

Πτυχιακή Εργασία

“ Ισολογισμός ενεργού και άεργου ισχύος σε πλοίο μεταφοράς φυσικού αερίου με ηλεκτροπρόωση και ηλεκτρικό δίκτυο σε μέση τάση.
Επιλογή Γεννητριών ”



Φραγκόγιαννης Ν. Παναγιώτης

A.M.: 42740

Επιβλέπων: Σοφράς Δ. Ηλίας , Καθηγητής

Αθήνα, Νοέμβριος 2017

Πτυχιακή Εργασία

“ Ισολογισμός ενεργού και άεργου ισχύος σε πλοίο μεταφοράς φυσικού αερίου με ηλεκτροπρόωση και ηλεκτρικό δίκτυο σε μέση τάση.
Επιλογή Γεννητριών ”

Φραγκόγιαννης Ν. Παναγιώτης

A.M.: 42740

Επιβλέπων: Σοφράς Δ. Ηλίας , Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την επιτροπή την 2η Νοεμβρίου 2017:

Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος, Καθηγητής

Καμινάρης Σταύρος, Καθηγητής

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΣΧΗΜΑΤΑ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ABSTRACT	7
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	10
Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας Πλοίων	10
1.1: Εισαγωγή.....	10
1.2: Ιδιαιτερότητες Σ.Η.Ε. Πλοίων.....	12
1.3: Ηλεκτροπρόωση Πλοίων.....	14
1.3.1: Εισαγωγή.....	14
1.3.2: Γενικά Χαρακτηριστικά.....	16
1.3.3: Ηλεκτρικοί Κινητήρες Πρόωσης.....	18
1.3.4: Πλεονεκτήματα της Ηλεκτροπρόωσης.....	20
1.3.5: Μειονεκτήματα της Ηλεκτροπρόωσης.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	23
Ισολογισμός Ηλεκτρικής Ισχύος	23
2.1: Εισαγωγή.....	23
2.2: Ηλεκτρικός Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος.....	23
2.3: Ηλεκτρικός Ισολογισμός Άεργου Ισχύος.....	28
2.3.1: Προβλήματα Άεργου Ισχύος στα Σ.Η.Ε των Πλοίων.....	32

2.3.1.1 : Εισαγωγή.....	32
2.3.1.2: Η Έννοια της Άεργου Ισχύος.....	33
2.3.1.3: Ο Ρόλος των Σύγχρονών Γεννητριών.....	34
2.4 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος.....	38
2.4.1: Σύγχρονοι Συμπυκνωτές.....	39
2.4.2: Στατικοί Πυκνωτές.....	39
2.4.3: Στατικός αντισταθμιστής Var Θυρίστορ.....	41
2.5: Αποτελέσματα Αντιστάθμισης Άεργου Ισχύος.....	41
2.6: Ηλεκτρικός Ισολογισμός Κατάστασης Εκτάκτου ανάγκης.....	46
2.7: Επιλογή Κύριων Γεννητριών.....	48
2.7.1: Ορισμοί.....	48
2.7.2: Γενικά.....	49
2.8: Κύρια Πηγή Ηλεκτρικής Ισχύος.....	51
2.8.1: Αριθμός και Ισχύς Γεννητριών.....	51
2.8.2: Λειτουργία κύριων γεννητριών.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	55
Εφαρμογή στο υπό Μελέτη Πλοίο	55
3.1: Αναλυτικός Ηλεκτρικός Ισολογισμός.....	55
3.1.1: Υπολογισμός Ενεργού Ισχύος.....	55
3.1.2: Υπολογισμός Άεργου Ισχύος.....	66
3.1.3: Επιλογή Κύριων και Γεννήτριας Ανάγκης.....	77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	78
Συμπεράσματα	78
4.1:Συμπεράσματα.....	78
4.2: Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη.....	80
Παράρτημα	81
Βιβλιογραφία	82

Σχήματα

Σχήμα 1.1 Παράδειγμα τριφασικού ηλεκτρικού δικτύου πλοίου τροφοδοτούμενο από διαφορετικές πηγές. (Σελίδα 10)

Σχήμα 1.2 Μονογραμμικό διάγραμμα ΣΗΕ πλοίου με ηλεκτρική πρόωση (Σελίδα 12)

