



Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

“ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ”

Μελέτη Ηλεκτρολογικής Εγκατάστασης Μικρού
Επιβατικού Πλοίου

Study of Electrical Installation of Small Passenger Vessel

Επιβλέπων Καθηγητής: Παντελής Β. Μαλατέστας

Σπουδαστής: Γεώργιος-Κων/νος Μοσχίδης

ΑΜ: 30644

Τόπος

Αιγάλεω

Μήνας – Έτος

Ιανουάριος-2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η Πτυχιακή αυτή εργασία μου έδωσε την δυνατότητα να διευρύνω τους ορίζοντες μου στον τομέα της Ναυπηγικής και να γνωρίσω από την πρακτική τους πλευρά τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις των πλοίων.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κον.Παντελή Β. Μαλατέστα καθηγητή στο ΤΕΙ Πειραιά στον τομέα των Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων και Κατασκευών, Προϊστάμενο του τμήματος Ηλεκτρολογίας που δέχτηκε την εποπτεία της Πτυχιακής εργασίας μου διαθέτοντας τον χρόνο και τις γνώσεις του σε όλη την διάρκεια διεξαγωγής της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ.Ιωάννη Μ. Προυσαλίδη, Λέκτορας (Ηλεκτρολόγος Μηχανικός ΕΜΠ) καθηγητή στον τομέα της Ναυτικής Ηλεκτρολογίας και Ηλεκτρονικής για την πολύτιμη βοήθεια του μέσω συγγραμμάτων.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Δημήτριο-Νικόλαο Παγώνη, καθηγητή εφαρμογών στο ΤΕΙ Αθήνας, στον τομέα της Τεχνολογίας Ναυτικής Μηχανολογίας για την προσπάθεια του να με βοηθήσει μέσω συγγραμμάτων ηλεκτρολογικών σχεδίων πλοίων.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω αρκετές ιδιωτικές εταιρείες στα Ναυπηγεία του Δήμου Περάματος που δεχτήκανε να με ακούσουνε και με την σειρά τους να με βοηθήσουν στον τομέα της ηλεκτρολογικής σχεδίασης και κατασκευής των πλοίων.

Τέλος, αλλά πολύ σημαντικό, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για όλη την στήριξή τους και ενδεχομένως την όποια βοήθεια τους στην προσπάθεια μου για την εκπόνηση της Πτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	1
Περιεχόμενα	2
Λίστα Σχημάτων	5
Λίστα Πινάκων.....	6
ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΟΙΩΝ.....	8
1.1 Γενικά στοιχεία	8
1.2 Απαιτήσεις και κανονισμοί	9
1.3 Συχνότητα και τάση ηλεκτρικού ρεύματος	10
1.4 Μόνωση και θερμοκρασία ηλεκτρικών μηχανών	11
1.5 Ηλεκτροπρόωση πλοίων και ανασκόπηση σχεδιαστικών ζητημάτων στο πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο	12
1.5.1 Εισαγωγή.....	12
1.5.2 Εναλλακτικές διαμορφώσεις Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας πλοίων	15
1.5.2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά	15
1.5.2.2 Σχεδιαστικά Χαρακτηριστικά	18
1.5.2.3 Σχετική Ορολογία	21
1.5.3 Σύγχρονη Τεχνολογία	22
1.5.3.1 Ηλεκτρικοί Κινητήρες Πρόωσης	22
1.5.3.2 Πολυβάθμιοι κινητήρες εγκάρσιας ροής (transverse flux motors)	24
1.5.3.3 Πολυβάθμιοι κινητήρες αξονικής ροής (axial flux motors)	25
1.5.3.4 Συνεργασία έλικα – κινητήρα πρόωσης	26
1.5.3.5 Έλικα Σταθερού Βήματος	27
1.5.3.6 Έλικα Ρυθμιζόμενου Βήματος	28
1.5.3.7 Το Αζιμουθιακό Προωστήριο Σύστημα (POD)	29

1.5.4 Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα Ηλεκτροπρόωσης	31
1.5.5 Συμπεράσματα	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ.....	34
2.1 Ορισμός	34
2.2 Ηλεκτρικός Ισολογισμός	35
2.2.1 Τρόπος υπολογισμού	35
2.3 Αριθμός και ονομαστική ηλεκτρική ισχύς των κύριων γεννητριών	37
2.4 Ονομαστική ισχύς της γεννήτριας ασφαλείας	38
2.5 Διατομές των καλωδίων τροφοδότησης των ζυγών, υποπινάκων, μηχανημάτων και συσκευών, καθώς και οι διατομές των κύριων ζυγών	39
2.6 Μελέτη βραχυκυκλωμάτων	44
2.6.1 Εισαγωγή-Θεωρητικό Υπόβαθρο	44
2.6.2 Ορισμός Βραχυκυκλώματος	44
2.6.3 Συνέπειες Βραχυκυκλωμάτων	44
2.6.4 Το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου κατά το βραχυκύκλωμα	45
2.6.5 Η περίπτωση του τριφασικού βραχυκυκλώματος	46
2.6.5.1 Βασικοί Υπολογισμοί	46
2.6.5.2 Ενεργές Τάσεις	47
2.6.5.3 Σύνθετη Αντίσταση Κινητήρων	47
2.6.5.4 Υπομεταβατικές και Μεταβατικές Σταθερές Χρόνου	48
2.6.5.5 Τριφασικό Ρεύμα Βραχυκυκλώματος	48
2.6.5.6 Μοντελοποίηση του Δικτύου τη στιγμή μετά το βραχυκύκλωμα	50
2.6.5.7 Υπολογισμός συνεπειών του βραχυκυκλώματος	50
2.7 Μονογραμμικό διάγραμμα της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης	53
2.8 Σύνοψη	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΡΧΩΝ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΕ ΥΠΑΡΚΤΟ ΠΛΟΙΟ	58
3.1 Βασικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου	58
3.2 Παρουσίαση του ηλεκτρικού δικτύου του υπό μελέτη πλοίου	61
3.3 Ηλεκτρικός ισολογισμός του υπό μελέτη πλοίου	62
3.4 Καταστάσεις Λειτουργίας ΣΗΕ πλοίου	65
3.5 Αριθμός και ονομαστική ηλεκτρική ισχύς των κύριων γεννητριών του πλοίου	67
3.6 Ονομαστική ισχύς της γεννήτριας ασφαλείας	67
3.7 Αξιολόγηση καλωδιώσεων του κύριου πίνακα	67
3.7.1 Γεννήτριες Diesel DG1,DG2,DG3	71
3.7.2 Αξονικές Γεννήτριες SG1,SG2	71
3.7.3 Κύριος Πίνακας 440 V -> Μετασχηματιστές 440 V / 230 V (6F01-03)	72
3.7.4 Κύριος Πίνακας 440 V -> Μετασχηματιστές 440 V / 230 V (6F04-06)	72
3.7.5 Πίνακας Εκτάκτου Ανάγκης 440V -> Μετασχηματιστές 440V / 230V(GFP07 -08)	73
3.7.6 Κύριος Πίνακας 440 V -> Μετασχηματιστές 440V / 440V (GF09-10)	73
3.7.7 Κύριος Πίνακας 440 V -> Μετασχηματιστές 440 V / 230 V (GF11-12)	74
3.8 Υπολογισμός ρευμάτων βραχυκύκλωσης για το υπό μελέτη πλοίο	75
3.9 Μονογραμμικό διάγραμμα εγκατάστασης του πλοίου	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	80
Βιβλιογραφία	81

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1	12
Σχήμα 2	15
Σχήμα 3	16
Σχήμα 4-5	23
Σχήμα 6-7	24
Σχήμα 8-9	25
Σχήμα 10-11	26
Σχήμα 12	27
Σχήμα 13	28
Σχήμα 14	29
Σχήμα 15	30
Σχήμα 16	31
Σχήμα 17	46
Σχήμα 18	49
Σχήμα 19-20	52
Σχήμα 21	54-55-56
Σχήμα 22	77
Σχήμα 23	79

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1	63
Πίνακας 2	70
Πίνακας 3	76

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολούμαστε με τη μελέτη των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων πλοίων. Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση αποτελεί την ενεργειακή ραχοκοκαλιά ενός οποιουδήποτε οχήματος και ιδίως στα πλοία, στα οποία μάλιστα υπάρχουν ακόμα περισσότερες απαιτήσεις (περιβάλλοντος, αντοχής, αξιοπιστίας κ.α.).

Δομικά η εργασία αυτή αναπτύσσεται ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται ορισμένα γενικά στοιχεία για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται στα πλοία, τους κανονισμούς που ακολουθούνται, τις απαιτήσεις και ιδιαιτερότητές τους και τις πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο επιχειρείται η παρουσίαση του θεωρητικού υπόβαθρου που διέπει μια μελέτη ηλεκτρολογικής εγκατάστασης πλοίου, βήμα-βήμα, από τον βασικό ισολογισμό ισχύος μέχρι την σχεδιαστική αναπαράσταση.

Στο τρίτο κεφάλαιο εφαρμόζονται οι παραπάνω αναπτυχθείσες αρχές σε ένα υπαρκτό εν ενεργεία πλοίο και τοιουτοτρόπως αξιολογείται η υπάρχουσα ηλεκτρολογική εγκατάσταση του.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρέχονται συμπεράσματα και μια σύνοψη της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΟΙΩΝ

1.1 Γενικά στοιχεία

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι πλέον ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία του πλοίου και την ασφάλεια των επιβαίνοντων. Η εγκατάσταση του πλοίου αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, που χαρακτηρίζεται από αυτάρκεια και αξιοπιστία. Αποτελείται από τρία κύρια υποσυστήματα: ισχύος, φωτισμού και επικοινωνιών - ναυσιπλοΐας.

Η εξάπλωση της ηλεκτροκίνησης και των ηλεκτρονικών συστημάτων αυτοματισμού, τηλεπικοινωνιών και ναυσιπλοΐας είχε ως αποτέλεσμα τη ραγδαία αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος από 5 W/dwt (**deadweight tonnage**) το 1890 σε 350 W /dwt το 1990 για φορτηγά πλοία, ενώ σε επιβατηγά πλοία φθάνει τα 750 W /dwt και σε πλοία με ηλεκτρική πρόωση φθάνει τα 1100 W /dwt.

Ενδεικτικές τιμές του κόστους μιας σύγχρονης ηλεκτρολογικής εγκατάστασης πλοίου (συμπεριλαμβανομένου και του αυτοματισμού) ως ποσοστού του ολικού κόστους του πλοίου είναι οι εξής:

- Δεξαμενόπλοια: 7,0%
- Containerships: 9,1%
- Φορτηγά : 7,3%
- Ψυγεία : 12%

Όσον αφορά στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας (Σ.Η.Ε.) των πλοίων, αυτά εμφανίζουν ιδιαιτερότητες ως προς τα ηπειρωτικά αντίστοιχα, καθώς:

- πρόκειται για συγκεντρωμένα δίκτυα με διακεκριμένα συστήματα παραγωγής και καταναλωτών συγκεντρωμένα σε πολύ μικρό χώρο ανά μονάδα ισχύος (σε σύγχρονες ναυπηγήσεις με ηλεκτρική πρόωση, η εγκατεστημένη ισχύς φτάνει τα 40-80 MW σε έκταση μερικών τετραγωνικών μέτρων)
- δεν διαθέτουν την εφεδρεία από διασύνδεση με άλλα γειτονικά συστήματα (παρά μόνον τις μονάδες εκτάκτου ανάγκης), ενώ το αυτόνομο σύστημα παραγωγής, εν γένει αποτελείται από περιορισμένο αριθμό γεννητριών
- ως προς το δίκτυο γείωσής του είναι κατά κανόνα αγείωτο

- η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω συστήματος διανομής (καλωδιώσεις, μετασχηματιστές, διακόπτες κλπ) πολύ περιορισμένου μήκους (της τάξης των 50 έως το πολύ 1000 μέτρων).
- σε αντίθεση με τα συστήματα ξηράς αποτελούνται από υπο-συστήματα συνεχούς ρεύματος (Σ.Ρ.) και εναλλασσομένου ρεύματος (Ε.Ρ.), στο οποίο μάλιστα Ε.Ρ. μπορεί κανείς ενίοτε να διακρίνει περισσότερες από μία συχνότητες λειτουργίας (η γνωστή «βιομηχανική συχνότητα» των 50 ή 60 Hz, αλλά και αυτή των 400 Hz για εξειδικευμένου τύπου καταναλωτές, όπως π.χ. όργανα ναυσιπλοΐας, ραντάρ, ενδεχόμενα οπλικά συστήματα στην περίπτωση πολεμικών σκαφών κ.ο.κ.). Σε συγκεκριμένες εφαρμογές μάλιστα με την εκτεταμένη εφαρμογή των κυψελών καυσίμου τα δίκτυα είναι κατεξοχήν Σ.Ρ. .
- Η εκτεταμένη πλέον χρήση διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος κυρίως για τον έλεγχο των μεγάλης ισχύος κινητήρων κύριας ή βοηθητικής πρόωσης εισάγει νέα αυξημένα προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος (αρμονική παραμόρφωση κυματομορφών τάσης και ρεύματος και συνακόλουθα προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας EMC/EMI (Electromagnetic Compatibility/Electromagnetic Interference) κυρίως σε ευαίσθητα ηλεκτρονικά στοιχεία όπως τα συστήματα ναυσιπλοΐας και τηλεπικοινωνιών αλλά και τα ίδια τα κυκλώματα ελέγχου των ηλεκτρικών κινητήρων).

1.2 Απαιτήσεις και κανονισμοί

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

Οι κύριες γεννήτριες πρέπει να αποδίδουν ισχύ απαραίτητη να καλύπτει όλα τα φορτία του πλοίου στη δυσμενέστερη αναμενόμενη περίπτωση. Για λόγους ασφαλείας, υπάρχουν τουλάχιστον δύο κύριες ηλεκτρογεννήτριες (εγκατεστημένες στο ηλεκτροστάσιο) και μια πηγή ασφαλείας (η πηγή ανάγκης, “emergency source”) εγκατεστημένη εκτός ηλεκτροστασίου. Η πηγή αυτή είναι συνήθως γεννήτρια, που κινείται με αποκλειστικά δικό της κινητήρα Diesel. Μόνο σε πολύ μικρά σκάφη επιτρέπονται συσσωρευτές ως πηγή ασφαλείας. Επιπλέον αυτών, υπάρχει διάταξη για λήψη ρεύματος από τη στεριά, η οποία βρίσκεται στο κύριο κατάστρωμα, είναι κατάλληλα προστατευμένη και συνδέεται με τον κύριο πίνακα διανομής.

Το πλοίο είναι εφοδιασμένο με επαρκή ανταλλακτικά, ώστε να μπορούν ορισμένες βλάβες να αντιμετωπίζονται ακόμη και στο πέλαγος.

Δύο από τις σημαντικότερες απαιτήσεις για την επιλογή και εγκατάσταση του ηλεκτρολογικού υλικού των πλοίων είναι οι εξής:

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

Οι ηλεκτρικές μηχανές και συσκευές πρέπει να είναι ικανές να λειτουργούν ακόμη και με κλίση 150° προς τα δεξιά ή αριστερά, με διατοιχισμό 22,5°, με διαμήκη κλίση 5° και προνευστασμό 7,5°. Πρέπει επίσης να μπορούν να λειτουργούν ικανοποιητικά σε τελική θερμοκρασία έως 85 °C όταν βρίσκονται εκτός μηχανοστασίου ή 90-95°C όταν βρίσκονται στο μηχανοστάσιο. Η τελική θερμοκρασία καθορίζεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τη θέρμανση του μηχανήματος κατά τη λειτουργία του. Ας σημειωθεί ότι η θερμοκρασία αυτή επηρεάζει τόσο την απόδοση του μηχανήματος όσο και τη διάρκεια ζωής του. Για παράδειγμα, μια επαφή ή ένας αυτόματος διακόπτης μπορεί να μη λειτουργήσει εάν υπερθερμανθεί. Όταν η θερμοκρασία αυξάνει, η τάση μιας γεννήτριας πέφτει, ενώ η ταχύτητα ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος αυξάνει. Είναι απαραίτητος λοιπόν ο αερισμός των μηχανών, που όταν δεν είναι επαρκής για τη διατήρηση των θερμοκρασιών σε χαμηλά επίπεδα, συμπληρώνεται με κατάλληλο σύστημα ψύξης.

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

1.3 Συχνότητα και τάση ηλεκτρικού ρεύματος

Μέχρι το 1940 περίπου, σχεδόν όλες οι εγκαταστάσεις πλοίου ήταν συνεχούς ρεύματος με τάση 110 ή 220 V (ή 24 V σε μερικές περιπτώσεις). Σήμερα οι εγκαταστάσεις είναι εναλλασσομένου ρεύματος (Ε.Ρ.) και μόνο σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα (Σ.Ρ.). Η συχνότητα και η τάση στα πιο διαδεδομένα συστήματα Ε.Ρ. είναι:

- 60 Hz/440 V ή 50 Hz/380 V για ηλεκτροπαραγωγή και κίνηση,
- 60 Hz/110 V ή 50 Hz/220 V για φωτισμό,
- 60Hz/6.6 KV σε νεότερες εφαρμογές.

Τα δίκτυα Σ.Ρ. έχουν δύο ή τρεις αγωγούς (με το μεσαίο μονωμένο). Τα δίκτυα μονοφασικού Ε.Ρ. έχουν δύο αγωγούς. Τα δίκτυα τριφασικού Ε.Ρ. έχουν τρεις ή και τέσσερις αγωγούς (με τον ουδέτερο γειωμένο).

Οι εγκαταστάσεις Ε.Ρ. έχουν μικρότερο βάρος και κόστος και μεγαλύτερη αξιοπιστία σε σύγκριση με τις εγκαταστάσεις Σ.Ρ. Επιπλέον η συντήρησή τους είναι ευκολότερη. Όμως το Ε.Ρ. είναι πιο επικίνδυνο από το Σ.Ρ. από πλευράς ηλεκτροπληξίας. Αρκεί να σκεφτεί κανείς ότι Σ.Ρ. ακόμη και 220V δεν προκαλεί πάντοτε θανατηφόρο ηλεκτροπληξία, το Ε.Ρ. αρχίζει να είναι επικίνδυνο από τα 60 V και άνω.

1.4 Μόνωση και θερμοκρασία ηλεκτρικών μηχανών

Η μέγιστη θερμοκρασία, στην οποία μπορεί να λειτουργεί συνεχώς μια ηλεκτρική μηχανή εξαρτάται από το μονωτικό υλικό των τυλιγμάτων της. Για διευκόλυνση στην τυποποίηση και θέσπιση προδιαγραφών, τα μονωτικά υλικά έχουν καταταγεί σε κλάσεις. Οι συνηθέστερες από αυτές για ναυτική εφαρμογή είναι οι εξής:

Κλάση Α : Η μόνωση αποτελείται από υλικά όπως βαμβάκι, μετάξι και χαρτί κατάλληλα εμποτισμένα ή καλυμμένα ή εμβαπτισμένα σε διηλεκτρικό υγρό, π.χ. λάδι. Άλλα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκεί να διαπιστωθεί ότι έχουν την ίδια αντοχή στη θερμοκρασία.

