



Hydraulic Steering Unit

Slipping Unit (Power/Data Transmission)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ

ΚΑΛΑΜΠΟΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Ventilation Unit

Air Cooling

Installation View

ΘΕΜΑ:

**«ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ Η/Μ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ
ΠΛΟΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΩΝ»**

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ

ΡΟΥΜΠΕΛΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Bearing, Shaft Seals

Bearing

FP propeller

Shaft Line

Electric Motor

.....2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

• ΕΙΣΑΓΩΓΗ (ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΓΕΝΙΚΑ).....	ΣΕΛ. 4
• ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ.....	5
• ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ.....	7
• ΑΣΦΑΛΕΙΕΣ.....	8
• ΚΑΛΩΔΙΑ.....	10
• ΚΙΒΩΤΙΑ ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΕΩΣ.....	11
• ΠΙΝΑΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....	12
• ΑΝΤΙΕΚΡΗΚΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....	14
• ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΞΗΡΑΣ.....	15
• ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	16
• ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΕΣ ΤΑΞΕΙΣ.....	16
• ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	18
• ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ.....	21
• ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ (Α.Σ.) Η ΣΥΝΕΧΕΣ ΡΕΥΜΑ (Δ.Σ.)	21
• ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ.....	22
• ΠΑΡΟΧΗ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	23
• ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	25
• ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΕΣ ΜΕ ΕΞΩΤ. ΠΟΛΟΥΣ.....	25
• ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΕΣ ΜΕ ΕΣΩΤ. ΠΟΛΟΥΣ.....	26
• ΣΤΡΟΒΙΛΟΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΕΣ.....	29
• ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΕΣ.....	30
• ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΑ.....	33
• ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	39
• ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ.....	46
• ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ.....	48
• ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ.....	48
• ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ-ΚΑΔΜΙΟΥ.....	51
• ΚΛΕΙΣΤΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ-ΚΑΔΜΙΟΥ.....	52
• ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ.....	54
• ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ.....	55
• ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	59

• ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΡΩΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΖΗΤΗΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΤΟ ΠΛΗΡΩΣ ΕΞΗΛΕΚΤΡ. ΠΛΟΙΟ.....	64
• ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.....	67
• ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	74
• ΜΙΤΡΟΕΙΔΕΙΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ.....	84
• ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΕΛΙΚΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΠΡΩΣΗΣ.....	90
• Η ΠΡΩΣΗ ΤΩΝ Υ/Β ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Α.Ι.Ρ. ΔΙΕΘΝΩΣ.....	96
• ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗΡΑ , ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΠΡΩΣΕΩΣ	104
• ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΝΕΡΤΥΝΕ –II	109
• ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΕΝΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ.....	111
• ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ Π.Ν. U214 ΜΕ Α.Ι.Ρ.....	118
• ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ	124
• ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	128
• ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	130

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Γενικά.

Το ηλεκτρολογικό υλικό των εγκαταστάσεων των πλοίων, σε γενικές γραμμές δεν διαφέρει από αυτό των εγκαταστάσεων ξηρας, όσο αφορά στη λειτουργία και χρήση του. Έτσι, για τον έλεγχο και την προστασία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και συσκευών έχουν σχεδιαστεί διάφορες διατάξεις, οι κυριότερες κατηγορίες των οποίων είναι οι διακόπτες, οι ασφάλειες και οι αυτόματοι διακόπτες. Το ηλεκτρολογικό υλικό των πλοίων πρέπει γενικώς να είναι ισχυρής κατασκευής και μονώσεως.

Ιδιαίτερα για ότι αφορά τα καλώδια τάσεων, αλλά και για το υπόλοιπο ηλεκτρολογικό υλικό εγκαταστάσεων, υπάρχουν ειδικοί κανονισμοί και συστάσεις των Νηογνώμωνων, προς τους οποίους πρέπει τα υλικά αυτά να είναι σύμφωνα. Συνήθως το ηλεκτρολογικό υλικό των πλοίων είναι τύπων εγκεκριμένων από το Νηογνώμονα.

Διακόπτες.

Ο διακόπτης είναι μία διάταξη, της οποίας σκοπός είναι ή αποκατάσταση, διακοπή ή αλλαγή των συνδέσεων ενός ηλεκτρικού κυκλώματος υπό συνθήκες πλήρους φορτίου. Η διακοπή πρέπει να γίνεται στιγμιαία για να περιορίζονται οι ζημιές υλικού (του διακόπτη) από το δημιουργούμενο τόξο. Η ταχύτητα διακοπής εξασφαλίζεται κατά κανόνα με ελατήρια.

Ουσιώδης προϋπόθεση για οποιονδήποτε διακόπτη είναι η διατήρηση καλής επαφής, με χαμηλή αντίσταση, όταν είναι κλειστός.

Μη ικανοποιητική επαφή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σημαντικής αντίστασης, η οποία τελικά προκαλεί υπερθέρμανση της περιοχής γύρω από τα σημεία επαφής.

Στους περισσότερους διακόπτες, το ηλεκτρικό κύκλωμα διακόπτεται με απόσβεση του δημιουργημένου μεταξύ των επαφών ηλεκτρικού τόξου στον περιβάλλοντα αέρα, και γι' αυτό πρέπει το άμεσο περιβάλλον του διακόπτη να μην είναι εύφλεκτο. Για διακόπτες μεγάλης ισχύος, η διακοπή γίνεται όχι στο περιβάλλοντα αέρα αλλά εντός λαδιού.

Οι τελευταίοι αυτοί διακόπτες κατά κανόνα δεν χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις πλοίων.

Ό πλέον απλός διακόπτης, πού συναντάται στα πλοία, είναι ο μονοπολικός μαχαιρωτός διακόπτης. Αποτελείται από χάλκινη λάμα, η οποία μπορεί να περιστραφεί από το ένα της άκρο σε μικρό άξονα και να προσαρμοστεί σταθερά από το άλλο (στη κλειστή θέση του διακόπτη) μεταξύ δύο χάλκινων σφιγκτήρων. Στη χάλκινη λάμα προσαρμόζεται κατάλληλη μονωτική λαβή για το άνοιγμα και το κλείσιμο τού διακόπτη. Επίσης στον διακόπτη υπάρχουν κατάλληλοι ακροδέκτες για τη σύνδεση των ηλεκτροφόρων αγωγών.

Οι μαχαιρωτοί διακόπτες ταξινομούνται αναλόγως του ρεύματος (σε Αμπέρ), πού τους διαπερνά, υπό μία ορισμένη τάση (σε Βολτ). Το ρεύμα, πού μπορεί να διαπεράσει ένα μαχαιρωτό διακόπτη, είναι ανάλογο τη διατομής τής λάμας και της επιφάνειας επαφής των χάλκινων σφιγκτήρων και του άξονα. Η τάση λειτουργίας τού διακόπτη είναι ανάλογη τού μήκους της λάμας και της αποστάσεως μεταξύ των λαμών, σε περίπτωση που έχουμε περισσότερες από μία λάμα. Εάν η λάμα είναι πολύ κοντή, τότε το δημιουργούμενο κατά την

διακοπή του ρεύματος τόξο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την συνέχιση της ροής του ρεύματος ακόμα και όταν ο διακόπτης είναι ανοικτός.

Μαχαιρωτούς διακόπτες συναντούμε στα πλοία σε αρκετά μεγάλη ποικιλία τύπων. Έτσι έχουμε τους διπολικούς μαχαιρωτούς διακόπτες απλής ενέργειας με ειδικές βοηθητικές λάμες ταχύτατου ανοίγματος, που είναι προσαρμοσμένοι στην κύρια λάμα, και τους διπολικούς διακόπτες απλής ενέργειας χωρίς βοηθητικές λάμες ταχύτατου ανοίγματος.

Άλλος τύπος διακόπτη είναι ο διπολικός μαχαιρωτός διπλής ενέργειας, του οποίου η αρχή λειτουργίας είναι η ίδια όπως και αυτών της απλής ενέργειας, με μια μικρή διαφορά.

Άλλοι τύποι διακοπών που συναντούμε σε εγκαταστάσεις πλοίων είναι οι περιστροφικοί διακόπτες γρήγορου ανοίγματος, που έχουν την δυνατότητα να τροφοδοτήσουν ένα, δύο ή και περισσότερα κυκλώματα, ενώ αντίθετα οι μαχαιρωτοί διακόπτες τροφοδοτούν το πολύ δύο μόνο κυκλώματα (διπλής ενέργειας). Οι περισσότεροι από τους διακόπτες αυτούς είναι κατάλληλοι για λειτουργία σε εναλλασσόμενο ρεύμα 600 V (Βολτ) και σε συνεχές ρεύμα 250 V (Βολτ) και χρησιμοποιούνται για τη διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος στα διάφορα κυκλώματα του πλοίου.

Προστατευτικές διατάξεις.

Για τη προστασία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων από υπερβολικές τιμές του διαρρέοντος σε αυτά ρεύματος, (όπως πχ. συμβαίνει σε περίπτωση βραχυκυκλώματος ή υπερβολικού φορτίου), υπάρχουν διάφορες προστατευτικές διατάξεις, οι οποίες διακόπτουν την κυκλοφορία του ρεύματος, όταν αυτό υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή, υπό την οποία το κύκλωμα εργάζεται ασφαλώς.

Διατάξεις αυτού του είδους είναι οι ασφάλειες, οι αυτόματοι διακόπτες και οι μηχανισμοί διακοπής του κυκλώματος με τη βοήθεια ορισμένων ηλεκτρονόμων (ρελέ).

Ασφάλειες.

Ασφάλεια είναι η προστατευτική διάταξη, τής οποίας σκοπός είναι η διακοπή του ηλεκτρικού κυκλώματος, όταν το ρεύμα που το διαρρέει υπερβεί την προκαθορισμένη τιμή, στην οποία το κύκλωμα εργάζεται ασφαλώς.

Οι ασφάλειες κατασκευάζονται σήμερα απο μεγάλη ποικιλία ειδών και μεγεθών και για διάφορες τάσεις και εντάσεις λειτουργίας, η αρχή όμως της λειτουργίας τους είναι η ίδια. Κάθε ασφάλεια λοιπόν περιλαμβάνει ένα μαλακό μεταλλικό αγωγό ηλεκτρικού κυκλώματος, ο οποίος τήκεται και διακόπτει το κύκλωμα, όταν υπερθερμανθεί εξ' αιτίας της διαρροής του από υπερβολικό ρεύμα. Τύποι ασφαλειών :

1.Κοχλιωτές

2.Κυλινδρικές (Τα μεγέθη των κυλινδρικών ασφαλειών στα πλοία δεν υπερβαίνουν τα 200 A).

3.Αυτόματες. οι αυτόματοι διακόπτες των πλοίων είναι διπολικοί ή τριπολικοί διαφορετικών ονομαστικών τιμών ρεύματος και χειρίζονται χειροκίνητα αλλά και ηλεκτρικά από απόσταση. Οι αυτόματοι διακόπτες ανοίγουν αυτόματα σε περίπτωση υπερφορτίσεως ή βραχυκυκλώματος, με τη προσθήκη κατάλληλων ηλεκτρονόμων μπορούν να παρέχουν ένα κύκλωμα προστασίας: α) από πτώση τάσης και β) από αντιστροφή ρεύματος.

Οι κυρίες επαφές των αυτόματων διακοπών κατασκευάζονται από υλικά υψηλής αγωγιμότητας όπως είναι πχ. ειδικά κράματα αργύρου.

Μηχανισμοί διακοπής κυκλώματος με τη βοήθεια ηλεκτρονόμων

α) Στιγμιαίου ανοίγματος

Με τους ηλεκτρονόμους αυτούς το άνοιγμα του διακόπτη σε περίπτωση υπερεντάσεως είναι άμεσο, δηλαδή χωρίς καμία χρονική καθυστέρηση.

β) Ορισμένου χρόνου

Με τους ηλεκτρονόμους αυτούς ο αυτόματος διακόπτης ανοίγει μετά από ορισμένο χρόνο (μπορούμε να τον καθορίσουμε εμείς) από τη στιγμή της εμφάνισης του επικίνδυνου υπερέντασης.

γ)Αντιστρόφου χρόνου

Οι ηλεκτρονόμοι αυτοί ενεργοποιούν τον μηχανισμό ανοίγματος του αυτόματου διακόπτη με χρονική επιβράδυνση που *είναι* αντιστρόφως ανάλογη προς το μέγεθος της εμφανιζόμενης επικίνδυνης υπερέντασης. Εάν δηλαδή η τιμή τής εμφανιζόμενης υπερέντασης είναι μεγάλη, τότε ο αυτόματος διακόπτης θα ανοίξει με πολύ μικρή χρονική καθυστέρηση. Αντιθέτως, εάν η εμφανιζόμενη υπερένταση είναι μικρή, τότε η χρονική καθυστέρηση ανοίγματος τού διακόπτη είναι μεγάλη.

Καλώδια.

Έγγυση καλής λειτουργίας τού συστήματος ηλεκτρικής διανομής των πλοίων αποτελεί κατά κύριο λόγο το είδος των χρησιμοποιούμενων καλωδίων.

Τα χρησιμοποιούμενα καλώδια στα πλοία πρέπει να είναι τύπου εγκεκριμένου από τον Νηογνώμονα. Συγκεκριμένα πρέπει να είναι άφλεκτα και στεγανά. Έτσι αν καούν, καταστρέφονται μεν, αλλά δεν αναφλέγονται, ώστε να μεταδώσουν την πυρκαγιά. Το είδος των χρησιμοποιούμενων καλωδίων δεν είναι μόνο συνάρτηση τής ποσότητας ρεύματος, που πρόκειται να μεταφερθεί ή τής πτώσης τάσεως στην όλη εγκατάσταση αλλά και της αντοχής, την οποίαν πρέπει να έχουν τα καλώδια στις διάφορες δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας, αντοχή σε κάμψεις, στρέψεις, κραδασμούς, κρούσεις, θερμότητα, ψύχος, λάδια, πετρέλαια και υγρασία, δεδομένου ότι σχεδόν όλες οι καλωδιώσεις των πλοίων τελούν υπό δυσμενείς γενικώς συνθήκες και υγρασία. Τα περισσότερα από τα χρησιμοποιούμενα στα πλοία καλώδια φέρουν εξωτερικά προστατευτική θωράκιση από δικτυωτό μεταλλικό πλέγμα από χάλυβα, ορείχαλκο ή αλουμίνιο, παρουσιάζουν υψηλή ανθεκτικότητα σε θερμότητα και σε φλόγα, είναι σχεδόν αδιαπέραστα από την υγρασία.

Συνεπώς είναι προφανές ότι οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις των πλοίων απαιτούν την χρησιμοποίηση μεγάλης ποικιλίας καλωδίων, που να μπορούν να ανταποκριθούν κάθε φορά σε διάφορες ειδικές συνθήκες λειτουργία τους.

Τα πιο συνηθισμένα καλώδια που απαντώνται σε εγκαταστάσεις πλοίων, διαιρούνται σε δύο γενικές κατηγορίες βάσει του σκοπού χρησιμοποίησής τους:

- α) *Δύσκαμπτα καλώδια* που χρησιμοποιούνται βασικά σε κυκλώματα, όπου η ευκαμψία τού καλωδίου δεν είναι απαραίτητη για τη λειτουργία, την οποία αυτό εξυπηρετεί.
- β) *Εύκαμπτα καλώδια*, που χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα τα οποία απαιτούν την αντοχή του καλωδίου σε επανειλημμένες κάμψεις.

Τα δύσκαμπτα καλώδια είναι εξαιρετικώς ανθεκτικά στην θερμότητα και στη

φλόγα, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται στα περισσότερα από τα μόνιμα ηλεκτρικά κυκλώματα των πλοίων. Αυτά αποτελούνται από αγωγούς από ελαστικό χαλκό, που είναι συνήθως μονωμένοι με πυριτιούχο ελαστικό και υαλοβάμβακα. Οι παραπάνω μονωμένοι αγωγοί προστατεύονται από κατάλληλη μεταλλική πλεκτή θωράκιση και χρώμα. Τα κενά μεταξύ των *αγωγών* και του πυρήνα του καλωδίου συμπληρώνονται με ειδικό υδατοστεγές μονωτικό υλικό.

Τα δύσκαμπτα και εύκαμπτα καλώδια των πλοίων είναι μονοπολικά, διπολικά, τριπολικά, τετραπολικά και πολυπολικά, ανάλογα το με πλήθος των *αγωγών* που περιλαμβάνουν.

Κιβώτια διακλαδώσεως.

Τα καλώδια, που αναχωρούν από τους πίνακες ισχύος του πλοίου, τροφοδοτούν συνήθως περισσότερες από μία κατανάλωση. Συγκεκριμένα ένα καλώδιο, που αναχωρεί πχ. από το κεντρικό πίνακα μιας από τις γεννήτριες του πλοίου, σε συνέχεια διακλαδίζεται σε δύο, τρία, τέσσερα ή και περισσότερα καλώδια, μικρότερης διατομής, καθένα από τα οποία τροφοδοτεί ένα μηχάνημα ή μια κατανάλωση. Η διακλάδωση αυτή του κεντρικού καλωδίου σε περισσότερα καλώδια μικρότερης διατομής, γίνεται μέσα σε ειδικά στεγανά κιβώτια, τα οποία και ονομάζονται *κιβώτια διακλαδώσεως*. Κατά κανόνα κάθε γραμμή, που αναχωρεί από τα κιβώτια διακλαδώσεως, ασφαλίζεται με ειδική ασφάλεια, εκ των οποίων πολλές και με διακόπτη, επίσης ευρίσκονται μέσα στο ίδιο κιβώτιο διακλαδώσεως.

Πίνακες ελέγχου και διανομής.

Οι πίνακες ελέγχου και διανομής περιλαμβάνουν ειδικές κυψέλες για την προσαρμογή των διαφόρων οργάνων μετρήσεως, ενδεικτικών λαμπτήρων και μηχανισμών, μέχρι και προστατευτικών και ρυθμιστικών διατάξεων, που είναι απαραίτητα για τον έλεγχο της λειτουργίας των γεννητριών και την διανομή τής ηλεκτρικής ισχύος.

Για κάθε γεννήτρια ή ομάδα γεννητριών, υπάρχει πάντοτε και από *ένος* πίνακας ελέγχου και διανομής.

Οι σύγχρονοι πίνακες ελέγχου και διανομής των πλοίων έχουν τις διάφορες συσκευές και τα όργανά διατεταγμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να σχηματίζουν πλήρως συγκροτημένη ανεξάρτητη μονάδα με χωρισμένες κυψέλες.

Οι κυψέλες αυτές περιλαμβάνουν τη μονάδα γεννήτριας, μονάδα χοηφόρων *αγωγών* (μπαταριών), μονάδα διανομής της ηλεκτρικής ισχύος και μονάδα διανομής κυκλωμάτων φωτισμού. Το σύνολο αυτών *των* μονάδων είναι συγκροτημένο σε μια κοινή βάση που συνιστά ένα τμήμα. Ένας πίνακας ελέγχου και διανομής είναι δυνατόν να αποτελείται από ένα ή περισσότερα τμήματα, καθένα από τα οποία είναι μεν αυτοτελές, συνδέεται όμως και με τα άλλα, ώστε να σχηματίζει ένα ενιαίο συγκρότημα πινάκων

Ό παραπάνω διαχωρισμός του όλου πίνακα σε επιμέρους μικρότερα τμήματα, περιορίζει τούς κινδύνους ηλεκτροπληξίας ή και ζημιάς από πυρκαγιές και παρέχει τη δυνατότητα εύκολης αφαίρεσης των τμημάτων που υπέστησαν βλάβη, προς επισκευή ή αντικατάσταση.

Πίνακες ελέγχου και διανομής:

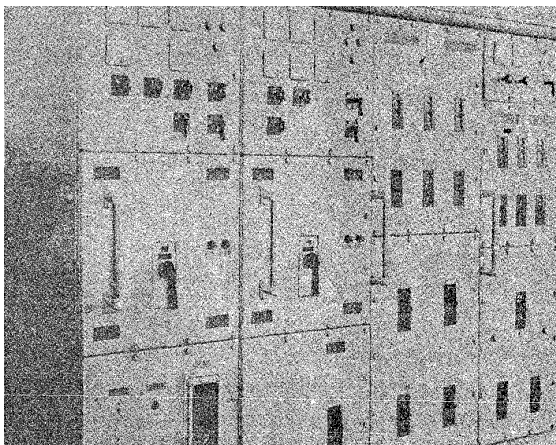
Πίνακες ανοικτής προσόψεως.

Στους πίνακες αυτούς τα διάφορα όργανα χειρισμού και προστασίας (πχ. διακόπτες, ασφάλειες κλπ.) είναι συναρμολογημένα επί τής προσόψεως

Ο πίνακας αυτού του τύπου σήμερα απαντά μόνο σε ορισμένους τύπους πλοίων παλαιάς κατασκευής ή πλοίων μικρού γενικώς εκτοπίσματος και με διανομή συνεχούς ρεύματος. Πάντως στα νέας κατασκευής πλοία, επικρατεί ή τάση καταργήσεως των πινάκων τούτων.

Πίνακες κλειστής προσόψεως.

Ἡ πρόσοψη των πινάκων αυτών είναι τελείως κλειστή, προεξέχουν δε από αυτήν μόνον κομβία ή χειρολαβές διαφόρων μοχλών χειρισμού, διακοπών κ.λ.π. Ἐτσι ή πρόσοψη των πινάκων αυτών είναι ακίνδυνη στην περίπτωση επαφής μας με αυτήν, δεδομένου διότι δεν περιλαμβάνει εξαρτήματα, από τα οποία να διέρχεται ρεύμα. Σήμερα ο τύπος των πινάκων αυτών είναι κατεξοχήν χρησιμοποιούμενος επί των πλοίων.



Σχ. Πίνακας ελέγχου και διανομή κλειστής προσόψεως.

Αντιεκρηκτικό υλικό.

Ο χειρισμός των διακοπών ενός πίνακα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία σπινθήρων (τόξου) μεταξύ των επαφών κατά την στιγμήν του ανοίγματος.

Σπινθήρες δημιουργούνται επίσης και κατά την λειτουργία των διαφόρων ηλεκτρικών μηχανημάτων (π.χ. σπινθηρισμός συλλεκτών κινητήρων και γεννητριών), ως και κατά το κάψιμο μιας ασφάλειας. Ή δημιουργία των σπινθήρων αυτών, εύκολα αντιλαμβανόμαστε ότι αποτελεί εξαιρετικό κίνδυνο για την πρόκληση εκρήξεων, όταν τα προαναφερθέντα μηχανήματα ή συσκευές ευρίσκονται στο περιβάλλον, όπου υπάρχουν ατμοί πετρελαίου, βενζίνης ή άλλων εύφλεκτων υλικών, ή όπου υπάρχει συγκέντρωση εκρηκτικών αερίων. (π.χ. υδρογόνου προερχομένου από φόρτιση συσσωρευτών κ.λ.π.).

Για αυτό, όταν είναι απαραίτητη η ύπαρξη και λειτουργία μηχανημάτων και συσκευών σε χώρους, όπου υπάρχει έστω και υποψία δημιουργίας εκρηκτικού περιβάλλοντος (όπως είναι οι χώροι φορτίσεως συσσωρευτών, πετρελαιοφόρα πλοία κ.λπ.), ή κατασκευή των έχει γίνει κατά τρόπον, που να αποκλείει την περίπτωση μεταδόσεως των δημιουργουμένων σπινθήρων στον περιβάλλοντα χώρο.

"Έτσι τα τμήματα των μηχανημάτων και συσκευών, που προκαλούν τους σπινθήρες, κατασκευάζονται τελείως κλειστά και στεγανά, ώστε να αποκλείεται η περίπτωση μεταδόσεως των σπινθήρων στον εξωτερικό χώρο. Τότε τα μηχανήματα και οι συσκευές ονομάζονται *αντιεκρηκτικές*

Έχουμε λοιπόν αντιεκρηκτικές γεννήτριες, κινητήρες, διακόπτες, πίνακες διανομής, πίνακας διακλαδώσεως, ασφαλειοκιβώτια κ.λ.π.

Διαφορές ηλεκτρολογικού υλικού πλοίων και ξηράς.

Ως προς τα είδη και τις αρχές λειτουργίας, το ηλεκτρολογικό υλικό των πλοίων δεν διαφέρει καθόλου από το υλικό των εγκαταστάσεων ξηράς. Μόνη διαφορά του ηλεκτρολογικού υλικού των πλοίων είναι ότι κατά την κατασκευή του, λαμβάνονται ορισμένα μέτρα, για τον λόγο ότι καλείται να λειτουργήσει υπό ακατάλληλες συνθήκες περιβάλλοντος, όπως είναι ή υγρασία, οι διάφοροι κραδασμοί από τους διατοιχισμούς (μπότζι) και προνευστασμούς (σκαμπανέβασμα) τού πλοίου, το εκρηκτικό και εύφλεκτο περιβάλλον, οι μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, οι μεγάλοι κίνδυνοι ηλεκτροπληξίας λόγω της σιδηράς κατασκευής τού πλοίου κ.λ.π.

Οι διαφορές αυτές ως προς την κατασκευή του ηλεκτρολογικού υλικού των πλοίων από το υλικό των εγκαταστάσεων ξηράς προκύπτουν ευκόλως από τις προηγούμενες παραγράφους.

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

Γενικά.

Οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις των πλοίων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα κύρια συστήματα:

α) *Σύστημα ισχύος.* Τούτο περιλαμβάνει τις γεννήτριες, τους πίνακες ελέγχου και διανομής, τους πίνακες ισχύος, τα καλώδια, τις συσκευές ελέγχου κινητήρων (οι οποίες είναι απαραίτητες για την ηλεκτροπαραγωγή, διανομή και έλεγχο της παροχής ισχύος στα ηλεκτροκίνητα βοηθητικά μηχανήματα), (την εσωτερική επικοινωνία, τον ασύρματο, τις συσκευές ραντάρ) και τις λοιπές ηλεκτρικές συσκευές.

β) *Σύστημα φωτισμού.* Τούτο περιλαμβάνει τα καλώδια, τα κιβώτια διανομής, τους λαμπτήρες για τον γενικό φωτισμό, το σύστημα φωτισμού ανάγκης, τα φώτα ναυσιπλοΐας και αγκυροβολίας, ως και τα φώτα και προβολείς σημάτων.

γ) *Σύστημα εσωτερικής επικοινωνίας.* Τούτο περιλαμβάνει όλες τις απαιτούμενες συσκευές και καλωδιώσεις συνδέσεις αυτών για την διαβίβαση κάλυψη διαταγών και πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων διαμερισμάτων του πλοίου.

Χρησιμοποιούμενες τάσεις.

Τα ανωτέρω συστήματα διανομής υποδιαιρούνται στις ακόλουθες κατηγορίες:

α) Παράλληλα συστήματα υπόσταθερή τάση. Συνεχούς Ρεύματος:

Διά δύο αγωγών.

Διά τριών αγωγών, από τους οποίους ο μεσαίος είναι γειωμένος.

Εναλλασσόμενου Ρεύματος:

Μονοφασικών:

Διά δύο αγωγών.

Τριφασικών:

Διά τριών αγωγών.

Διά τεσσάρων *αγωγών* μετά γειωμένου ουδετέρου.

β) *Συστήματα εν σειρά υπό σταθερά ένταση (μόνον διά συνεχές ρεύμα).*

Για τα παράλληλα συστήματα σταθερής τάσεως συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος, οι χρησιμοποιούμενες τάσεις δεν πρέπει ποτέ να υπερβαίνουν τα ακόλουθα όρια :

500 βολτ : Δι' ηλεκτροπαραγωγή, κίνηση, μαγειρεία, συσκευές θερμάνσεως και γενικώς συσκευές μονίμως συνδεδεμένες με τις μόνιμες καλωδιώσεις των δικτύων διανομής.

250 βολτ : Για φωτισμό, συσκευές Θερμάνσεως δωματίων και λοιπές εφαρμογές, που δεν αναφέρονται ανωτέρω. Βάσει των κανονισμών, που αναφερθήκαν, συνηθέστερες τάσεις των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων των πλοίων είναι οι έξης :

Έναλλασσομένου ρεύματος:

440 βολτ : τριφασικό, 60 περιόδων για ηλεκτροπαραγωγή και κίνηση.

380 βολτ: τριφασικό, 50 περιόδων για ηλεκτροπαραγωγή και κίνηση.

110βόλτ: μονοφασικών, 60 περιόδων για φωτισμό.

220 βολτ: μονοφασικών, 50 περιόδων για φωτισμό.

Συνεχούς ρεύματος:

500 βολτ: για ηλεκτρική πρόωση.

240 ή 220 βολτ: για φωτισμό και κίνηση.

120 ή 110 βολτ: για φωτισμό.

Παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ηλεκτρική ενέργεια έχει σήμερα συνδεθεί απολύτως με την ζωή και λειτουργία των συγχρόνων πλοίων, παράγεται δε από κατάλληλες ηλεκτρογεννήτριες εναλλασσόμενου ή συνεχούς ρεύματος. Με την ηλεκτρική ενέργεια στρέφεται το πηδάλιο και λαμβάνουν κίνηση τα βοηθητικά μηχανήματα του πλοίου. Αυτή παρέχει τον φωτισμό στο σκάφος και τροφοδοτεί τα συστήματα εσωτερικής επικοινωνίας, τον ασυρμάτων, το ραντάρ κ.λ.π. Τα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, που απαιτούνται στα πλοία, είναι τα έξης:

1) Συστήματα παραγωγής και διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος.

Αποτελούνται από της κυρίες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας ανάγκης, της προσωρινής τροφοδότησης ανάγκης, το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ισχύος, την διάταξη λήψεως ρεύματος εκ τής ξηράς, την διάταξη επιλογής πηγών ηλεκτρικής ενεργείας και το σύστημα φωτισμού.

α) Κυρίες πηγές.

Αυτές είναι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος τριφασικού, 380 βολτ, 50 περιόδων ή 440 βολτ, 60 περιόδων (για αμερικανικής κατασκευής πλοία). Οι γεννήτριες αυτές κινούνται δια στροβίλων ή μηχανών ντίζελ, και παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στους πίνακες ελέγχου και διανομής. Από τους πίνακες αυτούς τροφοδοτούνται οι διάφορες καταναλώσεις του πλοίου ως και το σύστημα φωτισμού, η τάση τού οποίου είναι 220 βολτ (εάν η τάση που παράγει η γεννήτρια είναι 380 βολτ) ή 110 βολτ (εάν η τάση της γεννήτριας είναι 440 βολτ), οπότε τα 110 βολτ προέρχονται από μετασχηματιστές τριφασικής, συνδεσμολογίας πρωτεύοντος και δευτερεύοντος κατά τρίγωνο, των οποίων το πρωτεύον τροφοδοτείται από τα 440 βολτ. Σε κάθε πλοίο είναι απαραίτητο να υπάρχουν δύο τουλάχιστον ανεξάρτητες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, καθεμία από τις οποίες πρέπει να δύναται να τροφοδοτεί ορισμένα ζωτικά φορτία, όπως είναι το μηχάνημα εξαερισμού του χώρου μηχανοστασίου

και λεβητοστασίου, η εσωτερική επικοινωνία του σκάφους, ο ασύρματος, το ραντάρ και ο φωτισμός.

β) Σύστημα διανομής.

Σκοπός τούτου είναι ή σύνδεση των γεννητριών, πού θα παράγουν την ισχύ, με τους διαφόρους ηλεκτρικούς καταναλωτές, οι όποιες είναι εγκατεστημένες επί τού πλοίου. Το σύστημα διανομής δηλαδή μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από την μία θέση στην άλλη και παρέχει την δέουσα προστασία και τον απαιτούμενο έλεγχο στη γεννήτρια και τις λοιπές συσκευές και μηχανήματα του πλοίου.

γ) Διάταξη επιλογής πηγών.

Η εγκατάσταση αυτής γίνεται επί των κυρίων πινάκων διανομής, σκοπός της δε, είναι η επιλογή της πηγής (δηλαδή της γεννήτριας), από την οποία θέλουμε να τροφοδοτηθούν οι διάφορες καταναλώσεις.

δ) Διάταξη λήψεως ρεύματος εκ της ξηράς.

Είναι εγκατεστημένη: σε κατάλληλο σημείο τού κυρίου καταστρώματος, συνδέεται δε στις μόνιμες καλωδιώσεως με τον κύριο πίνακα διανομής. Με την διάταξη αυτήν συνδέονται τα φορητά καλώδια λήψεως ρεύματος εκ της ξηράς, όταν το πλοίο είναι προσαραγμένο και δεν εργάζονται οι δικές του ηλεκτρογεννήτριες.

ε) Σύστημα φωτισμού. Τούτο υποδιαιρείται στο κύριο σύστημα φωτισμού και το σύστημα φωτισμού ανάγκης. Υπό κανονικές συνθήκες οι κύριες γεννήτριες παρέχουν ηλεκτρικό ρεύμα για τον φωτισμό όλου του πλοίου. Εάν όμως, για κάποιον λόγο καταστεί αδύνατη ή παροχή ρεύματος στο σύστημα φωτισμού από την κύρια γεννήτρια, τότε αρχίζει να λειτουργεί αυτομάτως η γεννήτρια ανάγκης, η οποία και τροφοδοτεί περιορισμένο αριθμό φώτων του πλοίου, τα όποια ανήκουν στο σύστημα φωτισμού ανάγκης (ως π.χ. κλιμακοστάσια, διαδρόμους, επίκαιρα σημεία, γέφυρα, κ.λ.π.).

στ) *Πηγές ανάγκης.*

Αυτές παρέχουν *αμέσως* και αυτόματα ηλεκτρική ενέργεια σε ορισμένα ζωτικά φορτία του πλοίου, στην περίπτωση που οι κυρίες γεννήτριες τεθούν εκτός λειτουργίας. Πηγές ανάγκης σε ένα πλοίο είναι μία ή και περισσότερες νηξελογεννήτριες. Το σύστημα διανομής ανάγκης είναι ανεξάρτητο από το κύριο σύστημα διανομής και κάθε νηξελογεννήτριά του τροφοδοτεί τον δικό της πίνακα ελέγχου, από τον οποίον φεύγουν ειδικές γραμμές, που καταλήγουν στις χειροκίνητες ή αυτόματες διατάξεις τροφοδοτήσεως των ζωτικών φορτίων, που υπάρχουν επί των πινάκων διανομής (π.χ. πηδάλιο, φωτισμός ανάγκης, φώτα πλεύσεως, ασυρμάτου, ραντάρ κ.λ.π.). Η τάση, που παράγεται υπό των νηξελογεννητριών ανάγκης, είναι ίδια με αυτήν που παράγεται υπό των κυρίων γεννητριών του πλοίου. Οι νηξελογεννήτριες ανάγκης, μετά των αντίστοιχων πινάκων τους δεν εγκαθίστανται ποτέ στο χώρο με τις κυρίες γεννήτριες και πίνακες διανομής του πλοίου.

ζ) *Προσωρινές τροφοδοτήσεις ανάγκης.* Σκοπός του συστήματος αυτού είναι η τροφοδοσία προσωρινών συνδέσεων διά την παράκαμψη καταστραφέντων καλωδίων ή πινάκων του κυρίου συστήματος διανομής του πλοίου. Το σύστημα περιλαμβάνει φορητά καλώδια, μονίμως εγκατεστημένους ειδικούς άκροδέκτες (για την δυνατότητα συνδέσεων και διελεύσεως των φορητών καλωδίων από φράκτες ή καταστρώματα) και φορητούς διακόπτες.

2) *Συστήματα διανομής συνεχούς ρεύματος.*

Αυτά συνίστανται από τις κύριες πηγές ηλεκτρικής ενεργείας, το σύστημα διανομής για δύο ή τρεις αγωγούς, το σύστημα φωτισμού και τις πηγές ανάγκης και προσωρινές τροφοδοτήσεις ανάγκης.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Η πλήρης ηλεκτρολογική εγκατάσταση σ' ένα πλοίο αποτελείται από τον εξοπλισμό παραγωγής ισχύος, ένα σύστημα διανομής και από πολλούς μηχανισμούς που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια. Ο ηλεκτρισμός χρησιμοποιείται για την κίνηση πολλών βοηθητικών μηχανημάτων καθώς επίσης και για τα μηχανήματα στο κατάστρωμα, το φωτισμό, τον αερισμό και για τον εξοπλισμό κλιματισμού του αέρα. Μια σταθερή παροχή ρεύματος είναι βασική για την ασφαλή λειτουργία του πλοίου και τη λειτουργία των μηχανημάτων, συνεπώς η ύπαρξη γεννητριών σ' ετοιμότητα (standby) ή επιπρόσθετης δυναμικότητας είναι αναγκαία μαζί με τον φωτισμό παροχής ενέργειας έκτακτης ανάγκης.

Ο εξοπλισμός έκτακτης ανάγκης δυνατόν να λάβει τη μορφή ενός εναλλακτήρα έκτακτης ανάγκης που τίθεται σε λειτουργία αυτομάτως ή δυνατόν να χρησιμοποιηθεί μια συστοιχία συσσωρευτών.

Η πλήρης σειρά του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού θα περιλαμβάνει τις γεννήτριες, το μηχανισμό διακοπών για τον έλεγχο και τη διανομή, τους κινητήρες και το συνδεδεμένο εξοπλισμό εκκίνησής τους καθώς και τις διατάξεις τροφοδοσίας έκτακτης ανάγκης.

Εναλλασσόμενο (a.c.) ή συνεχές ρεύμα (d.c.)

Σήμερα το εναλλασσόμενο ρεύμα έχει ολοκληρωτικά αντικαταστήσει το συνεχές ρεύμα ως κοινή τροφοδοσία για όλες τις εγκαταστάσεις των πλοίων. Η χρήση του εναλλασσόμενου ρεύματος έχει έναν αριθμό σπουδαίων πλεονεκτημάτων, για παράδειγμα μειωμένο αρχικό κόστος, μικρότερο βάρος, λιγότερο απαιτούμενο χώρο και μείωση των απαιτήσεων συντήρησης. Οποσδήποτε το συνεχές ρεύμα προσφέρει πλεονεκτήματα στη χρησιμοποίηση κινητήρων ελέγχου όπως για παράδειγμα το σύστημα Ward - Leonard το οποίο εξασφαλίζει μια ευρεία σειρά ταχυτήτων.

Ταξινόμηση μηχανής.

Οι κινητήρες και οι γεννήτριες του d.c. και του a.c. ταξινομούνται ως μηχανές Συνεχούς Μέγιστου Βαθμού (CMR).

Αυτό σημαίνει ότι αυτές μπορούν να δεχθούν μια σημαντική στιγμιαία υπερφόρτωση και ίσως ακόμη μια μέτρια υπερφόρτωση για μεγαλύτερη διάρκεια.

Η θερμοκρασία επηρεάζει την απόδοση όλου του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού καθώς επίσης και τη διάρκεια ωφέλιμης ζωής της εγκατάστασης και συνεπώς του ίδιου του εξοπλισμού.

Η ολική θερμοκρασία μιας μηχανής που λειτουργεί είναι αποτέλεσμα της θερμοκρασίας του αέρα του περιβάλλοντος και της θερμικής επίδρασης του ρεύματος στα τυλίγματα.

Η αύξηση της θερμοκρασίας μετρείται πάνω από αυτή την ολική θερμοκρασία. Συνεπώς είναι βασική η ύπαρξη επαρκούς αερισμού του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.

Οι Μηογνώμονες έχουν θεσπίσει απαιτήσεις για τις διάφορες κατηγορίες μόνωσης. Οι συνήθεις κλάσεις για εγκαταστάσεις πλοίων είναι E, B και F όπου ειδικότερα υλικά μόνωσης προδιαγράφονται και η αύξηση της θερμοκρασίας φθάνει την επιτρεπόμενη τάξη (μόνωσης).

Παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος.

Οι τριφασικοί εναλλακτήρες που διατάσσονται για παράλληλη λειτουργία απαιτούν μια σημαντική εγκατάσταση οργάνων.

Αυτή θα περιλαμβάνει αμπερόμετρα, βατόμετρα, βολτόμετρα, όργανα μέτρησης της συχνότητας και ένα μηχανισμό παραλληλισμού.

Τα περισσότερα από τα όργανα αυτά χρησιμοποιούν μετασχηματιστές για τη μείωση των πραγματικών τιμών που λαμβάνονται στο όργανο. Επίσης καθίσταται δυνατό το κλείσιμο π.χ. μεταξύ των φάσεων ή στην είσοδο μιας μηχανής και στις ηλεκτροφόρες ράβδους έτσι ώστε ένα όργανο να μπορεί να δείξει μια από έναν αριθμό τιμών. Το βατόμετρο μετράει την ισχύ που ήδη καταναλώνεται: σε ένα κύκλωμα, η οποία, λόγω του συντελεστή ισχύος του εναλλασσόμενου ρεύματος, θα είναι μικρότερη από εκείνη του γινομένου τάσης επί έντασης. Στους εναλλακτήρες διατίθεται προστασία για αντίστροφη ισχύ αφού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί προστασία αντίστροφου ρεύματος.

Εναλλακτικά διάφοροι αναστολείς δυνατόν να διατίθενται για την περίπτωση βλάβης της αρχικής κινητήριας μηχανής για να εξασφαλίζεται ότι ο εναλλακτήρας δεν θα μπορεί να λειτουργεί ως κινητήρας.

Η παράλληλη λειτουργία δύο εναλλακτῆρων απαιτεί, όπως οι τάσεις τους είναι ίσες και επίσης "εν φάσει". Η παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος κάθε μηχανής πάντοτε μεταβάλλεται έτσι για δύο μηχανές και προκειμένου αυτές να λειτουργήσουν μαζί οι τάσεις τους πρέπει να μεταβάλλονται με τον ίδιο ρυθμό ή συχνότητα και να φθάνουν μαζί στο μέγιστό τους (ή σε οποιαδήποτε άλλη τιμή). Τότε λέγεται ότι οι μηχανές βρίσκονται "εν φάσει". Το συγχρονοσκόπιο έχει δύο τυλίγματα τα οποία συνδέονται το ένα στην μια και το άλλο στην άλλη πλευρά του διακόπτη παραλληλισμού. Ένας δείκτης είναι ελεύθερος να περιστρέφεται και κινείται υπό τη μαγνητική επίδραση των δύο τυλιγμάτων. Όταν οι τάσεις των δυο παροχών είναι σε φάση, ο δείκτης είναι ακίνητος στη θέση 12 του ρολογιού. Αν ο δείκτης περιστρέφεται, τότε υπάρχει μια διαφορά συχνότητας και η ένδειξη σημειώνεται για περιστροφή όπως εκείνη των δεικτών του ρολογιού ΓΡΗΓΟΡΑ και αντίθετη της κίνησης των δεικτών του ρολογιού, περιστρέφεται ΑΡΓΑ, η αναφορά είναι στη συχνότητα της

εισερχόμενης μηχανής.

Συνεπώς για το παραλληλισμό μιας εισερχόμενης μηχανής με μια που ήδη λειτουργεί είναι αναγκαίο να εξασφαλίζεται πρώτα ότι και οι δύο τάσεις είναι ίσες. Για το σκοπό αυτό διατίθενται βολτόμετρα. Δεύτερον οι συχνότητες, πρέπει να φέρονται σε φάση. Στην πράξη το συγχρονοσκόπιο συνήθως κινείται αργά στη διεύθυνση ΓΡΗΓΟΡΑ και ο διακόπτης παραλληλισμού κλείνεται καθώς ο δείκτης προσεγγίζει τη θέση 11 του ρολογιού. Αυτό σημαίνει ότι η εισερχόμενη μηχανή αμέσως δέχεται μια μικρή ποσότητα του φορτίου.

Μια σειρά τριών λυχνιών δυνατόν επίσης να διατίθεται για να καταστεί δυνατός ο συγχρονισμός.

Αν οι συχνότητες των μηχανών διαφέρουν οι λυχνίες θα ανάβουν και θα σβήνουν κατά την περιστροφή, αυτό εξαρτάται από το αν η εισερχόμενη συχνότητα είναι στο ΓΡΗΓΟΡΑ ή ΑΡΓΑ.

