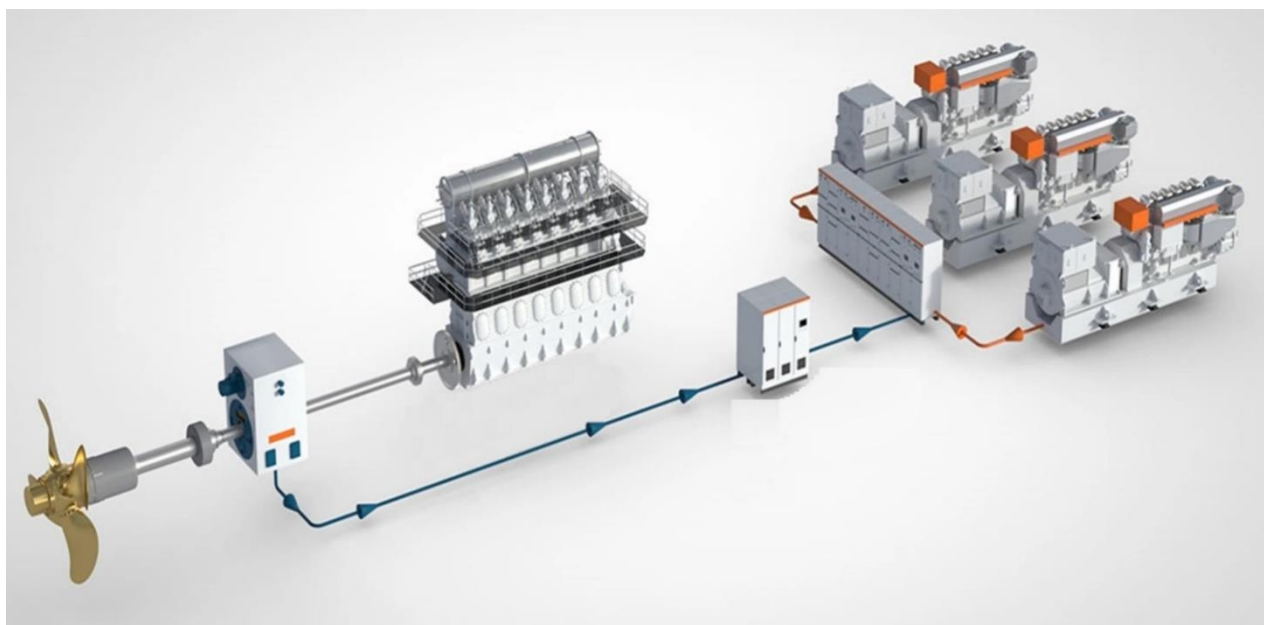


ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συστήματα Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας στα Εμπορικά Πλοία



ΣΙΓΑΛΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής:

Παπαευθυμίου Σπυρίδων

Χανιά, 2023

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση του τρόπου κατασκευής και λειτουργίας των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και της χρήσης τους στα εμπορικά πλοία. Αποτελεί λοιπόν μία διερεύνηση των αρχών και των μεθόδων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με ανάλυση αρχικώς της κατασκευής και λειτουργίας μιας ηλεκτρογεννήτριας, συμβατικά, είτε μέσω μιας κινητήριας μηχανής ΜΕΚ (Μηχανής Εσωτερικής Καύσης), είτε μέσω εγκατάστασης και λειτουργίας ατμοστροβίλου, και εν συνεχεία μέσω εναλλακτικών μορφών ενέργειας.

Αρχικά, γίνεται μία γενική περιγραφή της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στα εμπορικά πλοία και μία ιστορική αναφορά των πρώτων συστημάτων τα οποία εγκαταστάθηκαν σε αυτά. Στην συνέχεια, αναλύονται τα συστήματα ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων και των χαρακτηριστικών τους, των μηχανών με τις οποίες γίνεται η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, και των ηλεκτρογεννητριών των πλοίων με αναφορά στα επιμέρους μέρη και κατηγορίες τους. Ακολούθως, περιγράφεται η λειτουργία των συστημάτων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και οι διάφορες εφαρμογές - χρήση τους, στην εμπορική ναυτιλία.

Τέλος, στην εργασία δεν θα μπορούσε να παραλειφθεί η αναφορά στις εναλλακτικές μορφές και συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως σε συστήματα με αιολική, κυματική, ενέργεια καθώς και φωτοβολταϊκά και υβριδικά συστήματα για τα οποία γίνεται σημαντική μελέτη κατά τελευταία χρόνια.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική αποτελεί το τελευταίο στάδιο μιας προσπάθειας που απώτερο σκοπό είχε την απόκτηση θεμελιωδών γνώσεων, γύρω από το αντικείμενο του Μηχανικού Παραγωγής και Διοίκησης.

Θα ήθελα σε αυτό το σημείο να εκφράσω την εκτίμηση και το σεβασμό μου, στον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Σπύρο Παπαευθυμίου. Τον ευχαριστώ τόσο για την άριστη συνεργασία μας, στα πλαίσια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, όσο και για τις γνώσεις που μου μετέδωσε στα μαθήματα του που παρακολούθησα στα χρόνια της φοίτησης μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Θέλω να αφιερώσω την διπλωματική μου εργασία στην Οικογένεια μου, χωρίς την ηθική και υλική υποστήριξη της οποίας, ελάχιστα θα είχαν επιτευχθεί.

Τέλος, ευχαριστώ τους λίγους και εκλεκτούς φίλους, για τις ωραίες αλλά και τις δύσκολες στιγμές που περάσαμε κατά την διάρκεια των φοιτητικών μας χρόνων στα Χάνια.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	2
Ευχαριστίες.....	3
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	6
Γενικά	6
Απαιτήσεις και κανονισμοί	8
Αντικείμενο – Στόχος Εργασίας	9
Συνοπτική Περιγραφή Ακόλουθων Κεφαλαίων	10
Κεφάλαιο 2 Ιστορική Αναδρομή	11
Γενικά	11
Πλοίο S/S Columbia.....	13
Το Πλοίο S/S Normandie	14
Πλοίο M/S Elation	15
Το Πλοίο River Tanker Vandal	16
Κεφάλαιο 3 Εγκαταστάσεις Συστημάτων Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας	18
Γενικά	18
Ηλεκτρικές διαφορές ανά κατηγορία Πλοίου	18
Συστήματα Ηλεκτρολογικών Εγκαταστάσεων Πλοίων.....	22
Μηχανές Εσωτερικής Καύσης-MEK.....	22
Ηλεκτρογεννήτριες	24
Γεννήτρια Έκτακτης Ανάγκης.....	25
Γεννήτριες Συνεχούς Ρεύματος	25
Σύγχρονη Γεννήτρια Εναλλασσόμενου Ρεύματος.....	26
Ντιζελογεννήτριες και Αεροστρόβιλοι	27
Σύγχρονοι Ηλεκτρικοί Κινητήρες	27
Μηχανές Diesel παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας	28
Ατμοστρόβιλοι	29
Κεφάλαιο 4 Ενέργειας Λειτουργία Συστημάτων Παροχής Ηλεκτρικής	31
Λειτουργία Κύριων Γεννητριών	31
4.1.1 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	32
Αρχή Λειτουργίας της Μηχανής Εσωτερικής Καύσης	33
Αρχή Λειτουργίας Σύγχρονης Γεννήτριας Εναλλασσόμενου Ρεύματος	36

Κατασκευή Εναλλακτών.....	37
4.4.1 Εναλλακτές με εξωτερικούς πόλους	38
4.4.2 Εναλλακτές με Εσωτερικούς Πόλους	39
4.4.3 Στροβιλοεναλλακτές.....	41
4.5 Είδη εναλλακτών.....	41
4.5.1 Μονοφασικοί εναλλακτές	41
4.5.2 Διφασικοί Εναλλακτές	42
4.5.3 Τριφασικοί Εναλλακτές	43
Παραλληλισμός Γεννητριών.....	46
Αρχή Λειτουργίας του Σύγχρονου Ηλεκτρικού Κινητήρα	47
Κεφάλαιο 5 Εφαρμογές Συστημάτων Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας	49
Ηλεκτροπρόωση	49
Υβριδικά Συστήματα	50
Κύριος Πίνακας& Πίνακας Έκτακτης Ανάγκης	50
Καλώδια	52
Διεθνής Λήψη Ηλεκτρικής Ενέργειας από τη Ξηρά.....	53
ΜετασχηματιστέςΥποβιβασμού (Distribution Power Transformers)	54
Κεφάλαιο 6 Εναλλακτικές Μορφές Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας	56
Αιολική Ενέργεια.....	56
Φωτοβολταϊκά και Υβριδικά Συστήματα	58
Κυματική Ενέργεια.....	59
Πυρηνική Ενέργεια	60
Υδρογόνο	61
Κεφάλαιο 7 Συμπέρασμα – Επίλογος.....	63
Βιβλιογραφία- Πηγές.....	64

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Γενικά

Η ηλεκτρική ενέργεια στις μέρες μας αποτελεί βασικό κομμάτι της καθημερινότητας μας. Η ανάγκη για την αποθήκευση ενέργειας αλλά και για μετατροπή αυτής σε διάφορες μορφές ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες μας την καθιστά πολύτιμη τόσο στην στεριά όσο και στην θάλασσα. Έτσι με το πέρασ του χρόνου σημειώθηκε τεράστια πρόοδος στην παραγωγή, αποθήκευση και αξιοποίηση αυτής.

Ο 21ος αιώνας που διανύουμε χαρακτηρίζεται από την αρχή του από την καθολική προσπάθεια εκσυγχρονισμού των μέσων παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, αντικαθιστώντας τις συμβατικές μηχανολογικές διατάξεις από νέες ηλεκτρολογικές, σε όλους σχεδόν τους τομείς που εφαρμόζεται η τεχνολογία όπως η βιομηχανία, οι μεταφορές, η γεωργία και η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και θερμότητας.

Η ζητούμενη εξέλιξη της αποδοτικότητας του υπάρχοντος αλλά και του μελλοντικού στόλου της εμπορικής, πολεμικής και πολιτικής ναυτιλίας με σκοπό την μείωση των εκπομπών και την οικονομία στα καύσιμα, συνίσταται σε δύο βασικούς άξονες. Πρώτα στην εκσυγχρονισμό και αντικατάσταση του ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού των πλοίων και έπειτα στην αναδιοργάνωση της “ενεργειακής συμπεριφοράς”, την αναθεώρηση δηλαδή του τρόπου που το πλοίο τελεί τις διάφορες λειτουργίες του με γνώμονα το ενεργειακό του αποτύπωμα και την κατανάλωση.

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία του πλοίου και την ασφάλεια των επιβαίνόντων. Η εγκατάσταση του πλοίου αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, που χαρακτηρίζεται από αυτάρκεια και αξιοπιστία και αποτελείται από τρία κύρια υποσυστήματα: ισχύος, φωτισμού και επικοινωνιών-ναυσιπλοΐας. Η διαρκώς αυξανόμενη χρήση της ηλεκτροπρώωσης έχει δημιουργήσει νέα δεδομένα και μεγαλύτερες ηλεκτρικές απαιτήσεις από την πλευρά της παραγωγής, του ελέγχου, της διανομής και της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος. Τα τεχνολογικά επιτεύγματα στον τομέα των ηλεκτρονικών ισχύος και η εφαρμογή τους στους κινητήρες πρόωσης προσφέρουν μεγάλα πλεονεκτήματα σε σχέση με το παρελθόν αλλά παράλληλα δημιουργούν μεγαλύτερες απαιτήσεις από την πλευρά της παραγωγής, του ελέγχου, της διανομής και της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος.

Επιπλέον οι σύγχρονες τάσεις οδηγούν σε πλήρη «εξηλεκτρισμό» όλων των εγκατεστημένων υποσυστημάτων (ο όρος που έχει επικρατήσει είναι το πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο από την απόδοση του “All Electric Ship – AES”) αυξάνοντας τη σημασία του συστήματος ηλεκτρικής ισχύος του πλοίου και της εύρυθμης λειτουργίας του για την ομαλή και ασφαλή πλεύση του αλλά και την επιβίωση του σκάφους, του πληρώματος και των επιβατών του.

Ο όρος «ποιότητα ισχύος» σχετίζεται με ένα μεγάλο αριθμό φαινομένων που εμφανίζονται κατά τη παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ισχύος και θέτουν σε κίνδυνο την ομαλή λειτουργία των στοιχείων του συστήματος και των φορτίων του. Για τα ηλεκτρικά συστήματα των πλοίων, η ποιότητα ισχύος είναι πλέον απαραίτητη παράμετρος σχεδιασμού και λειτουργίας. Αιτία είναι η αύξηση των φορτίων που είναι ευαίσθητα σε διαταραχές της τάσης τροφοδοσίας και η παράλληλη αύξηση φορτίων υπεύθυνων για τέτοιες διαταραχές. Επιπλέον, η ποιότητα ισχύος στα πλοία συνδέεται άμεσα με την ανθρώπινη ασφάλεια πέραν του οικονομικού κόστους που συνεπάγονται οι βλάβες και οι διακοπές λειτουργίας των διάφορων υποσυστημάτων που τροφοδοτούνται από το ηλεκτρικό σύστημα.

Οι υψηλές απαιτήσεις των συστημάτων πλοίων σε αξιοπιστία έχει ως αποτέλεσμα την συστηματική σύνταξη προδιαγραφών για τα διάφορα φαινόμενα που εμφανίζονται στο ηλεκτρικό σύστημα του πλοίου.

Αν και οι προδιαγραφές των πλοίων δεν ακολουθούν την ταχεία ανάπτυξη των αντίστοιχων προδιαγραφών ποιότητας ισχύος της ξηράς γίνεται προσπάθεια από μέρους των αρμόδιων φορέων για συστηματικότερη αντιμετώπιση των θεμάτων αυτών.

Η επάρκεια παροχής ηλεκτρικής ενέργειας είναι νευραλγικής σημασίας για τη λειτουργία ενός πλοίου και την ασφάλεια των επιβαινόντων σε αυτό. Η ηλεκτρική εγκατάστασή του αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο χαρακτηρίζεται από αυτάρκεια και αξιοπιστία και αποτελείται από τρία κύρια υποσυστήματα, που είναι:

1. το υποσύστημα ισχύος,
2. το υποσύστημα φωτισμού, και
3. το υποσύστημα επικοινωνιών-ναυσιπλοΐας.

Η εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης και των ηλεκτρονικών συστημάτων αυτοματισμού, τηλεπικοινωνιών και ναυσιπλοΐας είχε ως αποτέλεσμα τη ραγδαία αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος από 5 W/dwt (dead weight tonnage) το 1890 σε 350 W /dwt το 1990 για φορτηγά πλοία, ενώ σε επιβατηγά πλοία φθάνει τα 750 W /dwt και σε πλοία με ηλεκτρική πρόωση φθάνει τα 1100 W /dwt. Ενδεικτικές τιμές του κόστους μιας σύγχρονης ηλεκτρολογικής εγκατάστασης πλοίου (συμπεριλαμβανομένου και του αυτοματισμού) ως ποσοστού του ολικού κόστους του πλοίου είναι οι εξής:

- δεξαμενόπλοια: 7,0%,
- container ships: 9,1%,
- φορτηγά: 7,3%, και
- ψυγεία: 12%.

Η ουσιαστική διαφορά της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης ενός πλοίου είναι ότι το ηλεκτρικό ρεύμα που χρειάζεται δεν υπάρχει δυνατότητα να προέρχεται από σταθμό παραγωγής ενέργειας σε σταθερό σημείο στην ξηρά, αλλά πρέπει να παράγεται μέσα στο ίδιο το πλοίο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω γεννητριών συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, των οποίων η παραγωγή κατόπιν ρυθμίζεται με μετασχηματιστές ανάλογα με την χρήση και ενισχύεται ή υποβιβάζεται.

Το τυπικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου αποτελείται από τις συσκευές και τον εξοπλισμό παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και από τους διάφορους καταναλωτές. Τα κύρια στοιχεία που το απαρτίζουν είναι τα ακόλουθα:

- *Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας* – Συνήθως αποτελούνται από τρεις ηλεκτρογεννήτριες (diesel generators, DG) από τις οποίες συνήθως η μια είναι σε εφεδρεία. Σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται αξονικές γεννήτριες (*shaft generators, SG*), οι οποίες είναι ηλεκτρικές μηχανές που παίρνουν κίνηση από τον ελικοφόρο άξονα του πλοίου καθώς και στροβιλογεννήτριες (*turbo generators, TG*).
- Κύριος πίνακας μαζί με τις διατάξεις προστασίας, τους διακόπτες, τα όργανα ελέγχου και τους κύριους ζυγούς διανομής
- Ηλεκτρικός πίνακας ανάγκης (*emergency*) που καλύπτει μόνο κρίσιμα φορτία.
- Καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ηλεκτρικοί καταναλωτές που ενδέχεται να είναι και μεγάλοι κινητήρες, συγκρίσιμης ονομαστικής ισχύος με αυτήν των γεννητριών όπως π.χ. κινητήρες πρόωσης, αντλιών φορτίου κ.τ.λ.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί ακόμα σε ορισμένες περιπτώσεις να χρησιμοποιηθεί για πρόωση του πλοίου, όπως σε περιπτώσεις εκκίνησης, όπισθεν, απότομης κράτησης ή για την υπέρμετρη αύξηση στροφών του κινητήρα καθώς και σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπου έχουμε χρήση ηλεκτρικών πηδαλίων.[3][5][9][14][17]

Απαιτήσεις και κανονισμοί

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση του πλοίου πρέπει να ικανοποιεί τις προδιαγραφές του Νηογνώμονα, των Εθνικών Κανονισμών και των Κανονισμών SOLAS (*Safety Of Life At Sea Convention*):

Οι κύριες γεννήτριες πρέπει να αποδίδουν ισχύ απαραίτητη να καλύπτει όλα τα φορτία του πλοίου στη δυσμενέστερη αναμενόμενη περίπτωση. Για λόγους ασφαλείας, υπάρχουν τουλάχιστον δύο κύριες ηλεκτρογεννήτριες (εγκατεστημένες στο ηλεκτροστάσιο) και μια πηγή ασφαλείας (η πηγή ανάγκης, “*emergency source*”) εγκατεστημένη εκτός ηλεκτροστασίου. Η πηγή αυτή είναι συνήθως γεννήτρια, που κινείται με αποκλειστικά δικό της κινητήρα Diesel. Μόνο σε πολύ μικρά σκάφη επιτρέπονται συσσωρευτές ως πηγή ασφαλείας.

Επιπλέον αυτών, υπάρχει διάταξη για λήψη ρεύματος από τη στεριά, η οποία βρίσκεται στο κύριο κατάστρωμα, είναι κατάλληλα προστατευμένη και συνδέεται με τον κύριο πίνακα διανομής.

Το πλοίο είναι εφοδιασμένο με επαρκή ανταλλακτικά, ώστε να μπορούν ορισμένες βλάβες να αντιμετωπίζονται ακόμη και στο πέλαγος. Δύο από τις σημαντικότερες απαιτήσεις για την επιλογή και εγκατάσταση του ηλεκτρολογικού υλικού των πλοίων είναι οι εξής:

- i.Εξαιρετική αξιοπιστία, ιδιαίτερα για τα στοιχεία της εγκατάστασης που έχουν σχέση με ζωτικές λειτουργίες του σκάφους (πρόωση, πηδαλιουχία, φωτισμός ναυσιπλοΐας, τηλεπικοινωνία).
- ii.Ασφάλεια από πλευράς πυρκαγιάς : υλικά άκαυστα ή τουλάχιστον βραδύκαυστα, αποφυγή σπινθηρισμών κλπ.

Οι ηλεκτρικές μηχανές και συσκευές πρέπει να είναι ικανές να λειτουργούν ακόμη και με κλίση 150° προς τα δεξιά ή αριστερά, με διατοιχισμό 22,5°, με διαμήκη κλίση 5° και προνευστασμό 7,5°. Πρέπει επίσης να μπορούν να λειτουργούν ικανοποιητικά σε τελική θερμοκρασία έως 85 °C όταν βρίσκονται εκτός μηχανοστασίου ή 90-95°C όταν βρίσκονται στο μηχανοστάσιο. Η τελική θερμοκρασία καθορίζεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τη θέρμανση του μηχανήματος κατά τη λειτουργία του. Ας σημειωθεί ότι η θερμοκρασία αυτή επηρεάζει τόσο την απόδοση του μηχανήματος όσο και τη διάρκεια ζωής του.

Για παράδειγμα, μια επαφή ή ένας αυτόματος διακόπτης μπορεί να μη λειτουργήσει εάν υπερθερμανθεί. Όταν η θερμοκρασία αυξάνει, η τάση μιας γεννήτριας πέφτει, ενώ η ταχύτητα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος αυξάνει. Είναι λοιπόν απαραίτητος ο αερισμός των μηχανών, ο οποίος όταν δεν είναι επαρκής για τη διατήρηση των θερμοκρασιών σε χαμηλά επίπεδα, συμπληρώνεται με κατάλληλο σύστημα ψύξης.








Συνιστάται η τοποθέτηση των μηχανών με τον άξονα περιστροφής τους είτε κατακόρυφο είτε παράλληλο με την τρόπιδα του πλοίου. Εάν η τοποθέτηση κατά το εγκάρσιο επίπεδο είναι αναπόφευκτη, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα (τοποθέτηση ωστικών εδράνων κλπ.) ώστε να αποφευχθούν κτυπήματα του άξονα ή προβλήματα λίπανσης των εδράνων κατά τους διατοιχισμούς του πλοίου.[5]

Αντικείμενο – Στόχος Εργασίας

Η διπλωματική εργασία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα βήματα για την κατάρτιση ενός τελειόφοιτου φοιτητή. Η περάτωσή της είναι ο καλύτερος τρόπος εφαρμογής των γνώσεων που έλαβε πάνω σε ένα συγκεκριμένο θέμα, το οποίο φυσικά προέρχεται από το αντικείμενο σπουδών του. Συγκεκριμένα, η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί ένα από σημαντικά στάδια στην εκπαίδευση και κατάρτιση των σπουδαστών πάνω στο αντικείμενο του Μηχανικού Παραγωγής και Διοίκησης.

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά στα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στα εμπορικά πλοία. Συγκεκριμένα ένα πλοίο για την κίνηση του χρησιμοποιεί δύο μορφές ενέργειας, αυτές είναι η ενέργεια πρόωσης που την λαμβάνει από την κινητήρια μηχανή ΜΕΚ (Μηχανή Εσωτερικής Καύσης) ή από την εγκατάσταση ατμοστροβίλου, και την ηλεκτρική ενέργεια που την λαμβάνει από τις ηλεκτρογεννήτριες. Η ηλεκτρική ενέργεια είναι η σημαντικότερη που υπάρχει στο πλοίο καθώς χωρίς αυτή δεν θα ήταν δυνατή η διακυβέρνησή και η πρόωση του. Έτσι λοιπόν, οι δύο αυτές μορφές ενέργειας ενώνονται για να μας δώσουν τη κίνηση του πλοίου και τη λειτουργία του. Πιο συγκεκριμένα να αναλύσει το σύνολο των μηχανημάτων και εξαρτημάτων επί του πλοίου που κάνουν εφικτή την αδιάκοπη παραγωγή και χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα πλοίο, αλλά και να καταστήσει σαφές το πόσο απαραίτητη είναι η ηλεκτρική ενέργεια και να αναδείξει την σπουδαιότητα αυτής

Συνοπτική Περιγραφή Ακόλουθων Κεφαλαίων

-  **Κεφ. 2: Ιστορική Αναδρομή** – Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναφορά των πρώτων πλοίων που χρησιμοποίησαν συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, παρουσιάζεται η πορεία ανάπτυξης των προωστήριων ηλεκτρομηχανών, και των ηλεκτρομηχανών γενικής χρήσης των πλοίων από τις πρώτες εφαρμογές τους, αλλά και οι μετατροπές που υπέστησαν έως ότου να φτάσουν στην μορφή που της συναντάμε σήμερα.
-  **Κεφ. 3: Εγκαταστάσεις Συστημάτων Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας**– Σε αυτή την ενότητα αναφέρονται τα συστήματα με τα οποία τα εμπορικά πλοία τροφοδοτούνται με ηλεκτρικό ρεύμα και αναλύεται ο εξοπλισμός του συστήματος παροχής ενέργειας των πλοίων.
-  **Κεφ. 4: Λειτουργία Συστημάτων Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας**– Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι αρχές λειτουργίας των συστημάτων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (τα οποία περιεγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα).
-  **Κεφ. 5: Εφαρμογές Συστημάτων Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας** – Στην ενότητα αυτή δίδεται μία περιγραφή του τρόπου χρήσης και εφαρμογών της ηλεκτρικής ενέργειας στα εμπορικά πλοία.
-  **Κεφ.6: Εναλλακτικές Μορφές παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας**– Σε αυτήν την ενότητα γίνεται αναφορά σε διαφορετικούς / εναλλακτικούς τρόπους με τους τα εμπορικά πλοία μπορούν να παράγουν ενέργεια για την λειτουργία τους.
-  **Κεφ. 7: Συμπεράσματα - Επίλογος** – Στο κεφάλαιο αυτό επισημαίνονται διάφορα συμπεράσματα σχετικά με την παρούσα πτυχιακή εργασία και της επίτευξης του στόχου εκπόνησής της.
-  **Κεφ. 8: Ενδεικτική Βιβλιογραφία - Πηγές**

Κεφάλαιο 2 Ιστορική Αναδρομή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά για τον ηλεκτρισμό και πως κατάληξε να χρησιμοποιηθεί μέσω των πρώτων ηλεκτρογεννητριών σε πλοία και που χρησιμοποίησαν συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα του πλοίου *S/S Columbiato* το οποίο ήταν το πρώτο που εγκατέστησε σύστημα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, του πλοίου *S/S Normandie* που ήταν το πρώτο που διέσχισε τον Ατλαντικό ωκεανό με την χρησιμοποίηση συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης, του πλοίου *E/S Elation* στο οποίο εγκαταστάθηκε το πρώτο αζιμουθιακό προωστήριο σύστημα και τέλος και πιο σημαντικό του *River Tanker Vandal* το οποίο ήταν το πρώτο εμπορικό πλοίο που ανέπτυξε και εφάρμοσε την ηλεκτροπρόωση.

Γενικά

Το εναλλασσόμενο ρεύμα καθώς και οι πρώτες του εφαρμογές αποτέλεσαν εργασία του Νίκολα Τέσλα. Για την καθιέρωση του εναλλασσόμενου, έναντι του συνεχούς, αντιμετώπισε μάλιστα τον έντονο ανταγωνισμό του Τόμας Έντισον. Το εναλλασσόμενο ρεύμα παράγεται από της ηλεκτρογεννήτριες.

