

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Αριθμός 1070

ΘΕΜΑ: «Αντιστάθμιση άεργου ισχύος με πυκνωτές σε βιοτεχνική μονάδα.»

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Σχοινάς Νικόλαος

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

**Τίτιρης Δημήτριος
Καραβάς Γεώργιος**

ΠΑΤΡΑ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΡΟΛΟΓΟΣ , σελ. 1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ , σελ. 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ , σελ. 18

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟ-
ΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ , σελ. 37**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ) , σελ.
55**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΥΚΝΩΤΕΣ – ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΑΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ,
σελ.75**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ , σελ. 90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ , σελ. 129

ΕΠΙΛΟΓΟΣ , σελ.130

ΣΧΕΔΙΟ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΛΑΙΟΤΡΙΒΕΙΟΥ , σελ. 131

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ , σελ.133

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία χρόνια ο άνθρωπος επιδίδεται σε ένα αέναο κυνήγι ανεύρεσης καινούργιων και περισσότερων μορφών ενέργειας καθώς και ανάπτυξης των ήδη υπαρχόντων μορφών ενέργειας με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας προς δικό τους όφελος αλλά και προς όφελος του περιβάλλοντος.

Μία και ίσως η σημαντικότερη μορφή ενέργειας είναι η ηλεκτρική ενέργεια την οποία την συναντάμε καθημερινά σε όλες τις εκφάνσεις της ζωής μας. Άρα αντιλαμβανόμαστε πόσο σημαντικές είναι οι ηλεκτρικές μηχανές όλες καθώς και πόσο σημαντική είναι η διαδικασία της ηλεκτρομηχανικής μετατροπής ενέργειας. Καθημερινά όλοι μας χρησιμοποιούμε την ηλεκτρική ενέργεια καθώς και τις ηλεκτρικές μηχανές για την διευκόλυνση και απλούστευση της καθημερινότητας μας. Συγκεκριμένα οι ηλεκτρικοί κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος χρησιμοποιούνται κατά κόρον τα τελευταία χρόνια στην βιομηχανία αλλά και σε κάθε είδους παραγωγική διαδικασία.

Από την άλλη πλευρά όμως οι ηλεκτρικοί κινητήρες έχουν και κάποια μειονεκτήματα τα οποία έχουν να κάνουν με τον αρχή λειτουργίας τους αλλά πολλές φορές και με την διάρκεια λειτουργίας τους. Τα μειονεκτήματα αυτά εστιάζουν περισσότερο στις απώλειες των ηλεκτρικών μηχανών οι οποίες

αυξάνονται όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής μίας ηλεκτρικής μηχανής.

Στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε συγκεκριμένα με μία σύγχρονη μονάδα παραγωγής ελαιολάδου στο Ξυλόκαστρο Κορινθίας. Η μονάδα αυτή παρουσιάζει πρόβλημα όσον αφορά στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο χαμηλής τάσης της Δ.Ε.Η. Δηλαδή τα τιμολόγια παροχής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν πολύ αυξημένες τιμές όπου αυτό συνεπάγεται και πρόστιμα από την Δ.Ε.Η.

Η αυξημένη κατανάλωση οφείλεται στην άεργο ισχύ που απορροφούν οι ηλεκτρικοί κινητήρες από το δίκτυο. Εμείς σαν ηλεκτρολόγοι μηχανικοί θα αντισταθμίσουμε αυτήν άεργο ισχύ με την πιο διαδεδομένη μέθοδο αντιστάθμισης , που είναι οι πυκνωτές. Οι πυκνωτές είναι μία εύκολη αλλά και παράλληλα αποτελεσματικότερη λύση στην εξοικονόμηση ενέργειας σε βιομηχανίες. Τα τελευταία χρόνια οι επιστήμονες ασχολούνται πολύ με την ανάπτυξη πιο σύγχρονων μεθόδων αντιστάθμισης αλλά μέχρι και σήμερα η πιο αποδοτική μέθοδος , από άποψη κόστους και ευκολίας στην εγκατάσταση είναι τα ερμάρια πυκνωτών. Τα ερμάρια πυκνωτών συνοδεύονται από μία σειρά αυτοματισμών και ρελέ τα οποία είναι όλα τοποθετημένα σε ειδικά διαμορφωμένους πίνακες. Αναλυτικότερα για ότι αφορά την μελέτη αντιστάθμισης και γενικά για τους πυκνωτές θα αναφερθούμε στα τρία τελευταία κεφάλαια του συγγράματος.

Τα κεφάλαια της πτυχιακής εργασίας είναι συνολικά επτά χωρίς να συμπεριλάβουμε τον πρόλογο και τον επίλογο-απολογισμό της εργασίας αυτής.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στην μέτρηση της ισχύος και στους διάφορους τρόπους μέτρησης της. Επίσης θα εξηγήσουμε και την αρχή λειτουργίας των οργάνων μέτρησης. Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στους νόμους που διέπουν τις ηλεκτρικές μηχανές γενικά και στο τρίτο κεφάλαιο με τις μηχανές εναλλασσομένου ρεύματος. Στο τέταρτο κεφάλαιο θα εστιάσουμε την προσοχή μας στους ασύγχρονους κινητήρες που με τους οποίους θα ασχοληθούμε στην μελέτη αντιστάθμισης στο έκτο κεφάλαιο. Τώρα στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρουμε γενικά στοιχεία για τους πυκνωτές αλλά και τεχνικά χαρακτηριστικά των πυκνωτών που χρησιμοποιούνται στην αντιστάθμιση. Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο θα κάνουμε την οικονομοτεχνική μελέτη για την εγκατάσταση του πίνακα αντιστάθμισης.

Τέλος ελπίζουμε αυτό το σύγγραμμα να αποτελέσει ένα βοήθημα για τους σπουδαστές και τους συναδέλφους της ηλεκτρολογίας.

Ευχαριστούμε τον καθηγητή μας , κύριο Νικόλαο Σχοινά για την ανάθεση αυτού του θέματος και την βοήθειά του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°:

ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ

Η μέτρηση της ισχύος στα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος και της ενεργού ισχύος στα μονοφασικά κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος γίνεται με τα ηλεκτροδυναμικά όργανα, τα οποία χρησιμοποιούνται ως βαττόμετρα. Στα κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος εκτός από την ενεργό ισχύ P , ορίζεται η άεργος ισχύς Q και η φαινόμενη ισχύς S . Οι σχέσεις υπολογισμού είναι:

$$P=VI \cos\varphi$$

$$Q=VI \sin\varphi$$

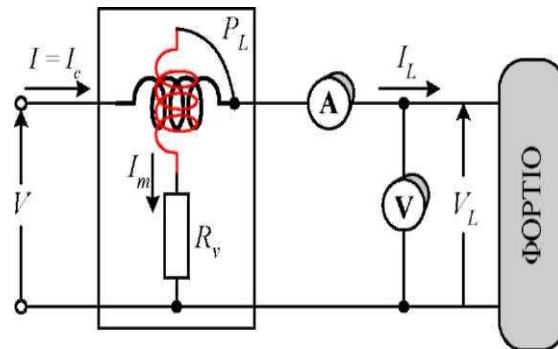
$$S=VI$$

όπου, V και I είναι η ενεργός τιμή της τάσης και του ρεύματος αντίστοιχα, φ η μεταξύ τους διαφορά φάσης και $\cos\varphi$ είναι ο συντελεστής ισχύος.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διατάξεις μέτρησης της άεργης ισχύος, της φαινόμενης ισχύος και του συντελεστή ισχύος στα μονοφασικά κυκλώματα, με τη χρήση του ηλεκτροδυναμικού οργάνου. Ακόμη, αναπτύσσονται οι μέθοδοι μέτρησης της ενεργού και της άεργης ισχύος στα τριφασικά συστήματα.

1.1.1 Μετρήσεις σε μονοφασικά κυκλώματα

Η ενεργός ισχύς στα μονοφασικά κυκλώματα μετράται με τη σύνδεση του ηλεκτροδυναμικού οργάνου (βαττόμετρο).



Σχήμα 1.1

Έμμεσος τρόπος μέτρησης της άεργης ισχύος και του συντελεστή ισχύος.

Μετρώντας την ενεργό ισχύ με το βαττόμετρο P_L και επιπλέον την τάση V_L και το ρεύμα I_L , όπως απεικονίζεται στο Σχ. 1.1, υπολογίζεται η φαινόμενη ισχύς από τη σχέση:

$$S_L = V_L I_L$$

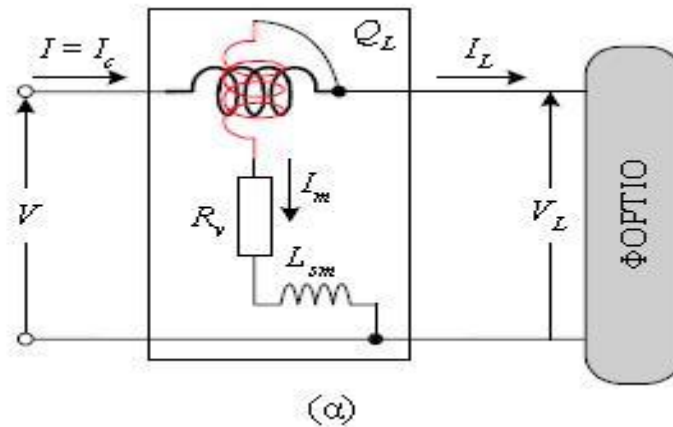
η άεργος ισχύς του φορτίου:

$$Q_L^2 = S_L^2 - P_L^2$$

και ο συντελεστής ισχύος:

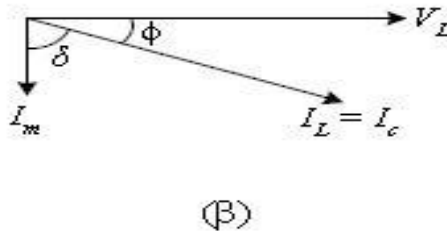
$$\cos \varphi = P_L / S_L$$

Στην άμεση μέτρηση του συντελεστή ισχύος χρησιμοποιούνται τα συνημιτόμετρα. Τα συνημιτόμετρα είναι ηλεκτροδυναμικά όργανα διασταυρωμένων πηνίων, τα οποία συνδέονται στο κύκλωμα με τον τρόπο που απεικονίζεται στο παρακάτω κύκλωμα:



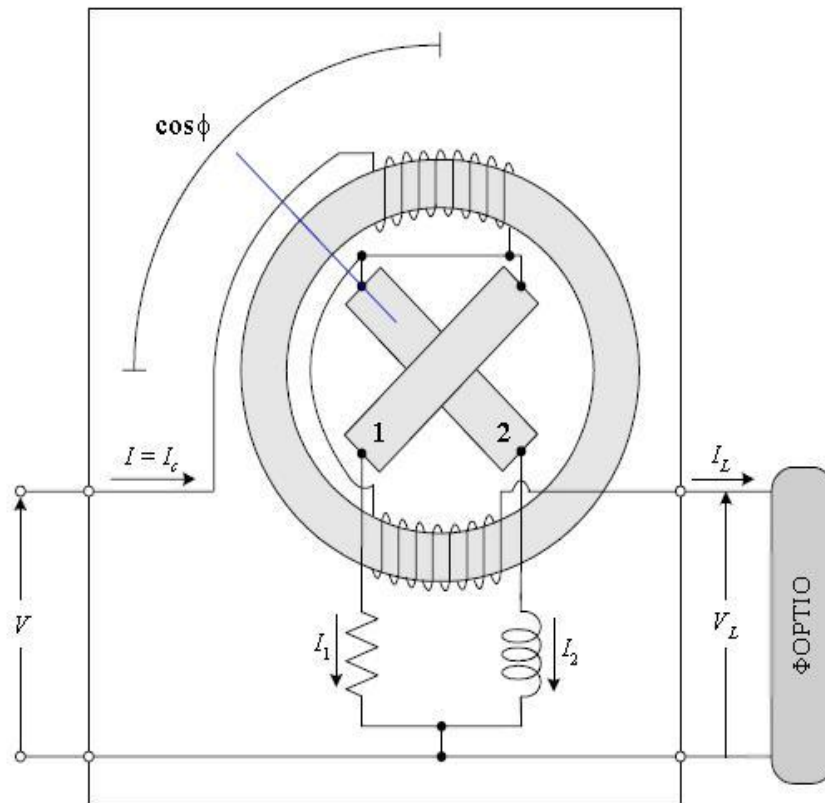
Σχήμα 1.2 α

Άμεσος τρόπος μέτρησης της άεργης ισχύος, με ηλεκτροδυναμικό όργανο ως μετρητή ισχύος.



Σχήμα 1.2 β

Διανυσματικό διάγραμμα των τάσεων και των ρευμάτων.



Σχήμα 1.3

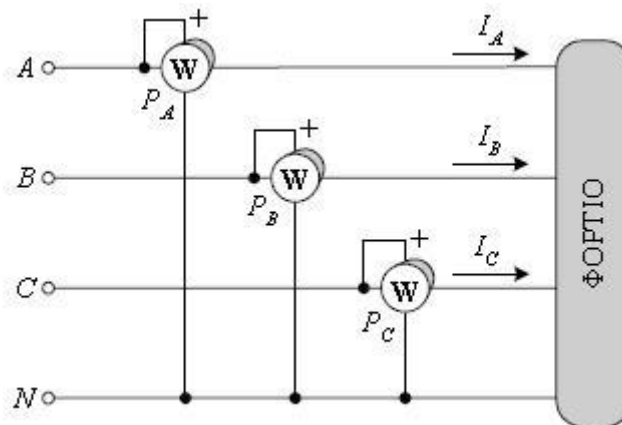
Άμεση μέτρηση του συντελεστή ισχύος με το ηλεκτροδυναμικό όργανο δισταυρωμένων πηνίων(σνημιτόμετρο).

Η λειτουργία του σνημιτόμετρου περιορίζεται σε μία μόνο συχνότητα, στην οποία επιτυγχάνεται η διαφορά φάσης των 90° μεταξύ I_1 και I_2 .

1.1.2 Μετρήσεις σε τριφασικά κυκλώματα

Για την μέτρηση της ενεργού ισχύος σε ένα πολυφασικό σύστημα n αγωγών, απαιτούνται $n-1$ βαττόμετρα. Επομένως, σε ένα τριφασικό σύστημα με ουδέτερο αγωγό θα πρέπει να συνδεθούν τρία μονοφασικά βαττόμετρα με την διάταξη του σχήματος 1.4, για την μέτρηση της ενεργού ισχύος. Η ολική ενεργός ισχύς P_T θα είναι ίση με το άθροισμα των ενδείξεων των τριών οργάνων, εκ των οποίων το κάθε ένα μετράει την ισχύ της αντίστοιχης φάσης. Επομένως συμπεραίνουμε ότι θα ισχύει η σχέση:

$$P_T = P_A + P_B + P_C$$



Σχήμα 1.4

Μέτρηση της ενεργού ισχύος σε τριφασικό σύστημα τεσσάρων αγωγών.

Όταν το τριφασικό φορτίο είναι συμμετρικό, η ισχύς σε κάθε φάση θα είναι ίδια. Επομένως για την μέτρηση της P_T θα απαιτείται μόνο ένα βαττόμετρο, έστω στην φάση A, οπότε η ολική ισχύς θα είναι:

$$P_T = 3P_A$$

Στα τριφασικά συστήματα χωρίς ουδέτερο , τριών αγωγών δηλαδή , η μέτρηση της ενεργού ισχύος γίνεται με την διάταξη δύο βαττομέτρων , όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5α , η οποία είναι γνωστή και ως μέθοδος κατά *Aron* . Τα πηνία έντασης των δύο βαττομέτρων συνδέονται στις δύο φάσεις του συστήματος , ενώ τα πηνία τάσης μεταξύ των φάσεων αυτών και της τρίτης φάσης. Θεωρώντας σαν θετική διαδοχή των φάσεων (*ABC*) και λαμβάνοντας την πολική τάση ως τάση αναφοράς , προκύπτει το διανυσματικό διάγραμμα του σχήματος 1.5β. Στη γενική περίπτωση που το φορτίο είναι ασύμμετρο , οι ενδείξεις των βαττομέτρων θα είναι:

$$P_{AB} = V_{AB} I_A \cos\varphi_{(AB-A)}$$

και

$$P_{CB} = V_{CB} I_C \cos\varphi_{(CB-C)}$$

Όπου είναι η διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης V_{AB} και του ρεύματος I_A και φ_{CB-C} διαφορά φάσης $\varphi_A = \varphi_C = \varphi$. Επομένως στο σχήμα 1.5 α , οι ενδείξεις των δύο βαττομέτρων είναι:

$$P_{AB} = V_L I_L \cos(\pi / 6 + \phi)$$

$$P_{CB} = V_L I_L \cos(\pi / 6 - \phi)$$

και η ολική ισχύς προκύπτει από την σχέση:

$$P_T = P_{AB} + P_{CB} = \sqrt{3} V_L I_L \cos\phi$$

όπου , και είναι η πολική τάση και το ρεύμα γραμμής αντίστοιχα.

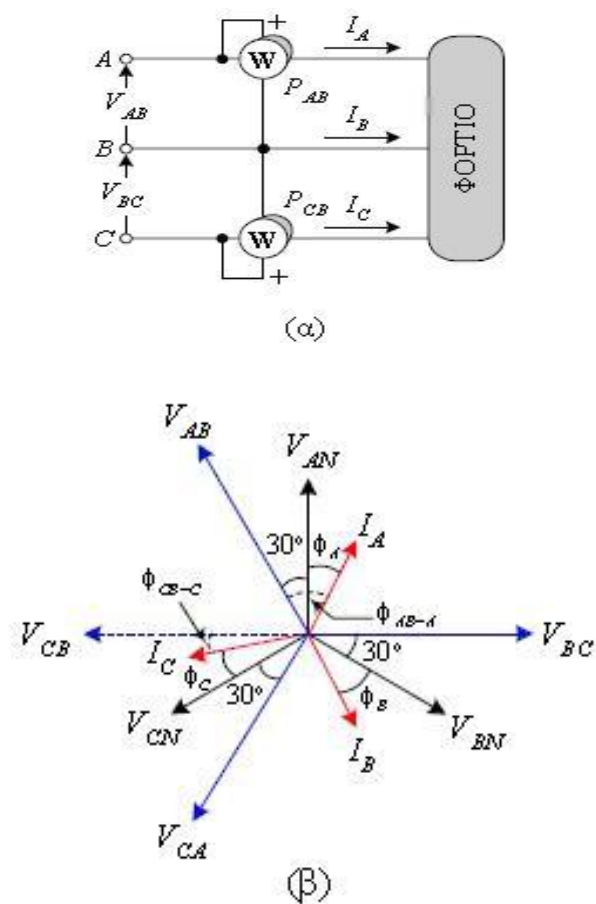
Από τις προηγούμενες σχέσεις προκύπτει ότι οι ενδείξεις των δύο οργάνων είναι διαφορετικές και στην περίπτωση του συμμετρικού φορτίου. Μόνο όταν το φορτίο είναι ωμικό ($\varphi=0$) , οι ενδείξεις των οργάνων ταυτίζονται. Ακόμη , όταν η γωνία του φορτίου είναι $\varphi>60^\circ$, η ένδειξη του βαττομέτρου P_{AB} γίνεται αρνητική. Επειδή τα βαττόμετρα δεν μετρούν αρνητική ισχύ , θα πρέπει να αντιστρέψουμε την σύνδεση κάποιου από τα δύο πηνία του P_{AB} και να αφαιρέσουμε την ένδειξη του από εκείνη του P_{CB} , για τον υπολογισμό της ολικής ισχύος. Το ίδιο συμβαίνει με το βαττόμετρο P_{CB} όταν $\varphi<-60^\circ$.

Στην περίπτωση του συμμετρικού φορτίου , με την μέθοδο των δύο βαττομέτρων μπορούμε εκτός από την ολική ενεργό ισχύ να υπολογίσουμε και τη ν ολική άεργο ισχύ από τη παρακάτω σχέση:

$$Q_T = \sqrt{3}(P_{CB} - P_{AB})$$

και την γωνία φορτίου από την σχέση:

$$\tan \phi = \sqrt{3} \frac{P_{CB} - P_{AB}}{P_{CB} + P_{AB}}$$



Σχήμα 1.5

Μέτρηση της ενεργού ισχύος σε τριφασικό σύστημα τριών αγωγών με την διάταξη Aron (α) και το διανυσματικό διάγραμμα (β).

Η μέτρηση της ολικής άεργου ισχύος σε ένα μη συμμετρικό σύστημα γίνεται με την χρήση τριών βαττομέτρων , τα οποία συνδέονται με την διάταξη του σχήματος 1.6 α. Οι ενδείξεις των

οργάνων , σύμφωνα με το διανυσματικό διάγραμμα του σχήματος 1.6 β θα είναι:

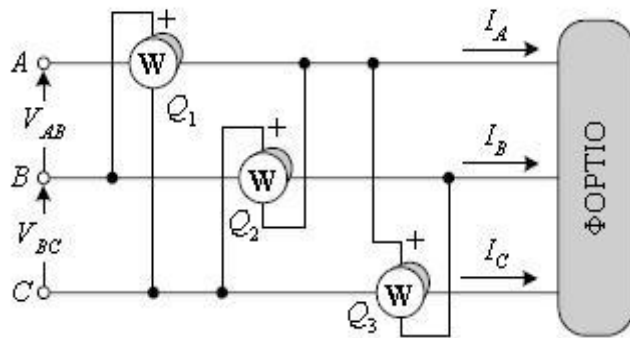
$$Q_1 = V_{BC} I_A \cos(\pi / 2 - \phi_A) = \sqrt{3} V_{AN} I_A \sin \phi_A = \sqrt{3} Q_{AN}$$

$$Q_2 = V_{CA} I_B \cos(\pi / 2 - \phi_B) = \sqrt{3} V_{BN} I_B \sin \phi_B = \sqrt{3} Q_{BN}$$

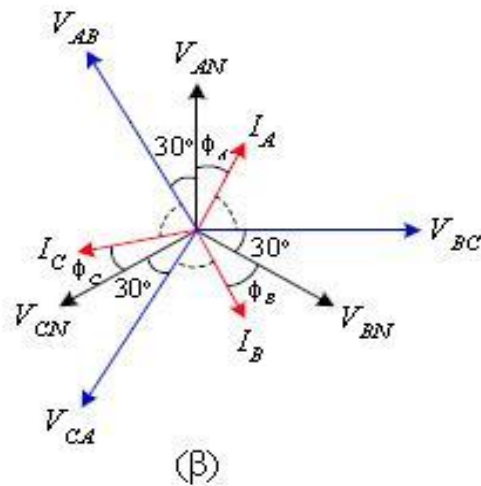
$$Q_3 = V_{AB} I_C \cos(\pi / 2 - \phi_C) = \sqrt{3} V_{CN} I_C \sin \phi_C = \sqrt{3} Q_{CN}$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι κάθε βατόμετρο μετράει την άεργο ισχύ της φάσης όπου συνδέεται το πηνίο έντασης του , πολλαπλασιασμένη με $\sqrt{3}$. Επομένως , η ολική άεργος ισχύς είναι ίση με

$$Q_T = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{\sqrt{3}}$$



(α)



(β)

Σχήμα 1.6

Μέτρηση της άεργης ισχύος σε τριφασικό σύστημα τριών αγωγών (α) και το διανυσματικό διάγραμμα (β).