Η σωστή στιγμή για το συγχρονισμό είναι όταν η λυχνία διακόπτης και οι άλλες δύο είναι εξίσου φωτεινές. Αυτά όλα τα συνάτησαμε και τα χειριστήκαμε και στο εργαστήριο Ηλ. Μηχανών του Τμήματος Ηλεκτρολογίας.

ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι δύο ειδών

- A) οι σύγχρονες γεννήτριες ή εναλλακτήρες
- και B) οι ασύγχρονες γεννήτριες

Οι σύγχρονες γεννήτριες παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής ενώ η διέγερσή τους τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα. Οι ασύγχρονες γεννήτριες παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα του οποίου η συχνότητα είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας περιστροφής και η διέγερσή τους τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται πάντοτε σύγχρονες γεννήτριες ενώ οι ασύγχρονες χρησιμοποιούνται σπάνια. Στην συνέχεια θα εξετασθούν μόνο οι σύγχρονες γεννήτριες ή εναλλακτήρες.

Τύποι και κατασκευή εναλλακτών

Από κατασκευαστική άποψη οι εναλλακτήρες διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες

- A) εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους
- B) εναλλακτήρες με εσωτερικούς ή περιστρεφόμενους πόλους (στροβιλοεναλλακτήρες)
- Γ) εναλλακτήρες με προεξέχοντες πόλους
- Δ) εναλλακτήρες με μη προεξέχοντες πόλους

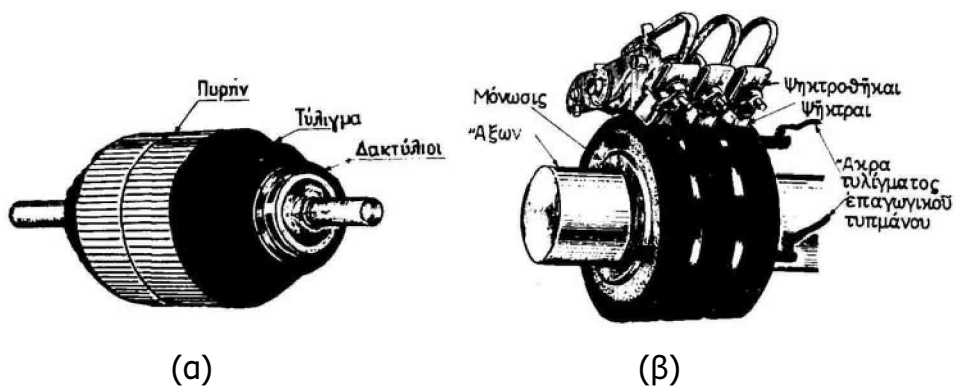
Εναλλακτήρες με εξωτερικούς πόλους

Σ' αυτούς η διέγερση της μηχανής γίνεται από μαγνητικούς πόλους στερεωμένου στο εσωτερικό του ζυγώματος του στάτη, όπως και στις μηχανές συνεχούς ρεύματος. Τα τυλίγματα των πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές

ρεύμα από α) πηγή συνεχούς ρεύματος β)τροφοδοτικό απο γεννήτρια συνεχούς ρεύματος(διεργέτρια) και γ) ανορθωτική διάταξη.

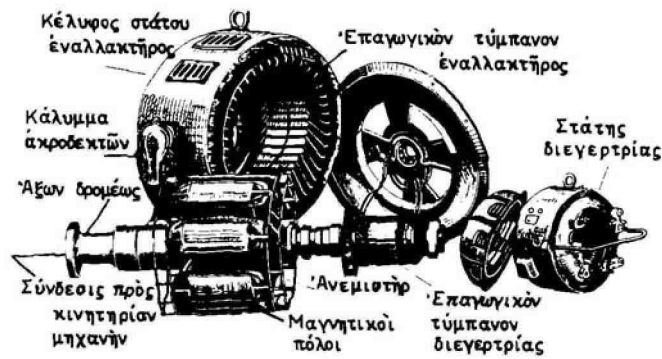
Ο δρομέας φέρει το επαγωγικό τύμπανο όπως και η μηχανή συνεχούς ρεύματος και το τύλιγμα του τοποθετείται στα αυλάκια του πυρήνα. Αντί συλλέκτη υπάρχουν δακτύλιοι κατασκευασμένοι από ορείχαλκο στερεωμένοι στον άξονα του δρομέα σε αριθμό ίσο με των αριθμό των φάσεων του εναλλακτήρα που συνδέονται με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμ πάνου. Στους δακτυλίους εφάπτονται ψήκτρες σταθερά συνδεδεμένες στο ακίνητο τμήμα της μηχανής που οδηγούν το παραγόμενο ρεύμα έξω από την μηχανή.

Βασικά μειονεκτήματα της κατασκευής είναι ότι ολόκληρο το ρεύμα φορτίου πρέπει να περνά από τις ψήκτρες και η ισχυρή καταπόνηση των τυλιγμάτων λόγω περιστροφής τους σε πολύστροφους εναλλακτήρες. Για τους παραπάνω δύο λόγους αυτός ο τύπος εναλλακτήρα κατασκευάζεται μόνο για μικρές ισχείς και χαμηλή τάση.



Σχήμα Δρομέας (α) και δακτύλιοι (β) εναλλακτήρα **με εξωτερικούς πόλους**
Εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους

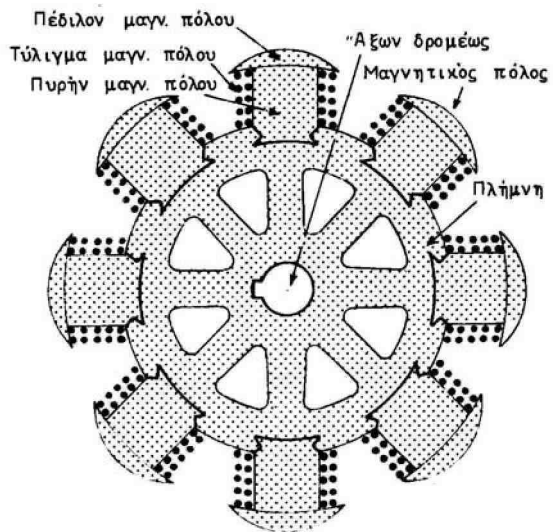
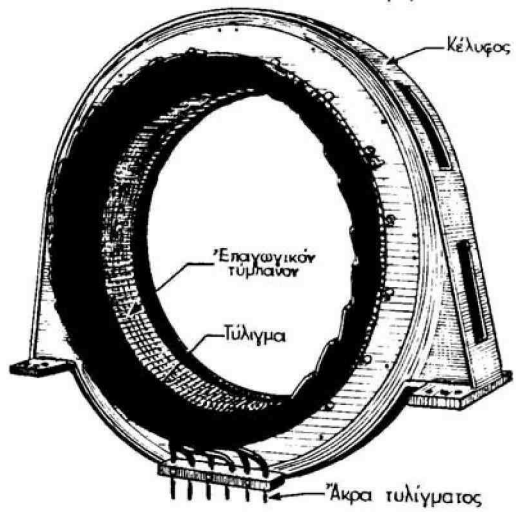
Στους εναλλακτήρες αυτούς το επαγωγικό τύμπανο είναι τοποθετημένο στο ακίνητο μέρος της μηχανής, τον στάτη. Οι μαγνητικοί πόλοι τοποθετούνται ακτινικά στον άξονα του περιστρεφόμενου δρομέα και για τον λόγο αυτό ονομάζονται και εναλλακτήρες **με** περιστρεφόμενους πόλους. Στο Σχήμα 2.2 φαίνεται ένας αποσυναρμολογημένος εναλλακτήρας **με** εσωτερικούς πόλους Η διεγέρτρια μηχανή κινείται από τον άξονα του εναλλακτήρα.



Σχήμα22 Αποσυναρμολογημένος εναλλακτήρας με περιστρεφόμενους πόλους.

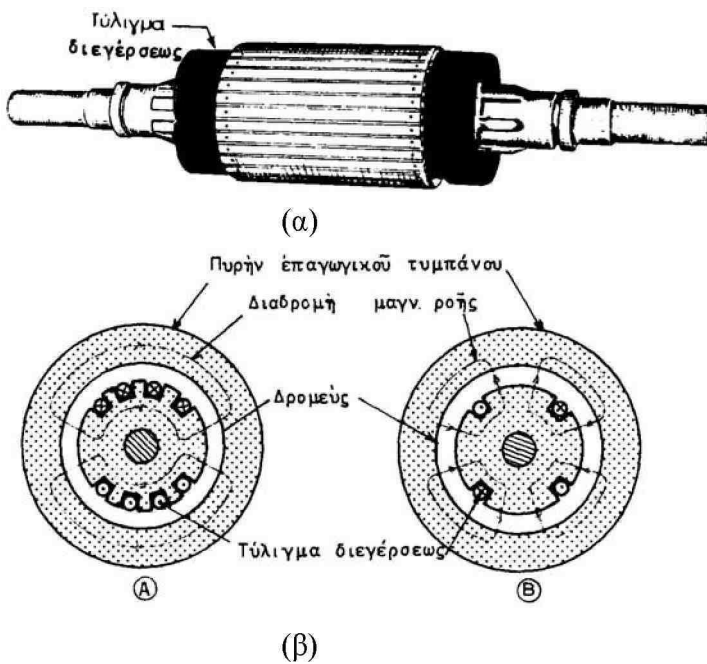
Ο στάτης αποτελείται από εξωτερικό κέλυφος κατασκευασμένο από χαλύβδινα ελάσματα μέσα στο οποίο τοποθετείται το επαγωγικό τύμπανο που αποτελείται από τον πυρήνα και το τύλιγμα. Ο πυρήνας κατασκευάζεται από πολλούς δίσκους ελασμάτων με κατάλληλο σχήμα ώστε να σχηματίζουν τα αυλάκια (όταν τοποθετούνται παράλληλα) μέσα στα οποία τοποθετείται το τύλιγμα, τα άκρα του οποίου καταλήγουν απευθείας στους ακροδέκτες χωρίς την παρεμβολή ψηκτρών και δακτυλίων.

Ο δρομέας των εναλλακτών με εσωτερικούς πόλους φέρει τους μαγνητικούς πόλους στερεωμένους ακτινικά. Στους τριφασικούς εναλλακτές των σταθμών παραγωγής οι πυρήνες και τα πέλδρα των πόλων κατασκευάζονται από συμπαγή μαλακό χάλυβα. Το διάκενο, με πάχος μερικά mm, επιτρέπει την ελεύθερη περιστροφή του δρομέα μέσα στον στάτη. Τα τυλίγματα των πόλων τοποθετούνται στους πυρήνες πριν μπουν τα πέλδρα και συνδέονται μεταξύ τους έτσι ώστε να δημιουργούνται διαδοχικά μαγνητικοί πόλοι με αντίθετη πολικότητα. Τα τυλίγματα των πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από την διεγέρτρια μηχανή (γεννήτρια συνεχούς ρεύματος) μέσω ψηκτρών και δύο δακτυλίων στερεωμένων στον άξονα του δρομέα. Το ρεύμα αυτό και η τάση του είναι πολύ μικρά σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη του επαγωγικού τυμπάνου και επομένως η κατασκευή δεν καταπονείται ιδιαίτερα. Η όλη διάταξη είναι κατάλληλη για μηχανές με μικρή σχετικά ταχύτητα περιστροφής και χρησιμοποιούνται σε συστήματα παραγωγής με κινητήρια μηχανή είτε υδροστρόβιλο είτε μεγάλη μηχανή εσωτερικής καύσης.



Στροβιλοεναλλακτήρες

Ανήκουν στην κατηγορία των μηχανών με εσωτερικούς πόλους αλλά κατασκευάζονται να λειτουργούν με κινητήριες μηχανές μεγάλης ταχύτητας περιστροφής όπως οι ατμοστρόβιλοι. Έτσι βασικό χαρακτηριστικό είναι η μικρή διάμετρος αλλά και το μεγάλο μήκος άξονα. Ο στάτης έχει την ίδια κατασκευή αλλά ο δρομέας δεν έχει προεξέχοντες πόλους και αποτελείται από συμπαγές κυλινδρικό τύμπανο με αυλάκια, μέσα στα οποία μπαίνει και στερεώνεται το τύλιγμα διέγερσης με δύο συνήθως πόλους. Αυτό καταλήγει σε δύο δακτυλίους στερεωμένους στον δρομέα που εφάπτονται σε δύο ψήκτρες στερεωμένες στον στάτη. Ο δρομέας και το μαγνητικό πεδίο φαίνονται στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5 Δρομέας (α) και τύλιγμα διεγέρτου(β) στροβιλοεναλλακτήρα.

Συχνότητα και ταχύτητα περιστροφής

Η συχνότητα f της παραγόμενης ηλεκτρεγερτικής δύναμης αποδεικνύεται ότι είναι

$$f = p n_s (\text{Hz})$$

όπου p ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων

n_s ο αριθμός στροφών του εναλλακτήρα ανά sec

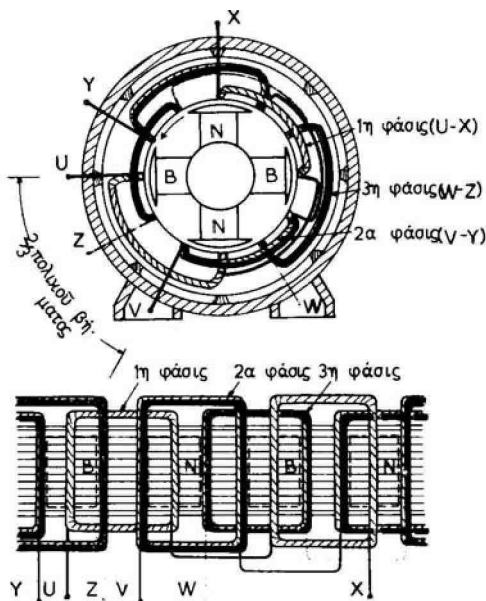
Ο παραπάνω τύπος δίνει και την σύγχρονη ταχύτητα ενός κινητήρα όταν αποδίδεται μια ορισμένη συχνότητα. Έτσι

$$n_s = f/p \text{ (στρ/sec)} \quad \text{ή} \quad n_s = 60f/p \text{ (στρ/min)}$$

Στην Ελλάδα και την Ευρώπη είναι $f = 50 \text{ Hz}$ οπότε ανάλογα με τον αριθμό ζευγών πόλων μπορεί να προκύψει και η απαραίτητη ταχύτητα περιστροφής της κινητήριας μηχανής $p\chi$ για $p = 1$ η ταχύτητα είναι 3000 στρ/min.

Τριφασικοί εναλλακτήρες

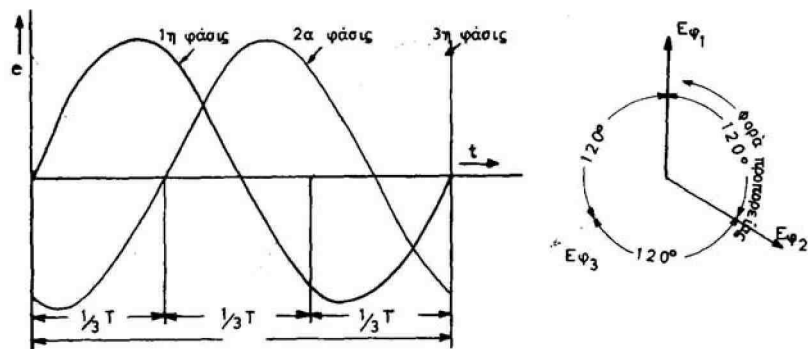
Οι τριφασικοί εναλλακτήρες φέρουν στο επαγωγικό τύμπανο τρία όμοια και ανεξάρτητα μεταξύ τους μονοφασικά τυλίγματα, τις τρεις φάσεις του εναλλακτήρα. Στο Σχήμα 2.6 φαίνεται ένας απλός τριφασικός εναλλακτήρας και το ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμπάνου.



Σχήμα 26 Τριφασικός εναλλακτήρας με ανάπτυγμα τυλίγματος τυμπάνου

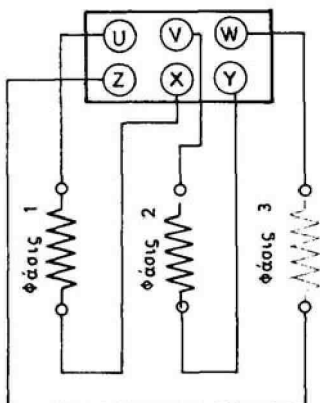
Στα τριφασικά τυλίγματα υπάρχουν 6 άκρα, τρεις αρχές U, V, W και τρία πέρατα X, Y, Z. Έτσι το τυλίγμα U-X αποτελεί την πρώτη φάση, το τυλίγμα V-Y την δεύτερη και το W-Z την τρίτη. Οι εναλλασσόμενες ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στις τρεις φάσεις έχουν το ίδιο μέγεθος (ενεργές τιμές), την ίδια συχνότητα και λέγονται φασικές ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις. Οι φασικές ΗΕΔ έχουν μεταξύ τους φασική μετατόπιση 120 μοιρών. Στο Σχήμα 2.7 φαίνονται οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις τριφασικού εναλλακτήρα τόσο συναρτήσει του χρόνου όσο και με διανυσματική μορφή.

Τα έξι ελεύθερα άκρα της μηχανής συνδέονται στους έξι ακροδέκτες της μηχανής όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.8. Τότε οι τρεις φάσεις είναι εντελώς ανεξάρτητες μεταξύ τους και το σύστημα που προκύπτει λέγεται ανεξάρτητο τριφασικό σύστημα. Πρακτικά όμως τα τυλίγματα των τριών φάσεων συνδέονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα το συνδεδεμένο



τριφασικό σύστημα.

Σχήμα 2.7 Ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις εναλλακτήρα



Σχήμα 2.8 Ανεξάρτητο τριφασικό σύστημα

Υπάρχουν δύο τρόποι σύνδεσης μεταξύ των φάσεων, η σύνδεση σε αστέρα και η σύνδεση σε τρίγωνο. Στην σύνδεση σε αστέρα συνδέονται οι ακροδέκτες Z, X, Y που

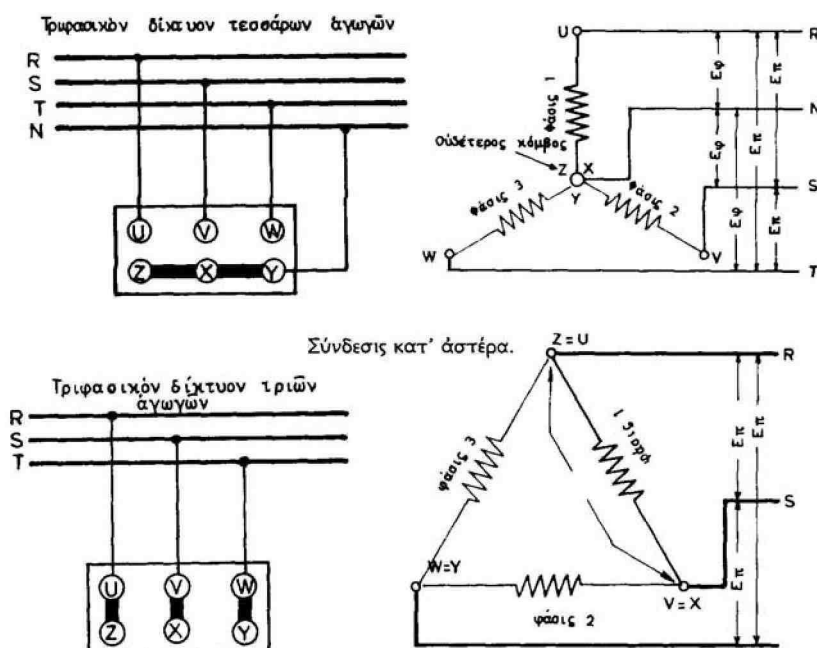
αποτελούν έτσι τον ουδέτερο κόμβο της μηχανής και οι άλλοι τρεις ακροδέκτες U, V, W συνδέονται στο τριφασικό δίκτυο. Όταν το τριφασικό δίκτυο είναι τεσσάρων αγωγών, ο τέταρτος αγωγός συνδέεται στον ουδέτερο κόμβο της μηχανής. Μεταξύ του ακροδέκτη μιας φάσεως και του ουδετέρου υπάρχει η φασική ΗΕΔ του εναλλακτήρα E_{ϕ} και μεταξύ δύο φάσεων υπάρχει η πολική ΗΕΔ E_{π} . Η μεταξύ των δύο σχέση είναι

$$E_{\pi} = \sqrt{3}E_{\phi} = 1.73E_{\phi}$$

Η σύνδεση σε τρίγωνο πραγματοποιείται με σύνδεση των ακροδεκτών των φάσεων έτσι ώστε η Z να συνδέεται με την U, η W με την Y και η V με την X. Στην περίπτωση αυτή η φασική ΗΕΔ είναι ίση με την πολική ΗΕΔ, δηλαδή

$$E_{\pi} = E_{\phi}$$

Στο Σχήμα 2.9 φαίνονται οι συνδέσεις σε αστέρα και τρίγωνο.



Σχήμα 2.9 Συνδέσεις σε αστέρα και τρίγωνο.

Η ενεργός τιμή της φασικής ΗΕΔ δίνεται από την σχέση

$$E_{\phi} = Kf\omega_0\Phi \text{ σε } V$$

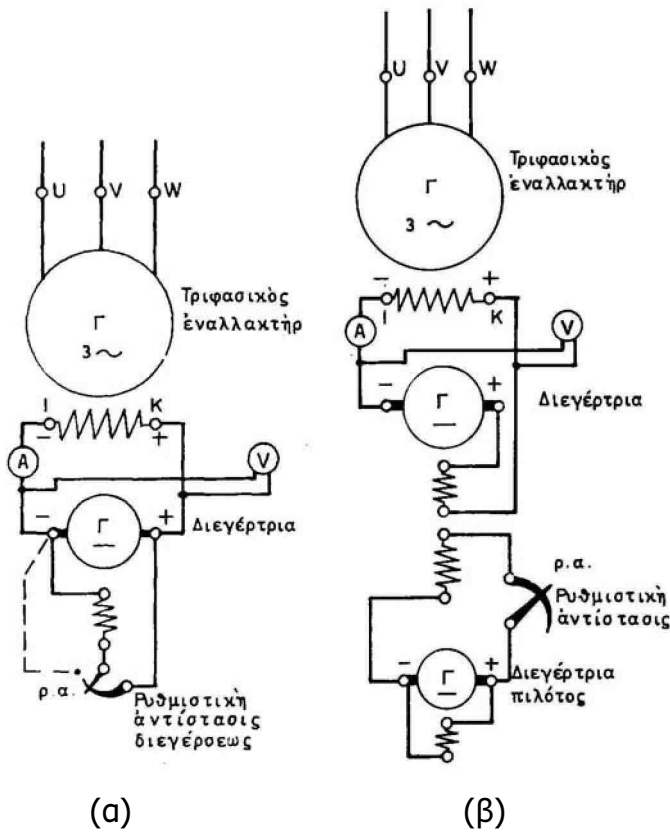
Όπου K σταθερά εξαρτώμενη από το τύλιγμα με τιμές μεταξύ 1.9 και 3.4 f η συχνότητα της παραγόμενης τάσης Φ η μαγνητική ροή ανά πόλο σε Wb w_0 αριθμός των σε σειρά αγωγών του τυλίγματος της φάσης (αριθμός αυλακίων επί τον αριθμό των αγωγών ανά αυλάκι)

Ρύθμιση τάσης εναλλακτήρα

Η μεταβολή της ΗΕΔ εναλλακτήρα μπορεί να γίνει είτε με μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής ή της μαγνητικής ροής Φ σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο της ΗΕΔ, των άλλων παραμέτρων να αποκλείονται λόγω του ότι εξαρτώνται από κατασκευαστικά στοιχεία. Η μεταβολή της ταχύτητας πάλι δεν είναι επιτρεπτή αφού έτσι θα αλλάξει η συχνότητα της παραγόμενης τάσης. Επομένως η μόνη πρακτική δυνατότητα μεταβολής είναι εκείνη της μαγνητικής ροής Φ που εξαρτάται από το ρεύμα διέγερσης.

Στους μεγάλους εναλλακτήρες, λόγω του ότι το ρεύμα διέγερσης έχει σημαντικές τιμές η ρύθμιση της διέγερσης γίνεται όχι με ροοστάτη διεγέρσεως στο τύλιγμα της διεγέρτριας μηχανής αλλά με τροφοδοσία του τυλίγματος της διεγέρτριας από άλλη γεννήτρια συνεχούς ρεύματος (λέγεται διεγέρτρια πιλότος).

Στο Σχήμα φαίνονται δύο περιπτώσεις ρύθμισης τάσης με μεταβολή της διέγερσης

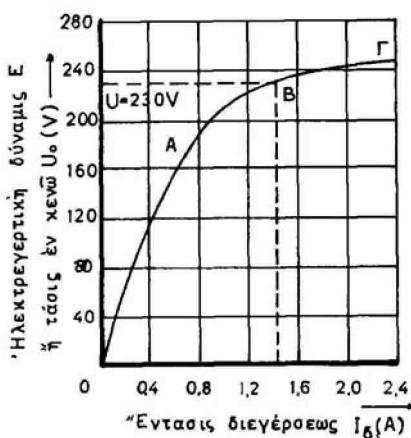


Σχήμα Ρύθμιση τάσης με μεταβολή διέγερσης

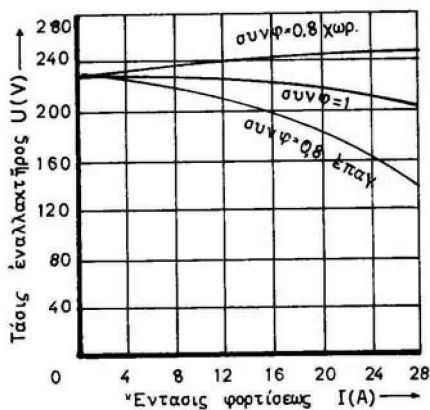
Η καμπύλη μεταβολής της ΗΕΔ εναλλακτήρα (που είναι η τάση χωρίς φορτίο) όταν μεταβάλλεται η ένταση διέγερσης για σταθερή ταχύτητα περιστροφής λέγεται χαρακτηριστική εν κενω ή στατική χαρακτηριστική του εναλλακτήρα και φαίνεται στο Σχήμα 2.11. Στην χαρακτηριστική διακρίνονται δύο τμήματα : η γραμμική περιοχή όπου η E είναι ανάλογη του ρεύματος διέγερσης και η περιοχή κορεσμού όπου σημαντική αύξηση του ρεύματος διέγερσης έχει σαν αποτέλεσμα μικρή μόνο αύξηση της τάσης. Οι εναλλακτήρες κατασκευάζονται ώστε να λειτουργούν στην αρχή της περιοχής κορεσμού στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας.

Λειτουργία υπό φορτίο

Όταν ο εναλλακτήρας λειτουργεί στο κενό με τις ονομαστικές στροφές, η τάση στα άκρα του είναι ίση με την ΗΕΔ και εξαρτάται μόνο από την τιμή της έντασης διέγερσης. Συνδέοντας φορτίο (σύνθετες αντιστάσεις) και κρατώντας σταθερή την διέγερση η τάση του εναλλακτήρα μεταβάλλεται και εξαρτάται εκτός των άλλων και από το είδος του φορτίου (ωμικό, επαγωγικό ή χωρητικό) που εκφράζεται με τον συντελεστή ισχύος του. Έτσι προκύπτουν χαρακτηριστικές υπό φορτίο με την μορφή του Σχήματος



Σχήμα 2.11 Χαρακτηριστική στο κενό



Σχήμα Χαρακτηριστικές φόρτισης

Οι σχέσεις τάσεων και ρευμάτων για τις συνδεσμολογίες σε αστέρα είναι

$$U_{\phi} = U/1.73 \text{ και } I_{\phi} = I$$

και σε τρίγωνο

$$U_{\phi} = U \text{ και } I_{\phi} = I/1.73$$

Ένα άλλο σημαντικό μέγεθος του εναλλακτήρα είναι η διακύμανση τάσεως από το κενό (u_0) μέχρι το ονομαστικό φορτίο (U_N) που ορίζεται σαν

$$\varepsilon\% = 100 (u_0 - U_N) / U_N$$

Η ρύθμιση τάσης του εναλλακτήρα όταν μεταβάλλεται το φορτίο του γίνεται πάντα μέσω της έντασης διέγερσης και πραγματοποιείται με αυτόματο ρυθμιστή που προσαρμόζει πάντα την διέγερση ώστε να υπάρχει στην έξοδο η σταθερή ονομαστική τάση. Έτσι, ανάλογα με το είδος του φορτίου ο εναλλακτήρας υπερδιεγείρεται σε επαγωγικά φορτία και υποδιεγείρεται σε χωρητικά φορτία.

Χαρακτηριστικά στοιχεία εναλλακτών

Με την βοήθεια οργάνων που έχει κάθε εγκατάσταση εναλλακτήρα μπορεί να μετρηθεί κατά την λειτουργία του η πολική τάση U , η ένταση γραμμής I και η πραγματική ισχύς P που αποδίδεται στο δίκτυο. Από τα μεγέθη αυτά μπορεί να υπολογισθεί η φαινόμενη ισχύς S και η άεργος ισχύς Q που παρέχει ο εναλλακτήρας όπως και ο συντελεστής ισχύος $\cos\phi$ με τις γνωστές από την ηλεκτροτεχνία σχέσεις που ακολουθούν στον Πίνακα 2.1

Σχέσεις υπολογισμού της ισχύος.

	Μονοφασικός έναλλακτήρ	Τριφασικός έναλλακτήρ	Διά μονοφασικών και τριφασικών έναλλακτών
Φαινόμενη ισχύς (VA)	$N_s = U \cdot I$	$N_s = 1,73 \cdot U \cdot I$	$N_s = \sqrt{N^2 + N_b^2}$ $N_s = \frac{N}{\cos\phi}$
Πραγματική ισχύς (W)	$N = U \cdot I \cdot \cos\phi$	$N = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$	$N = \sqrt{N_s^2 - N_b^2}$ $N = N_s \cdot \cos\phi$
Άεργος ισχύς (var)	$N_b = U \cdot I \cdot \eta\mu\phi$	$N_b = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \eta\mu\phi$	$N_b = \sqrt{N_s^2 - N^2}$ $N_b = N_s \cdot \eta\mu\phi$
Συντελεστής ισχύος	$\cos\phi = \frac{N}{U \cdot I}$	$\cos\phi = \frac{N}{1,73 \cdot U \cdot I}$	$\cos\phi = \frac{N}{N_s}$

Πίνακας 2.1 Σχέσεις υπολογισμού της ισχύος (P αντί N , S αντί N_s , Q αντί N_b)

Οι εναλλακτήρες κατασκευάζονται για μια ορισμένη ονομαστική τάση λειτουργίας που δίνεται πάντα από τον κατασκευαστή σαν πολική τάση π.χ. 380V ή 15kV. Το μέγεθος ενός εναλλακτήρα χαρακτηρίζεται από την ονομαστική του ισχύ που είναι η φαινόμενη ισχύς που ο εναλλακτήρας μπορεί να δίνει συνεχώς στην ονομαστική του τάση χωρίς κίνδυνο καταστροφής των μονώσεων του από υπερθέρμανση.

Στην πινακίδα του εναλλακτήρα εκτός της ονομαστικής ισχύος, τάσης, έντασης, του ονόματος του κατασκευαστή και του αριθμού της κατασκευής γράφονται και τα εξής στοιχεία :

- α) ο αριθμός των φάσεων,
- β) η συχνότητα του ρεύματος
- γ) ο ονομαστικός συντελεστής ισχύος **με** βάση τον οποίο έχει υπολογισθεί η ισχύς της κινητήριας μηχανής
- δ) η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής
- ε) η μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση και τάση διέγερσης

Επίσης στην πινακίδα μπορεί να γράφεται και το είδος της επιτρεπόμενης λειτουργίας (συνεχής, διακοπτόμενη) και στην περίπτωση που δεν γράφεται αυτό η λειτουργία θεωρείται συνεχής(continuous).

Απώλειες και βαθμός απόδοσης εναλλακτήρα

Οι απώλειες των εναλλακτών που λειτουργούν **με** σταθερή συχνότητα διακρίνονται στις σταθερές απώλειες **P₁** που είναι οι μηχανικές απώλειες, οι μαγνητικές απώλειες και οι ηλεκτρικές απώλειες διέγερσης ($U_{\delta}I_{\delta}$) που δεν εξαρτώνται από το φορτίο και στις μεταβλητές απώλειες **P₂** που είναι οι ηλεκτρικές απώλειες του τυλίγματος τυμπάνου. Αν R είναι η ωμική αντίσταση ανά φάση του τυλίγματος τυμπάνου και I η ένταση γραμμής τριφασικού εναλλακτήρα, τότε οι μεταβλητές απώλειες είναι

Για σύνδεση αστέρα $P_2 = 3RI^2$

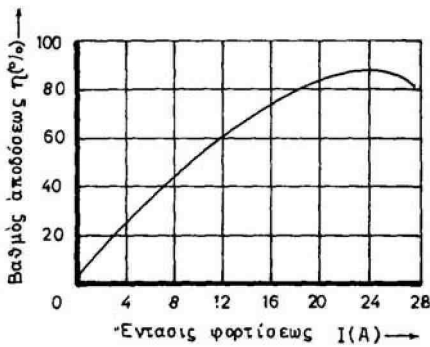
Για σύνδεση τριγώνου $P_2 = RI^2$

Οι συνολικές απώλειες του εναλλακτήρα είναι $\Sigma P = P_1 + P_2$ και ο βαθμός απόδοσης είναι

$\eta = \frac{P - \Sigma P}{P}$ με **P** την αποδιδόμενη πραγματική ισχύ στο δίκτυο.

$$\eta = \frac{P - \Sigma P}{P}$$

Είναι προφανές ότι ο βαθμός απόδοσης είναι μικρότερος της μονάδας. Ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται από το φορτίο του εναλλακτήρα. Η καμπύλη του Σχήματος 2.13 δείχνει πως μεταβάλλεται ο βαθμός απόδοσης ενός εναλλακτήρα όταν μεταβάλλεται το ρεύμα φορτίου του με σταθερό συντελεστή ισχύος. Ο βαθμός απόδοσης μεγιστοποιείται όταν αποδίδει την ονομαστική ένταση με τον ονομαστικό συντελεστή ισχύος και μπορεί να φθάσει μέχρι και 95% στους μεγάλους εναλλακτήρες



Σχήμα2.13 Μεταβολή βαθμού απόδοσης εναλλακτήρα.

Κινητήρες συνεχούς ρεύματος.

Όταν ένα ρεύμα παρέχεται σε ένα απλό πηνίο σύρματος εντός ενός μαγνητικού πεδίου, μια δύναμη αναπτύσσεται η οποία περιστρέφει το πηνίο. Αυτή είναι μια παρόμοια κατάσταση, προς τη δημιουργία ρεύματος με την κίνηση ενός πηνίου σε ένα μαγνητικό πεδίο. Πραγματικά οι γεννήτριες και οι κινητήρες είναι σχεδόν εναλλάξιμοι, αυτό εξαρτάται από το αν διατίθενται εκτός του μαγνητικού πεδίου, άλλα δύο στοιχεία δηλαδή ρεύμα και κίνηση.

Επιπρόσθετα πηνία σύρματος και περισσότερα μαγνητικά πεδία δημιουργούν έναν περισσότερο αποτελεσματικό κινητήρα.

Βοηθητικοί πόλοι τοποθετούνται για τη μείωση των σπινθηρισμών αλλά τώρα έχουν αντίθετη πολικότητα προς τον επόμενο κύριο πόλο στη διεύθυνση της περιστροφής.

Όταν το περιστρεφόμενο επαγωγίμο ενεργεί ως γεννήτρια παράγει ρεύμα σε αντίστροφη διεύθυνση με εκείνο της τροφοδοσίας. Αυτή η ANTI-HEΔ ελέγχει την ισχύ που χρησιμοποιείται από τον κινητήρα αλλά δεν παρουσιάζεται όταν γίνεται εκκίνηση του κινητήρα. Ως αποτέλεσμα και για την αποφυγή υψηλής έντασης ρεύματος εκκίνησης χρησιμοποιούνται ειδικά κυκλώματα ελέγχου ή εκκινητές.

Η συμπεριφορά του κινητήρα d.c. υπό φορτίο επηρεάζεται, από την πτώση τάσης εγκάρσια του οπλισμού, το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο μεταξύ των πόλων και το φορτίο ή τη στρέψη σ' αυτόν. Μερικοί από τους συντελεστές αυτούς είναι ανεξάρτητοι. Για παράδειγμα, η πτώση τάσης εγκάρσια του επαγωγίμου εξαρτάται από την αντί-HEΔ η οποία εξαρτάται από την ταχύτητα του κινητήρα και την ένταση του μαγνητικού πεδίου. Παράλληλα, εν σειρά και σύνθετα τυλίγματα χρησιμοποιούνται για την επίτευξη διαφόρων χαρακτηριστικών του κινητήρα με διαφοροποίηση των ανώτερων συντελεστών.

Ο κινητήρας με παράλληλο τύλιγμα έχει τυλίγματα πεδίου συνδεδεμένα παράλληλα με τα τυλίγματα του επαγωγίμου.

Έτσι όταν ο κινητήρας λειτουργεί με σταθερό φορτίο σε σταθερή ταχύτητα και όλους τους άλλους παράγοντες σταθερούς, μια αύξηση στο φορτίο θα προκαλεί μια πτώση στην ταχύτητα και συνεπώς μείωση στην αντί-HEΔ.

Στη συνέχεια μιας μεγαλύτερης έντασης ρεύμα θα ρέει στα τυλίγματα του επαγωγίμου και θα αυξάνει την κατανάλωση ισχύος του κινητήρα, το δε μαγνητικό πεδίο θα μένει ανεπηρέαστο επειδή αυτό είναι συνδεδεμένο παράλληλα.

Στην πράξη η μείωση της ταχύτητας είναι πολύ μικρή, γεγονός που κάνει τον

κινητήρα με επαγωγίμο πηνίο μια ιδανική επιλογή για χρήσεις σταθερής -ταχύτητας μεταβλητού-φορτίου.

Ο κινητήρας με πηνίο "εν σειρά" διαθέτει τυλίγματα πεδίου συνδεδεμένα εν σειρά με τα τυλίγματα του επαγωγίμου.

Με τη διάταξη αυτή μια αύξηση στο φορτίο προκαλεί μια μείωση στην ταχύτητα και μια πτώση της αντι-ΗΕΔ.

Οποσδήποτε το αυξημένο φορτίο ρεύματος θα αυξάνει τώρα το μαγνητικό πεδίο και συνεπώς την αντι-ΗΕΔ. Τελικά ο κινητήρας θα σταθεροποιείται σε κάποια μειωμένη τιμή της ταχύτητας. Η ταχύτητα του κινητήρα με πηνίο εν σειρά, συνεπώς, μεταβάλλεται σημαντικό με το φορτίο,

Κατά τη λειτουργία του ο κινητήρας με παράλληλο πηνίο κινείται με σταθερή ταχύτητα ανεξαρτήτως φορτίου. Ο κινητήρας με πηνίο εν σειρά κινείται με ταχύτητα που καθορίζεται από το φορτίο, μεγαλύτερο φορτίο, χαμηλότερη κίνηση, η σύνθετη σύνδεση - η χρήση τυλιγμάτων πεδίου εν σειρά και παράλληλα εξασφαλίζει ένα συνδυασμό αυτών των χαρακτηριστικών.

Η στρέψη εκκίνησης είναι επίσης σπουδαία. Για ένα κινητήρα με τύλιγμα εν σειρά η στρέψη εκκίνησης είναι υψηλή και μειώνεται καθώς αυξάνει το φορτίο. Αυτό καθιστά τον κινητήρα με τύλιγμα εν σειρά χρήσιμο για εφαρμογές σε βίντσια και γεραμούς. Σημειώνεται ότι ένας τέτοιος κινητήρας αν εκκινήσει χωρίς φορτίο έχει μια απεριόριστη ταχύτητα. Κάποια μικρή σύνθετη σύνδεση είναι συνήθως για την αποφυγή αυτού του επικίνδυνου συμβάντος. Ο κινητήρας με τύλιγμα εν παραλλήλω χρησιμοποιείται όπου απαιτείται σταθερή ταχύτητα ανεξαρτήτως φορτίου, π.χ. σε ανεμιστήρες ή αντλίες, Η εκκίνηση ενός κινητήρα d.c. απαιτεί μια διάταξη κυκλώματος για τον περιορισμό του ρεύματος του επαγωγού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση ενός εκκινήτη.

Ένας αριθμός αντιστάσεων διατίθεται στο επαγωγίμο και που προοδευτικά απομακρύνονται καθώς αυξάνει η ταχύτητα του κινητήρα και αναπτύσσεται αντι-ΗΕΔ. Ένας βραχίονας ως μέρος του κυκλώματος του επαγωγίμου κινεί τις επαφές πάνω από τις αντιστάσεις έτσι ώστε ένας αριθμός αντιστάσεων πρώτα να τίθεται στο κύκλωμα του επαγωγίμου και στη συνέχεια να αφαιρούνται προοδευτικά. Ο βραχίονας πρέπει να κινείται βραδέως για να επιτρέπει την αύξηση της ταχύτητας του κινητήρα και τη δημιουργία αντι-ΗΕΔ. Στην τελική επαφή λειτουργία ουδεμία αντίσταση εκκίνησης υπάρχει στο κύκλωμα του επαγωγικού τυμπάνου. Ένα πηνίο "συγκράτησης" ή "χωρίς τάση" συγκρατεί το βραχίονα του εκκινήτη στη θέση του ενώ υπάρχει ρεύμα στο κύκλωμα του επαγωγίμου. Αν

λάβει χώρα μια απώλεια της παροχής, ο βραχίονας θα απελευθερωθεί και θα επιστρέψει στη θέση "εκτός-off" με ένα ελατήριο.

Τότε ο κινητήρας πρέπει να εκκινήσει και πάλι με τον κανονικό τρόπο. Επίσης διατίθεται ένας αναστολέας υπερφόρτισης που παρεμποδίζει την περίσσεια του ρεύματος από το να απελευθερώνει το βραχίονα εκκίνησης. Το πηνίο υπερφόρτισης, έχει ένα πυρήνα μαλακού σιδήρου, ο οποίος, όταν μαγνητίζεται αρκετά από υπερβολικό ρεύμα, έλκει τη ράβδο/αναστολέα.

Αυτός ο τύπος εκκινητή είναι γνωστός ως ένα έλασμα όψης, άλλοι τύποι χρησιμοποιούν επαφές χωρίς λαβή εκκίνησης αλλά εισάγουν αντίσταση στο κύκλωμα του επαγωγίμου με τον ίδιο ως επί το πλείστον τρόπο.

Επαγωγικοί Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος

Παρέχοντας εναλλασσόμενο ρεύμα σε ένα πηνίο το οποίο είναι ελεύθερο να περιστρέφεται εντός ενός μαγνητικού πεδίου, δεν θα παράγεται ένα αποτέλεσμα κινητήρα αφού το ρεύμα μεταβάλλει σταθερά διεύθυνση. Συνεπώς γίνεται χρήση σε ένα επαγωγικό ή τύπου κλωβού κινητήρα ενός περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου που παράγεται από τρία χωριστών φάσεων τυλίγματα στον επαγωγέα. Το επαγωγίμο έχει μια σειρά χάλκινων αγωγών κατά μήκος του άξονά του οι οποίοι συνδέονται με δακτυλίους στα άκρα σχηματίζοντας ένα κλωβό. Όταν εκκινεί ο κινητήρας το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο επάγει μια ΗΕΔ στον κλωβό και έτσι ρέει ένα ρεύμα. Ο αγωγός φορέας-ρεύματος σε ένα μαγνητικό πεδίο προκαλεί κίνηση η οποία κινεί τον κινητήρα. Η ταχύτητα του κινητήρα αναπτύσσεται μέχρι μια τιμή μόλις μικρότερη από την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου.

