



ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Τρόποι εκκίνησης επαγωγικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού
με σύστημα αυτοματισμού PLC**

Πτυχιακή εργασία του

Γκαρμπούνη Μιχαήλ

Επιβλέπων: Δρ. Δημήτριος Καλπακτσόγλου

ΣΕΡΡΕΣ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2018

Πρόλογος

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία, στόχος είναι η ανάπτυξη των μεθόδων εκκίνησης ενός επαγωγικού κινητήρα, καθώς και ο έλεγχος αυτών μέσω ενός συστήματος αυτοματισμού. Ο έλεγχος αυτός είναι εφικτός με μία συσκευή PLC η οποία προγραμματίστηκε σύμφωνα με τις λειτουργίες της κατασκευής, όπου θα διδάσκονται στους φοιτητές Μηχανολογίας του Τ.Ε.Ι Κεντρικής Μακεδονίας στα πλαίσια του μαθήματος των Ηλεκτρικών Μηχανών.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	2
1 Εισαγωγή	6
2 Επαγωγικοί κινητήρες.....	7
2.1 Η δομή των επαγωγικών κινητήρων:.....	7
2.2 Βασικές αρχές λειτουργίας:	9
2.3 Ισοδύναμο κύκλωμα επαγωγικού κινητήρα:	11
2.3.1 Ισοδύναμο κύκλωμα του δρομέα του επαγωγικού κινητήρα:	13
2.4 Τελικό ισοδύναμο κύκλωμα:	15
2.5 Ροπή στους ασύγχρονους κινητήρες:.....	15
2.5.1 Ανθισταμένη ροπή του φορτίου.....	18
3 Έλεγχος της ταχύτητας στους επαγωγικούς κινητήρες:	22
3.1 Έλεγχος της ταχύτητας επαγωγικών κινητήρων με μεταβολή του αριθμού πόλων: 22	
3.2 Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή της συχνότητας δικτύου:	24
3.3 Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας:	27
3.4 Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή της αντίστασης δρομέα:	27
4 Μέθοδοι εκκίνησης επαγωγικών κινητήρων	29
4.1 Απευθείας εκκίνηση:.....	29
4.2 Εκκίνηση με αντιστάσεις στον στάτη:.....	30
4.3 Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή:.....	31
4.4 Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου:	31
4.5 Εκκίνηση με αντιστάσεις στον ρότορα:.....	33
5 Ρελέ-Ηλεκτρονόμοι (relay).....	36
5.1 Το ρελέ γενικά:	36
5.2 Από τι αποτελείται ένας ηλεκτρονόμος:	38
5.3 Λειτουργία ηλεκτρονόμου:	40

5.3.1	Απλός ηλεκτρονόμος:	40
5.3.2	Ηλεκτρονόμος ρευματώθησης (καστάνιας).....	40
5.4	Ηλεκτρικό κύκλωμα ηλεκτρονόμου:	46
5.5	Απλές εφαρμογές:	47
5.6	Χρήσεις ηλεκτρονόμων:	50
6	Όργανα κατασκευής.....	51
6.1	Περιστροφικοί κωδικοποιητές (Rotary Encoders):	51
6.1.1	Γενικά για τους περιστροφικούς κωδικοποιητές:	51
6.2	Μετρητές ταχύτητας:	53
6.2.1	Γενικά για τους μετρητές ταχύτητας:	53
6.3	Βολτόμετρα-Αμπερόμετρα:	56
6.4	Παλμογράφος:.....	57
6.5	Μικροεπεξεργαστής:.....	59
6.6	PLC (Programming Logic Circuits).....	60
6.6.1	Γενικά το PLC:	60
6.6.2	Προγραμματισμός PLC:	61
6.6.3	Φιλοσοφία του προγράμματος και λογική του PLC:.....	62
6.6.4	Πλεονεκτήματα PLC συγκριτικά με τον κλασικό αυτοματισμό:	63
6.6.5	Βασική δομή των PLC:.....	64
7	Πειραματική Διάταξη	65
7.1	Όργανα πειραματικής διάταξης:	65
7.1.1	Αμπερόμετρο	65
7.1.2	Όργανο μέτρησης ισχύος	65
7.1.3	Όργανο συντελεστή ισχύος (cosφ)	66
7.1.4	Πυκνωτές βελτίωσης συντελεστή ισχύος	66
7.1.5	Ταχύμετρο και μετρητής Ροπήs.....	67
7.1.6	Ενδεικτικές λυχνίες.....	67
7.1.7	Βολτόμετρο	68

7.1.8	Συσκευή αυτοματισμού (P.L.C)	68
7.1.9	Ηλεκτρολογικό σχέδιο πειραματικής διάταξης	69
7.1.10	Πρόγραμμα αυτοματισμού.	69
7.1.11	Πειραματική διάταξη	69
8	Βιβλιογραφία	70

1 Εισαγωγή

Λίγα λόγια για τους επαγωγικούς κινητήρες:

Μια μηχανή η οποία κατασκευάζεται χωρίς κύκλωμα διέγερσης, παρά μόνο με τυλίγματα απόσβεσης ονομάζεται «επαγωγική μηχανή» (induction machine). Αυτή η ονομασία οφείλεται στο γεγονός ότι σε μια επαγωγική μηχανή η τάση στο δρομέα (που παράγει το ρεύμα διέγερσης και το πεδίο του δρομέα) ουσιαστικά επάγεται στα τυλίγματα του αντί να προσφέρεται σ' αυτό με κάποια ηλεκτρική σύνδεση. Η ειδοποιός διαφορά ενός επαγωγικού κινητήρα, εντοπίζεται στο ότι για να κινηθεί δέν είναι απαραίτητο να τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα διέγερσης.

Αν και η επαγωγική μηχανή μπορεί να λειτουργήσει τόσο ως γεννήτρια όσο και ως κινητήρας, τα μειονεκτήματα στην περίπτωση που λειτουργεί ως γεννήτρια είναι πολλά κι έτσι σπάνια χρησιμοποιείται μ' αυτόν τον τρόπο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα όλες οι επαγωγικές μηχανές να αναφέρονται ως επαγωγικοί κινητήρες. (Chapman,2009:459)

Θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας:

Το θέμα της πτυχιακής μου εργασίας είναι οι τρόποι εκκίνησης επαγωγικών κινητήρων, η μεταβολή της ταχύτητάς τους και η λειτουργία τους με διαφορετικά φορτία.

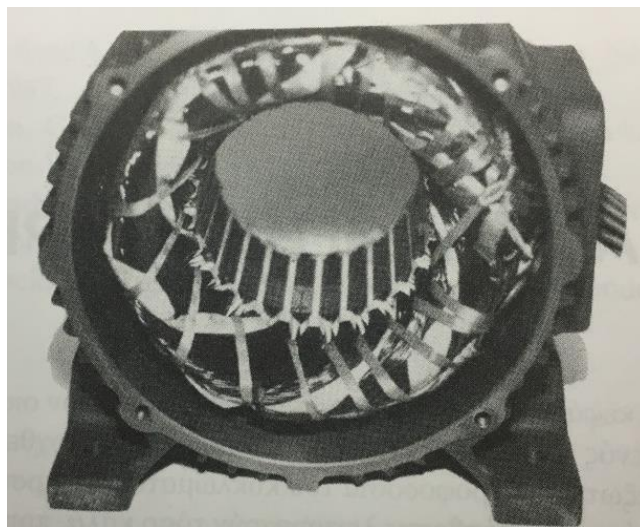
Σκοπός της πτυχιακής εργασίας:

Σκοπός της πτυχιακής μου εργασίας είναι να γίνει κατανοητή η θεωρητική και πρακτική λειτουργία των επαγωγικών κινητήρων σύμφωνα με τη διαθέσιμη βιβλιογραφία και τα πειράματα που πραγματοποίησα στο εργαστήριο του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ υπό την επίβλεψη και την καθοδήγηση των εισηγητών μου κ. Δ. Καλπακτσόγλου και κ. Γ. Μυρωνίδη.

2 Επαγωγικοί κινητήρες

2.1 Η δομή των επαγωγικών κινητήρων:

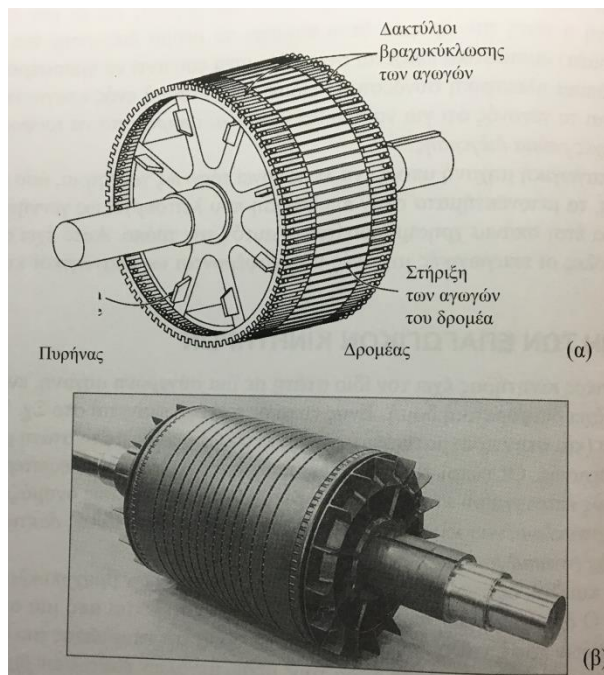
Ένας επαγωγικός κινητήρας έχει τον ίδιο στάτη με μια σύγχρονη μηχανή, ενώ ο δρομέας του έχει διαφορετική δομή. Ένας τυπικός στάτης φαίνεται στο σχήμα 1 ο οποίος δείχνει, και στη πραγματικότητα είναι ,εντελώς όμοιος με τον στάτη μίας σύγχρονης μηχανής.



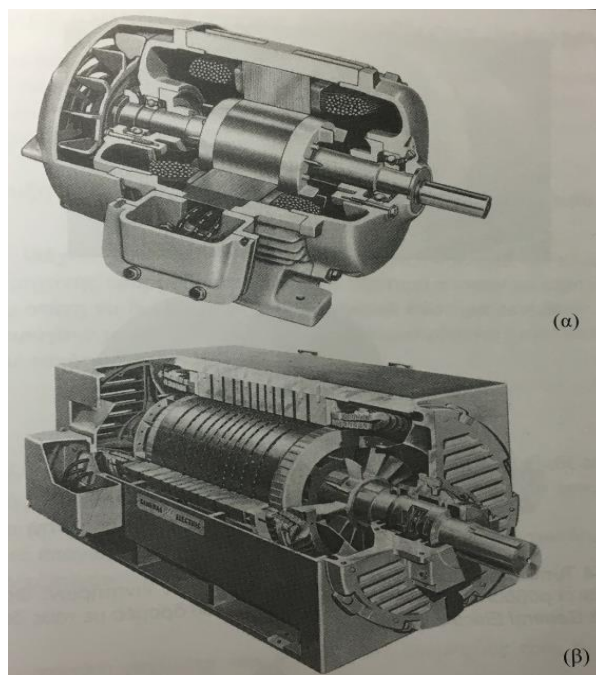
Σχήμα 1 Στάτης επαγωγικού κινητήρα

Οι δρομείς που τοποθετούνται στο εσωτερικό του στάτη ενός κινητήρα είναι δύο ειδών: ο πρώτος ονομάζεται δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού (squirrel-cage rotor) και ο άλλος δακτυλιοφόρος δρομέας (wound rotor).

- Ο δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού αποτελείται από μία σειρά αγωγίων ράβδων που είναι τοποθετημένες σε αυλάκια της επιφάνειας του δρομέα και βραχυκυκλωμένες στα δυο άκρα τους μέσω μεγάλων δακτυλίων βραχυκύκλωσης (shorting rings) όπως φαίνονται στα σχήματα 2 και 3.



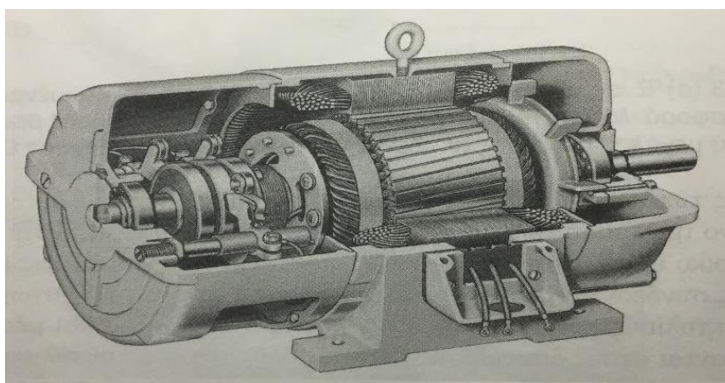
Σχήμα 2 α) Σχεδιάγραμμα δρομέα βραχυκυκλωμένου κλωβού. β) Τυπικός δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού



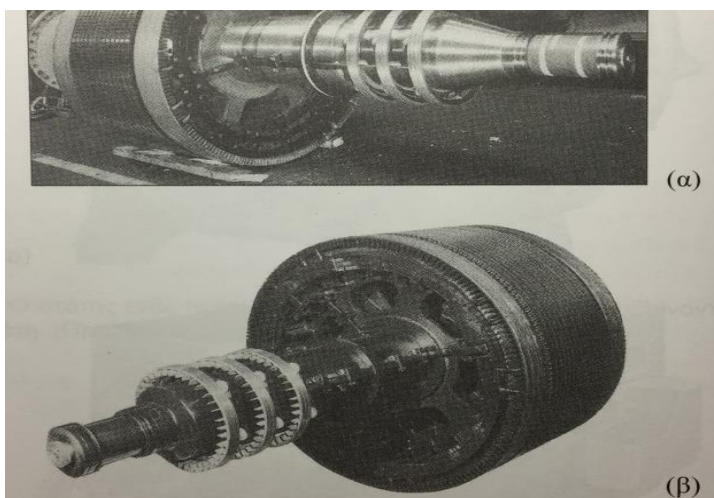
Σχήμα 3 α) Τομή μικρού επαγωγικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού β) Τομή μεγάλου επαγωγικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού

- Ο δακτυλιοφόρος δρομέας διαθέτει ολοκληρωμένο τριφασικό τύλιγμα, το οποίο είναι τοποθετημένο, ώστε να αποτελεί το κατοπτρικό είδωλο του τυλίγματος του στάτη. Οι τρεις φάσεις ενός τέτοιου τυλίγματος συνδέονται συνήθως σε αστέρα, ενώ τα άκρα των αγωγών συνδέονται σε δακτυλίους.

Έτσι τα ρεύματα στο δακτυλιοφόρο δρομέα ενός επαγωγικού κινητήρα μπορούν να μετρηθούν στις ψήκτρες και ακόμη είναι δυνατή η σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων στο κύκλωμα της διέγερσης. Η τελευταία δυνατότητα δίνει το πλεονέκτημα επεξεργασίας της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας ενός επαγωγικού κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα. Στα σχήματα 4 και 5 μπορούμε να δούμε εικόνες τέτοιων δρομέων. (Chapman,2009:459)



Σχήμα 4 Τομή επαγωγικού κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα. Φαίνονται οι ψήκτρες και οι δακτύλιοι. Ακόμη, παρατηρείται το γεγονός ότι τα τυλίγματα του δρομέα έχουν κάποια κλίση, ώστε να περιορίζονται οι αρμονικές εγκοπών.



Σχήμα 5 Τυπικοί δακτυλιοφόροι δρομείς επαγωγικών κινητήρων.

2.2 Βασικές αρχές λειτουργίας:

Η λειτουργία των επαγωγικών κινητήρων είναι ουσιαστικά ίδια με τη λειτουργία των τυλιγμάτων απόσβεσης στις σύγχρονες μηχανές. Ας το αναλύσουμε όμως. Αρχικά στο στάτη της μηχανής εφαρμόζεται τριφασικό σύστημα τάσεων προκαλώντας και τους αγωγούς του στάτη να διαρρέονται από τριφασικό σύστημα ρευμάτων. Αυτά τα

ρεύματα παράγουν το πεδίο του στάτη B_S που περιστρέφεται με ανθρωρολογιακή φορά και με ταχύτητα: ($n_{sync}=120f_e/P$) όπου f_e είναι η συχνότητα του συστήματος σε Hz και P ο αριθμός των πόλων της μηχανής. Το μαγνητικό πεδίο B_S καθώς διέρχεται πάνω από τους αγωγούς του δρομέα επάγει κάποια τάση στα άκρα τους. Η τάση εξ επαγωγής στα άκρα ενός συγκεκριμένου αγωγού του δρομέα δίνεται από την εξίσωση : $e_{ind} = (v \cdot B) \cdot l$ όπου $v =$ η σχετική ταχύτητα των αγωγών του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο, $B =$ η μαγνητική επαγωγή του πεδίου του στάτη, $l =$ το μήκος του αγωγού του δρομέα.

Η τάση στα άκρα των αγωγών του δρομέα προκαλείται από τη σχετική κίνηση του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο του στάτη. Η τάση που επάγεται στα άκρα των αγωγών έχει αντίθετη φορά στο άνω μέρος του δρομέα σε σχέση με αυτήν στο κάτω και αυτό οφείλεται στη σχετική ταχύτητα των αγωγών στα αντίστοιχα σημεία. Επειδή, οι αγωγοί του δρομέα συνθέτουν ένα επαγωγικό φορτίο, η μέγιστη τιμή του ρεύματος του δρομέα καθυστερεί σε σχέση με τη μέγιστη τιμή της τάσης του και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το ρεύμα του δρομέα να προκαλεί το αντίστοιχο μαγνητικό πεδίο του δρομέα B_R .

Τελικά, επειδή η επαγόμενη ροπή στη μηχανή δίνεται από τη σχέση: $\tau_{ind} = k B_R \cdot B_S$ η φορά της είναι ανθρωρολογιακή. Το ίδιο είναι και η φορά του δρομέα. Υπάρχει, όμως, ένα ανώτερο όριο για την ταχύτητα του δρομέα. Αν η ταχύτητα του δρομέα ήταν ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα, δε θα υπήρχε σχετική κίνηση των αγωγών του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο του στάτη και δε θα αναπτυσσόταν τάση εξ επαγωγής στα άκρα τους. Αν η τάση e_{ind} ήταν μηδενική, οι αγωγοί του δρομέα δε θα διαρρέονταν από ρεύμα και δε θα αναπτυσσόταν μαγνητικό πεδίο στο δρομέα. Σ' αυτή τη περίπτωση η επαγόμενη ροπή θα ήταν μηδενική και θα επακολουθούσε επιβράδυνση του δρομέα λόγω των απωλειών τριβής. Τελικά, ένας επαγωγικός κινητήρας μπορεί να περιστρέφεται με ταχύτητα πολύ κοντά στη σύγχρονη, αλλά δεν είναι ποτέ δυνατό να περιστρέφεται με ταχύτητα ακριβώς ίση με την σύγχρονη.

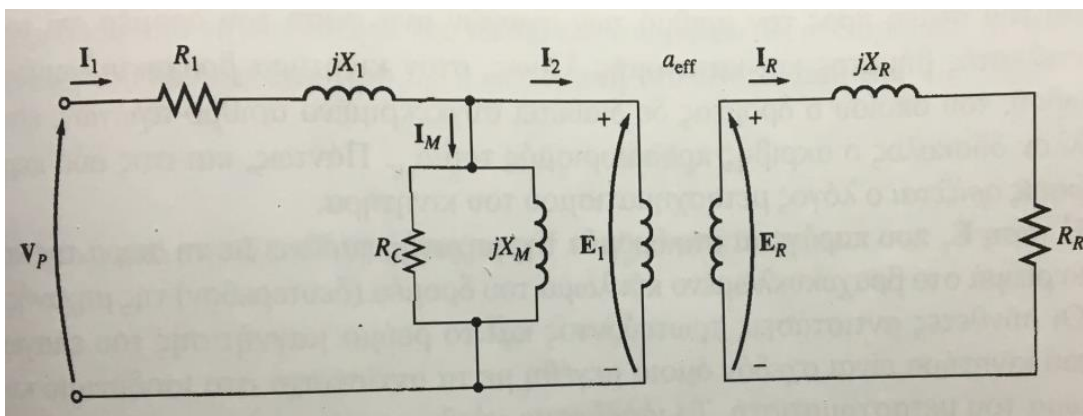
Να επισημάνουμε, όμως, ότι κατά την κανονική λειτουργία τα μαγνητικά πεδία, δρομέα B_R και στάτη B_S , στρέφονται μαζί με τη σύγχρονη ταχύτητα n_{sync} , ενώ ο ίδιο ο δρομέας στρέφεται με χαμηλότερη ταχύτητα. (Chapman, 2009:463)

2.3 Ισοδύναμο κύκλωμα επαγωγικού κινητήρα:

Το ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα είναι κατά βάση όμοιο με το αντίστοιχο ισοδύναμο κύκλωμα ενός μετασχηματιστή και εν συνεχεία προσθέτουμε και το ισοδύναμο κύκλωμα του δρομέα του επαγωγικού κινητήρα. Αυτό συμβαίνει καθώς, η λειτουργία του κινητήρα βασίζεται στις τάσεις και τα ρεύματα που παράγονται εξ επαγωγής στο δρομέα και οφείλονται στο μαγνητικό πεδίο του στάτη. Επειδή, κατά την παραγωγή των τάσεων και των ρευμάτων ο επαγωγικός κινητήρας λειτουργεί ίδια με έναν μετασχηματιστή για αυτό ομοιάζουν και κυκλώματά τους όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

- Το ισοδύναμο κύκλωμα του μετασχηματιστή στο ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα:

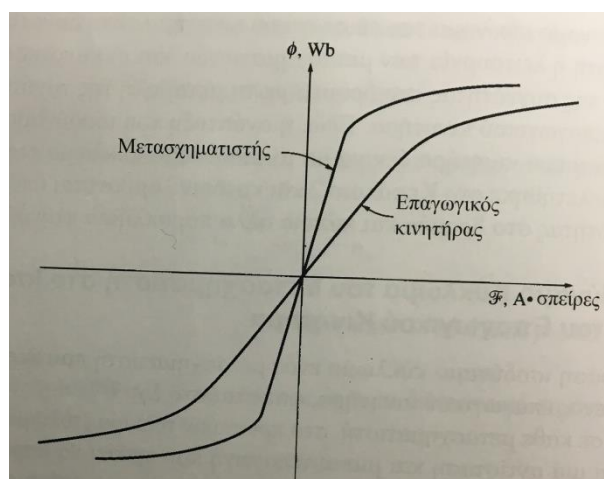
Όπως γνωρίζουμε, σε κάθε μετασχηματιστή στο πρωτεύον τύλιγμα (τύλιγμα του στάτη) εμφανίζεται μια αντίσταση και μια αυτεπαγωγή που πρέπει να παρουσιάζονται και στο ισοδύναμο κύκλωμα της μηχανής. Η αντίσταση του στάτη συμβολίζεται με R_1 και η αντίδραση διαρροής με X_1 . Αυτές οι δύο ποσότητες εμφανίζονται στη είσοδο του ισοδύναμου κυκλώματος της μηχανής.



Σχήμα 6 Το ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή σ'έναν επαγωγικό κινητήρα, όπου ο στάτης συνδέεται με το δρομέα μέσω ενός ιδανικού μετασχηματιστή.

Επίσης, όπως στους μετασχηματιστές που διαθέτουν σιδηρομαγνητικό πυρήνα, η μαγνητική ροή στο εσωτερικό της μηχανής εξαρτάται από το ολοκλήρωμα της εφαρμοζόμενης τάσης E_1 . Σχεδιάζοντας τη γραφική παράσταση της μαγνητεγερτικής δύναμης ως προς τη μαγνητική ροή στο εσωτερικό της μηχανής (καμπύλη

μαγνήτισης) και συγκρίνοντάς τη με την αντίστοιχη καμπύλη ενός μετασχηματιστή ισχύος, συμπαιρένουμε ότι η κλίση της καμπύλης μαγνήτισης του επαγωγικού κινητήρα είναι πολύ λιγότερο απότομη απ'αυτή ενός καλοσχεδιασμένου μετασχηματιστή. Αυτό συμβαίνει, διότι στη μηχανή υπάρχει κάποιο διάκενο που αυξάνει τη μαγνητική αντίσταση κατά τη διαδρομή της ροής, πράγμα που μειώνει τη σύζευξη μεταξύ του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος. Όσο μεγαλύτερη μαγνητική αντίσταση παρουσιάζει το διάκενο της μηχανής, τόσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα μαγνήτισης που απαιτείται για την εξασφάλιση μιας δεδομένης ροής. Έτσι η αντίσταση μαγνήτισης X_M θα έχει πολύ μικρότερη τιμή (ή αλλιώς η επιδεκτικότητα B_M θα έχει πολύ μεγαλύτερη τιμή) απ'αυτήν ενός συνηθισμένου μετασχηματιστή.



Σχήμα 7 Σύγκριση καμπύλης μαγνήτισης επαγωγικού κινητήρα με την αντίστοιχη ενός μετασχηματιστή.