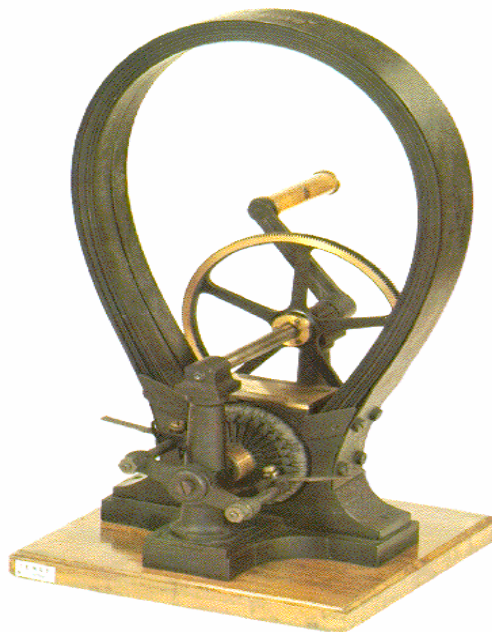
Στα μέσα του 19ου αιώνα επιστήμονες, εφευρέτες και επιχειρηματίες πασχίζουν να αξιοποιήσουν πρακτικά τον ηλεκτρισμό και να αντικαταστήσουν τις ατμομηχανές των μέσων μεταφοράς και των εργοστασίων με ηλεκτροκινητήρες.

Η γεννήτρια ή ηλεκτρογεννήτρια, (generator), είναι μηχανή που βασίζεται πάνω στους νόμους της ηλεκτροφυσικής και ιδιαίτερα του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής που ανακάλυψε ο διάσημος Άγγλος φυσικός Μιχαήλ Φαραντέϋ, το 1831, και που αφορά την ενέργεια και τη μετατροπή της από τη μια μορφή σε μια άλλη.

Η ηλεκτρογεννήτρια αυτή όμως, ήταν μικρής ισχύος, έτσι το πρόβλημα εξακολουθούσε να υπάρχει έως τη δεκαετία του 1860, οπότε κατασκευάστηκαν οι πρώτες αποτελεσματικές ηλεκτρογεννήτριες από το Γερμανό βιομήχανο και μηχανικό Werner von Siemens, το 1866. Από τότε και μετά ο ηλεκτρισμός άρχισε να αξιοποιείται σε ολοένα και μεγαλύτερη κλίμακα .

Το 1878 ο Άγγλος εφευρέτης St.G.Lane-Fox και ο Αμερικάνος εφευρέτης Έντισον (Thomas Alva Edison) πρότειναν ένα σχέδιο για τη μεταφορά ηλεκτρισμού σε πελάτες με σκοπό το φωτισμό. Λίγο αργότερα, το 1881, ο πρώτος σταθμός παραγωγής ηλεκτρισμού λειτούργησε στο Grodalming στη νοτιοανατολική Αγγλία . Την επόμενη χρονιά, το 1882, η εταιρία του Έντισον έθεσε σε λειτουργία δύο υδροηλεκτρικούς σταθμούς συνεχούς ρεύματος , τάσης 110 βολτ, τον 1ο στο Λονδίνο και το 2ο στη Νέα Υόρκη . Οι δυνατότητες των σταθμών αυτών ήταν περιορισμένες από τη μικρή απόσταση που μπορούσε να μεταφερθεί η ηλεκτρική ισχύς.

Το 1881 ο Γάλλος εφευρέτης Lucien Gaulard και ο Άγγλος John Gibbs κατέθεσαν ευρεσιτεχνίες για ένα σύστημα διανομής εναλλασσόμενης τάσης. Τις ευρεσιτεχνίες αυτές αγόρασε το 1885 ο Αμερικάνος εφευρέτης και βιομήχανος George Westinghouse. Το 1888 ο Westinghouse κατασκεύασε μια ηλεκτρογεννήτρια εναλλασσόμενης τάσης και ανέπτυξε ένα βελτιωμένο τύπο μετασχηματιστή. Φάνηκαν, τότε, τα πρώτα πλεονεκτήματα των συστημάτων διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος έναντι του συνεχούς, αφού το εναλλασσόμενο μπορούσε να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ το συνεχές δεν μπορούσε. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να ξεσπάσει έντονη διαμάχη Edison και Westinghouse. Ο Edison υπέρμαχος του συνεχούς ρεύματος πολέμησε έντονα το εναλλασσόμενο ως επικίνδυνο. Γεγονός, πάντως, είναι ότι η εταιρία Edison Electric Light (σήμερα General Electric) είχε δίκτυα διανομής συνεχούς ρεύματος, ενώ η ανταγωνιστική της, Westinghouse Electric Company (σήμερα Westinghouse Proporation) είχε δίκτυα διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος.



Εικόνα 2.1 – Ηλεκτρογεννήτρια

Το 1888 ο Σερβοαμερικάνος μηχανικός και εφευρέτης Nicolas Tesla, κατασκεύασε τον πρώτο αποδοτικό εναλλακτήρα (ηλεκτρογεννήτρια), όμοιο με τους σημερινούς και βελτίωσε το μετασχηματιστή. Το προϊόν της εργασίας του αγόρασε αμέσως ο Westinghouse και το εκμεταλλεύτηκε, όταν κέρδισε το διαγωνισμό για την κατασκευή υδροηλεκτρικού σταθμού στους καταρράκτες του Νιαγάρα, το 1893. Το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) των Tesla και Westinghouse, είχε πλέον κερδίσει το "αντίπαλο" συνεχές ρεύμα (DC) του Edison στα συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής. [12]

Με το πέρασ του χρόνου και μετά από ατέρμονες έρευνες επιστημόνων αλλά και διά μέσου της παρατήρησης των ελαττωμάτων των μηχανών παραγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας έχει επιτευχθεί τεράστια πρόοδος στον τομέα αυτό μέσω της εξέλιξης στο σχεδιασμό, στην κατασκευή και στη συντήρηση ηλεκτρικών μηχανών και μετασχηματιστών. Ενδεικτικά:

- Νέες δυνατότητες σχεδιασμού και υπολογισμών (π.χ. ανάλυση ηλεκτρομαγνητικού πεδίου με μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων)
- Νέα υλικά . Εκτός από τα γνωστά μονωτικά εμφανίστηκαν τα νανοδομημένα διηλεκτρικά με αυξημένη διηλεκτρική αντοχή. Επίσης, προέκυψαν νέα μαγνητικά υλικά υψηλής ενέργειας, όπως « Neodym – Eisen Bor (NdFeB) » που καθιστούν δυνατή τη δημιουργία ισχυρών μόνιμων μαγνητών κ.λ.π.
- Η εξελιγμένη μοντελοποίηση και η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών οδήγησαν σε βελτίωση της διαστασιολόγησης, μείωση του όγκου και του βάρους, μείωση του κόστους και αύξηση του βαθμού απόδοσης. Νέοι μέθοδοι διάγνωσης σφαλμάτων με ευνοϊκές επιπτώσεις στην έγκαιρη αντιμετώπιση αυτών με αποτέλεσμα την επιμήκυνση της εύρυθμης λειτουργίας και τη μείωση δαπανών
- Στα αγωγίμα και στα ηλεκτρομαγνητικά υλικά έχουν σημειωθεί αξιόλογες εξελίξεις, όπως οι φερίτες για χρήση σε διατάξεις μικρής ισχύος.
- Βελτιστοποίηση της ψύξης, όπως η μετάβαση από την ψύξη με αέρα στην ψύξη με νερό οδηγεί στην αυξημένη εκμετάλλευση των τυλιγμάτων.
- Νέες τεχνολογίες εφαρμόζονται στην έδραση όπως είναι η χρήση ατρακτοειδών εδράνων με κεραμικές μπάλες αντί μπάλες από ατσάλι, μειώνοντας έτσι το μέγεθος και επιτυγχάνοντας υψηλότερες στροφές. Επίσης, έχει αναπτυχθεί η μαγνητική έδραση, όπου αποφεύγεται η επαφή υλικών, με χρήση ελεγχόμενων ηλεκτρομαγνητών. Αυτή η έδραση επιτρέπει την επίτευξη πολύ μεγάλου αριθμού στροφών π.χ. 40000 ανά min. [8]

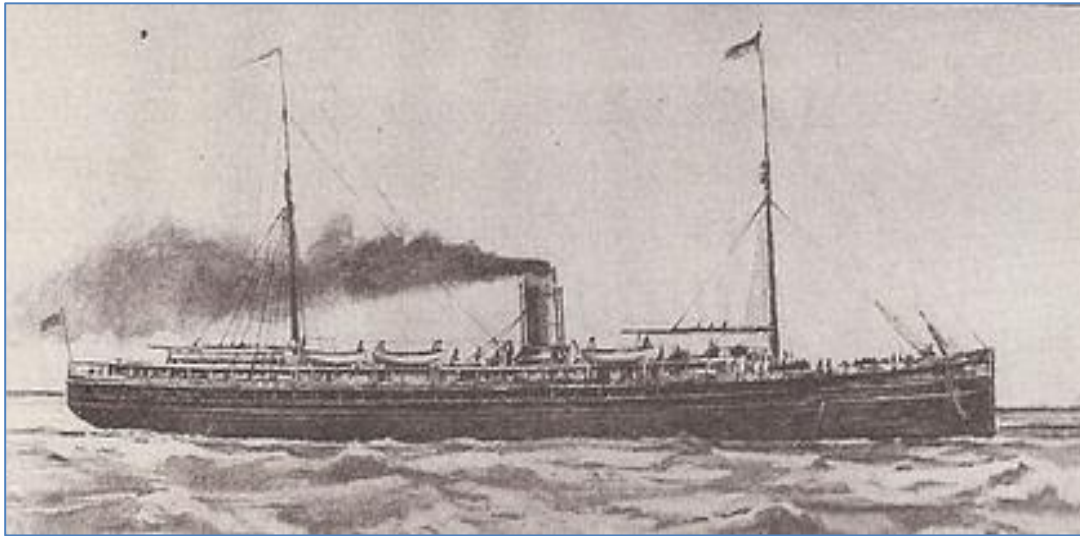
Στο τέλος του 19ου αιώνα πραγματοποιήθηκαν μία σειρά από πειραματικές εφαρμογές ηλεκτρικής πρόωσης σε Ρωσία και Γερμανία, όπου ο ηλεκτρικός κινητήρας πρόωσης τροφοδοτούταν απευθείας από συστοιχίες συσσωρευτών.

Η πρώτη γενιά ηλεκτροπρόωσης εφαρμόσθηκε περί το 1920. Ήταν αποτέλεσμα του μεγάλου ανταγωνισμού για μείωση του χρόνου των υπερατλαντικών ταξιδιών, μεταξύ των ναυτιλιακών εταιριών επιβατηγών πλοίων. Η μεγάλες απαιτήσεις σε ισχύ πρόωσης καλύπτονταν τότε από ηλεκτροστρόβιλους.

Πλοίο S/S Columbia

Το πρώτο πλοίο στο οποίο εγκαταστάθηκε σύστημα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, ήταν το ατμοκίνητο φορτηγό/επιβατηγό *SS Columbia*, το 1880. Συγκεκριμένα, το πλοίο αυτό αποτέλεσε την πρώτη εμπορική εφαρμογή του πρωτοποριακού για την εποχή δικτύου φωτισμού με λαμπτήρες πυρακτώσεως, αντί για λάμπες πετρελαίου. Η υλοποίηση αυτή του Έντισον, με γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, αντιμετωπίστηκε με σκεπτικισμό αρχικά, όμως, ήταν τόσο επιτυχημένη που σύντομα οδήγησε στην ολοκληρωτική υιοθέτηση τέτοιων συστημάτων στα ήδη υπάρχοντα και μεταγενέστερα πλοία. Ενώ το δίκτυο φωτισμού, ισχύος μερικών kW, αποτέλεσε την αφετηρία της εγκατάστασης των πρώτων συστημάτων ηλεκτρικής ισχύος στα πλοία, η

γιγάντωση τους προήλθε από την χρησιμοποίηση των πρώτων ηλεκτρικών κινητήρων για την εξυπηρέτηση των διάφορων φορτίων, όπως ο εξαερισμός και τα μηχανήματα καταστρώματος.



Εικόνα 2-1. Το Πλοίο S/S Columbia (1880)[20]

Αρχικά προτιμήθηκε το δίκτυο συνεχούς ρεύματος, το οποίο προσέφερε υψηλότερη ασφάλεια στο προσωπικό και ευκολία στον χειρισμό των κινητήρων. Όμως ο αυξανόμενος εξηλεκτρισμός των φορτίων που οδήγησε σε μονάδες παραγωγής μεγάλου βάρους, οι μεγάλες απώλειες κατά τη διανομή και η ευκολία που θα παρείχε η υιοθέτηση κοινού δικτύου διανομής με τις ηπειρωτικές βιομηχανικές μονάδες, οδήγησε στην αντικατάσταση του δικτύου συνεχούς ρεύματος με δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος. Η εφαρμογή του στα εμπορικά πλοία έγινε αρκετά χρόνια αργότερα αλλά ακόμη και σήμερα παραμένει το πλέον συχνά συναντώμενο σύστημα.

Εδώ και πολλά χρόνια, θα μπορούσε κάποιος να πει, πως, τα πλοία πως είναι πλωτές χημικές βιομηχανίες και όχι απλά μεταφορικές μονάδες. Η ηλεκτρική εγκατάσταση του πλοίου αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Συντίθεται από τα επιμέρους συστήματα, ισχύος, αυτοματισμού, φωτισμού και επικοινωνιών - ναυσιπλοΐας. Είναι η πιο μεγάλη βοηθητική εγκατάσταση, από την οποία εξαρτώνται το μεγαλύτερο μέρος των βοηθητικών λειτουργιών του πλοίου που σχετίζονται με την ασφάλεια, την πρόωση, τους χειρισμούς και το φορτίο. Λόγω των ιδιαίτερων περιβαλλοντικών και άλλων επιβαρυντικών συνθηκών που επικρατούν κατά την πλεύση και εξαιτίας του γεγονότος ότι η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού αναμένεται να είναι ίση με τη διάρκεια εκμετάλλευσης του πλοίου, η εγκατάσταση πρέπει να χαρακτηρίζεται από αυτάρκεια και αξιοπιστία, υψηλότερη από αυτή ενός ηπειρωτικού ΣΗΕ.[6]

Το Πλοίο S/S Normandie

Κατά τα τέλη του 19ου αιώνα στην Γερμανία διαδραματίστηκαν πειραματικές εφαρμογές ηλεκτρικής πρόωσης όπου ο ηλεκτροκινητήρας πρόωσης συνδεόταν και τροφοδοτούνταν άμεσα από συστοιχίες συσσωρευτών. Γύρω στα 1920, ο μεγάλος ανταγωνισμός ανάμεσα στις ναυτιλιακές επιβατικών πλοίων για την μείωση υπερατλαντικών ταξιδιών γίνεται το έναυσμα για χρήση της πρώτης γενιάς ηλεκτροπρόωσης.

Η ισχύς της πρόωσης προέρχονταν τότε από στρόβιλο-ηλεκτρικά συστήματα και οι απαιτήσεις σε ισχύ ήταν πολύ μεγάλες. Το πλοίο 'S/S Normandie', αποτέλεσε το πρώτο σκάφος που διέσχισε τον Ατλαντικό ωκεανό με τη χρήση ενός συστήματος ηλεκτρικής πρόωσης με τα παραπάνω χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2-2. Το πλοίο S/S Normandie (1932)[21]

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες τροφοδοτούνταν συνήθως από ατμογεννήτριες και η συχνότητα της παραγόμενης ενέργειας των γεννητριών καθόριζε την περιστροφική ταχύτητα που χρειαζόταν ο ηλεκτροκινητήρας για την λειτουργία του. Οι γεννήτριες ήταν υπεύθυνες να τροφοδοτούν κάθε μηχανή πρόωσης ξεχωριστά, όμως αν το ταξίδι είναι χαμηλότερης ταχύτητας υπάρχει η δυνατότητα οι γεννήτριες να τροφοδοτούν μόνο τις δύο μηχανές και οι υπόλοιπες να μένουν ανενεργές, ώστε να κερδίζουμε σε εξοικονόμηση ενέργειας.

Στα μέσα του 20ου αιώνα συναντάμε πλέον τις μηχανές diesel, οι οποίες έβαλαν τέλος στην τεχνολογία στροβίλων ατμού αλλά και της ηλεκτροπρόωσης, μέχρι την δεκαετία του 80. Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών ισχύος και των συστημάτων οδήγησης των ηλεκτρικών κινητήρων έπαιξαν σημαντικό ρόλο, ώστε να επανέλθουν τα ηλεκτρικά κινητήρια συστήματα στην αγορά. Η δεύτερη γενιά ηλεκτροπρόωσης υλοποιείται μέσω ανορθωτών (μετατροπών E.P./Σ.Ρ.) για τον έλεγχο προωστικών μηχανών και μετέπειτα με εφαρμογή των μετατροπών E.P/E.P για την εγκυρότητα και τον έλεγχο των μηχανών. Ένα ισχυρό δίκτυο από σταθερή τάση και συχνότητα τροφοδοτεί το προωστήριο σύστημα. Μέσω ενός επιμελούς ελέγχου των στροφών των ηλεκτροκινητήρων στρέφονται οι έλικες με σταθερό βήμα (fixed pitch propellers - FPP).[14]

Πλοίο M/S Elation

Στις αρχές της δεκαετίας του '90, κάνει την εμφάνισή του το λεγόμενο αζιμουθιακό προωστήριο σύστημα. Σε ένα σύστημα πρόωσης αζιμουθιακού τύπου, το σύστημα ηλεκτρικού κινητήρα και έλικας αποτελεί μία ενιαία μονάδα εμβαπτισμένη στο νερό, η οποία εδρεύει στο πρυμναίο μέρος

του πλοίου. Το σύστημα μπορεί να φέρει είτε μία είτε δύο έλικες και εμφανίζει τη δυνατότητα να στρέφεται πλήρως κατά την αζιμουθιακή διεύθυνση και με επίπεδο αναφοράς το οριζόντιο, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ευελιξία του πλοίου, να εκμηδενίζεται το αξονικό σύστημα και να μην απαιτείται μηχανισμός πηδαλίου.



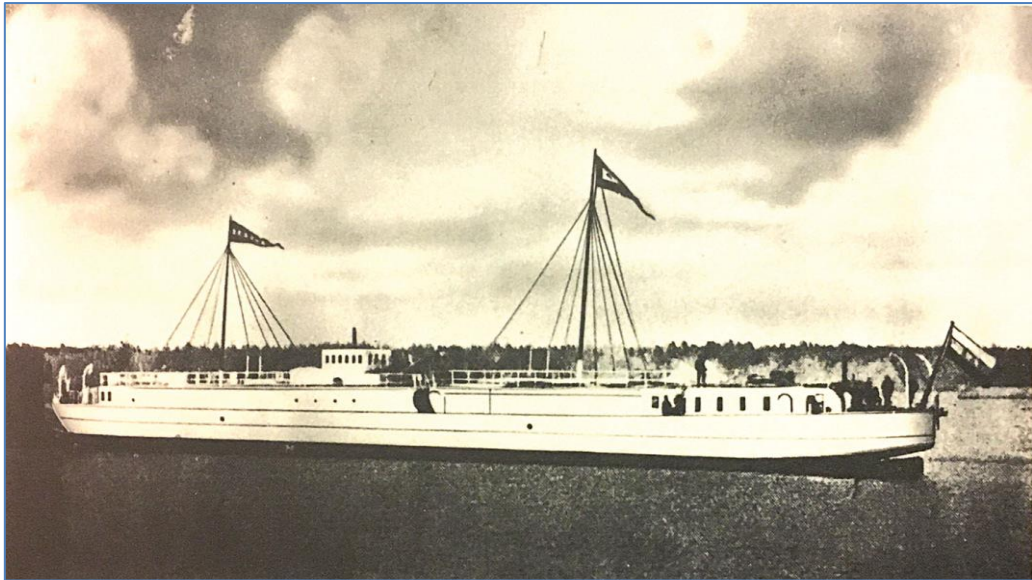
Εικόνα 2-3. Το Πλοίο *M/S Elation* (1998)[22]

Από την πρώτη εφαρμογή ενός συστήματος τέτοιου τύπου στο κρουαζιερόπλοιο 'M/S Elation', τα αποτελέσματα ήταν εξόχως ενθαρρυντικά με αποτέλεσμα ο εν λόγω τύπος πρόωσης να αρχίσει να εφαρμόζεται πλέον στην πλειονότητα των νέων κρουαζιερόπλοιων. Τα τελευταία χρόνια και σε συνδυασμό με την αυξημένη πλέον δυνατότητα για εξοικονόμηση χώρου, ο συνδυασμός των συστημάτων αζιμουθιακής πρόωσης με την ηλεκτρική πρόωση οδηγεί στην πιο εκτεταμένη εφαρμογή τους, με αποτέλεσμα πλέον να χρησιμοποιούνται ως κύριοι προωστήρες κυρίως σε εφαρμογές που απαιτούν ισχύ της τάξης των 6-7 MW.[8]

Το Πλοίο River Tanker Vandal

Το πρώτο εμπορικό πλοίο που ανέπτυξε και εφάρμοσε την ηλεκτροπρόωση ήταν το Vandal, ένα τάνκερ που έπλεε σε ποτάμια (river tanker), με έτος ναυπήγησης το 1903. Διέθετε 3 κινητήριες μηχανές diesel που εκκινούσαν 3 dc γεννήτριες των 87 KW, 500 V, που με την σειρά τους τροφοδοτούσαν έναν κινητήρα 75 KW συνδεδεμένο με την προπέλα του πλοίου. Οι καιρικές συνθήκες και η φύση των ποταμιών όπου το Vandal έπλεε δεν απαιτούσαν συχνές μεταβολές στην ταχύτητα περιστροφής της προπέλας του, συνεπώς το βασικό αυτό ζήτημα λύθηκε δια της απουσίας του, ειδάλλως θα έπρεπε να εφαρμοστεί τεχνολογία που θα ρύθμιζε την συχνότητα περιστροφής της προπέλας ανεξάρτητα από την συχνότητα περιστροφής του συστήματος παραγωγής ενέργειας, κάτι που τότε δεν υπήρχε και που μέχρι την αρχή του 1970 αποτελούσε το εμπόδιο στην ανάπτυξη των εφαρμογών ηλεκτροπρόωσης στα πλοία ανοικτής θαλάσσης.

Έτσι το Vandal εκτελούσε επιτυχώς το δρομολόγιο 3,2 χιλιομέτρων μεταξύ Αγίας Πετρούπολης και Κασπίας Θάλασσας για 10 χρόνια, μεταφέροντας πάνω από 800 τόνους φορτίο σε κάθε διαδρομή με μέγιστη ταχύτητα 8.3 κόμβων (13 χιλιόμετρα/ώρα). Η επιτυχία του εν λόγω πλοίου οδήγησε την εταιρία στην κατασκευή ενός παρεμφερούς πλοίου, το Ssarmat που είχε 2 μηχανές diesel των 132 KW, μία βοηθητική των 7.3 KW, και ήταν αποδοτικότερο του Vandal με αποτέλεσμα να εκτελεί παρόμοια δρομολόγια από το 1904 έως το 1923.[9]



Εικόνα 2-4. Το Πλοίο 'River Tanker Vandal' (1903)[20]

Κεφάλαιο 3 Εγκαταστάσεις Συστημάτων Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Γενικά

Η επιλογή και η διάταξη όλων των μηχανημάτων και του εξοπλισμού και των συσκευών του πλοίου, θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η συνεχής και ομαλή λειτουργία του πλοίου. Θα πρέπει να ληφθούν δηλαδή, από τον κατασκευαστή του εξοπλισμού του πλοίου, τα κατάλληλα μέτρα ώστε να αντιμετωπιστούν με επιτυχία οι δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες (υγρασία, θερμοκρασία) και οι διάφορες μηχανικές καταπονήσεις (κραδασμοί). Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές μηχανές, στα καλώδια, στον διακοπτικό εξοπλισμό και σε άλλο εξοπλισμό θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στο θαλασσινό νερό, στην υγρασία και σε ατμούς πετρελαίου. Επιπλέον, δεν πρέπει να είναι υγροσκοπικά ενώ πρέπει να είναι βραδύκαυστα και αυτοσβενούμενα. Τα υλικά συνιστάται να είναι ελεύθερα αλογόνων. Επιπλέον ο ηλεκτρικός εξοπλισμός θα πρέπει να προστατεύεται με μόνωση ενάντια σε ξένα σώματα και στο νερό ανάλογα με το μέρος της εγκατάστασης.

Επιπλέον, στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις των πλοίων πρέπει να υπάρχει προστασία από ηλεκτροπληξία είτε από άμεση είτε από έμμεση επαφή του ανθρώπου με ηλεκτροφόρους αγωγούς ή συσκευές. Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποφεύγεται η πρόσβαση ή η επαφή σε ηλεκτροφόρο εξοπλισμό από τον άνθρωπο. Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας, σε περίπτωση σφάλματος στη μόνωση του εξοπλισμού, τα παρακάτω μέτρα μπορούν να ληφθούν:

- Γείωση προστασίας : όλα τα αγωγίμα μέρη του ηλεκτρικού εξοπλισμού του πλοίου που δεν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα, αλλά μπορούν σε περίπτωση σφάλματος να παρουσιάσουν κάποια τάση επικίνδυνη για τον άνθρωπο, θα πρέπει να γειώνονται στη γάστρα του πλοίου.

- Μόνωση προστασίας (διπλή μόνωση)
- Υιοθέτηση τάσεων που δεν είναι επικίνδυνες για τον άνθρωπο σε περίπτωση σφάλματος

Ηλεκτρικές διαφορές ανά κατηγορία Πλοίου

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι ηλεκτρικές διαφορές στις απαιτήσεις των πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου και δεξαμενόπλοιων σε σχέση με τα φορτηγά πλοία γενικού φορτίου, με βάση τους κανονισμούς του GL. Οι διαφορές στις ηλεκτρικές απαιτήσεις ενός πλοίου μεταφοράς φορτίου χύδην σε σχέση με ένα φορτηγό πλοίο γενικού φορτίου, αφορούν κυρίως τους ανιχνευτές στάθμης νερού και τα αντίστοιχα οπτικά ή ακουστικά συστήματα συναγερμού.