Σχήμα 1.3 Συγκριτικές ανάγκες περιορισμού διαστάσεων (ή βάρους) συναρτήσει της ηλεκ. Ισχύος για διαφόρους τύπους πλοίων (εμπορικών και πολεμικών) (Σελίδα 14)

Σχήμα 1.4 Γενικό διάγραμμα συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου (Σελίδα 16)

Σχήμα 1.5 Εξέλιξη τεχνολογίας μόνιμων μαγνητών τα τελευταία χρόνια. (Σελίδα 18)

Σχήμα 1.6 Επιδόσεις μόνιμων μαγνητών ως προς την θερμοκρασία μαγνήτισης. (Σελίδα 18)

Σχήμα 2.1 Τρίγωνο ισχύος (Σελίδα 32)

Σχήμα 2.2 Όρια λειτουργίας γεννήτριας (τα ιδανικά όρια επισημαίνονται με διακεκομμένη γραμμή ενώ τα πραγματικά όρια με συμπαγή γραμμή) (Σελίδα 34)

Σχήμα 2.3 Επιλογή κατάλληλης γεννήτριας μεταξύ G1 και G2 ώστε να καλύπτεται η ζήτηση ενεργού και άεργου ισχύος που προκύπτει από τον ισολογισμό (η ζητούμενη ισχύς επισημαίνεται με *) (Σελίδα 36)

Σχήμα 2.4 Καμπύλη τάσης – άεργου ισχύος σύγχρονης γεννήτριας (Αύξηση της άεργου ισχύος μπορεί να οδηγήσει στην ασταθή περιοχή) (Σελίδα 37)

Σχήμα 2.5 Θέση πυκνωτή αντιστάθμισης άεργου ισχύος (Σελίδα 39)

Σχήμα 2.6 Χωρίς αντιστάθμιση άεργου ισχύος (Σελίδα 41)

Σχήμα 2.7 Με αντιστάθμιση άεργου ισχύος (Σελίδα 42)

Σχήμα 2.8 Τρίγωνο ισχύος πριν και μετά την αντιστάθμιση (S πριν την αντιστάθμιση , S' μετά την αντιστάθμιση) (Σελίδα 43)

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι η σωστή προ εκτίμηση του απαιτούμενου ηλεκτρικού φορτίου ενός πλοίου μεταφοράς φυσικού αερίου με ηλεκτροπρόωση. Συγκεκριμένα ο ηλεκτρικός ισολογισμός ενεργού και άεργου ισχύος. Αρχικά αναφέρονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας των πλοίων και της ηλεκτροπρόωσης. Στην συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η κατάσταση του ηλεκτρικού ισολογισμού, του εκτεταμένου ηλεκτρολογικού ισολογισμού καθώς και η σημασία τους στην σωστή επιλογή των ηλεκτρογεννητριών του πλοίου.

Abstract

The objective of this thesis is the correct pre estimation of the required electrical load of a natural gas carrier ship with electric propulsion, and, in particular, the active and reactive power balance. At first, some general characteristics of the electrical systems of ships and electrical propulsion systems are mentioned. After that, an analytic presentation of the electrical power balance calculation, the extended electrical power balance sheet as well as their importance in the proper selection of the ship's electric generators.

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2017-2018 στον τομέα Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων & Κατασκευών της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ.. Αντικείμενο της είναι ο ηλεκτρικός ισολογισμός ενεργού και άεργου ισχύος σε πλοίο μεταφοράς φυσικού αερίου με ηλεκτροπρόωση, με σκοπό την σωστή προ εκτίμηση του ηλεκτρικού φορτίου. Αναλυτικά, η πτυχιακή εργασία αποτελείται από τα εξής κεφάλαια :