Η εσωτερική τάση στο στάτη της μηχανής E_1 συνδέεται με την τάση δευτερεύοντος E_R μέσω του μετασχηματιστή με κάποιον ενεργό λόγο μετασχηματισμού a_{eff} . Στον επαγωγικό κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα είναι εύκολος ο προσδιορισμός του λόγου μετασχηματισμού a_{eff} , ο οποίος είναι ίσος με τον αριθμό των αγωγών ανά φάση του στάτη προς τον αριθμό των αγωγών ανά φάση του δρομέα επί τους συντελεστές βήματος και κατανομής. Απο την άλλη μεριά, στον κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού, του οποίου ο δρομέας δε διαθέτει συγκεκριμένο αριθμό αγωγών, είναι δυσκολότερος ο ακριβής προσδιορισμός του a_{eff} . Πάντως και στις δύο περιπτώσεις ορίζεται ο λόγος μετασχηματισμού του κινητήρα.

Η τάση E_R που παράγεται στο δρομέα της μηχανής παράγει με τη σειρά της κάποιο ρεύμα στο βραχυκυκλωμένο κύκλωμα του δρομέα (δευτερεύον) της μηχανής.

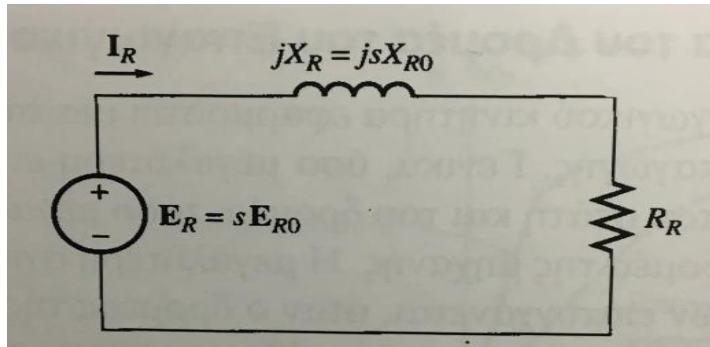
Οι σύνθετες αντιστάσεις πρωτεύοντος και το ρεύμα μαγνήτισης του επαγωγικού κινητήρα είναι σχεδόν όμοια μεγέθη με τα αντίστοιχα στο ισοδύναμο κύκλωμα του μετασχηματιστή. Το ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα διαφέρει από το ισοδύναμο κύκλωμα πρωτεύοντος του μετασχηματιστή στις επιπτώσεις που έχει η μεταβολή της συχνότητας στο δρομέα πάνω στην τάση του δρομέα E_R και στις σύνθετες αντιστάσεις R_R και jX_R .

2.3.1 Ισοδύναμο κύκλωμα του δρομέα του επαγωγικού κινητήρα:

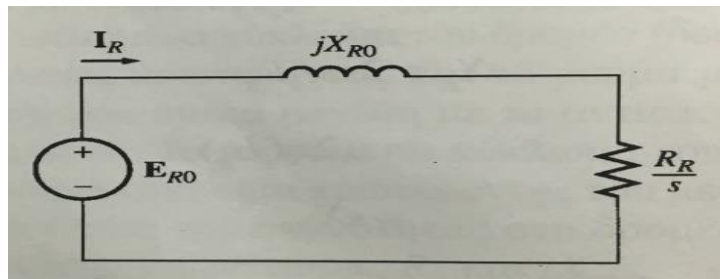
Όταν στο στάτη ενός επαγωγικού κινητήρα εφαρμοστεί μία τάση, στο δρομέα του αναπτύσσεται τάση εξ επαγωγής. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η σχετική ταχύτητα μεταξύ των πεδίων του στάτη και του δρομέα, τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση που αναπτύσσεται στο δρομέα της μηχανής. Η μεγαλύτερη σχετική κίνηση μεταξύ των δύο παραπάνω πεδίων επιτυγχάνεται, όταν ο δρομέας της μηχανής είναι ακίνητος. Σ' αυτή την περίπτωση ο δρομέας ονομάζεται ακινητοποιημένος (blocked ή locked rotor) και η τάση που επάγεται στα τυλίγματά του είναι η μέγιστη δυνατή. Η ελάχιστη τάση (0 V) επάγεται στα τυλίγματα του δρομέα, όταν αυτός περιστρέφεται με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα περιστροφής του πεδίου του στάτη, όταν δηλαδή, δεν υφίσταται η σχετική κίνηση. Για κάθε άλλη ενδιάμεση τιμή της ταχύτητας του δρομέα η επαγόμενη τάση είναι ανάλογη της ολίσθησης.

Αυτή η τάση (E_R) εμφανίζεται στο δρομέα, ο οποίος παρουσιάζει κάποια αντίσταση και κάποια αντίδραση. Η αντίσταση του δρομέα R_R είναι σταθερή (εκτός κι αν επηρεάζεται από το επιδερμικό φαινόμενο) και ανεξάρτητη της ολίσθησης. Αντίθετα, η αντίδραση (X_R) του δρομέα εξαρτάται με κάποιον πιο πολύπλοκο τρόπο από την ολίσθηση. Πιο συγκεκριμένα η αντίδραση του δρομέα εξαρτάται από την αυτεπαγωγή του δρομέα και από την συχνότητα (f_R) της τάσης και του ρεύματος στο δρομέα.

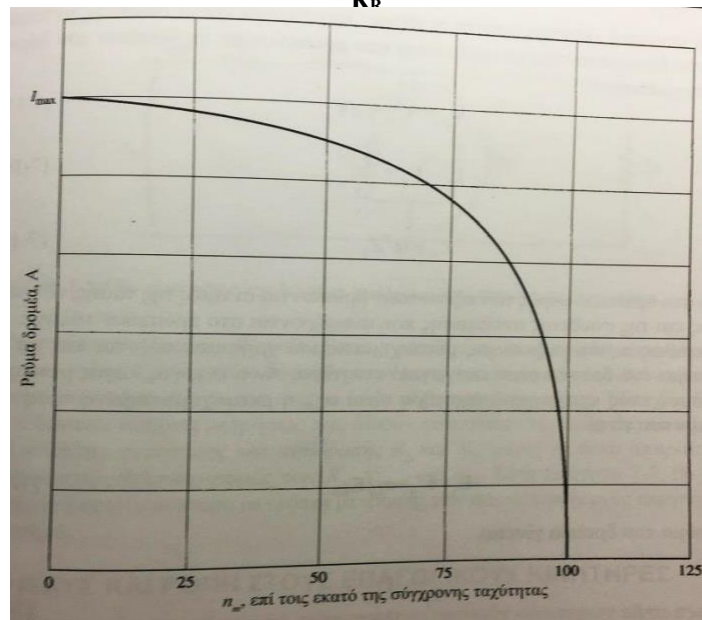
Το ισοδύναμο κύκλωμα του δρομέα της μηχανής φαίνεται στο σχήμα 9. Σύμφωνα με κάποιες μαθηματικές πράξεις συμπεραίνουμε ότι όλα τα αποτελέσματα της μεταβολής στην ταχύτητα του δρομέα είναι δυνατό να εκφραστούν με μια μεταβλητή σύνθετη αντίσταση που τροφοδοτείται από μια πηγή σταθερής τάσης E_{R0} . Έτσι προκύπτει το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 10.



Σχήμα 8 Ισοδύναμο κύκλωμα του δρομέα ενός επαγωγικού κινητήρα.



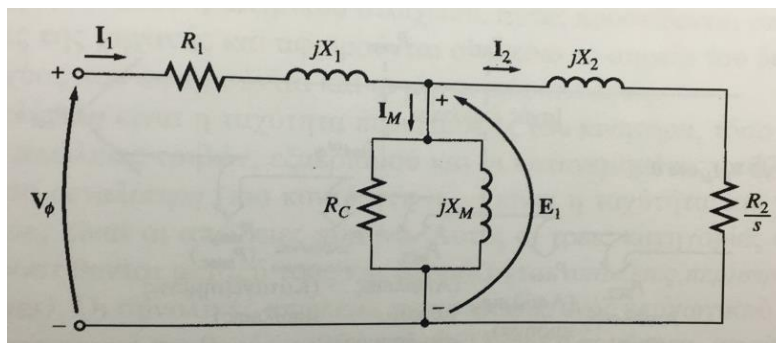
Σχήμα 9 Ισοδύναμο κύκλωμα του δρομέα, όπου όλες οι επιδράσεις της συχνότητας έχουν συνδυαστεί στην αντίσταση R_R



Σχήμα 10 Το ρεύμα του δρομέα συναρτίζεται της ταχύτητας περιστροφής

2.4 Τελικό ισοδύναμο κύκλωμα:

Στο τελικό ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα συνδυάζουμε τα δυο παραπάνω ισοδύναμα κυκλώματα, του μετασχηματιστή και του δρομέα, και προκύπτει το κύκλωμα του σχήματος. (Chapman,2009:468)



Σχήμα 11 Το ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα του επαγωγικού κινητήρα.

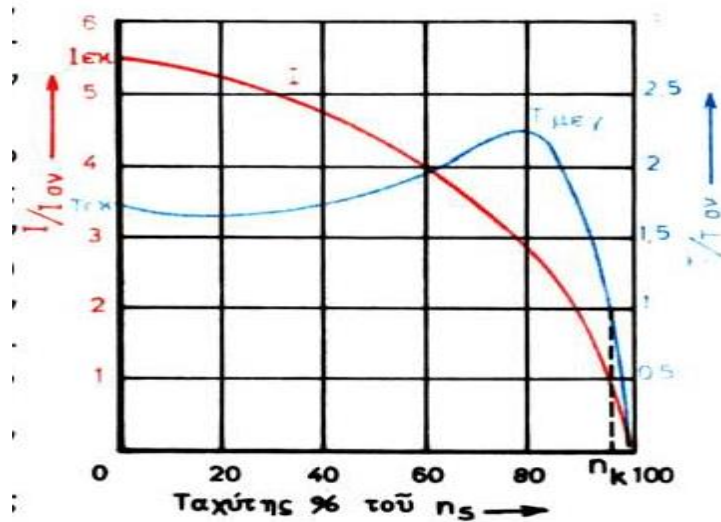
2.5 Ροπή στους ασύγχρονους κινητήρες:

- Σχέση ροπής και αποδόμενης ισχύος:

Όπως γνωρίζουμε η ροπή T , η οποία αναπτύσσεται στον άξονα του κινητήρα προκύπτει από την σχέση: $T = F \cdot r$ [Nm]. Επίσης, αν ο κινητήρας περιστρέφεται με n rpm/sec, τότε η μηχανική ισχύς ισούται με: $N = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot T$ [W] και αν λύσουμε ως προς T έχουμε: $T = N / (2 \cdot \pi \cdot n)$ [Nm]. Όταν η αποδόμενη από τον κινητήρα ισχύς είναι η ονομαστική του ισχύς (υπο την ονομαστική ταχύτητα και τάση), τότε η ροπή που προκύπτει από την παραπάνω σχέση ονομάζεται ονομαστική ροπή του κινητήρα $T_{ον}$. Επίσης, η ροπή ενός ασύγχρονου κινητήρα είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσης τροφοδοσίας.

- Μεταβολή της ροπής και της έντασης του στάτη:

Στο σχήμα φαίνεται πως μεταβάλλεται η ροπή T ενός ορισμένου τριφασικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού, όταν μεταβάλλεται η ταχύτητά του. Στο διάγραμμα η ταχύτητα την οποία έχει κάθε στιγμή ο κινητήρας εκφράζεται ως ποσοστό % της σύγχρονης ταχύτητας n_s . Η ροπή εκφράζεται με το λόγο της ως προς την ονομαστική ροπή. Στο σχήμα ακόμη φαίνεται και η μεταβολή της έντασης την οποία απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο.



Σχήμα 12 Μεταβολή της έντασης και της ροπής κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού.

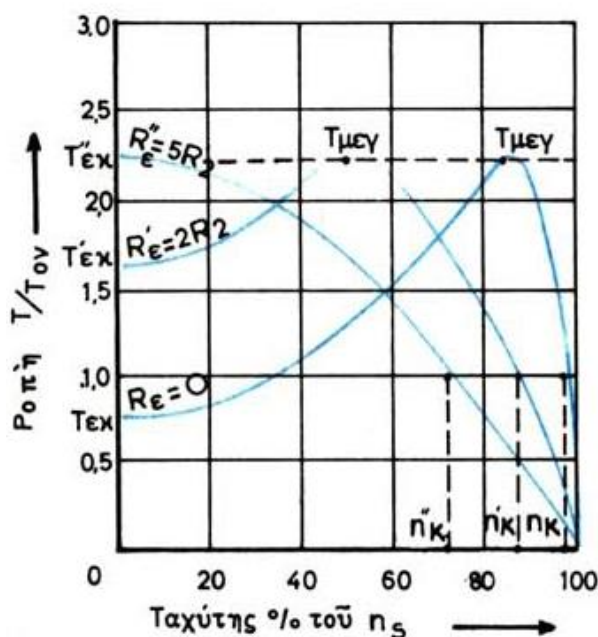
Όπως παρατηρούμε από τη καμπύλη της έντασης, τη πρώτη στιγμή της εκκίνησης ($n=0$) ο κινητήρας απορροφάει ένταση $I_{εκ}$, η οποία είναι 5,5 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ένταση. Την δεδομένη στιγμή που ο δρομέας δεν έχει ξεκινήσει ο κινητήρας συμπεριφέρεται ως μετασχηματιστής με βραχυκυκλωμένο το δευτερεύον. Το ίδιο ισχύει και για τους κινητήρες με δακτυλιοφόρους δρομείς, εάν οι αντιστάσεις του εκκινητή είναι βραχυκυκλωμένες. Επειδή τα τυλίγματα του δρομέα έχουν μικρή αντίσταση, αναπτύσσονται σ'αυτά κατά τη στιγμή της εκκίνησης μεγάλες αντιστάσεις με αποτέλεσμα να έχουμε σημαντικές εντάσεις εκκίνησης και στο πρωτεύον, δηλαδή στον στάτη του κινητήρα. Σε ορισμένους κινητήρες βραχυκυκλωμένου κλωβού έχουμε $I_{εκ}/I_{0V}=6$ έως 8. Για τον περιορισμό των σημαντικών αυτών εντάσεων εκκίνησης, οι οποίες αποτελούν μειονέκτημα των κινητήρων αυτών, λαμβάνονται διάφορα μέτρα. Στους κινητήρες δακτυλιοφόρων δρομέων η παρεμβολή των αντιστάσεων του εκκινητή στο τύλιγμα του δρομέα προκαλεί την ελάττωση του $I_{εκ}$ στο επιθυμητό μέγεθος φτάνοντας το $I_{εκ}/I_{0V}$ έως και =1.

Από το ίδιο σχήμα παρατηρούμε ότι η ροπή εκκίνησης του κινητήρα είναι 1,7 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ροπή. Όσο αυξάνονται οι στροφές του κινητήρα, η ένταση που απορροφά από το δίκτυο μειώνεται αλλά η ροπή αυξάνεται μέχρι τη τιμή $T_{μεγ}$. Η ροπή αυτή είναι η μέγιστη ροπή που είναι δυνατό να αναπτύξει ο κινητήρας και δημιουργείται πάντα σε αριθμό στροφών μικρότερο από τις κανονικές στροφές n_k του κινητήρα. Στον τελευταίο αυτό αριθμό στροφών ο κινητήρας αναπτύσσει την ονομαστική ροπή η οποία είναι σημαντικά μικρότερη από την $T_{μεγ}$ και απορροφά την ονομαστική του ένταση.

Η λειτουργία του κινητήρα στο τμήμα της καμπύλης μετά την $T_{μεγ}$ είναι ευσταθής λειτουργία. Δηλαδή, αν ο κινητήρας δουλεύει σε ένα σημείο του τμήματος αυτού της καμπύλης και για οποιονδήποτε λόγο αυξηθεί το φορτίο του, η ταχύτητα του κινητήρα θα ελαττωθεί. Τότε όμως θα αυξηθεί η ροπή που αναπτύσσει και έτσι θα μπορέσει να αντιμετωπίσει την αύξηση του φορτίου, ενώ παράλληλα θα αυξηθεί και η ένταση που απορροφά από το δίκτυο. Με αυτόν το τρόπο ο κινητήρας προσαρμόζεται αυτόματα στις διακυμάνσεις του φορτίου.

Όταν το φορτίο αυξηθεί πέραν της τιμής $T_{μεγ}$, τότε ο κινητήρας σταματάει απότομα. Για αυτόν το λόγο η μέγιστη ροπή ονομάζεται και ροπή ανατροπής. Η λειτουργία του κινητήρα στο τμήμα της καμπύλης πριν το σημείο $T_{μεγ}$ δεν είναι δυνατή, παρα μόνον ως μεταβατική κατά την εκκίνηση. Στο τμήμα αυτό η λειτουργία είναι ασταθής, δηλαδή δεν είναι δυνατή η συνεχής λειτουργία σε αυτό.

Η μορφή που έχει η καμπύλη της μεταβολής της ροπής ενός ασύγχρονου κινητήρα εξαρτάται από την ολική αντίσταση του τυλίγματος κάθε φάσεως του δρομέα R_2 και από τη συνδεδεμένη σε αυτό εξωτερική αντίσταση R_e . Όπως βλέπουμε στο σχήμα όσο αυξάνουμε την αντίσταση αυτή ($R_2 + R_e$) συμβαίνουν τα εξής: Μεγαλώνει (μέχρι ένα όριο) η $T_{εκ}$, η μέγιστη ροπή $T_{μεγ}$, της οποίας το μέγεθος δεν εξαρτάται από την ολική αντίσταση του δρομέα, επιτυγχάνεται σε μικρότερο αριθμό στροφών και η ολίσθηση του κινητήρα υπό κανονικό φορτίο αυξάνεται, δηλαδή μειώνεται η ταχύτητα n_k .



Σχήμα 13 Μεταβολή της ροπής κινητήρα 100 kW δακτυλιοφόρου δρομέα με διάφορες τιμές στην εξωτερική αντίσταση.

2.5.1 Ανθισταμένη ροπή του φορτίου

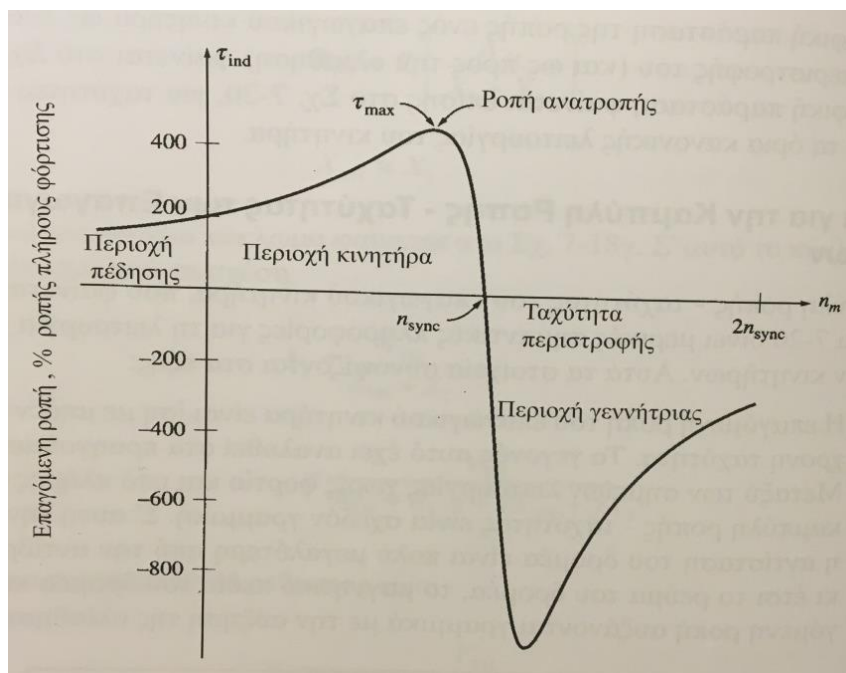
Για να τεθεί σε λειτουργία ο κινητήρας, πρέπει προφανώς η ανθισταμένη ροπή του φορτίου κατά την εκκίνηση $T_{\alpha,εκ}$, να είναι μικρότερη από την ροπή $T_{εκ}$ του κινητήρα. Και εν συνεχεία όμως, η αναπτυσσόμενη ροπή από τον κινητήρα T πρέπει να είναι μεγαλύτερη της ροπής του φορτίου T_{α} , ώστε ο κινητήρας καθώς επιταχύνει να φθάσει τον κανονικό αριθμό στροφών του n_K .

Στο σχήμα παριστάνεται η καμπύλη μεταβολής της ροπής T του κινητήρα, όταν μεταβάλλεται η ταχύτητά του. Στο ίδιο σχήμα παριστάνεται και η αντίστοιχη καμπύλη μεταβολής της ανθισταμένης ροπής T_{α} του φορτίου. Το διαγραμμισμένο τμήμα μεταξύ των δύο καμπυλών δίνει για κάθε ταχύτητα την διαφορά $T - T_{\alpha}$. Το σημείο K , στο οποίο τέμνονται οι δύο καμπύλες είναι το σημείο λειτουργίας του κινητήρα με τις κανονικές στροφές του n_K , και όπου η κινητήρια ροπή ισούται με την ανθισταμένη ροπή. (Βασιλακόπουλος, 1976:207)

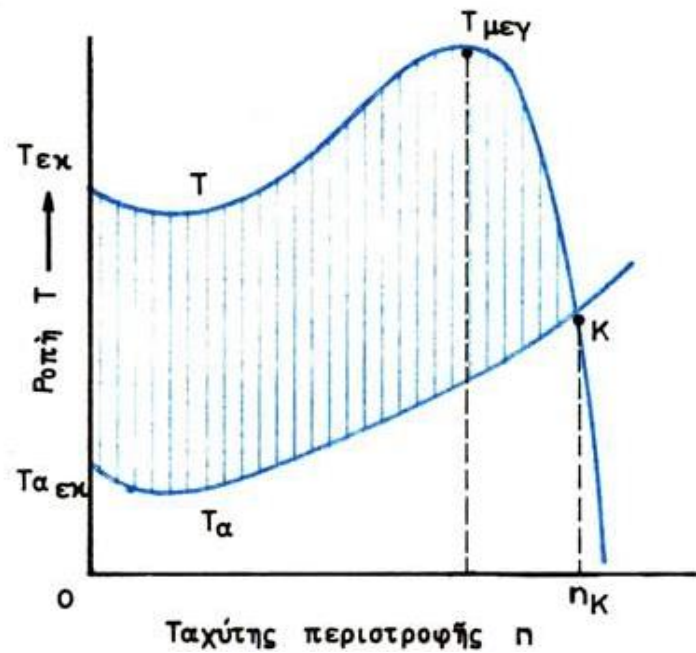
Σχόλια για την καμπύλη Ροπής-Ταχύτητας:

1. Η επαγόμενη ροπή του επαγωγικού κινητήρα είναι ίση με μηδέν στη σύγχρονη ταχύτητα n_{sync} ($=n_K$)
2. Μεταξύ των σημείων λειτουργίας χωρίς φορτίο και υπο πλήρες φορτίο η καμπύλη ροπής-ταχύτητας είναι σχεδόν γραμμική. Σ' αυτή την περιοχή η αντίσταση του δρομέα είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίδραση του κι έτσι το ρεύμα του δρομέα, το μαγνητικό πεδίο του δρομέα και η επαγόμενη ροπή αυξάνονται γραμμικά με την αύξηση της ολίσθησης.
3. Υπάρχει μία μέγιστη επιτρεπτή ροπή που είναι αδύνατο να ξεπεραστεί. Αυτή η ροπή ονομάζεται ροπή ανατροπής ή ροπή κατάρρευσης (pullout-breakdown torque) και είναι δύο έως τρεις φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ροπή του κινητήρα κατά την πλήρη φόρτιση.
4. Η ροπή εκκίνησης του κινητήρα είναι λίγο μεγαλύτερη από την ροπή κατά την πλήρη φόρτιση. Έτσι, ο επαγωγικός κινητήρας μπορεί να ξεκινήσει με οποιοδήποτε από τα φορτία που είναι ικανός να κινήσει στη λειτουργία υπό πλήρη ισχύ.
5. Η ροπή του κινητήρα για μια δεδομένη ισχύ της ολίσθησης μεταβάλλεται με το τετράγωνο της τάσης εισόδου. Το γεγονός αυτό είναι πολύ χρήσιμο σε μια από τις τεχνικές ελέγχου της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα.

