέγουμε την εντολή **Save As** και στο παράθυρο διαλόγου πληκτρολογούμε ένα όνομα για το αρχείο, *π.χ. "Exercise 1"*.

Στην επόμενη άσκηση, θα καταγραφούν **τα χαρακτηριστικά ροπής**. Κατ' αρχάς, αλλάζουμε τους άξονες που πρόκειται να εμφανιστούν: Κάνουμε κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο **Speed**. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέξτε **Torque και Mechanical power**.

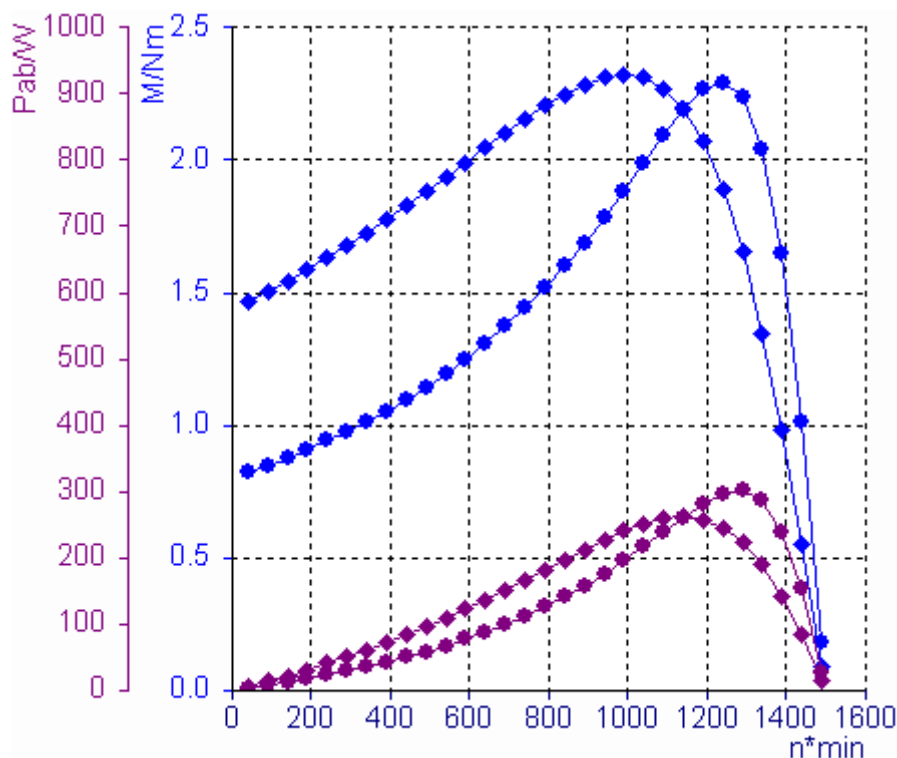
Αυτή η άσκηση θα ολοκληρωθεί ρυθμίζοντας την ταχύτητα, έτσι ώστε να μετρήσουμε τις τιμές "μετά" την ροπή pull-out . Από το **Settings/Mode** menu, επιλέγουμε το στοιχείο **Speed control**.

Ενεργοποιούμε τη μηχανή δοκιμής και ξεκινάμε την καταγραφή της μετρούμενης τιμής.

Ενεργοποιούμε το κουμπί  στη γραμμή εργαλείων. Η μηχανή δοκιμής φρενάρει σταδιακά, από την ταχύτητα χωρίς φορτίο στην ακινησία. Την ίδια στιγμή, οι μετρούμενες τιμές εμφανίζονται στο γράφημα.

Επαναλαμβάνουμε την άσκηση πέδησης για τις διάφορες τιμές της αντίστασης εκκίνησης για να διευκρινίσουμε τις επιπτώσεις τους στην χαρακτηριστική.

Στο τέλος των μετρήσεων, το γράφημα που εμφανίζεται πρέπει να είναι παρόμοιο με αυτό που φαίνεται:

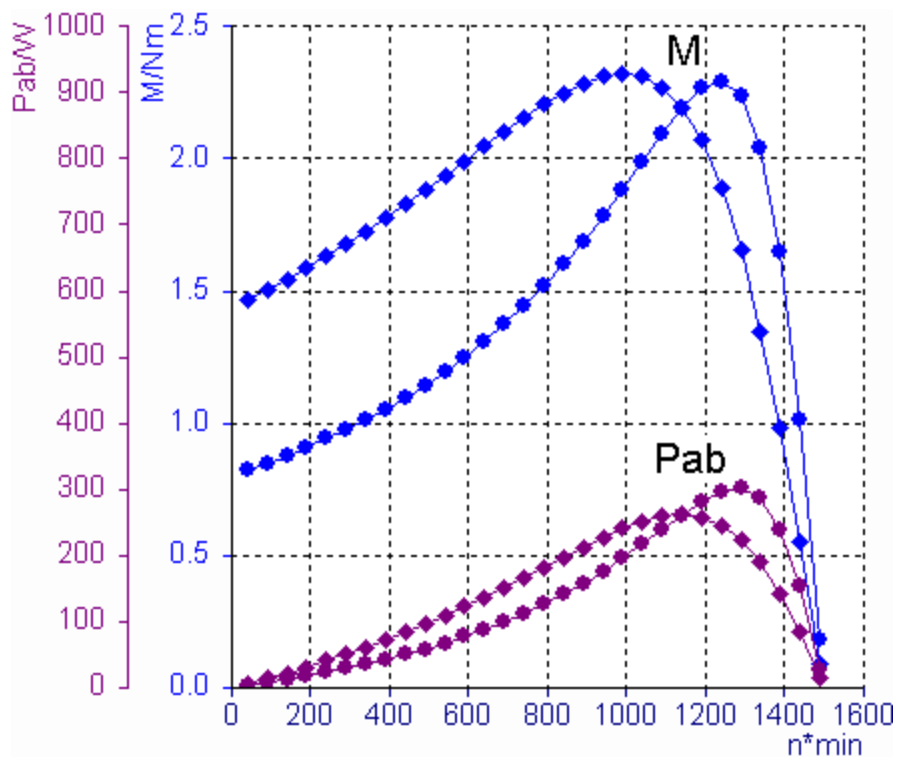


Σε μια μονόχρωμη οθόνη (εκτυπωτής), δεν είναι αμέσως εμφανής που ανήκει η καμπύλη και ποια μετρούμενα μεγέθη απεικονίζει, επομένως κάποια μορφή μαρκαρίσματος θα πρέπει να συμπεριληφθεί.

Για αυτό, μετακινούμε το δείκτη του ποντικιού κοντά σε μία χαρακτηριστική και πατάμε το δεξί πλήκτρο του ποντικιού. Ένα αναδυόμενο μενού εμφανίζεται όταν το στοιχείο *Add Text* μπορεί να επιλεγεί. Στη θέση του δείκτη του ποντικιού, ένα κείμενο προστίθεται στη χαρακτηριστική. Το κείμενο αυτό μπορεί να μετακινηθεί σε οποιαδήποτε θέση στο γράφημα κάνοντας κλικ με το ποντίκι στο κείμενο, κρατώντας πατημένο το κουμπί του ποντικιού, και μετακινούμε το κείμενο όπως απαιτείται και τέλος αφήνουμε το πλήκτρο ("drag & drop").

Για να αλλάξουμε το κείμενο που εμφανίζεται, επιλέγουμε το κείμενο και πατάμε το δεξί πλήκτρο του ποντικιού. Ένα αναδυόμενο μενού εμφανίζεται όταν το στοιχείο Properties μπορεί να επιλεγεί και το απαιτούμενο κείμενο μπορεί να εγγραφεί στο πλαίσιο διαλόγου.

Επαναλαμβάνοντας τα βήματα που περιγράφονται παραπάνω και για τα άλλα χαρακτηριστικά μεγέθη, εμφανίζεται το διάγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω :



Αυτή η άσκηση μπορεί να αποθηκευτεί επίσης στο σκληρό δίσκο, για μελλοντική χρήση. Γι 'αυτό, από το **File** menu, επιλέγουμε το στοιχείο **Save As** και στο παράθυρο διαλόγου πληκτρολογούμε ένα όνομα για το αρχείο, π.χ. "**Exercise 2**".

Οι παραπάνω ασκήσεις μπορούν να ενταχθούν στο πρόγραμμα, έτσι ώστε να είναι εύκολα διαθέσιμες ανά πάσα στιγμή, χωρίς καμία περίπλοκη καταχώρηση να είναι αναγκαία. Γι 'αυτό, από το **Exercise** menu, επιλέγουμε το στοιχείο **Properties**. Περισσότερες πληροφορίες θα βρείτε στο κεφάλαιο Exercises.

5.1.6) File Menu

Το μενού **File** περιέχει όλες τις εντολές που είναι απαραίτητες για την είσοδο και έξοδο των δεδομένων. Περιλαμβάνει επίσης την εντολή για τον τερματισμό του προγράμματος.

Εντολές

<u>N</u> ew	Δημιουργεί ένα νέο έγγραφο.
<u>O</u> pen	Ανοίγει ένα υπάρχον έγγραφο.
<u>S</u> ave	Αποθηκεύει τις αλλαγές στο έγγραφο που εργάζεστε.
<u>S</u> ave as	Αποθηκεύει ένα νέο έγγραφο ή ένα υπάρχον έγγραφο με νέο όνομα.
<u>P</u> roperties	Εμφανίζει ένα παράθυρο διαλόγου για την εισαγωγή πληροφοριών που σχετίζονται με το έγγραφο.
<u>E</u> xport	Εξαγωγή γραφημάτων ή τιμών
<u>T</u> he Page Setup	Καθορίζει τα περιθώρια της σελίδας για την εκτύπωση.
<u>P</u> rint Preview	Εμφανίζει το έγγραφο στην οθόνη, όπως θα τυπωθεί.
<u>P</u> rint	Εκτυπώνει το τρέχον έγγραφο.
<u>S</u> end	Στέλνει το τρέχον έγγραφο μέσω του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.
<u>M</u> RU File	Ανοίγει ένα από τα τελευταία χρησιμοποιημένα αρχεία.
<u>E</u> xit	Κλείσιμο της εφαρμογής.

Settings Menu

Το μενού **Settings** περιέχει όλες τις εντολές που σχετίζονται με τη διαμόρφωση του σερβο-κινητήρα. Επίσης, η μονάδα οδήγησης μπορεί να ενεργοποιηθεί ή ανασταλεί μέσω αυτού του μενού, μεταστρέφοντας την μετρούμενη καταγραφή της τιμής, στη θέση on ή στη θέση off.

Εντολές

<u>Switch drive On/Off</u>	Ενεργοποίηση ή αναστολή, της μονάδας οδήγησης.
<u>Presets</u>	Καθορίζει τις ρυθμίσεις για την μονάδα οδήγησης.
<u>Output brake ramp</u>	Έξοδοι της ράμπας για την άσκηση του φορτίου.
<u>Calibrate</u>	Εμφανίζει ένα παράθυρο διαλόγου για τη βαθμονόμηση των μετρούμενων τιμών.

Operating mode Menu

Αυτό το μενού περιλαμβάνει τις καταχωρήσεις για τους δύο πιθανούς τρόπους λειτουργίας του ενισχυτή οδήγησης.

Ροπή ελέγχου (Torque-control)

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας χρησιμοποιείται για να εφαρμόσει μια σταθερή ροπή σε μια μηχανή, καθ' όλη την διάρκεια των στροφών και είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για την καταγραφή των χαρακτηριστικών των DC ή σύγχρονων μηχανών. Η λειτουργία των ασύγχρονων μηχανών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξεταστεί το εύρος εργασίας, μέχρι το pull-out της ροπής. Η ροπή που παράγεται από τη κίνηση, μπορεί να είναι θετική (πέδηση) ή αρνητική (κίνηση - επιτάχυνση).

Πρέπει να σημειωθεί ότι με τη μηχανή δοκιμής εν στάση, η έξοδος μιας τιμής της ροπής (θετικής ή αρνητικής) θα παραγάγει μια επιτάχυνση στη μηχανή. Η μέγιστη ταχύτητα που θα επιτευχθεί σε μια τέτοια περίπτωση, αντιστοιχεί στην τιμή που έχει εισαχθεί στο "lower speed" πεδίο εισόδου στην καρτέλα **Options**.

Ταχύτητα ελέγχου (Speed-control)

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας χρησιμοποιείται για την καταγραφή των χαρακτηριστικών των ηλεκτρικών μηχανών που παρουσιάζουν μια pull-out ροπή. Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, η μηχανή μπορεί να εξεταστεί και στα τέσσερα τεταρτημόρια. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για την καταγραφή χαρακτηριστικών των ασύγχρονων μηχανών. Όταν η μονάδα οδήγησης είναι ενεργοποιημένη, ο σερβο-κινητήρας είναι συγχρονισμένος στην τρέχουσα ταχύτητα με τη μηχανή δοκιμής.

Αν η μονάδα οδήγησης είναι ενεργοποιημένη, ενώ η μηχανή δοκιμής βρίσκεται σε κατάσταση ακινησίας και μετά θέσουμε σε λειτουργία τη μηχανή δοκιμής, η ταχύτητα της μηχανής θα παραμείνει στο μηδέν. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια απρόσμενη υψηλή κατανάλωση ρεύματος και μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στη μηχανή δοκιμής.

Η μέγιστη επιτρεπόμενη ροπή μπορεί να περιορίζεται από την εισαγωγή της τιμής που απαιτείται στο "**Maximum torque**" του πεδίου εισόδου στην καρτέλα **Options**.

Αν η μηχανή δοκιμής είναι απενεργοποιημένη, ενώ η μονάδα οδήγησης είναι ενεργοποιημένη και η μηχανή δοκιμής τρέχει, η ταχύτητα της μηχανής δοκιμής παραμένει στην τελευταία τιμή που εντοπίζεται. Δηλαδή, δεν θα σταματήσει.

Συμβουλή Ο συνεχιζόμενος τρόπος λειτουργίας εμφανίζεται στο δεξιό χέρι στο τέλος της γραμμής κατάστασης. "M=const" υποδηλώνει τον έλεγχο της ροπής και "n=const" υποδηλώνει τον έλεγχο της ταχύτητας.

View Menu

Χρησιμοποιώντας το μενού **View**, μπορούν να επιλεγούν οι επιδείξεις στην οθόνη του προγράμματος.

Εντολές

<u>Machine characteristics</u>	Εμφανίζει τα χαρακτηριστικά του κινητήρα
<u>Oscilloscope</u>	Εμφανίζει λειτουργία παλμογράφου
<u>Measured Values</u>	Εμφανίζει το παράθυρο διαλόγου για τον καθορισμό των τιμών μέτρησης που πρόκειται να εμφανιστούν.
<u>Toolbar</u>	Εμφανίζει ή αποκρύπτει τη γραμμή εργαλείων
<u>Sidebar</u>	Εμφανίζει ή αποκρύπτει το sidebar

Chart (Motor characteristics) Menu

Το μενού **Chart** συνοψίζει όλες τις εντολές που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της εμφάνισης και του περιεχομένου ενός γραφήματος (γραφική παράσταση ή διάγραμμα).

Εντολές

<u>Clear</u>	Διαγράφει όλα τα περιεχόμενα ενός γραφήματος.
<u>Delete last curve</u>	Διαγράφει την τελευταία τιμή μέτρησης ή την καμπύλη
<u>Properties</u>	Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου για τον καθορισμό των ιδιοτήτων του γραφήματος.
<u>4-quadrants</u>	Εναλλαγή μεταξύ ενός ή 4-τεταρτημορίων στην οθόνη
<u>Show actual values</u>	Εμφανίζει την τρέχουσα τιμή που μετρήθηκε στο γράφημα.
<u>Save actual values</u>	Αποθηκεύει την τρέχουσα τιμή μέτρησης και δείχνει την τιμή στο γράφημα
<u>New characteristic</u>	Κλείνει τη καταγραφή των τιμών μέτρησης για τη συνεχή καμπύλη
<u>Add Label</u>	Προσθέτει μια ετικέτα κειμένου στο γράφημα

Chart (Oscilloscope) Menu

Το μενού αυτό συνοψίζει τις εντολές που χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση και το περιεχόμενο ενός γραφήματος.

Οι διαθέσιμες καρτέλες ιδιότητες περιγράφονται στην ενότητα **Properties**.

Exercises Menu

Στο μενού **Exercises**, μπορούν να συνδυαστούν ρυθμίσεις ή χαρακτηριστικά ασκήσεων, ώστε να φορτωθούν σε μεταγενέστερη ημερομηνία, με ένα απλό κλικ του ποντικιού.

Γι' αυτό, ενεργοποιούμε την εντολή **Properties** από αυτό το μενού.

Για να αποφευχθεί η απουσία επανεγγραφής αρχείων με ήδη προετοιμασμένες ασκήσεις (για παράδειγμα με την εντολή **Save** από το μενού **File**), ακολουθούμε τη διαδικασία που δίνεται εδώ:

- Ενεργοποιούμε τη Διαχείριση Αρχείων στα Windows.
- Επιλέγουμε το αρχείο που πρόκειται να προστατευθεί.
- Από το μενού **File**, επιλέγουμε την εντολή **Properties**.
- Στην "Attributes" ομάδα, επιλέξτε το πλαίσιο επιλογής "Read Only".
- Κάντε κλικ στο κουμπί "OK".

Σε περίπτωση που γίνει προσπάθεια να αντικατασταθεί αυτό το αρχείο, εμφανίζεται ένα μήνυμα σφάλματος, για να ενημερώσει ότι το αρχείο είναι μόνο για ανάγνωση και πρέπει να σωθεί με ένα διαφορετικό όνομα.

Μενου Help

Το μενού **Help** περιέχει τις ακόλουθες εντολές που βοηθούν στη χρήση αυτής της εφαρμογής:

Εντολές

Index	Δείχνει ένα ευρετήριο των θεμάτων Βοήθειας
About	Δείχνει τον αριθμό έκδοσης αυτής της εφαρμογής

5.1.7) Σημειώσεις ασφαλείας

Η ψηφιακή μονάδα ελέγχου και ο σερβο-κινητήρας είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για εκπαίδευση στο πεδίο των Ηλεκτρικών Μηχανών & των μονάδων οδήγησης τους (drives) και προορίζονται για χρήση μόνο όπως περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο.

Η ψηφιακή μονάδα ελέγχου και ο σερβο-κινητήρας λειτουργεί συνήθως σε συνδυασμό με μια μηχανή δοκιμής και είναι επίσης δεδομένο ότι η λειτουργία ενός τέτοιου μηχανήματος ελέγχου και των χαρακτηριστικών της, είναι πλήρως γνωστή.

- Ο εξοπλισμός μπορεί να λειτουργεί μόνον σε δωμάτια κατάλληλα εξοπλισμένα με εγκαταστάσεις κατάρτισης
- Όλες οι πηγές τάσης πρέπει να αφαιρεθούν πριν από τις τυχόν τροποποιήσεις για τη συναρμολόγηση του εξοπλισμού.
- Πρέπει να χρησιμοποιούμε πάντα τα ασφαλή καλώδια σύνδεσης και ασφαλείς μπόρνες.
- Μετά το κλείσιμο, υπάρχουν επικίνδυνα υψηλές τάσεις στις εξόδους της μονάδας ελέγχου για τη σύνδεση των μηχανών. Επομένως, είναι απαραίτητο να εισαχθεί ένας χρόνος αναμονής (>5 SEC.), πριν προβούμε σε οποιοσδήποτε αλλαγές στη σύνδεση κυκλωμάτων.
- Μια κατάλληλη μηχανή πρέπει να συνδεθεί πριν θέσουμε σε λειτουργία τη μονάδα ελέγχου.
- Όλες οι αχρησιμοποίητες είσοδοι ή έξοδοι για μια συγκεκριμένη σύνδεση δοκιμής δεν πρέπει να συνδεθούν.
- Οι ηλεκτροστατικές φορτίσεις μπορούν να βλάψουν τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Επομένως, αποφεύγουμε να αγγίζουμε οποιοσδήποτε ακροδέκτες των υποδοχών διασύνδεσης.
- Βεβαιωνόμαστε ότι ο εξοπλισμός είναι τοποθετημένος έτσι ώστε να υπάρχει ελεύθερη ροή του αέρα γύρω από τη μονάδα ελέγχου και τον σερβο-κινητήρα, για την αποφυγή της υπερθέρμανσης.
- Ο σερβο-κινητήρας αναπτύσσει μια μεγάλη ροπή και η ανάρμωση λειτουργία του μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρούς τραυματισμούς.
- Η μηχανή δοκιμής, σε συγκεκριμένους τρόπους λειτουργίας, λειτουργεί ως γεννήτρια και θα τροφοδοτήσει την ενέργεια πίσω στην πηγή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό με την διαθέσιμη πηγή ρεύματος, ο τρόπος λειτουργίας της γεννήτριας πρέπει να αποτραπεί από την εμφάνιση αυτού, για να αποφύγει οποιαδήποτε ζημία στο δίκτυο τροφοδοσίας.