Με τον όρο ανιχνευτές στάθμης νερού εννοείται ένα σύστημα που αποτελείται από αισθητήρες και συσκευές ένδειξης, οι οποίοι ανιχνεύουν και προειδοποιούν για την εισροή του νερού στα αμπάρια και σε άλλους χώρους, και απαιτούνται για πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην από τη διεθνή σύμβαση SOLAS, κανονισμός XII/12.1 και για πλοία μονό αμπαριού με βάση τη SOLAS “Amendments 2003, 2004 και 2005”, κανονισμός 23-3. Οι απαιτήσεις αυτές προβλέπουν τα παρακάτω:

- Οι ανιχνευτές, τα ηλεκτρικά καλώδια και οποιοσδήποτε σχετικός εξοπλισμός εγκατεστημένος μέσα στα αμπάρια, θα πρέπει να προστατεύονται από ζημιές από τα φορτία ή μηχανολογικό εξοπλισμό.
- Η προστασία του περιβλήματος των ηλεκτρικών στοιχείων, που είναι εγκατεστημένα μέσα σε αμπάρια, δεξαμενές έρματος και ξηρούς χώρους θα πρέπει να είναι σύμφωνα με το IP 68 με βάση το πρότυπο IEC 60529.
- Η προστασία του περιβλήματος των ηλεκτρικών στοιχείων, που είναι εγκατεστημένα πάνω σε αμπάρια και δεξαμενές έρματος θα πρέπει να είναι σύμφωνα με το IP 56 με βάση το πρότυπο IEC 60529.
- Οι ανιχνευτές θα πρέπει να είναι ανθεκτικοί σε όλες τις συνθήκες περιβάλλοντος που μπορεί να υπάρξουν σε ένα αμπάρι.
- Το σύστημα συναγερμού θα πρέπει να είναι στη γέφυρα, η σηματοδότηση να είναι κατάλληλη για το περιβάλλον και να μην παρεμβαίνει σημαντικά σε άλλες δραστηριότητες απαραίτητες για την ασφαλή λειτουργία του πλοίου.
- Το σύστημα συναγερμού θα πρέπει να τροφοδοτείται από δύο ξεχωριστές πηγές, την κύρια πηγή ηλεκτρικής ισχύος και την πηγή έκτακτης ανάγκης.

Οι διαφορές στις απαιτήσεις των κανονισμών, κατά την ηλεκτρολογική εγκατάσταση σε ένα δεξαμενόπλοιο σε σχέση με ένα φορτηγό πλοίο γενικού φορτίου, αφορούν κυρίως την εγκατάσταση και τη προστασία (μόνωση) των καλωδίων και του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού σε περιοχές κινδύνου.

Ως περιοχές κινδύνου ορίζονται οι περιοχές στις οποίες μπορεί να προκύψει μια εκρηκτική ατμόσφαιρα σε επικίνδυνη ποσότητα λόγω τοπικών συνθηκών λειτουργίας. Επιπλέον για τέτοιου τύπου πλοία, με βάση τους κανονισμούς του GL, επιτρέπονται τα παρακάτω ηλεκτρικά δίκτυα:

1. Συνεχούς ρεύματος και μονοφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος - 2 αγωγοί, μονωμένοι από τη γάστρα του πλοίου
2. Τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος - 3 αγωγοί μονωμένοι από τη γάστρα του πλοίου.

Συστήματα με επιστροφή μέσω της γάστρας του πλοίου ή συστήματα με γειωμένο ουδέτερο ή συστήματα με γειωμένο αγωγό δεν επιτρέπονται σε tankers, εκτός από τοπικά περιορισμένα συστήματα με επιστροφή μέσω της γάστρας ή με γειωμένο ουδέτερο, που είναι εγκατεστημένα εκτός περιοχών κινδύνου και αφορούν:

- Προστασία από διάβρωση
- Κυκλώματα μέτρησης των συστημάτων εκκίνησης και προθέρμανσης των συστημάτων εσωτερικής καύσης
- Δίκτυα μέσης τάσεως που δεν επηρεάζονται από περιοχές κινδύνου.

Η αντίσταση μόνωσης των αγείωντων πρωτευόντων και δευτερευόντων συστημάτων διανομής, που περνούν μέσα από περιοχές κινδύνου ή που ανήκουν σε εξοπλισμό που βρίσκεται σε περιοχή κινδύνου, θα πρέπει να παρακολουθείται. Σε περιοχές κινδύνου, θα πρέπει να τοποθετούνται καλώδια μόνο για συσκευές των οποίων η χρήση επιτρέπεται σε αυτές τις περιοχές.

Τα καλώδια αυτά θα πρέπει να προστατεύονται από ζημιές. Όλα τα καλώδια που είναι εκτεθειμένα σε φορτίο, ατμούς πετρελαίου ή αέρια θα πρέπει να είναι θωρακισμένα ή με προστατευτικό στρώμα, και να έχουν ένα γενικά υδατοστεγές και ανθεκτικό στο πετρέλαιο εξωτερικό μανδύα.

Γενικά, ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός μη εγκεκριμένου τύπου ασφαλείας θα πρέπει να τοποθετείται έξω από τις περιοχές κινδύνου. Τέτοιος εξοπλισμός μπορεί να τοποθετηθεί σε κλειστούς ή ημίκλειστους χώρους μόνο αν είναι καλά αεριζόμενοι και χωρισμένοι μέσω φρεατίων ή ισοδύναμων διαστημάτων από τις δεξαμενές φορτίου, και μέσω διαφραγμάτων, που παρέχουν στεγανότητα ως προς το πετρέλαιο και τα αέρια, από τα φρεάτια και το αντλιοστάσιο.

Οι χώροι αυτοί θα πρέπει να είναι προσβάσιμοι μόνο από μη επικίνδυνες περιοχές ή μέσω επαρκώς αεριζόμενων αεροφρακτών. Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός μη εγκεκριμένου τύπου ασφαλείας μπορεί να εγκατασταθεί μέσα σε περιοχή κινδύνου, εάν ανήκει σε εγγενώς ασφαλές κύκλωμα. Τα υπόλοιπα μέτρα προστασίας που αφορούν τους κινητήρες, τα κυκλώματα μέτρησης, σηματοδότησης, ελέγχου και εσωτερικής επικοινωνίας, τους ανεμιστήρες και τον εξαερισμό, το σύστημα χειρισμού του φορτίου και του έρματος, το σύστημα καθοδικής προστασίας αναφέρονται στους κανονισμούς του GL 2010, I-Part 1, Section 15, A.

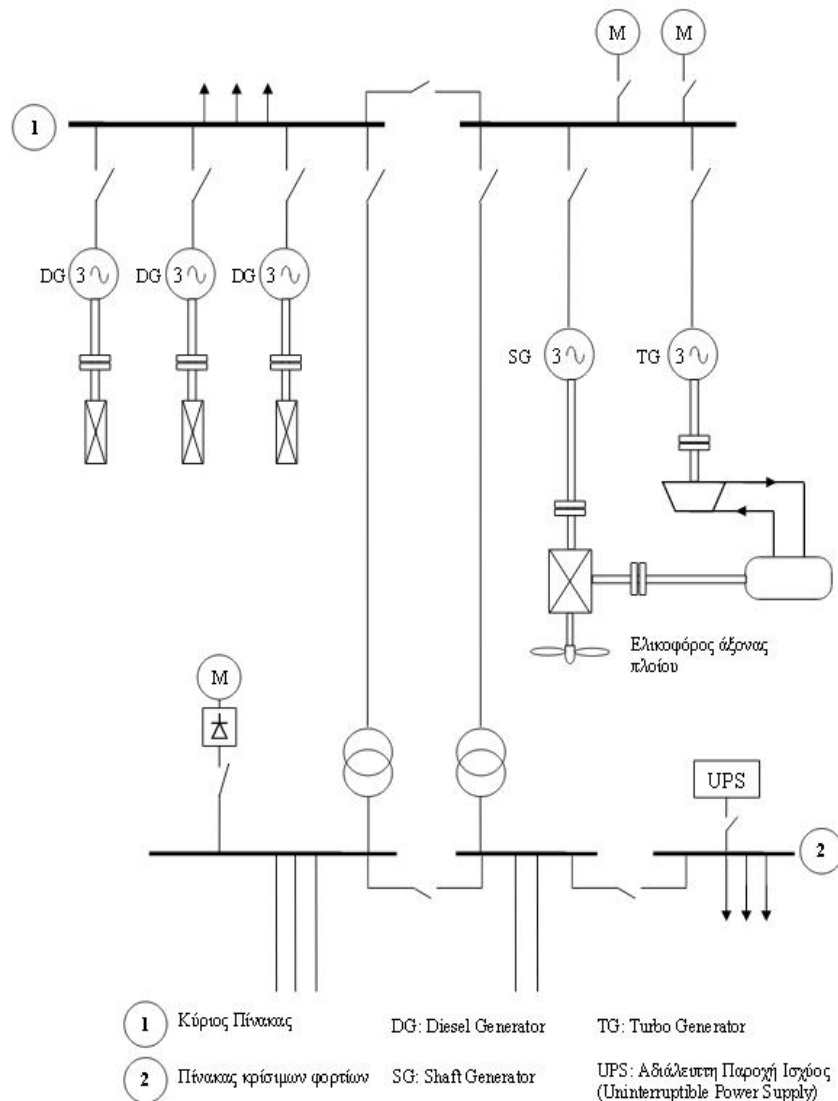
Επιπλέον υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για πετρελαιοφόρα με σημείο ανάφλεξης του φορτίου πάνω από 60° C, για πετρελαιοφόρα με σημείο ανάφλεξης του φορτίου κάτω από 60 °C, για δεξαμενόπλοια μεταφοράς υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) καθώς και για χημικά δεξαμενόπλοια. Οι απαιτήσεις αυτές βρίσκονται στους κανονισμούς του GL 2010, I-Part 1, Section 15, B, C, D, E. [3] [5]

Το τυπικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου αποτελείται από τις συσκευές και τον εξοπλισμό παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και από τους διάφορους καταναλωτές. Τα κύρια στοιχεία που το απαρτίζουν όπως φαίνονται και στο σχήμα είναι τα ακόλουθα:

- Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως αποτελούνται από τρεις ηλεκτρογεννήτριες (diesel generators, DG) από τις οποίες συνήθως η μια είναι σε εφεδρεία. Σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται αξονικές γεννήτριες (shaft generators, SG) η οποίες είναι ηλεκτρικές μμηχανές

οι οποίες παίρνουν κίνηση από τον ελικοφόρο άξονα του πλοίου καθώς και στρόβιλογεννήτριες. (turbo generators, TG).

- Κύριος πίνακας μαζί με τις διατάξεις προστασίας τους διακόπτες τα όργανα ελέγχου και τους κύριους ζυγούς διανομής.
- Ηλεκτρικός πίνακας ανάγκης (emergency) που καλύπτει μόνο κρίσιμα φορτία.
- Καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ηλεκτρικοί καταναλωτές που ενδέχεται να είναι και μεγάλοι κινητήρες, συγκρίσιμης ονομαστικής ισχύος με αυτήν των γεννητριών όπως π.χ. κινητήρες πρόωσης, αντλιών φορτίου κ.τ.λ. [10]



Σχήμα 3.2 – Ηλεκτρικό Σύστημα Πλοίου [10]

Συστήματα Ηλεκτρολογικών Εγκαταστάσεων Πλοίων

Οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις των πλοίων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα κύρια συστήματα:

- Συστήματα ισχύος: Περιλαμβάνει τις γεννήτριες, τους κινητήρες, τους πίνακες ελέγχου και διανομής, τους πίνακες ισχύος, τα καλώδια, τις συσκευές ελέγχου για τους κινητήρες, τον φωτισμό, την εσωτερική επικοινωνία, τον ασύρματο, τις συσκευές ραντάρ και τις λοιπές ηλεκτρικές κατασκευές.
- Σύστημα φωτισμού: Περιλαμβάνει τα καλώδια, τα κιβώτια διανομής, τους λαμπτήρες για τον γενικό φωτισμό, το σύστημα φωτισμού ανάγκης, τα φώτα ναυσιπλοΐας και αγκυροβολίας, όπως επίσης και τα φώτα και προβολείς σημάτων.
- Συστήματα εσωτερικής επικοινωνίας: Περιλαμβάνει όλες τις απαιτούμενες συσκευές και καλωδιώσεις σύνδεσης αυτών για την διαβίβαση και λήψη διαταγών και πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων διαμερισμάτων του πλοίου.

Οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις του πλοίου πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένες ώστε:

- Να εξασφαλίζονται οι κανονικές συνθήκες λειτουργίας του πλοίου και οι ελάχιστες συνθήκες διαβίωσης στο πλοίο χωρίς την καταφυγή στην πηγή ηλεκτρικής ισχύος έκτακτης ανάγκης.
- Να εξασφαλίζεται η λειτουργία του εξοπλισμού που είναι αναγκαίος για την ασφάλεια του πλοίου κάτω από συνθήκες έκτακτης ανάγκης
- Να διασφαλίζεται η ασφάλεια των επιβατών, του πληρώματος και του πλοίου από ηλεκτρικούς κινδύνους.[3][16]

Μηχανές Εσωτερικής Καύσης-MEK

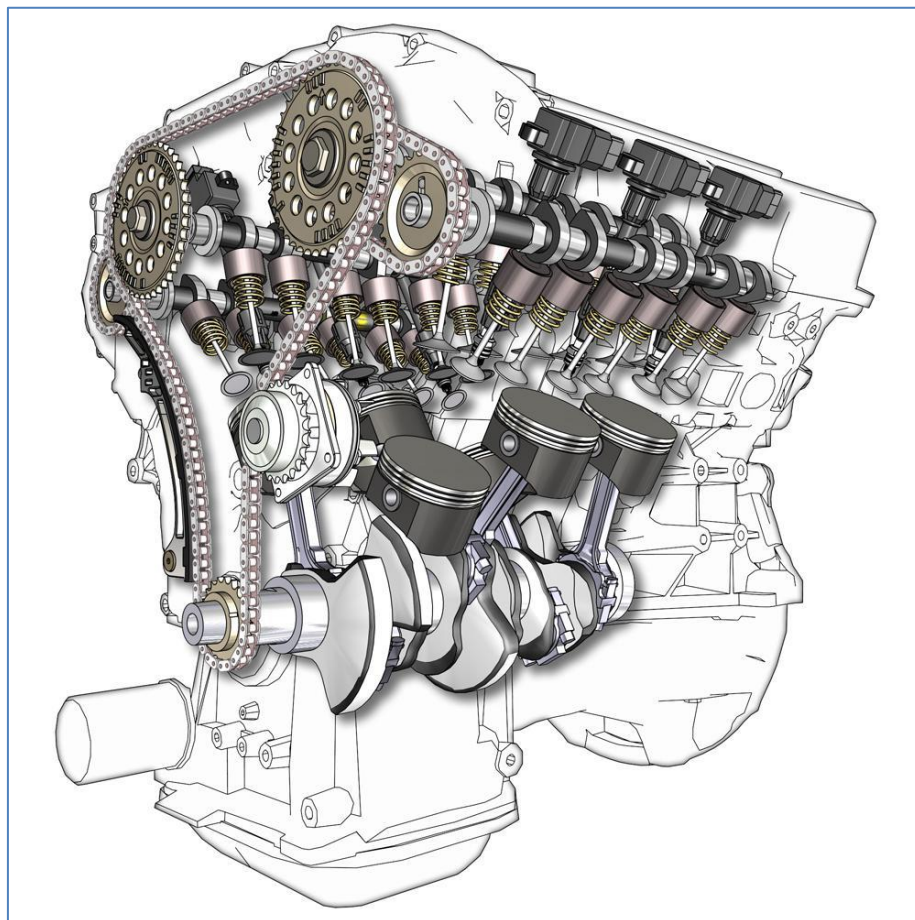
Οι εμβολοφόρες ή παλινδρομικές Μηχανές Εσωτερικής Καύσης – MEK (Internal Combustion Engines – ICE) χρονολογούνται από το 1876 όταν ο Otto ανέπτυξε για πρώτη φορά τη μηχανή ανάφλεξης με σπινθήρα και το 1892, όταν ο Diesel εφηύρε τη μηχανή ανάφλεξης με συμπίεση. Από τότε, οι μηχανές αυτές εξελίσσονται συνεχώς καθώς αυξάνεται η εμπειρία και η τεχνογνωσία στις διεργασίες που συμβαίνουν κατά τη λειτουργία τους. Επίσης, η ζήτηση που προέκυψε για νέους τύπους κινητήρων, λόγω των περιβαλλοντικών περιορισμών, οδήγησε στη δημιουργία καινοτόμων τεχνολογιών, με ικανότητα καύσης εναλλακτικών καυσίμων πέραν του συμβατικού πετρελαίου. Οι εταιρείες που αναπτύσσουν και κατασκευάζουν τις MEK, διαδραματίζουν πλέον κυρίαρχο ρόλο στους τομείς παραγωγής της ισχύος, της πρόωσης και της ενέργειας. Περαιτέρω, με τους προβληματισμούς του κόστους των καυσίμων και της ανταγωνιστικότητας της αγοράς να γίνονται όλο και πιο σημαντικοί, τα τελευταία 25 χρόνια, έχει παρατηρηθεί εκρηκτική ανάπτυξη στην έρευνα των MEK, καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος των εφαρμογών που έχουν ανάγκη την παραγωγή ωφέλιμου έργου.

Γενικά, ο σκοπός λειτουργίας των MEK είναι η παραγωγή μηχανικής ισχύος από την αξιοποίηση της χημικής ενέργειας των υδρογονανθράκων που περιέχονται στα καύσιμα. Στους κινητήρες εσωτερικής καύσης, η ενέργεια των υδρογονανθράκων είναι που θα παράξει τη θερμότητα η οποία απελευθερώνεται με την καύση στο εσωτερικό της μηχανής (δηλ. στον θάλαμο καύσης), σε αντίθεση με τις μηχανές εξωτερικής καύσης, όπως είδαμε σε προηγούμενες παραγράφους. Το

μείγμα καυσίμου-αέρα πριν την καύση, και τα καυσαέρια ως προϊόντα της, μετά την καύση θα αποτελέσουν το εργαζόμενο μέσο ή εργαζόμενη ουσία, που με προκαθορισμένες μεταβολές χρησιμεύει για να μεταφέρει την θερμότητα, και επομένως την ενέργεια, στα διάφορα μέρη της μηχανής, ώστε να επιτευχθεί η παραγωγή έργου. Λόγω της απλότητας, της ανθεκτικότητας, της υψηλής αναλογίας βάρους ισχύος και του υψηλότερου βαθμού απόδοσης, οι ΜΕΚ έχουν ευρεία εφαρμογή στις θαλάσσιες μεταφορές, σε ξηρά και αέρα, για την παραγωγή της απαιτούμενης ισχύος.

Με βάση την εφαρμογή τους διακρίνονται σε:

- i. κύριες, που είναι οι μηχανές χρησιμοποιείται μόνο στην πρόωση του πλοίου
- ii. βοηθητικές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτοντας τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια του πλοίου, όπως τα συστήματα ναυσιπλοΐας, τους ηλεκτροκινητήρες μηχανημάτων κ.α.



Εικόνα 3-1.Μηχανή Εσωτερικής Καύσης - ΜΕΚ[24]

Με βάση το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιούν σε:

- i) μηχανές βαρέως πετρελαίου (μαζούτ).
- ii) μηχανές ελαφρών καυσίμων (ντίζελ).
- iii) μηχανές αερίων καυσίμων και φυσικού αερίου.

- iv) μηχανές διπλού καύσιμου, όταν μπορούν να κάψουν δύο είδη καυσίμων, όπως ντίζελ και φυσικό αέριο.

Ξεκινώντας από τα μικρά σκάφη έως τα πολύ μεγάλης χωρητικότητας εμπορικά πλοία, οι μηχανές που χρησιμοποιούνται είναι δίχρονες, αλλά και τετράχρονες διάφορων τύπων, σχημάτων, μεγεθών και ισχύος ανάλογα με την πιο συμφέρουσα επιλογή.[2]

Ηλεκτρογεννήτριες

Οι ηλεκτρογεννήτριες μαζί και η ηλεκτρογεννήτρια ανάγκης είναι οι βασικότερες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα πλοίο. Σύμφωνα με τις διατάξεις οι κύριες ηλεκτρογεννήτριες που περιέχει ένα πλοίο για την ασφάλεια του πρέπει να είναι τρεις ή περισσότερες ώστε σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης μίας από όλες τις ηλεκτρογεννήτριες, να μπορούν οι υπόλοιπες να λειτουργήσουν και να προσδώσουν το απαιτούμενο φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες της λειτουργίας του πλοίου. Επομένως οι ηλεκτρογεννήτριες που θα πρέπει να επιλεγθούν θα πρέπει να ανταποκρίνονται σε πέντε βασικές καταστάσεις ανάγκες του πλοίου, αυτές είναι:

- i. Κατάσταση χειρισμών
- ii. Κατάσταση κανονικής πορείας
- iii. Κατάσταση «εν όρμω»
- iv. Κατάσταση εκφόρτωσης
- v. Κατάσταση φόρτωσης



Εικόνα 3-2. Ηλεκτρογεννήτρια [39]

Αυτές οι βασικές καταστάσεις μας προσδιορίζουν τις απαιτήσεις που έχει ένα πλοίο σε ηλεκτρική ενέργεια. Σε καταστάσεις χειρισμών, φόρτωσης, εκφόρτωσης και ορισμένες φορές σε κανονική λειτουργία απαιτείται η λειτουργία δύο ηλεκτρογεννητριών σε παράλληλη σύνδεση, ώστε να μπορούν να καλυφθούν όλες οι απαιτήσεις των μηχανημάτων που λειτουργούν, καθώς και του συνολικού φορτίου της ηλεκτρικής ενέργειας όλου του караβιού.[16]

Γεννήτρια Έκτακτης Ανάγκης

Οι γεννήτριες έκτακτης ανάγκης και οι κινητήριες μηχανές τους, θα πρέπει να εγκαθίστανται στο ανώτερο κατάστρωμα και πίσω από το διάφραγμα συγκρούσεως. Το μέρος που θα τοποθετηθεί η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να είναι προσβάσιμο από το ανοιχτό κατάστρωμα και να είναι εγκατεστημένο έτσι ώστε μια φωτιά ή ένα περιστατικό στο χώρο που περιέχει τις κύριες γεννήτριες και/ή τον κύριο πίνακα διανομής ή σε ένα χώρο μηχανημάτων κατηγορίας Α, να μην επηρεάζει την ικανότητα λειτουργίας της πηγής έκτακτης ανάγκης.

Ο χώρος που περιέχει την πηγή έκτακτης ανάγκης, τους συναφείς μετασχηματιστές, τους μετατροπείς, τη μεταβατική πηγή έκτακτης ανάγκης και τον πίνακα έκτακτης ανάγκης δεν πρέπει να βρίσκεται δίπλα σε χώρο που περιέχει την κύρια μηχανή, τον κύριο πίνακα διανομής, τους σχετικούς μετασχηματιστές, μετατροπείς κλπ., ή δίπλα σε χώρους μηχανημάτων κατηγορίας Α.

Τα ονομαστικά χαρακτηριστικά λειτουργίας και ο έλεγχος των γεννητριών έκτακτης ανάγκης, βασίζονται στις ίδιες αρχές με αυτές για τις κύριες γεννήτριες. Αποκλίσεις στην τάση της τάξεως των $\pm 3,5\%$ σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης και $\pm 4\%$ σε μεταβατικές συνθήκες μετά από 5 δευτερόλεπτα, είναι αποδεκτές.

Η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να λειτουργεί ακόμη και με κλίση $22,5^\circ$ προς τα δεξιά ή αριστερά, με διατοιχισμό $22,5^\circ$, με διαμήκη κλίση 10° και προνευστασμό 10° .

Οι γεννήτριες έκτακτης ανάγκης πρέπει να προστατεύονται τουλάχιστον από υπερένταση, υπερφόρτιση και από έλλειψη τάσεως. Σε περίπτωση υπερφόρτισης, τα φορτία που τροφοδοτούνται προσωρινά από τη γεννήτρια έκτακτης ανάγκης και δεν είναι φορτία έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να αποσυνδέονται αυτόματα.

Γεννήτριες Συνεχούς Ρεύματος

Γεννήτριες συνεχούς ρεύματος καλούνται οι γεννήτριες που μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική με την μορφή συνεχούς ρεύματος. Η βασική αρχή που διέπει τη λειτουργία της γεννήτριας συνεχούς ρεύματος είναι η δημιουργία επαγωγικής τάσης στα άκρα ενός τυλίγματος που κινείται εντός μαγνητικού πεδίου. Συνεπώς, κρίνεται ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος η ύπαρξη μαγνητικού πεδίου. Μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος αποτελείται από δύο κύρια μέρη, το στάτη (stator) και το δρομέα (rotor). Το μαγνητικό πεδίο «γεννάται» με τη βοήθεια των κύριων μαγνητικών πόλων που ευρίσκονται στο στάτη. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) αναπτύσσεται σε κάθε πλευρά του πλαισίου που βρίσκεται στον δρομέα της γεννήτριας, ο οποίος περιστρέφεται μεταξύ των μαγνητικών πόλων. Στον στάτη είναι τοποθετημένες οι ψήκτρες, οι οποίες συνδέουν το τύλιγμα του δρομέα με μία εξωτερική πηγή τροφοδοσίας, ο ψηκτροφορέας, αλλά και το κιβώτιο ακροδεκτών. Στον δρομέα είναι τοποθετημένο το επαγωγικό τύμπανο, το οποίο αποτελείται από τα τυλίγματα και το σιδηροπυρήνα, ο συλλέκτης και το σύστημα ψύξης. Ο συλλέκτης χωρίζεται σε τομείς,

μονωμένους μεταξύ τους. Τα τυλίγματα του επαγωγικού τυμπάνου αποτελούνται από ομάδες και κάθε ομάδα ξεκινά από ένα τομέα του συλλέκτη και καταλήγει στον αντιδιαμετρικό του. Τα στοιχεία των ομάδων είναι εναποτεθειμένα εντός αυλακίων στο επαγωγικό τύμπανο.

Οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος διαθέτουν δύο είδη τυλιγμάτων διέγερσης, το τύλιγμα παράλληλης διέγερσης και το τύλιγμα διέγερσης σειράς. Έτσι, βάση του είδους του τυλίγματος διέγερσης οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος κατηγοριοποιούνται σε:

- i. ξένης διέγερσης (τύλιγμα παράλληλης διέγερσης)
- ii. Παράλληλης διέγερσης (τύλιγμα παράλληλης διέγερσης)
- iii. Διέγερσης σειράς (τύλιγμα διέγερσης σειράς)
- iv. Σύνθετης διέγερσης (τύλιγμα παράλληλης διέγερσης και τύλιγμα διέγερσης σειράς).[17]

Σύγχρονη Γεννήτρια Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ενός πλοίου είναι αυτόνομα και χρησιμοποιούν τις γεννήτριες για να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες των εγκατεστημένων φορτίων όπως επίσης και τις όποιες απώλειες του δικτύου διανομής. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά των γεννητριών καθορίζονται και επιλέγονται κατά τα πρώτα στάδια σχεδίασης ενός ναυτικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τη γνωστή θεωρία μελετών ηλεκτρικού ισολογισμού πλοίων.

Στα πλοία η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με την βοήθεια ειδικών μηχανών που ονομάζονται ηλεκτρικές γεννήτριες. Για να δώσουν ηλεκτρική ενέργεια οι γεννήτριες πρέπει να δημιουργηθεί σε αυτή ένα στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο μεταξύ του ρότορα και του στάτη της, να πάρουν δηλαδή περιστροφική κίνηση (μηχανική ενέργεια) από άλλες μηχανές που ονομάζονται κινητήριες μηχανές. Αυτές οι μηχανές μπορεί να είναι μηχανές εσωτερικής καύσης, αεροστρόβιλοι, πετρελαιομηχανές, είτε εγκατάσταση στροβιλοκινητήρα. Ανάλογα με το ρεύμα που παράγουν οι γεννήτριες ονομάζονται γεννήτριες συνεχούς ρεύματος ή γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η κύρια πηγή της ηλεκτρικής ενέργειας στα συμβατικά εμπορικά πλοία είναι το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Όπως φανερώνει και ο ίδιος ο όρος, το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος αποτελείται από δύο μέρη.