6. Αν ο δρομέας του επαγωγικού κινητήρα περιστρέφεται με ταχύτητα μεγαλύτερη από την σύγχρονη, η φορά περιστροφής της επαγόμενης ροπής αντιστρέφεται, με αποτέλεσμα η μηχανή να λειτουργεί ως γεννήτρια μετατρέποντας μηχανική ισχύ σε ηλεκτρική.
7. Αν η φορά περιστροφής του κινητήρα είναι αντίθετη από την φορά περιστροφής των μαγνητικών πεδίων στο εσωτερικό του, η επαγόμενη ροπή θα σταματήσει τον κινητήρα και θα προσπαθήσει να τον περιστρέψει προς την αντίθετη φορά. Όμως, επειδή η φορά περιστροφής των μαγνητικών πεδίων στον επαγωγικό κινητήρα μπορεί να πραγματοποιηθεί πολύ εύκολα απλά με την αντιμετάθεση των συνδέσεων σε δύο από τις τρεις φάσεις του, η παραπάνω παρατήρηση είναι δυνατό να χρησιμοποιείται με σκοπό το απότομο σταμάτημα του κινητήρα και ονομάζεται ακαριαία πέδηση (plugging). (Chapman,2009:495)



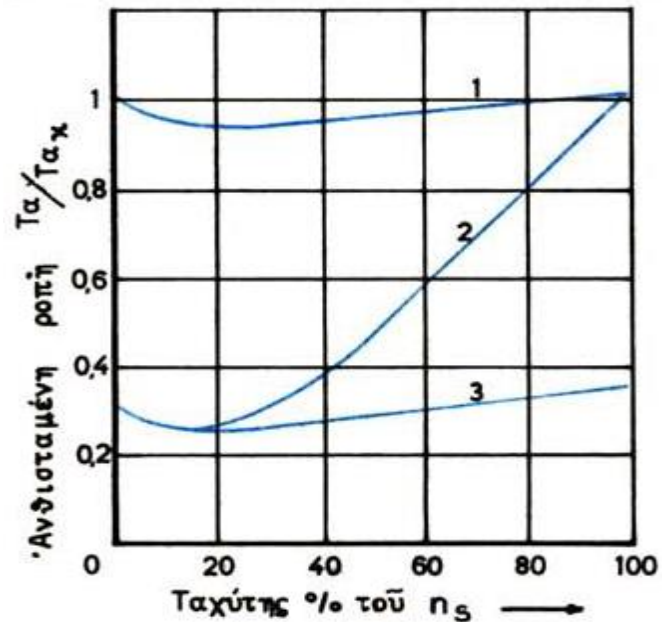
Σχήμα 14 Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας, όπου φαίνονται και οι διευρυμένες περιοχές λειτουργίας (πέδησης και επαγωγικής γεννήτριας).



Σχήμα 15 Μεταβολή της κινητήριας και ανθισταμένης ροπής.

Η μορφή που έχει η καμπύλη της ανθισταμένης ροπής εξαρτάται απο το είδος του φορτίου και στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τρεις χαρακτηριστικές καμπύλες:

1. Η καμπύλη 1 ανθιστοιχεί σε φορτία τα οποία παρουσιάζουν κατά τη διάρκεια της εκκίνησης ροπή περίπου ίση με τη ροπή που έχουν στο κανονικό αριθμό στροφών ($T_{ακ}$). Φορτία τέτοιου είδους παρουσιάζονται στα ανυψωτικά μηχανήματα, στις εμβολοφόρες αντλίες, τους μεταφορικούς ιμάντες κλπ.
2. Η καμπύλη 2 ανθιστοιχεί σε φορτία, των οποίων η ροπή αυξάνεται αισθητά με την αύξηση των στοφών του κινητήρα, όπως για παράδειγμα στους ανεμιστήρες, τις φυγοκεντρικές αντλίες, τους στροβιλοσυμπιεστές κλπ.
3. Η καμπύλη 3 ανθιστοιχεί στην εκκίνηση εν κενώ του κινητήρα, δηλαδή το φορτίο εμφανίζεται αφού ο κινητήρας λάβει της κανονική ταχύτητα περιστροφής του. Φορτία αυτού του είδους εμφανίζονται σε τόρνους, πρέσσες κλπ. (Βασιλακόπουλος, 1976:209)



Σχήμα 16 Χαρακτηριστική καμπύλη ανθισταμένης ροπής διαφόρων φορτίων.

3 Έλεγχος της ταχύτητας στους επαγωγικούς κινητήρες:

Μέχρι την εμφάνιση των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτρονικής οδήγησης οι επαγωγικοί κινητήρες δεν αποτελούσαν γενικά καλή επιλογή για εφαρμογές μεταβλητής ταχύτητας. Το κανονικό εύρος λειτουργίας ενός τυπικού επαγωγικού κινητήρα περιορίζεται κάτω από 5% για την ολίσθηση, ενώ η μεταβολή της ταχύτητας πέρα απ' αυτό το εύρος είναι σχεδόν ανάλογη του φορτίου που εφαρμόζεται στον άξονα του κινητήρα. Ακόμη κι αν η ολίσθηση έπαιρνε μεγαλύτερη τιμή, η απόδοση του κινητήρα θα έπεφτε πολύ χαμηλά, αφού οι απώλειες χαλκού στο δρομέα είναι ανάλογες με την ολίσθηση.

Στη πραγματικότητα υπάρχουν δύο μόνο τεχνικές με τις οποίες είναι δυνατό να ρυθμιστεί η ταχύτητα των επαγωγικών κινητήρων. Στη πρώτη μεταβάλλεται η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα, που είναι η ταχύτητα περιστροφής των μαγνητικών πεδίων του στάτη και του δρομέα, αφού η ταχύτητα του άξονα παραμένει πάντα κοντά στη σύγχρονη ταχύτητα n_{sync} . Στην άλλη τεχνική μεταβάλλεται η ολίσθηση του κινητήρα για ένα δεδομένο φορτίο.

Η σύγχρονη ταχύτητα δίνεται από τη μαθηματική σχέση $n_{sync}=120f_e/P$ κι έτσι οι μόνοι τρόποι μεταβολής της σύγχρονης ταχύτητας είναι: α) η ρύθμιση της ηλεκτρικής συχνότητας και β) η μεταβολή του αριθμού των πόλων της μηχανής. Ο έλεγχος της ολίσθησης πραγματοποιείται με μεταβολή της αντίστασης του δρομέα είτε της τάσης εισόδου στον κινητήρα.

3.1 Έλεγχος της ταχύτητας επαγωγικών κινητήρων με μεταβολή του αριθμού πόλων:

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι αλλαγής του αριθμού των πόλων ενός επαγωγικού κινητήρα:

1. Η μέθοδος των διαδοχικών πόλων
2. Πολλαπλά τυλίγματα στο στάτη
3. Συνδυασμός των δύο

Η μέθοδος των διαδοχικών πόλων (consequent poles) είναι μια παλιά μέθοδος ελέγχου της ταχύτητας, που αρχικά αναπτύχθηκε το 1897. Στηρίζεται στο γεγονός ότι ο αριθμός πόλων του τυλίγματος στο στάτη ενός επαγωγικού κινητήρα είναι εύκολο να μεταβληθεί μ'έναν παράγοντα 2 προς 1 με κάποιες απλές αλλαγές στις συνδέσεις συστάδων. Οι ξεχωριστές συστάδες παρουσιάζουν πολύ μικρό βήμα (60° ως 90°). Οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου εξέρχονται από τον στάτη στην επάνω ομάδα φάσης (βόρειος πόλος) και εισέρχονται στο στάτη στην κάτω ομάδα φάσης (νότιος πόλος). Έτσι αυτό το τυλίγμα παράγει δύο πόλους στο στάτη. Ας υποθέσουμε πως η κατεύθυνση του ρεύματος στην κάτω ομάδα φάσης αντιστρέφεται. Τότε οι γραμμές του πεδίου θα εξέρχονται από το στάτη και στην επάνω και στη κάτω ομάδα φάσης-κάθε ομάδα παράγει ένα βόρειο μαγνητικό πόλο. Η μαγνητική ροή θα πρέπει να επιστραφεί στο στάτη της μηχανής ανάμεσα από τις δύο ομάδες φάσης δημιουργώντας ένα ζεύγος διαδοχικών νότιων μαγνητικών πόλων. Εδώ φαίνεται ότι ο στάτης διαθέτει πια τέσσερις μαγνητικούς πόλους-διπλάσιο αριθμό από πριν.

Ο δρομέας ενός τέτοιου κινητήρα είναι βραχυκυκλωμένου κλωβού, επειδή σ'αυτό το δρομέα επάγονται πάντα τόσοι πόλοι, όσοι ακριβώς παρουσιάζονται στο στάτη κι έτσι μπορεί να προσαρμόζεται κάθε φορά που ο αριθμός των πόλων μεταβάλλεται. Όταν η συνδεσμολογία του κινητήρα μεταβάλλεται και οι πόλοι του από δύο γίνονται τέσσερις, η μέγιστη ροπή του μπορεί να παραμείνει η ίδια (συνδεσμολογία σταθερής ροπής), να μειωθεί στο μισό (συνδεσμολογία ροπής με το νόμο του τετραγώνου) ή να διπλασιαστεί (συνδεσμολογία σταθερής ισχύος εξόδου), ανάλογα με τον τρόπο που αναδιοργανώνονται τα τυλίγματα του στάτη.

Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου μεταβολής της ταχύτητας με διαδοχικούς πόλους είναι το ότι οι ταχύτητες θα πρέπει να έχουν λόγο 2 προς 1. Ο παραδοσιακός τρόπος υπέρβασης αυτού του περιορισμού είναι η εισαγωγή πολλαπλών τυλιγμάτων στο στάτη (multiple stator windings) με διαφορετικό αριθμό πόλων το καθένα και η ενεργοποίηση ενός απ'αυτά κάθε φορά. Δυστυχώς, τα πολλαπλά τυλίγματα στο στάτη αυξάνουν το κόστος του κινητήρα και χρησιμοποιούνται μόνον όταν είναι τελείως απαραίτητα.

Με τον συνδυασμό της μεθόδου των διαδοχικών πόλων και της μεθόδου των πολλαπλών τυλιγμάτων είναι δυνατό να κατασκευασθεί ένας κινητήρας τεσσάρων ταχυτήτων.

3.2 Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή της συχνότητας δικτύου:

Αν η συχνότητα που εφαρμόζεται στο στάτη ενός επαγωγικού κινητήρα μεταβληθεί, ο ρυθμός περιστροφής των μαγνητικών πεδίων n_{sync} μεταβάλλεται ανάλογα με τη μεταβολή της ηλεκτρικής συχνότητας, ενώ το σημείο λειτουργίας χωρίς φορτίο στη καμπύλη ροπής-ταχύτητας μεταβάλλεται επίσης. Η σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα στις ονομαστικές συνθήκες είναι γνωστή ως βασική ταχύτητα (base speed). Με τον έλεγχο μεταβλητής συχνότητας, η ταχύτητα του κινητήρα είναι δυνατό να ρυθμίζεται πάνω και κάτω από τη βασική ταχύτητα. Η ρύθμιση της ταχύτητας του επαγωγικού κινητήρα μπορεί να ξεκινά από ένα μικρό εύρος τιμών, 5% της βασικής ταχύτητας, και να φθάνει σε τιμές διπλάσιες της βασικής ταχύτητας. Όμως, είναι σημαντικό να καθοριστούν κάποια όρια για την τάση και τη ροπή του κινητήρα κατά τη μεταβολή της ταχύτητάς του, ώστε η λειτουργία του να είναι ασφαλής.

Όταν ο κινητήρας περιστρέφεται με ταχύτητες μικρότερες της βασικής, θα πρέπει η τάση που εφαρμόζεται στο στάτη του κινητήρα να περιορίζεται, με σκοπό να είναι ασφαλής η λειτουργία του. η τάση εισόδου στο στάτη θα πρέπει να μειώνεται γραμμικά με τη μείωση της συχνότητας. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται υποβιβασμός (derating) της τάσης. Αν δεν ακολουθείται αυτή η διαδικασία, ο χάλυβας του στάτη οδηγείται σε κορεσμό και το ρεύμα μαγνήτισης του κινητήρα μπορεί να πάρει εξαιρετικά μεγάλες τιμές.

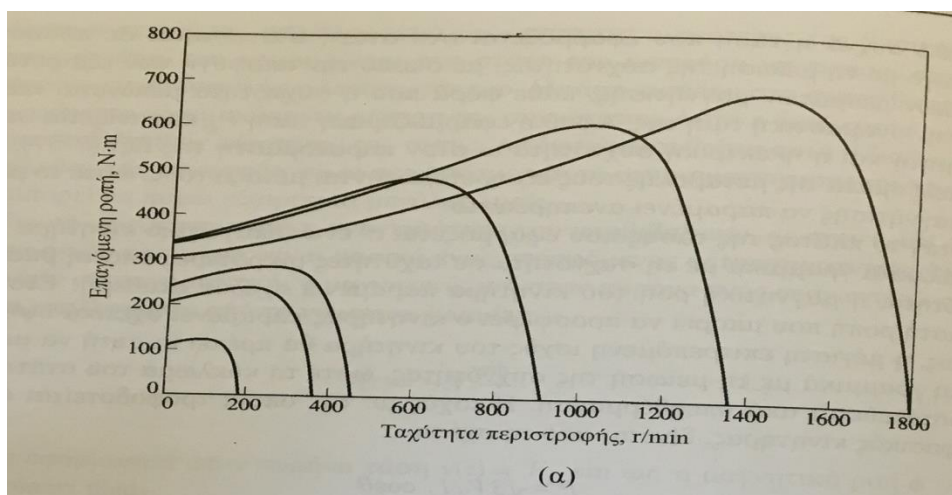
Για να γίνει κατανοητή η αναγκαιότητα της παραπάνω διαδικασίας λαμβάνουμε υπόψη τον νόμο του Faraday για τον υπολογισμό της μαγνητικής ροής στο πυρήνα του επαγωγικού κινητήρα και προσέχουμε ότι η ηλεκτρική συχνότητα ω εμφανίζεται στον παρονομαστή. Έτσι, αν η ηλεκτρική συχνότητα που εφαρμόζεται στο στάτη μειωθεί κατά 10% και το πλάτος της τάσης του στάτη παραμείνει σταθερό, η μαγνητική ροή στον πυρήνα του κινητήρα αυξάνεται περίπου κατά 10%, ενώ το ρεύμα μαγνήτισης στο εσωτερικό του αυξάνεται επίσης. Στην ακόρεστη περιοχή της καμπύλης μαγνήτισης, η αύξηση του ρεύματος μαγνήτισης θα είναι κι αυτή περίπου ίση με 10%, ενώ στην κορεσμένη περιοχή η αύξηση της μαγνητικής ροής κατά 10% απαιτεί πολύ μεγαλύτερη αύξηση του ρεύματος μαγνήτισης. Οι επαγωγικοί κινητήρες συνήθως κατασκευάζονται με σκοπό να λειτουργούν κοντά στο σημείο κορεσμού της καμπύλης μαγνήτισης κι έτσι η αύξηση της μαγνητικής ροής, που οφείλεται στη

μείωση της συχνότητας, προκαλεί σοβαρή αύξηση στο ρεύμα μαγνήτισης του κινητήρα.

Πολύ συχνά η τάση που εφαρμόζεται στον στάτη ελαττώνεται σε ποσοστό ανάλογο με τη μείωση της συχνότητας, με σκοπό την αποφυγή εξαιρετικά μεγάλων ρευμάτων μαγνήτισης, κάθε φορά που η συχνότητα μειώνεται κάτω από την ονομαστική τιμή της. Αφού η εφαρμοζόμενη τάση V_M εμφανίζεται στον αριθμητή και η ηλεκτρική συχνότητα ω στον παρονομαστή τα αποτελέσματα της μεταβολής τους εξουδετερώνονται μεταξύ τους, ώστε το ρεύμα μαγνήτισης παραμένει ανεπηρέαστο.

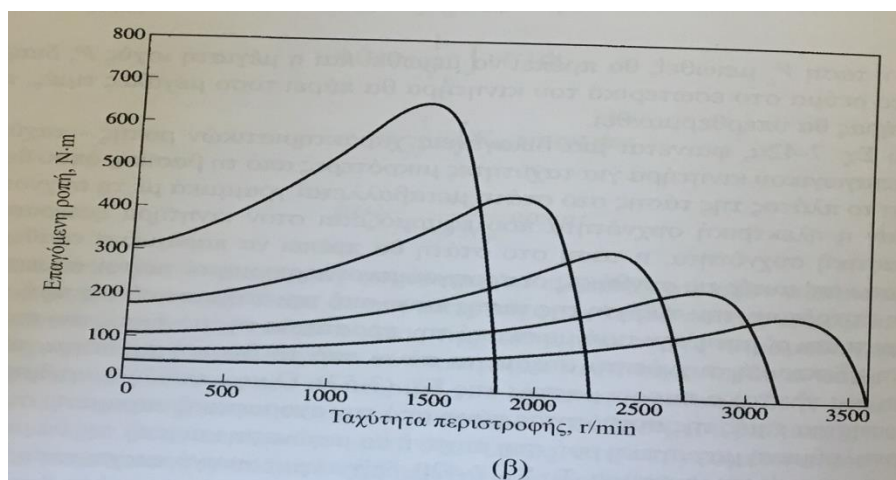
Όταν το πλάτος της τάσης που εφαρμόζεται σ'έναν επαγωγικό κινητήρα μεταβάλλεται γραμμικά με τη συχνότητα σε ταχύτητες μικρότερες από τη βασική, η μαγνητική ροή του κινητήρα παραμένει σχεδόν σταθερή. Έτσι, η μέγιστη ροπή που μπορεί να προσφέρει ο κινητήρας παραμένει σχετικά υψηλή. Όμως, η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς του κινητήρα θα πρέπει κι αυτή να μειώνεται γραμμικά με τη μείωση της συχνότητας, ώστε το κύκλωμα του στάτη να προστατεύεται από υπερθέρμανση. Αν η τάση V_L μειωθεί, θα πρέπει να μειωθεί και η μέγιστη ισχύς P , διαφορετικά το ρεύμα στο εσωτερικό του κινητήρα θα πάρει τόσο μεγάλες τιμές, που ο κινητήρας θα υπερθερμανθεί.

Στο σχήμα α, φαίνεται μία οικογένεια χαρακτηριστικών ροπής-ταχύτητας ενός επαγωγικού κινητήρα για ταχύτητες μικρότερες από τη βασική, όπου θεωρείται ότι το πλάτος της τάσης στο στάτη μεταβάλλεται γραμμικά με τη συχνότητα.

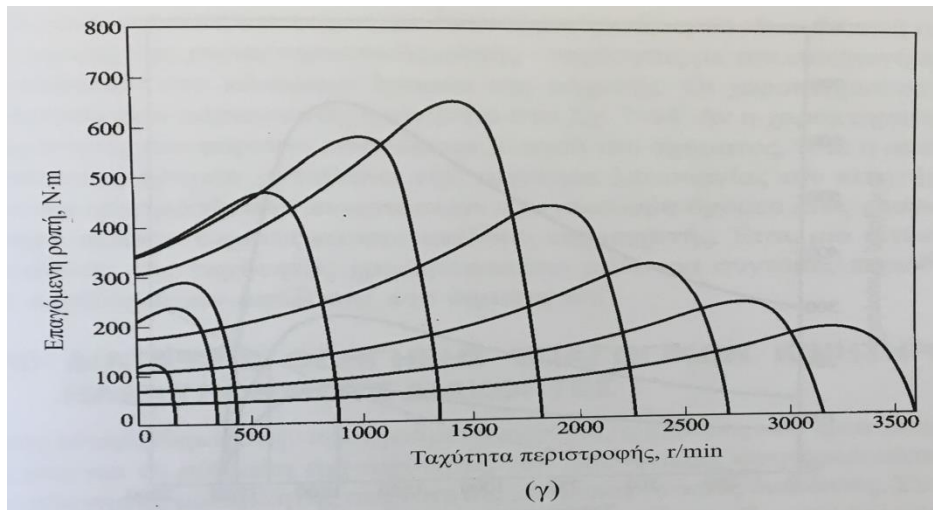


Σχήμα 17 Οικογένεια χαρακτηριστικών ροπής-ταχύτητας για ταχύτητες κάτω από τη βασική, όπου υποτίθεται οι τάσεις εισόδου ελαττώνονται γραμμικά με την ταχύτητα

Όταν η ηλεκτρική συχνότητα που εφαρμόζεται στον κινητήρα ξεπεράσει την ονομαστική συχνότητα, η τάση στο στάτη θα πρέπει να παραμείνει σταθερή. Αν και κάτω απ' αυτές τις συνθήκες οι προηγούμενοι περιορισμοί για τον κορεσμό του στάτη επιτρέπουν την αύξηση της τάσης πάνω από την ονομαστική της τιμή, η τάση συγκρατιέται σ' αυτή τη τιμή με σκοπό την προστασία της μόνωσης του κινητήρα. Όσο η ηλεκτρική συχνότητα αυξάνεται, τόσο μεγαλύτερος γίνεται ο παρονομαστής στη σχέση του Faraday. Όμως, επειδή ο αριθμητής της εξίσωσης για τιμές της συχνότητας πάνω από την ονομαστική παραμένει σταθερός, η προκαλούμενη μαγνητική ροή στη μηχανή θα μειώνεται και μαζί της και η μέγιστη ροπή. Το σχήμα β, δείχνει μια οικογένεια χαρακτηριστικών ροπής-ταχύτητας για ταχύτητες πάνω από τη βασική, στις οποίες γίνεται υπόθεση σταθερής τάσης στο στάτη. Στο σχήμα γ, φαίνεται η οικογένεια χαρακτηριστικών ροπής-ταχύτητας ενός επαγωγικού κινητήρα, του οποίου η τάση στο στάτη μεταβάλλεται γραμμικά με τη συχνότητα για ταχύτητες κάτω από τη βασική και παραμένει σταθερή για ταχύτητες πάνω από τη βασική. Στα παραπάνω σχήματα η ονομαστική ταχύτητα είναι 1800 rpm.



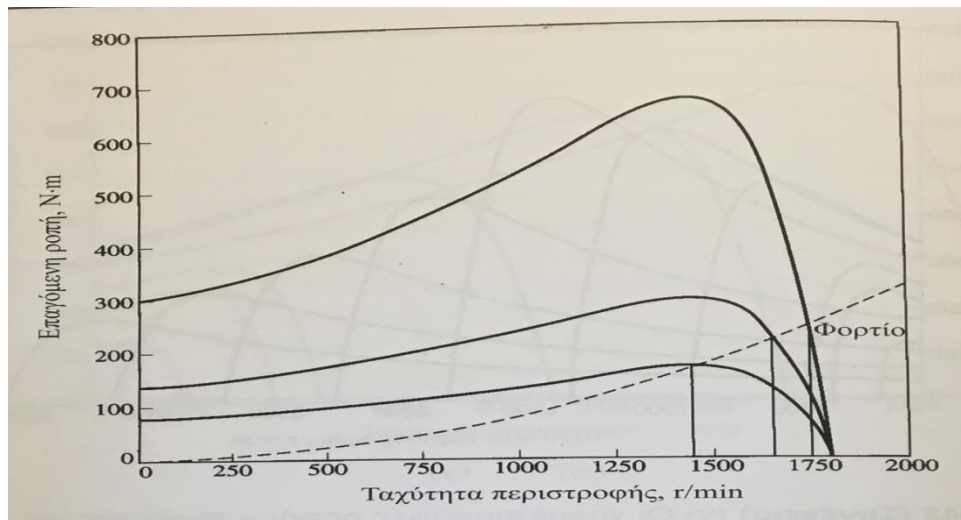
Σχήμα 18 Οικογένεια χαρακτηριστικών ροπής-ταχύτητας για ταχύτητες πάνω από τη βασική, όπου υποτίθεται οι τάσεις εισόδου μένουν σταθερές.



Σχήμα 19 Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας για όλες τις συχνότητες.

3.3 Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή της τάσης τροφοδοσίας:

Η ροπή που αναπτύσσει ένας επαγωγικός κινητήρας εξαρτάται από το τετράγωνο της εφαρμοζόμενης τάσης. Αν το φορτίο του κινητήρα διαθέτει χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας όμοια με το σχήμα τότε η ταχύτητά του είναι δυνατό να ρυθμίζεται για ένα περιορισμένο εύρος τιμών. Αυτή η μέθοδος ελέγχου χρησιμοποιείται συνήθως στους μικρούς κινητήρες που κινούν ανεμιστήρες.

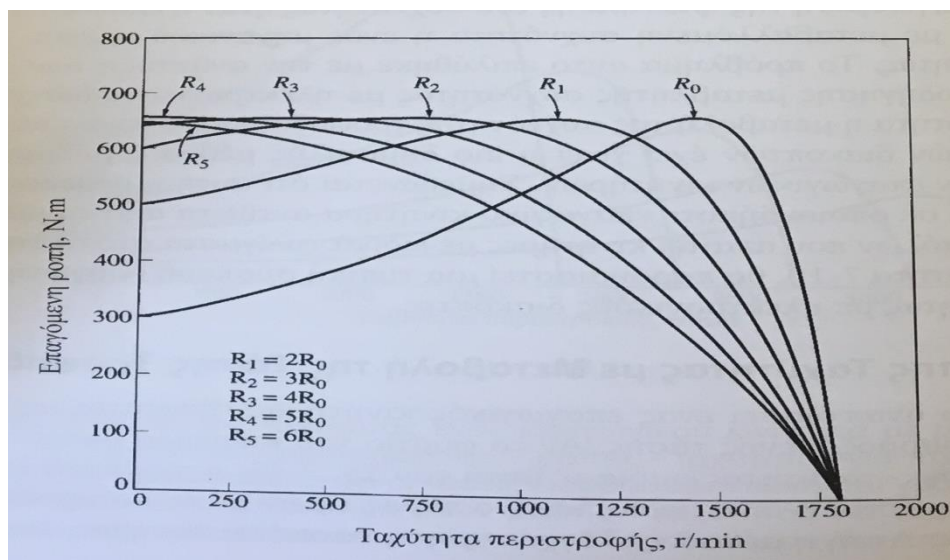


Σχήμα 20 Ρύθμιση ταχύτητας επαγωγικού κινητήρα με έλεγχο της τάσης εισόδου.