Κλάση Ε : Η μόνωση αποτελείται από υλικά ή συνδυασμούς υλικών, που επιτρέπουν την λειτουργία σε θερμοκρασίες κατά 15 °C υψηλότερες εκείνων της κλάσης Α.

Κλάση Β : Η μόνωση αποτελείται από υλικά ή συνδυασμούς υλικών όπως μίκα, ίνες γυαλιού, άσβεστο, κλπ εμποτισμένα ή καλυμμένα με κατάλληλες ουσίες. Άλλα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκεί να διαπιστωθεί ότι έχουν την ίδια αντοχή στη θερμοκρασία.

Η αύξηση θερμοκρασίας ως προς εκείνη του περιβάλλοντος, που επιτρέπεται για μια μηχανή σε συνεχή λειτουργία, εξαρτάται από την κλάση της μόνωσης. Π.χ. για αερόψυκτες ηλεκτρικές μηχανές ισχύος μικρότερης των 5000 KVA και θερμοκρασία περιβάλλοντος 45 °C οι κανονισμοί Lloyd's επιτρέπουν αύξηση θερμοκρασίας 40, 55 και 60 °C για τις κλάσεις Α, Ε και Β αντίστοιχα. Εάν οι μηχανές είναι υδρόψυκτες, οι αντίστοιχες επιτρεπτές αυξήσεις θερμοκρασίας είναι 60, 75 και 80 °C.

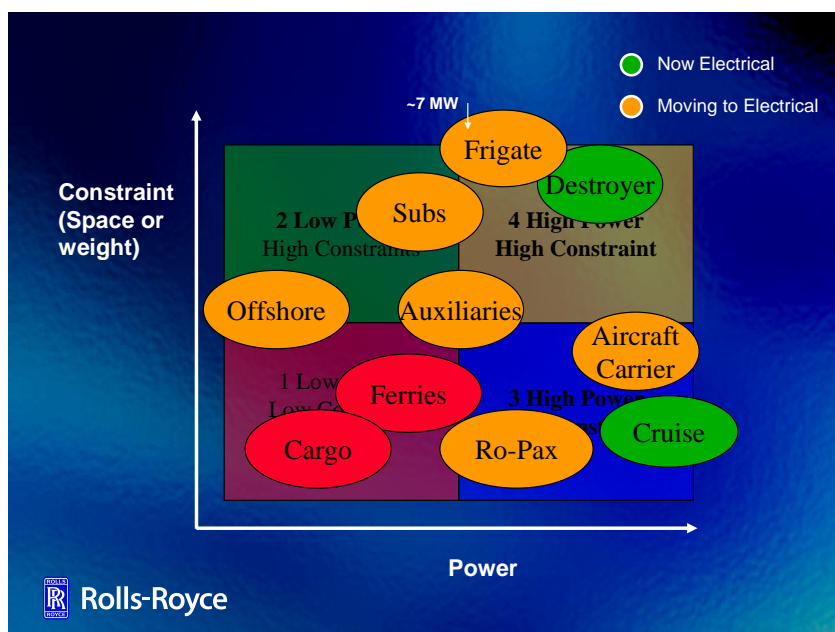
1.5 Ηλεκτροπρόωση πλοίων και ανασκόπηση σχεδιαστικών ζητημάτων στο πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο

1.5.1 Εισαγωγή

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 μηχανές Diesel, αεριοστρόβιλους και ατμοστρόβιλους. Φυσικά οι κινητήρες Diesel, αεριοστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά αντί να κινούν απ' ευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα κινούν ηλεκτρικές γεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως, οπότε και 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. (συνήθως συστήματα Ward-Leonard) δηλαδή παραγωγή συνεχούς τάσης και κίνηση κινητήρα συνεχούς ρεύματος. 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.

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 κλπ βλ. και Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Συγκριτικές ανάγκες περιορισμού διαστάσεων (ή βάρους) συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος για διάφορους τύπους πλοίων (εμπορικών και πολεμικών). [πηγή Rolls-Royce]

Γενικά, η ηλεκτρική πρόωση μπορεί να αποδειχθεί η καταλληλότερη λύση στις ακόλουθες κατηγορίες εφαρμογών:

- 1) Σκάφη με υψηλές απαιτήσεις ελικτικών ικανοτήτων.
- 2) Σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων.
- 3) Σκάφη με μεγάλα φορτία ενδιαίτησης και έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης.
- 4) Σκάφη εξοπλισμένα με πολλές ταχύστροφες μη αναστρέψιμες μηχανές.
- 5) 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 :

- 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 στηρίζονται σε ηλεκτρομηχανική μετατροπή ενέργειας (αντικαθιστώντας π.χ. υδραυλικά, μηχανικά ή συστήματα ατμού κλπ)
- Η ανάγκη για περισσότερο 'αθόρυβη' λειτουργία των πλοίων
- Η αναζήτηση προωστήριων συστημάτων με χαμηλότερο κόστος ζωής και μειωμένες απαιτήσεις επανδρώσεως
- 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.

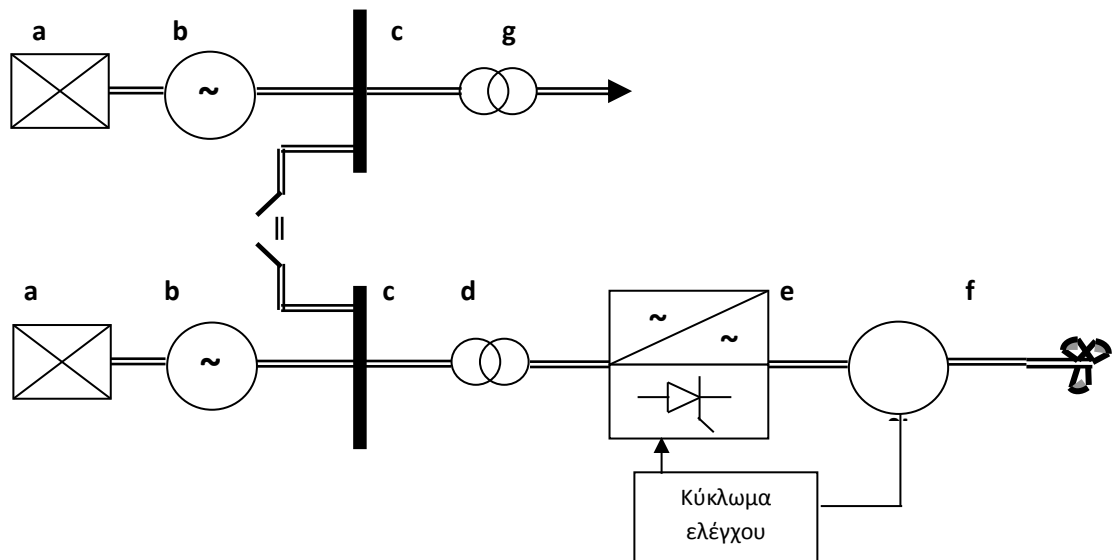
Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή συστήματος ηλεκτροπρόωσης για ένα πλοίο, προσφέρει περισσότερη ελευθερία στη σχεδίαση και στην επιλογή των υποσυστημάτων και της διάταξης όλης της προωστήριας και ηλεκτρικής εγκατάστασης. Σε κάθε περίπτωση αξίζει να σημειωθεί, ότι οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι η μόνη λύση για τη βοηθητική πρόωση (ήτοι 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).

1.5.2 Εναλλακτικές διαμορφώσεις Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας πλοίων

1.5.2.1 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 υπο-συστήματα, αυτό της ηλεκτροπρόωσης κι εκείνο των λοιπών ηλεκτρικών φορτίων.

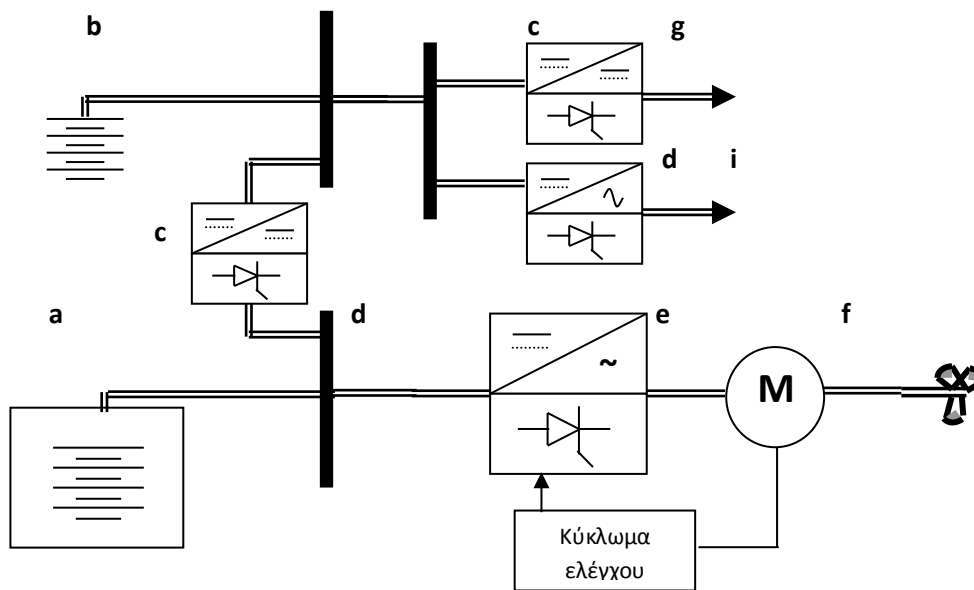
Σε πλοία με συμβατική πρόωση, ειδική υποπερίπτωση αποτελούν τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνουν και γεννήτριες άξονα (εξηρητημένες δηλαδή γεννήτριες που στρέφονται από την κύρια ντιζελο-μηχανή πρόωσης του πλοίου). Οι γεννήτριες αυτές μπορεί να συνδέονται με το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο με σύνδεσμο Σ.Ρ. (DC link) ή να τροφοδοτούν αυτόνομα μόνο μεγάλα φορτία όπως οι κινητήρες βοηθητικής πρόωσης (thrusters). Ενίοτε 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 συστοιχίες συσσωρευτών Σ.Ρ. για να τροφοδοτήσει καταναλώσεις Σ.Ρ. αλλά και Ε.Ρ. μέσω μετατροπών Σ.Ρ./ΕΡ. (Σχήμα 3). Ηλεκτρογεννήτριες Ε.Ρ. που κινούνται με κινητήρες Diesel υφίστανται μεν, αλλά δεν αποτελούν την πρωτεύουσα λύση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση όμως οι κινητήρες πρόωσης είναι Ε.Ρ. .



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

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

1.5.2.2 Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά

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

1. Το είδος των κινητήριων μηχανών Diesel, Αεριοστρόβιλοι (ειδικά για πιο αθόρυβη λειτουργία), Ατμοστρόβιλοι (ειδικά για πυρηνοκίνητα σκάφη), Συσσωρευτές ή/και Ηλεκτροχημικές Κυψέλες Καυσίμου 'Fuel-Cells' (για τα υποβρύχια).
2. 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 κλπ)).
3. Ο αριθμός και το είδος των γεννητριών.
4. Η παράλληλη ή μη λειτουργία των γεννητριών (συνήθως δυνατή στα AC συστήματα, ενώ στα DC συστήματα συνδέονται σε σειρά).
5. Το ποσοστό αυτοματισμού στη λειτουργία, φόρτωση, παραλληλισμό και κράτηση των γεννητριών.
6. Ο αριθμός και το είδος των κινητήριων 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 η αποδοτικότητα (βαθμός αποδόσεως).
7. Το είδος ελέγχου-χειρισμού των κινητήριων προώσεως.
8. Το είδος των στατών μετατροπών.
9. Η σχεδίαση της διάταξης του ηλεκτρικού δικτύου και συγκεκριμένα:

α. Θα υπάρχει 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 ηλεκτροποίησης 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 ηλεκτροποιημένο 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 κλπ).

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 κλπ) 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.

10. 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(εί) να τροφοδοτούν(εί) τα φορτία ανάγκης και ταυτόχρονα να κινήσουν(ει) το πλοίο με μια μικρή ταχύτητα (3-5 knots).

11. Ο τρόπος έδρασης 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 υδατοστεγανούς 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 πρίμα γίνεται

12. Όπως αναφέρθηκε ήδη σημαντικό πλεονέκτημα της ηλεκτροπρόωσης είναι η ευχέρεια που παρέχει 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 κλασικοί κανόνες που σχετίζονται με την ευστάθεια του πλοίου, την αρμονική κατανομή των φορτίων στο πλοίο, την ακουστική υπογραφή και την ευκολία επισκευής.

1.5.2.3 Σχετική Ορολογία

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

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

- Η εγκατάσταση προώσεως κατά την οποία το πλοίο κινείται αποκλειστικώς 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.

2) 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.

3) 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.

4) 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.

5) Ηλεκτρικό δίκτυο χρήσεως (Ship Service System) :

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

1.5.3 Σύγχρονη Τεχνολογία

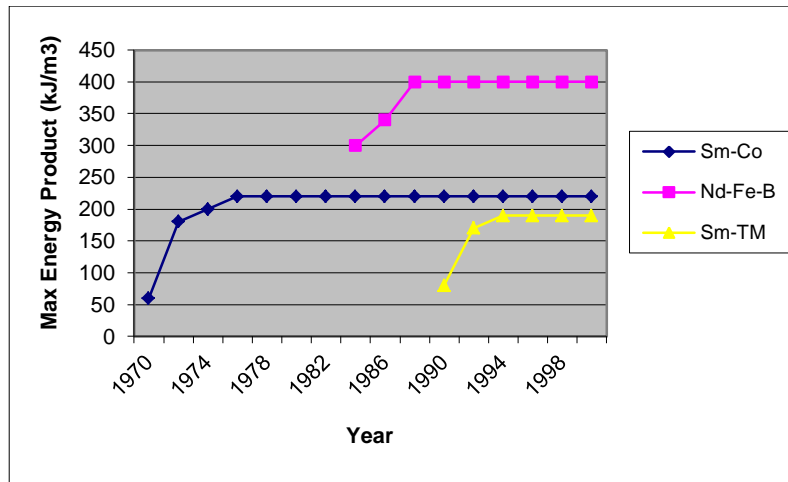
1.5.3.1 Ηλεκτρικοί Κινητήρες Πρόωσης

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%!!

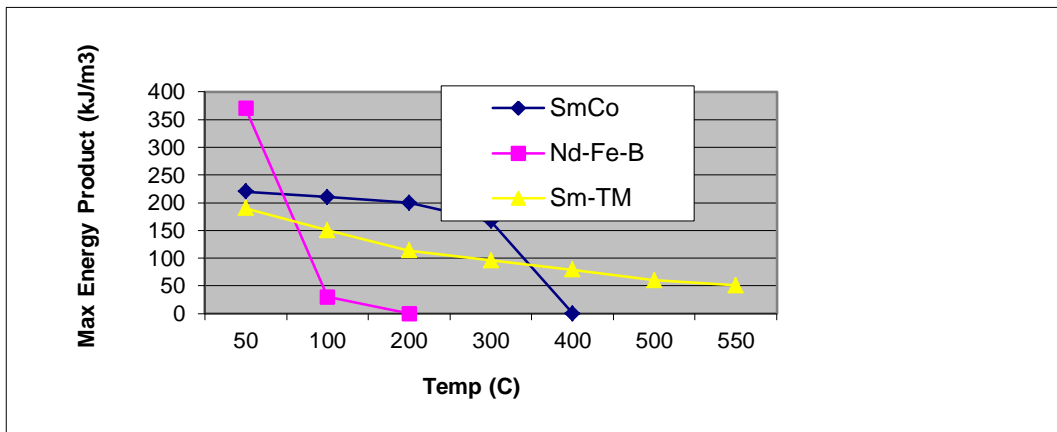
Σε αυτές τις σύγχρονες μηχανές, το τύλιγμα διεγέρσεως (που διαρρέεται από συνεχές ρεύμα) έχει αντικατασταθεί από μόνιμους μαγνήτες. Το αποτέλεσμα είναι το ίδιο καθώς και στις δύο περιπτώσεις παράγεται ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σταθερής τιμής που στρέφεται στο χώρο με την ταχύτητα του δρομέα.

Το προφανές πλεονέκτημα των μηχανών αυτών είναι ότι δεν έχουν ανάγκη παροχής σε Σ.Ρ. 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 μόνιμων 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-βορείου Nd-Fe-B) που έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν σταθερή τη μαγνήτισή τους για αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, όπως είναι αυτές που αναπτύσσονται στο εσωτερικό μίας στρεφόμενης μηχανής, βλ. Σχήματα 4-5.

Στα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι κινητήρες αυτοί περιλαμβάνεται η τραπεζοειδής μορφή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου του δρομέα (αντί του ημιτονοειδούς πεδίου σε μία συμβατική σύγχρονη μηχανή) κάτι που επιπλέον οδηγεί σε ανάπτυξη απότομων αιχμών ροπής (torque ripples) και μηχανικών δονήσεων (vibrations) βλ. Σχήμα 6. Τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίζονται με την ανάπτυξη πολυβάθμιων σπονδυλωτών μονάδων που αποτελούνται από πολλούς μονοφασικούς κινητήρες με διαφορετική όμως φασική γωνία των ηλεκτρομαγνητικών τους πεδίων.



Σχήμα 4: Εξέλιξη τεχνολογίας μονίμων μαγνητών τα τελευταία 30 χρόνια



Σχήμα 5: Επιδόσεις μονίμων μαγνητών ως προς τη θερμοκρασία μαγνήτισης

1.5.3.3 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) βλ. Σήματα 8-11.

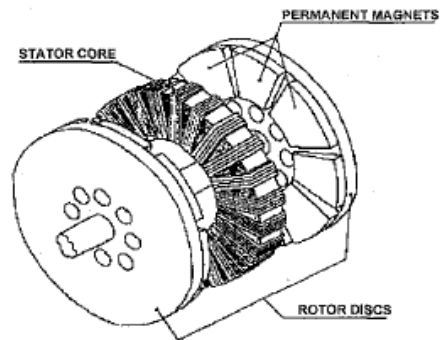


Fig. 1 Basic layout of an AFPM machine.