Η ταχύτητα του κινητήρα εξαρτάται από την ΗΕΔ που επάγεται στο επαγωγίμο και που αυτή εξαρτάται από τη διαφορά στην ταχύτητα μεταξύ των αγωγών και του μαγνητικού πεδίου. Αν αυξάνεται το φορτίο το επαγωγίμο επιβραδύνεται ελαφρώς προκαλώντας μια αύξηση στην επαγόμενη ΗΕΔ και έτσι μια μεγαλύτερη ροπή για την αντιμετώπιση του αυξημένου φορτίου.

Ο κινητήρας είναι σχεδόν σταθερής ταχύτητας για όλες τις τιμές του φορτίου. Αυτός θα εκκινεί έναντι περίπου διπλάσιας στρέψης φορτίου αλλά παίρνοντας ρεύμα εκκίνησης περίπου έξι φορές περισσότερο του κανονικού ρεύματος πλήρους φορτίου.

Το ρεύμα εκκίνησης δύναται να μειωθεί με μια διάταξη διπλού κλωβού στον κινητήρα. Δύο διαχωρισμένοι κλωβοί τοποθετούνται ο ένας κάτω του άλλου στο επαγωγίμο. Κατά την εκκίνηση, ο εξωτερικός υψηλής-αντίστασης κλωβός φέρει σχεδόν

όλο το ρεύμα του επαγωγίμου. Καθώς ο κινητήρας επιταχύνεται το χαμηλής-αντίστασης εσωτερικό τύλιγμα λαμβάνει όλο και περισσότερο από το ρεύμα μέχρις ότου αυτό φέρει το μεγαλύτερο μέρος.

Ένας αριθμός διαφορετικών σταθερών ταχυτήτων είναι δυνατός, με αλλαγή των πόλων. Η ταχύτητα ενός επαγωγικού κινητήρα είναι ανάλογη της συχνότητας διαιρούμενης δια του αριθμού των ζευγών των πόλων. Συνεπώς αν διατίθεται ένας διακόπτης ο οποίος μπορεί να αλλάζει τον αριθμό των ζευγών των πόλων, τότε διάφορες σταθερές ταχύτητες είναι δυνατές. Ο αριθμός των πόλων επηρεάζει τα χαρακτηριστικά εκκίνησης, όπως το λόγο της στρέψης εκκίνησης προς τη στρέψη πλήρους φορτίου.

Μόνο ο τύπος επαγωγικού κινητήρα a.c. περιγράφηκε επειδή αυτός είναι που σχεδόν αποκλειστικά χρησιμοποιείται στα πλοία.

Οι σύγχρονοι κινητήρες είναι ένας άλλος τύπος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε σε συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης πλην όμως όχι για κίνηση βοηθητικών μηχανημάτων.

Ένας αριθμός διαφορετικών διατάξεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκκίνηση ενός επαγωγικού κινητήρα. Αυτές περιλαμβάνουν απευθείας από τη γραμμή, αστέρα τρίγωνο, αυτό-μετασχηματιστή και αντίσταση επαγωγέα. Απευθείας από τη γραμμή εκκίνησης είναι συνήθης όπου το σύστημα διανομής μπορεί να δεχθεί το ρεύμα εκκίνησης. Όπου περιλαμβάνονται αργο-κίνητα υψηλής αδράνειας φορτία ο χρόνος εκκίνησης πρέπει να εξετάζεται, επειδή θα υπάρξει η επίδραση θερμότητας του ρεύματος εκκίνησης.

Ο εκκινητής αστέρας-τρίγωνο συνδέει τα τυλίγματα του επαγωγέα πρώτο σε αστέρα και όταν η ταχύτητα αυξάνει σε τρίγωνο. Η σύνδεση αστέρα καταλήγει στη μισή της τάσης γραμμής που εφαρμόζεται σε κάθε φάση και συνεπώς σε μια μείωση στο ρεύμα εκκίνησης. Η ροπή εκκίνησης μειώνεται επίσης περίπου στο ένα τρίτο της τιμής της γραμμής. Μια γρήγορη αντιστροφή στη σύνδεση τριγώνου απαιτείται στο περίπου 75% της ταχύτητας πλήρους φορτίου όταν ο κινητήρας θα τραβά περίπου 3,5 φορές το ρεύμα πλήρους φορτίου του. Ο εκκινητής με αυτομετασχηματιστή χρησιμοποιείται μόνο για μεγάλους κινητήρες. Αυτός χρησιμοποιεί ανοίγματα σπειρών στον ένα μετασχηματιστή για την παροχή π.χ. 40%, 60% και 75% της κανονικής τάσης. Ο κινητήρας εκκινεί στο ένα από τα ανοίγματα και στη συνέχεια γρήγορα στρέφεται σε πλήρη τάση στο 75% περίπου της πλήρους ταχύτητας. Τα ανοίγματα που επιλέγονται θα εξαρτώνται από την απαιτούμενη στρέψη εκκίνησης, με άνοιγμα 60% παρέχεται περίπου 70% της στρέψης πλήρους φορτίου.

Ένα επί τοις % μικρότερο άνοιγμα θα δίνει μια μικρότερη στρέψη εκκίνησης και

αντιστρόφως. Ο εκκινήτης αντίστασης επαγωγέα έχει μια αντίσταση στο κύκλωμα του επαγωγέα όταν εκκινεί ο κινητήρας. Ένας χρονο-ρυθμιζόμενος μηχανισμός λειτουργεί για τη βραχυκύκλωση αυτής της αντίστασης, όταν ο κινητήρας έχει φθάσει σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα.

Σύγχρονες ηλεκτρονικές τεχνικές καθιστούν δυνατόν, όπως επαγωγικοί κινητήρες a.c, χρησιμοποιούνται σε συστήματα ελέγχου-ταχύτητας. Η ηλεκτρική παροχή του πλοίου, η οποία ίσως δεν έχει τόσο σταθερή τάση ή συχνότητα όπως εκείνη της ξηράς, ανορθώνεται πρώτα παρέχοντας ένα συνεχές ρεύμα.

Στη συνέχεια αυτό χρησιμοποιείται ως παροχή ισχύος ενός ταλαντωτή, χρησιμοποιώντας υψηλής-ισχύος ηλεκτρονικούς μηχανισμούς. Αυτοί δυνατόν να είναι Thyristors (για ισχύ μέχρι 1,5 Mw ή μεγαλύτερη) ή αγωγοί (transistors) για ισχύ μέχρι μερικά δέκατα του Kw. Η απόδοση του υψηλής-ισχύος ταλαντωτή ελέγχεται στη συχνότητα και την τάση από ένα σύστημα ανατροφοδότησης.

Η ταχύτητα του κινητήρα μεταβάλλεται, με την αλλαγή της συχνότητας στον ταλαντωτή. Το αναγκαίο, για την επίτευξη της επιθυμητής στρέψης, ρεύμα του κινητήρα (σε μικρές γωνίες ολίσθησης) συνήθως επιτυγχάνεται διατηρώντας την τάση σχεδόν ανάλογη της συχνότητας.

Ορισμένοι προστατευτικοί μηχανισμοί τοποθετούνται στο κύκλωμα του κινητήρα για προστασία έναντι βλαβών τέτοιων όπως λειτουργία με μια φάση λιγότερη, υπερφόρτιση ή υπέρταση. Απλή φάση λαμβάνει χώρα όταν μια φάση σε ένα τριφασικό κύκλωμα καθίσταται ανοικτό κύκλωμα. Αποτέλεσμα είναι υπερβολικά ρεύματα σε όλα τα τυλίγματα, στην περίπτωση επαγωγέα συνδεδεμένου σε τρίγωνο και που λειτουργεί σε πλήρες φορτίο, ένα τύλιγμα λαμβάνει τρεις φορές περισσότερο ρεύμα από το κανονικό του φορτίο.

Μια μηχανή η οποία λειτουργεί όταν συμβεί βλάβη στη μια φάση της θα συνεχίσει να λειτουργεί αλλά με μια όχι ισορροπημένη κατανομή ρεύματος. Ένας μηχανισμός προστασίας από υπερφόρτιση δυνατόν να μην αναστέλλει τη λειτουργία (της μηχανής) αν ο κινητήρας λειτουργεί σε μικρότερο από το πλήρες φορτίο του. Μια μέθοδος προστασίας από τη λειτουργία με λιγότερες φάσεις χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό ευαίσθητο στη θερμοκρασία ο οποίος απομονώνει τη μηχανή από την παροχή σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία τυλίγματος. Μηχανισμοί προστασίας από υπερφόρτιση τοποθετούνται και δυνατόν να είναι χωριστοί ή να συνδυάζονται με το μηχανισμό προστασίας έναντι λειτουργίας με λιγότερες φάσεις. Αυτοί πρέπει να έχουν μια χρονο-καθυστέρηση

τοποθετημένη έτσι ώστε να μη λαμβάνει χώρα λειτουργία κατά τη διάρκεια της περιόδου εκκίνησης με υψηλή τιμή ρεύματος. Ένας μηχανισμός προστασίας για "χαμηλή τάση" ή "χωρίς τάση" εξασφαλίζει ότι ο κινητήρας εκκινεί κατάλληλα μετά από μια βλάβη στην τροφοδοσία.

Συντήρηση.

Η καθαριότητα είναι βασική προϋπόθεση για την καλή λειτουργία όλων των τύπων του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.

Οι ηλεκτρικές συνδέσεις πρέπει να είναι ακέραιες και να διερευνάται κάθε σημείο σπινθήρα. Τα μέρη που υπόκεινται σε φθορά πρέπει να εξετάζονται και όταν είναι αναγκαίο να αντικαθίστανται. Ο κίνδυνος από τον εξοπλισμό a.c. από την άποψη της ηλεκτροπληξίας είναι πολύ μεγαλύτερος από εκείνον για παρόμοιες τάσεις d.c. Επίσης ο εξοπλισμός a.c. συχνά λειτουργεί σε πάρα πολύ υψηλές τάσεις. Συνεπώς προσοχή πρέπει να δίνεται για να εξασφαλίζεται η απομόνωση του εξοπλισμού πριν αναληφθεί οποιαδήποτε επιθεώρηση ή συντήρηση.

Η συσσώρευση ακαθαρσιών πάνω στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό θα οδηγήσει στη βλάβη της μόνωσης και σε διαρροή ρευμάτων, δυνατόν ακόμη και σε βλάβη της γείωσης.

Υγρασία ή επικαθήσεις λαδιού, ομοίως θα επηρεάσουν την αντίσταση της μόνωσης. Τακτική μέτρηση της αντίστασης της μόνωσης και συγκέντρωση των στοιχείων θα δείχνει την προσοχή που απαιτεί ο εξοπλισμός. Διελεύσεις αερισμού ή αεραγωγοί δυνατόν να βουλώσουν με αποτέλεσμα την ελλιπή ψύξη και συνεπώς την υπερθέρμανση. Επικαθήσεις λαδιού από μια απευθείας -συνδεδεμένη - μηχανή diesel που κινεί μια ανοικτή γεννήτρια (συνήθως d.c.) μπορεί να προκαλέσει ζημιά τυλιγμάτων και συνεπώς θα απομακρύνονται αν βρίσκονται. Ολικά κλειστές μηχανές πρέπει περιοδικά να ανοίγονται για επιθεώρηση και καθαρισμό αφού σκόνη άνθρακα θα παραμένει εντός της μηχανής και θα επικάθεται πάνω στις επιφάνειες.

Ο μηχανισμός των ψηκτρών επιθεωρείται για να εξασφαλίζεται επαρκής πίεση ψήκτρας και να γίνεται αν είναι αναγκαία ρύθμιση των ελατηρίων. Οι νέες ψήκτρες θα "στρώνονται" στο συλλέκτη ή θα σχηματοποιούνται στο δακτύλιο - ολίσθησης με λεπτό γυαλόχαρτο. Σπινθηρισμός στο συλλέκτη δείχνει κακή συλλογή.

Αυτό δυνατόν να απαιτεί στίλβωση της τραχείας επιφάνειας του συλλέκτη. Η μόνωση mica μεταξύ των κυκλικών τμημάτων του συλλέκτη δυνατόν να απαιτεί υπόσκαψη, αν αυτή προεξέχει ή απλώς καθαρισμό αν έχει σχηματιστεί στρώμα

επικαθίσεων.

Ο εξοπλισμός ελέγχου, όπως οι εκκινητές, απαιτεί προσοχή στις επαφές οι οποίες ίσως να έχουν φθαρεί ή διαβρωθεί ως αποτέλεσμα τόξων. Οι ταχείς επαναληπτικοί διακόπτες συνήθως έχουν μια ενέργεια κίνησης ή καθαρισμού καθώς έρχονται μαζί. Αυτό βοηθά τον καθαρισμό των επιφανειών και την εξασφάλιση καλής ηλεκτρικής επαφής, επίσης δε το παραγόμενο τόξο, κατά τη διάρκεια του κλεισίματος και ανοίγματος δεν είναι στην τελικώς κλειστή θέση. Οι επιφάνειες των επαφών του επαναληπτικού διακόπτη του συχνά χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού θα υπόκεινται συνεπώς σε τακτικές επιθεωρήσεις.

Συσσωρευτές.

Ο συσσωρευτής είναι ένα κατάλληλο μέσο για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται σε πολλά πλοία ως μια στιγμιαίως διαθέσιμη παροχή έκτακτης ανάγκης. Αυτοί επίσης δυνατόν να χρησιμοποιούνται σε τακτική βάση για την εξασφάλιση μιας παροχής χαμηλής - τάσης d.c. σε ορισμένο εξοπλισμό. Για την κάλυψη των υπηρεσιών αυτών πρέπει να χρησιμοποιείται το κατάλληλο μέγεθος και τύπος συσσωρευτών και επίσης αυτοί πρέπει τακτικά να συντηρούνται. Στα πλοία χρησιμοποιούνται δύο κύριοι τύποι συσσωρευτών, οι όξινοι συσσωρευτές - μόλυβδου και οι αλκαλικού τύπου, μαζί με διάφορα κυκλώματα και μηχανισμό ελέγχου.

Όξινος - συσσωρευτής μόλυβδου.

Ο όξινος συσσωρευτής μόλυβδου αποτελείται από σειρές στοιχείων (κελιών). Ένα στοιχείο συνίσταται από μια θετική πλάκα υπεροξειδίου του μόλυβδου και μια αρνητική πλάκα μόλυβδου και οι δύο βυθισμένες σε ένα διάλυμα θειικού οξέος. Το θειικό οξύ είναι γνωστό ως ο "ηλεκτρολύτης". Ένα σύρμα που συνδέει αυτές τις δύο πλάκες θα έχει ένα δυναμικό ή τάση που αναπτύσσεται εγκάρσιως αυτού και ένα ρεύμα θα ρέει.

Η τάση αυτή είναι αρχικά περίπου 2,2V με μια σταθερή τιμή περίπου 2V. Μια ομάδα έξι χωριστών στοιχείων που συνδέονται "εν σειρά" δίνει ένα συσσωρευτή 12V.

Η πραγματική κατασκευή χρησιμοποιεί πλάκες με μονώσεις μεταξύ τους σε ένα στοιχείο προκειμένου να παραχθεί μια συμπαγής διάταξη με μια μεγαλύτερη χωρητικότητα. Ο πλήρης συσσωρευτής συνήθως περιβάλλεται από βαρέως τύπου πλαστικό, σκληρό ελαστικό ή δοχείο βιτουμενίου.

Όταν ο συσσωρευτής είναι σε κατάσταση φόρτισης περιέχει μόλυβδο, υπεροξείδιο του μολύβδου και θειικό οξύ.

Τυλίγματα εν σειρά δυνατόν να ενσωματώνονται στο πεδίο του κινητήρα, γεγονός που εξαρτάται από τις σύνθετες διατάξεις.

Ο κινητήρας κίνησης ή ο αρχικός κινητήρας κίνησης του συστήματος Ward-Leonard δυνατόν να είναι ένας κινητήρας d.c, Ένας κινητήρας a.c, μηχανή diesel κλπ. Κάθε τύπος σταθερής ή σχεδόν σταθερής ταχύτητας κίνησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αφού η λειτουργία του είναι να κινεί μόνο τη γεννήτρια.

Φώτα ναυσιπλοΐας (φανάρια).

Η τροφοδοσία (με ρεύμα) στο κύκλωμα των φώτων ναυσιπλοΐας πρέπει να διατηρείται κάτω από όλες τις περιστάσεις και συνεπώς πρέπει να λαμβάνεται γι αυτό ειδική πρόνοια.

Για την αποφυγή κάθε δυνατότητας τυχαίου ανοίγματος των κυκλωμάτων, ο πίνακας διανομής για τα φώτα ναυσιπλοΐας δεν θα τροφοδοτεί άλλα κυκλώματα. Ένας διακόπτης αναστροφής εξασφαλίζει μια εναλλακτική πηγή τροφοδοσίας όταν υπάρξει βλάβη της κύριας παροχής. Αν υπάρξει βλάβη στα φώτα ναυσιπλοΐας, πρέπει να δίνεται μια οπτική ή ακουστική ένδειξη.

Ένας διπολικός διακόπτης συνδέει την τροφοδοσία σε κάθε κύκλωμα φωτισμού με μια ασφάλεια σε κάθε γραμμή. Ένας ηλεκτρονόμος στο κύκλωμα θα λειτουργεί το βομβητή, αν υπάρχει ένα ανοικτό κύκλωμα, αφού ο ηλεκτρονόμος θα απενεργοποιείται και μια ράβδος αναστολής θα συμπληρώνει το κύκλωμα του βομβητή. Μια αντίσταση εν σειρά με μια λυχνία ένδειξης θα εξασφαλίζει τη λειτουργία των φώτων ναυσιπλοΐας ακόμη και αν η λυχνία ένδειξης υποστεί βλάβη. Μια βλάβη της κύριας παροχής θα έχει ως αποτέλεσμα να σβήσουν όλες οι λυχνίες. Ο διακόπτης αναστροφής στη συνέχεια θα πρέπει να κινηθεί προς την εναλλακτική τροφοδοσία.

Συσσωρευτές και Συστήματα Έκτακτης Ανάγκης

Συσσωρευτές Μόλυβδου

Κάθε κελίο ενός συσσωρευτή μόλυβδου περιέχει δύο παρεμβαλλόμενες σειρές πλακών που είναι βυθισμένες σε ηλεκτρολύτη.

Εκείνες (οι πλάκες) που συνδέονται στο θετικό πόλο ενός φορτισμένου κελίου είναι από υπεροξείδιο του μόλυβδου και εκείνες που συνδέονται με τον αρνητικό πόλο είναι από μόλυβδο.

Ο ηλεκτρολύτης στον οποίο βυθίζονται οι πλάκες είναι ένα αραιό διάλυμα, θειικού οξέος, σε απεσταγμένο νερό. Το χαρακτηριστικό των ηλεκτρολυτών είναι ότι αυτοί περιέχουν ιόντα των ουσιών που διαλύονται σ' αυτούς τα οποία ενεργούν ως φορείς του ρεύματος. Στο διάλυμα αυτό τα ιόντα παρέχονται από το θειικό οξύ (H_2SO_4), μόρια του οποίου διασπώνται σε θετικώς φορτισμένα ιόντα υδρογόνου (H^+) και αρνητικώς φορτισμένα θειικά ιόντα (SO_4). Τα διαχωρισμένα μέρη του μορίου δεν είναι ηλεκτρικώς ισορροπημένα επειδή η διάσταση αφήνει θειικά ιόντα με επιπλέον (αρνητικά) ηλεκτρόνια και ιόντα υδρογόνου με ένα συνολικό θετικό φορτίο λόγω της απώλειας των ηλεκτρονίων.

Δράση κατά την εκφόρτιση

Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης, τα ιόντα του υδρογόνου (H^+) αφαιρούν οξυγόνο από το υπεροξείδιο του μολύβδου (PbO_2) των θετικών πλακών και ενωμένα με αυτό σχηματίζουν νερό. Η απώλεια του οξυγόνου από το υπεροξείδιο του μολύβδου μειώνει αυτό σχηματίζοντας γκρίζο μόλυβδο (Pb).

Το νερό που σχηματίζεται από τη δράση αραιώνει τον ηλεκτρολύτη έτσι ώστε όσο το κελίο εκφορτίζεται, τόσο μειώνεται το ειδικό βάρος (σχετική πυκνότητα) αυτού.

Μέτρηση της αλλαγής της ειδικής πυκνότητας μ' ένα υδρόμετρο θα δείξει την κατάσταση από πλευράς φορτίου του κελίου.

Στην αρνητική πλευρά του κελίου, τα θειικά ιόντα ενωμένα με τον καθαρό μόλυβδο των αρνητικών πλακών σχηματίζουν ένα στρώμα λευκού θειικού μολύβδου ($PbSO_4$). Το στρώμα του θειικού μολύβδου αυξάνει κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης και τελικά καλύπτει το ενεργό υλικό της πλάκας έτσι ώστε να καταπνίγεται η παραπέρα αντίδραση. Ορισμένα θειικά άλατα σχηματίζονται επίσης στις θετικές πλάκες, αλλά αυτά δεν είναι μια απευθείας δράση της αντίδρασης εκφόρτισης.

Ένα πλήρως φορτισμένο κελίο είναι ικανό να παράγει 1.95 Volts και σε έμφορτη κατάσταση η σχετική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη θα είναι η μέγιστη (1.280). Μετά μια περίοδο εκφόρτισης ο ηλεκτρολύτης θα είναι αδύνατος (αραιός), λόγω του σχηματισμού του νερού με αποτέλεσμα την πτώση της τάσης. Επαναφόρτιση απαιτείται όταν η τάση πέσει στο 1.80 Volts ανά κελίο και η σχετική πυκνότητα περίπου στο 1.120.

Φόρτιση

Για τη φόρτιση των όξινων συσσωρευτών μολύβδου, οι πόλοι αποσυνδέονται από το φορτίο και συνδέονται με μια παροχή συνεχούς ρεύματος κατάλληλης τάσης. Ο θετικός πόλος της πηγής του ρεύματος συνδέεται με το θετικό πόλο του συσσωρευτή και ο αρνητικός πόλος της πηγής του ρεύματος φόρτισης με τον αρνητικό πόλο του συσσωρευτή. Η ροή του ρεύματος από την πηγή φόρτισης αναστρέφει τη δράση της εκφόρτισης του κελίου, έτσι διασπάται ο θειικός μολυβδος. Τα θειικά ιόντα οδεύουν και πάλι προς το διάλυμα ως θετικά ιόντα (SO_4), αφήνοντας στις πλάκες καθαρό μολυβδο. Το νερό στον ηλεκτρολύτη διασπάται και επιστρέφει στο διάλυμα ως ιόντα υδρογόνου (H^+), το δε οξυγόνο ενώνεται και πάλι με το μολυβδο της θετικής πλάκας και σχηματίζει υπεροξειδίο του μολύβδου (PbO_2).

Εκπομπή αερίου

Προς το τέλος της φόρτισης και κατά τη διάρκεια της υπερφόρτισης, το ρεύμα που ρέει στο κελίο προκαλεί διάσπαση ή ηλεκτρόλυση του νερού στον ηλεκτρολύτη. Η δράση αυτή φαίνεται από τις φυσαλίδες στην επιφάνεια. Και τα δύο δηλ. το υδρογόνο και το οξυγόνο παράγονται και εκλύονται, μέσω του πώματος εξαερισμού του κελίου στο διαμέρισμα των συσσωρευτών. Υπάρχει κίνδυνος έκρηξης αν το υδρογόνο αφεθεί να συσσωρεύεται (η περιοχή ανάφλεξης του είναι 4% μέχρι 74% υδρογόνο σε αέρα). Κατά συνέπεια οι κανονισμοί απαιτούν καλό εξαερισμό για την απομάκρυνση του αερίου και προφυλακτικά μέτρα έναντι γυμνών φώτων ή σπινθήρων σε κλειστά διαμερίσματα συσσωρευτών (βλέπε κατωτέρω).

Κατασκευή των πλακών

Ένας όξινος συσσωρευτής μολύβδου κατασκευάζεται από αριθμό κελίων καθένα ονομαστικής τάσης 2 Volts. Συνεπώς τρία κελία διαχωρισμένα με μονώσεις σε κοινό περίβλημα και συνδεδεμένα εν σειρά σχηματίζουν έναν συσσωρευτή 6 Volts και έξι κελία διευθετημένα κατά τον ίδιο τρόπο σχηματίζουν έναν συσσωρευτή 12 Volts.

Καθένα κελίο έχει επτά θετικές και οκτώ αρνητικές πλάκες οι οποίες παρεμβάλλονται και διευθετούνται εναλλακτικά θετική και αρνητική. Κοινή πρακτική είναι και οι δύο ακραίες πλάκες να είναι αρνητικές. Οι πλάκες διαχωρίζονται από την παρεμβολή των πορώδων διαχωριστήρων των πλαστικών μόνωσης. Η σχεδίαση των πλακών είναι τέτοια ώστε να δίνει τη μέγιστη δυνατή επιφάνεια, επαρκή αντοχή και καλή αγωγιμότητα. Η πορώδης πάστα του ενεργού υλικού αυξάνει την επιφάνεια της πλάκας **για** να δίνει τη μέγιστη επαφή μεταξύ του ενεργού υλικού και του ηλεκτρολύτη και κατά συνέπεια καλή χωρητικότητα. Η πάστα οξειδίου έχει μικρή αντοχή και είναι όχι πολύ καλός αγωγός του ηλεκτρισμού έτσι χα ελαττώματα διορθώνονται με μια σχάρα από κράμα μολύβδου/αντιμονίου πάνω στην οποία συμπιέζεται η πάστα.

Ηλεκτρολύτης

Το θειικό οξύ που χρησιμοποιείται για τη συμπλήρωση του ηλεκτρολύτη των όξινων συσσωρευτών μολύβδου, στη συμπυκνωμένη μορφή του δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Σε διάλυμα με νερό αυτό καθίσταται ηλεκτρολύτης λόγω της διάστασης των μορίων του H_2SO_4 σε ιόντα υδρογόνου (H^+) και ιόντα θειικά (SO) για οποία ενεργούν ως φορείς του ρεύματος στο υγρό.

Το συμπυκνωμένο θειικό οξύ έχει μεγάλη συγγένεια με το νερό και αυτό μαζί με τη θερμότητα που εκλύεται όταν αυτά έλθουν σ' επαφή καθιστά επικίνδυνη την παραγωγή του ηλεκτρολύτη.

Αν το νερό προστίθεται στο συμπυκνωμένο θειικό οξύ το αποτέλεσμα είναι μια βίαιη αντίδραση. Επιτυχής ασφαλής ανάμιξη είναι μόνο δυνατή αν το οξύ πολύ αργά προστίθεται στο καθαρό νερό ενώ γίνεται ανάδευση του μείγματος. Συνήθως ο ηλεκτρολύτης διατίθεται έτοιμος για χρήση σε δοχεία ανθεκτικά στο οξύ.

Ο ηλεκτρολύτης είναι ισχυρό διαβρωτικό και θα προκαλέσει βλάβη στο δέρμα καθώς επίσης και σε υλικά τέτοια όπως οι μπογιές, το ξύλο, το ύφασμα κ.λπ. πάνω στα οποία ενδεχομένως θα χυθεί. Συνιστάται όπως, αν ο ηλεκτρολύτης έλθει σ' επαφή με το δέρμα, απομακρύνεται με πλήρες πλύσιμο (για 1 5 λεπτά) με νερό. Στα διαμερίσματα των συσσωρευτών πρέπει να χρησιμοποιούνται μπογιές ανθεκτικές στην επίδραση του οξέος.

Συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου

Τα ενεργά υλικά της θετικής και αρνητικής πλάκας σε κάθε κελίο ενός φορτισμένου συσσωρευτή Νικελίου-Καδμίου είναι αντίστοιχα υδροξείδιο του νικελίου και του καδμίου .

Τα χημικά (ενεργός ύλη) συγκρατούνται στην κατασκευή υποστήριξης των διάτρητων μεταλλικών πλακών και η σχεδίαση είναι τέτοια ώστε να παρέχει τη μέγιστη επαφή μεταξύ των ενεργών ουσιών και του ηλεκτρολύτη.

Ο ισχυρός αλκαλικός ηλεκτρολύτης είναι ένα διάλυμα καυστικού καλίου (KOH) σε αποσταγμένο νερό (με μια προσθήκη λιθίου).

Τα παραγόμενα ιόντα κατά το σχηματισμό του διαλύματος καυστικού καλίου (K^+ και OH) ενεργούν ως φορείς του ρεύματος και λαμβάνουν μέρος στη μεταφορά.

Δράση Εκφόρτισης

Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης η πολύπλοκη αλλά ασταθής δράση στις θετικές πλάκες (ένυδρο οξειδίο του νικελίου) αναγκάζει τα ιόντα του υδροξυλίου να εισέλθουν στον ηλεκτρολύτη. Καθώς η δράση προοδευτικά προωθείται το ένυδρο οξειδίο του νικελίου μετατρέπεται σε υδροξείδιο του νικελίου. Ταυτόχρονα τα ιόντα υδροξυλίου (OH⁻) από τον ηλεκτρολύτη σχηματίζουν υδροξείδιο του καδμίου με το κάδμιο των αρνητικών πλακών.

Αποτελεσματικά, τα ιόντα του υδροξυλίου (OH⁻) κινούνται από τη μια σειρά πλακών προς την άλλη αφήνοντας τον ηλεκτρολύτη αμετάβλητο. Δεν υπάρχει σημαντική αλλαγή στην ειδική πυκνότητα μέσω του κύκλου εκφόρτιση/φόρτιση και η κατάσταση της φόρτισης δεν μπορεί να βρεθεί με τη χρησιμοποίηση ενός υδρομέτρου (πυκνόμετρο).

Υπερχείλιση

Η εκπομπή αερίου είναι συνέπεια της διάσπασης του νερού στον ηλεκτρολύτη. Αυτό μαζί με την εξάτμιση μιας ορισμένης ποσότητας, σημαίνει ότι θα είναι από καιρό σε καιρό αναγκαία η συμπλήρωση με αποσταγμένο νερό. Υψηλή κατανάλωση απεσταγμένου νερού θα σημαίνει υπερφόρτιση.

Δοχεία

Ο ηλεκτρολύτης προσβάλλει βραδέως το γυαλί και διάφορα άλλα υλικά. Τα δοχεία συνεπώς είναι από συγκολλημένα χαλύβδινα φύλλα τα οποία στη συνέχεια επινικελώνονται ή επιστρώνονται με υψηλής αντοχής πολυστυρένιο. Τα χαλύβδινα περιβλήματα προτιμώνται όταν οι συσσωρευτές υπόκεινται σε κλονισμούς και κραδασμούς. Καφάσια από σκληρό ξύλο χρησιμοποιούνται για να κρατούν τα κελία χωριστά το ένα από το άλλο και από τα κάτω αυτών στηρίγματα. Ο διαχωρισμός είναι αναγκαίος επειδή η συνδεσμολογία των θετικών πλακών συνδέεται με το χαλύβδινο περίβλημα.

Κλειστοί συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου

Έκλυση αερίων λαμβάνει χώρα, όταν ένας συμβατικός συσσωρευτής προσεγγίζει στην πλήρη φόρτιση και αυξάνει κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε υπερφόρτισης λόγω της ηλεκτρόλυσης

του νερού στον ηλεκτρολύτη από το παρεχόμενα ρεύμα. Το αέριο απελευθερώνεται μέσω του εξαεριστικού για την αποφυγή δημιουργίας πίεσης και *αυτή* η απώλεια μαζί με εκείνη από εξάτμιση καθιστά αναγκαία τη συμπλήρωση

Φόρτιση συσσωρευτή

Φόρτιση από κύρια πηγή Συνεχούς Ρεύματος (d.c)

Το κύκλωμα για τη φόρτιση από κυρία πηγή συνεχούς ρεύματος περιλαμβάνει μια αντίσταση συνδεδεμένη εν σειρά, για τη μείωση της ροής του ρεύματος από υ-ψηλότερη τάση. Ένα απλό κύκλωμα φόρτισης φαίνεται στο Σχ. 1.4. Παρεμποδίζεται η αντίστροφη ροή ρεύματος δηλ. από το συσσωρευτή προς την πηγή του ρεύματος φόρτισης σε περίπτωση βλάβης της τελευταίας, αυτό γίνεται με τη βοήθεια ρελέ (ο οποίος απενεργοποιείται) και ελατήριο που διευθετείται για την αυτόματη αποσύνδεση του συσσωρευτή. Οι επαφές λειτουργούν με ελατήριο, εκείνες που λειτουργούν με βαρύτητα δεν είναι αποδεκτές **για** εγκαταστάσεις σε πλοία

Φόρτιση από κύρια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος (a.a)

Η βάση της κύριας πηγής εναλλασσόμενου ρεύματος μειώνεται με μετασχηματιστή μέχρι μια κατάλληλη τιμή και στη συνέχεια το ρεύμα υφίσταται ανόρθωση για την παροχή συνεχούς ρεύματος φόρτισης. Το ρεύμα δυνατόν να ληφθεί από τμήμα βάσης π.χ. 230 Volts και να μετασχηματιστεί στα 30 Volts για τη φόρτιση συσσωρευτών 24 Volts. Διάφορα κυκλώματα μετασχηματιστή/ανόρθωτη περιγράφονται στο Κεφάλαιο 2 και οποιοδήποτε από αυτά δύναται να χρησιμοποιηθεί (π.χ. απλής διόδου και ανόρθωσης μισού μήκους κύματος, δύο ή τεσσάρων διόδων και ανόρθωσης πλήρους μήκους κύματος ή ένα τριφασικό έξι διόδων κύκλωμα).

Η εξομάλυνση δεν είναι βασική για τη φόρτιση συσσωρευτών αλλά θα μπορούσε να ενσωματωθεί για τις παροχές ισχύος; σε συστήματα χαμηλής-πίεσης d.c. με συσσωρευτές σ' ετοιμότητα και για συστήματα με συσσωρευτές για το ταξίδι.

Το κύκλωμα που φαίνεται διαθέτει έναν μετασχηματιστή και γέφυρα για τέσσερις διόδους με μια αντίσταση για περιορισμό του ρεύματος. Η αντίσταση από πολλούς κατασκευαστές τοποθετείται στο δευτερεύον πηνίο του μετασχηματιστή.

Η τάση μειώνεται στο μετασχηματιστή και στη συνέχεια παρέχεται στις διόδους οι οποίες ενεργούν ως ηλεκτρικές ανεπίστροφες δάνες. Κάθε δεξιόστροφο κύμα του ρεύματος θα οδεύει προς τους συσσωρευτές μέσω U_1 και θα επιστρέφει μέσω D_2 (που είναι κλειστή από τις άλλες διόδους).

Συσσωρευτές έκτακτης ανάγκης

Ισχύς έκτακτης ανάγκης ή προσωρινή πηγή ισχύος έκτακτης ανάγκης, μπορεί να προβλέπεται με αυτόματη σύνδεση συσσωρευτών, σε περιπτώσεις απώλειας της κυρίας ισχύος.

Μια απλή διάταξη φαίνεται για όξινους συσσωρευτές μόλυβδου. Ο τύπος αυτός του δευτερεύοντος κελιού χάνει βαθμιαία τη φόρτισή του πέραν μίας χρονικής περιόδου. Ο ρυθμός απώλειας κρατείται στο ελάχιστο διατηρώντας τα κελία σε μια καθαρή και ξηρή κατάσταση, πλην όμως είναι αναγκαία η συμπλήρωση των απωλειών φόρτισης, το σύστημα που φαίνεται έχει ένα φορτιστή βραδείας φόρτισης. Υπό κανονικές συνθήκες οι συσσωρευτές βρίσκονται σ' ετοιμότητα με τους διακόπτες φορτίου (L) ανοικτούς και κλειστούς τους διακόπτες φόρτισης (C). Η θέση αυτή των διακοπών συγκρατείται με ηλεκτρομαγνητικό πηνίο έναντι της πίεσης του ελατηρίου. Απώλεια της κύριας ισχύος έχει ως αποτέλεσμα την απενεργοποίηση του πηνίου έτσι ώστε οι διακόπτες αλλάζονται από την πίεση του ελατηρίου που προκαλεί τη λειτουργία του βάρου. Οι συσσωρευτές αποσυνδέονται από την κύρια παροχή ρεύματος καθώς ανοίγει ο διακόπτης C και συνδεδεμένος με το φορτίο έκτακτης ανάγκης κλείνει τον L.

Η απώλεια φορτίου συμπληρώνεται, όταν οι συσσωρευτές που βρίσκονται σ' ετοιμότητα, φορτίζονται με φορτιστή βραδείας φόρτισης, ο οποίος ρυθμίζεται για την παροχή συνεχούς σταθερού ρεύματος. Αυτός επίσης ρυθμίζεται έτσι ώστε ν' αναπληρώνει μόνο τις απώλειες που δεν είναι αποτέλεσμα εξωτερικού φορτίου. Η τιμή του ρεύματος (50 μέχρι 100 mA ανά 100 AH χωρητικότητας συσσωρευτή) φθάνει στην τιμή της με έλεγχο μιας **τιμής** δοκιμής στην οποία ο συσσωρευτής ούτε χάνει φορτίο (δοκιμή πυκνόμετρου) ούτε υπερφορτίζεται (εκπομπή αερίων).

Όταν οι συσσωρευτές έχουν εκφορτιστεί δεχόμενοι το φορτίο του φορτιστή βραδείας φόρτισης που είναι ρυθμισμένος να συμπληρώνει τη διαρροή δεν είναι αρκετός να επαναφορτίσει αυτούς. Πλήρης φόρτιση αποκαθίσταται θέτοντάς τους σε ταχεία φόρτιση. Μετά τη φόρτιση αυτοί τίθενται και πάλι υπό το φορτιστή βραδείας φόρτισης συσσωρευτών και γραπτές προειδοποιήσεις *απαιτούνται* για το σκοπό αυτό. Οι προειδοποιήσεις πρέπει να

υποστηρίζονται από προφορικές προειδοποιήσεις, λόγω της παρουσίας του μη ορατού επικίνδυνου αερίου.

Ο κίνδυνος αερίου είναι πολύ μεγαλύτερος *κατά* τη διάρκεια της φόρτισης ή αν μειώνεται ο αερισμός.

Όταν εκτελούνται εργασίες στους συσσωρευτές, πάντοτε υπάρχει ο κίνδυνος βραχυκυκλώματος και πρόκλησης βολταϊκού τόξου με τυχαία πτώση μεταλλικών εργαλείων κατά μήκος των πόλων (για το λόγο αυτό δε χρησιμοποιούνται μεταλλικά κάνιστρα για την αποθήκευση του αποσταγμένου νερού). Τα καλώδια πρέπει να είναι επαρκούς μεγέθους και οι συνδέσεις να γίνονται καλώς.

Οι πίνακες έκτακτης ανάγκης δεν τοποθετούνται στο χώρο των συσσωρευτών εξαιτίας του κινδύνου τόξου. Η προφύλαξη επεκτείνεται, για να περιλάβει οποιοδήποτε μη *ασφαλή* ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, δοκιμαστές συσσωρευτών, διακόπτες, ασφάλειες και καλώδια άλλα εκτός εκείνων για τις συνδέσεις του συσσωρευτή. Εξωτερικώς τοποθετημένα φώτα και καλώδια συνιστώνται, με φωτισμό του χώρου μέσω γυάλινων θυρίδων στις πλευρές ή πάνω στο κατάστρωμα. Εναλλακτικά, επιτρέπονται αλεξίφλογα εξαρτήματα φωτισμού.

Οι ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας βρίσκονται στη σειρά από 15°C μέχρι 25°C. Η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών μειώνεται σε θερμοκρασίες άνω των 50°C και η χωρητικότητα αυτών επίσης μειώνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Γεννήτρια Έκτακτης ανάγκης

Υπάρχει ένας αριθμός τρόπων με τους οποίους μπορεί να παρασχεθεί η ισχύς έκτακτης ανάγκης. Η διάταξη ενσωματώνει μερικά κοινά χαρακτηριστικά.

Ο πίνακας έκτακτης ανάγκης έχει δύο τμήματα, ένα που λειτουργεί στα 440 Volts και το άλλο στα 220 Volts. Η παροχή των 440 Volts, υπό κανονικές συνθήκες, λαμβάνεται από τον κύριο πίνακα του μηχανοστασίου μέσω ενός κυκλώματος A.

Η απώλεια της κύριας ισχύος προκαλεί αυτό το κύκλωμα να κινηθεί και η παροχή λαμβάνεται απευθείας από τη γεννήτρια έκτακτης ανάγκης όταν αυτή εκκινήσει, μέσω ενός διακόπτη .

Μια αλληλοσύνδεση παρεμποδίζει το ταυτόχρονο κλείσιμο των δύο διακοπών.

Ένας ειδικός τροφοδότης μερικές φορές τοποθετείται έτσι ώστε σ' ένα πλοίο που βρίσκεται σε νεκρή κατάσταση η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης να μπορεί να συνδέεται με τον κύριο πίνακα. Αυτός ο ειδικής κατασκευής διακόπτης θα κλείνει μόνο όταν ο πίνακας του

μηχανοστασίου απαλλάσσεται από όλα τα φορτία δηλ. όταν ανοίχτουν όλοι οι διακόπτες διανομής. Επιλεγμένα μηχανήματα εντός των ορίων δυναμικότητας της γεννήτριας έκτακτης ανάγκης θα μπορούν στη συνέχεια να λειτουργούν για την αποκατάσταση της ισχύος, μέχρι το στάδιο εκείνο, που ο ειδικός διακόπτης θα μπορεί ν' αποσυνδεθεί.

Οι βασικές υπηρεσίες που τροφοδοτούνται από το τμήμα των 440 Volts του πίνακα έκτακτης ανάγκης εικονιζόμενες περιλαμβάνουν την αντλία σεντινών. έκτακτης ανάγκης, την αντλία και το συμπιεστή ραντιστών (νερού πυρκαγιάς, sprinkler), ένα από τα δύο κυκλώματα του μηχανισμού κίνησης του πηδαλίου (το άλλο κινείται από τον κύριο πίνακα) και έναν τριφασικό μετασχηματιστή 440/220 Volts μέσω του οποίου τροφοδοτείται το άλλο τμήμα.

Τα κυκλώματα που τροφοδοτούνται από το τμήμα των 220 Volts περιλαμβάνουν εκείνα για το ναυτιλιακό εξοπλισμό, τον εξοπλισμό ραδιοεπικοινωνιών και τα συστήματα μετασχηματισμού και ανόρθωσης των συστημάτων φόρτισης των συσσωρευτών.

Χωριστές σειρές συσσωρευτών τοποθετούνται για προσωρινή ισχύ έκτακτης ανάγκης και **για** το σύστημα χαμηλής-πίεσης d.c.

Τα πηνία αυτόματης τροφοδοσίας των φώτων έκτακτης ανάγκης και οι άλλες υπηρεσίες δε συνδέονται με το χαμηλής-πίεσης σύστημα. Ο πίνακας και η γεννήτρια για σκοπούς έκτακτης ανάγκης εγκαθίστανται σ' ένα διαμέρισμα το οποίο είναι δυνατόν να θερμαίνεται για εύκολη εκκίνηση σε ψυχρές συνθήκες. Τα ανεξάρτητα και εγκεκριμένα μέσα αυτόματης εκκίνησης (συμπιεσμένος αέρας, συσσωρευτές ή υδραυλικό μέσο) πρέπει να έχουν δυναμικότητα **για** επανειλημμένες προσπάθειες (εκκίνησης) και μια δευτερεύουσα διάταξη τέτοια για να μπορούν να γίνουν παραπέρα προσπάθειες, εντός των 30 λεπτών της προσωρινής διάρκειας ζωής του συσσωρευτή. Η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης εφοδιάζεται με μια επαρκή και ανεξάρτητη παροχή καυσίμου με σημείο ανάφλεξης όχι μικρότερο των 43°C (110°F).

Ηλεκτρική ισχύς έκτακτης ανάγκης

Σε όλα τα επιβατηγά και φορτηγά πλοία ένας αριθμός βασικών υπηρεσιών πρέπει να είναι δυνατόν να διατηρούνται κάτω από συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Οι απαιτήσεις διαφέρουν από τον τύπο του πλοίου και τη διάρκεια του ταξιδιού.