3.4 Έλεγχος της ταχύτητας με μεταβολή της αντίστασης δρομέα:

Στους επαγωγικούς κινητήρες με δακτυλιοφόρο δρομέα είναι δυνατή η μεταβολή της μορφής της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας με την εισαγωγή πρόσθετων αντιστάσεων στο κύκλωμα του δρομέα. Αν η χαρακτηριστική του φορτίου είναι όμοια μ'αυτή του σχήματος, τότε η μεταβολή της αντίστασης του δρομέα μεταβάλλει την ταχύτητα λειτουργίας του κινητήρα. Όμως, η εισαγωγή πρόσθετων

αντιστάσεων στο κύκλωμα δρομέα ενός επαγωγικού κινητήρα μειώνει σημαντικά την απόδοσή του. Έτσι, μια τέτοια μέθοδος μεταβολής της ταχύτητας χρησιμοποιείται μόνο για σύντομες περιόδους λόγω των προβλημάτων απόδοσης που δημιουργεί. (Chapman,2009:527)

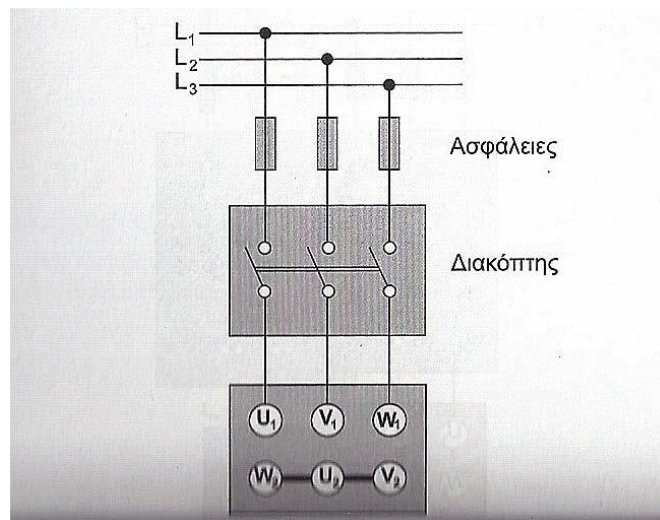


Σχήμα 21 Ρύθμιση ταχύτητας κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα με μεταβολή της αντίστασης του δρομέα.

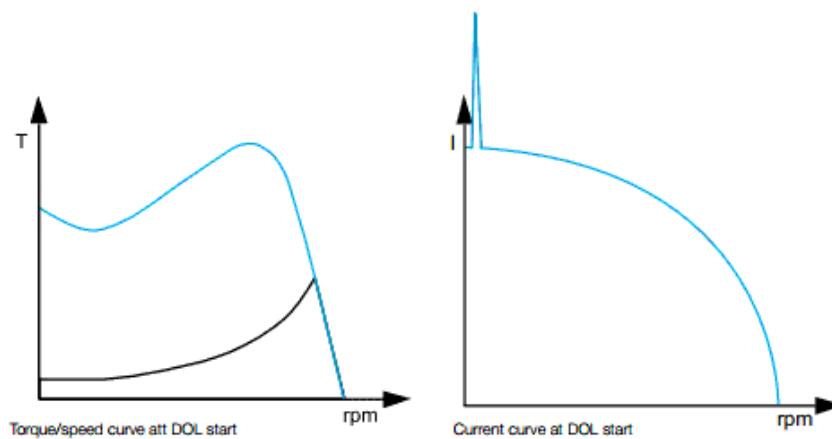
4 Μέθοδοι εκκίνησης επαγωγικών κινητήρων

4.1 Απευθείας εκκίνηση:

Ο απλούστερος τρόπος εκκίνησης τριφασικού κινητήρα είναι η απευθείας εκκίνηση με τη χρήση ενός μόνο απλού τριπολικού διακόπτη.



Σχήμα 22 Σχέδιο σύνδεσης μεθόδου απευθείας εκκίνησης



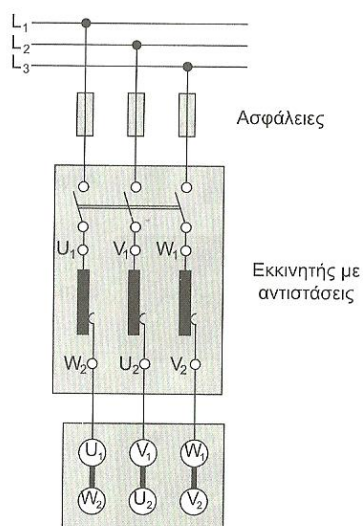
Σχήμα 23 Χαρακτηριστική ροπής/στροφών και ρεύματος/στροφών κατά την απευθείας εκκίνηση

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε ορισμένες περιπτώσεις στη βιομηχανία και κυρίως για κινητήρες μικρής ισχύος της τάξης του 1,5-2KW. Υπάρχουν περιπτώσεις όμως όπου η ΔΕΗ επιτρέπει την απευθείας εκκίνηση κινητήρων μεγαλύτερης ισχύος (βλέπε

κανονισμό ΔΕΗ) τόσο στη χαμηλή όσο και στη μέση τάση. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι πρώτον η απλή μέθοδός του και δεύτερον η υψηλή ροπή εκκίνησης. Το μειονέκτημα από την άλλη είναι το μεγάλο ρεύμα εκκίνησης και ότι μπορεί να προκαλέσει πτώση τάσης αρκετά μεγάλη στο δίκτυο ισχύος ώστε να κάνει ανεπίτρεπτη την εκκίνηση του κινητήρα.

4.2 Εκκίνηση με αντιστάσεις στον στάτη:

Στον τρόπο αυτό παρεμβάλλουμε στο κύκλωμα, που τροφοδοτεί τον στάτη του κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα, έναν εκκινητή ο οποίος αποτελείται από τρεις ρυθμιζόμενες αντιστάσεις όπου, ανάλογα με τη κατασκευή του κινητήρα έχουν και την ανάλογη συνδεσμολογία.



Σχήμα 24 Σχέδιο σύνδεσης μεθόδου εκκίνησης με αντιστάσεις στον στάτη

Ο κινητήρας με αυτόν τον τρόπο ξεκινάει με ελαττωμένη τάση και συνεπώς και με ελαττωμένη ένταση. Προοδευτικά όσο αυξάνεται η ταχύτητα του κινητήρα αφαιρούνται σταδιακά οι αντιστάσεις έως ότου ο κινητήρας αποκτήσει τις κανονικές του στροφές οπότε και ο εκκινητής τίθεται εκτός λειτουργίας. Έτσι στη κανονική λειτουργία του κινητήρα όλες οι αντιστάσεις του εκκινητή είναι εκτός κυκλώματος.

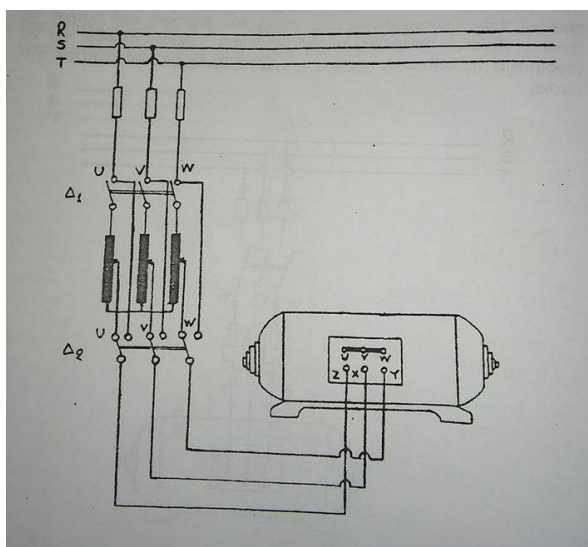
Προφανώς με τη συγκεκριμένη μέθοδο έχουμε μειωμένη ροπή κατά την εκκίνηση, άρα η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη μόνο για κινητήρες μικρής ισχύος και για περιπτώσεις που δεν είναι σημαντικό το μέγεθος της ροπής εκκίνησης.

4.3 Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή:

Σε αυτόν τον τρόπο συνδέουμε, κατά την εκκίνηση, με την βοήθεια του διακόπτη διπλής ενέργειας Δ_2 τον κινητήρα με τον αυτομετασχηματιστή στις λήψεις U,V,W. Έπειτα κλείνουμε τον διακόπτη Δ_1 ο οποίος τροφοδοτεί τον αυτομετασχηματιστή. Έτσι ο κινητήρας ξεκινά με ελαττωμένη τάση.

Μόλις ο κινητήρας φθάσει τον κανονικό αριθμό στροφών, πάλι με την βοήθεια του διακόπτη Δ_2 (μεταθέτοντάς τον προς τα δεξιά) ο κινητήρας τίθεται υπό την πλήρη τάση του δικτύου για την κανονική λειτουργία. Τέλος ανοίγουμε τον διακόπτη Δ_1 για να μην είναι υπό τάση ο αυτομετασχηματιστής.

Με αυτό το τρόπο εκκίνησης του κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα αποδεικνύεται ότι έχουμε μεγαλύτερη ροπή εκκίνησης από την προηγούμενη.



Σχήμα 25 Σχέδιο μεθόδου εκκίνησης με αυτομετασχηματιστή.

4.4 Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα-τριγώνου:

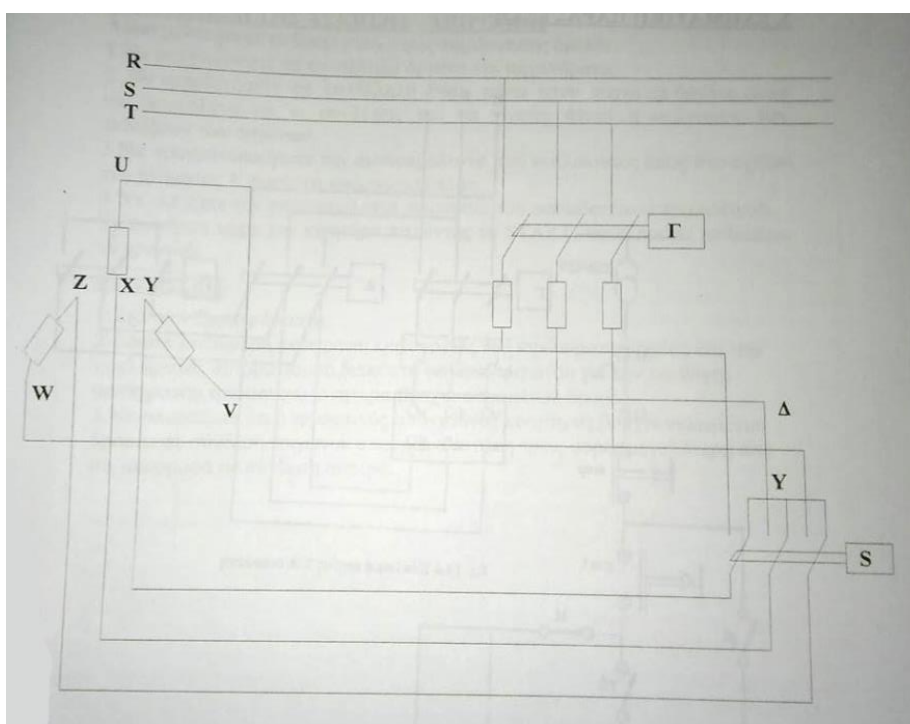
Ο διακόπτης αστέρα-τριγώνου είναι ένας διακόπτης δύο θέσεων. Στην μια θέση συνδέει το τύλιγμα του στάτη, που είναι κατασκευασμένο να εργάζεται κανονικά σε ζεύξη τριγώνου, σε αστέρα και στην άλλη θέση το συνδέει σε τρίγωνο. Κατά την εκκίνηση κλείνουν οι επαφές Γ και Υ οπότε βραχυκυκλώνονται τα X,Y,Z (σύνδεση σε αστέρα), το τύλιγμα του στάτη τίθεται υπό τάση και ο κινητήρας εκκινεί.(σχ.14.4)

Η σύνδεση κατά τρίγωνο γίνεται όταν ο κινητήρας φθάσει τον ονομαστικό αριθμό στροφών οπότε ανοίγουμε τις επαφές Υ και κλείνουμε τις επαφές Δ. Με τη ζεύξη αυτή κάθε φάση του τυλίγματός του τίθεται υπό την πολική τάση του δικτύου για την οποία και έχει κατασκευασθεί να λειτουργεί.

Στην σύνδεση κατά τρίγωνο η απορροφούμενη ένταση (ένταση γραμμής ή πολική) και η δημιουργούμενη ροπή είναι τρεις φορές μεγαλύτερες από την απορροφούμενη ένταση και δημιουργούμενη ροπή κατά αστέρα.

Δηλαδή $I(\Pi Y)/I(\Pi \Delta)=1/3$ και $M(Y)/M(\Delta)=1/3$

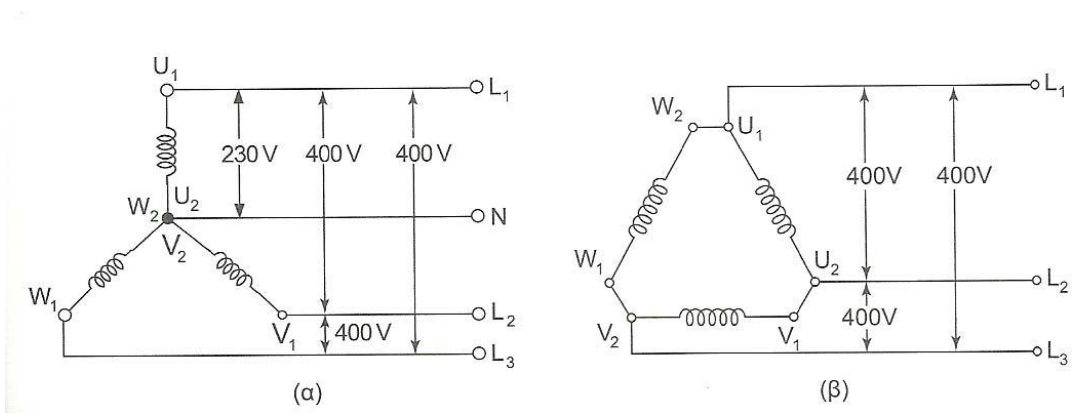
Όταν χρησιμοποιούμε τον διακόπτη αστέρα-τριγώνου πρέπει να δίνουμε ιδιαίτερη προσοχή στη χρονική στιγμή της ζεύξης του διακόπτη από αστέρα σε τρίγωνο. Πρέπει ο κινητήρας να έχει αποκτήσει αρκετές στροφές για να αποφύγουμε τις λεγόμενες υπερεντάσεις πρόωρης ζεύξης του κινητήρα στο δίκτυο. Στο σχήμα 28



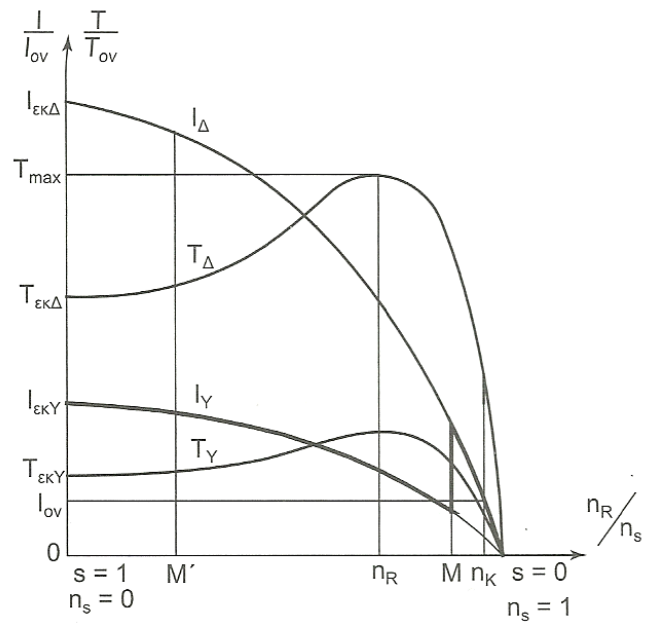
Σχήμα 26 Κύκλωμα ισχύος μεθόδου αστέρα-τριγώνου

παρατηρούμε ότι τη χρονική στιγμή της ζεύξης από αστέρα σε τρίγωνο η ένταση αυξάνεται απότομα, αλλά δεν υπερβαίνει την αρχική τιμή του $I_{εκ}$ το οποίο είναι περίπου διπλάσιο του I_{ov} . Σε περίπτωση που η ζεύξη από αστέρα σε τρίγωνο γίνει πιο πρόωρα (σημείο M') το ρεύμα εκκίνησης είναι πολύ μεγάλο οπότε η παρεμβολή του διακόπτη Y/Δ δεν έχει ουσιαστικά καμία επίδραση.

Πρακτικά ο χρόνος εκκίνησης υπολογίζεται ανάλογα με την ισχύ του κινητήρα σύμφωνα με μία μαθηματική σχέση.



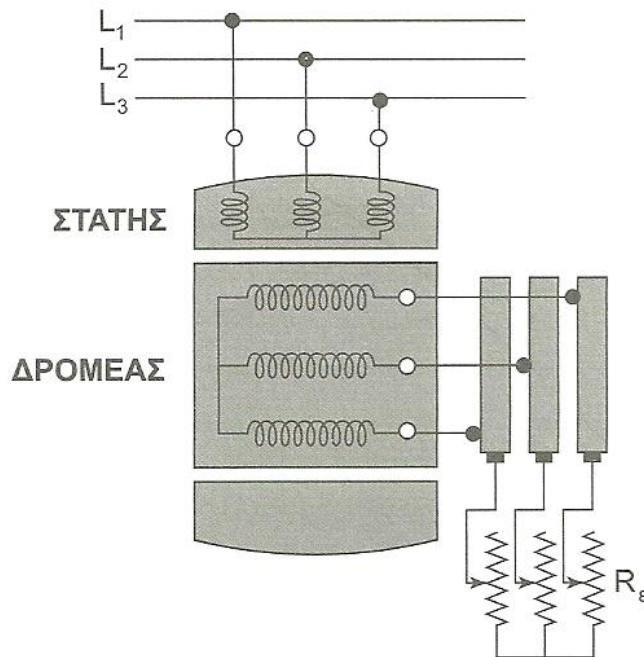
Σχήμα 27 α) Τάσεις κατά τη σύνδεση σε αστέρα β) Τάσεις κατά την σύνδεση σε τρίγωνο



Σχήμα 28 Μεταβολή της ζεύξης από αστέρα σε τρίγωνο

4.5 Εκκίνηση με αντιστάσεις στον ρότορα:

Στη μέθοδο αυτή συνδέουμε εξωτερικές ωμικές αντιστάσεις (R_e) στο τύλιγμα του δρομέα εφόσον βέβαια ο κινητήρας είναι δακτυλιοφόρου δρομέα.



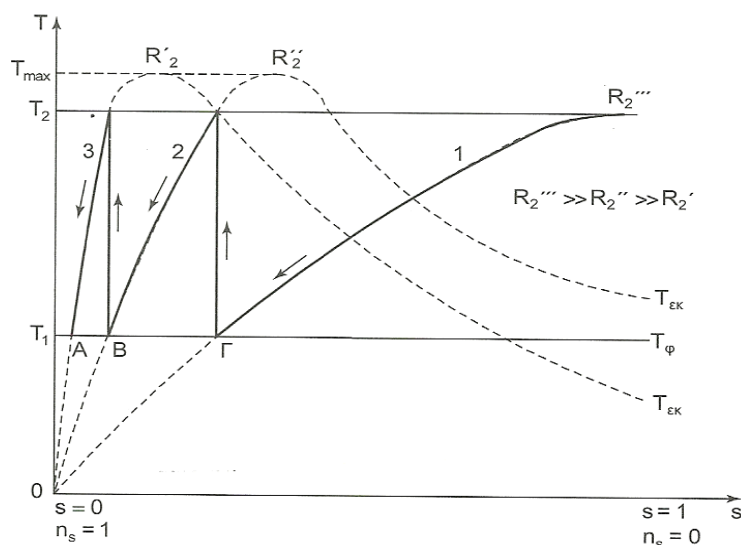
Σχήμα 29 Σύνδεση μεθόδου εκκίνησης με αντιστάσεις στον στάτη

Η μορφή που έχει η καμπύλη της μεταβολής της ροπής ενός δακτυλιοφόρου κινητήρα εξαρτάται από την ολική αντίσταση του τυλίγματος κάθε φάσης του δρομέα R_2 και την συνδεδεμένη σε σειρά εξωτερική αντίσταση R_ϵ . Όπως προκύπτει από το σχήμα 30 όσο αυξάνει η αντίσταση R_2+R_ϵ συμβαίνουν τα εξής:

- Μεγαλώνει (μέχρις ενός ορίου) η ροπή εκκίνησης
- Η μέγιστη ροπή T_{max} της οποίας το μέγεθος δεν εξαρτάται από την ολική αντίσταση R_2 του δρομέα, μετατοπίζεται σε μικρότερο αριθμό στροφών
- Η ολίσθηση του κινητήρα για το κανονικό φορτίο αυξάνεται, δηλαδή μειώνεται η ταχύτητα n_R .

Η διαδικασία με πρόσθετη αντίσταση στο δρομέα ώστε η εκκίνηση να γίνει με μεγαλύτερη ροπή αναπτύσσεται με βάση το σχήμα 30. Η ροπή του φορτίου είναι η T_ϕ . Εφόσον η μέγιστη ροπή είναι μεγαλύτερη της ροπής του φορτίου, ο δρομέας θα αρχίσει να περιστρέφεται και η αναπτυσσόμενη ηλεκτρομαγνητική ροπή θα ακολουθεί την καμπύλη 1 μέχρι το σημείο Γ, όπου θα εξισωθεί με τη ροπή του φορτίου. Στο διάστημα η ολίσθηση ελαττώνεται και η ταχύτητα αυξάνεται. Εάν στο σημείο αυτό, η πρόσθετη αντίσταση R_ϵ ελαττωθεί, ο κινητήρας μεταβαίνει στην καμπύλη 2. Η ηλεκτρομαγνητική ροπή γίνεται πάλι μεγαλύτερη από την T_ϕ και ο κινητήρας αρχίζει να επιταχύνει μέχρι το νέο σημείο ισορροπίας Β όπου η ολίσθηση είναι μικρότερη. Στη συνέχεια μπορεί να αναφερθεί και το τελευταίο τμήμα της πρόσθετης αντίστασης στη φυσική του καμπύλη 3, η οποία αντιστοιχεί στην

αντίσταση του δρομέα. Παρατηρούμε ότι κατά την διάρκεια της εκκίνησης η ροπή του κινητήρα κυμαίνεται μεταξύ των δύο ορίων T_1 και T_2 , τα όρια αυτά ρυθμίζονται με κατάλληλη επιλογή των αντιστάσεων εκκίνησης. Στην πράξη οι βαθμίδες των πρόσθετων αντιστάσεων που αφαιρούνται καθορίζονται έτσι ώστε τα σημεία Α, Β και Γ να βρίσκονται κάπως υψηλότερα από τη καμπύλη του φορτίου και μάλιστα σε σημείο όπου το ρεύμα του κινητήρα πέφτει σε μία ορισμένη τιμή. Τούτο οδηγεί σε ελάττωση του χρόνου ($t_{εκ}$). Πάντως πρέπει να σημειώσουμε ότι όσο το άνω όριο T_2 είναι μεγαλύτερο και πλησιάζει τη μέγιστη ροπή τόσο η ένταση εκκίνησης θα είναι μεγαλύτερη.. Μόνο σε περίπτωση που χρειάζεται να έχουμε πολύ μεγάλη ροπή εκκίνησης η ολική αντίσταση του εκκινητή επιλέγεται έτσι ώστε $T_2=T_{max}$. Η ένταση εκκίνησης $I_{εκ}$ είναι δυνατό να ελαττωθεί όσο θέλουμε με κατάλληλη επιλογή της ολικής αντίστασης του εκκινητή. Στην περίπτωση αυτή όμως ελαττώνεται και η ροπή εκκίνησης T_2 . Μια παρόμοια πριονωτή καμπύλη με τις ροπές μπορεί να χαραχθεί και για το ρεύμα I_1 που απορροφά ο κινητήρας. Εννοείται ότι η αλλαγή καμπύλης ρεύματος γίνεται σε σημεία με αυτή την ολίσθηση όπως και για τη ροπή. Τελικά μπορούμε να πούμε ότι καμία παραπάνω από τις μεθόδους εκκίνησης δεν δίνει σημαντική ροπή κατά την εκκίνηση πλην εκείνης κατά την οποία αυξάνουμε την ολική αντίσταση στο δρομέα (η οποία όμως ισχύει μόνο για δακτυλιοφόρους κινητήρες). Η ελάττωση του βαθμού απόδοσης (η) τότε είναι αναπόφευκτη. Γι' αυτό τον λόγο οι κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα εκκινούν εν κενώ.
(Βασιλακόπουλος,1976:212)



Σχήμα 30 Επίδραση της R_2 στη χαρακτηριστική ροπής/στροφών.

5 Ρελέ-Ηλεκτρονόμοι (relay)

5.1 Το ρελέ γενικά:

Ο ηλεκτρονόμος, ρελέ (relay) ή ρελές είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που ανοίγει και κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα κάτω από τον έλεγχο ενός άλλου ηλεκτρικού κυκλώματος. Στην αρχική μορφή του, ένας ηλεκτρομαγνήτης ενεργοποιούσε το διακόπτη, με το άνοιγμα ή κλείσιμο μιας ή περισσότερων επαφών. Επειδή ένας ηλεκτρονόμος είναι ικανός να ελέγχει ένα κύκλωμα εξόδου υψηλότερης ισχύος από το κύκλωμα εισόδου, μπορεί να θεωρηθεί, γενικά, μια μορφή ηλεκτρικού ενισχυτή. Οι πολλές θέσεις τοπικών ελέγχων ενός τηλεδιακόπτη επιτυγχάνονται με τη παράλληλη σύνδεση μεταξύ των μπουτόν ελέγχου ανοικτής επαφής (1 NO).