5.2) Διεξαγωγή Πειραμάτων και λήψη χαρακτηριστικών λειτουργίας σε ασύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές A.C.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε ασύγχρονες ηλεκτρικές μηχανές A.C. Δακτυλιοφόρου και Βραχυκυκλωμένου δρομέα με σκοπό την λήψη χαρακτηριστικών λειτουργίας. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο τρόπος συνδεσμολογίας μιας AC μηχανής που πραγματοποιήθηκε στο χώρο του εργαστηρίου.



Διεξαγωγή πειράματος στο χώρο του εργαστηρίου

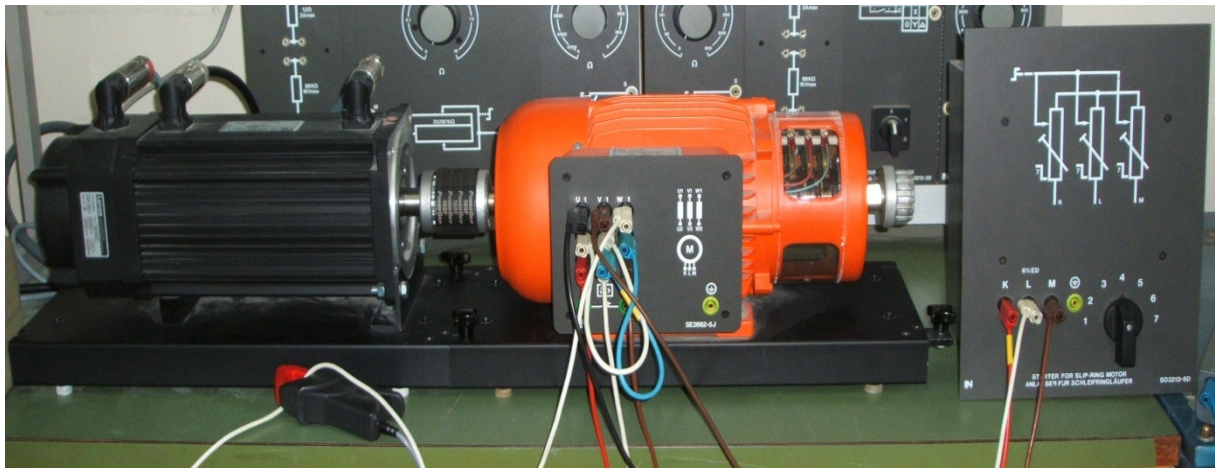
LN Lucas-Nuelle Lehr- und Meßgeräte GmbH Germany - 50170 Kerpen - Siemensstr. 2		
SE2663-6E	VDE 0530	IP: 54 / Is.KL: F
	U: 390 V	I: 9,1 A
	10,8 Nm / 3,9 kW	cos :
	3455 1/min	f: 120 Hz
U _{em} :	I _{em} :	Made in Germany
C _{em} :	C _{em} :	

Χαρακτηριστικά πινακίδας σερβοπέδης

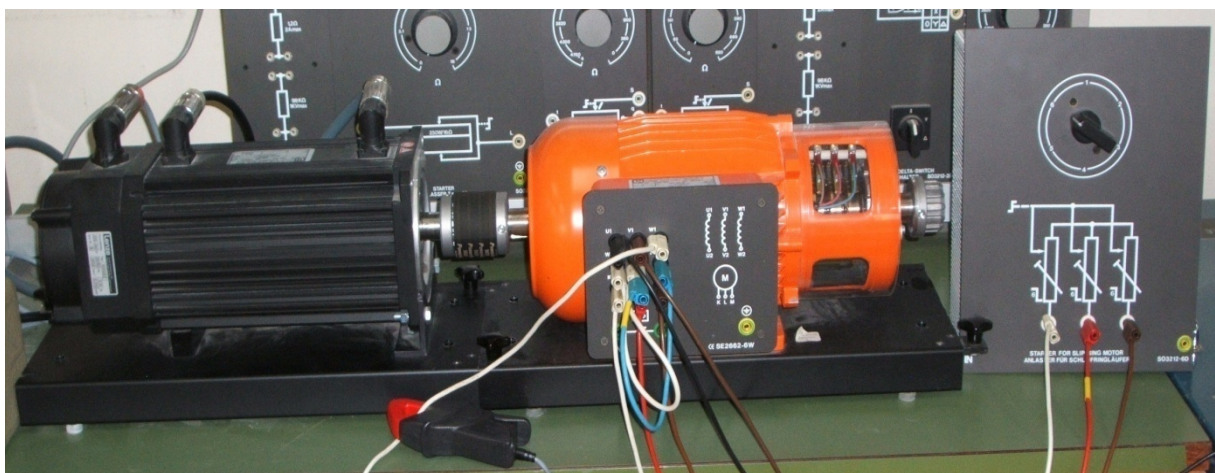
5.2.1) Δακτυλιοφόρου δρομέα

Στο παρακάτω πείραμα θα αναφερθούμε στον τρόπο συνδεσμολογίας και στις απαραίτητες ρυθμίσεις που θα προβούμε, έτσι ώστε να λάβουμε τις συγκεκριμένες χαρακτηριστικές που επιθυμούμε. Πιο συγκεκριμένα θα χρησιμοποιήσουμε τη σερβοπέδη της εταιρείας *Lucas Nulle* σε συνεργασία με το ρυθμιστή στροφών της εταιρείας *Lenze*.

Τρόπος Συνδεσμολογίας

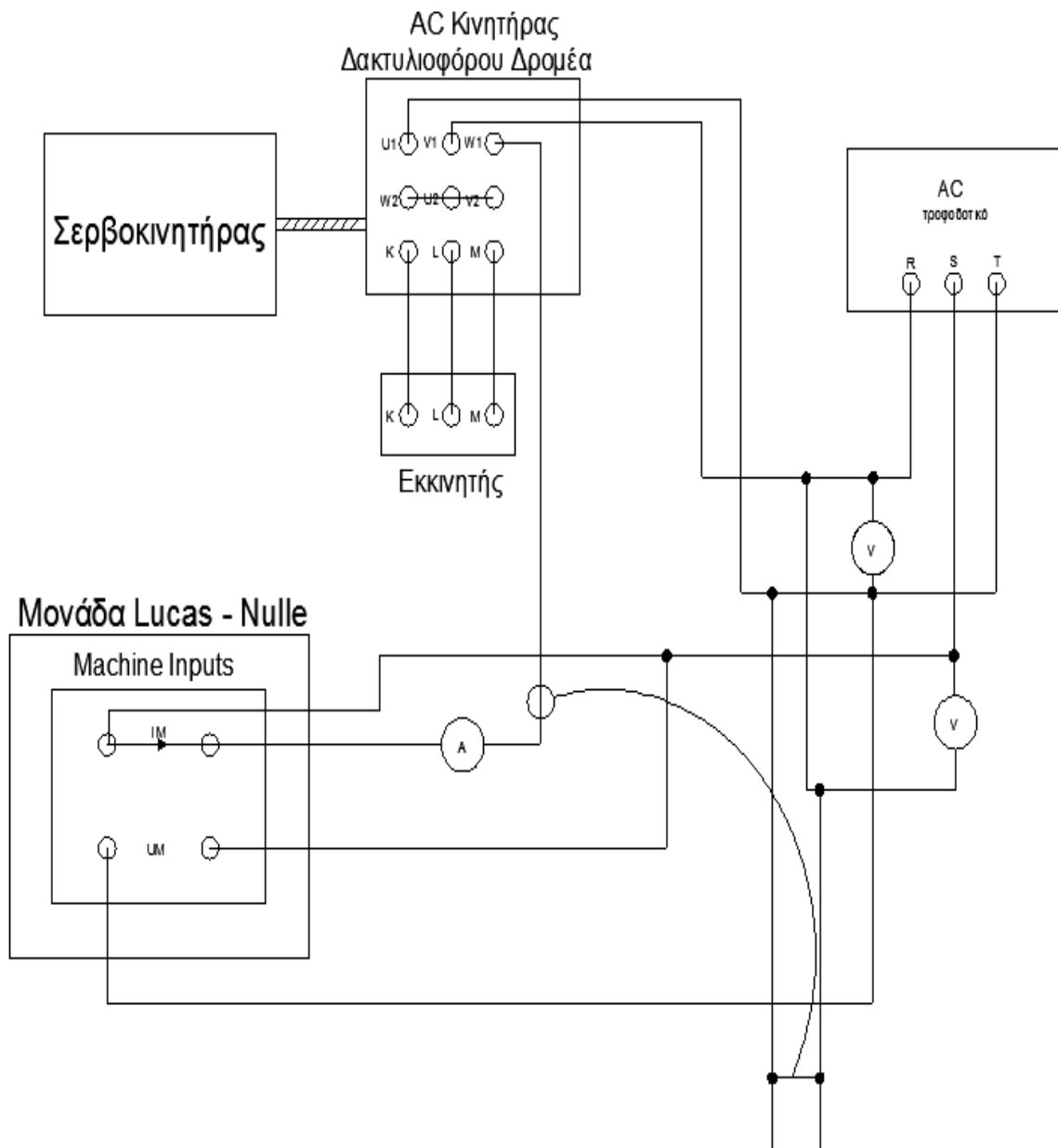


Σερβοπέδη με Αc κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα (1^{ος} κινητήρας)



Σερβοπέδη με Αc κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα (2^{ος} κινητήρας)

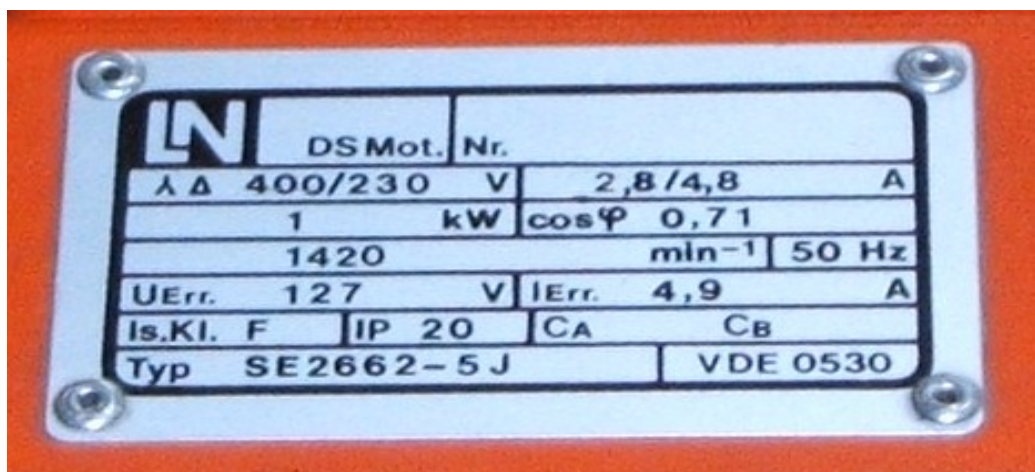
Συνδεσμολογία κυκλώματος



Απαραίτητες Ρυθμίσεις

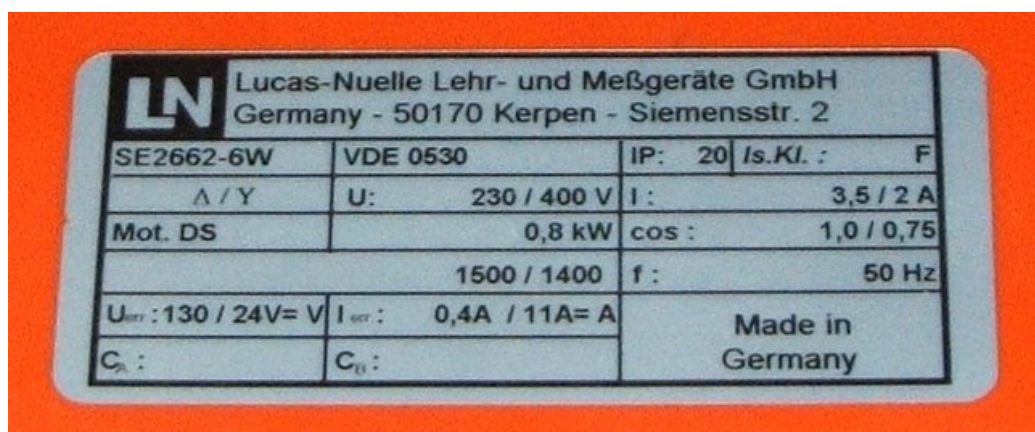
Για να προχωρήσουμε στην διεξαγωγή του πειράματος θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας κάποιες παραμέτρους οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο για να πάρουμε τα σωστά αποτελέσματα που επιθυμούμε. Δηλαδή:

- i. Σωστή τάση λειτουργίας η οποία αναγράφεται στην πινακίδα της μηχανής ανάλογα με την συνδεσμολογία που θα επιλέξουμε (Δ/Y).



LN	DS Mot. Nr.	
$\lambda \Delta$ 400/230	V	2,8/4,8 A
1	kW	cos φ 0,71
1420	min ⁻¹	50 Hz
U _{Err.} 127	V	I _{Err.} 4,9 A
Is.Kl. F	IP 20	CA Cb
Typ SE2662-5 J		VDE 0530

Χαρακτηριστικά πινακίδας (1^{οο} κινητήρα)



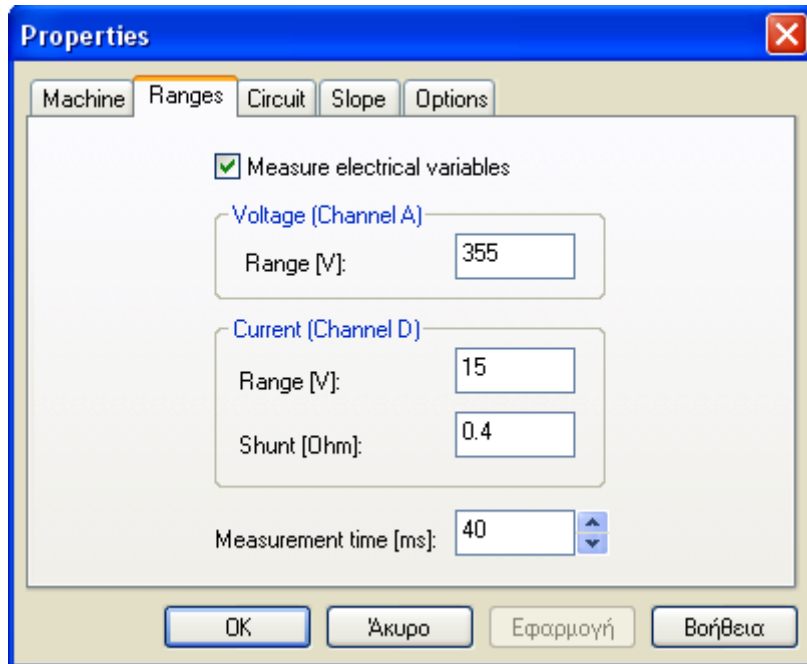
LN	Lucas-Nuelle Lehr- und Meßgeräte GmbH Germany - 50170 Kerpen - Siemensstr. 2		
SE2662-6W	VDE 0530	IP: 20	Is.Kl. : F
Δ / Y	U: 230 / 400 V	I: 3,5 / 2 A	
Mot. DS	0,8 kW	cos : 1,0 / 0,75	
	1500 / 1400	f : 50 Hz	
U _{err.} : 130 / 24V= V	I _{err.} : 0,4A / 11A= A	Made in Germany	
C _s :	C _{ti} :		

Χαρακτηριστικά πινακίδας (2^{οο} κινητήρα)

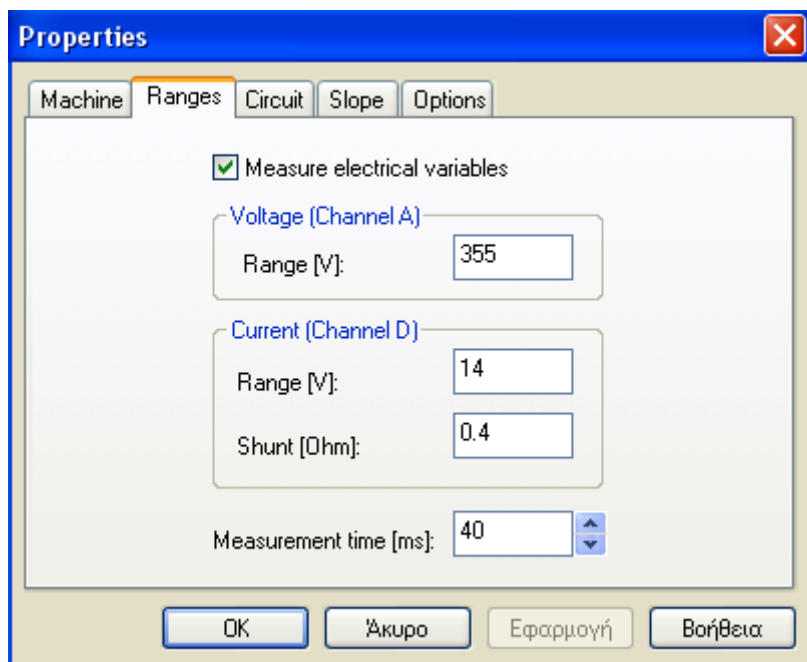
- ii. Θα πρέπει να επιλέξουμε σωστή θέση στον εκκινητή έτσι ώστε να έχουμε την ελάχιστη αντίσταση (βραχυκύκλωμα).
- iii. Θα πρέπει να κάνουμε τις κατάλληλες ρυθμίσεις στις παραμέτρους του προγράμματος για την τάση και το ρεύμα, έτσι ώστε να έχουμε σωστές ενδείξεις στο περιβάλλον του

Active ASMA. Για την πραγματοποίηση αυτών των ρυθμίσεων ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

Στο μενού του προγράμματος επιλέγουμε **Settings** → **Presets (Properties)** → **Ranges** και βάζουμε τις σωστές τιμές στα **Voltage (Channel A)** και **Current (Channel D)**.