Αυτοτελείς πηγές ηλεκτρικής ισχύος εκτάκτως ανάγκης πρέπει να εγκαθίστανται σε θέσεις

τέτοιες, ώστε αυτές να είναι απίθανο να υποστούν βλάβη ή να επηρεαστούν από οποιοδήποτε συμβάν το οποίο προκάλεσε την απώλεια της κυρίας ισχύος.

Συνεπώς η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης και ο πίνακας της τοποθετούνται σ' ένα διαμέρισμα το οποίο βρίσκεται εκτός και μακριά από τους χώρους του κύριου και βοηθητικού μηχανοστασίου, πάνω από το ανώτατο συνεχές κατάστρωμα . Ο ίδιος κανόνας εφαρμόζεται και στους συσσωρευτές, με εξαίρεση ότι η συστοιχία συσσωρευτών δεν πρέπει να τοποθετείται στον ίδιο χώρο με οποιοδήποτε πίνακα έκτακτης ανάγκης.

Μια πηγή ισχύος έκτακτης ανάγκης πρέπει να είναι ικανή να λειτουργεί με μια κλίση του πλοίου μέχρι 221° και μια κλίση διαγωγής μέχρι 10° . Το διαμέρισμα πρέπει να είναι προσβάσιμο από το ανοικτό κατάστρωμα.

Επιβατηγά πλοία

Οι γεννήτριες έκτακτης ανάγκης, για επιβατηγά πλοία, απαιτείται να εκκινούν και να συνδέονται αυτομάτως εντός 45sec.Μια σειρά αυτομάτως συνδεδεμένων συσσωρευτών έκτακτης ανάγκης ικανών να τροφοδοτούν ορισμένα βασικά φορτία για 30 λεπτά επίσης απαιτείται. Εναλλακτικά συσσωρευτές επιτρέπονται ως η κύρια πηγή ισχύος έκτακτης ανάγκης. Οι κανονισμοί καθορίζουν την παροχή ισχύος έκτακτης ανάγκης σε βασικές υπηρεσίες σε επιβατηγά πλοία για μια χρονική περίοδο μέχρι 36 ώρες. Μια μικρότερη περίοδος επιτρέπεται σε πλοία τέτοια όπως τα οχηματαγωγά. Μερικές από τις βασικές υπηρεσίες δυνατόν να λειτουργούν από άλλα εκτός από ηλεκτρικά μέσα (τέτοια όπως οι υδραυλικώς ελεγχόμενες υδατοστεγανές θύρες) άλλα δε δυνατόν να διαθέτουν τη δική τους ηλεκτρική ισχύ. Αν οι συσσωρευτές είναι η μόνη πηγή ισχύος, αυτοί πρέπει να παρέχουν το φορτίο έκτακτης ανάγκης χωρίς επαναφόρτιση ή υπερβολική πτώση της τάσης (το όριο είναι 12%) για την απαιτούμενη χρονική διάρκεια. Επειδή η προδιαγραφόμενη περίοδος είναι μέχρι 36 ώρες, οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται συνήθως ως προσωρινή πηγή ισχύος με τη γεννήτρια έκτακτης ανάγκης να αναλαμβάνει τα βασικά φορτία όταν αυτή εκκινήσει .

Οι συσσωρευτές τοποθετούνται για παροχή προσωρινής ή μεταβατικής ισχύος στα φώτα έκτακτης ανάγκης, στα φανάρια ναυσιπλοΐας, στα κυκλώματα υδατοστεγανών θυρών περιλαμβανομένων των συναγερμών και δεικτών και των συστημάτων εσωτερικών επικοινωνιών. Επιπρόσθετα αυτοί δυνατόν να τροφοδοτήσουν τις εγκαταστάσεις ανίχνευσης και συναγερμού πυρκαγιάς, τους χειροκίνητους συναγερμούς πυρκαγιάς, τους μηχανισμούς

απελευθέρωσης των θυρών πυρκαγιάς, τα εσωτερικά σήματα, τη σειρήνα του πλοίου και τα φώτα σημάτων ημέρας. Πλην όμως μερικά από τ' ανωτέρω διαθέτουν δική τους ισχύ ή τροφοδοτούνται από ένα χαμηλής-πίεσης σύστημα d.c. Το κλείσιμο των υδατοστεγών θυρών με μεταβατική ισχύ από συσσωρευτές είναι αποδεκτό. Η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης όταν αρχίζει τη λειτουργία της τροφοδοτεί με ρεύμα ορισμένα βασικά φορτία, μέσω του δικού της πίνακα, περιλαμβανομένου του φορτίου που προσωρινά λαμβάνεται από τους συσσωρευτές. Επιπρόσθετα αυτή μπορεί να τροφοδοτεί την αντλία σεντινών έκτακτης ανάγκης, την αντλία πυρκαγιάς, την αντλία ραντιστών, το μηχανισμό κίνησης του πηδαλίου και άλλα φορτία, αν *αυτά* τροφοδοτούνται μέσω του πίνακα έκτακτης ανάγκης. Απαιτούνται διατάξεις που σε έκτακτη ανάγκη θα καθιστούν δυνατή την άνοδο των ανελκυστήρων, στο επίπεδο του καταστρώματος. Επίσης απαιτείται φωτισμός έκτακτης ανάγκης για μεταβατικό χρόνο από συσσωρευτές, σε όλους τους διαδρόμους, σκάλες, εξόδους, σταθμούς λέμβων (καταστρώματος και πλευρών) σταθμούς ελέγχου, (γέφυρα, χώρο ασυρμάτου, σταθμό ελέγχου μηχανοστασίου κ.λπ.), χώρους μηχανοστασίου και χώρους μηχανοστασίου έκτακτης ανάγκης.

Τα φορτηγά πλοία

Η ισχύς έκτακτης ανάγκης για *τα* φορτηγά πλοία παρέχεται από συστοιχία συσσωρευτών ή γεννήτρια. Τα συστήματα συσσωρευτών συνδέονται αυτομάτως ευθύς μετά την απώλεια της κύριας ισχύος και σε εγκαταστάσεις όπου η γεννήτρια δεν εκκινεί και συνδέεται εντός 15sec αυτομάτως, απαιτούνται ως μεταβατική πηγή ισχύος για τουλάχιστον 30 λεπτά.

Η ισχύς που διατίθεται για έκτακτες περιστάσεις πρέπει να είναι αρκετή για τη λειτουργία ορισμένων βασικών υπηρεσιών ταυτοχρόνως, για χρόνο μέχρι 18 ώρες. Οι υπηρεσίες αυτές είναι: τα φώτα έκτακτης ανάγκης, τα φανάρια ναυσιπλοΐας, ο εξοπλισμός εσωτερικών επικοινωνιών, οι λυχνίες σημάτων ημέρας, η σειρήνα του πλοίου, η ανίχνευση και οι εγκαταστάσεις συναγερμών πυρκαγιάς, οι χειροκίνητοι συναγερμοί πυρκαγιάς, τ' άλλα εσωτερικά σήματα έκτακτης ανάγκης, η αντλία πυρκαγιάς έκτακτης ανάγκης, ο μηχανισμός κίνησης του πηδαλίου, τα *βοηθήματα* ναυσιπλοΐας και ο λοιπός εξοπλισμός. Ορισμένες βασικές υπηρεσίες διαθέτουν τη δική τους ισχύ ή τροφοδοτούνται από ένα σύστημα χαμηλής-τάσης d.c.

Συσσωρευτές για μεταβατική λειτουργία απαιτούνται, για τροφοδοσία με ισχύ και για χρόνο 30 λεπτών, για το φωτισμό έκτακτης ανάγκης, το γενικό συναγερμό, το σύστημα ανίχνευσης και συναγερμού πυρκαγιάς, τον εξοπλισμό επικοινωνιών και *τα φώτα* ναυσιπλοΐας

Εγκαταστάσεις συσσωρευτών και μέτρα ασφαλείας

Ο κίνδυνος έκρηξης στα διαμερίσματα των συσσωρευτών ελαττώνεται (1) με την εξασφάλιση καλού εξαερισμού έτσι ώστε το υδρογόνο να μην μπορεί να συσσωρευθεί και (2) με τη λήψη προφυλακτικών μέτρων εξασφάλισης ότι δεν υπάρχει πηγή ανάφλεξης.

Οι εξαγωγές του εξαερισμού διατάσσονται στην οροφή κάθε διαμερίσματος συσσωρευτών όπου το ελαφρότερο του αέρα, υδρογόνο τείνει να συσσωρευτεί. Αν το εξαεριστικό είναι άλλο από εκείνο του απευθείας προς το εξωτερικό, απαιτείται ένας ανεμιστήρας που σε κάθε περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί σε μια μεγάλη εγκατάσταση. Ο ανεμιστήρας βρίσκεται στο ρεύμα του αέρα από το διαμέρισμα και τα πτερύγια του πρέπει να κατασκευάζονται από υλικό το οποίο δε δημιουργεί σπινθήρες από επαφή ή ηλεκτροστατική εκφόρτιση.

Ο κινητήρας πρέπει να βρίσκεται εκτός του χώρου εξαερισμού και θα υπάρχουν φραγές που θα παρεμποδίζουν την είσοδο αερίου στο περίβλημα του. Ο ανεμιστήρας αερίων πρέπει

να είναι ανεξάρτητος των άλλων συστημάτων αερισμού.

Όλες οι εξαγωγές των αγωγών εξαερισμού πρέπει να είναι από υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση ή να προστατεύονται με κατάλληλο χρώμα.

Οι εισαγωγές εξαερισμού θα πρέπει να είναι κάτω από το επίπεδο των συσσωρευτών. Σ' αυτές και σ' όλα τ' ανοίγματα πρέπει να δίνεται προσοχή αναφορικά με την καιροστεγανότητά τους. Η χρήση γυμνών φώτων και το κάπνισμα, απαγορεύονται στα δωμάτια

Προστασία γεννήτριας

Οι διακόπτες του κυκλώματος της γεννήτριας τοποθετούνται μ' έναν αριθμό προστατευτικών μηχανισμών. Γενικά για μηχανές ισχύος πάνω από 50Kw και ηροοριζόμενες για παράλληλη λειτουργία αυτοί (οι μηχανισμοί) είναι:

- (1) ένας αυτόματος αναστολέας βραχυκυκλώματος.
- (2) ένας αναστολέας υπερφόρτισης με χρόνο καθυστέρησης μέχρι 1.5sec.
- (3) αναστολείς προτίμησης για αποβολή μη βασικού φορτίου.
- (4) αναστολέας αντίστροφου - ρεύματος.
- (5) αυτόματη απελευθέρωση χαμηλής χάρσης.
- (6) αναστολέας χαμηλής τάσης με χρόνο καθυστέρησης.

Στην πλευρά της διανομής υπάρχουν προστατευτικοί αναστολείς και ασφάλειες που θα αποσυνδέουν κινητήρες ή άλλα κυκλώματα σε περίπτωση τοπικής βλάβης. Αυτοί επίσης παρέχουν προστασία στις γεννήτριες και με τις μικρότερες τους χρονικές καθυστερήσεις και τις ρυθμίσεις σε χαμηλότερες εντάσεις ρεύματος, θα εντοπίζουν συνήθως μια βλάβη πριν από τους κύριους διακόπτες.

Ο όρος "διάκριση " χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαβάθμιση της χρόνο-καθυστέρησης του προστατευτικού μηχανισμού και τις ρυθμίσεις του ρεύματος για ολόκληρο το σύστημα διανομής.

Το βραχυκύκλωμα, η υπερφόρτιση, και τα προτιμώμενα κυκλώματα περιγράφονται κατωτέρω. Όλα αυτά ενεργοποιούνται από υπερβολικό ρεύμα και μπορούν να βασίζονται σ' ένα πηνίο συνδεδεμένο εν σειρά για τη μεταφορά του φορτίου του ρεύματος.

Αυτόματο κύκλωμα βραχυκυκλώματος

Ένας απλός ηλεκτρομαγνητικός διακόπτης θα λειτουργεί σχεδόν αυτόματα όταν αυξάνεται επαρκώς η μαγνητική επίδραση με περίσσεια ρεύματος που έλκει το σιδηρο "οπλισμό" έναντι της αντίστασης του ελατηρίου. Ο κινούμενος βραχίονας μπορεί ν' ανοίγει το διακόπτη μέσω ενός κυκλώματος ή με απευθείας κίνηση ενός μηχανικού συνδέσμου.

Η γεννήτρια δυνατόν να είναι ικανή για παροχή ρεύματος βραχυκύκλωσης μέχρι το διπλάσιο του πλήρους ρεύματος φορτίου. Ζημίες αποφεύγονται με τη ρύθμιση του κυκλώματος προστασίας σε τιμή πολύ μικρότερη από την ανωτέρω.

Κύκλωμα υπερφόρτισης

Διάφοροι τύποι χρονικής καθυστέρησης χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα φόρτισης για την εξασφάλιση ότι ο διακόπτης της γεννήτριας δε θ' ανοίξει λόγω στιγμιαίας αιχμής ρεύματος, αλλά μόνο αν εμμένει η περίσσεια του ρεύματος.

Αποτέλεσμα της υπερθέρμανσης και βλάβης των καλωδίων των τυλιγμάτων της μηχανής είναι η παρατεταμένη υπερφόρτιση με ρεύμα πάνω από μια μέγιστη τιμή.

Οι χρονικές καθυστερήσεις του τύπου δοχείου απόσβεσης του κυκλώματος καθυστέρησης για το μέγιστο μέχρι 15 sec όταν υπερβολικό ρεύμα έλκει το υδρέμβολο προς το σωληνοειδές. Το έμβολο μπορεί μόνο να κινείται προς τα άνω καθώς η υγρή σιλικόνη εκτοπίζεται από την κορυφή προς τον πυθμένα, μέσω μιας μικρής οπής στο έμβολο, ή μέσω του διακένου γύρω από αυτό. Η χρονοκαθυστέρηση ρυθμίζεται με τη μεταβολή του μεγέθους της οπής (διαφορετικό έλασμα που επιπλέει ή επιλογή των οπών) ή με τη μεταβολή του διακένου γύρω από το έμβολο (ρυθμιζόμενος κύλινδρος).

Το ρεύμα που ρυθμίζεται για το προστατευτικό κύκλωμα είναι περίπου 25% πάνω από το μέγιστο και δεν υπερβαίνει το 50% πάνω από αυτό. Το ρεύμα λειτουργίας ρυθμίζεται με τη μεταβολή της θέσης του υδρεμβόλου αντίστοιχα προς το πηνίο που φέρει το ρεύμα φορτίου

Κυκλώματα προτίμησης

Το κύκλωμα υπερφόρτισης έχει έναν χρόνο καθυστέρησης μέχρι 1 5 sec μετά τον οποίο ο διακόπτης της γεννήτριας ανοίγει και υπάρχει απώλεια ισχύος. Τα κυκλώματα προτίμησης σχεδιάζονται για να αποσυνδέουν τα μη-βασικά κυκλώματα (π.χ. διακόπτες ελέγχου του κλιματιζόμενου αέρα, ορισμένοι ανεμιστήρες, εξοπλισμός μαγειριών κ.λπ) σε περίπτωση υπερφόρτισης ή μερικής βλάβης της τροφοδοσίας, με σκοπό την αποφυγή λειτουργίας του κύριου διακόπτη του κυκλώματος και απώλεια ισχύος βασικών υπηρεσιών. Ένα σχήμα για τη λειτουργία όλων των κυκλωμάτων υπερφόρτισης από ένα πηνίο μεταφοράς ρεύματος φορτίου (Σχ. 7.4) χρησιμοποιεί δύο αυτόματους βραχίονες κυκλωμάτων. Ο άνω βραχίονας με ένα αυτόματο κύκλωμα βραχυκυκλώματος ενεργοποιείται και ανοίγει το διακόπτη απευθείας, μέσω μηχανικών συνδέσμων.

Ο βραχίονας του πυθμένα κλείνει στιγμιαία στη χαμηλότερη τιμή ρύθμισης του ρεύματος υπερφόρτισης και όταν γίνεται αυτό, συμπληρώνει το κύκλωμα μέσω δύο (ή περισσότερων) μη βασικών προστατευτικών κυκλωμάτων και ενός κύριου διακόπτη κυκλώματος όλα με δοχείο απόσβεσης χρονο-καθυστέρησης. Αυτοί οι διακόπτες θα θέσουν εκτός τα μη-βασικά φορτία σε διαστήματα 5 και 10 sec και τελικά, αν η υπερφόρτιση εμμένει, τον κύριο διακόπτει μετά 1 5 sec. Η προειδοποίηση για υπερφόρτιση δίνεται με συναγερμό. Η προστασία για υπερφόρτιση προβλέπεται στους δύο πόλους της μηχανής .

Κύκλωμα αντίστροφου ρεύματος

Απώλεια της διέγερσης ή της αρχικής ισχύος εκκίνησης προκαλεί μια πτώση στην τάση της γεννήτριας. Αν αυτή λειτουργεί παράλληλα, η κανονική πλήρης τάση από την άλλη γεννήτρια (ή γεννήτριες) θα προκαλεί τη ροή του ρεύματος πίσω προς τη μηχανή που έχει υποστεί βλάβη. Η κατασκευή των γεννητριών και των κινητήρων d.c. είναι παρόμοια, το αντίστροφο ρεύμα θα καθιστά τη γεννήτρια κινητήρα με πιθανότητα βλάβης του συστήματος αρχικής εκκίνησης και υπερφόρτιση της απομένουσας (λειτουργούσας) πηγής ισχύος. Ο αξονίσκος οπλισμού του μηχανισμού που φέρει το κύκλωμα ανοίγει το διακόπτη. Κίνηση του οπλισμού, αντίθετη των δεικτών του ρολογιού ενεργοποιεί αυτόν. Κατά τη διάρκεια του κανονικού φορτίου εργασίας, το ρεύμα διέρχεται μέσω του τυλίγματος στο μεσαίο σκέλος του σιδηρού πυρήνα (κατασκευασμένου από ελάσματα σιδήρου) και δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο. Τα υψηλής αντίστασης (τάσης) πηνία στα εξωτερικά σκέλη σταθεροποιούνται κατά μήκος της κύριας θετικής και αρνητικής εξαγωγής της γεννήτριας.

Ο οπλισμός στηρίζεται πάνω στο σκέλος του πηνίου του ρεύματος φορτίου και το μαγνητικό πεδίο αυτού εκτείνεται μέσω του σιδηρού πυρήνα και του οπλισμού. Αυτή η ροή υπερεπιβάλλεται σε εκείνη που οφείλεται στα πηνία τάσης.

Αυτή (η ροή) αυξάνει την ένταση του πεδίου από την πλευρά της αριστεράς χειρός, σύροντας το σιδηρού οπλισμό δεξιόστροφα έναντι του διακόπτη και μειώνει εκείνη στην πλευρά της δεξιάς χειρός.

Αντίστροφο ρεύμα στο πηνίο του ρεύματος φορτίου που είναι στο κεντρικό σκέλος, αντιστρέφει το μαγνητικό πεδίο του. Τώρα το νέο πεδίο εξασθενεί το πεδίο προς την αριστερά - χείρα, ενισχύοντας τη ροή στο διάκενο της δεξιάς - χειρός και σύρει τον οπλισμό αριστερόστροφα προς το κύκλωμα του διακόπτη.

Κύκλωμα απελευθέρωσης χαμηλής-τάσης

Μέσα για την εξασφάλιση ότι ο κύριος διακόπτης του κυκλώματος δε θα μπορεί να κλείνει εκτός αν η γεννήτρια λειτουργεί και παράγει σωστά ρεύμα, δύνανται να ενσωματωθούν στο κύκλωμα χαμηλής-τάσης. Το τελευταίο προορίζεται να ανοίγει το διακόπτη όταν υπάρχει για οποιοσδήποτε λόγο απώλεια διέγερσης και έχει έναν χρόνο καθυστέρησης.

Το σωληνοειδές συρματώνεται κατά μήκος των κύριων οδών στην πλευρά της γεννήτριας του κυκλώματος του διακόπτη και όταν δεν ενεργοποιείται, αφήνει το υδρέμβολο στη θέση του κυκλώματος και ο διακόπτης δεν μπορεί να κλείσει. Κανονική παραγωγή τάσης με τη μηχανή να λειτουργεί, ενεργοποιεί το πηνίο και το υδρέμβολο σύρεται κάτω έναντι του φορτισμένου ελατηρίου προς απελευθέρωση του κυκλώματος. Αυτός επιτρέπει το κλείσιμο του διακόπτη και σημαίνει ότι ρυθμίζεται ο μηχανισμός

ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΡΩΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΖΗΤΗΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΤΟ ΠΛΗΡΩΣ ΕΞΗΛΕΚΤΡΙΣΜΕΝΟ ΠΛΟΙΟ

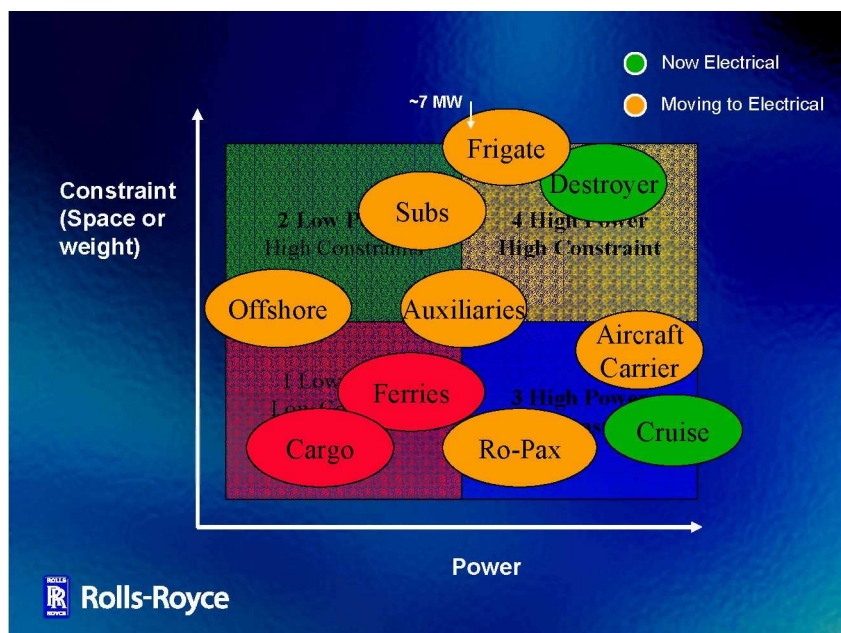
Περίληψη

Στην παρούσα εισήγηση παρουσιάζονται οι σύγχρονες εξελίξεις στην τεχνολογία ηλεκτροπρόωσης πλοίων. Σε αυτά τα πλαίσια γίνεται μία ανασκόπηση των σύγχρονων τάσεων σχεδίασης και κατασκευής των ηλεκτρικών κινητήρων και των κυκλωμάτων οδήγησής τους αλλά και του όλου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας των σύγχρονων ναυπηγήσεων υπό την προοπτική της υλοποίησης του πλήρως εξηλεκτρισμένου πλοίου (All Electric Ship -AES).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως ηλεκτροπρόωση ορίζεται το είδος εκείνο της πρόωσης στο οποίο οι άξονες του πλοίου κινούνται απ' ευθείας (ή και σπανιότερα μέσω μειωτήρων) από ηλεκτρικούς κινητήρες και όχι από άλλες μηχανές όπως ντίζελ, αεροστροβίλους και ατμοστρόβιλους. Φυσικά οι κινητήρες ντίζελ, αεροστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά αντί να κινούν απ' ευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα κινούν ηλ. γεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως, που αναφέρονται στη βιβλιογραφία σαν "prime movers" ('κινητήριες μηχανές'). Η προωστήρια εγκατάσταση συμπληρώνεται από κάποιο σύστημα ελέγχου για τον χειρισμό της, δηλαδή την κράτηση-εκκίνηση, την αυξομείωση στροφών και την αλλαγή φοράς περιστροφής των ηλεκτρικών κινητήρων.

Η ηλεκτρική πρόωση έχει αρχίσει να εφαρμόζεται πριν από περίπου 55 χρόνια. Επί μεγάλο διάστημα, τα συστήματα ήταν του τύπου Σ.Ρ./Σ.Ρ. (συχνά συστήματα Ward-Leonard) δηλ. παραγωγή συνεχούς ρεύματος και κίνηση με συνεχές ρεύμα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα αρχίζει να χρησιμοποιείται στα πλοία στις αρχές της δεκαετίας του 1950, αλλά τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης εξακολουθούν να στηρίζονται σε κινητήρες Σ.Ρ.. Κατά την τελευταία εικοσαετία, η ανάπτυξη διατάξεων και τεχνικών ελέγχου κινητήρων Ε.Ρ (ηλεκτρονικά ισχύος), που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της πρόωσης από πλευράς τόσο ευελιξίας όσο και οικονομίας καυσίμου, έδωσε τη δυνατότητα για ευρύτερη διάδοση της ηλεκτρικής πρόωσης σε εμπορικά πλοία.



Σχήμα 1. Συγκριτικές ανάγκες περιορισμού διαστάσεων (ή βάρους) συναρτήσει της ηλεκ. Ισχύος για διαφόρους τύπους πλοίων (εμπορικών και πολεμικών),

Ηλεκτροκίνητα πλωτά μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα — Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές,

Ενώ παλαιότερα η ηλεκτρική πρόωση έβρισκε μόνον πολύ εξειδικευμένες εφαρμογές (παγοθραυστικά, ερευνητικά σκάφη, σκάφη πόντισης καλωδίων), κατά τη δεκαετία του '90 παρουσιάζει μια έντονα αυξανόμενη διάδοση σε πλοία όπως μεγάλα επιβατηγά, οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια, κ.λπ., βλ. και Σχήμα 1. Γενικά, η ηλεκτρική πρόωση μπορεί να αποδειχθεί η καταλληλότερη λύση στις ακόλουθες κατηγορίες εφαρμογών:

- α. Σκάφη με υψηλές απαιτήσεις ελικτικών ικανοτήτων.
- β. Σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων.
- γ. Σκάφη με μεγάλα φορτία ενδίαιτησης και έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης.
- δ. Σκάφη εξοπλισμένα με πολλές ταχύστροφες μη αναστρέψιμες μηχανές.
- ε. Υποβρύχια και βαθυσκάφη.

Ειδικά, όσον αφορά στα πολεμικά πλοία, η ηλεκτροπρόωση αποτελεί την βασική επιλογή για την κίνηση των Υποβρυχίων. Η χρήση της σε πολεμικά πλοία επιφάνειας, που μέχρι σήμερα ήταν σχετικά περιορισμένη, προσελκύει ξανά το έντονο ενδιαφέρον των ναυτικών χωρών που κατασκευάζουν πολεμικά πλοία και εξετάζεται πλέον σαν υποψήφιο σύστημα

για την προωστήρια εγκατάσταση της επόμενης γενιάς και των μεγάλων πολεμικών πλοίων. Οι αυξημένες απαιτήσεις και οι αυστηρότερες - σε σχέση με τα εμπορικά πλοία - προδιαγραφές των πολεμικών ναυτικών, (τόσο από απόψεως περιορισμών χώρου αλλά και απαιτήσεων του προωστηρίου συστήματος), προϋποθέτουν περισσότερη ανάπτυξη και τελειοποίηση υποσυστημάτων για να πραγματοποιηθούν τα εν δυνάμει πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης.

Οι κύριες αιτίες της αναζωπύρωσης του ενδιαφέροντος των πολεμικών ναυτικών για τη χρήση της ηλεκτροπρόωσης είναι:

α. η αύξηση των ηλεκτρικών καταναλωτών στα πλοία και η τάση για την 'ηλεκτροποίηση' των πλοίων (με αποκορύφωση το **Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο-All Electric Ship-AES**), δηλαδή η τάση όλες οι λειτουργίες, κύριες και βοηθητικές, να γίνονται πλέον από ηλεκτρικά συστήματα και μηχανήματα (αντικαθιστώντας π.χ. υδραυλικά, μηχανικά ή συστήματα ατμού κ.λ.π.),

β. η ανάγκη για περισσότερο 'αθόρυβη' λειτουργία των πλοίων ,

γ. η αναζήτηση προωστήριων συστημάτων με χαμηλότερο κόστος ζωής και μειωμένες απαιτήσεις επανδρώσεως,

δ. και κυρίως η ωρίμανση τεχνολογιών που απαιτούνται για να αξιοποιηθεί το πλήρες δυναμικό της ηλεκτροπρόωσης. Τέτοιες τεχνολογίες είναι κυρίως των ηλεκτρικών κινητήρων και των ηλεκτρονικών ισχύος για τον έλεγχό τους.

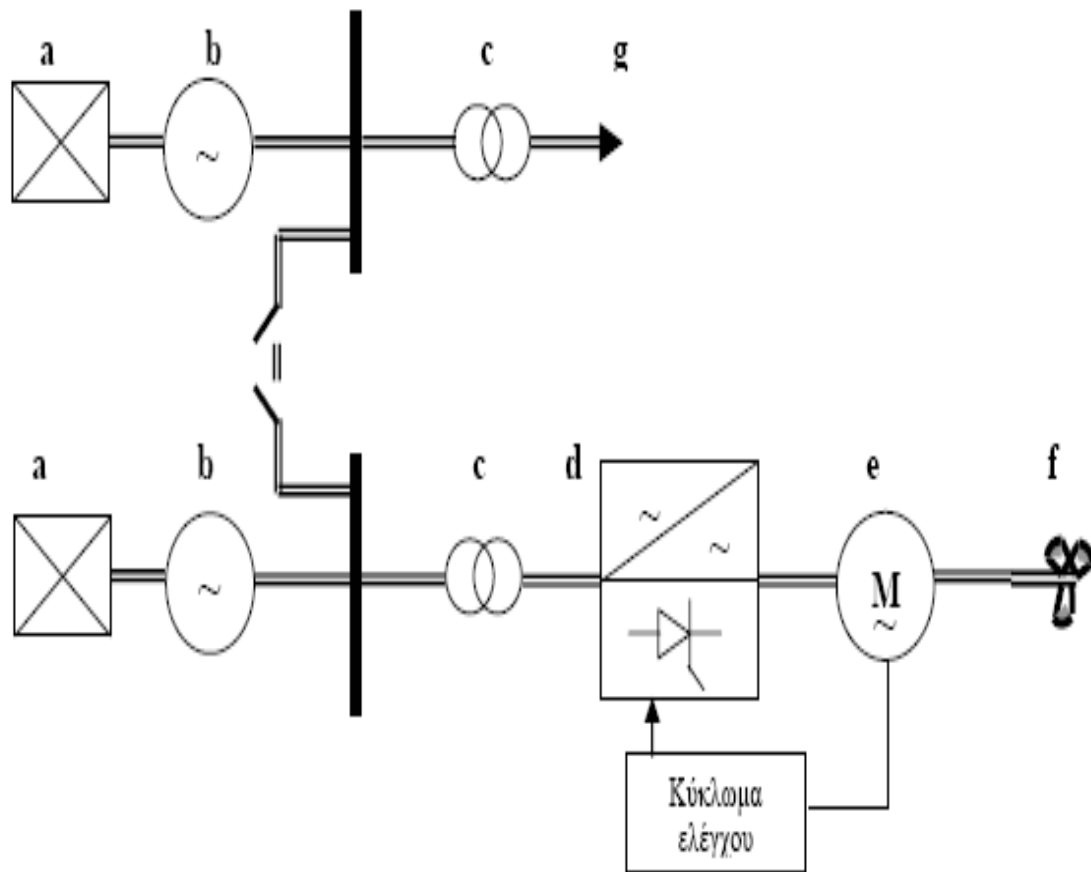
Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή συστήματος ηλεκτροπρόωσης για ένα πλοίο, προσφέρει περισσότερη ελευθερία στη σχεδίαση και στην επιλογή των υποσυστημάτων και της διάταξης όλης της προωστήριας και ηλεκτρικής εγκατάστασης. Σε κάθε περίπτωση αξίζει να σημειωθεί, ότι οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι η μόνη λύση για τη βοηθητική πρόωση (δηλ. το σύστημα των πλευρικών προωστήριων μηχανισμών που επαυξάνουν την ελικτική ικανότητα των σκαφών ιδίως εντός των λιμένων) με αξιοποίηση κυρίως επαγωγικών κινητήρων μεγάλης ισχύος (0.5-2.5 MW).

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

Γενικά Χαρακτηριστικά

Το γενικευμένο ηλεκτρολογικό διάγραμμα ενός ηλεκτρικού δικτύου πλοίου με ηλεκτρική πρόωση απεικονίζεται στο Σχήμα 2. Το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να είναι ενιαίο, καλύπτοντας όλες τις ηλεκτρικές ενεργειακές ανάγκες, ή μπορεί να αποτελείται από δύο επιμέρους υποσυστήματα, αυτό της ηλεκτροπρόωσης κι εκείνο των λοιπών ηλεκτρικών φορτίων.

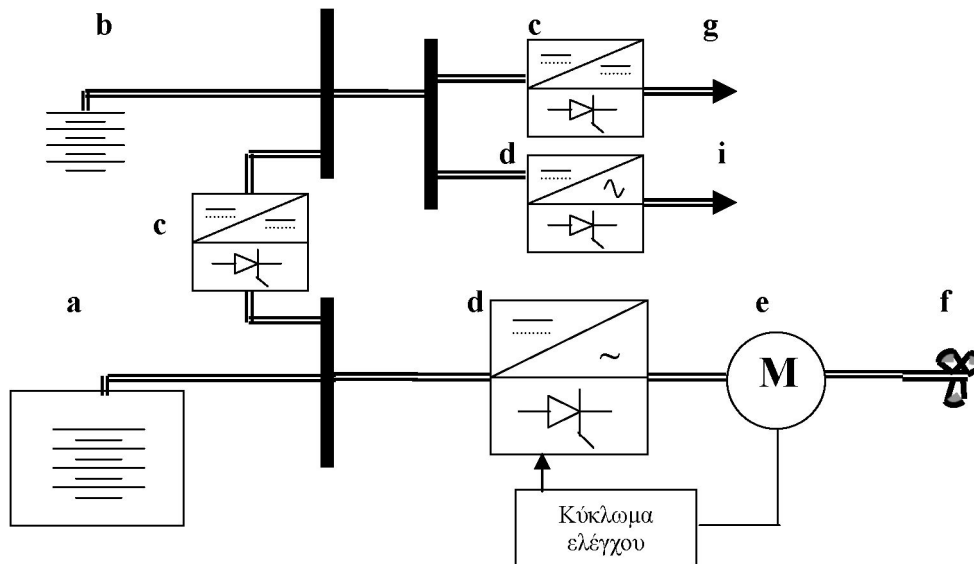
Σε πλοία με συμβατική πρόωση, ειδική υποπερίπτωση αποτελούν τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνουν και γεννήτριες άξονα-shaft generators- (εξηρητημένες δηλαδή γεννήτριες που στρέφονται από την κύρια νηξελομηχανή πρόωσης του πλοίου). Οι γεννήτριες αυτές μπορεί να συνδέονται με το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο με σύνδεσμο ΣΡ (DC link) ή να τροφοδοτούν αιπόνομα μόνο μεγάλα φορτία όπως οι κινητήρες βοηθητικής πρόωσης (thrusters). Επίσης, σε έκτακτες περιπτώσεις (π.χ. μεγάλης έκτασης ζημία στην κύρια μηχανή) μπορούν να λειτουργήσουν και αντίστροφα, δηλ. ως ηλεκτρικοί κινητήρες πρόωσης (τροφοδοτούμενες από τις άλλες ηλεκτρογεννήτριες) περιορισμένης ισχύος και να οδηγήσουν το σκάφος σε ασφαλή προορισμό.



- a. Κινητήρια μηχανή (ντιζελοκινητήρας ή αεριοστρόβιλος)
- b. Σύγχρονη γεννήτρια
- c. Μετασχηματιστής ισχύος
- d. Μετατροπέας συχνότητας
- e. Προωστήριος κινητήρας
- f. Έλικα
- g. Λοιπά φορτία (αντλίες, συμπιεστές, φωτισμός, εργάτες κλπ)

Σχήμα 2. Γενικό διάγραμμα συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Σημαντικά διαφορετικό είναι το ηλεκτρικό σύστημα της νέας γενιάς υποβρυχίων στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από κυψέλες **καυσίμου** (fuel cells) (και αποθηκεύεται σε συστοιχίες συσσωρευτών) για να τροφοδοτήσει καταναλώσεις ΣΡ αλλά και ΕΡ μέσω μετατροπέων ΣΡ/ΕΡ [42-43]. Ηλεκτρογεννήτριες ΕΡ που κινούνται με κινητήρες ντιζελ υφίστανται μεν, αλλά δεν αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι κινητήρες πρόωσης είναι ΕΡ.



- a. Κυψέλη καυσίμου (fuel cell)
- b. Συστοιχία μπαταριών
- c. Μετατροπέας ΣΡ/ΣΡ
- d. Μετατροπέας ΣΡ/ΕΡ
- e. Προωστήριος κινητήρας
- f. Έλικα
- g. Φορτία ΣΡ
- i. Φορτία ΕΡ

Σχήμα 3. Γενικό διάγραμμα συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου με κυψέλες καυσίμου.

Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά

Όπως αναφέρθηκε οι επιλογές για το σχεδιασμό των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτροπρόωσης είναι πολλές και κάθε μία μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες και τον ρόλο του συγκεκριμένου πλοίου. Ο σχεδιασμός ενός σύγχρονου συστήματος ηλεκτροπρόωσης μπορεί να αναλυθεί στην επιλογή λύσεων σε επιμέρους ζητήματα, που είναι:

Το είδος των κινητήριων μηχανών.

Ντήζελ, Αεριοστρόβιλοι (ειδικά για πιο αθόρυβη λειτουργία),
Ατμοστρόβιλοι (ειδικά για πυρηνοκίνητα σκάφη),
Συσσωρευτές ή/και Ηλεκτροχημικές Κυψέλες Καυσίμου (Fuel-Cells) (για τα υποβρύχια).

Τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου, όπως το είδος (DC, AC) και η τιμή της τάσης παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ισχύος, που υπαγορεύεται κυρίως από τις απαιτήσεις ισχύος προώσεως και τη διαθεσιμότητα παρελκόμενου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού (καλώδια, μονωτικά, διακόπτες πίνακες κ.λ.π.).

- Ο αριθμός και το είδος των γεννητριών.
- Η παράλληλη ή μη λειτουργία των γεννητριών.
- Το ποσοστό αυτοματισμού στη λειτουργία, φόρτιση, παραλληλισμό και κράτηση των γεννητριών.
- Ο αριθμός και το είδος των κινητήρων προώσεως. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι η μέγιστη ισχύς, ο όγκος και το βάρος ανά μονάδα ισχύος, ο μέσος χρόνος μεταξύ επισκευών και βλαβών και ο βαθμός αποδόσεως
- Το είδος ελέγχου-χειρισμού των κινητήρων προώσεως.
- Το είδος των στατών μετατροπών.
- Η σχεδίαση της διάταξης του ηλεκτρικού δικτύου και συγκεκριμένα :

α. Θα υπάρξει διάκριση ανάμεσα στα ηλεκτρικά φορτία του πλοίου, άρα και στα ηλεκτρικά δίκτυα, σε φορτία προώσεως και στα λοιπά; Το ζήτημα έχει να κάνει και με το βαθμό εξηλεκτρισμού του πλοίου καθώς η σχέση του ηλεκτρικού δικτύου προώσεως με το ηλεκτρικό δίκτυο χρήσεως, μπορεί να είναι μία από τις παρακάτω :

α.1. να είναι τελείως ανεξάρτητα, δηλαδή το καθένα να εξυπηρετείται από δικές του γεννήτριες και να μη συνδέονται μεταξύ τους ή αν υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης, αυτή να είναι μόνο για κατάσταση ανάγκης.

α.2. να είναι διακριτά, αλλά να υπάρχει σύνδεση μεταξύ τους οπότε το ένα από τα δύο να μπορεί να τροφοδοτείται και από το άλλο.

α.3. να είναι ενοποιημένα σε ένα κοινό ηλεκτρικό δίκτυο, οπότε οδηγούμαστε στο «πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο» (AES), οπότε και είναι δυνατή η βελτιστοποίηση της εκμετάλλευσης των πλεονεκτημάτων της ηλεκτροπρόωσης.

β. Στην περίπτωση που τα δύο δίκτυα συνδέονται, η επιλογή του τρόπου σύνδεσης (απευθείας μέσω πινάκων, μέσω αντιστροφών (inverters) ή άλλου μετατροπέα ηλεκτρονικών ισχύος (converter), μέσω ζεύγους κινητήρα-γεννήτριας, μέσω μετασχηματιστών κ.λ.π.).

γ. Από ποιο δίκτυο τροφοδοτούνται τα βοηθητικά συστήματα προώσεως (π.χ. τα συστήματα ελέγχου-χειρισμού, ψύξης, λίπανσης).

δ. Ο τρόπος με τον οποίο διασφαλίζεται η 'ποιότητα ισχύος' του ηλεκτρικού δικτύου όσον αφορά την τάση και την συχνότητα, (θόρυβος-αρμονική παραμόρφωση) και ειδικά του δικτύου χρήσεως, όταν αυτό συνδέεται με το δίκτυο προώσεως. Σαν κύρια πηγή δημιουργίας αρμονικών αναφέρονται τα ηλεκτρονικά ισχύος των ηλεκτροκινητήρων. Η ποιότητα των ηλεκτρικών δικτύων (συχνότητα, αρμονικές τάσεως, ταχείες διαταραχές τάσεως κ.λ.π.) καθορίζεται από τις διάφορες προδιαγραφές και νηογνώμονες. Οι προδιαγραφές αυτές αφορούν μόνο το δίκτυο χρήσης του πλοίου, δηλαδή φορτία που δεν σχετίζονται με την πρόωση. Στις περιπτώσεις ανεξαρτήτου δικτύου προώσεως, δεν υπάρχουν προς το παρόν ιδιαίτερες απαιτήσεις ποιότητας για τα φορτία της πρόωσης. Αν όμως το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ενοποιημένο, πρέπει ή και το δίκτυο της προώσεως να ικανοποιεί τις ίδιες απαιτήσεις ποιότητας, ή να λαμβάνεται μέριμνα, ώστε τυχόν 'διαταραχές' στο δίκτυο προώσεως να μην 'διαδίδονται' στο δίκτυο χρήσεως. Για δίκτυα Συνεχούς Ρεύματος δεν υπάρχουν ακόμη εν γένει ιδιαίτερες απαιτήσεις ποιότητας.

ε) Η διάταξη τέλος του ηλεκτρικού δικτύου πρέπει να μεγιστοποιεί την βιωσιμότητα του πλοίου.

Ελάχιστες απαιτήσεις σε καταστάσεις ανάγκης - Αντιμετώπιση.

Για παράδειγμα μπορεί να απαιτείται εκκίνηση κινητήρα προώσεως με μια μόνο γεννήτρια σε λειτουργική κατάσταση, η δυνατότητα τροφοδότησης του ενός δικτύου από το άλλο, η δυνατότητα ενός μόνο κινητήρα να μπορεί να κινήσει το πλοίο με μια ελάχιστη ταχύτητα, ή να απαιτείται οι (η) γεννήτριες(α) να μπορούν να τροφοδοτούν τα φορτία ανάγκης και ταυτόχρονα να κινήσουν το πλοίο με μια μικρή ταχύτητα (3-5 knots).

Ο τρόπος δράσης των μηχανημάτων, καθώς και ο (φυσικός) διαχωρισμός τους, όπως για παράδειγμα των πινάκων ηλεκτρικού δικτύου προώσεως και χρήσεως, των κινητήρων προώσεως και των ηλεκτρονικών διατάξεων οδήγησής τους.