1.2 Μέτρηση ενέργειας

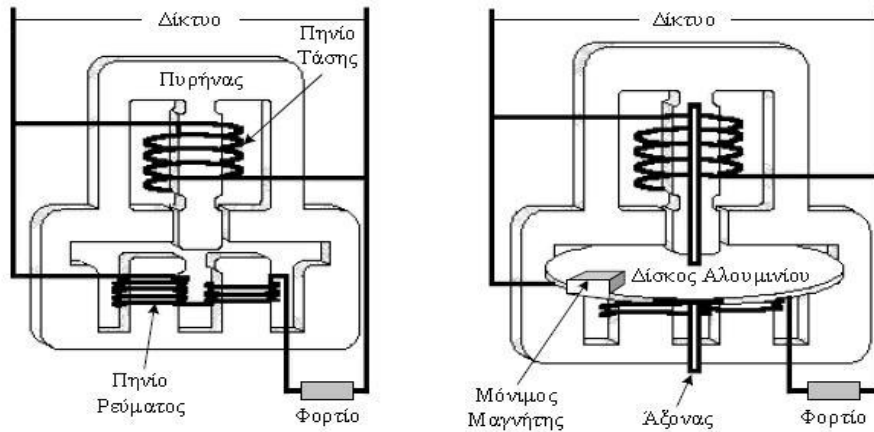
Η μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας έχει ιδιαίτερη σημασία για τις εταιρείες ηλεκτρισμού, καθώς αποτελεί τη βάση για τη χρέωση των καταναλωτών. Στη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας στο εναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιούνται κυρίως οι *επαγωγικοί μετρητές* (*induction watt-hour meters*). Οι επαγωγικοί μετρητές αποτελούνται από ένα κινητήρα με ειδική κατασκευή, έτσι ώστε η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα να είναι ανάλογη με την ενεργό ισχύ που απορροφά ο καταναλωτής ($P = V I \cos\phi$). Ως δρομέας στο μετρητή χρησιμοποιείται ένας δίσκος αλουμινίου. Ο δίσκος στρέφεται γύρω από ένα άξονα, ο οποίος φέρει ένα μηχανισμό οδοντωτών τροχών για τον υποβιβασμό της ταχύτητας περιστροφής και την οδήγηση ενός μηχανικού απαριθμητή του αριθμού περιστροφών. Το όργανο βαθμονομείται έτσι ώστε ένας ορισμένος αριθμός περιστροφών του δρομέα να αντιστοιχεί σε ένδειξη μιας κιλοβατώρας (kWh).

Ο στάτης του μονοφασικού επαγωγικού μετρητή ενέργειας αποτελείται από ένα πυρήνα, ο οποίος φέρει δύο τυλίγματα και ένα μόνιμο μαγνήτη (Σχ. 1.7). Το πηνίο έντασης αποτελείται από αγωγό μεγάλης διατομής με λίγες σπείρες και συνδέεται σε σειρά με το φορτίο. Το πηνίο τάσης αποτελείται από αγωγό μικρής διατομής με πολύ μεγάλο αριθμό σπειρών και συνδέεται παράλληλα με το φορτίο (δίκτυο). Επομένως, το τύλιγμα τάσης διαρρέετε από ένα ρεύμα ανάλογο με την τάση του δικτύου. Το ρεύμα στο πηνίο τάσης καθυστερεί σχεδόν 90° της τάσης, εξαιτίας της υψηλής αυτεπαγωγής που εμφανίζει το τύλιγμα.

Τα μαγνητικά πεδία που αναπτύσσονται από τα πηνία έντασης και τάσης προκαλούν ένα συνιστάμενο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, το οποίο επάγει δινορρέυματα στο δίσκο αλουμινίου και τον αναγκάζει σε περιστροφή. Η ροπή κίνησης του δίσκου T_e είναι ανάλογη με την ενεργό ισχύ που απορροφά ο καταναλωτής

$$T_e = c_e P = c_e VI \cos \phi$$

Εξαιτίας της ροπής T_e και χωρίς το μόνιμο μαγνήτη, ο δρομέας θα έτεινε να αποκτήσει ταχύτητα ίση με την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου, οπότε τα δινορρέυματα και η ροπή T_e μηδενίζονται. Όμως, η κίνηση του δίσκου αλουμινίου εντός του πεδίου του μόνιμου μαγνήτη, προκαλεί την ανάπτυξη μιας ροπής πέδησης (*drag*).



Σχήμα 1.7

Δομή του μονοφασικού επαγωγικού μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ροπή πέδησης T_d οφείλεται στην αλληλεπίδραση των δυνάμεων στο δίσκο με το πεδίο του μόνιμου μαγνήτη και είναι ανάλογη με την ταχύτητα περιστροφής του δίσκου n , δηλαδή

$$T_d = c_d \cdot n$$

Από την εξίσωση των ροπών T_e και T_d προκύπτει η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα θα είναι:

$$n = \frac{c_e}{c_d} P$$

η οποία είναι ανάλογη με την ενεργό ισχύ του φορτίου P . Επομένως, ο αριθμός περιστροφών του δίσκου σε κάποιο χρονικό διάστημα, είναι ανάλογος με την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε στο διάστημα αυτό.

Όταν η μετρούμενη ισχύς είναι πολύ μικρή, η ροπή τριβών στο κινητό σύστημα προκαλεί ένα σφάλμα στη μέτρηση. Η ροπή τριβών αντισταθμίζεται από μια πρόσθετη σταθερή κινούσα ροπή, η οποία αναπτύσσεται στο δρομέα με την εισαγωγή δακτυλίων βραχυκύκλωσης.

Σημειώνουμε ότι στην περίπτωση καθαρά επαγωγικού φορτίου ($\cos\phi = 0$), ο δίσκος του μετρητή δεν περιστρέφεται, επομένως δεν υπάρχει καταγραφή ενέργειας, παρόλο που ο καταναλωτής άρα και το πηνίο έντασης διαρρέονται από ρεύμα. Για το λόγο αυτό οι εταιρεί-

ες ηλεκτρισμού επιβάλλουν μια ελάχιστη τιμή του συντελεστή ισχύος στους καταναλωτές ($\cos\phi > 0.85$).

Για τη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας σ' ένα τριφασικό σύστημα, χρησιμοποιείται μια παραλλαγή του μονοφασικού μετρητή, όπου ο δρομέας δέχεται ροπή κίνησης από δύο ή τρία συστήματα στατών, με τα αντίστοιχα πηνία έντασης και τάσης του μονοφασικού μετρητή. Οι μετρητές με δύο στάτες είναι κατάλληλοι στα τριφασικά συστήματα τριών αγωγών, ενώ οι μετρητές με τρεις στάτες στα συστήματα τεσσάρων αγωγών. Στο Σχ. 1.8 εικονίζεται ένας τριφασικός μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 1.8

Τριφασικός επαγωγικός μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο δρομέας φέρει δύο δίσκους αλουμινίου. Ο μόνιμος μαγνήτης πέδησης και το ένα σύστημα στάτη ενεργούν στον άνω δίσκο, ενώ οι άλλοι δύο στάτες στον κάτω δίσκο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°:

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ **ΜΗΧΑΝΕΣ**

Οι κινητήρες και οι γεννήτριες είναι μηχανές (με την γενική έννοια) με εξωτερικά παρόμοια στοιχεία, αλλά κάνουν διαφορετικές διεργασίες. Και οι δύο είναι για ηλεκτρομηχανική μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι για τους κινητήρες πρέπει να τους εισάγουμε ηλεκτρική ενέργεια και αυτός θα μας δώσει ως έξοδο από το σύστημά του μηχανική ενέργεια, κίνηση δηλαδή. Τώρα όσο για τις γεννήτριες αυτές παίρνουν ως εισαγωγή μηχανική ενέργεια και εξάγουν από το σύστημά τους ηλεκτρική ενέργεια. Παρόλα αυτά έχουν κάτι κοινό που είναι ότι και οι δύο αποτελούνται από το μηχανικό σύστημα, το ηλεκτρικό σύστημα και τέλος το μαγνητικό πεδίο που είναι ουσιαστικά ο συνδετικός κρίκος των δύο προηγούμενων. Αυτές οι μηχανές χρησιμοποιούνται ευρέως καθημερινά κυρίως για μεγάλες μετατροπές ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή για μεγάλες ισχύς. Όμως για τις χαμηλές ισχύος μετατροπές μπορούμε να συναντήσουμε και άλλους τρόπους.

Ας ξανά επιστρέψουμε τώρα στις μηχανές και θα ήταν καλό να αναφέρουμε κάποιους νόμους, φαινόμενα που μπορούμε δούμε σε αυτές τις μηχανές καθώς και αρχές λειτουργίας αυτών.

2.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΚΑΙ ΝΟΜΟΙ

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω αυτό που χαρακτηρίζει τις μηχανές είναι το μαγνητικό πεδίο αφού αυτό είναι το κύριο φαινόμενο για την δημιουργία όλων των άλλων που μπορούν να επακολουθήσουν. Έτσι όταν έχουμε έναν ρευματοφόρο αγωγό τότε γύρω του θα έχουμε μαγνητικό πεδίο που σύμφωνα με τον νόμο του Ampere θα είναι :

$$\int Hdl = I_{net}$$

όπου H είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου την οποία την δημιουργεί το ρεύμα I_{net} . Το ρεύμα μετριέται σε Ampere, άρα η ένταση του μαγνητικού πεδίου H θα μετριέται σε Ampere/μέτρο αφού το l είναι το μήκος τις γραμμής.

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου H σε ένα υλικό μέσα εξαρτάται από την μαγνητική διαπερατότητα του υλικού μ , που είναι ουσιαστικά η ευκολία που παρουσιάζει το υλικό αυτό στο μαγνητικό πεδίο, η αντίσταση που παρουσιάζει στο μαγνητικό πεδίο δηλαδή. Όλο αυτό εκφράζει μια άλλη μονάδα που λέγεται μαγνητική επαγωγή B :

$$B = \mu H$$

όπου η μαγνητική διαπερατότητα μετριέται σε H/m και η μαγνητική επαγωγή σε Wb/m^2 που μπορεί ως μια συντόμευση όλου αυτού του τύπου να γίνει το Tesla (T) και ισχύει

$$1 \text{ T} = \frac{1 \text{ Wb}}{\text{m}}$$

Τώρα στο υλικό που έχουμε την εμφάνιση του μαγνητικού πεδίου μπορεί να είναι και το κενό οπότε η μαγνητική διαπερατότητα του κενού θα είναι :

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ H/m}$$

Αυτήν την διαπερατότητα μπορούμε να την συσχετίσουμε με την διαπερατότητα του υλικού σύμφωνα με την σχέση :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

όπου το μ_r λέγεται σχετική μαγνητική διαπερατότητα. Με την σχετική μαγνητική διαπερατότητα μπορούμε να συγκρίνουμε τα διάφορα υλικά μεταξύ τους για να δούμε ποιο είναι το καλύτερο σε σχέση με τον μαγνητισμό, αφού με αυτόν τον τρόπο βλέπουμε σε ποιο υλικό σε ένα συγκεκριμένο ρεύμα εμφανίζει μεγαλύτερη μαγνητική ροή.

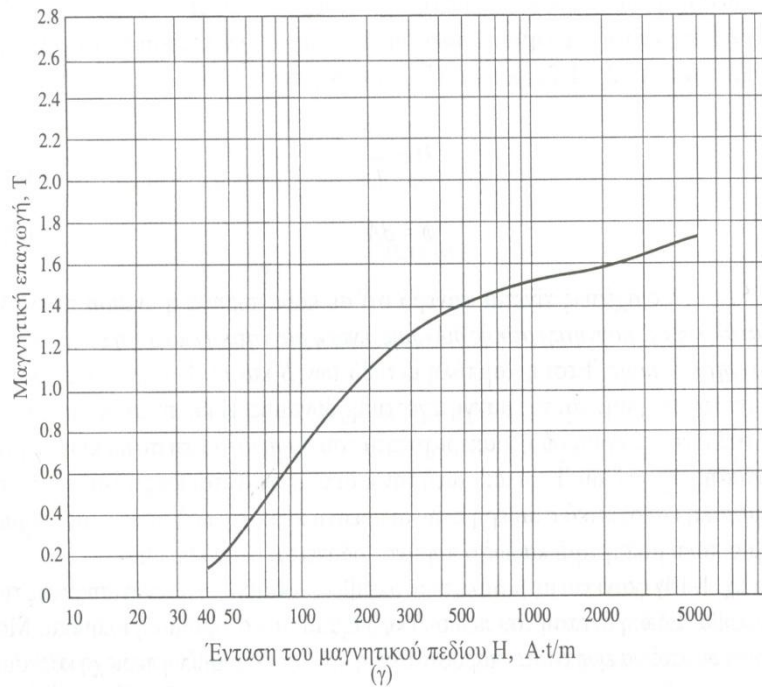
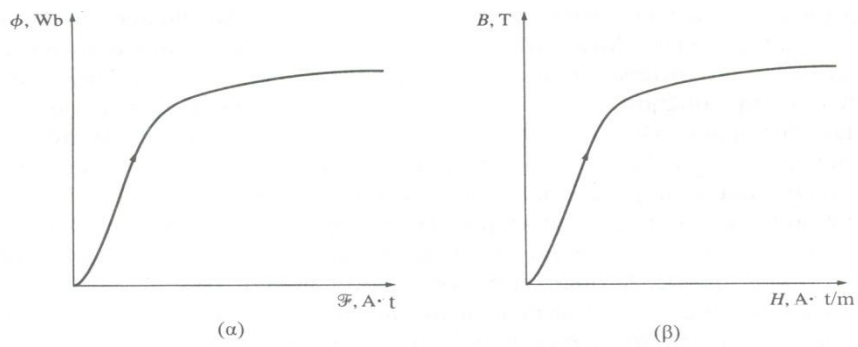
Ακόμα η συνολική μαγνητική ροή για μία στοιχειώδη περιοχή (επιφάνεια) A είναι

$$\phi = \int B \, dA$$

που για όλη την επιφάνεια θα γίνει η σχέση

$$\phi = B A$$

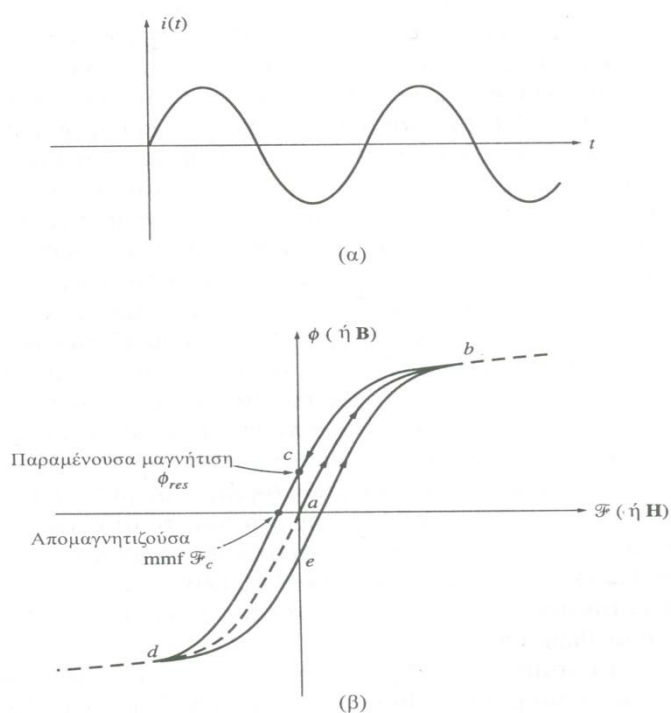
Συγκρίνοντας τώρα τα μεγέθη ανάμεσα στην ένταση του μαγνητικού πεδίου και την μαγνητική επαγωγή μπορούμε να παραθέσουμε την ακόλουθη γραφική παράσταση (καμπύλη μαγνήτισης).



Σχήμα 2.1

(α) Η καμπύλη μαγνήτισης ενός σιδηρομαγνητικού πυρήνα. (β) Η ίδια καμπύλη σαν γραφική παράσταση της μαγνητικής επαγωγής συναρτήσει της έντασης του μαγνητικού πεδίου στον πυρήνα. (γ) Λεπτομερής καμπύλη μαγνήτισης ενός μεταλλικού πυρήνα. (δ) Γραφική παράσταση της σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας συναρτήσει της έντασης του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό ενός μεταλλικού πυρήνα.

Σε έναν σιδηροπυρήνα όταν αρχικά τον χρησιμοποιούμε θεωρείται ότι έχει μηδενική μαγνητική ροή. Όταν όμως έχουμε μαγνητική ροή η αρχική πορεία του είναι μια αντίστοιχη σαν την καμπύλη μαγνήτισης (διαδρομή a-b). Μετά όμως με την σταδιακή μείωση του μαγνητικού πεδίου η διαδρομή που ακολουθείται δεν θα είναι η ίδια και στον μηδενισμό του μαγνητικού πεδίου θα έχουμε μαγνητική επαγωγή, που αυτό λέγεται παραμένοντας μαγνητισμός. Αυτή μηδενίζεται σε ένα αρνητικό μαγνητικό πεδίο, δηλαδή παράγει το ίδιο το υλικό μαγνητικό πεδίο. Συνεχίζουμε να μειώνουμε το ρεύμα μαγνήτισης (διαδρομή b-d) και όταν το ξανά αυξάνουμε παρατηρούμε ότι δεν διαγράφεται η ίδια πορεία με την αρχική, όταν περνούσε για πρώτη φορά στον σιδηροπυρήνα το ρεύμα μαγνήτισης.



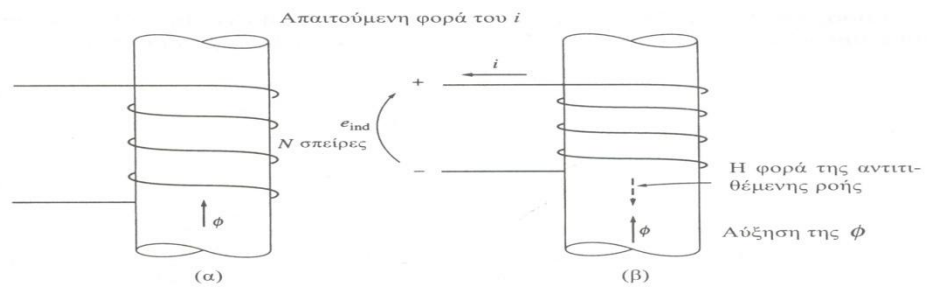
Σχήμα 2.2

Ο βρόχος υστέρησης που διαγράφει η μαγνητική ροή στο εσωτερικό ενός πυρήνα στον οποίο εφαρμόζεται το ρεύμα $i(t)$.

2.2 ΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΦΟΡΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

Με όλα τα παραπάνω θα ήταν η κατάλληλη στιγμή να αναφέρουμε τον νόμο του Faraday που πάνω σε αυτόν στηρίζεται η εφαρμογή των μετασχηματιστών και του μαγνητισμού. Ο νόμος λέει ότι όταν σε μία σπείρα ενός πηνίου (και γενικότερα σε ένα ηλεκτρικό καλώδιο) το διαπερνά μαγνητική ροή, τότε στα άκρα του έχουμε την δημιουργία επαγόμενης τάσης και θα είναι ανάλογο του χρόνου.

$$e_{\text{ind}} = \frac{d\Phi}{dt}$$



Σχήμα 2.3

Ο νόμος του Lenz: (α) Αύξηση της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό του τυλίγματος. (β) Προσδιορισμός της πολικότητας της τάσης στα άκρα του τυλίγματος.

Με βάση τον νόμο του Faraday για την δημιουργία τάσης σε ηλεκτροφόρους αγωγούς έχουμε :

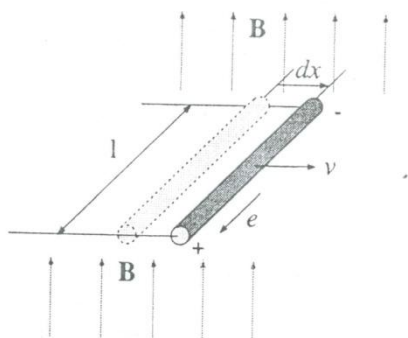
$$e = \frac{d\lambda}{dt}$$

όπου το λ είναι η πεπλεγμένη ροή, που είναι η χρήσιμη ροή για την δημιουργία της τάσης, μεταβαλλόμενη από τον χρόνο dt . Η τάση σε ηλεκτροφόρο αγωγό λέγεται ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) και είναι αντίθετη από την δημιουργούσα δύναμη, δηλαδή έχει την τάση να εξουδετερώνει την πεπλεγμένη ροή.

Η παραπάνω σχέση μπορεί να εκφραστεί σε διάφορες στιγμές και τρόπους όπως όταν έχουμε ένα σταθερό μαγνητικό πεδίο και ένας αγωγός να κινείται μέσα από αυτό τότε ο νόμος του Faraday γίνεται :

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{BdA}{dt} = \frac{Bl dx}{dt} = Blv$$

όπου l είναι το μήκος του αγωγού και v η ταχύτητά του.



Σχήμα 2.4

Αγωγός κινούμενος μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο.

Αυτό μπορεί να εκφραστεί και για ένα περιστρεφόμενο τύλιγμα που διαρρέεται από ρεύμα και είναι μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο. Τότε παρατηρούμε ότι οι αγωγοί που έχουν παράλληλη τοποθέτηση δίνουν τάσεις που μπορούν να προστεθούν, ενώ αυτοί που είναι κάθετοι, οι άλλοι δύο αγωγοί δηλαδή, δεν έχουν παραγωγή τάσης στα άκρα τους. Έτσι θα έχουμε :

$$e = 2(Blv\sin(\omega t)) = 2(Bl\omega r\sin(\omega t)) = \omega B l D \sin(\omega t) = \omega B S \sin(\omega t)$$

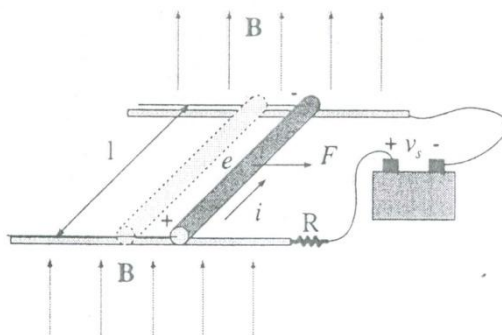
όπου τα l, r είναι τα μήκη των παράλληλων αγωγών.

2.3 ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Όταν ένας ρευματοφόρος αγωγός κινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, τότε εξασκείται πάνω του μία δύναμη που είναι ίση με το γινόμενο του ρεύματος του αγωγού, του μήκους του και της μαγνητικής επαγωγής του πεδίου που βρίσκεται μέσα. Το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό οφείλεται σε μια πηγή που συνδέεται μέσω μιας αντίστασης.

$$F = i l B$$

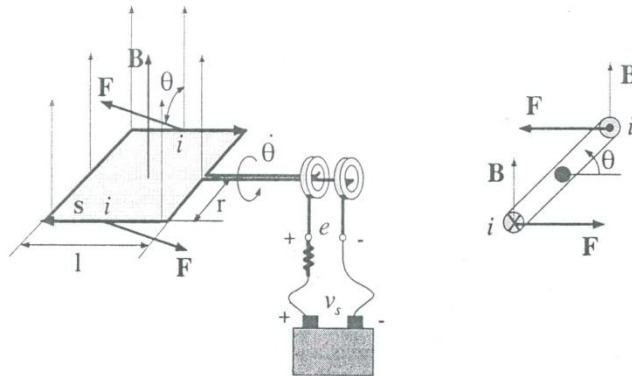
Η φορά της δύναμης θα είναι κάθετη στην φορά του ρεύματος αλλά και στην μαγνητική επαγωγή.



Σχήμα 2.5

Ηλεκτροφόρος αγωγός κινούμενος μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

Το παραπάνω ήταν για έναν αγωγό μέσα σε ένα πεδίο, τι θα γίνει όταν υπάρχει μία στοιχειώδες σπείρα, πηνίο;



Σχήμα 2.6

Ηλεκτροφόρο τύλιγμα κινούμενο μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

Στους παράλληλους αγωγούς με τον άξονα περιστροφής τους ασκείτε μία δύναμη

$$F = ilB$$

οι οποίες αποτελούν ζεύγη δυνάμεων σε απόσταση

$$2r\sin\theta = D\sin\theta$$

πού αν συνδυαστεί και με την δύναμη μπορεί να παραχθεί μια ροπή γύρο από τον άξονα περιστροφής που είναι :

$$\tau = 2Fr\sin\theta = iBDs\sin\theta$$

Η κίνηση του αγωγού με τις παραπάνω συνθήκες θα δημιουργήσει μία αντιηλεκτρεγερτική δύναμη (ΑΗΕΔ) που θα έχει την τάση να περιορίσει το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό και επομένως και την ροπή του αγωγού.

