

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1374

**ΜΕΛΕΤΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΑC ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ
ΣΕΡΒΟΠΕΔΗΣ LUCAS NULLE**

**STUDY OF OPERATIONAL
CHARACTERISTICS OF AC ELECTRICAL
MACHINES USING THE LUCAS NULLE SERVO-
BRAKE**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Διάπης Αλέξανδρος (5733)

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Σμυρνής Δημήτρης (5645)

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΚΑΛΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην εργασία πραγματοποιήθηκε η μελέτη ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα καθώς επίσης και μια σειρά από πειράματα με σκοπό την καταγραφή των χαρακτηριστικών λειτουργίας του συγκεκριμένου ασύγχρονου κινητήρα. Η λήψη των παραπάνω χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του λογισμικού ActiveASMA που συνοδεύει την σερβοπέδη που αξιοποιήθηκε. Πιο αναλυτικά: Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται τα διάφορα είδη σερβοκινητήρων που υπάρχουν και περιγράφονται περιληπτικά οι σερβοκινητήρες AC/ DC και οι δυνατότητες τους. Επίσης, γίνεται αναφορά και στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των σερβοκινητήρων αλλά και στην μεγάλη γκάμα βιομηχανικών εφαρμογών όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια σύντομη περιγραφή της σερβοπέδης Lucas Nulle αλλά και στο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την λήψη των μετρήσεων και των χαρακτηριστικών λειτουργίας του υπό εξέταση κινητήρα. Αναλύονται λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά, οι δυνατότητες και οι πολλοί διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας της σερβοπέδης καθώς επίσης γίνεται εκτενής αναφορά στις δυνατότητες και στις διάφορες επιλογές που παρέχει στον χρήστη το λογισμικό ActiveASMA. Έπειτα, στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται τα είδη των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων, η αρχή λειτουργίας τους καθώς και τα κατασκευαστικά τους στοιχεία. Ακόμη γίνεται αναλυτική αναφορά στους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα όπου παρουσιάζονται τα διάφορα χαρακτηριστικά τους. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια σειρά πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν σε ένα ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα καθώς και οι χαρακτηριστικές καμπύλες που προέκυψαν τόσο για speed control όσο και torque control λειτουργία. Για την υλοποίηση των παραπάνω μετρήσεων αξιοποιήθηκε η σερβοπέδη της εταιρείας Lucas Nulle σε συνεργασία με το ρυθμιστή στροφών της εταιρείας Lenze. Με σκοπό την επιβεβαίωση των παραπάνω μετρήσεων αλλά και για να είναι εφικτή εξαγωγή διαφόρων συμπερασμάτων τα παραπάνω πειράματα επαναλήφθηκαν αξιοποιώντας μετρήσεις που συλλέχθηκαν αξιοποιώντας τα συμβατικά όργανα μετρήσεων (βαττόμετρα, βολτόμετρα, αμπερόμετρα, στροφόμετρα) που διαθέτει το εργαστήριο Ηλεκτρικών Μηχανών του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται η μελέτη ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα αξιοποιώντας τις δυνατότητες της μονάδας σερβοπέδης της εταιρείας Lucas Nulle. Η συγκεκριμένη μονάδα αποτελείται από δύο μέρη το πάνελ ελέγχου SE2663-6D το οποίο περιέχει ένα ρυθμιστή στροφών της εταιρείας Lenze και τον σερβοκινητήρα SE2663-6E.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και η κατανόηση των δυνατοτήτων του παραπάνω συστήματος. Επίσης μέσω των πειραμάτων που θα πραγματοποιηθούν θα είναι εφικτή η καταγραφή των χαρακτηριστικών λειτουργίας του ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα SE 2662-5H.

Για την λήψη των παραπάνω χαρακτηριστικών του ασύγχρονου τριφασικού ηλεκτρικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό ActiveASMA που συνοδεύει την συγκεκριμένη σερβοπέδη. Μέσω αυτού του προγράμματος είναι εφικτή η παραμετροποίηση του συγκεκριμένου συστήματος και η αυτοματοποιημένη λήψη χαρακτηριστικών που προκαθορίζει ο χρήστης του συστήματος.

Η συγκεκριμένη σερβοπέδη υποστηρίζει την λήψη χαρακτηριστικών είτε με έλεγχο ροπής (torque control) είτε με έλεγχο ταχύτητας (speed control). Στα πειράματα που θα πραγματοποιηθούν θα αξιοποιηθούν και οι δύο παραπάνω τρόποι λειτουργίας μέσω του λογισμικού ActiveASMA.

Με σκοπό να πιστοποιηθούν τα αποτελέσματα που λήφθηκαν με την χρήση του ActiveASMA για τα διαφορετικά είδη λειτουργίας της σερβοπέδης θα επαναληφθεί η λήψη των παραπάνω χαρακτηριστικών θέτοντας την σερβοπέδη σε κατάσταση χειροκίνητης λειτουργίας και αξιοποιώντας τόσο τον εργαστηριακό εξοπλισμό του εργαστηρίου ηλεκτρικών μηχανών όσο και τα όργανα του πάνελ ελέγχου της παραπάνω σερβοπέδης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	ii
Περίληψη.....	iii
Περιεχόμενα.....	iv

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....1

Περιγραφή Σερβοκινητήρων και Εφαρμογές τους

1.1 Ιστορική αναδρομή.....	1
1.2 Γενικά χαρακτηριστικά σερβοκινητήρων.....	1
1.3 Κατηγορίες σερβοκινητήρων.....	3
1.4 Ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες.....	5
1.5 Σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.....	6
1.6 Σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος.....	6
1.7 Κριτήρια επιλογής σερβοκινητήρων.....	7
1.8 Σύγκριση βασικών τύπων σερβοκινητήρων.....	8
1.9 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σερβοκινητήρων.....	11
1.10 Τομείς εφαρμογών σερβοκινητήρων.....	12
1.10.1 Εφαρμογές σερβοκινητήρων στην ρομποτική.....	13
1.10.2 Χρήση σερβοκινητήρων σε βιομηχανικούς μηχανισμούς.....	15
1.10.3 Εφαρμογή σερβοκινητήρων στο πολεμικό ναυτικό.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....23

Περιγραφή της μονάδας Lucas-Nulle και του λογισμικού Active ASMA

2.1 Επεξήγηση της μονάδας Lucas-Nulle.....	23
2.2 Οδηγίες σύνδεσης.....	25
2.3 Βασικοί τρόποι λειτουργίας.....	25
2.3.1 Τρόπος Λειτουργίας : Έλεγχος ροπής.....	26

2.3.2	Τρόπος Λειτουργίας : Έλεγχος ταχύτητας.....	27
2.3.3	Τρόπος Λειτουργίας : Τροχός αδράνειας.....	27
2.3.4	Τρόπος Λειτουργίας: Θέση βήματος.....	28
2.3.5	Τρόπος Λειτουργίας: Αντλία /Εξαεριστήρας.....	28
2.3.6	Τρόπος Λειτουργίας : Spooling drive.....	29
2.3.7	Τρόπος Λειτουργίας : Συμπιεστή.....	29
2.3.8	Τρόπος Λειτουργίας: Κύλινδρος /Στιλβωτικός κύλινδρος.....	30
2.4	Γνωριμία με το λογισμικό Active ASMA.....	31
2.5	Επεξήγηση επιλογών προγράμματος.....	32
2.5.1	File menu.....	32
2.5.2	Settings menu.....	33
2.5.3	Operating mode menu.....	33
2.5.4	View menu.....	33
2.5.5	Chart (motor characteristics) menu.....	34
2.5.6	Exercises menu.....	34
2.5.7	Help menu.....	35
2.6	Σημειώσεις ασφαλείας.....	35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....36

Ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες

3.1	Είδη ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....	36
3.1.1	Κατασκευαστικά στοιχεία ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....	37
3.1.2	Αρχή λειτουργίας ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....	38
3.1.3	Ροπή ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων.....	38
3.2	Ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα.....	39
3.2.1	Κατασκευαστικές κλάσεις κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα.....	40
3.2.2	Ρύθμιση στροφών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.....	41

3.2.3	Πέδηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.....	43
3.2.4	Ισχύς, απώλειες και βαθμός απόδοσης ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.....	44
3.2.5	Εκκίνηση ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....		47
Διεξαγωγή πειραμάτων και λήψη χαρακτηριστικών λειτουργίας σε ασύγχρονη ηλεκτρική μηχανή A.C.		
4.1	Speed control.....	50
4.1.1	Χαρακτηριστικές για speed control λειτουργία μέσω του λογισμικού Active ASMA.....	50
4.2	Torque control.....	61
4.2.1	Χαρακτηριστικές για torque control λειτουργία μέσω του λογισμικού Active ASMA.....	61
4.3	Διεξαγωγή πειραμάτων και λήψη χαρακτηριστικών λειτουργίας σε ασύγχρονη ηλεκτρική μηχανή A.C.χειροκίνητα.....	72
4.3.1	Για speed control λειτουργία.....	73
4.3.2	Για torque control λειτουργία.....	77
4.4	Σύγκριση – Συμπεράσματα.....	81
Βιβλιογραφία.....		83

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Περιγραφή σερβοκινητήρων και εφαρμογές τους

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούν τα διάφορα είδη σερβοκινητήρων και θα περιγραφούν περιληπτικά οι σερβοκινητήρες AC/ DC και οι δυνατότητες που έχουμε κατά την λειτουργία τους. Επίσης, θα γίνει αναφορά και στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των σερβοκινητήρων αλλά και στην μεγάλη γκάμα βιομηχανικών εφαρμογών όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η προέλευση της λέξης σερβοκινητήρας προέρχεται από το γαλλικό Le Servomoteur που στα ελληνικά μεταφράζεται ως “δούλος κινητήρας”. Συγκεκριμένα η λέξη servo προέρχεται από τη Λατινική γλώσσα στην οποία servus σημαίνει “υπηρέτης” και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον J.L. Farcot το 1868 για να περιγράψει την χρήση υδραυλικών κινητήρων και ατμοκίνητων μηχανών στο πηδάλιο ενός πλοίου. Ο πρώτος ηλεκτροκίνητος σερβομηχανισμός κατασκευάστηκε το 1898 από τον Άγγλο H. Calendar.

Οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου και κυρίως σε εφαρμογές όπου απαιτείται έλεγχος ταχύτητας, θέσης και ροπής του άξονα του κινητήρα. Κλασσικά παραδείγματα είναι η χρησιμοποίηση τους σε ρομποτικούς βραχίονες, αυτόματες εργαλειομηχανές, τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα και σε αυτόματα συστήματα πλοήγησης πλοίων και αεροπλάνων.

Με την εξέλιξη των σερβοκινητήρων, η τεχνολογία πέρασε από τον κλασσικό έλεγχο ταχύτητας (speed control) στο συνολικό έλεγχο κίνησης (motion control). Αυτή η εφαρμογή ήταν καθοριστική τόσο για την εξέλιξη της ρομποτικής όσο και πολλών άλλων νέων τεχνολογιών.

1.2 Γενικά χαρακτηριστικά σερβοκινητήρων

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των σερβοκινητήρων είναι τα βελτιωμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, όπως η πυκνότητα ισχύος, η ροπή αδράνειας, ο βαθμός απόδοσης και χρησιμοποιούνται σε κινητήρια συστήματα υψηλών απαιτήσεων, όπου υπάρχει ανάγκη για μεγάλη ακρίβεια και γρήγορη ταχύτητα απόκρισης του συστήματος σε έλεγχο ροπής, ταχύτητας και θέσης. Ο σερβοκινητήρας ουσιαστικά μας δίνει τη 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 αισθητηρίου (resolver ή encoder) που ελέγχει με

συγκεκριμένες διαδικασίες την ταχύτητα και τη θέση του άξονα του κινητήρα. Τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε σερβοκινητήρα συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος είναι:

- Η ροπή του κινητήρα που είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης ελέγχου, η οποία αναπτύσσεται από τον ενισχυτή λόγω του σφάλματος στην είσοδο του.
- Η φορά της ροπής που καθορίζεται από την πολικότητα (στιγμιαία) της τάσης ελέγχου.

Ένας σερβοκινητήρας πρέπει να αναπτύσσει υψηλή ροπή ώστε να αλλάζει γρήγορα η ταχύτητα του, να περιστρέφεται σταθερά σε μεγάλη περιοχή ταχυτήτων και να έχει υψηλή ταχύτητα απόκρισης στις εντολές του συστήματος ελέγχου.

Οι σερβοκινητήρες δεν μπορούν να επιτελέσουν την τόσο σημαντική λειτουργία τους λειτουργώντας μεμονωμένα, αλλά αποτελούν το βασικό στοιχείο ενός συνολικού συστήματος αυτοματισμού που επιτελεί έλεγχο κίνησης. Στο συνολικό σερβοσύστημα εντάσσονται εκτός από τον 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 κατασκευαστικά μοιάζουν πολύ με τους κοινούς κινητήρες, παρόλα αυτά δεν είναι οι ίδιοι. Διαφέρουν στο ότι ενσωματώνουν διατάξεις μέτρησης και σύστημα ανάδρασης το οποίο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα σερβομηχανισμό οδήγησης με σκοπό να ελεγχθεί είτε η ροπή, είτε η ταχύτητα του, είτε η θέση του. Μερικές φορές μάλιστα, έχουμε σύνδεση ειδικών ανεμιστήρων ώστε να εξασφαλίζεται η ψύξη του κινητήρα στις χαμηλές στροφές. Οι διατάξεις μέτρησης και ανάδρασης συνήθως ελέγχουν τις διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος που οδηγούν το κινητήρα μέσω διαφόρων σημάτων και σε τυχόν εξωτερικές διαταραχές των παραμέτρων ταχύτητας, ροπής και θέσης ο σερβοκινητήρας αποκρίνεται ανάλογα και με γρήγορη ταχύτητα. Επίσης, η χρήση της ανάδρασης κάνει το σύστημα μας σχετικά ανεπηρέαστο σε πιθανές εξωτερικές διαταραχές και εσωτερικές μεταβολές των παραμέτρων του συστήματος.

Ο σερβομηχανισμός οδήγησης συνίσταται στο σερβοενισχυτή που αποτελεί ένα ξεχωριστό στοιχείο του σερβοσυστήματος. Ωστόσο το σύστημα ανάδρασης είναι ενσωματωμένο στο σερβοκινητήρα. Οι περισσότεροι σερβοκινητήρες φέρουν ενσωματωμένη μια παλμογεννήτρια αυξητικού ή απόλυτου τύπου και άλλα εξαρτήματα και συσκευές όπως: διάταξη απόσβεσης ταλαντώσεων, φρένο και κωδικοποιητή (Σχήμα 1.1). Αν η

Κωδικοποιητής



Σχήμα 1.1: Σερβοκινητήρας με σύστημα ψηκτών-συλλέκτη και ενσωματωμένο κωδικοποιητή, ταχογεννήτρια και φρένο.

παλμογεννήτρια είναι αυξητικού τύπου τότε παράγουν ένα συγκεκριμένο αριθμό παλμών ανά περιστροφή του άξονα του σερβοκινητήρα, ενώ αν είναι απολύτου θέσεως τότε δίνουν στην έξοδο 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 ξεκινούν από πλήρη ακινησία δηλαδή να έχουν μικρή ροπή αδράνειας και μεγάλη ροπή στρέψης. Για να τα επιτευχθούν αυτά τα δύο θα πρέπει:

- Ο δρομέας να έχει μεγάλο μήκος και μικρή διάμετρο.
- Να υπάρχουν περιελίξεις αντισταθμίσεως οι οποίες επιτρέποντας την ανάπτυξη μεγαλύτερων ρευμάτων αυξάνουν τη ροπή στρέψης.
- Να είναι μειωμένη η σταθερά χρόνου L/R του τυλίγματος του ρότορα.

1.3 Κατηγορίες σερβοκινητήρων

Οι σερβοκινητήρες διακρίνονται στις πιο κάτω κατηγορίες:

Πνευματικοί: κάνουν χρήση της πνευματικής ενέργειας που παρέχεται από ένα συμπιεστή και τη μετασχηματίζουν σε μηχανική ενέργεια με τη βοήθεια πιστονιών ή στροβίλων. Οι κινητήρες αυτοί παρουσιάζουν ιδιαίτερες δυσκολίες στον έλεγχο, εξαιτίας της αναπόφευκτης συμπίεσότητας του χρησιμοποιούμενου αερίου. Για το λόγο αυτό και δεν χρησιμοποιούνται συχνά, εκτός από εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή ακρίβεια, όπως το άνοιγμα και το κλείσιμο της αρπάγης του εργαλείου.

Υδραυλικοί: μετασχηματίζουν την υδραυλική ενέργεια μίας δεξαμενής σε μηχανική, με χρήση κατάλληλων αντλιών. Οι κινητήρες αυτοί μπορούν να υλοποιήσουν τόσο μεταφορική (χρήση ενός εμβόλου) όσο και περιστροφική κίνηση (χρήση αξονικών ή ακτινικών εμβόλων).

Ηλεκτρικοί: μετασχηματίζουν την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού σε μηχανική. Τα πιο συνηθισμένα είδη ηλεκτρικών κινητήρων είναι οι κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος που διακρίνονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος (Σχήμα 1.2) χωρίς σύστημα ψυκτρών-συλλέκτη (brushless dc servomotors), οι σύγχρονοι κινητήρες μαγνητικής αντίστασης και οι σύγχρονοι κινητήρες μόνιμων μαγνητών (permanent-magnet servomotors) (Σχήμα 1.3). Οι μαγνήτες που χρησιμοποιούνται στους σερβοκινητήρες είναι οι κεραμικοί μαγνήτες, οι μαγνήτες AlNiCo (αλουμινίου- νικελίου -κοβαλτίου), Σαμαρίου Κοβαλτίου και Νεοδύμιου (rare earth). Απαραίτητα συνοδευτικά εξαρτήματα αυτών των κινητήρων είναι ένας μετασχηματιστής, ένας ανορθωτής τάσης και ένας πυκνωτής. Τα εξαρτήματα αυτά μετασχηματίζουν την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου σε συνεχή κατάλληλου μεγέθους και στη συνέχεια την αποθηκεύουν.



Σχήμα 1.2: Σερβοκινητήρας συνεχούς ρεύματος μόνιμου μαγνήτη (brushless), σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος.



Σχήμα 1.3: Σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος μόνιμου μαγνήτη.

Οι υδραυλικοί και ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες παρουσιάζουν ποικίλα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα οποία αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για τη χρήση τους στις διάφορες εφαρμογές. Σε επίπεδο εγκατάστασης οι ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες εμφανίζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- ευρεία διάθεση της χρησιμοποιούμενης ηλεκτρικής ενέργειας
- χαμηλό κόστος και μεγάλη ποικιλία προϊόντων
- υψηλός συντελεστής μετατροπής ισχύος
- εύκολη συντήρηση
- δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον εργασίας
- είναι διαθέσιμοι σε ένα ευρύτερο φάσμα τιμών ισχύος

Ταυτόχρονα όμως παρουσιάζουν τους παρακάτω περιορισμούς:

- χρειάζονται ειδική προστασία, ειδικά όταν λειτουργούν σε εύφλεκτο περιβάλλον
- εξαιτίας της επίδρασης της βαρύτητας (π.χ. σε ένα ρομποτικό βραχίονα) μπορεί να προκληθεί βραχυκύκλωμα. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται η χρήση ειδικών φρένων

Από την άλλη πλευρά οι υδραυλικοί σερβοκινητήρες παρουσιάζουν αρκετά αξιοσημείωτα μειονεκτήματα. Τα πιο σημαντικά είναι:

- η ανάγκη ύπαρξης πηγής υδραυλικής ισχύος
- το υψηλό κόστος, μικρή ποικιλία προϊόντων και με ιδιαίτερες δυσκολίες κατασκευής τους σε μικρές διαστάσεις
- ο χαμηλός συντελεστής μετατροπής ισχύος
- οι αυξημένες ανάγκες συντήρησης

- η ρύπανση του περιβάλλοντος εργασίας εξαιτίας διαρροών υδραυλικού ρευστού
Παρόλα αυτά οφείλουμε να σημειώσουμε ότι οι υδραυλικοί κινητήρες:
 - δεν παρουσιάζουν προβλήματα βραχυκυκλώσεων
 - είναι αυτολυπαινόμενοι, με το υδραυλικό ρευστό να εκτελεί εκτός των άλλων χρέη ψυκτικού μέσου
 - είναι ιδιαίτερος ασφαλείς σε επικίνδυνα περιβάλλοντα
 - παρουσιάζουν πολύ υψηλές σχέσεις ισχύος-βάρους

Αν εξετάσουμε τις δύο παραπάνω κλάσεις κινητήρων από πλευράς λειτουργίας θα διαπιστώσουμε ότι και οι δύο τύποι σερβοκινητήρων παρουσιάζουν καλή δυναμική συμπεριφορά, αν και οι ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες εμφανίζουν μεγαλύτερη ευκολία ελέγχου. Η παρατήρηση αυτή σχετίζεται με την άμεση εξάρτηση της δυναμικής συμπεριφοράς των υδραυλικών σερβοκινητήρων από τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται το χρησιμοποιούμενο ρευστό. Επίσης οι ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες δίνουν χαμηλές ροπές σε υψηλές ταχύτητες, για αυτό και σε διάφορες εφαρμογές που απαιτούνται υψηλές ροπές σε χαμηλές ταχύτητες είναι αναγκαία η χρήση μειωτήρων. Από την άλλη, οι υδραυλικοί σερβοκινητήρες είναι σε θέση να δημιουργήσουν μεγάλες ροπές σε μικρές ταχύτητες, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται η ενδιάμεση χρήση μειωτήρων.

1.4 Ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες

Οι βασικότεροι τύποι ηλεκτρικών σερβοκινητήρων περιστροφικής κίνησης είναι οι εξής:

Κινητήρες συνεχούς ρεύματος: απαιτούν πιο απλό κι οικονομικό έλεγχο προσφέροντας ικανοποιητική δυναμική συμπεριφορά. Ωστόσο, έχουν μικρή πυκνότητα ισχύος, υψηλό κατασκευαστικό κόστος και κυρίως, υψηλό κόστος συντήρησης. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται ακόμη σε πολλά σερβοκινητήρια συστήματα, αλλά αντικαθίστανται συνεχώς από τους σημαντικά πλεονεκτικότερους σύγχρονους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη χωρίς συλλέκτη.

Σύγχρονοι κινητήρες μαγνητικής αντίστασης: αντέχουν σε θερμικές καταπονήσεις, έχουν μικρή αδράνεια και μικρό κόστος κατασκευής. Ωστόσο, μειονεκτούν ως προς το βαθμό απόδοσης και την πυκνότητα ισχύος σε σύγκριση με τους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη και συνεπώς έχουν περιορισμένη εφαρμογή ως σερβοκινητήρες. Οι κινητήρες μαγνητικής αντίστασης διακοπτικής διέγερσης έχουν απλή κατασκευή, μπορούν να αναπτύξουν πολύ μεγάλες ταχύτητες, έχουν απλό κι οικονομικό έλεγχο κι ανοχή σε σφάλματα φάσεων. Ωστόσο, παράγουν ταλαντώσεις ροπής κι έντονο ακουστικό θόρυβο με αποτέλεσμα η χρησιμοποίησή τους σε σερβοκινητήρια συστήματα να δικαιολογείται μόνο όταν τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν σε σύγκριση με τα μειονεκτήματα είναι σημαντικά για την εφαρμογή.

Σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη: είναι οι κινητήρες που συγκεντρώνουν τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά που απαιτεί ένα σερβοκινητήριο σύστημα, όπως μεγάλη πυκνότητα ισχύος, μικρή αδράνεια, σταθερή ροπή κι υψηλό βαθμό απόδοσης. Η τεχνική που χρησιμοποιείται συνήθως για τον έλεγχο των σερβοκινητήρων είναι η τεχνική του διανυσματικού ελέγχου, γιατί επιτυγχάνει ανεξάρτητο έλεγχο της διέγερσης ως προς τον έλεγχο του ρεύματος φορτίου. Έτσι, έχουμε άμεσο έλεγχο της ροπής με πολύ γρήγορη απόκριση του κινητήρα σε μεταβατικά φαινόμενα (γρήγορες επιταχύνσεις κι επιβραδύνσεις του κινητήρα) καθώς και ακρίβεια σε έλεγχο ταχύτητας και θέσης.

Επαγωγικοί ή ασύγχρονοι κινητήρες: έχουν μικρό κόστος κατασκευής και σχετικά μικρή ροπή αδράνειας, αλλά κυρίως μειονεκτούν ως προς τη πυκνότητα ισχύος σε σύγκριση με τους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη. Επίσης, στους επαγωγικούς κινητήρες είναι περισσότερο πολύπλοκη η εφαρμογή του διανυσματικού ελέγχου κι η υλοποίησή του εξαρτάται από τις παραμέτρους της μηχανής. Οι επαγωγικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα μεταβλητής ταχύτητας βαθμωτού ελέγχου V/f , ενώ η χρήση τους ως σερβοκινητήρες είναι περιορισμένη.

1.5 Σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος

Οι σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος μπορούν να είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί. Οι μονοφασικοί αποτελούνται από δύο τυλίγματα στο στάτη με τέτοια τοποθέτηση, ώστε να παρουσιάζουν διαφορά φάσεως 90 μοιρών με 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. Οι μονοφασικοί σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως σε οικιακές συσκευές, όπως ψυγεία κ.α.

Οι τριφασικοί σερβοκινητήρες αποτελούνται από δύο τυλίγματα εναλλασσόμενου ρεύματος, ένα στο στάτη και ένα στο δρομέα. Το τύλιγμα του στάτη είναι γνωστό και ως τύλιγμα τυμπάνου. Κατασκευαστικά το τύλιγμα του στάτη αποτελείται από τρία όμοια διανεμημένα μονοφασικά τυλίγματα, τοποθετημένα στο χώρο σχηματίζοντας μεταξύ τους γωνίες 120 μοιρών. Ο αριθμός των πόλων των τυλιγμάτων αυτών, για δεδομένη συχνότητα τροφοδοσίας, καθορίζει τις ονομαστικές στροφές του κινητήρα. Ανάλογα δε με τις τάσεις τροφοδοσίας και τον τύπο του κινητήρα, τα τυλίγματα του στάτη συνδέονται είτε σε αστέρα είτε σε τρίγωνο. Με τους τριφασικούς κινητήρες μπορούμε να επιτύχουμε υψηλότερη αποδοτικότητα και καλύτερο έλεγχο της κίνησης. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές.

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.

Οι σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος ποικίλλουν ανάλογα με την ταχύτητα του άξονα, τη ροπή, την τάση του ρεύματος, και την ισχύ εξόδου. Τέλος, οι αναστρεφόμενοι σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, έχουν τη δυνατότητα να επιτυγχάνουν ωρολογιακή και αντωρολογιακή περιστροφή με τα ίδια σχεδόν χαρακτηριστικά λειτουργίας.

1.6 Σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος

Οι μονοφασικοί σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος (Σχήμα 1.4) είναι βασικά τεσσάρων τύπων:

1. 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 V_e . 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 καθώς αυξάνει η γωνιακή ταχύτητα ω του κινητήρα.

2. Ο δεύτερος τύπος σερβοκινητήρα είναι ο ελεγχόμενος από το στάτορα. Σε 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 στάτορα. 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 αντιηλεκτρεγερτική δύναμη.
3. 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. Η ροπή στρέψης 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.
4. 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 κινητήρες παράλληλης διέγερσης και λόγω του μικρού όγκου του χρησιμοποιείται σε Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου πάνω σε αεροπλάνα. Ο μικρός όγκος του κινητήρα πετυχαίνεται με ειδικό κράμα μόνιμου μαγνήτη.



Σχήμα 1.4: Διάφορα είδη σερβοκινητήρων συνεχούς ρεύματος.

1.7 Κριτήρια επιλογής σερβοκινητήρων

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, τα είδη των σερβοκινητήρων ποικίλλουν. Κατά την επιλογή του καταλληλότερου κινητήρα για την υλοποίηση μίας συγκεκριμένης εφαρμογής, υπάρχουν κάποια κριτήρια τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Για παράδειγμα, η ταχύτητα απόκρισης, η ακρίβεια και το σφάλμα που οφείλεται σε εξωτερική διαταραχή, σε συνδυασμό με το κόστος, τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία του κινητήρα. Επίσης, η επιλογή ενός σερβοκινητήρα γίνεται έχοντας υπόψη ότι η ισχύς του θα πρέπει να καλύπτει την ισχύ του φορτίου (ωφέλιμη) αλλά 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 δρομέα και στο φορτίο. Η κατηγοριοποίηση των σερβοκινητήρων, γίνεται συνήθως βάση της ταχύτητας και του βάρους τους.

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σημαντική προσπάθεια για βελτίωση της απόδοσης των σερβοκινητήρων και για αυτό το λόγο δημιουργήθηκε μία ευρεία ποικιλία, με συγκρίσιμα μεταξύ τους χαρακτηριστικά και για διάφορες τιμές ισχύος. Στο παρελθόν οι υδραυλικοί σερβοκινητήρες μονοπωλούσαν το ενδιαφέρον, κυρίως λόγω της υψηλής ισχύος που είχαν σε σχέση με το βάρος ή το μέγεθος τους. Όμως τα διάφορα προβλήματα και απαιτήσεις, όπως για παράδειγμα η ανάγκη υδραυλικής μονάδας, οδήγησαν τους κατασκευαστές στους ηλεκτρικούς κινητήρες. Ο καλύτερος σχεδιασμός και κατασκευή, η αντοχή σε μεγαλύτερες υπερφορτώσεις για εύλογα χρονικά διαστήματα, καθώς και πολλά άλλα πλεονεκτήματα, έχουν καταστήσει τους ηλεκτρικούς κινητήρες πιο ελκυστικούς για τον χρήστη.

Σε πλήθος εφαρμογών πρέπει να επιλέγει όχι μόνο ο σερβοκινητήρας, αλλά και το σύστημα σερβοκίνησης του οποίου τμήματα είναι η διάταξη ανάδρασης (της θέσης, ταχύτητας, ροπής) και η διάταξη τροφοδοσίας. Χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος σερβοκίνησης για κάθε εφαρμογή.

1.8 Σύγκριση βασικών τύπων σερβοκινητήρων

Η επιλογή του σερβοκινητήρα εξαρτάται από κάποια συγκεκριμένα κριτήρια και την προτεραιότητα τους στην εφαρμογή όπου θα χρησιμοποιηθεί, συμπεριλαμβανομένης της ταχύτητας απόκρισης, της επίδρασης σε εξωτερική ροπή, του μεγέθους, του κόστους, του κόστους λειτουργίας, της αξιοπιστίας και της διαθεσιμότητας. Όπως θα δούμε και πιο κάτω, απαραίτητο κριτήριο στην επιλογή ενός συγκεκριμένου κινητήρα για την κάλυψη των απαιτήσεων της εφαρμογής ως προς τη δυναμική συμπεριφορά, είναι η σύγκριση της ταχύτητας απόκρισης και της επίδρασης της εξωτερικής ροπής μεταξύ των διάφορων τύπων σερβοκινητήρων. Στα διαγράμματα που ακολουθούν οι αριθμοί αντιστοιχούν στους πιο κάτω τύπους σερβοκινητήρων:

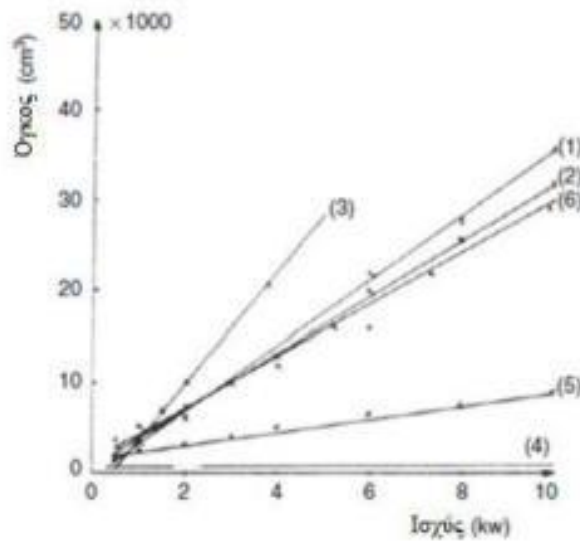
1. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος κεραμικού μαγνήτη
2. Επαγωγικοί κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος
3. Βηματικοί σερβοκινητήρες
4. Ηλεκτροϋδραυλικοί σερβοκινητήρες
5. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος με μαγνήτη Νεοδυμίου (rare earth magnet)
6. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύκτρες (brushless)

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι στα διαγράμματα αυτά θεωρείται κοινή ονομαστική ταχύτητα 1500 rpm και ονομαστική ισχύς μέχρι 10KW για όλους τους τύπους σερβοκινητήρων.

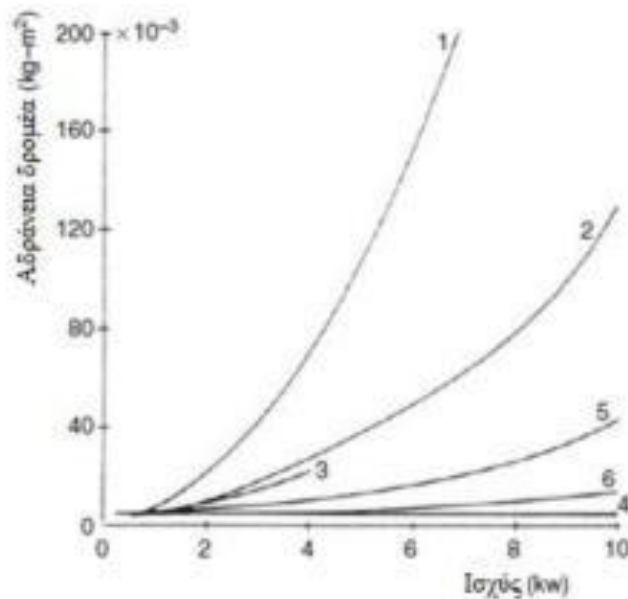
Στο πρώτο διάγραμμα (Σχήμα 1.5), φαίνεται η μεταβολή του όγκου σε σχέση με την ονομαστική ισχύ του κάθε σερβοκινητήρα. Παρατηρούμε ότι οι υδραυλικοί κινητήρες έχουν τον μικρότερο όγκο για μια δεδομένη ισχύ, χωρίς να περιλαμβάνεται ο όγκος του τροφοδοτικού. Επίσης, η ευθεία γραμμή δείχνει ότι ο μικρότερος υδραυλικός κινητήρας μπορεί να παράγει ισχύ μέχρι 10 KW, κάτι το οποίο μπορεί να αποτελεί μειονέκτημα για τους υδραυλικούς σερβοκινητήρες. Όσο αφορά τους ηλεκτρικούς σερβοκινητήρες, την μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με το μέγεθος, παράγουν οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος με μαγνήτη Νεοδυμίου. Δεν περιλαμβάνεται ούτε εδώ ο όγκος της μονάδας ισχύος, η οποία δεν πρέπει να είναι πάρα πολύ μεγάλη. Στην συνέχεια ακολουθούν οι σερβοκινητήρες συνεχούς

ρεύματος χωρίς ψύκτρες (brushless) και οι επαγωγικοί σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.

Αμέσως μετά έχουμε τους σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος κεραμικού μαγνήτη που έχουν μεγαλύτερο όγκο σε σχέση με την ονομαστική ισχύ, από ότι οι επαγωγικοί σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι βηματικοί κινητήρες δεν είναι πολύ αποτελεσματικοί αφού όσο αυξάνεται η ισχύς αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό και το όγκος και μόνο σε μικρές τιμές ονομαστικής ισχύος μπορούν να συναγωνιστούν με τους άλλους τύπους κινητήρες. Σε πολύ χαμηλές τιμές ονομαστικής ισχύος, η αναλογία όγκου και ισχύος είναι παρόμοια για όλους τους τύπους σερβοκινητήρες και σε αυτές τις περιπτώσεις η επιλογή του κινητήρα εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα απόκρισης και την επίδραση εξωτερικής ροπής.



Σχήμα 1.5: Διάγραμμα του όγκου(μεγέθους)-ισχύος για τους διάφορους τύπους σερβοκινητήρων.



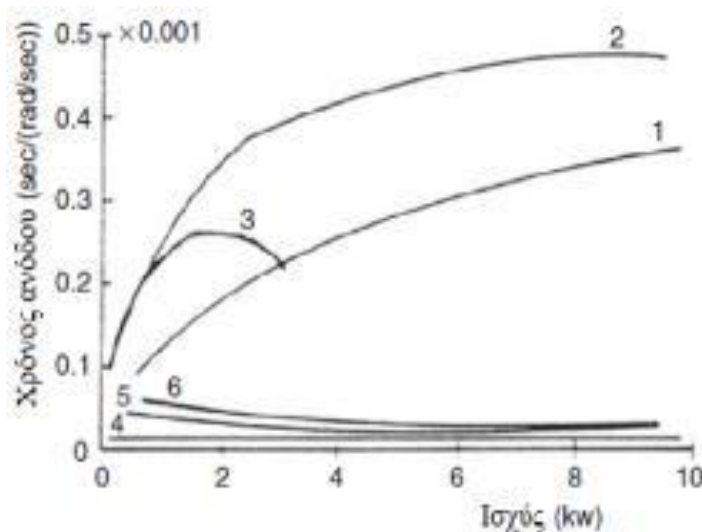
Σχήμα 1.6: Διάγραμμα αδράνειας δρομέα-ισχύος για τους διάφορους τύπους σερβοκινητήρων.