Ως γενικοί κανόνες-απαιτήσεις αναφέρονται:

- α. αν υπάρχει αρκετός χώρος πρέπει οι πίνακες προώσεως και χρήσεως να διαχωρίζονται φυσικά.
- β. οι κινητήρες και οι αντίστοιχοι αντιστροφείς (inverters) πρέπει να τοποθετούνται σε διαφορετικούς υδατοστεγανει τομείς.
- γ. οι μετατροπείς (converters) πρέπει να τοποθετούνται κοντά στους κινητήρες για να μειώνεται το μήκος των καλωδίων.
- δ. τοποθέτηση των κινητήρων (που φυσικά υπαγορεύεται από την διάταξη των αξόνων) όσο πιο πρύμα γίνεται.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, σημαντικό πλεονέκτημα της ηλεκτροπρώσης είναι η ευχέρεια που παρέχεται στο σχεδιαστή σχετικά με τη διάταξη των υποσυστημάτων της. Έτσι είναι δυνατό οι γεννήτριες να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε απόσταση από τους κινητήρες, σχεδόν οπουδήποτε στο πλοίο, αρκεί να μην παραβιάζονται κλασσικοί κανόνες που σχετίζονται με την ευστάθεια του πλοίου, την ισοκατανομή των φορτίων στο πλοίο και την ευκολία επισκευής.

Σχετική Ορολογία

Δεδομένης της ραγδαίως αναπτυσσόμενης έρευνας επί των ηλεκτροπρωοσηρίων συστημάτων, είναι αναγκαίο να διευκρινισθούν οι παρακάτω βασικοί όροι που χρησιμοποιούνται συχνά στη βιβλιογραφία :

α. Πλήρης Ηλεκτροπρόωση (Full Electric Propulsion - F.E.P.):

Η εγκατάσταση προώσεως κατά την οποία το πλοίο κινείται αποκλειστικά από ηλεκτρικούς κινητήρες. Τα ζεύγη κινητηρίων μηχανών-γεννητριών που τροφοδοτούν τους κινητήρες προώσεως, υπάρχουν αποκλειστικώς για το σκοπό αυτό (δεν τροφοδοτούν άλλα φορτία). Η ηλ. ισχύς για όλους τους άλλους καταναλωτές του πλοίου παράγεται από άλλες γεννήτριες.

β. Ολοκληρωμένη Πλήρης Ηλεκτροπρόωση (Integrated Full Electric Propulsion - I.F.E.P.):

Η εγκατάσταση ηλεκτροπρόωσης στην οποία τα ίδια ζεύγη κινητηρίων μηχανών - γεννητριών, τροφοδοτούν τόσο τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως, όσο και τα υπόλοιπα ηλεκτρικά φορτία του πλοίου.

γ. Πλήρως Εξηλεκτρισμένο πλοίο (All Electric Ship -A.E.S.) :

Το πλοίο που διαθέτει ολοκληρωμένη πλήρη ηλεκτροπρόωση και που επιπλέον σε ευρεία έκταση επιτελεί τις λειτουργίες του μέσω ηλεκτρικών μηχανημάτων και συστημάτων.

δ. Ηλεκτρικό δίκτυο προώσεως (Propulsion Network):

Το τμήμα εκείνο (ανεξάρτητο ή 'ενσωματωμένο') του ηλεκτρικού δικτύου πλοίου που τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία που σχετίζονται με την πρόωση.

ε. Ηλεκτρικό δίκτυο χρήσεως (Ship Service System) :

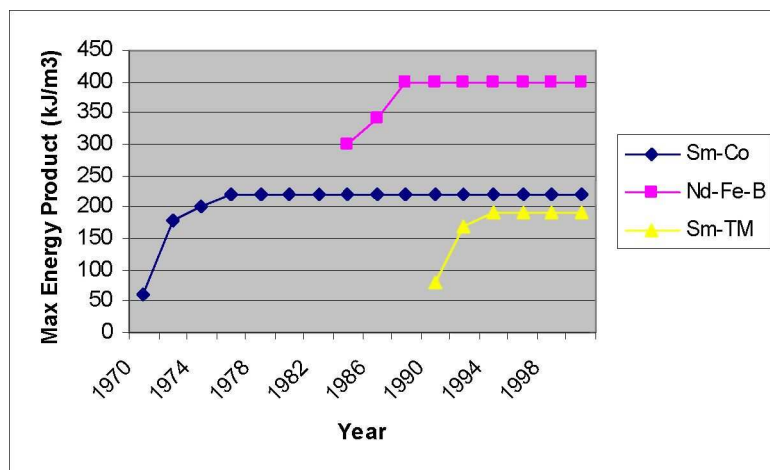
Το υπόλοιπο, πλην δικτύου προώσεως, ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου.

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

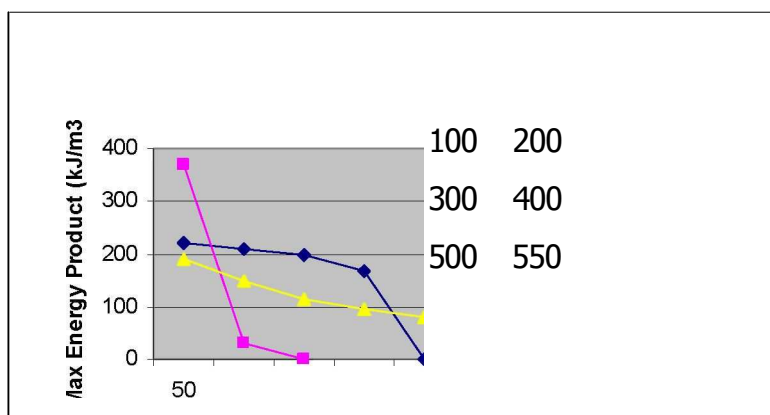
Ηλεκτρικοί Κινητήρες Πρόωσης

Η πλειονότητα των κινητήρων είναι σύγχρονοι, οι οποίοι έχουν βαθμό απόδοσης 96 - 98%, υψηλότερο κατά 3 - 4% από τον βαθμό απόδοσης κινητήρων επαγωγής. 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 σύγχρονων κινητήρων με μόνιμους μαγνήτες των οποίων η απόδοση σύμφωνα με τους κατασκευαστές τους υπερβαίνει το 98%!!

Σε αυτές τις σύγχρονες μηχανές, το τυλίγμα διεγέρσεως του δρομέα (που διαρρέεται από συνεχές ρεύμα) έχει αντικατασταθεί από μόνιμους μαγνήτες. 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. Το προφανές πλεονέκτημα των μηχανών αυτών είναι ότι δεν έχουν ανάγκη παροχής σε ΣΡ, ενώ με τον τρόπο αυτό αυξάνεται και η συνολική απόδοση καθώς μεταξύ των άλλων μειώνονται και οι συνολικές απώλειες Joule στα τυλίγματα. Η ιδέα της χρήσης μονίμων μαγνητών είναι παλιά ,αλλά η τεχνολογική πρόοδος τα τελευταία χρόνια είναι που κατέστησε δυνατή την κατασκευή κραμάτων "μονίμων μαγνητών" (κράματα σαμαρίου-κοβαλτίου, Sm-Co και νεοβιδίου-σιδήρου-βορίου, NdFeB) που έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν σταθερή τη μαγνήτισή τους για αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, όπως είναι αυτές που αναπτύσσονται στο εσωτερικό μίας στρεφόμενης μηχανής, Οι κινητήρες αυτοί, με κατάλληλη επιλογή τυλίγματος στάτη και πόλων δρομέα, μπορούν να παράγουν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ,συναγωνίζομενου έτσι μία συμβατική σύγχρονη μηχανή στα χαμηλά επίπεδα απότομων μεταβωλών ροπής (torque ripples) και μηχανικών δονήσεων (vibrations). Τα τελευταία χρόνια ερευνάται η χρησιμοποίηση ηλεκτρικών κινητήρων με υπεραγώγιμα υλικά ως κινητήρες πρόωσης, κυρίως στην Αμερική. Οι κινητήρες αυτοί, λόγω του ότι το υπεραγώγιμο υλικό παρουσιάζει μηδενική ηλεκτρική αντίσταση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, έχουν πολύ μεγάλη ισχύ ανά μονάδα όγκου σε σύγκριση με τους συμβατικούς κινητήρες. Θεωρούνται έτσι ιδανικοί για την πρόωση πολεμικών πλοίων, όπου ο χώρος είναι περιορισμένος, σε συνδυασμό με τις αυξημένες ανάγκες ισχύος. Η εταιρεία American Superconductor Inc. χρηματοδοτείται από το Αμερικανικό Πολεμικό Ναυτικό για να κατασκευάσει έναν κινητήρα πρόωσης ονομαστικής ισχύος 25MW.

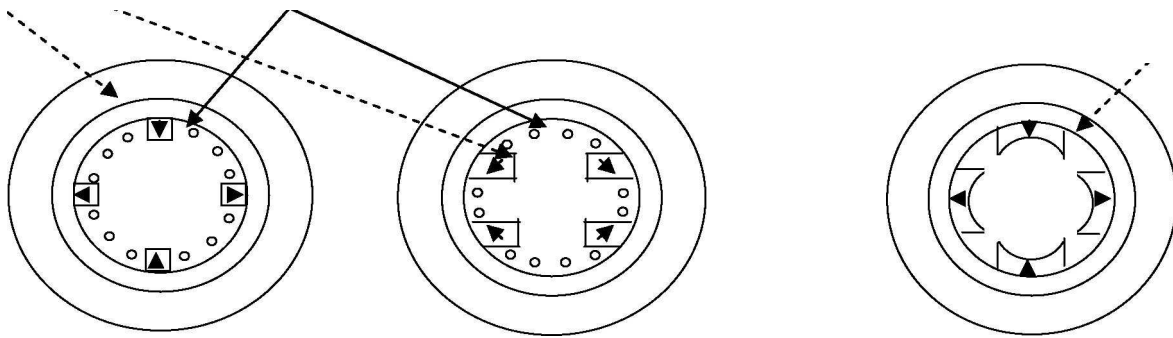


Σχήμα 4. Εξέλιξη τεχνολογίας μονίμων μαγνητών τα τελευταία 30 χρόνια.



Σχήμα 5. Επιδόσεις μονίμων μαγνητών ως προς τη θερμοκρασία

Μόνιμοι Μαγνήτες στο δρομέα Βοηθ. Τύλιγμα εκκινήσεως (κλωβός)



α

β

γ

Σχήμα 6. Διατάξεις σύγχρονων κινητήρων με μόνιμους μαγνήτες

α) οι μόνιμοι μαγνήτες στην εξωτερική επιφάνεια του δρομέα

β) οι μόνιμοι μαγνήτες στο εσωτερικό του δρομέα

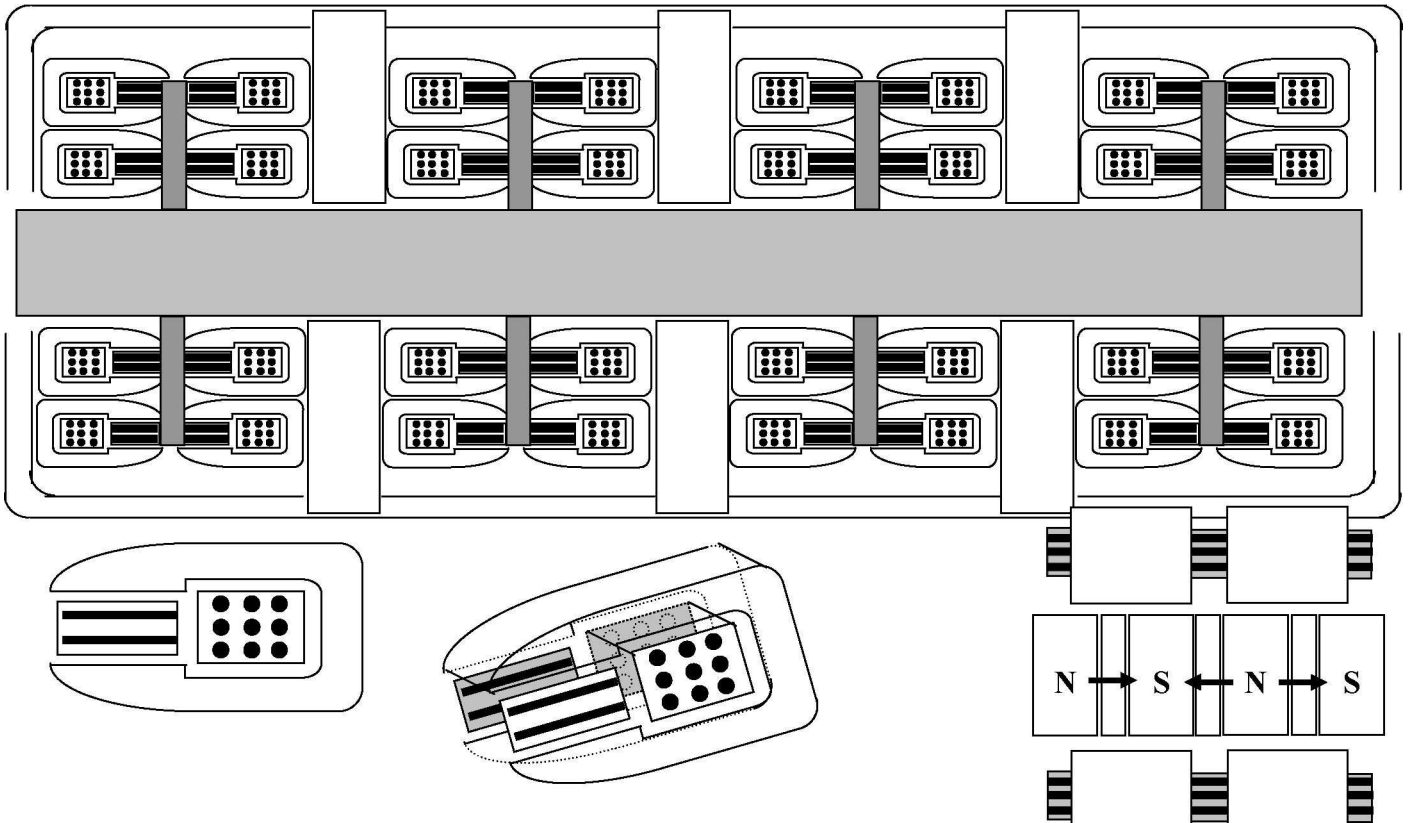
γ) οι μόνιμοι μαγνήτες στο εσωτερικό του δρομέα με διεύθυνση ροής εγκάρσια στον άξονα.

Κινητήρες αξονικής μαγνητικής ροής

Πρόκειται για κινητήρες στους οποίους η ωφέλιμη μαγνητική ροή είναι κατά την ακτινική διεύθυνση, δηλαδή όπως στις συνήθεις συμβατικές ηλεκτρικές μηχανές. Αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις τέτοιων κινητήρων είναι ο κινητήρας PERMASYN της εταιρείας SIEMENS, με μόνιμους μαγνήτες Sm-Co, που βρίσκει εφαρμογές πρόωσης μεταξύ άλλων σε υποβρύχια του ΠΝ. Ένας άλλος τύπος ηλεκτρικού κινητήρα πρόωσης είναι ο Εξελιγμένος Επαγωγικός Κινητήρας (Advanced Induction Motor-AIM) της ALSTOM, ο οποίος έχει επιλεγεί για την πρόωση της φρεγάτας (Type 45) του Βρετανικού Πολεμικού Ναυτικού. Προσφέρει υψηλές τιμές ισχύος και ροπής σε σύγκριση με έναν συμβατικό επαγωγικό κινητήρα ίδιας ονομαστικής ισχύος. Η διαφορά με τον κοινό 3-φασικό επαγωγικό κινητήρα είναι ότι προσφέρει την δυνατότητα λειτουργίας με 5, 10 ή 15 φάσεις, χρησιμοποιώντας τις αρμονικές του μαγνητικού πεδίου, με την βοήθεια εξελιγμένων ηλεκτρονικών ισχύος, για να αυξηθεί η ισχύς του κινητήρα.

Πολυβάθμιοι κινητήρες εγκάρσιας μαγνητικής ροής (transverse flux motors)

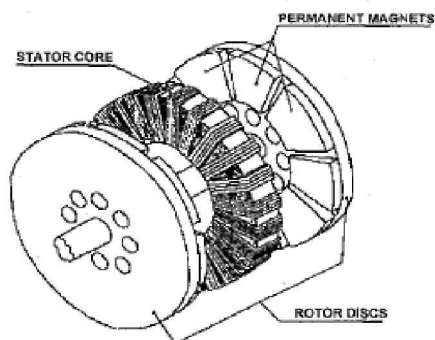
Οι κινητήρες αυτοί έχουν μόνιμους μαγνήτες στο δρομέα, προσανατολισμένους μάλιστα κατά τέτοιο τρόπο ώστε η μαγνητική ροή να ρέει μέσα στο διάκενο σε διεύθυνση εν μέρει κατά την αξονική διεύθυνση και κυρίως κάθετη-*εγκάρσια* προς τον άξονα της μηχανής.



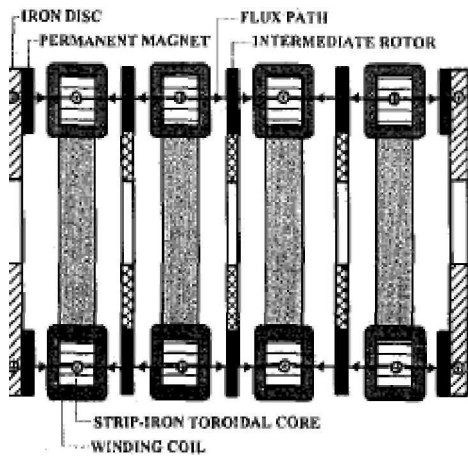
Σχήμα 7. Κινητήρας εγκάρσιας ροής

Πολυβάθμιοι κινητήρες αξονικής ροής (axial flux motors)

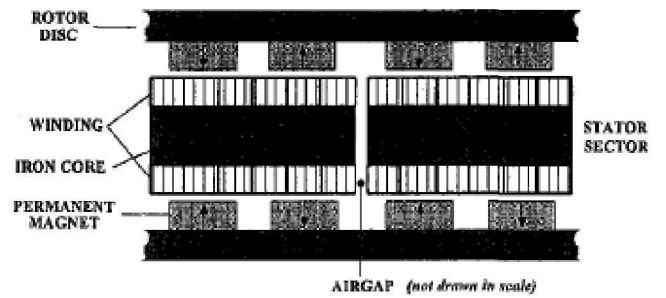
Οι κινητήρες αυτοί έχουν μόνιμους μαγνήτες στον δρομέα, προσανατολισμένους κατά τρόπο ώστε η μαγνητική ροή να ρέει σε διεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα της μηχανής (αξονική)



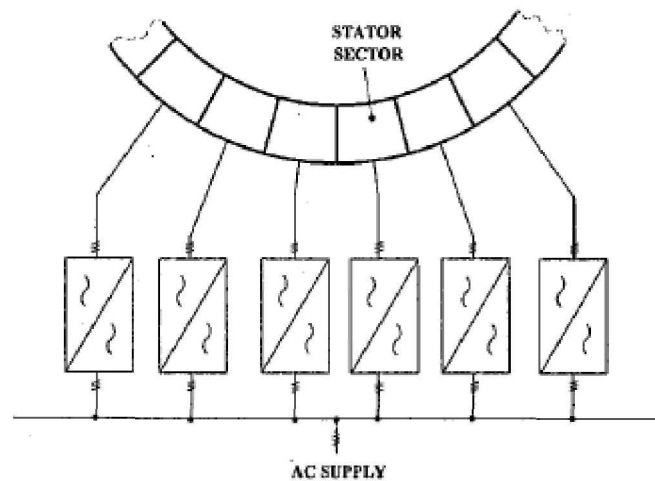
Σχήμα 8. Μηχανή αξονικής ροής [8]



Σχήμα 9. Κάθετη τομή κινητήρα αξονικής ροής με 4 σπονδύλους (modules).



Σχήμα 10. Διάταξη στάτη αποτελούμενου από 4 επιμέρους σπονδύλους κινητήρα αξονικής ροής.



Σχήμα 11. Διάταξη μετατροπέα συχνότητας κινητήρα αξονικής ροής [8].

Μετατροπείς Συχνότητας

Στις εγκαταστάσεις E.P., στις οποίες η συχνότητα του παραγομένου ρεύματος είναι σταθερή, η συνεχής ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα πρόωσης (και επομένως της έλικας) είναι δυνατή εάν αυτός τροφοδοτηθεί όχι απ' ευθείας από το δίκτυο αλλά από διάταξη μετατροπής της συχνότητας. Η διάδοση της ηλεκτρικής πρόωσης κατά τα τελευταία έτη ίσως δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τους μετατροπείς αυτούς.

Η θεμελιώδης διάταξη μετατροπής είναι η γέφυρα 6-παλμών (ανορθωτής αλλά και κυρίως αντιστροφέας). Ωστόσο για μείωση των αρμονικών παραμορφώσεων κατασκευάζονται πιο σύνθετες διατάξεις. Έτσι ένας αντιστροφέας 12 παλμών αποτελείται από δύο αντιστροφείς 6 παλμών, των οποίων οι αντίστοιχες φάσεις έχουν γωνιακή διαφορά 30°. Σε σύγχρονες ναυπηγήσεις αξιοποιούνται προς το παρόν έως και γέφυρες 24 παλμών.

Ακολουθεί μία συνοπτική περιγραφή ευρέως χρησιμοποιούμενων μετατροπέων ηλεκτρονικών ισχύος:

- **Ζεύγη ανορθωτών - αντιστροφέων SPWM**

Στις διατάξεις αυτές, αρχικά γίνεται ανόρθωση από EP σε ΣΡ και στη συνέχεια αντιστροφή από ΣΡ σε EP. Στον σύνδεσμο ΣΡ (DC-link) μεταξύ των δύο μετατροπέων παρεμβάλλεται κάποιο στοιχείο που διατηρεί σταθερή την τάση ή το ρεύμα που παρέχει ο μετατροπέας,

α) πηγές ρεύματος (CSI Current Source Inverters) με SPWM: στο DC-link παρεμβάλλεται πηνίο που διατηρεί το ρεύμα τροφοδοσίας σταθερό με αποτέλεσμα ο μετατροπέας εμφανίζεται να λειτουργεί ως πηγή (σταθερού) ρεύματος.

β) πηγές τάσεως (VSI Voltage Source Inverters) με SPWM: στο σύνδεσμο ΣΡ παρεμβάλλεται πυκνωτής που διατηρεί την τάση τροφοδοσίας σταθερή με αποτέλεσμα ο μετατροπέας να εμφανίζεται ότι λειτουργεί ως πηγή (σταθερής) τάσεως,

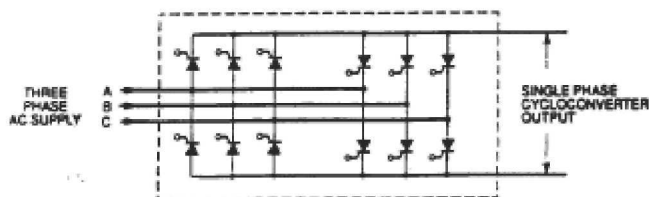
γ) συγχρομετατροπείς (synchro-converters) ή LCI (Load Commutated Inverters, LCI): πρόκειται για ειδική περίπτωση μετατροπέα πηγής ρεύματος (CSI) στην οποία όμως οι διακόπτες ισχύος κλείνουν μόνον με τη βοήθεια του φορτίου τους. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί το κύριο πλεονέκτημά τους, καθώς δεν απαιτούνται επιπλέον βοηθητικά

κυκλώματα σβέσεως. Βρίσκουν εφαρμογή σε προωστήρια συστήματα με σύγχρονους κινητήρες μεγάλης ισχύος.

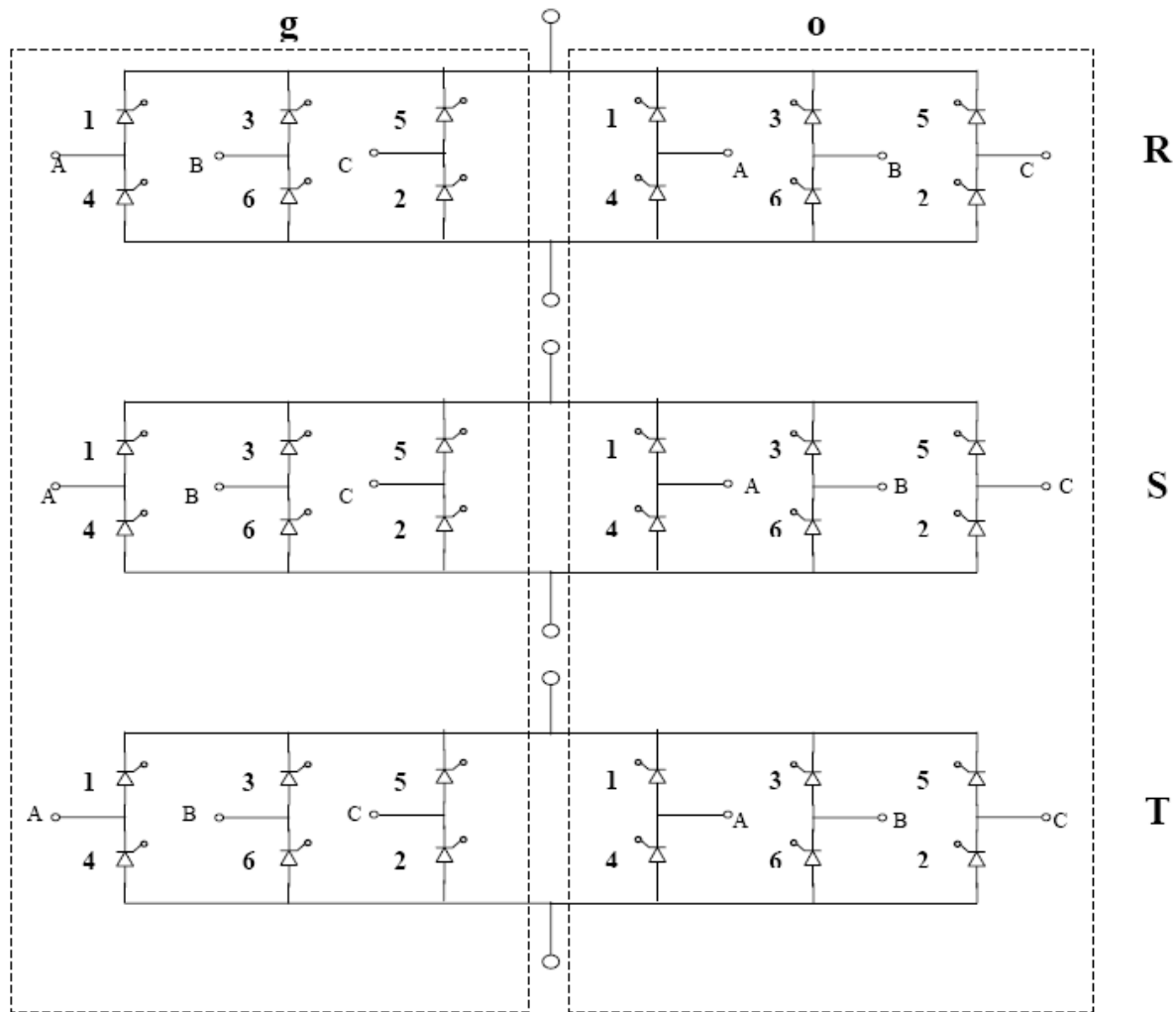
- **Κυκλομετατροπείς (cycloconverters):** με τις διατάξεις αυτές επιτυγχάνεται απευθείας μετατροπή από μία μορφή ΕΡ συγκριμένου πλάτους και συχνότητας σε άλλη μορφή ΕΡ διαφορετικού πλάτους και συχνότητας.
Στην περίπτωση των προωστήριων συστημάτων πλοίων, λαμβάνει χώρα υποβιβασμός συχνότητας (από 50/60 Hz σε 2-3 Hz).

Η απλή περίπτωση ενός τριφασικού κυκλομετατροπέα 6 παλμών (6-παλμικός) αποτελείται από 36 ελεγχόμενους διακόπτες ισχύος, 12 για κάθε φάση, βλ. Σχ. 12-13. Σε κάθε φάση αντιστοιχούν δύο γέφυρες διακοπών (g και o) με 6 διακόπτες η κάθε μία, βλ. Σχ. 13. Η μία γέφυρα είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία της κυματομορφής κατά τη θετική ημιπερίοδο και η άλλη κατά την αρνητική. Στις γέφυρες εισέρχονται όλες οι φάσεις εισόδου. Αντιπαράλληλα προς τους διακόπτες ισχύος, εν γένει, συνδέονται και δίοδοι ισχύος για να κυκλοφορούν αντίστροφης φοράς ρεύματα, προστατεύοντας τους ελεγχόμενους διακόπτες (στο Σχήμα 13 έχουν παραλειφθεί, για λόγους απλότητας).

Η τεχνική ελέγχου αγωγής των διακοπών ισχύος μπορεί να ποικίλλει και σε αυτήν την περίπτωση, ωστόσο έχει επικρατήσει μία αντίστοιχη μέθοδος της ημιτονοειδούς διαμόρφωσης εύρους παλμών των αντιστροφέν SPWM. Στην περίπτωση αυτή, το επιθυμητό σήμα σε μία φάση εξόδου συγκρίνεται με τις τάσεις όλων των φάσεων εισόδου και στα σημεία που εξισώνονται (σημεία τομής των κυματομορφών), παράγονται σήματα αλλαγής κατάστασης των αντίστοιχων διακοπών ισχύος.

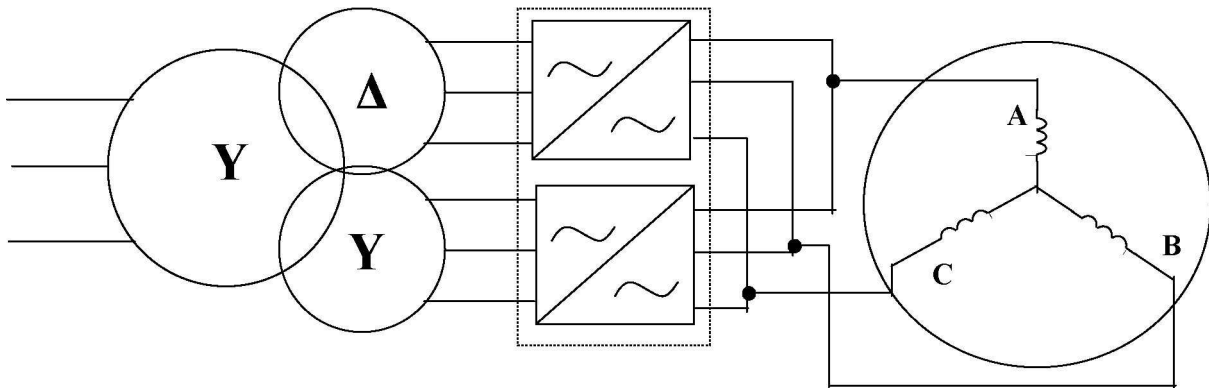


Σχήμα.12



Σχήμα 13. Τυπικός τριφασικός κυκλομετατροπέας 6 παλμών.
 Με A, B, C συμβολίζονται οι τρεις φάσεις εισόδου ενώ με R, S, T οι τρεις φάσεις εξόδου.
 Οι φάσεις εξόδου μπορεί να συνδεθούν στο φορτίο σε συνδεσμολογία Υ ή Δ.

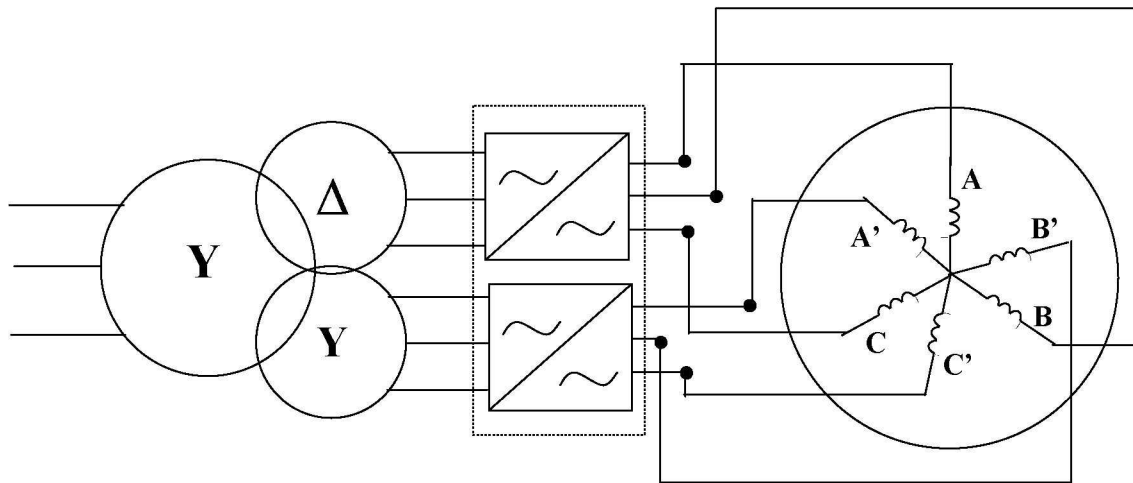
Με A, B, C συμβολίζονται οι τρεις φάσεις εισόδου ενώ με R, S, T οι τρεις φάσεις εξόδου. Οι φάσεις εξόδου μπορεί να συνδεθούν στο φορτίο σε συνδεσμολογία Υ ή Δ.



Σχήμα 15

Ένας κυκλομετατροπέας 12 παλμών αποτελείται από δύο κυκλομετατροπείς 6 παλμών των οποίων οι αντίστοιχες φάσεις έχουν γωνιακή διαφορά 30°. Η διαφορά αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός μετασχηματιστή με δύο δευτερεύοντα τυλίγματα, από τα οποία το ένα είναι σε συνδεσμολογία κατά Y ενώ το άλλο κατά Δ. Οι έξοδοι του κυκλομετατροπέα 12 παλμών μπορεί να τροφοδοτούν είτε ένα απλό τριφασικό τύλιγμα κινητήρα, βλ. Σχήμα 14, είτε το διπλό τριφασικό τύλιγμα ενός ειδικού τύπου κινητήρα,

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται περαιτέρω μείωση των αρμονικών παραμορφώσεων.



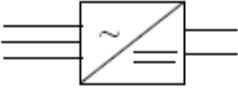
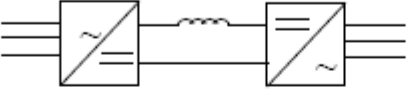
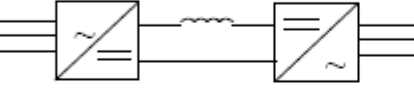
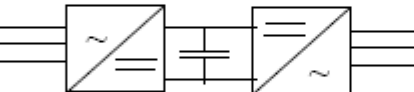
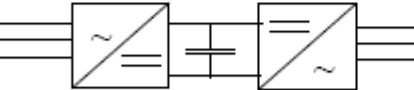
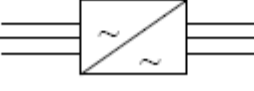
Σχήμα 16 Κυκλομετατροπέας 12 παλμών που τροφοδοτεί 2X3φ-κινητήρα (τα δύο τριφασικά τυλίγματα είναι σε γωνία μεταξύ τους π.χ. 30°)

Οι κυκλομετατροπείς πλεονεκτούν στο ότι παράγουν κυματομορφές με πολύ μικρή παραμόρφωση, αλλά είναι πολυδάπανες διατάξεις με πολλούς διακόπτες ισχύος ενώ κατά

τη μεταγωγή των διακοπών απαιτείται αυξημένη ακρίβεια συντονισμού από τα κυκλώματα ελέγχου.

Μιτροειδείς μετατροπείς (matrix converters): Πρόκειται για εναλλακτική αλλά πιο γενικευμένη διάταξη των κυκλομετατροπέων, που ενδεχομένως να επικρατήσει, καθώς δίνει τη δυνατότητα σε όλες τις φάσεις εξόδου να τροφοδοτηθούν απευθείας από όλες τις φάσεις εισόδου κατά τρόπο που καθορίζεται με ακρίβεια από το κύκλωμα ελέγχου. Η ουσιαστική διαφορά από τους κυκλομετατροπείς είναι στον αλγόριθμο ελέγχου εναύσεως / σβέσεως, που ακόμη βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο και επιτρέπει σε κάθε στιγμή την αντιστροφή ακολουθίας των φάσεων εξόδου σε σχέση με τις φάσεις εισόδου καθώς και την τροποποίηση των γωνιακών αποκλίσεων μεταξύ των τάσεων εισόδου και εξόδου με σκοπό τη ρύθμιση των συντελεστών ισχύος και στις δύο πλευρές. Προς το παρόν καμιά τέτοια διάταξη δεν έχει ενσωματωθεί σε προγράμματα ανάπτυξης για πρωσθήριες διατάξεις ηλεκτρικών κινητήρων, λόγω τεχνολογικών αδυναμιών υλοποίησης, παρόλο που σε διεθνή συνέδρια έχουν προταθεί αξιόλογες μέθοδοι ελέγχου (π.χ. μέθοδος Venturini) με πολύ θετικές προοπτικές. Παρόμοια με τους κυκλομετατροπείς, οι μεταγωγές καταστάσεων (από αγωγή σε σβέση και το αντίστροφο) των ηλεκτρονικών διακοπών ενέχουν τον κίνδυνο βραχυκυκλωμάτων μεταξύ των φάσεων.

Πίνακας 1. Συγκεντρωτική παρουσίαση διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος για ηλεκτρική πρόωση .

Μετατροπέας	Διάταξη	Μέγιστη ισχύς	Κυριαρχούσες αρμονικές
Ανορθωτής		>6 MVA	$6.n.f_i$
Αντιστροφέας CSI		1 MVA	$(3k\pm 1).f_0$
Αντιστροφέας LCI		>30 MVA	$(3k\pm 1).f_0$
Αντιστροφέας VSI		2 MVA	$(3k\pm 1).f_0$
Αντιστροφέας PWM		2 MVA (IGBT) 6 MVA (GTO)	$2.n.f_0$
Κυκλομετατροπέας		>30 MVA	$6.n.f_i \pm (2.p+1).f_0$
$n=1,2,3,\dots k=2,4,6,\dots p=0,1,2,3,\dots f_i=\text{συχνότητα εισόδου } f_0=\text{συχνότητα εξόδου}$			

Τεχνικές Ελέγχου Κινητήρων Πρόωσης ΕΡ

Ο έλεγχος της ταχύτητας και της ροπής ενός κινητήρα ΕΡ είναι αρκετά πιο σύνθετος από την περίπτωση των κινητήρων ΣΡ, όπου η ροπή, M , προκύπτει ως μία ποσότητα ανάλογη του γινομένου του ρεύματος τυλίγματος διεγέρσεως (πεδίου), I_f και του ρεύματος τυλίγματος τυμπάνου, I_A :

$$M=k \cdot I_f \cdot I_A$$

όπου k σταθερά που εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής.

Στη συνέχεια ακολουθεί μία συνοπτική περιγραφή όλων των μεθόδων ελέγχου κινητήρων ΕΡ με έμφαση σε αυτές που εφαρμόζονται σε κινητήρες ηλεκτροπρόωσης.

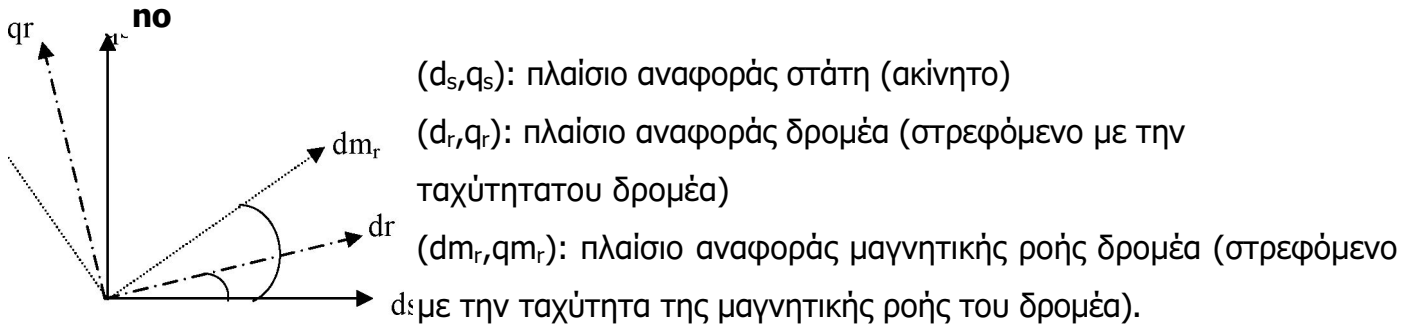
- **Βαθμωτός έλεγχος ανοικτού ή κλειστού βρόχου V/F (scalar control):** -μη εφαρμόσιμος στην περίπτωση της πρόωσης -: απλά ως αναφορά δίνεται η επιθυμητή μηχανική ταχύτητα χωρίς να λαμβάνεται μέτρηση της πραγματικής ταχύτητας. Η τάση μεταβάλλεται αναλογικά προς την επιθυμητή ταχύτητα σε μία προσπάθεια να μην μεταβάλλεται η ροπή. Σε μία παραλλαγή αυτής της μεθόδου, λαμβάνεται μέτρηση της πραγματικής ταχύτητας, που συγκρινόμενη με την επιθυμητή ταχύτητα, παράγει ένα σήμα σφάλματος. Το σήμα αυτό οδηγείται σε έναν ελεγκτή ΡΙ και παράγεται κατάλληλο σήμα εναύσεως των διακοπών ισχύος. Το ίδιο σήμα ρυθμίζει και την τάση, σε μία προσπάθεια να μην μεταβάλλεται η ροπή στον άξονα.
- Έλεγχος με **SPWM και CSI (μαζί με συγκριτές υστερήσεως):** η στιγμιαία τιμή του ρεύματος εισόδου ελέγχεται συνεχώς, ώστε να κυμαίνεται μεταξύ δύο οριακών τιμών κατωφλίου. Σε κάθε προσπάθεια του ρεύματος να υπερβεί τα όρια αυτά, παράγεται σήμα από τον ελεγκτή PWM, που δίνει εντολή στους διακόπτες να άγουν κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αναιρεθεί η εν λόγω προδιάθεση του ρεύματος.
- **Διανυσματικός έλεγχος (vector control):** όπως προαναφέρθηκε, ο έλεγχος γίνεται όπως στη μηχανή ΣΡ ξένης διεγέρσεως, όπου η ροπή, M , προκύπτει ως μία ποσότητα ανάλογη του γινομένου του ρεύματος τυλίγματος διεγέρσεως (πεδίου), I_f και του ρεύματος τυλίγματος τυμπάνου, I_A :

$$M=k \cdot I_f \cdot I_A$$

Στην μηχανή ΣΡ όμως τα δύο ηλεκτρομαγνητικά πεδία είναι σταθερά στο χώρο και σε 90ο μεταξύ τους. Αντιθέτως, στις μηχανές ΕΡ, τα πεδία αφενός στρέφονται και αφετέρου η μεταξύ τους γωνία μεταβάλλεται με τις μεταβολές στις φορτίσεις. Είναι όμως μαθηματικά δυνατόν, να αποσυζευχθούν τα ρεύματα στάτη και δρομέα σε ένα πλαίσιο αναφοράς που στρέφεται είτε με την ταχύτητα του δρομέα είτε με οποιαδήποτε άλλη ταχύτητα κατά τρόπον ώστε να θεωρηθούν ακίνητα. Κάθε ρεύμα φάσεως αναλύεται σε δύο επιμέρους διανυσματικές συνιστώσες, τη συνιστώσα ευθέως άξονα (direct axis, d) και τη συνιστώσα εγκάρσιου άξονα (quadrature axis, q). Οι συνιστώσες αυτές είναι κάθετες μεταξύ τους και διατηρούνται ακίνητες ως προς το στρεφόμενο πλαίσιο αναφοράς. Σημειώνεται ότι ενώ αυτός ο μαθηματικός μετασχηματισμός αποσύζευξης ήταν γνωστός εδώ και 50 χρόνια τουλάχιστον, η υλοποίησή του, όμως με ηλεκτρονικά κυκλώματα σε πραγματικό χρόνο περιστροφής των κινητήρων κατέστη δυνατή μόλις τα τελευταία 15 χρόνια. Η μεθοδολογία του μετασχηματισμού αποσύζευξης διαφέρει με τον τύπο της μηχανής (σύγχρονη ή ασύγχρονη) όπως εξηγείται και στη συνέχεια. Γενικά έχουν αναπτυχθεί διάφορες παραλλαγές, ανάλογα με την εκλογή του στρεφόμενου πλαισίου αναφοράς από τις οποίες η πλέον διαδεδομένη είναι η μέθοδος ελέγχου με προσανατολισμό στο διάνυσμα της πεπλεγμένης ροής του δρομέα ή *έλεγχος πεδίου (field control)*, που αναλύεται στη συνέχεια.