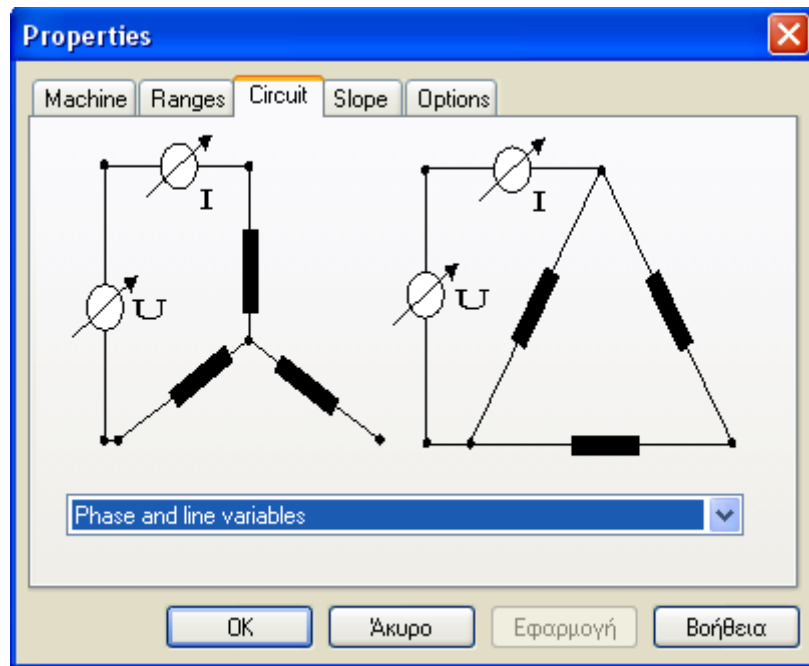


Ρυθμίσεις (Voltage / Current) 1^ο κινητήρα



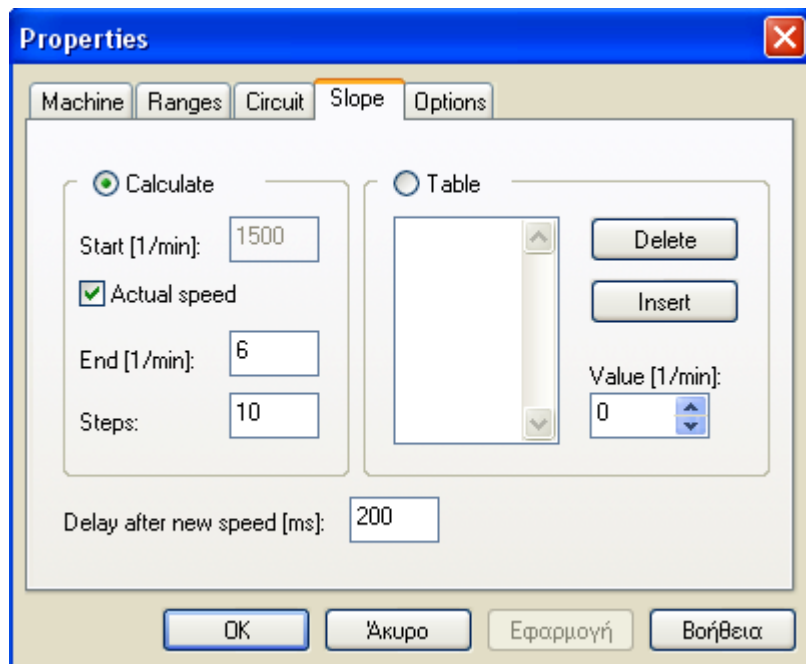
Ρυθμίσεις (Voltage / Current) 2^ο κινητήρα

- iv. Επίσης πρέπει ν' αλλάξουμε την παρακάτω παράμετρο του προγράμματος ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα **Settings** → **Presets (Properties)** → **Circuit** και επιλέγουμε **Phase and line variables**, έτσι ώστε να έχουμε σωστές ενδείξεις.

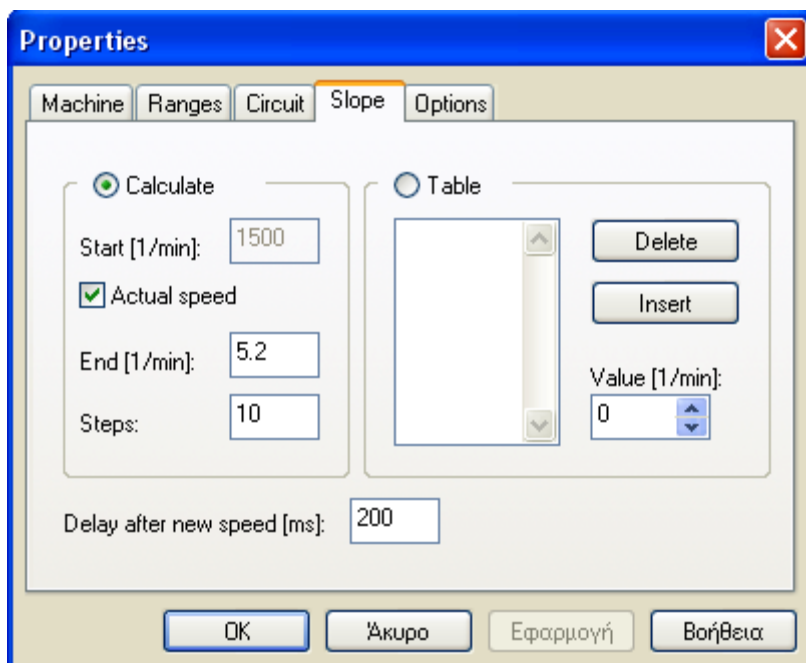


Ρύθμιση για φασικά μεγέθη

- v. Τώρα θα πρέπει να προσέξουμε την μέγιστη ροπή η οποία θα εφαρμοστεί στον κινητήρα. Αυτό γίνεται, γιατί αν την ξεπεράσουμε θα έχει ως αποτέλεσμα να τραβήξει ρεύμα μεγαλύτερο του ονομαστικού με κίνδυνο να καταστραφεί η μηχανή. Για την πραγματοποίηση αυτών των ρυθμίσεων ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:
Στο μενού του προγράμματος επιλέγουμε **Settings** → **Presets (Properties)** → **Slope** και βάζουμε τις σωστές τιμές στο **End** (N_m).

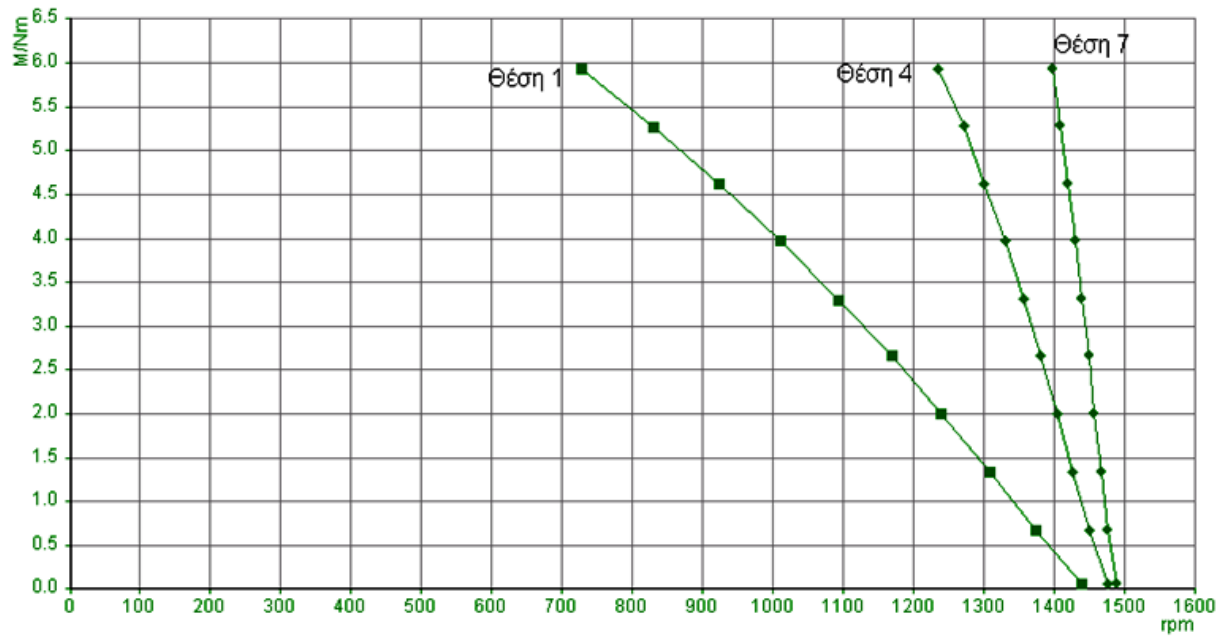


Ρύθμιση μέγιστης ροπής (1^ο κινητήρα)

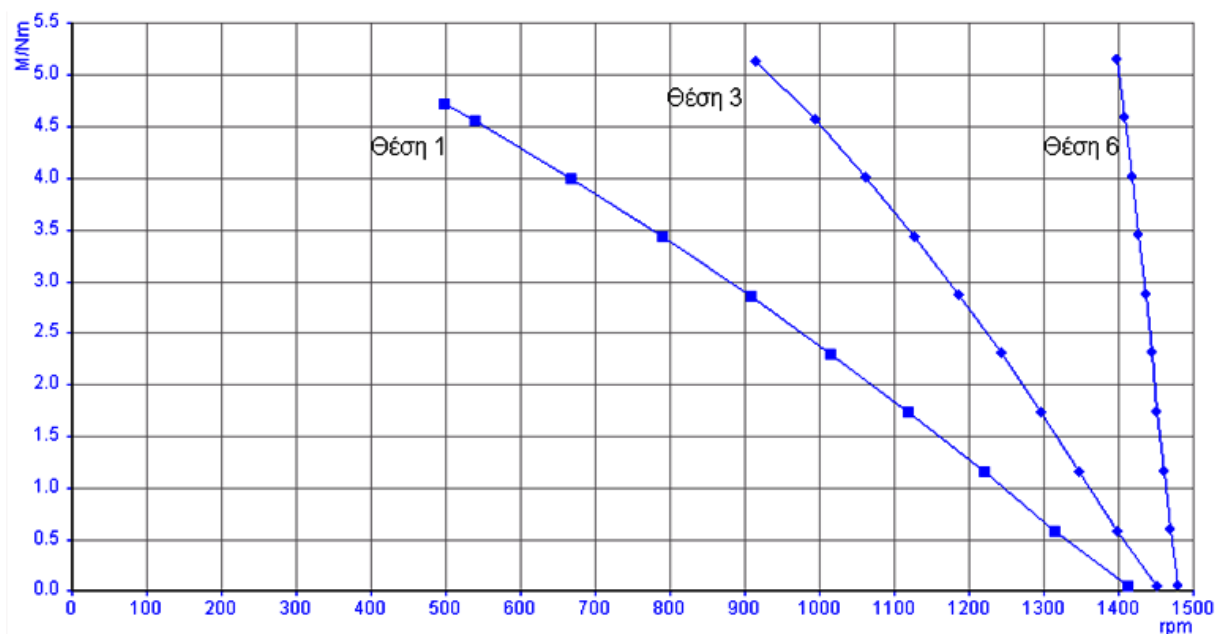


Ρύθμιση μέγιστης ροπής (2^ο κινητήρα)

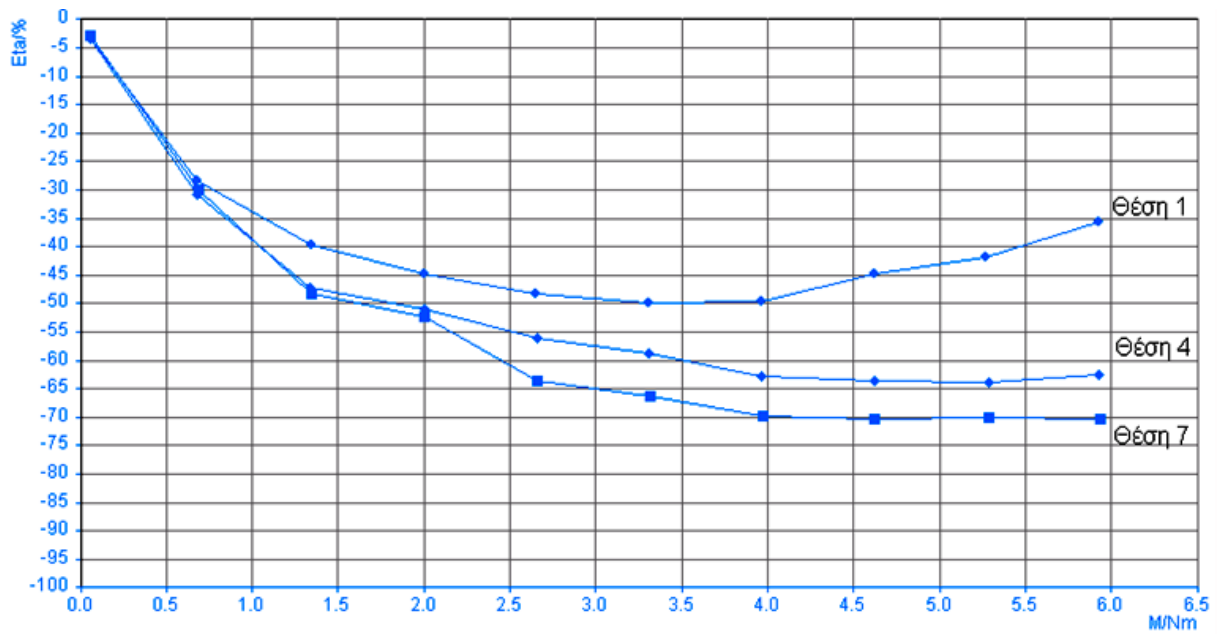
Χαρακτηριστικές λειτουργίας των AC κινητήρων (δακτυλιοφόρου δρομέα)



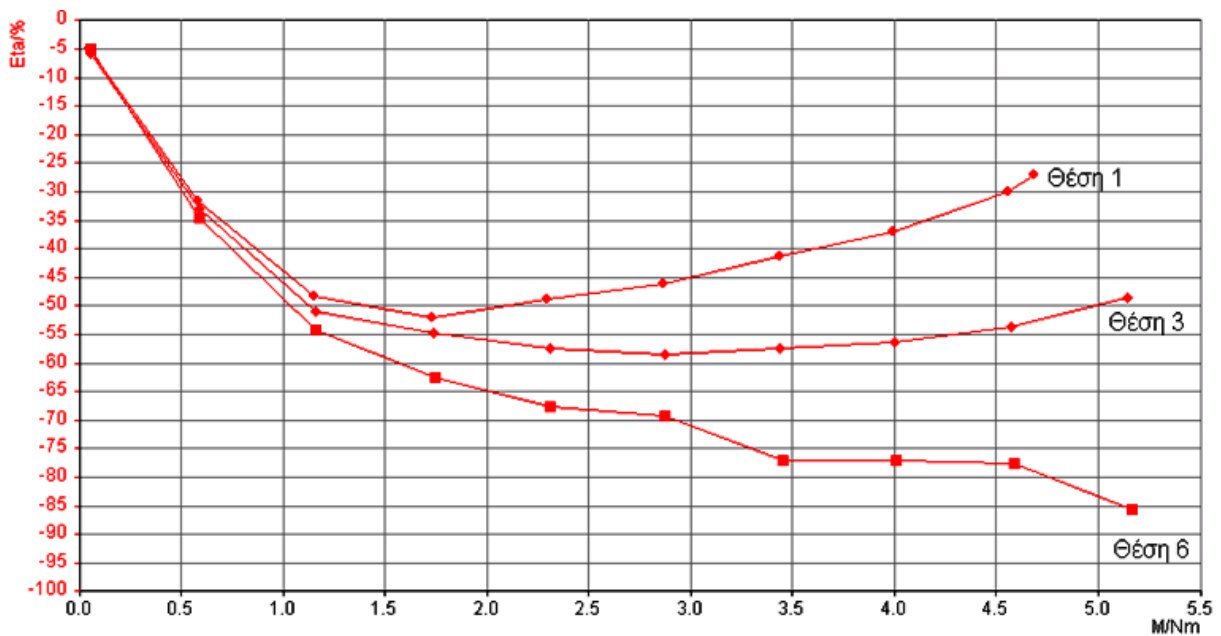
Χαρακτηριστική ροπής – στροφών (1^{οο} κινητήρα)



Χαρακτηριστική ροπής – στροφών (2^{οο} κινητήρα)



Χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης% – ροπήs (1^{ου} κινητήρα)

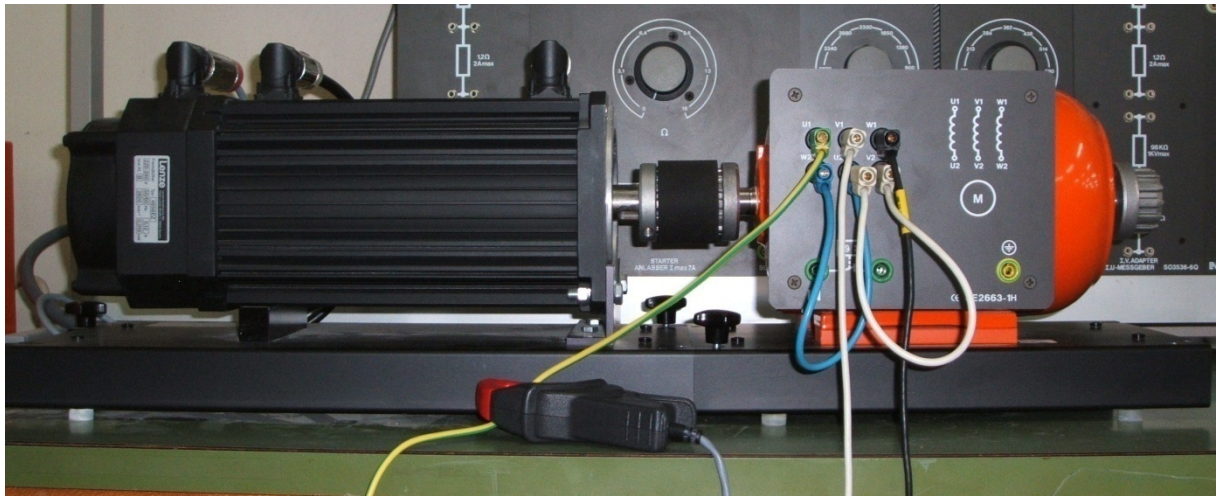


Χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης% – ροπήs (2^{ου} κινητήρα)

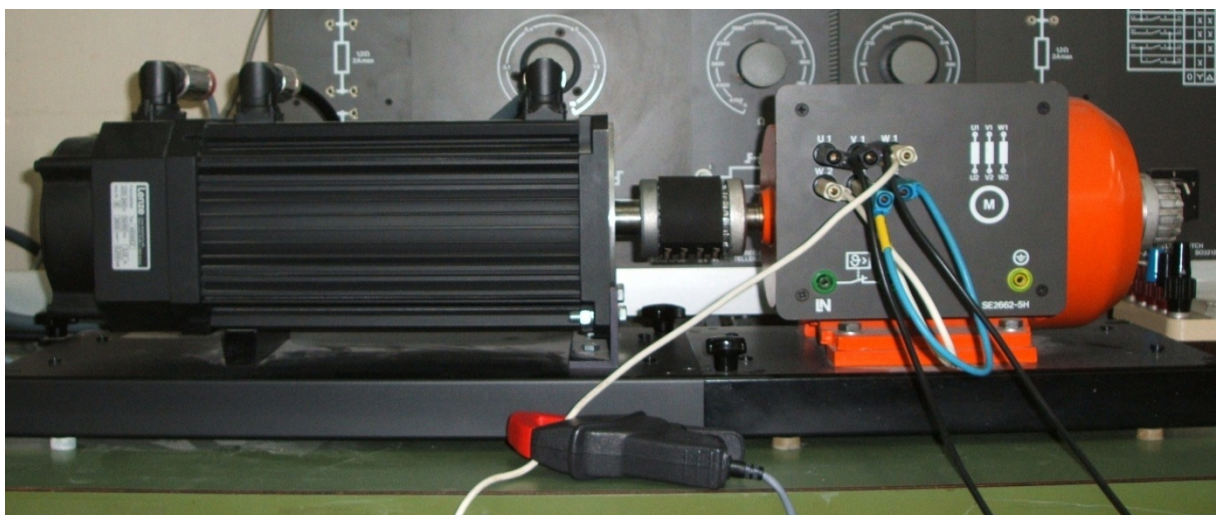
5.2.2) Βραχυκυκλωμένου δρομέα

Στο παρακάτω πείραμα θα αναφερθούμε στον τρόπο συνδεσμολογίας και στις απαραίτητες ρυθμίσεις που θα προβούμε, έτσι ώστε να λάβουμε τις συγκεκριμένες χαρακτηριστικές που επιθυμούμε. Πιο συγκεκριμένα θα χρησιμοποιήσουμε τη σερβοπέδη της εταιρείας *Lucas Nulle* σε συνεργασία με το ρυθμιστή στροφών της εταιρείας *Lenze*.