Η ταχύτητα απόκρισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από την αδράνεια του σερβοσυστήματος (Σχήμα. 1.6). Στο σχήμα αυτό συγκρίνεται η αδράνεια του κάθε σερβοκινητήρα χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η αδράνεια στον άξονα του. Παρατηρούμε ότι για διάφορες τιμές ισχύος οι υδραυλικοί κινητήρες έχουν τη μικρότερη αδράνεια. Από τους ηλεκτρικούς κινητήρες, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύκτρες είναι αυτοί που έχουν την μικρότερη αδράνεια και αποτελούν την αντικατάσταση των υδραυλικών κινητήρων όταν λαμβάνεται υπόψη η ταχύτητα απόκρισης, αφού όταν έχουμε μικρότερη αδράνεια αυξάνεται η δυνατότητα για γρήγορη απόκριση

Οι βηματικοί σερβοκινητήρες είναι διαθέσιμοι μόνο για χαμηλές τιμές ονομαστικής ισχύος και η αδράνεια τους είναι υψηλότερη από αυτή των υδραυλικών κινητήρων, των κινητήρων συνεχούς ρεύματος χωρίς σύστημα ψυκτών-συλλέκτη και των κινητήρων συνεχούς ρεύματος με 'rare earth' μαγνήτη

Η αδράνεια των επαγωγικών κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος για μικρές τιμές ονομαστικής ισχύος είναι μικρή και αυξάνεται ραγδαία καθώς αυξάνεται και η ονομαστική ισχύς. Η αδράνεια των σερβοκινητήρων συνεχούς ρεύματος κεραμικού μαγνήτη, για χαμηλές τιμές ισχύος, είναι παρόμοια με την αδράνεια των άλλων σερβοκινητήρων αλλά αυξάνεται ραγδαία καθώς αυξάνεται η ονομαστική τιμή ισχύος.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 1.7 παρουσιάζεται ο χρόνος ανόδου (saturated setting time) των σερβοκινητήρων σε σχέση με την ισχύ, χωρίς αδράνεια φορτίου. Χρόνος ανόδου είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε η έξοδος να αποκτήσει για πρώτη φορά την τιμή της μόνιμης κατάστασης ισορροπίας, δηλαδή την τιμή του βηματικού σήματος εισόδου. Παρατηρώντας το σχήμα, διαπιστώνουμε ότι οι υδραυλικοί σερβοκινητήρες έχουν μικρότερο χρόνο ανόδου σε σχέση με τους ηλεκτρικούς σερβοκινητήρες. Η αντικατάσταση των υδραυλικών κινητήρων από ηλεκτρικούς κινητήρες θα είναι καλύτερη για εφαρμογές με χαμηλές τιμές ισχύος. Όσο αφορά τους ηλεκτρικούς κινητήρες, τον ταχύτερο χρόνο απόκρισης έχουν οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη Νεοδυμίου και οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύκτρες και στη συνέχεια ακολουθούν οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος κεραμικού μαγνήτη, οι βηματικοί κινητήρες και οι επαγωγικοί σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος.



Σχήμα 1.7: Διάγραμμα χρόνου ανόδου-ισχύος για τους διάφορους τύπους σερβοκινητήρων χωρίς αδράνεια φορτίου.

Όπως είναι αναμενόμενο, κανένας σερβοκινητήρας δεν υπερέχει σε όλα τα πιο πάνω χαρακτηριστικά και η καταλληλότητα του εξαρτάται κυρίως από την εφαρμογή που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Όσο αφορά το φορτίο αδράνειας και την απαιτούμενη ισχύ της εφαρμογής, διακρίνουμε τις πιο κάτω γενικές περιπτώσεις:

1. Μικρό φορτίο αδράνειας και χαμηλή ισχύς: Για αυτούς τους τύπους εφαρμογών, οι υδραυλικοί κινητήρες παρέχουν την υψηλότερη ταχύτητα απόκρισης. Οι πιο ανταγωνιστικοί κινητήρες, ως προς τον υδραυλικό κινητήρα, είναι οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος με μαγνήτες Νεοδυμίου και οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς σύστημα ψύκτρων-συσλλέκτη. Η επίδραση της εξωτερικής ροπής σχετικά με την ταχύτητα ενός υδραυλικού κινητήρα είναι μεγαλύτερη από ότι τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος και συνεχούς ρεύματος κεραμικού μαγνήτη και οι βηματικοί κινητήρες έχουν χαμηλότερη ταχύτητα απόκρισης από τους υδραυλικούς κινητήρες και τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος με μαγνήτες Νεοδυμίου.

2. Μεγάλο φορτίο αδράνειας και χαμηλή ισχύς: Υπό αυτές τις συνθήκες, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος παρέχουν την καλύτερη ταχύτητα απόκρισης. Ακολουθούν οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος, οι υδραυλικοί κινητήρες και μετά οι βηματικοί κινητήρες. Η επίδραση εξωτερικής ροπής είναι μικρότερη στους υδραυλικούς από ότι στους ηλεκτρικούς κινητήρες.

3. Μικρό φορτίο αδράνειας και υψηλή ισχύς: Σε αυτή τη περίπτωση οι υδραυλικοί κινητήρες παρέχουν την μεγαλύτερη ταχύτητα απόκρισης. Ακολουθούν οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος και οι βηματικοί κινητήρες οι οποίοι έχουν την μικρότερη ταχύτητα αντίδρασης. Όταν όμως έχουμε υψηλά ποσοστά ισχύος, τότε οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος συναγωνίζονται τους συμβατικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Η επίδραση εξωτερικής ροπής είναι μικρότερη στους ηλεκτρικούς κινητήρες, από ότι στους υδραυλικούς κινητήρες.

4. Μεγάλο φορτίο αδράνειας και υψηλή ισχύς: Υπό αυτές τις συνθήκες, οι ηλεκτρικοί κινητήρες παράγουν μεγαλύτερη ταχύτητα απόκρισης από ότι οι υδραυλικοί κινητήρες, ενώ ακολουθούν οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος μαζί με τους συμβατικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Η επίδραση εξωτερικής ροπής είναι μικρότερη στους υδραυλικούς κινητήρες.

Εάν για μία συγκεκριμένη εφαρμογή, η χρήση σερβοκινητήρων ικανοποιεί τις απαιτήσεις δυναμικής συμπεριφοράς, τότε η τελική απόφαση εξαρτάται συνήθως από το κόστος, την αξιοπιστία, και τη διαθεσιμότητα του κάθε κινητήρα.

1.9 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σερβοκινητήρων

Πλεονεκτήματα:

- Ο σερβοκινητήρας έχει την ικανότητα να προσδίδει μεγάλη ροπή (ή επιτάχυνση) κατά τη στιγμή της εκκίνησης και έχει πολύ μικρή ροπή αδράνειας. Δηλαδή στους σερβοκινητήρες ο λόγος “ροπή εκκίνησης/ροπή αδράνειας” είναι πολύ μεγάλος πράγμα που δεν συμβαίνει στους κοινούς κινητήρες.
- Δυνατότητα περιστροφής σε υψηλές ταχύτητες.
- Δυνατότητα παραγωγής μεγάλων τιμών ροπής.
- Η μεγάλη αυτή μηχανική ροπή τον καθιστά ικανό να οδηγήσει βαριά φορτία.
- Έχει μικρή καθυστέρηση το οποίο συνεπάγεται γρήγορο χρόνο αντίδρασης.

- Έχει αρνητική ανατροφοδότηση η οποία εξασφαλίζει καλύτερο έλεγχο της λειτουργίας του (μείωση της ευαισθησίας του συστήματος σε μεταβολές των παραμέτρων ή σε ανεπιθύμητες διαταραχές - αυτό βέβαια είναι για ελεγκτές)
- Ελέγχεται εύκολα από τους σύγχρονους ελεγκτές ρομποτικών εφαρμογών.
- Υψηλή αποδοτικότητα. Σε μικρά φορτία μπορεί να πλησιάσει και το 90%.
- Μεγάλη ποικιλία εμπορικών μοντέλων και σε διάφορα μεγέθη.
- Δεν παρουσιάζουν προβλήματα κραδασμών και παράγουν ελάχιστο θόρυβο σε σχέση με άλλους κινητήρες.

Μειονεκτήματα:

- Χρειάζεται μεγάλη ένταση ρεύματος για να εκκινήσει.
- Το κόστος του συστήματος σερβοκίνησης είναι υψηλό. Περιλαμβάνει το κόστος του σερβοκινητήρα, της διάταξης τροφοδοσίας και της διάταξης ελέγχου.
- Υπάρχει πιθανότητα δυσλειτουργίας, εφόσον υπερφορτωθεί μηχανικά.
- Υψηλή κατανάλωση.
- Δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε σύστημα ανοικτού βρόχου αφού απαιτείται ανατροφοδότηση. Το σύστημα κλειστού βρόχου μπορεί να αποτελέσει μειονέκτημα για τον κινητήρα, σε περιπτώσεις όπου ένα φυσικό εμπόδιο εμποδίζει την πορεία της κίνησης.
- Η πολυπλοκότητα του ελέγχου σε σχέση με άλλους κινητήρες.

1.10 Τομείς εφαρμογών σερβοκινητήρων

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. Οι περισσότερες από αυτές αναφέρονται σε εξελιγμένη αυτοματοποίηση κατασκευαστικών διαδικασιών και στη μεταφορά και συσκευασία υλικών και προϊόντων. Οι σερβομηχανισμοί χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στον ναυτικό εξοπλισμό πλοήγησης και σε στρατιωτικές εφαρμογές ελέγχου πυρός. Σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως σε αυτόματες εργαλειομηχανές, σε δορυφορικές κεραίες ανίχνευσης, στον απομακρυσμένο έλεγχο αεροπλάνων, σε αυτόματα συστήματα πλοήγησης σε πλοία και αεροπλάνα (cruise control), καθώς και σε αντιαεροπορικά οπτικά συστήματα ελέγχου. Ένα παράδειγμα εφαρμογής στα αεροσκάφη, είναι τα συστήματα “fly-by-wire” που χρησιμοποιούν τους σερβομηχανισμούς για να ενεργοποιούν τις επιφάνειες ελέγχου του αεροσκάφους. Τα τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα στις αντίστοιχες εφαρμογές χρησιμοποιούν RC servos.

Οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται επίσης σε διάφορους βιομηχανικούς μηχανισμούς ώστε να εκτελούν περίπλοκες κινήσεις. Οι αισθητήρες κίνησης που είναι ενσωματωμένοι στους κινητήρες αυτούς, τους καθιστούν κατάλληλους σε εφαρμογές όπου απαιτείται ελεγχόμενη κίνηση.

Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη του τομέα της ρομποτικής οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται διαρκώς σε διάφορες ρομποτικές εφαρμογές (π.χ. ρομποτικοί βραχίονες) αλλά και σε αυτόνομους ρομποτικούς μηχανισμούς ή ρομποτικά συστήματα. 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, οι σερβοκινητήρες κατέχουν εξέχοντα ρόλο στην αναβάθμιση των παραδοσιακών εργαλειομηχανών σε εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου (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 συρματουργίας.

Μία άλλη συχνή εφαρμογή των σερβομηχανισμών είναι η χρησιμοποίησή τους στις φωτογραφικές μηχανές αυτόματης εστίασης, όπου κινούν με ακρίβεια το φακό, και ως εκ τούτου να ρυθμίζουν την εστίαση. Επίσης, βρίσκουν εφαρμογή σε οτιδήποτε έχει να κάνει με τηλεχειριζόμενη κίνηση, από απλά παιχνίδια μικρών παιδιών μέχρι πιο προηγμένα και πολύπλοκα μοντέλα. Συγκεκριμένα, οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται σε τηλεχειριζόμενα οχήματα ώστε να κινούν με ακρίβεια τις επιφάνειες ελέγχου. Για παράδειγμα μπορούν να ελέγχουν την κλίση ενός αεροσκάφους και το πηδάλιο ενός πλοίου ή στα τηλεχειριζόμενα αυτοκίνητα, να ελέγχουν το γκάζι, τα φρένα, τη διεύθυνση και τις ταχύτητες.

Οι σερβοκινητήρες διευρύνουν την εφαρμογή τους στον κατασκευαστικό τομέα της βιομηχανίας χρησιμοποιούμενοι σε μηχανές που κάνουν επεξεργασία χαρτιού, ξύλου και μαρμάρου. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζουν στις μηχανές παραγωγής πλαστικών προϊόντων (extruders, μηχανές blow, κ.λπ.). Ειδικές εφαρμογές βρίσκουν και σε 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'. Τέλος, χρησιμοποιούνται σε μηχανές συσκευασίας, σε καρτονέττες, σε ετικέτες και σε γεμιστικά μηχανήματα χύδην, στερεών και υγρών προϊόντων.

1.10.1 Εφαρμογές σερβοκινητήρων στην ρομποτική

Για την πραγματοποίηση της επιθυμητής κίνησης ενός ρομποτικού μηχανισμού απαιτείται η συνδυασμένη κίνηση των αρθρώσεών του. Αυτή επιτυγχάνεται με την χρήση σερβοκινητήρων, οι οποίοι και κινούν συνολικά ένα μηχανικό σύστημα. Οι σερβοκινητήρες που χρησιμοποιούνται στις συνήθεις ρομποτικές εφαρμογές αποτελούν εξέλιξη των κινητήρων που επί σειρά ετών χρησιμοποιούνταν σε εφαρμογές βιομηχανικού αυτοματισμού. Στις ρομποτικές εφαρμογές οι κινητήρες χρειάζεται να πληρούν ορισμένες επιπλέον απαιτήσεις σε σχέση πάντα με τις συμβατικές βιομηχανικές εφαρμογές. Απαιτήσεις για χαμηλή αδράνεια και μεγάλη σχέση ισχύος-βάρους, ικανότητα ανάπτυξης υψηλών επιταχύνσεων, δυνατότητα λειτουργίας σε ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων, ακρίβεια, παρακολούθηση της επιβαλλόμενης τροχιάς και συνεχή περιστροφή ακόμα και σε χαμηλές ταχύτητες λειτουργίας. Οι σερβοκινητήρες πληρούν όλες αυτές τις απαιτήσεις και είναι οι καταλληλότεροι κινητήρες για εφαρμογές στον τομέα της ρομποτικής.

Οι σερβοκινητήρες έχουν πολύ μεγάλη σημασία στον τομέα της ρομποτικής, καθώς διευκολύνουν την ευφυή και φυσική κίνηση. Χρησιμοποιούνται σε ρομποτικά συστήματα όλων των ειδών και μπορούν να διαβιβάζουν πληροφορίες σχετικά με την περιστροφή του κινητήρα στον άξονά του, με αποτέλεσμα το ρομπότ να μπορεί να 'γνωρίζει' τις κινήσεις των διαφόρων μερών του. Για εφαρμογές μικρότερης κλίμακας μεγέθους χρησιμοποιούνται συνήθως οι RC servos και παρόλο που είναι πολύ μικροί είναι εξαιρετικά ισχυροί, κάτι που τους καθιστά ιδανικούς για χρήση στα διάφορα ρομποτικά μοντέλα, όπως για παράδειγμα

στους ρομποτικούς βραχίονες, (Σχήμα 1.8). Η κατανάλωση ενέργειας ενός σερβοκινητήρα είναι γενικά χαμηλή, εφόσον καταναλώνει μόνο ενέργεια σε σχέση με το μηχανικό του φορτίο, καθιστώντας τον έτσι ιδανικό και για χρήση σε ρομποτικά συστήματα που λειτουργούν με μπαταρία.

Οι σερβοκινητήρες που χρησιμοποιούνται στις ρομποτικές εφαρμογές μπορεί να είναι τριών ειδών: πνευματικοί, υδραυλικοί ή ηλεκτρικοί σερβοκινητήρες. Στους ρομποτικούς βραχίονες που είναι επιφορτισμένοι με τη διακίνηση μεγάλων ωφέλιμων φορτίων, συνήθως κρίνεται απαραίτητη η χρήση υδραυλικών σερβοκινητήρων. Στην περίπτωση αυτή οι υδραυλικοί σερβοκινητήρες όχι μόνο είναι πιο κατάλληλοι από τους αντίστοιχους ηλεκτρικούς, αλλά επιπλέον το κόστος της υδραυλικής εγκατάστασης αποτελεί ένα σχετικά μικρό ποσοστό της συνολικής επένδυσης του ρομποτικού συστήματος. Πάντως σε όλες εκείνες τις εφαρμογές που δεν έχουμε μεγάλα ωφέλιμα φορτία, προτιμάται η χρήση ηλεκτρικών σερβοκινητήρων. Οι τελευταίοι μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκουν στο μηχανολογικό υποσύστημα του ρομπότ, είναι όμως εύλογο να θεωρηθεί ότι αποτελούν ένα ξεχωριστό υποσύστημα.



Σχήμα 1.8: Ρομποτικός βραχίονας τεσσάρων αξόνων με χρήση RC servo.



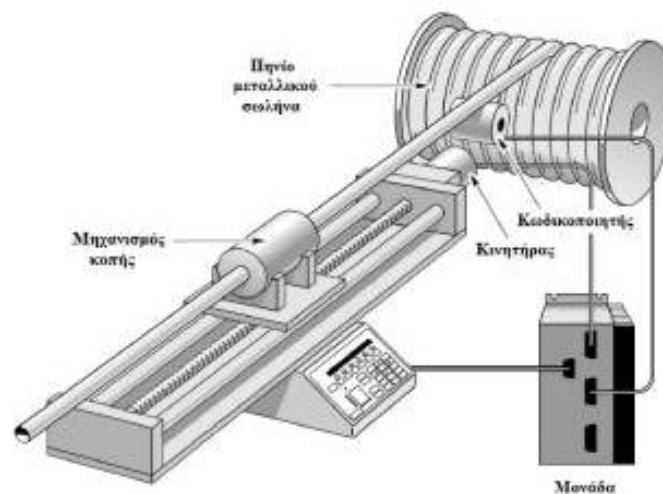
Σχήμα 1.9: Ρομποτικό σύστημα υποβοήθησης χειρουργικών επεμβάσεων PUMA 200.

Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της βιοϊατρικής τεχνολογίας, οι σερβοκινητήρες έχουν μεγάλη εφαρμογή στην ιατρική και συγκεκριμένα στα ιατρικά ρομποτικά συστήματα. Παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος είναι το σύστημα υποβοήθησης χειρουργικών επεμβάσεων PUMA, (Σχήμα 1.9), το οποίο διαθέτει έξι βαθμούς ελευθερίας και οι κινήσεις του εκτελούνται από σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος. Το PUMA είναι ένα προγραμματιζόμενο, ελεγχόμενο από υπολογιστή ρομπότ που σχεδιάστηκε για να υποβοηθά το χειρουργό κατά τη διάρκεια επεμβάσεων νευροχειρουργικής. Παρέχει ακριβή, λεπτή εργασία και την απαιτούμενη σταθερότητα με τη βοήθεια στερεοστατικού πλαισίου και εικόνων αξονικής τομογραφίας.

1.10.2 Χρήση σερβοκινητήρων σε βιομηχανικούς μηχανισμούς

Μηχανισμός κοπής μεταλλικών σωλήνων

Στην πιο κάτω εφαρμογή, (Σχήμα 1.10), παρουσιάζεται ένας κόπτης μετάλλων του οποίου ο μηχανισμός κίνησης ελέγχεται από ένα σερβοκινητήριο σύστημα. Όπως παρατηρούμε, ένας μηχανισμός κοπής τροφοδοτείται διαρκώς με μεταλλικούς σωλήνες μέσω ενός ειδικού “πηνίου”. Η περιστρεφόμενη λεπίδα του μηχανισμού κοπής, προκειμένου να ολοκληρώσει μία κοπή πρέπει να περιστραφεί αρκετές φορές γύρω από τον σωλήνα. Για να έχουμε όμως μέγιστη απόδοση του μηχανήματος, ο μεταλλικός σωλήνας δεν πρέπει να σταματά όταν γίνεται ο τεμαχισμός. Έτσι για να έχουμε ένα καθαρό τεμαχισμό, η λεπίδα θα πρέπει να προχωράει παράλληλα με το μεταλλικό σωλήνα, ενώ η κοπή διεξάγεται.



Σχήμα 1.10: Μηχανισμός κοπής μεταλλικών σωλήνων με χρήση σερβοκινητήριου συστήματος.

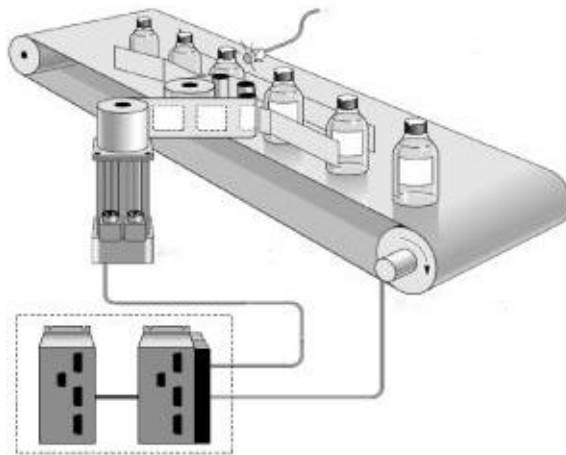
Η μονάδα ελέγχου λαμβάνει πληροφορίες για την κίνηση του σωλήνα από ένα εξωτερικό κωδικοποιητή και ταυτόχρονα καταγράφει το μήκος του σωλήνα που περνάει από την περιστρεφόμενη λεπίδα. Μόλις καταγραφεί το απαιτούμενο μήκος για κοπή, το σερβοκινητήριο σύστημα επιταχύνει το κοπτικό μηχανισμό μέχρι να αποκτήσει ίση ταχύτητα με αυτή του σωλήνα και στέλνει σήμα για να ξεκινήσει η κοπή.

Μηχανισμός τοποθέτησης ετικετών σε φιάλες

Η εφαρμογή αυτή είναι ένας μηχανισμός σήμανσης που εφαρμόζει ετικέτες πάνω σε φιάλες, οι οποίες κινούνται πάνω σε ένα ιμάντα μεταφοράς, (Σχήμα 1.11). Η απόσταση μεταξύ των φιαλών δεν είναι σταθερή και για αυτό ο ιμάντας μπορεί να επιβραδύνει, να επιταχύνει ή να σταματήσει οποιαδήποτε στιγμή. Ο μηχανισμός αυτός πρέπει να είναι σε θέση να εφαρμόζει με ακρίβεια τις ετικέτες πάνω στις κινούμενες φιάλες και να λειτουργεί για όλες τις ταχύτητες. Για την υλοποίηση του μηχανισμού αυτού είναι απαραίτητη η χρήση μίας μονάδας ελέγχου η οποία θα μπορεί να δεχτεί είσοδο από ένα κωδικοποιητή αναρτημένο στον ιμάντα μεταφοράς και να λαμβάνει όλες τις ταχύτητες και τις αποστάσεις από το ρολό των ετικετών.

Το σερβοσύστημα είναι απαραίτητο γιατί παράγει κατάλληλη ροπή και ταχύτητα, ώστε να ξεπεραστούν οι υψηλές τριβές κατά την εφαρμογή των ετικετών αλλά και η αδράνεια των μεγάλων ρολών.

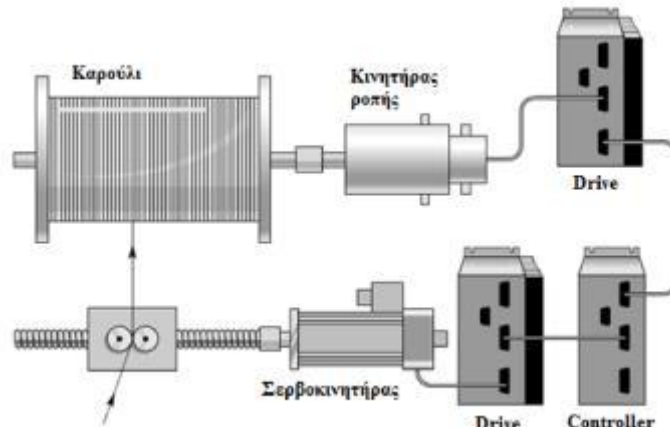
Οι θέσεις των φιαλών πάνω στον ιμάντα μεταφοράς καταγράφονται από φωτοαισθητήρα ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τη μονάδα ελέγχου. Μόλις η πρώτη ακμή της ετικέτας έρθει σε επαφή με τη φιάλη, η μονάδα ελέγχου δίνει εντολή στον σερβοκινητήρα να επιταχυνθεί με ταχύτητα ίση με αυτήν της γραμμής μεταφοράς. Ο σερβοκινητήρας συνεχίζει να κινείται με αυτή τη ταχύτητα μέχρι να εφαρμοστεί πλήρως η ετικέτα και στη συνέχεια επιβραδύνει ως ένα σημείο περιμένοντας την επόμενη φιάλη.



Σχήμα 1.11: Μηχανισμός τοποθέτησης ετικετών σε φιάλες με χρήση σερβοκινητήριου συστήματος.

Μηχανισμός περιτυλίξεως νήματος

Μία άλλη συχνή εφαρμογή των σερβοκινητήρων είναι στον μηχανισμό περιτυλίξεως νήματος (filament winding), (Σχήμα 1.12). Το προϊόν τυλίγεται σε ένα καρούλι που περιστρέφεται με μέγιστη ταχύτητα 2000 rpm και σταθερό ρυθμό. Στον συγκεκριμένο μηχανισμό (Parker Motion & Control application), η ένταση στο νήμα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,2 lbs και 0,6 lbs ώστε να μην είναι τεντωμένο και η διάμετρος περιτυλίξεως κυμαίνεται μεταξύ 2" και 4". Το νήμα τυλίγεται πάνω στο καρούλι με τη βοήθεια ενός ειδικού βραχίονα, ο οποίος ταλαντώνεται μπρος-πίσω με σταθερή ταχύτητα και αντιστρέφεται στο τέλος της κάθε κίνησης. Η απαιτούμενη ταχύτητα του κοχλία κίνησης (ball screw) είναι 60 rpm.



Σχήμα 1.12: Μηχανισμός περιτυλίξεως νήματος (filament winding).

Η πρωταρχική απαίτηση της κίνησης της μπομπίνας (καρούλι), είναι να παρέχει μια ελεγχόμενη ένταση, που σημαίνει ότι είναι απαραίτητος ο έλεγχος ροπής και όχι ο έλεγχος ταχύτητας. Αν ο κινητήρας παράγει σταθερή ροπή, η ένταση στο νήμα θα είναι αντιστρόφως ανάλογη με την διάμετρο περιτυλίξεως. Δεδομένου ότι η διάμετρος περιτυλίξεως είναι 2:1, η ένταση από την αρχή μέχρι το τέλος θα μειωθεί κατά 50%. Για να είναι αποδεκτή η λειτουργία σταθερής ροπής, η 3:1 ένταση είναι αρκετή. (Για να διατηρηθεί σταθερή ένταση, η ροπή πρέπει να αυξάνεται ανάλογα με την διάμετρο περιτυλίξεως). Η απαίτηση αυτή οδηγεί στη χρήση σερβοκινητήρα με λειτουργία ροπής (η ανάγκη για σταθερή ταχύτητα λειτουργίας κάνει το βηματικό κινητήρα ακατάλληλο). Εάν κατά τη λειτουργία της μηχανής κοπεί το νήμα, η ταχύτητα θα μειωθεί και θα πάρει την προγραμματισμένη της τιμή.

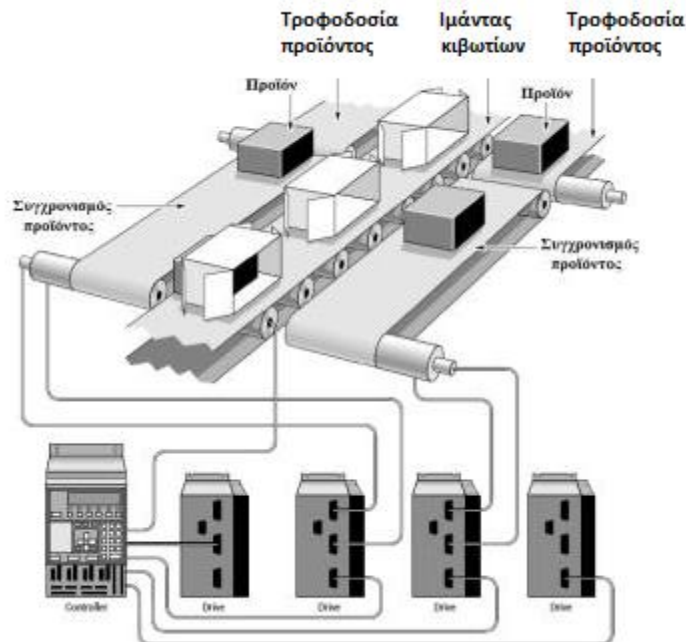
Μηχανισμός συσκευασίας

Μία άλλη συχνή εφαρμογή των σερβοκινητήρων είναι στους διάφορους μηχανισμούς συσκευασίας. Στο πιο κάτω παράδειγμα απεικονίζεται ένα σύστημα συσκευασίας κιβωτίων, (Σχήμα 1.13). Ο ιμάντας μεταφοράς των κιβωτίων κινείται μεταξύ δύο άλλων ιμάντων οι οποίοι μεταφέρουν το προϊόν που πρέπει να τοποθετηθεί με ακρίβεια μέσα στα κουτιά χωρίς να σταματήσει η λειτουργία τους.

Η ταχύτητα του ιμάντα μεταφοράς των κιβωτίων μπορεί να διαφέρει σε κάθε συσκευασία. Όταν το προϊόν είναι έτοιμο τότε ο ελεγκτής πρέπει να αποφασίσει σε ποιο κιβώτιο μπορεί να το τοποθετήσει και στη συνέχεια το μεταφέρει σε ευθύγραμμη θέση με το κινούμενο κουτί. Το προϊόν πρέπει να κινείται κατά μήκος της πλευράς του πλαισίου τον κατάλληλο χρόνο, έτσι ώστε να μεταφερθεί με επιτυχία μέσα στο κιβώτιο.

Για τον έλεγχο της συγκεκριμένης εφαρμογής απαιτείται ένας αυτόνομος ελεγκτής πολλαπλών αξόνων (standalone multiple-axis controller). Ο ελεγκτής μπορεί να εκτελέσει προφίλ κίνησης βασιζόμενος σε εξωτερικό κωδικοποιητή που είναι τοποθετημένος στο κεντρικό ιμάντα μεταφοράς των κιβωτίων. Οι δύο ιμάντες μεταφοράς του προϊόντος οδηγούνται από ειδικούς σερβοκινητήρες για υψηλές ταχύτητες και επιταχύνσεις. Ο ελεγκτής μέσω του σήματος που λαμβάνει από τον αισθητήρα που βρίσκεται στον ιμάντα μεταφοράς των προϊόντων βλέπει αν ένα προϊόν είναι έτοιμο και στη συνέχεια κάνει κίνηση με βάση την κατάσταση των κιβωτίων στον ιμάντα μεταφοράς των κιβωτίων και την κατάσταση του προϊόντος από τον άλλο ιμάντα μεταφοράς. Ο ελεγκτής χειρίζεται τον έλεγχο των δύο ιμάντων μεταφοράς των προϊόντων και την είσοδο του εξωτερικού κωδικοποιητή, καθώς και

ένα αισθητήρα εισόδου για την παρακολούθηση την κατάσταση των κουτιών. Έτσι ο ελεγκτής μπορεί άμεσα να αποφασίσει σε ποιο κιβώτιο πρέπει να τοποθετηθεί το προϊόν αλλά και σε ποια θέση βρίσκεται. Στη συνέχεια επιταχύνει το προϊόν σε ευθύγραμμη θέση με το αντίστοιχο κιβώτιο προς συσκευασία, το τοποθετεί στο πλαίσιο, και συνεχίζει να παρακολουθεί το υπόλοιπο προϊόν και τις θέσεις των κουτιών.



Σχήμα 1.13: Μηχανισμός συσκευασίας - τοποθέτηση προϊόντων σε κιβώτια.

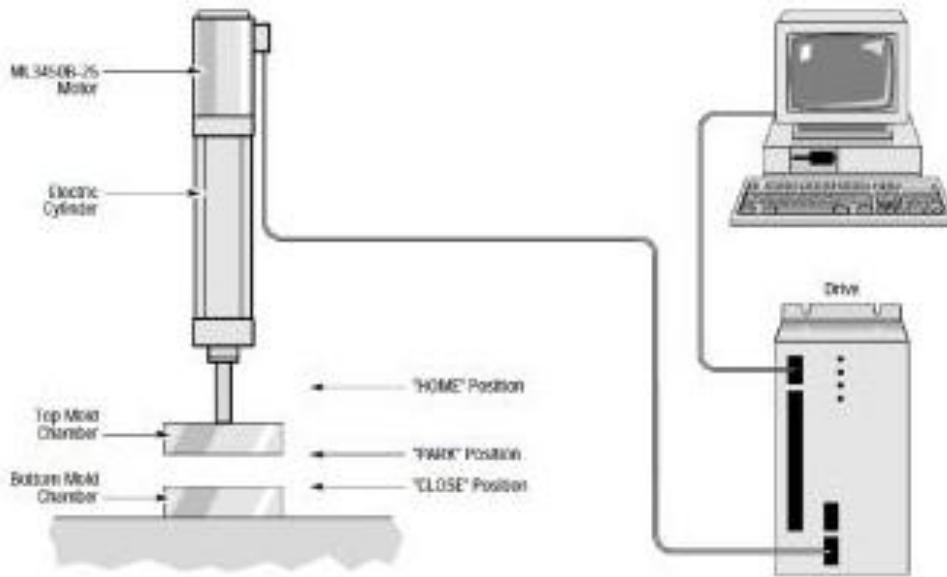
Μορφοποίηση πλαστικού με μηχανισμό χύτευσης με έγχυση

Οι μηχανές χύτευσης με έγχυση (injection molding machines) είναι από τους πιο κοινούς μηχανισμούς μορφοποίησης πλαστικών. Στον πιο κάτω μηχανισμό, (Σχήμα 1.14), χρησιμοποιείται ένα σύστημα το οποίο κλείνει το θάλαμο χύτευσης, εφαρμόζει πίεση σε αυτόν για 5 δευτερόλεπτα και στη συνέχεια ανοίγει το καλούπι με το μορφοποιημένο πλαστικό. Οι λειτουργίες όμως αυτές, συγχρονίζονται και με άλλες ενέργειες της μηχανής. Για παράδειγμα, όταν ο θάλαμος χύτευσης είναι ανοιχτός τότε ο κινητήρας πρέπει να είναι «παρκαρισμένος» σε μία προκαθορισμένη θέση ώστε να μην εμποδίζεται η εξαγωγή του μορφοποιημένου πλαστικού.

Ο έλεγχος κίνησης σε αυτή την εφαρμογή απαιτεί σειριακή σύνδεση με υπολογιστή, έλεγχο θέσης και ροπής και δυνατότητα αλλαγής πίεσης. Ο κινητήρας οδηγώντας τη ράβδο που βρίσκεται μέσα στο κύλινδρο, επεκτείνει ή μαζεύει το πάνω μέρος του θαλάμου χύτευσης. Κατά τη διάρκεια αυτής της λειτουργίας της μηχανής, ο σερβοενισχυτής πρέπει να ελέγχει τη θέση του κινητήρα. Όταν το πάνω μέρος του θαλάμου χύτευσης κλείνει με το κάτω μέρος τότε πρέπει να εφαρμοστεί πίεση.

Καθώς εφαρμόζεται η πίεση αυτή στο καλούπι, η θέση του κινητήρα δεν είναι σημαντική. Ωστόσο, πρέπει να γίνεται έλεγχος της πίεσης στο θάλαμο χύτευσης, εφαρμόζοντας ροπή από τον κινητήρα. Ένας κοινός σερβοκινητήρας θέσης μπορεί να εφαρμόσει ροπή μόνο δημιουργώντας ένα σφάλμα θέσης. Ο έλεγχος της ροπής μέσω της θέσης, δεν είναι πολύ ακριβής και μπορεί να δημιουργήσει αστάθειες. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή είναι καλύτερο να επιλεγεί ένα σερβοσύστημα που θα μπορεί να κάνει εναλλαγή

μεταξύ του έλεγχου θέσης και του έλεγχου ροπής χωρίς αστάθεια και στη συνέχεια, ενώ βρίσκεται σε κατάσταση έλεγχου ροπής, να ελέγχει άμεσα τη ροπή του κινητήρα

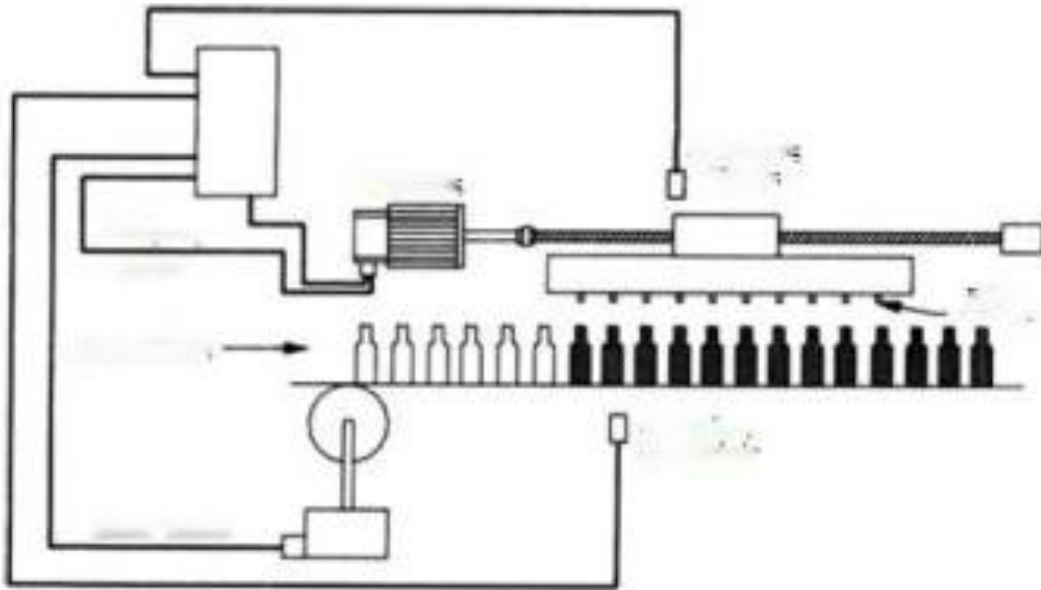


Σχήμα 1.14: Μηχανισμός χύτευσης με έγχυση για μορφοποίηση πλαστικού.