- Την κινητήρια μηχανή (primemover) η οποία δίνει μηχανική ισχύ μέσω της περιστροφικής κίνησης του άξονα της και συνήθως είναι μια ντίζελ μεσόστροφη ΜΕΚ.
- Την γεννήτρια η οποία συνήθως είναι τριφασική σύγχρονη γεννήτρια (Σ.Γ.) – ονομάζεται και εναλλακτήρας (alternator) – μέσω του φαινομένου της επαγωγής, μετατρέπει την περιστροφική κίνηση, που λαμβάνει μέσω μηχανικής ζεύξης από την κινητήρια μηχανή, σε εναλλασσόμενο ρεύμα σταθερής τάσης και συχνότητας.

Η γεννήτρια μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, σύμφωνα με φαινόμενο της φυσικής κατά το οποίο εάν ένα πηνίο περιστραφεί μέσα σ' ένα μαγνητικό πεδίο, τότε στις άκρες του πηνίου παράγεται ηλεκτρική τάση. Αποτελείται από δύο μέρη: το ακίνητο μέρος της που λέγεται στάτορας ή επαγωγέας ή πόλοι της μηχανής, στο οποίο υπάρχουν πηνία και το κινητό μέρος της που λέγεται επαγωγίμο ή ρότορας, στο οποίο υπάρχουν μαγνήτες.

Σήμερα στον στάτη έχουμε τα πηνία που παράγεται η τάση και στον δρομέα τους μαγνήτες. Σε αυτές τις κατασκευές ο βαθμός απόδοση αγγίζει το 98% σε σχέση με το βαθμό απόδοσης των μηχανών επαγωγής. Η ονομαστική τάση λειτουργίας στις εγκαταστάσεις μέσης και μεγάλης ισχύος είναι 3,3-6,6 KV. Ανεξαρτήτως τρόπου δημιουργίας του μαγνητικού πεδίου, το αποτέλεσμα είναι το ίδιο καθώς και στις δύο περιπτώσεις παράγεται ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σταθερής τιμής που στρέφεται στο χώρο με την ταχύτητα του δρομέα. Οι σύγχρονες γεννήτριες παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής, ενώ η διέγερσή τους τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα. [5][12][16]

Ντιζελογεννήτριες και Αεριοστρόβιλοι

Μία ντιζελογεννήτρια προκύπτει από το συνδυασμό μιας εμβολοφόρου Μηχανής Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ.) με μία επαγωγική γεννήτρια. Οι εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ. χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα διαδεδομένη χρήση και από μακροχρόνια εμπειρία από την ανάπτυξή τους σε μεγέθη από μερικά kW έως δεκάδες MW. Το γεγονός αυτό σαφέστατα κατατάσσει τις ντιζελογεννήτριες στις μηχανές με κεκτημένη γνώση, αναφορικά με την κατασκευαστική τεχνολογία και τις δυνατότητες βελτιστοποίησής της. Ως αποτέλεσμα, η προμήθεια και η εγκατάσταση μιας ντιζελογεννήτριας είναι σε γενικές γραμμές οικονομική και γρήγορη. Επίσης η προηγμένη τεχνολογία και, κυρίως, η ιδιότητα των εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ. να αξιοποιούν εργαζόμενο μέσο (καυσάεριο) σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, επιτρέπει τη λειτουργία τους με υψηλό βαθμό απόδοσης και, κατά συνέπεια, με χαμηλό κόστος παραγωγής.

Οι αεριοστρόβιλοι κατατάσσονται, επίσης, στις Μ.Ε.Κ. Σε αντίθεση με τις εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ., στους αεριοστρόβιλους οι απαιτούμενες φάσεις για την παραγωγή του τελικού μηχανικού έργου λαμβάνουν χώρα σε τρεις διακριτές συνιστώσες της μηχανής, το συμπιεστή, το θάλαμο καύσης και το στρόβιλο. Ο αεριοστρόβιλος αποτελείται από έναν κύριο άξονα, που στη μία άκρη έχει μία ή, συνήθως, δύο βαθμίδες συμπιεστή και στην άλλη άκρη έχει μία ή, συνήθως, δύο βαθμίδες στροβίλων. Με την περιστροφή του άξονα αναρροφάται αέρας από το περιβάλλον, ο οποίος συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης, όπου εκτελείται ψεκασμός καυσίμου. Το μίγμα αέρα – καυσίμου υψηλής πίεσης αναφλέγεται. Τα παραγόμενα καυσάερια υψηλής ενθαλπίας (πίεσης και θερμοκρασίας) οδηγούνται στη συνέχεια καταρχήν στην υψηλή βαθμίδα στροβίλου και, στη συνέχεια, στη χαμηλή βαθμίδα, όπου εκτονώνονται, αποδίδοντας μηχανική ισχύ. Ένα μέρος από την παραγόμενη μηχανική ισχύ χρησιμοποιείται για την περιστροφή του άξονα του στροβίλου και την τροφοδοσία της απαιτούμενης μηχανικής ισχύος στο συμπιεστή. Το υπόλοιπο και μεγαλύτερο μέρος της μηχανικής ισχύος αποτελεί το ωφέλιμο μηχανικό έργο. [4]

Σύγχρονοι Ηλεκτρικοί Κινητήρες

Οι περισσότεροι κινητήρες είναι σύγχρονοι και ο βαθμός απόδοσης τους είναι περίπου στο 97%, υψηλότερο κατά 5% από τον αντίστοιχο βαθμό απόδοσης των κινητήρων επαγωγής. Η τάση λειτουργίας τους σε εγκαταστάσεις μέσης αλλά και μεγάλης τάσης ισχύος είναι από 3,3 έως 6.6 kV. Στους σύγχρονους κινητήρες τώρα εντάσσονται και οι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες των οποίων η απόδοση τους πλησιάζει σύμφωνα με τους κατασκευαστές το 99%. Στις σύγχρονες αυτές μηχανές, στη θέση του τυλίγματος διεγέρσεως του δρομέα τοποθετούνται οι μόνιμοι

μαγνήτες. Το αποτέλεσμα είναι το ίδιο καθώς και στις δύο εφαρμογές παράγεται το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο έχει τη τάση να στρέφεται σε όλο το χώρο έχοντας αποκτήσει την ταχύτητα του δρομέα.

Τα πλεονεκτήματα των μηχανών αυτών είναι αρχικά πως δεν χρειάζονται παροχή συνεχούς ρεύματος επομένως μεγιστοποιείται και η απόδοση τους καθώς ελαχιστοποιούνται και οι απώλειες Joule από τα τυλίγματα. Οι μόνιμοι μαγνήτες είναι μια παλιά μέθοδος αλλά ξαναεμφανίζεται στις μέρες μας διότι η ανάπτυξη της τεχνολογίας δημιούργησε τα κράματα μόνιμων μαγνητών όπως (κράματα σμαμπίου-κοβαλτίου κ.α.) όπου έχουν την ικανότητα να σταθεροποιούν την μαγνήτισή τους για μεγάλες θερμοκρασίες, διότι μέσα σε μία στρεφόμενη μηχανή η θερμοκρασία έχει την τάση να αυξάνεται. Οι κινητήρες με μόνιμους μαγνήτες με μια ορθή επιλογή στάτη και πόλων δρομέα έχουν την δυνατότητα να δίνουν το ημιτονοειδές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Με το ημιτονοειδές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που βγάζουν στην έξοδο μπορούν να συναγωνιστούν πλέον τις συμβατικές μηχανές στα πολύ χαμηλά επίπεδα αιχμών ροπής (torqueripples) αλλά και των μηχανικών δονήσεων. Τα τελευταία χρόνια ερευνάται η χρησιμοποίηση των ηλεκτροκινητήρων με υπεραγώγιμα υλικά για κινητήρες πρόωσης. [14]



Εικόνα 3-3. Ηλεκτρικός Κινητήρας (μπροστά φαίνεται ο δρομέας και πίσω ο στάτης) [39]

Μηχανές Diesel παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι μηχανές αυτές είναι οι γεννήτριες Diesel ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι βαριές και στιβαρές, ισχύος έως 50.000kWe . Έχουν μειωμένες απαιτήσεις συντηρήσεως αλλά αυξημένο κόστος αγοράς, και ενδείκνυνται για συνεχή λειτουργία σε μεγάλα φορτία.

Η απορριπτόμενη θερμότητα προέρχεται κυρίως από την υψηλή ενθαλπία των καυσαερίων, το χιτώνιο της μηχανής και το σύστημα ψύξεως των λιπαντικών. Ακόμη είναι δυνατή η αξιοποίηση της θερμότητας που προέρχεται από τα συστήματα ψύξεως των υπολοίπων ρευστών, που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής, δηλαδή του κλειστού κυκλώματος ψύξεως του κινητήρα και του αέρα υπερπληρώσεως, με χρήση κατάλληλων εναλλακτών θερμότητας.

Σε περιπτώσεις αποκεντρωμένων συστημάτων συμπαραγωγής, αυτά σχεδιάζονται, κατά κανόνα, για να παράγουν ικανή ποσότητα θερμικής ισχύος, ώστε να καλύπτεται το θερμικό φορτίο βάσεως. Για την αποφυγή της υπερδιαστασιολόγησης της Μ.Ε.Κ., προκειμένου να καλυφθούν ανάγκες για τα θερμικά φορτία αιχμής, επιλέγεται συνήθως η λύση πρόσθετου λέβητα καυσίμου υψηλής απόδοσης. Ο έλεγχος της λειτουργίας ολόκληρου του θερμικού συστήματος

πραγματοποιείται με ένα ειδικό σύστημα αυτόματου ελέγχου. Όταν δεν επαρκεί η θερμότητα που παράγεται στο μέγιστο της λειτουργίας της Μ.Ε.Κ., τότε το σύστημα δίνει εντολή εκκίνησης σε έναν, ή περισσότερους λέβητες, για συμπληρωματική παραγωγή θερμικής ισχύος. Η ολική απόδοση του συστήματος μπορεί να βελτιωθεί περισσότερο με την εγκατάσταση ενός δεύτερου εναλλάκτη θερμότητας (βοηθητικού λέβητα), για την περαιτέρω ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαέρια.

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης μικρών και μεσαίων κινητήρων είναι 35 – 45%, ενώ σε σύγχρονους μεγάλους κινητήρες φθάνει το 50%. Ο ολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος συμπαραγωγής με εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσεως βρίσκεται στην περιοχή του 80%. Δύο από τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι ότι ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης, εκτός του ότι είναι υψηλός, επηρεάζεται πολύ λίγο από τις μεταβολές του φορτίου, ενώ η απόκριση του συστήματος στις μεταβολές φορτίου είναι ταχύτατη. Η διάρκεια ζωής του συστήματος είναι 15 – 20 έτη, και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας, την ποιότητα του καυσίμου και την ποιότητα της συντηρήσεως. Οι παλινδρομικοί κινητήρες απαιτούν τακτικότερη συντήρηση απ' ό,τι τα προηγούμενα συστήματα, με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερη μέση ετήσια διαθεσιμότητα (80 - 90%).[4]

Ατμοστρόβιλοι

Σε ένα ατμοστρόβιλο η παραγωγή μηχανικής ισχύος επιτυγχάνεται μέσω της εκτόνωσης υπέρθερμου, πεπιεσμένου ατμού υψηλής ενθαλπίας σε ένα στρόβιλο. Η σύγχρονη μορφή του εισήχθη το 1884 από το Βρετανό Charles Parsons (1854 –1931). Η χρήση των ατμοστροβίλων είναι εξαιρετικά διαδεδομένη στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Περισσότερο από το 85% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από ατμοστρόβιλους. Το μέγεθος των ατμοστροβίλων ποικίλλει από μονάδες με ισχύ μικρότερη των 0,75 kW για κίνηση αντλιών, συμπιεστών και μικρών γεννητριών ηλεκτρικής ισχύος, έως μονάδες με ισχύ 1,5GW για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας ατμοστρόβιλος αποτελείται από μία σειρά στροβίλων συνδεδεμένων μεταξύ τους και συζευγμένων σε κοινό άξονα με την επαγωγική γεννήτρια. Στην αρχή του άξονα η αλληλουχία των στροβίλων ξεκινάει με τη βαθμίδα υψηλής πίεσης, η οποία ακολουθείται από τη βαθμίδα μέσης πίεσης, για να καταλήξει τελικά σε δύο στροβίλους χαμηλής πίεσης πριν την επαγωγική γεννήτρια.

Καθώς ο ατμός κινείται διαμέσου των βαθμίδων, αποδίδοντας συνεχώς μηχανική ισχύ, η πίεσή του και θερμική ενέργειά του μειώνονται, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο όγκος του, απαιτώντας έτσι ολοένα αυξανόμενη διάμετρο και πτερύγια μεγαλύτερου μήκους για τη δέσμευση της εναπομένουσας ισχύος. Η συνολική περιστρεφόμενη μάζα ενός ατμοστροβίλου μπορεί να ξεπερνάει τους 200 τόνους και τα 30m μήκους. Η μεγάλη μάζα ενός ατμοστροβίλου επιβάλλει τη διαρκεί περιστροφική κίνησή του, ακόμα και όταν τούτος παραμένει σβηστός, σε πολύ χαμηλές ταχύτητες περιστροφής (περίπου 3rpm), προκειμένου να αποτραπεί το ενδεχόμενο στρέβλωσης του άξονα και απώλειας της συμμετρίας του.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος σε ένα ατμοηλεκτρικό σταθμό θα μπορούσε να διακριθεί σε τρία στάδια:

- i) στάδιο παρασκευής ατμού.

- ii) στάδιο εκτόνωσης ατμού και παραγωγής μηχανικής ισχύος.
- iii) στάδιο επαναφοράς του ατμού σε υγρή κατάσταση μετά την εκτόνωσή του στις βαθμίδες στροβίλου.[4]



Εικόνα 3-4.Ατμοστρόβιλος[37]

Κεφάλαιο 4 Ενέργειας Λειτουργία Συστημάτων Παροχής Ηλεκτρικής

Λειτουργία Κύριων Γεννητριών

Με βάση τους κανονισμούς του GL κατά την εγκατάσταση και λειτουργία των κύριων γεννητριών θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω:

- Η εγκατάσταση των κύριων μηχανών θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η λειτουργία του πλοίου στα επιθυμητά επίπεδα, να εξασφαλίζεται ανεξάρτητα από τη ταχύτητα και την κατεύθυνση της στροφής της κύριας μηχανής πρόωσης ή του άξονα.
- Οι εγκαταστάσεις των μηχανών του πλοίου θα πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένες ώστε, να μπορούν να τεθούν σε λειτουργία από νεκρή κατάσταση πλοίου. Οι γεννήτριες έκτακτης ανάγκης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επανεκκίνηση από τη νεκρή κατάσταση του πλοίου.
- Σε περίπτωση που η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των κύριων γεννητριών ξεπερνά τα 3MW, ο κύριος ζυγός θα πρέπει να χωρίζεται σε τουλάχιστον δύο μέρη τα οποία θα επικοινωνούν μεταξύ τους. Η σύνδεση των γεννητριών και οποιουδήποτε εξοπλισμού σε εφεδρεία θα πρέπει να είναι ισομοιρασμένη στα δύο μέρη.
- Αν μετασχηματιστές, συσσωρευτές μαζί με τους φορτιστές τους, μετατροπείς, και παρόμοιος εξοπλισμός, είναι ουσιώδη στοιχεία του κύριου δικτύου, τότε σε περίπτωση βλάβης μιας μονάδας, η πρόωση, η ασφάλεια, η διαβίωση και η προστασία του φορτίου θα πρέπει να διατηρηθούν στα ίδια επίπεδα με πριν.
- Κατά την εκκίνηση των κινητήρων, η φαινόμενη ισχύς των γεννητριών πρέπει να είναι τέτοια ώστε το ρεύμα εκκίνησης των κινητήρων να μην προκαλεί ανεπίτρεπτη πτώση τάσης στους ζυγούς του πλοίου και επομένως δυσλειτουργία κάποιων καταναλωτών.
- Η κυματομορφή της τάσης της γεννήτριας εν κενό, θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ημιτονοειδής.
- Οι γεννήτριες και οι διεγέρτριες τους, θα πρέπει να μπορούν να φορτίζονται στο 150% του ονομαστικού τους ρεύματος για δύο λεπτά με συντελεστή ισχύος 0,5 (επαγωγικό) και να δίνουν περίπου την ονομαστική τους τάση.
- Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, η τάση της γεννήτριας σε ονομαστική ταχύτητα, δεν πρέπει να αποκλίνει από την ονομαστική τιμή της περισσότερο από 2,5% για μηδενικό φορτίο έως το ονομαστικό και για ονομαστικό συντελεστή ισχύος.
- Στην μεταβατική κατάσταση λειτουργίας, με τη γεννήτρια σε ονομαστική ταχύτητα και τάση, θα πρέπει η τάση να μην πέσει κάτω από 85% ή να υπερβεί το 120% της ονομαστικής τιμής, όταν συμμετρικά φορτία συγκεκριμένης τιμής ρεύματος και

συντελεστή ισχύος προστίθενται ή αφαιρούνται ξαφνικά. Η τάση θα πρέπει να ανακτά την ονομαστική της τιμή $\pm 3\%$ σε 1,5 δευτερόλεπτα.

- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης μόνιμης κατάστασης δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τρεις φορές ή μεγαλύτερο από έξι φορές του ονομαστικού ρεύματος. Η γεννήτρια και η διεγέρτρια θα πρέπει να αντέχουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης μόνιμης κατάστασης για δύο δευτερόλεπτα χωρίς βλάβη.
- Όταν γεννήτριες ίδιας ονομαστικής ικανότητας λειτουργούν παράλληλα και η ενεργός ισχύς ισομοιράζεται, τότε η άεργος ισχύς κάθε μηχανής δεν πρέπει να διαφέρει από την άεργο ισχύ αναλογικής κατανομής περισσότερο από 10% της ονομαστικής άεργου ισχύος της. Στην περίπτωση που οι μηχανές έχουν διαφορετική ονομαστική ισχύ, η απόκλιση από την ισχύ αναλογικής κατανομής δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα παρακάτω όρια, θεωρώντας πάντα αναλογική κατανομή ενεργού ισχύος: - 10% της ονομαστικής άεργου ισχύος της μεγαλύτερης μηχανής - 25% της ονομαστικής άεργου ισχύος της μικρότερης μηχανής .

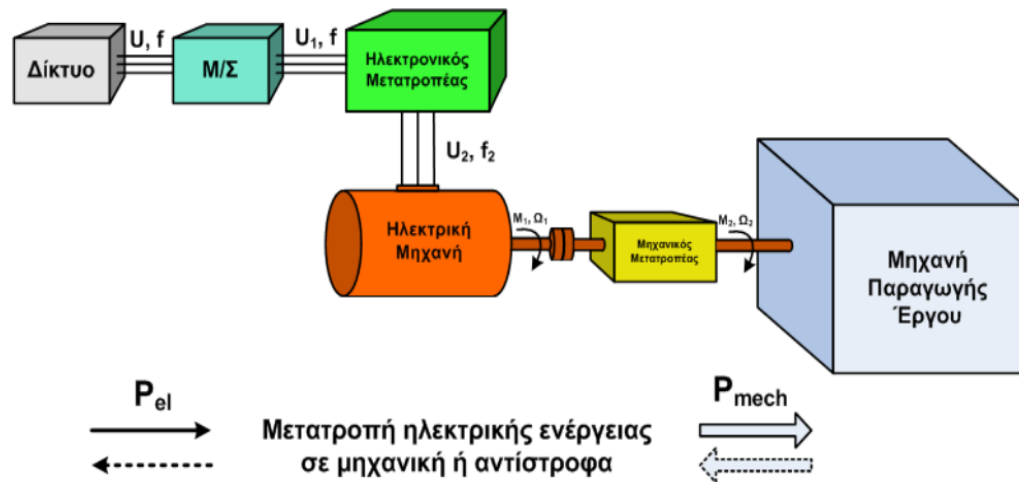
Στην περίπτωση που η κύρια πηγή ηλεκτρικής ισχύος είναι απαραίτητη για την πρόωση και το σύστημα πηδαλιουχίας, το δίκτυο του πλοίου θα πρέπει να είναι έτσι ρυθμισμένο ώστε σε περίπτωση βλάβης μιας εκ των γεννητριών σε λειτουργία, η τροφοδοσία των ουσιωδών καταναλωτών να μη διακοπεί ή να αποκατασταθεί άμεσα. Όπου χρειάζεται, αυτόματη απόρριψη των μη ουσιωδών φορτίων ακόμη και των δευτερευόντων ουσιωδών φορτίων πρέπει να γίνει, προκειμένου να προστατευτούν οι γεννήτριες από υπερφόρτιση. Σε περίπτωση black-out, η αυτόματη εκκίνηση και σύνδεση μιας γεννήτριας και του πρωτεύοντα ουσιώδους εξοπλισμού, θα πρέπει να γίνει μέσα σε 30 δευτερόλεπτα.

Όταν παραπάνω από μια γεννήτριες απαιτούνται για την κάλυψη της ζητούμενης ηλεκτρικής ισχύος του πλοίου και οι οποίες είναι μόνιμα σε παράλληλη λειτουργία, η βλάβη μιας μονάδας θα πρέπει να προκαλεί άμεση απόρριψη του μη-ουσιώδους εξοπλισμού ή και του δευτερεύοντα ουσιώδους εξοπλισμού αν είναι ο μόνος τρόπος για την αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ισχύος στον πρωτεύοντα ουσιώδη εξοπλισμό.

Μια εφεδρική (stand-by) μονάδα θα πρέπει να εκκινεί άμεσα και αυτόματα σε περίπτωση βλάβης. [41]

4.1.1 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

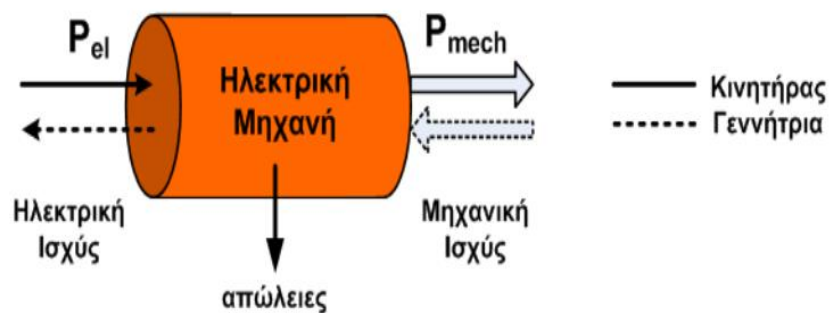
Η ηλεκτρική ενέργεια, κατά το μέγιστο μέρος, παράγεται μέσω ηλεκτρικών μηχανών (εξαιρούνται οι φωτοβολταϊκές πηγές και οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές). Η ενέργεια αυτή κατά πολύ μεγάλο μέρος μετατρέπεται σε μηχανικό έργο επίσης μέσω των ηλεκτρικών μηχανών (σ' αυτή τη συνολική διαδικασία συμμετέχουν και οι μετασχηματιστές - ακίνητες μηχανές).



Σχήμα 4.1 – Βασική σχηματική δομή συστήματος Η.Μ.Ε.

Απαιτήσεις από τις ηλεκτρικές μηχανές:

- I. Επιτυχής διαδικασία μετατροπής ισχύος (αύξηση αξιοπιστίας)
- II. Υψηλός βαθμός απόδοσης (μείωση απωλειών)
- III. Υψηλός δείκτης εκμετάλλευσης (βέλτιστη διαστασιολόγηση και χρήση προηγμένων υλικών)



Σχήμα 4.2.

Αρχή Λειτουργίας της Μηχανής Εσωτερικής Καύσης

Η λειτουργία των ΜΕΚ δεν εξαρτάται μόνο από τα τμήματα από τα οποία αποτελείται, αλλά και από τα συστήματα που είναι εγκατεστημένα στη μηχανή και παρέχουν τον αέρα και το καύσιμο, και τα οποία απαιτούνται για την πραγματοποίηση της καύσης. Για την παροχή του αέρα χρησιμοποιούνται οι υπερπληρωτές ή στροβιλοσυμπιεστές, ενώ για την παροχή καυσίμου οι αντλίες πετρελαίου ή σε μηχανές με ηλεκτρονικό έλεγχο οι ηλεκτρομαγνητικά ελεγχόμενες

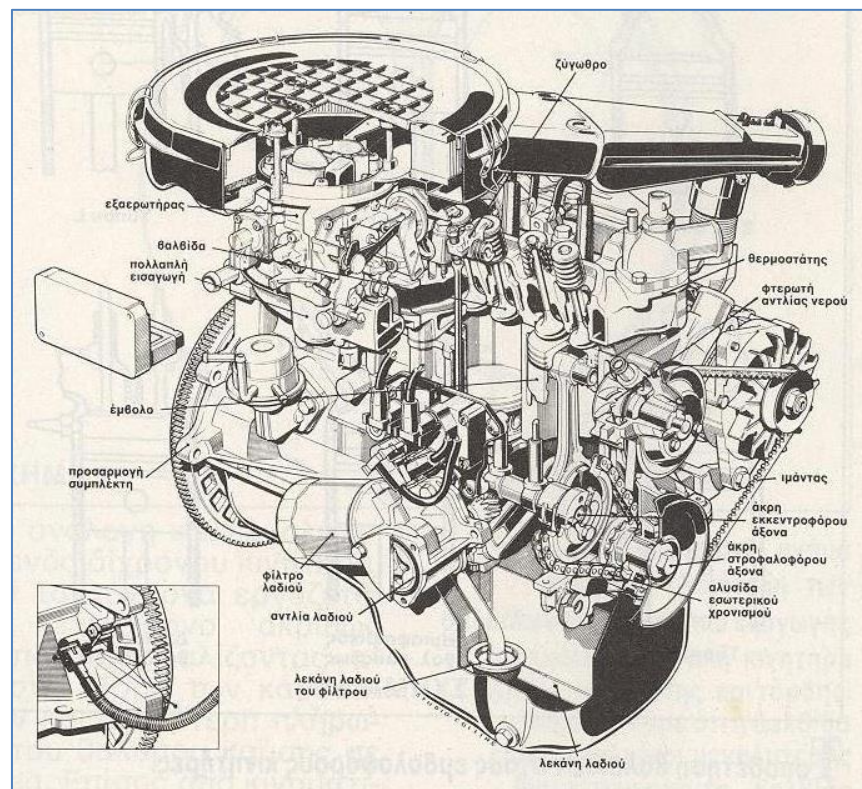
υδραυλικές βαλβίδες, που παρέχουν το καύσιμο στον θάλαμο καύσης μέσω του εγχυτήρα-καυστήρα με τον οποίο γίνεται ο ψεκασμός του καυσίμου.