Τρόπος Συνδεσμολογίας

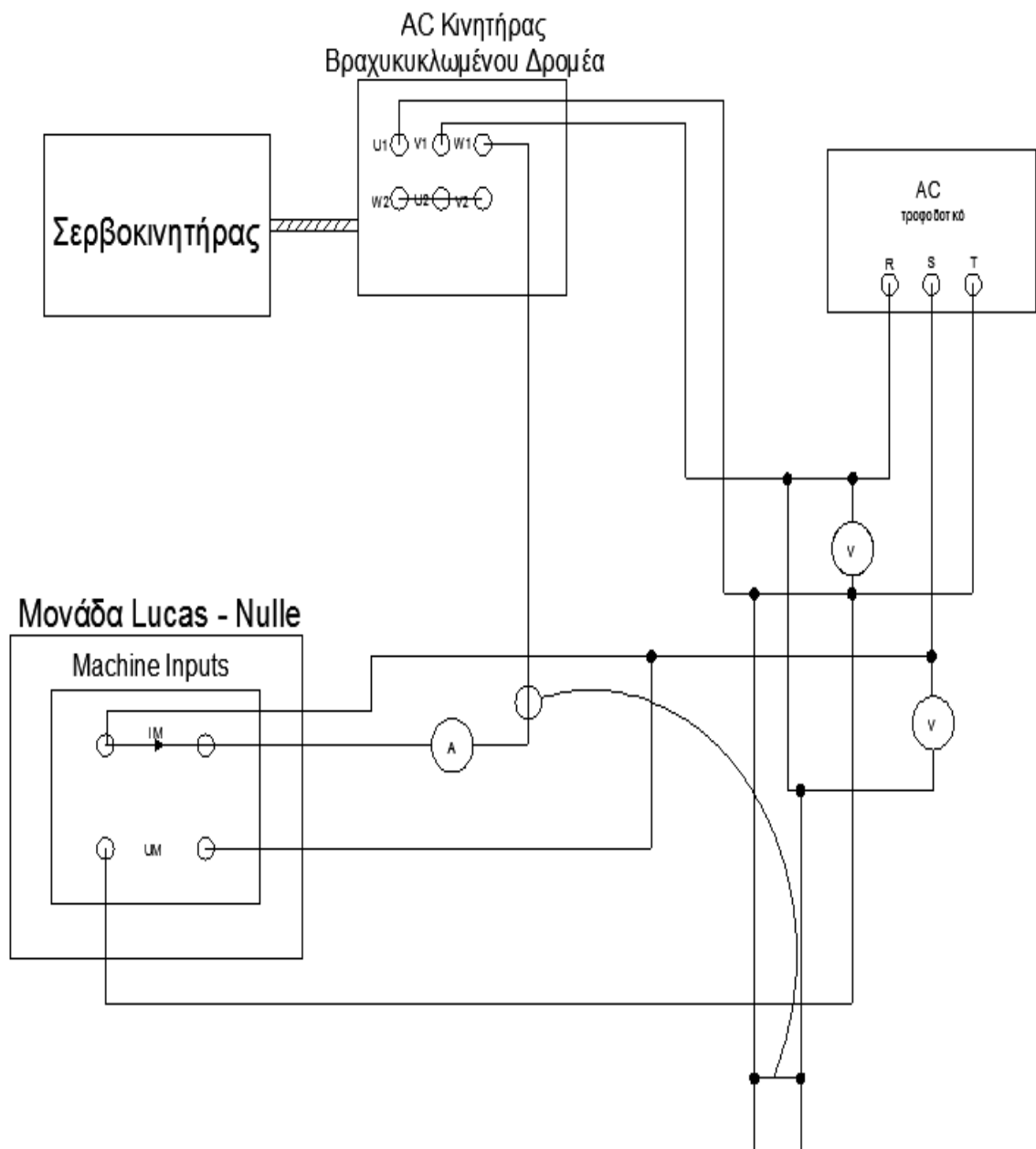


Σερβοπέδη με Αc κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα (1^{ος} κινητήρας)



Σερβοπέδη με Αc κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα (2^{ος} κινητήρας)

Συνδεσμολογία κυκλώματος



Απαραίτητες Ρυθμίσεις

Για να προχωρήσουμε στην διεξαγωγή του πειράματος θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας κάποιες παραμέτρους οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο για να πάρουμε τα σωστά αποτελέσματα που επιθυμούμε. Δηλαδή:

- i. Σωστή τάση λειτουργίας η οποία αναγράφεται στην πινακίδα της μηχανής ανάλογα με την συνδεσμολογία που θα επιλέξουμε (Δ/Y).

A technical data plate for a motor, model SE2663-1H, manufactured by Lucas-Nuelle Lehr- und Meßgeräte GmbH in Germany. The plate is white with black text and is mounted on a red background. It contains the following information:

LN Lucas-Nuelle Lehr- und Meßgeräte GmbH Germany - 50170 Kerpen - Siemensstr. 2			
SE2663-1H	VDE 0530	IP: 20	/s.Kl. : F
Δ/Y	U: 230 / 400 V	I: 5,3 / 3,1 A	
Mot. DS	1,1 kW	cos : 0,76	
	1400 1/min	f : 50 Hz	
U _{err} :	I _{err} :	Made in Germany	
C _A :	C _B :		

Χαρακτηριστικά πινακίδας (1^{ου} κινητήρα)

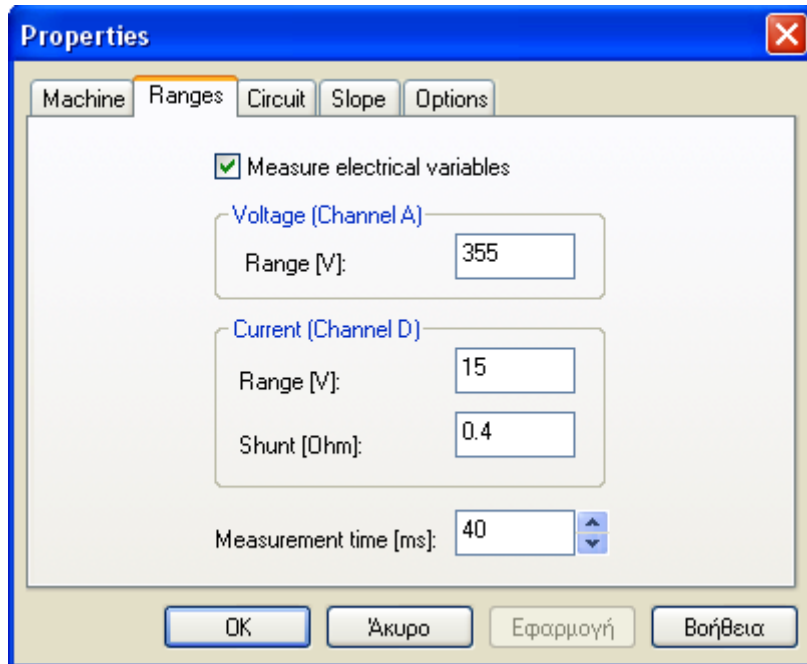
A technical data plate for a motor, model SE 2662-5H, manufactured by Lucas-Nuelle Lehr- und Meßgeräte GmbH in Germany. The plate is white with black text and is mounted on a red background. It contains the following information:

LN D Mot. Nr.			
Δ/Y 220 380 V	4,7	2,7	A
1 kW	cos φ 0,76		
2830	min ⁻¹	50 Hz	
U _{Err.}	V	I _{Err.}	A
Is.Kl. F	IP 20	CA	C _B
Typ SE 2662-5H	VDE 0530		

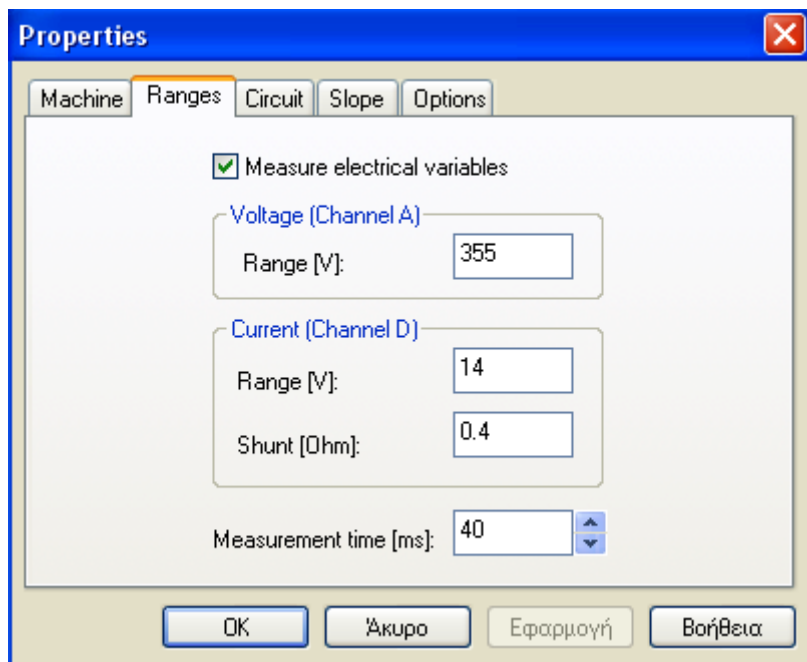
Χαρακτηριστικά πινακίδας (2^{ου} κινητήρα)

- ii. Θα πρέπει να κάνουμε τις κατάλληλες ρυθμίσεις στις παραμέτρους του προγράμματος για την τάση και το ρεύμα, έτσι ώστε να έχουμε σωστές ενδείξεις στο περιβάλλον του Active ASMA. Για την πραγματοποίηση αυτών των ρυθμίσεων ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

Στο μενού του προγράμματος επιλέγουμε **Settings** → **Presets (Properties)** → **Ranges** και βάζουμε τις σωστές τιμές στα **Voltage (Channel A)** και **Current (Channel D)**.

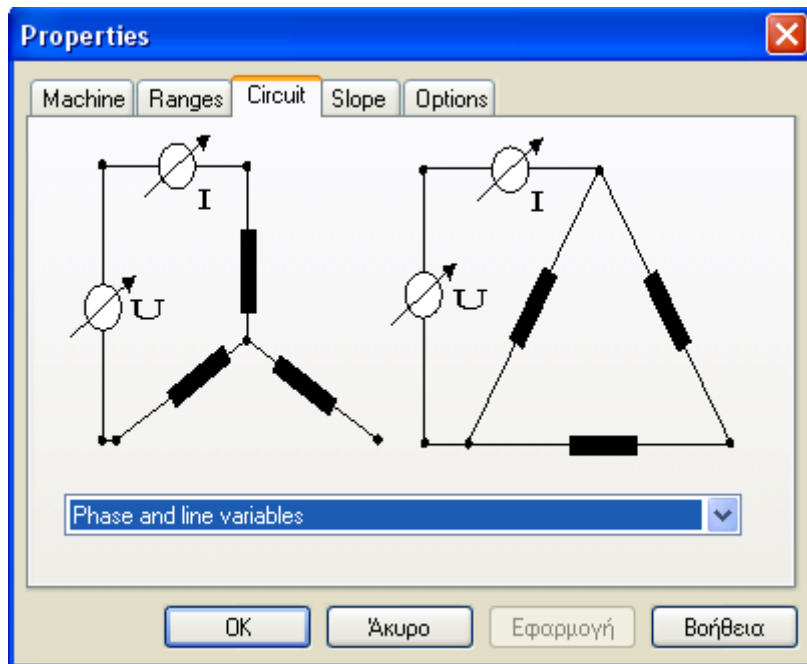


Ρυθμίσεις (Voltage / Current) 1^ο κινητήρα



Ρυθμίσεις (Voltage / Current) 2^ο κινητήρα

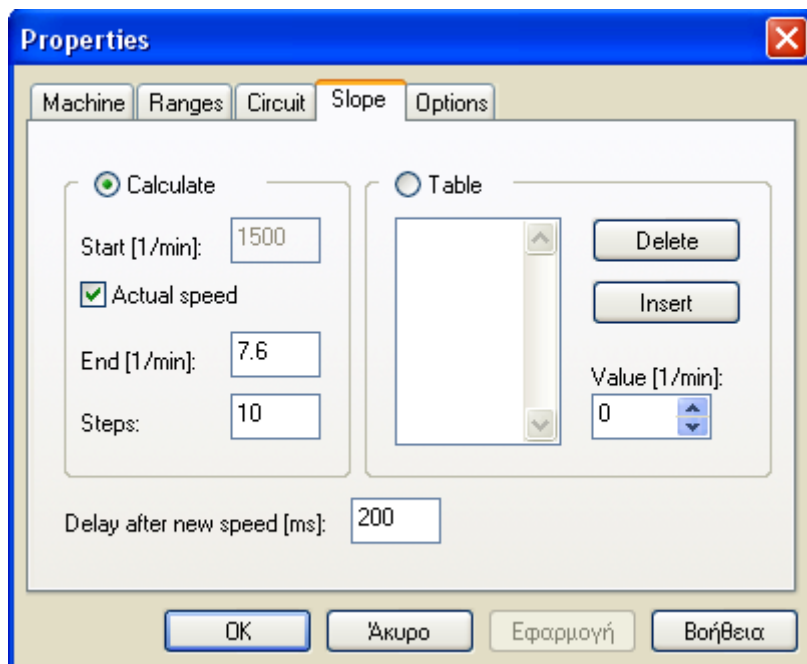
- iii. Επίσης πρέπει ν' αλλάξουμε την παρακάτω παράμετρο του προγράμματος ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα **Settings** → **Presets (Properties)** → **Circuit** και επιλέγουμε **Phase and line variables**, έτσι ώστε να έχουμε σωστές ενδείξεις.



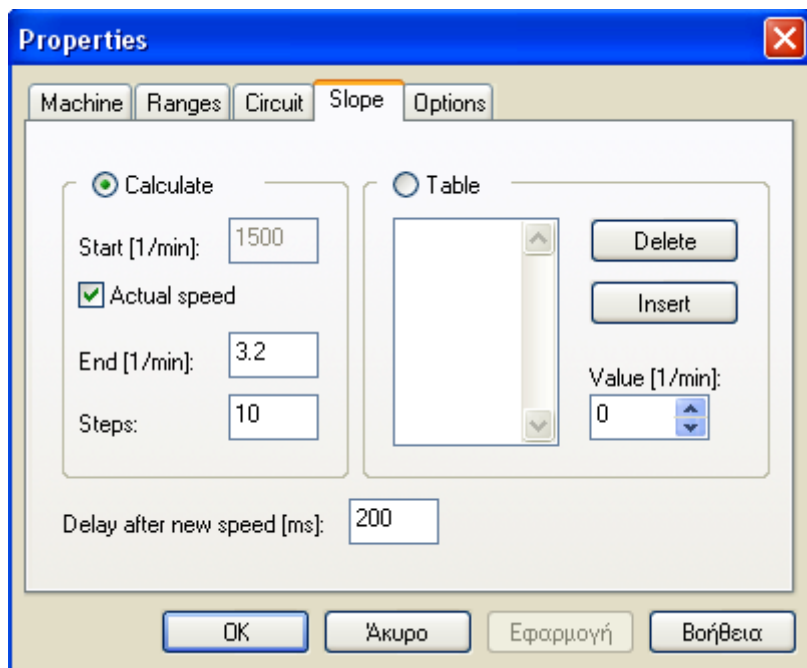
Ρύθμιση για φασικά μεγέθη

- iv. Τώρα θα πρέπει να προσέξουμε την μέγιστη ροπή η οποία θα εφαρμοστεί στον κινητήρα. Αυτό γίνεται, γιατί αν την ξεπεράσουμε θα έχει ως αποτέλεσμα να τραβήξει ρεύμα μεγαλύτερο του ονομαστικού με κίνδυνο να καταστραφεί η μηχανή. Για την πραγματοποίηση αυτών των ρυθμίσεων ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

Στο μενού του προγράμματος επιλέγουμε **Settings** → **Presets (Properties)** → **Slope** και βάζουμε τις σωστές τιμές στο **End** (N_m).



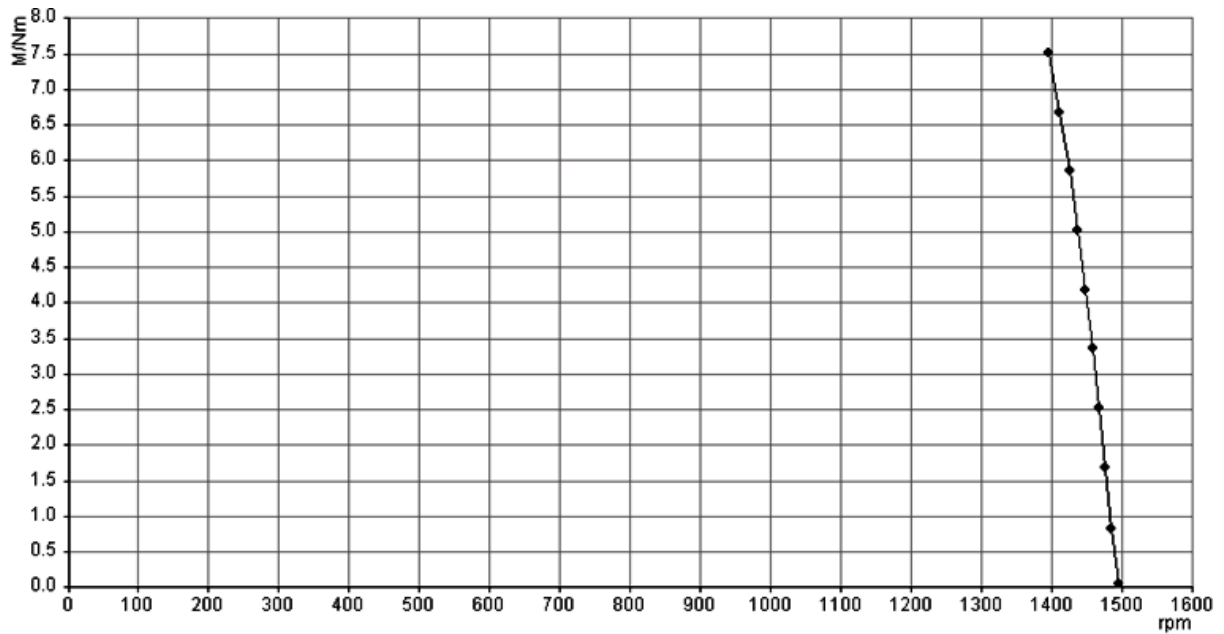
Ρύθμιση μέγιστης ροπής (1^ο κινητήρα)



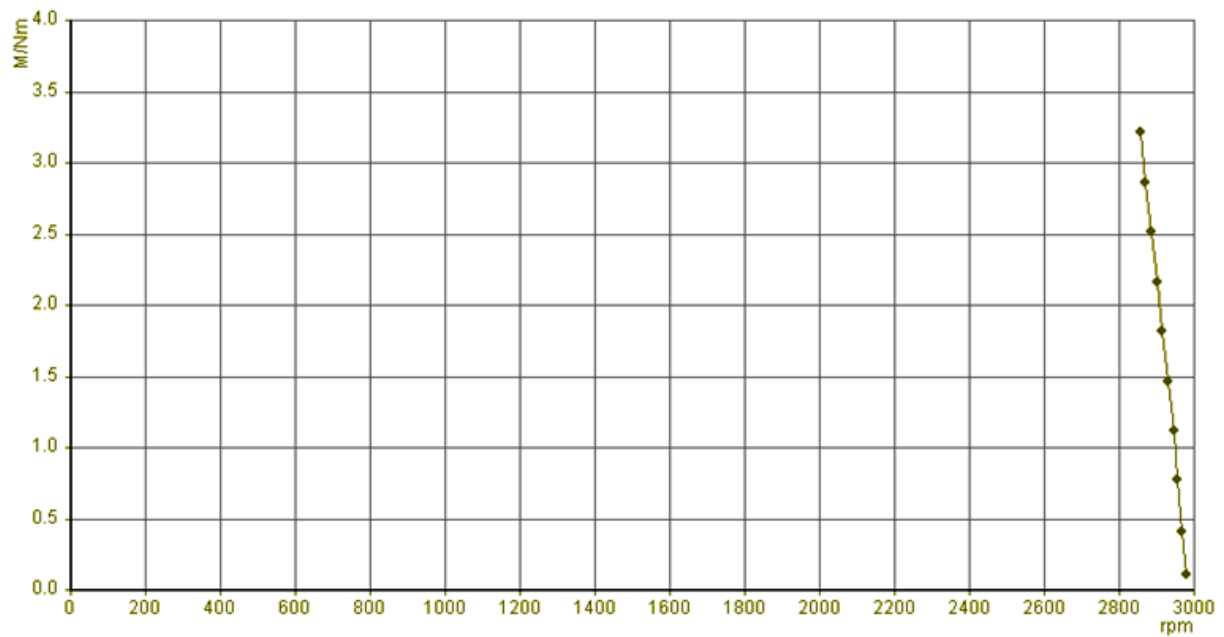
Ρύθμιση μέγιστης ροπής (2^ο κινητήρα)

Εφόσον έγιναν οι απαραίτητες ρυθμίσεις για την εκάστοτε μηχανή, συνεχίζουμε στα αποτελέσματα του πειράματος.