Μηχανισμός αυτόματης γέμισης φιαλών

Σε αυτή την εφαρμογή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.15, έχουμε αυτόματη γέμιση φιαλών μέσω ειδικών στομιών καθώς κινούνται κατά μήκος μιας γραμμής μεταφοράς. Κάθε ένα από τα στόμια γέμισης πρέπει να ακολουθεί μία φιάλη και να κινείται παράλληλα με αυτή, αφού το προϊόν εκχύνεται κατά την διάρκεια της κίνησης. Τα στόμια γέμισης είναι τοποθετημένα σε ένα κινούμενο φορείο που οδηγείται μέσω ενός σερβομηχανισμού. Όταν ο κινητήρας γυρίζει τον άξονα, στον οποίο βρίσκεται το φορείο με τα στόμια γέμισης, τότε το φορείο κινείται οριζόντια κατά μήκος του άξονα αυτού. Αυτή η κίνηση θα πρέπει να είναι ευθύγραμμη και σταθερή, ώστε τα στόμια γέμισης να μπορούν να μεταφέρουν το προϊόν στις φιάλες με όσο το δυνατόν μικρότερη διαρροή.

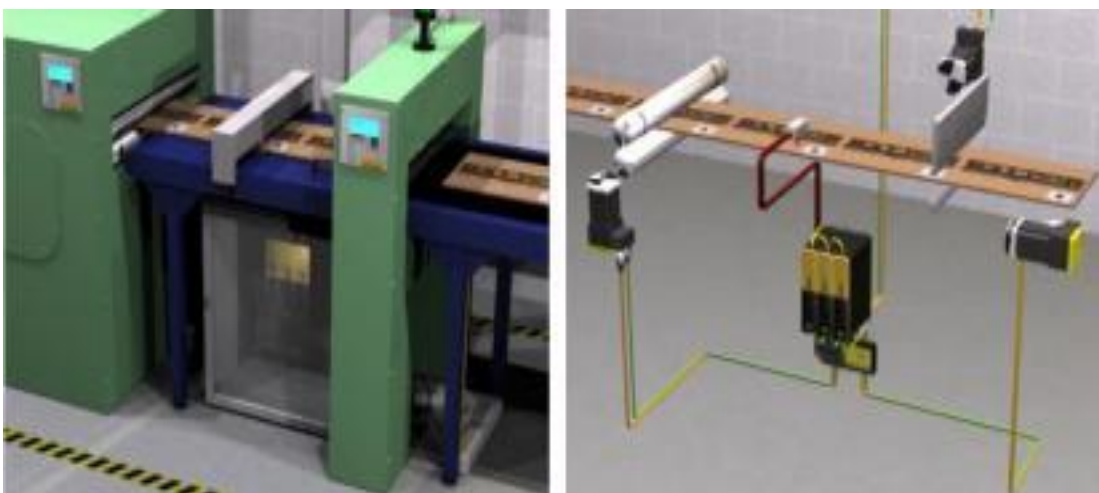
Το σερβοκινητήριο σύστημα χρησιμοποιεί έναν ελεγκτή θέσης που επιτρέπει την ανίχνευση της θέσης και της ταχύτητας καθώς οι φιάλες κινούνται επάνω στην γραμμή μεταφοράς. Ο κύριος κωδικοποιητής (master encoder) ανιχνεύει τις φιάλες καθώς κινούνται κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς. Για την τοποθέτηση των φιαλών στην γραμμή μεταφοράς και τον καθορισμό της απόστασης μεταξύ τους, χρησιμοποιείται ένα άλλο σερβοκινητήριο σύστημα. Έτσι η απόσταση μεταξύ των φιαλών καθώς περνούν το σημείο γέμισης είναι καθορισμένη με ακρίβεια, ώστε η απόσταση μεταξύ των λαιμών της κάθε φιάλης να ταιριάζει με την απόσταση μεταξύ των στομιών γέμισης. Το σύστημα περιέχει επίσης ένα ανιχνευτή ο οποίος εμποδίζει την έκχυση του προϊόντος από το στόμιο γέμισης σε περίπτωση που μία φιάλη λείπει ή εμφανίζονται μεγάλα κενά διαστήματα μεταξύ των φιαλών. Το σερβοκινητήριο σύστημα συγκρίνει τη θέση των φιαλών από τον κύριο κωδικοποιητή, με το σήμα ανάδρασης που δηλώνει τη θέση του κινούμενου φορτίου με τα στόμια γέμισης. Έτσι ο σερβοενισχυτής θα αυξήσει ή θα μειώσει την ταχύτητα του μηχανισμού του φορτίου ώστε τα στόμια γεμίσματος να κινούνται ακριβώς με την ταχύτητα των φιαλών.



Σχήμα 1.15: Μηχανισμός αυτόματης γέμισης φιαλών με χρήση σερβοκινητήρα.

Μηχανισμός κοπής ακριβείας:

Ένα άλλο παράδειγμα χρήσης των σερβοκινητήριων συστημάτων είναι στους μηχανισμούς με ακρίβεια κοπής, (Σχήμα 1.16). Η λειτουργία ενός τέτοιου μηχανισμού είναι η κοπή (και η κόλληση) προεκτυπωμένου υλικού πλαστικού (όπως οι σακούλες των Super Market) ή χαρτιού (όπως τραπεζομάντιλο) σε προκαθορισμένο μήκος, έτσι ώστε το τυπωμένο τμήμα να είναι πάντα κεντραρισμένο στην ίδια θέση. Ο έλεγχος του σερβοκινητήρα των κυλίνδρων που προωθούν το υλικό προς το μαχαίρι κοπής γίνεται από έναν ελεγκτή, ενώ το μαχαίρι κοπής ελέγχεται από έναν ελεγκτή που δέχεται ένα ψηφιακό σήμα.



Σχήμα 1.16: Μηχανή κοπής ακριβείας με σερβοκινητήριο σύστημα.

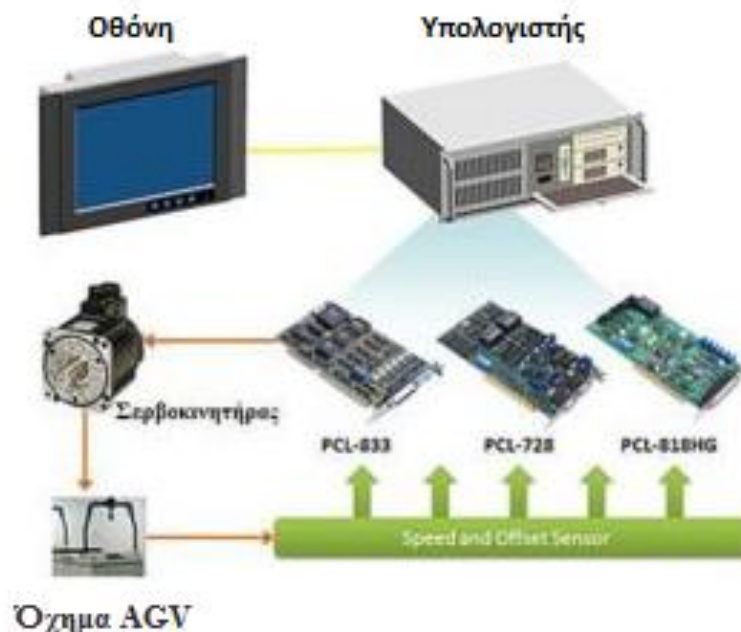
Επειδή με τον κλασικό τρόπο ελέγχου του μήκους είναι αδύνατο να συγχρονιστεί η κοπή του υλικού με την εκτύπωση λόγω ολίσθησης, χρησιμοποιείται ένα φωτοκύτταρο

χρώματος που ανιχνεύει ένα μικρό προεκτυπωμένο σημάδι που βρίσκεται μεταξύ των εκτυπωμένων τμημάτων του υλικού. Αυτό το φωτοκύτταρο συνδέεται με μια είσοδο πολύ υψηλής ταχύτητας του ελεγκτή (controller). Έτσι «κλειδώνει» αυτόματα τη θέση του άξονα του σερβοκινητήρα των κυλίνδρων που προωθούν το υλικό σε σχέση με το προεκτυπωμένο σημάδι και υπολογίζει μια νέα θέση προώθησης (κατά τη διάρκεια της κίνησης) σε περίπτωση ολίσθησης, έτσι ώστε το υλικό να κοπεί πάντα στη σωστή θέση και πάντα ενδιάμεσα από τα προεκτυπωμένα σημάδια .

Αυτόματα καθοδηγούμενο όχημα:

Ένα αυτόματα καθοδηγούμενο όχημα (Automated Guided Vehicle) είναι ένα κινητό ρομπότ που ακολουθεί τους δείκτες ή τα καλώδια στο πάτωμα ή χρησιμοποιεί σύστημα μηχανικής όρασης ή λέιζερ. Η οδήγηση των οχημάτων αυτών γίνεται με την χρήση σερβοκινητήρων , (Σχήμα 1.17)

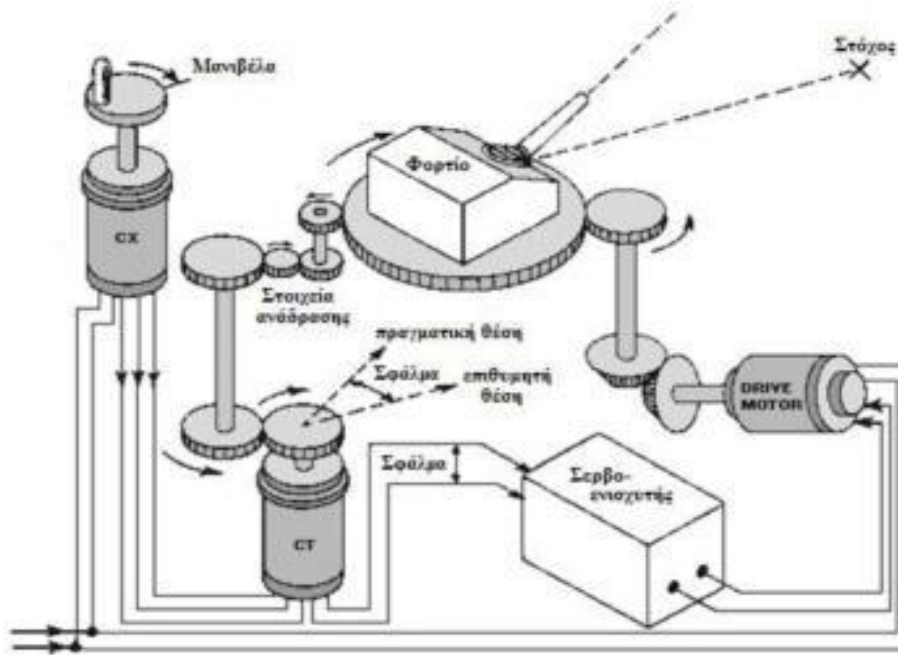
Χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές για να μετακίνηση υλικών γύρω από μια εγκατάσταση παραγωγής. Ένα τέτοιο όχημα μπορεί να ενσωματώσει ήχο, φως, και τεχνολογίες πληροφορικής που θα του δίνουν τη δυνατότητα να επικοινωνεί με άλλα ρομπότ, ώστε να εξασφαλίζεται η κυκλοφορία και ο προορισμός των υλικών σε όλη την εγκατάσταση.



Σχήμα 1.17:Σύστημα αυτόματα καθοδηγούμενου οχήματος (AGV) με χρήση σερβοκινητήρα.

1.10.3 Εφαρμογή σερβοκινητήρων στο πολεμικό ναυτικό

Η εφαρμογή αυτή δείχνει τη βασική λειτουργία ενός σερβοκινητήριου συστήματος με έλεγχο θέσης που χρησιμοποιείται ευρέως στο Πολεμικό Ναυτικό, (Σχήμα 1.18). Σε ένα σερβοκινητήριο σύστημα ελέγχου θέσης, η εντολή εισόδου προσδιορίζει τη θέση στην οποία πρέπει να μετακινηθεί το φορτίο. Ο μηχανισμός του φορτίου σε αυτό το παράδειγμα είναι ένα πυροβόλο, το οποίο βρίσκεται πάνω σε ένα πυργίσκο. Σκοπός του συστήματος είναι η μετακίνηση του πυροβόλου μέσω εντολής από μία απομακρυσμένη μανιβέλα.



Σχήμα 1.18: Μηχανισμός ελέγχου κίνησης πυργίσκου του πολεμικού ναυτικού.

Το φορτίο είναι μηχανικά συνδεδεμένο μέσω ενός συστήματος μετάδοσης με τον δρομέα του CT, έτσι ώστε η θέση του πύργου να αντιπροσωπεύεται πάντα με ακρίβεια από τη θέση του δρομέα του CT. Η εντολή, η οποία σηματοδοτεί την επιθυμητή θέση του πυργίσκου, τροφοδοτείται στον σερβοκινητήρα μέσω της μετακίνησης του δρομέα του CX με τη μανιβέλα. Ένα αντίστοιχο σήμα εμφανίζεται αμέσως στον στάτη του κινητήρα CT. Αυτό το σήμα διαφέρει από την πραγματική θέση του πυργίσκου, με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται ένα σφάλμα τάσης στο δρομέα του CT. Το σφάλμα τάσης τροφοδοτείται από τον δρομέα του CT στον σερβοεπιθυμητή. Στο σημείο αυτό μετατρέπεται σε ισχύ που οδηγεί τον κινητήρα προς την κατεύθυνση που απαιτείται, ώστε το φορτίο να μετακινηθεί στην επιθυμητή θέση.

Καθώς ο πυργίσκος κινείται, η μηχανική ανάδραση περιστρέφει τον δρομέα του CT σύμφωνα με τον δρομέα του CX. Καθώς το φορτίο πλησιάζει στη σωστή θέση, η παροχή ρεύματος στον κινητήρα όλο και μειώνεται, λόγω της μείωσης του σφάλματος τάσης που αναπτύχθηκε στο CT. Όταν η θέση του δρομέα του CT συμφωνεί με τη θέση του δρομέα του CX, το σφάλμα τάσης μηδενίζεται και η ισχύς στον κινητήρα μειώνεται. Σε αυτό το σημείο ο πυργίσκος είναι στην επιθυμητή θέση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Περιγραφή της μονάδας Lucas-Nulle και του λογισμικού Active ASMA

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο της εργασίας θα γίνει μια περιγραφή στην σερβοπέδη Lucas Nulle (Σχήμα 2.1) αλλά και στο πρόγραμμα που θα ασχοληθούμε. Θα αναλυθούν λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά, οι δυνατότητες και οι πολλοί διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας της σερβοπέδης καθώς επίσης θα γίνει εκτενής αναφορά και στις δυνατότητες και τις διάφορες επιλογές που μας παρέχει το λογισμικό ActiveASMA.



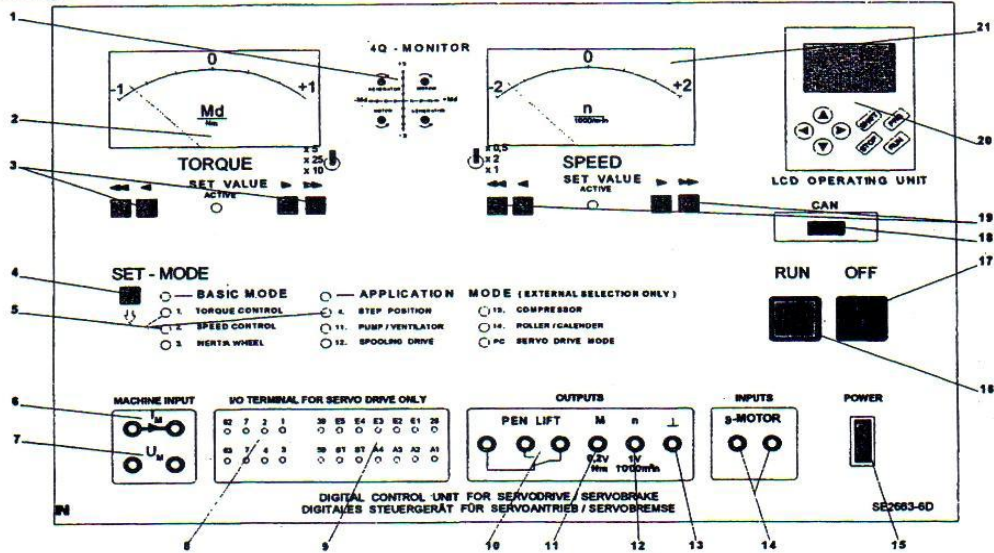
Σχήμα 2.1: Panel σερβομονάδας Lucas-Nulle.

2.1 Επεξήγηση της μονάδας Lucas-Nulle

Με την βοήθεια του Σχήματος 2.2 εξηγούνται τα διάφορα τμήματα της μονάδας Lucas-Nulle τα οποίας είναι τα παρακάτω:

- 1) Επίδειξη των 4 τεταρτημόριων. Στους τρόπους λειτουργίας 1-3, δείχνει σε ποιο τεταρτημόριο ροπή-ταχύτητας λειτουργεί η μηχανή δοκιμής.

Operating Instructions



Σχήμα 2.2: Σχεδιάγραμμα σερβομονάδας Lucas-Nülle.

- 2) Αναλογικός μετρητής για την μέτρηση της 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, \geq Single-step, \gg Multiple steps. Τα κουμπιά είναι ενεργά όταν η επιλογή «SET VALUE» είναι ενεργή.
- 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) Ενδεικτικά LED, που υποδεικνύουν τον επιλεγμένο τρόπο λειτουργίας του σερβοκινητήρα.
- 6) Είσοδος για μέτρηση του ρεύματος της μηχανής δοκιμής (I_p , $\max = 25A$ I_{rms} , $\max = 16A$), σε συνδυασμό με το λογισμικό "Active ASMA" ή "Active DCMA". Η παρούσα είσοδος μέτρησης είναι παράλληλα με τις αναλογικές εισόδους της μονάδας ελέγχου. Για την αποφυγή οποιουδήποτε λάθους στα σήματα μέτρησης, οι δύο εισοδοι 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 λειτουργίες μέτρησης που ενσωματώνουν αυτοματισμό, για την έναρξη μιας εξωτερικής σχεδίασης ή για τον

έλεγχου ενός εξωτερικού κυκλώματος (π.χ. εκκίνηση αστέρα-τρίγωνο για την μηχανή δοκιμής).

- 11) Αναλογικές έξοδοι δοκιμής για τη μέτρηση ή την εμφάνιση της ροπής (απεικόνιση: 0.2V ανά Nm, 5% ακρίβεια).
- 12) Αναλογικές έξοδοι 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) Μπουτόν "RUN" - ενεργοποίηση του ελεγκτή της μονάδας ελέγχου.
- 17) Μπουτόν "OFF" - απενεργοποίηση του ελεγκτή της μονάδας ελέγχου.
- 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) Μονάδα χειρισμού με LCD οθόνη για το χειροκίνητο έλεγχο και τον προγραμματισμό των παραμέτρων ρύθμισης. Οι παράμετροι για τις λειτουργίες 11-14 αποθηκεύονται στην μονάδα.
- 21) Αναλογική απεικόνιση για τη ροπή του σερβοκινητήρα (5% ακρίβεια). Η τιμή που υποδεικνύεται πρέπει να πολλαπλασιάζεται με τον παράγοντα που επιλέγεται στο διακόπτη της θέσης 3 (αριστερή πλευρά του μετρητή).

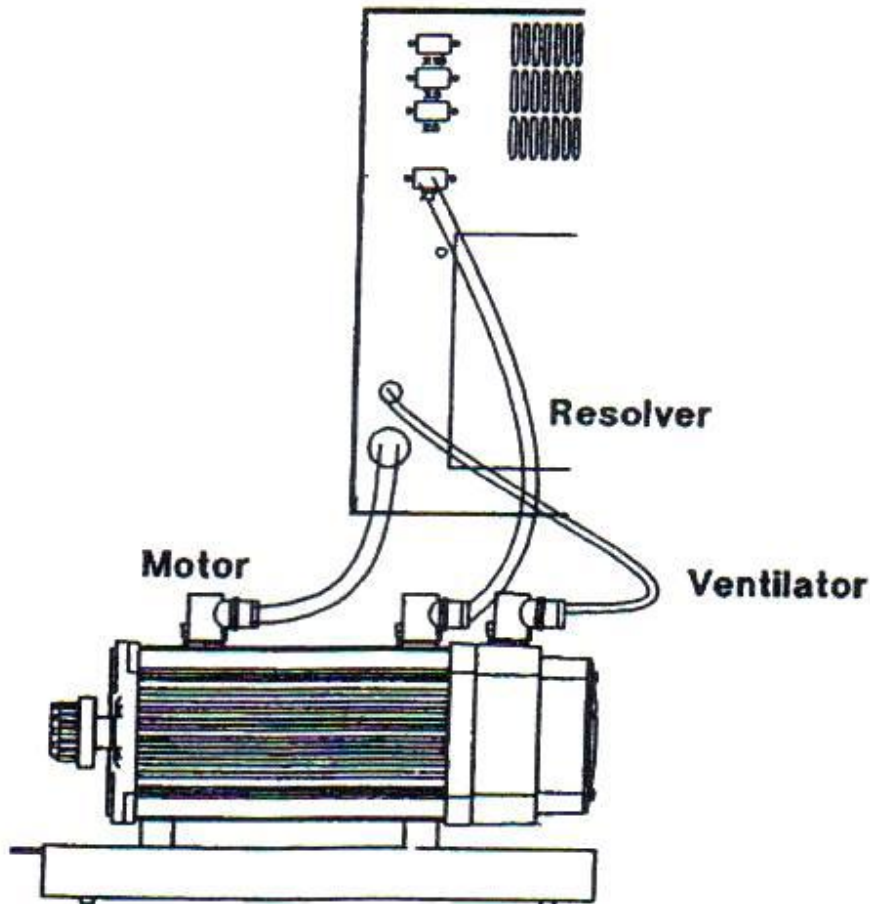
2.2 Οδηγίες σύνδεσης

Πριν από την ενεργοποίηση του σερβοκινητήρα, η μηχανή δοκιμής και το σύστημα ελέγχου της, πρέπει να συνδεθούν πλήρως και να έτοιμες για λειτουργία (Σχήμα 2.3). Οι συνδέσεις της πολικότητας του σερβοκινητήρα πρέπει να εισαχθούν με προσοχή, και οι βίδες στερέωσης να είναι σφιγμένες. Σε αυτό το σημείο μπορεί να επιλεγθεί η επιθυμητή λειτουργία της σερβοκινητήρα (π.χ. έλεγχος ροπής). Για την ενεργοποίηση του σερβοκινητήρα θα πρέπει να πατηθεί το κουμπί "RUN".

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. Κατά το σβήσιμο, θα πρέπει να πατηθεί πρώτα το κουμπί "OFF" στο μπροστινό τμήμα ώστε να διακοπεί η λειτουργία της σερβοπέδη, και τότε η μηχανή δοκιμής μπορεί να σταματήσει. Τέλος, οι δύο μονάδες μπορούν να απενεργοποιηθούν.

2.3 Βασικοί τρόποι λειτουργίας

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούν οι βασικοί τρόποι λειτουργίας που μπορεί να υποστηρίξει η συγκεκριμένη σερβοπέδη. Οι κωδικοί που αναφέρονται σε κάθε περίπτωση είναι παράμετροι οι οποίοι είναι ρυθμισμένοι από μόνοι τους και αν θέλουμε να αλλάξουμε κάποιους από αυτούς θα πρέπει να συνδέσουμε την LCD οθόνη στο επάνω δεξιά μέρος της σερβομονάδας και σύμφωνα με το manual να κάνουμε τις αλλαγές που επιθυμούμε.



Σχήμα 2.3: Σύνδεση σερβοπέδης.

2.3.1 Τρόπος Λειτουργίας: Έλεγχος ροπής

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας εφαρμόζεται για να φορτίσουμε τον κινητήρα με μια συνεχή ροπή, σε όλο το φάσμα των δυνατών ταχυτήτων του, και είναι κατάλληλος για να καταγράψουμε τις χαρακτηριστικές των DC ή των σύγχρονων μηχανών. Η προσαρμοσμένη τιμή της ροπής φαίνεται στην ένδειξη, καθώς ο δίσκος λειτουργεί, ενώ η % ένδειξη αντιστοιχεί στην ροπή σε Nm (100%= 100 Nm).

Χρησιμοποιώντας το κουμπί STOP στην LCD μονάδα λειτουργίας με αυτόματη αλλαγή στην ροπή συμβαίνει, από την τρέχουσα σταθερή τιμή σε μια τιμή προσαρμοσμένου ορίου (Co472-12=20%), η μέχρι η μηχανή δοκιμής να μπλοκαριστεί. Όταν η λειτουργία ράμπας ενεργοποιηθεί σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, η επαφή “Pen- lift” ενεργοποιείται (η επαφή ανοίγει πάλι όταν το καθορισμένο όριο επιτυγχάνεται η όταν η μηχανή δοκιμής μπλοκάρεται). Αυτή η αυτόματη καταγραφή των χαρακτηριστικών του φορτίου μπορεί να επιτευχθεί σε έναν plotter ή την επιφάνεια ελέγχου του PC (PCI-1,2M 8912E).

Οι παρακάτω παράμετροι μπορούν να γίνουν προσβάσιμοι χωρίς κωδικό στο μενού χρήστη της μονάδας λειτουργίας.

- Παρουσίαση της τρέχουσας ταχύτητας (CO051 MCTRL-NACT).
- Ρυθμισμένη τιμή της ταχύτητας (CO037 set valve rpm).

- Τιμή απόλυτης συσχέτισης όταν κλείσουμε τη λειτουργία ράμπας (CO472-12 FCODE ANALOG) σε σχέση με την μέγιστη ροπή του M-3 Nm (CO057 MAX torqve)
- Κωδικός (CO094 password).

Θέτοντας σε μια καθορισμένη τιμή την ταχύτητα στην περιοχή κωδικού CO037 στο μενού χρήσης είναι δυνατό να προσομοιώσουμε για παράδειγμα έναν ανυψωτή που φορτίζει την μηχανή δοκιμής με μια συνεχής ροπή στην ρυθμισμένη τιμή της ταχύτητας. Με αυτό τον τρόπο η μηχανή δοκιμής μπορεί να ελεγχθεί και στα 4 τεταρτημόρια.

Σε αυτό τον τρόπο λειτουργίας εάν η μονάδα ελέγχου κλείσει και μετά ξανανοίξει (“OFF” και RUN” κουμπιά στο μπροστινό πλαίσιο), ο χειριστής παρατηρεί μια ορισμένη κατάσταση (συγχρονισμός στην τρέχουσα ταχύτητα και μια μηχανή δοκιμής χωρίς φορτίο). Επίσης πατώντας “OFF” κάθε πιθανή ελαττωματική κατάσταση γίνεται γνωστή (εφαρμόζεται σε όλους τους τρόπους λειτουργίας).

2.3.2 Τρόπος Λειτουργίας: Έλεγχος ταχύτητας

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας χρησιμοποιείται για να καταγραφούν οι χαρακτηριστικές των ηλεκτρικών μηχανών οι οποίες επιδεικνύουν μια pull-out ροπή. Η μηχανή δοκιμής μπορεί να ελεγχθεί και στα 4 τεταρτημόρια λειτουργίας.

Η ταχύτητα του σερβοκινητήρα τροποποιείται μέσω των κουμπιών “ SET VALUE(>= μονό-βήμα, >>= πολλαπλά βήματα), τα οποία είναι τοποθετημένα κάτω από την ένδειξη ταχύτητας. Με το κουμπί “STOP” στην LCD μονάδα ελέγχου, όπως και στον τρόπο λειτουργίας με έλεγχο ροπής, μια αυτόματη καταγραφή των χαρακτηριστικών αρχίζει (π.χ. για ασύγχρονες μηχανές). Η ένδειξη ροπής υποδεικνύει την τρέχουσα τιμή της ροπής.

Όπως και στον τρόπο λειτουργίας ελέγχου ροπής στην εκκίνηση (κουμπί «RUN” στον μπροστινό πίνακα) η σερβομηχανή συγχρονίζεται στην τρέχουσα ταχύτητα της μηχανής. Η LCD – ένδειξη δείχνει την τρέχουσα τιμή της ταχύτητας (σε rpm)και της ροπής (σε %).

Οι παρακάτω παράμετροι μπορούν να γίνουν προσβάσιμοι χωρίς κωδικό , στο μενού χρήστη της μονάδας ελέγχου :

- Ένδειξη της τρέχουσας ταχύτητας (coo51 MCTRL-NACT)
- Μέγιστη ταχύτητα (CO011 Nmax)
- Κωδικός (CO094 Password)

2.3.3 Τρόπος Λειτουργίας: Τροχός αδράνειας

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας ο σερβοκινητήρας επιδεικνύει την αντίδραση ενός τροχού αδράνειας (περιστρεφόμενη μάζα). Προσαρμόζοντας την μάζα μέσω των κουμπιών ροπής Set Value, η αντίδραση των μηχανών οι οποίες ξεκινάνε με βαρύ φορτίο και η αντίδραση φρένων με μια μεγάλη περιστρεφόμενη μάζα ,μπορούν να ελεγχθούν.

Η προσομοιωμένη στιγμιαία αδράνεια μπορεί να ρυθμιστεί με τα Set Value κουμπιά (>=μονό βήμα, =πολλαπλό βήμα) τα οποία είναι κάτω από την ένδειξη ροπής από 2 μέχρι 100% που αντιστοιχεί σε 20000 kg.cm². Αυτή η τιμή μπορεί να συγκριθεί σε μια ατσάλινη ράβδο ($\delta=7,85\text{kg/dm}^3$) με μάζα 305 kg, διάμετρο 230mm και 927mm μήκος. Η ελάχιστη τιμή της περιστρεφόμενης μάζας που είναι 2% ,δεν χρησιμοποιείται για λόγους ευστάθειας.

Η επαφή PEN-LIFT ενεργοποιείται μέσω μιας οριακής τιμής ταχύτητας (CO 742-10=25%), μέσω του μενού της μονάδας ελέγχου και μπορεί για παράδειγμα να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο ενός κυκλώματος εκκίνησης από αστέρα σε τρίγωνο για την μηχανή δοκιμής. Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας η ένδειξη δείχνει την τρέχουσα ταχύτητα σε rpm, καθώς και την ρυθμισμένη στιγμιαία αδράνεια σε %.

Οι παρακάτω παράμετροι μπορούν να γίνουν προσβάσιμες χωρίς κωδικό στο μενού χρήστη της μονάδας ελέγχου.

- Ένδειξη της τρέχουσας ταχύτητας (CO051 MCTRL-NACT).
- Ένδειξη της τρέχουσας ροπής (CO704 DIS N) σε % (100%=100Nm)
- Όριο PEN-LIFT (CO472-10 FCODE analog) αναφέρεται στις 4000 rpm.
- Μέγιστη τιμή της περιστρεφόμενης μάζας σε % (CO260 MPOT 1high)
- Κωδικός (CO094 password).

Πατώντας το κουμπί 'STOP' στην μονάδα ελέγχου ο χρόνος αδράνειας αποσυνδέεται και ξανασυνδέεται όταν το κουμπί 'RUN' πατηθεί. Το ρυθμισμένο μέγεθος της περιστρεφόμενης μάζας παραμένει το ίδιο κατά την διάρκεια αυτών των διεργασιών. Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας εάν η μονάδα ελέγχου κλείσει και ξανανοίξει, τότε ο χρήστης παρατηρεί μια καθορισμένη κατάσταση (ελάχιστη τιμή της περιστρεφόμενης μάζας 2%)

2.3.4 Τρόπος Λειτουργίας: Θέση βήματος

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας η μονάδα ελέγχου λειτουργεί ως ρυθμιστής γωνίας. Πατώντας τα κουμπιά 'SET Value' (> = χαμηλή γωνιακή ταχύτητα ,>>= υψηλή γωνιακή ταχύτητα) τα οποία βρίσκονται κάτω από την ένδειξη ταχύτητας οι 2 ταχύτητες αναφοράς μπορούν να ρυθμιστούν. Αυτές οι ταχύτητες αναφοράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν, π.χ. να καταγράψουν την αντίδραση της ροπής ενός βηματικού κινητήρα. Εάν ένα από τα Set Value κουμπιά πατηθεί η 'Pen-lift' επαφή ενεργοποιείται. Επίσης μέσω του μενού χρήστη ο δίσκος μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να πλησιάσει μια καθορισμένη θέση (αντισταθμίζεται σε αύξηση). Η τρέχουσα γωνία του ρότορα από 0° έως +180° φαίνεται στην ένδειξη της μονάδας ελέγχου όπως και η ροπή %.

Οι παρακάτω περίμετροι μπορούν να γίνουν προσβάσιμοι χωρίς κωδικό στο μενού χρήστη της μονάδας ελέγχου :

- Τρέχουσα ένδειξη γωνίας (CO 704 ANEG2)
- Γωνιακή αντιστάθμιση 1rev= 65536 αυξήσεις (CO252 Agle Offset)
- Κωδικός (CO094 Password)

2.3.5 Τρόπος Λειτουργίας: Αντλία /Εξαεριστήρας

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας ο σερβοκινητήρας επιδεικνύει την αντίδραση ροπής μιας αντλίας ή ενός ανεμιστήρα (εξαεριστήρας) δηλαδή μια αύξηση στην ταχύτητα παράγει μια τετραγωνική αύξηση στην ροπή. Η αντλία ή ο ανεμιστήρας έχει μια δεδομένη περιστρεφόμενη μάζα η τιμή της οποίας μπορεί να αλλάξει μέσω του μενού χρήστη της μονάδας ελέγχου. Επιπρόσθετα ο ρυθμός αύξησης της καμπύλης ροπής (διάμετρος των πτερυγίων του ανεμιστήρα) μπορεί να αλλάξει στο μενού χρήστη.

Η ένδειξη -LC δείχνει την τρέχουσα ταχύτητα σε r/pm όπως επίσης και την εφαρμοσμένη ροπή σε % . Όταν το κουμπί " STOP" της μονάδας ελέγχου πατηθεί η αντλία

(ή ο ανεμιστήρας) αποσυνδέεται και ξανασυνδέεται όταν το κουμπί “RUN” πατηθεί. Οι μεταβλητές οι οποίες έχουν τεθεί παραμένουν οι ίδιες κατά την διάρκεια αυτών των διεργασιών. Η επαφή “ Pen-lift” ενεργοποιείται μέσω μιας οριακής ταχύτητας (CO 742-10=25%) μέσω του μενού της μονάδας ελέγχου. Εάν αυτός ο τρόπος λειτουργίας επαναφορτωθεί στην μονάδα ελέγχου οι βασικοί τρόποι λειτουργίας είναι πάλι ενεργές.

Οι παρακάτω περίμετροι μπορούν να γίνουν προσβάσιμες χωρίς κωδικό στο μενού χρήστη της μονάδας ελέγχου..

- Ένδειξη της τρέχουσας ταχύτητας (CO051 MCTRL-NACT)
- Αλλαγή στην περιστρεφόμενη μάζα (CO223 PCTRL Tn)
- Αλλαγή στην αύξηση των χαρακτηριστικών, διάμετρο των πτερύγιων του ανεμιστήρα (CO940 Nuneator)
- Pen-lift όριο (CO472-10 FCODE analog) αναφέρεται σε 4000 rpm.
- Κωδικός (CO094 password).

2.3.6 Τρόπος Λειτουργίας: Spooling drive

Όπως σε μια ελικοειδή μηχανή η ροπή δείχνει μια γραμμική αύξηση στον αριθμό των περιστροφών στην μια κατεύθυνση (+) ή στην άλλη κατεύθυνση (-) και μόνο η τιμή της περιστρεφόμενης μάζας είναι ενεργή.

Ο βασικός σχηματιστής σπειρών της ελικώδους μηχανής παρουσιάζει μια περιστρεφόμενη μάζα η οποία μπορεί να ρυθμιστεί στο μενού ελέγχου της μονάδας ελέγχου. Ομοίως το πάχος του ελικώδους υλικού μπορεί να αλλάξει, π.χ. η stepness των χαρακτηριστικών είναι τροποποιημένη (θεωρώντας ότι η ροπή καταγράφεται συναρτήσει του χρόνου). Η ένδειξη στην μονάδα ελέγχου δείχνει την τρέχουσα ταχύτητα σε rpm και την εφαρμοσμένη ροπή σε %.