Ακόμα μπορούμε να αναφέρουμε και κάποιες άλλες σχέσεις και προσδιορισμούς με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των φαινομένων στις μηχανές.

Αυτά είναι η γωνία θέσης (θ), που είναι η γωνία που σχηματίζει το διάνυσμα θέσης του σώματος ως προς το σημείο αναφοράς. Η μονάδα του είναι τα ακτίνια (rad).

Η γωνιακή ταχύτητα ενός σώματος είναι ο ρυθμός μεταβολής της γωνίας θέσης ως προς τον χρόνο.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

Οπότε η μονάδα της γωνιακής ταχύτητας είναι rad/sec. Αλλά μπορεί να εκφραστεί και με διαφορετικές μονάδες που οι σχέσεις που συνδέονται όλες αυτές είναι :

$$n = 60f$$

$$f = \omega / 2\pi$$

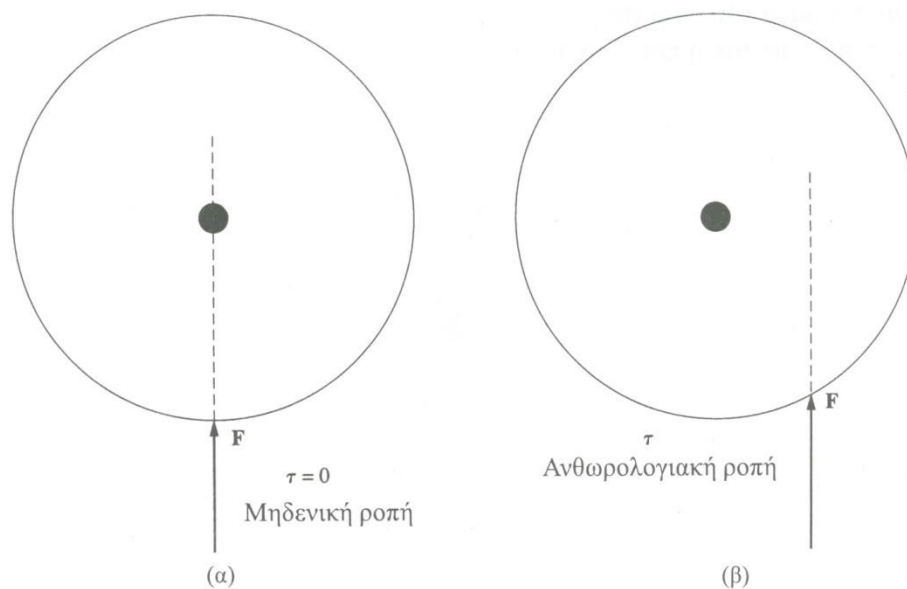
$$\omega = 2\pi f$$

όπου f είναι η γωνιακή ταχύτητα σε στροφές ανά δευτερόλεπτο (rps), ενώ το n είναι στροφές ανά λεπτό (rpm).

Ροπή σε ένα σώμα είναι το γινόμενο της δύναμης που ασκείται πάνω στο σώμα επί την απόσταση μεταξύ της φοράς της δύναμης και του άξονα περιστροφής του σώματος.

$$\tau = Fr \sin\theta$$

όπου r είναι το διάνυσμα από τον άξονα περιστροφής ως το σημείο εφαρμογής της δύναμης, θ είναι γωνία μεταξύ των δύο διανυσμάτων r και f . Οι μονάδα της ροπής είναι το Newton επί μέτρα, ή Νιουτόμετρα εν συντομία (Nm).



Σχήμα 2.7

(α) Στον κύλινδρο εφαρμόζεται μια δύναμη της οποίας η διεύθυνση διέρχεται από τον άξονα περιστροφής $\tau=0$. (β) Στον κύλινδρο εφαρμόζεται μια δύναμη της οποίας η διεύθυνση δε διέρχεται από τον άξονα περιστροφής. Εδώ η ροπή έχει μη μηδενική τιμή, ενώ η φορά της είναι αντιωρολογική.

2.4 ΕΡΓΟ ΚΑΙ ΙΣΧΥ

Τώρα όσον αφορά την ισχύ από τον τύπο για την ευθύγραμμη κίνηση είναι όταν μία δύναμη εφαρμόζεται σε ένα σώμα για μία απόσταση και είναι :

$$W = \int F dr$$

Στην περιστροφική κίνηση τότε το έργο ορίζεται ως η ροπή που εφαρμόζεται σε μήκος τόξου γωνίας θ . Και ο τύπος είναι :

$$W = \int \tau d\theta$$

Που στην μόνιμη κατάσταση θα γίνει τύπος :

$$W = \tau \theta$$

Η μονάδα μέτρησης του έργου έχει οριστεί το Joule (J)

Η ισχύς γενικά ορίζεται ως το παραγόμενο έργο ανά μονάδα χρόνου και εκφράζεται από την σχέση :

$$P = \frac{dW}{dt}$$

Η μονάδα μέτρησης της ισχύς Joule ανά sec (J/s) , που αυτό όμως μπορεί να μετονομαστεί σε μία πιο σύντομη και εύχρηστη μονάδα το Watt (W) που είναι Joule/sec = W , μια άλλη μονάδα του έργου είναι ο ίππος (hp).

Με βάση των παραπάνω σχέσεων μπορούμε να πούμε ότι στην ευθύγραμμη κίνηση η ισχύς γίνεται :

$$P = \frac{dW}{dt} = Fr \frac{d}{dt} = F \frac{dr}{dt} = Fv$$

Στην περιστροφική κίνηση θα έχουμε :

$$P = \frac{dW}{dt} = \tau \theta \frac{d}{dt} = \tau \frac{d\theta}{dt} = \tau \omega$$

Με το παραπάνω υπόβαθρο μπορούμε να προχωρήσουμε στον πιο αναλυτικό προσδιορισμό στους κινητήρες και στις γεννήτριες ξεχωριστά.

2.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Οι κινητήρες μπορούν να μετατρέψουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική, σε κίνηση δηλαδή. Όπως αναφέραμε και στην αρχή έχουν κάποια κοινά στοιχεία με τις γεννήτριες που αυτά είναι ο στάτης, που είναι ένα ζεύγος από πυρήνα και από τυλίγματα και τον δρομέα που είναι και αυτό ένα πυρήνας και ένα τύλιγμα. Ανάμεσα στα δύο αυτά υπάρχει ένα κενό (αέρας) που επιτρέπει την κυκλική κίνηση του δρομέα. Ακόμα στον δρομέα μπορούμε να συναντήσουμε ψήκτες και συλλέκτες ή δακτύλιους ολίσθησης που είναι για την συγκέντρωση των εναλλασσόμενων ρευμάτων.

Οι πυρήνες είναι από σιδηρομαγνητικά υλικά σε μορφή παράλληλων ελασμάτων για να έχουν μικρότερη μαγνητική αντίσταση στην μαγνητική ροή και έτσι να έχουμε ελαχιστοποίηση των απωλειών.

Ο κινητήρας αποτελείται από τρία κύρια μέρη, το ηλεκτρικό σύστημα, το μαγνητικό πεδίο και το μηχανικό σύστημα. Το ηλεκτρικό μέρος είναι ο στάτης της μηχανής (τα τυλίγματα) , μαγνητικό είναι το διάκενο μεταξύ στάτη και δρομέα. Τέλος τον μηχανικό μέρος είναι ο δρομέας, αφού σε κάθε από ένα από αυτά έχουμε την εμφάνιση των αντίστοιχων φαινομένων και απωλειών. Ένα χαρακτηριστικό μπλοκ διάγραμμα είναι το εξής :



Σχήμα 2.8

Ροή ισχύος σε κινητήρα.

Οι απώλειες τώρα που παίρνουν μέρος σε αυτό το σύστημα είναι λόγο των ωμικών απωλειών στα τυλίγματα τις μηχανής και στην αντίσταση των ψηκτρών και συλλέκτη.

Μπορούμε να μετρήσουμε ακόμα την ισχύ που εισάχθηκε στον κινητήρα και την ισχύ που πήραμε ως έξοδό του σε μηχανικό έργο. Ο λόγος αυτός δηλαδή η ισχύ εξόδου προς την ισχύ εισόδου μπορεί να ονομαστεί και ως συντελεστής απόδοσης ή βαθμός απόδοσης που σύμφωνα και με το παραπάνω μπλοκ διάγραμμα είναι :

$$\eta_k = \frac{P_{\mu\eta\chi}}{P_{\eta\lambda} + P_{\pi\delta}} = \frac{P_{\mu\eta\chi}}{P_{\mu\eta\chi} + P_{\alpha\pi}}$$

όπου $P_{\alpha\pi}$ είναι η ισχύ συνολική απωλειών σε όλο το σύστημα.

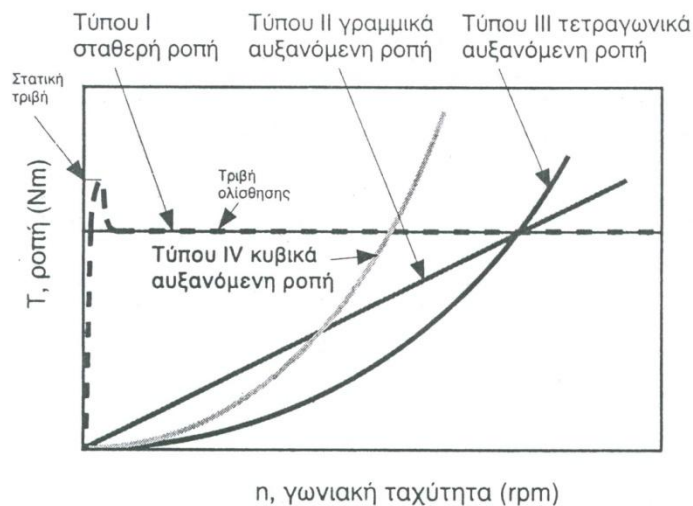
Είναι εύκολο να παρατηρηθεί ότι ο βαθμός απόδοσης δεν θα μπορέσει να υπερβεί την μονάδα και σε ιδανικές συνθήκες θα είναι ίσος με την μονάδα.

Στα παρακάτω κεφάλαια αναλύονται και προσδιορίζονται αυτές οι τιμές των ισχύων, καθώς αυτά αλλάζουν από κινητήρα σε κινητήρα και από γεννήτρια σε γεννήτρια.

Οι συνηθέστεροι βαθμοί απόδοσης στις μηχανές είναι για κινητήρες χαμηλής ισχύος στο 0,75 , ενώ για τους υψηλούς ισχύς είναι στο 0,98 .

Στην έξοδο των μηχανών μπορούμε να έχουμε κάποια φορτία, δηλαδή κάποια στοιχεία που πηγαίνει η ενέργεια εξόδου της μηχανής μας. Τα φορτία λόγω του ότι ο κινητήρας δίνει στην έξοδό του μηχανική ενέργεια, τα φορτία αυτά θα είναι μηχανικά. Τα φορτία αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν από μία χαρακτηριστική, μία γραφική

παράσταση, την καμπύλη ροπής – στροφών ή στατική χαρακτηριστική. Αυτή η καμπύλη όπως είναι και το όνομα της έχει στον άξονα των x (οριζόντια) τις τιμές των στροφών, ενώ στον κάθετο άξονα των y της ροπής. Οι καμπύλες αυτές είναι χρήσιμες γιατί μας λέει ότι για να έχει το συγκεκριμένο φορτίο μία ροπή θέλει ένα συγκεκριμένο αριθμό στροφών και έτσι μπορούμε να επιλέξουμε αν μας κάνει ή όχι για τον κινητήρα που έχουμε.

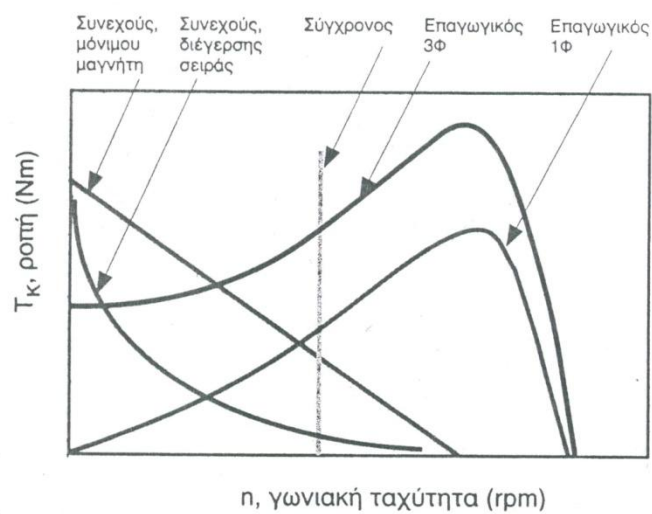


Σχήμα 2.9

Χαρακτηριστικές ροπής – στροφών Τύπων I-IV

Τώρα οι τριβές που αναφέρονται είναι η στατική τριβή που είναι ουσιαστικά η αντίσταση που εμφανίζει το φορτίο για να ξεκινήσει και βλέπουμε ότι παίρνει μεγάλη τιμή. Η τριβή ολίσθησης μας δείχνει τις σταθερές αντιστάσεις, τις σταθερές τριβές του φορτίου μας (για αυτό και βλέπουμε ότι είναι μία ευθεία παράλληλη με την ταχύτητα).

Κάτι αντίστοιχο με το φορτίο έχουμε με τον κινητήρα, δηλαδή μια χαρακτηριστική με τη ροπή και τις στροφές.



Σχήμα 2.10

Χαρακτηριστικές ροπής – στροφών διαφόρων κινητήρων

Με αυτές τις χαρακτηριστικές μπορούμε να δούμε κάποια πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά του κινητήρα. Έτσι μπορούμε να παρατηρήσουμε την ροπή εκκίνησης, την ροπή δηλαδή του κινητήρα όταν οι στροφές του είναι μηδενικές, που σε άλλους είναι υψηλές και

σε άλλες όχι, αναλόγως με τον τύπο του κινητήρα. Ακόμα βλέπουμε την μέγιστη ροπή και στροφές που μπορεί να αναπτύξει ο κινητήρας μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°:

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ **ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ**

Οι ηλεκτρικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος είναι μηχανές (γεννήτριες ή κινητήρες) που έχουν να κάνουν με το εναλλασσόμενο ρεύμα. Έτσι για τις γεννήτριες παίρνουν μηχανική ενέργεια και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική εναλλασσόμενη. Στους κινητήρες έχουμε είσοδο ηλεκτρική ενέργεια με εναλλασσόμενου ρεύματος και έξοδο μηχανικής ενέργειας.

Οι μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίζονται σε υποκατηγορίες που είναι οι σύγχρονες και επαγωγικές μηχανές (ασύγχρονες).

Για να καταλάβουμε τι είναι η σύγχρονη μηχανή και πως δουλεύει πρέπει να αναφέρουμε κάποια φαινόμενα που την χαρακτηρίζουν. Με το πρώτο πράγμα που θα ασχοληθούμε είναι το μαγνητικό πεδίο.

3.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΑΣΗΣ

Υποθέτουμε ότι έχουμε μια υποτυπώδες μηχανή με μία απλή σπείρα και ένα μαγνητικό πεδίο, έστω από έναν μόνιμο μαγνήτη. Αν η σπείρα περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω_m τότε έχουμε την

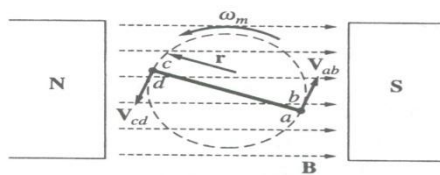
εφαρμογή τάσης πάνω του από επαγωγή και λόγω του σχήματος της πρέπει να την αναλύσουμε στις πλευρές του. Έτσι για την κάθε πλευρά στην σπείρα θα έχουμε διαφορετική τάση. Παρατηρούμε ότι στις πλευρές του πηνίου που είναι παράλληλες με τις μαγνητικές γραμμές δεν έχουμε τάση. Για τις υπόλοιπες πλευρές θα έχουμε :

Στην πλευρά ab :

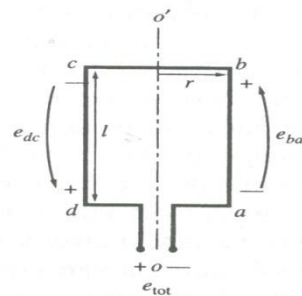
$$e_{ab} = (v * B) * l$$

$$e_{ab} = vBl \sin \theta_{ab}$$

όπου B το μαγνητικό πεδίο, θ_{ab} η γωνία μεταξύ των μαγνητικών γραμμών και της εφαιπτόμενης ταχύτητας της σπείρας, το l είναι το μήκος του πηνίου.



B είναι το ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο, με φορά όπως φαίνεται.



Σχήμα 3.1

Ένας απλός περιστρεφόμενος βρόχος σε ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο.

(α) Πρόσοψη. (β) Άποψη.

Στην πλευρά cd :

$$e_{cd} = (v * B) * l$$

$$e_{cd} = vBl \sin \theta_{cd}$$

Η συνολική τάση στο πηνίο αυτό θα είναι η πρόσθεση όλων των πλευρών. Έτσι έχουμε :

$$e_{ind} = vBl\sin\theta_{ab} + vBl\sin\theta_{cd} + 0 + 0$$

Υπενθυμίζουμε από την τριγωνομετρία ότι $\sin\theta = \sin(180^\circ - \theta)$ και ότι ισχύει στην περίπτωση μας $\theta_{ab} = (180^\circ - \theta_{cd})$ και έτσι η παραπάνω σχέση γίνεται :

$$e_{ind} = 2vBl\sin\theta$$

Αν θέλουμε να την εκφράσουμε την σχέση αυτή συνάρτηση του χρόνου τότε τα μεγέθη γίνονται $\theta = \omega t$, $v = r\omega$, όπου v η εφαπτόμενη ταχύτητα και r η ακτίνα του πηνίου που περιστρέφεται. Έτσι η σχέση γίνεται :

$$e_{ind} = 2\omega r B l \sin\omega t$$

Όμως το $2\omega r l$ μπορεί να υπολογίσει το εμβαδό A της σπείρας, άρα έχουμε

$$e_{ind} = AB\omega \sin\omega t$$

Ακόμα μπορούμε να πούμε ότι το εμβαδό με το μαγνητική επαγωγή μπορούν να μας δώσουν την μέγιστη μαγνητική ροή Φ_{max} και η σχέση μας γίνεται :

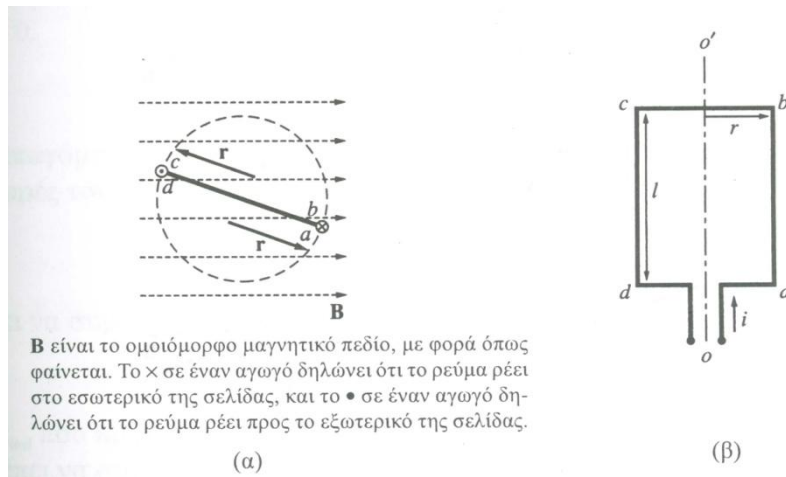
$$e_{ind} = \Phi_{max} \omega \sin \omega t$$

3.2 ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΣΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Αν τώρα υποθέσουμε ότι το πηνίο σχηματίζει μια γωνία θ ως προς το μαγνητικό πεδίο και ρέει στο πηνίο ρεύμα. Τότε σε κάθε πλευρά του πηνίου θα έχουμε μια εφαρμογή δύναμης F που υπολογίζετε απ' την σχέση :

$$F = i(l * B)$$

Όπου i είναι το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο για την συγκεκριμένη πλευρά, το l είναι το μήκος αυτής της πλευράς και B η μαγνητική επαγωγή.



Σχήμα 3.2

Βρόχος που διαρρέεται από ρεύμα σε ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο.

(α) Πρόσοψη. (β) Αποψη.

Για την κάθε πλευρά θα έχουμε και ξεχωριστή δύναμη αφού αλλάζει η φορά της. Έτσι έχουμε :

Για την ab :

$$F = i(l * B) \text{ με φορά προς τα κάτω}$$

Για την bc :

$$F = i(l * B) \text{ με φορά προς το εσωτερικό της σελίδας}$$

Για την cd :

$$F = i(l * B) \text{ με φορά προς τα πάνω}$$

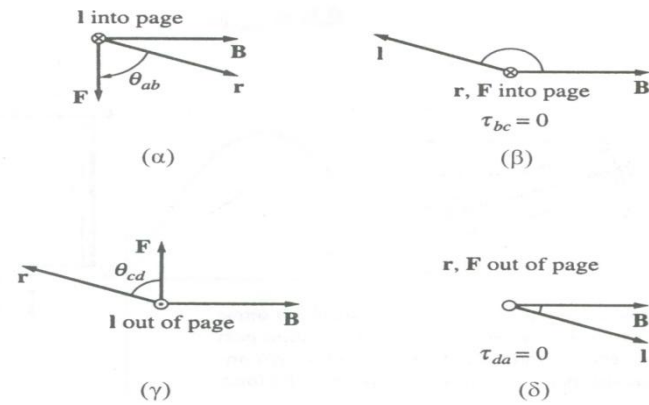
Για την da :

$$F = i(l * B) \text{ με φορά προς το εξωτερικό της σελίδας}$$

Η ροπή τώρα μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση

$$\tau = F r \sin\theta$$

όπου θ είναι η γωνία μεταξύ της δύναμης και της ακτίνας του πηνίου.



Σχήμα 3.3

(α) Υπολογισμός της δύναμης και της ροπής στην πλευρά ab . (β) Υπολογισμός της δύναμης και της ροπής στην πλευρά bc . (γ) Υπολογισμός της δύναμης και της ροπής στην πλευρά cd . (δ) Υπολογισμός της δύναμης και της ροπής στην πλευρά da .