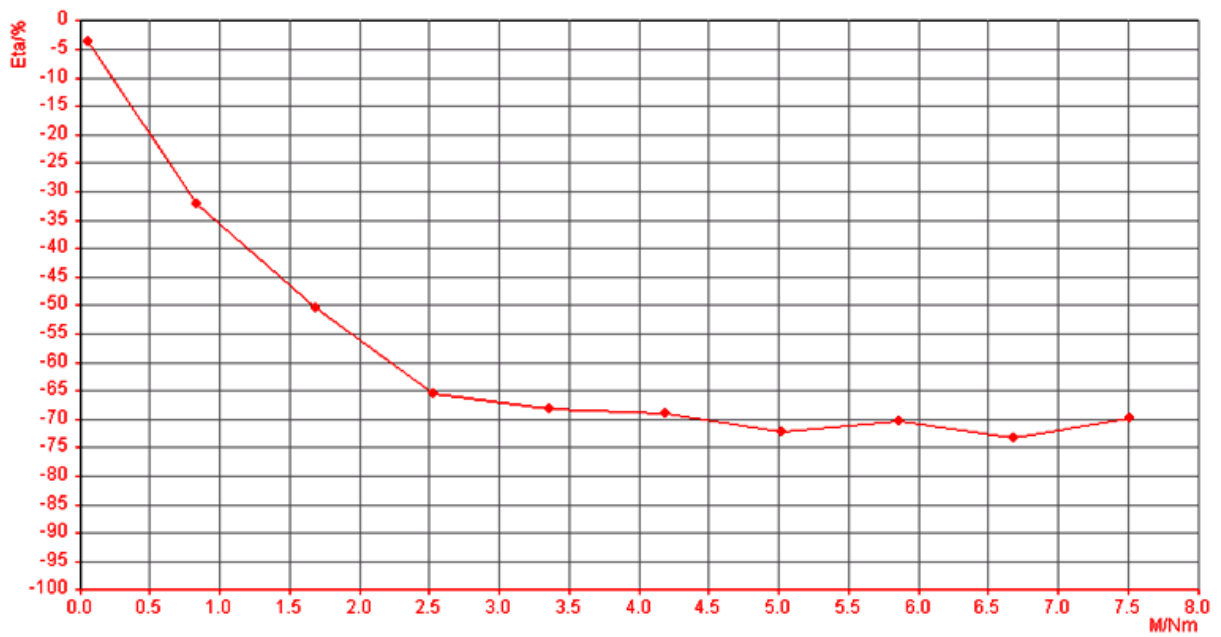
Χαρακτηριστικές λειτουργίας των AC κινητήρων(βραχυκυκλωμένου δρομέα)



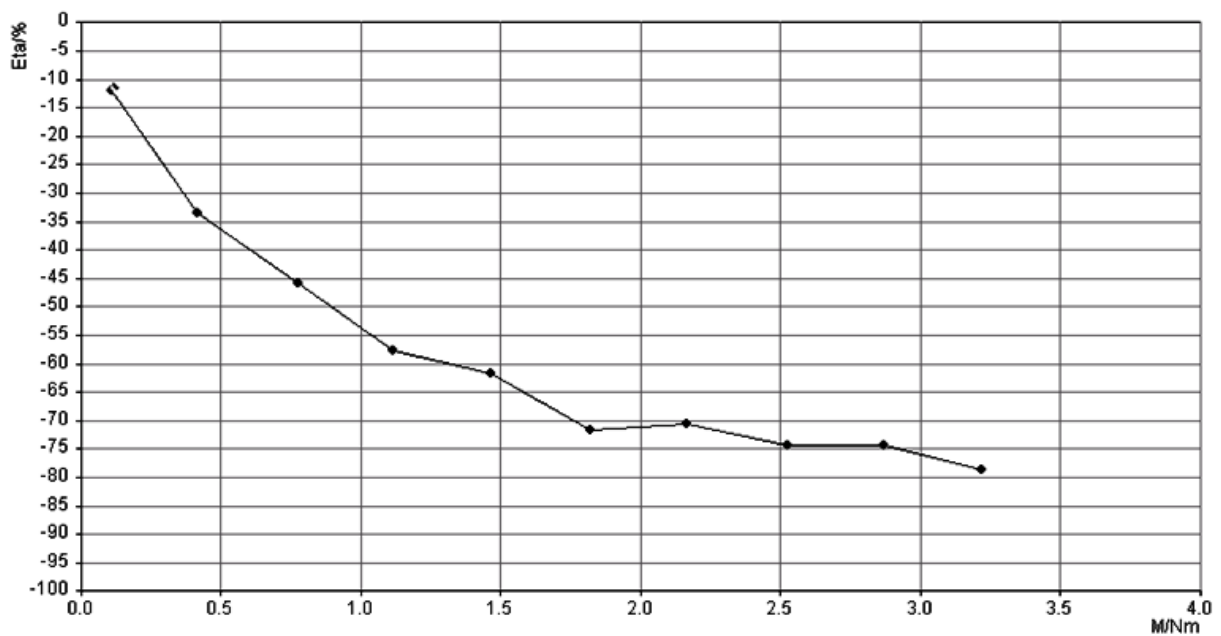
Χαρακτηριστική ροπής – στροφών (1^{ου} κινητήρα)



Χαρακτηριστική ροπής – στροφών (2^{ου} κινητήρα)



Χαρακτηριστική βαθμού απώδοσης% – ροπής (1^{οο} κινητήρα)



Χαρακτηριστική βαθμού απώδοσης% – ροπής (2^{οο} κινητήρα)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

**Διεξαγωγή Πειραμάτων και λήψη
χαρακτηριστικών λειτουργίας σε ηλεκτρικές
μηχανές D.C. με την βοήθεια του λογισμικού
ACTIVE DCMA**

6.1) Περιγραφή-επεξήγηση του προγράμματος ACTIVE DCMA

6.1.1) Επισκόπηση

Το **Active DCMA** είναι ένα πρόγραμμα για την καταγραφή των χαρακτηριστικών των μηχανών συνεχούς που έχει αναπτυχθεί ειδικά για τη χρήση με την μονάδα οδήγησης του σερβοκινητήρα της LUCAS-NÜLLE που χρησιμοποιείται για πέδηση (ενεργό φρένο). Το πρόγραμμα ενσωματώνει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Μέτρηση, υπολογισμός και γραφική απεικόνιση όλων των σχετικών μεταβλητών μιας μηχανής συνεχούς. Ταυτόχρονη απεικόνιση των μετρούμενων και των υπολογιζόμενων τιμών (π.χ. άμεση απεικόνιση της απόδοσης).
- Μέτρηση της τάσης τυμπάνου, του ρεύματος γραμμής (μέση τιμή) και της ενεργού ισχύος.
- Καθορισμός της ταχύτητας ή της ροπής που ελέγχουν την λειτουργία.
- Καθορισμός των οριακών τιμών της ταχύτητας ή της ροπής για να αποφευχθεί η απρόσμενη φόρτωση της μηχανής υπό δοκιμή.
- Λειτουργία και στα τέσσερα τεταρτημόρια.
- Κατάλληλο για ηλεκτρικές μηχανές κάθε ονομαστικής ισχύος (όλες οι ηλεκτρικές μηχανές της LN ή ηλεκτρικές μηχανές άλλων κατασκευαστών).
- Προαιρετική αυτόματη ή χειροκίνητη μέτρηση. Ελεύθερα προσδιορίσιμη λειτουργία κεκλιμένων ραμπών για H / Y με τη βοήθεια των ασκήσεων φόρτωσης. Η απεικόνιση των χαρακτηριστικών από διάφορες ασκήσεις επιτρέπει τις αλλαγές των παραμέτρων που πρέπει να γίνουν.
- Εμφάνιση των κυματομορφών της τάσης, έντασης και της αποδοτικότητας με λειτουργία αντίστοιχη του παλμογράφου.
- Δυνατότητα για το μαρκάρισμα των διαγραμμάτων με οποιαδήποτε κείμενα.
- Ελεύθερα προσδιορίσιμο μενού για γρήγορη και απλή φόρτωση των ασκήσεων (ελάχιστος χρόνος προετοιμασίας).
- Υποστηρίζει όλα τα βοηθητικά προγράμματα των Windows για την παραγωγή ασκήσεων σε έντυπη μορφή. Η γραφική παράσταση και οι μετρούμενες τιμές μπορούν να εξαχθούν ως αρχείο ή μέσω του clipboard για περαιτέρω χρήση σε ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου ή λογιστικά φύλλα. Η γραφική παράσταση μπορεί να τυπωθεί σε όλους τους υποστηριζόμενους εκτυπωτές.

- Βοήθεια Online. Υποστηρίζει την άμεση βοήθεια των Windows™ («Τι είναι αυτό;»).

Το πρόγραμμα είναι πλήρως ενσωματωμένο στο γραφικό-βασισμένο περιβάλλον των παραθύρων των Microsoft® Windows και χρησιμοποιεί το τυπικό χρήστη - διασύνδεση όλων των προγραμμάτων εφαρμογής των Windows. Κατά συνέπεια όταν η λειτουργία των παραθύρων Microsoft® Windows είναι ήδη γνωστή, η λειτουργία αυτού του προγράμματος δεν πρέπει να παρουσιάσει καμία δυσκολία.

6.1.2) Απαιτήσεις συστήματος

Για την ολοκλήρωση των ασκήσεων, σε συνδυασμό με το πρόγραμμα αυτό, απαιτούνται τα ακόλουθα στοιχεία:

- Η μονάδα ελέγχου σερβοκινητήρα της LUCAS-NÜLLE μαζί με το σύστημα πέδησης (σερβοκινητήρας) (SE2663-6A, SO3636-6R ή **SE2663-6D**, **SE2663-6E**).
- Η μονάδα διασύνδεσης της μονάδας σερβοκίνησης με τον H/Y (module interface) RS232/RS485 (**LM8925**).
- Το καλώδιο σύνδεσης για το interface module (**LM9028**).
- Μαζί με το καλώδιο σύνδεσης απαιτείται ένας ενισχυτής απομόνωσης και μια κατάλληλη διακλάδωση δοκιμής για την ανίχνευση και καταστολή ρευμάτων και τάσεων παρεμβολών (στην περίπτωση που εξετάζουμε είναι ενσωματωμένος στην μονάδα ελέγχου **SE2663-6D**).
- H / Y με Microsoft® Windows™ 98/ME ή Windows 2000/XP και σειριακή θύρα για την σύνδεση της μονάδας ελέγχου της σερβοπέδης.

6.1.3) Εγκατάσταση

Για να εγκατασταθεί το λογισμικό απαιτείται τουλάχιστον 2 MByte ελεύθερης μνήμης στο σκληρό δίσκο του H/Y. Το πρόγραμμα εγκατάστασης απαιτεί ότι μια κατάλληλη έκδοση των Windows είναι εγκατεστημένη ήδη στον σκληρό δίσκο. Εάν αυτό δεν συμβαίνει, πρέπει να εγκατασταθούν τα Windows πριν αρχίσει η εγκατάσταση του λογισμικού.

- 1) Τοποθετούμε το CD στη μονάδα CD-ROM.
Εάν η αυτόματη ειδοποίηση που εισαγάγετε στον υπολογιστή σας είναι ενεργή, το βοηθητικό παράθυρο εγκατάστασης θα εμφανιστεί αυτόματα. Στην περίπτωση αυτή, μπορούμε να παραλείψουμε το επόμενο βήμα.
- 2) Στο μενού Έναρξη, επιλέγουμε την εντολή " **Run** ". Στο παράθυρο εισαγωγής του πλαισίου διαλόγου «γραμμών εντολής», πληκτρολογούμε την εντολή d: \ setup.exe (που αντικαθιστά το **d** με το αντίστοιχο γράμμα που δείχνει στη μονάδα CD).
- 3) Κάνουμε κλικ στο κείμενο "Εγκατάσταση αγγλικής έκδοσης" για να ξεκινήσει η εγκατάσταση.
- 4) Ακολουθούμε τις οδηγίες της βοήθειας εγκατάστασης.

Σημαντικό Το Windows Installer πρέπει να είναι παρών στο σύστημά του H/Y προκειμένου να εγκατασταθεί το λογισμικό. Εάν αυτό δεν υπάρχει, θα δημιουργηθεί στο σύστημά μας πριν αρχίσει η πραγματική εγκατάσταση του λογισμικού. Το πρόγραμμα εγκατάστασης θα αντιγράψει τα απαραίτητα αρχεία στον σκληρό δίσκο και θα δημιουργήσει μια ομάδα προγραμμάτων στο μενού έναρξης.

6.1.4) Έναρξη του προγράμματος

Προτού μπορέσει να χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα πρέπει να είμαστε βέβαιοι ότι η μονάδα ελέγχου της σερβοπέδης είναι σωστά συνδεδεμένη στην σειριακή θύρα.

Κάνουμε κλικ στο κουμπί "Start" στα αριστερά της γραμμής εργασιών, επιλέγουμε "Προγράμματα" και την ομάδα, όπου το επιθυμητό πρόγραμμα πραγματοποιείται (τεχνικές προεπιλογής **Drive**) για να ξεκινήσει το πρόγραμμα.

Στην έναρξη, ανοίγει το κύριο παράθυρο. Αν δεν υπάρχει συνδεδεμένη η σερβοπέδη ή εάν η μονάδα ελέγχου της δεν είναι ενεργοποιημένη, εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου που κλείνει όταν οι παράμετροι για την διασύνδεση της μονάδας ελέγχου αλλάξουν.

Να θυμίσουμε ότι το πρόγραμμα χρησιμοποιεί αρχικά τις προεπιλεγμένες τιμές για τη διεύθυνση της συσκευής και baudrate (η διεύθυνση της συσκευής είναι στο C0009 και το baudrate είναι C0125). Εάν αλλάξουμε τις συγκεκριμένες τιμές στο παράθυρο διαλόγου, οι νέες τιμές χρησιμοποιούνται αυτόματα την επόμενη φορά που θα εκκινήσουμε το πρόγραμμα.

Κάνοντας κλικ στο κουμπί "Demo", το πρόγραμμα μπορεί να λειτουργήσει σε κατάσταση προσομοίωσης. Στην κατάσταση αυτή οι λειτουργίες που σχετίζονται με τη σερβοπέδη απενεργοποιούνται, ενώ τα αποθηκευμένα δεδομένα μπορούν να φορτωθούν και να εκτυπωθούν.

6.1.5) Πρώτα Βήματα

Στην συγκεκριμένη ενότητα θα περιγραφεί η χρήση και ο χειρισμός του προγράμματος, χρησιμοποιώντας το παράδειγμα μιας D.C. μηχανής. Οι διάφορες ασκήσεις που θα παρουσιαστούν θα πρέπει να αναδείξουν τις δυνατότητες του προγράμματος.

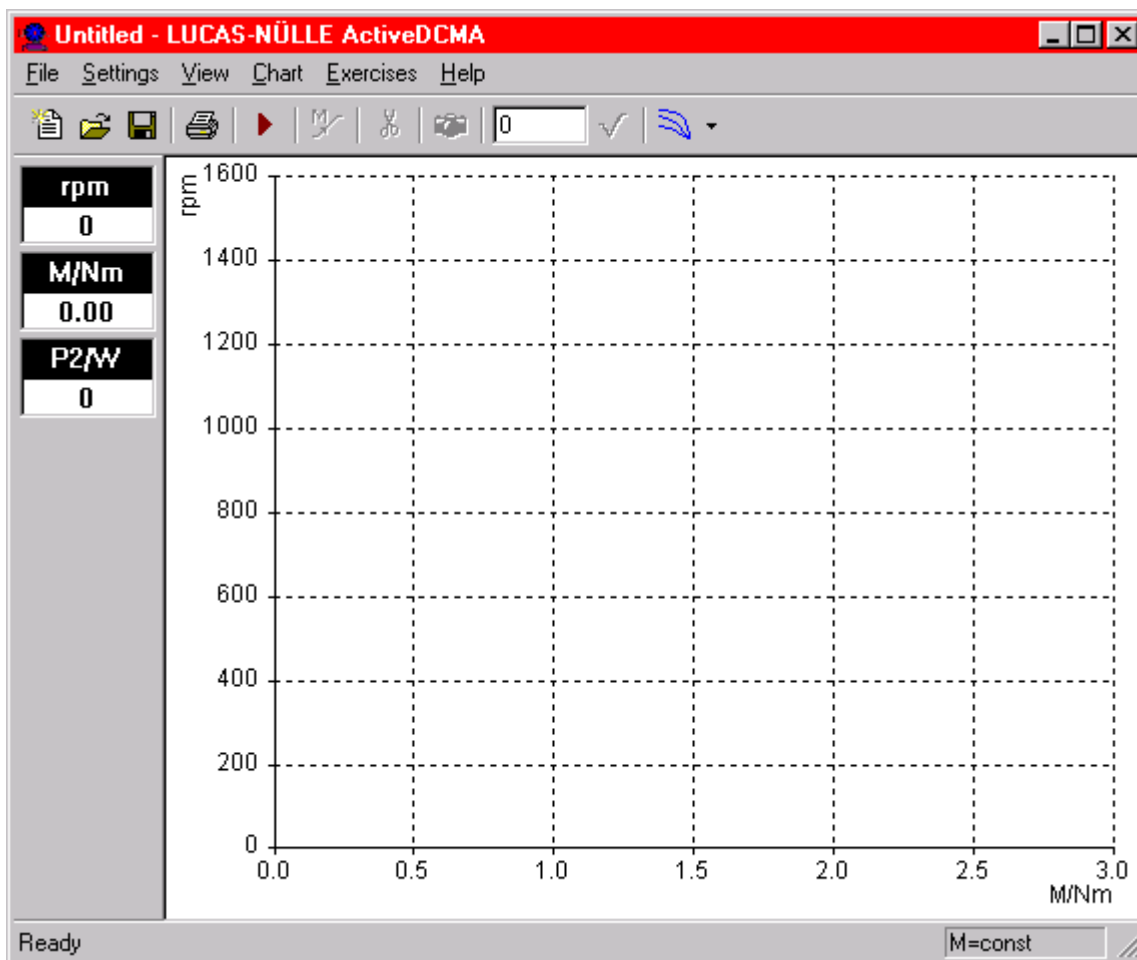
Για την άσκηση που περιγράφεται σε αυτό το τμήμα, απαιτούνται τα ακόλουθα στοιχεία:

- Μηχανή συνεχούς (100, 300 ή 1000 W της LN)
- Εκκινητής, ροοστάτης πεδίου και αντίσταση φορτίου
- Παροχή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος
- Καλώδια σύνδεσης ασφαλείας 4mm

Εάν χρησιμοποιηθεί διαφορετικός εξοπλισμός από αυτόν που περιγράφουμε, οι ακόλουθες σημειώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οδηγός για τον τρόπο λειτουργίας. Για παράδειγμα, αν χρησιμοποιείται μια μηχανή με **διαφορετική ονομαστική τιμή ισχύος, συνήθως είναι μόνο απαραίτητο να αλλάξει η κλίμακα στους άξονες.**

Προτού ξεκινήσουμε πρέπει να κάνουμε τις απαραίτητες συνδέσεις στην άσκηση ενώ ανατρέχουμε στις οδηγίες λειτουργίας για την σερβοπέδη.

Όταν όλες οι συνδέσεις και ρυθμίσεις της άσκησης έχουν ολοκληρωθεί, μπορούμε να ξεκινήσουμε το πρόγραμμα. Με την έναρξη του προγράμματος παρουσιάζεται το παράθυρο του προγράμματος που φαίνεται παρακάτω.