Σχήμα 8: Μηχανή αξονικής ροής

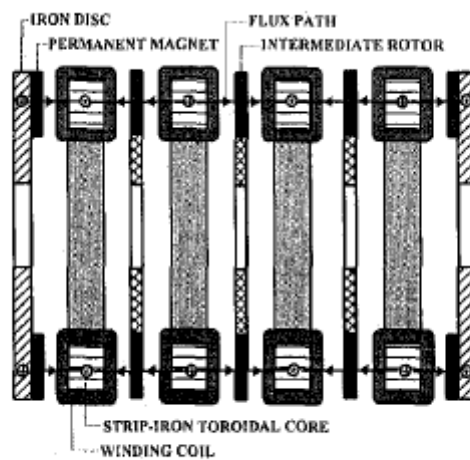
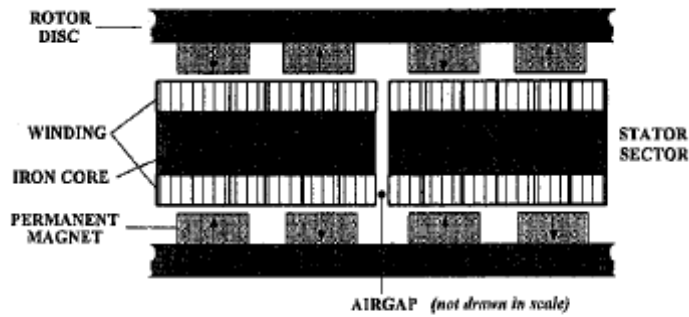
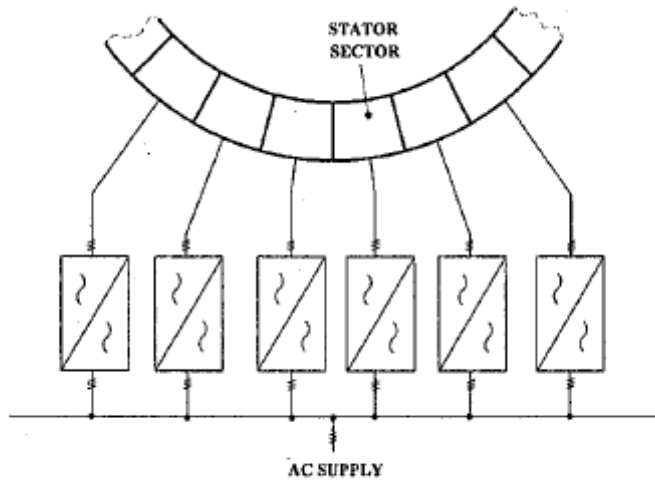


Fig. 2 Cross-section side view of a 4-stage AFPM.

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



Σχήμα 10: Διάταξη στάτη αποτελούμενου από 4 επιμέρους σπονδύλους κινητήρα



Σχήμα 11: Διάταξη μετατροπέα συχνότητας κινητήρα αξονικής ροής

1.5.3.4 Συνεργασία έλικα – κινητήρα πρόωσης

Στα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης συγκαταλέγεται και η ουσιαστική μείωση του αξονικού συστήματος των πλοίων βλ. Σχήμα 12.



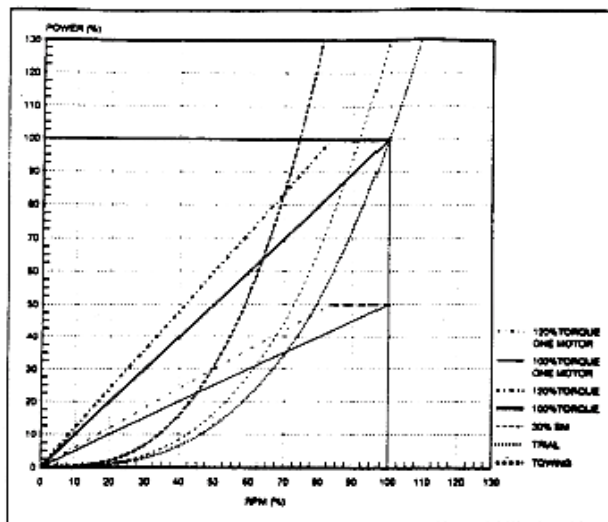
Σχήμα 12: Συγκριτική παρουσίαση αξονικών συστημάτων πλοίων

Τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης έχουν το πλεονέκτημα συνεχούς μεταβολής των στροφών σχεδόν σε όλο το διάστημα 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).

1.5.3.5 Έλικά Σταθερού Βήματος

Καθώς η υπερτάχυνση δεν είναι δυνατή, η έλικά σχεδιάζεται έτσι ώστε να απορροφά τη μέγιστη συνεχή ισχύ (σημείο MCR) σε κατάσταση δοκιμών, δηλ. πλήρες φορτίο, 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 13 απεικονίζει τις καμπύλες απαιτούμενης ισχύος σε διάφορες καταστάσεις, καθώς και τα όρια του πεδίου λειτουργίας με έναν ή δύο ηλεκτροκινητήρες συνδεδεμένους στην ίδια έλικά.



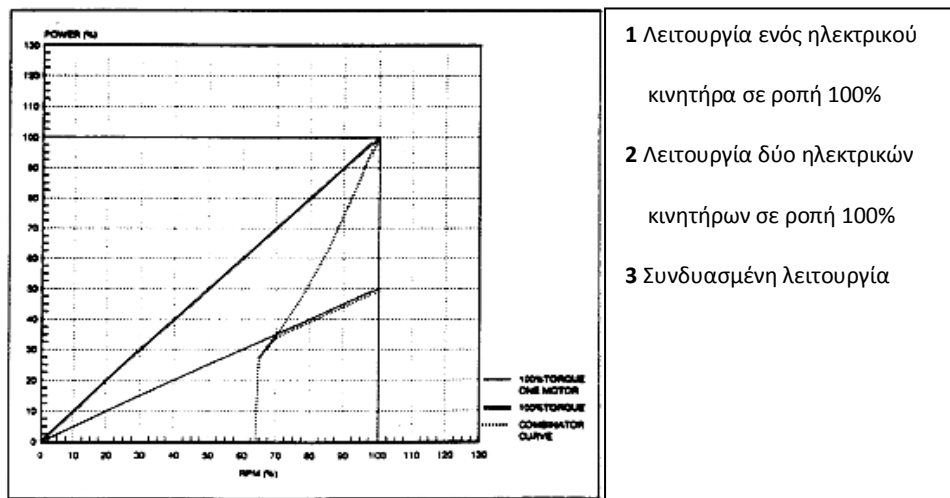
- 1 Λειτουργία ενός ηλεκτρικού κινητήρα σε ροπή 120%
- 2 Λειτουργία ενός ηλεκτρικού κινητήρα σε ροπή 100%
- 3 Λειτουργία δύο ηλεκτρικών κινητήρων σε ροπή 120%
- 4 Λειτουργία δύο ηλεκτρικών κινητήρων σε ροπή 100%
- 5 Λειτουργία 30% SM

Σχήμα 13: Πεδίο λειτουργίας με έναν ή δύο ηλεκτροκινητήρες πρόωσης και έλικά σταθερού βήματος

1.5.3.6 Έλικά Ρυθμιζόμενου 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 ρυθμιζόμενου βήματος δεν απαιτείται περιθώριο ροπής,διότι η μέγιστη ισχύς μπορεί σχεδόν πάντοτε να απορροφηθεί με ρύθμιση του βήματος.



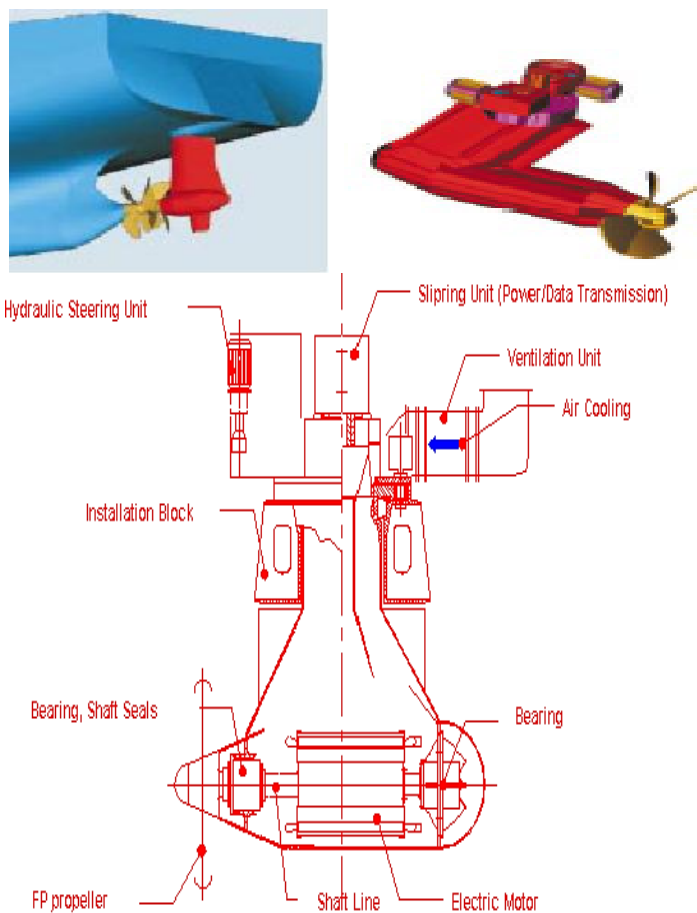
Σχήμα 14: Πεδίο λειτουργίας με έναν ή δύο ηλεκτροκινητήρες πρόωσης και έλικα ρυθμιζόμενου βήματος

Το Σχήμα 14 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.

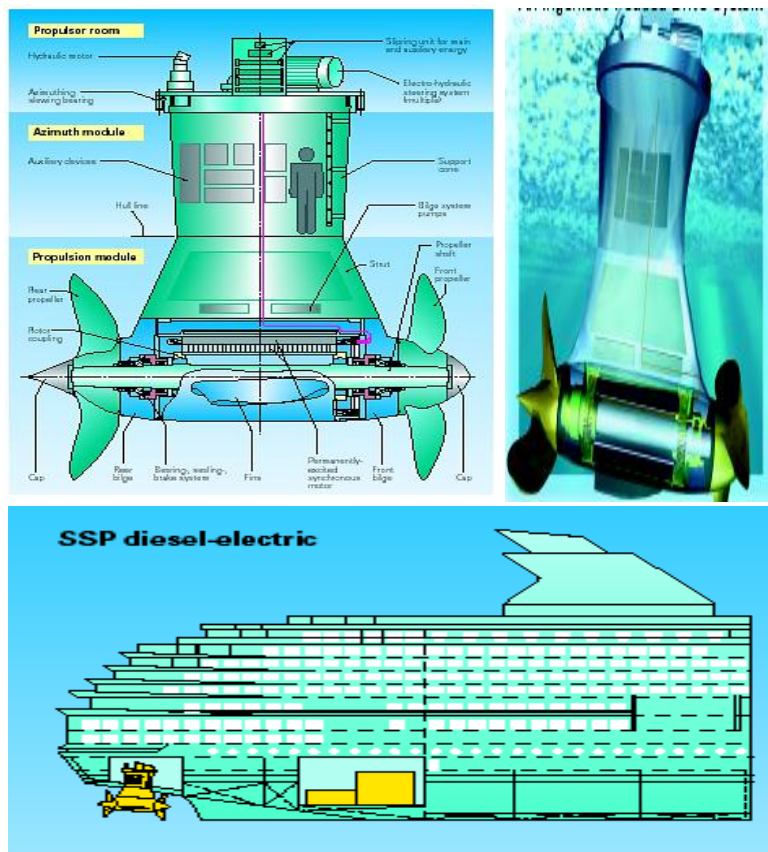
1.5.3.7 Το Αζιμουθιακό Προωστήριο Σύστημα (POD)

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 Σχήμα 15 και Σχήμα 16. Το σύστημα μπορεί να φέρει μία ή δύο έλικες και έχει τη δυνατότητα να στρέφεται σχεδόν κατά 360° κατά την αζιμουθιακή διεύθυνση (από όπου

προέρχεται και το όνομά του) δηλ.στο οριζόντιο επίπεδο,αυξάνοντας σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες ελιγμών του πλοίου.



Σχήμα 15: Αξιμουδιακό προωστήριο σύστημα με μία έλικα (Azipod εταιρία ABB Marine) παρόμοιο είναι και το σύστημα Mermaid των εταιριών Kamewa-Alstom



Σχήμα 16: Αζιμουθιακό προωστήριο σύστημα δύο έλικες (σύστημα SSP, εταιρίες Siemens-Schottel)

1.5.4 Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα Ηλεκτροπρόωσης

Τα κυριότερα **Πλεονεκτήματα** της ηλεκτρικής πρόωσης, στα οποία οφείλεται και η διάδοσή της στις εφαρμογές που προαναφέρθηκαν, είναι τα ακόλουθα:

- Συνεχής μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και της ταχύτητας του πλοίου σε όλο το πεδίο 0- 100 %.
- Γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια χειρισμών και δυναμικής τοποθέτησης του σκάφους.
- Χαμηλή στάθμη θορύβου και κραδασμών.

- Οικονομία καυσίμου, καθώς είναι δυνατή η επιλογή των μηχανών που θα λειτουργούν έτσι, ώστε η κάθε μια να λειτουργεί κοντά στο βέλτιστο σημείο.
- Ελευθερία στην τοποθέτηση των επιμέρους μηχανημάτων του ενεργειακού συστήματος, που προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό του σκάφους και εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου.
- Πλήρης εκμετάλλευση της στρεπτικής ροπής σε όλο το πεδίο λειτουργίας.
- Ευκολία αυτοματισμού.
- Αυξημένη αξιοπιστία (πολλά συστήματα συνδεδεμένα παράλληλα) και επομένως αυξημένη ασφάλεια.
- Περιορισμός των εκπεμπόμενων ρύπων διότι:
 - α. η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως
 - β. ιδιαίτερα οι εκπομπές NO_x είναι αισθητά χαμηλότερες όταν π.χ. ένας μεσόστροφος κινητήρας Diesel λειτουργεί με σταθερές στροφές όπως συμβαίνει στα νέα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης
- Περιορισμός του κινδύνου ρύπανσης του περιβάλλοντος από ατυχήματα όπως αυτά των δεξαμενοπλοίων, χάρη στην ταχύτερη απόκριση του συστήματος κατά τους χειρισμούς και τη δυναμική τοποθέτηση του σκάφους.

Μειονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι τα εξής:

- Υψηλό κόστος επένδυσης. Αυτό γίνεται η προσπάθεια να μειωθεί κατά το δυνατόν, αξιοποιώντας την υπάρχουσα τεχνολογία των ηπειρωτικών ηλεκτρικών δικτύων (Commercial Off The Shelf – COTS), ωστόσο το υψηλό κόστος των κινητήρων και των διατάξεων ελέγχου τους δεν δείχνει να υπερκερνιέται εύκολα.
- Υψηλότερες απώλειες στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα. Π.χ. σε συμβατικό σύστημα κινητήρα Diesel - έλικα ρυθμιζόμενου βήματος οι απώλειες του συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 4%: 2% στην έλικα και 2% στον μειωτήρα όταν η έλικα λειτουργεί στον βέλτιστο συνδυασμό ταχύτητας/βήματος. Σε εγκατάσταση νιζελο-ηλεκτρικής πρόωσης το σύστημα μετάδοσης προκαλεί απώλειες 7 - 8%: 3% στις γεννήτριες, 2% στους μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας και 2 - 3% στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες. Επομένως ο ολικός βαθμός απόδοσης είναι υψηλότερος στο σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης μόνον όταν κάθε μηχανή λειτουργεί σε σταθερή ταχύτητα περιστροφής και επί μεγάλα χρονικά διαστήματα στη βέλτιστη περιοχή.

- Ένα πρόβλημα που προκύπτει από την εκτεταμένη χρησιμοποίηση των διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος είναι ότι εμφανίζονται προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς πέραν των χρήσιμων συχνοτήτων αναπτύσσεται και μεγάλο πλήθος αρμονικών συνιστωσών ρεύματος και τάσεως. Οι αρμονικές αυτές αφενός προσαυξάνουν τη συνολική κυκλοφορούσα άεργο ισχύ στο ηλεκτρικό δίκτυο αλλά επιπλέον δημιουργούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Έτσι ο "ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος" που παράγεται επηρεάζει αρνητικά όλες τις ευαίσθητες ηλεκτρονικές διατάξεις –πρωτίστως τα κυκλώματα ελέγχου των ίδιων των ηλεκτρονικών ισχύος – ενώ σε περιπτώσεις στρατιωτικών εφαρμογών αυξάνει τα επίπεδα της ηλεκτρομαγνητικής υπογραφής των πλοίων. Τέλος είναι δυνατόν οι αρμονικές παραμορφώσεις των ηλεκτρικών μεγεθών να διεγείρουν ιδιοσυχνότητες ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων, όπως είναι τα φαινόμενα σιδηροσυντονισμού στους δρομείς των σύγχρονων γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η σειρά αυτή των προβλημάτων λόγω της εξηλεκτρίσης των συστημάτων του πλοίου αντιμετωπίζεται με εξειδικευμένες αναλύσεις και μελέτες κυρίως κατά της φάση της σχεδίασης τους ηλεκτρολογικού συστήματος.

1.5.5 Συμπεράσματα

Σε πολλές εφαρμογές, η συνισταμένη πλεονεκτημάτων - μειονεκτημάτων είναι θετική, οπότε η ηλεκτρική πρόωση είναι η ενδεδειγμένη λύση, οδηγώντας σε χαμηλότερο κόστος λειτουργίας (μειωμένο πλήρωμα, οικονομικότερη συντήρηση, γρηγορότερα ταξίδια, μη αναγκαιότητα ρυμούλκησης κ.ο.κ.). Η ηλεκτροπρόωση αποτελεί μία αρκετά δελεαστική επιλογή για τα πλοία που συνεχώς κερδίζει έδαφος τα τελευταία χρόνια μεταξύ των άλλων λόγω και της γενικά εντατικής εξέλιξης όλων των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων και κυρίως στον τομέα των διατάξεων ελέγχου των ηλεκτρικών κινητήρων και των ηλεκτρονικών ισχύος. Η έρευνα κατά την τρέχουσα περίοδο επικεντρώνεται στη μείωση του αρχικού κόστους επένδυσης αλλά και στην αύξηση των επιδόσεων του συνολικού συνδυασμού των διατάξεων που αξιοποιούνται από συστήματα ηλεκτροπρόωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΛΟΙΟΥ

2.1 Ορισμός

Με τον όρο μελέτη ηλεκτρολογικής εγκατάστασης πλοίου εννοούμε την δημιουργία μιας πλήρους περιγραφής των απαιτήσεων σε ηλεκτρισμό ενός πλοίου και αντίστοιχα την διαστασιολόγηση και σχεδιαστική αναπαράσταση αυτών,πέρα από τον αριθμητικό υπολογισμό τους.

Η μελέτη στηρίζεται στην εφαρμογή και την διακρίβωση των κανονισμών και των απαιτήσεων που περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο και με αυτά ως βάση είτε προτείνει τη βέλτιστη υλοποίηση μιας εγκατάστασης είτε αξιολογεί την υπάρχουσα κατασκευή.