Για τον στροβιλοσυμπιεστή ή υπερπληρωτή ή στροβιλοϋπερπληρωτή (turbocharger), για την καύση του καυσίμου είναι απαραίτητη η παρουσία οξυγόνου, το οποίο περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Επομένως ο υπερπληρωτής είναι μια συσκευή στην οποία συνδυάζονται ο συμπιεστής και ο στρόβιλος. Ο συμπιεστής, αποτελείται από μία πτερωτή, περιστροφική ακτινικής ροής, και χρησιμοποιείται για την παροχή μεγάλης ποσότητας αέρα, με μέτρια σχετικά πίεση και ικανότητα λειτουργίας σε μεγάλο εύρος παροχών, καλύπτοντας διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.

Σκοπό έχει να αναρροφά ατμοσφαιρικό αέρα από το περιβάλλον του μηχανοστασίου, να τον συμπιέζει αυξάνοντας την πυκνότητά του και να τον στέλνει στον κύλινδρο για την καύση. Η πτερωτή του συμπιεστή είναι εγκατεστημένη σε κοινό άξονα με την πτερωτή του στροβίλου, αλλά βρίσκονται σε διαφορετικούς θαλάμους, κατάλληλα διαχωρισμένους, ώστε να προλαμβάνεται η συγκοινωνία. Ο στρόβιλος είναι αυτός που περιστρέφει τον άξονα. Αποτελείται από δίσκο με περύγια, στην επιφάνεια των οποίων δρουν τα καυσαέρια από τους κυλίνδρους, χρησιμοποιώντας την εναπομένουσα ενέργεια των καυσαερίων και καθώς περιστρέφεται μεταδίδει μέσω του κοινού άξονα την περιστροφή στον συμπιεστή. Αποτέλεσμα είναι με την υπερπλήρωση να αυξάνεται η εισερχόμενη πίεση και μάζα του αέρα στον δεδομένο όγκο του κυλίνδρου, παρέχοντας τις θερμοδυναμικές προϋποθέσεις καύσης μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου. Αποτέλεσμα είναι να αυξάνεται σημαντικά η ισχύς που παράγεται από τον κύλινδρο, αλλά και ο βαθμός απόδοσης της καύσης.

Ενώ για τις αντλίες πετρελαίου (fuel pumps), για τις οποίες χρησιμοποιούνται για την παροχή του καυσίμου με υψηλή πίεση, ώστε να ψεκαστεί σωστά μέσω του εγχυτήρα (καυστήρα) στον κύλινδρο. Η έγχυση πραγματοποιείται σε σύντομο χρονικό διάστημα, και αυτή η χρονική περίοδος πρέπει να ελέγχεται με ακρίβεια. Αργή έγχυση (injection) του καυσίμου ονομάζεται αργοπορία, ενώ νωρίτερα από την δεδομένη επιθυμητή έγχυση ονομάζεται πρωπορία. Αν κάποια απ' αυτές τις δύο συμβαίνει πέραν των επιθυμητών ορίων που ορίζει ο κατασκευαστής, θα οδηγήσει σε έλλειψη ισχύος και ζημιά στον κινητήρα. Επειδή ο χρόνος έγχυσης είναι ζωτικής σημασίας, ο έλεγχος της λειτουργίας της αντλίας γίνεται από τα έκκεντρα που είναι τοποθετημένα στον εκκεντροφόρο άξονα. Η αντλία καυσίμου αποτελείται από έμβολο που ενεργοποιείται με κατάλληλη διάταξη από το έκκεντρο και παλινδρομεί σε χιτώνιο. Καθώς το έμβολο κινείται στο εσωτερικό του χιτωνίου της αντλίας, η πίεση του καυσίμου αυξάνεται πολύ γρήγορα. Τότε το καύσιμο με υψηλή πίεση ανοίγει τον εγχυτήρα και ψεκάζεται στον κύλινδρο σε μικροσκοπικά σταγονίδια. Αυτή είναι η αρχή πίσω από τη λειτουργία της αντλίας καυσίμου. Όμως, η ίδια αντλία είναι αυτή που προσδιορίζει και την ποσότητα παροχής του καυσίμου, άρα και τη λειτουργία της μηχανής σε διάφορες στροφές.

Για να επιτευχθεί ο έλεγχος της ποσότητας, κατάλληλη διάταξη αξόνων οι οποίοι ενεργοποιούνται από τον ρυθμιστή στροφών, ελέγχει την παροχή της ποσότητας καυσίμου από την αντλία. Στις σύγχρονες ηλεκτρονικού τύπου μηχανές, όπου έχει αφαιρεθεί ο εκκεντροφόρος, η ποσότητα του καυσίμου και ο χρόνος παροχής του, επιτυγχάνεται από ηλεκτροϋδραυλικές βαλβίδες (για κάθε κύλινδρο), που ελέγχονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι μεγάλοι κατασκευαστές ναυτικών μηχανών έχουν εφαρμόσει διαφορετικές διατάξεις, όμως η φιλοσοφία τους είναι κοινή. Δηλαδή, αυξάνοντας την πίεση του καυσίμου, οι ηλεκτρονικά ελεγχόμενες ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ανοίγουν σε επιθυμητή χρονική στιγμή και για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια, παρέχοντας το καύσιμο με πίεση προς τον εγχυτήρα για τον ψεκασμό στον κύλινδρο.



Εικόνα 4-1. Γενικές Αρχές Λειτουργίας ΜΕΚ[25]

Το πλεονέκτημα του ηλεκτρονικού ελέγχου είναι ότι μέσω του ελέγχου με ειδικούς αισθητήρες των συνθηκών της μηχανής και ενώ αυτή βρίσκεται σε λειτουργία, μεταβάλλεται η ποσότητα και ο χρόνος έγχυσης του καυσίμου με μεγάλη ακρίβεια, επιτυγχάνοντας υψηλές αποδόσεις και μεγάλη οικονομία καυσίμου. 3) Οι εγχυτήρες / μπεκ (injectors), αποτελούν το τμήμα που παραδίδεται το καύσιμο από τις αντλίες καυσίμου. Είναι τοποθετημένοι στην κεφαλή των κυλίνδρων και ο κύριος σκοπός τους είναι η έγχυση και ο διασκορπισμός ορισμένης ποσότητας πετρελαίου σε μικροσκοπικά σταγονίδια, ώστε να αναμιχθεί με τον αέρα και άρα το οξυγόνο στον θάλαμο καύσης. Συνήθως, αποτελούνται από το σώμα (κορμός), το ελατήριο επαναφοράς και το ακροφύσιο που περιέχει τη βελόνα.

Κατά τη λειτουργία της μηχανής η βελόνα ανυψώνεται, καθώς η πίεση του καυσίμου από την αντλία υπερνικά την ένταση του ελατηρίου, και το καύσιμο ωθείται μέσα από τις μικρές τρύπες στο ακροφύσιο για να εγχυθεί στον θάλαμο καύσης. Η θερμοκρασία των σταγονιδίων αυξάνεται

ραγδαία, καθώς απορροφούν τη θερμική ενέργεια από τον ζεστό αέρα στον κύλινδρο, αναφλέγονται και καίγονται πριν μπορέσουν να χτυπήσουν τη σχετικά κρύα επιφάνεια του εμβόλου. Στο τέλος της έγχυσης, η πίεση μειώνεται απότομα και το ελατήριο επαναφέρει ακαριαία τη βελόνα του ακροφυσίου διακόπτοντας την παροχή του καυσίμου.[2]

Αρχή Λειτουργίας Σύγχρονης Γεννήτριας Εναλλασσόμενου Ρεύματος

Οι μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος είναι γεννήτριες που μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί τάση εξ επαγωγής πάνω στους αγωγούς. Αρχικά, δημιουργούμε μία σταθερή κυλινδρική κατασκευή με κατάλληλα διατεταγμένους αγωγούς (τύλιγμα), τα οποία δημιουργούν τρία διαφορετικά κυκλώματα (τριφασικό τύλιγμα). Στη συνέχεια, στο εσωτερικό του στάτη τοποθετούμε έναν κυλινδρικό άξονα που έχει δυνατότητα περιστροφής (δρομέας). Στο δρομέα τοποθετούμε επίσης κατάλληλα διατεταγμένους αγωγούς που δημιουργούν ένα κύκλωμα (τύλιγμα). Τροφοδοτούμε το τύλιγμα του δρομέα με συνεχές ρεύμα, οπότε γύρω του αναπτύσσεται συνεχές μαγνητικό πεδίο. Επίσης χρησιμοποιούμε μια πηγή μηχανικής ενέργειας για να περιστρέψουμε το δρομέα. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούμε γύρω του ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Τέλος, στο περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του δρομέα επάγει ένα τριφασικό σύστημα τάσεων στο τριφασικό τύλιγμα του στάτη.

Το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι ηλεκτρικό ρεύμα του οποίου η ένταση και η κατεύθυνση μεταβάλλονται περιοδικά. Το εναλλασσόμενο ρεύμα, λόγω της ευκολότερης και οικονομικότερης μετάδοσής του (μικρότερες απώλειες κατά τη μεταφορά του και λεπτότερα καλώδια μεταφοράς) καθώς και λόγω της ευκολίας που παρέχει στη μετατροπή της τάσης του σε υψηλότερες ή χαμηλότερες τιμές, επικράτησε έναντι του συνεχούς στην διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ενεργός ένταση ονομάζεται η σταθερή ένταση που πρέπει να έχει συνεχές ρεύμα το οποίο όταν διαρρέει έναν αντιστάτη να προφέρει στο ίδιο χρόνο το ίδιο ποσό θερμότητας στον με την ενεργή τιμή του εναλλασσόμενου.

Ενεργός τάση ονομάζεται η τιμή συνεχούς τάσης η οποία όταν εφαρμόζεται στα άκρα του ιδίου αντιστάτη δίνει ρεύμα με ένταση ίση με την ενεργό τιμή της έντασης του εναλλασσόμενου ρεύματος.

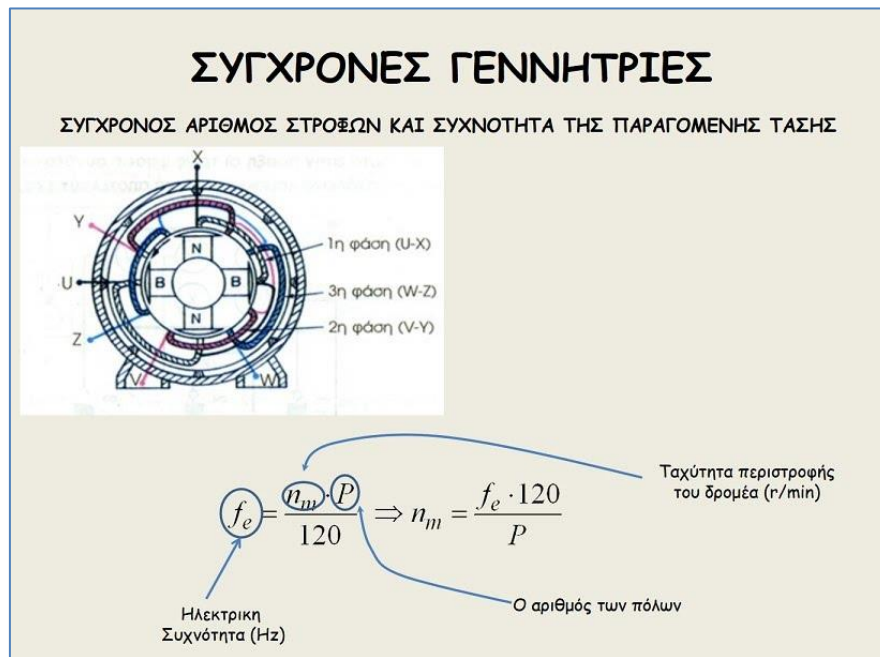
Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Στις σύγχρονες γεννήτριες ή εναλλακτήρες.
- Στις ασύγχρονες γεννήτριες.

Οι σύγχρονες γεννήτριες παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα και υπάρχει σταθερή σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας και της συχνότητας του ρεύματος.

Οι ασύγχρονες γεννήτριες παράγουν Ε.Ρ., του οποίου η συχνότητα είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας περιστροφής της γεννήτριας.

Τόσο οι σύγχρονες όσο και οι ασύγχρονες μηχανές είναι αναστρέψιμες, μπορούν δηλαδή να λειτουργήσουν και ως κινητήρες.



Εικόνα 4-2. Γενικές Αρχές Σύγχρονης Γεννήτριας[38]

Η τερματική τάση (τάση εξόδου) της σύγχρονης γεννήτριας εξαρτάται από την ολική ροή στο διάκενο της γεννήτριας, που με τη σειρά της εξαρτάται από τη σχετική κίνηση δρομέα-στάτη και το μέτρο της έντασης του ολικού μαγνητικού πεδίου. Συνεπώς, η τάση εξόδου είναι συνάρτηση της ταχύτητας περιστροφής του δρομέα, του ρεύματος που διεγείρει το δρομέα και του συντελεστή ισχύος (*power factor*) του φορτίου της γεννήτριας. Σε περίπτωση που φορτίο συνδεθεί στη σύγχρονη γεννήτρια ενισχύεται ή εξασθενεί η μαγνητική ροή του δρομέα. Εάν το φορτίο είναι χωρητικό ενισχύει το μαγνητικό πεδίο του δρομέα, ενώ αν είναι επαγωγικό το εξασθενούν. Κατά το σενάριο μεταβαλλόμενου φορτίου, θα επέλθουν σημαντικές μεταβολές της τάσης εξόδου της γεννήτριας.

Για το λόγο αυτό απαιτείται ενδεδειγμένη ρύθμιση του ρεύματος που διεγείρει το δρομέα. Στο σημείο αυτό, τονίζεται ότι οι τριφασικές γεννήτριες πρέπει να τροφοδοτούν συμμετρικά φορτία, διότι αν μια εκ των τριών φάσεων υπερφορτιστεί, δε δύναται να μεταβληθεί η τάση σε αυτή μέσω ρύθμισης του ρεύματος που διεγείρει το δρομέα. Τέλος, όσο αφορά το κατασκευαστικό κομμάτι μιας σύγχρονης γεννήτριας, σημειώνεται ότι τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα κατασκευάζονται από ράβδους χαλκού, μονωμένες με εποξικό ρετσίνι, οι αγωγοί στηρίζονται με ατσάλινες σφήνες, ενώ ο σιδηροπυρήνας στηρίζεται με ατσάλινο σκελετό.^{[16][17]}

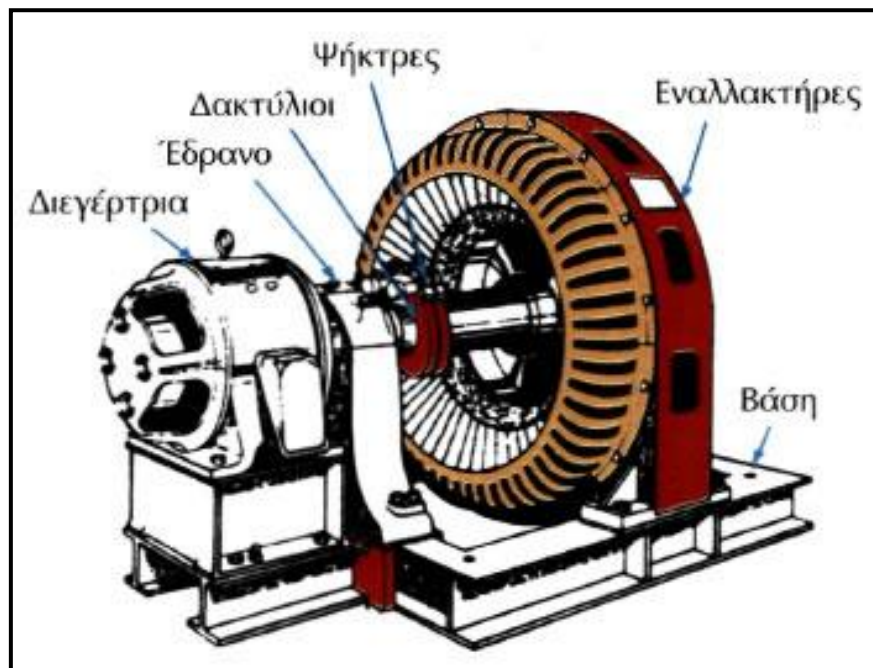
Κατασκευή Εναλλακτών

Σχετικά με την κατασκευή των εναλλακτών και κυρίως με τη διάταξη των μαγνητικών πόλων τους διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες:

- Εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους.
- Εναλλακτήρες με εσωτερικούς ή περιστρεφόμενους πόλους.
- Οι εναλλακτήρες με περιστρεφόμενους πόλους ονομάζονται στροβιλοεναλλακτήρες και αποτελούν ιδιαίτερη ομάδα εναλλακτών.

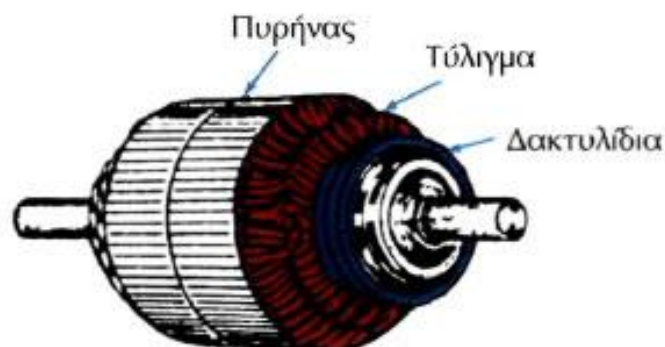
4.4.1 Εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους

Ονομάζονται εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους, επειδή οι πόλοι τους βρίσκονται στο στάτη και περιβάλλουν τα επαγωγίμα πηνία. Επίσης ονομάζονται και εναλλακτήρες σταθερών πόλων επειδή οι πόλοι τους παραμένουν σταθεροί (δεν περιστρέφονται). Ο στάτης των εναλλακτών με εξωτερικούς πόλους μοιάζει κατασκευαστικά με το στάτη των μηχανών συνεχούς ρεύματος στις οποίες οι μαγνητικοί πόλοι είναι στερεωμένοι στο στάτη. Τα τυλίγματα των πόλων (διέγερσης) τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από πηγή, η οποία καλείται διεγέρτρια. Η διεγέρτρια είναι συνήθως συνδεδεμένη απευθείας στον άξονα του εναλλακτήρα, από τον οποίο παίρνει κίνηση, όπως φαίνεται στο σχήμα:



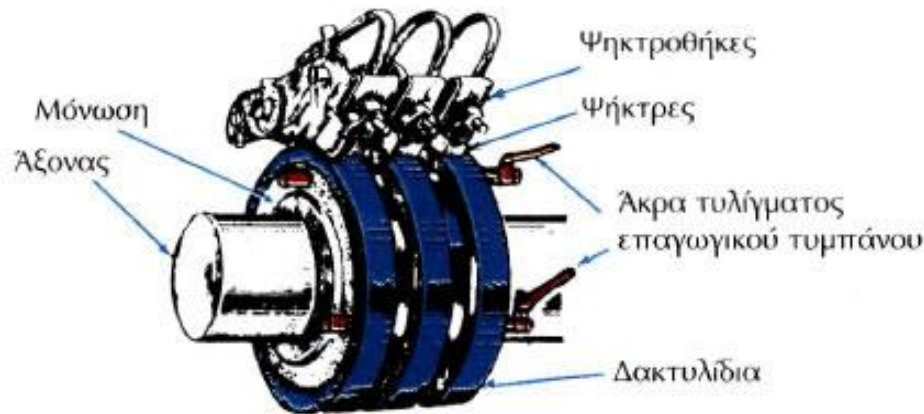
Σχήμα 4.3.- Εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους [42]

Ο δρομέας αυτών των εναλλακτών φέρει το επαγωγικό τύμπανο, όπως και ο δρομέας των μηχανών συνεχούς ρεύματος. Στα διάκενα των οδοντώσεων (αυλάκια) του πυρήνα του επαγωγικού τυμπάνου είναι τοποθετημένα τα τυλίγματα.



Σχήμα 4.4 – Δρομέας εναλλακτήρα [42]

Στους εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους δεν υπάρχει συλλέκτης αλλά διακτύλιοι κατασκευασμένοι από ορείχαλκο. Ο αριθμός των δακτυλίων είναι 2, 3 ή 4, ανάλογα με τον αριθμό των φάσεων του εναλλακτήρα. Οι δακτύλιοι είναι στερεωμένοι στον άξονα του δρομέα και είναι μονωμένοι μεταξύ τους, αλλά και με τον άξονα.

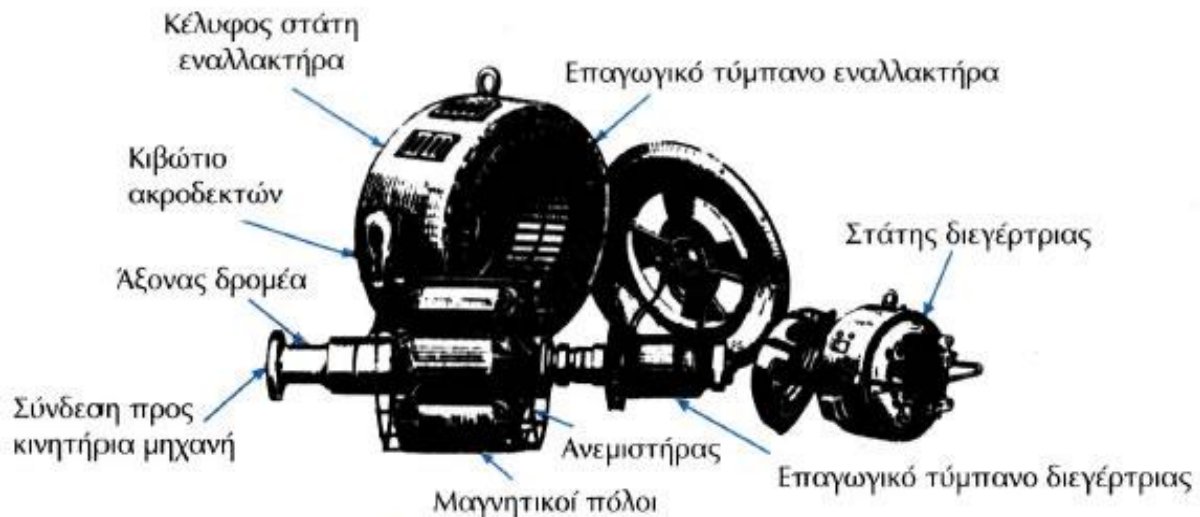


Σχήμα 4.5. Δακτυλίδια εναλλακτήρα [1]

Το εναλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο αναπτύσσεται στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, οδηγείται από τους δακτυλίους και από τις ψήκτρες που εφάπτονται σ' αυτούς στους ακροδέκτες του εναλλακτήρα. Σ' αυτούς τους ακροδέκτες συνδέεται το φορτίο το οποίο θέλουμε να τροφοδοτήσουμε με εναλλασσόμενο ρεύμα. Επειδή ο ίδιος εναλλακτήρας εξασφαλίζει το ρεύμα διέγερσης του, ονομάζεται και αυτοδιεγειρόμενος εναλλακτήρας.

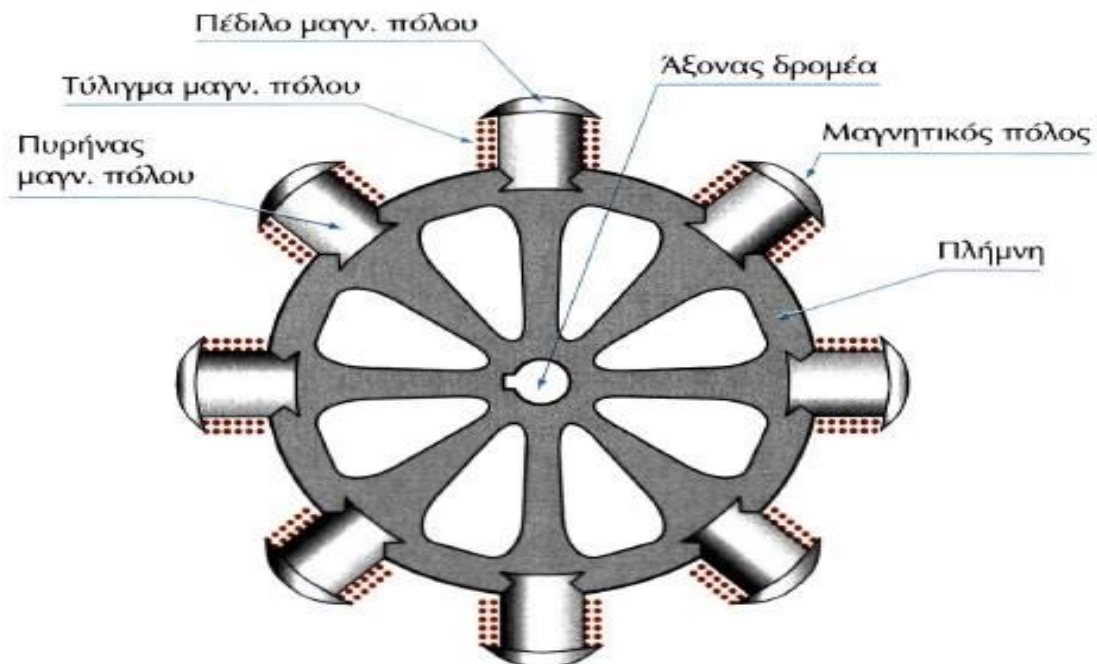
4.4.2 Εναλλακτήρες με Εσωτερικούς Πόλους

Ονομάζονται και εναλλακτήρες στρεφόμενων πόλων, επειδή οι μαγνητικοί πόλοι τους είναι στερεωμένοι στον άξονα της μηχανής και περιστρέφονται μαζί με αυτόν. Στο κάτωθι σχήμα στο οποίο παριστάνεται αποσυναρμολογημένος εναλλακτήρας με περιστρεφόμενους πόλους, διακρίνονται τα διάφορα μέρη από τα οποία αποτελείται. Ο στάτης αποτελείται από ένα εξωτερικό κέλυφος κατασκευασμένο συνήθως από χαλύβδινα ελάσματα. Στο στάτη τοποθετείται και στερεώνεται το επαγωγικό τύμπανο. Το επαγωγικό τύμπανο αποτελείται από τον πυρήνα και από το τύλιγμα. Στα αυλάκια του τυμπάνου αυτού τοποθετείται το τύλιγμα. Το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου κατασκευάζεται από μονωμένους χάλκινους αγωγούς. Το τύλιγμα μπορεί να είναι μονοφασικό ή πολυφασικό, οπότε θα φέρει και τα αντίστοιχα άκρα για τη σύνδεση του φορτίου. Το τριφασικό τύλιγμα π.χ. δίνει τρία ή τέσσερα, άκρα όταν έχει και ουδέτερο αγωγό.



Σχήμα 4.6 – Εναλλακτήρας με εσωτερικούς πόλους [42]

Ο δρομέας στους εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους φέρει τους μαγνητικούς πόλους της μηχανής.