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο : Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας των πλοίων καθώς και οι συνηθέστερες και επικρατέστερες εγκαταστάσεις (τάση, συχνότητα). Επίσης, περιγράφεται συνοπτικά, η μη συμβατική προωστήρια εγκατάσταση, αυτή της ηλεκτροπρόωσης, η οποία βρίσκει όλο και περισσότερη εφαρμογή λόγω της μεγάλης ανάπτυξης των ηλεκτρονικών ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο : Σε αυτό το τμήμα της πτυχιακής περιγράφεται η κατάσταση του ηλεκτρικού ισολογισμού και του εκτεταμένου ηλεκτρικού ισολογισμού, η σημασία τους καθώς επίσης και τα πρόβλημα της άεργου ισχύος στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας των πλοίων. Επίσης αναφέρονται τρόποι επίλυσης των προβλημάτων αυτών. Στην συνέχεια αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με την επιλογή των κύριων και έκτακτης ανάγκης γεννητριών του πλοίου, σύμφωνα με τη διεθνή σύμβαση SOLAS και τους κανονισμούς του GL.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο : Σε αυτό το Κεφάλαιο δίνεται ο ηλεκτρικός ισολογισμός και ο εκτεταμένος ισολογισμός ενεργού και άεργου ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : Στο Κεφάλαιο αυτό δίνονται τα συμπεράσματα αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω για την συμπαράσταση και την ανεκτίμητη βοήθειά τους, όλους όσους με στήριξαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Ιδιαίτερα :

Τους γονείς μου για την αδιάληπτη υπομονή τους και την στήριξή που μου προσφέρουν τόσα χρόνια. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τους φίλους και συνεργάτες μου, που στάθηκαν δίπλα μου, με παρότρυναν και βοήθησαν ο καθένας με τον τρόπο του, στην υλοποίηση ετούτης της εργασίας.

Τον κ. Ηλία Σοφρά, καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. τομέας Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων & Κατασκευών , του Ανώτατου Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα για την βοήθεια που πρόθυμα μου παρείχε κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Αθήνα, Νοέμβριος 2017

Παναγιώτης Ν. Φραγκόγιαννης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας Πλοίων

1.1 Εισαγωγή

Η ουσιαστική διαφορά της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης ενός πλοίου είναι ότι το ηλεκτρικό ρεύμα που χρειάζεται δεν υπάρχει δυνατότητα να προέρχεται από σταθμό παραγωγής ενέργειας σε σταθερό σημείο στην ξηρά, αλλά πρέπει να παράγεται μέσα στο ίδιο το πλοίο.

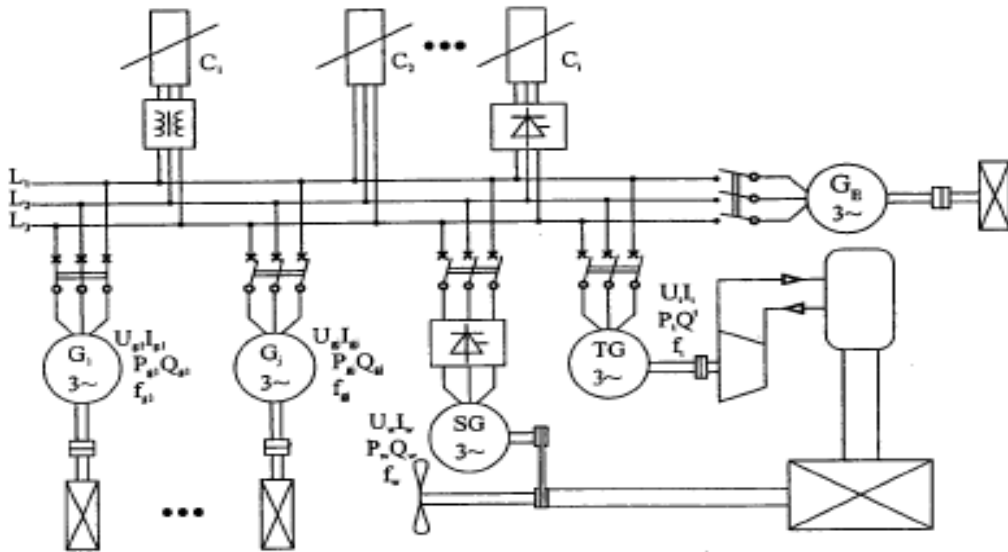
Ένα ΣΗΕ πλοίου αποτελείται από τις συσκευές και τον εξοπλισμό παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και από τους διάφορους καταναλωτές. Μέχρι το 1940 περίπου, σχεδόν όλες οι εγκαταστάσεις ήταν συνεχούς ρεύματος με τάση 110 ή 220 V. Σήμερα οι εγκαταστάσεις είναι εναλλασσόμενου ρεύματος και μόνο σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα. Η συχνότητα και η τάση στα πιο διαδεδομένα συστήματα E.P είναι [1]:

- Για ηλεκτροπαραγωγή και κίνηση είναι: 440V/60Hz – 380V/50Hz.
- Για φωτισμό 110V/60Hz - 220V/50Hz.