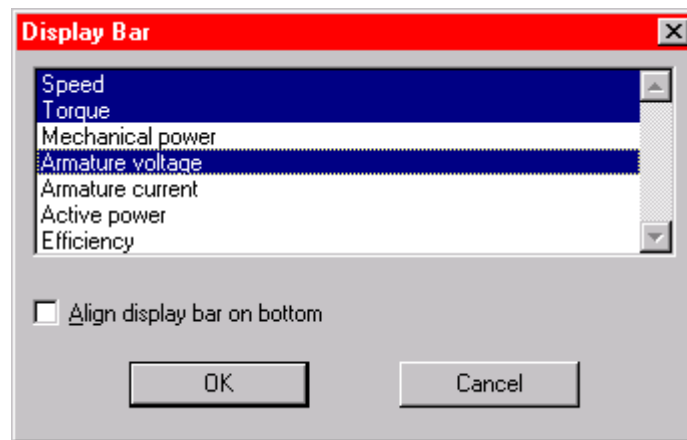
Εκτός από τα στοιχεία που είναι γνωστά από άλλες εφαρμογές των Windows (γραμμή τίτλου, γραμμή μενού ...), το παράθυρο περιέχει μια γραμμή εργαλείων κάτω από τη γραμμή μενού, ένα πάνελ στα αριστερά με τα μετρούμενα μεγέθη που έχουμε επιλέξει και μια γραμμή κατάστασης στο κάτω μέρος του παραθύρου .

Στη συνέχεια, το πρόγραμμα και ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός πρέπει να προσαρμοστούν στη άσκηση που χρησιμοποιείται. Από το μενού **Ρυθμίσεις**, επιλέγουμε το στοιχείο **Presets**. Ύστερα επιλέγουμε την καρτέλα **Machine** και εισάγουμε τα απαραίτητα στοιχεία από την ταμπέλα της ηλεκτρικής μηχανής που θα χρησιμοποιήσουμε και στην καρτέλα Κλίμακα, πληκτρολογούμε τις αντίστοιχες τιμές.

Εάν απαιτούνται περαιτέρω πληροφορίες για τις παραπάνω καρτέλες, επιλέγουμε το πλήκτρο F_1 οποιαδήποτε στιγμή.

Με τις παραπάνω ενέργειες ολοκληρώνουμε την προετοιμασία. Δεδομένου ότι στην άσκηση χρησιμοποιείται μια μεταβλητή πηγή τάσης για την τροφοδοσία, μια προφανής δοκιμή είναι να εξεταστεί η επίδραση της τάσης οπλισμού στην ταχύτητα της μηχανής.


Πρέπει να καθοριστούν, πρώτα τα μετρούμενα μεγέθη που πρόκειται να εμφανιστούν στο sidebar. Για αυτό, επιλέγουμε **Measured values** στο μενού **View**. Οι καταχωρήσεις στο παράθυρο διαλόγου που ανοίγουν πρέπει να γίνουν, όπως παρουσιάζονται παρακάτω:



Με την παραπάνω ρύθμιση, μόνο οι τιμές για την ταχύτητα, τη ροπή και την τάση τυμπάνου θα εμφανίζονται στο sidebar.


Τέλος, από το **Chart** menu, επιλέγουμε **Ιδιότητες**. Στην καρτέλα "Axes", επιλέγουμε "Single measurement" για τον άξονα X και για τον άξονα Y επιλέγουμε "Speed" και "Stator current".

Δεδομένου ότι η άσκηση εκτελείται με σταθερή ροπή, από το **Settings/Mode menu** επιλέγουμε **Torque control**.

Ενεργοποιώντας τη μηχανή δοκιμής θα αρχίσει η ανίχνευση της μετρούμενης τιμής με την εντολή **Switch drive on** στο μενού **Settings**. Εναλλακτικά, κάνουμε κλικ στο κουμπί  στη γραμμή εργαλείων με το ποντίκι.

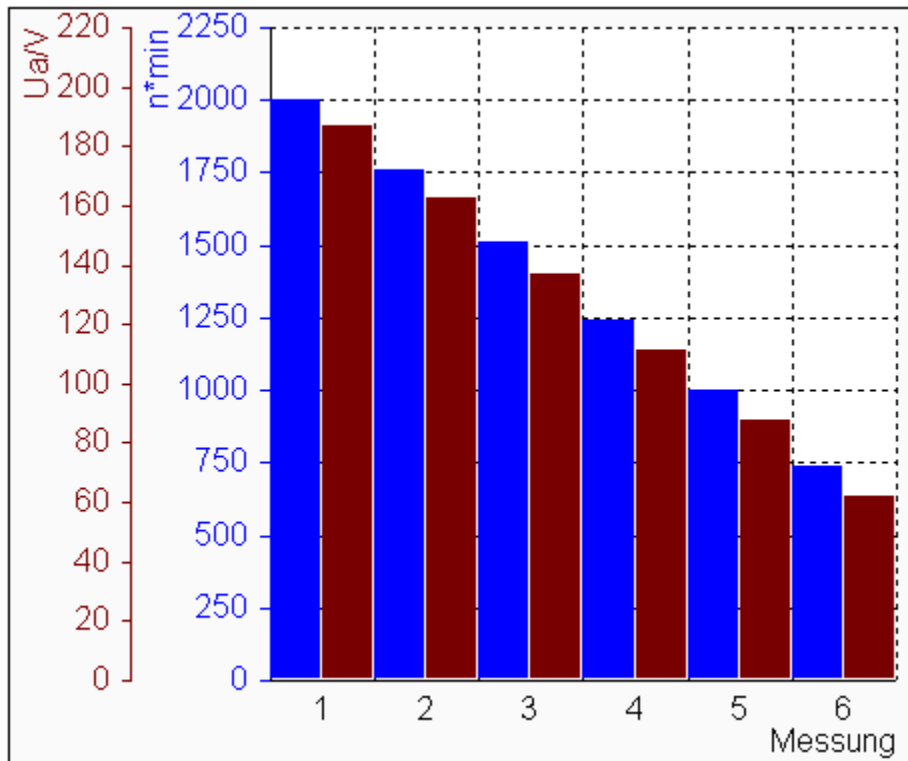
Αν η μονάδα οδήγησης δεν έχει οριστεί σε "RUN", στο πρόγραμμα θα εμφανίσει ένα μήνυμα.

Μετά την ενεργοποίηση της μονάδας οδήγησης, ορισμένες εντολές στη γραμμή μενού και μερικά κουμπιά στη γραμμή εργαλείων, θα απενεργοποιηθούν.


Με την επιλογή του **Save value** από το **Chart** menu (ή το κουμπί ) , η πρώτη τιμή μέτρησης αποθηκεύεται και εμφανίζεται αμέσως στο διάγραμμα.

Τώρα, μειώνουμε την τιμή της τάσης τυμπάνου σταδιακά σε κάθε βήμα σώζοντας τις αντίστοιχες μετρούμενες τιμές.

Το αποτέλεσμα θα είναι όπως φαίνεται παρακάτω:




Είναι εμφανές ότι με σταθερό ρεύμα, εμφανίζεται η γραμμική σχέση μεταξύ ταχύτητας και τάσης τυμπάνου.

Κλείνουμε τη μετρούμενη τιμή ανίχνευσης επιλέγοντας **Switch drive off** στο **Settings** menu ή κάνουμε κλικ στο κουμπί  στη γραμμή εργαλείων ξανά.

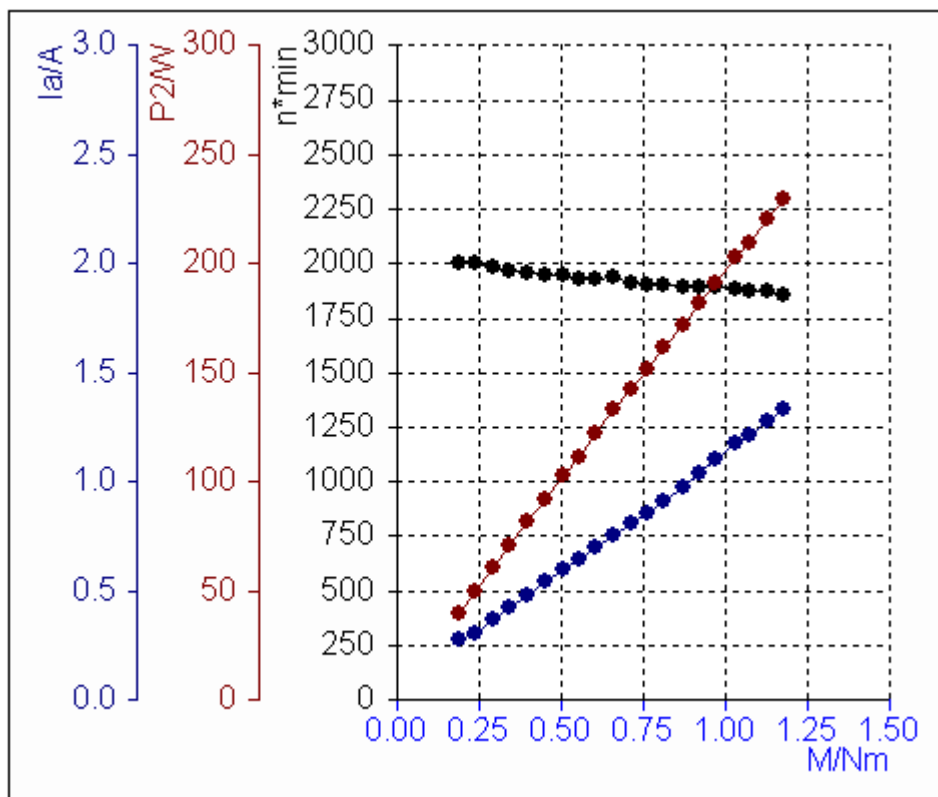
Οι ρυθμίσεις της άσκησης θα πρέπει να αποθηκεύονται στο σκληρό δίσκο για να χρησιμοποιηθούν και πάλι αργότερα. Από το **File** menu, επιλέγουμε την εντολή **Save As** και στο παράθυρο διαλόγου πληκτρολογούμε ένα όνομα για το αρχείο, π.χ. **"Exercise 1"**.

Στην επόμενη άσκηση, θα καταγραφούν μερικές χαρακτηριστικές διαφορών φορτίων. Κατ' αρχάς, αλλάζουμε τους άξονες που πρόκειται να εμφανιστούν: Κάνουμε κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο **Torque**. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε **Speed, Mechanical power** και **Armature current**.

Ενεργοποιούμε τη μηχανή δοκιμής και ξεκινάμε την καταγραφή της μετρούμενης τιμής.

Ενεργοποιούμε το κουμπί  στη γραμμή εργαλείων. Ένα φορτίο εφαρμόζεται σταδιακά, στη μηχανή δοκιμής και οι μετρούμενες τιμές εμφανίζονται στο γράφημα.

Στο τέλος των μετρήσεων, το γράφημα που εμφανίζεται πρέπει να είναι παρόμοιο με αυτό που φαίνεται:

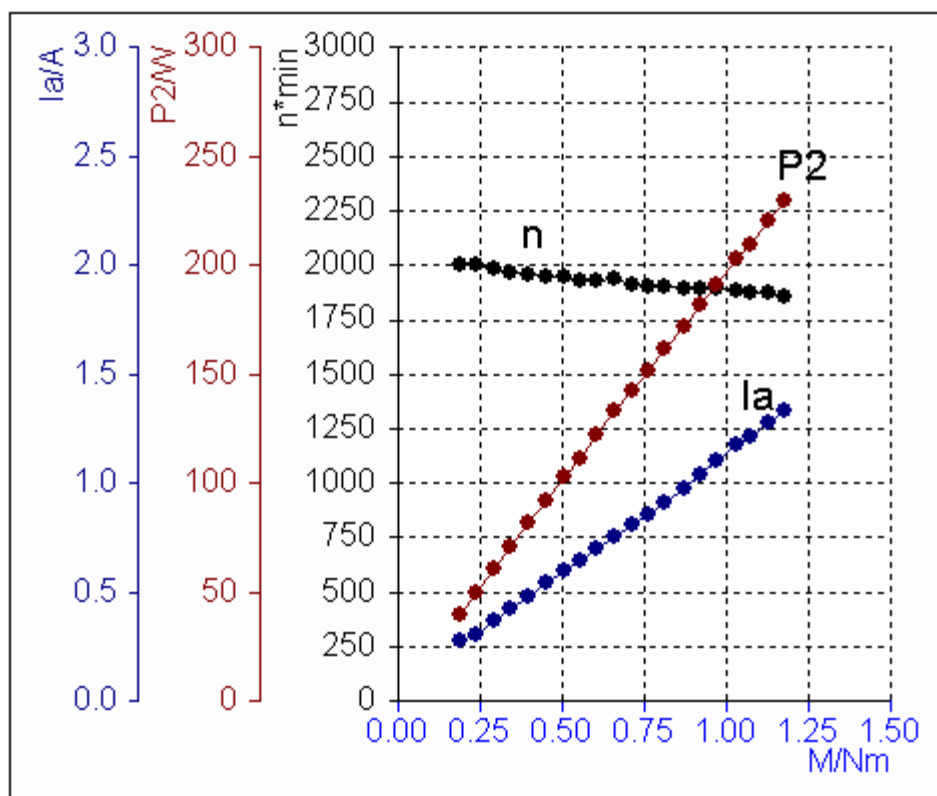


Σε μια μονόχρωμη οθόνη (εκτυπωτής), δεν είναι αμέσως εμφανής που ανήκει η καμπύλη και ποια μετρούμενα μεγέθη απεικονίζει, επομένως κάποια μορφή μαρκαρίσματος θα πρέπει να συμπεριληφθεί.

Για αυτό, μετακινούμε το δείκτη του ποντικιού κοντά σε μία χαρακτηριστική και πατάμε το δεξί πλήκτρο του ποντικιού. Ένα αναδυόμενο μενού εμφανίζεται όταν το στοιχείο *Add Text* μπορεί να επιλεγεί. Στη θέση του δείκτη του ποντικιού, ένα κείμενο προστίθεται στη χαρακτηριστική. Το κείμενο αυτό μπορεί να μετακινηθεί σε οποιαδήποτε θέση στο γράφημα κάνοντας κλικ με το ποντίκι στο κείμενο, κρατώντας πατημένο το κουμπί του ποντικιού, και μετακινούμε το κείμενο όπως απαιτείται και τέλος αφήνουμε το πλήκτρο ("drag & drop").

Για να αλλάξουμε το κείμενο που εμφανίζεται, επιλέγουμε το κείμενο και πατάμε το δεξί πλήκτρο του ποντικιού. Ένα αναδυόμενο μενού εμφανίζεται όταν το στοιχείο *Properties* μπορεί να επιλεγεί και το απαιτούμενο κείμενο μπορεί να εγγραφεί στο πλαίσιο διαλόγου.

Επαναλαμβάνοντας τα βήματα που περιγράφονται παραπάνω και για τα άλλα χαρακτηριστικά μεγέθη, εμφανίζεται το διάγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω:



Αυτή η άσκηση μπορεί να αποθηκευτεί επίσης στο σκληρό δίσκο, για μελλοντική χρήση. Γι 'αυτό, από το **File** menu, επιλέγουμε το στοιχείο **Save As** και στο παράθυρο διαλόγου πληκτρολογούμε ένα όνομα για το αρχείο, π.χ. "**Exercise 2**".

Οι παραπάνω ασκήσεις μπορούν να ενταχθούν στο πρόγραμμα, έτσι ώστε να είναι εύκολα διαθέσιμες ανά πάσα στιγμή, χωρίς καμία περίπλοκη καταχώρηση να είναι αναγκαία. Γι 'αυτό, από το **Exercise** menu, επιλέγουμε το στοιχείο **Properties**. Περισσότερες πληροφορίες θα βρείτε στο κεφάλαιο Exercises.

6.1.6) *File* Menu

Το μενού **File** περιέχει όλες τις εντολές που είναι απαραίτητες για την είσοδο και έξοδο των δεδομένων. Περιλαμβάνει επίσης την εντολή για τον τερματισμό του προγράμματος.

Εντολές

<u>New</u>	Δημιουργεί ένα νέο έγγραφο.
<u>Open</u>	Ανοίγει ένα υπάρχον έγγραφο.
<u>Save</u>	Αποθηκεύει τις αλλαγές στο έγγραφο που εργάζεστε.
<u>Save as</u>	Αποθηκεύει ένα νέο έγγραφο ή ένα υπάρχον έγγραφο με νέο όνομα.
<u>Properties</u>	Εμφανίζει ένα παράθυρο διαλόγου για την εισαγωγή πληροφοριών που σχετίζονται με το έγγραφο.
<u>Export</u>	Εξαγωγή γραφημάτων ή τιμών.
<u>The Page Setup</u>	Καθορίζει τα περιθώρια της σελίδας για την εκτύπωση.
<u>Print Preview</u>	Εμφανίζει το έγγραφο στην οθόνη, όπως θα τυπωθεί.
<u>Print</u>	Εκτυπώνει το τρέχον έγγραφο.
<u>Send</u>	Στέλνει το τρέχον έγγραφο μέσω του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.
<u>MRU File</u>	Ανοίγει ένα από τα τελευταία χρησιμοποιημένα αρχεία.
<u>Exit</u>	Κλείσιμο της εφαρμογής.

Settings Menu

Το μενού **Settings** περιέχει όλες τις εντολές που σχετίζονται με τη διαμόρφωση του σερβο-κινητήρα. Επίσης, η μονάδα οδήγησης μπορεί να ενεργοποιηθεί ή ανασταλεί μέσω αυτού του μενού, μεταστρέφοντας την μετρούμενη καταγραφή της τιμής, στη θέση on ή στη θέση off.

Εντολές

<u>Switch drive On/Off</u>	Ενεργοποίηση ή αναστολή, της μονάδας οδήγησης.
<u>Presets</u>	Καθορίζει τις ρυθμίσεις για την μονάδα οδήγησης.
<u>Output brake ramp</u>	Έξοδοι της ράμπας για την άσκηση του φορτίου.
<u>Calibrate</u>	Εμφανίζει ένα παράθυρο διαλόγου για τη βαθμονόμηση των μετρούμενων τιμών.

Operating mode Menu

Αυτό το μενού περιλαμβάνει τις καταχωρήσεις για τους δύο πιθανούς τρόπους λειτουργίας του ενισχυτή οδήγησης.

Ροπή ελέγχου (Torque-control)

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας χρησιμοποιείται για να εφαρμόσει μια σταθερή ροπή σε μια μηχανή, καθ' όλη την διάρκεια των στροφών και είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για την καταγραφή των χαρακτηριστικών των DC ή σύγχρονων μηχανών. Η λειτουργία των ασύγχρονων μηχανών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξεταστεί το εύρος εργασίας, μέχρι το pull-out της ροπής. Η ροπή που παράγεται από τη κίνηση, μπορεί να είναι θετική (πέδηση) ή αρνητική (κίνηση - επιτάχυνση).

Πρέπει να σημειωθεί ότι με τη μηχανή δοκιμής εν στάση, η έξοδος μιας τιμής της ροπής (θετικής ή αρνητικής) θα παραγάγει μια επιτάχυνση στη μηχανή. Η μέγιστη ταχύτητα που θα επιτευχθεί σε μια τέτοια περίπτωση, αντιστοιχεί στην τιμή που έχει εισαχθεί στο "lower speed" πεδίο εισόδου στην καρτέλα **Options**.

Ταχύτητα ελέγχου (Speed-control)

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας χρησιμοποιείται για την καταγραφή των χαρακτηριστικών των ηλεκτρικών μηχανών που παρουσιάζουν μια pull-out ροπή. Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, η μηχανή μπορεί να εξεταστεί και στα τέσσερα τεταρτημόρια. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για την καταγραφή χαρακτηριστικών των ασύγχρονων μηχανών. Όταν η μονάδα οδήγησης είναι ενεργοποιημένη, ο σερβο-κινητήρας είναι συγχρονισμένος στην τρέχουσα ταχύτητα με τη μηχανή δοκιμής.

Αν η μονάδα οδήγησης είναι ενεργοποιημένη, ενώ η μηχανή δοκιμής βρίσκεται σε κατάσταση ακινησίας και μετά θέσουμε σε λειτουργία τη μηχανή δοκιμής, η ταχύτητα της μηχανής θα παραμείνει στο μηδέν. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια απρόσμενη υψηλή κατανάλωση ρεύματος και μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στη μηχανή δοκιμής.