Πατώντας το κουμπί ‘STOP’ στην μονάδα ελέγχου η διαδικασία περιστροφής επαναφέρεται και μόνο το καθορισμένο ποσό της περιστρεφόμενης μάζας είναι ενεργό. Όταν πατηθεί το κουμπί ‘RUN’ η διαδικασία ξαναρχίζει από την αρχή. Όλες οι μεταβλητές που έχουν τροποποιηθεί παραμένουν στις καθορισμένες τιμές τους. Η επαφή ‘Pen-lift’ ενεργοποιείται μέσω μιας τροποποιησιμης οριακής τιμής ροπής (CO742-10=25%) μέσω του μενού της μονάδας ελέγχου. Εάν αυτός ο τρόπος λειτουργίας επαναφορτωθεί στην μονάδα ελέγχου οι βασικοί τρόποι λειτουργίας ξαναγίνονται ενεργές.

Οι παρακάτω παράμετροι μπορούν να γίνουν προσβάσιμες χωρίς κωδικό στο μενού χρήστη της μονάδας ελέγχου.

- Ένδειξη τρέχουσας ταχύτητας (CO051 MCTRL-NACT)
- Αλλαγή στην περιστρεφόμενη μάζα.
- Αλλαγή στο πάχος του υλικού.
- Αλλαγή στο πάχος του υλικού ½ c1000 (C1000division)
- Όριο Pen-lift
- Κωδικός

2.3.7 Τρόπος Λειτουργίας :Συμπιεστή

Εδώ ο τρόπος λειτουργίας αντιστοιχεί στην αντίδραση ροπής ενός συμπιεστή εμβόλου παλινδρομικής κίνησης με δεξαμενή πίεσης. Με κάθε περιστροφή στην φάση εξόδου, η ροπή

αυξάνεται μέχρι μιας μέγιστης τιμής και μετά στην φάση απορρόφησης (εισόδου) ξαφνικά καταρρέει μετά αυξάνεται πάλι με την επόμενη περιστροφή μέχρι να φτάσει μια μέγιστη τιμή. Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να παρατηρηθεί ως μια γραμμικά αυξανόμενη ροπή η οποία προσομοιώνει την αυξανόμενη πίεση στην δεξαμενή. Ο όγκος της δεξαμενής μπορεί να αλλάξει στο μενού χρήστη (στην μονάδα ελέγχου). Η αντίδραση του συμπιεστή εμβόλου παλινδρομικής κίνησης μπορεί να φανεί μόνο στην κατεύθυνση της περιστροφής στην αντίθετη κατεύθυνση όπου η ροπή είναι μέγιστη.

Η ένδειξη στην μονάδα ελέγχου δείχνει την τρέχουσα ταχύτητα σε rpm και την εφαρμοσμένη ροπή σε % (100%=100Nm). Πατώντας το κουμπί 'STOP' στη μονάδα ελέγχου η δεξαμενή πίεσης αδειάζει από αέρα. Όταν το κουμπί 'RUN' πατηθεί η δεξαμενή γεμίζει και πάλι. Κατά την διάρκεια αυτής της δράσης οι ρυθμισμένες τιμές παραμένουν ίδιες. Η επαφή 'Pen-lift' ενεργοποιείται μέσω μιας ρυθμιζόμενης οριακής τιμής ροπής (CO742-10=17%) μέσω του μενού της μονάδας ελέγχου (γραμμική ροπή λόγω της αυξανόμενης πίεσης στην δεξαμενή). Εάν αυτός ο τρόπος λειτουργίας ξαναφορτωθεί στην μονάδα ελέγχου οι βασικοί τρόποι λειτουργίας ενεργοποιούνται ξανά.

Οι παρακάτω παράμετροι μπορούν να γίνουν προσβάσιμες χωρίς κωδικό στο μενού χρήστη της μονάδας ελέγχου:

- Ένδειξη της τρέχουσας ταχύτητας
- Αλλαγή στον όγκο της δεξαμενής πίεσης
- Pen-lift όριο
- Κωδικός

2.3.8 Τρόπος Λειτουργίας: Κύλινδρος /Στιλβωτικός κύλινδρος

Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας ο σερβοκινητήρας χρησιμοποιείται για να ελέγξει την αντίδραση ροπής ενός στιλβωτικού κυλίνδρου. Το φορτίο ροπής αυξάνεται απότομα λόγω της ταχύτητας. Ο κύλινδρος έχει μια συγκεκριμένη περιστρεφόμενη μάζα, η τιμή της οποίας μπορεί να αλλάξει μέσω του μενού χρήστη στην μονάδα ελέγχου. Επίσης ο ρυθμός της αύξησης στην καμπύλη ροπής –ταχύτητας μπορεί να ρυθμιστεί.

Πατώντας το κουμπί 'STOP' στη μονάδα ελέγχου ο κύλινδρος ξανασυνδέεται και όταν το κουμπί 'RUN' πατηθεί συνδέεται ξανά. Κατά την διάρκεια αυτής της ενέργειας οι ρυθμισμένες τιμές αλλάζουν. Η επαφή 'Pen-lift' ενεργοποιείται μέσω μιας οριακής τιμής ταχύτητας (CO742-25%) μέσω του μενού της μονάδας ελέγχου. Εάν αυτός ο τρόπος λειτουργίας ξαναφορτωθεί στην μονάδα ελέγχου οι βασικοί τρόποι λειτουργίας ενεργοποιούνται ξανά.

Οι παρακάτω παράμετροι μπορούν να γίνουν προσβάσιμοι χωρίς κωδικό στο μενού χρήστη της μονάδας ελέγχου:

- Ένδειξη τρέχουσας ταχύτητας
- Αλλαγή στην περιστρεφόμενη μάζα
- Αλλαγή στην αύξηση της χαρακτηριστικής
- Όριο 'Pen-lift'
- Κωδικός.

2.4 Γνωριμία με το λογισμικό Active ASMA

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-Nulle 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 υπό δοκιμή μηχανής.
- Λειτουργία και στα τέσσερα τεταρτημόρια.
- Κατάλληλο για ηλεκτρικές μηχανές σε μια μεγάλη γκάμα ονομαστικής ισχύος (υποστηρίζονται 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 και της έντασης με ακρίβεια 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 λογιστικών φύλλων. 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 περιβάλλον των Windows της Microsoft.

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 το 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.

2.5 Επεξήγηση των επιλογών του προγράμματος

Σε αυτή την ενότητα θα αναλύσουμε τις επιλογές και τις δυνατότητες που μας παρέχει το λογισμικό ActiveASMA.

2.5.1 File menu

Το μενού File περιέχει όλες τις επιλογές (Πίνακας 2.1) που είναι απαραίτητες για την είσοδο και έξοδο των δεδομένων. Περιλαμβάνει επίσης την εντολή για τον τερματισμό του προγράμματος.

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

Πίνακας 2.1: Επιλογές του menu file.

2.5.2 Settings menu

Το μενού Settings περιέχει όλες τις επιλογές (Πίνακας 2.2) που σχετίζονται με τη διαμόρφωση του σερβοκινητήρα. Επίσης, η μονάδα οδήγησης μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να ανασταλεί η λειτουργία της μέσω αυτού του μενού, μεταστρέφοντας την μετρούμενη καταγραφή της τιμής, στη θέση on ή στη θέση off.

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

Πίνακας 2.2: Επιλογές του menu settings.

2.5.3 Operating mode menu

Αυτό το μενού περιλαμβάνει τις καταχωρήσεις για τους δύο πιθανούς τρόπους λειτουργίας του ενισχυτή οδήγησης όπου είναι η λειτουργία speed control και η λειτουργία torque control.

2.5.4 View menu

Χρησιμοποιώντας το μενού View, μπορούν να επιλεχθούν οι ενδείξεις στην οθόνη του προγράμματος.(Πίνακας 2.3)

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

Πίνακας 2.3: Επιλογές στο menu view.

2.5.5 Chart (motor characteristics) menu

Το μενού Chart συνοψίζει όλες τις επιλογές (Πίνακας 2.4) που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της εμφάνισης και του περιεχομένου ενός γραφήματος (γραφική παράσταση ή διάγραμμα).

Επιλογή	Επεξήγηση
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

Πίνακας 2.4: Επιλογές στο menu chart.

2.5.6 Exercises menu

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

Για να αποφευχθεί η επανεγγραφή αρχείων με ήδη προετοιμασμένες ασκήσεις (για παράδειγμα με την εντολή Save από το μενού File), ακολουθούμε τη διαδικασία που παρουσιάζεται παρακάτω:

- 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 μας ενημερώσει ότι το συγκεκριμένο αρχείο είναι μόνο για ανάγνωση και πρέπει να σωθεί με ένα διαφορετικό όνομα.

2.5.7 Help menu

Το μενού Help περιέχει τις ακόλουθες επιλογές (Πίνακας 2.5) που βοηθούν στη χρήση αυτής της εφαρμογής.

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

Πίνακας 2.5: Επιλογές στο menu help.

2.6 Σημειώσεις ασφαλείας

Η ψηφιακή μονάδα ελέγχου και ο σερβοκινητήρας είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για την 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 σερβοκινητήρας 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 οποιοδήποτε 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 οποιοδήποτε 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 σερβοκινητήρα, για την αποφυγή της υπερθέρμανσης.
- Ο σερβοκινητήρας αναπτύσσει μια μεγάλη ροπή και η ανάρμοστη 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 για να αποφευχθεί οποιαδήποτε ζημία στο δίκτυο τροφοδοσίας.

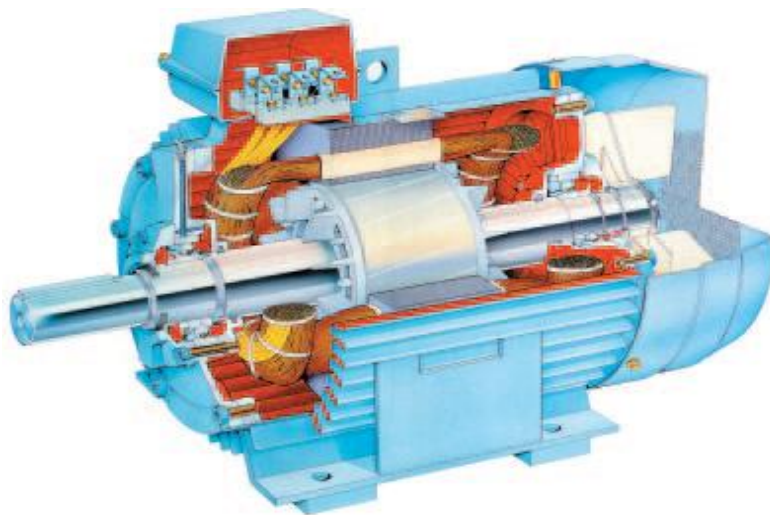
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες

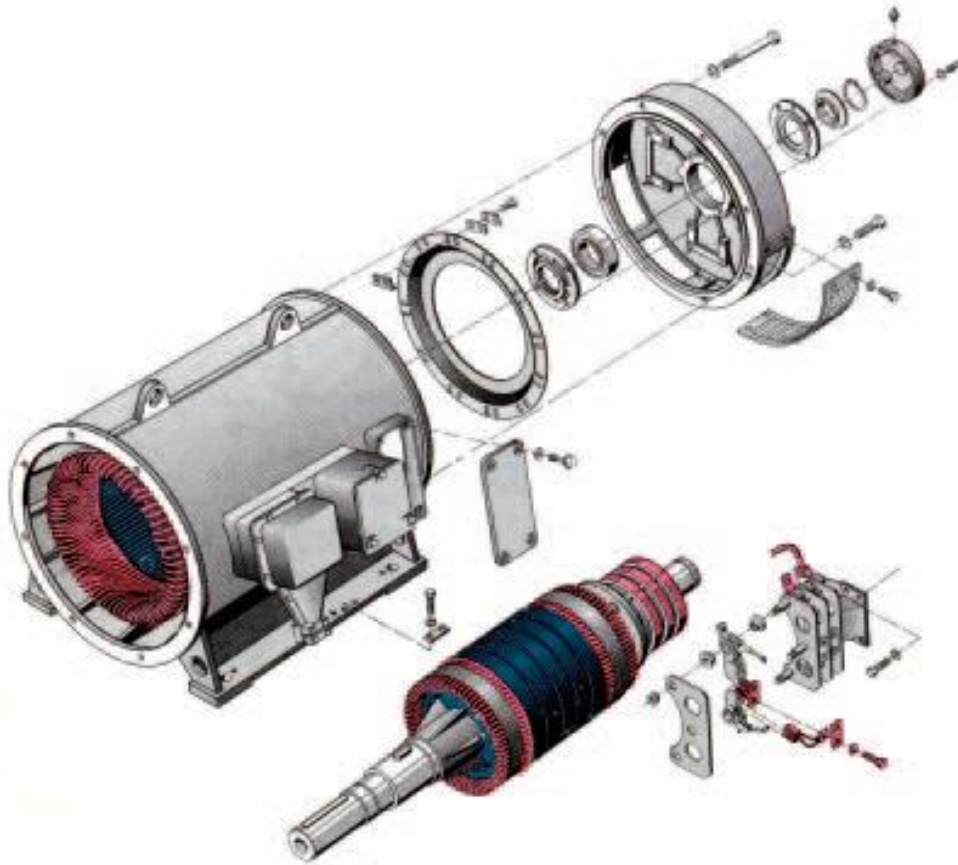
Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες είναι μηχανές που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια του τριφασικού δικτύου σε μηχανική. Το τύλιγμα του στάτη του κινητήρα, τροφοδοτείται με τριφασικό ρεύμα και αναπτύσσεται στο εσωτερικό της μηχανής περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, που επιδρά στο δρομέα και παράγει ροπή περιστροφής. Οι κινητήρες αυτοί έχουν απεριόριστες εφαρμογές σε όλους τους τομείς της σύγχρονης τεχνολογίας.

3.1 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 (Σχήμα 3.1), β) κινητήρας με δακτυλιοφόρο δρομέα (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.1: Κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα.



Σχήμα 3.2: Κινητήρας δακτυλιοφόρου δρομέα.

3.1.1 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 3.3.



Σχήμα 3.3: Μαγνητικά ελάσματα 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.

3.1.2 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 τυλίγμα 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 (Σχήμα 3.4).

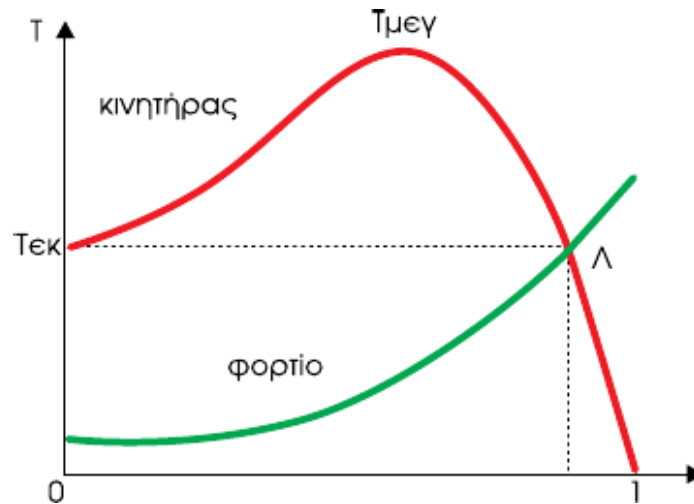


Σχήμα 3.4: Μαγνητικές δυνάμεις.

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 δεν θα προλαβαίνει το μαγνητικό πεδίο να κόψει τους αγωγούς του δρομέα, δεν θα έχουμε επαγωγή και φυσικά θα μηδενισθεί η μαγνητική δύναμη και θα σταματήσει ο κινητήρας.

3.1.3 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. Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται η τυπική καμπύλη ροπής-στροφών ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα. Η καμπύλη αυτή είναι σημαντική για τη λειτουργία των κινητήρων.



Σχήμα 3.5: Καμπύλη ροπής - ταχύτητας ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.

Κατά την εκκίνηση, όταν οι στροφές είναι πρακτικά μηδέν, η ροπή του κινητήρα έχει τιμή $T_{εκ}$ 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 3.5 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 3.5.

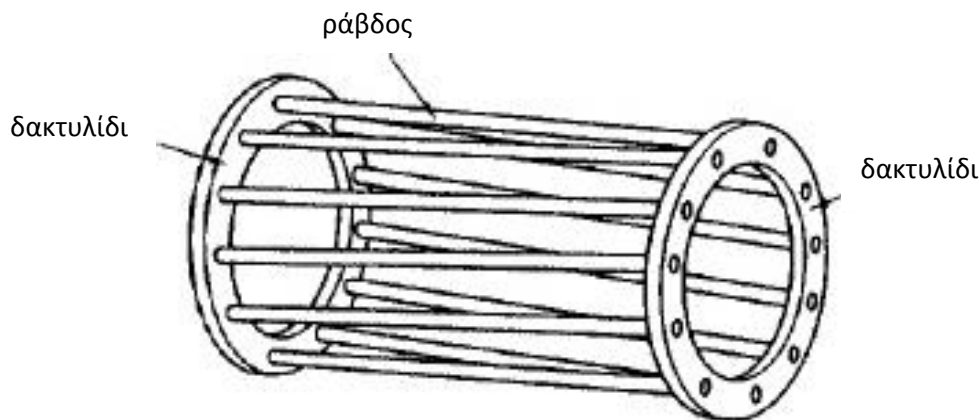
Η λειτουργία του κινητήρα στο τμήμα της καμπύλης πριν τη μέγιστη ροπή ($T_{μεγ}$) είναι ασταθής λειτουργία και μετά τη μέγιστη ροπή είναι ευσταθής. Ο κινητήρας εργάζεται στην ευσταθή περιοχή και μπορεί να προσαρμόζεται αυτόματα στις διακυμάνσεις του φορτίου. Στην περιοχή αυτή, αν για κάποιο λόγο αυξηθεί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

3.2 Ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα

Το τύλιγμα του δρομέα αποτελείται από μεταλλικές ράβδους από χαλκό ή ορείχαλκο, τα άκρα των οποίων βραχυκυκλώνονται από δύο δακτυλίδια βραχυκύκλωσης (Σχήμα 3.6). Η σύνδεση γίνεται με συγκόλληση ή χύτευση. Ο δρομέας δεν συνδέεται ηλεκτρικά με άλλο τμήμα του κινητήρα και το ρεύμα που κυκλοφορεί σε αυτόν είναι από επαγωγή λόγω του στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Αν τα αυλάκια (Σχήμα 3.7) 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 βαθιά, το τύλιγμα λέγεται με βαθιά αυλάκια.

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 βαθειά αυλάκια.



Σχήμα 3.6: Τύλιγμα κλωβού δρομέα.



Σχήμα 3.7: Διάφοροι τύποι αυλακιών δρομέα.

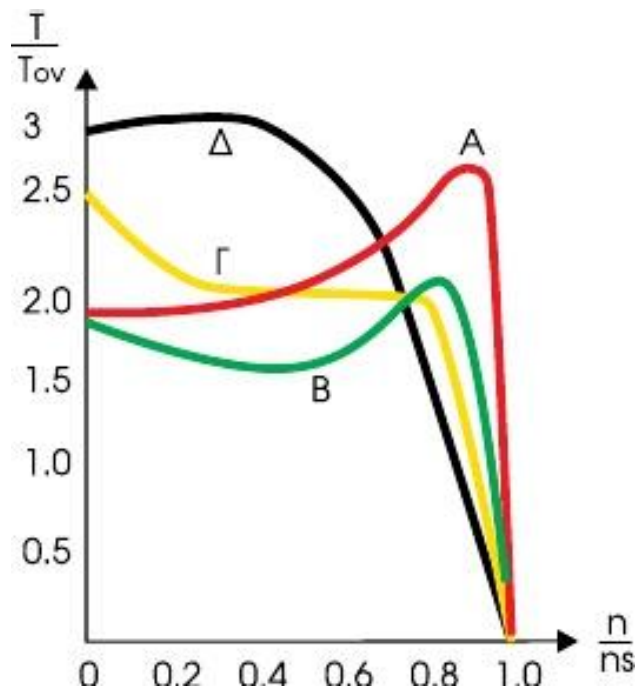
3.2.1 Κατασκευαστικές κλάσεις κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα

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. 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 (Σχήμα 3.8).

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 $2,5 \cdot T_{ov}$ και σε ταχύτητα πάνω από $0,8 \cdot n_s$ που σημαίνει ολίσθηση μικρότερη του 0,2. Το ρεύμα εκκίνησης είναι ίσο με $5+8 \cdot I_{ov}$. 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 τυλιγματος 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 A και έχουν αντικαταστήσει στη σύγχρονη τεχνολογία τους κινητήρες κλάσης A, λόγω του χαμηλότερου ρεύματος εκκίνησης.



Σχήμα 3.8: Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας για A,B,Γ,Δ κλάση κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Κλάση Γ: Έχουν τύλιγμα δρομέα διπλού κλωβού μεγαλύτερης αντίστασης από την A και τη B 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 10Hp μέχρι 300Hp.

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.

3.2.2 Ρύθμιση στροφών ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

Ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα πριν την εμφάνιση των ηλεκτρονικών συστημάτων οδήγησης, εθεωρείτο μηχανή σταθερής ταχύτητας. Η πτώση των στροφών από τη λειτουργία χωρίς φορτίο, στη λειτουργία με φορτίο φθάνει το 5%. Η ταχύτητα του ηλεκτροκινητήρα δίνεται από τη σχέση: $n = n_s (1-s)$. Αντικαθιστώντας τη σύγχρονη ταχύτητα $n_s = 60f/p$ έχουμε $n = 60f(1-s)/p$

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 του στάτη. Με αλλαγή του σημείου τροφοδοσίας των δύο πηνίων, διπλασιάζονται οι πόλοι.

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.

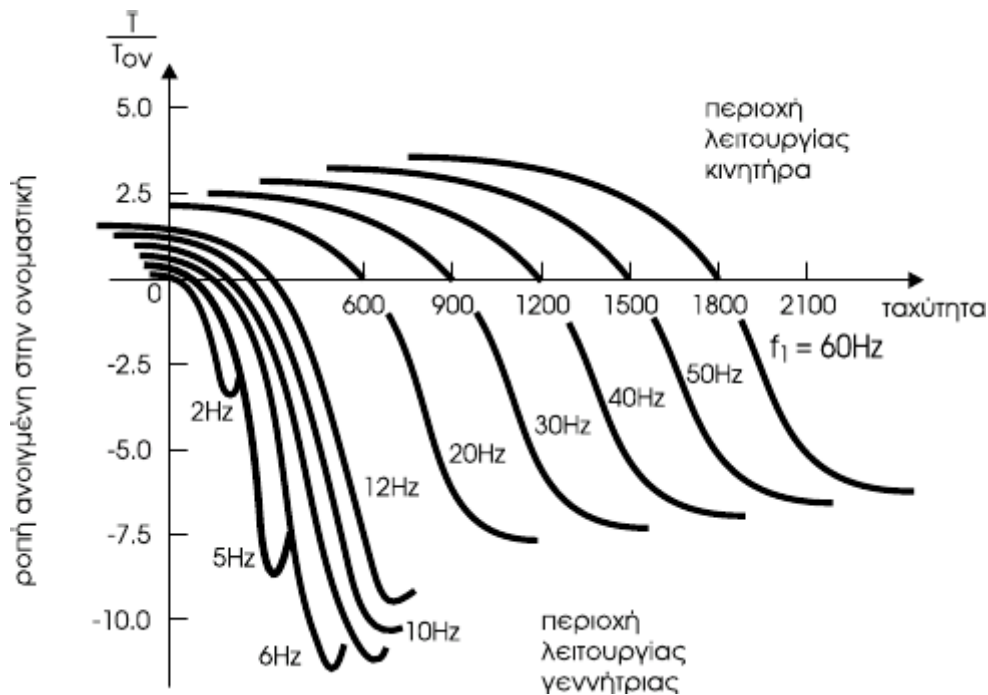
Η μέθοδος της διαμόρφωσης πλάτους του πόλου (PAM) είναι ένας τρόπος αλλαγής του πλήθους των πόλων του στάτη με λόγο διαφορετικό από 2 προς 1, που επιτυγχάνεται με τη μεταβολή των συνδέσεων στα έξι άκρα του στάτη. Το κόστος κατασκευής του στάτη είναι μικρότερο από το αντίστοιχο της μεθόδου πολλαπλών τυλιγμάτων. Στον πίνακα 3.1 φαίνεται ο λόγος των πόλων και οι αντίστοιχες σύγχρονες ταχύτητες.

Λόγος ζευγών πόλων	Σύγχρονη ταχύτητα: $n_s=60f/p$ (στρ/min) $f=50\text{Hz}$
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

Πίνακας 3.1: Λόγος ζευγών πόλων με τις αντίστοιχες σύγχρονες ταχύτητες.

β) Ρύθμιση των στροφών με μεταβολή της συχνότητας

Ο ασύγχρονος κινητήρας τροφοδοτείται με τάση μεταβλητής συχνότητας, που έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του σύγχρονου αριθμού στροφών σύμφωνα με τη σχέση $n_s=60f/p$. 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 3.9.



Σχήμα 3.9: Μεταβολή της καμπύλης ροπής - στροφών ενός ασύγχρονου κινητήρα καθώς η συχνότητα λειτουργίας του μεταβάλλεται.

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 .

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

3.2.3 Πέδηση ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

Η πέδηση ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους:

Μηχανική πέδηση: Πραγματοποιείται μέσω ειδικών σιαγόνων που πιέζουν τον άξονα της μηχανής. Παρουσιάζουν συχνές φθορές και απαιτείται μεγάλος χρόνος πέδησης.

Ελεύθερη πέδηση: Διακόπτεται η τάση τροφοδοσίας και ο κινητήρας σταματά μετά από

αρκετό χρόνο, χωρίς όμως καταπονήσεις.

Ομαλή πέδηση: Διακόπτεται βαθμιαία η τάση τροφοδοσίας προς αποφυγή απότομης παύσης λειτουργίας της μηχανής (π.χ. σε αντλίες, μεταφορικές ταινίες, γερανούς). Η πραγματοποίηση της μεθόδου προϋποθέτει ύπαρξη ράμπας επιβράδυνσης που υπάρχει μόνο στους ηλεκτρονικούς ρυθμιστές στροφών. Η ενεργοποίηση της ράμπας επιτρέπει:

- α) ομαλή επιβράδυνση σύμφωνα με το χρόνο που έχει επιλεγεί μέσω του ποτενσιόμετρου του ρυθμιστή στροφών.
- β) ελεγχόμενη πέδηση με μείωση των μηχανικών κτυπημάτων.
- γ) προοδευτική μείωση της τάσης

Δυναμική πέδηση: Ο στάτης αποσυνδέεται από το τριφασικό δίκτυο και τροφοδοτείται με συνεχή τάση από πηγή ή μέσω ανορθωτή. Η δυναμική πέδηση μετατρέπει τον ασύγχρονο κινητήρα σε σύγχρονη γεννήτρια και όλη η ενέργεια της πέδησης απορροφάται από το δρομέα. Ο έλεγχος της ροπής πέδησης επιτυγχάνεται ρυθμίζοντας τη συνεχή τάση. Η μέθοδος αυτή επιλέγεται, όταν έχουμε μηχανές με μεγάλη αδράνεια.

Πέδηση με αντιστροφή της φοράς του μαγνητικού πεδίου: Η φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου αντιστρέφεται με αντιμετάθεση δύο φάσεων τροφοδότησης του στάτη. Ο δρομέας τείνει να περιστραφεί αντίθετα και να ισορροπήσει τη ροπή του φορτίου. Έτσι ο ασύγχρονος κινητήρας λειτουργεί σαν ηλεκτρομαγνητική πέδη. Μεγάλο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η έντονη καταπόνηση της μηχανής, από τα υπερβολικά ρεύματα στο στάτη και στο δρομέα. Ελαττώνονται οι τιμές αυτών των ρευμάτων με παρεμβολή αντιστάσεων. Απαραίτητη προϋπόθεση εφαρμογής της πέδησης είναι η ύπαρξη ενός αισθητηρίου ταχύτητας που θα αποσυνδέσει τον κινητήρα από το δίκτυο μόλις μηδενισθεί η ταχύτητα, γιατί διαφορετικά θα αρχίσει να περιστρέφεται ανάστροφα.

3.2.4 Ισχύς, απώλειες και βαθμός απόδοσης ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

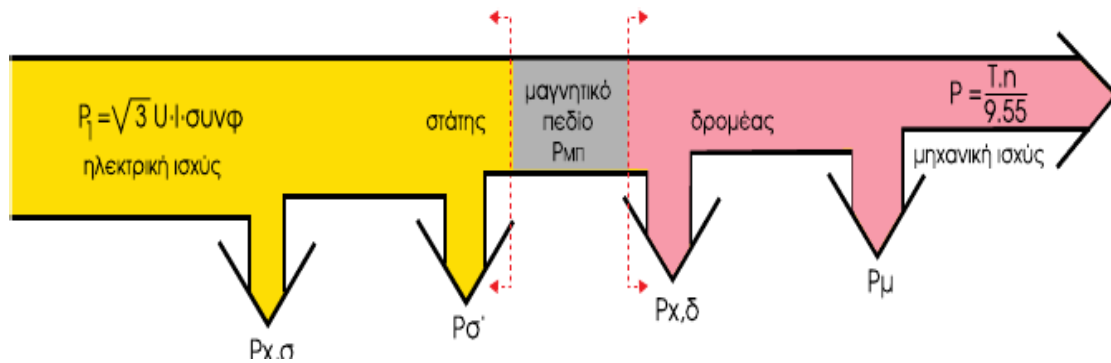
Η ισχύς που απορροφά από το δίκτυο ο κινητήρας είναι ηλεκτρική ισχύς, και μπορεί να μετρηθεί με βαττόμετρο ενώ η ισχύς που δίνει στον άξονά του και κατά επέκταση στο συνδεδεμένο φορτίο είναι μηχανική ισχύς.

Οι απώλειες του κινητήρα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.10 διακρίνονται σε δύο είδη:

1. απώλειες σταθερές που δεν μεταβάλλονται με το φορτίο και
2. απώλειες μεταβλητές που μεταβάλλονται με το φορτίο.

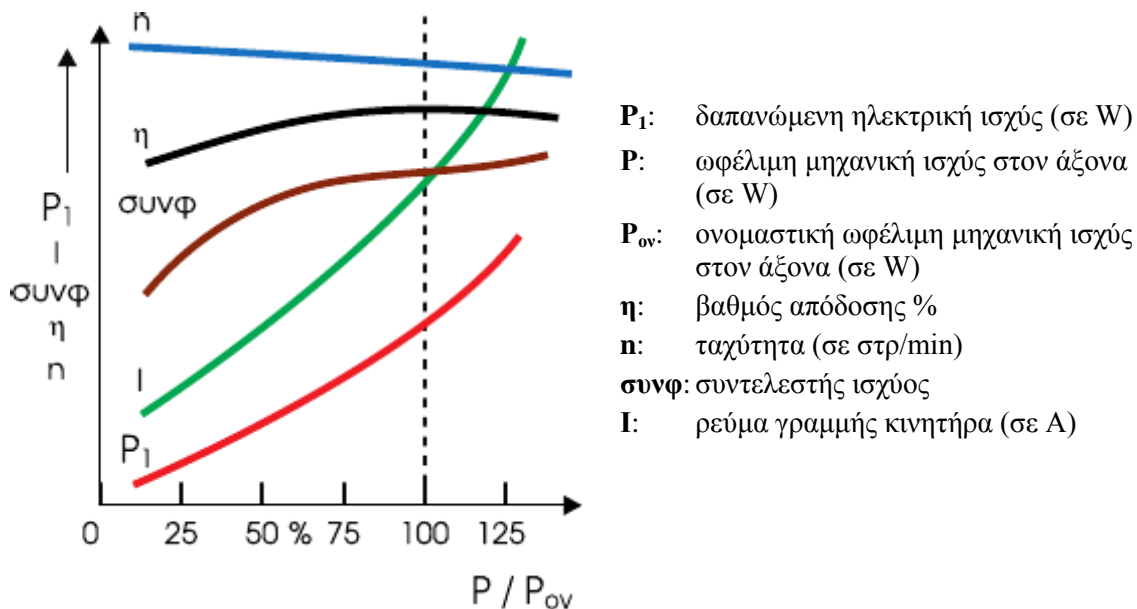
Οι σταθερές απώλειες είναι: α) μαγνητικές απώλειες, που λέγονται και απώλειες σιδήρου P_{σ} γιατί οφείλονται στο φαινόμενο της μαγνητικής υστέρησης και των δινορρευμάτων στο σιδερένιο πυρήνα της μηχανής και β) μηχανικές απώλειες P_{μ} λόγω των τριβών στο σύστημα έδρασης του άξονα και αερισμού οι οποίες οφείλονται στην ροή αέρα που δημιουργεί η φτερωτή της μηχανής.

Οι μεταβλητές απώλειες είναι: α) ηλεκτρικές απώλειες του στάτη, που οφείλονται στην ωμική αντίσταση των χάλκινων τυλιγμάτων του στάτη και λέγονται απώλειες χαλκού στάτη $P_{\chi,\sigma}$ και β) ηλεκτρικές απώλειες δρομέα που οφείλονται στην ωμική αντίσταση των τυλιγμάτων του δρομέα και λέγονται απώλειες χαλκού δρομέα $P_{\chi,\delta}$.



Σχήμα 3.10: Κατανομή απωλειών ασύγχρονου κινητήρα.

Ο βαθμός απόδοσης ενός κινητήρα είναι το πηλίκο της αποδιδόμενης μηχανικής ισχύος στον άξονά του κινητήρα προς την ηλεκτρική ισχύ που απορροφά από το δίκτυο. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.11 ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα μεταβάλλεται ελάχιστα για μία μεγάλη περιοχή ισχύος



Σχήμα 3.11: Διάφορες χαρακτηριστικές καμπύλες ασύγχρονου κινητήρα.

3.2.5 Εκκίνηση ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα

Οι κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο δίκτυο με έναν απλό εξοπλισμό. Κατά την εκκίνηση όμως απορροφούν ρεύμα τετραπλάσιο μέχρι και οκταπλάσιο του ονομαστικού, που προκαλεί στιγμιαία πτώση τάσης του δίκτυου 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, η τροφοδοσία των κινητήρων μπορεί να έχει διακυμάνση 5%. Αρκετές μέθοδοι εκκίνησης αναπτύχθηκαν προκειμένου να επιλύσουν τα προβλήματα της εκκίνησης:

α) Απευθείας εκκίνηση

Ο κινητήρας συνδέεται στο δίκτυο μέσω τριπολικού διακόπτη Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε κινητήρες μικρής ισχύος μέχρι 1,5Hp. Δημιουργεί πτώση τάσης στο δίκτυο,

για αυτό η ΔΕΗ έχει εκδώσει σχετική οδηγία που προσδιορίζει το μέγιστο ρεύμα εκκίνησης στην περίπτωση αυτή.

β) Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα - τριγώνου Υ-Δ

Η εκκίνηση γίνεται με ειδικό χειροκίνητο ή με αυτόματο διακόπτη αστέρα – τριγώνου (Υ-Δ). Κατά την εκκίνηση ο διακόπτης στρέφεται στη θέση Υ και οι επαφές συνδέουν το στάτη σε αστέρα που τροφοδοτεί κάθε φάση του κινητήρα με φασική τάση δικτύου. Όταν ο κινητήρας φθάσει σε κάποιο οριακό αριθμό στροφών, στρέφουμε το διακόπτη στη θέση Δ. Οι επαφές συνδέουν το στάτη σε τρίγωνο και τροφοδοτώντας κάθε φάση του κινητήρα με πολική τάση δικτύου.

γ) Εκκίνηση με αντιστάσεις στο στάτη

Με αυτή την μέθοδο παρεμβάλλουμε σε σειρά με το τύλιγμα του στάτη αντιστάσεις, 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.

δ) Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

Κατά την εκκίνηση τροφοδοτούμε τον κινητήρα με ελαττωμένη τάση μέσω του αυτομετασχηματιστή. Όταν η ταχύτητα του κινητήρα φθάσει περίπου στο 80% της κανονικής, πατάμε τον μεταγωγικό διακόπτη και θέτουμε τον κινητήρα υπό πλήρη τάση δικτύου. Ταυτόχρονα θέτουμε τον αυτομετασχηματιστή εκτός τάσης

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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Διεξαγωγή πειραμάτων και λήψη χαρακτηριστικών λειτουργίας σε ασύγχρονη ηλεκτρική μηχανή Α.Σ.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μια σειρά πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν σε μια τριφασική AC μηχανή βραχυκυκλωμένου δρομέα με σκοπό την λήψη μετρήσεων για την υλοποίηση ορισμένων βασικών χαρακτηριστικών λειτουργίας. Θα χρησιμοποιήσουμε τη σερβοπέδη της εταιρείας Lucas Nulle σε συνεργασία με το ρυθμιστή στροφών της εταιρείας Lenze.



Σχήμα 4.1: Εργαστηριακός πάγκος.



Σχήμα 4.2: AC Μηχανή βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται ο εργαστηριακός πάγκος ο οποίος βρίσκεται στο εργαστήριο των Ηλεκτρικών Μηχανών του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας όπου και πραγματοποιήσαμε τα πειράματά μας. Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η AC μηχανή βραχυκυκλωμένου δρομέα που χρησιμοποιήθηκε ως μηχανή δοκιμής ενώ στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται ο σερβοκινητήρας της Lucas Nulle που αποτελεί τμήμα της σερβοπέδης που χρησιμοποιήσαμε.



Σχήμα 4.3: Ο Σερβοκινητήρας της Lucas Nulle.

Στα Σχήματα 4.4 και 4.5 αναγράφονται τα ονομαστικά στοιχεία του σερβοκινητήρα και της AC μηχανής αντίστοιχα. Θα συνδέσουμε την AC μηχανή σε αστέρα οπότε θα έχουμε ονομαστική τάση 380V, ονομαστικό ρεύμα 2.7A, ονομαστικές στροφές 2830 rpm και $\cos\phi$ 0.76. Η μέγιστη ροπή της μηχανής μας υπολογίζεται από τον τύπο $P = T\omega$, όπου $\omega = 2\pi n/60$.