Τα κύρια στοιχεία που απαρτίζουν ένα τυπικό ΣΗΕ πλοίων είναι τα ακόλουθα:

- Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως αποτελούνται από τρεις ηλεκτρογεννήτριες(diesel generators) από τις οποίες συνήθως η μια είναι σε εφεδρεία (stand by). Σε μερικές περιπτώσεις μπορούμε να συναντήσουμε και αξονικές γεννήτριες (shaft generators) η οποίες είναι ηλεκτρικές μηχανές οι οποίες παίρνουν κίνηση από τον ελικοφόρο άξονα του πλοίου καθώς και στρόβιλο γεννήτριες (turbo generators).
- Κύριος πίνακας μαζί με τις διατάξεις προστασίας τους διακόπτες τα όργανα ελέγχου και τους κύριους ζυγούς διανομής.
- Ηλεκτρικός πίνακας ανάγκης (Emergency) που καλύπτει μόνο κρίσιμα φορτία.
- Καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

- Ηλεκτρικοί καταναλωτές που ενδέχεται να είναι και μεγάλοι κινητήρες, συγκρίσιμης ονομαστικής ισχύος με αυτήν των γεννητριών όπως π.χ. κινητήρες πρόωσης, αντλιών φορτίου κ.τ.λ..



Σχήμα 1.1 Παράδειγμα τριφασικού ηλεκτρικού δικτύου πλοίου τροφοδοτούμενο από διαφορετικές πηγές [1].