Έλεγχος πεδίου (field control)

Ως πλαίσιο αναφοράς εκλέγεται αυτό που στρέφεται με το διάνυσμα της πεπλεγμένης ροής του δρομέα, βλ. Σχήμα 17.



Στην περίπτωση σύγχρονης μηχανής, τα πλαίσια (d_r, q_r) και (d_{m_r}, q_{m_r}) συμπίπτουν. **Σχήμα 17.** Πλαίσια αναφοράς για διανυσματικό έλεγχο κινητήρων ΕΡ. Ο διανυσματικός έλεγχος πεδίου του κινητήρα διακρίνεται περαιτέρω σε άμεσο και έμμεσο έλεγχο. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία του *άμεσου ελέγχου* η μαγνητική ροή προσδιορίζεται είτε με απευθείας μέτρηση της, είτε με χρήση μαθηματικού μοντέλου μαγνητικής ροής. Αντιθέτως, κατά τον *έμμεσο έλεγχο*, η μαγνητική ροή υπολογίζεται έμμεσα από μετρήσεις άλλων μεγεθών καθώς μετρώνται τα ρεύματα στο τυλιγμά του στάτη και η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα. Η ροπή του κινητήρα επαγωγής προκύπτει να είναι το γινόμενο δύο συνιστωσών του ρεύματος του στάτη, όπως αυτό αναλύεται στο πλαίσιο αναφοράς (d_{m_r}, q_{m_r}) που στρέφεται με το διάνυσμα της μαγνητικής ροής του δρομέα:

$$M = k \cdot i_{s, d_{m_r}} \cdot i_{s, q_{m_r}}$$

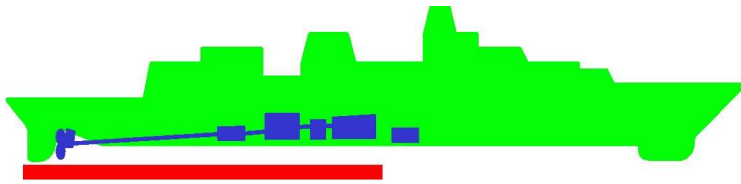
Σημειώνεται ότι η μέτρηση του διανύσματος μαγνητικής ροής (κατά μέτρο και γωνία) και δη στον στρεφόμενο δρομέα είναι εξαιρετικά δύσκολο να γίνει (υπεισέρχεται μεγάλο ποσοστό θορύβου, ενώ πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς οι μεταβολές των τιμών R και L των τυλιγμάτων διότι με την περιστροφή μεταβάλλονται λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών). Ως μειονέκτημα της μεθόδου σημειώνεται ο μεγάλος αριθμός αισθητήρων, μετατροπέων και μετρητικών, που πέραν της πολυπλοκότητας που εισάγουν, αυξάνουν το κόστος αλλά και τον χρόνο απόκρισης των διατάξεων ελέγχου. Επιπλέον, με τη μέθοδο του διανυσματικού ελέγχου η ροπή ελέγχεται μόνον

με έμμεσο τρόπο χωρίς να αποφεύγονται και κραδασμοί (torque ripples).

- **Απευθείας έλεγχος ροπής (direct torque control DTC):** πρόκειται για ουσιαστική εξέλιξη της μεθόδου του διανυσματικού ελέγχου πεδίου (vector field control). Έτσι, και σε αυτήν την περίπτωση, οι τάσεις και τα ρεύματα του στάτη μετρώνται και μετασχηματίζονται σε στρεφόμενο πλαίσιο αναφοράς, όμως μετράται ή καλύτερα υπολογίζεται η μαγνητική ροή στον στάτη, καθώς επίσης και η τιμή της ροπής στον άξονα του κινητήρα. Από τη σύγκριση των μεγεθών μαγνητικής ροής και ροπής με τις επιθυμητές τους τιμές παράγονται τα σήματα ελέγχου των μετατροπέων (για έναυση και σβέση των διακοπών). Η διαδικασία σύγκρισης στηρίζεται σε μη γραμμικές συναρτήσεις και έχει το πλεονέκτημα ότι αξιοποιεί τη διακριτή στον χρόνο συμπεριφορά των διακοπών ισχύος, αυξάνοντας τελικά τη συνολική απόδοση. Η τεχνική αυτή έχει ήδη αρχίσει να εφαρμόζεται σε πλοία με ηλεκτρική πρόωση, και πιο συγκεκριμένα με αζιμουθιακό προωστήριο σύστημα, σε συνδυασμό με σύγχρονο κινητήρα μονίμων μαγνητών (Azipod, εταιρεία ABB) και κυκλομετατροπείς. Η μέθοδος πλεονεκτεί έναντι του διανυσματικού ελέγχου, καθώς ελέγχει απευθείας τη ροπή εξόδου του κινητήρα, έχει πολύ μικρότερες απαιτήσεις σε μετρήσεις και υπολογισμούς μεγεθών (π.χ. δεν είναι απαραίτητη η μέτρηση της ταχύτητας περιστροφής), ενώ η παραγόμενη ροπή είναι πλέον εφικτό να μην εμπεριέχει μεγάλες αιχμές (torque ripples).

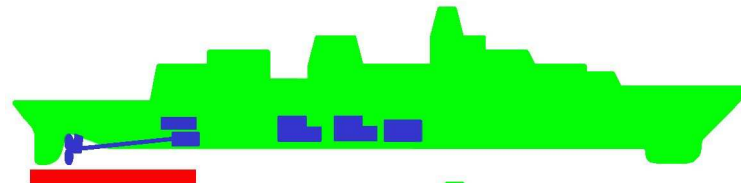
Συνεργασία έλικα - κινητήρα πρόωσης

Στα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης συγκαταλέγεται και η ουσιαστική μείωση του αξονικού συστήματος των πλοίων, βλ. Σχ. 18.



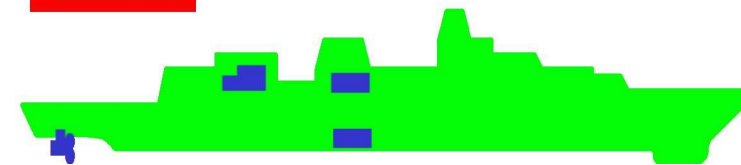
του αξονικού συστήματος των πλοίων, βλ. Σχ. 18.

Συμβατική Πρόωση με Αξονικό Σύστημα



IFEP-Σύστημα Πρόωσης

IFEP-Pod Σύστημα Πρόωσης (με αζιμουθιακό προωστήρα)



Σχήμα 18. Συγκριτική παρουσίαση

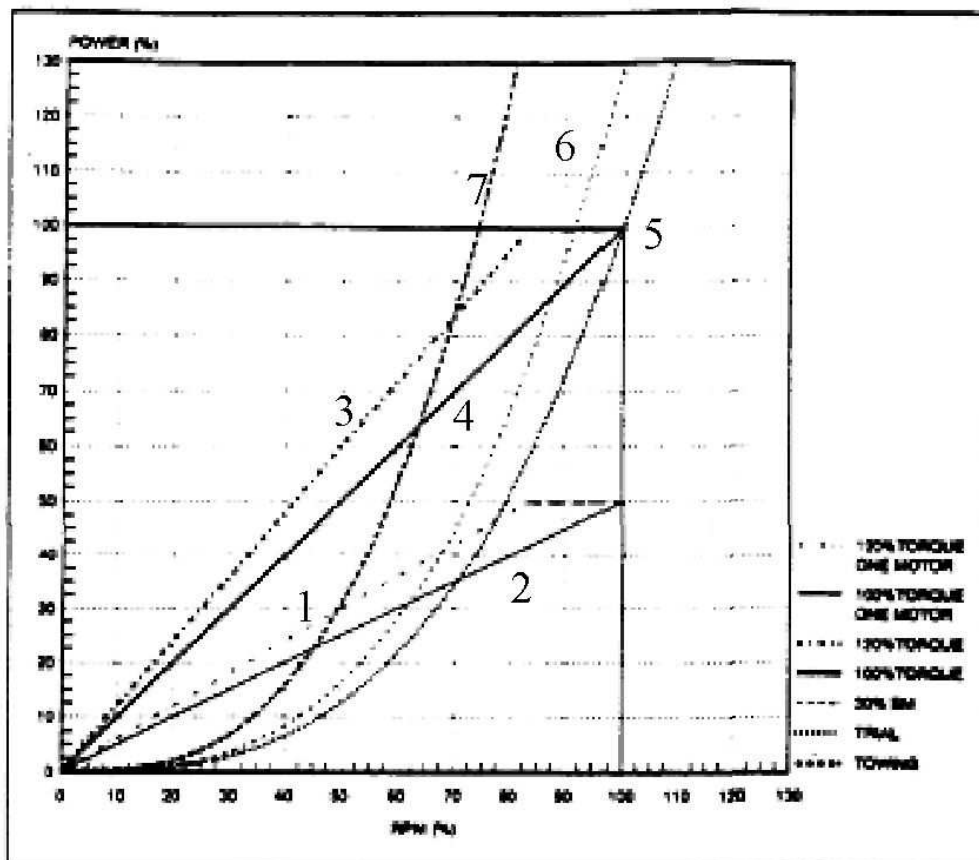
αξονικών συστημάτων πλοίων

Τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης έχουν το πλεονέκτημα συνεχούς μεταβολής των στροφών σχεδόν σε όλο την περιοχή 0-100%. Επιπλέον, το 100% της ροπής μπορεί συνήθως να χρησιμοποιηθεί σε όλο το πεδίο λειτουργίας. Για λόγους ασφαλείας, η έλικα κινείται από δύο (ή και περισσότερους) ηλεκτροκινητήρες ίσης ισχύος. Όσον αφορά την έλικα ως μηχανικό φορτίο, ακολουθεί τον λεγόμενο «νόμο της έλικας» δηλ. η μηχανική ροπή ανάλογη του τετραγώνου της μηχανικής ταχύτητας, όπως περίπου και οι φυγοκεντρικές αντλίες και οι ανεμιστήρες, αλλά μπορεί η χαρακτηριστική αυτή να είναι σταθερή (έλικα σταθερού βήματος) ή να μεταβάλλεται, με αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων της (έλικα μεταβλητού βήματος).

Έλικα Σταθερού Βήματος

Καθώς η επιτάχυνση δέν είναι δυνατή, η έλικα σχεδιάζεται έτσι ώστε να απορροφά τη μέγιστη συνεχή ισχύ (σημείο MCR) σε κατάσταση δοκιμών, δηλ. πλήρες φορτίο, με καθαρή γάστρα και ήρεμο καιρό. Προκειμένου να είναι δυνατή η λειτουργία με πλήρη ισχύ σε δυσμενείς συνθήκες, το σύστημα πρόωσης συνήθως υπολογίζεται για τιμή κατά 10 - 20% μεγαλύτερη της ονομαστικής, χωρίς αύξηση της ισχύος πέρα από τη μέγιστη συνεχή (MCR). Αυτό σημαίνει υπερδιαστασιολόγηση έλικας αξονικού συστήματος - μειωτήρα - κινητήρα - μετατροπέα κατά 10 - 20%.

Το Σχήμα 19 απεικονίζει τις καμπύλες απαιτούμενης ισχύος σε διάφορες καταστάσεις, καθώς και τα όρια του πεδίου λειτουργίας με έναν ή δύο ηλεκτροκινητήρες συνδεδεμένους στην ίδια έλικα.

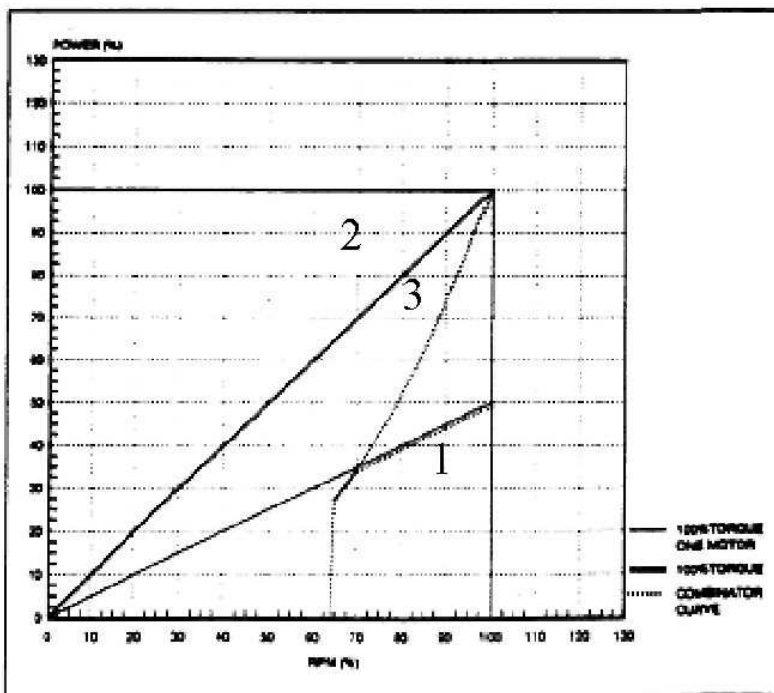


1. Λειτουργία ενός ηλεκτρικού κινητήρα σε ροπή 120%
2. Λειτουργία ενός ηλεκτρικού κινητήρα σε ροπή 100%
3. Λειτουργία δύο ηλεκτρικών κινητήρων σε ροπή 120%
4. Λειτουργία δύο ηλεκτρικών κινητήρων σε ροπή 100%
5. Λειτουργία 30% SM
6. Δοκιμή στη θάλασσα
7. Δοκιμή ρυμούλκησης

Σχήμα 19. Πεδίο λειτουργίας με έναν ή δύο ηλεκτροκινητήρες πρόωσης και έλικα σταθερού βήματος .

Έλικα Ρυθμιζομένου Βήματος

Το σύστημα είναι συχνά (ή θα έπρεπε να είναι) εφοδιασμένο με διάταξη αυτόματης επιλογής του συνδυασμού βήματος - στροφών έλικας στο διάστημα 65 - 100% των στροφών, ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη λειτουργία και η καλύτερη δυνατή απόκριση κατά τους χειρισμούς. Όταν η έλικα είναι ρυθμιζομένου βήματος δεν απαιτείται περιθώριο ροπής, διότι η μέγιστη ισχύς μπορεί σχεδόν πάντοτε να απορροφηθεί με ρύθμιση του βήματος.



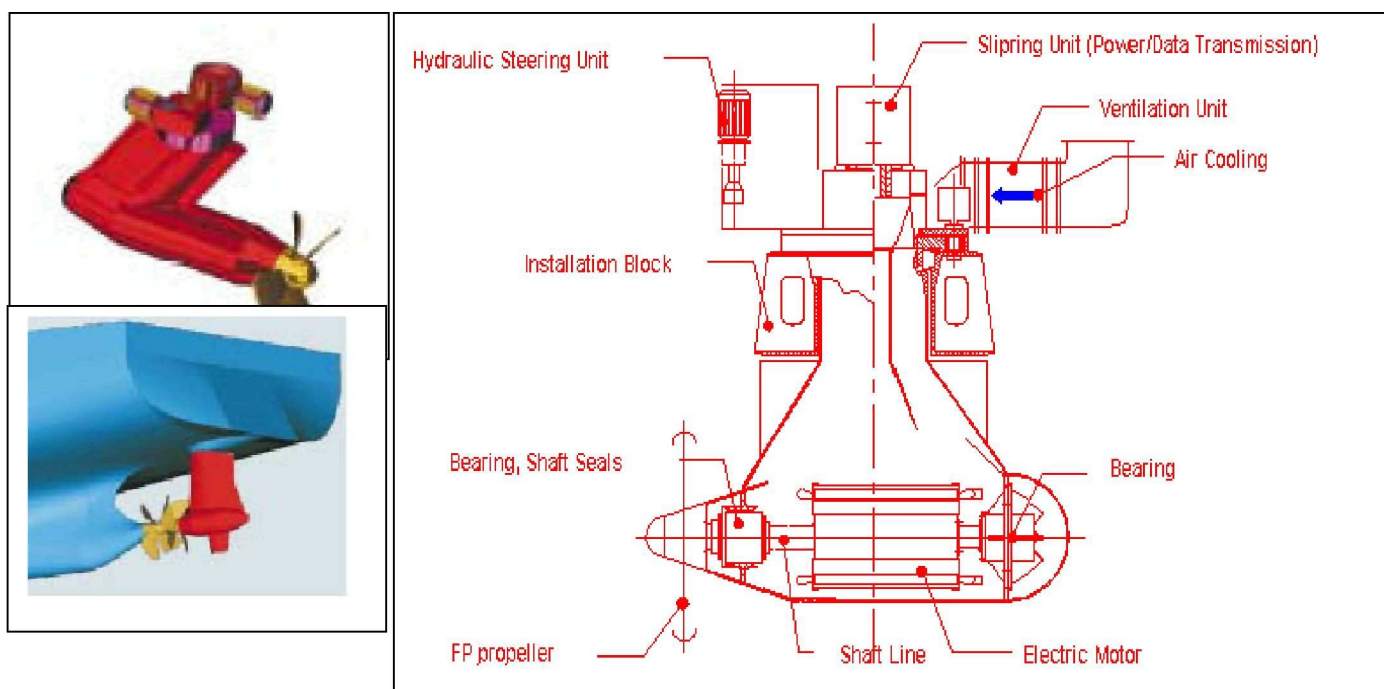
Λειτουργία ενός ηλεκτρικού κινητήρα σε ροπή 100%
Λειτουργία δύο ηλεκτρικών κινητήρων σε ροπή 100%
Συνδυασμένη λειτουργία

Σχήμα 20. Πεδίο λειτουργίας με έναν ή δύο ηλεκτροκινητήρες πρόωσης και έλικα ρυθμιζομένου βήματος .

Το Σχήμα 20 απεικονίζει την καμπύλη της έλικας που προκύπτει με διάταξη αυτόματης επιλογής του συνδυασμού βήματος - στροφών , καθώς και τα όρια του πεδίου λειτουργίας με έναν ή δύο ηλεκτροκινητήρες συνδεδεμένους στην ίδια έλικα.

Το Αζιμουθιακό Προωστήριο Σύστημα (POD)

Την τελευταία δεκαετία και παράλληλα με την εισαγωγή της ηλεκτρικής πρόωσης, εμφανίστηκε μία εναλλακτική λύση για το προωστήριο σύστημα, που έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα ηλεκτρικού κινητήρα και έλικας είναι μία ενιαία μονάδα, εμβαπτισμένη στο νερό στο πρυμναίο μέρος του πλοίου, όπως στις εξωλέμβιες, Σχ. 20. Το σύστημα μπορεί να φέρει μία ή δύο έλικες και έχει τη δυνατότητα να στρέφεται σχεδόν κατά 360ο κατά την αζιμουθιακή διεύθυνση (από όπου προέρχεται και το όνομά του), δηλ. στο οριζόντιο επίπεδο, αυξάνοντας σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες ελιγμών του πλοίου, ενώ αφενός πρακτικά εκμηδενίζεται το αξονικό σύστημα και αφετέρου δεν υφίσταται μηχανισμός πηδαλίου.



Σχήμα 20. Αζιμουθιακό προωστήριο σύστημα με μία έλικα (Azipod-εταιρία ABB Marine) παρόμοιο είναι και το σύστημα Mermaid των εταιριών Kamewa - Alstom

Η ηλεκτροπρόωση είναι, για διαφόρους λόγους, ή σχεδόν αποκλειστική επιλογή για την πρόωση υποβρύχιων οχημάτων όπως π.χ. σε βαθυσκάφη, σε «κλασσικά» - δηλ. μη πυρηνικά - υποβρύχια πολεμικά πλοία κλπ. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει στο να έχουν τα υποβρύχια ένα αυξημένο βαθμό «εξηλεκτρισμού» με ενδιαφέροντα από τεχνολογικής σκοπιάς Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (μεγάλης ισχύος ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, μεγάλης χωρητικότητας σε Ah ηλ. συσσωρευτές, μεγάλης ισχύος ηλ. κινητήρες πρόωσης κλπ). Τα τελευταία μάλιστα χρόνια έχουμε μετάβαση από τους κινητήρες ΣΡ σε κινητήρες ΕΡ με ευρεία χρήση διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος. Στην παρούσα εργασία γίνεται παρουσίαση των συστημάτων ηλεκτροπρόωσης των Υποβρυχίων (Υ/Β) του Ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού (Π.Ν.) : Υ/Β κλάσεως U209 με ηλεκτροκινητήρα ΣΡ, εκσυγχρονιζόμενων (με το πρόγραμμα NEPTUNE-II) Υ/Β κλάσεως U209 με την προσθήκη Κυψελών Καυσίμου (PEM Fuel Cell) και νέα Υ/Β κλάσεως U214 με ηλεκτροκινητήρα ΕΡ (σύγχρονος κινητήρας με μόνιμους μαγνήτες) και με Κυψέλες Καυσίμου (PEM Fuel Cell).

Η πρόωση των Υ/Β και η χρήση συστημάτων Α.Ι.Ρ. διεθνώς

Τα υποβρύχια (Υ/Β) είναι πλοία που έχουν την δυνατότητα πλεύσης τόσο στην επιφάνεια της θαλάσσης όσο και κάτω από αυτή. Τα σύγχρονα υποβρύχια χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες : τα συμβατικά στα οποία η ισχύς για την πρόωση (και τις άλλες ανάγκες) προέρχεται από ηλεκτρικούς συσσωρευτές («μπαταρίες») και άρα είναι περιορισμένη και τα πυρηνικά, στα οποία η ισχύς πρόωσης προέρχεται από πυρηνικό αντιδραστήρα και είναι πρακτικά απεριόριστη. Στα συμβατικά Υ/Β και κατά τις επιχειρήσεις οι ηλ. συσσωρευτές (συνήθως Pb, ~30 Wh/kg) φορτίζονται σε περισκοπικό βάθος από μηχανές Diesel που είναι συνδεδεμένες με ηλ. γεννήτριες DC ή AC.

Ο απαραίτητος αέρας για τις μηχανές εισέρχεται μέσω ενός ανερχόμενου ιστού, του *αναπνευστήρα* , ενώ τα καυσαέρια εξέρχονται, από άλλο δίκτυο, κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας για την καλύτερη διασπορά και μείωση της θερμικής υπογραφής του Υ/Β. Ο αέρας για τις ανάγκες του πληρώματος καλύπτεται από την ποσότητα του αέρα που εγκλωβίζεται στο εσωτερικό του Υ/Β, η οποία ανακυκλώνεται συνεχώς μέσω φίλτρων δεσμεύσεως του CO₂ και η οποία μπορεί και να εμπλουτισθεί με οξυγόνο. Η αυτονομία του υποβρυχίου εξαρτάται από το ποσοστό φόρτισης των ηλ. συσσωρευτών και από τη διαχείριση ενέργειας που με τη σειρά της εξαρτάται από τις επιχειρησιακές ανάγκες. Τα Υ/Β καθίστανται πολύ ευάλωτα την στιγμή που εκτελείται ανανέωση των ενεργειακών αποθεμάτων και της εσωτερικής ατμοσφαιράς, με τη χρήση του αναπνευστήρα, διότι μπορούν να εντοπισθούν ποικιλοτρόπως από πλοία (συμπεριλαμβάνονται τα άλλα Υ/Β), αεροπλάνα, ελικόπτερα και δορυφόρους. Ο εντοπισμός τους γίνεται είτε οπτικά, είτε με τη χρήση Radar, είτε από την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπουν τα καυσαέρια και το νερό ψύξης των μηχανών, αλλά και κυρίως από τον ακουστικό θόρυβο. Παράλληλα το Υ/Β που εκτελεί φόρτιση με αναπνευστήρα, είναι σε μεγάλο ποσοστό ανίκανο να ανιχνεύσει την παρουσία άλλων Υ/Β λόγω του μεγάλου ιδιοθορύβου.

Για τους παραπάνω λόγους, η ανάγκη των συμβατικών Υ/Β για μεγαλύτερη αυτονομία εν καταδύσει έχει οδηγήσει ήδη από την δεκαετία του '30 στη αναζήτηση διαφόρων μορφών πρόωσης ανεξάρτητης του ατμοσφαιρικού αέρα -αναερόβια πρόωση - (Α.Ι.Ρ. : Atmosphere Independent Power) για την πρόωση των Υ/Β εν καταδύσει ενώ οι ηλ. συσσωρευτές εξακολουθούν να είναι η κύρια πηγή ενέργειας. Από τα μέσα της δεκαετίας του '30 το Γερμανικό Ναυτικό προσπάθησε να αναπτύξει συστήματα αναερόβιας πρόωσης. Το 1939 το σύστημα του Walter (Walter type XVIIIB) διέθετε στρόβιλο που λειτουργούσε εν καταδύσει με υπεροξειδίο του υδρογόνου (H₂O₂).

Μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο το Βρετανικό Ναυτικό, με τα υποβρύχια HMS

Explorer και HMS Excalibur, και το Αμερικανικό Ναυτικό, με το X-1, συνέχισαν τις προσπάθειες εξέλιξης του συστήματος Walter με ανεπιτυχή αποτελέσματα, λόγω ατυχημάτων από την αστάθεια του υπεροξειδίου του υδρογόνου. Παράλληλα, το Ρωσικό Ναυτικό συνέχισε την εξέλιξη του Γερμανικού συστήματος A.I.P., "Kreislauf", που βασιζόταν σε μηχανή Diesel κλειστού κύκλου (CCD) με τη δημιουργία 30 υποβρυχίων τ. Quebec το 1953.

Τη δεκαετία του '50 η ανάπτυξη της πυρηνικής τεχνολογίας ανάγκασε στην προσωρινή εγκατάλειψη των προσπαθειών αυτών με την κατασκευή, τον Ιανουάριο του 1955, του πρώτου πυρηνικού υποβρυχίου από την Αμερική (USS Nautilus SSN-571).

Τη δεκαετία του '80 άρχισε η μεγάλη ανάπτυξη των συστημάτων A.I.P., που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από την αντίδραση κάποιας μορφής καυσίμου και αποθηκευμένου οξυγόνου (O₂) είτε σε Θερμικές Μηχανές είτε σε (ηλεκτροχημικές) Κυψέλες Καυσίμου (Fuel Cell).

Στα συστήματα θερμικών μηχανών εντάσσονται π.χ. τα παρακάτω, το κοινό χαρακτηριστικό των οποίων, είναι ότι μέρος των καυσαερίων ανακυκλούται, εμπλουτισμένο με το O₂ καύσεως :

- Closed Cycle Diesel (CCD) : Πετρέλαιο Diesel ως καύσιμο.

- Μηχανή Stirling : Εμβολοφόρος μηχανή εξωτερικής καύσεως που βασίζεται στη διαστολή και συστολή ενός αερίου μέσου (π.χ. H₂ ή He). Πετρέλαιο Diesel ή μεθανόλη ως καύσιμο. Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται σε Σουηδικά Υ/Β από τις αρχές της δεκαετίας του '90 και τελευταία σε νέα Υ/Β της Αυστραλίας.

- Ατμοστρόβιλος με κλειστό κύκλωμα ατμού (κύκλο Rankine) : Πετρέλαιο Diesel ή αιθανόλη ως καύσιμο. Έχει αναπτυχθεί και δοκιμασθεί στη Γαλλία (σύστημα ME8MA) και εφαρμόζεται στα νέα Υ/Β του Πακιστάν.

Παράλληλα όμως, η αλματώδης ανάπτυξη της τεχνολογίας της Κυψέλης Καυσίμου (Fuel Cell) επέτρεψε τη σταδιακή εφαρμογή της στην πρόωση των συμβατικών Υ/Β με δοκιμαστικά συστήματα ήδη από τη δεκαετία του '80. Οι πρώτες δοκιμές πρόωσης Υ/Β με Κυψέλη Καυσίμου τύπου «Alcaline Fuel Cell» ισχύος 100 kW πραγματοποιήθηκαν στην δεκαετία του 1980 από την εταιρεία H.D.W. (Howaldtswerke-Deutsche Werft AG) με σύστημα που δοκιμάσθηκε το 1987 επί 9 μήνες στο γερμανικό Υ/Β U1 κλάσεως U205. Η HDW ολοκλήρωσε το 2003 στο Κίελο την κατασκευή του πρώτου στον κόσμο Υ/Β - του γερμανικού U31 κλάσεως U212 - με πρόωση από κυψέλες καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης «Proton Exchange Membrane Fuel Cell» (PEMFC). Παραλλαγές του Υ/Β αυτού κατασκευάζονται για την Ελλάδα, Ιταλία Κορέα και Πορτογαλία.

Τα Υποβρύχια του Π.Ν.

Το πρώτο Υ/Β του Ελληνικού Πολεμικού Ναυτικού (Π.Ν.) ήταν ένα μικρό Υ/Β Σουηδικής κατασκευής, με 3 άνδρες πλήρωμα, που χρησιμοποιήθηκε την περίοδο 1886 μέχρι 1901. Κατά την διάρκεια των βαλκανικών πολέμων παρελήφθησαν τα Υ/Β ΔΕΛΦΙΝ και ΞΙΦΙΑΣ. Το ΔΕΛΦΙΝ είναι το πρώτο Υ/Β στον κόσμο που εκτέλεσε τορπιλική προσβολή. Με την έναρξη του Β' Παγκοσμίου πολέμου το Π.Ν. είχε 6 Υ/Β, τέσσερα από τα οποία απωλέσθησαν κατά τις επιχειρήσεις μαζί με 106 Αξιωματικούς, Υπαξιωματικούς και Ναύτες.

Μετά τον Πόλεμο το Π.Ν. έχει 7 Υ/Β Βρετανικής κατασκευής, τα οποία επιστρέφονται στη Βρετανία το 1958 και αντικαθίστανται από 3 Αμερικάνικης κατασκευής Υ/Β κλάσεως GATO. Στη δεκαετία του 70 αγοράζονται από τη Γερμανία 8 Υ/Β κλάσεως U209 (4 τ.ΓΛΑΥΚΟΣ και 4 τ.ΠΟΣΕΙΔΩΝ) ενώ τα Αμερικάνικα GATO αντικαθίστανται με δύο άλλα κλάσεως GUPPY, τα οποία τελικά και παροπλίσθησαν το 1995.

Τα 4 Υ/Β τ.ΓΛΑΥΚΟΣ εκσυγχρονίσθησαν με εγκάρσια κοπή του σκάφους, ανακαίνιση συστημάτων και επανασυγκόλληση με το πρόγραμμα NEPTUNE-I (1991-2000) (και τώρα αναφέρονται και ως τ.ΤΡΙΤΩΝ), το πρώτο στα ναυπηγεία της HDW στο Κίελο/Γερμανία ενώ τα άλλα τρία στις εγκαταστάσεις του Π.Ν. στην Ελλάδα στο Ναύσταθμο Σαλαμίνας.

Από το 2001 βρίσκεται σε εξέλιξη το πρόγραμμα κατασκευής 4 νέων ελληνικών Υ/Β κλάσεως U214 τ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΗ με σύστημα Α.Ι.Ρ. (PEMFC) και με ηλεκτροκινητήρα Ε.Ρ. σύγχρονο με μόνιμους μαγνήτες, το πρώτο στα γερμανικά ναυπηγεία στο Κίελο (THYSSENKRUPP Marine Systems AG HDW GmbH), ενώ τα άλλα τρία στα Ελληνικά Ναυπηγεία ΑΕ (ΕΝΑΕ) στον Σκαρμαγκά. Το πρώτο Υ/Β U214 ανεμμένο να ενταχθεί στη δύναμη του στόλου του Π.Ν. μέσα στο 2006.

Από το Νοέμβριο 2004 άρχισε και ο εκσυγχρονισμός και τριών από τα Υ/Β U209 τ.ΠΟΣΕΙΔΩΝ με το πρόγραμμα NEPTUNE-II στα ναυπηγεία στον Σκαρμαγκά (ΕΝΑΕ) με προσθήκη ενδιαμέσου τμήματος με σύστημα Α.Ι.Ρ. (PEMFC) και διατήρηση του ηλεκτροκινητήρα Σ.Ρ., που τώρα διαθέτουν.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ισχύος καθώς και τα συστήματα ηλεκτροπρόωσης των Υ/Β του Π.Ν. κλάσεως U209, των εκσυγχρονιζόμενων με το πρόγραμμα NEPTUNE-II και των νέων κλάσεως U214.

Πιστεύεται, ότι είναι κατανοητό στον αναγνώστη, ότι λόγω της φύσεως του θέματος δεν είναι δυνατή η αναλυτική παρουσίαση πολλών λεπτομερειών των εν λόγω συστημάτων των Υ/Β του Π.Ν., ούτε η παράθεση πλήρους και επί μέρους «Βιβλιογραφίας».

ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ Π.Ν. ΚΛΑΣΕΩΣ U209 (Τ.ΓΛΑΥΚΟΣ και Τ. ΠΟΣΕΙΔΩΝ)

Γενικά

Η πρόωση στα Υ/Β του Π.Ν. κλάσεως U209 επιτυγχάνεται με μία συστοιχία ηλ. συσσωρευτών (Pb) 480 στοιχείων, ένα κινητήρα Σ.Ρ. 4.600 HP, μία προπέλα, ενώ η φόρτιση της συστοιχίας γίνεται από 4 γεννήτριες που κινούνται με 4 μηχανές DIESEL 2.400 HP. Οι γεννήτριες στα Υ/Β τ. ΓΛΑΥΚΟΣ είναι Σ.Ρ., ενώ στα Υ/Β τ.ΠΟΣΕΙΔΩΝ είναι Ε.Ρ. και γίνεται χρήση μετατροπέα AC/DC.

Η εγκατάσταση πρόωσης

Η πρόωση των Υ/Β κλάσεως U209 (τ.ΓΛΑΥΚΟΣ και τ. ΠΟΣΕΙΔΩΝ) επιτυγχάνεται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα Σ.Ρ. διπλού επαγωγίμου (δηλ. πρόκειται κατ' ουσίαν για δυο κινητήρες στον ίδιο άξονα), ο οποίος μπορεί να τροφοδοτείται είτε από τις συστοιχίες συσσωρευτών, είτε από τις γεννήτριες οι οποίες στρέφονται από μηχανές ντήζελ. Η κίνηση με συστοιχίες είναι και η αποκλειστική επιλογή όταν το Υ/Β βρίσκεται εν καταδύσει, ενώ για κίνηση στην επιφάνεια χρησιμοποιούνται κυρίως οι γεννήτριες οι οποίες τότε φορτίζουν και τους συσσωρευτές, κάτι που μπορούν να κάνουν και κατά τη διάρκεια του πλου με «αναπνευστήρα».

Τα βασικά υποσυστήματα της εγκαταστάσεως προώσεως του Υ/Β φαίνονται στα Σχήματα 2, 3 και 4 και είναι :

- ο κινητήρας προώσεως (M1 - M2),
- οι τέσσερις (4) νηζελογεννήτριες (M1G1 έως M4G4), [Σ.Ρ. στα τ.ΓΛΑΥΚΟΥ, Ε.Ρ. στα τ.ΠΟΣΕΙΔΩΝ και με-τατροπέας AC/DC]
- το ζεύγος διεγέρσεως (M7, GM8, GM9, GM10),
- οι συστοιχίες ηλ. συσσωρευτών, διατεταγμένες σε 'τεταρτοσυστοιχίες' (η' έως η4) τάσεως 250V η κάθε μία,
- ο κύριος πίνακας διακοπών ΗΙ, που περιλαμβάνει τους αυτόματους διακόπτες συστοιχιών, τους αυτόματους διακόπτες τυμπάνων κινητήρα προώσεως, τον αυτόματο διακόπτη λήψεως φορτίσεως ξηράς, ασφάλειες σημεία αποσυνδέσεως συστοιχιών, αντιστάσεις μετρήσεως και αντιστάσεις εκκινήσεως κινητήρα προώσεως
- ο πίνακας διακοπών γεννητριών G,
- ο πίνακας προώσεως και βοηθητικής δυνάμεως Η2 , που περιλαμβάνει το χειριστήριο προώσεως τον αυτόματο ρυθμιστή στροφών, τον διακόπτη επιλογής εγκαταστάσεως προώσεως (επιλογή είδους), το χειριστήριο επιλογής καταστάσεως προώσεως

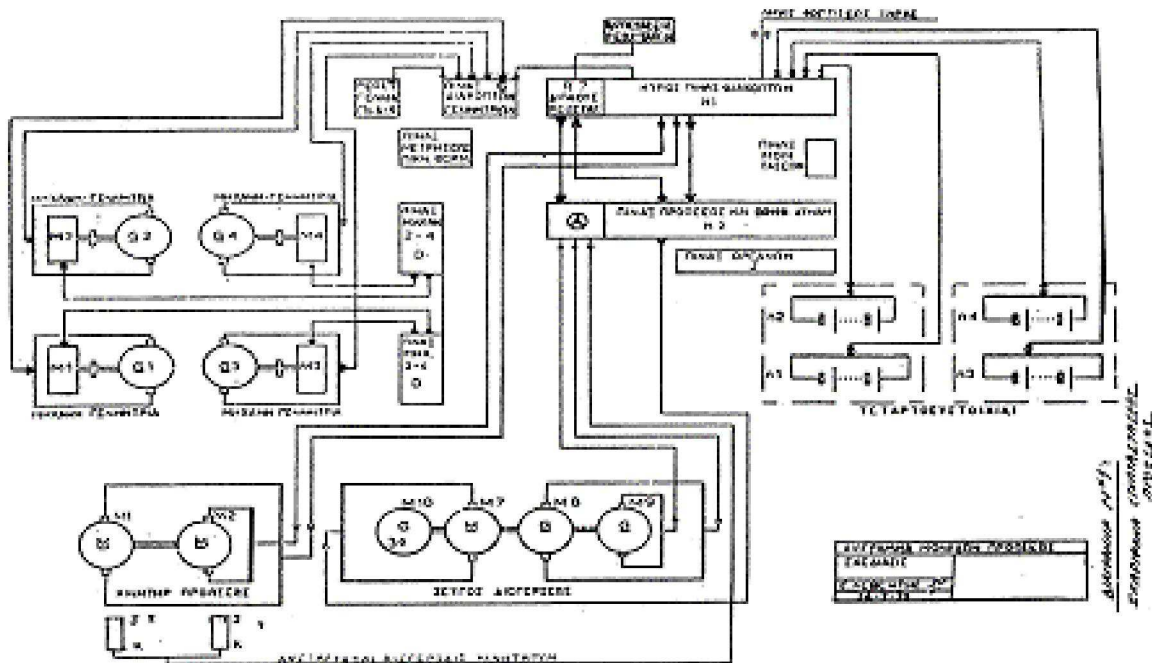
(επιλογή βαθμίδων), τον διακόπτη κρατήσεως ανάγκης και το διακόπτη τροφοδοτήσεως των κυκλωμάτων ελέγχου προώσεως,

- οι ροοστάτες διεγέρσεως (γεννητριών και διπλός ροοστάτης κινητήρα)
- διάφοροι πίνακες οργάνων.

Το ζεύγος διενέσεως αποτελείται από ένα κινητήρα και τρεις γεννήτριες που στρέφονται από αυτόν στον ίδιο άξονα (Σχήμα 3). Ο σκοπός του ζεύγους διεγέρσεως είναι :

- να παρέχει το ρεύμα διεγέρσεως στον κινητήρα προώσεως κατά την εκτέλεση αυτομάτου προώσεως μέσω της γεννήτριας διεγέρσεως GM8,
- να τροφοδοτεί τον αυτόματο ρυθμιστή στροφών με τάση για τη λειτουργία του, μέσω της τριφασικής γεννήτριας GM10 και
- να τροφοδοτεί τα τύμπανα του κινητήρα μέσω της γεννήτριας διεγέρσεως GM8 και τη διέγερση του κινητήρα προώσεως μέσω της βοηθητικής γεννήτριας GM9, κατά την εκτέλεση προώσεως 'Βαθμίδα I μετά ζεύγους'.

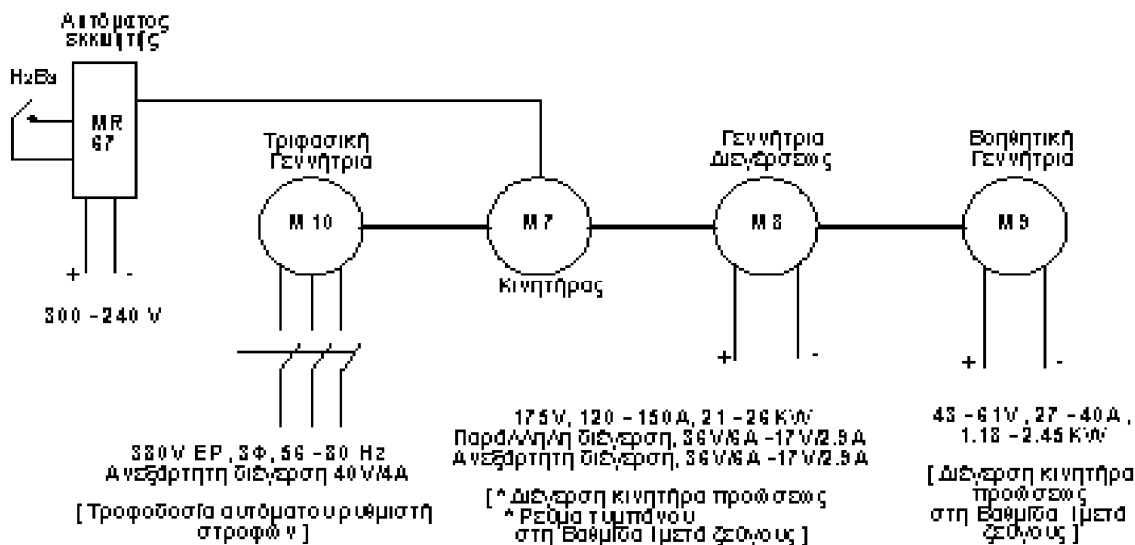
Τα βασικά χαρακτηριστικά των μηχανημάτων προώσεως καθώς και των μηχανημάτων που απαρτίζουν το ζεύγος διεγέρσεως δίνονται στον ΠΙΝΑΚΑ 2.