Η ροπή για κάθε πλευρά και σύμφωνα και με την δύναμη έχουμε :

Για την ab :

$$\tau_{ab} = F r \sin \theta_{ab} = rilB \sin \theta_{ab}$$

Για την bc :

$$\tau_{bc} = F r \sin \theta_{cd} = 0$$

Για την cd :

$$\tau_{cd} = F r \sin \theta_{cd} = rilB \sin \theta_{cd}$$

Για την da :

$$\tau_{da} = F r \sin \theta_{da} = 0$$

Η συνολική ροπή θα είναι :

$$\tau_{ind} = \tau_{ab} + \tau_{bc} + \tau_{cd} + \tau_{da} = rilB \sin \theta_{ab} + rilB \sin \theta_{cd}$$

Όμως πρέπει να αναφέρουμε ότι $\theta_{ab} = \theta_{cd}$ η προϋπάρχων σχέση θα γίνει :

$$\tau_{ind} = 2 rilB \sin \theta$$

3.3 ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

3.3.1. ΡΕΥΜΑ, ΕΝΤΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

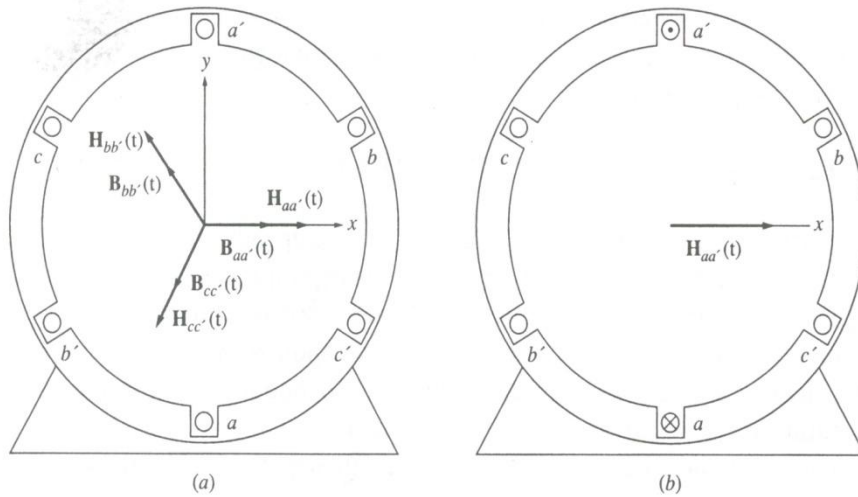
Αυτά συμβαίνουν με σταθερό μαγνητικό πεδίο. Τι γίνεται με στρεφόμενο, που αυτό έχουμε σε μία μηχανή; Σε αυτό το πεδίο τα τυλίγματα του στάση, που τα τυλίγματα πρέπει να είναι για τριφασικό σύστημα και να απέχουν μεταξύ τους 120° ηλεκτρικές μοίρες, τροφοδοτούνται με τριφασικό σύστημα όπου τα ρεύματά του έχουν το ίδιο πλάτος αλλά διαφορά φάσης μεταξύ τους 120° . Τότε θα έχουμε στο διάκενο της μηχανής την δημιουργία ενός στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου με σταθερό πλάτος. Τα ρεύματα που κυκλοφορούν στα τυλίγματα έχουν τιμή :

$$i_{aa'}(t) = I_m \sin \omega t$$

$$i_{bb'}(t) = I_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$i_{cc'}(t) = I_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

Ο δείκτης aa' δηλώνει την κατεύθυνση του ρεύματος.



Σχήμα 3.4

(α) Ένας απλός τριφασικός στάτης. Θεωρείται ότι τα ρεύματα των αγωγών του εισέρχονται από τα μη τονούμενα άκρα των συστάδων του και εξέρχονται από τα τονούμενα. Ακόμη φαίνονται οι εντάσεις των πεδίων που παράγει η κάθε συστάδα. (β) Η ένταση μαγνητικού πεδίου $H_{aa'}(t)$ που παράγει το ρεύμα της συστάδας aa' .

Το μαγνητικό πεδίο θα είναι:

$$H_{aa'}(t) = H_m \sin \omega t \quad \angle 0^\circ$$

$$H_{bb'}(t) = H_m \sin(\omega t - 120^\circ) \quad \angle 120^\circ$$

$$H_{cc'}(t) = H_m \sin(\omega t - 240^\circ) \quad \angle 240^\circ$$

Όπου το όρισμα είναι η γωνία που σχηματίζετε από το διάνυσμα του ρεύματος με την διεύθυνση αναφοράς. Την φορά του H μπορούμε να την βρούμε από τον κανόνα του δεξιού χεριού, που λέει ότι άμα τα δάχτυλά μας (του δεξιού χεριού) πάρουν την φορά του ρεύματος τότε ο αντίχειρας θα μας δείχνει την φορά της έντασης του μαγνητικού πεδίου.

Αν πάρουμε υπόψη μας την σχέση της μαγνητικής επαγωγής $B = \mu H$ θα έχουμε :

$$B_{aa'}(t) = B_m \sin \omega t \angle 0^\circ$$

$$B_{bb'}(t) = B_m \sin(\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ$$

$$B_{cc'}(t) = B_m \sin(\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ$$

Όπου το $B_m = \mu H_m$.

Το παραπάνω υποδηλώνει ότι η μαγνητική επαγωγή έχει εναλλαγές αναλόγως την γωνία που βρίσκεται.

3.3.2. ΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΟΣ ΤΙΜΗ

Με όλα τα παραπάνω μπορούμε να μελετήσουμε τι γίνεται με την τάση εξ επαγωγής.

Έστω ότι έχουμε έναν υποτυπώδες κινητήρα τριφασικό, δηλαδή με τρία τυλίγματα στον στάτη, και εφαρμόζουμε σε αυτά τάση. Ο δρομέας θα πρέπει να είναι αντίστοιχος. Εδώ για λόγους ευκολίας θα κάνουμε την ανάλυσή μας για μία σπείρα (αγωγό) στον δρομέα.

Έχουμε την δημιουργία στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου στο διάκενο της μηχανής και έτσι έχουμε εξ επαγωγής δημιουργία τριφασικής τάσης.

Τώρα έχουμε την διαφορά ότι το μαγνητικό πεδίο είναι ημιτονοειδές και ο δρομέας είναι ακίνητος, το αντίθετο από ότι είδαμε στις μέχρι τώρα μηχανές που αναλύαμε. Η μαγνητική επαγωγή στο διάκενο της μηχανής παίρνει την μορφή :

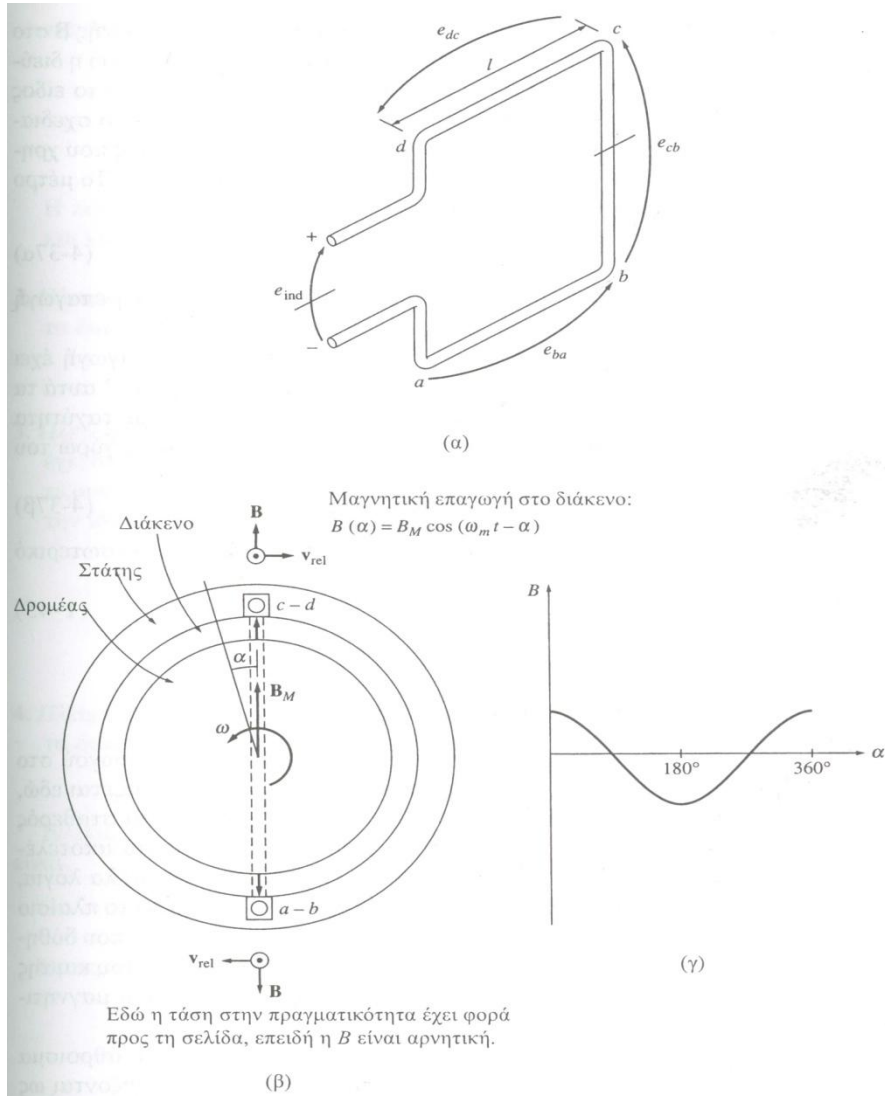
$$B = B_m \cos a$$

Η μαγνητική επαγωγή στον δρομέα θα είναι :

$$B = B_m \cos (\omega t - a)$$

Η τάση στα άκρα του δρομέα θα είναι :

$$e = (v B) l$$



Σχήμα 3.5

Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του δρομέα στο εσωτερικό ακίνητου στάτη.

(α) Συστάδα αγωγών του στάτη. (β) Τα διανύσματα των μαγνητικών επαγωγών στις πλευρές της συστάδας και οι ταχύτητες της κάθε πλευράς.

Αναφορά της κίνησης ορίζεται ο δρομέας που θεωρείται ακίνητος. (γ) Η κατανομή της μαγνητικής επαγωγής στο διάκενο.

Έτσι όπως και πριν το v είναι η ταχύτητα του αγωγού, B η μαγνητική επαγωγή πεδίου και το l είναι το μήκος του αγωγού. Σε κάθε πλευρά του αγωγού θα έχουμε και διαφορετική τάση που εφαρμόζεται λόγω των διαφορετικών γωνιών που έχει ο αγωγός με το μαγνητικό πεδίο. Έτσι στην πλευρά ab θα έχουμε γωνία 180° με το πεδίο και η τάση παίρνει τιμή

$$e_{ab} = - (v B_m) \cos (\omega t - 180^\circ) l$$

το πλην υποδηλώνει ότι έχει αντίθετη πολικότητα με την προσχεδιασμένη καθώς η κατεύθυνσή του θα είναι προς τα έξω.

Στις πλευρές bc , da , όπως και τις προηγούμενες φορές στις μηχανές, που είναι παράλληλες με το μαγνητικό πεδίο δηλαδή δεν έχουμε τάση. Όποτε στην πλευρά cd θα έχουμε, αφού η γωνία που έχει με το πεδίο είναι 90° :

$$e_{cd} = - (v B_m) l \cos \omega_m t$$

με κατεύθυνση προς τα έξω. Η συνολική τάση στον αγωγό θα είναι

$$e_{ind} = - (v B_m) \cos (\omega t - 180^\circ) l + (v B_m) l \cos \omega_m t$$

όμως από την τριγωνομετρία έχουμε $\cos a = - \cos (a - 180^\circ)$ θα έχουμε

$$e_{ind} = (v B_m) l \cos \omega_m t + (v B_m) l \cos \omega_m t$$

$$e_{ind} = 2 (v B_m) l \cos \omega_m t$$

Αντικαθιστώντας την ταχύτητα του αγωγού $v = r \omega_m$ και ότι η μαγνητική ροή είναι $\varphi = 2 r B_m l$ η σχέση της τάσης θα γίνει :

$$e_{ind} = \varphi \omega \cos (\omega t)$$

Έχοντας όμως υπόψη ότι ο δρομέας έχει παραπάνω από μία σπείρες, οι σπείρες N_c του δρομέα, τότε η προηγούμενη σχέση θα γίνει:

$$e_{ind} = N_c \varphi \omega \cos (\omega t)$$

Λόγω του τριφασικού συστήματος και την ημιτονοειδή μορφή του με την εξάρτηση από τον χρόνο θα έχουμε για κάθε φάση :

$$e_{ind}(t) = N_c \varphi \omega \sin (\omega t)$$

$$e_{ind}(t) = N_c \varphi \omega \sin (\omega t - 120^\circ)$$

$$e_{ind}(t) = N_c \varphi \omega \sin (\omega t - 240^\circ)$$

Η ενεργός τιμή της θα είναι θα έχει την μορφή $E_{max} = N_c \varphi \omega$ και γνωρίζοντας ότι $\omega = 2\pi f$ θα γίνει $E_{max} = N_c \varphi 2\pi f$ και έτσι η ενεργός τιμή θα είναι για φασική τάση :

$$E_A = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N_c \varphi f$$

$$E_A = \sqrt{2}\pi N_c \varphi f$$

3.3.3. ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ, ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΡΟΠΗ ΕΞ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Στις μηχανές εναλλασσομένου ρεύματος έχουμε δύο μαγνητικά πεδία, ένα στον δρομέα και ένα στον στάτη, που ο συνδυασμός τους μας δίνει την ροπή στην μηχανή.

Για λόγους πάλι ευκολίας θα μελετήσουμε τα φαινόμενα αυτά σε μία υποτυπώδες μηχανή, ως δρομέα μία σπείρα και στάτη με ένα τύλιγμα. Η μαγνητική επαγωγή με βάση τον αρχικό τύπο είναι

$$B_s(\alpha) = B_s \sin(\alpha)$$

όπου B_s είναι το πλάτος του μέτρου της μαγνητική επαγωγής.

Η δύναμη υπολογίζετε από τον τύπο, αλλά για την μία πλευρά του αγωγού, σπείρας, και το επάνω άκρο του

$$F_1 = i(l * B)$$

και με τον παραπάνω τύπο της μαγνητικής επαγωγής έχουμε

$$F_1 = i(l * B_s \sin(\alpha))$$

με φορά προς τα πάνω, αριστερόστροφα.

Η ροπή μπορεί να υπολογιστεί με βάση τον τύπο που έχουμε χρησιμοποιήσει τώρα και είναι :

$$T_{ind1} = F * r$$

$$T_{ind1} = r * i * (l * B_S \sin(\alpha))$$

με ωρολογιακή φορά.

Τώρα στην άλλη πλευρά του αγωγού, την κάτω, θα έχουμε δύναμη της μορφής:

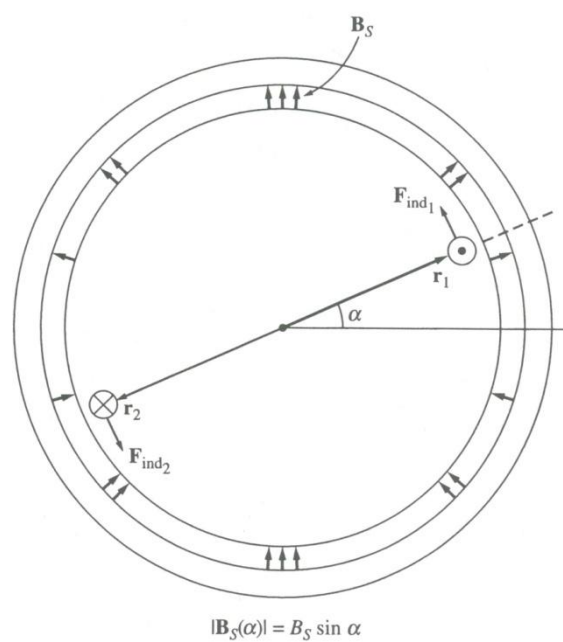
$$F_1 = i(l * B_S \sin(\alpha))$$

Και η ροπή αντίστοιχα θα είναι :

$$T_{ind2} = r * i(l * B_S \sin(\alpha)) \quad \text{με ωρολογιακή φορά.}$$

Η συνολική ροπή θα είναι η πρόσθεση και των δύο αυτών, δηλαδή :

$$T_{ind} = 2rilB_S \sin(\alpha) \quad \text{με δεξιόστροφη φορά.}$$



Σχήμα 3.6

Απλοποιημένη μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος με ημιτονοειδή κατανομή της μαγνητικής επαγωγής στο διάκενό της. Στο δρομέα της μηχανής είναι τοποθετημένο μόνο ένα αγώγιμο πλαίσιο.

3.4 ΑΠΟΔΟΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΗΣ

Η απόδοση της μηχανής θα είναι της μορφής κλάσματος

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\%$$

όπου η ισχύς εξόδου είναι η ισχύς εισόδου μαζί με τις απώλειες ($P_{out} = P_{in} + P_{loss}$).

Οι απώλειες μπορεί να είναι ηλεκτρικές απώλειες ή απώλειες χαλκού, απώλειες πυρήνα, απώλειες μηχανικές και οι κατανεμημένες απώλειες.

Οι απώλειες χαλκού είναι οι ωμικές απώλειες που μπορούν να εμφανιστούν και στον δρομέα και στον στάτη. Έτσι στον δρομέα θα είναι

$$P_{RC} = I_F^2 R_F$$

Όπου I_F το ρεύμα που διαρρέει κάθε τύλιγμα, και R_F η αντίσταση του κάθε τυλίγματος στον δρομέα.

Στον στάτη θα είναι :

$$P_{SC} = 3 I_A^2 R_A$$

Που αντίστοιχα το I_A είναι το ρεύμα που διαρρέει κάθε τύλιγμα του στάτη και R_A η αντίσταση του κάθε τυλίγματος στον στάτη.

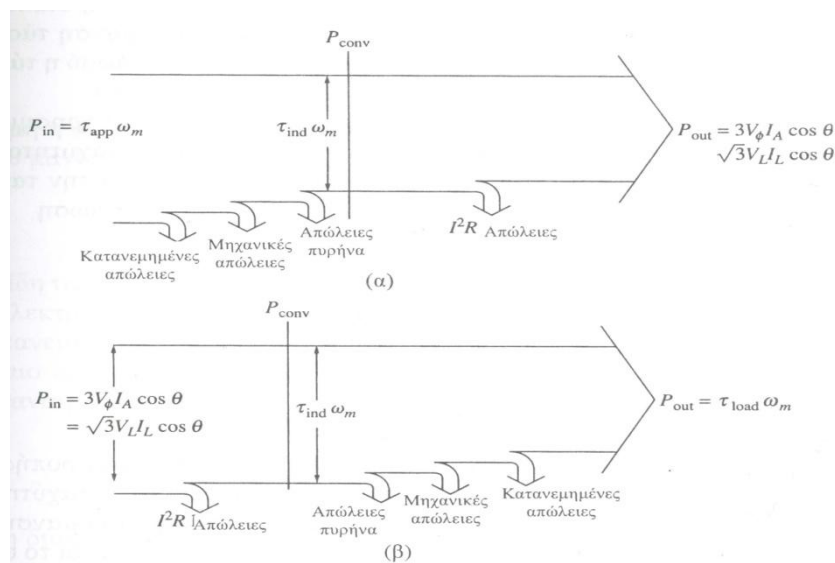
Οι απώλειες πυρήνα είναι οι απώλειες που εμφανίζονται λόγω υστερήσεως και δινορρευμάτων στον πυρήνα λόγω του μαγνητικού πεδίου. Αυτές εξαρτώνται από την μαγνητική ροή (B^2) και από την δύναμη περιστροφής του μαγνητικού πεδίου ($n_{1,5}$)

Οι μηχανικές απώλειες είναι οι απώλειες που εμφανίζονται στην μηχανή λόγω των τριβών και του εξαερισμού. Οι τριβές είναι από τα μέρη που τρίβονται στην μηχανή και δημιουργούν απώλειες και ο

εξαερισμός είναι οι απώλειες ανάμεσα στα κινούμενα μέρη της μηχανής που τρίβονται με τον αέρα, μέσα στην μηχανή. Οι απώλειες αυτές μεταβάλλονται ανάλογα με την ταχύτητα. Μαζί με τις απώλειες πυρήνα αποτελούν τις απώλειες περιστροφής εν κενώ. Όταν η μηχανή λειτουργεί εν κενό τότε ως φορτίο της μπορούν να θεωρηθούν ως φορτίο αυτές οι απώλειες.

Κατανεμημένες απώλειες είναι οι απώλειες που δεν μπορούν να ενταχθούν σε αυτές τις κατηγορίες και υπολογίζονται ως ένα ποσοστό 1% από το πλήρες φορτίο.

Αυτές οι απώλειες για περισσότερη κατανόηση για το που εμφανίζονται παραθέτουμε ένα μπλοκ διάγραμμα ισχύος.



Σχήμα 3.7

(α) Διάγραμμα ροής ισχύος τριφασικής γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος (β) Διάγραμμα ροής ισχύος τριφασικού κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο:

ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ **(ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ)**

Οι επαγωγικοί (ασύγχρονοι) κινητήρες είναι οι πιο διαδεδομένοι κινητήρες επειδή είναι αξιόπιστοι, έχουν εύκολη συντήρηση και έχουν εύκολη και οικονομική κατασκευή.

Οι κινητήρες αυτοί μπορούν να έχουν τριφασική ή μονοφασική τροφοδότηση. Οι τριφασικοί κινητήρες έχουν ισχύς από 0,3 KW ως μερικά MW και έχουν βιομηχανική χρήση. Οι μονοφασικοί είναι για μικρότερες ισχύεις και χρησιμοποιούνται όπου δεν έχουμε 3Φ τάση.

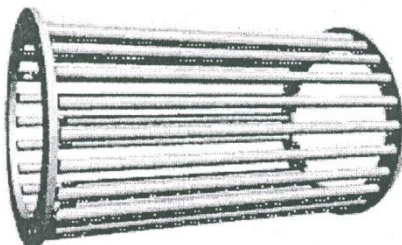
Στους κινητήρες αυτούς το εναλλασσόμενο ρεύμα τροφοδοτεί τα τυλίγματα του στάτη ενώ τα τυλίγματα του δρομέα τροφοδοτούνται με ρεύμα από επαγωγή από του στάτη (λόγω του μαγνητικού πεδίου). Γι' αυτό και λέγονται και επαγωγικοί κινητήρες (εξ επαγωγής).

4.1. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Ο στάτης είναι σταθερός από σιδηρομαγνητικό κλίμα από ελάσματα. Το τύλιγμα του είναι τοποθετημένο σε αυλάκια στο εσωτερικό του.

Ο δρομέας είναι και αυτός από σιδηρομαγνητικό υλικό με αυλάκια στο εξωτερικό του. Μπορούμε να συναντήσουμε δύο τύπους δρομέα: α) τύπου κλωβού ή βραχυκυκλωμένου κλωβού και β) τυλιγμένου δρομέα.

Ο δρομέας κλωβού είναι ράβδοι αλουμινίου ή χαλκού τοποθετημένοι μέσα στα αυλάκια του δρομέα και τα άκρα τους καταλήγουν σε δύο διαφορετικά δαχτυλίδια αλουμινίου ή χαλκού.



Σχήμα 4.1

Κλωβός δρομέα επαγωγικού κινητήρα.

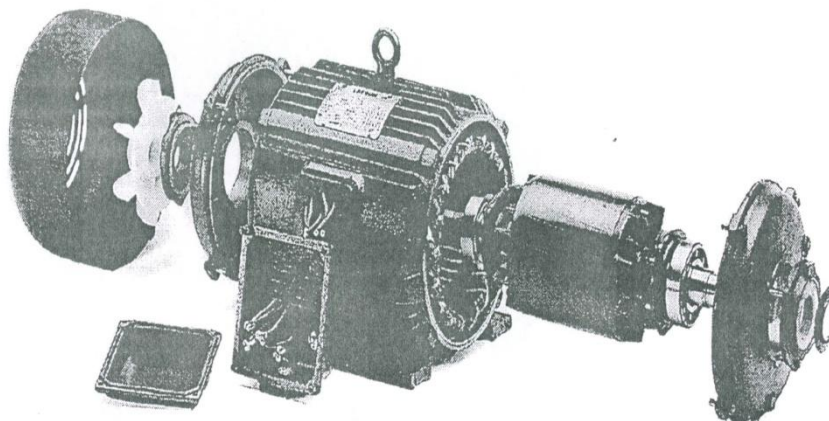
Ο τυλιγμένος δρομέας αποτελείται από τρία τυλίγματα σε αστέρα ή τρίγωνο και οι ακροδέκτες των τυλιγμάτων καταλήγουν σε δακτυλίους και αυτοί με την σειρά τους με τις ψήκτρες.



Σχήμα 4.2

Τμήμα τυλιγμένου δρομέα επαγωγικού κινητήρα. Αριστερά φαίνονται οι τρεις δακτύλιοι ολίσθησης και επάνω δεξιά τα αυλάκια του δρομέα και μέρος των τυλιγμάτων του. Brook Crompton Parkinson Ltd.

Μια απεικόνιση ενός ασύγχρονου κινητήρα είναι η εξής:

**Σχήμα 4.3**

Τριφασικός επαγωγικός κινητήρας. Από αριστερά, διακρίνονται το κάλυμα του ανεμιστήρα, ο ανεμιστήρας, οπίσθιο κάλυμα κινητήρα, ο στάτης με πυρήνα και τυλίγματα, ο δρομέας τύπου κλωβού, οι ένσφαιροι τριβείς και από τις δυο πλευρές του δρομέα, η άτρακτος και το εμπρόσθιο κάλυμα. Στο σώμα του κινητήρα υπάρχουν πτερύγια ψύξης, κιβώτιο σύνδεσης και πινακίδα χαρακτηριστικών. Leeson.