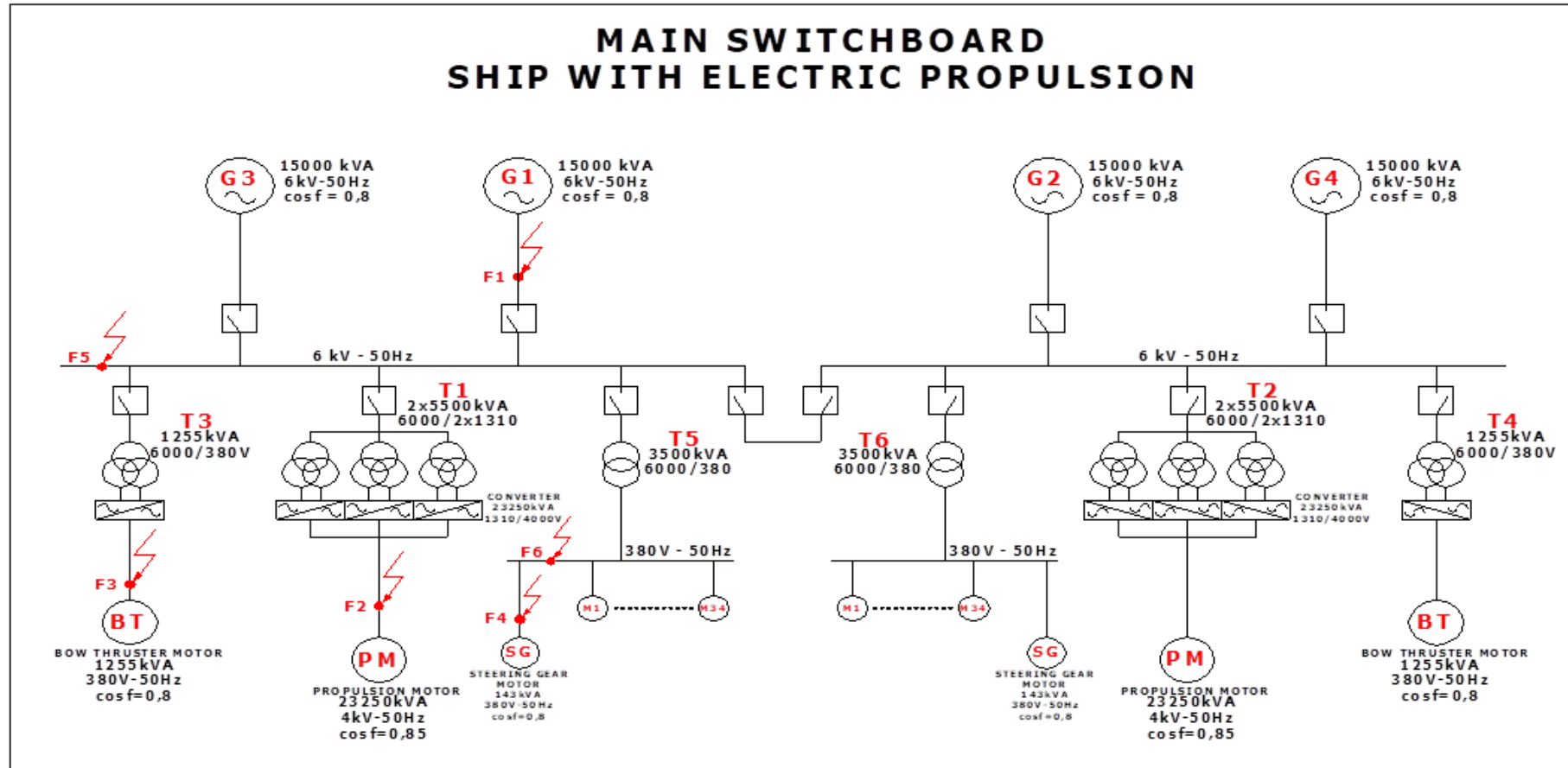
Τα τελευταία χρόνια και ειδικά μετά την εφαρμογή των κινητήρων προώσεως καθώς και των αζιμουθιακών προωστήρων (POD) έχει εφαρμοσθεί στα ΣΗΕ των πλοίων η μέση τάση από 1kV έως 11kV. Στην περίπτωση αυτή κινητήρες ντιζελ χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία χρησιμοποιείται τόσο για τις απαιτήσεις σε ηλεκτρισμό του πλοίου όσο για την πρόωσή του, μέσω μεγάλων κινητήρων πρόωσης οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι απευθείας στον κύριο ζυγό του ηλεκτρικού πίνακα του πλοίου. [1]

1.2 Ιδιαιτερότητες Σ.Η.Ε. Πλοίων ^[1]

Το ΣΗΕ ενός πλοίου μπορεί να θεωρηθεί ως ένα αυτόνομο, μικρής κλίμακας βιομηχανικού τύπου σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, παρ' όλα αυτά υπάρχουν αρκετές αξιοσημείωτες διαφορές ανάμεσα σε ένα ηπειρωτικό ΣΗΕ και σε ένα ΣΗΕ πλοίου οι κυριότερες από τις οποίες παρουσιάζονται στην συνέχεια.

- Το ΣΗΕ ενός πλοίου είναι ένα υβριδικό σύστημα το οποίο περιλαμβάνει υποσυστήματα εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος τα οποία λειτουργούν σε διάφορες συχνότητες και τάσεις.
- Η συνολικά εγκατεστημένη ισχύ ανά μονάδα όγκου είναι αρκετά μεγάλη ειδικά σε εφαρμογές ηλεκτρικής πρόωσης όπου η εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται στα 40 – 80 MVA σε ένα χώρο λίγων τετραγωνικών μέτρων.
- Τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας καταναλώνονται σε ηλεκτρικούς κινητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούνται είτε για πρόωση ή για οδήγηση βοηθητικών μηχανών.
- Το ηλεκτρικό δίκτυο αποτελείται από καλώδια μικρού μήκους.
- Το όλο σύστημα είναι εξαιρετικά αυτόνομο και η μόνη εφεδρική πηγή ενέργειας είναι το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ανάγκης το οποίο όμως είναι ικανό να σηκώσει ορισμένα μόνο φορτία ανάγκης. Για το λόγο αυτό το όλο σύστημα πρέπει να είναι εξαιρετικά αξιόπιστο.
- Σε ένα ΣΗΕ πλοίου υπάρχουν αρκετές διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος οι οποίες εξαιρετικά ευαίσθητες σε θέματα ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος και ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Για τον λόγο αυτό τα προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος έχουν ιδιαίτερη σημασία για ένα ΣΗΕ πλοίου.
- Το δίκτυο γείωσης του είναι κατά κανόνα αγείοτο.