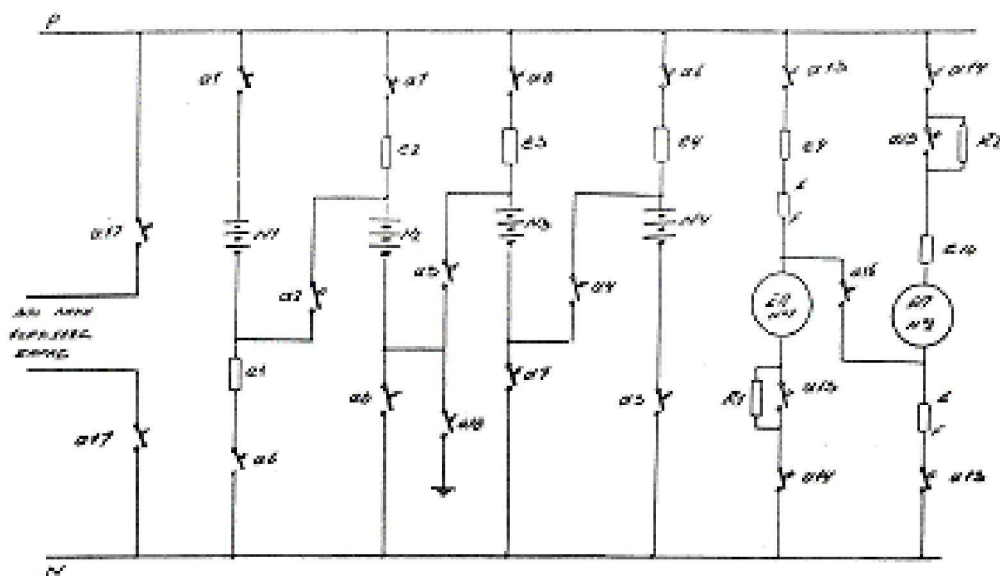
Σχήμα 2. Σκαρίφημα εγκαταστάσεως προώσεως Y/B U209

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Βασικά χαρακτηριστικά μηχανημάτων πρόωσης Υ/Β U209

	ΤΥΠΟΣ	ΣΤΡΟΦΕΣ rpm	ΤΑΣΗ V	ΡΕΥΜΑ / ΠΟΛΟΙ	ΙΣΧΥΣ
ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ (4) Σ.Ρ. Υ/Β Τ. ΓΛΑΥΚΟΣ	AEG-LOYD DYNAMO-WERKE ΣΥΝΘΕΤΟΥ	1500-1560	288-340	1400-1000 Α 6 πόλοι	420 kW
ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ (4) Ε.Ρ.	PILLER - ME ΔΙΕΓΕΡΤΡΙΑ	1500-1560	135-225	1415-1235 Α 10 πόλοι	.480 kW
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ	SIEMENS AG ΣΡ ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ	200 ΠΡΟΣΩ 70	875 V Διεγέρσε -ως :	2240 A 12 πόλοι	1850 kW
ΖΕΥΓΟΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ					
ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ (M7)	Σ.Ρ.	2000-2600	175-293	193-123	32 kW
ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ	Σ.Ρ. ΣΥΝΘΕΤΟΥ	2000-2600	175 V	150-120	26.2-21
ΒΟΗΘΗΤΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ (M9)	Σ.Ρ. ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ	2000-2600	50-73 V (43-61 V	32-45 A (27-40 A)	1.6-3.1 kW (1.2-
ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ M10)	ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΚΙΝ. ΞΕΝΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΩΣ , ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΚΙΝ. ΑΥΤΟΔΙΕΓΕΙΡΟΜΕΝ	2000-2600	380 V 56-60 Hz	2 πόλοι	



Σχήμα 3



N 1 - N 2 - N 3 - N 4 : Τεταρτοσυστοιχίας
 ε 1 - ε 2 : Τηλεμάγνητος ασφαλιστικής συστοιχίας
 ε 9 - ε 10 : Τηλεμάγνητος ασφαλιστικής κινητήρα
 R 1 - R 2 : Αντιστάσεις εκκίνησης κινητήρα

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Ε.Ρ. : Οι εν σειρά εγκαταθισμένοι παραλλήλα των κινητήρων του κινητήρα (μόνο για την σε παράλληλη σύνδεση αυτών)

Σχήμα 4. Διάταξη Αυτομάτων Διακοπών στα Y/B U209

Συστοιχίες Ηλεκτρικών Συσσωρευτών

Η «Συστοιχία Ηλ. Συσσωρευτών» (η «μπαταρία») των Y/B U209 αποτελείται από 480 στοιχεία τύπου Pb [ηλεκτρόδια φορτισμένης μπαταρίας (+) PbO₂ (-) Pb, αφόρτιστης (+) / (-) PbSO₄, ηλεκτρολύτης : διάλειμμα H₂SO₄ πυκνότητας 1,290-1,300 gr/m³ , τάση 1,97-1,78 V DC], τα οποία συνδέονται ανά 120 σε σειρά, δημιουργώντας έτσι 4 «τεταρτοσυστοιχίες».

Οι πρώτες μπαταρίες των Y/B ήταν Γερμανικής προέλευσης από τις εταιρείες VARTA και HAGEN ενώ η συναρμολόγηση γινόταν στο συνεργείο συσσωρευτών της Βάσης Y/B του Π.Ν. Τα τελευταία χρόνια οι μπαταρίες των Y/B κατασκευάζονται από την εταιρεία SUNLIGHT-ΓΕΡΜΑΝΟΣ Α.Ε. στην Ξάνθη. Κάθε στοιχείο είναι «διπλού κορμού» (double-decker) με θετική πλάκα σωληνωτού τύπου (14st43)] με διαστάσεις 1410x450x290 mm, βάρος 318 kg (άδειο) και 518 kg (γεμάτο). Η συνδεσμολογία των τεταρτοσυστοιχιών (σε σειρά ή παράλληλα), η οποία ρυθμίζεται από αυτόματους διακόπτες (Σχήμα 4), καθορίζει και την τάση στα άκρα του κινητήρα πρόωσης, δηλ. τη βαθμίδα πρόωσης (βλ. παρακάτω). Οι άλλες ανάγκες του Y/B τροφοδοτούνται πριν τους αυτόματους διακόπτες με την τάση της τεταρτοσυστοιχίας (250 V DC μη ρυθμιζόμενη), ώστε η τροφοδοσία αυτή να μην

επηρεάζεται από την εκάστοτε συνδεσμολογία της μπαταρίας. Η συστοιχία έχει συνολική χωρητικότητα 11.900 Ah (για εκφόρτιση 100 h με 120 A) και διάρκεια ζωής περίπου 5 με 7 χρόνια.

Η συστοιχία για την λειτουργία της υποστηρίζεται από :

- Σύστημα ψύξεως των κεφαλών των στοιχείων με απεσταγμένο-απιονισμένο ύδωρ.
- Δίκτυο αέρα, το οποίο κυκλοφορεί μέσα από τα στοιχεία με σκοπό την ανάδευση του ηλεκτρολύτη.
- Σύστημα παρακολούθησης, το οποίο παρέχει στοιχεία θερμοκρασίας ηλεκτρολύτη, τάση στοιχείων καθώς και μέτρηση εκφορτισθέντων αμπερωρίων.
- Οι χώροι των ημισυστοιχιών εξυπηρετούνται από το δίκτυο αερισμού του Υ/Β για εξαερισμό από αέρια τα οποία εκλύονται κατά την διάρκεια της φορτίσεως και κυρίως του H_2 , το οποίο σε συγκεντρώσεις άνω του 2% θεωρείται επικίνδυνο για το Υ/Β .

Λειτουργία Κινητήρα, Βαθμίδες και Είδη Προώσεως.

Οι στροφές του κινητήρα προώσεως άρα και του άξονα των Υ/Β είναι : 0- 200 RPM για κίνηση 'ΠΡΟΣΩ' και 0-70 RPM για κίνηση ΑΝΑΠΟΔΑ'.

Για να επιτευχθεί η λειτουργία σε όλη την περιοχή στροφών πραγματοποιούνται διάφορες ηλεκτρικές συνδεσμολογίες μεταξύ των τεταρτοσυστοιχειών, των γεννητριών, του ζεύγους διεγέρσεως και του κινητήρα προώσεως (δηλ. των δύο επαγωγίμων και των αντίστοιχων διεγέρσεών τους), οι οποίες ονομάζονται βαθμίδες προώσεως I , II, III, IV και V (βλ. Σχήματα 5α και 5β). Οι συνδεσμολογίες των βαθμίδων γίνονται μέσω των αυτομάτων διακοπών (Σχήμα 4) οι οποίοι ενεργοποιούνται ('ανοιγοκλείνουν') είτε από το «χειριστήριο προώσεως», είτε τοπικά χειροκίνητα.

ΒΑΘΜΙΔΑ II.

Τα τυλίγματα των τυμπάνων του κινητήρα είναι συνδεδεμένα εν σειρά και τροφοδοτούνται από τις τέσσερις εν παράλληλω συνδεδεμένες τεταρτοσυστοιχίες. Οι στροφές μπορούν να ρυθμιστούν από 32-65 RPM, ΠΡΟΣΩ ή ΑΝΑΠΟΔΑ.

- **ΒΑΘΜΙΔΑ III.**

Τα τυλίγματα των τυμπάνων του κινητήρα είναι συνδεδεμένα εν παράλληλω και τροφοδοτούνται από τις τέσσερις εν παράλληλω συνδεδεμένες τεταρτοσυστοιχίες. Οι στροφές μπορούν να ρυθμιστούν από 65-108 RPM.

- **ΒΑΘΜΙΔΑ IV.**

Τα τυλίγματα των τυμπάνων του κινητήρα είναι συνδεδεμένα εν σειρά και τροφοδοτούνται από τις τέσσερις εν σειρά συνδεδεμένες τεταρτοσυστοιχίες. Οι στροφές μπορούν να ρυθμιστούν από 108-170 RPM αναλόγως προς την εναπομένουσα χωρητικότητα της συστοιχίας.

- **ΒΑΘΜΙΔΑ V.**

Τα τυλίγματα των τυμπάνων του κινητήρα είναι συνδεδεμένα εν παράλληλω και τροφοδοτούνται από τις τέσσερις εν σειρά συνδεδεμένες τεταρτοσυστοιχίες. Οι στροφές μπορούν να ρυθμιστούν από 188-200 RPM. (166-200 RPM με εκφορτισμένη συστοιχία).

[B] ΕΙΔΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ-ΑΝΑΓΚΗΣ

- **ΒΑΘΜΙΔΑ I ΜΕΤΑ ΖΕΥΓΟΥΣ**

Τα τυλίγματα τυμπάνων και διεγέρσεων του κινητήρα προώσεως (m1-m2) τροφοδοτούνται από το ζεύγος διεγέρσεως (η γεννήτρια GM8 του ζεύγους τροφοδοτεί εν σειρά τα τύμπανα και η γεννήτρια GM9 του ζεύγους τροφοδοτεί εν παραλλήλω τις διεγέρσεις). Η διάταξη αυτή προσομοιάζει στη διάταξη Ward- Leonhard, διαφέρει όμως από την τελευταία στο ότι η γεννήτρια GM8 είναι συνθέτου προσθετικής διεγέρσεως (CD και FE στο Σχήμα 61 και όχι ξένης διεγέρσεως. Επιπλέον η GM8 έχει και ένα πρόσθετο τύλιγμα ξένης διεγέρσεως (κάτω τμήμα ΙΚ) με ρεύμα ρυθμιζόμενο από την r10 (που τροφοδοτείται με 45V). Επίσης το ρεύμα τυμπάνου Ια του κινητήρα προώσεως είναι ταυτόχρονα και ρεύμα διεγέρσεως της ξένης διεγέρσεως (ΙΚ, άνω τμήμα). Ο κινητήρας m7 του ζεύγους, που στρέφει τις γεννήτριες GM8, GM9 και GM10, δύναται να τροφοδοτείται είτε από τις συστοιχίες, είτε από τις γεννήτριες. Η γεννήτρια GM10 χρησιμοποιείται για την παραγωγή βοηθητικών τάσεων. Οι στροφές του κινητήρα προώσεως μπορούν κατά την κατάσταση αυτή να μεταβληθούν από 11-32 RPM. Η όλη διάταξη συμπεριφέρεται σαν κινητήρας σειράς και χρησιμοποιείται σε καταστάσεις ανάγκης (π.χ. χαμηλές μονώσεις, διαρροή).

- **ΒΑΘΜΙΔΑ I ΑΝΕΥ ΖΕΥΓΟΥΣ.**

Τα τυλίγματα των τυμπάνων και των διεγέρσεων του κινητήρα είναι συνδεδεμένα σε σειρά και τροφοδοτούνται και από τις τέσσερις, εν παραλλήλω συνδεδεμένες τεταρτοσυστοιχίες. Είναι η πιο αθόρυβη λειτουργία του κινητήρα. Οι στροφές του είναι περίπου 16 με 19 RPM και δεν γίνεται να μεταβληθούν.

Είδη Προώσεως

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, η κατηγοριοποίηση στις βαθμίδες II έως V, γίνεται βάσει της συνδεσμολογίας των τεταρτοσυστοιχειών και των τυλιγμάτων των τυμπάνων του κινητήρα προώσεως. (Η βαθμίδα I είναι κατά κάποιο τρόπο μια ξεχωριστή περίπτωση που χρησιμοποιείται για σταθερές (άνευ ζεύγους) στροφές και για καταστάσεις ανάγκης).

Έτσι οι βαθμίδες II έως V μπορεί να είναι άνευ ή μετά ζεύγους. Στην περίπτωση 'άνευ ζεύγους' τα τυλίγματα διεγέρσεων του κινητήρα τροφοδοτούνται είτε από συστοιχίες (3 ή 4) είτε από γεννήτριες (No 1 ή 2), ενώ στην περίπτωση 'μετά ζεύγους' τροφοδοτούνται από την γεννήτρια GM8 του ζεύγους διεγέρσεως του οποίου ο κινητήρας με τη σειρά του τροφοδοτείται είτε από συστοιχίες (1 ή 2), είτε από γεννήτριες (1 ή 2). Έτσι προκύπτουν τα διάφορα είδη προώσεως που είναι :

1.ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΠΡΟΩΣΗ

Προτιμάται όταν απαιτούνται σταθερές στροφές για αρκετή ώρα ή γρήγοροι και ακριβείς χειρισμοί. Εκτελείται για κλίμακα στροφών 30-200 RPM Πρόσω (βαθμίδες I έως V) και 65 RPM Ανάποδα (βαθμίδα II). Το ρεύμα διεγέρσεως του κινητήρα προέρχεται από το ζεύγος διεγέρσεως. Αυτόματη πρόωση εκτελείται στις βαθμίδες II έως V για ΠΡΟΣΩ και με τη βαθμίδα II για ΑΝΑΠΟΔΑ. Η αυξομείωση των στροφών γίνεται από το χειριστήριο προώσεως διεγέρσεως μέσω ελέγχου του αυτόματου ρυθμιστή , που επενεργεί επί της γεννήτριας GM8 του ζεύγους διεγέρσεως.

2.ΗΜΙΑΥΤΟΜΑΤΗ ΠΡΟΩΣΗ

Εκτελείται για την ίδια κλίμακα στροφών όπως και η Αυτόματη, αλλά η διατήρηση των στροφών δεν είναι αυτόματη. Το ρεύμα διεγέρσεως του κινητήρα προώσεως προέρχεται πλέον όχι από το ζεύγος διεγέρσεως (άνευ ζεύγους), αλλά απευθείας είτε από συστοιχίες είτε από γεννήτριες. Η διατήρηση και αυξομείωση των στροφών γίνεται όμως χειροκίνητα, ρυθμίζοντας το ρεύμα διεγέρσεως του κινητήρα μέσω του διπλού ροοστάτη διεγέρσεως Συνεπώς κατά το είδος αυτό της πρόωσης απαιτείται συνδυασμός κινήσεων χειριστηρίου προώσεως και διπλού ροοστάτη.

3.ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗ ΠΡΟΩΣΗ

Καλύπτει όλο το εύρος στροφών του άξονα για Πρόσω ή Ανάποδα και εκτελείται όταν παρουσιάζονται βλάβες όπως π.χ. στα χειριστήρια προώσεως ή στα κυκλώματα διακοπών.

4.ΝΤΗΖΕΛΟ-ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ

Κατά το είδος αυτό μία τουλάχιστον γεννήτρια είναι σε λειτουργία και συνδεδεμένη στο κύκλωμα της προώσεως. Εκτελείται μόνο για τις βαθμίδες II-III Πρόσω και II Ανάποδα και μόνο σε Ημιαυτόματη λειτουργία προώσεως. Εδώ όμως εκτός από το διπλό ροοστάτη διεγέρσεως, ρύθμιση στροφών γίνεται και από τους ροοστάτες των γεννητριών. Εκτελείται κυρίως μόνον όταν απαιτείται η απομόνωση μιας τεταρτοσυστοιχίας (π.χ. για λόγους συντηρήσεως), καθώς υπάρχει δυσχέρεια ταχείας εκτελέσεως αλλαγής στροφών ή βαθμίδας (για την αλλαγή βαθμίδας απαιτείται πρώτα κράτηση ντηζελο-ηλεκτρικής προώσεως, μετάπτωση σε ημιαυτόματη, αλλαγή βαθμίδας και επιστροφή κατόπιν σε ντηζελο-ηλεκτρική).

ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ Π.Ν. U209 ΜΕ Α.Ι.Ρ. - ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ NEPTUNE-II

Το Πρόγραμμα NEPTUNE-II του Π.Ν. εκσυγχρονισμού Υ/Β κλάσεως U209 τ.ΩΚΕΑΝΟΣ και εφοδιασμού τους με Κυψέλες Καυσίμου

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή, από το Νοέμβριο 2004 άρχισε ο εκσυγχρονισμός και τριών από τα Υ/Β κλάσεως U209 τ.ΠΟΣΕΙΔΩΝ με το πρόγραμμα NEPTUNE-II στα ναυπηγεία στον Σκαρμαγκά (ΕΝΑΕ) με προσθήκη ενδιαμέσου τμήματος με σύστημα Α.Ι.Ρ. (PEMFC) και παράλληλη γενική επισκευή και βελτίωση διαφόρων επικοι-νωσιακών και οπλικών συστημάτων. Το πρώτο εκσυγχρονιζόμενο Υ/Β είναι το ΩΚΕΑΝΟΣ Στα Υ/Β αυτά παραμένουν ίδια τόσον οι Συστοιχίες Ηλ Συσσωρευτών όσον και ο Ηλ. Κινητήρας Πρόωσης (Σ.Ρ.) με τα χαρακτηριστικά και τη λειτουργία που περιγράφηκαν παραπάνω.

Το Υ/Β απαιτείται να κοπεί στη μέση και στη συνέχεια να συγκολληθεί το νέο επιπρόσθετο τμήμα (κατασκευής από τη ΜΕΤΚΑ, Βόλος) μήκους περίπου 6 μέτρων, πίσω από την υπερκατασκευή του Υ/Β (Σχήματα 12 και 13). Μέσα σε αυτό το πρόσθετο τμήμα είναι εγκατεστημένα η συστοιχία κυψελών καυσίμου - δύο μονάδες των 120 kW η κάθε μία - η δεξαμενή υγρού οξυγόνου (LOX), οι απαραίτητες σωληνώσεις καθώς οι ηλεκτρικοί πίνακες και ο μετατροπέας DC/DC. Εξωτερικά και στην πάνω πλευρά τοποθετούνται οι προεκτάσεις των υφιστάμενων δικτύων, που εξυπηρετούν τα δίκτυα εξαγωγής καυσαερίων των κυρίων μηχανών, της ψύξης βαλβίδων καυσαερίων, των δικτύων πετρελαίου και ελαίου. Εξωτερικά αλλά στο κάτω μέρος θα τοποθετηθούν οι φιάλες αποθηκεύσεως του υδρογόνου, μαζί με τα απαραίτητα δίκτυα ψύξης και τροφοδοσίας τους. Επιπρόσθετα όλη η υπερκατασκευή τροποποιείται, με συνθετικά υλικά από ανθρακονήματα και πολυεστερική ρητίνη (CFRP), έτσι ώστε να μειωθεί η συνολική αντίσταση της βρεχόμενης επιφάνειας και οι επιδόσεις του Υ/Β (ταχύτητα, κύκλος στροφής, ικανότητα χειρισμών) να είναι στα επιθυμητά επίπεδα. Σημειωτέον, ότι δεν υφίσταται ανάγκη περαιτέρω ενισχύσεως της κατασκευής, καθ' όσον στην κλάση των υποβρυχίων αυτών, υπάρχει ήδη αντίστοιχο Υ/Β [U209/1400], σε άλλα ναυτικά, με τις διαστάσεις που τελικά θα προκύψουν από τη προσθήκη του νέου τμήματος.

Το κόψιμο και η ανασυγκόλληση των τμημάτων έχει ξαναγίνει στο παρελθόν με απόλυτη επιτυχία τόσο σε Γερμανικά ναυπηγεία στο Κίελο (HDW) όσο και στις εγκαταστάσεις του Π.Ν. στην Ελλάδα στο Ναύσταθμο Σαλαμίνας [πρόγραμμα NEPTUNE-I, 1991-2000]. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η χρήση εξειδικευμένων και πιστοποιημένων συγκολλητών

για εργασίες συγκόλλησης επί του ανθεκτικού (HY-80) και ο πλήρης ποιοτικός έλεγχος όλων των συγκολλήσεων, όπως προβλέπεται στις διεθνείς προδιαγραφές ελέγχου και πιστοποίησης συγκολλήσεων υλικού HY-80 [Germanischer Lloyd Rules, MIL-standards, BV, VG]. Για να μην επηρεασθεί η συμπεριφορά του υποβρυχίου στην ευστάθεια, στην ικανότητα χειρισμών, στην εφεδρική άνωση και στις επιδόσεις λόγω του πρόσθετου τμήματος (βάρος, μήκος και όγκος), θα εκτελεσθούν τροποποιήσεις στην επιφάνεια των πηδαλίων βάθους και διεύθυνσης, τοποθέτηση νέου τύπου έλικας 6 ή 7 πτερυγίων, αλλαγή του τερματισμού και τροποποίηση της υπερκατασκευής.

Το Ηλεκτρικό Δίκτυο

Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από τις κυψέλες καυσίμου παρέχεται μέσω μετατροπέα τάσεως (DC/DC) στο δίκτυο Σ.Ρ. του Υ/Β Σε αυτό το δίκτυο είναι συνδεδεμένες επίσης οι δυο συστοιχίες συσσωρευτών (μόλυβδου-οξέος), οι γεννήτριες, ο κινητήρας προώσεως (Σ.Ρ.) και όλες οι καταναλώσεις του υποβρυχίου. Οι δυνατοί τρόποι χρήσης των κυψελών καυσίμου είναι οι εξής :

- Πρόωση μόνο με χρήση κυψελών καυσίμου.
- Πρόωση με κυψέλες καυσίμου συνεπικουρούμενη από τους συσσωρευτές για μεγάλες απαιτήσεις ενέργειας στην πρόωση.
- Φόρτιση συσσωρευτών εν καταδύσει σε έκτακτες περιπτώσεις.
- Πρόωση με συσσωρευτές χωρίς χρήση κυψελών καυσίμου.

Η παραγόμενη τάση από κάθε μονάδα κυψελών καυσίμου μεταβάλλεται από 336 V έως 215 V και εξαρτάται από το ηλεκτρικό φορτίο. Η τάση των συσσωρευτών εμφανίζει αντίστοιχες διακυμάνσεις και εξαρτάται από την κατάσταση φορτίσεως αυτών και από τα φορτία του υποβρυχίου. Ο λόγος ύπαρξης του μετατροπέα τάσεως είναι να προσαρμόζει την τάση εξόδου μεταξύ των 500 V έως 1000 V, που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του κινητήρα.

Σε περίπτωση που διακοπεί η λειτουργία των κυψελών καυσίμου, διατηρείται εντός αυτών αρκετή ενέργεια λόγω των αερίων που είναι στο εσωτερικό τους. Παραμονή των αερίων O₂ και H₂ χωρίς κατανάλωση της παραγόμενης ενέργειας διατηρεί τα στοιχεία υπό τάση και παράλληλα προκαλεί διαβρώσεις. Η εκφόρτιση της ενέργειας αυτής είναι απαραίτητη και γίνεται σε αντιστάσεις μετά τον μετατροπέα τάσεως. Μετά την πλήρη εκκένωση του εσωτερικού των κυψελών αυτές πληρώνονται με N₂.

Η ισχύς των 240 kW της συστοιχίας των κυψελών καυσίμου (2 μονάδες των 120 kW)

και η αποθηκευμένη ποσότητα αερίων επαρκεί για την κίνηση του Υ/Β για διάστημα άνω των 11 ημερών χωρίς την χρήση του αναπνευστήρα. Η χρήση των κυψελών καυσίμου αυξάνει την δυνατότητα παραμονής του Υ/Β εν καταδύσει, ανάλογα με τις ταχύτητες που χρησιμοποιούνται. Από τη σύγκριση των δύο τρόπων χρήσης της πρόωσης διαπιστώνεται, ότι η μέγιστη αύξηση στην αυτονομία του Υ/Β φθάνει το 400 % (δηλ. από -380 nm στα -1450 nm ή σε ώρες κατάδυσης από 125 στις 500). Η μέγιστη αυτονομία, με χρήση κυψελών καυσίμου, επιτυγχάνεται με ταχύτητα 4 knots, ενώ η απαιτούμενη ισχύς για την επίτευξη της ανωτέρω ταχύτητας είναι λιγότερη από 120 kW για πάγια φορτία Υ/Β (hotel load) γύρω στα 60 kW. Διαπιστώνεται λοιπόν, ότι επαρκεί η χρήση της μίας μόνο μονάδας κυψελών καυσίμου στη μέγιστη ισχύ, ή συνδυασμός των δύο μονάδων σε μικρότερη ισχύ, και σε περιοχές με μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.

Οι συνολικές καταναλώσεις αερίων, με χρήση της μίας μονάδας στο μέγιστο φορτίο, ανέρχονται περίπου στους 15 tn O_2 και 2 tn H_2 . Οι μέγιστες ετήσιες καταναλώσεις αερίων ανά Υ/Β είναι 34 tn O_2 και 4,2 tn H_2 , θεωρώντας ότι οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούνται για ταχύτητες 4 knots και για 26 περίπου ημέρες το χρόνο.

Κυψέλες Καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (PEMFC) Υποβρυχίων

Συστοιχία Κυψελών Καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου, πολυμερισμένης μεμβράνης «*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*» (PEMFC), που θα χρησιμοποιηθούν στα Υ/Β U214 και U209 κατασκευάζονται από την εταιρία Siemens και βασίζονται στην τεχνολογία των «*μεταλλικών διπολικών πλακών*». Εκτός από τις πολύ καλές μηχανικές αντοχές, όπως η αντοχή σε απότομη επιτάχυνση (sock resistance), η μεταλλική κατασκευή επιδεικνύει εξαιρετική σταθερότητα απέναντι στο υγροποιημένο οξυγόνο (LOX) και επιτρέπει καλή διαχείριση της παραγόμενης θερμότητας, ειδικά όταν υπάρχει υψηλή πυκνότητα ρεύματος.

Τα ηλεκτροχημικά ενεργά τμήματα του στοιχείου αποτελούνται από μία βιομηχανική μεμβράνη (Nafion® 115), καταλύτη από πλατίνα (Pt) και φύλα από γραφίτη για την διανομή των αερίων και την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Η συστοιχία κυψελών καυσίμου (Fuel Cell battery) αποτελείται από μονάδες των κυψελών καυσίμου (Fuel Cell modules). Οι μονάδες των 120 kW απαρτίζονται από τις ομάδες κυψελών καυσίμου (Fuel Cell stacks), που αποτελούνται από πολλά στοιχεία κυψελών καυσίμου (Fuel Cells), τις σωληνώσεις, τους αισθητήρες, τις ηλεκτροβάνες και βρίσκονται, για λόγους ασφάλειας, μέσα σε δοχείο με άζωτο υψηλότερης πίεσης από το H₂ και O₂. Σε περίπτωση διαρροής σε κάποιο σημείο της μονάδας το άζωτο εισέρχεται μέσα στη μονάδα με αποτέλεσμα την πτώση τάσεως και ενεργοποίηση της μονάδας ελέγχου. Η κατασκευή μιας μονάδας επιτυγχάνεται με την διαδοχική τοποθέτηση ομάδων με όλο και μικρότερο αριθμό απλών στοιχείων, κάθε μια από τις οποίες τροφοδοτείται από τα αέρια, που εξέρχονται από την προηγούμενη («dead ended stack»), Αυτό γίνεται για τη μεγαλύτερη δυνατή αξιοποίηση των αερίων H₂ και O₂ καθ' όσον μέσα σε κάθε απλό στοιχείο δε γίνεται 100% αξιοποίηση των τροφοδοτημένων αερίων. Η ελάχιστη τελικά ποσότητα που περισσεύει είναι κατάλληλη για την ατμόσφαιρα του Υ/Β. Η παραπάνω κατασκευή μονάδων κυψελών καυσίμου δεν απαιτεί αντλία ανακύκλωσης των αερίων, όπως σε άλλους τύπους κυψελών καυσίμου και οδηγεί σε απλούστερη κατασκευή.

Οι μονάδες (modules) είναι προσαρμοσμένες σε βάσεις στήριξης (racks) που μαζί με τις δικτυώσεις παροχής έχουν πολύ συμπαγή και ανθεκτική κατασκευή, κάτι το οποίο απαιτείται για ένα πολεμικό πλοίο. Οι παροχές H₂, N₂, O₂, ύδατος ψύξης, περίσσειας αερίων προϊόντων, θερμότητας και παραγόμενου ύδατος παρακολουθούνται από το σύστημα ελέγχου λειτουργίας.

κά διαστήματα είναι δυνατή μέχρι το 200% του μέγιστου φορτίου, περιοριζόμενη στην πραγματικότητα μέχρι το 130% από τις δυνατότητες ψύξης του συστήματος.

Δομή των Στοιχείων Κυψέλης Καυσίμου

Ο σκοπός του στοιχείου της κυψέλης καυσίμου είναι να φέρει τα αντιδρώντα αέρια στην καλύτερη δυνατή επαφή μεταξύ τους ώστε να αντιδράσει η μεγαλύτερη δυνατή ποσότητα εξ αυτών, να παραληφθούν τα ηλεκτρικά φορτία από την άνοδο και κάθοδο του στοιχείου και να απομακρυνθεί από το στοιχείο η παραγόμενη θερμότητα της αντιδράσεως.

Το στοιχείο πρακτικά αποτελείται από τον ηλεκτρολύτη και τα ηλεκτρόδια. Στην καλή του λειτουργία όμως συμβάλλουν η εφύγραση των αερίων και η προθέρμανση του λαμβανομένου ύδατος για την εφύγραση.

Τα ηλεκτρόδια

Τα ηλεκτρόδια αποτελούνται από λεπτά πορώδη επιστρώματα λευκόχρυσου (Pt) στις δύο πλευρές της μεμβράνης του στερεού ηλεκτρολύτη, που συμπεριφέρεται ταυτόχρονα και ως καταλύτης και ενισχύονται από δύο πορώδη αγώγιμα φύλλα γραφίτωμένου χάρτου. Στην εξωτερική πλευρά των ηλεκτροδίων εφάπτονται πόλοι από λεπτό φύλλο επιχρυσωμένου ανοξειδώτου χάλυβα, οι οποίοι είναι κατάλληλα διαμορφωμένοι με μικρές σφαιρικές κοιλότητες και προεξοχές, ώστε εφάπτομενοι με τα ηλεκτρόδια του άνθρακα να σχηματίζουν διάκενα, όπου στο εσωτερικό τμήμα γίνεται η ροή των αντιδρώντων αερίων, ενώ από τα εξωτερικά διάκενα γίνεται η ροή του ύδατος ψύξεως. Το παραγόμενο ύδωρ από την αντίδραση αποβάλλεται από το κάτω τμήμα του στοιχείου από το ηλεκτρόδιο της καθόδου.

Ο εφυγραστήρας

Ο εφυγραστήρας, που είναι ίδιας μορφής με τα στοιχεία της κυψέλης καυσίμου, φέρνει σε επαφή με υδρατμούς (80°C) το O_2 και το H_2 πριν έλθουν σε αντίδραση με σκοπό την αποτελεσματικότερη λειτουργία του στοιχείου. Για ύδωρ εφύγρασης χρησιμοποιείται το παραγόμενο ύδωρ από τη λειτουργία της κυψέλης καυσίμου από το ηλεκτρόδιο της καθόδου.

Τάση - Ρεύμα

Η αναπτυσσόμενη τάση ανοικτού κυκλώματος είναι περίπου 336V (320x1,05V ανά στοιχείο), έναντι των 393,3 V (320x1,229 V) που προβλέπονται θεωρητικά. Στο πλήρες φορτίο η τάση μειώνεται περίπου στα 215 V (τάση κάθε στοιχείου 0,671V) με τιμή ρεύματος 565 A (με το δεδομένο σχεδιασμό του συστήματος ψύξεως)

Ο ρυθμός υποβάθμισης της τάσης, μετά από 20.000 h λειτουργίας, είναι 5 $\mu\text{V}/\text{h}$.

Τα στοιχεία μπορούν να ανταποκριθούν σε αύξηση φορτίου με ρυθμό μέχρι 50 A/sec. Ταχύτεροι ρυθμοί αύξησεως φορτίου έχουν σαν αποτέλεσμα την ανεπαρκή απομάκρυνση του παραγομένου ύδατος και τη μείωση της τάσεως των στοιχείων. Στην περίπτωση αυτή, το δίκτυο ελέγχου, μη γνωρίζοντας την αιτία της πτώσεως τάσεως, διακόπτει τη λειτουργία της κυψέλης καυσίμου.

Βαθμός Απόδοσης - Θερμότητα - Καταναλώσεις Αερίων.

Ο βαθμός απόδοσης της μονάδος κυψέλης καυσίμου FC-120 kW, για τη χαμηλή θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου (LHV), σύμφωνα με κατασκευαστικά στοιχεία για την περιοχή 20% έως 100% του φορτίου κυμαίνεται από 68-58%. Ο τελικός βαθμός απόδοσης του συστήματος κυψελών καυσίμου μετά τον μετατροπέα κυμαίνεται από 63,5-50,4%

Η μέγιστη θερμική ισχύς (Q_{FC}) της μονάδος, για την υψηλή θερμογόνο ικανότητα του καυσίμου (HHV), ανέρχεται στα 145 kW, μέγεθος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απαραίτητης εγκατάστασης για την ψύξη των κυψελών καυσίμου.

Η μέγιστη κατανάλωση H_2 για τη μία μονάδα κυψελών καυσίμου είναι 6,738 kg/h, ενώ αντίστοιχα του O_2 είναι 53,486 kg/h.

Συστήματα-Δίκτυα H₂ και O₂ και λοιπών απαραίτητων

Γενικά

Η χρήση των κυψελών καυσίμου στην πρόωση του Υ/Β απαιτεί την χρήση συστημάτων/δικτύων διαχείρισης της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας καθώς και αποθήκευσης και διαχείρισης των απαραίτητων καυσίμων, καθώς και των προϊόντων των χημικών αντιδράσεων. Οι σωληνώσεις στα δίκτυα H₂ και O₂ είναι διπλές, με άζωτο στον εξωτερικό δακτύλιο, για έλεγχο τυχόν διαρροών.

Φιάλες Υδρογόνου (H₂)

Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί στη κρυσταλλική δομή ορισμένων ειδικών κραμάτων [«υδρίδια»]. Τα υδρίδια θερμαινόμενα διασπώνται, αποδίδοντας το H₂ που είχε απορροφηθεί.

Για την αποθήκευση H₂ υπό μορφή υδριδίων, στα Υ/Β αρχικά χρησιμοποιήθηκε κράμα τιτανιούχου σιδήρου (Ti-Fe). Η ποσότητα του H₂ που προσροφάται, αντιστοιχεί περίπου στο 2% του βάρους του κράματος Ti-Fe, ή σε 800 m³ H₂ σε κανονικές συνθήκες ανά m³ υδριδίου. Στη μορφή αυτή αναπτύσσεται περίπου πενταπλάσια πυκνότητα υδρογόνου από αυτήν που αποθηκεύεται σε φιάλες σε αέρια μορφή με πίεση 200 bar. Στη μορφή υδριδίου, η πυκνότητα του H₂ υπερβαίνει ακόμη και αυτήν που έχει το H₂ στην υγρή του μορφή, στη θερμοκρασία των -253°C (0.071gr/cm³), στην οποία επιπλέον η φύλαξη είναι πολύ δύσκολη, λόγω της εξαιρετικά χαμηλής θερμοκρασίας. Στα συστήματα A.I.P. των Υ/Β U209 και U214 το H₂ φυλάσσεται υπό μορφή υδριδίου κράματος σιδήρου (Fe), τιτανίου (Ti), μαγγανίου (Mn), βαναδίου (V) και ζirkονίου (Zr). Για την προσρόφηση του H₂ απαιτείται ψύξη στους 5°C περίπου. Για την απελευθέρωση («αφυδρογόνωση») του H₂, το συγκεκριμένο υδρίδιο πρέπει να θερμανθεί στη θερμοκρασία των 45°C περίπου, θέρμανση που γίνεται με αξιοποίηση της εκλυόμενης θερμότητας, που παράγεται από την κυψέλη καυσίμου κατά τη λειτουργία. Επιπλέον, το κράμα των μετάλλων, λόγω της επιλεκτικής προσροφήσεως του H₂, συμπεριφέρεται ως φίλτρο για το H₂ από τυχόν προσμίξεις. Οι προσμίξεις όμως που παραμένουν στο κρυσταλλικό πλέγμα των μετάλλων, με τις συνεχείς φορτίσεις και εκφορτίσεις μειώνουν βαθμιαία την ικανότητα προσροφήσεως H₂. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που απαιτείται η χρησιμοποίηση H₂ καθαρότητας 99.999% [ποιότητα 5, δηλ 5 ενιάρα].

Το υδρίδιο τοποθετείται σε κάνιστρα αλουμινίου που στη συνέχεια προσαρμόζονται σε φιάλες από ανοξειδωτο χάλυβα. Τα κάνιστρα φέρουν οπή στο κέντρο, ώστε να είναι δυνατή η εύκολη προσαγωγή και απαγωγή του H₂. Η φιάλη περιβάλλεται με συνθετικά υλικά από

GRP (Glass Reinforced Polymer), που φέρουν κατά μήκος αύλακες για τη διέλευση του ύδατος θερμάνσεως και ψύξεως.

Η πίεση λειτουργίας είναι 63 bar, που διατηρείται σχεδόν σταθερή όσο υπάρχει H₂, ανεξαρτήτως παροχής. Όταν η πίεση μειωθεί στα 2.5 bar στη θερμοκρασία των 45°C, η φιάλη θεωρείται κενή.

Κατά την πλήρωση αντίστοιχα, όταν η πίεση είναι στα 63 bar στη θερμοκρασία ύδατος ψύξεως 5°C και η ροή H₂ είναι μηδενική, θεωρείται ότι η φιάλη είναι πλήρης. Η πλήρωση του H₂ μπορεί να γίνει και χωρίς ψύξη. Τότε όμως η ποσότητα του H₂ που παραλαμβάνεται είναι σημαντικά μειωμένη. Για την πλήρωση απαιτείται χρόνος περίπου 30 ωρών. Η λαμβανομένη ποσότητα όμως δεν είναι ανάλογη του χρόνου. Η κάθε φιάλη έχει διάμετρο 0,5m, μήκος 5,2m, χωρητικότητα 1m³ περίπου και μπορεί να αποθηκεύσει 70-80 kg H₂, που αντιστοιχεί σε 800-900 m³, ενώ το βάρος της ανέρχεται περίπου στα 4000 kg και είναι τοποθετημένες εκτός του ανθεκτικού σκάφους σε δύο ενιαίους χώρους ΔΕ και ΑΡ της τρόπιδας.

Ανεφοδιασμός Υποβρυχίου με Υδρογόνο (H₂)

Ο ανεφοδιασμός του Υ/Β με H₂ μπορεί να γίνει είτε με αρχική παροχή αέριας μορφής (GH₂) είτε υγρής μορφής (LH₂).

Στον ανεφοδιασμό του υδρογόνου σε αέρια μορφή (GH₂) υφίστανται οι εξής εναλλακτικές λύσεις :

- Παραγωγή GH₂, ποιότητας 5.0., τοπικά, δίπλα στο σημείο ανεφοδιασμού και αποθήκευσή του στο Υ/Β.
- Προμήθεια, σε ποιότητα 3.0, καθαρισμός του, ώστε να παραχθεί σε ποιότητα 5.0 και άμεσος ανεφοδιασμός.
- Προμήθεια, σε ποιότητα 3.0 και αποθήκευσή του. Όποτε απαιτηθεί, καθαρισμός του και ανεφοδιασμός.
- Προμήθεια από δίκτυο αγωγών από κεντρική μονάδα παραγωγής υδρογόνου, αν υπάρχει τέτοιο δίκτυο κοντά στη βάση των Υ/Β.

Το υγρό υδρογόνο (LH₂) προσφέρεται σε ποιότητες άνω του 5.0 χωρίς να απαιτείται περαιτέρω καθαρισμός. Η προμήθεια LH₂ είναι εφικτή μόνο από την Ευρωπαϊκή βιομηχανία και συγκεκριμένα από την Γερμανία, την Ολλανδία και την Γαλλία, μέσω βυτιοφόρων οχημάτων χωρητικότητας 15.000 It έως 41.000 It. Το LH₂ μπορεί να αποθηκευτεί είτε σε μονωμένες δεξαμενές είτε σε ενεργά ψυχόμενες δεξαμενές αλλά οι απώλειες από την εξάτμισή του φτάνουν σε ποσοστά 0,1 -1% ανά ημέρα ανάλογα με την ποιότητα της μόνωσης, κάτι που οδηγεί σε απώλεια της τάξης του 6-60% στους δύο μήνες.

Για την μετάγγιση του GH_2 ή LH_2 από το βυτίο προς τις φιάλες H_2 του Υ/Β απαιτείται η ύπαρξη ενός ενδιάμεσου σταθμού, σταθερού ή μεταφερόμενου.

Στην περίπτωση χρήσης GH_2 αυτός αποτελείται από τη Μονάδα φορτίσεως (Charging unit) και τη μονάδα καθαρισμού (Purification unit) μόνο σε ποιότητα 3.0.

Στην περίπτωση χρήσης LH_2 αυτός αποτελείται από τη Μονάδα φορτίσεως, τη μονάδα ψύξεως και τη μονάδα συμπίεσεως και εξατμίσεως.

Τα προβλήματα χρήσης GH_2 βρίσκονται στην αδυναμία των παραγωγών να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις διακίνησης τέτοιων φορτίων. Η χωρητικότητα ενός βυτιοφόρου οχήματος μεταφοράς αερίου υδρογόνου (GH_2 -trailer/200 bar) κυμαίνεται μεταξύ 2.400-4.000 m^3 (κανονικό μέγεθος) και 5200-6000 m^3 (ειδική κατασκευή). Υπολογίζεται ότι απαιτούνται 5-6 βυτιοφόρα οχήματα ειδικής κατασκευής ή 10-12 κοινά βυτιοφόρα οχήματα με υδρογόνο, ποιότητας 5.0 μέσα σε ένα χρονικό διάστημα της τάξεως των 20 ωρών, για ένα πλήρη ανεφοδιασμό ενός Υ/Β.

Το πρόβλημα χρήσης LH_2 βρίσκεται στη σημερινή αδυναμία παραγωγής του από την εγχώρια βιομηχανία και η προμήθεια είναι εφικτή μόνο από την Ευρωπαϊκή βιομηχανία και συγκεκριμένα από την Γερμανία, την Ολλανδία και την Γαλλία, μέσω βυτιοφόρων οχημάτων χωρητικότητας 15.000 It έως 41.000 It. Η διάρκεια ανεφοδιασμού για ένα πλήρες γέμισμα των φιαλών ενός Υ/Β εκτιμάται ότι είναι της τάξεως των 30 ωρών [πληροφορίες από δοκιμές Γερμανικού Ναυτικού].