Έτσι, οι τηλεδιακόπτες προσφέρουν-από άποψη κόστους, ευκολίας ταχύτητας εγκατάστασης και κατ'επέκταση χρόνου υλοποίησης-μια ενδιαφέρουσα και ταυτόχρονα μια ασφαλή εναλλακτική λύση για την αντικατάσταση της συνδεσμολογίας με διακόπτες αλέ-ρετούρ στις διάφορες εφαρμογές ελέγχου. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό,κυρίως, αν στην ηλεκτρική εγκατάσταση εκτός των δύο ακραίων περιλαμβάνονται και πολλοί μεσαίοι αλέ-ρετούρ διακόπτες για τον έλεγχο μίας ομάδας συσκευών από πολλές θέσεις.



Σχήμα 31 Λυμένο ρελέ 5,5
KWatt



Σχήμα 32 Λυμένο ρελέ

Κάθε επαφή ενός ηλεκτρονόμου μπορεί να είναι Κανονικά-Ανοικτή (Normally Open, NO), Κανονικά-Κλειστή' (Normally Closed, NC) ή μεταγωγικός (change-over), ανάλογα με τον τύπο της.

Μια επαφή Κανονικά-Ανοικτή συνδέει το κύκλωμα όταν ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται· το κύκλωμα αποσυνδέεται όταν ο ηλεκτρονόμος είναι ανενεργός. Μια τέτοια επαφή καλείται επίσης Επαφή Μορφής Α ή επαφή "make". Η επαφή μορφής Α είναι ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν την ενεργοποίηση μιας πηγής υψηλής τάσης από απόσταση.

Μια επαφή Κανονικά-Κλειστή αποσυνδέει το κύκλωμα όταν ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται· το κύκλωμα συνδέεται όταν ο ηλεκτρονόμος είναι ανενεργός. Μια τέτοια επαφή καλείται επίσης Επαφή Μορφής Β ή επαφή "break". Η επαφή μορφής Β είναι ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν το κύκλωμα να παραμένει κλειστό (ενεργό) μέχρι ο ηλεκτρονόμος να ενεργοποιηθεί.

Μια επαφή Μεταγωγική μπορεί να ελέγχει δύο κυκλώματα. Ισοδυναμεί με μια επαφή κανονικά-ανοικτή και μια επαφή κανονικά-κλειστή που έχουν ένα κοινό ακροδέκτη. Μια τέτοια επαφή καλείται επίσης Επαφή Μορφής C. (Wikipedia)

5.2 Από τι αποτελείται ένας ηλεκτρονόμος:

α) πηνίο: είναι το τμήμα που δημιουργεί το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, απαραίτητο για τη δημιουργία της μηχανικής δύναμης, γι' αυτό και το πιο σημαντικό.



Σχήμα 33 Το πηνίο του ηλεκτρονόμου με τυπωμένη την τάση λειτουργίας του

β) μαγνήτης: είναι η σιδερένια μάζα (σιδηροπυρήνας) που γίνεται ηλεκτρομαγνήτης όταν βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Ο μαγνήτης είναι το σταθερό τμήμα του ηλεκτρομαγνήτη.

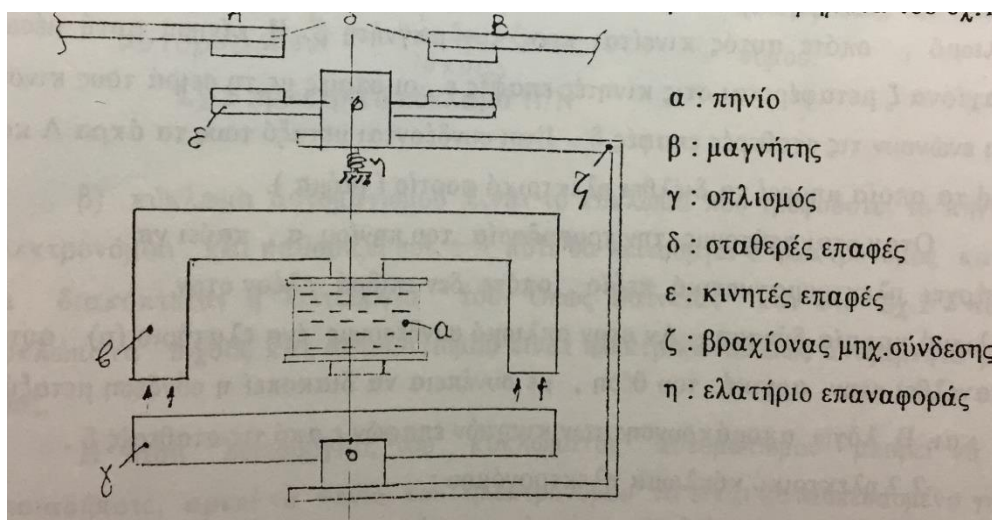
γ) οπλισμός: είναι το κινητό μέρος του ηλεκτρομαγνήτη. Όταν βρεθεί υπό την επίδραση ηλεκτρομαγνητικού πεδίου κινείται προς το μαγνήτη, λόγω της ανεπτυσσόμενης δύναμης πάνω του.

δ) σταθερές επαφές: είναι τα σταθερά άκρα, μέσα από τα οποία θα περάσει το φορτίο (ηλεκτρικό ρεύμα), όταν συνδεθεί μέσω ηλεκτρονόμου. Κατασκευάζονται για συγκεκριμένη αντοχή (φορτίο) είναι συνήθως χάλκινες και επικαλύπτονται με ασήμι για να μη φθείρονται σύντομα.

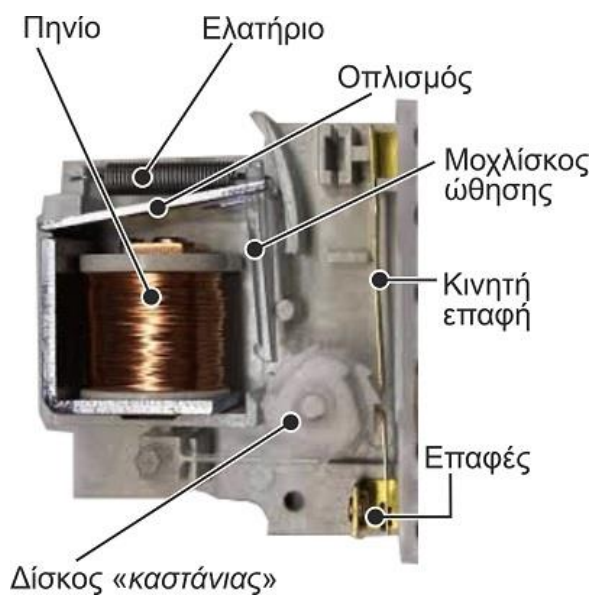
ε) κινητές επαφές: είναι το κινητό τμήμα των επαφών του ηλεκτρονόμου. Είναι μηχανικά συνδεδεμένες με τον οπλισμό του ηλεκτρομαγνήτη, και όταν κινείται αυτός, συνδέονται με τις σταθερές επαφές και αποκαθιστούν το κύκλωμα AB.

ζ) βραχίονας μηχανικής σύνδεσης: συνδέει μηχανικά τις κινητές επαφές με τον οπλισμό

η) ελατήριο επαναφοράς: επαναφέρει τις κινητές επαφές-βραχίονα-οπλισμό στην αρχική τους θέση, όταν παύει να λειτουργεί ο ηλεκτρομαγνήτης.



Σχήμα 34 Ηλεκτρονόμος



Σχήμα 35 Συμβολισμός και εσωτερική διάταξη τμημάτων τηλεδιακόπτη

Στο εξωτερικό μέρος τους οι ηλεκτρονόμοι, διαθέτουν χειροκίνητο μοχλίσκο για χειρισμό και ένδειξη της θέσης των επαφών, δηλαδή, αν πρόκειται για τη λειτουργία «εντός» ή «εκτός» (I/O) του διακόπτη.



Σχήμα 36 Πραγματική μορφή διπολικού ρελέ

5.3 Λειτουργία ηλεκτρονόμου:

5.3.1 Απλός ηλεκτρονόμος:

Τη στιγμή που τροφοδοτούμε το πηνίο (α) δημιουργείται γύρω του ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Αυτό έχει ως συνέπεια την ανάπτυξη δύναμης στον οπλισμό, οπότε αυτός κινείται προς τον μαγνήτη (β). Η κίνηση αυτή μέσω του βραχίονα (ζ) μεταφέρεται στις κινητές επαφές (ε), οι οποίες με τη σειρά τους κινούνται και ενώνουν τις σταθερές επαφές (δ). Έτσι συνδέονται μεταξύ τους τα άκρα Α και Β, από τα οποία μπορεί να διέλθει ηλεκτρικό φορτίο (ρεύμα).

Όταν διακόψουμε τη τροφοδοσία του πηνίου (α), δεν υπάρχει μαγνητικό πεδίο, επομένως δεν επιδρά στον οπλισμό καμία δύναμη. Αν συνδεθεί ο οπλισμός με ένα ελατήριο (η) αυτός θα επανέλθει στην αρχική του θέση, με συνέπεια να διακοπεί η σύνδεση μεταξύ Α και Β λόγω απομάκρυνσης των κινητών επαφών (ε) από τις σταθερές (δ).

5.3.2 Ηλεκτρονόμος ρευματώθησης (καστάνιας)

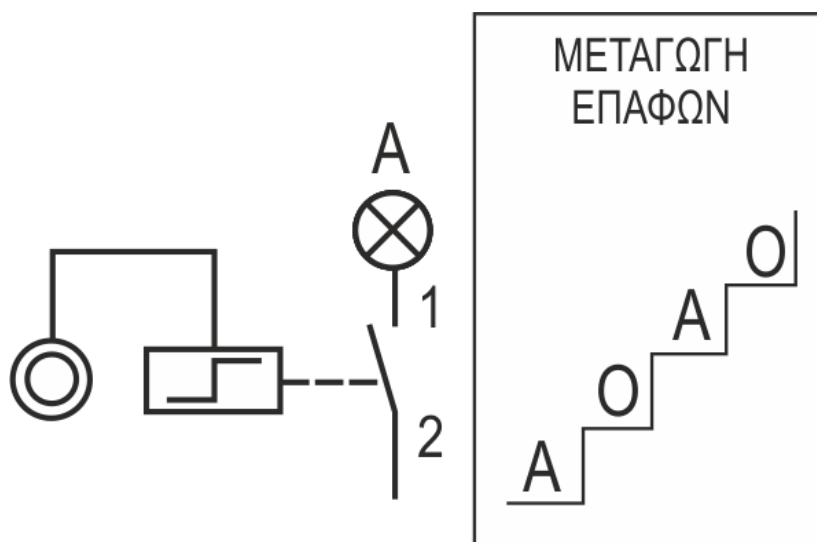
Σε γενικές γραμμές, κατά τη λειτουργία τους, οι τηλεδιακόπτες ή ρελέ ρευματώθησης (καστάνιας) αλλάζουν την κατάσταση των επαφών τους κάθε φορά που εφαρμόζεται τάση στα άκρα του πηνίου τους Α1 – Α2, είτε υπό μορφή παλμού, είτε υπό μορφή διαρκούς τάσης.

Μετά την άρση της εφαρμογής τάσης στα άκρα του πηνίου τους Α1 – Α2 (ή μετά τη λήξη του εφαρμοζόμενου παλμού) η κατάσταση των επαφών διατηρείται στη θέση που πήρε κατά τη στιγμή της τελευταίας εφαρμογής της τάσης και δεν επανέρχεται λόγω του μηχανισμού της καστάνιας. Εξαιτίας – λοιπόν – του μηχανισμού καστάνιας,

το ρελέ ρευματώθησης λειτουργεί ως διακόπτης, που πιέζεται για να ανοίξει, και πιέζεται ξανά για να κλείσει. Η διαφορά του με τον απλό διακόπτη έγκειται στο γεγονός πως, στον τηλεδιακόπτη το πάτημα (ή πίεση ή ώθηση) του διακόπτη έχει αντικατασταθεί με την εφαρμογή στιγμιαίας (ή και διαρκούς) τάσης στα άκρα του πηνίου τους A1 – A2.

Ακόμη για τον παραπάνω λόγο, οι τηλεδιακόπτες χαρακτηρίζονται και ως δισταθή ρελέ (bistable) ή ρελέ με μανδάλωση (latching).

Συνοπτικά, κατά τη λειτουργία ενός τηλεδιακόπτη με μια ανοιχτή επαφή 1 – 2 (1 NO) για την ενεργοποίηση του συνδεδεμένου σε αυτήν φορτίου A, μέσω της επίδρασης των παλμών ρεύματος που αποστέλλονται από το μπουτόν στα άκρα του πηνίου A1 – A2, έχουμε τα στάδια μεταγωγής που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:

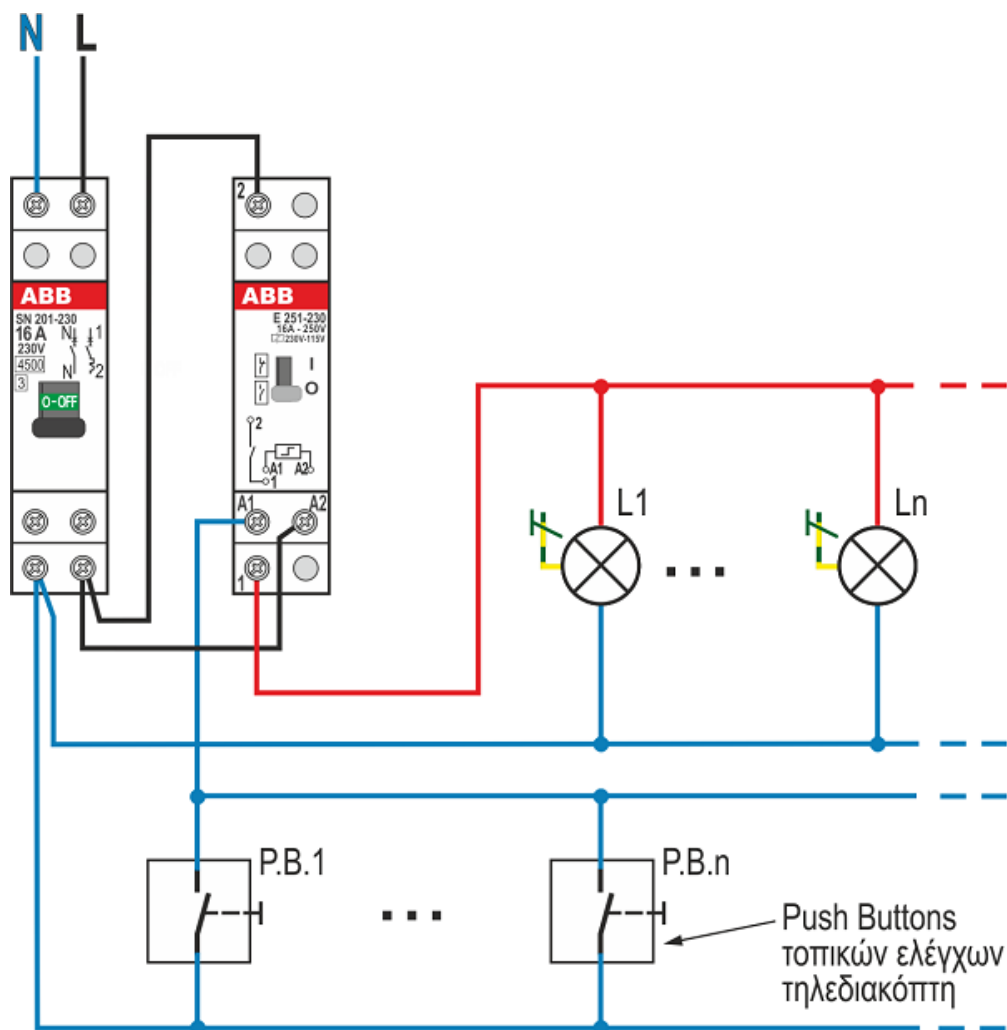


Σχήμα 37 Στάδια μεταγωγής κατά τη λειτουργία τηλεδιακόπτη με μια ανοιχτή επαφή (1 NO)

Πιο συγκεκριμένα, το συγκεκριμένο σχέδιο – που στην αρχική θέση κατάστασης ηρεμίας είναι ανοιχτή η επαφή 1 – 2 για τη σύνδεση του φορτίου A – διαβάζεται ως εξής:

1. με τον πρώτο παλμό κλείνει η επαφή και ενεργοποιείται το φορτίο A
2. με τον δεύτερο παλμό ανοίγει η επαφή και απενεργοποιείται το φορτίο A (0)
3. με τον τρίτο παλμό κλείνει η επαφή και ενεργοποιείται το φορτίο A

4. με τον τέταρτο παλμό ολοκληρώνεται ο κύκλος λειτουργίας και η επαφή 1 – 2 επιστρέφει στην αρχική της κατάσταση, δηλαδή, ανοίγει και απενεργοποιείται το φορτίο A (0).



Σχήμα 38 Συνδεσμολογία τηλεδιακόπτη (1 NO) για τον τοπικό έλεγχο ομάδας συσκευών από πολλές θέσεις μέσω μπουτόν ανοικτής επαφής

Εκτός από τη μορφή του τηλεδιακόπτη που περιγράφηκε στα παραπάνω, υπάρχουν και άλλοι με δυο επαφές, για τον έλεγχο των ομάδων συσκευών, από ένα μπουτόν, δημιουργώντας πολυποίκιλους ελέγχους και κατά συνέπεια και πολλές λύσεις ελέγχων. Έτσι έχουμε τις περιπτώσεις που δίνονται στο παρακάτω σχήμα:

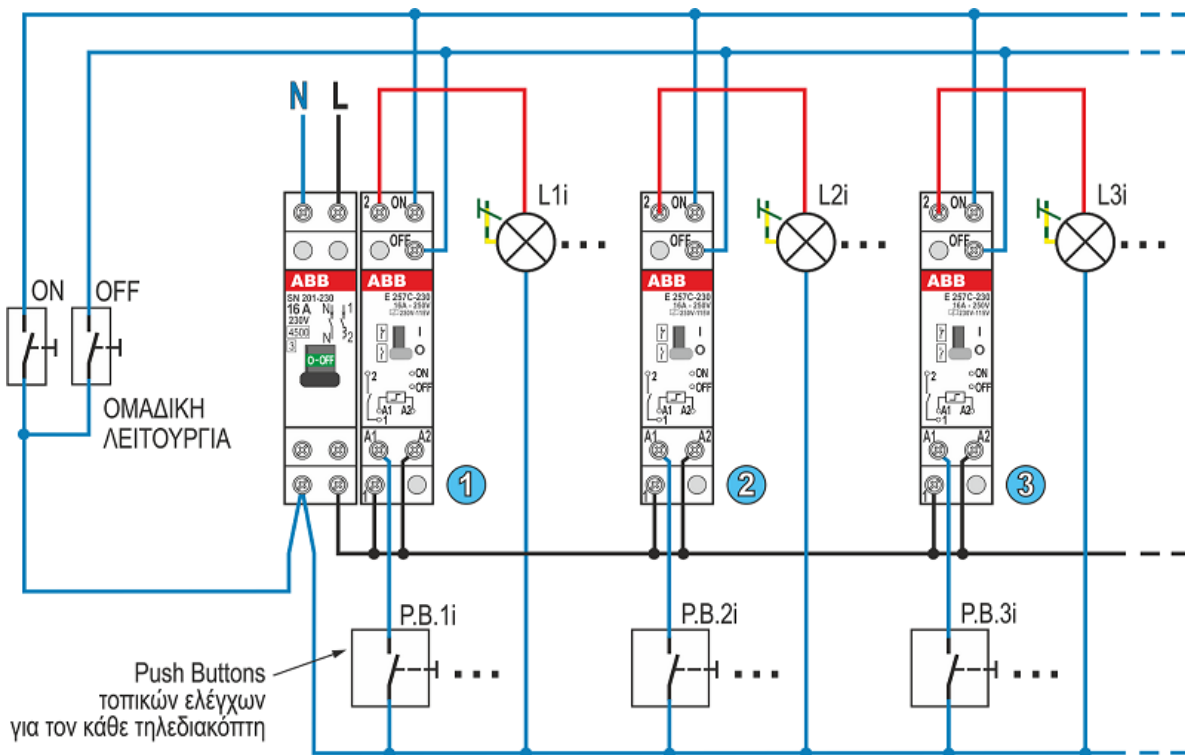
α/α	Λειτουργία επαφών	Είδος επαφών	Σχηματική παράσταση σταδίων ελέγχου
1	Μεταγωγή	2 ανοιχτές (2 NO)	
2	Διαδοχή	2 ανοιχτές (2 NO)	
3	Μεταγωγή	1 ανοιχτή (1 NO) 1 κλειστή (1 NC)	

Σχήμα 39 Περιπτώσεις τηλεδιακόπτη

Τηλεδιακόπτες με κεντρική εντολή ON/OFF και για τοπικό έλεγχο

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως υπάρχουν και τηλεδιακόπτες με κεντρική εντολή ON/OFF και για τοπικό έλεγχο, οι οποίοι παρέχουν τη δυνατότητα:

1. τοπικών ελέγχων μέσω μπουτόν για τον κάθε τηλεδιακόπτη, και ταυτόχρονα
2. ομαδικών ελέγχων μέσω δυο μπουτόν για το σύνολο των τηλεδιακοπών, όπου το ένα μπουτόν προορίζεται για το ON και το άλλο μπουτόν προορίζεται για το OFF της ομαδοποιημένης λειτουργίας αυτών. Δηλαδή, με την πίεση του κεντρικού μπουτόν ON ή OFF όλοι οι τηλεδιακόπτες (ή ρελέ ρευματώθησης ή ρελέ καστάνας) που είναι συνδεδεμένοι με αυτό έρχονται σε θέση ON ή OFF – αντίστοιχα – ανεξάρτητα από την κατάσταση που βρίσκονταν πριν.



Σχήμα 40 Συνδεσμολογία τριών τηλεδιακοπών μιας ανοιχτής επαφής (1 NO) και με δυνατότητα κεντρικής εντολής ON/OFF και τοπικού ελέγχου, για: α. τον τοπικό έλεγχο ομάδων φωτιστικών σωμάτων από πολλές θέσεις μέσω μπουτόν ανοιχτής επαφής για τον κάθε τηλεδιακόπτη και β. τον κεντρικό έλεγχο του συνόλου των τηλεδιακοπών μέσω δυο μπουτόν ανοιχτής επαφής, ενός για το master ON και ενός άλλου για το master OFF

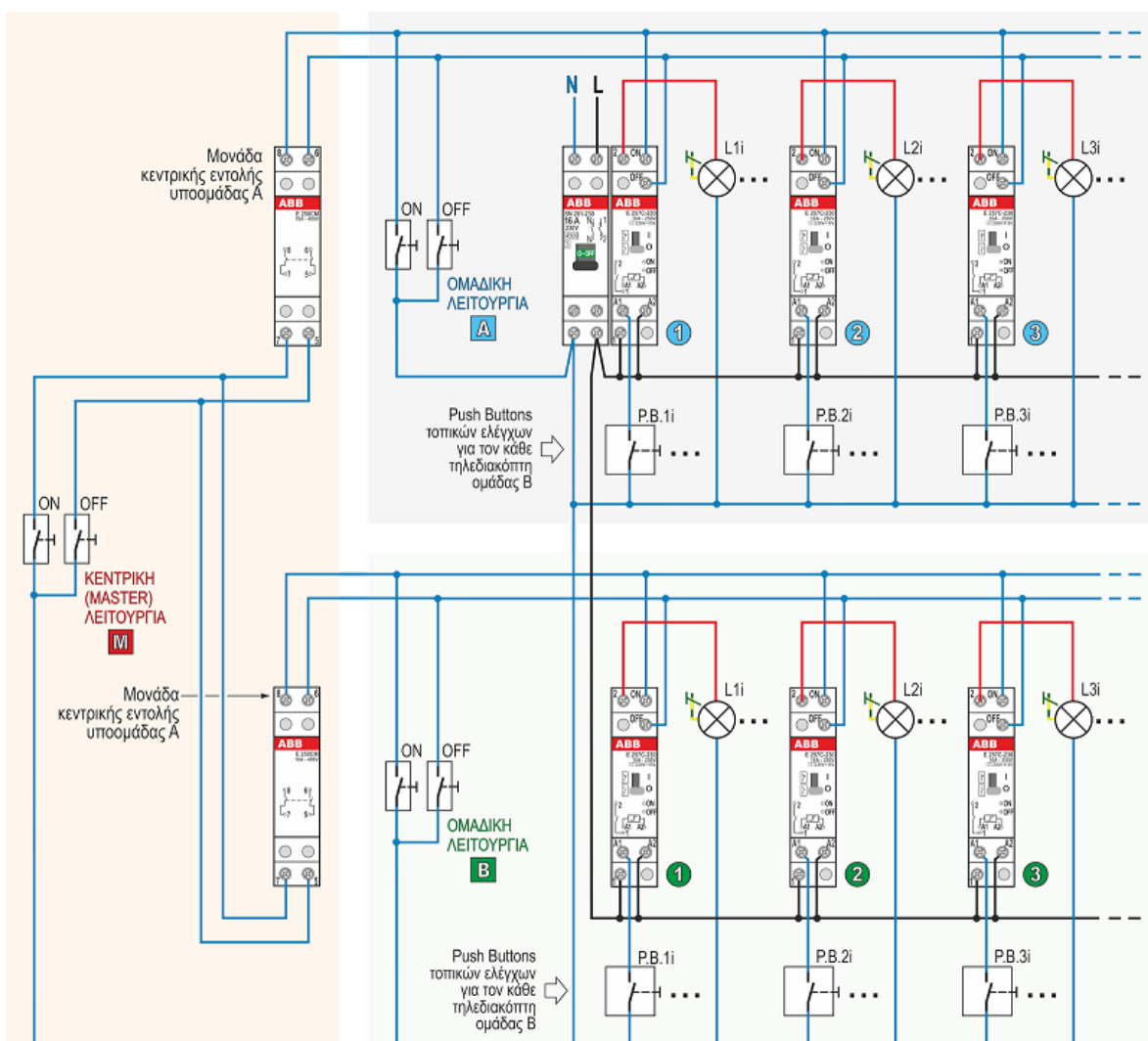
Μονάδα κεντρικής εντολής τηλεδιακοπών

Στην περίπτωση που σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση υπάρχουν 2 ή περισσότερες ομάδες που η καθεμιά από αυτές ελέγχεται τοπικά και ομαδικά, υπάρχει και δυνατότητα κεντρικής λειτουργίας αυτών.