Η μέγιστη επιτρεπόμενη ροπή μπορεί να περιορίζεται από την εισαγωγή της τιμής που απαιτείται στο "**Maximum torque**" του πεδίου εισόδου στην καρτέλα **Options**.

Αν η μηχανή δοκιμής είναι απενεργοποιημένη, ενώ η μονάδα οδήγησης είναι ενεργοποιημένη και η μηχανή δοκιμής τρέχει, η ταχύτητα της μηχανής δοκιμής παραμένει στην τελευταία τιμή που εντοπίζεται. Δηλαδή, δεν θα σταματήσει.

Συμβουλή Ο συνεχιζόμενος τρόπος λειτουργίας εμφανίζεται στο δεξιό χέρι στο τέλος της γραμμής κατάστασης. "M=const" υποδηλώνει τον έλεγχο της ροπής και "n=const" υποδηλώνει τον έλεγχο της ταχύτητας.

View Menu

Χρησιμοποιώντας το μενού **View**, μπορούν να επιλεχτούν οι επιδείξεις στην οθόνη του προγράμματος.

Εντολές

<u>Machine characteristics</u>	Εμφανίζει τα χαρακτηριστικά του κινητήρα.
<u>Oscilloscope</u>	Εμφανίζει λειτουργία παλμογράφου.
<u>Measured Values</u>	Εμφανίζει το παράθυρο διαλόγου για τον καθορισμό των τιμών μέτρησης που πρόκειται να εμφανιστούν.
<u>Toolbar</u>	Εμφανίζει ή αποκρύπτει τη γραμμή εργαλείων.
<u>Sidebar</u>	Εμφανίζει ή αποκρύπτει το sidebar.

Chart (Motor characteristics) Menu

Το μενού **Chart** συνοψίζει όλες τις εντολές που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της εμφάνισης και του περιεχομένου ενός γραφήματος (γραφική παράσταση ή διάγραμμα).

Εντολές

Clear	Διαγράφει όλα τα περιεχόμενα ενός γραφήματος.
Delete last curve	Διαγράφει την τελευταία τιμή μέτρησης ή την καμπύλη.
Properties	Ανοίγει το παράθυρο διαλόγου για τον καθορισμό των ιδιοτήτων του γραφήματος.
4-quadrants	Εναλλαγή μεταξύ ενός ή 4-τεταρτημορίων στην οθόνη.
Show actual values	Εμφανίζει την τρέχουσα τιμή που μετρήθηκε στο γράφημα.
Save actual values	Αποθηκεύει την τρέχουσα τιμή μέτρησης και δείχνει την τιμή στο γράφημα.
New characteristic	Κλείνει τη καταγραφή των τιμών μέτρησης για τη συνεχή καμπύλη.
Add Label	Προσθέτει μια ετικέτα κειμένου στο γράφημα.

Chart (Oscilloscope) Menu

Το μενού αυτό συνοψίζει τις εντολές που χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση και το περιεχόμενο ενός γραφήματος.

Οι διαθέσιμες καρτέλες ιδιότητες περιγράφονται στην ενότητα **Properties**.

Exercises Menu

Στο μενού **Exercises**, μπορούν να συνδυαστούν ρυθμίσεις ή χαρακτηριστικά ασκήσεων, ώστε να φορτωθούν σε μεταγενέστερη ημερομηνία, με ένα απλό κλικ του ποντικιού.Γι 'αυτό, ενεργοποιούμε την εντολή **Properties** από αυτό το μενού.

Για να αποφευχθεί η απουσία επανεγγραφής αρχείων με ήδη προετοιμασμένες ασκήσεις (για παράδειγμα με την εντολή **Save** από το μενού **File**), ακολουθούμε τη διαδικασία που δίνεται εδώ:

- Ενεργοποιούμε τη Διαχείριση Αρχείων στα Windows.
- Επιλέγουμε το αρχείο που πρόκειται να προστατευθεί.
- Από το μενού **File**, επιλέγουμε την εντολή **Properties**.
- Στην "Attributes" ομάδα, επιλέξτε το πλαίσιο επιλογής "Read Only".
- Κάντε κλικ στο κουμπί "OK".

Σε περίπτωση που γίνει προσπάθεια να αντικατασταθεί αυτό το αρχείο, εμφανίζεται ένα μήνυμα σφάλματος, για να ενημερώσει ότι το αρχείο είναι μόνο για ανάγνωση και πρέπει να σωθεί με ένα διαφορετικό όνομα.

Menou Help

Το μενού **Help** περιέχει τις ακόλουθες εντολές που βοηθούν στη χρήση αυτής της εφαρμογής:

Εντολές

Index	Δείχνει ένα ευρετήριο των θεμάτων Βοήθειας
About	Δείχνει τον αριθμό έκδοσης αυτής της εφαρμογής

6.1.7) Σημειώσεις ασφαλείας

Η ψηφιακή μονάδα ελέγχου και ο σερβο-κινητήρας είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για εκπαίδευση στο πεδίο των Ηλεκτρικών Μηχανών & των μονάδων οδήγησης τους (drives) και προορίζονται για χρήση μόνο όπως περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο.

Η ψηφιακή μονάδα ελέγχου και ο σερβο-κινητήρας λειτουργεί συνήθως σε συνδυασμό με μια μηχανή δοκιμής και είναι επίσης δεδομένο ότι η λειτουργία ενός τέτοιου μηχανήματος ελέγχου και των χαρακτηριστικών της, είναι πλήρως γνωστή.

- Ο εξοπλισμός μπορεί να λειτουργεί μόνον σε δωμάτια κατάλληλα εξοπλισμένα με εγκαταστάσεις κατάρτισης
- Όλες οι πηγές τάσης πρέπει να αφαιρεθούν πριν από τις τυχόν τροποποιήσεις για τη συναρμολόγηση του εξοπλισμού.
- Πρέπει να χρησιμοποιούμε πάντα τα ασφαλή καλώδια σύνδεσης και ασφαλείς μπόρνες.
- Μετά το κλείσιμο, υπάρχουν επικίνδυνα υψηλές τάσεις στις εξόδους της μονάδας ελέγχου για τη σύνδεση των μηχανών. Επομένως, είναι απαραίτητο να εισαχθεί ένας χρόνος αναμονής (>5 SEC.), πριν προβούμε σε οποιοσδήποτε αλλαγές στη σύνδεση κυκλωμάτων.
- Μια κατάλληλη μηχανή πρέπει να συνδεθεί πριν θέσουμε σε λειτουργία τη μονάδα ελέγχου.
- Όλες οι αχρησιμοποίητες είσοδοι ή έξοδοι για μια συγκεκριμένη σύνδεση δοκιμής δεν πρέπει να συνδεθούν.
- Οι ηλεκτροστατικές φορτίσεις μπορούν να βλάψουν τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Επομένως, αποφεύγουμε να αγγίζουμε οποιοσδήποτε ακροδέκτες των υποδοχών διασύνδεσης.
- Βεβαιωνόμαστε ότι ο εξοπλισμός είναι τοποθετημένος έτσι ώστε να υπάρχει ελεύθερη ροή του αέρα γύρω από τη μονάδα ελέγχου και τον σερβο-κινητήρα, για την αποφυγή της υπερθέρμανσης.
- Ο σερβο-κινητήρας αναπτύσσει μια μεγάλη ροπή και η ανάρμωστη λειτουργία του μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρούς τραυματισμούς.
- Η μηχανή δοκιμής, σε συγκεκριμένους τρόπους λειτουργίας, λειτουργεί ως γεννήτρια και θα τροφοδοτήσει την ενέργεια πίσω στην πηγή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος.

- Εάν αυτό δεν είναι δυνατό με την διαθέσιμη πηγή ρεύματος, ο τρόπος λειτουργίας της γεννήτριας πρέπει να αποτραπεί από την εμφάνιση αυτού, για να αποφύγει οποιαδήποτε ζημία στο δίκτυο τροφοδοσίας.

6.2) Διεξαγωγή Πειραμάτων και λήψη χαρακτηριστικών λειτουργίας σε ηλεκτρικές μηχανές D.C.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε ηλεκτρικές μηχανές D.C. με σκοπό την λήψη χαρακτηριστικών λειτουργίας. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο τρόπος συνδεσμολογίας μιας D.C. μηχανής που πραγματοποιήθηκε στο χώρο του εργαστηρίου.



Διεξαγωγή πειράματος στο χώρο του εργαστηρίου

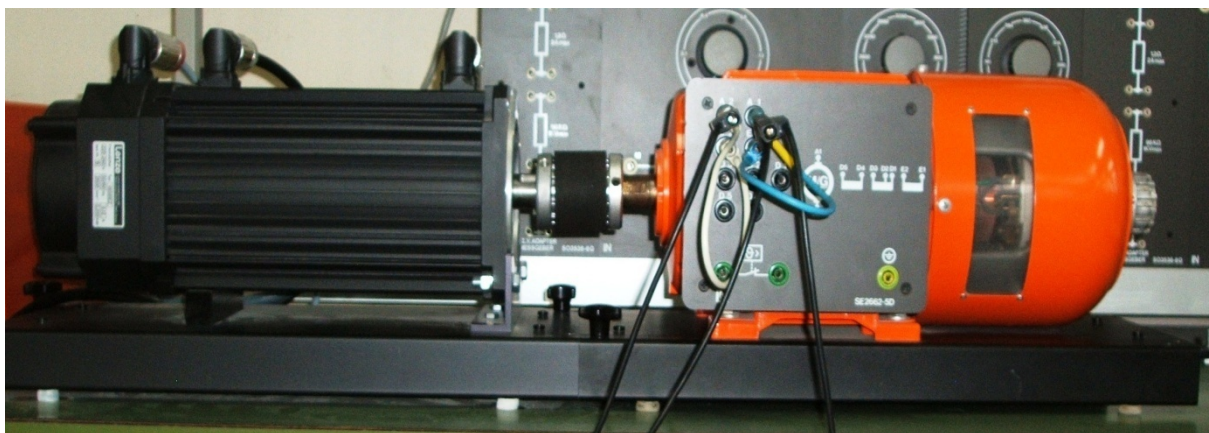
LN Lucas-Nuelle Lehr- und Meßgeräte GmbH Germany - 50170 Kerpen - Siemensstr. 2		
SE2663-6E	VDE 0530	IP: 54 / Is.KL: F
	U: 390 V	I: 9,1 A
	10,8 Nm / 3,9 kW	cos :
	3455 1/min	f: 120 Hz
U _{nom} :	I _{nom} :	Made in Germany
C _g :	C _g :	

Χαρακτηριστικά πινακίδας σερβοπέδης

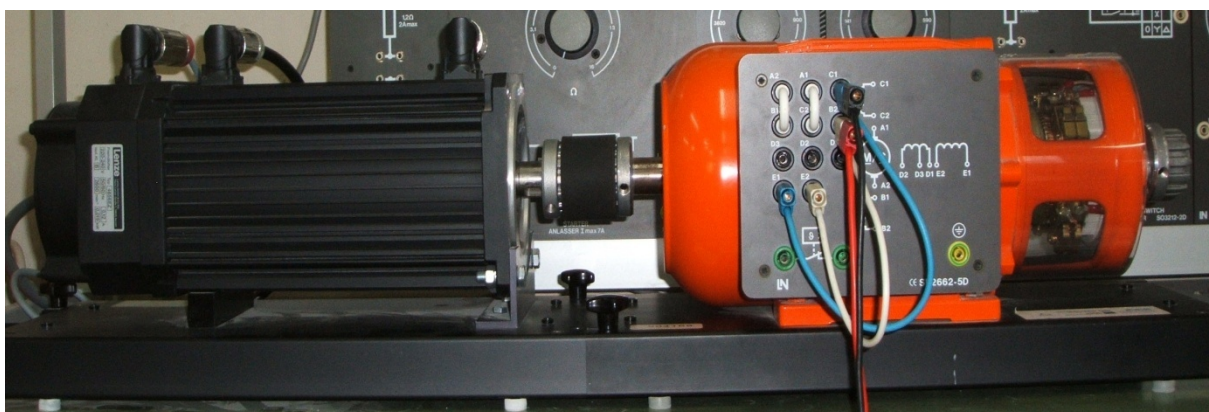
6.2.1) Πείραμα με DC κινητήρες.

Στο παρακάτω πείραμα θα αναφερθούμε στον τρόπο συνδεσμολογίας και στις απαραίτητες ρυθμίσεις που θα προβούμε, έτσι ώστε να λάβουμε τις συγκεκριμένες χαρακτηριστικές που επιθυμούμε. Πιο συγκεκριμένα θα χρησιμοποιήσουμε τη σερβοπέδη της εταιρείας *Lucas Nulle* σε συνεργασία με το ρυθμιστή στροφών της εταιρείας *Lenze*.

Τρόπος Συνδεσμολογίας

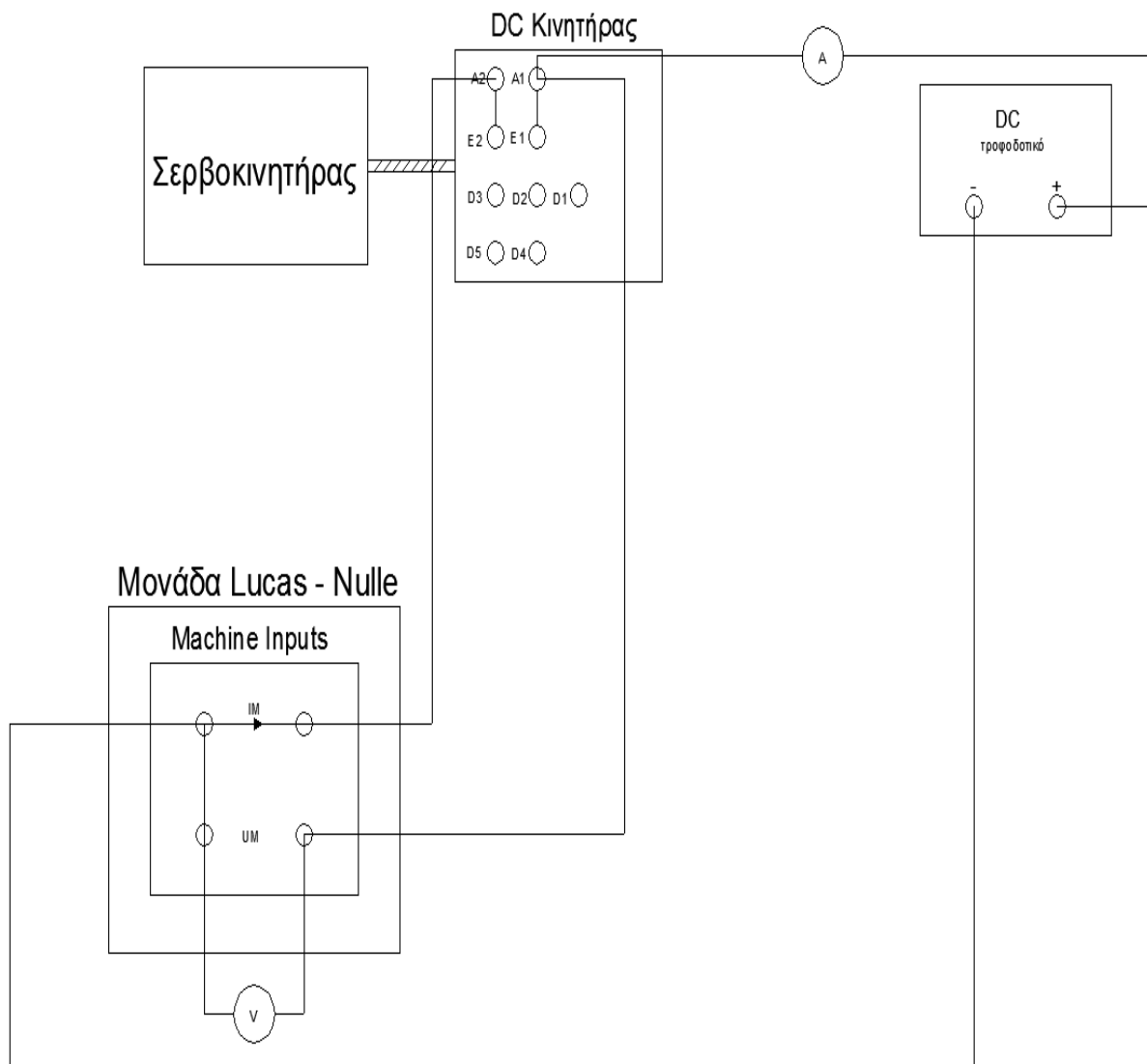


Σερβοπέδη με Dc κινητήρα παράλληλης διέγερσης (1^{ος} κινητήρας)



Σερβοπέδη με Dc κινητήρα παράλληλης διέγερσης (2^{ος} κινητήρας)

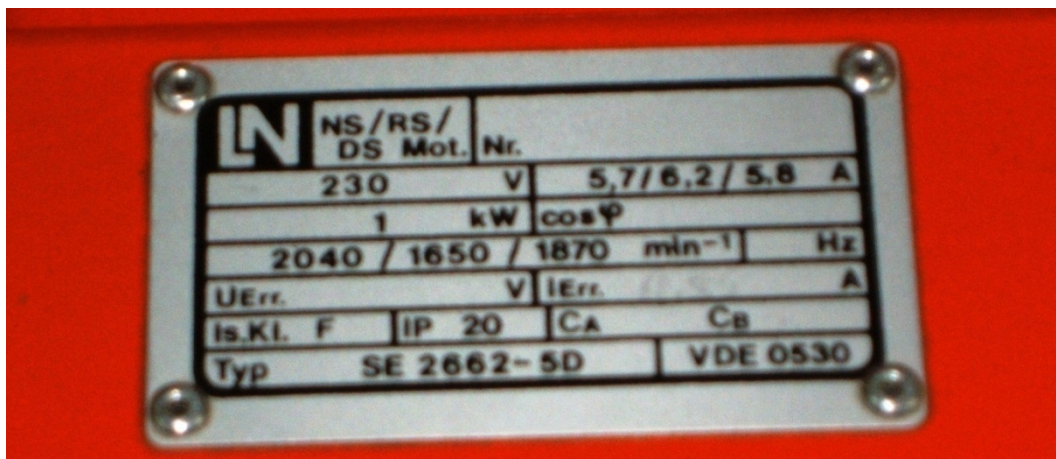
Συνδεσμολογία κυκλώματος



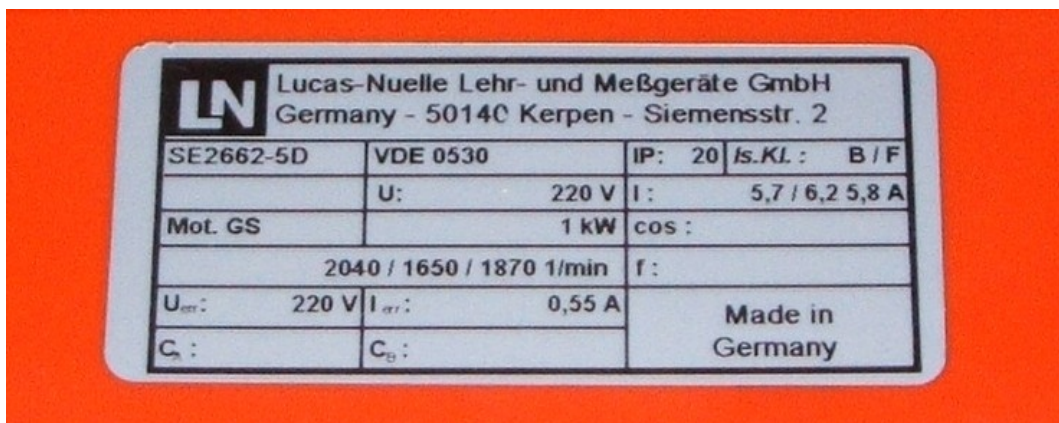
Απαραίτητες Ρυθμίσεις

Για να προχωρήσουμε στην διεξαγωγή του πειράματος θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας κάποιες παραμέτρους οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο για να πάρουμε τα σωστά αποτελέσματα που επιθυμούμε. Δηλαδή:

- i. Σωστή τάση λειτουργίας η οποία αναγράφεται στην πινακίδα της μηχανής.