Μια πλήρης και αναλυτική μελέτη κατά κανόνα περιλαμβάνει τους παρακάτω άξονες,οι οποίοι συνήθως παρουσιάζονται συνοπτικά όταν η μελέτη δημοσιοποιηθεί:

- I. Ηλεκτρικός Ισολογισμός
- II. Αριθμός και ονομαστική ηλεκτρική ισχύς των κύριων γεννητριών
- III. Ονομαστική ισχύς της γεννήτριας ασφαλείας
- IV. Διατομές των καλωδίων τροφοδότησης των ζυγών,υποπινάκων μηχανημάτων και συσκευών,καθώς και οι διατομές των κύριων ζυγών
- V. Μελέτη βραχυκυκλωμάτων
- VI. Μονογραμμικό διάγραμμα του κύριου ηλεκτρικού δικτύου διανομής

2.2 Ηλεκτρικός Ισολογισμός

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

Ηλεκτρικός ισολογισμός είναι ουσιαστικά ο υπολογισμός της πραγματικής ηλεκτρικής ισχύος του συνόλου των καταναλωτών σε ένα πλοίο στις διάφορες χαρακτηριστικές καταστάσεις λειτουργίας του για παράδειγμα κανονική πορεία, χειρισμοί, στο λιμάνι κλπ. Ο προσδιορισμός του ηλεκτρικού φορτίου με λεπτομέρεια είναι δυνατός όταν έχουν καθορισθεί με ακρίβεια τα στοιχεία των καταναλωτών ηλεκτρισμού στο πλοίο.

Σε αυτές τις μελέτες λαμβάνονται συνήθως υπόψη μόνο οι ενεργειακές ανάγκες σε KW (δηλαδή οι ανάγκες ενεργού ισχύος) λαμβάνοντας όμως υπόψη ότι τα ηλεκτρικά δίκτυα των πλοίων είναι εναλλασσόμενου ρεύματος, αυτό υποδεικνύει ότι κυκλοφορεί και άεργος ισχύς, και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και αυτή στη μελέτη του ηλεκτρικού ισολογισμού.

2.2.1 Τρόπος υπολογισμού

Για να γίνει η πλήρης αξιολόγηση της ισχύος του εξοπλισμού πρέπει να υπάρχει κατάλογος της αποδιδόμενης ισχύος ανά συσκευή (συνήθως την βρίσκουμε σε ίππους, οπότε την μετατρέπουμε σε KW με τη γνωστή σχέση ισοδυναμίας $1HP = 0.746KW$). Έπειτα υπολογίζεται η ονομαστική απορροφώμενη ισχύς ανά συσκευή σε KW (**Ρον.απορ.**) όπου ισχύει η εξής σχέση :

$$\mathbf{Ρον.απορ.[KW] = Ρον.αποδ.[KW] / n}$$

όπου **n** ο βαθμός απόδοσης κάθε συσκευής.

Η εγκατεστημένη ισχύς ανά κατηγορία συσκευής σε KW (**Ρεγκ.**) όπου :

$$\mathbf{Ρεγκ.[KW]} = \mathbf{Ρον.απορ.[KW]} \cdot \mathbf{N}$$

N: Πλήθος συσκευών σε λειτουργία κατά την κανονική πορεία.

Στη συνέχεια βρίσκουμε τον συντελεστή λειτουργίας κάθε συσκευής (f_s) κατά την κανονική πορεία ο σωστός υπολογισμός του οποίου γίνεται από την εξής σχέση :

$$f_s = \frac{\mathbf{Μέσο φορτίο 24-ώρου}}{\mathbf{Ονομαστικό φορτίο}} = \frac{\sum \mathbf{P}_i \cdot \mathbf{t}_i}{\mathbf{24} \cdot \mathbf{Ρον.αποδ.}}$$

Το f_s βρίσκεται από την βιβλιογραφία.

Έτσι βρίσκουμε την ισχύ λειτουργίας σε KW ανά συσκευή (**Ρλειτ.**) για την κατάσταση κανονικής πορείας, όπου ισχύει:

$$\mathbf{Ρλειτ.[KW]} = \mathbf{Ρον.απορ.[KW]} \cdot \mathbf{N} \cdot f_s$$

2.3 Αριθμός και ονομαστική ηλεκτρική ισχύς των κύριων γεννητριών

Η επιλογή του αριθμού και της ισχύος των γεννητριών στηρίζεται σε μια σειρά από απαιτήσεις. Η βασική απαίτηση είναι να είναι δυνατή η τροφοδότηση όλων των μηχανημάτων που είναι απαραίτητα για την ασφάλεια και πρόωση του πλοίου και η διατήρηση του φορτίου σε καλή κατάσταση σε περίπτωση που μια γεννήτρια είναι εκτός λειτουργίας. Άλλες σημαντικές προϋποθέσεις είναι:

- Όγκος και βάρος της εγκατάστασης
- Αρχικό κόστος
- Κόστος λειτουργίας
- Ύπαρξη τυποποιημένων μεγεθών

Επίσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράγοντες:

- Όμοια ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη διευκολύνουν από άποψη ανταλλακτικών συντήρησης και παράλληλης λειτουργίας
- Ο βαθμός απόδοσης αυξάνει με το μέγεθος της μονάδας
- Ο βαθμός απόδοσης γίνεται μέγιστος σε φορτία 75-100% του ονομαστικού

Οι ονομαστικές ισχείς των γεννητριών είναι τυποποιημένες. Για στροβιλογεννήτριες έχουμε εκδόσεις των **500, 630, 800, 1000, 1250, 1500, 2000, 2500 KW** και για ντιζελογεννήτριες έχουμε **63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 KW**.

2.4 Ονομαστική ισχύς της γεννήτριας ασφαλείας

Σε αυτό το σημείο υπολογίζουμε την ισχύ της γεννήτριας που θα λειτουργεί σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Η φιλοσοφία είναι όμοια με την επιλογή κύριας γεννήτριας, με την απαίτηση να ξεχωρίσουμε τους ουσιώδεις καταναλωτές, οι οποίοι θα πρέπει να λειτουργούν σε κατάσταση ανάγκης.

Παραδείγματα ουσιωδών καταναλωτών είναι τα παρακάτω συστήματα:

- Αεροσυμπιεστές εκκινήσεως μηχανών
- Συστήματα ψεκασμού νερού
- Αντλίες έρματος
- Αντλίες κύτους
- Αντλίες ψυκτικού νερού
- Αντλίες απομαστεύσεως
- Ανεμιστήρες προσαγωγής αέρα στους λέβητες
- Ανεμιστήρες συστημάτων ψύξεως φορτίου
- Αντλίες τροφοδοτικού νερού
- Συστήματα ανιχνεύσεως και αναγγελίας πυρκαγιάς
- Αντλίες πυρκαγιάς
- Αντλίες ψύξεως εγχυτήρων καυσίμου
- Αντλίες λαδιού λιπάνσεως
- Φωτισμός εκείνων των χώρων που σε κανονικές συνθήκες χρησιμοποιούνται από το πλήρωμα και τους επιβάτες
- Μέσα ναυσιπλοΐας
- Διαχωριστήρες λαδιού
- Ανεμιστήρες σαρώσεως
- Μηχανισμός πηδαλίου
- Ανεμιστήρας μηχανοστασίου και λεβητοστασίου
- Εργάτες αγκυρών

Αφού υπολογιστούν οι απαιτήσεις ισχύος των ουσιωδών καταναλωτών επιλέγεται η γεννήτρια ασφάλειας.

2.5 Διατομές των καλωδίων τροφοδότησης των ζυγών, υποπινάκων, μηχανημάτων και συσκευών, καθώς και οι διατομές των κύριων ζυγών

Για την επιλογή ή αξιολόγηση των καλωδιώσεων και των ασφαλειών ακολουθούμε αρχικά έναν αλγόριθμο υπολογισμού της έντασης του ρεύματος που διαρρέει την εγκατάσταση. Βάσει αυτού μπορούμε να επιλέξουμε τη διατομή και την ασφάλεια.

Από τη θεωρία γνωρίζουμε ότι για τον υπολογισμό της έντασης της γραμμής (δηλαδή του καλωδίου) I_γ στην κατάσταση πλήρους φορτίου χρησιμοποιούμε τις εξής σχέσεις :

- Για συνεχές ρεύμα

$$I_\gamma = \frac{P}{V}$$

- Για μονοφασικό καταναλωτή εναλλασσόμενου ρεύματος

$$I_\gamma = \frac{P}{(V \cdot \cos\varphi)}$$

- Για Τριφασικό καταναλωτή

$$I_\gamma = \frac{P}{(\sqrt{3} \cdot V_\pi \cdot \cos\varphi)}$$

Για τις παραπάνω σχέσεις κάνουμε τις εξής παραδοχές :

- Για καθαρά ωμικά φορτία (π.χ. δίκτυα φωτισμού, θερμαντήρες κτλ) βάζουμε $\cos\varphi=1$ ενώ για τα υπόλοιπα θα το θεωρούμε ίσο με 0,85
- Όπου P εννοούμε την **Ρον.απορροφή** [W] ενώ V [Volt] είναι η ονομαστική τάση στο φορτίο.

Για τον προσδιορισμό των διατομών των καλωδίων τροφοδότησης θα πρέπει να βρούμε την ένταση του ρεύματος I το οποίο υπολογίζεται ως ακολούθως :

- *Για δίκτυο φωτισμού*

$$I = I_{\gamma}$$

- *Για γραμμή που τροφοδοτεί μόνο έναν ηλεκτροκινητήρα συνεχούς λειτουργίας*

$$I = 1,25 \cdot I_{\gamma}$$

- *Για δίκτυο που τροφοδοτεί περισσότερους του ενός κινητήρες συνεχούς λειτουργίας*

$$I = 1,25 \cdot I_{\gamma 1} + \sum I_{\gamma i} + \sum I_{sj}$$

Όπου : $I_{\gamma 1}$ ονομαστική ένταση γραμμής για τον μεγαλύτερο κινητήρα του συγκροτήματος $I_{\gamma i}$ και για $i \neq 1$ ονομαστική ένταση γραμμής για τον καθ' ένα από τους υπόλοιπους κινητήρες.

I_{sj} : Ονομαστική ένταση του εφεδρικού διακόπτη j (όταν προβλέπονται εφεδρικοί διακόπτες στον πίνακα)

Για δίκτυα που τροφοδοτούν ηλεκτροκινητήρες διακεκομμένης λειτουργίας (π.χ. φορτωτήρων ,εργάτη αγκύρας κτλ) καθώς και για άλλες ειδικές περιπτώσεις ακολουθούμε τους κανονισμούς των νηογνωμόνων.

Για τους καταναλωτές για τους οποίους δίνεται η απόσταση από τον κεντρικό πίνακα μπορούμε να υπολογίσουμε την πτώση τάσης με τις παρακάτω σχέσεις :

- *Μονοφασικό δίκτυο E.P και Δίκτυο Σ.P δύο αγωγών :*

$$\Delta V = \frac{(2 \cdot l \cdot \rho \cdot I)}{S}$$

- *Τριφασικό δίκτυο τριών ενεργών αγωγών :*

$$\Delta V = \frac{(\sqrt{3} \cdot l \cdot \rho \cdot I)}{S}$$

Όπου

- l το απλό μήκος της γραμμής
- S διατομή του αγωγού
- ρ ειδική αντίσταση του υλικού του αγωγού :
 - χαλκός : $\rho = 0,0176 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$
 - αλουμίνιο : $\rho = 0,0294 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$

Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι η μέγιστη επιτρεπτή πτώση τάσης κατά το μήκος μιας γραμμής δίνεται σαν ποσοστό της ονομαστικής τάσης :

- Σε εγκαταστάσεις πλοίων (κατά LRS) : 6%

Για τον υπολογισμό των διατομών κάνουμε τις εξής παραδοχές :

- οι συσκευές συγκολλήσεων έχουν συντελεστή ισχύος 0,80 λόγω αρμονικών
- για καταναλωτές όπως οι θερμαντήρες καυσίμου, η κουζίνα, οι εστίες, οι πίνακες φωτισμού και ναυσιπλοΐας οι οποίοι είναι ωμικά φορτία παίρνουμε τη σχέση $I = I_{\gamma}$ για τον υπολογισμό του I και συνεπώς των διατομών
- για όλες τις άλλες συσκευές ισχύει $I = 1,25 \cdot I_{\gamma}$
- οι παροχές των πινάκων φωτισμού και ναυσιπλοΐας θεωρούνται τριφασικές ενώ από εκεί και πέρα διαχωρίζονται σε επιμέρους μονοφασικά κυκλώματα
- Οι τριφασικές παροχές καταναλώσεων θα ισούνται με $3 \cdot$ την αντίστοιχη διατομή (σαν να μην υπάρχει αγωγός προστασίας) ενώ οι μονοφασικές με $3 \cdot$ την αντίστοιχη διατομή σαν να υπάρχει αγωγός προστασίας

Για να υπολογίσουμε τις διατομές των καλωδίων των πινάκων μπορούμε να ακολουθήσουμε δύο δρόμους που είναι οι εξής :

- I. Να κάνουμε εφαρμογή της σχέσης $I = 1,25 \cdot I_{\gamma 1} + \sum I_{\gamma i} + \sum I_{s j}$ η οποία όμως οδηγεί σε υπερδιαστασιολόγηση του μεγέθους των ρευμάτων σε περιπτώσεις που έχουμε πολλούς καταναλωτές.
- II. Να υπολογίσουμε για κάθε κατάσταση λειτουργίας του σκάφους τη ζήτηση της ισχύος για κάθε πίνακα, να προσδιορίσουμε τη μέγιστη ζήτηση και λαμβάνοντας υπόψη μια εφεδρεία της τάξης του 10% επί του ρεύματος να προσδιορίσουμε τις αντίστοιχες διατομές των καλωδίων που θα χρησιμοποιηθούν.

Εφόσον έχουμε υπολογίσει την μέγιστη ενεργό ισχύ ανά πίνακα αλλά και συνολικά, συνεχίζουμε βρίσκοντας τη μέγιστη άεργο ισχύ καθώς και τη φαινόμενη ισχύ κάνοντας χρήση των παρακάτω τύπων :

$$P \text{ (KW)} = S \text{ (KVA)} * \cos\phi$$

$$Q \text{ (KVA)} = S \text{ (KVA)} * \sin\phi$$

$$S \text{ (kVA)} = \sqrt{(Q^2 + P^2)}$$

Τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω εξισώσεις έχουν την εξής σημασία :

- P = ενεργός ισχύς
- Q = άεργος ισχύς
- S = φαινόμενη ισχύς
- $\text{Cos}\phi$ = συντελεστής ισχύος(επιλέγουμε να τον θεωρούμε ίσο με 0,85)

Έτσι προσθέτοντας και την εφεδρεία βρίσκουμε από πίνακες τα μεγέθη διατομών αγωγών και ασφαλιστικών διατάξεων.

Σημείωση: Μια επιπλέον μέθοδος που ακολουθείται κυρίως σε περιπτώσεις αξιολόγησης υπάρχουσας υποδομής καλωδίων είναι το πρότυπο του Γερμανικού Νηογνώμονα (Germanischer Lloyd-GL), στο οποίο αξιολογούνται οι διατομές των καλωδίων με βάση το χρόνο που το καλώδιο διαρρέεται από ρεύμα και από το ύψος του ρεύματος που το διαρρέει.

2.6 Μελέτη βραχυκυκλωμάτων

2.6.1 Εισαγωγή-Θεωρητικό Υπόβαθρο

Η μελέτη βραχυκυκλωμάτων πρόκειται για μία εξαιρετικά χρήσιμη μελέτη για τη διαστασιολόγηση κυρίως διακοπών προστασίας και ιδίως σε εγκαταστάσεις Μέσης και Υψηλής Τάσης.

2.6.2 Ορισμός Βραχυκυκλώματος

Βραχυκύκλωμα καλείται η αγώγιμη σύνδεση δύο σημείων διαφορετικού δυναμικού μέσω πολύ μικρής ωμικής αντίστασης. Το άμεσο αποτέλεσμα είναι η κυκλοφορία πολύ μεγάλου ρεύματος, καθώς από το Νόμο του Ohm ισχύει:

$$I = \frac{V}{R} \rightarrow \text{άπειρο, για } R \rightarrow 0$$

Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τάση V (ονομαστική τάση λειτουργίας) τόσο μεγαλύτερο είναι και το ρεύμα βραχυκυκλώματος I , συνεπώς τα βραχυκυκλώματα γίνονται πιο σημαντικά όσο αυξάνεται η τάση λειτουργίας.

Στη βιβλιογραφία το βραχυκύκλωμα συχνά καλείται και σφάλμα καθώς πρόκειται για μη επιθυμητή κατάσταση λειτουργίας ενός κυκλώματος.

2.6.3 Συνέπειες Βραχυκυκλωμάτων

Στις άμεσες συνέπειες των μεγάλων ρευμάτων βραχυκύκλωσης περιλαμβάνονται:

- Υπερθέρμανση εξοπλισμού (λόγω φαινομένου Joule).
- Τήξη αγώγιμων μερών.
- Τήξη μονωτικών υλικών, μερική ή ολική απώλεια (καταστροφή) μονώσεων.
- Πυρκαγιές και ολική καταστροφή εξοπλισμού.
- Ανάπτυξη μεγάλων (ελκτικών ή/και απωστικών ανάλογα με τη φορά των ρευμάτων στους ρευματοφόρους αγωγούς) δυνάμεων Laplace.
- Στρεβλώσεις και κάμψεις αγώγιμων μερών.
- Μηχανικές Ταλαντώσεις.

Επίσης εμφανίζονται διακυμάνσεις στο μέτρο των τάσεων λειτουργίας, εν γένει, σε όλα τα σημεία του κυκλώματος. Οι διακυμάνσεις είναι τόσο πιο σημαντικές όσο εγγύτερα είναι η θέση του βραχυκυκλώματος. Συνήθως οι διακυμάνσεις είναι βυθίσεις τάσεων που οδηγούν σε μη ασφαλή λειτουργία ή και παύση λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών. Ενίοτε όμως είναι δυνατόν να εμφανιστούν και υπερτάσεις (όπως συμβαίνει στα αγείωτα συστήματα των πλωτών κατασκευών) κάτι που οδηγεί σε καταπονήσεις των μονώσεων.

2.6.4 Το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου κατά το βραχυκύκλωμα

Η διεθνής επιτροπή ηλεκτροτεχνίας (IEC- International Electrotechnical Commission) έχει εκδώσει τους ακόλουθους κανονισμούς σχετικά με τα βραχυκυκλώματα:

- IEC-61909 για βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις E.P. ξηράς
- IEC-61363 για βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις E.P. πλοίων
- IEC-61660-1 για βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις Σ.Ρ. ξηράς

Γενικά, από τους κανονισμούς νηογνωμόνων, ο Γερμανικός είναι αυτός που διαθέτει τις πιο λεπτομερείς οδηγίες για μελέτη βραχυκυκλωμάτων με συχνές αναφορές στα αντίστοιχα πρότυπα IEC.

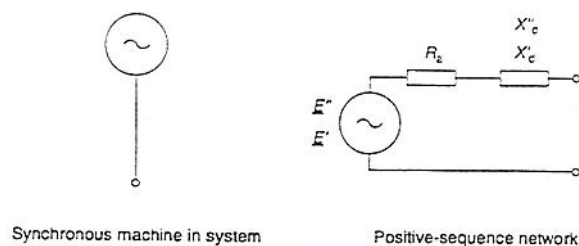
Στις εγκαταστάσεις ξηράς, μελέτη βραχυκυκλωμάτων γίνεται για τάσεις μεγαλύτερες του 1 KV. Αντίθετα, σε πλωτές κατασκευές οι κανονισμοί IEC-61363 ορίζουν πως πρέπει να γίνεται μελέτη βραχυκυκλωμάτων για κάθε δίκτυο (ακόμα και τάσεις μικρότερες των 1000 KV).