4.2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΝΤΙΗΛΕΚΤΡΕΓΕΡΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ (ΑΗΕΔ) ΚΑΙ ΡΟΠΗΣ

Του στάτη τον διαπερνά το ρεύμα τροφοδότησης που εξ επαγωγής έχουμε τάση και στον δρομέα. Η τάση αυτή δημιουργεί ένα ρεύμα στα τυλίγματα του δρομέα.

Η ροπή δημιουργείται από την κίνηση ρευματοφόρων αγωγών του δρομέα μέσα στο μαγνητικό πεδίο του στάτη.

4.3. ΟΛΙΣΘΗΣΗ

Ο στάτης τροφοδοτούμενος από τριφασικό ρεύμα δημιουργεί ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο με ταχύτητα (σύγχρονη ταχύτητα).

$$n_s = \frac{120f}{P}$$

Ο δρομέας περιστρέφεται με διαφορετική ταχύτητα από την σύγχρονη. Αν περιστρεφόταν με την σύγχρονη τότε δεν θα είχαμε τάση από επαγωγή και δεν θα διαρρέονταν από ρεύμα, έτσι περιστρέφεται με μια ταχύτητα λίγο μικρότερη από την σύγχρονη. Η διαφορά αυτή των δύο, της σύγχρονης και του δρομέα, λέγεται ταχύτητα ολίσθησης.

$$N_{slip} = ns - n_{\mu\eta\chi} \text{ [rpm]}$$

Ως ολίσθηση ορίζεται το ποσοστό των ταχυτήτων και είναι:

$$s = \frac{n_{slip}}{n_s} = \frac{n_s - n_{\mu\eta\chi}}{n_s} = 1 - \frac{n_{\mu\eta\chi}}{n_s} < 1$$

Η τιμή της ολίσθησης θα είναι μικρότερη της μονάδος. Η ολίσθηση θα πάρει την τιμή 1 μόνο κατά την εκκίνηση, αφού η ταχύτητα του δρομέα θα είναι ανύπαρκτη.

Οι στροφές στον δρομέα (μηχανικές στροφές) είναι:

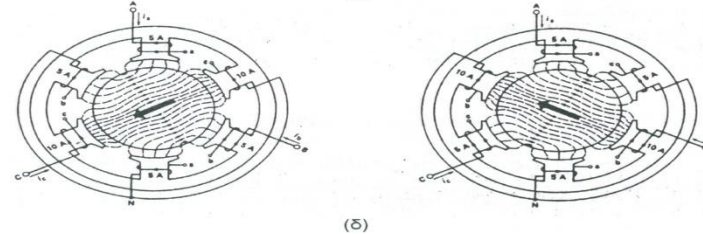
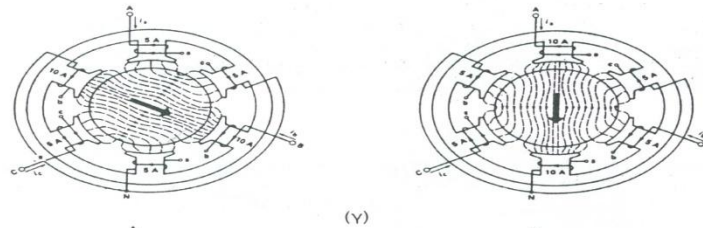
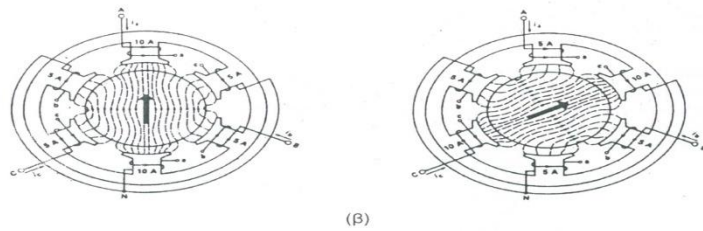
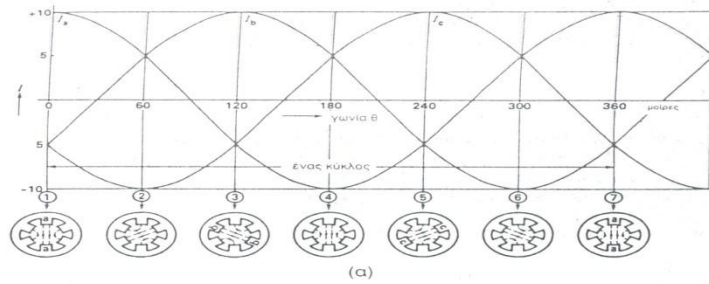
$$n_{\mu\eta\chi} = (1-s)n_s$$

και η γωνιακή ταχύτητα αντίστοιχα:

$$\omega_{\mu\eta\chi} = (1-s)\omega_s = (1-s)\frac{4\pi f}{P}$$

4.4. ΤΑΣΗ ΕΞ ΕΠΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟΝ ΔΡΟΜΕΑ

Με τα τριφασικά τυλίγματα του στάτη δημιουργείται περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο το οποίο εικονίζεται ως εξής:



Σχήμα 4.4

Ρεύματα και πεδίο επαγωγικού 3Φ κινητήρα 2 μαγνητικών πόλων. (α) Ρεύματα στα τυλίγματα του στάτη. (β) Η ροή για τα ρεύματα 1 και 2 του Σχ.7-9α. (γ) Η ροή για τα ρεύματα 3 και 4 του Σχ.7-9α. (δ) Η ροή για τα ρεύματα 5 και 6 του Σχ.7-9α. Οι ακροδέκτες a-a, b-b και c-c στα σχήματα ταυτίζονται (είναι βραχυκυκλωμένοι).

Αν η συνισταμένη ροή γραφτεί σαν στρεφόμενο διάνυσμα, με την υπόθεση ότι τα διανυσματικά μεγέθη περιστρεφόμενα με την σύγχρονη ταχύτητα, έχουμε:

$$\phi_s = \phi_{s,m} e^{i\omega_s t}$$

όπου $\phi_{s,m}$ η μέγιστη ροή λόγω του ρεύματος στάτη.

Επειδή υπάρχει η διαφορά στην ταχύτητα δρομέα και στάτη (σύγχρονη) μπορεί να γραφτεί αυτή η ταχύτητα ως εξής:

$$\omega_s - \omega_{\mu\eta\chi} = \omega_s - (1-s)\omega_s = s\omega_s$$

Η ροή για την τάση από επαγωγή είναι:

$$\phi_{s,r} = \phi_{s,m} e^{is\omega_s t}$$

Η τάση επαγωγής στον δρομέα σύμφωνα με την ολίσθηση θα είναι:

$$e_2 oc \frac{d}{dt} e^{is\omega_s t} = s\omega_s e^{is\omega_s t} oc sf_1 e^{i2\pi\phi t}$$

Και ο δείκτης 1 αναφέρεται στον στάτη και το 2 στον δρομέα.

Η συχνότητα της επαγωγμένης τάσης στον δρομέα δεν είναι ίση με την τάση τροφοδοσίας αλλά εξαρτάται από την ολίσθηση:

$$F_2 = sf_1$$

Η F_2 είναι η συχνότητα ολίσθησης.

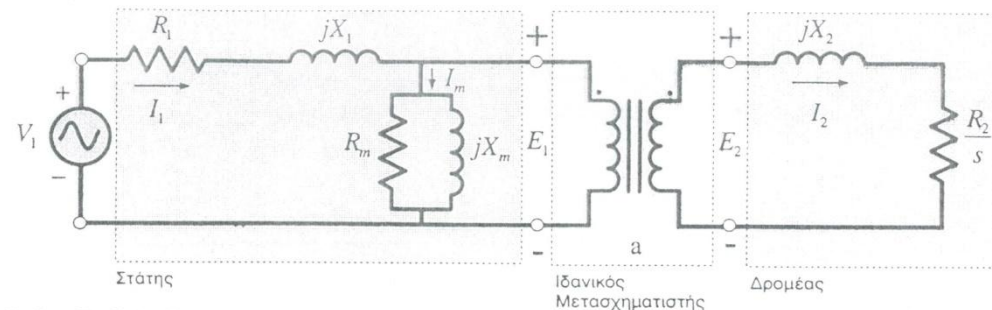
Αν η τάση που επάγεται όταν ο δρομέας είναι ακίνητος E_2 , και όταν κινείται $E_{κ,π}$, τότε ο λόγος του θα μου δώσει την σχέση:

$$\frac{E_2}{E_{2,\pi}} = \frac{1}{s} \rightarrow E_{2,\pi} = sE_2$$

Παρατηρούμε ότι η επαγωγμένη τάση του δρομέα ελαττώνεται όσο τείνει το s να γίνει μηδέν. Ακόμα οι τάσεις μηδενίζονται όταν ο κινητήρας στρέφεται με την σύγχρονη ταχύτητα. Ενώ είναι μέγιστη όταν είναι ακίνητος ο κινητήρας.

4.5. ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Το ισοδύναμο κύκλωμα του ασύγχρονου κινητήρα είναι το εξής:



Σχήμα 4.5

Ισοδύναμο κύκλωμα μιας φάσης επαγωγικού κινητήρα.

όπου F_m είναι οι απώλειες ισχύος του πυρήνα και X_m η αντίδραση μαγνήτισης. Η R_2 στον δρομέα συμπεριλαμβάνει και την εξωτερική

αντίσταση με την οποία βραχυκυκλώνονται τα τυλίγματα των τυλιγμένων δρομέων.

Ο λόγος μετασχηματισμού με δρομέα κλωβού είναι αφού έχει πολλά κοινά σημεία με έναν μετασχηματιστή ο κινητήρας.

$$a = \nu \frac{m_1 k_{w1} N_1}{m_2 k_{w2} N_2}$$

όπου N_1 , N_2 είναι ο αριθμός τυλιγμάτων φάσης στάτη και δρομέα αντίστοιχα, ακόμα K_{w1} , K_{w2} είναι συντελεστές τυλιγμάτων στάτη και δρομέα αντίστοιχα και τέλος m_1 ο αριθμός φάσεων στάτη και m_2 ο αριθμός αγώνων ανά ζεύγος.

Στον κινητήρα με τυλιγμένο δρομέα ο λόγος μετασχηματισμού είναι:

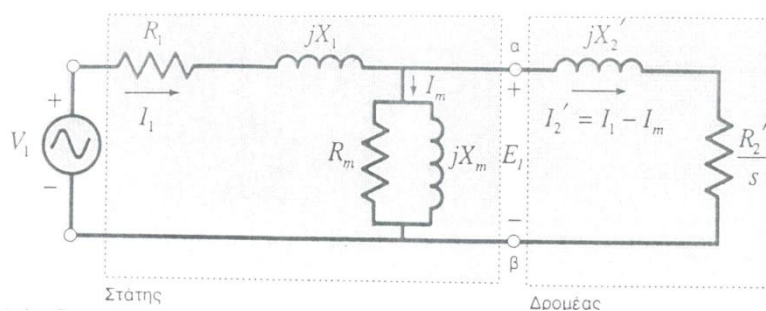
$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

Οι ισοδύναμες αντιστάσεις και αντιδράσεις ανοιγμένες στο πρωτεύον με την βοήθεια του λόγου μετασχηματισμού γίνεται:

$$X'_2 = a^2 X_2$$

$$R'_2 = a^2 R_2$$

Το ισοδύναμο κύκλωμα γίνεται ως προς τον στάτη (πρωτεύον) ανοιγμένο είναι:



Σχήμα 4.6

Ισοδύναμο κύκλωμα μιας φάσης επαγωγικού κινητήρα ανοιγμένο στο στάτη.

4.6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΩΝ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

Η ισχύς εισόδου ανά φάση είναι:

$$P_{i\phi} = V_i I_i \cos(\angle V_i I_i)$$

Η συνολική ισχύς εισόδου:

$$P_{3\phi} = V_i I_i \cos(\angle V_i I_i)$$

Οι ωμικές απώλειες στάση υπολογίζονται:

$$P_{a,\eta\lambda,t} = 3I_t^2 P_t$$

Οι απώλειες πυρήνα υπολογίζονται:

$$P_{\alpha, \text{πυρ}} = 3 \frac{V_1^2}{R_m}$$

όπου R_m γιατί σύμφωνα με το ισοδύναμο κύκλωμα οι απώλειες πύρινα είναι μικρές και έτσι θεωρούνται αμελητέες και υπολογίζονται μόνο από την αντίσταση R_m .

Οι απώλειες διακένου είναι:

$$P_{\text{διακ}} = 3I_2^2 \frac{2P'_2}{s}$$

Ακόμα οι ωμικές απώλειες δρομέα είναι:

$$P_{\alpha, \eta\lambda, 2} = 3I_2'^2 P'_2 = sP_{\text{διακ}}$$

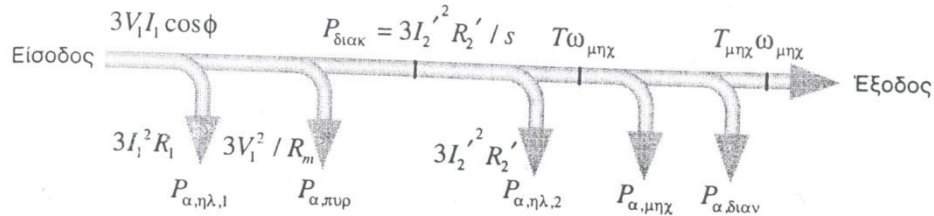
Η μετατρεπόμενη μηχανική ισχύς είναι:

$$T\omega_{\text{μηχ}} = P_{\text{διακ}} - P_{\alpha, \eta\lambda, 2} = 3I_2'^2 P'_2 \left(\frac{1-s}{2} \right) = (1-s)P_{\text{διακ}}$$

Η ροπή μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$T = \frac{P_{\text{διακ}}}{\omega_s}$$

Με όλα τα παραπάνω θα ήταν εύκολο στην κατανόηση αν χαράζαμε το διάγραμμα ροής ισχύος.



Σχήμα 4.7

Διάγραμμα ροής ισχύος σε επαγωγικό κινητήρα

4.7. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

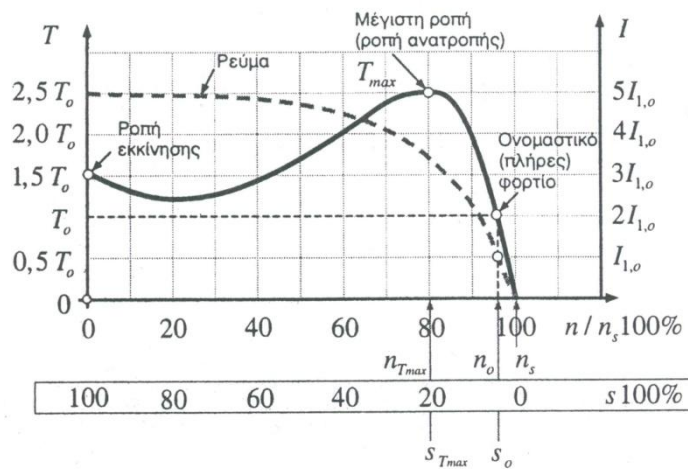
Με τους παραπάνω τύπους θα είναι εύκολο να υπολογίσουμε τον συντελεστή απόδοσης του κινητήρα, ο οποίος θα έχει ως εξής:

$$n_x = \frac{T_{μηχ} \omega_{μηχ}}{3V_1 I_1 \cos \phi} = \frac{T_{μηχ} \omega_{μηχ}}{T_{μηχ} \omega_{μηχ} + P_{\alpha, \eta\lambda, 1} + P_{\alpha, \eta\lambda, 2} + P_{\alpha, \pi\upsilon\rho} + P_{\alpha, \mu\eta\chi} + P_{\alpha, \delta\iota\alpha\nu}}$$

4.8. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ

Με τις χαρακτηριστικές μπορούμε να δούμε με αριθμούς αλλά και γραφικά πως συμπεριφέρεται ο κινητήρας μας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η χαρακτηριστική ροπής και στρωφών, όπου βλέπουμε τι ροπή θα εμφανίσει ο κινητήρας σε συγκεκριμένες στρώφές του.

Αν ακόμα μπορέσουμε και συνδυάσουμε χαρακτηριστικές τότε ακόμα καλύτερα και θα βγάλουμε καλύτερα συμπτώματα για τον εξεταζόμενο κινητήρα. Στην χαρακτηριστική ρεύματος-στροφών βλέπουμε την απόκτηση ρεύματος ανά στροφές στον κινητήρα.



Σχήμα 5.8

Χαρακτηριστική ροπής-στροφών και ρεύματος-στροφών επαγωγικού κινητήρα.

Στην χαρακτηριστική βλέπουμε την μέγιστη ροπή στην μέγιστη ολίσθηση, όπως την είχαμε υπολογίσει λίγο παραπάνω.

4.9. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΡΟΦΩΝ

Όπως είπαμε και πριν με τις χαρακτηριστικές οι στροφές στον κινητήρα είναι σημαντικό μέγεθος και ελέγχοντας αυτές, ελέγχεις τον κινητήρα πλήρως. Αυτό μπορεί να γίνει:

- α) Με μεταβολή συχνότητα τροφοδοσίας.
- β) Με μεταβολή συχνότητας και κρατώντας σταθερό τον λόγο τάσης-συχνότητας τροφοδοσίας.
- γ) Με μεταβολή τάσης τροφοδοσίας.

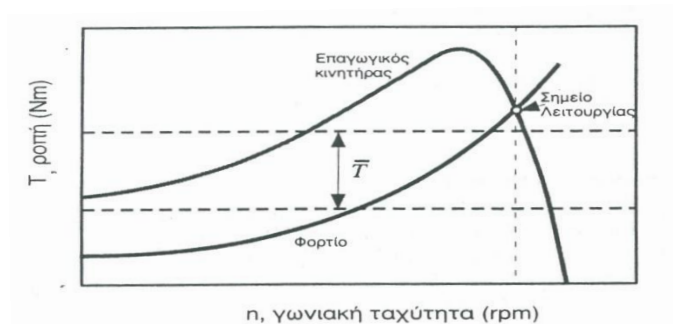
4.10. ΕΚΚΙΝΗΣΗ

Κατά την εκκίνηση το ρεύμα μπορεί να φτάσει στιγμιαία ως και 4-5 φορές μεγαλύτερο του ονομαστικού καθώς και η ροπή ως 1-2,5 φορές της ονομαστικής.

Για να γίνει εκκίνηση του κινητήρα θα πρέπει η χαρακτηριστική του κινητήρα να είναι μεγαλύτερη του φορτίου σε καθοδόν στροφές. Σημαντικό είναι ακόμα και το σημείο λειτουργίας, όπου είναι η τομή των δύο αυτών χαρακτηριστικών και προσδιορίζει την ευστάθεια του κινητήρα. Ο χρόνος που θα χρειαστεί να εκκινήσει ο κινητήρας υπολογίζεται:

$$t_{0-\omega_{μηχ}} = \frac{J_{I\sigma}}{T} \omega_{μηχ} \frac{J_{I\sigma}}{T} (1-s)\omega\chi$$

όπου T η μέση διαφορά ροπής του κινητήρα και του φορτίου.



Σχήμα 4.9

Κατά προσέγγιση υπολογισμός του χρόνου εκκίνησης.

Οι μέθοδοι που μπορούμε να συναντήσουμε για την εκκίνηση του κινητήρα είναι:

- α) Εκκίνηση με αστέρα-τρίγωνο ή με μειωμένη τάση τυλίγματος. Έτσι έχουμε κατά αστέρα ή ροπή και το ρεύμα να είναι ίσο με το 1/3 κοντά τρίγωνο στα αντίστοιχα μεγέθη.
- β) Εκκίνηση με ηλεκτρονικό ρυθμιστή τάσης.
- γ) Εκκίνηση με οδήγηση μεταβλητών συχνότητας.
- δ) Εκκίνηση με εξωτερικούς ροοστάτες, μόνο στους κινητήρες με τυλιγμένο δρομέα.
- ε) Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.

4.11. ΠΕΔΗΣΗ

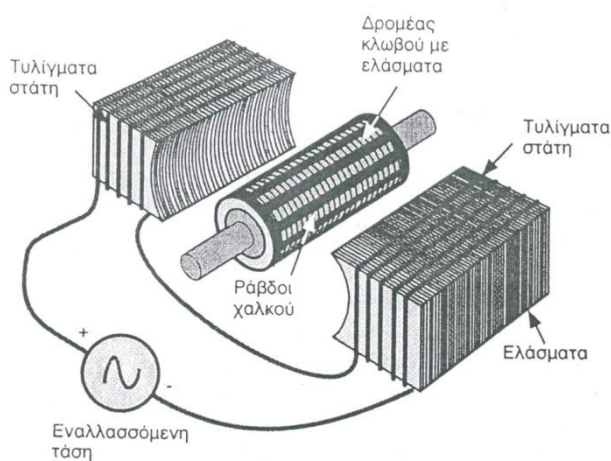
Πέδηση είναι ουσιαστικά το σταμάτημα του κινητήρα. Αυτή είναι απαραίτητη για ορισμένους τύπους κινητήρων, όπως για τα ανυψωτικά μηχανήματα. Οι τρόποι πέδησης είναι:

- α) *Μηχανική πέδηση*. Είναι η ηλεκτρομηχανική πέδηση του κινητήρα που είναι στην άτρακτο εξωτερικά αυτού.
- β) *Εναλλαγή δύο φάσεων*. Κατά την εναλλαγή των δύο φάσεων στον κινητήρα δημιουργείτε αντίθετο στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο και έτσι σταματάει ο κινητήρας. Φυσικά όταν έχουμε μηδενικές στροφές πρέπει να κάνουμε αποσύνδεση του κινητήρα. Σε αυτή την μέθοδο έχουμε μεγάλη θερμική καταπόνηση του κινητήρα.

γ) Πέδηση με συνεχές (DC) ρεύμα. Τότε αποσυνδέουμε την εναλλασσόμενη τροφοδότηση του κινητήρα και τον τροφοδοτούμε από πηγή συνεχούς τάσης. Έτσι έχουμε την δημιουργία ακίνητων μαγνητικών πόλων και περιστροφή του δρομέα με ροπή πέδησης. Στην ουσία ο κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια, αλλά δεν έχουμε μεγάλες θερμικές απώλειες.

4.12. ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

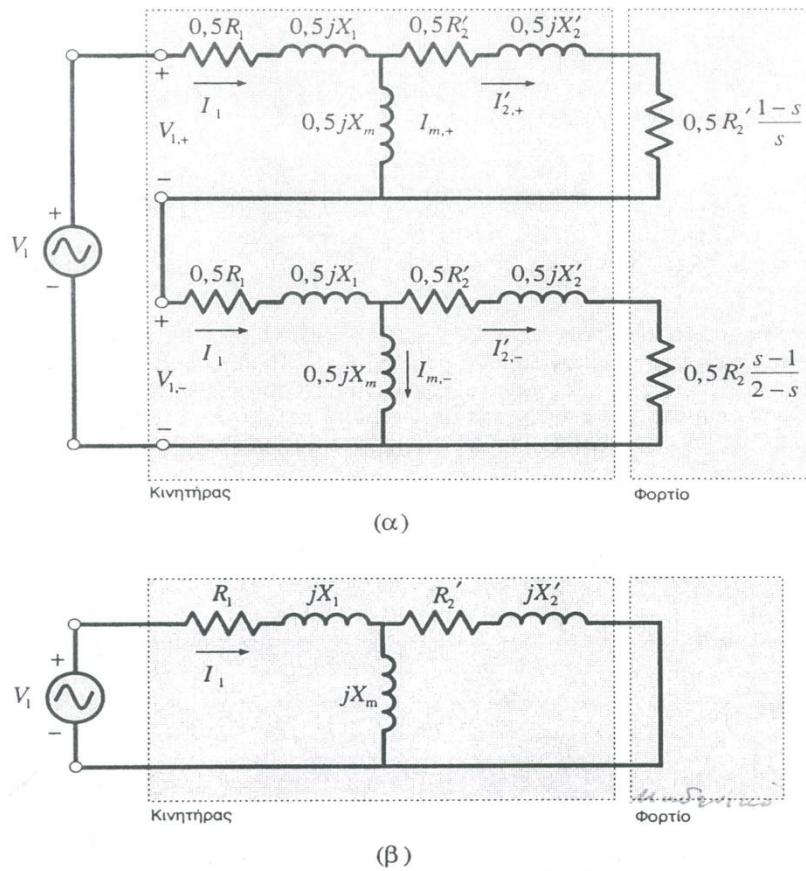
Αυτοί οι κινητήρες είναι κυρίως για τις οικιακές συσκευές. Η κατασκευή τους είναι απλή αλλά λόγω του ότι δεν μπορούν να δημιουργήσουν εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο για την κίνηση του δρομέα χρησιμοποιείται βοηθητικό τύλιγμα για τον εκκινητή και έχει τον ίδιο αριθμό πόλων με το κύριο.