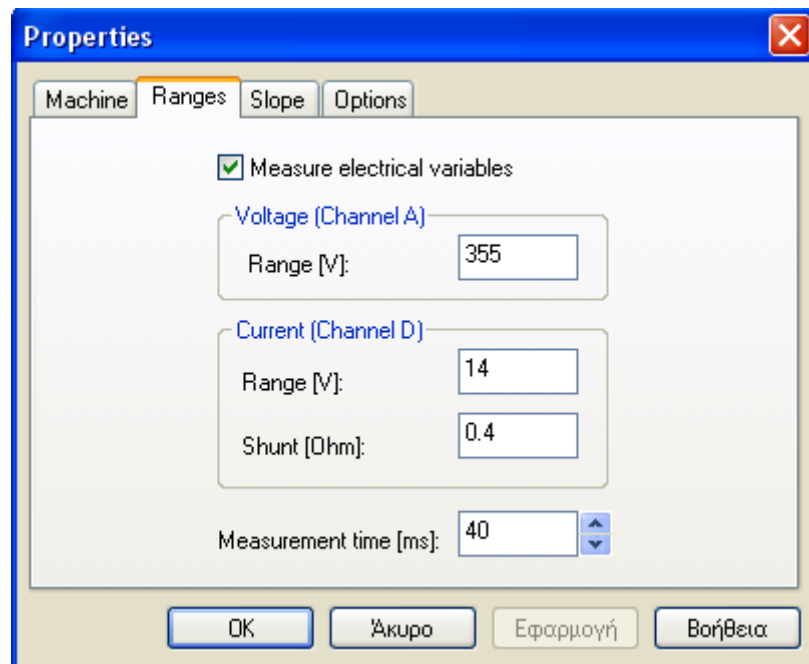
Χαρακτηριστικά πινακίδας (1^{ου} κινητήρα)



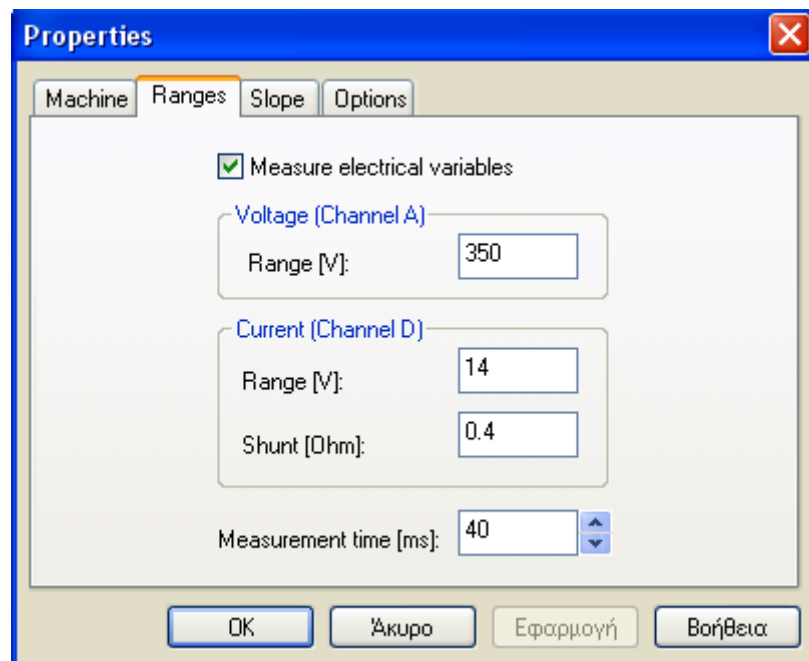
Χαρακτηριστικά πινακίδας (2^{ου} κινητήρα)

- ii. Θα πρέπει να κάνουμε τις κατάλληλες ρυθμίσεις στις παραμέτρους του προγράμματος για την τάση και το ρεύμα, έτσι ώστε να έχουμε σωστές ενδείξεις στο περιβάλλον του Active DCMA. Για την πραγματοποίηση αυτών των ρυθμίσεων ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

Στο μενού του προγράμματος επιλέγουμε **Settings** → **Presets (Properties)** → **Ranges** και βάζουμε τις σωστές τιμές στα **Voltage (Channel A)** και **Current (Channel D)**.

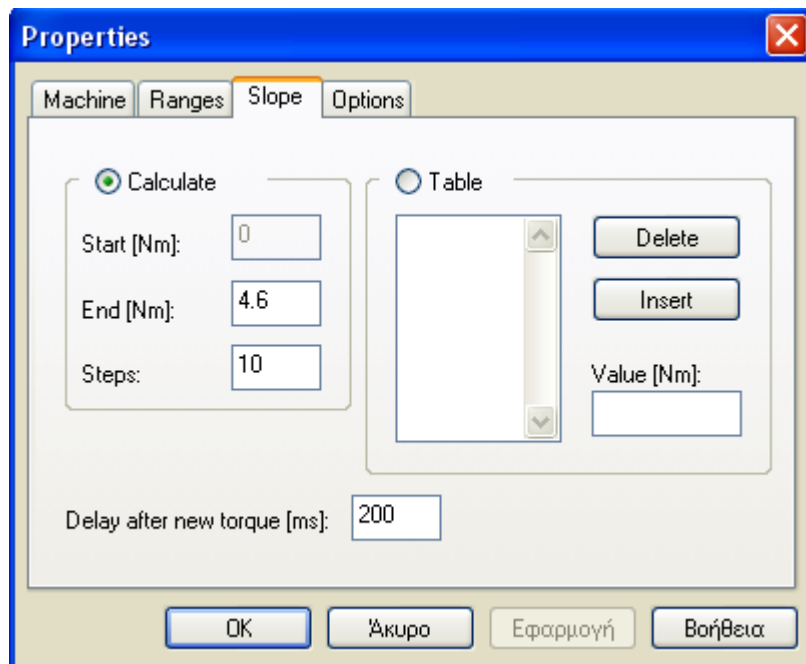


Ρυθμίσεις (Voltage / Current) 1^ο κινητήρα

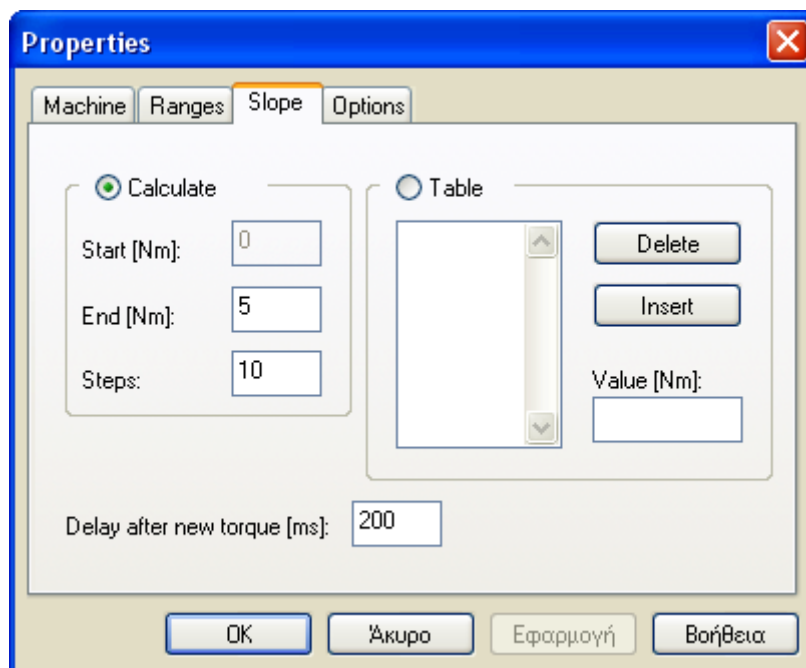


Ρυθμίσεις (Voltage / Current) 2^ο κινητήρα

- iii. Τώρα θα πρέπει να προσέξουμε την μέγιστη ροπή η οποία θα εφαρμοστεί στον κινητήρα. Αυτό γίνεται, γιατί αν την ξεπεράσουμε θα έχει ως αποτέλεσμα να τραβήξει ρεύμα μεγαλύτερο του ονομαστικού με κίνδυνο να καταστραφεί η μηχανή. Για την πραγματοποίηση αυτών των ρυθμίσεων ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:
Στο μενού του προγράμματος επιλέγουμε **Settings** → **Presets (Properties)** → **Slope** και βάζουμε τις σωστές τιμές στο **End (N_m)**.



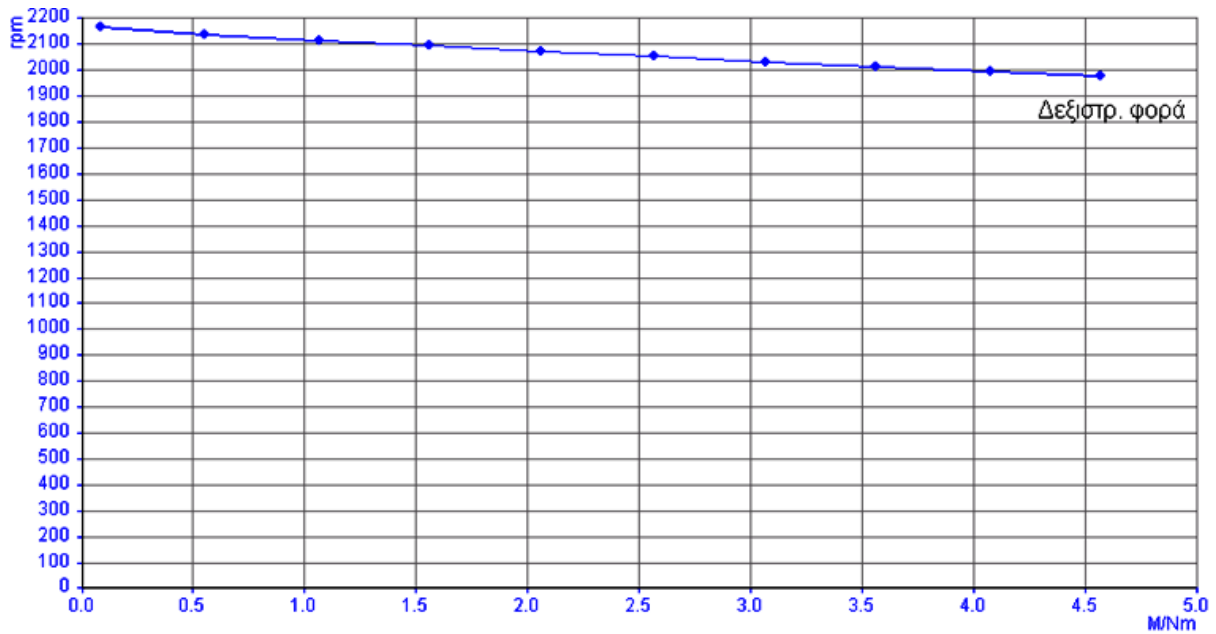
Ρύθμιση μέγιστης ροπής (1^ο κινητήρα)



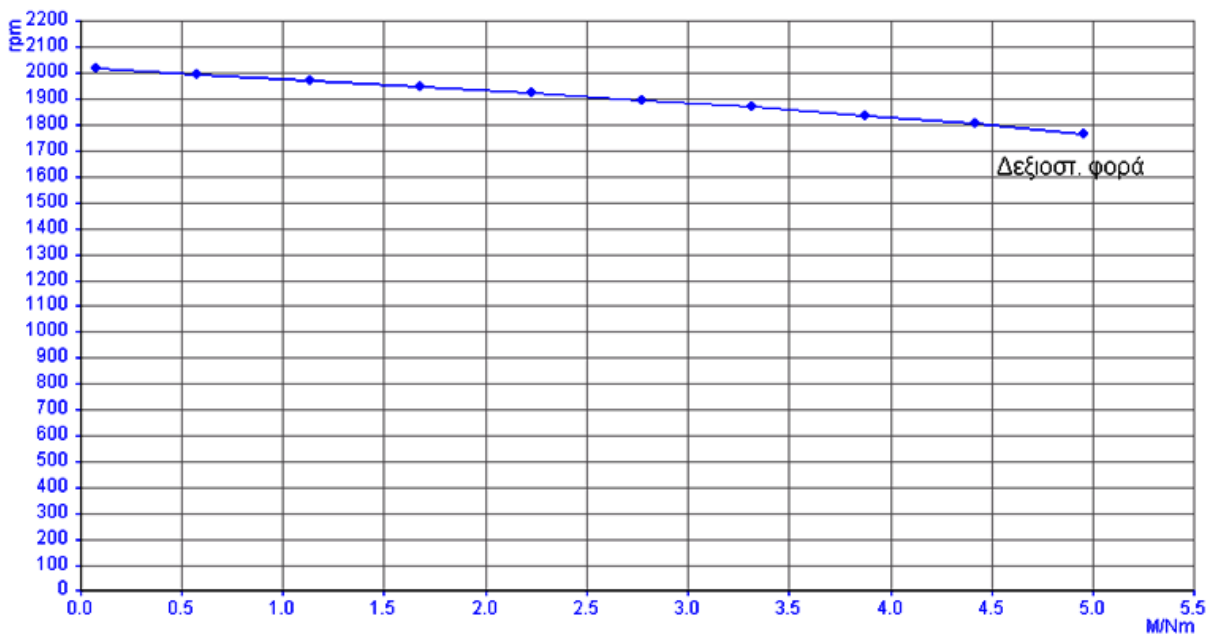
Ρύθμιση μέγιστης ροπής (2^ο κινητήρα)

Εφόσον έγιναν οι απαραίτητες ρυθμίσεις για την εκάστοτε μηχανή, συνεχίζουμε στα αποτελέσματα του πειράματος.

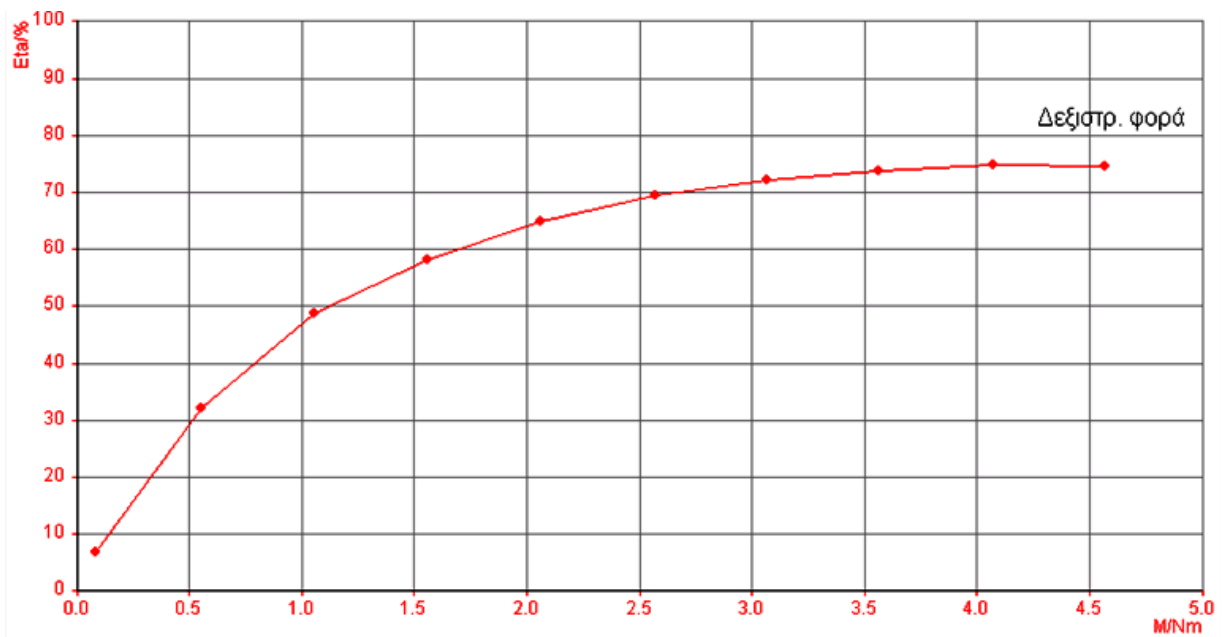
Χαρακτηριστικές λειτουργίας των DC κινητήρων



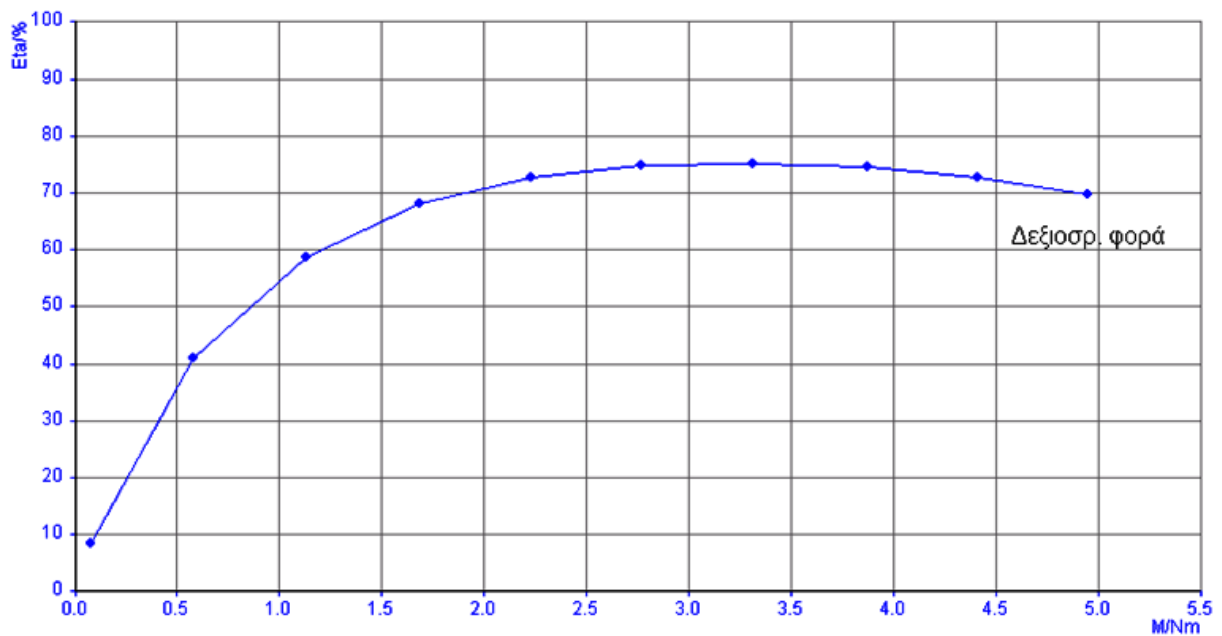
Χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας (1^{ου} κινητήρα)



Χαρακτηριστική ροπής – ταχύτητας (2^{ου} κινητήρα)



Χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης% – ροπής (1^ο κινητήρα)



Χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης% – ροπής (2^ο κινητήρα)

Βιβλιογραφία

1. **Chapman Stephen, Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC, Εκδόσεις Τζιόλα**
2. **Γαντζούδης Σωτήρης, Λαγουδάκος Μιχαήλ, Μπινιάρης Αθανάσιος, Ηλεκτρικές Μηχανές, ΥΠΕΠΘ, ανακτημένο από http://www.ebooks4greeks.gr/2011.Download_free-ebooks/kathighths/HLEKTRIKES_MHXANES_B_TAKSH_Downloaded_f_eBooks4Greeks.gr.pdf**
3. **Μαλιώτης Γεώργιος, Σερβοκινητήρες, ανακτημένο από το δικτυακό τόπο <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=83>**
4. **Φυλλάδιο Servo-Brake, Control Unit LUCAS NULLE SE2663-6D, SE2663-6E**
5. **Φυλλάδια χρήσης λογισμικού LUCAS NULLE ACTIVE ASMA και ACTIVE DCMA**
6. **Δικτυακός τόπος της εταιρείας LUCAS NULLE <http://www.lucas-nuelle.com>**
7. **Δικτυακός τόπος της εταιρείας LENZE ενότητα servomotors http://www.lenze.com/lenze.com/en/active/020_Products/020_Servo_drives/020_Servomotoren/Produktfamilie_Servomotoren.com.jsp?cid=0b0164e0800906ad**