Ο κανονισμός IEC-61909 δίνει μόνον τη μεθοδολογία υπολογισμού χωρίς να υποδεικνύει τις ιδιαίτερες συνθήκες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη μελέτη βραχυκυκλώματος. Αντίθετα, ο κανονισμός IEC-61363 ορίζει σαφώς ότι για τα πλοία πρέπει να γίνεται μελέτη για τριφασικό βραχυκύκλωμα (η δυσμενέστερη περίπτωση), όλοι δε οι υπολογισμοί να γίνονται για χρονική στιγμή ίση με τη πρώτη

ημιπερίοδο ($T/2$) της ονομαστικής ηλεκτρικής συχνότητας του δικτύου συνεπώς, δεν έχει πραγματοποιηθεί καθόλου απόσβεση. Από την άποψη αυτή, ο κανονισμός IEC-61363 είναι αυστηρότερος.

2.6.5 Η περίπτωση του τριφασικού βραχυκυκλώματος

Για τον υπολογισμό του τριφασικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως στους ακροδέκτες ενός σύγχρονου κινητήρα, οι χαρακτηριστικές παράμετροι συνδέονται σε δίκτυο θετικής ακολουθίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 17.



Σχήμα 17. Σύγχρονος κινητήρας και το αντίστοιχο δίκτυο θετικής ακολουθίας

2.6.5.1 Βασικοί Υπολογισμοί

Ο υπολογισμός του ρεύματος βραχυκυκλώσεως για ένα σύγχρονο κινητήρα είναι βασισμένος στην αξιολόγηση της περιβάλλουσας καμπύλης των μέγιστων τιμών του πραγματικού χρονικά εξαρτημένου ρεύματος βραχυκυκλώσεως του κινητήρα. Η προκύπτουσα περιβάλλουσα είναι μια συνάρτηση των βασικών παραμέτρων του κινητήρα (ισχύ, σύνθετη αντίσταση, κλπ) και των ενεργών τάσεων (\underline{E}'' , \underline{E}' , \underline{E}) χρησιμοποιώντας την υπομεταβατική, μεταβατική και τη μόνιμης κατάστασης σύνθετη αντίσταση του κινητήρα. Οι σύνθετες αντιστάσεις εξαρτώνται από τις συνθήκες λειτουργίας αμέσως πριν την εκδήλωση του βραχυκυκλώματος.

2.6.5.2 Ενεργές Τάσεις

Για έναν ακριβή υπολογισμό, οι ενεργές τάσεις θα εξεταστούν τόσο στον ευθύ όσο και στον εγκάρσιο άξονα κατά τη διάρκεια των υπό - μεταβατικών και μεταβατικών περιόδων (\underline{E}''_d , \underline{E}'_d , \underline{E}''_q , \underline{E}'_q) και θα αξιολογηθούν λαμβάνοντας υπόψη τις τάσεις λόγω των ρευμάτων των φορτίων πριν το σφάλμα που ενεργούν επάνω στη σύνθετη αντίσταση τόσο στον ευθύ όσο και στον εγκάρσιο άξονα κατά τη διάρκεια της υπομεταβατικής και μεταβατικής περιόδου.

2.6.5.3 Σύνθετη Αντίσταση Κινητήρων

Η σύνθετη αντίσταση του κινητήρα περιλαμβάνει τόσο την ωμική αντίσταση όσο και την επαγωγική αντίδραση στον ευθύ (d) και στον εγκάρσιο (q) άξονα. Για λόγους υπολογισμού, η επαγωγική αντίδραση του κινητήρα θεωρείται σταθερή, εντούτοις είναι σταθερή μόνο για τις αντίστοιχες υπό -

μεταβατικές, μεταβατικές και περιόδους μόνιμης κατάστασης του ρεύματος βραχυκυκλώσεως.

2.6.5.4 Υπομεταβατικές και Μεταβατικές Σταθερές Χρόνου

Η απόσβεση της AC συνιστώσας του ρεύματος βραχυκυκλώσεως χαρακτηρίζεται από την υπομεταβατική και μεταβατική σταθερά χρόνου του κινητήρα.

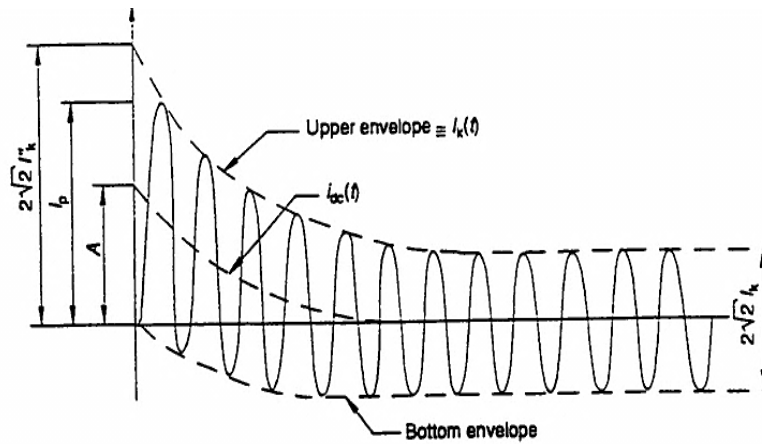
Η υπομεταβατική σταθερά T''_d αφορά την αρχική απόσβεση της AC συνιστώσας του ρεύματος βραχυκυκλώσεως και εξαρτάται από τα αποτελέσματα απόσβεσης του κυκλώματος του δρομέα.

Η μεταβατική σταθερά T'_d αφορά την απόσβεση της AC συνιστώσας του ρεύματος βραχυκυκλώσεως. Εξαρτάται κυρίως από τα αποτελέσματα απόσβεσης των κυκλωμάτων διέγερσης.

Η DC σταθερά χρόνου T_{dc} αφορά την απόσβεση της απεριοδικής συνιστώσας του ρεύματος βραχυκυκλώσεως και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά απόσβεσης του κυκλώματος του στάτη.

2.6.5.5 Τριφασικό Ρεύμα Βραχυκυκλώματος

Συνθήκες τριφασικού βραχυκυκλώματος πληρούνται όταν βραχυκυκλωθούν ταυτόχρονα και οι τρεις φάσεις. Το προκύπτον ρεύμα είναι ένας συνδυασμός των χρονικά εξαρτημένων συναρτήσεων που εμφανίζονται σε κάθε φάση. Το ρεύμα περιέχει τόσο την dc όσο και την ac συνιστώσα του ρεύματος όπως τυπικά φαίνεται στο Σχήμα 18.



I''_k	Αρχικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως.
i_p	Κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως.
I_k	Ρεύμα βραχυκυκλώσεως στην μόνιμη κατάσταση.
i_{dc}	Αποσβενύμενη μη περιοδική συνιστώσα του ρεύματος βραχυκυκλώσεως.
A	Αρχική τιμή της μη περιοδικής συνιστώσας

Σχήμα 18. Κυματομορφή ρεύματος βραχυκυκλώσεως στους ακροδέκτες σύγχρονης γεννήτριας

2.6.5.6 Μοντελοποίηση του Δικτύου τη στιγμή μετά το βραχυκύκλωμα

Τα ηλεκτρικά στοιχεία όσον αφορά το βραχυκύκλωμα μπορούν να διακριθούν σε ενεργητικά και παθητικά, ανάλογα με το εάν συμμετέχουν στην τροφοδότηση του ρεύματος βραχυκυκλώματος ή απλώς συμμετέχουν ως σύνθετες αντιστάσεις.

Τα ενεργητικά αποτελούν ουσιαστικά όλες οι στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές ανεξαρτήτως εάν λειτουργούν ως γεννήτριες ή κινητήρες. Η μέγιστη συνεισφορά στην τροφοδότηση των σφαλμάτων καθ' όλη τη διάρκεια τους προέρχεται από τις σύγχρονες μηχανές ενώ οι ασύγχρονες συνεισφέρουν περισσότερο κατά την έναρξη. Τέλος, μικρή, αλλά όχι αμελητέα επίδραση στη συμπεριφορά όλων των μηχανών έχει και η κατάσταση φόρτισης τους πριν το βραχυκύκλωμα. Στα παθητικά στοιχεία συγκαταλέγονται τα καλώδια, οι μετασχηματιστές, τα επαγωγικά πηνία κλπ. Αξίζει να σημειωθεί ότι με το που αντιληφθεί μια στρεφόμενη μηχανή το βραχυκύκλωμα αντιδρά προσπαθώντας να το τροφοδοτήσει, εμφανιζόμενη στο δίκτυο ως πηγή τάσης με χαμηλές μάλιστα επαγωγικές αντιδράσεις. Οι ωμικές αντιστάσεις δρουν αποσβεστικά και μόνον συνεισφέροντας στη διαμόρφωση του χρόνου απόσβεσης των φαινομένων.

2.6.5.7 Υπολογισμός συνεπειών του βραχυκυκλώματος

Καταρχήν πρέπει να εκτιμηθεί η αρχική φόρτιση λίγο πριν το βραχυκύκλωμα:

1. $t < 0^-$: το δίκτυο λειτουργεί σε μόνιμη κατάσταση (το ρεύμα φόρτισης-μικρό π.χ. «Ενπλώ» και οι μηχανές λειτουργούν με τα συνηθισμένα ισοδύναμα κυκλώματά τους)
2. $0^- < t < 0^+$: εκδηλώνεται το βραχυκύκλωμα και οι μηχανές αντιδρούν εμφανίζοντας E'' , X'' (το ρεύμα παραμένει ρεύμα φόρτισης- μικρό)
3. $t > 0^+$: πλέον το ρεύμα γίνεται ρεύμα βραχυκύκλωσης, όπως προκύπτει από τα E'' , X'' .

Ξεκινάμε από τη φάση (1), υπολογίζοντας το ρεύμα λειτουργίας σε όλες τις στρεφόμενες μηχανές με τρεις διαθέσιμους τρόπους:

1. Από την αντίστοιχη κατάσταση του ισολογισμού π.χ. «ενπλώ», που βρίσκεται το δίκτυο λίγο πριν εκδηλωθεί το βραχυκύκλωμα, υπολογίζονται τα ρεύματα:

$$I_{0^-} = I_{\lambda\epsilon\iota\tau} = \frac{P_{\lambda\epsilon\iota\tau}}{\sqrt{3} \cdot V_{\text{πολ}} \cdot \cos \varphi}, \arg(\dot{I}) = \angle \dot{V} = -\varphi$$

Ός $\cos \varphi$ λαμβάνεται ο συντελεστής ισχύος του κάθε μηχανήματος από την αντίστοιχη κατάσταση του ισολογισμού.

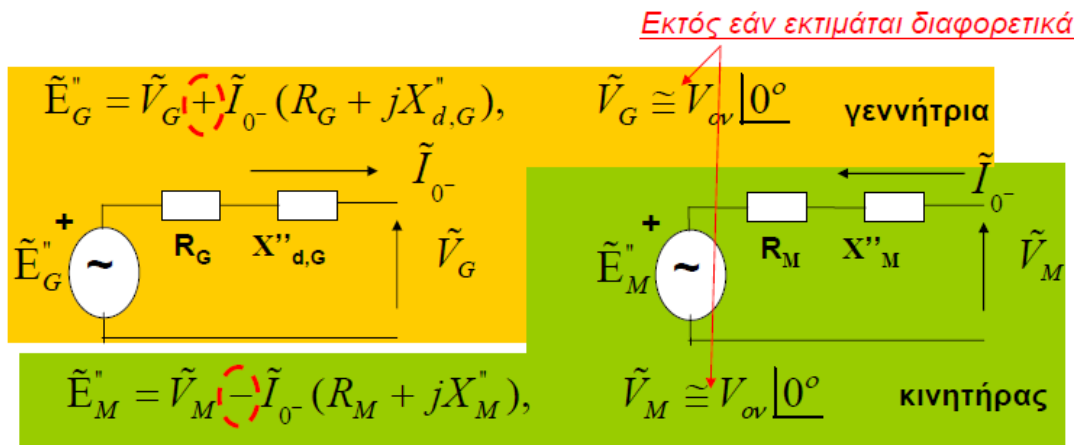
2. Θεωρείται ότι οι γεννήτριες είναι φορτισμένες στο 75% της ονομαστικής τους ισχύος. Οπότε:

$$I_{0^-} = I_{\lambda\epsilon\iota\tau} = \frac{0,75 \cdot P_{\text{ονομ}}}{\sqrt{3} \cdot V_{\text{πολ}} \cdot \cos \varphi}$$

Η παραδοχή ισχύει μόνο για τις γεννήτριες και όχι για καθένα τα φορτία. Όπως προηγουμένως, ως $\cos \varphi$ λαμβάνεται ο συντελεστής ισχύος του κάθε μηχανήματος από την αντίστοιχη κατάσταση του ισολογισμού.

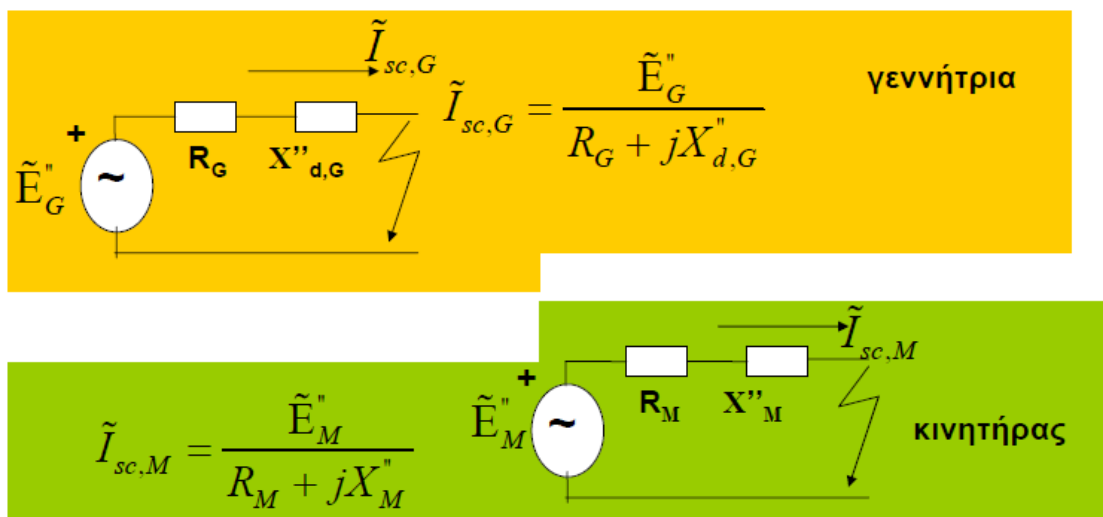
3. Η απολύτως ακριβής λύση συνίσταται σε επίλυση μόνιμης κατάστασης (ροή φορτίου) με πρόγραμμα Η/Υ και λαμβάνονται τα ρεύματα, τάσεις, ισχύεις λειτουργίας.

Στη συνέχεια μοντελοποιείται η φάση (2), στην οποία εκδηλώνεται το βραχυκύκλωμα και οι μηχανές αντιδρούν σε αυτό. Το μοντέλο του κυκλώματος και οι εξισώσεις παρουσιάζονται στο παρακάτω Σχήμα 19. Με αυτό τον τρόπο εκτιμάται η αρχική φόρτιση λίγο πριν το βραχυκύκλωμα.



Σχήμα 19: Μοντελοποίηση της φάσης εκδήλωσης του βραχυκυκλώματος.

Στη φάση (3) υπολογίζονται οι τιμές των ρευμάτων αμέσως μετά το βραχυκύκλωμα, όπου το ρεύμα γίνεται ρεύμα βραχυκύκλωσης. Οι εξισώσεις και το μοντέλο παρατίθενται παρακάτω Σχήμα 20.



Σχήμα 20: Μοντελοποίηση της φάσης μετά την εκδήλωση του βραχυκυκλώματος.

Ο υπολογισμός του συνολικού ρεύματος βραχυκύκλωσης γίνεται με την άθροιση των ρευμάτων των γεννητριών και κινητήρων:

$$I_{sc}^0 = \sum_G I_{sc,G}^0 + \sum_M I_{sc,M}^0$$

Το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης υπολογίζεται με τον τύπο:




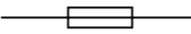
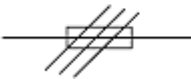

$$I_p = 2\sqrt{2} |I_{sc}^0|.$$


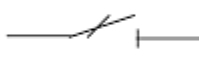


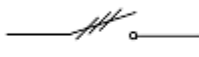
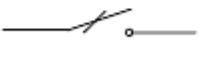
2.7 Μονογραμμικό διάγραμμα της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης




Απαραίτητο συμπλήρωμα σε οποιαδήποτε ηλεκτρολογική μελέτη είναι η σχεδιαστική αναπαράσταση της εγκατάστασης, η οποία ονομάζεται απλά ηλεκτρολογικό σχέδιο. Το μονογραμμικό σχέδιο (ή διάγραμμα) είναι μια απλουστευμένη παράσταση των κυκλωμάτων της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης με την επισήμανση ή όχι του πλήθους των αγωγών, των ασφαλειών και άλλων στοιχείων της εγκατάστασης. Η χρήση του ηλεκτρολογικού σχεδίου είναι απαραίτητη για την καλύτερη συνεργασία όλων των τεχνικών που εμπλέκονται στις διάφορες φάσεις ενός ηλεκτρολογικού έργου.

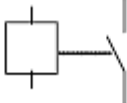



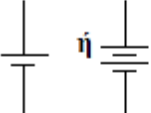
Είναι προφανές ότι τα ηλεκτρολογικά σχέδια (και η υποκατηγορία τους, τα μονογραμμικά σχέδια) είναι απαραίτητα και σε μια εγκατάσταση πλοίου.



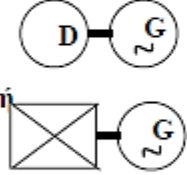
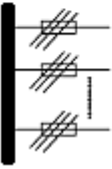
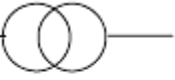
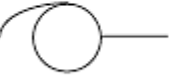

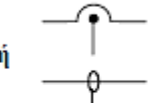

Αν και είναι μια δισδιάστατη συνοπτική απεικόνιση, έχει καθορισμένα σύμβολα και τρόπους γραφής. Παραδείγματα παρουσιάζονται παρακάτω Σχήμα 21.