Η κεντρική λειτουργία πετυχαίνεται με τη χρησιμοποίηση στην κάθε υποομάδα ειδικού εξαρτήματος, που συνήθως χαρακτηρίζεται ως μονάδα κεντρικής εντολής τηλεδιακοπών. Έτσι, σε μια τέτοιου είδους διάταξη:

1. στην υποομάδα παρέχεται η δυνατότητα
 - τοπικών ελέγχων μέσω μπουτόν για τον κάθε τηλεδιακόπτη, και ταυτόχρονα
 - ομαδικών ελέγχων μέσω δυο μπουτόν, όπου το ένα μπουτόν προορίζεται για το ON και το άλλο μπουτόν προορίζεται για το OFF της ομαδοποιημένης λειτουργίας και ταυτόχρονα,

2. στην συνολική εγκατάσταση των ομαδοποιημένων υποομάδων παρέχεται η δυνατότητα κεντρικών ελέγχων μέσω δυο μπουτόν, όπου το ένα μπουτόν προορίζεται για το κεντρικό (master) ON και το άλλο μπουτόν προορίζεται για το κεντρικό (master) OFF της ομαδοποιημένης λειτουργίας και των 2 υποομάδων. Δηλαδή, με την πίεση του κεντρικού μπουτόν ON ή OFF όλοι οι τηλεδιακόπτες (ή ρελέ ρευματώθησης ή ρελέ καστάνιας) και των δυο υποομάδων που είναι συνδεδεμένοι με αυτό έρχονται σε θέση ON ή OFF – αντίστοιχα – ανεξάρτητα από την κατάσταση που βρίσκονταν πριν.



Σχήμα 41 Συνδεσμολογία δυο ομάδων των τριών τηλεδιακοπών μιας ανοιχτής επαφής (1 NO) με δυνατότητα κεντρικής εντολής ON/OFF τοπικού ελέγχου για την κάθε υποομάδα και μονάδα κεντρικής εντολής τηλεδιακοπών, για: *α.* τον τοπικό έλεγχο ομάδων φωτιστικών σωμάτων από πολλές θέσεις μέσω μπουτόν ανοιχτής επαφής για τον κάθε τηλεδιακόπτη, *β.* τον κεντρικό έλεγχο του συνόλου των τηλεδιακοπών της κάθε υποομάδας, μέσω δυο μπουτόν ανοιχτής επαφής, ενός για το master ON και ενός άλλου για το master OFF, και *γ.* τον κεντρικό έλεγχο και των δυο υποομάδων, μέσω δυο μπουτόν ανοιχτής επαφής, ενός για το master ON και ενός άλλου για το master OFF

5.4 Ηλεκτρικό κύκλωμα ηλεκτρονόμου:

Το ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ηλεκτρονόμου αποτελείται από δύο **τελείως ξεχωριστά** μεταξύ τους τμήματα: α) το κύκλωμα ισχύος β) το κύκλωμα αυτοματισμού ή χειρισμού ή βοηθητικό κύκλωμα.

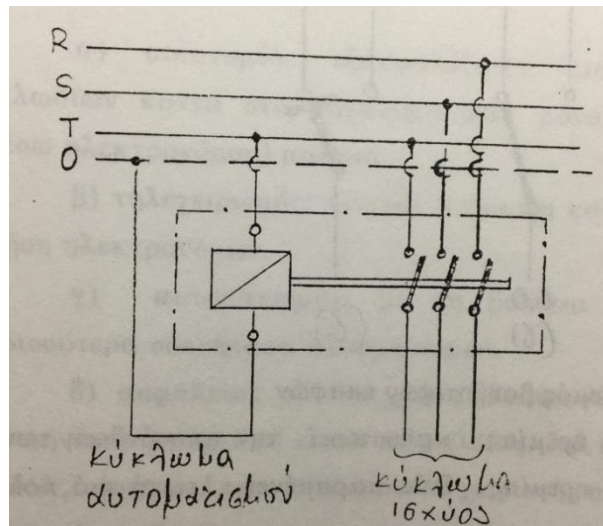
α) κύκλωμα ισχύος: είναι το ηλεκτρικό κύκλωμα που περνάει από τις επαφές (σ) και (ε). Οι επαφές αυτές λέγονται κύριες επαφές, είναι τρεις σε κάθε ηλεκτρονόμο και συνδέονται πάνω τους τα φορτία. Το κύκλωμα ισχύος περνάει μέσα από τις επαφές αυτές, με συνέπεια να διακόπτεται ή να αποκαθίσταται ανάλογα αν λειτουργεί ή όχι ο ηλεκτρονόμος. Μετά από τις κύριες επαφές συνδέονται τα διάφορα φορτία (κινητήρες, αντλίες, ηλεκτρικές αντιστάσεις κλπ.). Η τάση στο κύκλωμα ισχύος αν μεν είναι τριφασικό είναι 400V, ενώ αν είναι μονοφασικό 230V. Για να συνδέσουμε το κύκλωμα ισχύος οι κύριες επαφές, θα πρέπει πρώτα να τροφοδοτηθεί το πηνίο (διεγέρσεως) του ηλεκτρονόμου.

β) κύκλωμα αυτοματισμού: είναι το κύκλωμα που τροφοδοτεί το πηνίο του ηλεκτρονόμου και καθορίζει συνεπώς πότε θα λειτουργεί το ρελέ και πότε θα διακόπτεται η λειτουργία του. Όπως φαίνεται στο σχήμα 35 τα δύο κυκλώματα (ισχύος και αυτοματισμού) είναι ηλεκτρικά τελείως ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Η τάση λειτουργίας του κυκλώματος αυτοματισμού μπορεί να είναι οποιαδήποτε, αρκεί το πηνίο του ηλεκτρονόμου να είναι κατασκευασμένο γι' αυτή τη τάση.

Στο κύκλωμα αυτοματισμού συνδέονται εκτός από το πηνίο και οι επαφές άλλων οργάνων ελέγχου ή χειρισμού (θερμοστάτες, πρεσοστάτες, μπουτόν κλπ.)

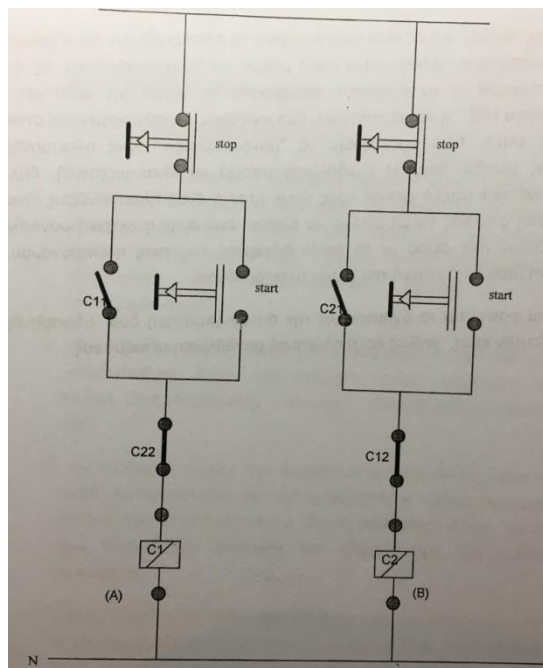
γ) τάση τροφοδοσίας πηνίου: είναι ανεξάρτητη από την τάση κυκλώματος ισχύος και γι' αυτό ποικίλει, δηλαδή μπορεί να είναι 400V, 230V, 110V, 42V, 24V.



Σχήμα 42 Ηλεκτρικό κύκλωμα ρελέ

5.5 Απλές εφαρμογές:

Πολλές φορές είναι καταστροφικό να λειτουργήσουν ταυτόχρονα δύο ή περισσότεροι ηλεκτρονόμοι (που μπορεί να βραχυκυκλώνουν τις φάσεις της παροχής ή να συνδέουν ταυτόχρονα το δίκτυο της ΔΕΗ και ενός εφεδρικού Η/Ζ ή να περιστρέφουν δύο κινητήρες κομπλαρισμένους στον ίδιο άξονα κλπ.). Τότε φροντίζουμε να “μανδαλώσουμε” τους ηλεκτρονόμους αυτούς μεταξύ τους. Η μανδάλωση μπορεί να είναι μηχανική, δηλαδή να βάλουμε ένα μοχλό μεταξύ τους ώστε όταν ο ένας ηλεκτρονόμος είναι σε διέγερση ο άλλος να μη μπορεί να κλείσει, ενώ στην ηλεκτρική μανδάλωση συνδέουμε στη σειρά με το πηνίο διέγερσης του ενός ηλεκτρονόμου μια κλειστή (ηρεμίας) επαφή του άλλου ηλεκτρονόμου.



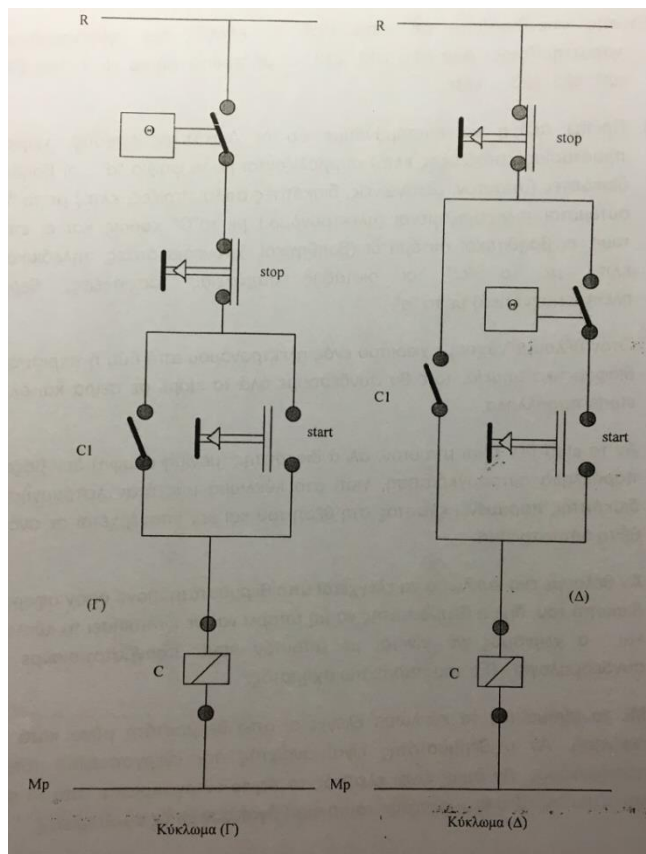
Σχήμα 43 Αυτοσυγκράτηση ηλεκτρονόμων με μπουτόν start και με ηλεκτρική μανδάλωση μεταξύ τους

Λειτουργία του σχήματος 43: Πατώντας το αριστερά μπουτόν start κλείνει το κύκλωμα ελέγχου (A), οπότε ενεργοποιείται ο ηλεκτρονόμος C1 με συνέπεια, κλείνει η αυτοσυγκράτηση c11, ανοίγει η επαφή ηρεμίας c22 (ηλεκτρική μανδάλωση)=> αδύνατον να κλείσει το κύκλωμα ελέγχου (B) και αντίστροφα.

Όταν θέλουμε να έχουμε χειρισμό ενός ρελε από δύο ή περισσότερα διαφορετικά σημεία, τότε θα συνδέσουμε όλα τα stops σε σειρά και όλα τα starts παράλληλα.

Αν το start δεν είναι μπουτόν, αλλά διακόπτης (μόνιμη επαφή) δεν βάζουμε παράλληλα αυτοσυγκράτηση, γιατί στο κύκλωμά μας όταν λειτουργήσει ο διακόπτης παραμένει κλειστός στη θέση του και δεν επανέρχεται σε ανοικτή θέση όπως το start.

Αν θέλουμε ένα κύκλωμα να ελέγχεται από θερμοστάτη, μόνον όσον αφορά τη διακοπή του, δηλαδή ο θερμοστάτης να μη μπορεί να ενεργοποιήσει το κύκλωμα και ο χειρισμός να γίνεται με μπουτόν start, πραγματοποιούμε τη συνδεσμολογία (Γ) του σχήματος 44. Με τη συνδεσμολογία (Δ) το κύκλωμα ελέγχεται από θερμοστάτη μόνο κατά την εκκίνηση. Αν ο θερμοστάτης είναι ανοικτός δεν ενεργοποιείται τότε το ρελε. Αν όμως είναι κλειστός, το πηνίο ενεργοποιείται από το start και μέσω της c1 ο θερμοστάτης και το start βγαίνουν εκτός κυκλώματος.



Σχήμα 37 Έλεγχος κυκλώματος από θερμοστάτη κατά την διακοπή (Γ) και κατά την εκκίνηση (Δ)

Επίσης υπάρχει μεγάλη ποικιλία στο πλήθος των επαφών, στο μέγεθος και στην τάση λειτουργίας του πηνίου. Υπάρχουν ρελέ ειδικά για να αντέχουν αποδοτικότερα σε ωμικό (π.χ. αντιστάσεις θέρμανσης) , επαγωγικό (π.χ. μοτέρ) ή χωρητικό φορτίο (π.χ. πυκνωτές αντιστάθμισης άεργου ισχύος).

Μια μορφή ρελέ συνηθισμένη στην βιομηχανία και στον έλεγχο ηλεκτρικών τριφασικών μοτέρ είναι και αυτό των σχημάτων 31,32.

Η τάση οπλισμού δεν αναγράφεται συνήθως στο ταμπελάκι που φέρει τα στοιχεία του ρελέ αλλά στο σώμα που φέρει το πηνίο, το οποίο είναι εξάρτημα που μπορεί να αλλαχθεί. Τα άκρα του πηνίου ονοματίζονται ως A_1 και A_2 στην πλειοψηφία των κατασκευαστών ρελέ.

Πρόβλημα δυσλειτουργίας μπορεί να παρουσιαστεί μετά από εντατική χρήση ή κακή επιλογή της ισχύος του ή βλάβης στο φορτίο-κατανάλωση που ελέγχουν. Συνήθως οι επαφές ισχύος είναι αυτές που παρουσιάζουν πρόβλημα πιο συχνά.

Το συγκεκριμένο ρελέ του σχήματος 31 είναι ισχύος 5,5 KWatts και 24 Volts εναλλασσόμενο, που σημαίνει ότι για τα 400V τριφασικού ευρωπαϊκού δικτύου είναι σχεδιασμένο να αντέχει στις συνήθεις εφαρμογές τριφασικό μοτέρ ισχύος μέχρι 5,5 KWatts και το πηνίο είναι κατασκευασμένο για 24V εναλλασσόμενη τάση. Οι επαφές που αντέχουν το ρεύμα για το συγκεκριμένο μοτέρ λέγονται επαφές ισχύος και είναι τρεις Normally Open, μια για την κάθε φάση. Οι υπόλοιπες επαφές που υπάρχουν στον ρελέ είναι βοηθητικές, σχεδιασμένες για μικρή ένταση ρεύματος και είναι από μία έως έξι. Συνήθως η μία βοηθητική NO είναι στάνταρ στο βασικό σώμα του ρελέ, ενώ αν θέλουμε περισσότερες NO ή NC τις αγοράζουμε ξεχωριστά και τις προσθέτουμε σε υποδοχή στο ρελέ και είναι συνήθως κουμπωτές.

Για μεγάλης συχνότητας ενεργοποίηση και απενεργοποίηση είναι καλύτερα να επιλέξουμε solid state ρελέ ο οποίο δεν έχει κινητά μέρη.



Σχήμα 38 Πλακέτα με ρελέ για αυτοματισμό μηχανής

5.6 Χρήσεις ηλεκτρονόμων:

Τους ηλεκτρονόμους τους χρησιμοποιούμε για διάφορους λόγους σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και μερικοί από αυτούς τους λόγους αναφέρονται παρακάτω:

α) οικονομία: εξασφαλίζουμε οικονομία με την τοποθέτηση χοντρών καλωδίων κοντά στο μηχάνημα και μόνο το κύκλωμα χειρισμού μεταφερόμενο (μέσω ρελε) μακριά

β) τηλεχειρισμός: επιτρέπει την έναρξη και παύση της λειτουργίας των κινητήρων με χρήση ηλεκτρονόμων

γ) αυτοματισμός: με τη βοήθεια ηλεκτρονόμων κατασκευάζονται τα περισσότερα συστήματα αυτοματισμού

δ) ασφάλεια: με την χρήση ηλεκτρονόμων η τάση χειρισμού μπορεί να είναι ασφαλής, δηλαδή κάτω των 50V και συγκεκριμένα 42V ή 24V, ώστε να μη κινδυνεύει ο χειριστής από ηλεκτροπληξία.

ε) επίσης χρησιμοποιούνται σε συστήματα συναγερμού, εκκίνηση κινητήρων κλπ.(Φωταρούδης:2002:30)

6 Όργανα κατασκευής

Για το πρακτικό κομμάτι της εργασίας χρειαζόμαστε κάποια όργανα ώστε να μπορούμε να ελέγχουμε διάφορα μεγέθη που μας ενδιαφέρουν, όπως η θέση που βρίσκεται ο κινητήρας, η ταχύτητα, τάση και ένταση του ρεύματος, αλλά και συσκευές με τις οποίες θα μπορούμε να μεταβάλλουμε τα παραπάνω μεγέθη για να δούμε τον τρόπο συμπεριφοράς του κινητήρα υπό διαφορετικές συνθήκες. Τα όργανα αυτά θα τα αναλύσουμε στις παρακάτω ενότητες.

6.1 Περιτροφικοί κωδικοποιητές (Rotary Encoders):

6.1.1 Γενικά για τους περιστροφικούς κωδικοποιητές:

Τα rotary encoders ("περιστροφικοί κωδικοποιητές") μετατρέπουν την μηχανική περιστροφή ενός άξονα ή κουμπιού σε παλμούς ή ψηφιακό κώδικα. Σε σύνδεση με ένα μC (μικροεπεξεργαστή), οι παλμοί ή ο ψηφιακός κώδικας μετατρέπονται σε ένδειξη θέσης, ταχύτητα/φορά περιστροφής ή απλά ρυθμίζουν κάποια παράμετρο εισόδου (+/- ανάλογα με την περιστροφή). Όσα προορίζονται για ένδειξη απόλυτης θέσης (γωνία) δίνουν κώδικα σε πολλές εξόδους (λ.χ 6-8 bits) και ονομάζονται "position encoders" (κωδικοποιητές θέσης). Αυτά που δείχνουν την "σχετική" περιστροφή, δίνουν παλμό σε 2 εξόδους (A, B) με προπορεία σε μία από αυτές ανάλογα με τη φορά περιστροφής. Κάθε rotary encoder χαρακτηρίζεται από το πλήθος θέσεων ή παλμών για μία πλήρη περιστροφή (360°). Έτσι έχουμε encoder των 16, 32, 64, ... σημείων ανά περιστροφή. Σε κάθε σημείο μπορεί να υπάρχει μικρό μηχανικό σταμάτημα ("click"). Τα φθηνά rotary encoders είναι μηχανικά και μοιάζουν με περιστροφικούς μεταγωγούς, ενώ τα πιο αξιόπιστα και μεγαλύτερης ακρίβειας είναι οπτικά (περιέχουν LED και φωτοδιόδους).

6.1.2 Σύνδεση περιστροφικού κωδικοποιητή 'σχετικής θέσης' (έξοδοι A,B) με μC :

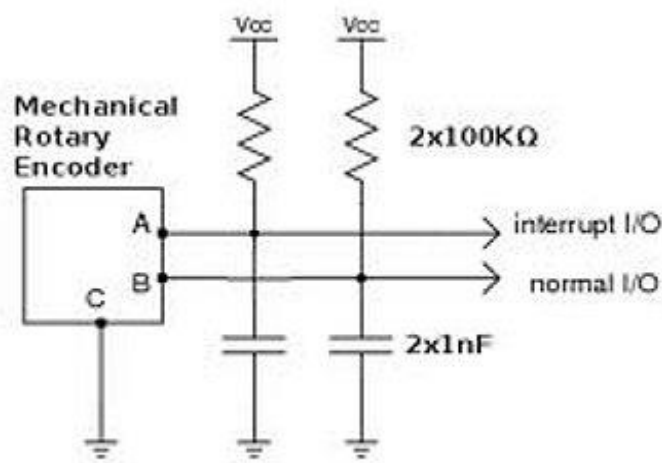
Τα rotary encoder που δείχνουν τη "σχετική" περιστροφή είναι μηχανικοί ή οπτικοί περιστροφικοί διακόπτες που μας δίνουν παλμούς στις εξόδους τους κατά την περιστροφή τους δεξιά ή αριστερά. Τα μηχανικά rotary encoders έχουν 3 ακροδέκτες:

A, B και C. Θεωρούμε το C ως "common" (κοινό) με δυναμικό 0V και παίρνουμε τους παλμούς στα A και B.

Οδηγούμε τους ακροδέκτες A και B σε δύο εισόδους του μC εκ των οποίων η μία έχει δυνατότητα παραγωγής interrupt. Κατά την περιστροφή δημιουργείται interrupt στον μC και διαβάζουμε αμέσως την κατάσταση της 2ης εισόδου. Αν είναι High γυρίζει δεξιά, αν είναι Low γυρίζει αριστερά. Σε περίπτωση που τα "βλέπουμε ανάποδα" απλά αλλάζουμε θέση στα A και B ή αλλάζουμε το μέτωπο του interrupt (θέτουμε H>L αν είχαμε L>H).

Σχεδόν πάντα βάζουμε εξωτερικό ή εσωτερικό pull up (αντιστάσεις >47K Ω) και μερικές φορές πυκνωτές 1nF προς τη γη για αποθορυβοποίηση.

Μερικές φορές στο μηχανικό "κύκλωμα" του rotary encoder προστίθενται και μπουτόν για χρήση "ENTER" (αποδοχή δεδομένων) όπως βέβαια και μερικοί ακροδέκτες θωράκισης και μηχανικής στήριξης. Τα "optical rotary encoders" έχουν επιπλέον ακροδέκτη τροφοδοσίας για τα εσωτερικά LED.