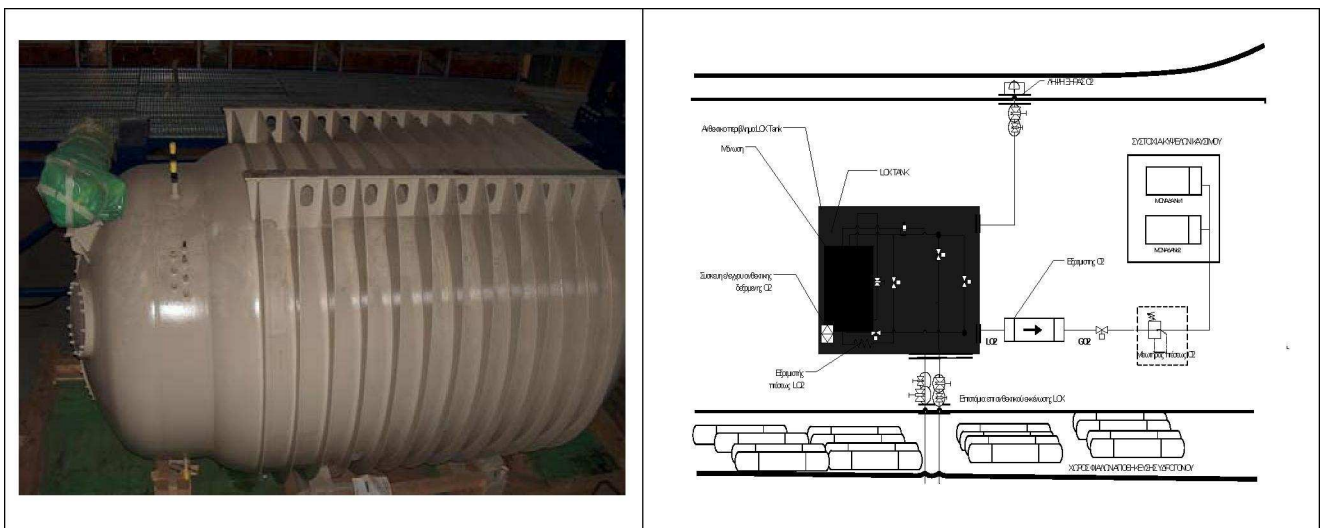
Σύστημα οξυγόνου (O_2)

Στο Υ/Β το οξυγόνο, περιεκτικότητας κατ' ελάχιστο 99,5% σε O_2 (ποιότητα 2,5), χρησιμοποιείται τόσο ως καύσιμο για τις κυψέλες καυσίμου όσο και για αναζωογόνηση της ατμοσφαιράς του Υ/Β. Αποθηκεύεται εντός του υποβρυχίου σε θερμικά μονωμένη δεξαμενή (ανοξειδωτος μη μαγνητικός χάλυβας), με όριο αντοχής μεγαλύτερο των 60 bar για δυνατότητα εκκένωσης της από οποιοδήποτε βάθος, σε *υγρή* μορφή και σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία (Σχήμα 24). Η δεξαμενή είναι κατασκευασμένη σύμφωνα με την τεχνική των δοχείων «dewar», τα οποία αποτελούνται από διπλό τοίχωμα στον ενδιάμεσο χώρο (που στις συνήθεις περιπτώσεις είναι το κενό) του οποίου υπάρχει κατάλληλο μονωτικό υλικό (υαλοσφαιρίδια πολύ μικρής διαμέτρου, < 0,07 mm, κενά στο εσωτερικό) για τη μείωση της ροής της θερμότητας. Με την δημιουργία κενού στον ενδιάμεσο χώρο, τα υαλοσφαιρίδια σχηματίζουν μια μορφή κυψελλωτού ιστού (honeycomb) με πολύ καλές θερμομονωτικές δυνατότητες, καθώς και μηχανικές ιδιότητες, για την στήριξη της εσωτερικής δεξαμενής.

Η είσοδος των σωλήνων τροφοδοσίας της δεξαμενής μέσα στον χώρο της μόνωσης, καθώς και οι ταινίες στήριξης της δεξαμενής, δημιουργούν θερμογέφυρες με τον εξωτερικό χώρο, και κατά συνέπεια σταδιακή αύξηση της πίεσως της δεξαμενής. Το συνολικό βάρος της δεξαμενής ξεπερνά τους 13 tn και είναι απαραίτητο όλες οι σωληνώσεις του δικτύου να έχουν διπλά τοιχώματα, για έλεγχο τυχόν διαρροών.

Για να δημιουργηθεί ροή οξυγόνου απαιτείται να αυξηθεί η πίεση της δεξαμενής σε τιμή μεγαλύτερη της επικρατούσας εσωτερικής πίεσως του Υ/Β. Υπάρχει ειδική συσκευή που, με ρυθμιστή ροής, οδηγεί το O₂ σε εναλλάκτη θερμότητας, όπου επιτυγχάνεται εξάτμισή του και κατά συνέπεια αύξηση της πίεσης. Με κατάλληλη διάταξη συγκοινωνίας με την δεξαμενή επιτυγχάνεται σταθερή πίεση 6 bar.

Το οξυγόνο είναι πλέον δυνατό να οδηγηθεί λόγω της πίεσως στις κυψέλες καυσίμου, αφού πρώτα οδηγηθεί στον εξαερωτή (εναλλάκτη θερμότητας), φθάνει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, και στην συνέχεια στον ρυθμιστή πίεσως, (πίεση λειτουργίας στοιχείων 2,3 bar).



Σχήμα 24. Δεξαμενή υγρού O₂ (LOX) και γενική απεικόνιση δικτύου O₂

ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ Π.Ν. U214 ΜΕ Α.Ι.Ρ.

Γενική Περιγραφή του Υ/Β κλάσεως U214 και της Ηλεκτρικής Εγκατάστασής του

Τα νέα Υ/Β κλάσεως U214 του Π.Ν., ακολουθούν τη γενική φιλοσοφία των συμβατικών Υ/Β εφαρμόζοντας όμως πρωτοποριακές τεχνολογικά λύσεις. Το σύστημα ηλεκτρικής ισχύος και πρόωσης περιλαμβάνει :

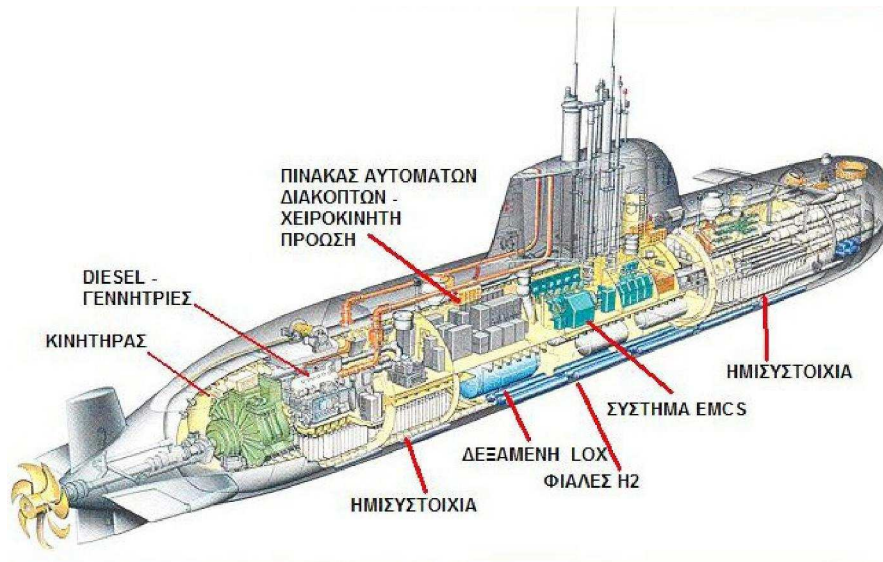
- «Υβριδικό» σύστημα παραγωγής ενέργειας αποτελούμενο από συνδυασμό μηχανών Diesel συνδεδεμένων με γεννήτριες (E.P. με ανορθωτική διάταξη) και σύστημα Α.Ι.Ρ. (Κυψέλες Καυσίμου PEM Fuel Cell) κατασκευής SIEMENS, ίδιο με αυτό των Υ/Β U209 του προγράμματος εκσυγχρονισμού NEPTUNE-II.

- Συστοιχία Ηλ. Συσσωρευτών Pb νέου τύπου ελληνικής κατασκευής SUNLIGHT-GERMANOS A.E [648 στοιχεία, 350 kg (γεμάτο) έκαστο, περίπου 9.500 Ah, σε 2 ημισυστοιχίες]. Η σύνδεση των ημισυστοιχιών είναι πάντα παράλληλη και η τάση του δικτύου είναι μη ρυθμιζόμενη (500 - 900 V DC).

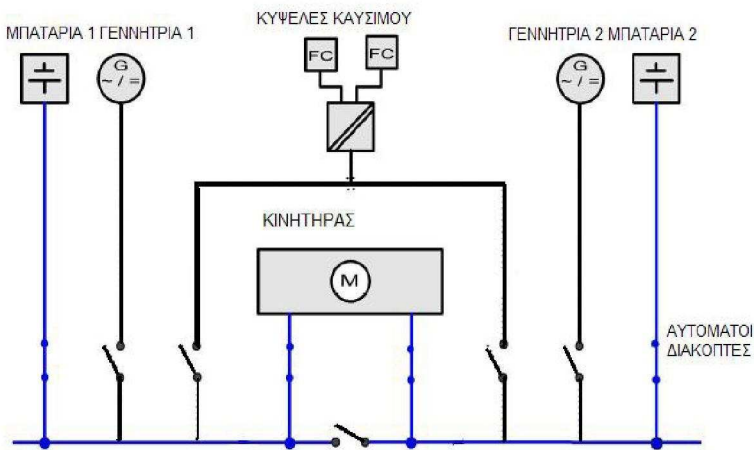
- Ηλεκτροκινητήρα πρόωσης E.P. (σύγχρονο με μόνιμους μαγνήτες) 3.900 kW τύπου PERMASYN κατασκευής SIEMENS

Η κατασκευή του πρώτου στη σειρά των 4 Υ/Β U214 έγινε στα γερμανικά ναυπηγεία στο Κίελο / Γερμανία (THYSSENKRUPP Marine Systems AG HDW GmbH) και αναμένεται να εντάχθηκε στη δύναμη του στόλου του Π.Ν. μέσα στο 2006 με την ονομασία «ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΗΣ». Τα υπόλοιπα 3 κατασκευάζονται στα Ελληνικά Ναυπηγεία ΑΕ (ΕΝΑΕ) στον Σκαραμαγκά σε συνεργασία HDW και με υποκατασκευαστή την ΜΕΤΚΑ (Βόλος).

Στο Σχήμα 25 φαίνεται η εσωτερική διάταξή του και η γενική διάταξη του συστήματος προώσεώς του, το οποίο είναι ίδιο με αυτό των Υ/Β του προγράμματος NEPTUNE-II. Οι ημισυστοιχίες της μπαταρίας, οι γεννήτριες και οι μονάδες κυψελών καυσίμου είναι συνδεδεμένα *ανα* μια στις δύο κύριες γραμμές ισχύος (500 - 900 V DC) του Υ/Β. Οι δύο αυτές γραμμές μπορούν, όποτε απαιτείται, να συνδέονται. Ο κινητήρας τροφοδοτείται *από* τις δύο αυτές γραμμές. Από τις ίδιες γραμμές παίρνουν ρεύμα και τα υπόλοιπα συστήματα του Υ/Β (οι συνδέσεις δεν φαίνονται στο σχήμα). Η διάταξη αυτή παρέχει μεγάλη ευελιξία και αξιοπιστία στο σύστημα προώσεως, καθόσον εξασφαλίζει πρόωση στο Υ/Β σε περιπτώσεις βλαβών, αρκεί να είναι σε λειτουργία τουλάχιστον μία από τις δύο γραμμές ισχύος, συνδεδεμένη με τουλάχιστον μία από τις τρεις πηγές ηλεκτρικού ρεύματος (μπαταρία, γεννήτρια, κυψέλη καυσίμου).



Εσωτερική διάταξη Υ / Β U214



Σχήμα 25

Σκαρίφημα
 διαγράμματος δικτύου
 προώσεως Υ/Β U214

Ο Ηλεκτροκινητήρας Πρόωσης PERMASYN

Η κυριότερη καινοτομία, που ενσωματώνουν τα νέα Υ/Β U214 στο τομέα της πρόωσης είναι ο κινητήρας τύπου PERMASYN της εταιρίας Siemens. Πρόκειται για σύγχρονο κινητήρα Ε.Ρ. με πόλους από μόνιμους μαγνήτες. Η τροφοδοσία γίνεται με Σ.Ρ. που μετατρέπεται μέσω αντιστροφών DC/AC σε Ε.Ρ.. Η ονομασία του προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων που χαρακτηρίζουν τον τύπο του κινητήρα - PERmanent MAGnet SYNchronous motor - και είναι σήμα κατατεθέν της εταιρίας Siemens για τους κινητήρες αυτού του τύπου.

Γενικά χαρακτηριστικά κινητήρων μόνιμων μαγνητών

Παρόλο που οι κινητήρες αυτού του τύπου αναφέρονταν στην βιβλιογραφία εδώ και πολλά χρόνια, η κατασκευή τους έγινε δυνατή μετά την πρόσφατη ανάπτυξη δύο τεχνολογιών : Την πρόοδο στα ηλεκτρονικά ισχύος που έκανε δυνατή την κατασκευή συμπαγών αντιστροφών και την ανάπτυξη της τεχνολογίας στον τομέα των υλικών στην κατασκευή μόνιμων μαγνητών.

Τα πλεονεκτήματα των κινητήρων αυτών, έναντι των κινητήρων Σ.Ρ. συνεχούς ρεύματος εξωτερικής διεγέρσεως που χρησιμοποιούνται και στα Υ/Β κλάσεως U209, είναι :

Α)Μεγαλύτερος συντελεστής απόδοσης και εξοικονόμηση της ενέργειας που απαιτείται για την ανάπτυξη του μαγνητικού πεδίου από ξεχωριστό κύκλωμα διεγέρσεως.

Β)Μείωση του βάρους και του όγκου του κινητήρα, διότι οι μόνιμοι μαγνήτες είναι μικρού βάρους ενώ δεν απαιτούνται ξεχωριστά κυκλώματα για την διέγερση.

Γ)Μείωση των απαιτήσεων συντηρήσεως του κινητήρα, διότι δεν υπάρχουν ηλεκτρικές συνδέσεις με το δρομέα (ψήκτρες, δακτυλίδια, τυλίγματα).

Δ)Αθόρυβη λειτουργία σε σχέση με τους προηγούμενους κινητήρες λόγω μείωσης των κινούμενων μερών. Αυτό το χαρακτηριστικό έχει μεγάλη σημασία σε στρατιωτικές εφαρμογές.

Η διέγερση είναι σταθερή εξαρτώμενη από τους μόνιμους μαγνήτες. Έτσι δεν υπάρχει δυνατότητα μεταβολής των στροφών του κινητήρα με μεταβολή της ροής. Στο κινητήρα Permasyn ο έλεγχος αυτός γίνεται με έλεγχο της τάσεως τροφοδότησης του κινητήρα από τους στατούς αντιστροφείς. Αυτή η διάταξη δίνει το πλεονέκτημα της δυνατότητας ελέγχου των στροφών του κινητήρα σε όλο το εύρος λειτουργίας του, χωρίς την ύπαρξη διακοπών για αλλαγή συνδεσμολογίας (βαθμίδων) προώσεως, όπως

γίνεται στους κινητήρες Σ.Ρ. στα Υ/Β της προηγούμενης γενιάς . Τα πλεονεκτήματά τους είναι :

Μικρότερη ανάπτυξη ροπής, διότι η μαγνητική επαγωγή των μόνιμων μαγνητών είναι μικρότερη από αυτή των ηλεκτρομαγνητών.

Υψηλό κόστος κατασκευής (λόγω υψηλού κόστους μόνιμων μαγνητών) που γίνεται αποδεκτό όμως για χρήση σε εξειδικευμένες εφαρμογές όπως στα υποβρύχια.

Δομή, Λειτουργία και Έλεγχος του κινητήρα PERMASYN

Ο κινητήρας PERMASYN αποτελεί μια συμπαγή κατασκευή, η οποία περιλαμβάνει όλα τα απαιτούμενα υποσυστήματα του και περιέχεται σε ένα κέλυφος το οποίο είναι υδατοστεγανό μέχρι το ύψος του άξονα. Το πάνω μέρος του κελύφους μπορεί να αφαιρεθεί για συντήρηση και επισκευή του κινητήρα, ενώ ο κινητήρας διαθέτει σύστημα περιστροφής του στάτη για επισκευή των αντιστροφών, αν απαιτηθεί. Στο άνω μέρος του κελύφους εδράζονται τα διάφορα εξαρτημένα μηχανήματα του κινητήρα τα οποία είναι : οι αντλίες ψύξεως και κυκλοφορίας, οι εναλλάκτες θερμότητας του δικτύου ψύξεως, τα τροφοδοτικά τους και οι μονάδες τροφοδοσίας και ελέγχου του κινητήρα. Ο κινητήρας δεν απαιτεί ιδιαίτερη υποστήριξη από το Υ/Β παρά μόνον τροφοδοσία με Σ.Ρ. από το κύριο δίκτυο ισχύος του Υ/Β (500 - 900 V DC) και σύνδεση με το δίκτυο θαλασσίου ύδατος ψύξεως. Οι μονάδες ελέγχου του κινητήρα συνδέονται με τις μονάδες ελέγχου προώσεως στο κύριο πίνακα διανομής και ελέγχου του Υ/Β (TCC/DB) .

Η διέγερση του κινητήρα προέρχεται από μόνιμους μαγνήτες τοποθετημένους στο δρομέα, οι οποίοι δεν απομαγνητίζονται εύκολα, ενώ συγχρόνως αναπτύσσουν ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Με την διάταξη αυτή δεν απαιτείται ηλεκτρική σύνδεση του δρομέα με τροφοδοσία. Ο δρομέας είναι στερεωμένος κατάλληλα, ώστε να καλύπτει τις υψηλές απαιτήσεις λειτουργίας σε καταστάσεις οριζοντίων και διαμηκών κλίσεων, που προκύπτουν από τις επιχειρησιακές απαιτήσεις των υποβρυχίων.

Ο κινητήρας διαθέτει αριθμό ενσωματωμένων στατών αντιστροφών (inverters), ένας για κάθε φάση, τοποθετημένους στο στάτη στον κινητήρα, οι οποίοι μετατρέπουν το Σ.Ρ. από το δίκτυο του Υ/Β σε Ε.Ρ. μεταβλητού πλάτους και συχνότητας, ανάλογα και με τις εντολές του συστήματος ελέγχου και τροφοδοτούν τα τυλίγματα των φάσεων του κινητήρα, τα οποία βρίσκονται στο στάτη. Οι στατοί αντιστροφείς αποτελούν το κυριότερο ίσως σημείο του κινητήρα και η εξέλιξη τους ήταν αυτή που έκανε δυνατή την κατασκευή του. Η κατασκευή τους είναι εξαιρετικά συμπαγής, ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν εσωτερικά του

κινητήρα, ο οποίος έτσι στο σύνολό του έχει τελικά το μισό περίπου όγκο σε σύγκριση με τους κινητήρες Σ.Ρ. της προηγούμενης γενιάς Υ/Β.

Οι αντιστροφείς του κινητήρα Permasyn των Υ/Β λειτουργούν με την τεχνική της διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM, Pulse Width Modulation) με χρήση διακοπών Isolated Gate Bipolar Transistor (IGBT). Η παραγόμενη εναλλασσόμενη τάση καταλήγει σε μετασχηματιστή, ο οποίος την μετασχηματίζει στο απαιτούμενο πλάτος, προσφέροντας ταυτόχρονα και γαλβανική απομόνωση του δικτύου τροφοδοσίας του Υ/Β με τα τυλίγματα του κινητήρα.

Ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει σε όλο το εύρος στροφών του, τόσο για πρόσω όσο και για ανάποδα, χωρίς την απαίτηση αλλαγής της συνδεσμολογίας τροφοδότησης με χρήση διακοπών. Η αλλαγή της φοράς περιστροφής γίνεται με αλλαγή της σειράς διαδοχής των φάσεων του.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του κινητήρα είναι η δυνατότητα του να λειτουργήσει σαν γεννήτρια κατά την επιβράδυνση (μείωση στροφών/ταχύτητας) επιστρέφοντας έτσι ενέργεια στην συστοιχία του Υ/Β, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια του Υ/Β σε ηλεκτρική.

Το σύστημα ελέγχου του κινητήρα αποτελείται από σύγχρονους ηλεκτρονικούς υπολογιστές (προγραμματιζόμενους ελεγκτές PLC SIMATIC σειράς S7 της εταιρείας SIEMENS). Το σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει επίσης αισθητήρες για λήψη πληροφοριών (γωνιακή θέση του δρομέα, θερμοκρασίες, κατάσταση λειτουργίας κ.α.).

Ο κινητήρας διαθέτει ενσωματωμένο σύστημα ψύξης, το οποίο αποτελείται από αριθμό αντλιών θερμότητας, με χρήση γλυκού νερού στο εσωτερικό του κινητήρα (υδρόψυκτος) και θαλασσινού νερού, από το δίκτυο θαλάσσης του Υ/Β στα ψυγεία. Το σύστημα ελέγχου ενεργοποιεί αυτόματα τις αντλίες που απαιτούνται, ανάλογα με το αιτούμενο φορτίο.

Για επιχειρησιακούς λόγους ο κινητήρας, όπως και αυτός των προηγούμενων Υ/Β, έχει κατασκευαστεί με μεγάλες δυνατότητες, ώστε να μπορεί να παρέχει πρόωση στο Υ/Β, ακόμα και σε περιπτώσεις σημαντικών ανωμαλιών ή και απωλειών τμημάτων του κινητήρα, με σταδιακή απομείωση των δυνατοτήτων του, παρέχοντας όμως δυνατότητα πρόωσης του υποβρυχίου.

Έτσι οι φάσεις του στάτη και οι αντίστοιχοι μετατροπείς χωρίζονται σε δύο ανεξάρτητες ομάδες. Οι τροφοδοσία γίνεται από τα δύο ανεξάρτητα τμήματα του δικτύου συνεχούς ρεύματος του υποβρυχίου. Γι' αυτό και ο κινητήρας θεωρείται διπλός [δύο κινητήρες (partial

motors) σε κοινό κέλυφος] σχεδίαση που αποτελεί κοινό τόπο για τους κινητήρες υποβρυχίων. Ακόμα και σε περίπτωση βλάβης σε ένα αριθμό αντιστροφών, ο κινητήρας θα συνεχίσει να λειτουργεί με μειωμένη ισχύ. Ελάχιστη απαίτηση είναι η λειτουργία τουλάχιστον δυο μη αντιδιαμετρικών φάσεων (άρα και των αντίστοιχων αντιστροφών) ώστε να έχουμε δημιουργία στρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

Διπλά είναι επίσης και τα επιμέρους συστήματα του κινητήρα και συγκεκριμένα το σύστημα ψύξεως αυτού , που περιλαμβάνει το δίκτυο, τους εναλλάκτες θερμότητας , τις αντλίες και τις μονάδες ελέγχου με τους αισθητήρες , το σύστημα ελέγχου του κινητήρα (διπλοί δίαυλοι επικοινωνίας , διπλοί υπολογιστές κτλ). Επιπλέον ξεχωριστοί είναι και οι υπολογιστές (PLC) που ελέγχουν την χειροκίνητη λειτουργία του κινητήρα.

Η κανονική λειτουργία του κινητήρα είναι τηλεχειριζόμενη, μέσω της μονάδας ελέγχου του κινητήρα (Speed Monitoring System, SMC) από το ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου του Υ/Β (EMCS) ή τοπική από τον κεντρικό πίνακα ελέγχου (TCC), με χρήση ξεχωριστής μονάδας ελέγχου (MSC). Υπάρχει επιπλέον δυνατότητα ηλεκτρικής στρέψεως του κινητήρα με πολύ χαμηλή ταχύτητα περιστροφής, για λόγους συντηρήσεως.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΑ ΠΛΟΙΑ

Παρακάτω αναφέρονται κάποια από τα μέσα πυραωίχνευσης –πυροπροστασίας , που είναι πιθανώς να απαιτούνται στα πάσης φύσης πλοία

Σύστημα καπνού

→ **Περιγραφή**

Το σύστημα καπνού (smoke detection system), αποτελείται από σωληνώσεις διαμέτρου $\frac{3}{4}$ της ίντσας (περίπου), οι οποίες αρχίζουν από της οροφές των καλυπτόμενων χώρων (κατάμπαρου, κουραδόρου κ.λπ.) και καταλήγουν στη γέφυρα του πλοίου, μέσα σε ειδικό θαλαμίσκο - ενδείκτη.

Στους μεγάλους χώρους, όπως είναι τὰ αμπάρια, υπάρχουν δύο τουλάχιστον σωλήνες, σε θέσεις απομακρυσμένες μεταξύ τους και επιλεγμένες έτσι ώστε να μην προσβάλλονται εύκολα από τα χτυπήματα των φορτίων. Δυο αεραντλίες που βρίσκονται στην άνω γέφυρα του πλοίου, έλκουν μέσω των σωλήνων και διοχετεύουν στον ενδείκτη της γέφυρας, δείγματα αέρα από κάθε χώρο του πλοίου. Σε περίπτωση φωτιάς, έλκεται μαζί με τον αέρα καπνός, ο οποίος γίνεται εύκολα αντιληπτός με την όραση, όσο και με την όσφρηση, από τους άνδρες φυλακής της γέφυρας. Ο χώρος από τον οποίο προέρχεται ο καπνός, προσδιορίζεται από την επιγραφή που υπάρχει κοντά στο στόμιο κάθε σωλήνα του ενδείκτη.

→ **Χειρισμός**

Θέτουμε σε λειτουργία τη μία από τις δύο αεραντλίες και παρακολουθούμε τις εξαγωγές των σωλήνων στον ενδείκτη. Αν υπάρχει καπνός, γίνεται αντιληπτός με την όραση αλλά και την όσφρηση.

→ **Έλεγχος - συντήρηση**

Στο στόμιο κάθε σωλήνα του ενδείκτη, υπάρχουν ελαφρά σφαιρίδια ή νηματίδια τα οποία αναπηδούν ή ταλαντεύονται αντίστοιχα, με το ρεύμα του ελκόμενου, από την αεραντλία, αέρα. Ακινησία οποιουδήποτε σφαιριδίου ή νήματος, σημαίνει απόφραξη (βούλωμα) του αντίστοιχου σωλήνα, που πρέπει ν' αποκατασταθεί οπωσδήποτε. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διοχέτευση αέρα υπό πίεση, ή μικρής ποσότητας CO₂, όταν υπάρχει συνδυασμός με τέτοιο σύστημα. Πριν γίνει η ενέργεια αυτή είναι σκόπιμο να τίθεται σε λειτουργία και οι δύο αεραντλίες μαζί, οπότε πιθανόν να επιτευχθεί η απόφραξη.

Κάθε τρίμηνο θα πρέπει να λιπαίνονται οι αεραντλίες και κάθε 6μηνο πρέπει να ελέγχονται

οι ψύκτρες των κινητήρων και να γίνεται δοκιμή του συστήματος με καπνό. Για το σκοπό αυτό, ανάβουμε σε μικρό δοχείο λίγο πετρέλαιο, ή λίγο (εμποτισμένο με πετρέλαιο) στουπί και το πλησιάζουμε σε απόσταση ενός μέτρου περίπου, από το στόμιο – εισαγωγή κάθε σωλήνα (των κατάμπαρων, κουραδόρων, αποθηκών κ.λπ.), ενώ έχουμε ήδη θέσει σε λειτουργία τη μία από τις δύο αεραντλίες. Αν το σύστημα λειτουργεί σωστά, θα πρέπει εκείνος που (έχει επιφορτιστεί να) παρακολουθεί τον ενδείκτη στη γέφυρα, ν' αντιληφθεί τον καπνό.

Σύστημα καπνού με αυτόματο ανιχνευτή τύπου Kidde.

→ **Περιγραφή**

Το σύστημα καπνού με αυτόματο ανιχνευτή λειτουργεί βασικά όπως το προηγούμενο. Η διαφορά έγκειται στο ότι εδώ υπάρχει, εκτός από τον απλό ενδείκτη της γέφυρας και ένας αυτόματος ανιχνευτής (automatic detector), ο οποίος διεγείρεται με ελάχιστα ίχνη καπνού ή με άλλα προϊόντα της καύσεως.

Ο ανιχνευτής αποτελείται από ένα θάλαμο μέσα στον οποίον υπάρχουν δύο ομάδες φωτοκυττάρων υπό την επήρεια ενός λαμπτήρα 250 WATT. Η μία ομάδα περιλαμβάνει πέντε, η δε άλλη ένα φωτοκύτταρο. Το μοναχικό αυτό φωτοκύτταρο είναι ρυθμιζόμενο κι έτσι είναι δυνατόν να επιτυγχάνεται μεταξύ αυτού και της ομάδας των πέντε, μηδενική διαφορά δυναμικού (ισορροπία) με τη βοήθεια ενός προσαρμοσμένου στη συσκευή μικροαμπερομέτρου. Μπροστά από το μοναχικό φωτοκύτταρο διέρχεται ο ελκόμενος με τις αεραντλίες αέρας των κυτών και λοιπών χώρων. Όταν ο αέρας αυτός είναι καθαρός, η ισορροπία διατηρείται. Όταν όμως ο αέρας περιέχει και ίχνη καπνού, το μονοκύτταρο επηρεάζεται και σχηματίζεται διαφορά δυναμικού, η οποία ενεργοποιεί καταλλήλως ένα αλάρμ και ανάβει ένα κόκκινο λαμπτήρα, αφυπνίζοντας οπτικά και ακουστικά τους άνδρες φυλακής στη γέφυρα. Περαιτέρω ο καπνός διαχέεται μέσα στη γέφυρα, και γίνεται επίσης αντιληπτός με την όσφρηση και την όραση.

→ **Χειρισμός**

Θέτουμε σε λειτουργία τη No1 ή No2 αεραντλία, τους διακόπτες «Main Switch», «Audio Cut Off», «Fire Alarm» και «Trouble Buzzer» στη θέση «On» και το διακόπτη φωτισμού του θαλάμου (Cabinet Light) στη θέση «Off».

Ο δείκτης του αμπερομέτρου ρυθμίζεται ώστε να δείχνει μηδέν. Ο αριθμός που εμφανίζεται στη θυρίδα ελεγχόμενου διαμερίσματος, αλλάζει κάθε 4 δευτερόλεπτα περίπου. Όλα τα μετάξινα νηματίδια που βρίσκονται στις εξόδους των σωλήνων πρέπει να ανεμίζουν

έντονα, εκτός εκείνου που αντιστοιχεί στον αριθμό του ελεγχόμενου διαμερίσματος. Η βαλβίδα εξαγωγής πρέπει να είναι ανοικτή προς την γέφυρα.

→ **Σήμανση βλαβών**

Λειτουργία βομβητή ή φωτός, μπορεί να σημαίνει:

- α. Ζημιά στην αεραντλία
- β. Διακόπτης «Fire Alarm» εκτός
- γ. Λαμπτήρας φωτοκυττάρων σβησμένος
- δ. Λυχνία «Audio» καμένη
- ε. Βλάβη στο βοηθητικό διακόπτη Gong
- στ. Πτώση της τάσεως του πλοίου

→ **Έλεγχος - συντήρηση**

Κάθε δύο χρόνια θα πρέπει να ελέγχονται όλες οι σωληνώσεις, με εμφύσηση αέρα, για να διαπιστώνεται ότι δεν είναι φραγμένες.

Τα νηματίδια πρέπει να αντικαθίστανται όταν φθαρούν.

Οι αεραντλίες πρέπει να χρησιμοποιούνται εναλλάξ και να λιπαίνονται ανά τρίμηνο.

Κάθε 6μηνο πρέπει να γίνεται γενική δοκιμή του συστήματος με καπνό και να ελέγχονται οι ψήκτρες των κινητήρων.

Σύστημα με θερμικές κεφαλές

→ **Περιγραφή**

Το σύστημα αυτό αποτελείται από ειδικές συσκευές (κεφαλές) ευαίσθητες στη θερμότητα και ρυθμισμένες με τρόπο, ώστε όταν η θερμοκρασία του χώρου στον οποίο βρίσκονται ανέλθει σ' ένα ορισμένο όριο, αυτές διεγείρονται και κλείνουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Το ηλεκτρικό κύκλωμα προκαλεί το χτύπημα αλάρμ και το άναμμα μικρής λυχνίας σε ένα ειδικό πίνακα – πλάνο του πλοίου, ευρισκόμενο στη γέφυρα. Οι λυχνίες είναι ισάριθμες των ελεγχόμενων από το σύστημα χώρων. Σε κάθε χώρο, ανάλογα με το μέγεθος του, υπάρχει μία ή περισσότερες κεφαλές.

→ **Χειρισμός**

Θέτουμε τον διακόπτη ON – OFF στη θέση ON. Σε περίπτωση πυρκαγιάς θα ηχήσει το

αλάρμ και θα ανάψει στον πίνακα του ενδείκτη η λυχνία που αντιστοιχεί στο χώρο της πυρκαγιάς.

→ **Έλεγχος - συντήρηση**

Μετά από κάθε εκφόρτωση ελέγχονται οι συσκευές στα αμπάρια, και εξασφαλίζεται ότι δεν έχουν υποστεί βλάβη από χτυπήματα φορτίου. Καθημερινά, ελέγχεται ο ενδείκτης της γέφυρας, με γύρισμα του διακόπτη λειτουργίας στη θέση Testing.

Ανά 6μηνο εκτελείται γενική δοκιμή του συστήματος με το πλησίασμα αναμένου στουπιού ή χαρτιού σε απόσταση 0,40 – 1 μέτρο από κάθε κεφαλή και την παρακολούθηση του αλάρμ και του αντίστοιχου, για τον κάθε χώρο, λαμπτήρα στον ενδείκτη του πίνακα της γέφυρας.

Σύστημα με υπέρυθρες ακτίνες

Το σύστημα αυτό μοιάζει με το προηγούμενο. Υπάρχουν και σε αυτό οι συσκευές – ανιχνευτές και ο ενδείκτης στη γέφυρα ή και σε άλλον σταθμό ελέγχου του πλοίου. Η διαφορά έγκειται στο ότι, σαν ανιχνευτές χρησιμοποιούνται φωτοκύτταρα υπέρυθρων ακτίνων, τα οποία έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία στη θερμότητα και ευρύτερη εμβέλεια ενεργοποίησεως.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η ηλεκτροπρόωση αποτελούσε ανέκαθεν τη σχεδόν αποκλειστική επιλογή για την πρόωση υποβρύχιων οχημάτων όπως π.χ. σε βαθυσκάφη, σε «συμβατικά» - δηλ. μη πυρηνικά - υποβρύχια πολεμικά πλοία κλπ. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει στο να έχουν τα Υ/Β ένα αυξημένο βαθμό «εξηλεκτρισμού», με ενδιαφέροντα από τεχνολογικής σκοπιάς Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (μεγάλης ισχύος ηλεκτροπαραγά ζεύγη, μεγάλης χωρητικότητας σε Αh ηλ. συσσωρευτές, μεγάλης ισχύος ηλ. κινητήρες πρόωσης κλπ). Τα τελευταία μάλιστα χρόνια έχουμε μετάβαση από τους κινητήρες ΣΡ σε κινητήρες ΕΡ, με ευρεία χρήση διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος.

Η εξέλιξη των νέων τεχνολογιών στα αναερόβια συστήματα ηλεκτρικής ισχύος (Α.Ι.Ρ.), και ιδιαίτερα στα συστήματα παραγωγής ενέργειας από υδρογόνο, βρίσκουν σημαντική εφαρμογή στον τομέα των συμβατικών Υ/Β, καταρρίπτοντας έτσι απόψεις, που μιλούσαν για μείωση της σημασίας τους λόγω της μικρής αυτονομίας τους, προς όφελος της επιλογής της πυρηνικής ενέργειας, απόψεις, που την προηγούμενη δεκαετία οδήγησαν το Ηνωμένο Βασίλειο να καταργήσει τη δύναμη συμβατικών Υ/Β, που διατηρούσε, προς όφελος των πυρηνοκίνητων. Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι με τα «υβριδικά» Α.Ι.Ρ. συστήματα πρόωσης (συνδυασμός πρόωσης με χρήση συστοιχιών ηλ. συσσωρευτών και Κυψελών Καυσίμου) μπορεί να τετραπλασιαστεί η δυνατότητα κατάδυσης των Υ/Β, φτάνοντας τουλάχιστον στις 11 ημέρες συνεχούς κατάδυσης, χωρίς την ανάγκη χρήσης αναπνευστήρα, ούτε για τη φόρτιση των συσσωρευτών αλλά ούτε και για τη ανανέωση της εσωτερικής ατμόσφαιρας. Έτσι τώρα ΗΠΑ και Καναδάς επανεξετάζουν την σκοπιμότητα απόκτησης συμβατικών Υ/Β με την νέα τεχνολογία. Η μελλοντική χρήση «αναμορφωτών» (fuel reformer) - μετατροπή μεθανόλης αλλά και κοινού τύπου ναυτικού πετρελαίου - επί των πλοίων, ανοίγει το δρόμο επίτευξης είτε **μεγαλύτερης αυτονομίας** σε κατάδυση στα Υ/Β (έως και 30 ημέρες) είτε επίτευξης μεγαλύτερης ισχύος, καθώς επίσης και για ευρεία χρήση Κυψελών Καυσίμου ακόμη και σε πλοία επιφάνειας. Τέτοια συστήματα βρίσκονται ήδη υπό δοκιμή σε ορισμένες χώρες (Γερμανία, ΗΠΑ, Δανία κλπ)

Το Ελληνικό Πολεμικό Ναυτικό έχει μακρά εμπειρία στην ηλεκτροπρόωση τόσο σε πλοία επιφάνειας παλαιότερα (Αντιτορπιλικά, Πετρελαοφόρα) όσον και στα συμβατικά Υ/Β. Το Π.Ν., πρωτοπόρο στην εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών, θα διαθέτει - σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα και μετά την ολοκλήρωση των εξοπλιστικών προγραμμάτων το 2012 - τη μεγαλύτερη δύναμη Υ/Β με πρόωση ΑΙΡ/Fuel Cell παγκοσμίως.(αν αυτά συνεχιστούν

κανονικά λόγω της οικονομικής κρίσης)

Πέραν από τα επιχειρησιακά πλεονεκτήματα για την εθνική άμυνα, η Ελλάδα εξασφαλίζει έτσι και μεταφορά τεχνογνωσίας νέων τεχνολογιών (Κυψέλες Καυσίμου, Ηλεκτρονικά Ισχύος, νέοι τύποι Ηλ. Κινητήρων) και ενδυναμώνει την εγχώρια βιομηχανία τόσο στο ναυπηγο-επισκευαστικό τομέα (Ελληνικά Ναυπηγεία Α.Ε, ΜΕΤΚΑ), όσο και στον τομέα των ηλ. συσσωρευτών (ΓΕΡΜΑΝΟΣ Α.Ε), αλλά ενδεχόμενα και στην παραγωγή και διακίνηση H_2 στο εγγύς μέλλον. Η παραγωγή και διακίνηση των απαιτούμενων ποσοτήτων καυσίμων, H_2 και O_2 , για τα Υ/Β μπορεί να αποτελέσει νέο και πολλά υποσχόμενο τομέα βιομηχανικής και οικονομικής επένδυσης και σε συνδυασμό με ανανεούμενες πηγές ενέργειας.

Οι κύριοι τομείς, που επικεντρώνεται η έρευνα στον τομέα Κυψελών Καυσίμων διεθνώς, είναι η βελτίωση αποθήκευσης H_2 , η ανάπτυξη «αναμορφωτών» καυσίμου, η βελτίωση των χαρακτηριστικών των μεμβρανών, η χρησιμοποίηση νέων τύπων κυψελών καυσίμου, η ανάπτυξη επιτόπιας παραγωγής υδρογόνου και η θέσπιση κανόνων πιστοποίησης για εμπορικά σκάφη.

Η ηλεκτροπρόωση, που είχε σχετικά περιορισμένες εφαρμογές στο παρελθόν σε πλοία επιφάνειας, προσελκύει σήμερα ξανά το ενδιαφέρον τόσο για τα εμπορικά πλοία όσο και για τα νέας γενιάς πολεμικά πλοία επιφάνειας, κυρίως λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων στους ηλεκτρικούς κινητήρες και στα ηλεκτρονικά ισχύος. Οι εξελίξεις αυτές, σε συνδυασμό με τη συνεχή τάση αύξησης του βαθμού εξηλεκτρισμού όλων των συστημάτων και λειτουργιών των πλοίων, οδηγούν τα τελευταία χρόνια στη σταδιακή υλοποίηση της ιδέας του «Πλήρως Εξηλεκτρισμένου Πλοίου» (A.E.S. : All Electric Ship).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Πυρόσβεση – πυροπροστασία και πυρασφάλεια στα πλοία, Ίδρυμα Ευγενίδου
2. Προχωρημένη εκπαίδευση στην καταπολέμηση της πυρκαγιάς, Θεϊόπουλος Αναστάσιος
3. Στοιχεία πυρασφάλειας και εφαρμοσμένης πυροπροστασίας, Χουσιανάκου Κωνσταντίνου
4. Bolind A. M, "An Evaluation of Fuel Cells for Commercial Ship Applications" *Technical and Research Repor No.55, The Society of Naval Architects and Marine Engineers*, New Jersey, 2000
5. Gabler U., "Submarine Design", Luebeck Okt 96, Fourth edition, Verlag B. and Graefe, 1996 [3] Glass E. D., "Bonding and Sealing Evaluations for Cryogenic Tanks" Analytical Services & Materials, Inc., Hampton, VA 23666 Contract NAS1-96014 August 1997, National Aeronautics and Space Administration, Langley Research Center Hampton, Virginia 23681-0001 [4] GNU, "Type 209 submarine", Free Documentation License, GFDL. <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.htm> [5] Greig A., Boyes B. M, "Fuel Cells and how they will Impact on Warship Design", University College London
6. ABB, (1999) "*Technical Guide 1:Direct Torque Control*",
7. ABB Marine (2000), "Azimuthing Electric Propulsion Drive"
8. AES (2000) "*All Electric Ship -Civil or Military* ", Πρακτικά διεθνούς συνεδρίου με Αντικείμενο το Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο, Paris (France), Οκτώβριος.
9. AES (2003) "*All Electric Ship -Civil or Military*", Πρακτικά διεθνών συνεδρίων με Αντικείμενο το Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο, Edinburg (UK), Φεβρουάριος.
10. AES (2005) "*All Electric Ship -Civil or Military*", Πρακτικά διεθνών συνεδρίων με Αντικείμενο το Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο, Paris (France), Οκτώβριος.
11. Bose B.K. (1997), "*Power Electronics and Variable Frequency Drives: Technology and Applications*", IEEE Press, New York.
12. Bucknall R. W. G., Doherty K. P., Haines N. A. (1997), "The matrix converter: the ultimate electric drive technology", Proceedings of "*Electric Warship: Power, Control, System Protection*" Seminar, ImarE, United Kingdom.

13. Caricchi F., Crescimbin F., Honorati O. (1999) "Modular Axial Flux Permanent - Magnet Motor for Ship Propulsion Drives", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 14, No. 3, pp. 673-679, September.
14. Cooper N. (1994), "Electric Drives become Cruise Ship Standard," *The Motor Ship*, October. [10] Davidson W., (1996) "*A submarine static power converter: electromagnetic compatibility*", *Trans ImarE*, Vol. 107, Part 3, pp.209-222.
15. Frangopoulos C., Spagouros S., Batistatos N. (2001), "Optimal Design of A Car Passenger ferry of New Technology: Electric Pod Propulsion System", July.
16. Galan G. (1993), "The First Modern Diesel-Electric Tanker," in *FUTURE SHIPS: Setting Targets for Design Development*, *15th Intem. Marine Propulsion Conference*, London, 11-12 March.
17. Gieras J.F., Wing M (1997), "*Permanent Magnet Motor Technology - Design and Application*", Marcel Dekker Inc, New York.
18. Harrington R. L. (1992), ed., "*Marine Engineering*", The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, N.J.
19. Hellenic Register of Shipping (1999), "*Rules and Regulations for the Classification and Construction of Steel Ships- Part 6: Electrical Installations*", Piraeus (Greece).
20. Μαλατέστας Π, Μανιάς Σ (1995), "*Συστήματα Οδήγησης Ηλεκτρικών Κινητήρων*", Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
21. Μανιάς Σ (1988), "*Ηλεκτρονικά Ισχύος*", Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα.
22. Μπατιστάτος Ν. (1999), "*Ανάλυση Συστημάτων Δηζελοηλεκτρικής Πρόωσης Πλοίων*", Διπλωματική Μεταπτυχιακή Εργασία ΔΠΜΣ "Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας", Αθήνα, Οκτώβριος.
23. Φραγκόπουλος Χ., Προυσαλίδης Ι (2005): "Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου - Τόμος Α': Ηλεκτρολογικό μέρος", Διδακτικές σημειώσεις για φοιτητές της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.

Ιστοσελίδες

- ABB Marine "Azipod Propulsor" <http://www.abb.com>
- Kamewa - Alstom "Mermaid Propulsor" <http://www.kamewagroup.com>
- Siemens, "SSP Propulsor", <http://www.is.siemens.de/marine-eng/sspfs.htm>
- Rolls-Royce, <http://www.rolls-royce.com>
24. Alstom, <http://www.marine.alstom.com>