	Ζυγός (<i>busbar</i>)
	Ζυγός 3-φασικός (<i>3-phase busbar</i>)
	Ζυγός 1-φασικός (<i>1-phase busbar</i>)
	Ασφάλεια τήξεως (<i>electric fuse</i>)
	Ασφάλεια τήξεως 3-φασική (<i>3-phase fuse</i>)
	Ασφάλεια τήξεως 1-φασική (<i>1-phase fuse</i>)

	Αποζεύκτης 3-φασικός (<i>3-phase disconnect</i>)
	Αποζεύκτης 1-φασικός (<i>1-phase disconnect</i>)
	Ασφάλειο-αποζεύκτης 3-φασικός (<i>3-phase fuse disconnect</i>)
	Ασφάλειο-αποζεύκτης 1-φασικός (<i>1-phase fuse disconnect</i>)
	Διακόπτης φορτίου 3-φασικός (<i>3-phase load-break switch</i>)
	Διακόπτης φορτίου 1-φασικός (<i>1-phase load-break switch</i>)

	Αποζεύκτης φορτίου 3-φασικός (<i>3-phase switch disconnector</i>)
	Αποζεύκτης φορτίου 1-φασικός (<i>1-phase switch disconnector</i>)
	Αυτόματος Διακόπτης 3-φασικός (<i>3-phase circuit breaker</i>)
	Στοιχείο προστασίας από υπερφόρτιση (θερμικό στοιχείο) (<i>thermal overload protection element</i>)
	Στοιχείο προστασίας από υπέρνταση (βραχυκύκλωμα) (<i>overcurrent protection element</i>)
	Στοιχείο προστασίας από έλλειψη τάσης (<i>undervoltage protection element</i>)

	Ηλεκτρονόμος ισχύος (<i>contactor</i>)
	Αυτόματος Διακόπτης 3-φασικός εκκίνησης κινητήρα (<i>3-phase AC motor starter switch</i>)
	Κινητήρας Σ.Ρ. (<i>DC motor</i>)
	Γεννήτρια Σ.Ρ. (<i>DC generator</i>)
	Συσσωρευτές (μπαταρίες) Σ.Ρ. (<i>batteries</i>)

	Κινητήρας Ε.Ρ. (<i>AC motor</i>)
	Γεννήτρια Ε.Ρ. (<i>AC generator</i>)
	Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος (Κινητήρας Ντίζελ – Γεννήτρια ΕΡ) (<i>diesel genset</i>)
	Πίνακας διανομής (<i>power distribution board</i>)
	Μετασχηματιστής ισχύος (<i>power transformer</i>)
	Αυτομετασχηματιστής ισχύος (<i>power auto-transformer</i>)
	Πηνίο / φίλτρο εξομάλυνσης ρεύματος (<i>reactor coil / current choke</i>)
	Μετασχηματιστής ρεύματος (<i>current transformer, CT</i>)
	Μετασχηματιστής τάσης (<i>voltage transformer, VT</i>)

Σχήμα 21: Τυπικά σύμβολα διατάξεων που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρολογικά σχέδια.

2.8 Σύνοψη

Με το μονογραμμικό διάγραμμα της εγκατάστασης κλείνει μια τυπική ηλεκτρολογική μελέτη πλοίου. Στη συνέχεια θα δούμε πώς ακριβώς οι αρχές που περιγράφηκαν στα βήματα της μελέτης εφαρμόζονται σε ένα υπαρκτό πλοίο, όπου βέβαια κατευθυνόμαστε περισσότερο προς την αξιολόγηση της υπάρχουσας υποδομής και λιγότερο στο σχεδιασμό ή ανασχεδιασμό κάποιας νέας διάταξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΡΧΩΝ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΕ ΥΠΑΡΚΤΟ ΠΛΟΙΟ

Αφού καλύψαμε τα βασικά στάδια της ηλεκτρολογικής μελέτης σε θεωρητικό επίπεδο, θα προχωρήσουμε σε εφαρμογή των ανωτέρω κανόνων για να αξιολογήσουμε την υπάρχουσα υποδομή ενός εν λειτουργία πλοίου.

3.1 Βασικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη πλοίου

Το πλοίο το οποίο θα μελετηθεί είναι τύπου RoRo-Trailer-Passenger ηλικίας περίπου 10 ετών ναυπηγημένο στη Γερμανία.

Το ακρωνύμιο RoRo προέρχεται από το αγγλικό ιδίωμα Roll-on/Roll-off ή R/R και χαρακτηρίζει ένα σύγχρονο τύπο φορτηγού πλοίου, περισσότερο οχηματογωγού, σε προέκταση των πλοίων τακτικών γραμμών μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων-κοντέινερ ή κυρίως οχημάτων άνευ αυτοκίνησης π.χ. ρυμούλκες.

Τα φορτία, οχήματα ή κοντέινερ φορτώνονται από ειδικούς ελκυστήρες (τράκτορες) με ρυμούλκηση τους μέσα στο χώρο φόρτωσης του πλοίου από ειδικό συνήθως αναδιπλούμενο καταπέλτη όπου τελικά προωθείται η φόρτωση τους. Αυτή η διαδικασία φόρτωσης ονομάζεται Roll On (- board) και η δε εκφόρτωση τους που γίνεται ομοίως αλλά κατά αντίθετη κύλιση αυτών λέγεται Roll Off (-board). Από αυτά προήλθε και η ονομασία του ναυπηγικού αυτού τύπου.

Η φόρτωση και εκφόρτωση αυτών των πλοίων είναι ταχύτατη ενώ υπολογίζεται ότι ο χρόνος φορτο-εκφόρτωσης που απαιτείται για αυτά τα πλοία είναι το 1/6 εκείνου που απαιτείται για τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων (Container Ships).

Το συγκεκριμένο πλοίο έχει επίσης τη δυνατότητα να μεταφέρει επιβάτες, καθώς διαθέτει 4 καταστρώματα κατάλληλα σχεδιασμένα για τη φιλοξενία τους. Η κατασκευή της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης ενός τέτοιου πλοίου είναι μια αρκετά σύνθετη εργασία λόγω των πολλών και διαφορετικών καταναλωτών ενέργειας στα διάφορα τμήματα του πλοίου αλλά και των αρκετά αυστηρών προδιαγραφών ασφαλείας, καθώς το πλοίο μεταφέρει ανθρώπους. Μια από τις ιδιαιτερότητες του συγκεκριμένου πλοίου, με την οποία θα ασχοληθούμε, είναι η χρησιμοποίηση δυο

αξονικών γεννητριών για την ηλεκτροπαραγωγή εκτός από τις συνήθεις ντιζελογεννήτριες.

3.2 Παρουσίαση του ηλεκτρικού δικτύου του υπό μελέτη πλοίου

Το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου διαθέτει 2 επίπεδα τάσης στα 440 V και 230 V και συχνότητα τα 60 Hz.

Η τροφοδοσία του πλοίου με ηλεκτρική ενέργεια γίνεται με τη βοήθεια 3 ντιζελογεννητριών(Diesel Generator,DG)του οίκου MAN-BW ονομαστικής ισχύος 2100 KVA ενώ υπάρχουν επίσης διαθέσιμες 2 αξονικές γεννήτριες(Shaft Generator, SG)του οίκου ABB ονομαστικής ισχύος 2400 KVA και τέλος μια ντιζελογεννήτρια εκτάκτου ανάγκης του οίκου CATERPILLAR ονομαστικής ισχύος 1125 KVA.

Παρακάτω περιγράφονται οι διάφοροι καταναλωτές που βρίσκονται στο ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου.

1. Πλευρικοί προωστήριοι μηχανισμοί (Bow Thrusters, Stern Thruster)

Το πλοίο διαθέτει συνολικά 3 πλευρικούς προωστήριους μηχανισμούς οι οποίοι αποτελούν μεγάλους ασύγχρονους κινητήρες που λειτουργούν στα 440 V.Επιπλέον 2 από αυτά είναι πλωριαία (εμπρός μέρος) με μέγιστη ενεργό ισχύ 1000 KW ενώ το 1 είναι πρυμναίο (πίσω μέρος) με μέγιστη ενεργό ισχύ 1400 KW.Όπως παρατηρείται στο δίκτυο του πλοίου το πλωριαίο 1 και το πρυμναίο προπελάκι συνδέονται στο ζυγό της αξονικής γεννήτριας 1.Ο ζυγός αυτός μπορεί να συνδεθεί και να τροφοδοτηθεί είτε με το κεντρικό ζυγό μέσω διακόπτη,είτε με την αξονική γεννήτρια 1 αντίθετα το πλωριαίο 2 προπελάκι τροφοδοτείται είτε από την αξονική γεννήτρια 2 είτε από το κεντρικό ζυγό.

2. MCCs (Motor Control Centers)

Το πλοίο διαθέτει πολλούς μικρούς κινητήρες οι οποίοι έχουν διάφορες χρήσεις και είναι κατανεμημένοι στα διάφορα επίπεδα του πλοίου.Οι κινητήρες αυτοί μπορεί να αποτελούν τμήματα διάφορων μηχανών όπως αντλίες,συμπιεστές αέρα, φυγοκεντριστές καυσίμου,εργαλεία μηχανοστασίου,κινητήρες για τους κάβους ή τις

άγκυρες κλπ. Παρατηρούμε στο Σχήμα 23 (παρακάτω) ότι υπάρχουν στο ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου τέσσερα στοιχεία τύπου MCC. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν ομαδοποιημένους πίνακες εκκίνησης κινητήρων και ελέγχουν το μεγαλύτερο μέρος από τους κινητήρες του πλοίου.

3. Πρίζες φορτηγών ψυγείων (Reefer Sockets)

Δεδομένου ότι το πλοίο είναι επιβατηγό οχηματαγωγό, μπορεί να μεταφέρει φορτηγά ψυγεία ή εμπορευματοκιβώτια ψυγεία. Τα ψυγεία αυτά θα πρέπει να τροφοδοτηθούν από κάποια πηγή κατά τη διάρκεια του ταξιδιού στη θάλασσα (ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες) ώστε να διατηρείται το περιεχόμενό τους. Το πλοίο διαθέτει ειδικές πρίζες στην οροφή των καταστρωμάτων για τα φορτηγά οι οποίες μπορούν να συνδεθούν με αυτά και να τα τροφοδοτήσουν στα 440V. Όπως παρατηρούμε υπάρχουν 3 τέτοια στοιχεία τα οποία βασίζονται σε ένα μετασχηματιστή τριών τυλιγμάτων ονομαστικής φαινόμενης ισχύος 287.5 KVA, ο οποίος τροφοδοτείται από το κύριο πίνακα 440V και δίνει τόσο 440V όσο και 230 V. Σημειώνεται ότι οι παροχές των 230 V χρησιμεύουν για την τροφοδοσία με ρεύμα αυτοκινούμενων τροχόσπιτων και όχι φορτηγών.

4. Συνδέσεις με ακτή (Shore Connection)

Το πλοίο διαθέτει 2 ειδικές υποδοχές, μια πρωριαία και μια πρυμναία, με τις οποίες ο κύριος πίνακας 440V του πλοίου μπορεί να τροφοδοτηθεί από το δίκτυο της ξηράς. Οι υποδοχές αυτές κυρίως χρησιμεύουν κατά τη διάρκεια δεξαμενισμού του πλοίου, όπου χρειάζονται κάποια φορτία εντός του πλοίου, αλλά οι γεννήτριες του μπορεί να μη λειτουργούν, είτε για πρακτικούς λόγους, είτε για λόγους συντήρησης.

5. Μαγειρείο (Galley)

Στο δίκτυο του πλοίου υπάρχουν 2 μετασχηματιστές των 240 KVA και 2 μετασχηματιστές των 60 KVA που τροφοδοτούν το μαγειρείο στα 440 και 230V αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι το μαγειρείο διαθέτει αρκετά μηχανήματα για τη παρασκευή φαγητού που κινούνται από κινητήρες, αλλά και αρκετά μεγάλα ψυγεία.

6. Κύριος Πίνακας 230V (MSB 230V)

Το πλοίο διαθέτει 3 μετασχηματιστές 440/230V των 287,5 KVA, οι οποίοι τροφοδοτούν το πίνακα των 230V. Ο πίνακας αυτός χρησιμεύει για την τροφοδοσία του φωτισμού του πλοίου και για την τροφοδότηση μικροσυσκευών όπως υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ.

7. Διάφοροι Καταναλωτές (Consumers)

Τέλος υπάρχουν και διάφοροι καταναλωτές τόσο στα 440V όσο και στα 230V.

8. Πίνακας Εκτάκτου Ανάγκης (Emergency Switchboard, ESB 440V)

Ο πίνακας αυτός αποτελείται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 23 από δύο τμήματα τα οποία είναι σε διαφορετικά επίπεδα τάσης και συνδέονται με τη βοήθεια δύο γραμμών και μετασχηματιστών υποβιβασμού. Στην πλευρά των 440V βρίσκεται η γεννήτρια εκτάκτου ανάγκης, ενώ στη πλευρά των 230V υπάρχει η συσκευή (Ters Converter) που τροφοδοτεί τις μπαταρίες του συστήματος εκτάκτου ανάγκης. Για λόγους ασφαλείας το πλοίο πρέπει να διαθέτει και μπαταρίες για τη τροφοδοσία των κρίσιμων φορτίων μέχρι να εκκινήσει η ντιζελογεννήτρια εκτάκτου ανάγκης.

Το μεγαλύτερο μέρος των καταναλωτών τροφοδοτούνται από τους δύο κεντρικούς ζυγούς. Επίσης υπάρχουν δύο ακόμα πίνακες, ο πίνακας εκτάκτου ανάγκης και ο κύριος πίνακας των 230 V που αφορά το φωτισμό και τις μικροσυσκευές που λειτουργούν σε αυτή τη τάση.

3.3 Ηλεκτρικός ισολογισμός του υπό μελέτη πλοίου

Ο ηλεκτρικός ισολογισμός αποτελείται ουσιαστικά από ένα πίνακα,ο οποίος στις γραμμές του παρουσιάζει ηλεκτρικούς καταναλωτές,ενώ οι στήλες του αποτελούν τις διακριτές καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου.Κάθε στήλη διαθέτει επιμέρους δεδομένα όπως πόσα στοιχεία από κάθε είδος (σειρά) είναι σε λειτουργία,ο βαθμός απόδοσης κάθε συσκευής,η ζητούμενη μηχανική ισχύς και η ηλεκτρική ισχύς.

Ομάδα	Πορεία στη Θάλασσα SG1 (KW)	Πορεία στη Θάλασσα SG12 (KW)	Πορεία στη Θάλασσα DG (KW)	Ελιγμοί(KW)	Λιμάνι (KW)	Αναπαυση στο λιμάνι (KW)	2 κυρίες μηχανές σε λειτουργία έκτακτης ανάγκης (KW)	Έκτακτη ανάγκη (KW)
Βοηθητικά Μηχανήματα Πρόωσης	524,9	602,2	1527,2	1301,9	368,0	220,3	514,4	34,4
Βοηθητικά Μηχανήματα Μηχανοστασίου	141,6	161,1	250,4	287,5	286,2	132,5	42,7	18,9
Βοηθητικά μηχανήματα για τη λειτουργία του πλοίου	108,3	83,0	188,2	123,7	157,6	61,0	30,3	318,6
Εξαερισμός, Κλιματισμός, Θέρμανση	309,4	464,6	776,0	776,0	895,1	553,6	156,3	12,1

Συσκευές Ψύξης	151,9	131,5	285,3	285,3	172,8	21,9	26,9	0,0
Μηχανήματα Καταστώματος	51,4	29,9	50,3	22,6	236,4	184,7	19,1	154,1
Εξοπλισμός Μαγειρείου	97,3	103,4	200,7	182,2	182,2	100,7	0,0	0,0
Μηχανήματα εργασίας	0,0	3,5	3,5	3,5	5,3	10,6	0,0	0,0
Φωτισμός	28,6	124,1	152,7	152,7	157,6	66,5	41,5	41,5
Ναυσιπλοΐα	3,3	18,2	20,3	20,3	20,3	7,3	20,3	20,3
Προπελάκια	0,0	0,0	0,0	2192,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Σύνολο	1516,3	1723,6	3154,6	5347,9	2481,4	1359,1	851,4	599,9
Χρήση καλοκαιριού	1507,4	1670,7	301,4	5284,6	2439,6	1319,6	851,4	599,9
Χρήση χειμώνα	1466,5	1597,9	2978,7	5171,9	2305,5	1183,2	851,4	599,9

Πίνακας 1: Αποτελέσματα ηλεκτρικού ισολογισμού του πλοίου

Ο Πίνακας 1 ουσιαστικά αποτελεί μια συνοπτική μορφή του ηλεκτρικού ισολογισμού. Οι στήλες του πίνακα αντιστοιχούν στις διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου, συνεπώς ένα στοιχείο του πίνακα δείχνει την ενεργό ισχύ που απαιτείται για να λειτουργούν τα στοιχεία της αντίστοιχης ομάδας (γραμμή) στη συγκεκριμένη κατάσταση λειτουργίας (στήλη). Οι τελευταίες γραμμές δείχνουν το άθροισμα των επιμέρους στοιχείων κάθε στήλης και γίνεται μια διάκριση σε χειμώνα και καλοκαίρι. Αυτό συμβαίνει διότι το χειμώνα λειτουργούν κάποια συστήματα θέρμανσης στη γάστρα του πλοίου, ώστε να μη ψύχονται τα συστήματα πρόωσης αλλά και το καύσιμο, ενώ ο κλιματισμός είναι περιορισμένος. Αντιθέτως, το καλοκαίρι λειτουργεί ο κλιματισμός και τα συστήματα θέρμανσης στη γάστρα του πλοίου καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια λόγω του ζεστού καιρού.

Πιο συγκεκριμένα, η στήλη 1 του Πίνακα 1 περιγράφει τις καταναλώσεις κάθε μιας από τις 11 ομάδες φορτίων, όταν αυτό βρίσκεται εν πλω και τροφοδοτείται με ηλεκτρισμό μόνο από την αξονική γεννήτρια 1. Αντίστοιχα η στήλη 2 περιγράφει τις καταναλώσεις του πλοίου όταν αυτό είναι εν πλω και η ηλεκτροπαραγωγή του οφείλεται στην αξονική γεννήτρια 2.

Η στήλη 3 περιγράφει τις καταναλώσεις ανά ομάδα φορτίων όταν το πλοίο είναι εν πλω και η ηλεκτροπαραγωγή γίνεται αποκλειστικά με ντιζελογεννήτριες. Η στήλη 4 περιγράφει τις καταναλώσεις του πλοίου ανά ομάδα, όταν αυτό πραγματοποιεί ελιγμούς πχ. ελλιμενισμού. Ιδιαιτερότητα αυτής της κατάστασης έγκειται στο γεγονός ότι είναι σε λειτουργία ένας ή περισσότεροι πλευρικοί προωστήριοι μηχανισμοί (που κινούνται από μεγάλης ισχύος ηλεκτρικού κινητήρες). Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η κατάσταση απαντάται για λίγα λεπτά και συνήθως όταν το πλοίο προσεγγίζει ή αναχωρεί από λιμάνι, ενώ παρατηρείται η μέγιστη ενεργειακή κατανάλωση. Η στήλη 5 περιγράφει τις καταναλώσεις ανά ομάδα του πλοίου όταν αυτό βρίσκεται αγκυροβολημένο στο λιμάνι και είτε φορτώνει είτε εκφορτώνει αλλά ο απόπλους του θα λάβει χώρα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η στήλη 6 περιγράφει τις καταναλώσεις ανά ομάδα όταν το πλοίο είναι αγκυροβολημένο στο λιμάνι και δεν θα αποπλεύσει σύντομα από αυτό, συνεπώς δε φιλοξενεί επιβάτες (πλην ίσως ορισμένων μελών του πληρώματος). Η διαφορά μεταξύ των στηλών 5 και 6 έγκειται στο ότι το πλοίο στην τελευταία κατάσταση, έχει μειωμένη κατανάλωση δεδομένου ότι πολλές συσκευές είναι ανενεργές.