Σχήμα 4.7 – Μαγνητικοί πόλοι οκταπολικού εναλλακτήρα [42]

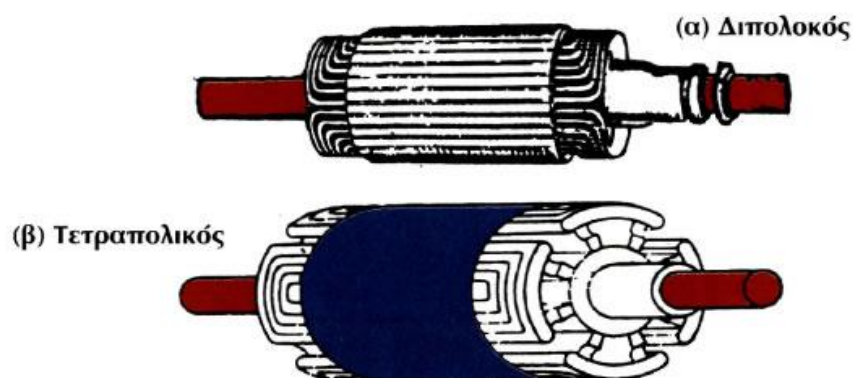
Τα τυλίγματα των πόλων συνδέονται έτσι μεταξύ τους, ώστε οι διαδοχικοί πόλοι να έχουν αντίθετη πολικότητα. Τα δύο άκρα που απομένουν μετά τη σύνδεση των πόλων μεταξύ τους, οδηγούνται σε δύο δακτυλίους, οι οποίοι είναι στερεωμένοι στον άξονα του δρομέα. Οι ψήκτρες, οι οποίες ολισθαίνουν στους δακτυλίους, είναι συνδεδεμένες με την πηγή Σ.Ρ., απ' όπου θα ληφθεί το ρεύμα διέγερσης.

4.4.3 Στροβιλοεναλλακτήρες

Οι στροβιλοεναλλακτήρες είναι εναλλακτήρες με περιστρεφόμενους πόλους, διαφέρουν όμως από τους κοινούς στα εξής σημεία:

(1) Στην κατασκευή του δρομέα, καθώς δεν υπάρχουν προεξέχοντες μαγνητικοί πόλοι με σιδηροπυρήνα και τύλιγμα, όπως στους κοινούς εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους.

Ο δρομέας των στροβιλοεναλλακτών έχει την ειδική μορφή, η οποία φαίνεται στα σχήματα α- β. Δηλαδή, ο δρομέας αποτελείται από ένα χαλύβδινο κυλινδρικό τύμπανο, το οποίο φέρει αυλάκια παράλληλα προς τον άξονα. Στα αυλάκια αυτά τοποθετείται το τύλιγμα διέγερσης, το οποίο σχηματίζει τους πόλους. Το τύλιγμα διέγερσης τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα μέσω των δακτυλίων από τη διεγέρτρια.



Σχήμα 4.8 – Δρομείς στροβιλοεναλλακτών [42]

(2) Στην ειδική διαμόρφωση, η οποία συνήθως δίνεται στο κέλυφος του στάτη, ώστε να εξασφαλιστεί η ψύξη της μηχανής. Η ψύξη επιτυγχάνεται με τους εξής τρόπους:

- α) Με τον περιβάλλοντα ατμοσφαιρικό αέρα.
- β) Με κλειστό κύκλωμα ατμοσφαιρικού αέρα.
- γ) Με κλειστό κύκλωμα υδρογόνου.

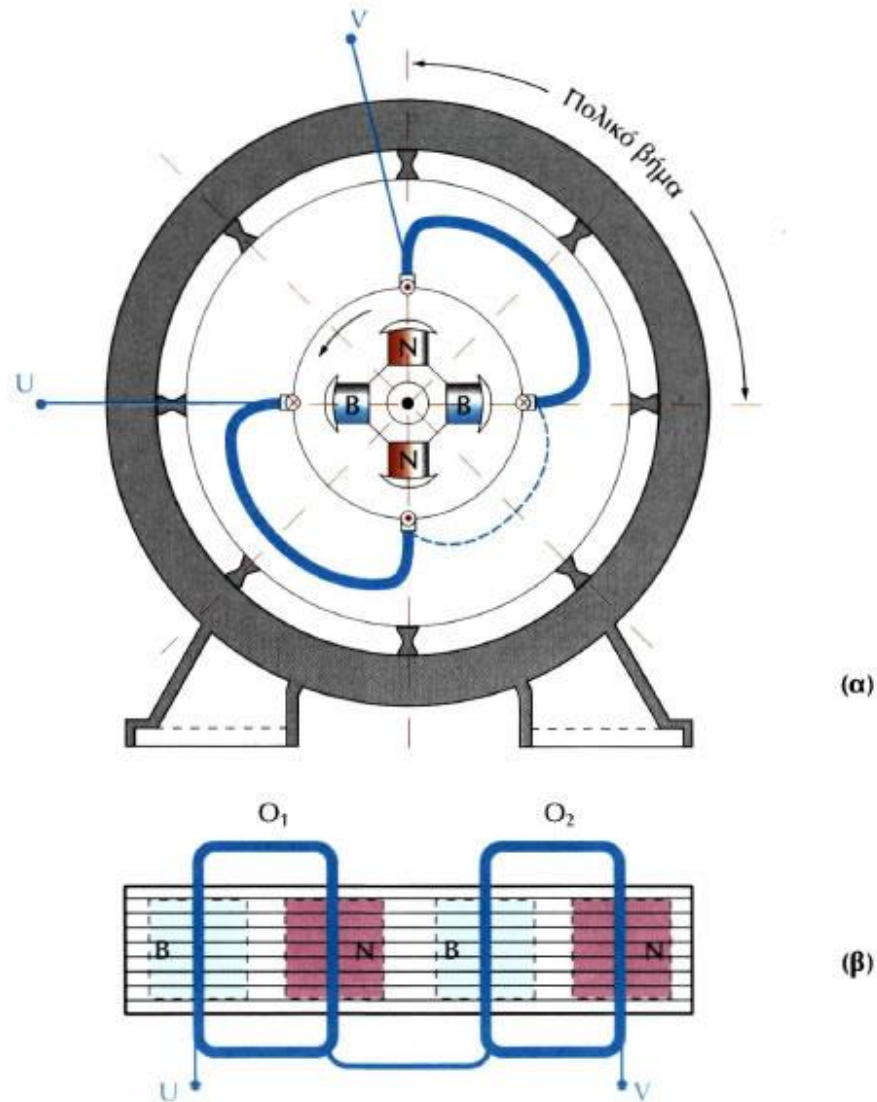
4.5 Είδη εναλλακτών

4.5.1 Μονοφασικοί εναλλακτήρες

Στο κάτωθι **σχήμα α** απεικονίζεται, με την απλούστερη μορφή του, ένας τετραπολικός μονοφασικός εναλλακτήρας με εσωτερικούς πόλους.

Τα άκρα U και V του τυλίγματος συνδέονται με τους ακροδέκτες του εναλλακτήρα. Στους ακροδέκτες του εναλλακτήρα είναι δυνατό να συνδέσουμε μονοφασικό φορτίο και να το τροφοδοτήσουμε με Ε.Ρ. Ο εναλλακτήρας τότε ονομάζεται μονοφασικός εναλλακτήρας, και το τύλιγμα του τυμπάνου μονοφασικό τύλιγμα.

Στο κάτωθι **σχήμα 4.9.β** φαίνεται το τύλιγμα στο ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμπάνου.

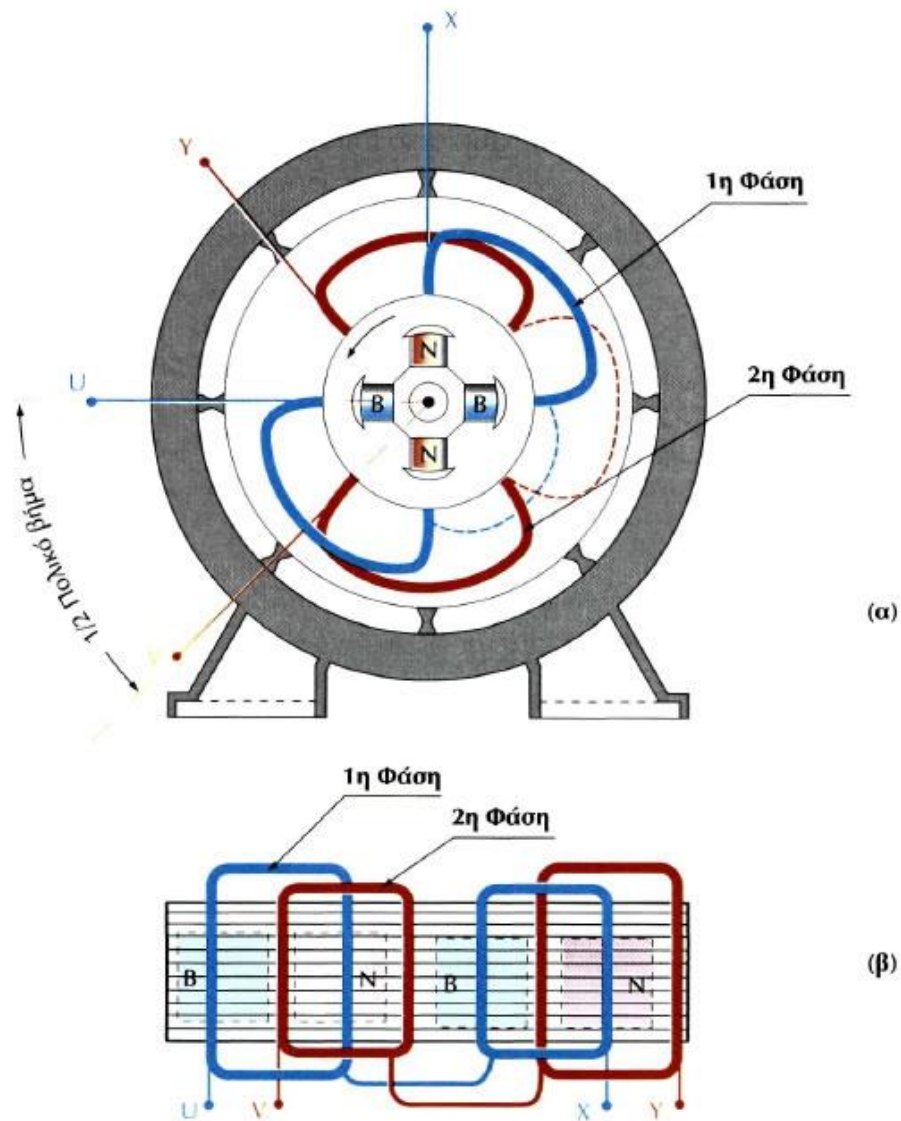


Σχήμα 4.9 – Τετραπολικός μονοφασικός εναλλακτήρας [42]

4.5.2 Διφασικοί Εναλλακτήρες

Στο κάτωθι σχήμα α απεικονίζεται ένας τετραπολικός διφασικός εναλλακτήρας. Στο σχήμα β φαίνεται το ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμπάνου.

Το διφασικό τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου έχει τέσσερα ελεύθερα άκρα, τα U - X του τυλίγματος της πρώτης φάσης, και τα V - Y του τυλίγματος της δεύτερης φάσης, τα οποία συνδέονται στους τέσσερις ακροδέκτες της μηχανής.



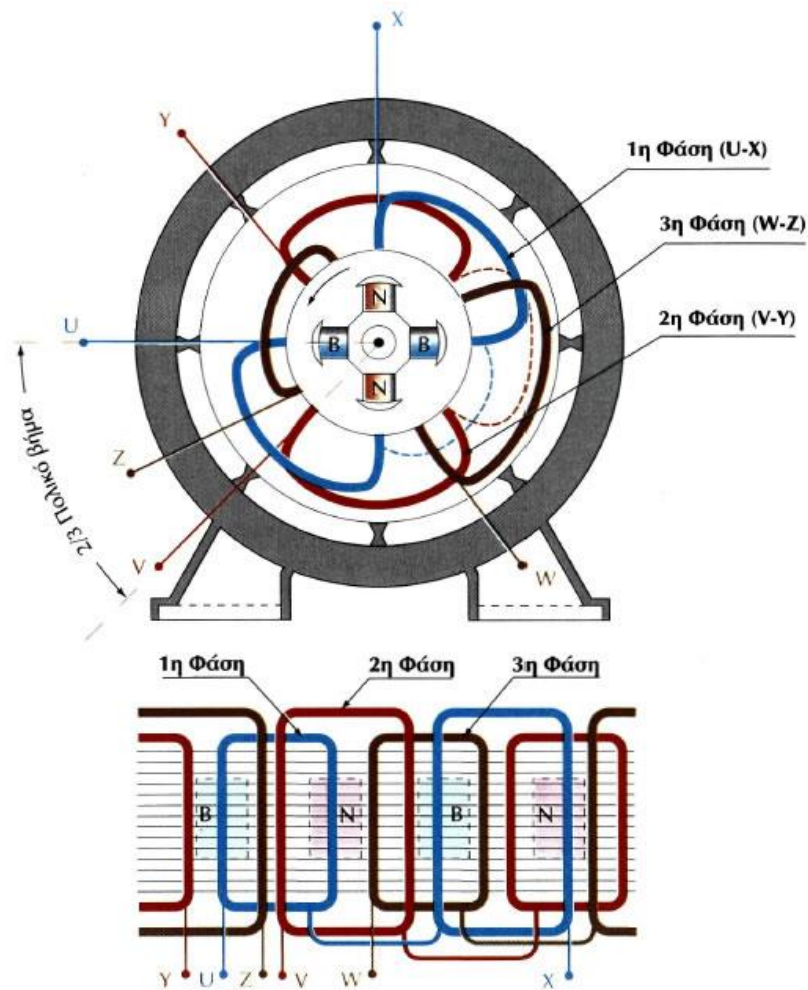
Σχήμα 4.10 – Τετραπολικός διφασικός εναλλακτήρας [42]

4.5.3 Τριφασικοί Εναλλακτήρες

Στο κάτωθι **σχήμα** απεικονίζεται ένας τετραπολικός τριφασικός εναλλακτήρας.

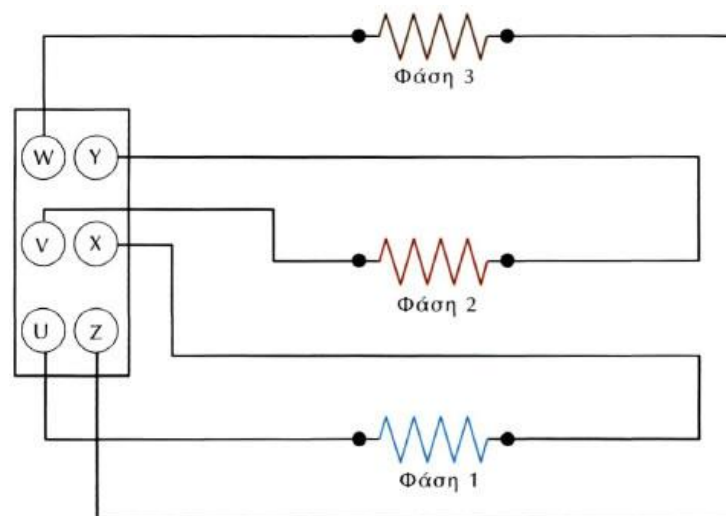
Οι τριφασικοί εναλλακτήρες φέρουν στο επαγωγικό τύμπανο τους τρία όμοια και ανεξάρτητα μεταξύ τους μονοφασικά τυλίγματα, τις τρεις φάσεις του εναλλακτήρα.

Στα τριφασικά τυλίγματα έχουμε συνεπώς έξι άκρα, τρεις αρχές, τις U, V, W, και τρία πέρατα, τα X, Y, Z. Το τυλίγμα U - X ανήκει στην πρώτη φάση, το V - Y στη δεύτερη φάση και το W - Z στην τρίτη φάση. [43]



Σχήμα 4.11 – Τετραπολικός τριφασικός εναλλακτήρας [42]

Τα έξι ελεύθερα άκρα των τριών φάσεων του τριφασικού εναλλακτήρα συνδέονται στους έξι ακροδέκτες της μηχανής, όπως φαίνονται στο σχήμα. [4]



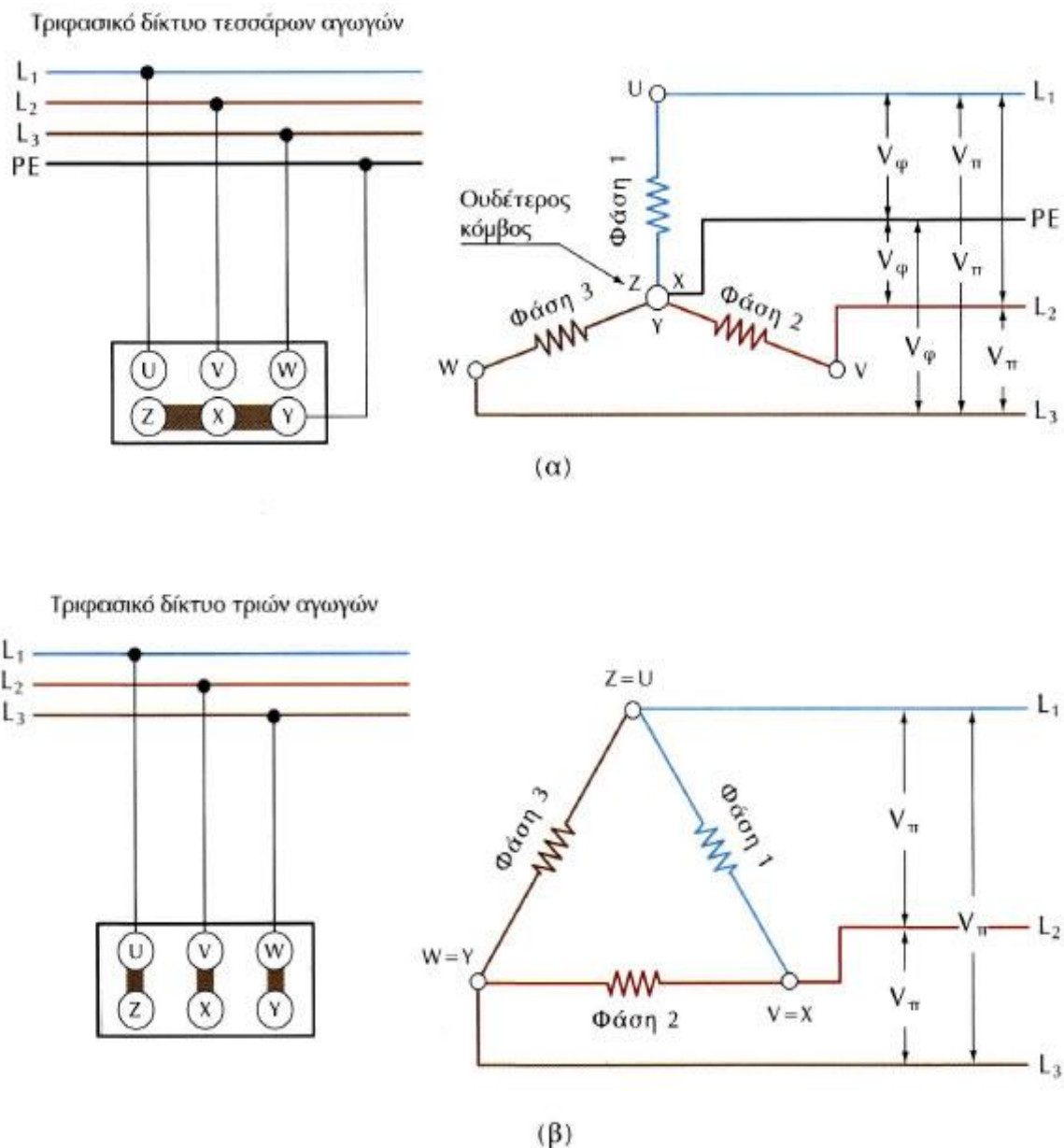
Σχήμα 4.12 – Σύνδεση των τυλιγμάτων των τριών φάσεων στους ακροδέκτες [42]

Στην περίπτωση αυτή οι τρεις φάσεις είναι τελείως ανεξάρτητες μεταξύ τους, έχουμε δηλαδή, ανεξάρτητο τριφασικό σύστημα.

Στην πράξη, τα τυλίγματα αυτά είναι αλληλένδετα και υπάρχουν οι εξής δύο τρόποι σύνδεσης μεταξύ τους:

(α) Σύνδεση ή ζεύξη σε αστέρα Υ (σχ. α) και (β) Σύνδεση ή ζεύξη σε τρίγωνο Δ (σχήμα β).

Στη σύνδεση σε αστέρα συνδέουμε με χάλκινα ή ορειχάλκινα ελάσματα τους ακροδέκτες Z, X, Y, οπότε δημιουργούμε με αυτό τον τρόπο τον ονομαζόμενο ουδέτερο κόμβο της μηχανής. Στους τρεις άλλους ελεύθερους ακροδέκτες U, V, W συνδέεται το τριφασικό δίκτυο. Στη σύνδεση σε τρίγωνο τοποθετούνται τρία ελάσματα, όπως φαίνεται στο σχήμα β. [43]



Σχήμα 4.13 – Αλληλένδετα τριφασικά τυλίγματα [42]

Παραλληλισμός Γεννητριών

Η αυτόνομη λειτουργία σύγχρονων γεννητριών είναι πολύ σπάνια. Σχεδόν πάντα εμφανίζονται πάνω από μία γεννήτριες, που συνδέονται παράλληλα για την ικανοποίηση των αναγκών του φορτίου. Η παράλληλη λειτουργία γεννητριών επιτυγχάνεται με τα εξής δύο βήματα:

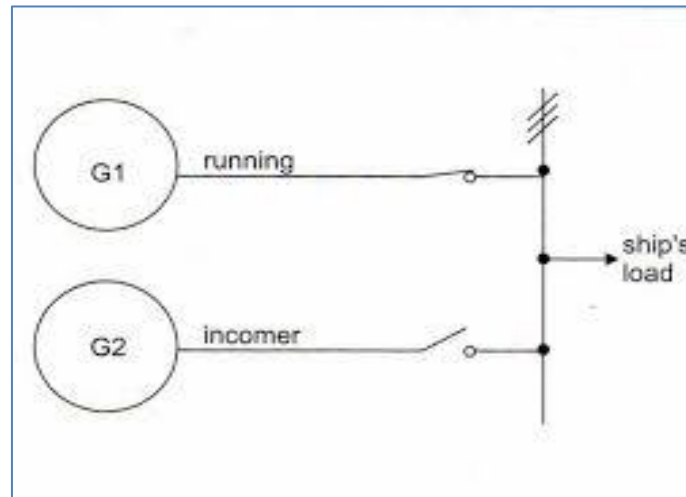
- i. Συγχρονισμός
- ii. Κατανομή του φορτίου.

Οι δύο παραπάνω διαδικασίες γίνονται αυτόματα. Χειροκίνητη διαδικασία χρησιμοποιείται κάποιες φορές σαν εναλλακτική μέθοδος στον αυτόματο έλεγχο. Για την επίτευξη του συγχρονισμού, δύο (ή περισσότερων) γεννητριών, δεν πρέπει να υπάρχει διαφορά δυναμικού μεταξύ των τάσεων των υπό σύνδεση αντίστοιχων φάσεων των δύο γεννητριών. Για να συμβεί αυτό πρέπει:

- i. Οι ενεργές τιμές των τάσεων των δύο γεννητριών να είναι ίσες.
- ii. Οι συχνότητες των δύο γεννητριών να είναι ίσες.
- iii. Να μη υπάρχει διαφορά φάσης μεταξύ των τάσεων των φάσεων που πρόκειται να συνδεθούν μεταξύ τους.
- iv. Οι όμοιες φάσεις να συνδέονται μεταξύ τους όταν κλείνει ο διακόπτης παραλληλισμού (αυτό είναι εξασφαλισμένο από την εγκατάσταση).

Έστω λοιπόν ότι μία γεννήτρια G_1 τροφοδοτεί όλο το φορτίο και μία άλλη G_2 πρόκειται να παραλληλιστεί με αυτήν, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

Εάν κάποια από τις παραπάνω συνθήκες συγχρονισμού δεν εξασφαλιστεί, θα υπάρχει διαφορά δυναμικού μεταξύ των τάσεων των φάσεων προς σύνδεση. Τη στιγμή κλεισίματος του διακόπτη που θα εισάγει τη G_2 στο δίκτυο, θα δημιουργηθεί ένα ρεύμα μεταξύ των δύο γεννητριών, που οφείλεται στη συγκεκριμένη διαφορά δυναμικού, με φορά από την γεννήτρια με τη μεγαλύτερη στιγμιαία τάση προς τη γεννήτρια με την μικρότερη στιγμιαία τάση. Το ρεύμα αυτό προκαλεί ανεπιθύμητα μεταβατικά φαινόμενα, γρήγορη επιτάχυνση της μιας γεννήτριας με ταυτόχρονη επιβράδυνση της άλλης, με σκοπό τον συγχρονισμό τους. Οι ισχυρές δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι σε θέση να καταστρέψουν τις γεννήτριες και τις κινητήριες μηχανές τους, γι αυτό υπάρχουν προστατευτικές διατάξεις που απαγορεύουν την σύνδεση της G_2 , εάν δεν τηρούνται οι προϋποθέσεις συγχρονισμού.



Σχήμα 1-1.

Η διαδικασία παραλληλισμού είναι η εξής:

- 1) Η τάση της G_2 ρυθμίζεται μέσω του AVR της, έτσι ώστε να είναι ίση με την τάση της υπό λειτουργία με το φορτίο G_1 .
- 2) Η συχνότητα της G_2 ρυθμίζεται έτσι, ώστε να είναι περίπου ίση με τη συχνότητα της G_1 . Κανονικά οι συχνότητες πρέπει να είναι ακριβώς ίσες. Επειδή όμως αυτές ρυθμίζονται από τα Governors αυτό δεν είναι δυνατόν.

Για το λόγο αυτόν η συχνότητα της G_2 ρυθμίζεται έτσι ώστε να είναι ελαφρά μεγαλύτερη από αυτήν της G_1 . Η γεννήτρια προς παραλληλισμό θα πρέπει να έχει λίγο μεγαλύτερη συχνότητα ώστε να εισαχθεί στο σύστημα σαν γεννήτρια και όχι σαν κινητήρας. Λόγω της αναπόφευκτης διαφοράς στις συχνότητες δημιουργείται έτσι κι αλλιώς διαφορά φάσης μεταξύ των τάσεων των φάσεων που πρόκειται να συνδεθούν. Η σύνδεση των δύο γεννητριών πρέπει να γίνει τη στιγμή που οι κυματομορφές των τάσεων των αντίστοιχων φάσεων που θα συνδεθούν είναι η μία πάνω στην άλλη, δηλαδή είναι πλήρως συγχρονισμένες.[13]

Αρχή Λειτουργίας του Σύγχρονου Ηλεκτρικού Κινητήρα

Ο δρομέας των κινητήρων αυτών έχει ζεύγη μαγνητικών πόλων οι οποίοι φέρουν τύλιγμα που τροφοδοτείται με Σ.Ρ. Αυτό είναι το τύλιγμα διέγερσης της μηχανής. Έτσι στο εσωτερικό της μηχανής υφίστανται δύο μαγνητικά πεδία: το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη και το μαγνητικό πεδίο Σ.Ρ. του τυλίγματος διέγερσης. Αυτά τα δύο μαγνητικά πεδία τείνουν να ευθυγραμμιστούν. Το μαγνητικό πεδίο του στάτη στρέφεται συνεχώς και το μαγνητικό πεδίο του δρομέα συνέχεια το ακολουθεί. Ο δρομέας περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου του στάτη, τη σύγχρονη ταχύτητα, η οποία καθορίζεται από τη συχνότητα τροφοδοσίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία μεταξύ των δύο πεδίων, τόσο μεγαλύτερη είναι η ροπή που ασκεί στον δρομέα το μαγνητικό πεδίο του στάτη.