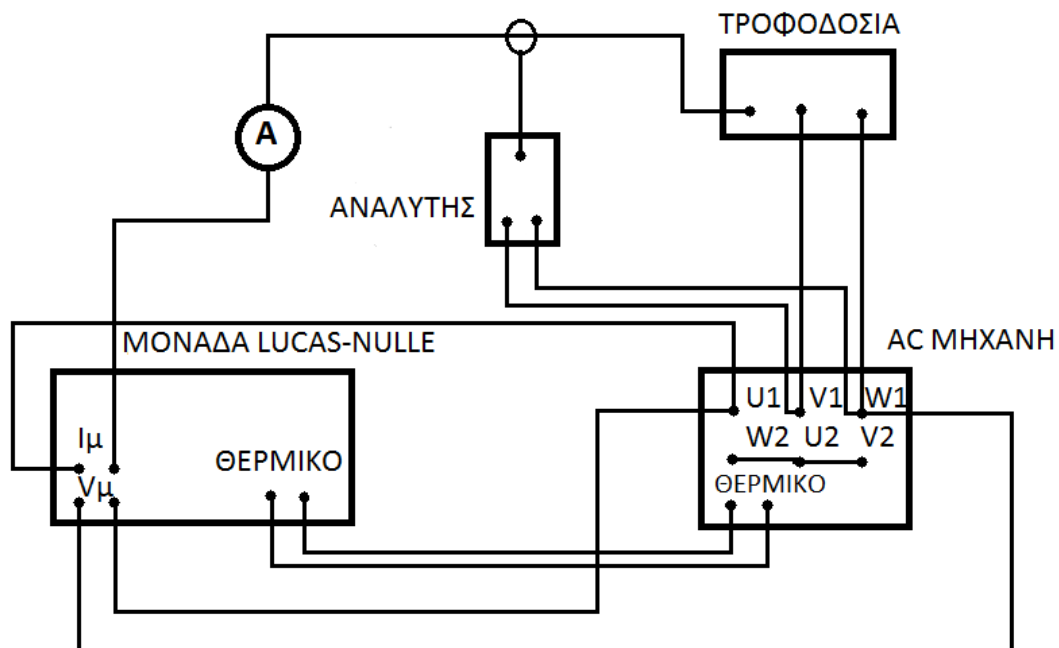
 Lucas-Nuelle Lehr- und Meßgeräte GmbH Germany - 50170 Kerpen - Siemensstr. 2			
SE2663-6E	VDE 0530	IP: 54	Is.KL: F
	U:	390 V	I: 9,1 A
	10,8 Nm / 3,9 kW		cos :
	3455 1/min		f: 120 Hz
U _{nom} :	I _{nom} :	Made in Germany	
C _n :	C _g :		

Σχήμα 4.4: Ονομαστικά στοιχεία του σερβοκινητήρα.



Σχήμα 4.5: Ονομαστικά στοιχεία AC μηχανής.

Σκοπός του πειράματος είναι μέσω του προγράμματος να παρθούν κάποιες συγκεκριμένες τιμές διαφόρων μεγεθών αυτόματα και να εμφανιστούν οι απαιτούμενες χαρακτηριστικές για δύο διαφορετικές λειτουργίες οι οποίες πρέπει να είναι παρόμοιες. Θα ασχοληθούμε με δύο διαφορετικές λειτουργίες μέσω του υπολογιστή: την torque control και την speed control λειτουργία. Την συγκεκριμένη ρύθμιση την επιλέγουμε πριν ξεκινήσουμε να ρυθμίζουμε τις παραμέτρους του προγράμματος. Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις η συνδεσμολογία που πρέπει να υλοποιηθεί είναι η ίδια και παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6: Συνδεσμολογία πειράματος.

Στην συνδεσμολογία θα πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί και αν δούμε να υπάρχει πρόβλημα στις τιμές που εμφανίζονται πρέπει να δοκιμάσουμε να αλλάξουμε τις φάσεις της μηχανής μεταξύ τους. Ένα πρόβλημα που συναντήσαμε για παράδειγμα είναι η λάθος ένδειξη του συνημιτόνου που μας έβγαине είτε με ένα μείον στην αρχή με την σωστή ένδειξη (χωρητικό) είτε τελείως λάθος.

4.1 Speed Control

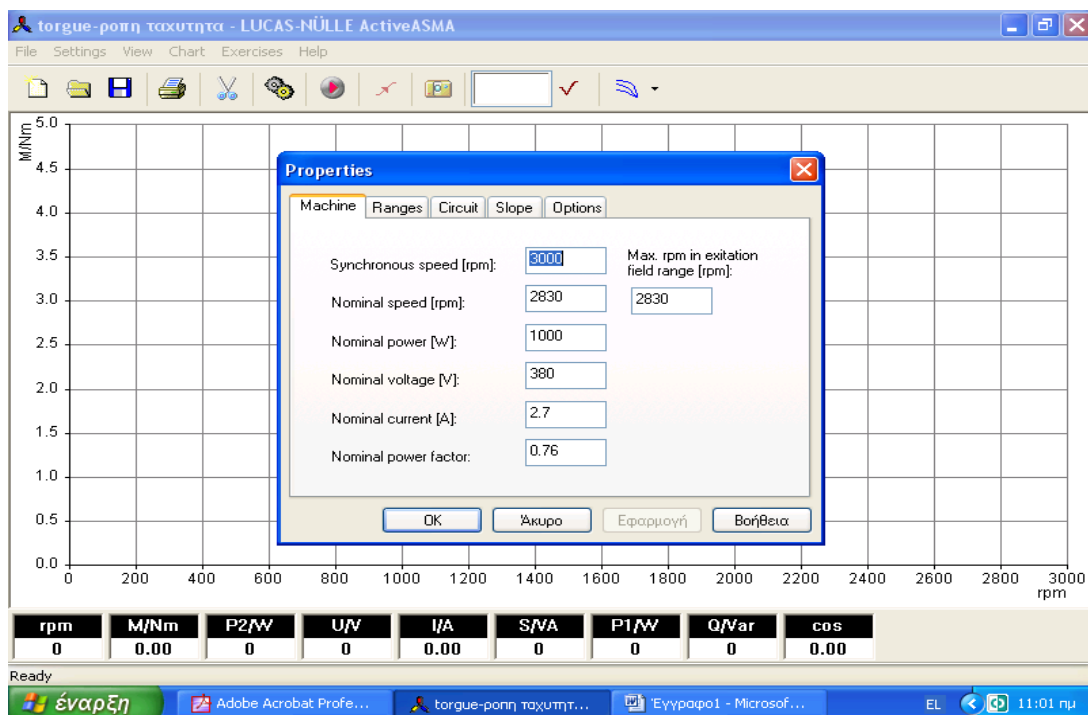
Αυτός ο τρόπος λειτουργίας χρησιμοποιείται για να καταγραφούν οι χαρακτηριστικές των ηλεκτρικών μηχανών οι οποίες επιδεικνύουν μια pull-out ροπή. Η test μηχανή μπορεί να ελεγχθεί σε όλα τα 4 τεταρτημόρια σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας. Η ταχύτητα του σερβοκινητήρα τροποποιείται μέσω των κουμπιών “ SET VALUE(>= μονό-βήμα>=>= πολλαπλά βήματα), τα οποία είναι τοποθετημένα κάτω από την ένδειξη ταχύτητας. Η ένδειξη ροπής υποδεικνύει την τρέχουσα τιμή της ροπής.

4.1.1 Χαρακτηριστικές για Speed Control λειτουργία μέσω του λογισμικού ActiveASMA

Ξεκινώντας το πρόγραμμα πρέπει να κάνουμε κάποιες ρυθμίσεις. Στην πρώτη περίπτωση που θα ασχοληθούμε με έλεγχο ταχύτητας επιλέγουμε **File→Mode→Speed Control**.

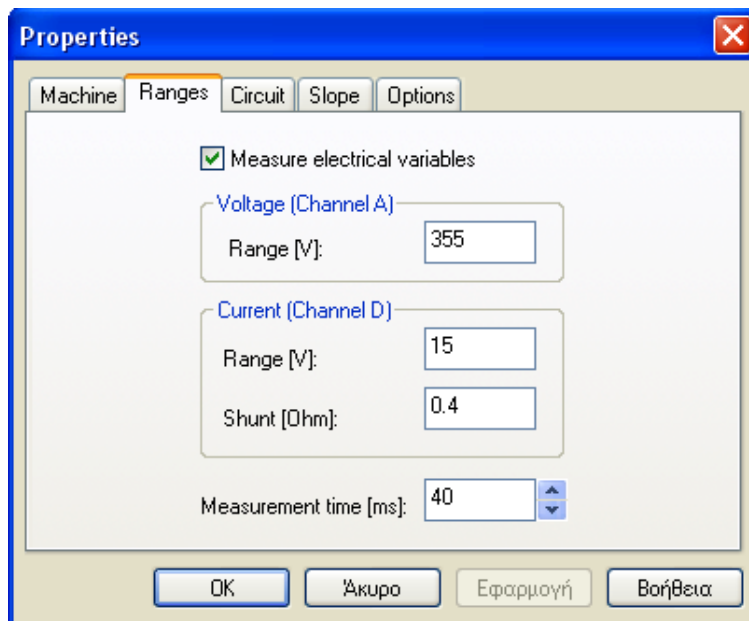
Άλλες βασικές ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν είναι μέσα στο πρόγραμμα επιλέγοντας την καρτέλα **Settings → Presets**.

Στην καρτέλα Machine βάζουμε τα ονομαστικά μεγέθη της μηχανής όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.7.



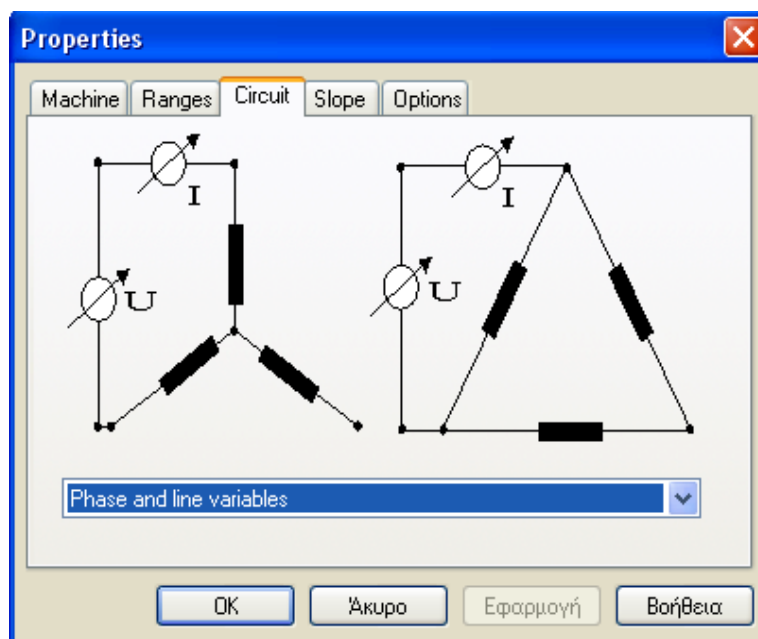
Σχήμα 4.7: Ρυθμίσεις στοιχείων μηχανής.

Στην καρτέλα Ranges και βάζουμε τις κατάλληλες τιμές στα Voltage (Channel A) και Current (Channel D). (Σχήμα 4.8)



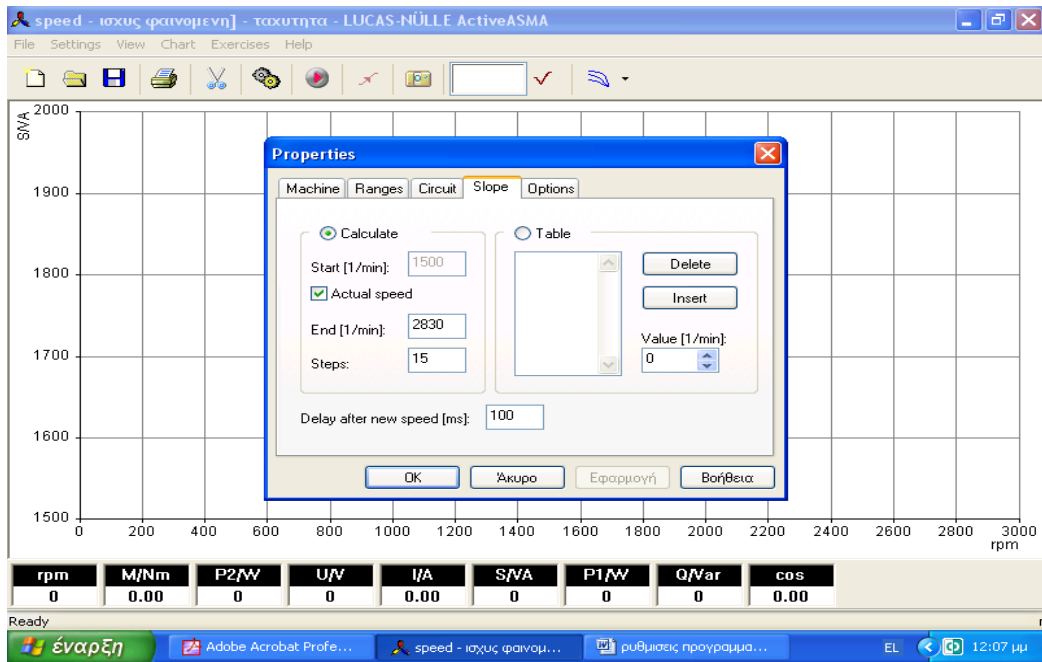
Σχήμα 4.8: Ρυθμίσεις voltage/current.

Η καρτέλα Circuit χρησιμοποιείται για να επιλέξουμε τον τύπο του κυκλώματος που θα χρησιμοποιηθεί και επιλέγουμε Phase and line variables. (Σχήμα 4.9)



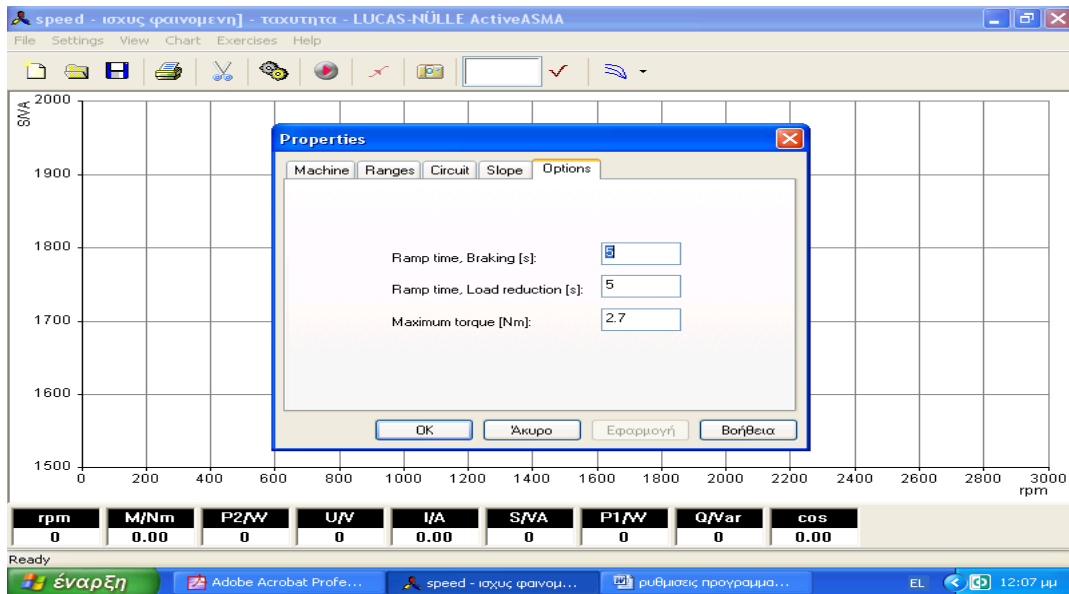
Σχήμα 4.9: Ρυθμίσεις φασικών μεγεθών.

Στην καρτέλα Slope θα ορίσουμε στο End (1/min) την ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα όπου στην περίπτωση μας είναι 2830, στο πλαίσιο Steps ορίζουμε πόσα σημεία θέλουμε να έχουμε στην χαρακτηριστική που θα βγει δηλαδή πόσες μετρήσεις να πάρει και τέλος στο Delay after new torque ορίζουμε την καθυστέρηση ανάμεσα στα σημεία που θα πάρουμε για την χαρακτηριστική. (Σχήμα 4.10)



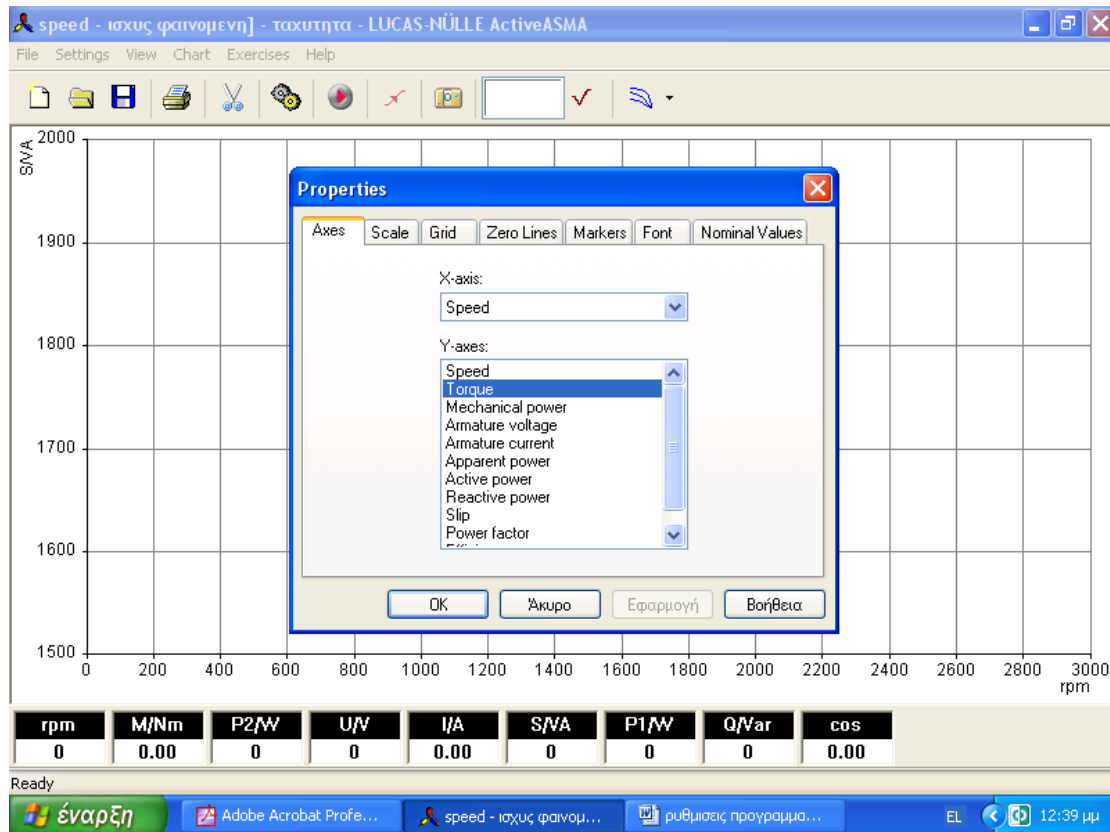
Σχήμα 4.10: Ρυθμίσεις ελάχιστης ταχύτητας για μέγιστη ροπή.

Τέλος, στην τελευταία καρτέλα Options στο πλαίσιο maximum torque(Nm) θα βάλουμε την μέγιστη ροπή την οποία αντέχει η μηχανή που έχουμε συνδέσει. (Σχήμα 4.11)



Σχήμα 4.11: Ρυθμίσεις ορίων ροπής.

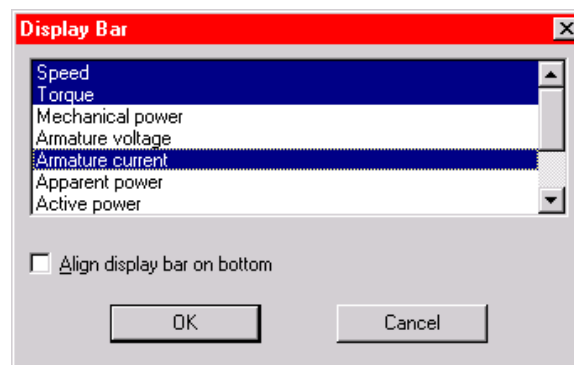
Οι παρακάτω ρυθμίσεις ισχύουν αφορούν την εμφάνιση των αξόνων στις χαρακτηριστικές και είναι ίδιες είτε έχουμε επιλέξει την Torque Control λειτουργία είτε την Speed Control λειτουργία. Για να σχηματίσουμε τώρα τις χαρακτηριστικές που θέλουμε να δούμε θα πρέπει να καθοριστούν τα μεγέθη των αξόνων. Για το σκοπό αυτό επιλέγουμε Chart→Properties. (Σχήμα 4.12)



Σχήμα 4.12: Επιλογή μεγεθών για τους άξονες.

Στην καρτέλα Axes ορίζουμε τα μεγέθη των αξόνων μέσω των πεδίων X-Axis και Y-axes. Στην καρτέλα Scale ρυθμίζουμε την ελάχιστη και την μεγίστη τιμή που επιθυμούμε να εμφανίζονται στον άξονα (minimum – maximum).

Για να αλλάξουμε το πάχος του πλέγματος όπου θα εμφανιστεί η χαρακτηριστική πηγαίνουμε **Chart→Properties→Grid** και αλλάζουμε το πάχος της γραμμής οποιου από τους δυο άξονες επιθυμούμε. Με παρόμοιο τρόπο από την καρτέλα Zero Lines μπορούμε να αλλάξουμε το πάχος των αξόνων. Τέλος, το πάχος της χαρακτηριστικής και των σημείων που παίρνει το πρόγραμμα για να την σχηματίσει μπορούμε να τα αλλάξουμε από την επιλογή **Chart→Properties→Markers**.



Σχήμα 4.13: Επιλογή μεγεθών για εμφάνιση.

Στην συνέχεια πρέπει να καθοριστούν τα μετρούμενα μεγέθη που πρόκειται να εμφανιστούν στο sidebar. Για αυτό, επιλέγουμε Measured values στο μενού View (Σχήμα

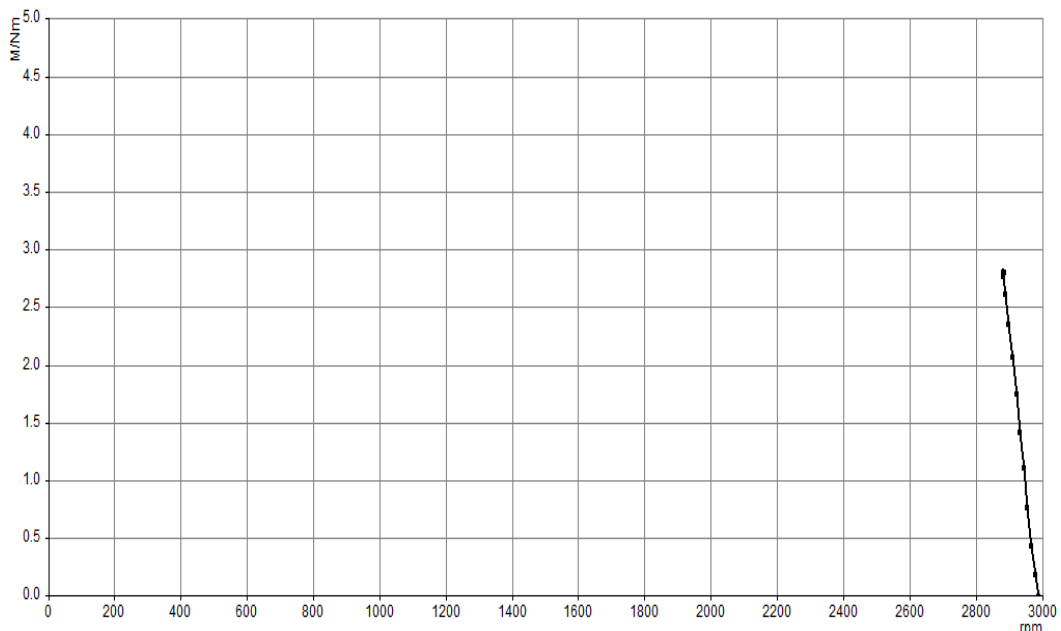
4.13). Με την παραπάνω ρύθμιση, μόνο οι τιμές για την ταχύτητα, τη ροπή και το ρεύμα του στάτη θα εμφανίζονται στο sidebar

Αφου πλέον ολοκληρωσαμε όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις πατάμε το κουμπι RUN γιατί αν η μονάδα οδήγησης δεν έχει οριστεί σε "RUN", στο πρόγραμμα θα εμφανίσει ένα μήνυμα σφάλματος. Από την γραμμή εργαλείων του προγράμματος πατάμε το κουμπί Switch drive on. Μετά την ενεργοποίηση της μονάδας οδήγησης, ορισμένες επιλογές στη γραμμή μενού και μερικά κουμπιά στη γραμμή εργαλείων, θα απενεργοποιηθούν.

Αν θέλουμε να σχηματίσουμε μια χαρακτηριστική χειροκίνητα, στην έναρξη της γραμμής εργαλείων, πληκτρολογούμε την επιθυμητή τιμή πχ 2 και πατάμε το πλήκτρο RETURN. Η μηχανή δοκιμής φρενάρει τώρα με 2Nm. Με την επιλογή Save value από το Chart menu η πρώτη τιμή μέτρησης αποθηκεύεται και εμφανίζεται αμέσως στο διάγραμμα. Μπορούμε επίσης χειροκίνητα να βάζουμε διάφορες τιμές στο Setpoint και αφού επιλέξουμε να δεχτεί το πρόγραμμα την τιμή που του δίνουμε πατώντας το κουμπί accept setpoint που βρίσκεται ακριβώς δίπλα, έπειτα πατάμε κάθε φορά Save value και εμφανίζεται η γραφική μας βήμα-βήμα με τις τιμές που έχουμε επιλέξει.

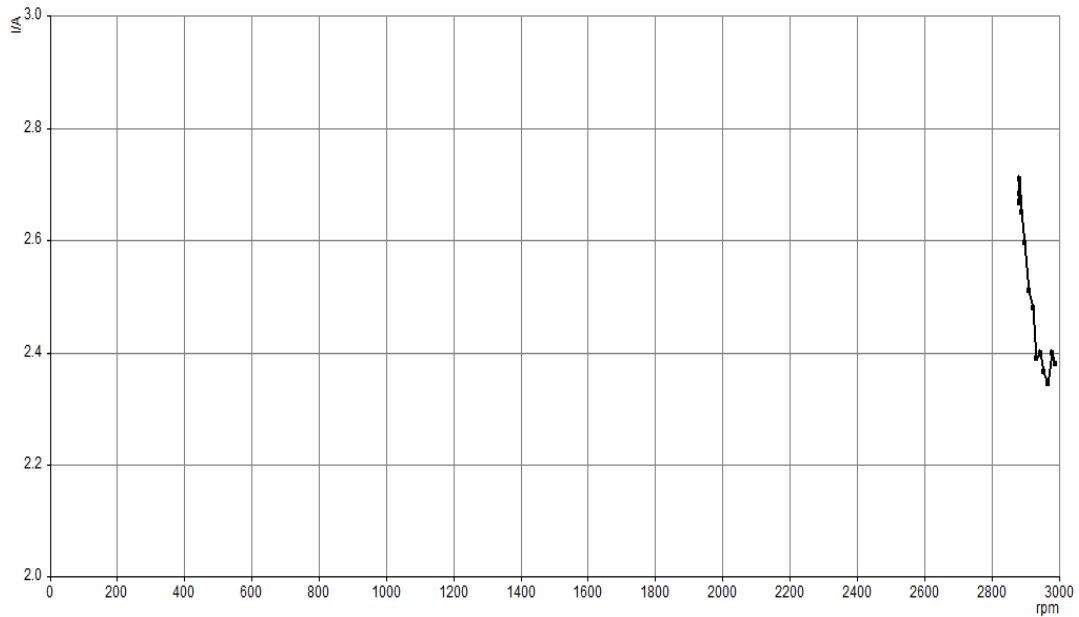
Στην περίπτωση μας που θέλουμε να πάρει το πρόγραμμα αυτόματα κάποιες τιμές και να εμφανίσει την γραφική, πατάμε το κουμπί Output Ramp από την γραμμή μενού και με τις κατάλληλες ρυθμίσεις που αναφέραμε μπορούμε να εμφανίσουμε τις χαρακτηριστικές που επιθυμούμε.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική ροπής/ταχύτητας (Σχήμα 4.14) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Torque.



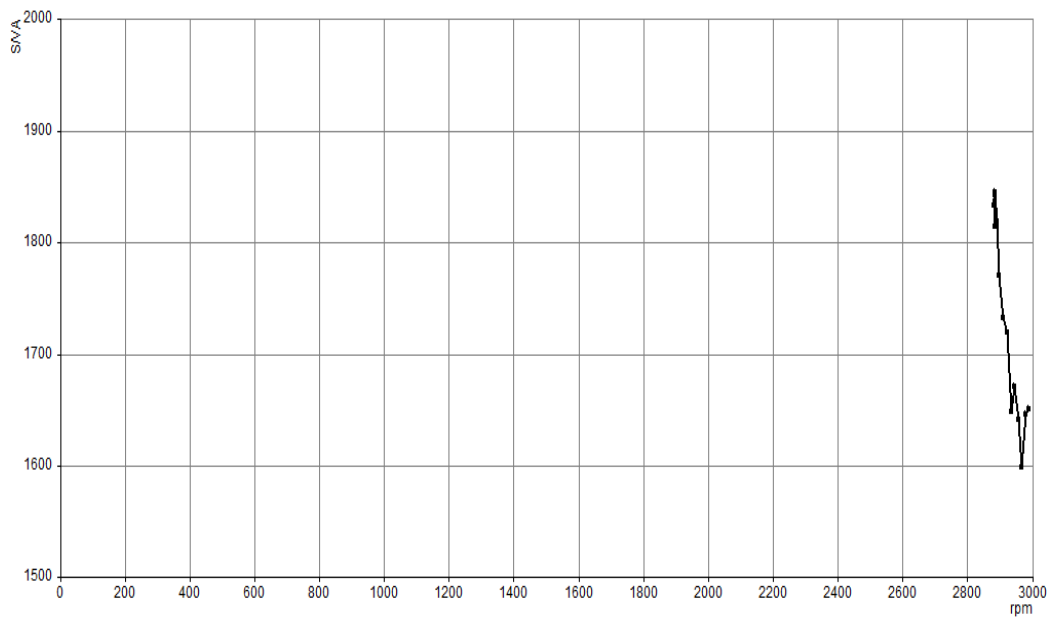
Σχήμα 4.14: Χαρακτηριστική ροπής/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική ρεύματος/ταχύτητας (Σχήμα 4.15) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Armature Current.



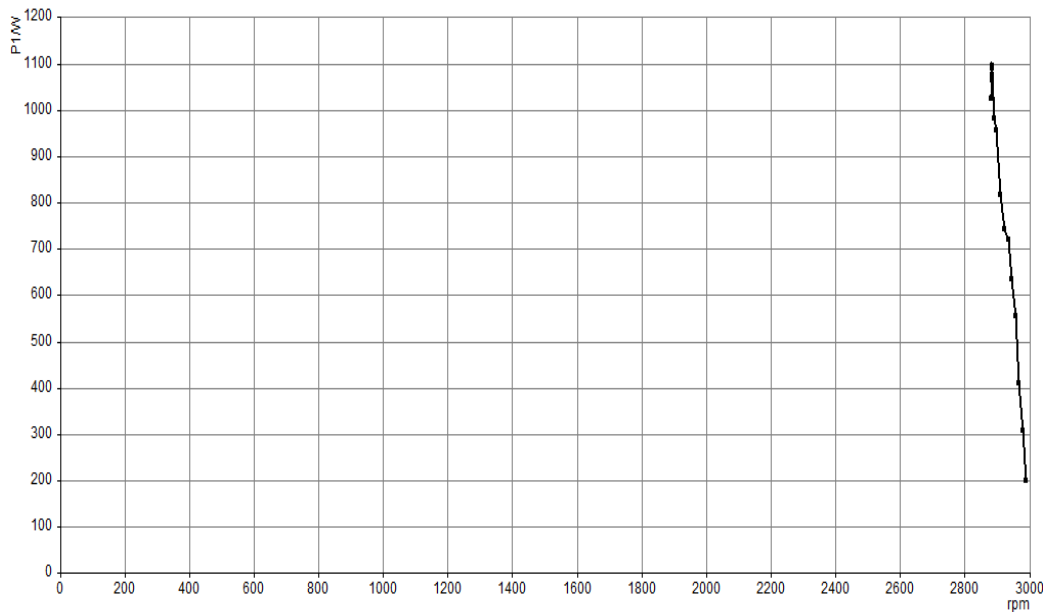
Σχήμα 4.15: Χαρακτηριστική ρεύματος/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική φαινόμενης ισχύς/ταχύτητας (Σχήμα 4.16) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Apparent Power.



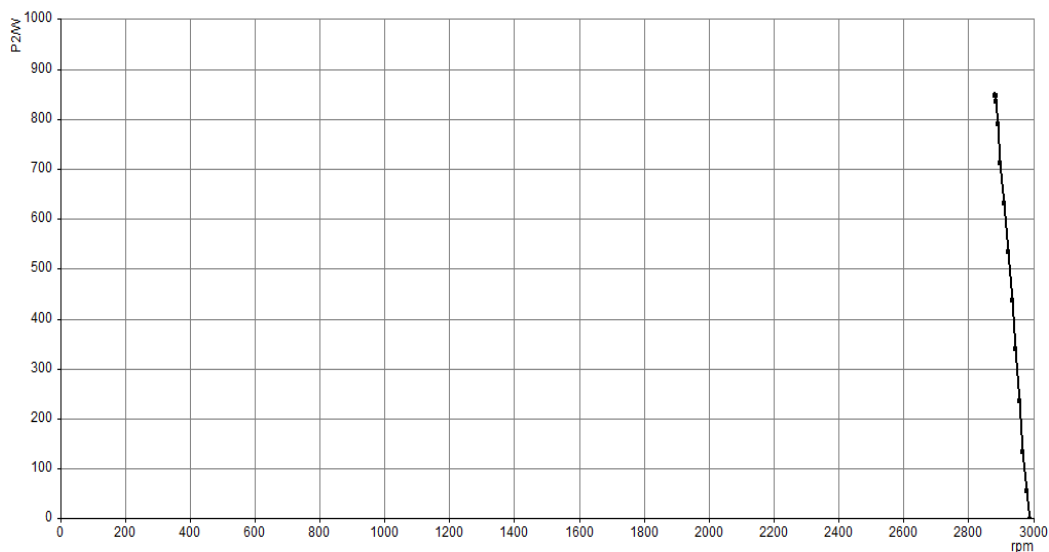
Σχήμα 4.16: Χαρακτηριστική φαινόμενης ισχύς/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική πραγματικής ισχύς/ταχύτητας (Σχήμα 4.17) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Active Power.



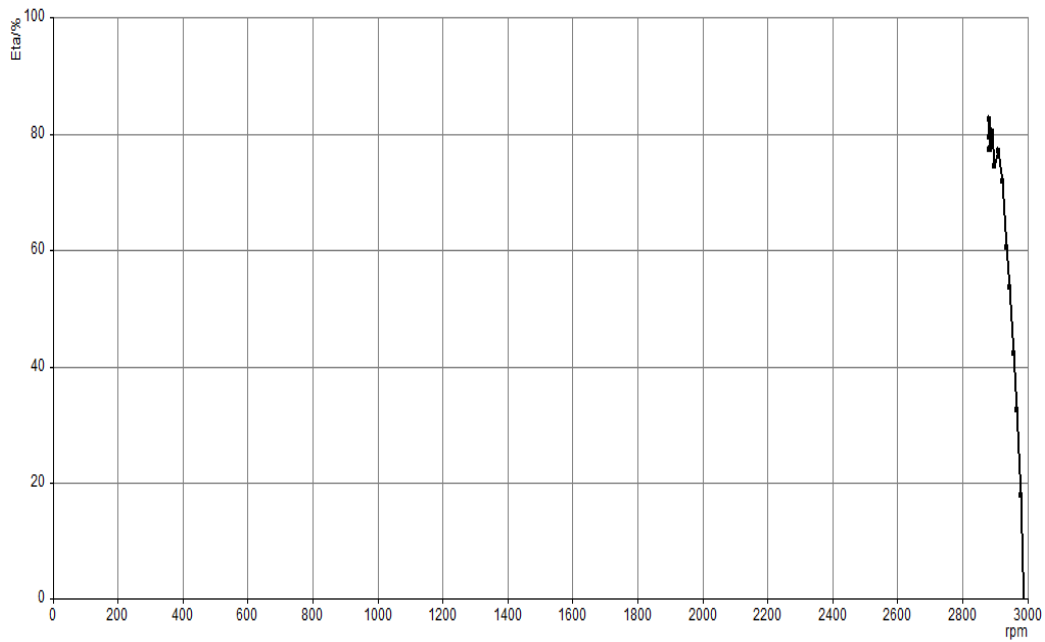
Σχήμα 4.17: Χαρακτηριστική πραγματικής ισχύς/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική μηχανικής ισχύς/ταχύτητας (Σχήμα 4.18) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Mechanical Power.