Η στήλη 7 περιγράφει τις καταναλώσεις του πλοίου όταν αυτό βρίσκεται σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης και μπορούν να τροφοδοτηθούν μόνο λίγοι αλλά κρίσιμοι για την ασφάλεια του πλοίου καταναλωτές. Η ηλεκτροπαραγωγή προέρχεται μόνον από την γεννήτρια έκτακτης ανάγκης και τροφοδοτούνται τα συστήματα λειτουργίας των προωστήριων μηχανών. Δηλαδή σε αυτή την κατάσταση το πλοίο μπορεί να κινηθεί με τις δικές του προωστήριες μηχανές ενδεχομένως με μειωμένη ταχύτητα.

Τέλος, η στήλη 8 περιγράφει τις καταναλώσεις των επιμέρους ομάδων κατά τη κατάσταση έκτακτης ανάγκης, όπου τροφοδοτούνται λίγα κρίσιμα φορτία, αλλά το πλοίο δεν έχει τη δυνατότητα να μετακινηθεί μόνο του, συνεπώς δε τροφοδοτούνται τα υποσυστήματα των προωστήριων μηχανών. Για αυτό και η συνολική κατανάλωση της στήλης 8 είναι μειωμένη σε σχέση με αυτή της στήλης 7.

3.4 Καταστάσεις Λειτουργίας ΣΗΕ πλοίου

Το πλοίο όπως έχει προαναφερθεί σχεδιάστηκε με βάση συγκεκριμένα σενάρια λειτουργίας του, ενώ ανάλογα με το κάθε σενάριο ο μελετητής προσδιόρισε ποιους συνδυασμούς ντιζελογεννητριών και αξονικών γεννητριών θα λειτουργούν και ποια φορτία θα τροφοδοτούν. Τα σενάρια αυτά, που έλαβε υπόψη του ο μελετητής του πλοίου κατά τη σχεδίαση του και βρέθηκαν ως τμήμα της μελέτης βραχυκυκλωμάτων του πλοίου.

Παρακάτω παρατίθενται τα σενάρια λειτουργίας του πλοίου κατά τη φάση σχεδίασης του.

1) Λειτουργία Λιμανιού:

α) Μια ή περισσότερες ντιζελογεννήτριες σε λειτουργία.

β) Η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης τροφοδοτεί το κύριο ζυγό μέσω γραμμής μεταφοράς. Παράλληλη λειτουργία μεταξύ της γεννήτριας έκτακτης ανάγκης και του πολύ 2 ντιζελογεννητριών μόνο για μεταφορά φορτίων.

2) Λειτουργία Ελιγμών:

α) Οι ντιζελογεννήτριες τροφοδοτούν το κύριο ζυγό και οι διακόπτες που συνδέουν το κύριο ζυγό με τους ζυγούς των αξονικών γεννητριών είναι κλειστοί.

β) Οι ντιζελογεννήτριες τροφοδοτούν το κύριο ζυγό και οι αξονικές γεννήτριες τους δικούς τους ζυγούς.

3) Λειτουργία Θάλασσας:

α) Το λιγότερο δύο ντιζελογεννήτριες τροφοδοτούν το κύριο ζυγό.

β) Η αξονική γεννήτρια 2 τροφοδοτεί το αριστερό μέρος του κύριου πίνακα και η αξονική γεννήτρια 1 τροφοδοτεί το δεξί μέρος του κύριου πίνακα.

4) Λειτουργία Έκτακτης Ανάγκης:

- Σε περίπτωση black-out ο αυτόματος διακόπτης της γεννήτριας έκτακτης ανάγκης ανοίγει και η τελευταία τροφοδοτεί τον πίνακα έκτακτης ανάγκης και τους καταναλωτές MCC που απαιτούνται για τη λειτουργία των προωστήριων μηχανών.

5) Λειτουργία μεταφοράς φορτίων:

- Παράλληλη λειτουργία δύο ντιζελογεννητριών και μιας αξονικής γεννήτριας μόνο για μεταφορά φορτίων.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως τα πραγματικά σενάρια λειτουργίας του πλοίου, με τα οποία αυτό λειτουργεί σήμερα είναι διαφοροποιημένα από αυτά της αρχικής μελέτης. Το πλοίο στην πραγματικότητα διαθέτει ένα σύνολο προγραμματισμένων καταστάσεων οι οποίες ελέγχονται και υλοποιούνται από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επιπλέον το προσωπικό του πλοίου έχει τη δυνατότητα να παρακάμψει το πρόγραμμα ελέγχου των διαφόρων καταστάσεων του πλοίου και να κάνει χειροκίνητες ρυθμίσεις, δημιουργώντας διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας του Σ.Η.Ε. του πλοίου από τις προγραμματισμένες.

3.5 Αριθμός και ονομαστική ηλεκτρική ισχύς των κύριων γεννητριών του πλοίου

Όπως προαναφέρθηκε στην παρουσίαση των γενικών χαρακτηριστικών του πλοίου, το πλοίο διαθέτει 3 ντιζελογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 2100 KW και 2 αξονικές γεννήτριες ονομαστικής ισχύος 2400 KW. Είναι εμφανές από τον ισολογισμό ότι οι ανάγκες ισχύος του πλοίου καλύπτονται ακόμα και στις δυσμενέστερες συνθήκες λειτουργίας.

3.6 Ονομαστική ισχύς της γεννήτριας ασφαλείας

Η γεννήτρια ασφαλείας είναι μια ντιζελογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 1125 KW η οποία καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

3.7 Αξιολόγηση καλωδιώσεων του κύριου πίνακα

Ο υπολογισμός του ονομαστικού ρεύματος γραμμής γίνεται με τη χρήση του ακόλουθου τύπου :

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_\pi}$$

Αξονικές Γεννήτριες SG1, SG2 : $I_{n,sg} = \frac{2400KVA}{\sqrt{3} \cdot 450} = 3079.2A$

Γεννήτριες Diesel DG1,DG2,DG3 : $I_{n,sg} = \frac{2100KVA}{\sqrt{3} \cdot 450} = 2694.3A$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ : Όλοι οι μετασχηματιστές έχουν το πρωτεύον τους σε συνδεσμολογία τριγώνου και το δευτερεύον τους σε αστέρα, επίσης για τους τριών τυλιγμάτων είναι και το τριτεύον σε συνδεσμολογία αστέρα.

➤ Μετασχηματιστές 440V / 230V (GF01-03) :

$$\text{πρωτεύον: } I_{n,TR1-3} = \frac{287.5KVA}{\sqrt{3} \cdot 440} = 337.24A$$

$$\text{δευτερεύον: } I_{n,TR1-3} = \frac{287.5KVA}{\sqrt{3} \cdot 230} = 721.7A$$

➤ Μετασχηματιστές 440V / 230V (GF04-06) :

$$\text{πρωτεύον: } I_{n,TR4-6} = \frac{287.5KVA}{\sqrt{3} \cdot 440} = 337.24A$$

$$\text{δευτερεύον: } I_{n,TR4-6} = \frac{207KVA}{\sqrt{3} \cdot 440} = 271.62A$$

$$\text{τριτεύον : } I_{n,TR4-6} = \frac{80.5KVA}{\sqrt{3} \cdot 230} = 202.1A$$

➤ Μετασχηματιστές 440V / 230V (GF07-08) :

$$\text{πρωτεύον: } I_{n,TR7-8} = \frac{150KVA}{\sqrt{3} \cdot 440} = 196.8A$$

$$\text{δευτερεύον: } I_{n,TR7-8} = \frac{150KVA}{\sqrt{3} \cdot 230} = 376.5A$$

➤ Μετασχηματιστές 440V / 230V (GF09-10) :

$$\text{πρωτεύον: } I_{n,TR9-10} = \frac{240KVA}{\sqrt{3} \cdot 440} = 314.9A$$

$$\text{δευτερεύον: } I_{n,TR9-10} = \frac{240KVA}{\sqrt{3} \cdot 440} = 314.9A$$

➤ Μετασχηματιστές 440V / 230V (GF11-12) :

$$\text{πρωτεύον: } I_{n,TR11-12} = \frac{60KVA}{\sqrt{3} \cdot 440} = 78.7A$$

$$\text{δευτερεύον: } I_{n,TR11-12} = \frac{60KVA}{\sqrt{3} \cdot 230} = 150.6A$$

Για να αξιολογήσουμε τις διαστάσεις των καλωδίων θα ακολουθήσουμε το πρότυπο του Γερμανικού Νηογνώμονα. Ο σχετικός πίνακας παρατίθεται παρακάτω:

Table 10.9 Current carrying capacity based on maximum conductor operating temperature of 85 °C

Nominal cross-section		Continuous service		Half-hour service 30 minutes		Intermittent service Ratio 40 %, Period 10 minutes	
		Current rating	Fuse rating	Current rating	Fuse rating	Current rating	Fuse rating
mm ²	AWG/MCM	A max.	A max.	A max.	A max.	A max.	A max.
Single-core cables							
1,0	17	16	16	17	16	19	20
1,5	15	20	20	21	20	24	25
2,5	13	28	25	30	25	36	35
4	11	38	35	40	35	50	50
6	9	48	50	51	50	64	63
10	7	67	63	72	63	91	80
16	5	90	80	98	100	126	125
25	3	120	100	134	125	170	160
35	2	145	125	165	160	209	200
50	0	180	160	211	200	263	250
70	2/0	225	224	272	250	332	315
95	4/0	275	250	344	-	410	-
120	250	320	315	410	-	480	-
150	300	365	-	482	-	553	-
185	400	415	-	564	-	633	-
240	500	490	-	691	-	798	-
300	600	560	-	818	-	855	-
2-core cables							
1,0	17	14	10	14	10	17	16
1,5	15	17	16	18	16	22	20
2,5	13	24	25	25	25	31	25
4	11	32	25	35	35	43	35
6	9	41	35	44	35	56	50
10	7	57	50	63	63	80	80
16	5	76	63	87	80	110	100
25	3	102	100	119	100	149	125
3- or 4-core cables							
1,0	17	11	10	12	10	14	10
1,5	15	14	16	15	16	18	16
2,5	13	20	20	21	20	26	25
4	11	27	25	29	25	37	35
6	9	34	35	37	35	47	35
10	7	47	50	53	50	67	63
16	5	63	63	74	63	92	80
25	3	84	80	102	100	124	125
35	2	101	100	128	125	152	160
50	0	126	125	166	160	192	200
70	2/0	157	160	218	200	290	224
95	4/0	192	200	278	250	294	300
120	250	224	224	337	315	342	315
Multi-core cables							
5 x 1,5	5 x 15	12	10	12	10	16	16
7 x 1,5	7 x 15	10	10	11	10	14	16
10 x 1,5	10 x 15	9	6	10	10	13	10
12 x 1,5	12 x 15	9	6	10	10	12	10
14 x 1,5	14 x 15	8	6	9	6	12	10
16 x 1,5	16 x 15	8	6	9	6	11	10
19 x 1,5	19 x 15	7	6	8	6	11	10
24 x 1,5	24 x 15	7	6	8	6	10	10

AWG: American Wire Gauge
MCM: Milie Circular Mil

Πίνακας 2: Πίνακας ικανότητας μεταφοράς ρεύματος για καλώδια σε θερμοκρασία 85 °C του Γερμανικού Νηογνώμονα

3.7.1 Γεννήτριες Diesel DG1,DG2,DG3

$I_{nDG} = 2694.3A$ χρησιμοποιούμενα καλώδια $11 \times (3 \times (1 \times 120mm^2))$.

Οι γεννήτριες Diesel χρησιμοποιούνται και εν πλω και κατά την παραμονή του πλοίου στο λιμάνι. Για τα συγκεκριμένα πλοία μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι τρεις γεννήτριες ανήκουν στη στήλη συνεχούς λειτουργίας.

Παρατηρείται λοιπόν ότι θα έπρεπε για τις γεννήτριες να χρησιμοποιηθεί καλώδιο :

$$\frac{I_{nDG}}{I_{n_cable}} = \frac{2694.3}{320} A = 8.42 \text{ δηλαδή } 9 \text{ καλώδια } (1 \times 120mm^2) \text{ για κάθε φάση.}$$

Συμπέρασμα: Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση.

3.7.2 Αξονικές Γεννήτριες SG1,SG2

$I_{nSG} = 3079.2A$, χρησιμοποιούμενα καλώδια $12 \times (3 \times (1 \times 120mm^2))$.

Οι αξονικές γεννήτριες χρησιμοποιούνται μόνο κατά την εν πλω λειτουργία όταν λειτουργούν οι κύριες μηχανές. Υποθέτοντας ότι ανήκει στη χρήση συνεχούς λειτουργίας θα έπρεπε να επιλεγεί το ακόλουθο καλώδιο:

$$\frac{I_{nSG}}{I_{n_cable}} = \frac{3079.2}{320} A = 9.62 \text{ δηλαδή } 10 \text{ καλώδια } (1 \times 120mm^2) \text{ για κάθε φάση.}$$

Επειδή το πλοίο αυτό προοριζόταν για χρήση σε κοντινές αποστάσεις (δηλαδή χρήση των κύριων μηχανών και άρα και της αξονικής γεννήτριας ως 18 ώρες το 24ωρο) δεν μπορούμε να πούμε ότι πρέπει να καταταχθεί ακριβώς στη στήλη συνεχούς λειτουργίας.

Συμπέρασμα: Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση.

3.7.3 Κύριος Πίνακας 440 V -> Μετασχηματιστές 440 V / 230 V (6F01-03)

πρωτεύον: $I_{n,TR1-3} = 337.3A$, χρησιμοποιούμενα καλώδια: $2 \times (3 \times (1 \times 120mm^2))$.

δευτερεύον: $I_{n,TR1-3} = 721.7A$, χρησιμοποιούμενα καλώδια: $4 \times (3 \times (1 \times 95mm^2))$.

Οι μετασχηματιστές 1 ως 3 τροφοδοτούν τον κύριο πίνακα των 230V οπότε θεωρητικά η επιλογή των συγκεκριμένων καλωδίων πρέπει να έχει γίνει με προοπτική συνεχούς λειτουργίας.

1. $\frac{I_{n,TR1-3}}{I_{n_cable}} = \frac{337.3}{320} A = 1.05$ δηλαδή 2 καλώδια ($1 \times 120mm^2$) για κάθε φάση.
2. $\frac{I_{n,TR1-3}}{I_{n_cable}} = \frac{721.7}{275} A = 2.62$ δηλαδή 3 καλώδια ($1 \times 120mm^2$) για κάθε φάση.

Συμπέρασμα : Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση.

3.7.4 Κύριος Πίνακας 440 V -> Μετασχηματιστές 440 V / 230 V (6F04-06)

πρωτεύον: $I_{n,TR1-3} = 337.3A$, χρησιμοποιούμενα καλώδια: $2 \times (3 \times (1 \times 120mm^2))$.

δευτερεύον: $I_{n,TR1-3} = 271.62A$, χρησιμοποιούμενα καλώδια: $2 \times (3 \times 95mm^2)$.

τριτεύον: $I_{n,TR1-3} = 202.1A$, χρησιμοποιούμενα καλώδια: $2 \times (3 \times 50mm^2)$.

Αν υποθέσουμε ότι τροφοδοτούν συνεχώς το φορτίο τους, εξετάζουμε την πρώτη στήλη του πίνακα 2.

1. $\frac{I_{n,TR4-6}}{I_{n_cable}} = \frac{337.3}{320} A = 1.05$ δηλαδή 2 καλώδια ($1 \times 120mm^2$) για κάθε φάση.
2. $\frac{I_{n,TR4-6}}{I_{n_cable}} = \frac{271.6}{192} A = 1.41$ δηλαδή 2 καλώδια ($3 \times 95mm^2$) για κάθε φάση.
3. $\frac{I_{n,TR4-6}}{I_{n_cable}} = \frac{202.1}{126} A = 1.26$ δηλαδή 2 καλώδια ($3 \times 50mm^2$) για κάθε φάση.

Συμπέρασμα: Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση.

3.7.5 Πίνακας Εκτάκτου Ανάγκης 440V -> Μετασχηματιστές 440V / 230V (GFP07 -08)

πρωτεύον: $I_{n,TR1-3} = 337.3A$, χρησιμοποιούμενα καλώδια: $2 \times (3 \times (1 \times 120mm^2))$.

δευτερεύον: $I_{n,TR1-3} = 271.62A$, χρησιμοποιούμενα καλώδια: $2 \times (3 \times 95mm^2)$.

Οι μετασχηματιστές 7 και 8 τροφοδοτούν τον πίνακα εκτάκτου ανάγκης των 230V, θεωρητικά η επιλογή των συγκεκριμένων καλωδίων πρέπει να έχει γίνει με προοπτική συνεχούς λειτουργίας.

1. $\frac{I_{nTR7-8}}{I_{n_cable}} = \frac{196.8}{180} A = 1.1$ δηλαδή 2 καλώδια $50mm^2$ για κάθε φάση.
2. $\frac{I_{nTR7-8}}{I_{n_cable}} = \frac{376.5}{224} A = 1.68$ δηλαδή 2 καλώδια $(3 \times 120mm^2)$ για κάθε φάση.

Συμπέρασμα: Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση.

3.7.6 Κύριος Πίνακας 440 V -> Μετασχηματιστές 440V / 440V (GF09-10)

πρωτεύον: $I_{n,TR9-10} = 314.9A$, χρησιμοποιούμενα καλώδια: $2 \times (3 \times (1 \times 120mm^2))$.

δευτερεύον: $I_{n,TR9-10} = 271.62A$, χρησιμοποιούμενα καλώδια: $2 \times (3 \times 95mm^2)$.

Οι μετασχηματιστές 9 και 10 τροφοδοτούν τους δυο πίνακες 440V του μαγειρείου, η επιλογή των συγκεκριμένων καλωδίων πρέπει να έχει γίνει με προοπτική συνεχούς λειτουργίας δεδομένου ότι το πλοίο είναι επιβατηγό οχηματαγωγό και η παρασκευή φαγητού είναι συνεχής.

1. $\frac{I_{nTR9-10}}{I_{n_cable}} = \frac{314.9}{320} A = 0.98$ δηλαδή 1 καλώδιο $(1 \times 120mm^2)$ για κάθε φάση.
2. $\frac{I_{nTR9-10}}{I_{n_cable}} = \frac{314.9}{192} A = 1.64$ δηλαδή 2 καλώδια $(3 \times 95mm^2)$ για κάθε φάση.

Συμπέρασμα : Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση.