Γενικά η ροπή είναι ανάλογη της τάσης τροφοδοσίας και της τάσης διέγερσης. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, είναι ανάλογη της γωνίας μεταξύ των μαγνητικών πεδίων στάτη και δρομέα καθώς περιστρέφονται. Η μέγιστη ροπή που μπορεί να προσφέρει ο κινητήρας στον άξονά του

λέγεται ροπή ανατροπής. Εάν η ροπή του φορτίου ξεπεράσει τη ροπή ανατροπής, το πεδίο του στάτη δεν μπορεί πλέον να συγκρατήσει τον δρομέα της μηχανής. Έτσι ο δρομέας αρχίζει να επιβραδύνεται και το πεδίο του μένει πολύ πίσω από το πεδίο του στάτη. Μάλιστα κάθε φορά που το πεδίο του στάτη προσπερνά το πεδίο του δρομέα, η φορά της ροπής αλλάζει πρόσημο.

Αυτές οι απότομες και πολύ μεγάλες αλλαγές στη ροπή προκαλούν ισχυρές δονήσεις στον κινητήρα και αναφέρονται σαν απώλεια συγχρονισμού. Εάν θέλουμε να αυξήσουμε τη ροπή ανατροπής, με σταθερή την τάση τροφοδοσίας του κινητήρα, επεμβαίνουμε στη διέγερση Σ.Ρ. Η μεταβολή της ροπής ανατροπής είναι ανάλογη της μεταβολής της τάσης διέγερσης. Έτσι σε υπερδιέγερση έχουμε μεγάλη ροπή. Όμως ο σύγχρονος κινητήρας μεταβάλλει τον συντελεστή ισχύος του καθώς η διέγερσή του μεταβάλλεται, όπως φαίνεται στην παρακάτω χαρακτηριστική, που είναι η γραφική παράσταση του ρεύματος οπλισμού συναρτήσει του ρεύματος διέγερσής. Συγκεκριμένα για σχετικά χαμηλές τιμές διέγερσης ο κινητήρας συμπεριφέρεται σαν επαγωγικό φορτίο, για μία μόνο τιμή διέγερσης συμπεριφέρεται σαν καθαρά ωμικό φορτίο και για υψηλές τιμές της διέγερσης συμπεριφέρεται σαν χωρητικό για το δίκτυο φορτίο.

Έτσι λοιπόν σε υπερδιέγερση ο σύγχρονος κινητήρας και μεγάλη ροπή προσφέρει στον άξονά του και ταυτόχρονα συμπεριφέρεται σαν χωρητικό φορτίο, διορθώνοντας τον συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης που είναι τοποθετημένος.

Συνοψίζοντας τώρα τα πλεονεκτήματα ενός σύγχρονου κινητήρα, αυτά είναι:

- Η σταθερή ταχύτητα περιστροφής ανεξάρτητη του φορτίου (εφόσον η ροπή του φορτίου δεν υπερβαίνει τη ροπή ανατροπής φυσικά).
- Η μεγάλη απόδοση, καθώς όλη η ισχύς του στάτη μεταφέρεται στον δρομέα χωρίς απώλειες (ίδιες ταχύτητες στάτη και δρομέα).
- Δυνατότητα ψηλής ροπής εξόδου η οποία ελέγχεται εύκολα από το κύκλωμα Σ.Ρ. διέγερσης των περιστρεφόμενων πόλων.
- Βελτίωση του συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης. Τα παραπάνω πλεονεκτήματα τον κάνουν τον ιδανικό κινητήρα για ηλεκτρική πρόωση. Το μόνο μειονέκτημά του είναι ότι είναι αντιοικονομικός σε σχέση με τον ασύγχρονο κινητήρα. [13]

Κεφάλαιο 5 Εφαρμογές Συστημάτων Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ηλεκτροπρόωση

Στα συστήματα ηλεκτροπρόωσης κινητήρας τοποθετείται εντός αξιμουθιακού συστήματος προώσεως, στο οποίο συνδέεται εξωτερικά η έλικα. Η διαφορά του συστήματος της ηλεκτροπρόωσης από το αξιμουθιακό είναι ότι η μηχανή παραγωγής ισχύος είναι ανεξάρτητη του συστήματος προώσεως. Οι κινητήρες ηλεκτροπρόωσης δεν φέρουν μειωτήρα στροφών και συμπλέκτες. Στην πλειονότητά τους είναι σύγχρονοι, και έχουν βαθμό αποδόσεως 96-98%, υψηλότερο κατά 3-4% από τον βαθμό αποδόσεως κινητήρων επαγωγής (ασύγχρονοι κινητήρες).

Η ονομαστική τάση λειτουργίας στις εγκαταστάσεις μέσης και μεγάλης ισχύος είναι 3,3-6,6 kV. Στους σύγχρονους κινητήρες έρχεται να προστεθεί μία νέα κατηγορία, αυτή των κινητήρων με μόνιμους μαγνήτες, των οποίων η απόδοση σύμφωνα με τους κατασκευαστές τους υπερβαίνει το 98%. Οι ηλεκτρογεννήτριες μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιοδήποτε σημείο του πλοίου, αφού δεν υπάρχει ουσιαστικά ελικοφόρος άξονας παρά μόνο ηλεκτρική συνδεσμολογία. Τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης σε σχέση με τα συστήματα ΜΕΚ έχουν το πλεονέκτημα της συνεχούς μεταβολής των στροφών σχεδόν σε όλο το διάστημα 0-100%. Επί πλέον, το 100% της ροπής μπορεί συνήθως να χρησιμοποιηθεί σε όλο το πεδίο λειτουργίας στροφών. Για λόγους ασφαλείας, η έλικα μπορεί να κινείται από δύο (ή και περισσότερους) ηλεκτροκινητήρες ίσης ισχύος.

Η χρήση της ηλεκτροπρόωσης αυξάνεται συνεχώς κι έχει δημιουργήσει νέα δεδομένα και μεγαλύτερες ηλεκτρικές απαιτήσεις από την πλευρά της παραγωγής, του ελέγχου, της διανομής και της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος. Η τάση που υπάρχει είναι οι κύριες και βοηθητικές λειτουργίες του πλοίου να γίνονται πλέον μόνο από ηλεκτρικά συστήματα και μηχανήματα, με καθολική αντικατάσταση υδραυλικών, μηχανικών ή συστημάτων ατμού κ.ά. Η συγκεκριμένη τάση οδηγεί σε πλήρη εξηλεκτρισμό όλων των εγκατεστημένων υποσυστημάτων.

Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για τη χρήση της ηλεκτροπρόωσης, όχι μόνο από το χώρο της εμπορικής ναυτιλίας αλλά και από την πολεμική βιομηχανία, και οι βασικοί λόγοι για αυτό είναι τρεις:

- Η ανάγκη για όσο το δυνατόν πιο «αθόρυβη» λειτουργία των πλοίων και των υποβρυχίων.
- Η αναζήτηση προωστήριων συστημάτων με χαμηλότερο κόστος λειτουργικής συντήρησης και μειωμένες απαιτήσεις επανδρώσεως.
- Η «ωρίμανση» των τεχνολογιών που απαιτούνται για να αξιοποιηθεί το πλήρες δυναμικό της ηλεκτροπρόωσης, όπως των ηλεκτρικών κινητήρων και των ηλεκτρονικών ισχύος για τον έλεγχό τους.[1][18]

Υβριδικά Συστήματα

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργεί με την ανωτέρω περιγραφόμενη φιλοσοφία, αποσκοπώντας στη μεγιστοποίηση της μορφοτροπής ενέργειας από τις μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής και αποδίδοντας στις μονάδες εγγυημένης παραγωγής ρόλο εφεδρικό, έχει επικρατήσει να ονομάζεται καταχρηστικά ως «υβριδικό» ενεργειακό σύστημα.

Τα υβριδικά συστήματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

1) Σειριακό υβριδικό σύστημα

Σε ένα σειριακό υβριδικό σύστημα (Σ.Υ.Σ.), ο ηλεκτροκινητήρας είναι ο μόνος τρόπος παροχής ισχύος στην έλικα. Ο κινητήρας λαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια είτε από τη συστοιχία συσσωρευτών είτε από μια γεννήτρια που λειτουργεί μέσω μιας μηχανής εσωτερικής καύσης. Αυτό επιτρέπει σε ένα πλοίο να συνεχίσει να λειτουργεί και μετά την αποφόρτιση των συσσωρευτών.

2) Παράλληλο υβριδικό σύστημα

Σ' ένα παράλληλο υβριδικό σύστημα (Π.Υ.Σ.), τόσο η μηχανή εσωτερικής καύσης όσο και ο ηλεκτροκινητήρας είναι σε θέση να παρέχουν ισχύ στην έλικα. Η αξονική γεννήτρια μπορεί είτε να κινεί την έλικα είτε να χρησιμοποιείται ως γεννήτρια για τη φόρτιση μπαταριών.

3) Σειριακό / παράλληλο υβριδικό σύστημα

Ο τρίτος τύπου υβριδικού συστήματος είναι ένας συνδυασμός των δύο παραπάνω. Συνδυάζοντας τα δύο συστήματα λαμβάνουμε ταυτόχρονα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα και των δυο.[4][18]

Κύριος Πίνακας & Πίνακας Έκτακτης Ανάγκης

Ο κύριος πίνακας (MSB), που βρίσκεται στο EngineControlRoom (ECR), τροφοδοτείται απευθείας από τις γεννήτριες από το κύριο καλώδιο ισχύος (*mainpowercable*). Το κύριο καλώδιο ισχύος (παραλληλισμένοι αγωγοί μεγάλης ονομαστικής διαμέτρου), που είναι ξεχωριστό για κάθε γεννήτρια, συνδέεται με τον αυτόματο διακόπτη της γεννήτριας (συνήθως, *aircircuitbreaker*). Οι ακροδέκτες του διακόπτη συνδέονται με τους ζυγούς (*busbars*) από τους οποίους γίνεται η τροφοδότηση στους υποπίνακες διανομής (κέντρα ελέγχου κινητήρων/*motorcontrolcenters* MCCS, *υποπίνακες διανομής χαμηλής ισχύος/lowpowerdistributionpanels*), τους μετασχηματιστές ισχύος κλπ.



Εικόνα 5-1.Κύριος Πίνακας[26]

Ο πίνακας έκτακτης ανάγκης είναι τοποθετημένος στο χώρο της ηλεκτρογεννήτριας ανάγκης. Αυτός ο πίνακας κατά τη λειτουργία του πλοίου τροφοδοτείται από τον κύριο πίνακα διανομής μέσω ενός διακόπτη ο οποίος είναι ο *controlcontactor* και ο οποίος θα πρέπει να προστατεύεται επαρκώς από το κύριο πίνακα από υπερφόρτωση και βραχυκύκλωμα. Θα πρέπει να αποσυνδέεται σε περίπτωση βλάβης της κύριας πηγής ηλεκτρικής ισχύος. Ο διακόπτης αυτός εξασφαλίζει την σύνδεση των δύο συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο. Με αυτό τον τρόπο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα πλοίο είναι γενικά διασυνδεδεμένο. Ένα απλό παράδειγμα της διασύνδεσης των δύο πινάκων(ανάγκης και κύριου πίνακα) είναι όταν το πλοίο ξεκινάει με την γεννήτρια ηλεκτρικής ανάγκης,όταν το πλοίο βρίσκεται σε νεκρή κατάσταση «DeadShip».[16]



Εικόνα 5-2.Πίνακας Έκτακτης Ανάγκης[27]

Καλώδια

Η επιλογή της κατάλληλης καλωδίωσης κάνει εφικτή την μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύος από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος στα φορτία, με ασφάλεια (από υπερθερμάνσεις) και με τη μικρότερη δυνατή απώλεια ισχύος. Υπάρχουν διάφοροι τύποι καλωδίων που χρησιμοποιούνται που χρησιμοποιούνται για θαλάσσιες εφαρμογές.

Οι τύποι καθώς και ο τρόπος εγκατάστασης τους περιγράφονται αναλυτικά σε πρότυπα της IEC και η επιλογή τους γίνεται ανάλογα με τη σχεδίαση του ηλεκτρικού συστήματος διανομής, τον τύπο του καταναλωτή που εξυπηρετούν και την διαδρομή τους σε χαρακτηρισμένες ως “επικίνδυνες περιοχές”. Κατά κανόνα, όλοι οι τύποι, πληρούν σε κάποιο βαθμό, απαιτήσεις που έχουν να κάνουν με τις συνθήκες που επικρατούν σε ένα βιομηχανικό δίκτυο.

Όλα τα καλώδια δημιουργήθηκαν στον συντάκτη καλωδίων του προγράμματος με ονομαστική τάση 0,6/1 kV. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους στηρίχτηκαν σε πρότυπα που αφορούν πλοία και θαλάσσιες εγκαταστάσεις. Παρουσιάζουν τριφασικό καλώδιο με αριθμημένα τα επιμέρους τμήματα που υλοποιήθηκαν μέσω του προγράμματος και τα οποία είναι τα εξής:

- i. Οι αγωγοί (conductors) είναι χάλκινοι σύμφωνα με το IEC 60228, κλάσης 2.
- ii. Η μόνωση (insulation) είναι από πολυαιθυλένιο με δικτυωτούς δεσμούς (XLPE), σύμφωνα με το IEC60092-351.
- iii. Η εσωτερική επικάλυψη (innercovering) πρέπει να πραγματοποιείται με μηυγροσκοπικά υλικά όπως είναι το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC).
- iv. Η θωράκιση (armor) είναι από πεπλεγμένους χάλκινους αγωγούς, οι οποίοι καλύπτουν τουλάχιστον το 90% της επιφάνειας και πέρα από τη μηχανική αντοχή τους, μπορούν να χρησιμεύσουν και ως αγωγός γείωσης.
- v. Το εξωτερικό περίβλημα (sheath) πρέπει να είναι από υλικό που να αντέχει τις υψηλές θερμοκρασίες, να είναι στεγανό και άφλεκτο (να μη μεταδίδει τη φωτιά). Χρησιμοποιήθηκε PVC καθώς ήταν πολύ κοντά στις απαιτήσεις αυτές σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά της βιβλιοθήκης.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στην περίπτωση του γειωμένου συστήματος μέσω υψηλής αντίστασης, πέρα από τους τρεις αγωγούς φάσεων, υπάρχει και ο ουδέτερος αγωγός. Μια συνήθης πρακτική σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ, είναι η διατομή του ουδέτερου αγωγού να λαμβάνεται ίση με εκείνη των φάσεων τόσο στα μονοφασικά κυκλώματα όσο και στα τριφασικά κυκλώματα.[7]

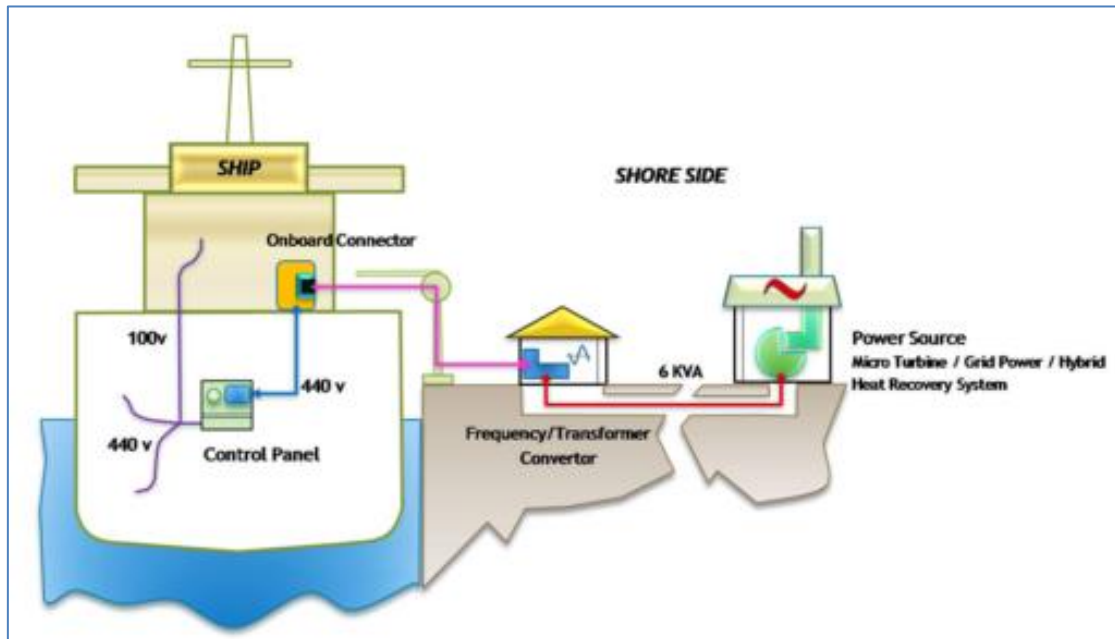


Εικόνα 5-3.Καλώδια[28]

Διεθνής Λήψη Ηλεκτρικής Ενέργειας από τη Ξηρά

Η διεθνής λήψη ηλεκτρικής ενέργειας από τη ξηρά (*ShorePowerConnection*), υπάρχει για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε περιπτώσεις που ένα πλοίο βρίσκεται σε δεξαμενισμό για επισκευή, όπου το πλοίο δε μπορεί να παράγει το δικό του ρεύμα για λόγους, όπως το σύστημα ψύξης με γλυκό νερό να μη λειτουργεί με απώτερο σκοπό να μη μπορούν και οι κύριες γεννήτριες να παράγουν οι ίδιες την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ ή να έχουν τεθεί οι ίδιες εκτός για συντήρηση. Έτσι λοιπόν για τη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο πλοίο θα πρέπει να δοθεί ηλεκτρική ενέργεια μέσω της ξηράς και συγκριμένα από το ναυπηγείο.

Το ρεύμα που θα πρέπει να δοθεί θα πρέπει να είναι συγκεκριμένης συχνότητας και τάσης και να είναι τριφασικό σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις των κατασκευαστών του πλοίου, ώστε να μη μπορέσουν να υπάρξουν περεταίρω προβλήματα κατά τον δεξαμενισμό του πλοίου με βραχυκυκλώματα στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό του. Η διεθνής λήψη ρεύματος περιλαμβάνει επίσης «ρολόι» μέτρησης των κιλοβατώραν που καταναλώθηκαν από το πλοίο για τον υπολογισμό του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε. [16]



Εικόνα 5-4.Διεθνής λήψη παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας από την Ξηρά[29]

Μετασχηματιστές Υποβιβασμού (Distribution Power Transformers)

Στα πλοία για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας από μια τάση σε μία άλλη όπως και στη ξηρά χρησιμοποιούνται οι μετασχηματιστές. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται είναι οι μετασχηματιστές υποβιβασμού, αυτοί παραλαμβάνουν εναλλασσόμενο τριφασικό ρεύμα υψηλότερης τάσεως από τις γεννήτριες μέσω κατάλληλης διατάξεως, όπως για παράδειγμα ρεύμα τάσεως 440 V το οποίο μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα χαμηλότερης τάσεως 220 V για την διανομή του στο δίκτυο το οποίο τροφοδοτεί ηλεκτρολογικό εξοπλισμό της τάσεως αυτής, (όπως το φωτισμό στους χώρους ενδιαιτήσεως, την ηλεκτροδότηση των ηλεκτρικών συσκευών, κ.α.).



Εικόνα 5-5.Μετασχηματιστές Υποβιβασμού[30]

Οι μετασχηματιστές υποβιβασμού πρέπει λοιπόν να καλύπτουν κάποιες συγκεκριμένες διατάξεις σύμφωνα με τους νηογνώμονες, όπως είναι ο χώρος που είναι να τοποθετηθούν, να είναι επαρκώς αεριζόμενοι, οι συνδεσμολογίες τους να μη μπορούν να προκαλέσουν βραχυκυκλώματα, επίσης να υπάρχει διπλή διάταξη μετασχηματιστών για λόγους ασφαλείας. Η διάταξη αυτή δεν θα πρέπει να έρχεται σε παράλληλη λειτουργία για αυτό το λόγο χρησιμοποιείτε χειροκίνητος μηχανισμός ασφαλείας (mechanical interlock) των διακοπών ούτως ώστε όταν ο διακόπτης του ενός μετασχηματιστή είναι ενεργός να μη μπορεί να τεθεί σε λειτουργία ο δεύτερος μετασχηματιστής. Τέλος η συνδεσμολογία των μετασχηματιστών αυτών είναι ΤΡΙΓΩΝΟΥ- τριγώνου (D-d).[16]

Κεφάλαιο 6 Εναλλακτικές Μορφές Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας, συχνά αναφερόμενες και ως ήπιες μορφές ενέργειας ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποτελούν τη σημαντικότερη ίσως προσπάθεια για την επίλυση δύο βασικών προβλημάτων του πλανήτη: τη σταδιακή μείωση των αποθεμάτων των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (ορυκτών καυσίμων) και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τη χρήση των παραδοσιακών πηγών ενέργειας. Στην συνέχεια περιγράφονται οι εναλλακτικές μορφές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

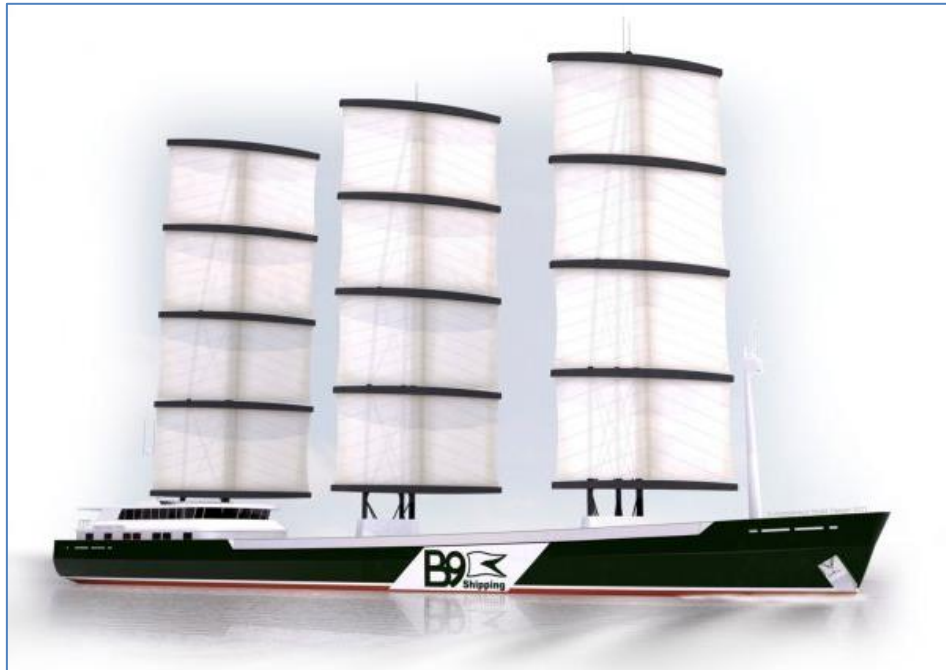
Αιολική Ενέργεια

Πριν από την έλευση της ατμομηχανής, τα ιστία μονοπώλησαν την ανοικτή θάλασσα, προωθώντας σχετικά μικρά πλοία με μεγάλα πληρώματα. Ούτως η άλλως, ο άνεμος είναι μια άμεσα διαθέσιμη, αν και με διακυμάνσεις, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που είναι πλήρως κατανοητή. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι οι διακυμάνσεις στην ισχύ του ανέμου και η δυσκολία στην αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού πρόωσης όταν η πλεύση γίνεται μέσα ή κοντά στον άνεμο. Οι τρέχουσες πρωτοβουλίες περιλαμβάνουν την υιοθέτηση ενός αριθμού διαφορετικών τύπων των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στοχεύοντας σε ένα φάσμα τύπων πλοίων από μικρά πλοία villagescale πλοία έως μεγάλους μεταφορείς φορτίων, τόσο ως κύρια όσο και βοηθητική μηχανή πρόωσης. Η πρόωση από τον άνεμο, μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση τεχνολογιών με μαλακά πανιά, σταθερά πανιά, ρότορες, πανιά τύπου χαρταετού, και ανεμογεννήτριες.



Εικόνα 6-1. Πλοίο που χρησιμοποιεί την Αιολική Ενέργεια[31]

- (i) Τα συμβατικά μαλακά πανιά προσφέρουν μια αποδεδειγμένη, ώριμη τεχνολογία, ικανή να εκμεταλλευτεί άμεσα την προωθητική δύναμη του ανέμου. Η τεχνολογική πρόοδος στη βιομηχανία των superyachts καθώς και των αγωνιστικών yacht μπορεί να ενσωματωθεί και στη βιομηχανική χρήση. Τα ιστία μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως πρωτεύον είτε ως βοηθητικό σύστημα πρόωσης και μπορούν να τοποθετηθούν είτε μετασκευάζοντας υπάρχοντα πλοία είτε να ενσωματωθούν σε νέα κατασκευαστικά σχέδια.



Εικόνα 6-2.Πλοία που χρησιμοποιούν Μαλακά Πανιά[32]

- (ii) Με τα σταθερά πανιά είναι ουσιαστικά άκαμπτα «φτερά» σε περιστρεφόμενο κατάρτι. Οι τρέχουσες προτάσεις περιλαμβάνουν χρήση σε μεγάλα πλοία Η Αυστραλιανή εταιρεία, OCIUS Technology Ltd, χρησιμοποιεί σταθερά πανιά σε συνδυασμό με φωτοβολταϊκά πάνελς για να τροφοδοτήσει ενεργειακά harborferries. Η OCIUS έχει πρόσφατα κατοχυρώσει μια μοναδική μορφή σταθερών πανιών ικανών να διπλώνουν για να μπορούν να αντιμετωπίσουν διάφορες καταστάσεις του ανέμου. Η εταιρεία προβλέπει ότι αυτή η τεχνολογία θα είναι χρησιμοποιήσιμη σε σύγχρονα πλοία όλων των μεγεθών. Το πρωτότυπο σχέδιο της νορβηγικής Ladeas με την ονομασία Vindskip αποτελεί ένα υβριδικό εμπορικό πλοίο με πρωτεύον σύστημα πρόωσης που χρησιμοποιεί LNG για καύσιμο και αεροδυναμικό κύτος που λειτουργεί ως γιγαντιαίο ιστίο.
- (iii) Οι ρότορεςFlettner εκμεταλλεύονται το Φαινόμενο Magnus, που δημιουργείται όταν ο αέρας περνά πάνω από ένα ήδη περιστρεφόμενο κύλινδρο, για να προκαλέσουν πρόωση. Η τεχνολογία είχε ξεχαστεί σε μεγάλο βαθμό, μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1980 όταν ο διάσημος ωκεανογράφος Capt. JacquesCousteau και η ομάδα του παρουσίασαν το Turbosail, στο ερευνητικό τους σκάφος Alcyone. Το 1985 η αμερικανική εταιρεία WindshipCorporation, δημοσιοποίησε τα ευρήματα από μια λεπτομερή ανάλυση 75 τροφοδοτούμενων ενεργειακά από τον άνεμο εξεδρών υποστηριζόμενα από εκτεταμένες δοκιμές, συμπεραίνοντας ότι οι ρότορες είχαν μακράν τη μεγαλύτερη δυναμική εξέλιξης.