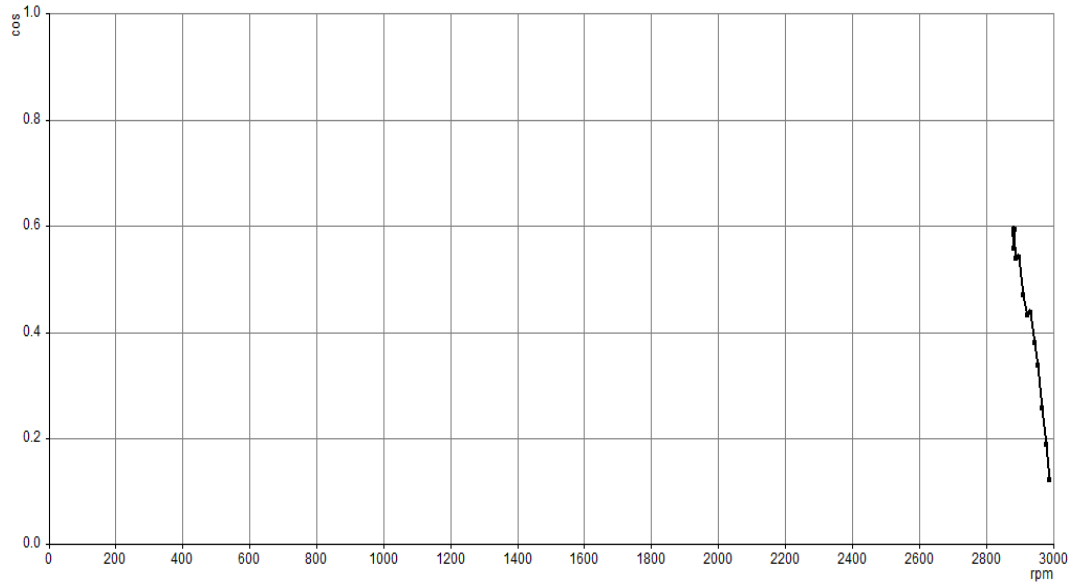
Σχήμα 4.18: Χαρακτηριστική μηχανικής ισχύς/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης/ταχύτητας (Σχήμα 4.19) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Efficiency.



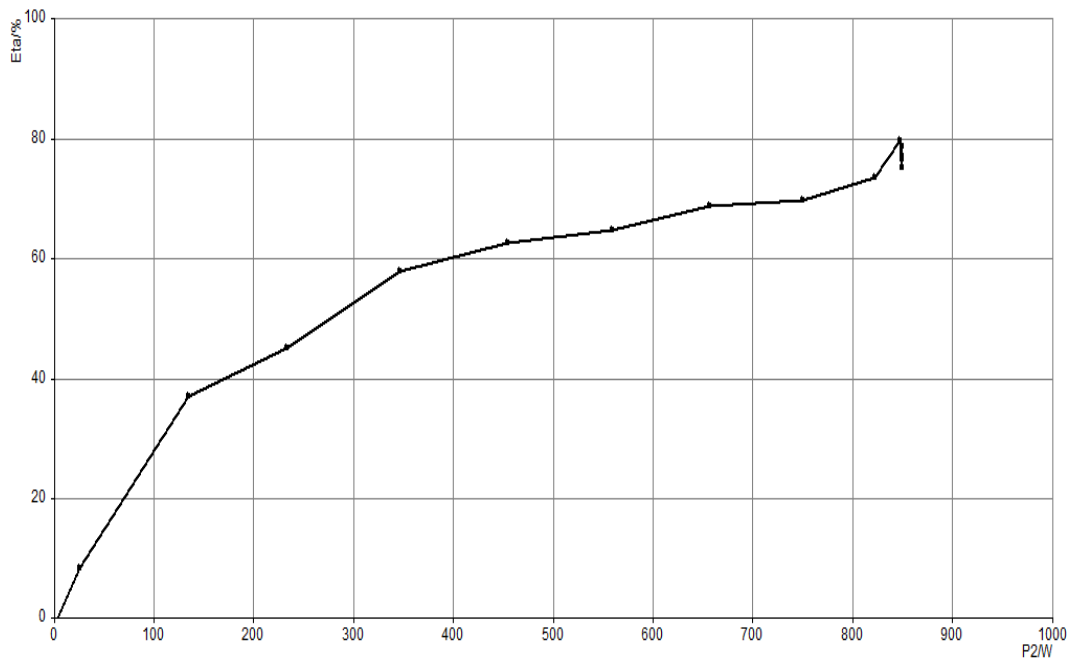
Σχήμα 4.19: Χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική συντελεστή ισχύος/ταχύτητας (Σχήμα 4.20) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Power Factor.



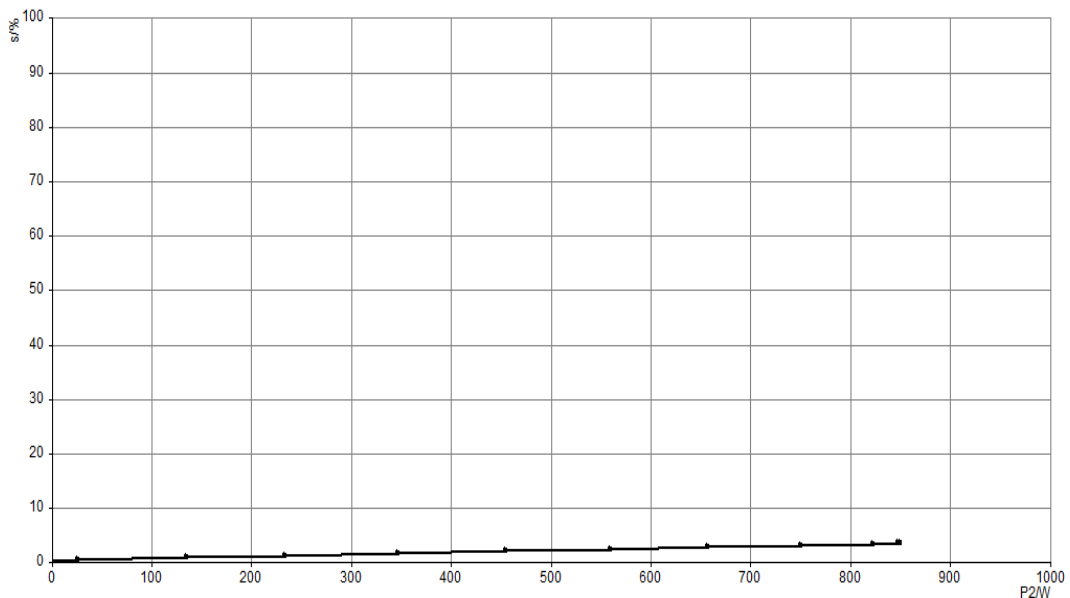
Σχήμα 4.20: Χαρακτηριστική συντελεστή ισχύος/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης/μηχανικής ισχύς (Σχήμα 4.21) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Mechanical Power. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Efficiency.



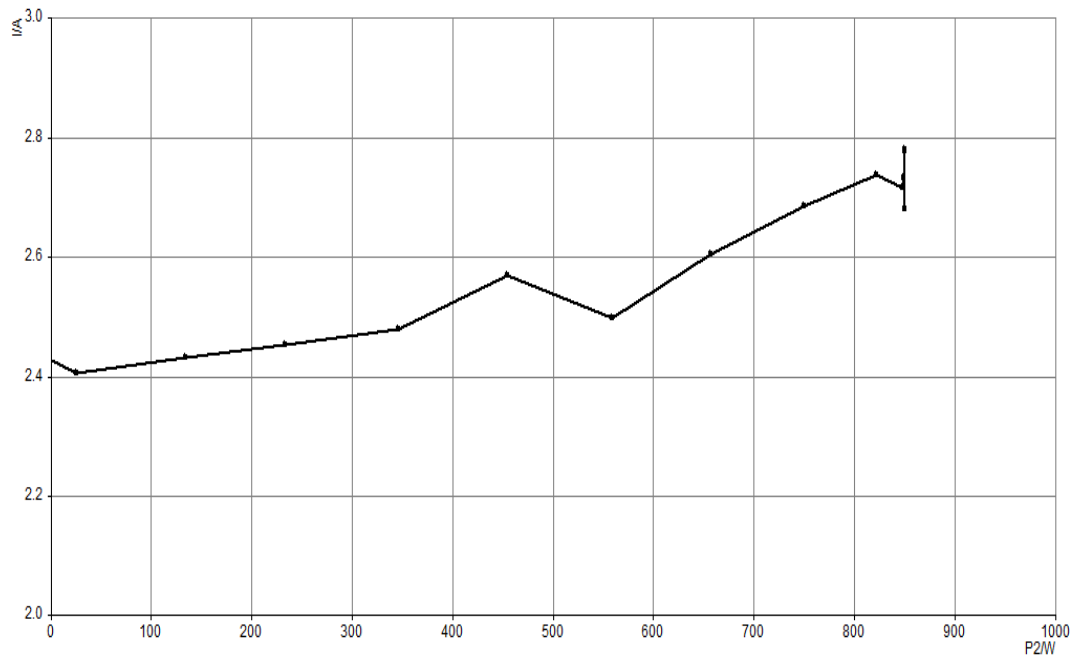
Σχήμα 4.21: Χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης/μηχανικής ισχύς.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική ολίσθησης/μηχανικής ισχύς (Σχήμα 4.22) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Mechanical Power. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Slip.



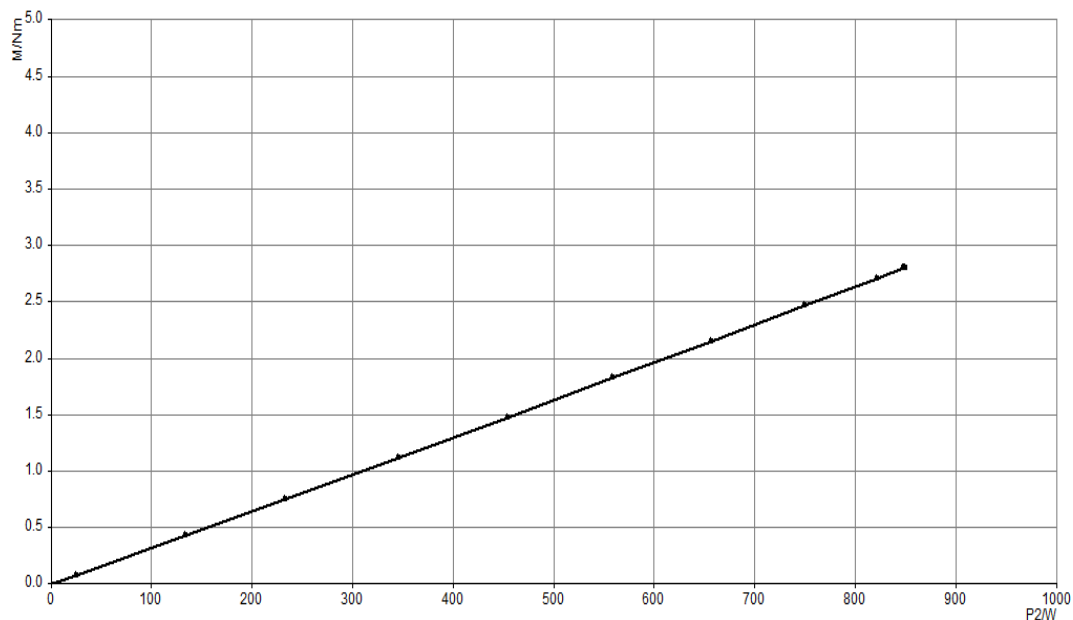
Σχήμα 4.22: Χαρακτηριστική ολίσθησης/μηχανικής ισχύς.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική ρεύματος/μηχανικής ισχύς (Σχήμα 4.23) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Mechanical Power. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Armature Current.



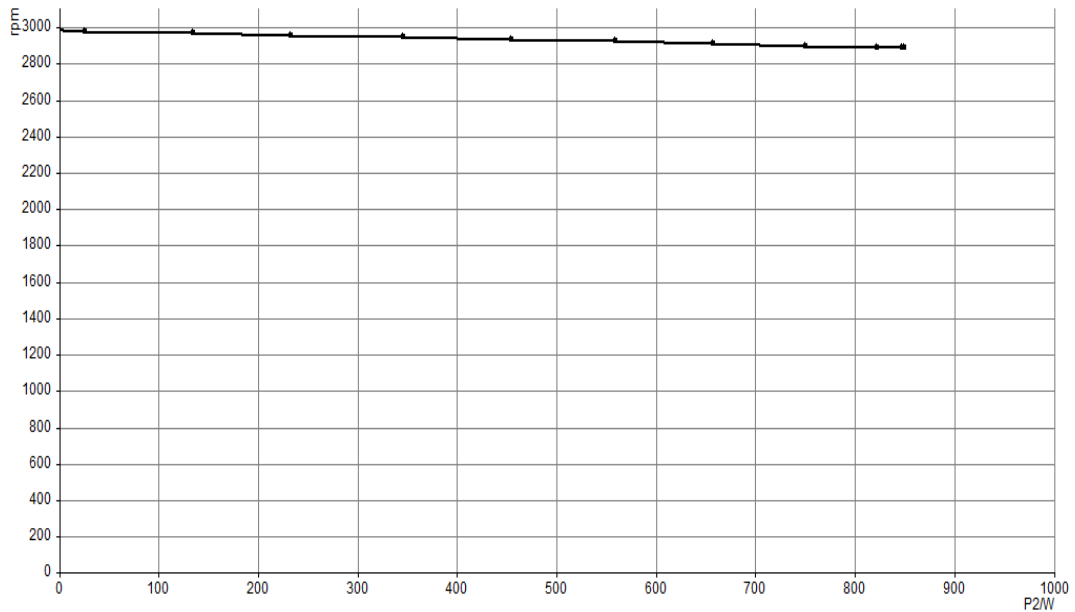
Σχήμα 4.23: Χαρακτηριστική ρεύματος/μηχανικής ισχύς.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική ροπής/μηχανικής ισχύς (Σχήμα 4.24) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Mechanical Power. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Torque.



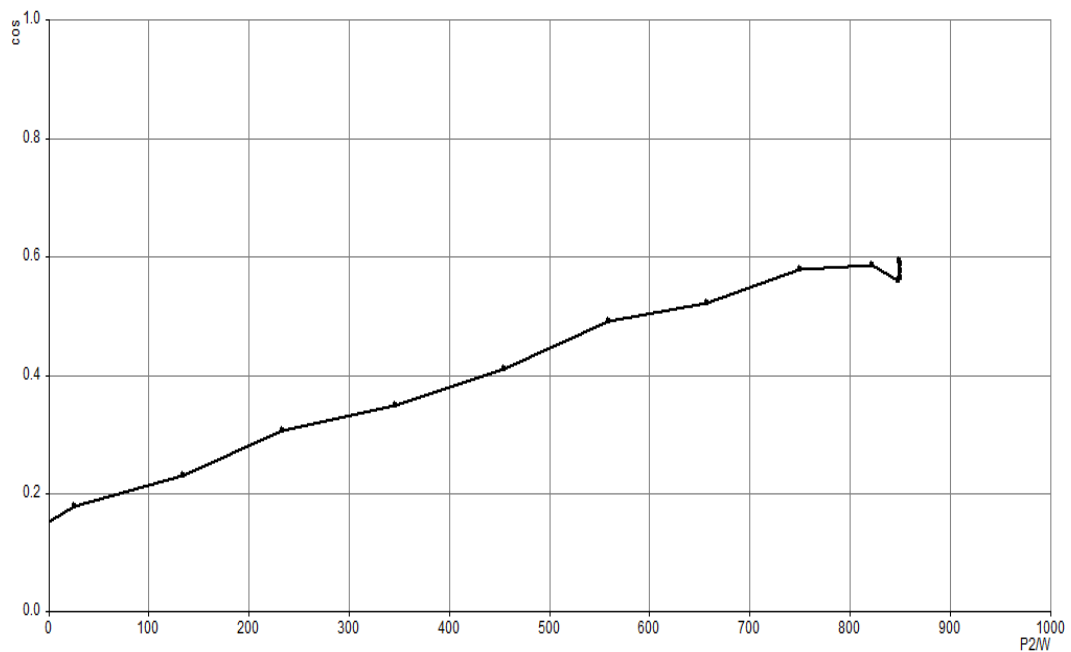
Σχήμα 4.24: Χαρακτηριστική ροπής/μηχανικής ισχύς.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική στροφών/μηχανικής ισχύς (Σχήμα 4.25) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Mechanical Power. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Speed.



Σχήμα 4.25: Χαρακτηριστική στροφών/μηχανικής ισχύς.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική συντελεστή ισχύος/μηχανικής ισχύς (Σχήμα 4.26) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Mechanical Power. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Power Factor.



Σχήμα 4.26: Χαρακτηριστική συντελεστή ισχύος/μηχανικής ισχύς.

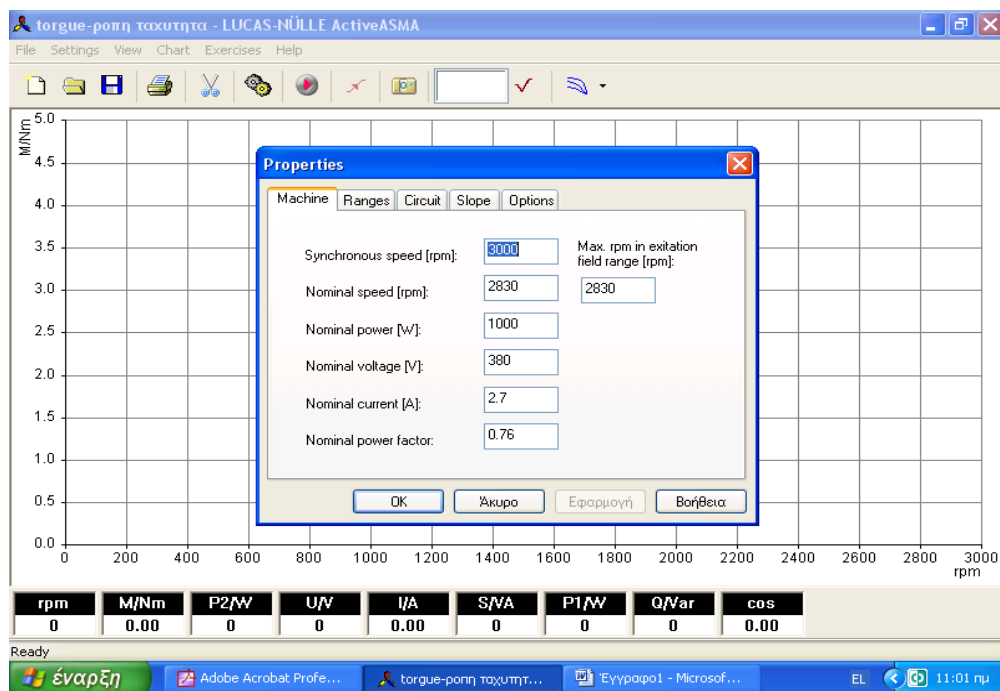
4.2 Torque Control

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας εφαρμόζεται για να φορτίσουμε τον κινητήρα με μια συνεχή ροπή, σε όλο το φάσμα των δυνατών ταχυτήτων του, και είναι ειδικά κατάλληλος για να καταγράψουμε τις χαρακτηριστικές των μηχανών. Η προσαρμοσμένη τιμή της ροπής φαίνεται στην ένδειξη, καθώς ο δίσκος λειτουργεί, ενώ η % ένδειξη αντιστοιχεί στην ροπή σε Nm (100%= 100 Nm)

4.2.1 Χαρακτηριστικές για Torque Control λειτουργία μέσω του λογισμικού ActiveASMA

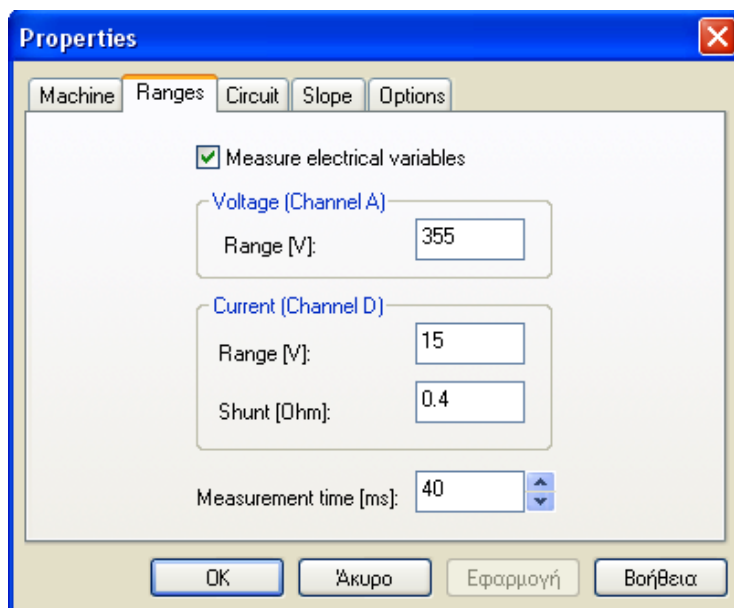
Ξεκινώντας το πρόγραμμα πρέπει να κάνουμε κάποιες ρυθμίσεις ώστε να επιλεγεί ο έλεγχος ροπής. Για τον σκοπό αυτό επιλέγουμε **File**→**Mode**→**Torque Control**. Επίσης θα πρέπει να πραγματοποιηθούν και μια σειρά από βασικές ρυθμίσεις επιλέγοντας την καρτέλα **Settings** → **Presets**.

Στην καρτέλα Machine (Σχήμα 4.27) βάζουμε τα ονομαστικά μεγέθη της μηχανής.



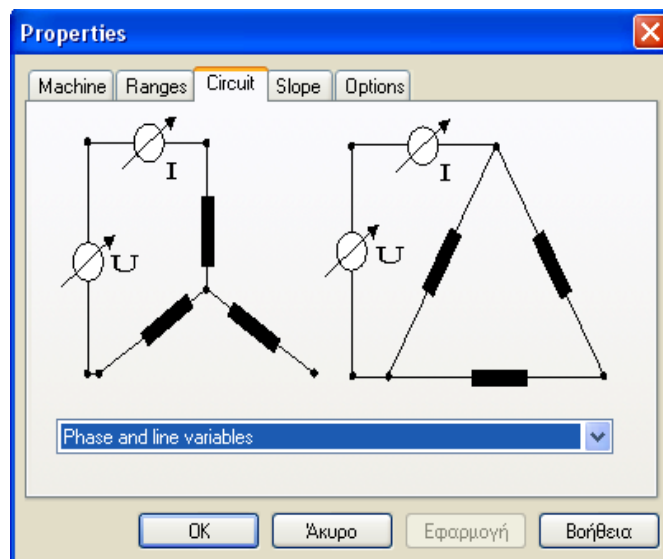
Σχήμα 4.27: Ρυθμίσεις στοιχείων μηχανής.

Στην καρτέλα Ranges (Σχήμα 4.28) βάζουμε τις σωστές τιμές στα πεδία Voltage (Channel A) και Current (Channel D).



Σχήμα 4.28: Ρυθμίσεις voltage/current.

Η καρτέλα Circuit χρησιμοποιείται για να επιλέξουμε τον τύπο του κυκλώματος που θα χρησιμοποιηθεί και επιλέγουμε Phase and line variables και εδώ πρέπει να προσέξουμε και να δούμε την συνδεσμολογία γιατί έτσι πρέπει να γίνει και στο εργαστήριο, δηλαδή από την servo-μονάδα φεύγουν τα δυο καλωδια από το I_m και το U_m και πάνε στην πρώτη φάση της μηχανής. Το άλλο άκρο (αριστερό) της U_m πάει στην τρίτη φάση της μηχανής. (Σχήμα 4.29)

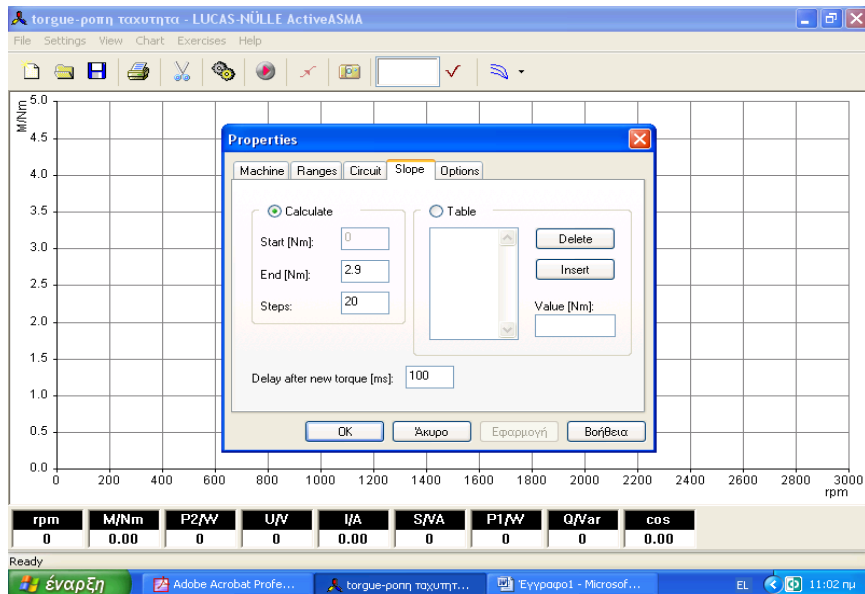


Σχήμα 4.29: Ρυθμίσεις φασικών μεγεθών.

Στην καρτέλα Slope θα ορίσουμε την μέγιστη ροπή την οποία αντέχει η μηχανή που δουλεύουμε και αυτό γίνεται, γιατί αν την ξεπεράσουμε θα έχει ως αποτέλεσμα να τραβήξει ρεύμα μεγαλύτερο του ονομαστικού με κίνδυνο να καταστραφεί η μηχανή (Σχήμα 4.30).

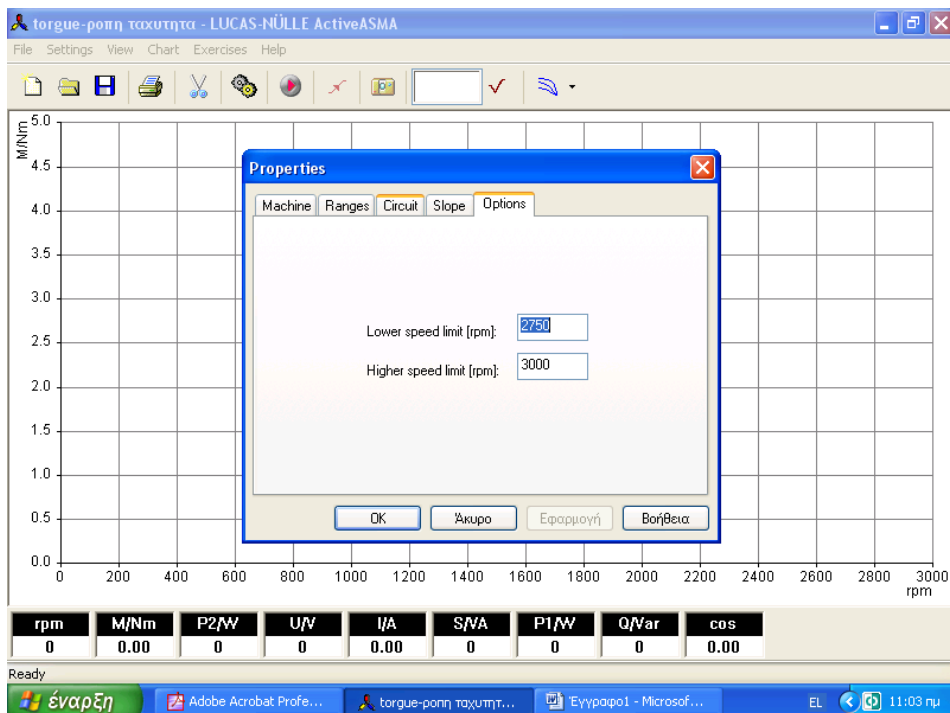
Στο μενού του προγράμματος επιλέγουμε **Settings**→**Presets (Properties)**→**Slope** και βάζουμε τις σωστές τιμές στο πεδίο End (Nm). Το πρόγραμμα θα σταματήσει να παίρνει άλλες μετρήσεις πάνω από αυτή την τιμή που θα επιλέξουμε. Στο πεδίο Steps ορίζουμε πόσα σημεία θέλουμε να έχουμε στην χαρακτηριστική που θα δημιουργηθεί δηλαδή πόσες

μετρήσεις να πάρει και τέλος στο πεδίο Delay after new torque ορίζουμε την καθυστέρηση ανάμεσα στα σημεία της χαρακτηριστικής.



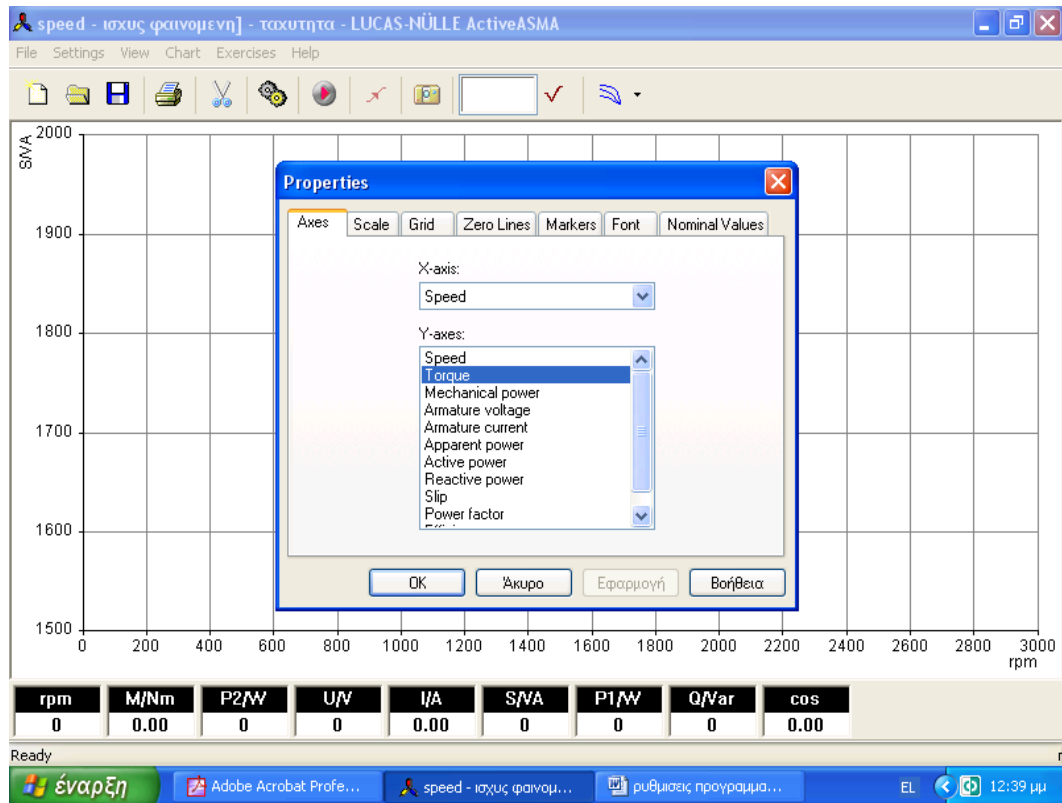
Σχήμα 4.30: Ρυθμίσεις μέγιστης ροπής και βημάτων.

Τέλος, στην τελευταία καρτέλα Options θα ορίζουμε στο πεδίο Lower speed limit (rpm): 2750 όπου είναι η ονομαστική ταχύτητα του κινητήρα η οποία αντιστοιχεί στην μέγιστη ροπή. Αυτή είναι η μεγαλύτερη υπερφόρτιση που μπορούμε να δώσουμε στον κινητήρα γιατί μετά από αυτήν την τιμή η ροπή ανεβαίνει πάνω από τα ονομαστικά όρια. Στο Higher speed limit(rpm) βάζουμε τον σύγχρονο αριθμό στροφών του κινητήρα. (Σχήμα 4.31)



Σχήμα 4.31: Ρυθμίσεις ορίων ταχύτητας.

Οι παρακάτω ρυθμίσεις ισχύουν και στην περίπτωση που βρισκόμαστε στην Torque Control λειτουργία και στην περίπτωση της Speed Control λειτουργίας. Για να σχηματίσουμε τώρα τις χαρακτηριστικές που θέλουμε θα πρέπει να οριστούν τα μεγέθη των αξόνων πατώντας **Chart→Properties**. (Σχήμα 4.32)



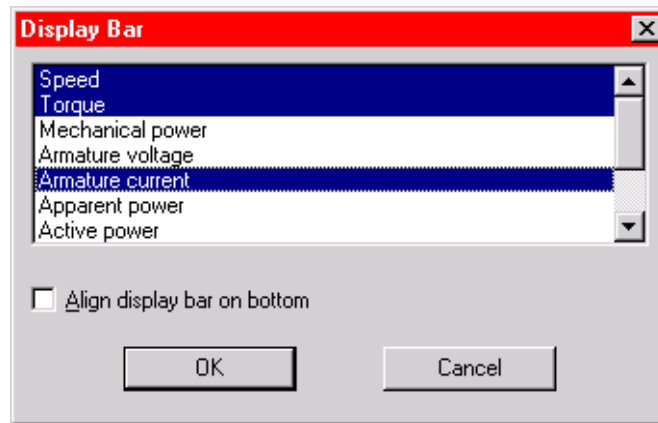
Σχήμα 4.32: Επιλογή μεγεθών για τους άξονες.

Στην καρτέλα Axes ορίζουμε τα μεγεθ. που επιθυμούμε για τον οριζόντιο άξονα (X-Axis) και για τους κατακόρυφους άξονες (Y-axes). Στην καρτέλα Scale ορίζεται η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή που επιθυμούμε να εμφανίζεται σε κάθε άξονα (minimum–maximum).

Για να αλλάξουμε το πάχος του πλέγματος όπου θα εμφανιστεί η χαρακτηριστική πηγαίνουμε **Chart→Properties→Grid** και αλλάζουμε το πάχος της γραμμής όποιου από τους δυο άξονες επιθυμούμε. Με τον ίδιο τρόπο από την καρτέλα Zero Lines μπορούμε να αλλάξουμε το πάχος των αξόνων. Τέλος, το πάχος της χαρακτηριστικής και των σημείων που μετρούνται από το πρόγραμμα για τον σχηματισμό της χαρακτηριστικής ορίζονται από την επιλογή **Chart→Properties→Markers**.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να καθοριστούν τα μετρούμενα μεγέθη που πρόκειται να εμφανιστούν στο sidebar. Για αυτό, επιλέγουμε Measured values στο μενού View (Σχήμα 4.33). Σύμφωνα με τις επιλογές του Σχήματος 4.33 μόνο οι τιμές για την ταχύτητα, τη ροπή και το ρεύμα του στάτη θα εμφανίζονται στο sidebar.

Αφού ολοκληρωθούν όλες οι απαραίτητες ρυθμίσεις πατάμε το κουμπί RUN γιατί αν η μονάδα οδήγησης δεν έχει οριστεί σε κατάσταση "RUN", στο πρόγραμμα θα εμφανίσει ένα μήνυμα σφάλματος. Από την γραμμή εργαλείων του προγράμματος πατάμε το κουμπί Switch drive on. Μετά την ενεργοποίηση της μονάδας οδήγησης, ορισμένες εντολές στη γραμμή μενού και μερικά κουμπιά στη γραμμή εργαλείων, θα απενεργοποιηθούν.



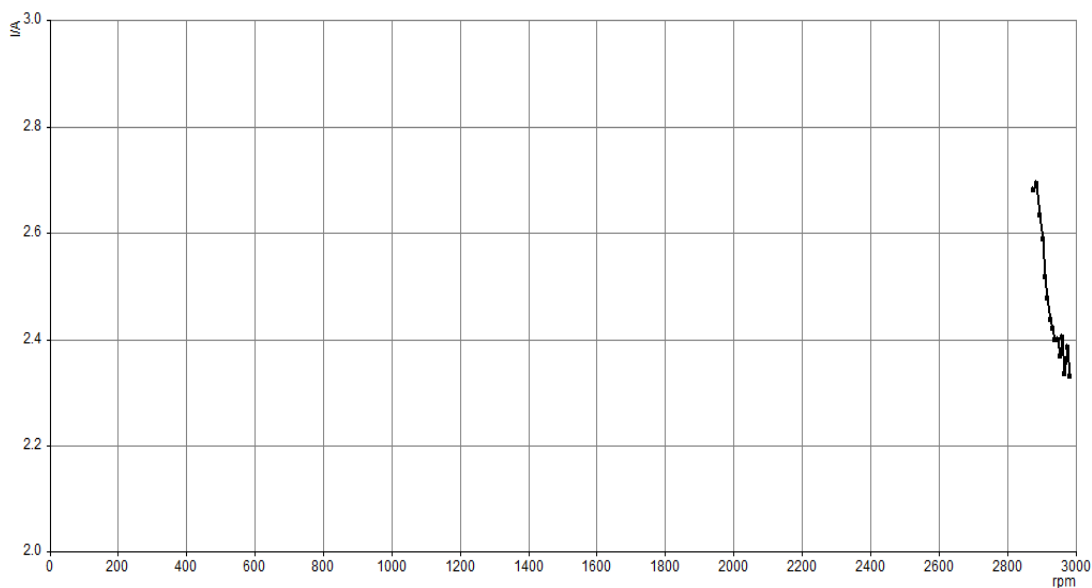
Σχήμα 4.33: Επιλογή μεγεθών για εμφάνιση.