Σχήμα 5.10

Σχηματική απεικόνιση 1Φ επαγωγικού κινητήρα με δρομέα κλωβού.

Το ισοδύναμο κύκλωμα του μονοφασικού ασύγχρονου κινητήρα είναι παρόμοιο με του τριφασικού. Είναι δύο κόρες του 3φ για την μια φορά θετική και αρνητική περισσότερη του κινητήρα.



Σχήμα 4.11

(α) Ισοδύναμο κύκλωμα 1Φ επαγωγικού κινητήρα. Το επάνω κύκλωμα αντιστοιχεί στο θετικά περιστρεφόμενο πεδίο ενώ το κάτω κύκλωμα στο πεδίο που στρέφεται αντίθετα. (β) Ισοδύναμο κύκλωμα που προκύπτει όταν ο δρομέας ακινητεί ($s=1$).

4.12.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΥ ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Η ισχύς εισόδου δεν θα μπορούσε να είναι άλλη:

$$P_{in} = P_{1\phi} = V_1 I_1 \cos \phi$$

Ενώ το ρεύμα εισόδου είναι:

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_\omega} = \frac{V_1}{R_1 + R_+ + R + j(X_1 + X_+ + X_-)}$$

όπου οι δείκτες συν (+) και πλην (-) είναι για τον θετικό και αρνητικό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του κινητήρα αντίστοιχα. Η ισχύς διακένου θα υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{\text{διαχ}^+} = 0.5 \frac{I'_{2,+} 2P'_2}{s} = I_1^2 R_+$$

Όμοια είναι και για το αρνητικό μαγνητικό πεδίο.

Η συνολική ισχύς διακένου βρίσκεται:

$$P_{\text{διαχ}} = P_{\text{διαχ},+} + P_{\text{διαχ},-} = I_1^2 + (P_+ + P_-)$$

Οι ωμικές απώλειες στον στάτη είναι:

$$P_{\alpha,\eta\lambda,1} = I_1^2 P_1$$

ενώ στον δρομέα θα είναι:

$$P_{\alpha,\eta\lambda,2} = 0,5(I_{2,+}^2 R_2' + I_{2,-}^2 R_2') = sP_{\delta\alpha\kappa,+} + (2-s)P_{\delta\alpha\kappa,-}$$

Η ροπή κατά τα θετικά περιστρεφόμενα πεδία είναι:

$$T = \frac{P_{\delta\alpha\kappa,+}}{\omega s} = \frac{0,5I_{2,+}^2 P_2'}{s\omega_s}$$

Ενώ στο αρνητικό πεδίο

$$T = \frac{P_{\delta\alpha\kappa,-}}{\omega s} = \frac{0,5I_{2,-}^2 P_2'}{(2-s)\omega_s}$$

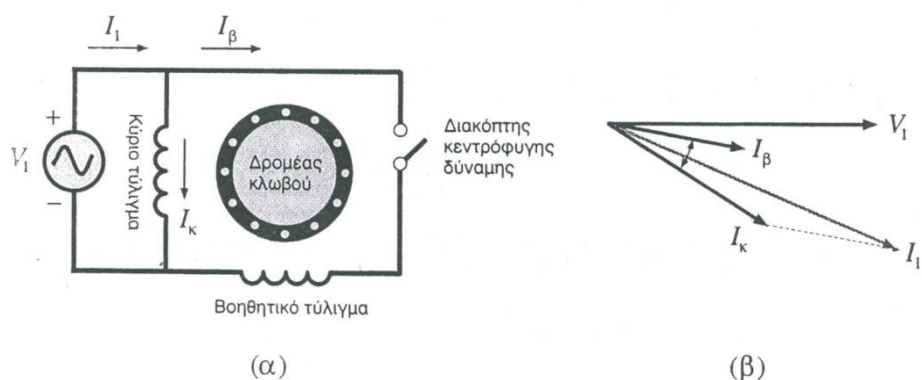
Η συνολική ηλεκτρομαγνητική ροπή υπολογίζεται:

$$T = T_+ - T_- = \frac{P_{\delta\alpha\kappa,+} - P_{\delta\alpha\kappa,-}}{\omega_s} = \frac{0,5R_2'}{\omega_s} \left(\frac{I_{2,+}^2}{s} - \frac{I_{2,-}^2}{(2-s)} \right)$$

Ο συντελεστής απόδοσης θα είναι:

$$\eta_\chi = \frac{T_{\mu\eta\chi} \omega_{\mu\eta\chi}}{V_1 I_1 \cos \phi} = \frac{T_{\mu\eta\chi} \omega_{\mu\eta\chi}}{T_{\mu\eta\chi} \omega_{\mu\eta\chi} + P_{\alpha,\eta\lambda,1} + P_{\alpha,\eta\lambda,2} + P_{\alpha,\pi\upsilon\rho} + P_{\alpha,\mu\eta\chi} + P_{\alpha,\delta\alpha\kappa}}$$

Ακόμα μπορούμε να παραθέσουμε και το μπλοκ διάγραμμα ροής ισχύος με όλες τις απώλειες και ισχύς του κινητήρα και με τις απώλειες περιστροφής που είναι οι απώλειες πυρήνα, μηχανικές απώλειες και τις διανεμημένες απώλειες.



Σχήμα 4.12

- (α) Κυκλωματικό διάγραμμα 1Φ επαγωγικού κινητήρα διαιρούμενης φάσης,
 (β) Διανυσματικό διάγραμμα τάσης τροφοδοσίας και ρευμάτων.

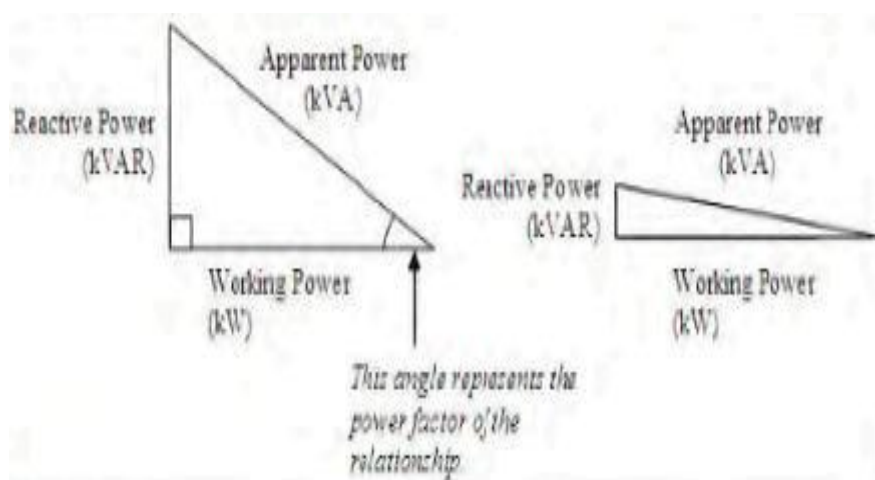
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο:

ΠΥΚΝΩΤΕΣ-ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΑΕΡΓΟΥ **ΙΣΧΥΟΣ**

5.1. ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΑΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ

Η αντιστάθμιση αέργου ισχύος βασίζεται στη διόρθωση του συνημιτόνου ($\cos\phi$), το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την βελτίωση του συντελεστή ισχύος ολόκληρης της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης μίας βιομηχανικής μονάδας. Αυτό έχει σαν συνέπεια την καλύτερη και οικονομικότερη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών της εγκατάστασης.

Ο συντελεστής ισχύος είναι το συνημίτονο της γωνίας που σχηματίζεται από την ισχύ λειτουργίας (apparent power) την πραγματική ισχύ (working power). Η άεργος ισχύς είναι η ισχύς που υπάρχει στο δίκτυο μας, δηλαδή την πληρώνουμε, αλλά δεν μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα αλλάζοντας τον συντελεστή ισχύος μειώνουμε αισθητά την άεργο ισχύ (reactive power).



Σχήμα 5.1

Τρίγωνο ισχύος μετά την μείωση του συντελεστή ισχύος.

Το μαγνητικό πεδίο, παρότι δεν παράγει έργο, για την δημιουργία του απαιτεί ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο πρέπει να παραχθεί από την ΔΕΗ. Το ρεύμα αυτό είναι η άεργη συνιστώσα η οποία όταν αθροιστεί διανυσματικά με την πραγματική συνιστώσα αποτελούν το συνολικό απορροφούμενο ρεύμα της εγκατάστασης. Τα ρεύματα αυτά μεταφέρουν την άεργο ισχύ που συντελεί στην δημιουργία των μαγνητικών πεδίων και την πραγματική ισχύ που μετατρέπεται σε χρήσι-

μο έργο από τις καταναλώσεις μίας εγκατάστασης. Το διανυσματικό άθροισμα των δύο αποτελεί την φαινόμενη ισχύ.

Η έννοια της άεργου ισχύος έχει στην πραγματικότητα να κάνει με ποσά ενέργειας που παλινδρομούν μεταξύ πηγής (ΔΕΗ) και ηλεκτρικής εγκατάστασης. Τα μαγνητικά πεδία μεταβάλλονται συνεχώς (επειδή το ρεύμα που τα δημιουργεί είναι εναλλασσόμενο) και εναλλάσσονται συνεχώς, στη φάση της δημιουργίας ή αύξησης της έντασης τους απορροφούν ηλεκτρική ενέργεια από την πηγή (ΔΕΗ), κατά τη μείωση της έντασης ή την κατάρρευση τους επιστρέφουν το ίδιο ποσό ενέργειας πίσω στην πηγή.

Σκοπός της αντιστάθμισης είναι η μείωση της άεργου ισχύος που απορροφά η εγκατάσταση από τη ΔΕΗ, έτσι ώστε η πραγματική ισχύς να πλησιάσει, όσο είναι αυτό δυνατόν, την φαινόμενη και άρα ο συντελεστής ισχύος να πλησιάσει την μονάδα.

Ένα "καλό" φορτίο παρουσιάζει τιμές του συντελεστή ισχύος κοντά στην μονάδα, δηλαδή από 0,95 έως 0,99 ενώ ένα "κακό" φορτίο παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές του $\cos\phi$.

Η αντιστάθμιση επιτυγχάνεται κυρίως με την χρήση πυκνωτών, που τοποθετούνται παράλληλα με τα επαγωγικά φορτία, έτσι ώστε η ενέργεια που είναι απαραίτητη για την δημιουργία των μαγνητικών τους πεδίων να μην παλινδρομεί μεταξύ ΔΕΗ και εγκατάστασης αλλά μεταξύ των πηνίων και των πυκνωτών της ίδιας εγκατάστασης. Οι πυκνωτές αντιστάθμισης δηλαδή παρέχουν στα πηνία την ενέργεια που χρειάζονται κατά τη φάση της δημιουργίας των μαγνητικών τους πεδίων και αποθηκεύουν την ενέργεια που επιστρέφουν τα πηνία όταν τα πεδία τους καταρρέουν για να τους δώσουν ξανά στον επόμενο κύκλο δημιουργίας-κατάρρευσης και πάει λέγοντας.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα-οφέλη που προκύπτουν από την βελτίωση του συντελεστή ισχύος είναι τα εξής:

- Παρατηρείται σημαντική μείωση των απωλειών ισχύος στο καλώδιο της παροχής της εγκατάστασης λόγω της μείωσης του απορροφούμενου ρεύματος.
- Μεγάλη μείωση της Χρεωστέας Μέγιστης Ζήτησης (ΧΜΖ) που εμφανίζεται σε κάποια από τα βιομηχανικά τιμολόγια των πελατών μέσης αλλά και χαμηλής τάσης της ΔΕΗ , το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα να έχουν μικρότερους μηνιαίους λογαριασμούς.
- Μειωμένη διατομή των αγωγών για την διανομή του μειωμένου ρεύματος μετά την αντιστάθμιση.
- Μικρότερη πτώση τάσης.
- Απαλλαγή των στοιχείων του δικτύου (καλωδίων, μετασχηματιστών, διακοπών) από την άεργο συνιστώσα του ρεύματος και αποφυγή πολυέξοδων επεκτάσεων.
- Βελτιωμένη σταθερότητα τάσης και λιγότερες απώλειες δικτύου.
- Υπάρχει δυνατότητα για φιλτράρισμα των αρμονικών του συστήματος.
- Αποφυγή προβλημάτων συντονισμού και μείωση των ηλεκτρικών διαταραχών.
- Μείωση της φθοράς του εξοπλισμού και αύξηση της διάρκειας ζωής του.

- Χαμηλότερο κόστος συντήρησης και χαμηλότερο κόστος αντικατάστασης του υπάρχοντος εξοπλισμού.
- Μείωση του ρεύματος που ρέει στους αγωγούς του συστήματος παραγωγής-διανομής της ΔΕΗ (μείωση ζήτησης) με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ικανότητα απόκρισης του δικτύου σε αυξημένα φορτία και την σημαντική μείωση των απωλειών ισχύος στα δίκτυα Μεταφοράς και Διανομής.
- Μείωση του κόστους παραγωγής , μεταφοράς και διανομής.
- Ελάττωση της εκπομπής ρύπων προς το περιβάλλον λόγω της μειωμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες παραγωγής.



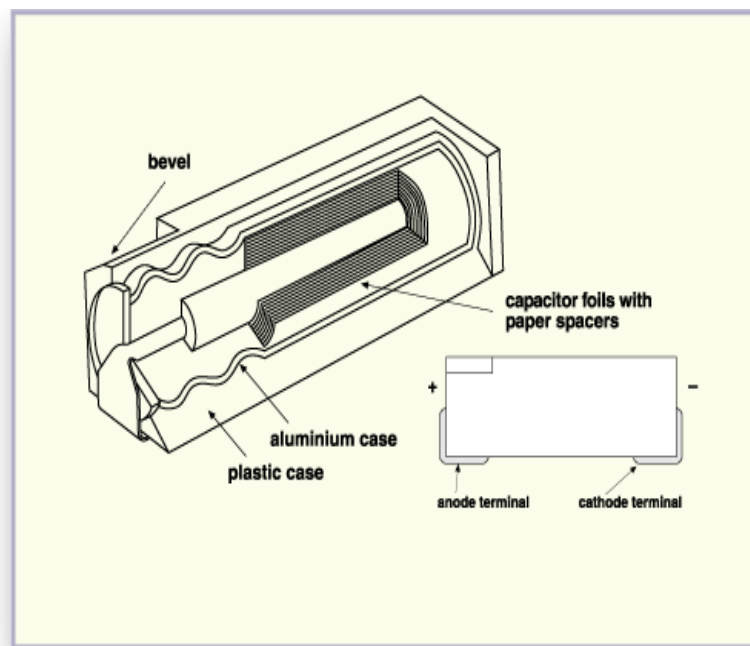
Σχήμα 5.2

Πίνακας με συστοιχία πυκνωτών αντιστάθμισης σε βιομηχανική μονάδα.

5.2. ΠΥΚΝΩΤΕΣ

Από την πρώτη κατασκευή πυκνωτή το 1746 , από μία ομάδα τριών Ολλανδών επιστημόνων μέχρι την επικράτηση του πυκνωτή με “επιμεταλλωμένο πλαστικό φιλμ” το 1974 , σαν ιστορικά σημεία εξέλιξης της κατασκευής των πυκνωτών μπορούν να χαρακτηριστούν:

- **1910:** Κατασκευή του πρώτου κυλινδρικού πυκνωτή με μονωτικό υλικό , χαρτί με βερνίκι και οπλισμούς από κασσίτερο (υλικό που χρησιμοποιήθηκε από την γέννηση των πυκνωτών).
- **1930:** Αντικατάσταση του κασσίτερου από αλουμίνιο και εκτεταμένη χρήση εμποτισμένου με λάδι χαρτιού σαν μονωτικό.



Σχήμα 5.3

Πυκνωτής με χρήση αλουμινίου.

- **1945:** Ανακάλυψη των χλωριωμένων υγρών εμπότισμού (askarel ή PCB) με εξαιρετικές και σταθερές μονωτικές ικανότητες. Η χρήση των υγρών αυτών , που σήμερα έχει απαγορευτεί , προκάλεσε επανάσταση στην κατασκευή των πυκνωτών.
- **1965-1970:** Κατασκευή και εξέλιξη του πυκνωτή “μεικτού διηλεκτρικού”. Το διηλεκτρικό είναι χαρτί και φιλμ (πολυπροπυλένιο) , που παρουσιάζουν πολύ καλύτερα χαρακτηριστικά από το χαρτί. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η σημαντική μείωση των απωλειών και των διαστάσεων των πυκνωτών.
- **1974:** Αρχίζει να χρησιμοποιείται μόνο φιλμ με δύο κύριες κατασκευαστικές μεθόδους: A) Τον πυκνωτή με φιλμ του οποίου η πλευρά είναι τραχεία επιτρέποντας την απορρόφηση υγρού εμπότισμού και B) Ακολουθώντας την τεχνική της επιμετάλλωσης , ο πυκνωτής αποτελείται από φιλμ του οποίου η μία τουλάχιστον πλευρά έχει υποστεί επεξεργασία , για να δεχθεί μία πολύ λεπτή στρώση μετάλλου.

Οι μέθοδοι αυτοί καθορίζουν και τα όρια για τον χαρακτηρισμό ενός πυκνωτή σαν “ξηρού τύπου”. Με τον όρο “πυκνωτής ξηρού τύπου” ορίζεται μία μονάδα στο περίβλημα της οποίας δεν περιέχεται κανένα ελεύθερο υγρό. Στον όρο αυτόν συμπεριλαμβάνονται και οι πυκνωτές οι οποίοι περικλείουν μία πολύ μικρή ποσότητα υγρού εμπότισμού που δεν μπορεί να διαρρεύσει ακόμα και σε περίπτωση καταστροφής της μονάδας.



Σχήμα 5.4

Ένα είδος πυκνωτή ξηρού τύπου.

Ο πυκνωτής είναι το χαρακτηριστικό στοιχείο χωρητικότητας των ηλεκτρικών κυκλωμάτων που χρησιμεύει για την αποθήκευση της

ηλεκτρικής ενέργειας σε μορφή ηλεκτρικού φορτίου. Οι πυκνωτές εμφανίζονται σαν C στα ηλεκτρικά κυκλώματα και συμβολίζεται:



Σχήμα 5.5

Σύμβολο πυκνωτή.

5.2.1. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΠΥΚΝΩΤΕΣ

Τα στοιχεία των βιομηχανικών πυκνωτών σχηματίζονται με σπλισμούς από μεταλλικά φύλλα σε σχήμα κυλινδρικό ή ορθογώνιο παραλληλόγραμμο και είναι διαμορφωμένοι με ενδιάμεσες στρώσεις οι οποίες είναι από εμποτισμένο χαρτί, το σύστημα αυτό τοποθετείται μέσα σε σιδερένιο κιβώτιο το οποίο είναι γεμάτο από μονωτικό λάδι.



Σχήμα 5.6α

Πυκνωτές βιομηχανικού τύπου με εμφανές το ακροκιβώτιο σύνδεσης τους.

α) Ορθογωνίου τύπου



Σχήμα 5.6β

β)Κυλινδρικού τύπου

Οι βιομηχανικοί πυκνωτές κατασκευάζονται για να λειτουργούν συνήθως από 220V έως 1000V.

Οι πυκνωτές αυτού του τύπου είναι φτιαγμένοι έτσι ώστε μετά την απόξευση τους από τις γραμμές να διατηρούν ένα μεγάλο μέρος του φορτίου τους και επομένως και την τάση τους. Έτσι για την αποφυγή κινδύνων έχουν τοποθετηθεί συμπληρωματικές επαφές στους διακόπτες απόξευξης , έτσι ώστε η παραμένουσα φόρτιση να διοχετεύεται μέσω αντιστάσεων προς την γη.

Εάν οι πυκνωτές αυτοί παρεμβάλλονται μέσω μετασχηματιστή ή κατευθείαν στους πόλους του κινητήρα είναι απαραίτητως ανάγκη παρεμβολής τους από τις παραπάνω προσγειώσεις , γιατί η εκφόρτιση τους γίνεται από αυτές διαμέσου των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή ή του κινητήρα. Τα τελευταία χρόνια , λόγω των πλεονεκτημάτων τους , χρησιμοποιούνται κατά κόρον για την αντιστάθμιση της αέργου ισχύος.

5.2.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΥΚΝΩΤΩΝ

Μερικά από τα βασικότερα πλεονεκτήματα των βιομηχανικών πυκνωτών είναι τα εξής:

- Οι απώλειες ισχύος των πυκνωτών που βελτιώνουν τον συντελεστή ισχύος είναι ελάχιστες , της τάξης του 0,2% έως και 1%. Οι μικρότερες απώλειες αντιστοιχούν στις υψηλές τάσεις και οι μεγαλύτερες στις χαμηλές.
- Σε κανένα είδος πυκνωτή δεν απαιτείται επιτήρηση κατά την λειτουργία του.
- Δεν περιέχουν στοιχεία που φθείρονται ούτε στρεφόμενα μέρη , άρα έχουν ασφαλή λειτουργία.
- Είναι δυνατή η προσαρμογή τους από την μία στην άλλη εγκατάσταση με την ίδια τάση.

- Έχουν τη δυνατότητα να σχηματιστούν σε μικρές ή μεγάλες ομάδες έτσι ώστε να είναι δυνατή η μεγέθυνση τους σε περίπτωση συμπλήρωσης ή επέκτασης της εγκατάστασης.
- Μπορούμε να αντισταθμίσουμε την τάση επί τόπου σε οποιονδήποτε κινητήρα ή επαγωγική συσκευή εφόσον οι πυκνωτές αυτοί κατασκευάζονται ακόμα και για ελάχιστη ισχύ.
- Δεν απαιτούν βάση θεμελίωσης και επομένως δεν δημιουργούν πρόσθετες δαπάνες σε νέες επεκτεινόμενες εγκαταστάσεις.
- Έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής , η οποία μπορεί να φτάσει και τις 115.000 ώρες λειτουργίας.
- Παρέχουν αμετάβλητη χωρητικότητα σε όλη την διάρκεια της λειτουργίας τους.
- Έχουν αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες , συνήθως μπορούν να λειτουργήσουν απροβλημάτιστα έως και 50-55°C.