Σχήμα 39 Πιθανό κύκλωμα για σύνδεση με μC

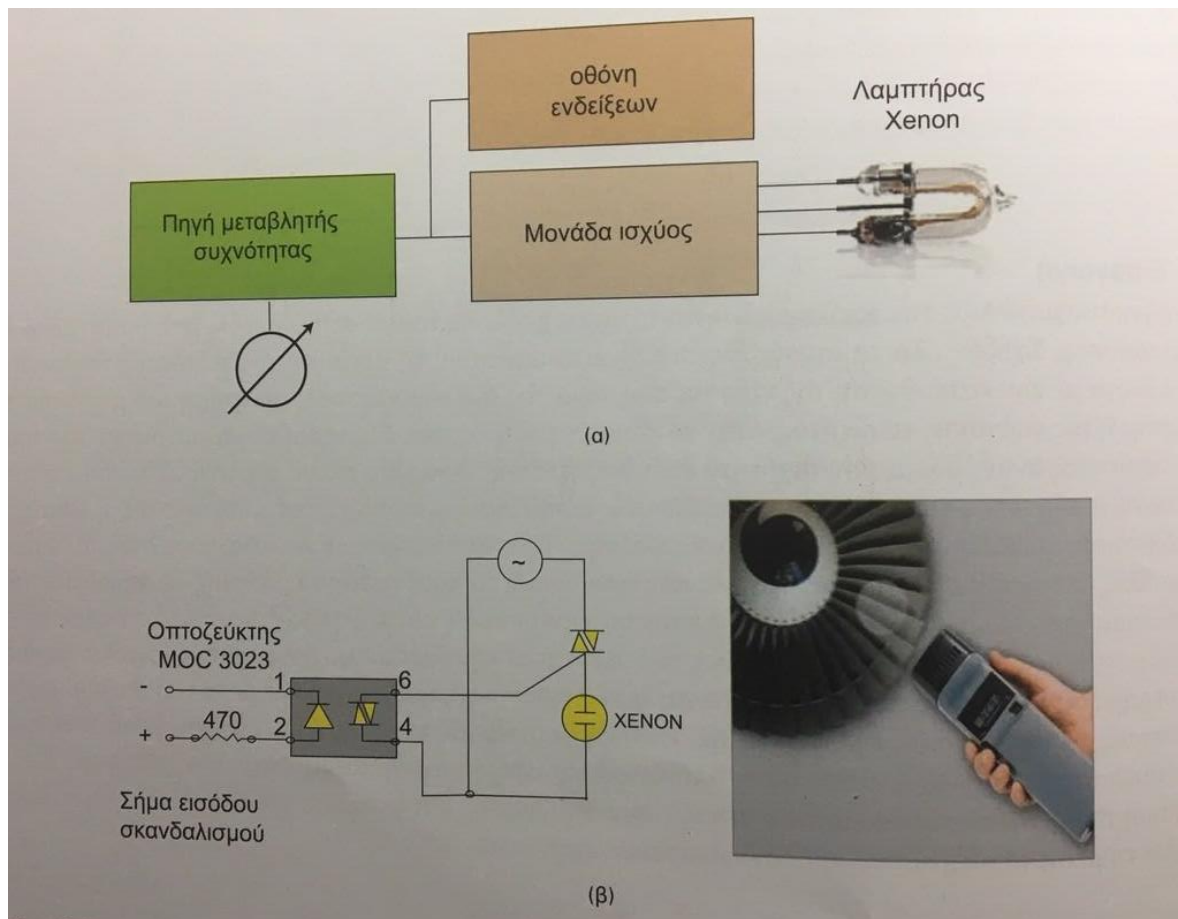
6.2 Μετρητές ταχύτητας:

6.2.1 Γενικά για τους μετρητές ταχύτητας:

Η μέτρηση του μεγέθους της ταχύτητας συναντάται σε πολλούς τομείς στην έρευνα, στη βιομηχανία και στις μεταφορές. Σχεδόν όλα τα κινούμενα συστήματα απαιτούν τη μέτρηση του μεγέθους της ταχύτητας. Ανάλογα με την κατεύθυνση της κίνησης του σώματος αναφερόμαστε σε μέτρηση του μεγέθους της γραμμικής ή της γωνιακής ταχύτητας, όταν το σώμα περιστρέφεται. Τους αισθητήρες ταχύτητας τους διακρίνουμε σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στους αισθητήρες που αποδίδουν το προς μέτρηση μέγεθος σε απευθείας ηλεκτρικό σήμα και στους αισθητήρες που απαιτούν την ύπαρξη κατάλληλης διάταξης μετατροπής του αρχικού μεγέθους τους. Συνήθως το μέγεθος της ταχύτητας λαμβάνεται με διαφόριση της μετατόπισης ή με ολοκλήρωση της επιτάχυνσης.

6.2.2 Στροβοσκόπιο:

Το στροβοσκόπιο είναι μια διάταξη που χρησιμοποιείται για τη σύγκριση της γωνιακής ταχύτητας οδοντωτών μηχανισμών και μηχανών που φέρουν διακριτά περιστρεφόμενα στοιχεία. Ένα στροβοσκόπιο αποτελείται από μια γεννήτρια συχνοτήτων και μια βαθμίδα ελέγχου λυχνίας ευγενούς αερίου. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στο φαινόμενο κατά το οποίο όταν η λυχνία αναβοσβήνει σε συχνότητα ίση με τη συχνότητα περιστροφής του αντικειμένου, το αντικείμενο παρουσιάζεται ακίνητο. Στο σχήμα 40α απεικονίζεται το διάγραμμα δομικών τμημάτων διάταξης στροβοσκοπίου. Μια πηγή μεταβλητής συχνότητας μέσω υπομονάδας ισχύος τροφοδοτεί λαμπτήρα ξένο (xenon) ο οποίος εκπέμπει διακοπτόμενη φωτεινή ακτινοβολία, ενώ σε οθόνη εμφανίζεται η συχνότητα αναλαμπών. Το κύκλωμα του σχήματος 40β παρουσιάζει απλή κυκλωματική διάταξη ελέγχου του λαμπτήρα νέον. Το σήμα μεταβλητής συχνότητας μέσω οπτοζεύκτη (optocoupler) διεγείρει το λαμπτήρα παρέχοντας ισχύ μέσω στοιχείου TRIAC.



Σχήμα 40 α) Διάγραμμα δομικών τμημάτων στροβοσκοπίου, β) κυκλωματική διάταξη ισχύος

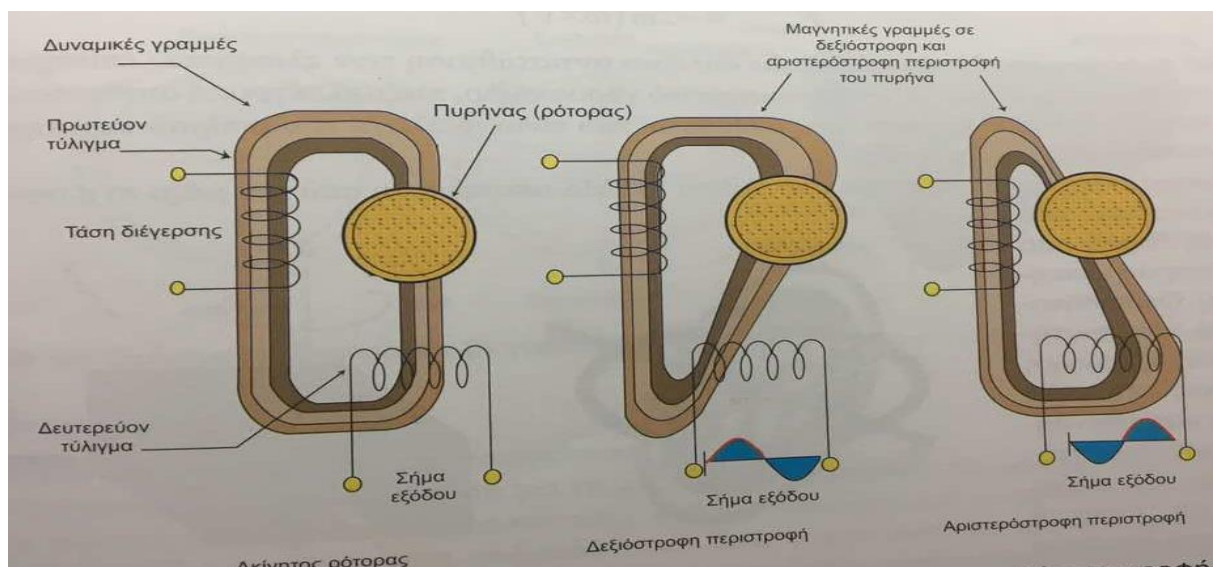
6.2.3 Ταχογεννήτριες:

Οι ταχογεννήτριες διακρίνονται ανάλογα με το τύπο της τάσης εξόδου σε: ταχογεννήτριες συνεχούς (DC) ή εναλλασσόμενης (AC) τάσης. Μια ταχογεννήτρια παράγει δυναμικό εξόδου με πλάτος ανάλογο της ταχύτητας περιστροφής του άξονα με τον οποίο έρχεται σε μηχανική σύζευξη.

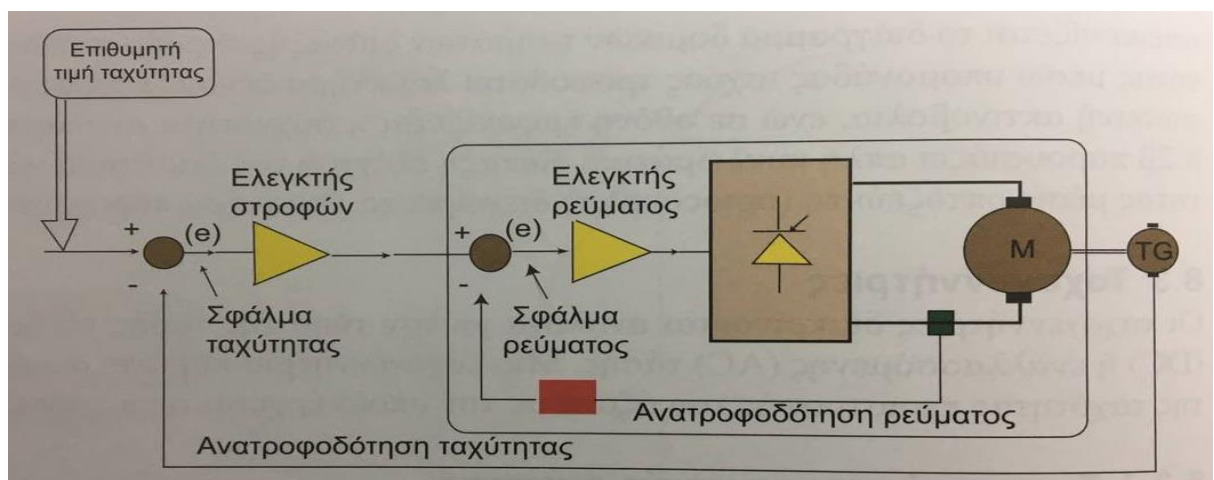
Οι ταχογεννήτριες συνεχούς ρεύματος παράγουν συνεχή τάση με πλάτος ανάλογο της γωνιακής ταχύτητας του άξονα με τον οποίο έρχονται σε μηχανική σύζευξη. Μια ταχογεννήτρια DC φέρει στάτη από μόνιμο μαγνήτη, ενώ στο ρότορα τυλίγματα επάγουν τη τάση εξόδου, που είναι συνάρτηση της μεταβολής της μαγνητικής ροής, καθώς περιστρέφονται στο εσωτερικό του στάτη. Η πολικότητα της τάσης εξόδου καθορίζεται από τη δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη μεταβολή του ρότορα.

Η ταχογεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος (Σχήμα 41) παράγει εναλλασσόμενη τάση με συχνότητα ανάλογης της γωνιακής ταχύτητας περιστροφής του άξονά της. Μια ταχογεννήτρια AC φέρει στο στάτη ένα τύλιγμα το οποίο τροφοδοτείται με

εναλλασσόμενη τάση και ένα δεύτερο τύλιγμα στο οποίο επάγεται η εναλλασσόμενη τάση μεταβλητής συχνότητας. Τυπικό πεδίο τιμών συχνοτήτων της εναλλασσόμενης τάσης εξόδου για ταχογεννήτρια AC κυμαίνεται μεταξύ 60 Hz και 400 Hz. Οι ταχογεννήτριες αποτελούν μέρος ενός συστήματος αυτόματου ελέγχου στροφών ενός κινητήρα. Καθώς η ταχογεννήτρια είναι μηχανικά συνδεδεμένη στο άξονα του κινητήρα παράγει διαφορά δυναμικού συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του. ο συγκριτής του συστήματος, συγκρίνει την τάση εξόδου της ταχογεννήτριας με την επιθυμητή τιμή της ταχύτητας του κινητήρα. Η έξοδος τάσης σφάλματος οδηγεί μέσω κυκλωμάτων ισχύος προς αύξηση ή μείωση της παρεχόμενης ισχύος στον κινητήρα, ώστε να αποκτήσει τον επιθυμητό αριθμό στροφών. (Σχήμα 42).



Σχήμα 41 Κατεύθυνση μαγνητικών γραμμών με δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη περιστροφή του ρότορα σε ταχογεννήτρια AC



Σχήμα 42 Σύστημα ελέγχου στροφών κινητήρα με ταχογεννήτρια

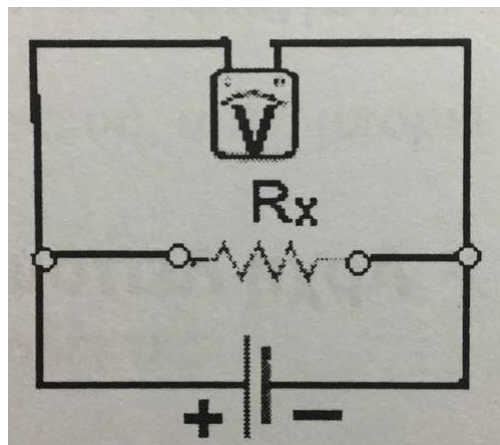
6.2.4 Οπτικός αισθητήρας επιτάχυνσης:

Ένας οπτικός αισθητήρας επιτάχυνσης αποτελείται από ένα στοιχείο σε επαφή με ένα φωτοαγώγιμο υλικό. Η αρχή λειτουργίας του οπτικού αισθητήρα στηρίζεται στη μεταβολή της γωνίας φωτεινής δέσμης η οποία διέρχεται από οπτική ίνα προς τη μάζα. Καθώς η δέσμη προσπίπτει επάνω στη μάζα του αισθητήρα, η γωνία ανάκλασης της δέσμης είναι ανάλογη της επιτάχυνσης που δέχεται ο αισθητήρας.

6.3 Βολτόμετρα-Αμπερόμετρα:

6.3.1 Βολτόμετρο:

Ένα όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση διαφορών δυναμικού ονομάζεται βολτόμετρο. Για να βρούμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο οποιωνδήποτε σημείων ενός κυκλώματος, οι ακροδέκτες του βολτόμετρου συνδέονται μεταξύ αυτών των σημείων χωρίς να σπάσουμε ή να κόψουμε το καλώδιο (Σχήμα 43 το βολτόμετρο V έχει συνδεθεί παράλληλα, έτσι ώστε να μετρά τη τάση στα άκρα της R_x).

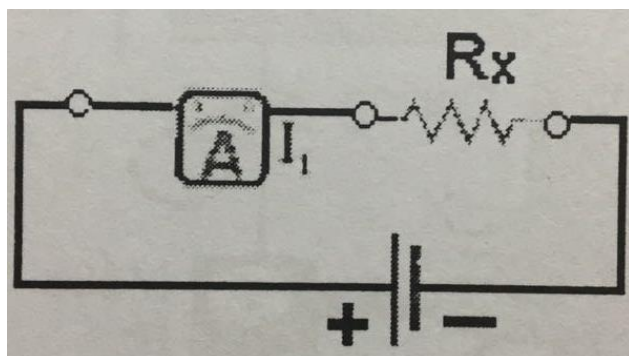


Σχήμα 43 Σύνδεση βολτομέτρου σε κύκλωμα

Είναι ουσιώδες η εσωτερική αντίσταση R_v του βολτόμετρου να είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την αντίσταση οποιουδήποτε στοιχείου κατά μήκος του οποίου συνδέεται. Διαφορετικά, το ίδιο το όργανο μέτρησης γίνεται ένα σημαντικό στοιχείο του κυκλώματος και μεταβάλλει τη διαφορά δυναμικού που θέλουμε να μετρήσουμε.

6.3.2 Αμπερόμετρο:

Ένα όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ρεύματος ονομάζεται αμπερόμετρο. Για να μετρήσουμε το ρεύμα σ'ένα καλώδιο, συνήθως πρέπει να σπάσουμε ή να κόψουμε το καλώδιο και να εισάγουμε το αμπερόμετρο έτσι ώστε το ρεύμα που θέλουμε να μετρήσουμε να περνάει από το όργανο. (Στο σχήμα 44 το αμπερόμετρο A έχει συνδεθεί σε σειρά, έτσι ώστε να μετρά το ρεύμα I).



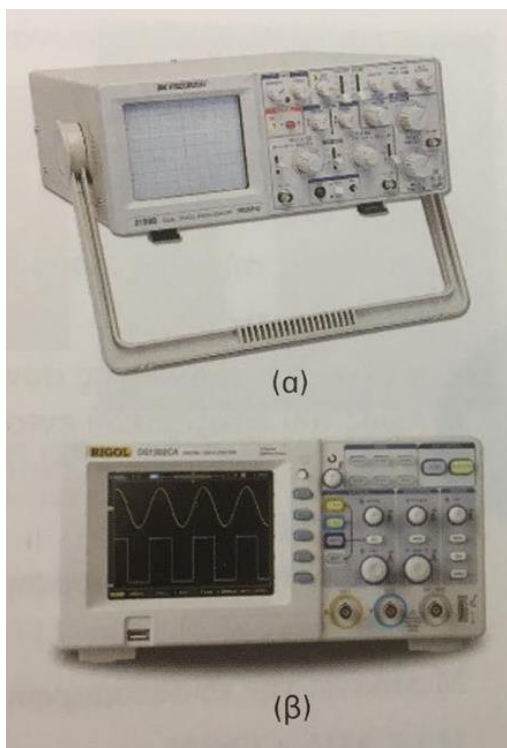
Σχήμα 44 Σύνδεση αμπερομέτρου σε κύκλωμα

Είναι ουσιώδες η εσωτερική αντίσταση R_A του αμπερομέτρου να είναι κατά πολύ μικρότερη των άλλων αντιστάσεων του κυκλώματος. Διαφορετικά, και μόνο η παρουσία του οργάνου μέτρησης στο κύκλωμα θα μεταβάλει σημαντικά την τιμή του ρεύματος που θέλουμε να μετρήσουμε.

Συχνά ένα και μόνο όργανο μέτρησης κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε, χρησιμοποιώντας ένα διακόπτη, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σαν αμπερόμετρο, όσο και σαν βολτόμετρο (και συνήθως και σαν ωμόμετρο, ένα όργανο σχεδιασμένο να μετρά την αντίσταση οποιουδήποτε στοιχείου συνδέεται στους ακροδέκτες του). Ένα τέτοιο όργανο ονομάζεται πολύμετρο.

6.4 Παλμογράφος:

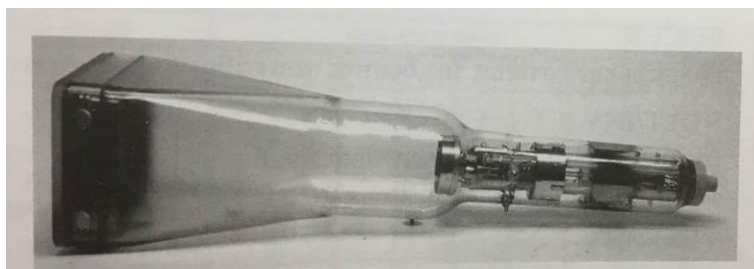
Ο παλμογράφος ή ταλαντοσκοπίο είναι ένα ηλεκτρονικό όργανο που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση σημάτων στο πεδίο του χρόνου. Υπάρχουν δύο κατηγορίες παλμογράφων, ο αναλογικός παλμογράφος (analogue oscilloscope) και ο ψηφιακός (digital storage oscilloscope) (Σχήμα 45). Και στις δύο κατηγορίες συναντάμε παλμογράφους διπλής ή πολλαπλής δέσμης.



Σχήμα 45 α) Αναλογικός και β) Ψηφιακός παλμογράφος

Τα μέρη απο τα οποία αποτελείται ένας παλμογράφος είναι: ο καθοδικός σωλήνας, ο ενισχυτής οριζόντιας απόκλισης της δέσμης, ο ενισχυτής κατακόρυφης απόκλισης της δέσμης, μια γεννήτρια πριονωτής τάσης και η τροφοδοτική διάταξη των κυκλωμάτων.

Ο καθοδικός σωλήνας (Σχήμα 46) αποτελείται από ένα ηλεκτρονικό πυροβόλο ηλεκτρονίων το οποίο παράγει τη δέσμη η οποία προσπίπτει στη φθορίζουσα οθόνη. Το εσωτερικό της καθόδου επικαλύπτεται από ένα λεπτό στρώμα ιών βαρίου και στροντίου (strontium) από το οποίο διέρχονται τα ηλεκτρόνια. Η δέσμη εστιάζεται στο κέντρο της οθόνης με την βοήθεια των ηλεκτροδίων εστίασης και ανόδου. Η δέσμη διασχίζει την οθόνη από το αριστερό άκρο στο δεξί με τη βοήθεια πριονωτής τάσης που εφαρμόζεται στα πλακίδια οριζόντιας απόκλισης της δέσμης των ηλεκτρονίων μέσω του ενισχυτή οριζόντιας απόκλισης της δέσμης. Το σήμα προς μέτρηση εφαρμόζεται στον ενισχυτή κατακόρυφης απόκλισης της δέσμης, εκτρέποντας τη δέσμη των ηλεκτρονίων στον κατακόρυφο άξονα. Η υψηλή εμπέδηση εισόδου που παρουσιάζει ένας παλμογράφος είναι της τάξης των $M\Omega$, επιτρέποντας τη μέτρηση μικρών σημάτων.

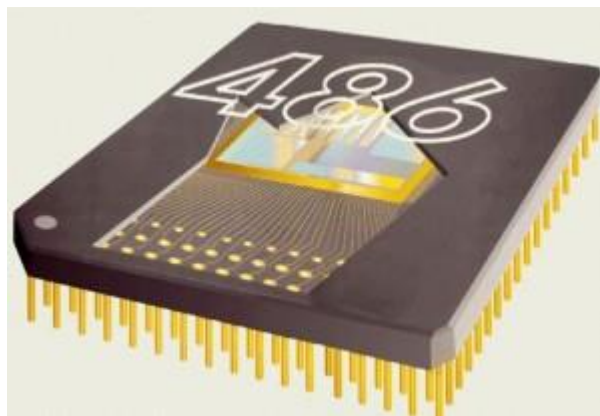


Σχήμα 46 Τυπικό δείγμα καθοδικού σωλήνα (CRT)

Οι ψηφιακοί παλμογράφοι έχουν έναν μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σε κάθε είσοδό τους. Η συχνότητα δειγματοληψίας των μετατροπέων καθορίζει σύμφωνα με το θεώρημα Nyquist τη μέγιστη συχνότητα που μπορούν να μετρήσουν. Το σήμα ψηφιακής μορφής αποθηκεύεται στη μνήμη του μικροϋπολογιστή που διαθέτει το όργανο και στην συνέχεια απεικονίζεται σε οθόνη προβολής υγρών κρυστάλλων. Ένας ψηφιακός παλμογράφος, λόγω της ψηφιοποίησης του μετρήσιμου σήματος, μπορεί να μετρήσει αυτόματα σε αυτό και επιπλέον χαρακτηριστικά όπως το χρόνο ανόδου και καθόδου του, να υπολογίζει τη μέγιστη, τη μέση και την ενεργό τιμή του σήματος, να παραστήσει το σήμα στο πεδίο συχνοτήτων μέσω FFT κ.α. Επίσης οι ψηφιακοί παλμογράφοι έχουν τη δυνατότητα διασύνδεσής τους μέσω σειριακής επικοινωνίας με άλλα όργανα καταγραφής ή με ένα υπολογιστικό σύστημα. Τέλος, κάποιοι ψηφιακοί παλμογράφοι διαθέτουν και οδηγό για δισκέτα προκειμένου να αποθηκεύουν τη μέτρησή τους για μελλοντική επεξεργασία.

6.5 Μικροεπεξεργαστής:

Ο μικροεπεξεργαστής ή Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας – ΚΜΕ (CPU) αποτελεί την καρδιά του μικροϋπολογιστή που επεξεργάζεται τα δεδομένα και κατευθύνει τις δραστηριότητες του υπολογιστή. Τροφοδοτείται με δεδομένα από το πληκτρολόγιο ή από τη μνήμη. Πρόκειται για ένα τσιπ πυριτίου, στο οποίο έχουν χαραχτεί μικροσκοπικά κυκλώματα με φωτοχημική επεξεργασία. Αποτελείται από αρκετές εξειδικευμένες μονάδες, οι οποίες συνεργάζονται μεταξύ τους: αριθμητική λογική μονάδα (ALU), μονάδα ελέγχου, μνήμη, μαθηματικούς συνεπεξεργαστές. Μετά το τέλος των εργασιών, ο μικροεπεξεργαστής στέλνει τα αποτελέσματα πάλι πίσω στη μνήμη ή σε άλλη κατεύθυνση που ορίζεται από το πρόγραμμα.



Σχήμα 47 Ο μικροεπεξεργαστής ενός PC μπορεί να έχει μέγεθος μόλις 10 επί 15 χιλιοστά αλλά από την περίμετρο του μπορούν να εκτείνονται περισσότερες από 160 ηλεκτρικές επαφές (ποδαράκια). Επειδή οι επαφές είναι μικροσκοπικές, ο μικροεπεξεργαστής τοποθετείται σε περίβλημα.

6.6 PLC (Programming Logic Circuits)

6.6.1 Γενικά το PLC:

Αν θελήσουμε να δώσουμε έναν ορισμό σε έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι: μία ψηφιακή ηλεκτρονική συσκευή η οποία χρησιμοποιεί μια προγραμματιζόμενη μνήμη για την αποθήκευση οδηγιών και ειδικές λειτουργίες όπως είναι η λογική, η ακολουθία, ο χρόνος, η αρίθμηση κ.λ.π για να ελέγξει τις μηχανές και την διαδικασία.

Ένα PLC αποτελείται από τέσσερα βασικά μέρη: τις εισόδους, τις εξόδους, τη μνήμη όπου αποθηκεύεται το πρόγραμμα, τον επεξεργαστή ο οποίος διαβάζει την λογική κατάσταση των εισόδων και στη συνέχεια θέτει σε λογική κατάσταση «1» ή «0» της εξόδους, σε συνάρτηση με τις εντολές προγράμματος.