Αν θέλουμε να σχηματίσουμε μια γραφική χειροκίνητα, στην έναρξη της γραμμής εργαλείων, πληκτρολογούμε την τιμή ροπής που επιθυμούμε πχ 2Nm και πατάμε το πλήκτρο RETURN. Η μηχανή δοκιμής φρενάρει τώρα με 2Nm. Με την επιλογή του Save value από το Chart menu η πρώτη τιμή μέτρησης αποθηκεύεται και εμφανίζεται αμέσως στο διάγραμμα.

Μπορούμε επίσης χειροκίνητα να βάζουμε διάφορες τιμές στο Setpoint και αφού επιλέξουμε να δεχτεί το πρόγραμμα την τιμή που του δίνουμε πατώντας το κουμπί accept setpoint που βρίσκεται ακριβώς δίπλα, έπειτα πατάμε κάθε φορά Save value και εμφανίζεται η γραφική μας βήμα-βήμα με τις τιμές που έχουμε επιλέξει.

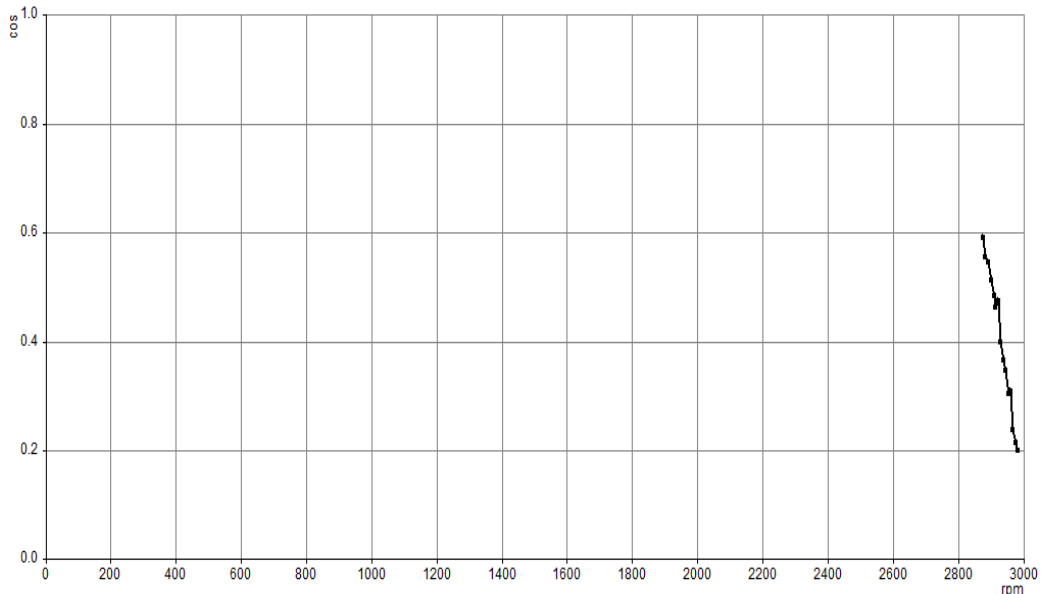
Στην περίπτωση που θέλουμε να πάρει το πρόγραμμα αυτόματα κάποιες μετρήσεις και να εμφανίσει την γραφική, πατάμε το κουμπί Output Ramp από την γραμμή μενού και με τις κατάλληλες ρυθμίσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω εμφανίζονται οι επιθυμητές χαρακτηριστικές.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική ρεύματος/ταχύτητας (Σχήμα 4.34) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Armature current.



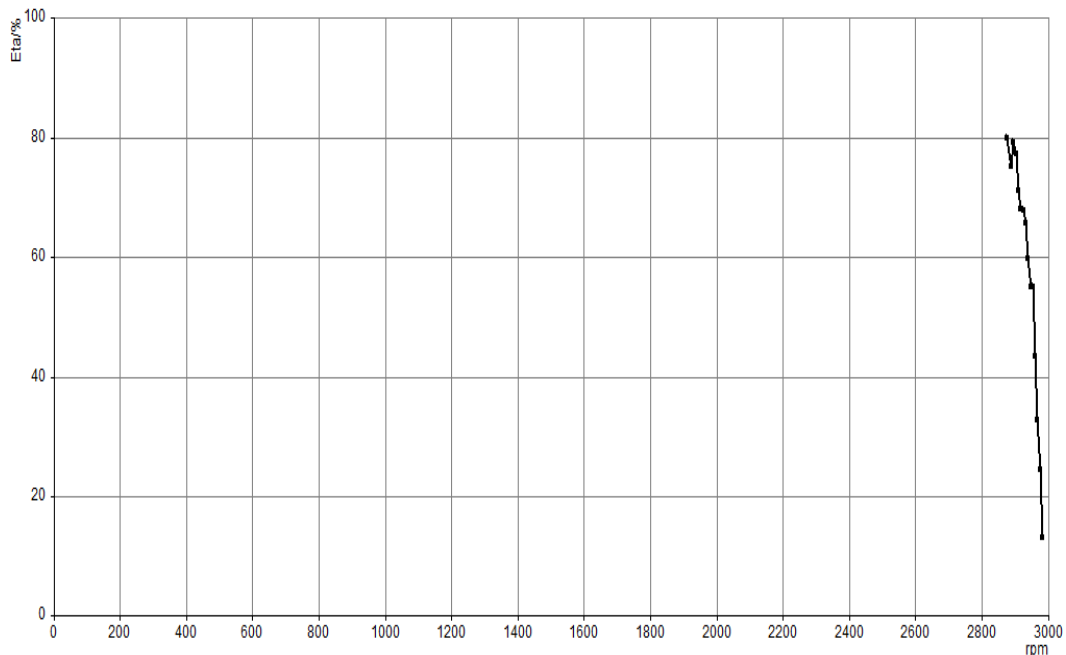
Σχήμα 4.34: Χαρακτηριστική ρεύματος/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική συντελεστή ισχύος/ταχύτητας (Σχήμα 4.35) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Power factor.



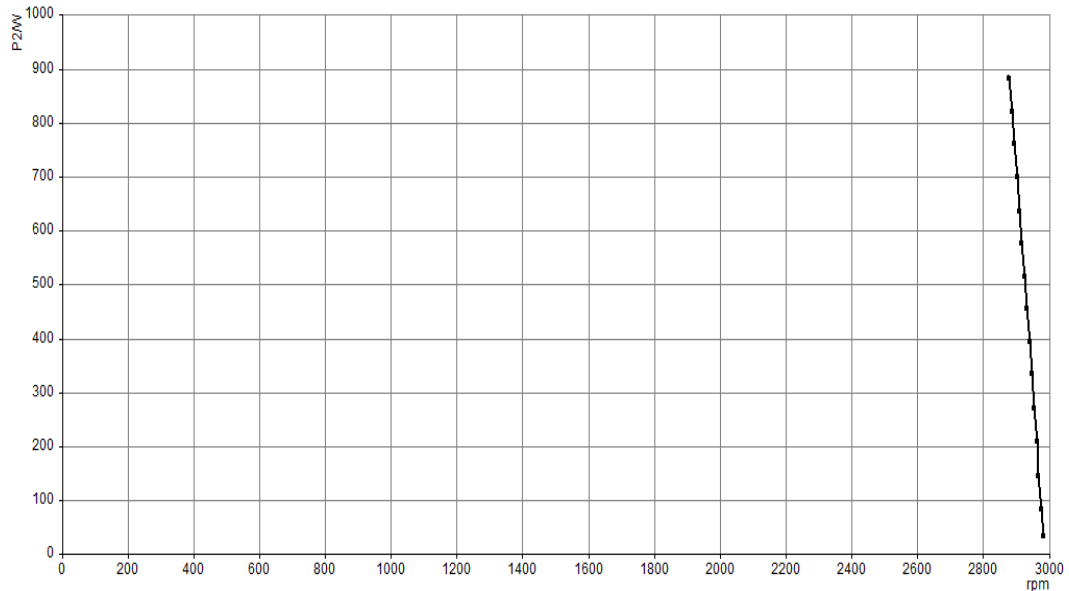
Σχήμα 4.35: Χαρακτηριστική συντελεστή ισχύος/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης/ταχύτητας (Σχήμα 4.36) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Efficiency.



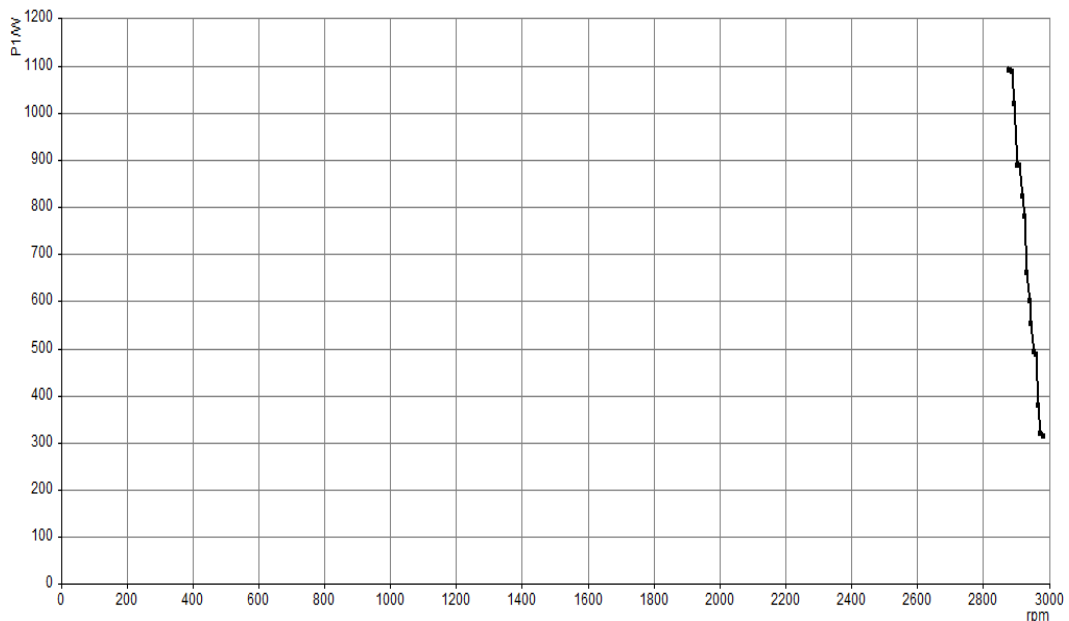
Σχήμα 4.36: Χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική μηχανικής ισχύς/ταχύτητας (Σχήμα 4.37) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Mechanical Power.



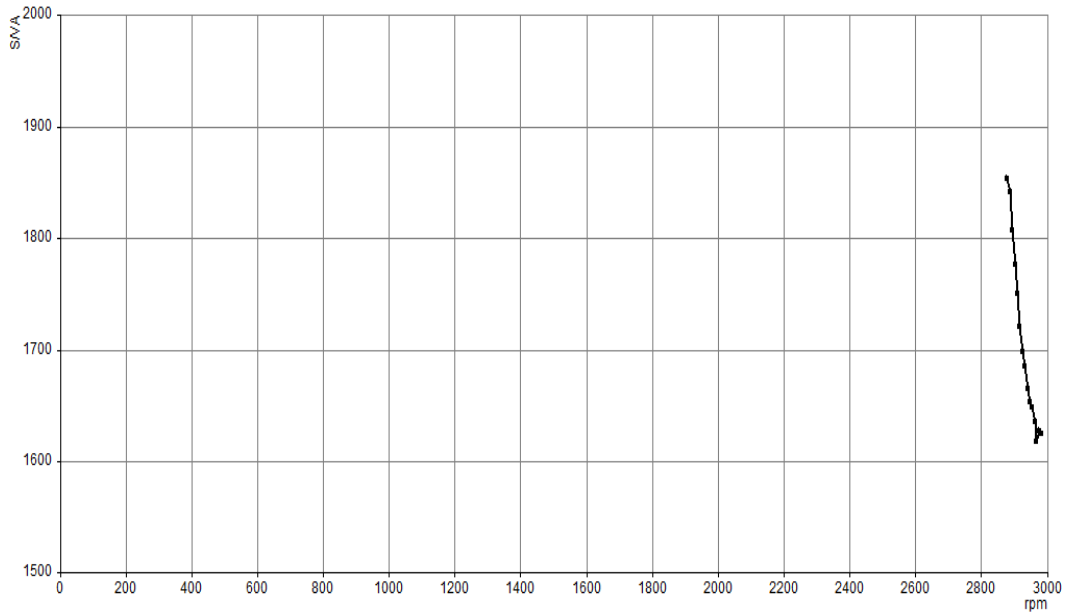
Σχήμα 4.37: Χαρακτηριστική μηχανικής ισχύς/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική πραγματικής ισχύς/ταχύτητας (Σχήμα 4.38) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Active Power.



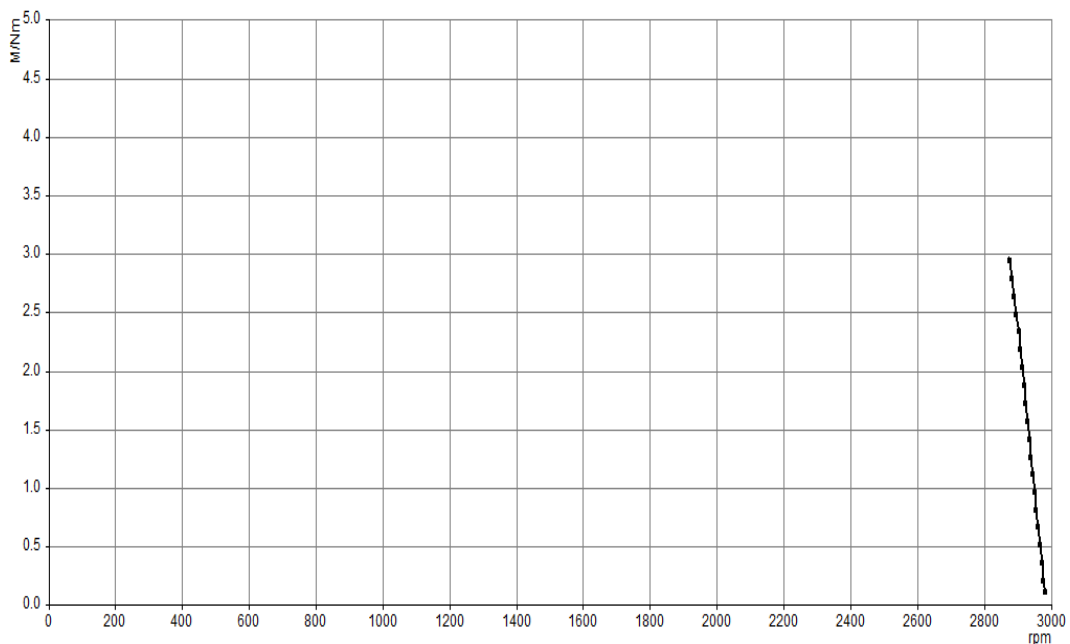
Σχήμα 4.38: Χαρακτηριστική πραγματικής ισχύς/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική φαινόμενης ισχύς/ταχύτητας (Σχήμα 4.39) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Apparent Power.



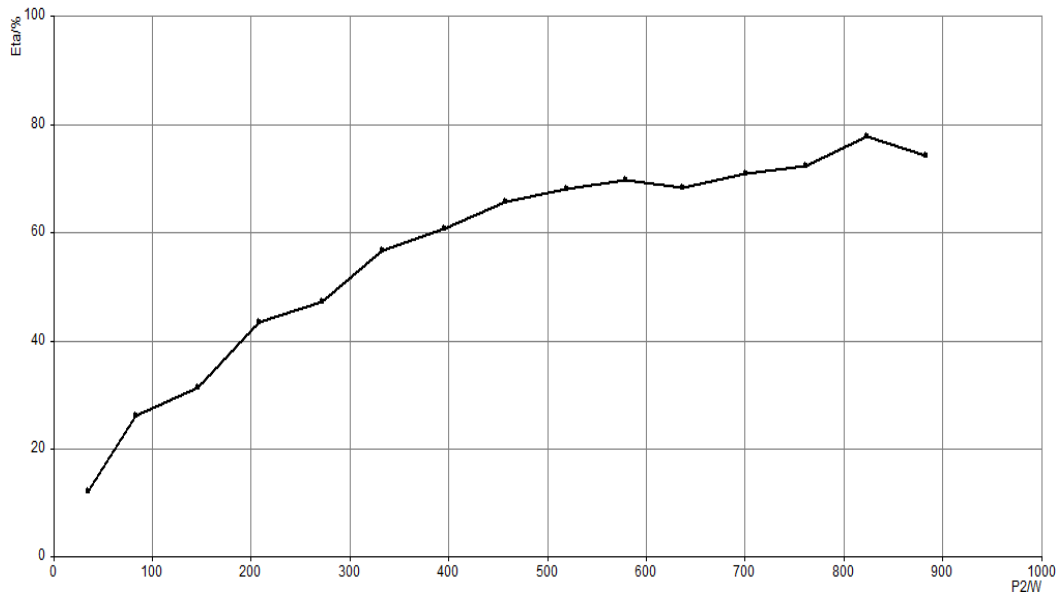
Σχήμα 4.39: Χαρακτηριστική φαινόμενης ισχύς/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική ροπής/ταχύτητας(Σχήμα 4.40) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Speed.Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Torque.



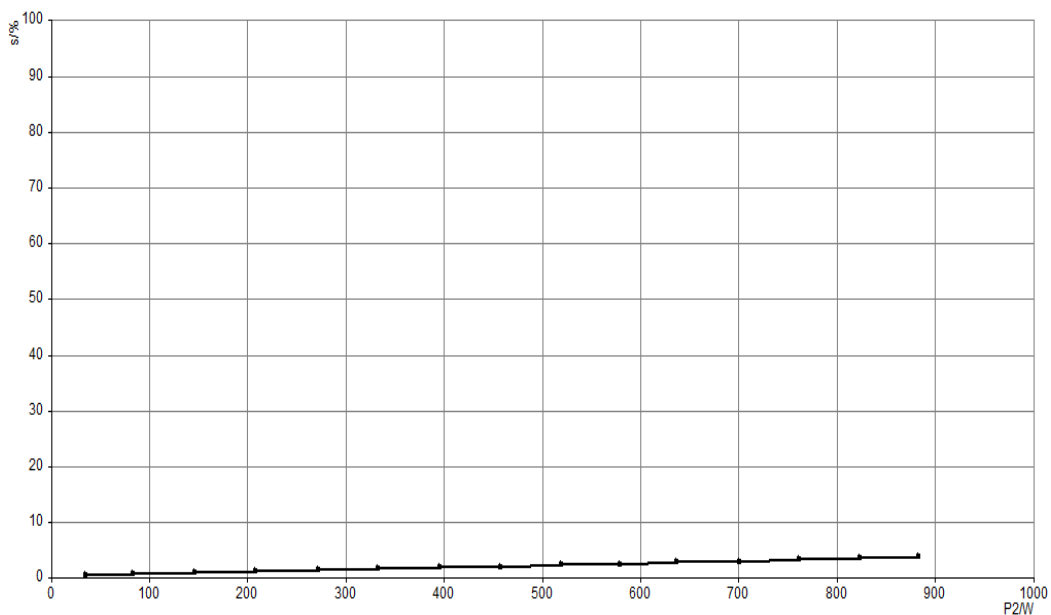
Σχήμα 4.40: Χαρακτηριστική ροπής/ταχύτητας.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης/μηχανικής ισχύς (Σχήμα 4.41) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Mechanical Power. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Efficiency.



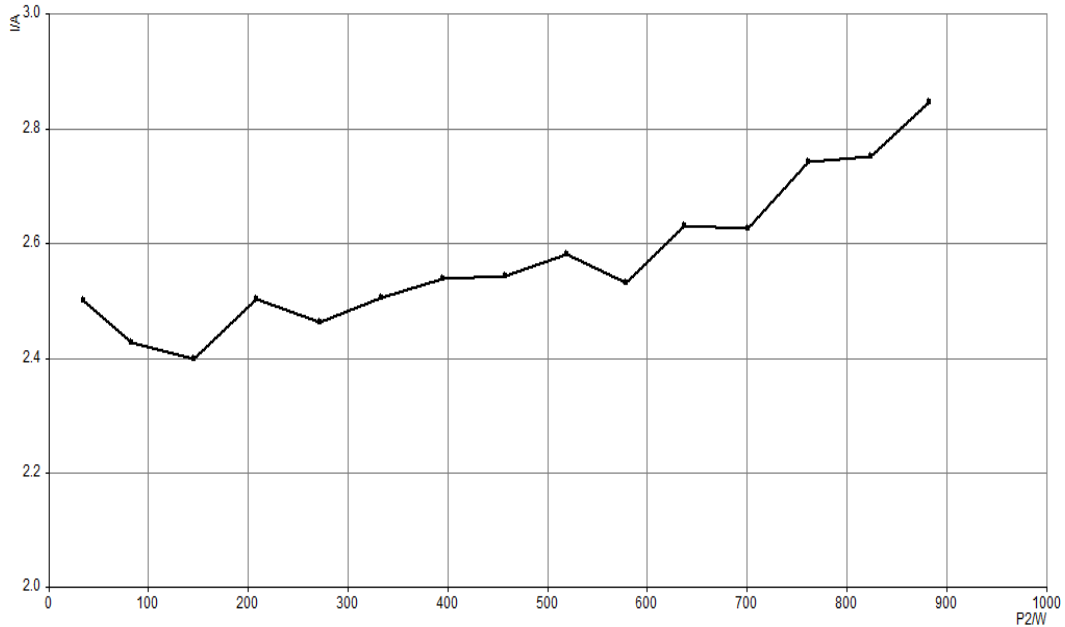
Σχήμα 4.41: Χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης/μηχανικής ισχύς.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική ολίσθησης/μηχανικής ισχύς (Σχήμα 4.42) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Mechanical Power. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Slip.



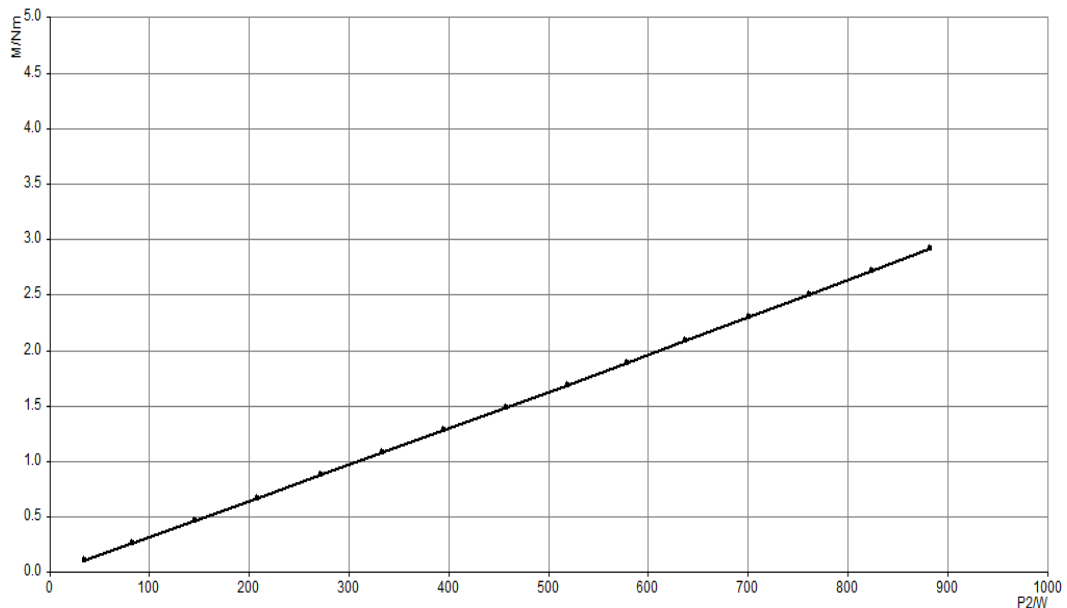
Σχήμα 4.42: Χαρακτηριστική ολίσθησης/μηχανικής ισχύς.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική ρεύματος/μηχανικής ισχύς (Σχήμα 4.43) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Mechanical Power. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Armature current.



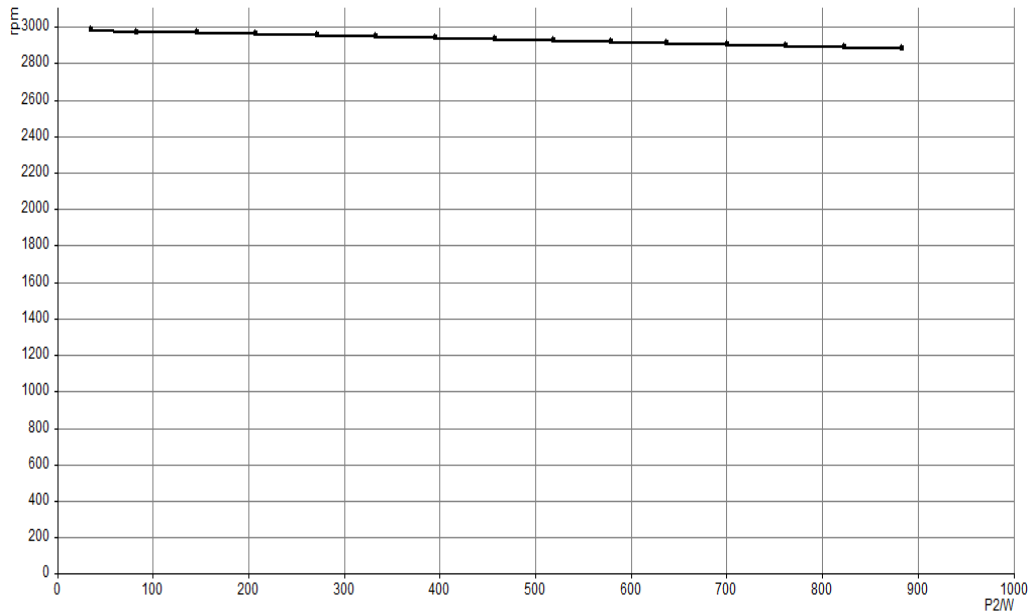
Σχήμα 4.43: Χαρακτηριστική ρεύματος/μηχανικής ισχύς.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική ροπής/μηχανικής ισχύς (Σχήμα 4.44) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Mechanical Power. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Torque.



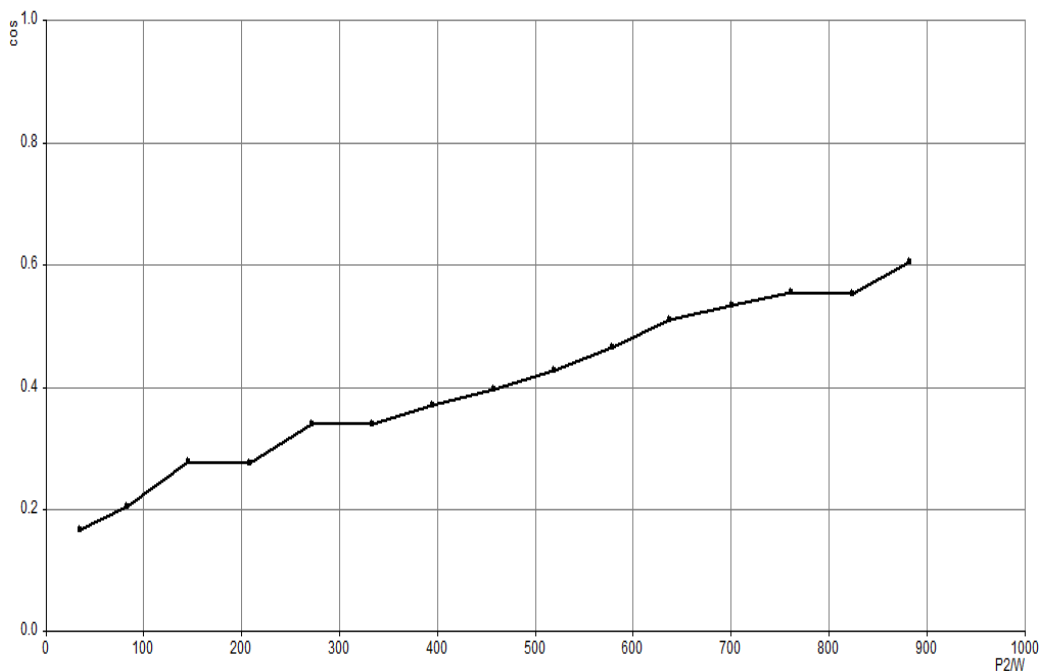
Σχήμα 4.44: Χαρακτηριστική ροπής/μηχανικής ισχύς.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική στροφών/μηχανικής ισχύς (Σχήμα 4.45) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Mechanical Power. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Speed.



Σχήμα 4.45: Χαρακτηριστική στροφών/μηχανικής ισχύς.

Για να εμφανιστεί η χαρακτηριστική συντελεστή ισχύος/μηχανική ισχύς (Σχήμα 4.46) ρυθμίζουμε κατάλληλα τους άξονες κάνοντας κλικ με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού στον άξονα X του γραφήματος και από το μενού, επιλέγουμε το στοιχείο Mechanical Power. Ομοίως στον άξονα Y, επιλέγουμε Power Factor.



Σχήμα 4.46: Χαρακτηριστική συντελεστή ισχύος/μηχανικής ισχύς.

4.3 Διεξαγωγή πειραμάτων και λήψη χαρακτηριστικών λειτουργίας σε ασύγχρονη ηλεκτρική μηχανή A.C. χειροκίνητα

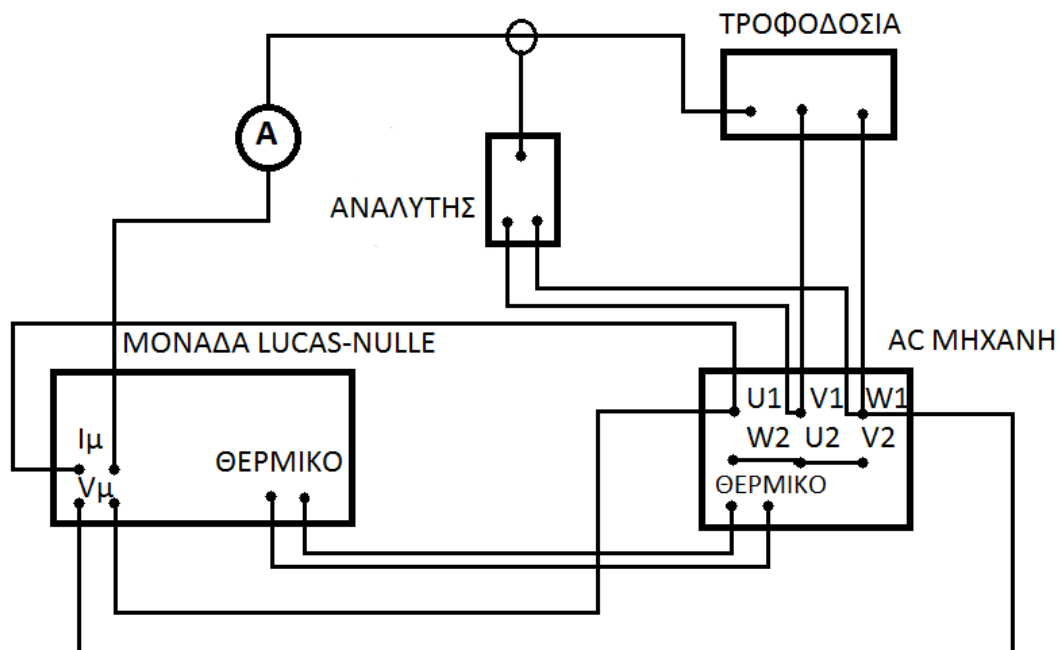
Σε αυτή την σειρά πειραμάτων συνδέουμε πάλι την AC μηχανή βραχυκυκλωμένου δρομέα και παίρνουμε ένα σύνολο μετρήσεων ώστε να χαράξουμε τις χαρακτηριστικές της μηχανής. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε τη σερβοπέδη της εταιρείας Lucas Nulle σε συνδυασμό με το ρυθμιστή στροφών της εταιρείας Lenze.

Αυτή τη φορά δεν θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα ActiveASMA αλλά οι όποιες μετρήσεις και χαρακτηριστικές θα ληφθούν χειροκίνητα και θα εξαρτώνται αποκλειστικά από εμάς. Ο σκοπός του πειράματος είναι να επιλέξουμε εμείς συγκεκριμένα σημεία παίρνοντας δικές μας τιμές και αφού σχηματιστούν οι χαρακτηριστικές που θέλουμε, θα τις συγκρίνουμε με αυτές που βγήκαν από το πρόγραμμα. Αυτές οι χαρακτηριστικές θα πρέπει να συμπίπτουν και να είναι παρόμοιες μεταξύ τους και ως έχουμε διαφορετικές μετρήσεις

Όπως θα φάνει και παρακάτω οι χαρακτηριστικές θα έχουν κάποια απόκλιση μεταξύ των δυο πειραμάτων και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στα διάφορα σφάλματα που προκύπτουν όπως το σφάλμα του οργάνου της σερβο-μονάδας το οποίο δεν έχει μεγάλη ακρίβεια. Ένα σφάλμα που μπορεί να προκύψει είναι το σφάλμα του παρατηρητή το οποίο οφείλεται στον ανθρώπινο παράγοντα αφού οι ενδείξεις των οργάνων είναι αναλογικές.

Ανεξάρτητα με τον τρόπο λειτουργίας της σερβοπέδης θα πρέπει να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:

- Αρχικά θα πρέπει να πραγματοποιηθεί η συνδεσμολογία του Σχήματος 4.47.
- Αφού έχουμε συνδέσει σωστά το κύκλωμα και έχει ελεγχθεί ενεργοποιούμε τη σερβοπέδη της εταιρείας Lucas Nulle από το κουμπί **Power** κάτω δεξιά.
- Από το κουμπί **Set Value** που βρίσκεται στο αριστερό μέρος της σερβοπέδης επιλέγουμε **Torque Control** ή **Speed Control** ανάλογα με ποια λειτουργία επιθυμούμε.



Σχήμα 4.47: Συνδεσμολογία πειράματος.

- Τέλος, αφού δώσουμε και τροφοδοσία πατάμε το κουμπί RUN που βρίσκεται στο δεξί μέρος της σερβοπέδης και είμαστε έτοιμοι να πάρουμε τις κατάλληλες μετρήσεις που χρειάζονται για να σχηματιστούν οι χαρακτηριστικές που ζητήθηκαν.

4.3.1 Για Speed Control λειτουργία:

Οι χαρακτηριστικές που πρέπει να δημιουργηθούν είναι: βαθμού απόδοσης/μηχανικής ισχύς, ολίσθησης/μηχανικής ισχύς, ρεύματος/μηχανικής ισχύς, ροπής/μηχανικής ισχύς, στροφών/μηχανικής ισχύς, συντελεστή ισχύος/μηχανικής ισχύς

Σε αυτήν την λειτουργία θα μεταβάλλουμε χειροκίνητα την τιμή της ταχύτητας της σερβοπέδης από τις 2875rpm που είναι οι ελάχιστη ταχύτητα για την μέγιστη ροπή του κινητήρα μέχρι τις μέγιστες στροφές του κινητήρα που είναι 2983 rpm. Έτσι θα πάρουμε δέκα διαφορετικά σημεία όπου σε κάθε τιμή της ταχύτητας θα μετράμε όλα τα στοιχεία που μας δίνουν τα όργανα που έχουμε συνδέσει. Από τον αναλυτή ενέργειας που έχουμε συνδέσει στις φάσεις της μηχανής μπορούμε να δούμε το ρεύμα, την πραγματική ισχύ και τον συντελεστή ισχύος. Από το στροφόμετρο μετράμε κάθε φορά τις στροφές της μηχανής και σημειώνουμε την αντίστοιχη ροπή. Μέσω υπολογισμών αξιοποιώντας τους παρακάτω τύπους μπορούμε να βρούμε τα μεγέθη που χρειάζονται για να σχηματιστούν οι απαιτούμενες χαρακτηριστικές:

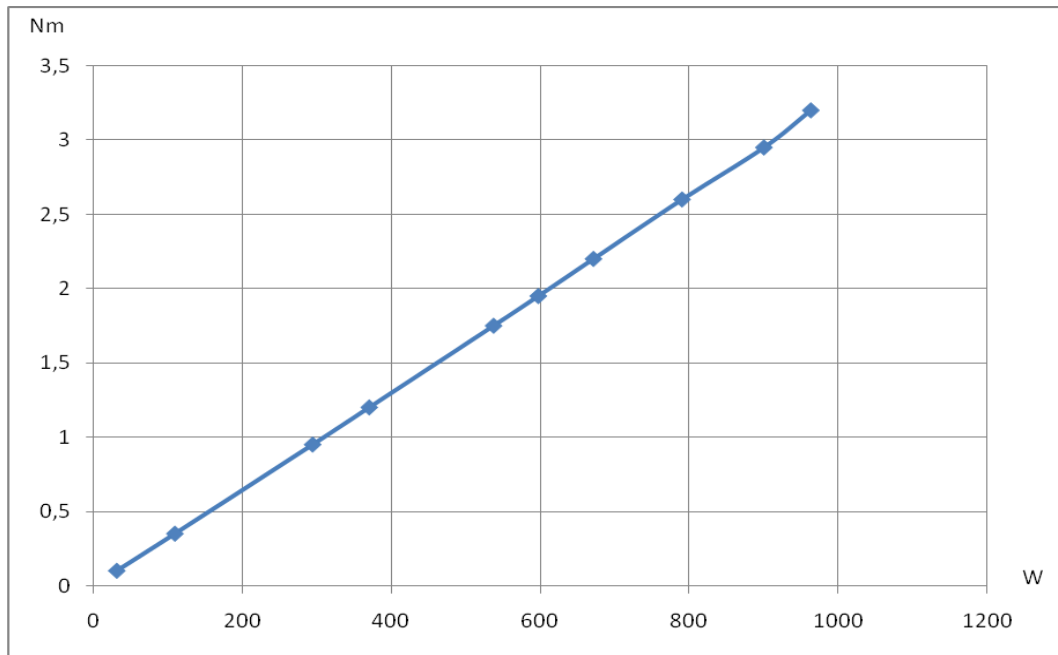
- Από τον τύπο $P2 = T \cdot \omega$ υπολογίζουμε την μηχανική ισχύ, όπου $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60$.
- Από τον τύπο $n = P_{out} / P_{in}$ υπολογίζουμε τον βαθμό απόδοσης
- Από τον τύπο $s = (n_s - n_r) / n_s \cdot 100\%$ υπολογίζουμε την ολίσθηση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτουν οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στον Πινάκα 4.1.