Σχήμα 5.7

Ερμάριο πυκνωτών με όλα τα στοιχεία ασφαλείας και τους ηλεκτρονόμους βιομηχανικού τύπου με εμφανή την οικονομία χώρου που προσφέρει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο:

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ

Αφού επισπευτήκαμε την μονάδα παραγωγής ελαιολάδου κάναμε εκτενή καταγραφή των πινακίδων όλων των κινητήρων που συμβάλλουν στην επεξεργασία ελαιοκάρπου μέχρι και λίγο πριν το τελικό στάδιο , το οποίο είναι η συσκευασία και η αποθήκευση του ελαιολάδου. Η επίσκεψη μας είχε ως στόχο να καταγράψουμε από τις ταμπέλες των ηλεκτροκινητήρων την ισχύ , το απορροφούμενο ρεύμα και το cos φ που λειτουργεί ο κάθε κινητήρας ξεχωριστά. Όλα τα παραπάνω στοιχεία θα μας χρησιμεύσουν στην μελέτη μας , στο να υπολογίσουμε με τις απαραίτητες σχέσεις την ολική άεργο και ενεργό ισχύ της εγκατάστασης. Στην συγκεκριμένη εγκατάσταση υπάρχουν και κάποιοι άλλοι κινητήρες βοηθητικοί της τάξης των 700 έως 1000 W οι οποίοι όμως δεν λειτουργούν ταυτόχρονα με τους κινητήρες της γραμμής παραγωγής και γι' αυτό τον λόγο δεν θα τους συμπεριλάβουμε στην μελέτη μας .Τα στοιχεία που καταγράψαμε από την βιοτεχνική μονάδα , τα παραθέτουμε στον παρακάτω πίνακα με μια σύντομη περιγραφή της λειτουργίας του κάθε κινητήρα με την σειρά έτσι όπως συναντώνται στην σειρά της παραγωγής.

A/A	Περιγραφή	Ισχύς (kW)	Ονομαστική ένταση(A)	cosφ	φ	tanφ
1	Αναβατήριο/ Ταινιόδρομος	1,5	3,4	0,81	35,9°	0,72
2	Αποφυλλωτή- ριο	1,5	3,2	0,79	37,8	0,78
3	Αναβατήριο 2ο	1,5	3,4	0,81	35,9	0,72
4	Πλυντήριο/ Κόσκινο	1,5	3,2	0,79	37,8	0,78
5	Κοχλίας	1,2	2,8	0,75	41,4	0,88
6	Σπαστήρας	18,5	30	0,86	30,7	0,59
7	Μαλακτήρας τριπλός	5,5	11,5	0,8	36,9	0,75
8	Αναβατήριο διπλό	3	6,8	0,81	35,9	0,72
9	Μαλακτήρας διπλός	2,2	5,4	0,78	38,7	0,8
10	Ντεκάτερ	18,5	30	0,86	30,7	0,59
11	Αντλία	2,2	6,4	0,84	32,86	0,65
12	Κοχλίες πυρηνόξυλου	3	7,6	0,77	40	0,83
13	Αναδευτήρας πυρήνα	1	2,4	0,86	30,7	0,59
14	2 διαχωριστήρες	5,5	7	0,81	35,9	0,72
15	Τελικός διαχωριστήρας	2,2	4,85	0,85	31,8	0,62
16	Αντλία νερού καυστήρα	1,5	3,4	0,81	35,9	0,72
17	Αντλία λαδιού	1,5	3,3	0,8	36,9	0,75
18	Αντλία λαδιού	1,5	3,3	0,8	36,9	0,75

Πίνακας 6.1

Τα στοιχεία όλων των κινητήρων της εγκατάστασης.

6.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το ελαιοτριβείο για το οποίο θα πραγματοποιηθεί η μελέτη αντιστάθμισης της άεργου ισχύος με ερμάρια πυκνωτών βρίσκεται στο χωριό Ρίζα Κορινθίας το οποίο υπάγεται στον δήμο Ξυλοκάστρου. Η μονάδα επεξεργασίας ελαιοκάρπου ανήκει στον κύριο Παναγιώτη Κέρτσο.

Πριν ξεκινήσουμε την μελέτη μας θα θέλαμε να σας εξηγήσουμε πως λειτουργεί συνοπτικά η μονάδα παραγωγής ελαιολάδου. Αρχικά τοποθετείται ο καρπός στην χοάνη που υπάρχει στην είσοδο της μονάδας και από εκεί με το πρώτο αναβατόριο πηγαίνει προς το αποφυλλωτήριο όπου εκεί καθαρίζεται από την περιττά φύλλα. Στην συνέχεια με ένα δεύτερο αναβατόριο οι ελιές οδηγούνται στο πλυντήριο όπου πλένονται και κοσκινίζονται για να ανέβουν με τον κοχλία στον σπαστήρα. Εκεί πολτοποιούνται και περνάνε στον τριπλό μαλακτήρα και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα με ένα διπλό αναβατόριο οι ελιές πέφτουν και στον διπλό μαλακτήρα. Αφού γίνουν όλες οι προηγούμενες διεργασίες ο πολτός πλέον μπαίνει σε έναν διαχωριστή (ντεκάτερ) όπου εκεί καθαρίζεται το λάδι από τον πυρήνα της ελιάς. Ο πυρήνας ή πυρηνόξυλο , όπως είθισται να λέγεται από τους παραγωγούς , καταλήγει με δύο μεγάλους περιστροφικούς κοχλίες σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο στο προαύλιο της μονάδας. Από το ντεκάτερ το λάδι , το οποίο είναι ακόμα πολύ σκούρου χρώματος , καταλήγει με την βοήθεια μίας αντλίας στους δύο φυγοκεντρικούς διαχωριστήρες όπου εκεί καθαρίζεται από το

νερό και από κάποια κατάλοιπα του πυρήνα που έχουν παραμείνει. Μετά το καθαρισμένο πλέον λάδι πέφτει και στον τελικό διαχωριστήρα για επιπλέον καθάρισμα από το νερό. Τα ακάθαρτα ύδατα καταλήγουν μέσω ειδικών αυλακώσεων μέσα στην εγκατάσταση , μετά από επεξεργασία καθαρισμού , σε ποτάμι που βρίσκεται κοντά στη μονάδα. Τελικά το λάδι καταλήγει μέσω δύο αντλιών στις δεξαμενές για να αποθηκευτεί.

Στο τέλος της μελέτης μας (σελίδα 1) παραθέτουμε και το βιομηχανικό σχέδιο της εγκατάστασης έτσι ώστε να γίνει για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας της και της σειράς παραγωγής.







Εικόνες 6.2

Στις παραπάνω εικόνες φαίνονται με την σειρά από πάνω προς τα κάτω τα εξής: α) ο ταινιόδρομος , β) ο σπαστήρας , γ) το ντεκάτερ , δ) οι δύο διαχωριστήρες.

6.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Όλοι οι κινητήρες του πίνακα 6.1 είναι τριφασικοί και λειτουργούν με πολική τάση 400 Volt. Αρχικά θα πρέπει να υπολογίσουμε την απορροφούμενη ισχύ από το δίκτυο για τον κάθε κινητήρα της εγκατάστασης. Η ισχύς αυτή υπολογίζεται από την σχέση:

$$P_{\eta\lambda.} = \sqrt{3} * V_{\pi.} * I_{\gamma\rho.} * \cos \varphi$$

1) Για το αναβατόριο (ταινιόδρομος) θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\varphi = 1,732 \times 400 \times 3,4 \times 0,81 = 1.908$$

Watt

2) Για το αποφυλλωτήριο θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\varphi = 1,732 \times 400 \times 3,2 \times 0,79 = 1.751$$

Watt

3) Για το δεύτερο αναβατήριο θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 3,4 \times 0,81 = 1.908$$

Watt

4) Για το πλυντήριο θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 3,2 \times 0,79 = 1.751$$

Watt

5) Για τον κοχλία θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 2,8 \times 0,75 = 1.455$$

Watt

6) Για τον σπαστήρα θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 32 \times 0,86 = 19.065$$

Watt

7) Για τον τριπλό μαλακτήρα θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 11,5 \times 0,8 = 6.374$$

Watt

8) Για το διπλό αναβατόριο θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 6,8 \times 0,81 = 3.815$$

Watt

9) Για τον διπλό μαλακτήρα θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 5,4 \times 0,78 = 2.918$$

Watt

10) Για το ντεκάτερ θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 32 \times 0,86 = 19.065$$

Watt

11) Για την αντλία θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 6,4 \times 0,84 = 3.724$$

Watt

12) Για τους κοχλίες πυρηνόξυλου θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 7,6 \times 0,77 = 4.054$$

Watt

13) Για τον αναδευτήρα του πυρήνα θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 2,4 \times 0,86 = 1.430$$

Watt

14) Για τον πρώτο διαχωριστήρα θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 11 \times 0,81 = 6.172$$

Watt

15) Για τον δεύτερο διαχωριστήρα θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 11 \times 0,81 = 6.172$$

Watt

16) Για τον τελικό διαχωριστήρα θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 4,85 \times 0,85 = 2.856$$

Watt

17) Για την αντλία νερού καυστήρα θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi = 1,732 \times 400 \times 3,4 \times 0,81 = 1.908$$

Watt

18) Για την πρώτη αντλία λαδιού θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\varphi = 1,732 \times 400 \times 3,3 \times 0,8 = 1829$$

Watt

19) Για την δεύτερη αντλία λαδιού θα έχουμε:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\varphi = 1,732 \times 400 \times 3,3 \times 0,8 = 1829$$

Watt

6.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗΣ ΑΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ

Στην συνέχεια της μελέτης μας θα πρέπει να υπολογίσουμε την άεργο ισχύ που απορροφάει ο κάθε κινητήρας ξεχωριστά. Η άεργος ισχύς μπορεί να υπολογιστεί από δύο σχέσεις. Η πρώτη είναι:

$$Q = \sqrt{3} * V_{\pi.} * I_{\gamma\rho} * \sin \varphi$$

Και η δεύτερη σχέση είναι:

$$Q = P_{\eta\lambda} * \tan \varphi$$

Από τις δύο αυτές σχέσεις προκύπτει το ίδιο αποτέλεσμα. Εμείς όμως θα χρησιμοποιήσουμε την δεύτερη σχέση για να υπολογίσουμε την άεργο ισχύ που απορροφά από το δίκτυο ο κάθε κινητήρας πριν την αντιστάθμιση. Από την δεύτερη σχέση προκύπτει ότι:

1) Για το αναβατόριο (ταινιόδρομο) θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 1.908 * 0,72 = 1.374 \text{ Var}$$

2) Για το αποφυλλωτήριο θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 1.751 * 0,78 = 1.366 \text{ Var}$$

3) Για το δεύτερο αναβατόριο θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 1.908 * 0,72 = 1.374 \text{ Var}$$

4) Για το πλυντήριο θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 1.751 * 0,78 = 1.366 \text{ Var}$$

5) Για τον κοχλία θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 1.455 * 0,78 = 1.134 \text{ Var}$$

6) Για τον σπαστήρα θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 19.065 * 0,59 = 11.248 \text{ Var}$$

7) Για τον τριπλό μαλακτήρα θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 6.374 * 0,75 = 4.780 \text{ Var}$$

8) Για το διπλό αναβατόριο θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 3.815 * 0,72 = 2.747 \text{ Var}$$

9) Για τον διπλό μαλακτήρα θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 2.918 * 0,8 = 2.334 \text{ Var}$$

10) Για το ντεκάτερ θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 19.065 * 0,59 = 11.248 \text{ Var}$$

11) Για την αντλία θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 3.724 * 0,65 = 2.421 \text{ Var}$$

12) Για τους κοχλίες πυρηνόξυλου θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 4.054 * 0,83 = 3.365 \text{ Var}$$

13) Για τον αναδευτήρα του πυρήνα θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 1.430 * 0,59 = 844 \text{ Var}$$

14) Για τον πρώτο διαχωριστήρα θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 6.172 * 0,72 = 4.444 \text{ Var}$$

15) Για τον δεύτερο διαχωριστήρα θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 6.172 * 0,72 = 4.444 \text{ Var}$$

16) Για τον τελικό διαχωριστήρα θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 2.856 * 0,62 = 1.771 \text{ Var}$$

17) Για την αντλία νερού καυστήρα θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 1.908 * 0,72 = 1.374 \text{ Var}$$

18) Για την πρώτη αντλία λαδιού θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 1.829 * 0,75 = 1.372 \text{ Var}$$

19) Για την δεύτερη αντλία λαδιού θα έχουμε:

$$Q = P * \tan \varphi = 1.829 * 0,75 = 1.372 \text{ Var}$$

6.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΑΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ

Σε αυτή τη παράγραφο της μελέτης μας θα υπολογίσουμε την άεργο ισχύ που χρειάζεται να προσφερθεί από τους πυκνωτές για την ρύθμιση του συντελεστή ισχύος στο 0,97 για κάθε κινητήρα της εγκατάστασης ξεχωριστά. Η άεργος ισχύς αυτή υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda.} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3$$

$$\text{Όπου: } \cos^{-1}(0,97) = 14,0698^\circ$$

$$\text{Άρα: } \tan(14,0698^\circ) = 0,2506 \text{ ή}$$

$$\tan\varphi_2 = 0,2506$$

Με βάση τον παραπάνω τύπο η P ηλεκτρική είναι η απορροφούμενη ισχύς που τραβάει ο κάθε κινητήρας και η εφαπτομένη της γωνίας φ_1 εκφράζει την εφαπτομένη της γωνίας λειτουργίας του εκάστοτε κινητήρα οι οποίες δίνονται στον πίνακα 6.1 στην σελίδα 91. Η γωνία φ_2 είναι η γωνία για την οποία το $\cos\varphi$ της εγκατάστασης θα γίνει ίσο με 0,97. Τέλος διαιρούμε δια του 3 για να βρούμε πόση ισχύς αντιστοιχεί σε κάθε φάση. Έτσι θα έχουμε ότι:

1) Για το αναβατόριο (ταινιόδρομο) θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [1.908 * (0,72 - 0,2506)] * 1/3 = 298,5 \text{ Var}$$

2) Για το αποφυλλωτήριο θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [1.751 * (0,78 - 0,2506)] * 1/3 = 308,68 \text{ Var}$$

3) Για το δεύτερο αναβατήριο θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [1.908 * (0,72 - 0,2506)] * 1/3 = 298,5 \text{ Var}$$

4) Για το πλυντήριο θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [1.751 * (0,78 - 0,2506)] * 1/3 = 308,68 \text{ Var}$$

5) Για τον κοχλία θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [1.455 * (0,88 - 0,2506)] * 1/3 = 305,22 \text{ Var}$$

6) Για τον σπαστήρα θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [19.065 * (0,59 - 0,2506)] * 1/3 = 2156,67 \text{ Var}$$

7) Για τον τριπλό μαλακτήρα θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [6.374 * (0,75 - 0,2506)] * 1/3 = 1060,95 \text{ Var}$$

8) Για το διπλό αναβατόριο θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [3.815 * (0,72 - 0,2506)] * 1/3 = 596,6 \text{ Var}$$

9) Για τον διπλό μαλακτήρα θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [2.918 * (0,8 - 0,2506)] * 1/3 = 534,32 \text{ Var}$$

10) Για το ντεκάτερ θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [19.065 * (0,59 - 0,2506)] * 1/3 = 2156,67 \text{ Var}$$

11) Για την αντλία θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [3.724 * (0,65 - 0,2506)] * 1/3 = 495,73 \text{ Var}$$

12) Για τους κοχλίες πυρηνόξυλου θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [4.054 * (0,83 - 0,2506)] * 1/3 = 782,88 \text{ Var}$$

13) Για τον αναδευτήρα του πυρήνα θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [1.430 * (0,59 - 0,2506)] * 1/3 = 161,76 \text{ Var}$$

14) Για τον πρώτο διαχωριστήρα θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [6.172 * (0,72 - 0,2506)] * 1/3 = 965,61 \text{ Var}$$

15) Για τον δεύτερο διαχωριστήρα θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [6.172 * (0,72 - 0,2506)] * 1/3 = 965,61 \text{ Var}$$

16) Για τον τελικό διαχωριστήρα θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [2.856 * (0,62 - 0,2506)] * 1/3 = 351,63 \text{ Var}$$

17) Για την αντλία νερού καυστήρα θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [1.908 * (0,72 - 0,2506)] * 1/3 = 298,5 \text{ Var}$$

18) Για την πρώτη αντλία λαδιού θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [1.829 * (0,75 - 0,2506)] * 1/3 = 304,43 \text{ Var}$$

19) Για την δεύτερη αντλία λαδιού θα έχουμε:

$$Q_C = [P_{\eta\lambda} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)] * 1/3 = [1.829 * (0,75 - 0,2506)] * 1/3 = 304,43 \text{ Var}$$

Όλους τους παραπάνω υπολογισμούς των προηγούμενων ενοτήτων τους έχουμε τοποθετήσει στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 6.3). Δηλαδή ο πίνακας περιλαμβάνει την απορροφούμενη ισχύ από το δίκτυο , την απορροφούμενη άεργο ισχύ και την άεργο ισχύ ανά φάση που πρέπει να προσφερθεί από τους πυκνωτές για να γίνει η διόρθωση του συντελεστή ισχύος στο 0,97.

Επίσης από τον παρακάτω πίνακα προκύπτει ότι ο μέσος συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης θα είναι:

$$\tan \varphi = Q_{\text{ολικό}} / P_{\eta\lambda. \text{ολικό}} = 60.378 / 89.984 = 0,67$$

Αφού: $\tan \varphi = 0,67$, τότε: $\varphi = 33,8^\circ$ και $\cos \varphi = 0,83$

Άρα το μέσο $\cos \varphi$ της εγκατάστασης πριν γίνει η διόρθωση με τους πυκνωτές προκύπτει ότι είναι **0,83** .

Α/Α	Περιγραφή	Απορροφούμενη ισχύς (W)	Άεργος ισχύς από το δίκτυο(Var)	Άεργος ισχύς πυκνωτή ανά φάση για $\cos\phi=0,97$ (Var)	Συνολική άεργος ισχύς για $\cos\phi=0,97$ (Var)
1	Αναβατήριο/ Ταινιόδρομος	1.908	1.374	298,5	895,5
2	Αποφυλλωτήριο	1.751	1.366	308,68	926,04
3	Αναβατήριο 2ο	1.908	1.374	298,5	895,5
4	Πλυντήριο/ Κόσκινο	1.751	1.366	308,68	926,04
5	Κοχλίας	1.455	1.134	305,22	915,66
6	Σπαστήρας	19.065	11.248	2.156,67	6.470,01
7	Μαλακτήρας τριπλός	6.374	4.780	1.060,95	3.182,85
8	Αναβατήριο διπλό	3.815	2.747	596,6	1.789,80
9	Μαλακτήρας διπλός	2.918	2.334	534,32	1.602,96
10	Ντεκάτερ	19.065	11.248	2.156,67	6.470,01
11	Αντλία	3.724	2.421	495,73	1.487,19
12	Κοχλίες πυρηνόξυλου	4.054	3.365	782,88	2.348,64
13	Αναδευτήρας πυρήνα	1.430	844	161,76	485,28
14	Διαχωριστήρας 1	6.172	4.444	965,61	2.896,83
15	Διαχωριστήρας 2	6.172	4.444	965,61	2.896,83
16	Τελικός διαχωριστήρας	2.856	1.771	351,63	1.054,89
17	Αντλία νερού καυστήρα	1.908	1.374	298,5	895,5
18	Αντλία λαδιού	1.829	1.372	304,43	913,29
19	Αντλία λαδιού	1.829	1.372	304,43	913,29
	ΣΥΝΟΛΟ	89.984 Watt	60.378 Var	12.655,37 Var	37.966,11 Var

Πίνακας 6.3

Υπολογισμός ολικών ισχύων κινητήρων.

6.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΘΜΙΔΩΝ

Σε αυτή την παράγραφο θα ασχοληθούμε με τον υπολογισμό των απαραίτητων βαθμίδων για την βελτίωση του συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης από το 0,83 στο 0,97.

Σύμφωνα με τον ταυτοχρονισμό των φορτίων της μονάδας παραγωγής ελαιολάδου και με τα δεδομένα του πίνακα 6.3 προέκυψε ότι θα χρησιμοποιηθούν έξι τυποποιημένες βαθμίδες άεργου ισχύος πυκνωτών.

Στους υπολογισμούς που πραγματοποιήσαμε για τον παρακάτω πίνακα , δεν συμπεριλάβαμε τις αντλίες ελαιολάδου , οι οποίες αναφέρονται στον πίνακα 6.3 με αύξοντα αριθμό 18 και 19 , επειδή η χρήση τους είναι περιστασιακή. Οι δύο αυτές αντλίες χρησιμοποιούνται βοηθητικά μόνο στην περίπτωση αποθήκευσης ή τυποποίησης του ελαιολάδου και δεν αποτελούν μέρος της παραγωγικής διαδικασίας.

Στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα φαίνονται οι έξι ομάδες των φορτίων που λειτουργούν μαζί , οι απαιτούμενη άεργος ισχύς για $\cos\phi = 0,97$ για κάθε μία από τις ομάδες καθώς και οι τυποποιημένες βαθμίδες πυκνωτών.

Α/Α	Φορτία που λειτουργούν μαζί	Απαιτούμενη άεργος ισχύς για $\cos\phi=0,97$ (Var)	Τυποποιημένη βαθμίδα πυκνωτών (Var)
1	Αναβατήριο/ Ταινιόδρομος	4.558,74	5.000
2	Αποφυλλωτήριο		
3	Αναβατήριο 2ο		
4	Πλυντήριο/ Κόσκινο		
5	Κοχλίας		
6	Σπαστήρας	6.470,01	6.250
7	Μαλακτήρας τριπλός	4.078,35	5.000
17	Αντλία νερού καυστήρα		
8	Αναβατήριο διπλό	3.392,76	5.000
9	Μαλακτήρας διπλός		
10	Ντεκάτερ	10.305,84	10.000
11	Αντλία		
12	Κοχλίες πυρηνόξυλου		
13	Αναδευτήρας	7.333,83	7.500
14	Διαχωριστήρας 1		
15	Διαχωριστήρας 2		
16	Τελικός διαχωριστήρας		
ΣΥΝΟΛΟ		37.966,11	38.750

Πίνακας 6.4

Υπολογισμός τυποποιημένων βαθμίδων πυκνωτών.

Επειδή οι πυκνωτές της κάθε τυποποιημένης βαθμίδας αντιστάθμισης είναι εσωτερικά συνδεδεμένοι σε τρίγωνο, οι χωρητικότητες των πυκνωτών υπολογίζονται από την σχέση:

$$C_{\text{τριγ}} = Q / 2 * \pi * f * V^2$$

Όπου, Q : η άεργος ισχύς κάθε πυκνωτή ανά φάση

f : η συχνότητα του δικτύου (50 Hz)

V : η τάση στα άκρα κάθε πυκνωτή ($V_{\pi} = 400V$)

Για την βαθμίδα των 5.000 Var έχουμε $Q_{\text{πυκνωτή}} = 5.000 / 3 = 1.666,66$ Var.

$$\begin{aligned} C_{\text{τριγ}} &= Q_{\text{πυκνωτή}} / 2 * \pi * f * V^2 = \\ &= 1.666,66 / 2 * \pi * 50 * 400^2 = \\ &= 33,173 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Για την βαθμίδα των 6.250 Var έχουμε $Q_{\text{πυκνωτή}} = 6.250 / 3 = 2.083,33$ Var.

$$\begin{aligned} C_{\text{τριγ}} &= Q_{\text{πυκνωτή}} / 2 * \pi * f * V^2 = \\ &= 2.083,33 / 2 * \pi * 50 * 400^2 = \\ &= 41,467 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Για την βαθμίδα των 10.000 Var έχουμε $Q_{\text{πυκνωτή}} = 10.000 / 3 = 3.333,33$ Var.

$$\begin{aligned} C_{\text{τριγ}} &= Q_{\text{πυκνωτή}} / 2 * \pi * f * V^2 = \\ &= 3.333,33 / 2 * \pi * 50 * 400^2 = \\ &= 66,348 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Για την βαθμίδα των 7.500 Var έχουμε $Q_{\text{πυκνωτή}} = 7.500 / 3 = 2.500$ Var.

$$C_{\text{τριγ}} = Q_{\text{πυκνωτή}} / 2 * \pi * f * V^2 =$$

$$= 2.500 / 2 * \pi * 50 * 400^2 =$$

$$= 49,761 \mu\text{F}$$

6.8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΓΡΑΜΜΗΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ

Πριν την αντιστάθμιση , σύμφωνα με τους υπολογισμούς της σελίδας 111 , είχαμε μέσο $\cos\varphi$ της εγκατάστασης 0,83. Άρα το ρεύμα γραμμής ήταν :

$$P_{\eta\lambda.} = \sqrt{3} * V_{\pi.} * I_{\gamma\rho.} * \cos\varphi$$

$$I_{\gamma\rho} = P_{\eta\lambda.} / \sqrt{3} * V_{\pi.} * \cos\varphi =$$

$$= 89.984 / \sqrt{3} * 400 * 0,83 =$$

$$= 156,48 \text{ A}$$

Μετά την αντιστάθμιση , δηλαδή με $\cos\varphi$ ίσο με 0,97 θα έχουμε ότι:

$$I_{\gamma\rho} = P_{\eta\lambda.} / \sqrt{3} * V_{\pi.} * \cos\varphi =$$

$$= 89.984 / \sqrt{3} * 400 * 0,97 =$$

$$= 133,90 \text{ A}$$

6.7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ

Κατά την εκλογή των ασφαλειών τήξεως και των διατομών των αγωγών της μονάδας αντιστάθμισης και λαμβάνοντας υπόψη τα μεταβατικά φαινόμενα κατά την σύνδεση και αποσύνδεση των πυκνωτών στο δίκτυο, προσαυξήσαμε τα όργανα προστασίας και τις διατομές κατά μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερη από αυτή που θα επιλέγαμε για το ρεύμα συνεχούς λειτουργίας των πυκνωτών.