3.7.7 Κύριος Πίνακας 440 V -> Μετασχηματιστές 440 V / 230 V (GF11-12)

πρωτεύον: $I_{n,TR11-12} = 78.7 A$, χρησιμοποιούμενα καλώδια: $(3 \times 35mm^2)$.

δευτερεύον: $I_{n,TR11-12} = 150.6 A$, χρησιμοποιούμενα καλώδια: $(3 \times 95mm^2)$.

Οι μετασχηματιστές 11 και 12 τροφοδοτούν τους δυο πίνακες 230 V του μαγειρείου.

Η επιλογή των συγκεκριμένων καλωδίων πρέπει να έχει γίνει με προοπτική συνεχούς λειτουργίας δεδομένου ότι το πλοίο είναι επιβατηγό οχηματαγωγό και η παρασκευή φαγητού είναι συνεχής.

$$1. \frac{I_{n,TR11-12}}{I_{n_cable}} = \frac{78.7}{145} A = 0.54 \text{ δηλαδή } 1 \text{ καλώδιο } (3 \times 35mm^2) \text{ για κάθε φάση.}$$

$$2. \frac{I_{n,TR11-12}}{I_{n_cable}} = \frac{150.6}{275} A = 0.55 \text{ δηλαδή } 1 \text{ καλώδιο } (3 \times 95mm^2) \text{ για κάθε φάση.}$$

Συμπέρασμα : Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση.

Παρατηρούμε ότι τα επιλεγμένα καλώδια είναι γενικά μεγαλύτερα από το μέγεθος που προτείνεται από τα Γερμανικό Νηογνώμονα.

Η επιλογή καλωδίων μεγαλύτερης διατομής από την απαιτούμενη έχει γενικά τις ακόλουθες συνέπειες:

- Αυξημένο κόστος καθώς τα καλώδια μεγαλύτερης διατομής κοστίζουν περισσότερο, και αν ακολουθείται γενικά αυτή η τακτική σε όλη τη καλωδίωση του πλοίου, η αύξηση του κόστους είναι ένα υπολογίσιμο μέγεθος.
- Αυξημένο βάρος εγκατάστασης το οποίο έχει επίδραση στη πλευση και την ευστάθεια του σκάφους αν δεν έχουν κατανεμηθεί ομοιόμορφα οι καλωδιώσεις.
- Δυνατότητα προσθήκης περισσότερων φορτίων στο σκάφος σε πιθανή μετασκευή του, καθώς η υπάρχουσα εγκατάσταση είναι γενικά υπερδιαστασιολογημένη και μπορεί να υποστηρίξει παραπάνω φορτία.
- Για βραχυκυκλώματα με όχι πολύ μεγάλα ρεύματα σφάλματος τα καλώδια αντέχουν μέχρι να λειτουργήσει η προστασία.

- Τέλος, υπάρχει πιθανότητα το ναυπηγείο να είχε προμηθευτεί συγκεκριμένους τύπους καλωδίων σε μεγάλη ποσότητα και να το συνέφερε οικονομικά να μη χρησιμοποιεί καλώδια πολλών διαφορετικών διατομών.

3.8 Υπολογισμός ρευμάτων βραχυκύκλωσης για το υπό μελέτη πλοίο

Για την εύρεση των ρευμάτων βραχυκύκλωσης θεωρήθηκε ένα δυσμενές σενάριο λειτουργίας, στο οποίο βρισκόταν το πλοίο πριν το βραχυκύκλωμα. Το σενάριο που επιλέχθηκε αντιπροσωπεύει μια κατάσταση ελιγμών του πλοίου εντός του λιμανιού. Στην κατάσταση αυτή το πλοίο τροφοδοτείται από τις 3 διαθέσιμες ντιζελογεννήτριες και έχει τεθεί σε λειτουργία ένας εκ των τριών πλευρικών προωστήριων μηχανισμών (υπενθυμίζεται ότι σε αυτή τη κατάσταση δεν επιτρέπεται να τεθεί σε λειτουργία πάνω από ένας πλευρικός προωστήριος μηχανισμός).

Ο πλευρικός προωστήριος μηχανισμός αναπαραστάθηκε σαν γεννήτρια που καταναλώνει ενεργή και άεργο ισχύ, σε αντίθεση με τη ροή φορτίου όπου έχει αναπαρασταθεί σαν ένα φορτίο.

Επιπλέον, οι ομαδοποιημένοι πίνακες κινητήρων (MCCs) αντικαταστάθηκαν από ένα ισοδύναμο κινητήρα, ο οποίος αναπαραστάθηκε επίσης ως γεννήτρια που απορροφά ενεργό και άεργο ισχύ. Επίσης έγιναν και οι σχετικές απλοποιήσεις των καλωδιώσεων των 2 MCC δεδομένου ότι είναι όμοιες και θεωρώντας ότι είναι παράλληλα συνδεδεμένες στο νέο Κινητήρα που αντικατέστησε τα MCC.

Η υπομεταβατική αντίδραση του πλευρικού προωστήριου μηχανισμού θεωρήθηκε γνωστή $X_M'' = 0.15 pu$, επίσης ο κινητήρας που αντικατέστησε τα MCC θεωρήσαμε ότι έχει υπομεταβατική αντίδραση $X_M'' = 0.188 pu$.

Τέλος θεωρήσαμε ότι οι υπομεταβατικές αντιστάσεις είναι πολύ μικρές.

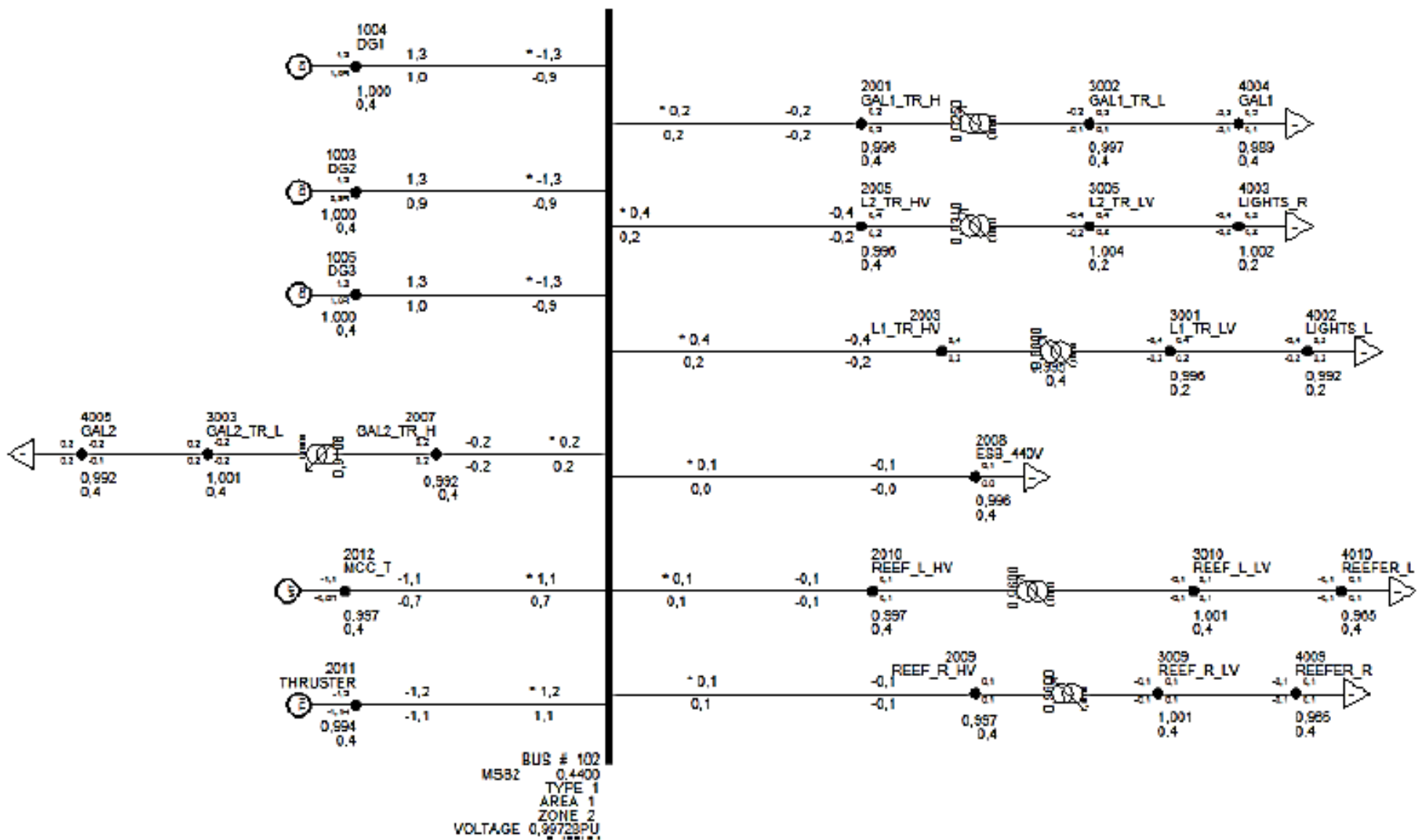
Στο Σχήμα 22 θα παρουσιαστεί ένα στιγμιότυπο από τη μορφή του δικτύου τη χρονική στιγμή ($t < 0^-$) προ του βραχυκυκλώματος.

Μελέτη βραχυκυκλωμάτων		
	I_{rms} (kA)	I_p (kA)
Σφάλμα στον κύριο ζυγό όταν τροφοδοτείται από 3 ντιζελογεννήτριες	83,14	193,6
Σφάλμα στο πίνακα των MCCs	84,6	185,5
Σφάλμα στον πίνακα έκτακτης ανάγκης στη πλευρά 440V	50,98	81,43
Σφάλμα στο ζυγό (4005) φωτισμού πριν τους 2 παράλληλους μετασχηματιστές	32,45	53,73
Σφάλμα στις πρίζες φορτηγών ψυγείων από την πλευρά χαμηλής 440V	7,6	11,8

Πίνακας 3 - σύγκριση ρευμάτων βραχυκύκλωσες της προσομοίωσης και της δοσμένης μελέτης βραχυκυκλωμάτων

Αξίζει να σημειωθεί ότι με βάση το IEC-61363 η χειρότερη δυνατή περίπτωση για το I_p προκύπτει όταν $I_p = 2\sqrt{2} \cdot I_{rms}$. Ωστόσο, όπως παρατηρήσαμε στη δοσμένη μελέτη βραχυκυκλωμάτων ο μελετητής θεώρησε πως σε όλες τις περιπτώσεις I_p μικρότερο από αυτό της χειρότερης δυνατής περίπτωσης.

Στη συνέχεια παρατίθεται στιγμιότυπο ροής φορτίου πριν το βραχυκύκλωμα Σχήμα 22.

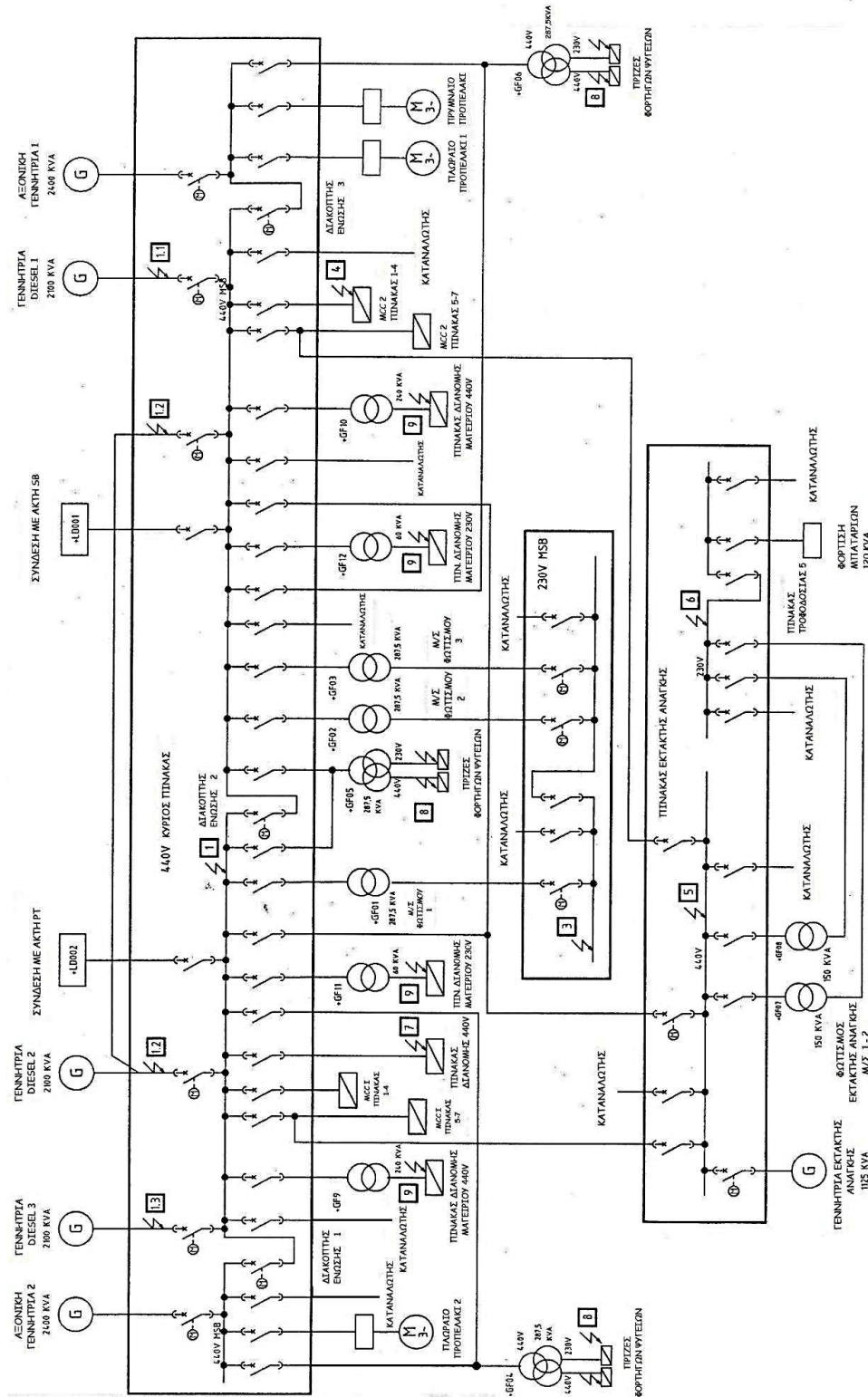


Σχήμα 22:Στιγμιότυπο ροής φορτίου πριν το βραχυκύκλωμα

3.9 Μονογραμμικό διάγραμμα εγκατάστασης του πλοίου

Η μελέτη μας ολοκληρώνεται όπως προβλέπεται με το ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης, όπου σημειώνονται οι βασικοί καταναλωτές, οι καλωδιώσεις και όλα τα υπόλοιπα απαραίτητα στοιχεία που παρουσιάστηκαν ανωτέρω Σχήμα 23.

Με μια πρώτη ματιά στη διάταξη του ηλεκτρικού δικτύου και των διακοπών του παρατηρούμε ότι υπάρχει μια συμμετρία στη δομή του. Συγκεκριμένα υπάρχουν πρακτικά 4 μεγάλοι ζυγοί οι οποίοι αποτελούν τμήμα του κύριου ζυγού του δικτύου και με τη βοήθεια διακοπών μπορούν να διαχωρίσουν το δίκτυο σε 1 έως 4 διακριτά υποδίκτυα. Στο αριστερό και το δεξί άκρο του δικτύου υπάρχουν οι ζυγοί των αξονικών γεννητριών στους οποίους συνδέονται άμεσα οι αξονικές γεννήτριες και οι πλευρικοί προωστήριοι μηχανισμοί όπως επίσης και δυο από τους 3 πίνακες τροφοδοσίας των φορτηγών ψυγείων. Στο κέντρο του δικτύου υπάρχουν δύο μεγάλοι ζυγοί, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να ενωθούν μέσω διακόπτη, η ντιζελογεννήτρια 3 συνδέεται στον αριστερό ζυγό και η ντιζελογεννήτρια 1 συνδέεται στο δεξί ζυγό. Τέλος, η ντιζελογεννήτρια 2 διαθέτει δύο διακόπτες και έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει, τόσο στο δεξί, όσο και στον αριστερό ζυγό.



Σχήμα 23: Σχεδιάγραμμα του ηλεκτρικού δικτύου του υπό μελέτη πλοίου (μονογραμμικό)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Κλείνοντας αυτή την σύντομη ανάλυση των βασικών συστατικών του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού ενός πλοίου και την εφαρμογή της μεθοδολογίας για τον έλεγχο και την αξιολόγηση ενός υπαρκτού πλοίου, καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα:

- Η αξιοποίηση των σημείων ελέγχου και των μετρήσεων που παρέχει το πλοίο μπορεί να οδηγήσει σε μια αξιόπιστη εικόνα των απαιτήσεων ενέργειας και ισχύος κάθε καταναλωτή.
- Οι μεθοδολογίες αξιολόγησης των καλωδιώσεων είναι απλές στον υπολογισμό αλλά πολύ συχνά οδηγούν σε υπερδιαστασιολόγηση.
- Η συνεισφορά των κινητήρων επαγωγής στην υπομεταβατική συνιστώσα των ρευμάτων βραχυκυκλώματος είναι αξιοσημείωτη και δεν μπορεί να αγνοηθεί.
- Οι γεννήτριες ενός πλοίου είναι πιθανό να εργάζονται σε χαμηλότερο σημείο λειτουργίας από το βέλτιστο, πράγμα που οδηγεί σε υψηλή κατανάλωση καυσίμου και γενικότερα μη αποδοτική οικονομικά και ενεργειακά λειτουργία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Hall D. T. (1999). *Practical Marine Electrical Knowledge (2nd Edition)*. Witherby.
- IEC TC/SC 18. (1998). *IEC 61363-1 :Electrical installations of ships and mobile and fixed offshore units - Part 1: Procedures for calculating short-circuit currents in three-phase a.c.*
- Prousalidis J. (2011). The necessity of reactive power balance in ship electric energy systems. *Journal of Marine Engineering and Technology* .
- Βουρνάς Κ. & Κονταξής Γ. (2010). *Εισαγωγή στα συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Ιωαννίδης Ι., Φραγκόπουλος Χ. & Προυσαλίδης Ι. (2010). *Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Συμπληρωματικά Βοηθήματα και Ασκήσεις*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- Κονσολάκης Α. (2008). *Διπλωματική Εργασία: Προσομοίωση Ηλεκτρικού Συστήματος (ΣΗΕ) Πλοίου μέσω του λογισμικού EDSA*. Αθήνα.
- Παλουμπής Γ. (2011). *Διπλωματική Εργασία: Μελέτη Μεταβατικών Καταστάσεων Λειτουργίας Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας Πλοίου*. Αθήνα.
- Παπαδίας Β. (1985). *Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος Ι, Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- Φραγκόπουλος Χ., & Προυσαλίδης Ι. (2005). *Ηλεκτρολογικές Εγκαταστάσεις Πλοίου Τεύχος Α'*. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.