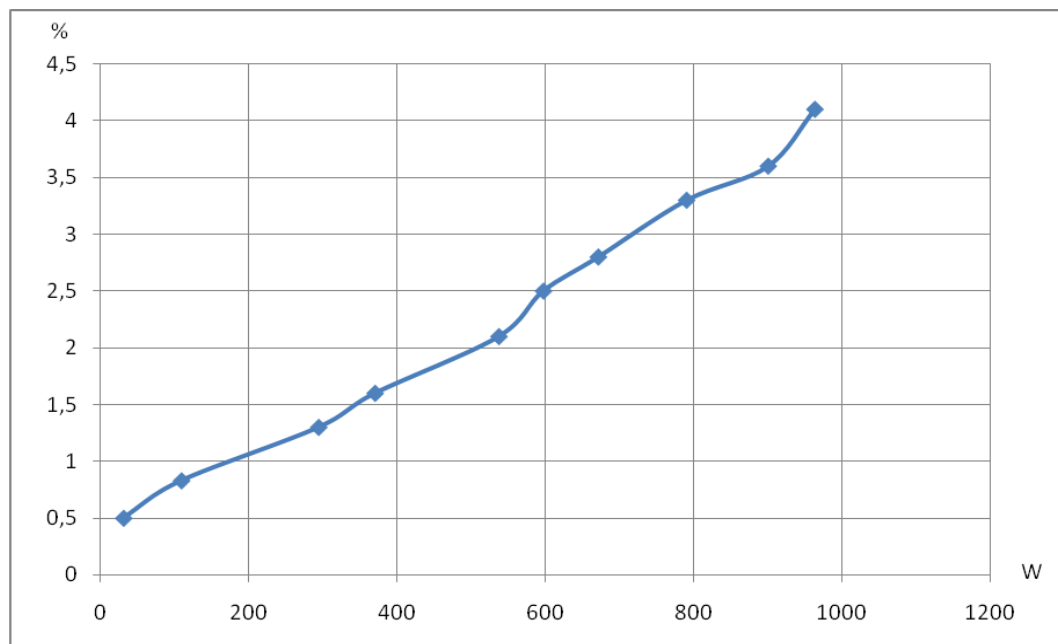
ΡΟΠΗ (Nm)	ΟΛΙΣΘΗΣΗ %	ΣΤΡΟΦΕΣ (rpm)	P2 (W)	cos	I (A)	ΑΠΟΔΟΣΗ %	P1 (W)
3,2	4,1	2875	963	0,61	2,7	74	1100
2,95	3,6	2890	900	0,56	2,65	90	1000
2,6	3,3	2900	790	0,52	2,56	87	916
2,2	2,8	2915	671	0,47	2,53	82	820
1,95	2,5	2925	597	0,42	2,47	82	725
1,75	2,1	2935	537	0,39	2,45	80	671
1,2	1,6	2950	370	0,34	2,41	65	567
0,95	1,3	2960	294	0,29	2,4	64	466
0,35	0,83	2975	109	0,2	2,37	33	324
0,1	0,5	2985	31	0,15	2,38	12	246

Πίνακας 4.1: Πίνακας μετρήσεων.

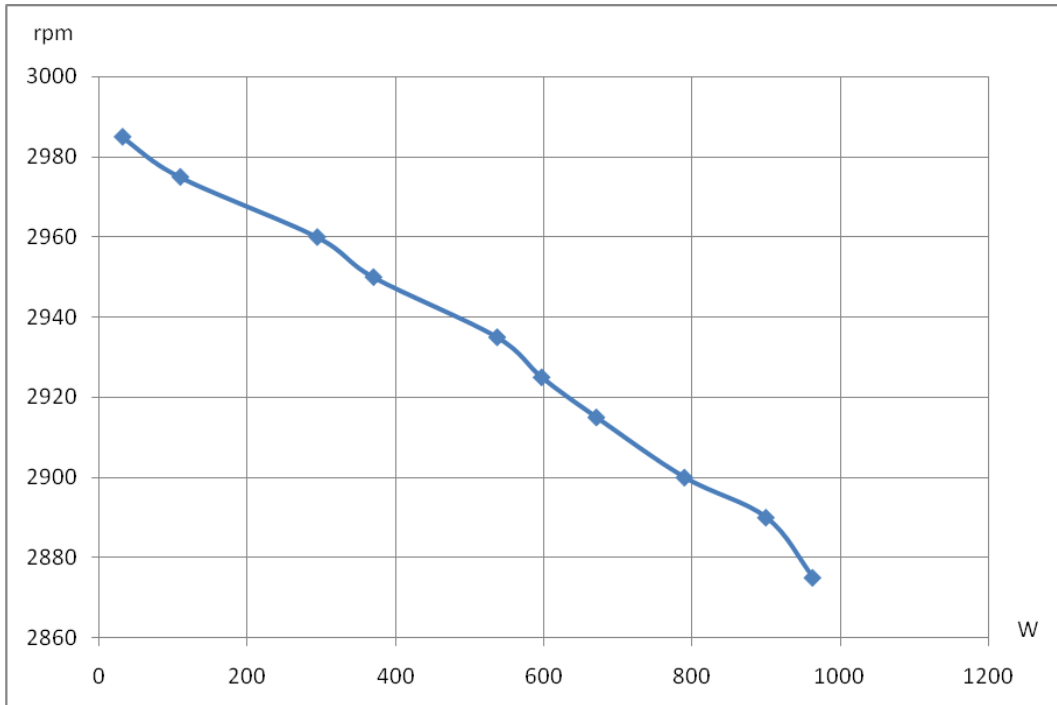
Από τον Πίνακα 4.1 παρατηρούμε ότι για στροφές κάτω από 2900rpm έχουμε κάποια υπερφόρτιση της μηχανής. Η τιμή του ρεύματος είναι η ονομαστική που αντέχει ο κινητήρας (2.7 A) και η ροπή είναι ελάχιστα μεγαλύτερη (3.2Nm) από την ονομαστική της τιμή(2.7Nm). Επίσης, ελάχιστα ξεπερνά την ονομαστική της τιμή και η πραγματική ισχύς η οποία είναι 1000W και φτάνει τα 1100W. Στην συνέχεια αξιοποιώντας το πρόγραμμα Excel και τις μετρήσεις του Πίνακα 4.1 θα δημιουργήσουμε τις απαραίτητες χαρακτηριστικές που παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.49 – 4.54.



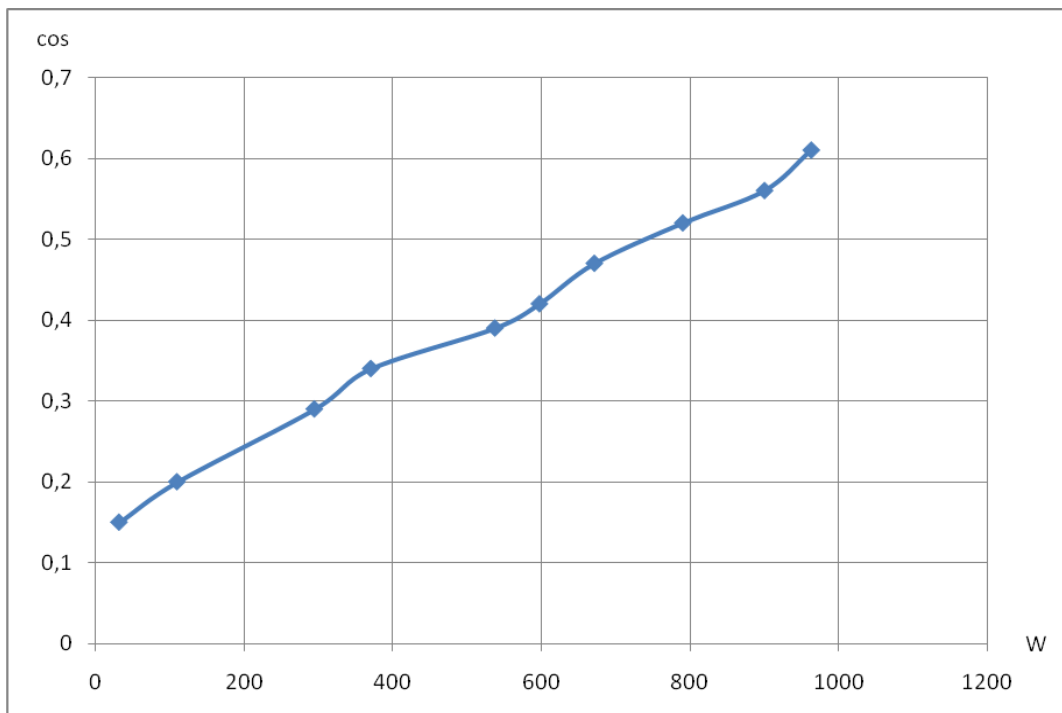
Σχήμα 4.49: Χαρακτηριστική ροπής/μηχανικής ισχύς.



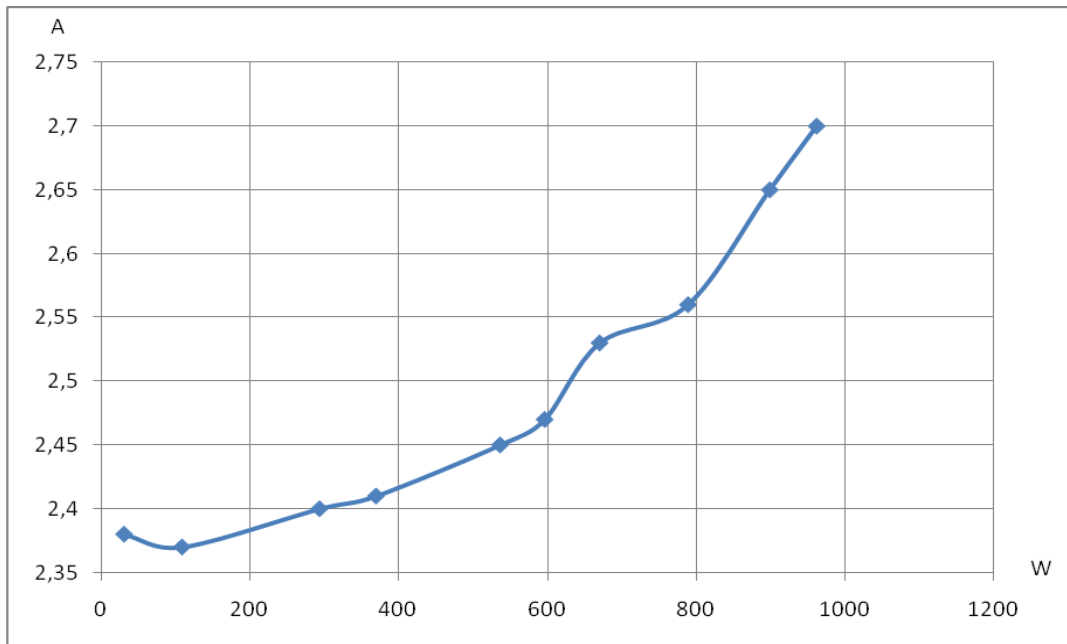
Σχήμα 4.50: Χαρακτηριστική ολίσθησης/μηχανικής ισχύς.



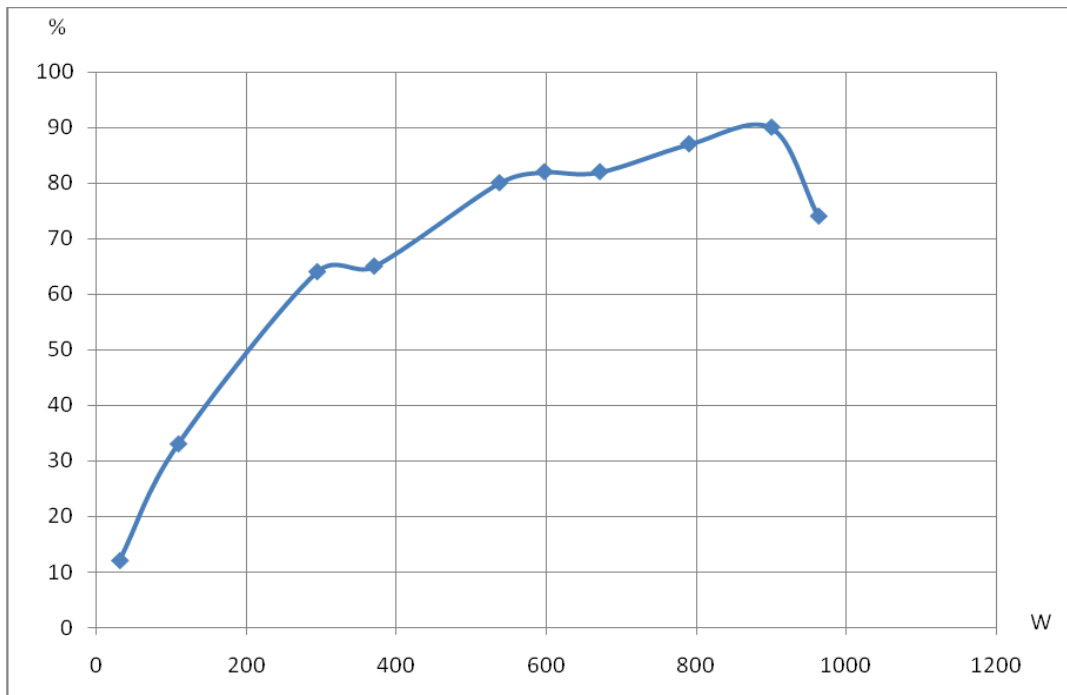
Σχήμα 4.51: Χαρακτηριστική στροφών/μηχανικής ισχύς.



Σχήμα 4.52: Χαρακτηριστική συντελεστή ισχύος/μηχανικής ισχύς.



Σχήμα 4.53: Χαρακτηριστική ρεύματος/μηχανικής ισχύς.



Σχήμα 4.54: Χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης/μηχανικής ισχύς.

4.3.2 Για Torque Control λειτουργία:

Οι χαρακτηριστικές που πρέπει να δημιουργηθούν είναι: βαθμού απόδοσης/μηχανικής ισχύς , ολίσθησης/μηχανικής ισχύς , ρεύματος/μηχανικής ισχύς , ροπής/μηχανικής ισχύς , στροφών/μηχανικής ισχύς , συντελεστή ισχύος/μηχανικής ισχύς

Σε αυτήν την λειτουργία θα ανεβάζουμε χειροκίνητα μέσω της σερβοπέδης την τιμή της ροπής από το 0Nm μέχρι την μέγιστη ροπή που αντέχει ο κινητήρας η οποία είναι 2.7 Nm με βήμα 0.3Nm. Έτσι θα πάρουμε δέκα διαφορετικά σημεία όπου σε κάθε τιμή της ροπής θα μετράμε όλα τα στοιχεία που μας δίνουν τα όργανα που έχουμε συνδέσει. Από τον αναλυτή ενέργειας που έχουμε συνδέσει στις φάσεις της μηχανής μπορούμε να δούμε το ρεύμα, την πραγματική ισχύ, και τον συντελεστή ισχύος. Από το στρόφομετρο μετράμε κάθε φορά τις στροφές της μηχανής. Μέσω υπολογισμών αξιοποιώντας τους παρακάτω τύπους μπορούμε να βρούμε τα μεγέθη που χρειάζονται για να σχηματιστούν οι απαιτούμενες χαρακτηριστικές:

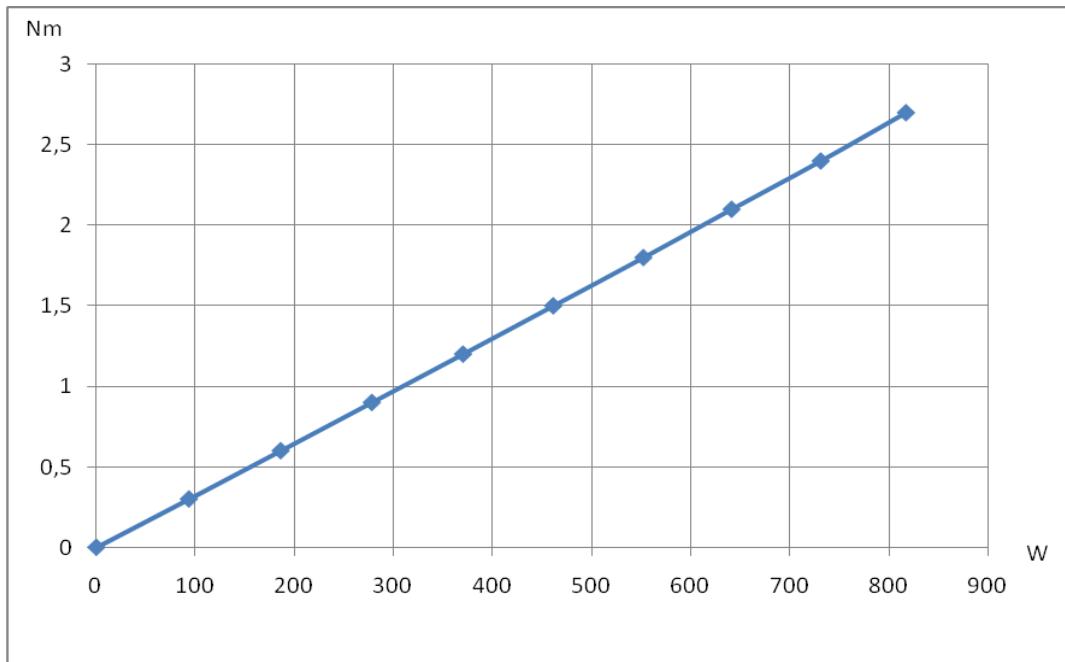
- Από τον τύπο $P2 = T \cdot \omega$ υπολογίζουμε την μηχανική ισχύ, όπου $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60$.
- Από τον τύπο $n = P_{out} / P_{in}$ υπολογίζουμε τον βαθμό απόδοσης
- Από τον τύπο $s = (n_s - n_r) / n_s \cdot 100\%$ υπολογίζουμε την ολίσθηση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτουν οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στον Πινάκα 4.2.

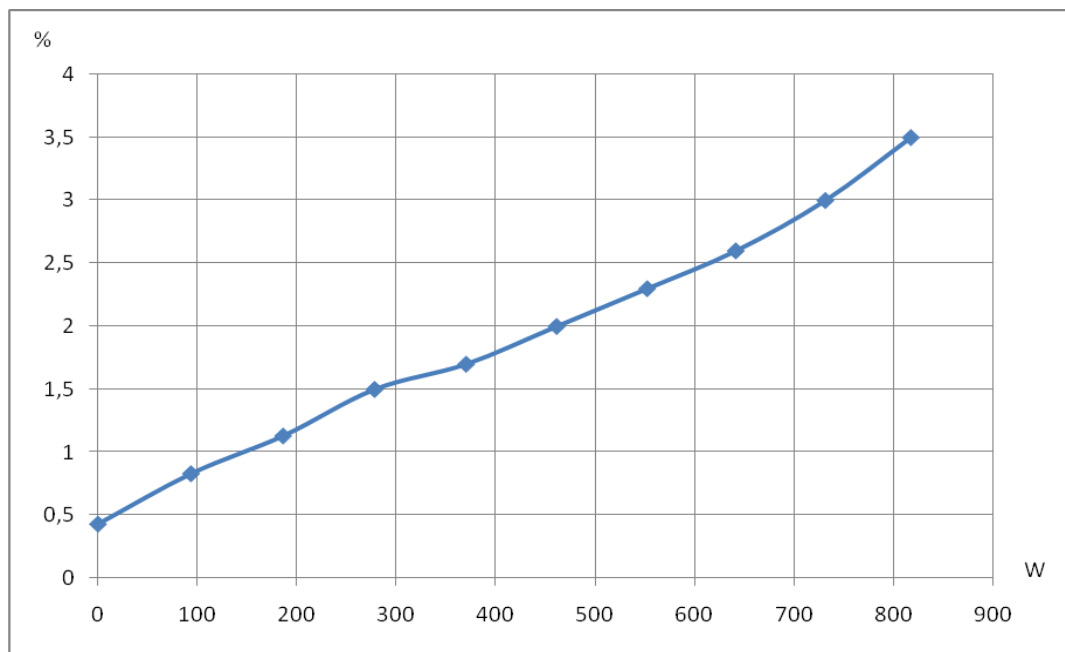
ΡΟΠΗ (Nm)	ΟΛΙΣΘΗΣΗ %	ΣΤΡΟΦΕΣ (rpm)	P2 (W)	cos	I (A)	ΑΠΟΔΟΣΗ %	P1 (W)
0	0,43	2987	0	0,2	2,34	0	260
0,3	0,83	2975	93,4	0,22	2,31	31	300
0,6	1,13	2966	186	0,25	2,32	48	380
0,9	1,5	2955	278	0,3	2,34	59	465
1,2	1,7	2949	370	0,34	2,35	68	540
1,5	2	2938	461	0,38	2,37	75	612
1,8	2,3	2930	552	0,41	2,39	81	678
2,1	2,6	2920	641	0,45	2,46	83,5	767
2,4	3	2912	731	0,5	2,5	86	848
2,7	3,5	2894	817	0,54	2,57	85	961

Πίνακας 4.2: Πίνακας μετρήσεων.

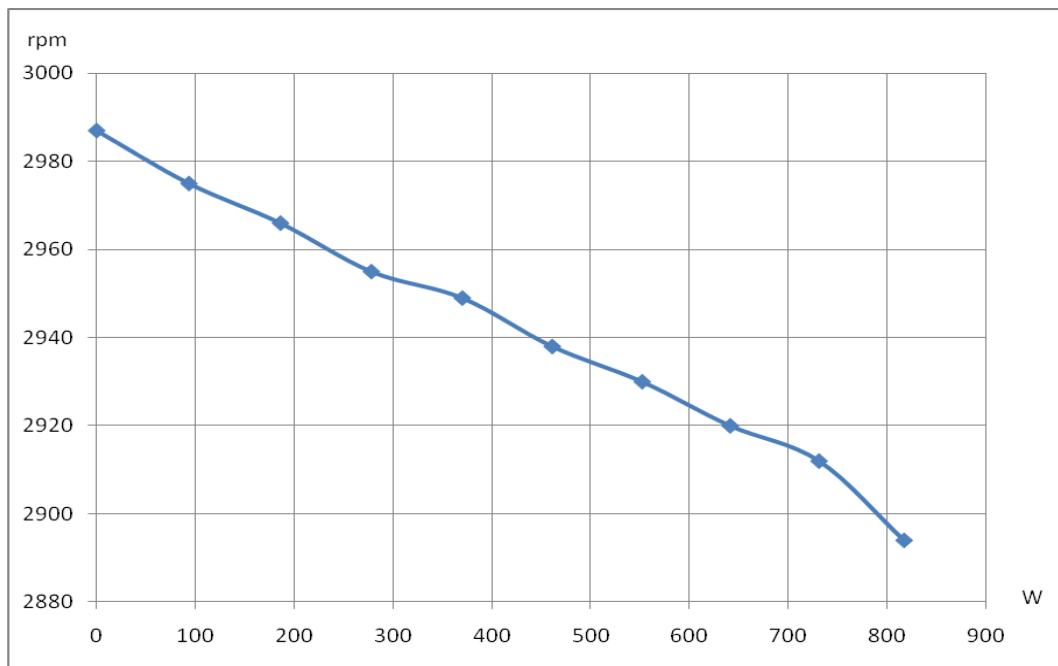
Σε αυτό το σημείο με την βοήθεια του προγράμματος Excel και αξιοποιώντας τόσο τις μετρήσεις όσο και τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών που αναγράφονται στον Πίνακα 4.2 δημιουργήθηκαν οι χαρακτηριστικές που παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.56 – 4.61.



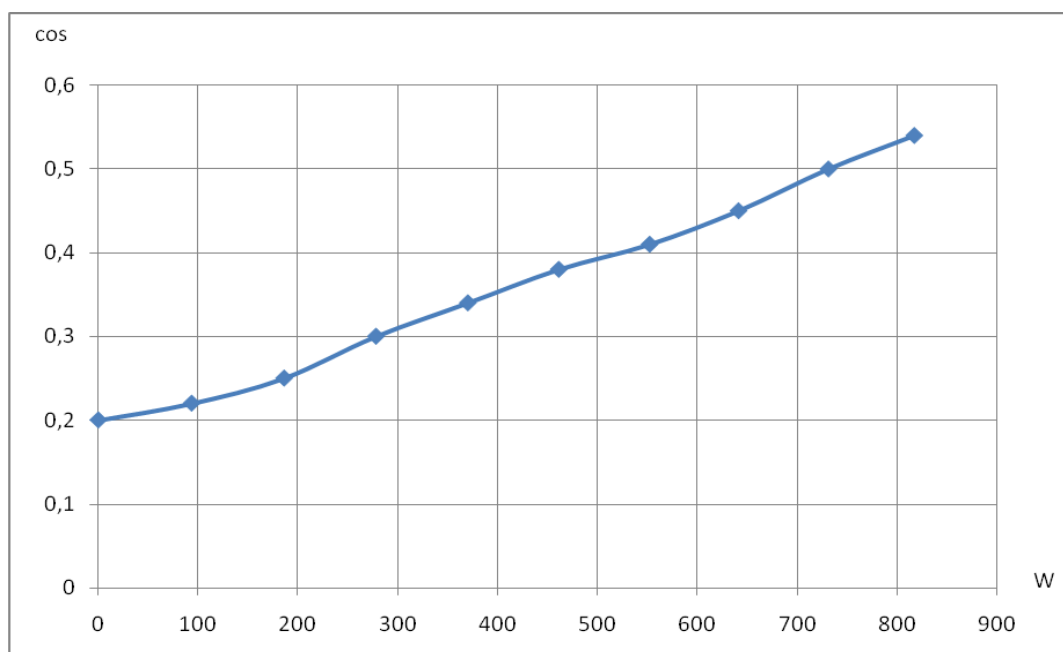
Σχήμα 4.56: Χαρακτηριστική ροπής/μηχανικής ισχύς.



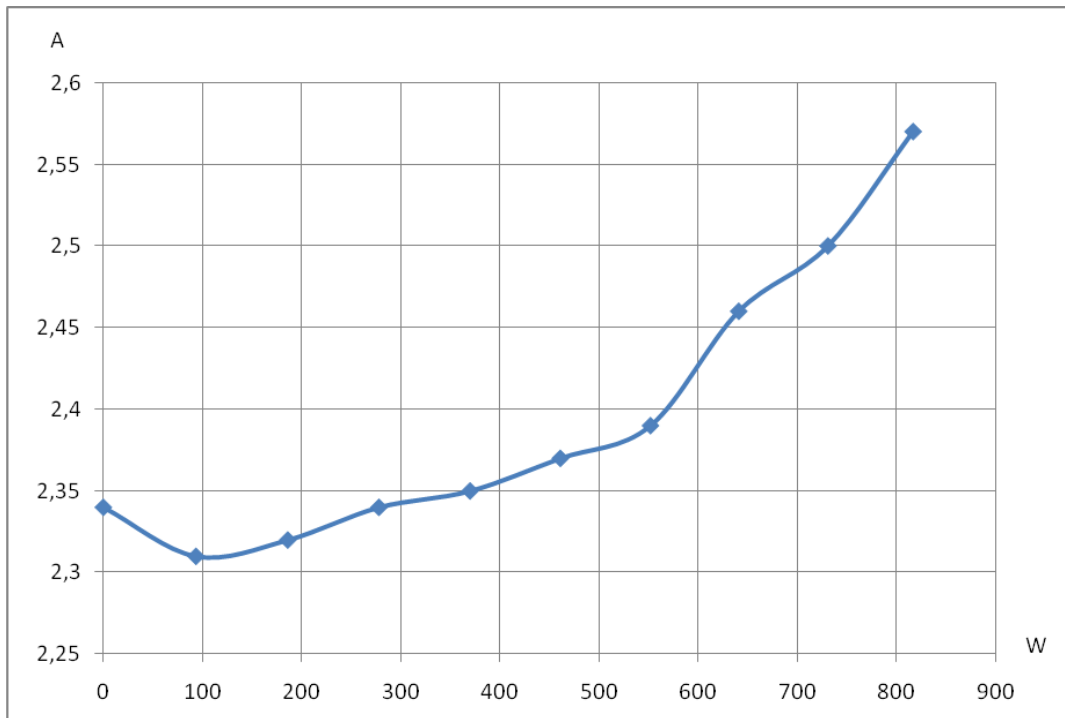
Σχήμα 4.57: Χαρακτηριστική ολίσθησης/μηχανικής ισχύς.



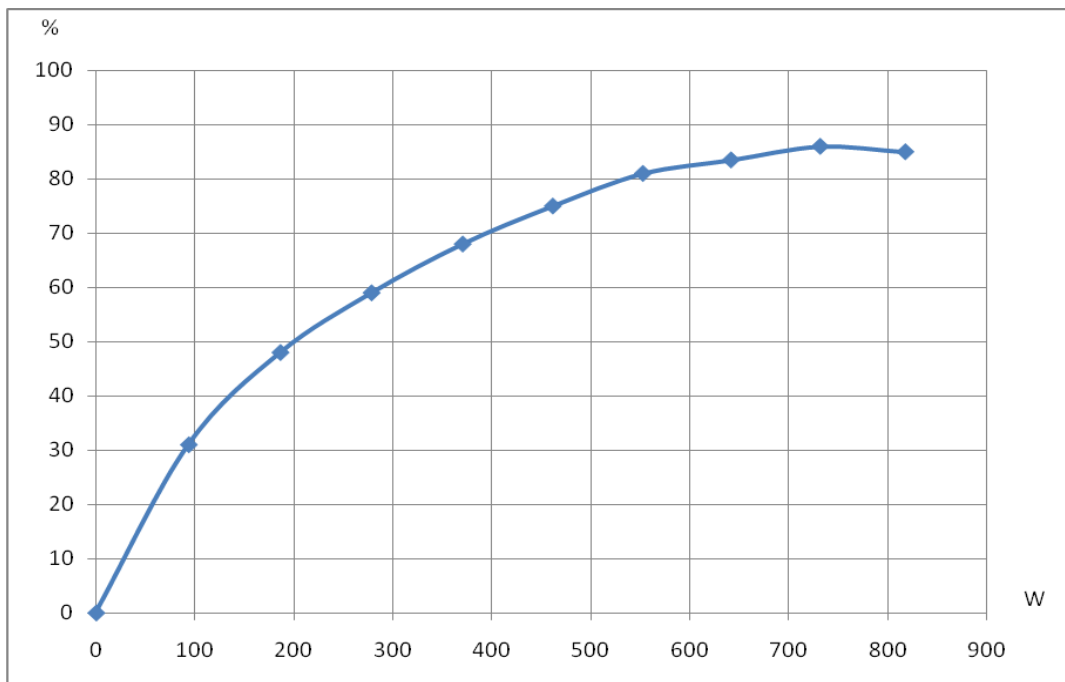
Σχήμα 4.58: Χαρακτηριστική στροφών/μηχανικής ισχύς.



Σχήμα 4.59: Χαρακτηριστική συντελεστή ισχύος/μηχανικής ισχύς.



Σχήμα 4.60: Χαρακτηριστική ρεύματος/μηχανικής ισχύς.



Σχήμα 4.61: Χαρακτηριστική βαθμού απόδοσης/μηχανικής ισχύς.

4.4 Σύγκριση – Συμπεράσματα

Μετά από μια σειρά πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο (είτε με την βοήθεια του λογισμικού ActiveASMA είτε χειροκίνητα) συγκεντρώσαμε κάποιες τιμές μέσω των οποίων δημιουργήθηκε και μελετήθηκε ένα σύνολο χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την λειτουργία μιας AC μηχανής βραχυκυκλωμένου δρομέα. Κατά την μελέτη των παραπάνω χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε η σύγκριση των μετρήσεων αλλά και των χαρακτηριστικών λειτουργίας που προέκυψαν από τα διαφορετικά είδη πειραμάτων. Όπως ήταν αναμενόμενο σχεδόν σε όλα τα σημεία των αντίστοιχων χαρακτηριστικών υπάρχει ταύτιση. Αν και υπάρχουν ορισμένες διαφορές ανάμεσα στα αποτελέσματα των δύο πειραμάτων αυτές είναι πολύ μικρές και οφείλονται σε σφάλματα, οι αιτίες των οποίων είναι συγκεκριμένες όπως κατασκευαστικές ατέλειες, κακή ρύθμιση του οργάνου ή ακόμα σε ανθρώπινους παράγοντες (π.χ. σφάλμα παρατήρησης– ανάγνωσης της ένδειξης).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δημήτρης Ψωμιάδης, Εφαρμογές Ηλεκτρικών Μηχανών, Εκδόσεις Ίων, 2004
- [2] Χρήστος Α. Παπαδόπουλος, Στοιχεία Μηχανών και Στοιχεία Μεταφοράς Ισχύος, Εκδόσεις Τζιόλα, 2009
- [3] Stephen J.Chapman, Ηλεκτρικές Μηχανές AC-DC, Εκδόσεις Τζιόλα, 2001
- [4] Stephen J.Chapman, Ηλεκτρικές Μηχανές, 4η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2009
- [5] Γαντζούδης Σωτήρης, Λαγουδάκος Μιχαήλ και Μπινιάρης Αθανάσιος Ηλεκτρικές Μηχανές, Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια Β' Τάξη 1ου Κύκλου
- [6] Στέλιος Αντωνόπουλος και Μιχάλης Κοτζαμπάσης Επισκευές και Συντήρηση Ηλεκτρικών Κινητήρων Συνεχούς και Εναλλασσόμενου Ρεύματος, Εκδόσεις Τζιόλα, 1998
- [7] Lucas Nulle, Servo-Brake, Control Unit SE2663-6D, SE2663-6E
- [8] Lucas Nulle, Active ASMA και Active DCMA
- [9] Lenze, Global Drive, 9300 servo-inverters 0.37-75KW.
- [10] Lenze, Operating Instructions, Global Drive, 9300 servo, v2.1, 2000
- [11] Α. Δημόπουλος και Α. Λεβεντάκης, Μελέτη Χαρακτηριστικών Λειτουργίας Ηλεκτρικών Μηχανών AC και DC με Μεταβαλλόμενο Φορτίο μέσω Σερβοπέδης που Ελέγχεται από Ρυθμιστή Στροφών και του Κατάλληλου Λογισμικού, Πτυχιακή Εργασία, Τμ. Ηλεκτρολογίας, ΤΕΙ Πάτρας, 2011
- [12] Μαλιώτης Γεώργιος, Σερβοκινητήρες, <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php? ID=83>, (Τελευταία επίσκεψη την 17/12/15)
- [13] Machine Design, <http://uniquemachines.blogspot.gr/search/label/ServoMotors> (Τελευταία επίσκεψη την 7/1/16)
- [14] Παραδείγματα Εφαρμογών, http://www.alpha-motion.gr/applicationexamplesmain_gr.html, (Τελευταία επίσκεψη την 4/1/16)
- [15] Basics of the Electric Servomotor and Drive, http://www.eetimes.com/document.asp? doc_id=1274100, (Τελευταία επίσκεψη την 14/12/15)
- [16] Principles Behind Servo Motors, http://www.ehow.com/about_4706437_principles-behind-servo-motors.html, (Τελευταία επίσκεψη την 12/12/15)
- [17] Industrial Applications of Brushless Servomotors, <http://electrical-engineering-portal.com/industrial-applications-brushless-servomotor#content>, (Τελευταία επίσκεψη την 11/12/15)

- [18] Application Examples, <http://www.slideshare.net/jaigoyanka/stepper-motor-applications>, (Τελευταία επίσκεψη την 1/2/16)
- [19] Servomotors, <http://www.ni.com/white-paper/14864/en/#toc2>, (Τελευταία επίσκεψη την 13/1/16)
- [20] ΧΗΜΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ, <http://chimikoergastirio.blogspot.gr/2010/12/injection-molding.html>, (Τελευταία επίσκεψη την 10/1/16)
- [21] Navy Electricity and Electronics Training Series, <http://www.rfcafe.com/references/electrical/NEETS-Modules/NEETS-Module-15-2-1-2-10.htm>, (Τελευταία επίσκεψη την 10/12/15)
- [22] Hubert M. James, Nathaniel B. Nichols and Ralph S. Phillips, Theory of Servomechanisms, 1st edition, McGraw-Hill Book Company, 1947
- [23] Riazollah Firoozian, Servo Motors and Industrial Control Theory, Springer, 2009
- [24] Parker Motion & Control, Step Motor & Servo Motor Systems and Controls, Compumotor 1996/1997
- [25] Χρήστος Α. Μαδεμλής, Σερβοκινητήρια Συστήματα - Επαγωγικοί κινητήρες και σύγχρονοι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ 2010
- [26] Takashi Kenjo, Electric Motors and their Controls, Oxford Science Publications, University Press, 1991.