Το 2010 η Enercon άρχισε τις δοκιμές του 12800 dwt E-Ship 1, που έφερε 4 ρότορες Flettner οι οποίοι τροφοδοτούνταν ενεργειακά από τα καυσάδια του κύριου συμβατικού κινητήρα. Η μετασκευή bulkers και δεξαμενόπλοιων έως κλάσης VLCC εξετάζεται ενεργά παρόλο που η χρήση μεγάλου μέρους της επιφάνειας του καταστρώματος λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν. Πλέον υπάρχουν σύγχρονα σχέδια πρωτοτύπων που υιοθετούν τους ρότορες τύπου Flettner

- (iv) Τα πανιά τύπου χαρταετού, συνδέονται στην πλώρη του πλοίου και λειτουργούν σε υψόμετρο ώστε να μεγιστοποιούνται οι ταχύτητες του ανέμου. Ένας μικρός αριθμός καινοτόμων εταιριών υποστηρίζει αυτήν την τεχνολογία για πάνω από μια δεκαετία. Το 2008 το MS BelugaSkysails ήταν το πρώτο παγκοσμίως εμπορικό πλοίο μεταφοράς container το οποίο μερικώς κινείται από ένα πανί τύπου χαρταετού, επιφάνειας 160 τ.μ.
- (v) Οι ανεμογεννήτριες ήταν για αρκετά χρόνια στην συζήτηση σχετικά με την πρόωση των πλοίων. Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν επιτυχημένα πρωτότυπα εφαρμογής τους. Αυτό αντανακλά συστημικά ζητήματα με την τελική σταθερότητά τους και τις παραγόμενες δονήσεις, καθώς και την έμφυτη ανεπάρκεια στην μετατροπή της ενέργειας σε σχέση με άλλες τεχνολογίες. Το πλεονέκτημα των ανεμογεννητριών είναι ότι μπορούν να συνεχίσουν να παράγουν ενέργεια ακόμα κι όταν το σκάφος πλέει στον άνεμο. Υπάρχει μια περίπτωση που θα μπορούσαν να πετύχουν οι ανεμογεννήτριες σαν παραγωγοί ενέργειας για τα βοηθητικά συστήματα του πλοίου ή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε παράκτιες εγκαταστάσεις αντικαθιστώντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές, μη ανανεώσιμες πηγές. Δεδομένης της τεράστιας προόδου στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι πολύ πιθανό να υπάρχουν σημαντικά μαθήματα που θα πρέπει να μεταφερθούν και στον τομέα της ναυτιλίας.[10]

Φωτοβολταϊκά και Υβριδικά Συστήματα

Οι εφαρμογές φωτοβολταϊκών χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκές κυψέλες. Όλες οι εξελίξεις σε αυτήν την ραγδαία εξελισσόμενη τεχνολογία είναι διαθέσιμες για χρήση στις μεταφορές στην ναυτιλία. Οι πρωτεύοντες περιορισμοί είναι η έλλειψη αρκετής επιφάνειας ώστε να τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά πάνελς αλλά και τα συστήματα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας.

Πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες και καλύτερες προοπτικές για συστήματα πρόωσης στα πλοία οι οποίες θα τροφοδοτούνται ενεργειακά από φωτοβολταϊκά βραχυπρόθεσμα, αλλά λύσεις που τα βασικά συστήματα πρόωσης θα τροφοδοτούνται αποκλειστικά από φωτοβολταϊκά απαιτούν περεταίρω εξελίξεις και τεχνική ανάπτυξη και είναι πιθανόν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε σχετικά μικρά πλοία.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν δυνατότητες όταν χρησιμοποιούνται για την φόρτιση συστημάτων μπαταριών, τα οποία με τη σειρά τους υποστηρίζουν επαναφορτιζόμενες μονάδες ηλεκτρικής πρόωσης για μικρότερης κλίμακας ferries, αλλά αυτό είναι εφαρμόσιμο μόνο σε υπερβολικά μικρά ταξίδια. Έχει επίσης εφαρμογές στην βελτίωση άλλων πηγών παροχής

ηλεκτρικής ενέργειας για το μεγαλύτερο τμήμα της παράκτιας υποδομής. Για να εκμεταλλευτούμε στο μέγιστο τα οφέλη. Αυτός ο τύπος χρήσης πρέπει να συνδυαστεί με τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας και χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η ηλιακή (μαζί με την κυματική και την αιολική ενέργεια) ίσως έχει έναν σημαντικό ρόλο να διαδραματίσει στο μέλλον παρέχοντας την αρχική ενέργεια για το διαχωρισμό υδρογόνου από το θαλασσινό νερό για χρήση σε τεχνολογίες κυψελών καυσίμου υδρογόνου.[10]



Εικόνα 6-3.Πλοίο με ΦωτοβολταϊκάΣυστήματα[33]

Κυματική Ενέργεια

Τα τρέχοντα σχέδια μονάδων κυματικής ενέργειας δείχνουν ότι θα χρειαστεί ένα εντελώς νέο *design concept*, ώστε να καταστεί άμεσα εφαρμόσιμη για τις ανάγκες του κλάδου της ναυτιλίας. Ο μικρός αριθμός των κατασκευαστών στο συγκεκριμένο πεδίο προσπαθεί να μάθει από την βιολογία και να μιμηθεί τον τρόπο με τον οποίο τα δελφίνια και τα πελαγικά ψάρια χρησιμοποιούν μυϊκή ενέργεια σε θαλάσσια περιβάλλοντα. Το φιλόδοξο E/S Orcelle μεταφοράς αυτοκινήτων της εταιρείας *WalleniusWilhelmsenLogistics* (WWL), χρησιμοποιεί μια σειρά 23 υποβρύχιων *flaps* (πτερύγια), εμπνευσμένων από τις κινήσεις των ουρών των δελφινιών *Irrawaddy*, για να αξιοποιήσουν και να μετατρέψουν την κυματική ενέργεια στον ωκεανό και να δημιουργήσουν πρόωση αλλά και για να παράγουν ηλεκτρική και υδραυλική ενέργεια για να τροφοδοτήσουν τα συστήματα του πλοίου.

Το E/S Orcelle είναι ένα πλοίο με μηδενικές εκπομπές αερίων και αυτό οφείλεται στον πρωτοποριακό του σχεδιασμό. Τα κύρια ζητήματα σχεδιασμού συμπεριλαμβάνουν:

- χρησιμοποίηση του ήλιου, του άνεμου και των κυμάτων για την εκκίνηση των γεννητριών ενέργειας που περιλαμβάνουν κυψέλες καυσίμου,

- βελτιστοποίηση της χωρητικότητας φορτίου και μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης ανά μεταφερόμενη μονάδα, και
- εξάλειψη προβλημάτων που σχετίζονται με το έρμα, χάρη στον νέο σχεδιασμό της γάστρας του.

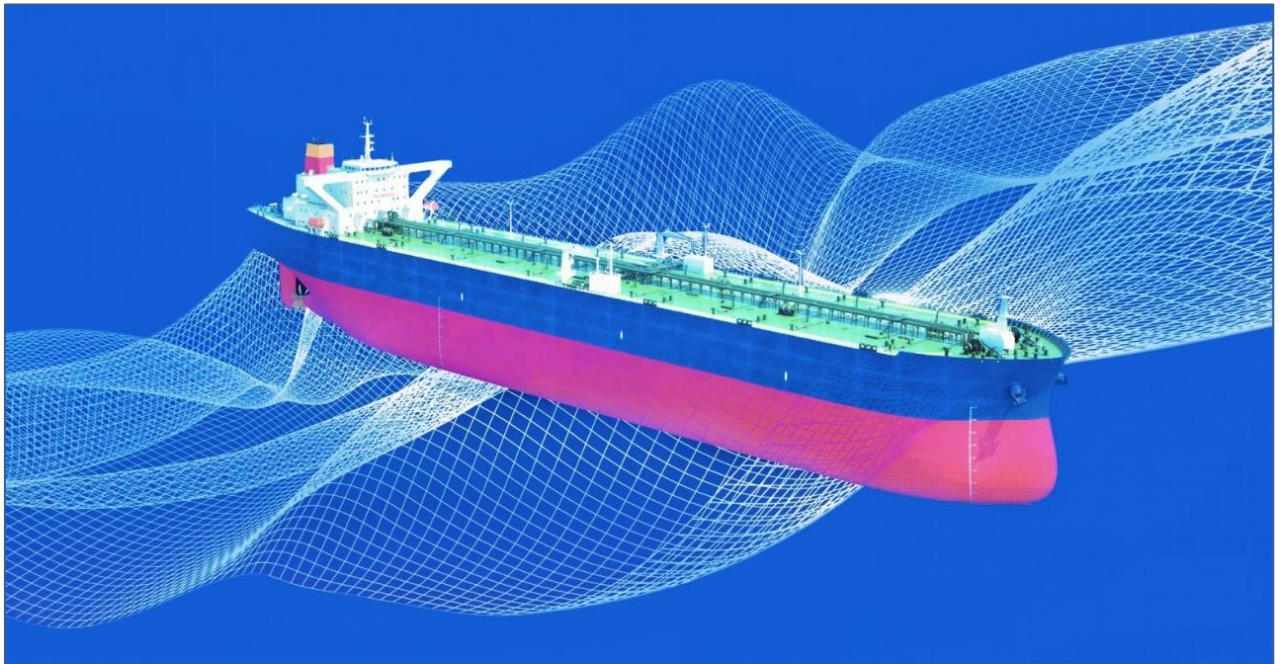
Οι πρώτες εργασίες για το E/S Orcelle ξεκίνησε το 2004 και συνεχίζουν. Με τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και την εξάλειψη των εκπομπών, το E/S Orcelle θα συμβάλει στην προστασία των θαλάσσιων οικοσυστημάτων καθώς και της ατμόσφαιρα της γης. Η WalleniusWilhelmsen προβλέπει η ημερομηνία παράδοσης του, φιλικού προς το περιβάλλον πλοίο, θα είναι το 2025.^[10]



Εικόνα 6-4. Το πλοίο E/S Orcelle - Πρώτο πλοίο με χρήση Κυματικής Ενέργειας[34]

Πυρηνική Ενέργεια

Ο νοτιοκορεατικός ναυπηγικός όμιλος *Samsung Heavy Industries* (SHI) πρόκειται να συνεργαστεί με το Ινστιτούτο Έρευνας Ατομικής Ενέργειας της Κορέας (KAERI), με στόχο την ανάπτυξη πλοίων που θα τροφοδοτούνται με πυρηνική ενέργεια. Στο πλαίσιο της συνεργασίας τους, οι δύο εταίροι θα επικεντρωθούν επίσης στην ανάπτυξη πλωτών πυρηνικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι θα βασίζονται σε αντιδραστήρες τηγμένου άλατος (MSR), μια τεχνολογία η οποία έχει έρθει στο προσκήνιο ως πηγή ενέργειας με μηδενικές εκπομπές άνθρακα.



Εικόνα 6-5.Πλοίο με χρήση της Πυρηνικής Ενέργειας[35]

Σύμφωνα με τον Jin-TaekJung, διευθύνοντα σύμβουλο της SHI, η εταιρεία σκοπεύει, μέσω της εν λόγω συνεργασίας, να εστιάσει στο κομμάτι της έρευνας και της ανάπτυξης ενός κινητήρα πλοίων ο οποίος θα βασίζεται στην τεχνολογία MSR. Ο αντιδραστήρας MSR θα μπορεί να τροφοδοτεί με ισχύ πρόωσης τα πλοία, αλλά και να παρέχει ηλεκτρική ισχύ για την παραγωγή φιλικών προς το περιβάλλον καυσίμων. Οι δοκιμές του πρώτου πρωτότυπου αντιδραστήρα MSR πρόκειται να ξεκινήσουν το 2025.

Αν και το κόστος κατασκευής των πυρηνικών στοιχείων καυσίμου είναι υψηλό, το συνολικό κόστος του είναι πολύ χαμηλότερο απ' ό τι το κόστος των ορυκτών καυσίμων που απαιτείται για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενέργειας. Μια μικρή ποσότητα πυρηνικών καυσίμων παρέχει ενέργεια ισοδύναμη με εκατομμύρια φορές την ποσότητα άνθρακα ή πετρελαίου. Συνυπολογίζοντας το χαμηλό κόστος καυσίμων, τις σχεδόν μηδενικές εκπομπές ρύπων και την εξάλειψη των ανησυχιών για την ασφάλεια του πληρώματος, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις ώστε η δημοτικότητα της τεχνολογίας πρόωσης των πλοίων με πυρηνική ενέργεια να αυξάνεται συνεχώς.[11]

Υδρογόνο

Η *Korea Ship building & Offshore Engineering* (KSOE) αναμένει να έχει διαθέσιμη την τεχνολογία για τη μεταφορά υδρογόνου με πλοίο μέχρι το 2025, επισήμανε στέλεχος της, στοχεύοντας σε μια σημαντική ανακάλυψη στην παροχή καυσίμου που διαφημίζεται από τους υποστηρικτές ως σημαντική πηγή καθαρής ενέργειας.

Η ανάπτυξη από την KSOE, τον ναυπηγικό βραχίονα του Ομίλου Hyundai Heavy Industries, μιας από τις μεγαλύτερες ναυπηγικές εταιρείες στον κόσμο, έρχεται εν μέσω αυξανόμενου παγκόσμιου ενδιαφέροντος για την ανάπτυξη υδρογόνου ως εναλλακτική λύση καθαρότερου καυσίμου. Μια σημαντική πρόκληση ήταν να διατηρηθεί το υδρογόνο ψυχρό στους μείον 253 βαθμούς Κελσίου έτσι ώστε να παραμένει σε υγρή μορφή, αποφεύγοντας τον κίνδυνο να

ραγίσουν μέρη ενός σκάφους. Σήμερα όμως με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχει ήδη αναπτυχθεί ένα πρωτότυπο πλοίο χωρητικότητας 20.000 κυβικών μέτρων, το οποίο περνάει από διάφορες δοκιμές ώστε να σιγουρευτεί ότι δεν θα υπάρχουν κίνδυνοι στο πλοίο αλλά και στο πλήρωμα.



Εικόνα 6-6.Εμπορικό πλοίο με χρήση Ενέργειας Υδρογόνου[36]

Αν και είναι μικρά στα 20.000 κυβικά μέτρα σε σύγκριση με τα μεγαλύτερα υπερδεξαμενόπλοια υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) – τα οποία μπορούν να μεταφέρουν έως και 266.000 κυβικά μέτρα – τα δεξαμενόπλοια υδρογόνου θα μεγαλώνουν σε μέγεθος καθώς αναπτύσσεται η τεχνολογία. Περίπου 20 πλοία χωρητικότητας 20.000 κυβικών μέτρων αναμένεται να κατασκευαστούν τη δεκαετία που ξεκινά το 2030 και εάν αυξηθεί η ζήτηση, θα μπορούσε να αυξηθεί σε 200 μεγαλύτερα πλοία 170.000 κυβικών μέτρων μετά το 2040, σύμφωνα με εκτιμήσεις της βιομηχανίας στη Νότια Κορέα, ένα από τα ναυπηγικά κέντρα του κόσμου.^[15]

Κεφάλαιο 7 Συμπέρασμα – Επίλογος

Από όλα τα παραπάνω γίνεται αντιληπτή η ανάγκη της ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία. Με το πέρασμα των χρόνων η ναυτιλία γνώρισε ριζοσπαστικές αλλαγές από την εποχή των ατμόπλοιων μέχρι και το σήμερα. Πολύ λίγα πράγματα παρέμειναν σταθερές μεταβλητές σε όλες αυτές τις αλλαγές και το βασικότερο όλων είναι η εξέλιξη των συστημάτων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Γίνεται σαφές λοιπόν το γεγονός ότι παρόλη την πρόοδο που έχει επέλθει κατά βάση στα συστήματα παραγωγής και αξιοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας επί των πλοίων, υπάρχει μεγάλο περιθώριο περεταίρω βελτίωσης των συστημάτων αυτών.

Το ηλεκτρικό ρεύμα, είναι ο πλέον καταλυτικός παράγοντας στην απόδοση, καθώς και στην ασφάλεια του πλοίου και του πληρώματος. Τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία αναλύθηκαν παραπάνω, είναι προφανές ότι θα δώσουν την θέση τους σε νέες πιο εξελιγμένου τύπου γεννήτριες και συσκευές-μηχανές αξιοποίησης της, με λιγότερες απώλειες, των οποίων η κατασκευή, με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών και αυτοματισμών στα πλοία και την ανάγκη για συνεχή και αδιάκοπη παροχή ενέργειας, είναι εύκολα αντιληπτό ότι γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα νέα σύγχρονα συστήματα και οι εναλλακτικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την πρόωση και την λειτουργία των εμπορικών πλοίων αποτελούν τεχνολογία του μέλλοντος και η εξέλιξη προς μία νέα εποχή για την ναυτιλία ακόμα πιο φιλική για το περιβάλλον. Η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, θα επιφέρει μείωση των ανοχών των μηχανικών δυσλειτουργιών, τα οποία δύναται να εμφανίσουν οι σημερινές γεννήτριες, καθώς η ναυτιλία οδεύει αργά αλλά σταθερά προς τα ανεπάνδρωτα πλοία.

Για αυτόν τον λόγο, καθημερινά, προσπαθούν οι ειδικοί να φτιάξουν ή να αναβαθμίσουν τα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας έτσι ώστε να γίνεται ευκολότερη και ασφαλέστερη η ζωή του ναυτικού αλλά και φιλικότερη η χρήση τους για το περιβάλλον.

Βιβλιογραφία- Πηγές

- [illegible]

- [10] Κολάκη, Α., (2016), «Νέες Κατασκευές - Τεχνολογίες Πλοίων για Εξοικονόμηση Καυσίμου και Μείωση των Εκπομπών Αερίων», Σχολή Επιστήμων Διοίκησης Τμήμα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, (Πτυχιακή Εργασία),
<https://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/17454/%20%20%20%20%20%20%20%20-%20%20%20%20%20%20%20.pdf?sequence=5>
- [11] Ναυτικά Χρονικά, (2021), «Η Πυρηνική Ενέργεια ως Εναλλακτική Λύση Πρόωσης Πλοίων»,
<https://www.naftikachronika.gr/2021/06/11/h-pyriniki-energeia-os-enallaktiki-lysi-proosis-ploion/>
- [12] Παναγιωτόπουλος, Σ., (2014), «Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας Πλοίων, Κανονισμοί, Μελέτες & Σχεδίαση», Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, (Διπλωματική Εργασία),
<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/40420/DT-Panagiotopoulos.Spyros.pdf>
- [13] Παπασταμούλης, Α., (2015), «Ηλεκτρικές Μηχανές - Ηλεκτροπρόωση στα Πλοία», Σχολή Μηχανικών, ΑΕΝ Μακεδονίας,
<https://maredu.hcg.gr/modules/document/?course=MAK387>
- [14] Ζανιάς, Γ., (2022), «Συστήματα Ενεργειακής Αυτονομίας Πλήρως Εξηλεκτρισμένων Πλοίων», Σχολή Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, (Διπλωματική Εργασία),
https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/2672/Zanias_06956.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [15] Energymag.gr (2022), «Διαθέσιμη η Τεχνολογία Μεταφοράς Υδρογόνου με Πλοία το 2025 λέει η Κορεάτικη Ναυπηγική Hyundai», <https://energymag.gr/news/energeia/ydrogono/diathesimi-i-technologia-metaforas-ydrogonou-me-ploia-to-2025-leei-i-koreatiki-nafpigiki-hyundai/>
- [16] Λιάγκος, Π., (2017), «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Πλοίου», Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών ΤΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, (Πτυχιακή Εργασία),
<http://repository.library.teimes.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/6082/ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ%20ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ%20ΠΛΟΙΟΥ..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [17] Ξενοφών, Σ., (2018), «Ασφάλεια Εργασία σε Ηλεκτρολογικές Εργασίες επί Πλοίων», Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε., ΑΕΙ Πειραιά, (Διπλωματική Εργασία),
<http://okeanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4147/Πτυχιακή%20με%20εξώφυλλο.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [18] Κορακιανίτης, Ν., (2020), «Η χρήση της Ηλεκτροπρόωσης στα Πλοία», Περιοδικό 'Μετάδοση Ισχύος',
<https://www.metadosi-ischios.gr/i-chrisi-tis-ilektroproosis-sta-ploia/>
- [19] Wärtsilä— Maritime&EnergyMarketSolutions, «WärtsiläShaftGeneratorSystems - GeneratingElectricityatSea», <https://www.wartsila.com/marine/products/ship-electrification-solutions/shaft-generator>(Εικόνα Εξωφύλλου)
- [20] Βικιπαίδεια - Η Ελεύθερη Εγκυκλοπαίδεια, «Πλοίο S/SColumbia»,
https://en.wikipedia.org/wiki/SS_Columbia_%281880%29
- [21] Great Ocean Liners, «Πλοίο S/S Normandie», <https://www.greatoceanliners.com/ss-normandie>
- [22] Βικιπαίδεια - Η Ελεύθερη Εγκυκλοπαίδεια, «Πλοίο M/SElation»,
https://en.wikipedia.org/wiki/Carnival_Elation

- [23] The Waterways Journal, «The Vandal was the first Diesel-Electric Vessel», <https://www.waterwaysjournal.net/2019/11/19/the-vandal-was-the-first-diesel-electric-vessel/>
- [24] Βικιπαίδεια - Η Ελεύθερη Εγκυκλοπαίδεια, «Μηχανή Εσωτερικής Καύσης», https://el.wikipedia.org/wiki/Μηχανή_εσωτερικής_καύσης
- [25] Τσότρας, Η., (2011), «Γενικές Αρχές Λειτουργίας ΜΕΚ», Wikidot.com - Εργαστήριο ΜΕΚ & Τεχνολογίας Αυτοκινήτου, <http://iceal.wikidot.com/vasikes-arches-leitoyrgias-katataxi>
- [26] Talent-Power.com, «Marine Main Switchboard», <http://www.talent-power.com/product/marine-main-switchboard/>
- [27] Taizhou LuqiaoQunceJidian Co.,Ltd., «The Emergency Switchboard», <http://www.tzqcjd.com/eproductsdate.asp?id=30>
- [28] Jiangsu Honest Cable Co., Ltd., «Honest Ship Cable Products», <https://www.honestcable.com/ship-cable-marine-ship-wiring-cables>
- [29] Glomeep.imo.org, «Διεθνής Λήψη Παροχής Ηλεκτρικής Ενέργειας από την Ξηρά», <https://glomeep.imo.org/technology/shore-power/>
- [30] ElectroTechnical-Officer.com, «Design and Types of Ship used Transformers», <https://electrotechnical-officer.com/design-and-types-of-ship-used-transformers/>
- [31] E-MC²-EnergyMatterstoClimateChange, «ΗΑιολικήΕνέργειακαιστηΝαυτιλία», <https://www.e-mc2.gr/el/node/1621>
- [32] ΕΕλευθεριάδου, Ε., (2012), «Σηκώνουν Πανιά τα Φορτηγά Πλοία», Τα Νέα Online, <https://www.tanea.gr/2012/09/07/world/sikwnoyn-pania-ta-fortiga-ploia/>
- [33] Ναυτικά Χρονικά, «Ανάπτυξη Καινοτόμων Φωτοβολταϊκών Συστημάτων για Πλοία», <https://www.naftikachronika.gr/2021/05/23/anaptyxi-kainotomon-fotovoltaikon-systimaton-gia-ploia/>
- [34] Wallenius Wilhelmsen, «Orcelle Wind - Introducing the World's first Wind powered Ro-Ro vessel», <https://www.walleniuswilhelmsen.com/news-and-insights/highlighted-topics/orcelle>
- [35] Ναυτικά Χρονικά, «Η Πυρηνική Ενέργεια στη διάθεση της Ναυτιλίας: Η νέα πρωτοβουλία των ΗΠΑ», <https://www.naftikachronika.gr/2021/11/24/i-pyriniki-energeia-sti-diathesi-tis-naftilias-i-nea-protovoulia-ton-ipa/>
- [36] Energymag.gr, (2022), «Διαθέσιμη η Τεχνολογία Μεταφοράς Υδρογόνου με Πλοία το 2025 λέει η Κορεάτικη Ναυπηγική Hyundai», <https://energymag.gr/news/energeia/ydrogono/diathesimi-i-technologia-metaforas-ydrogonou-me-ploia-to-2025-leei-i-koreatiki-nafpigiki-hyundai/>
- [37] LambdaGeeks.com, «Απόδοση Τουρμπίνας Ατμού: 15 Σημαντικά Στοιχεία που πρέπει να γνωρίζετε», <https://el.lamdageeks.com/steam-turbine-efficiency/>

- [38] Sitesgoogle.com, «Ηλεκτρικές μηχανές I- Γεννήτριες εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος», <https://sites.google.com/site/elektrikesmechanesi/eide-elektrikon-mechanon/gennetries-elektrikou-reumatos>
- [39] Sitesgoogle.com, «Ηλεκτρικές μηχανές I - Αρχή Λειτουργίας Ηλεκτρικών Μηχανών Εναλλασσόμενου Ρεύματος», <https://sites.google.com/site/elektrikesmechanesi/home/arche-leitourgias-elektrikon-mechanon>
- [40] Προυσαλίδης, Ι.Μ. κ.α. (2006), «Ηλεκτροπρόωση Πλοίων και Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο: Προβλήματα Ποιότητας Ισχύος», *TEE, Αθήνα*
http://library.tee.gr/digital/m2102/m2102_prousalidis.pdf
- [41] SOLAS, Consolidated edition 2009, IMO
- [42] «Ηλεκτρολογία - Τεχνολογικής Κατεύθυνσης: Κύκλος Τεχνολογίας και Παραγωγής -Βιβλίο Μαθητή», (<http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C123/487/3182,12849/>)
- [43] IEC 61363-1, First edition 1998-02, 'Electrical installations of ships and mobile and fixed offshore units – Part 1: Procedures for calculating short-circuit currents in the three-phase a.c.', IEC 1998