Οι υπολογισμοί των ρευμάτων γραμμών για τον γενικό θερμομαγνητικό διακόπτη και για τις βαθμίδες, προκύπτουν από την σχέση :

$$Q = \sqrt{3} * I_{γρ.} * V_{\pi} * \sin (-90^{\circ})$$

Δηλαδή:

$$I_{γρ} = Q / \sqrt{3} * V_{\pi} * \sin (-90^{\circ})$$

Επειδή $\sin (-90^{\circ}) = -1$ σημαίνει ότι η άεργος προσφέρεται στην υπόλοιπη εγκατάσταση. Οπότε στους υπολογισμούς μας παραλείπουμε το αρνητικό πρόσημο γιατί μας ενδιαφέρει μόνο η ενεργός τιμή του ρεύματος που διαρρέει τις γραμμές για την εκλογή διατομών και οργάνων προστασίας.

Για τον γενικό θερμομαγνητικό διακόπτη θα έχουμε ότι :

$$\begin{aligned} I_{\gamma\rho} &= 38.750 / \sqrt{3} * 400 * \sin (-90^\circ) = \\ &= 55,93 \text{ A} \end{aligned}$$

Για την βαθμίδα των 5.000 Var θα έχουμε ότι :

$$\begin{aligned} I_{\gamma\rho} &= 5.000 / \sqrt{3} * 400 * \sin (-90^\circ) = \\ &= 7,21 \text{ A} \end{aligned}$$

Για την βαθμίδα των 6.250 Var θα έχουμε ότι :

$$\begin{aligned} I_{\gamma\rho} &= 6.250 / \sqrt{3} * 400 * \sin (-90^\circ) = \\ &= 9,02 \text{ A} \end{aligned}$$

Για την βαθμίδα των 7.500 Var θα έχουμε ότι :

$$\begin{aligned} I_{\gamma\rho} &= 7.500 / \sqrt{3} * 400 * \sin (-90^\circ) = \\ &= 10,82 \text{ A} \end{aligned}$$

Για την βαθμίδα των 5.000 Var θα έχουμε ότι :

$$\begin{aligned} I_{\gamma\rho} &= 10.000 / \sqrt{3} * 400 * \sin (-90^\circ) = \\ &= 14,43 \text{ A} \end{aligned}$$

Τμήμα μονάδας αντιστάθμισης	Παροχή Πίνακα	Βαθμίδα 5 kVar	Βαθμίδα 6,25 kVar	Βαθμίδα 7,5 kVar	Βαθμίδα 10 kVar
Ρεύμα γραμμής (A)	55,93	7,21	9,02	10,82	14,43
Όργανο προστασίας (A)	63 (Θ/Μ)	16 (Α/Τ)	16 (Α/Τ)	20 (Α/Τ)	25(Α/Τ)
Διατομή καλωδίου (mm ²)	5 x 16	4 x 2,5	4 x 2,5	4 x 4	4 x 6
Ηλεκτρονόμος βαθμίδας (A)	-	18	18	25	25
Εξάρτημα από κατάλογο Schneider Electric (ΑΤ & ΡΕΛΕ)	TM63D (Θ/Μ)	3 x 15788 & LC1D18P7	3 x 15788 & LC1D18P7	3 x 15762 & LC1D25P7	3 x 15762 & LC1D25P7


Πίνακας 6.5

Πίνακας εκλογής εξαρτημάτων

Η εκλογή των παραπάνω εξαρτημάτων προέκυψε από τον κατάλογο προϊόντων χαμηλής τάσης της εταιρίας Schneider Electric , σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες.

Για τον επιδαπέδιο πίνακα :

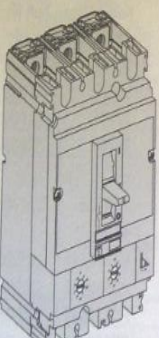
Επιδαπέδιοι πίνακες Prisma Plus G - IP30



	Διαστάσεις	Κωδικός	Τιμή (€)
	Υ x Π x Β (mm)		
Βασικός επιδαπέδιος πίνακας 27 modules	1530 x 595 x 210	08202	254,36
Βασικός επιδαπέδιος πίνακας 30 modules	1680 x 595 x 210	08203	293,02
Βασικός επιδαπέδιος πίνακας 33 modules	1830 x 595 x 210	08204	347,54
Επέκταση (Π = 600 mm) για επιδαπέδιο πίνακα 27 modules		08212	203,49
Επέκταση (Π = 600 mm) για επιδαπέδιο πίνακα 30 modules		08213	234,42
Επέκταση (Π = 600 mm) για επιδαπέδιο πίνακα 33 modules		08214	278,03

Για τον γενικό διακόπτη :

Compact NS100
Με θερμομαγνητική μονάδα ελέγχου TM - D




Compact NS125E (Icu = 16 kA σε τάση 380/415 V)							
Μονάδα ελέγχου	Ονομαστική ένταση (A)	Ρύθμιση θερμικού (A)	Μαγνητικό (A) Μη ρυθμιζόμενο	Κωδικός 3P	Τιμή (€)	Κωδικός 4P	Τιμή (€)
TM16D	16	12,8 - 16	190	34636	96,68	34646	123,50
TM25D	25	20 - 25	300	34635	96,68	34645	123,50
TM40D	40	32 - 40	500	34634	96,68	34644	123,50
TM63D	63	50,4 - 63	500	34633	96,68	34643	123,50
TM80D	80	64 - 80	1.000	34632	96,68	34642	123,50
TM100D	100	80 - 100	1.250	34631	96,68	34641	123,50
TM125D	125	100 - 125	1.250	34630	117,91	34640	152,00

Compact NR100F (Icu = 25 kA σε τάση 380/415 V)							
Μονάδα ελέγχου	Ονομαστική ένταση (A)	Ρύθμιση θερμικού (A)	Μαγνητικό (A) Μη ρυθμιζόμενο	Κωδικός 3P	Τιμή (€)	Κωδικός 4P	Τιμή (€)
TM16D	16	12,8 - 16	190	29069	121,87	29139	179,65

Για τους ηλεκτρονόμους των βαθμίδων:


LC1-D Τριπολικά ρελέ ισχύος AC
 Κύκλωμα ισχύος: εναλλασσόμενο ρεύμα. Κύκλωμα ελέγχου: εναλλασσόμενο ρεύμα



Ισχύς 3φασικών κινητήρων 380/400 V 50/60 Hz (kW)	Ονομαστικό ρεύμα Ιον. AC3 (A)	Βοηθητικές επαφές	Κωδικός ⁽¹⁾	Τιμή (€)
4	9	1"NO"+1"NC"	LC1D09●7	25,99
5,5	12	1"NO"+1"NC"	LC1D12●7	28,34
7,5	18	1"NO"+1"NC"	LC1D18●7	39,67
11	25	1"NO"+1"NC"	LC1D25●7	54,26
15	32	1"NO"+1"NC"	LC1D32●7	75,30
18,5	38	1"NO"+1"NC"	LC1D38●7	90,20
18,5	40	1"NO"+1"NC"	LC1D40●7	99,15
22	50	1"NO"+1"NC"	LC1D50●7	121,95
30	65	1"NO"+1"NC"	LC1D65●7	177,03
37	80	1"NO"+1"NC"	LC1D80●7	209,19
45	95	1"NO"+1"NC"	LC1D95●7	255,96
55	115	1"NO"+1"NC"	LC1D115●7	303,09
75	150	1"NO"+1"NC"	LC1D150●7	332,54


Για τις ασφάλειες των βαθμίδων:

Φυσίγγια ασφαλειών τύπου aM



Διαστάσεις	Ρεύμα (A)	Τάση λειτουργίας (V AC)	Κωδικός (κουτί με 10 φυσίγγια)	Τιμή (€)
14 x 51	25	690	15762	14,40
	32	500	15763	14,40
	40	500	15764	14,40
	50	400	15765	14,40
22 x 58	40	690	15751	25,93
	50	690	15752	25,93
	63	690	15753	25,93
	80	690	15754	25,93
	100	500	15755	25,93

Φυσίγγια ασφαλειών τύπου gG




Διαστάσεις	Ρεύμα (A)	Τάση λειτουργίας (V AC)	Κωδικός (κουτί με 10 φυσίγγια)	Τιμή (€)
14 x 51	10	690	15787	14,40
	16	690	15788	14,40
	32	500	15791	14,40
	40	500	15792	14,40
22 x 58	32	690	15794	25,93
	40	690	15795	25,93
	50	690	15796	25,93
	63	690	15797	25,93
	80	690	15798	25,93

Για τις βαθμίδες των πυκνωτών:

Πυκνωτές αντιστάθμισης Varplus²


Σειρά Classic (Μη μολυσμένο δίκτυο με αρμονικές, Gh/Sn ≤ 15%)



400 V (kVar)	415 V (kVar)	Κωδικός	Τιμή (€)
5	5,5	51311	98,20
6,25	6,5	51313	101,37
7,5	7,75	51315	106,15
10	10,75	51317	110,52
12,5	13,5	51319	116,14
15	15,5	51321	126,85
20	21,5	51323	167,69

Για το όργανο αυτόματης αντιστάθμισης:


Όργανα αυτόματης αντιστάθμισης Varlogic NR



Τύπος	Κωδικός	Τιμή (€)
Όργανο αυτόματης αντιστάθμισης 6 θημάτων Varlogic NR6	52448	450,87
Όργανο αυτόματης αντιστάθμισης 12 θημάτων Varlogic NR12	52449	594,35

Για τους μετασχηματιστές έντασης:

Κλειστοί τοροειδείς μετασχηματιστές, τύπος A



Τύπος	Ονομαστικό ρεύμα (A)	Εσωτερική διάμετρος (mm)	Κωδικός	Τιμή (€)
TA30	65	30	50437	48,50
PA50	85	50	50438	62,90
IA80	160	80	50439	78,87
MA120	250	120	50440	106,99
SA200	400	200	50441	160,98
GA300	630	300	50442	300,71

Ο επιδαπέδιος πίνακας που επιλέξαμε έχει τον κωδικό 08202.

Το θερμικό του γενικού θερμομαγνητικού διακόπτη θα το ρυθμίσο-
υμε στα 56 A.

Το όργανο αυτόματης αντιστάθμισης που επιλέξαμε είναι Varlogic
NR6 6 βημάτων με κωδικό 52448.

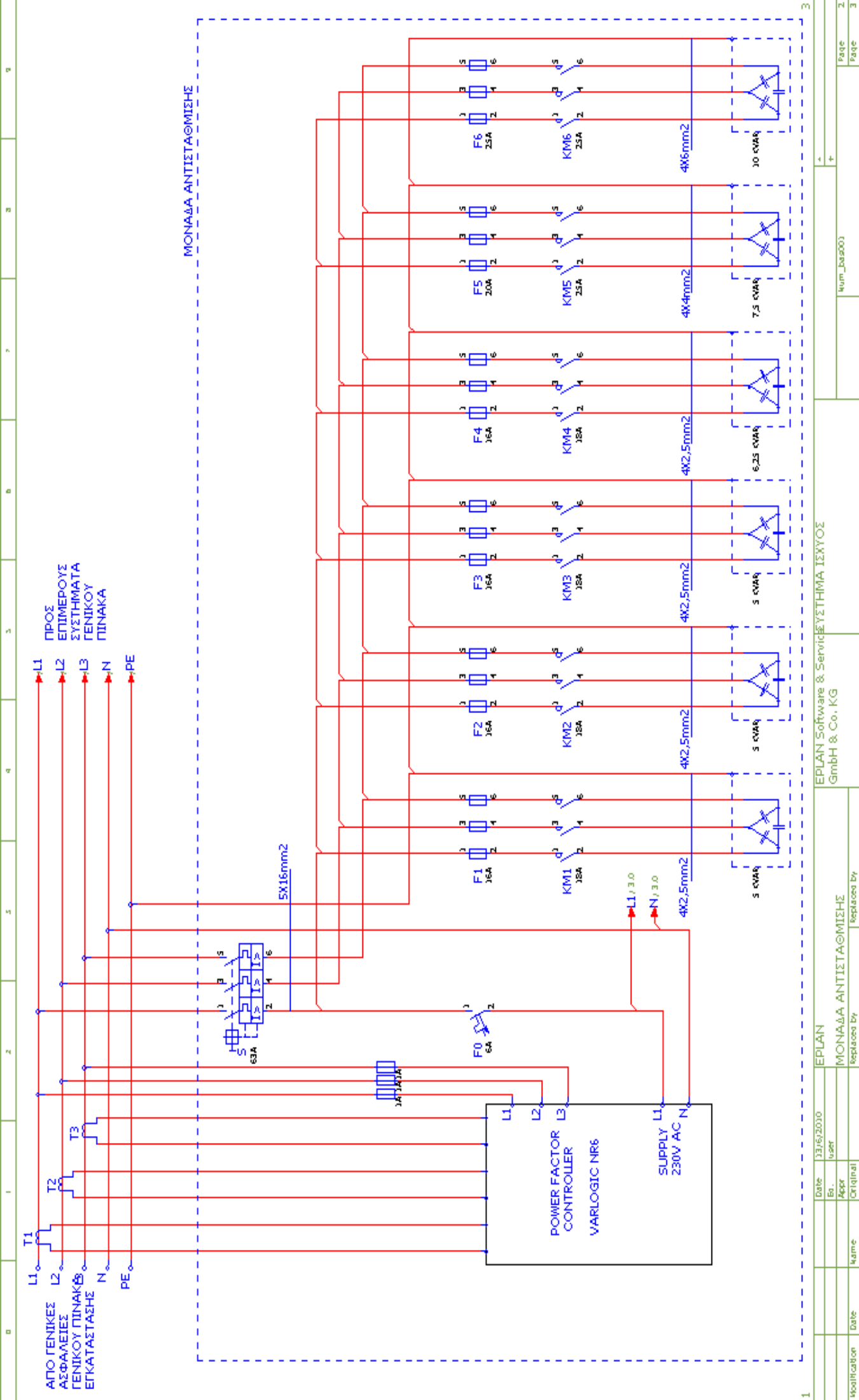
Οι μετασχηματιστές έντασης συνδέονται με το όργανο αυτόματης
αντιστάθμισης για τη μέτρηση του ρεύματος της κάθε φάσης. Οι με-
τασχηματιστές έντασης που επιλέξαμε είναι οι IA80 με ονομαστική
ένταση 160 A γιατί το μέγιστο ρεύμα γραμμής της εγκατάστασης μετά
την αντιστάθμιση είναι 133,90 A.

Στο τέλος της μελέτης μας παραθέτουμε τα σχέδια του βοηθητικού
κυκλώματος και του κυκλώματος ισχύος της μονάδας αντιστάθμισης
στα οποία διακρίνονται όλες οι διατομές των καλωδίων καθώς και όλα
τα όργανα προστασίας. Τα παρακάτω σχέδια πραγματοποιήθηκαν
μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος EPLAN.



**EPLAN Software & Service
GmbH & Co. KG**
An der alten Ziegelei 2
D-40789 Monheim
Phone. 02173/3964-0

Company / customer	EPLAN
Project description	ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ
drawing number	Num_bas001
Commission	EPLAN
Manufacturer (company)	EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG
Path	Pages and devices, sequential numbering
Project name	ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ
make	Universal VESA
Type	AT78
Place of installation	
Responsible for project	
Part feature	Sonderlackierung
Created on	13/6/2010
Edit date	13/6/2010 by (short name) user
	Number of pages 3



ΠΡΟΣ
ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΓΕΝΙΚΟΥ
ΠΙΝΑΚΑ

L1
L2
L3
N
PE

ΑΠΟ ΓΕΝΙΚΕΣ
ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ
ΓΕΝΙΚΟΥ ΠΙΝΑΚΕΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
N
PE

ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ

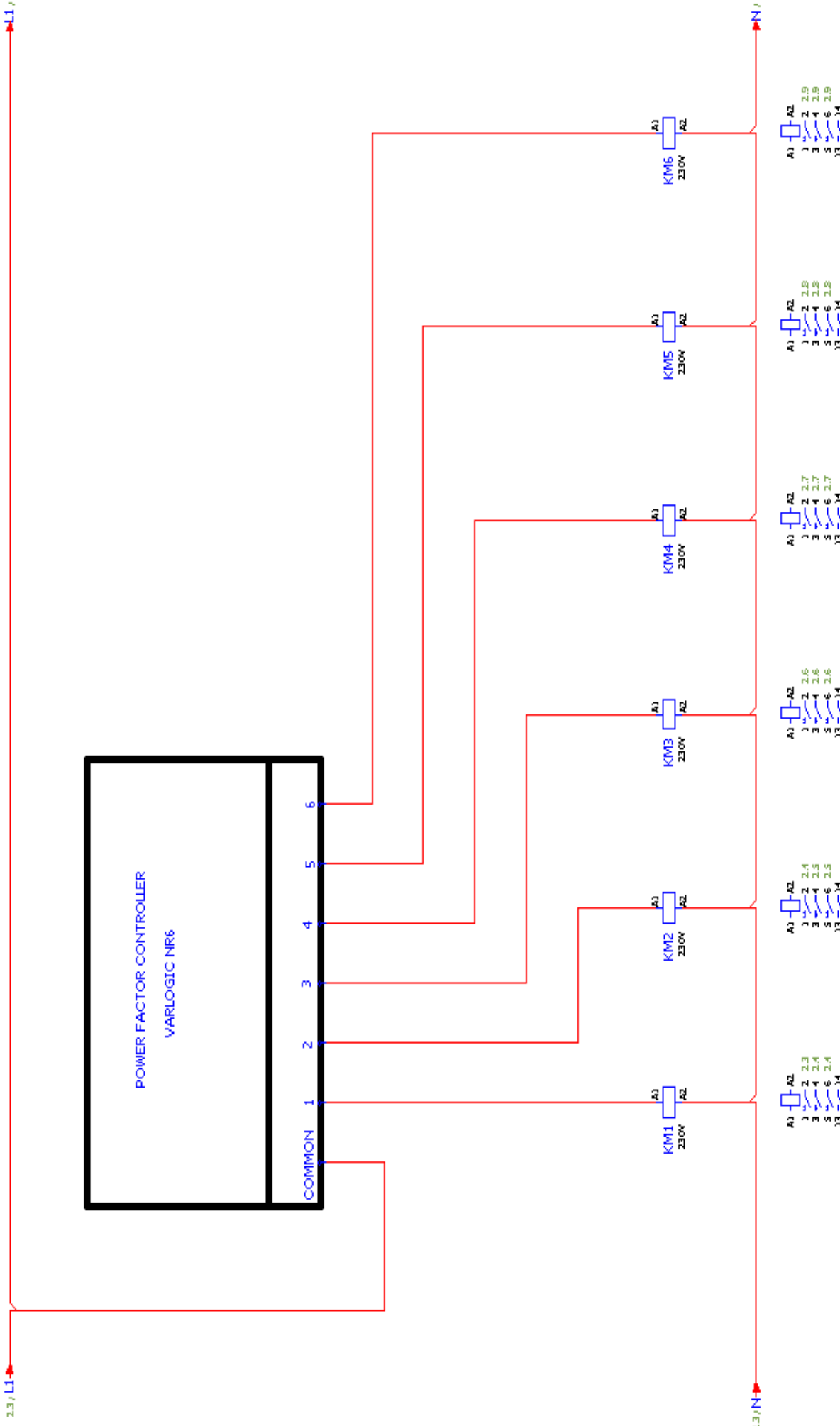
EPLAN Software & Service
GmbH & Co. KG

EPLAN
ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ

Date: 13/05/2010
Eo. user

Name
Date

Modification
Date



Modification	Date	Name	Date	Bo. User	Appr	Original	Replaced by	Replaced by	Num_bas003	Page	Page
							EPLAN	EPLAN Software & Service		3	3
							ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ	GmbH & Co., KG			
							ΕΠΛΑΝ	ΕΛΕΓΧΟΥ			

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο:

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στον παρακάτω πίνακα παραθέτονται όλα τα εξαρτήματα που απαιτούνται για την υλοποίηση της μονάδας αντιστάθμισης καθώς και η εργασία για την συναρμολόγηση της μονάδας αυτής. Τέλος , προκύπτει το τελικό συνολικό κόστος της μονάδας.

Α/Α	Είδος εξαρτήματος	Μονάδα μέτρησης	Ποσότητα	Τιμή(€)
1	Επιτοιχ. Πίνακας	τεμ.	1	254,36
2	Γεν. διακόπτης	τεμ.	1	123,5
3	Τριπ. Ρελέ ισχύος 18Α	τεμ.	4	158,68
4	Τριπ. Ρελέ ισχύος 25Α	τεμ.	2	108,52
5	Φυσίγγιο 16Α	τεμ.	12	17,28
6	Φυσίγγιο 25Α	τεμ.	6	8,64
7	Πυκνωτής 5 kVar	τεμ.	3	294,6
8	Πυκνωτής 6,25 kVar	τεμ.	1	101,37
9	Πυκνωτής 7,5 kVar	τεμ.	1	106,15
10	Πυκνωτής 10 kVar	τεμ.	1	110,52
11	Varlogic NR6	τεμ.	1	450,87
12	Μ/Σ έντασης 160Α	τεμ.	3	236,61
13	Καλώδιο 5 x 16	m	5	25
14	Καλώδιο 4 x 2,5	m	10	8
15	Καλώδιο 4 x 4	m	4	5
16	Καλώδιο 4 x 6	m	2	3
	ΣΥΝΟΛΟ			2012,1
	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕ ΦΠΑ			2436.64
	ΕΡΓΑΣΙΑ			600
	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ			3036,64

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τέλος , μετά την πραγματοποίηση της πτυχιακής μας εργασίας οφείλουμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας τόσο στις εταιρίες προϊόντων χαμηλής τάσης για το υλικό που μας προσέφεραν όσο και στον καθηγητή μας , κύριο Νικόλαο Σχοινά , για την πολύτιμη βοήθεια του.

Οι σπουδαστές :

Τίτιρης Ι. Δημήτριος

Καραβάς Β. Γεώργιος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ ΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ , Πέτρος Ντοκόπουλος , εκδόσεις ΖΗΤΗ
- ΠΑΡΑΓΩΓΗ – ΜΕΤΑΦΟΡΑ – ΔΙΑΝΟΜΗ – ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ , Βασίλη Ν. Ξάνθου , εκδόσεις ΖΗΤΗ
- ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ AC – DC , Stephen J. Chapman , εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ
- ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ , Φίλιππος Ι. Δημόπουλος
- ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ , α' τόμος, Φίλιππος Ι. Δημόπουλος
- ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ , β' τόμος , Φίλιππος Ι. Δημόπουλος
- ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ SIEMENS , Gunter G. Seip , εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ
- Τιμοκατάλογος προϊόντων χαμηλής τάσης της Schneider Electric 2008