Βασικό στοιχείο ενός PLC είναι ο μικροεπεξεργαστής, ο οποίος έχει μορφή ολοκληρωμένου κυκλώματος και συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του μικρού μεγέθους, του εύκολου προγραμματισμού, της υψηλής αξιοπιστίας και του χαμηλού κόστους. Ο μικροεπεξεργαστής μπορεί με τον κατάλληλο κάθε φορά προγραμματισμό να συμπεριφέρεται διαφορετικά και να εκτελεί μια ποικιλία λειτουργιών σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προβλήματος που έχουμε να αντιμετωπίσουμε. Σε αυτή την ιδιότητα, δηλαδή το ότι μπορεί κάθε φορά να προγραμματίζεται διαφορετικά, οφείλει και την ονομασία του: 'Programmable'.

6.6.2 Προγραμματισμός PLC:

Ο Προγραμματισμός του PLC δεν γίνεται με μία από τις συνηθισμένες γλώσσες προγραμματισμού όπως BASIC, FORTRAN κ.τ.λ , αλλά με **συμβολικές γλώσσες** ή διαγράμματα ,τα οποίοι έχουν καθορισθεί και τυποποιηθεί από το πρότυπο IEC1131-3. Οι τρόποι αυτοί ονομάζονται γλώσσες προγραμματισμού.

Προγραμματισμός ενός PLC σημαίνει να δημιουργήσουμε μια σειρά από εντολές, οι οποίες λύνουν έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο που αντιστοιχεί σε μια λειτουργία ενός συστήματος αυτοματισμού. Η διαδικασία που ακολουθούμε για να γράψουμε αυτές τις εντολές, αποτελεί το πρόγραμμα.

Κάθε PLC έχει μία συγκεκριμένη γλώσσα μηχανής, σύμφωνα με την αρχιτεκτονική του hardware. Είναι δυνατό, θεωρητικά να προγραμματίσουμε ένα PLC γράφοντας εντολές σε γλώσσα μηχανής. Κάτι τέτοιο όμως θα έκανε τα PLCs να προγραμματίζονται με επίπονο τρόπο και μόνο από ανθρώπους με βαθιά γνώση στην δομή και την λειτουργία των διαφόρων επεξεργαστών. Για το σκοπό αυτό οι κατασκευαστές αυτών των ελεγκτών, πρότειναν διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ανθρώπους που σχετίζονται με τον έλεγχο συστημάτων.

Η επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού εξαρτάται από την εμπειρία και την γνώση του χρήστη σε ψηφιακά ηλεκτρονικά, σε υπολογιστές, σε συστήματα αυτοματισμού που λειτουργούν με κλασικό τρόπο και φυσικά εξαρτάται από την φύση του προβλήματος που έχουμε να αντιμετωπίσουμε.

Οι γλώσσες προγραμματισμού μπορούν να ταξινομηθούν σε γραφικές και μη γραφικές ανάλογα με το είδος των στοιχείων που χρησιμοποιούν. Οι πρώτες χρησιμοποιούν γραφικά στοιχεία που μοιάζουν αρκετά στα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στον κλασικό αυτοματισμό και επίσης σύμβολα λογικών πυλών(AND, OR, NOT κ.λ.π). Είναι πιο προσιτές σε ανθρώπους που έχουν εμπειρία στον κλασικό αυτοματισμό και έχουν το πλεονέκτημα της καλύτερης εποπτείας.

Οι δεύτερες χρησιμοποιούν εντολές που η κάθε μία αντιστοιχεί σε μία εντολή της γλώσσας μηχανής.

Οι σπουδαιότερες μέθοδοι προγραμματισμού:

Ladder Diagram (LAD) ή Διάγραμμα επαφών. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τα αμερικάνικα σύμβολα των επαφών,

Control system Flowchart (C.S.F.) ή Function Chart (FUC) ή Λογικό Διαγραμμα. Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιεί τα λογικά σύμβολα των λογικών πυλών της άλγεβρας του Bool με τα οποία σχεδιάζουμε λογικά κυκλώματα. Statement List (STL) ή Λίστα Εντολών

Ο τρόπος αυτός είναι παρόμοιος με τον προγραμματισμό των προσωπικών ηλεκτρονικών υπολογιστών με τη γλώσσα προγραμματισμού BASIC.

Στάδια προγραμματισμού PLC:

- Πλήρης διατύπωση του προβλήματος χωρίς ασάφειες και κενά.
- Καθορισμός των στοιχείων εισόδου και εξόδου.
- Κατασκευή πίνακα αληθείας.
- Εξαγωγή λογικών εξισώσεων.
- Απλοποίηση των λογικών εξισώσεων με χρήση του χάρτη μ KARNAUGH ή των εξισώσεων της άλγεβρας BOOLE.
- Σχεδίαση του διαγράμματος LADDER με βάση τις απλοποιημένες εξισώσεις.
- Σχεδίαση του λογικού λειτουργικού διαγράμματος FUNCTION CHART.
- Κατασκευή του πίνακα αντιστοιχιών ή κωδικοποίηση των στοιχείων εισόδου-εξόδου.
- Κατασκευή προγράμματος και εισαγωγή του, μέσω του ειδικού χειριστηρίου στη μνήμη του PLC.

6.6.3 Φιλοσοφία του προγράμματος και λογική του PLC:

Για να μπορέσουμε να αντιληφθούμε εύκολα τον τρόπο προγραμματισμού του PLC, πρέπει να κατανοήσουμε την "φιλοσοφία" στην οποία στηρίζεται η λειτουργία του. Κάθε ενέργεια του PLC υπαγορεύεται από εμάς με τις εντολές που του δίνουμε. Φυσικά, δεν μπορούμε να του δώσουμε οποιαδήποτε εντολή, αλλά μόνο αυτές που είναι σε θέση να "κατανοήσει" και να εκτελέσει.

Το πρόγραμμα εφαρμογής αποτελείται από σειρά οδηγιών που εκτελούνται διαδοχικά (η μία μετά την άλλη) και κυκλικά (μετά την τελευταία οδηγία εκτελείται πάλι η πρώτη κ.ο.κ). Το PLC μπορεί άμεσα να εκτελέσει βασικές πράξεις, όπως λογικό AND, λογικό OR και λογικό XOR. Δηλαδή υπάρχουν αντίστοιχες εντολές για αυτές

τις λογικές πράξεις, ενώ μπορεί να εκτελέσει άλλες πράξεις όπως XOR με κατάλληλο προγραμματισμό.

Το PLC έχει έναν καταχωρητή, τον RR(Result Register). Στον καταχωρητή αυτό, έχουμε τη δυνατότητα να αποθηκεύσουμε την κατάσταση (0 ή 1) οποιασδήποτε εισόδου ή εξόδου. Κάθε λογική πράξη εκτελείται μεταξύ του καταχωρητή RR και μιας εισόδου ή εξόδου. Το αποτέλεσμα της πράξης σε κάθε περίπτωση μένει διαθέσιμο στον καταχωρητή RR. Επίσης, το αποτέλεσμα μιας πράξης μπορούμε να το καταχωρήσουμε σε κάποιο από τα 128 βοηθητικά ή να το οδηγήσουμε στην έξοδο.

6.6.4 Πλεονεκτήματα PLC συγκριτικά με τον κλασικό αυτοματισμό:

- Είναι συσκευές γενικής χρήσης (δεν είναι κατασκευασμένα για ένα συγκεκριμένο είδος εφαρμογής).
- Δεν ενδιαφέρει ο συνολικός αριθμός των επαφών, χρονικών, απαριθμητών (δεν είναι φυσικά στοιχεία, αλλά στοιχεία μνήμης)
- Η λειτουργία του αυτοματισμού μπορεί να αλλάξει σε οποιοδήποτε στάδιο θελήσουμε.
- Εύκολος οπτικός έλεγχος της λειτουργίας ή μη στοιχείων της εγκατάστασης με την βοήθεια των LED που υπάρχουν σε όλες τις κάρτες.
- Με την βοήθεια της προγραμματίστριας μπορούμε να παρακολουθήσουμε την ροή της εκτέλεσης του προγράμματος και μέσω διαγνωστικών να εντοπίσουμε τυχόν βλάβες.
- Κάθε αλλαγή στο πρόγραμμα του χρήστη αποθηκεύεται στην μνήμη του PLC, έτσι ο τεχνικός δεν βρίσκεται προ απρόοπτου να διαβάσει ένα σχέδιο και άλλο να βρίσκεται πραγματικά στην εγκατάσταση.
- Τα PLC καταλαμβάνουν πολύ μικρό χώρο απ' ότι ένα αντίστοιχος πίνακας αυτοματισμού.
- Μπορούν να τοποθετηθούν και μέσα σε πεδίο ισχύος χωρίς πρόβλημα εφ' όσον τηρήσουμε τις οδηγίες του κατασκευαστή.
- Έχουμε την δυνατότητα να συνδέσουμε επάνω τους οθόνες, εκτυπωτές, πληκτρολόγια και HMI συστήματα.

- Οι γλώσσες προγραμματισμού καλύπτουν όλο το φάσμα των ανθρώπων που καλούνται να ασχοληθούν με την τεχνολογία αυτή.
- Είναι επεκτάσιμα.
- Έχουν μεγάλες δυνατότητες δικτύωσης με πρότυπα βιομηχανικά δίκτυα.
- Μας δίνουν δυνατότητα αντιγραφής εφαρμογών.
- Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

6.6.5 Βασική δομή των PLC:

Πλαίσιο στήριξης(Rack):Ο ρόλος του είναι απλά να στηρίζει τις διάφορες κάρτες που θα συνθέσουν το σύστημα αυτοματισμού.

Τροφοδοτικό PS(Power Supply):Μετατρέπει την τάση του δικτύου τροφοδοσίας στην κατάλληλη τάση λειτουργίας του PLC.

Κεντρική μονάδα επεξεργασίας(Central Processing Unit):Εκτελεί λειτουργικό πρόγραμμα του PLC και το πρόγραμμα του χρήστη. Ελέγχει τις επικοινωνίες σε ένα MPI δίκτυο.

Κάρτες Εισόδων / Εξόδων:Ψηφιακές – αναλογικές (Analog- Digital SM):Προσαρμόζουν τα ηλεκτρικά σήματα από το εξωτερικό περιβάλλον προς την CPU και αντιστρόφως.

Καλώδιο Profibus δικτύου με τους bus connector:Συνδέει μεταξύ τους κόμβους ενός MPI ή Profibus δικτύου.

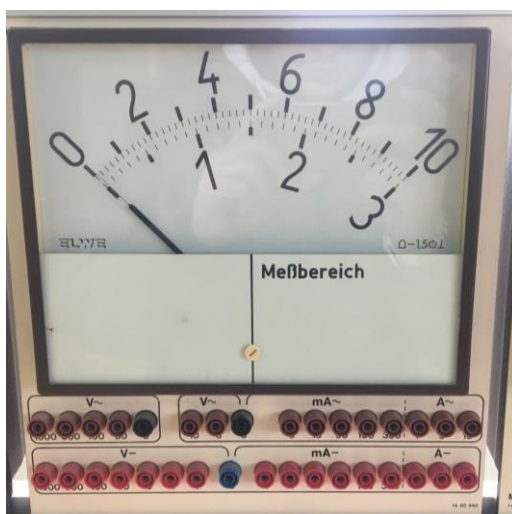
Καλώδιο σύνδεσης προγραμματιστή (PG cable):Συνδέει τη CPU με την συσκευή προγραμματισμού PG (μπορεί ως προγραμματιστής να χρησιμοποιηθεί ένας H/Y με adaptor cable).

7 Πειραματική Διάταξη

7.1 Όργανα πειραματικής διάταξης:

7.1.1 Αμπερόμετρο

Χρησιμοποιούμε αναλογικό αμπερόμετρο με μέγιστο 3 A καθώς ο κινητήρας μας λειτουργεί με 1.5-2.1 A.



Σχήμα 48 Αναλογικό αμπερόμετρο

7.1.2 Όργανο μέτρησης ισχύος

Χρησιμοποιούμε αναλογικό όργανο για τη μέτρηση της ισχύς με μέγιστο τα 3 kW.



Σχήμα 49 Αναλογικό όργανο μέτρησης ισχύος

7.1.3 Όργανο συντελεστή ισχύος (cosφ)

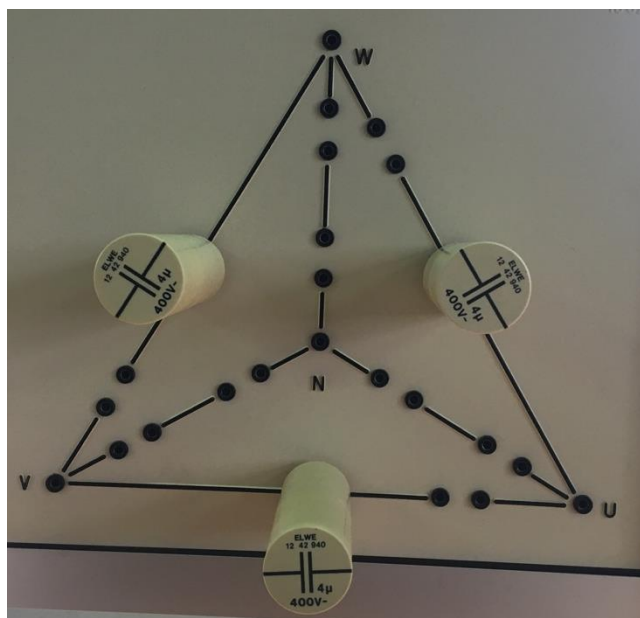
Ο συντελεστής ισχύος (cosφ) μας δείχνει το κατά πόσο έχουμε μειώσει την άεργη ισχύ και έχουμε λιγότερες απώλειες.



Σχήμα 50 Όργανο συντελεστή ισχύος (cosφ)

7.1.4 Πυκνωτές βελτίωσης συντελεστή ισχύος

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε 3 πυκνωτές χωρητικότητας 4 μC για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος.



Σχήμα 51 Πυκνωτές βελτίωσης συντελεστή ισχύος

7.1.5 Ταχύμετρο και μετρητής Ροπής

Χρησιμοποιούμε ταχύμετρο και μετρητή ροπής τα οποία είναι συνδεδεμένα με πέδη δίπλα στον κινητήρα μας, η οποία δημιουργεί αντίσταση στον άξονα του κινητήρα. Η πέδη είναι συνδεδεμένη με μία συσκευή που της δίνει κίνηση αντίθετη από αυτή του κινητήρα και στα όργανα βλέπουμε τη τιμή.



Σχήμα 52 Ταχύμετρο αριστερά & μετρητής Ροπής δεξιά

7.1.6 Ενδεικτικές λυχνίες

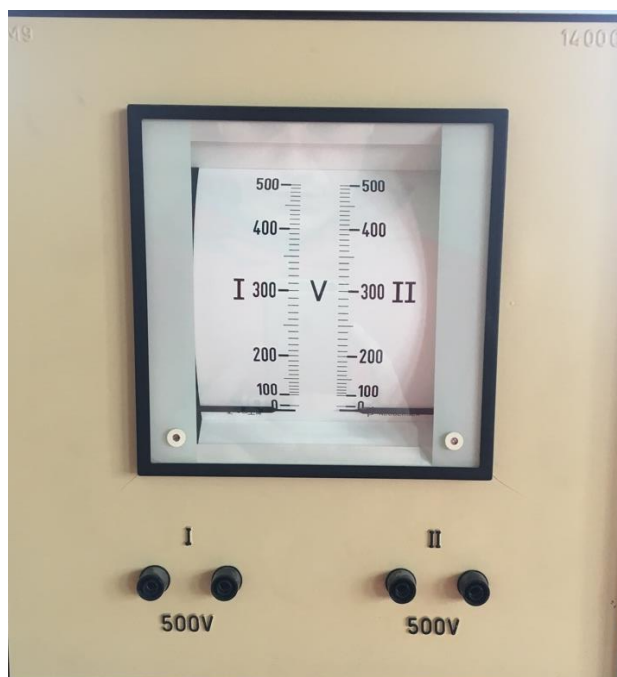
Χρησιμοποιούμε ενδεικτικές λυχνίες σε δύο σημεία στην εργασία μας. Στο πρώτο ελέγχουμε αν έχουμε ρεύμα και στις τρεις φάσεις από το δίκτυο μας και στο δεύτερο βλέπουμε το με ποια μέθοδο λειτουργεί ο κινητήρας μας.



Σχήμα 53 Ενδεικτικές λυχνίες

7.1.7 Βολτόμετρο

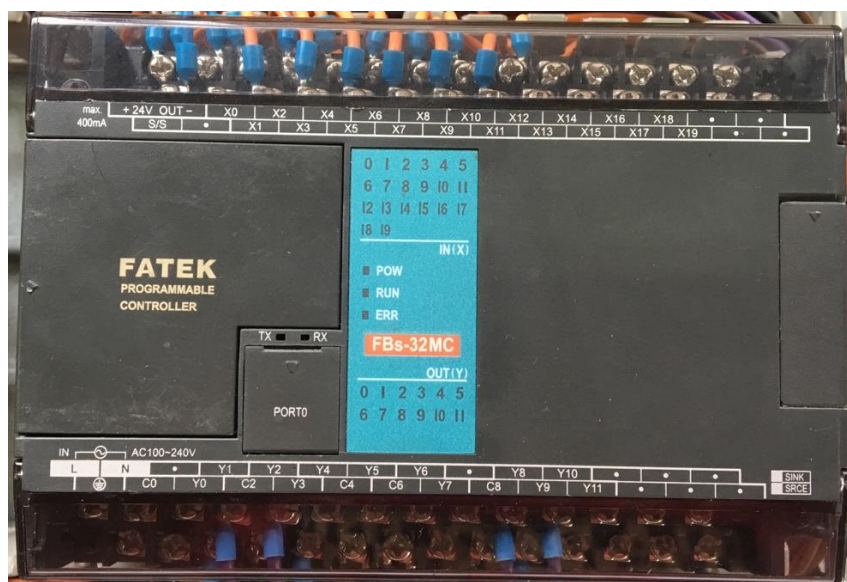
Χρησιμοποιούμε βολτόμετρο αναλογικό, το οποίο μας δείχνει ταυτόχρονα τη πολική και τη φασική τάση.



Σχήμα 54 Αναλογικό Βολτόμετρο

7.1.8 Συσσκευή αυτοματισμού (P.L.C)

Χρησιμοποιήσαμε τη συσκευή της εταιρείας FATEK και συγκεκριμένα το μοντέλο FBs-32MC το οποίο έχει 20 εισόδους και 12 εξόδους ρελέ.



Σχήμα 55 Συσσκευή P.L.C FBs-32MC

7.1.9 Ηλεκτρολογικό σχέδιο πειραματικής διάταξης

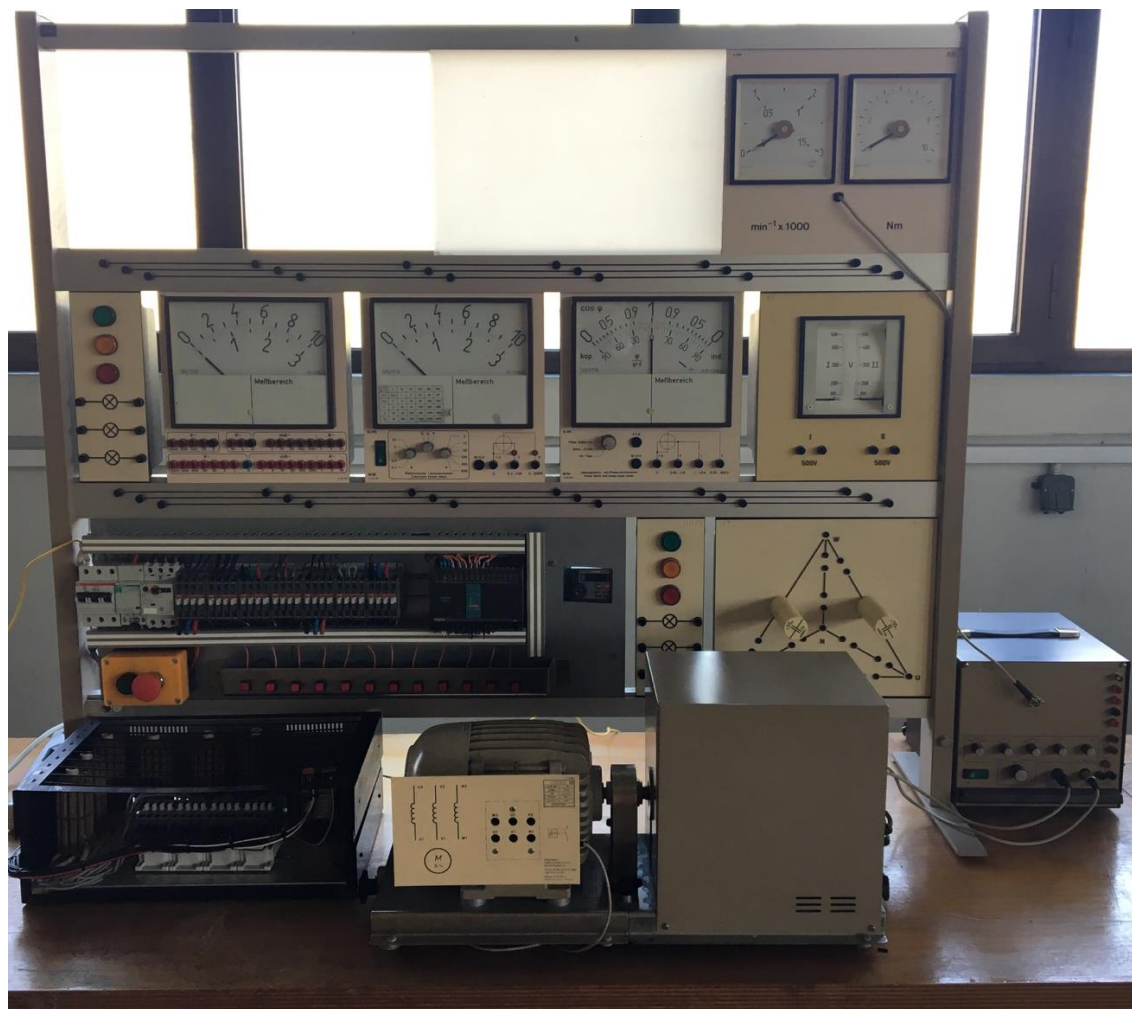
Το ηλεκτρολογικό σχέδιο, βάσει του οποίου έγινε η κατασκευή και ο προγραμματισμός, σχεδιάστηκε με το πρόγραμμα EPLAN.

7.1.10 Πρόγραμμα αυτοματισμού.

Ο προγραμματισμός του P.L.C πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα WinProLadder της εταιρείας παραγωγής της συσκευής.

7.1.11 Πειραματική διάταξη

Η τελική μορφή της πειραματικής διάταξης με τα όργανα μέτρησης, τα συστήματα αυτοματισμού, τα απαραίτητα ασφαλιστικά και τα κουμπιά χειρισμού συνδεδεμένα.



Σχήμα 56 Πειραματική διάταξη

8 Βιβλιογραφία

1. S. J. Chapman, *Ηλεκτρικές Μηχανές DC-AC*: 2η έκδοση, Εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε., 1991.
2. N. Mohan, T. Underland, and W. Robbins, *Ηλεκτρονικά Ισχύος*: 2η έκδοση, Εκδόσεις Α. Τζιόλα Ε., 1995.
3. Κ. Καλοβρέκτης, Ν. Κατέβας, *Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου*, 2^η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2015
4. <file:///C:/Users/user/Downloads/Wave%20Energy%20Brochure.pdf>
5. http://abs5.me.washington.edu/pub/tidal_wave/a_rewiew_of_WEC_tech.pdf
6. <http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/ocean.shtml>
7. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch4s4-3-3-8.html
8. http://bioenergynews.blogspot.gr/2008/04/blog-post_1246.html
9. <http://www.cie.org.cy/sxoliko.html#menu2-3-5>
10. <http://5dim-pyrgou.ilei.sch.gr/energy/html/anan2b.htm>
11. http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/Parousiasi6_ver2.pdf
12. Ηλεκτρικές μηχανές 4^η Έκδοση STEPHEN CHAPMAN
13. <http://ctp.lns.mit.edu/energy/files/pelamisbrochure.pdf>
14. <http://www.icrepq.com/icrepq%2711/560-sagasetta.pdf>
15. <http://www.asiantec.co.id/detail-product-73-250-type-qf-series>
16. <http://www.cne-int.com/repaires.html>
17. http://www.industrial-electronics.com/elec4_20.html
18. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111003704>
19. http://static1.squarespace.com/static/54921361e4b0a51594844ff0/t/54aaf924e4b0a61122e378d7/1420491044038/OMAE_OPT+PowerBuoy+System+Level+Design+Development+and+Validation+Methology.+June+2014.pdf
20. http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_power
21. <https://www.google.gr/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&ie=UTF-8&rct=j#q=the+salter+duck+weight>
22. http://www.theecologist.org/News/news_round_up/2610729/new_wave_generator_brightens_ocean_power_prospects.html
23. <http://www.offshorewind.biz/2012/03/20/denmark-dexawave-receives-usd-178-million-grant/>

24. http://www.ece.ucy.ac.cy/courses/ece444/notes/02_SEMICONDUCTORS_REVIEW.pdf
25. <https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρονόμος>
26. [Ηλεκτρολόγος μηχανικός: Ο ηλεκτρονόμος ή ρελέ](#)
27. [Περιστροφικοί κωδικοποιητές](#)