MAIN SWITCHBOARD SHIP WITH ELECTRIC PROPULSION



Σχήμα 1.2 Μονογραμμικό διάγραμμα ΣΗΕ πλοίου με ηλεκτρική πρόωση. [2].

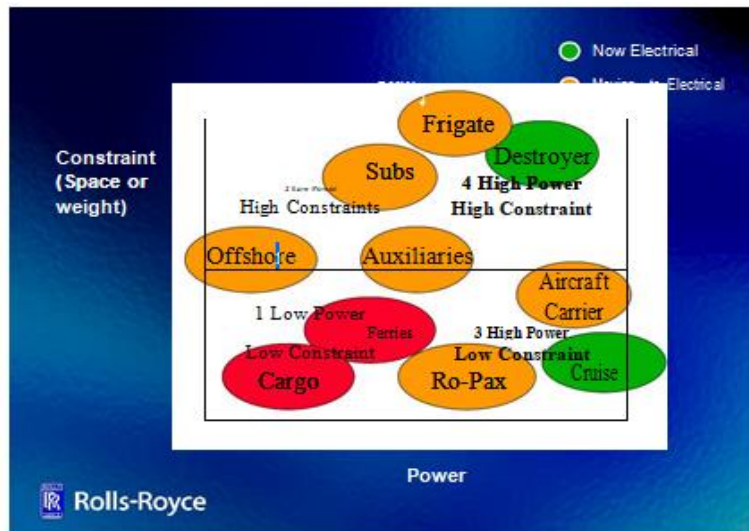
1.3 Ηλεκτροπρόωση Πλοίων

1.3.1 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 ντίζελ, αεριοστρόβιλους και ατμοστρόβιλους. Φυσικά οι κινητήρες ντίζελ, αεριοστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά αντί να κινούν απ' ευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα κινούν ηλ. γεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως, 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. (συχνά συστήματα Ward-Leonard) δηλ. παραγωγή συνεχούς ρεύματος και κίνηση με συνεχές ρεύμα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα αρχίζει να χρησιμοποιείται στα πλοία στις αρχές της δεκαετίας του 1950, αλλά τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης εξακολουθούν να στηρίζονται σε κινητήρες Σ.Ρ.. Κατά την τελευταία εικοσαετία, η ανάπτυξη διατάξεων και τεχνικών ελέγχου κινητήρων Ε.Ρ (ηλεκτρονικά ισχύος), που να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της πρόωσης από πλευράς τόσο ευελιξίας όσο και οικονομίας καυσίμου, έδωσε τη δυνατότητα για ευρύτερη διάδοση της ηλεκτρικής πρόωσης σε εμπορικά πλοία.

Ενώ παλαιότερα η ηλεκτρική πρόωση έβρισκε μόνον πολύ εξειδικευμένες εφαρμογές (παγοθραυστικά, ερευνητικά σκάφη, σκάφη πόντισης καλωδίων), κατά τη δεκαετία του '90 παρουσιάζει μία έντονα αυξανόμενη διάδοση σε πλοία όπως μεγάλα επιβατηγά, οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια, κ.λπ., βλ. και Σχήμα 1.3 [4].



Σχήμα 1.3 Συγκριτικές ανάγκες περιορισμού διαστάσεων (ή βάρους) συναρτήσει της ηλεκ. Ισχύος για διαφόρους τύπους πλοίων (εμπορικών και πολεμικών) [3].

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

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

Ειδικά, όσον αφορά στα πολεμικά πλοία, η ηλεκτροπρόωση αποτελεί την βασική επιλογή για την κίνηση των Υποβρυχίων [9-10]. 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 προωστήριου 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 :

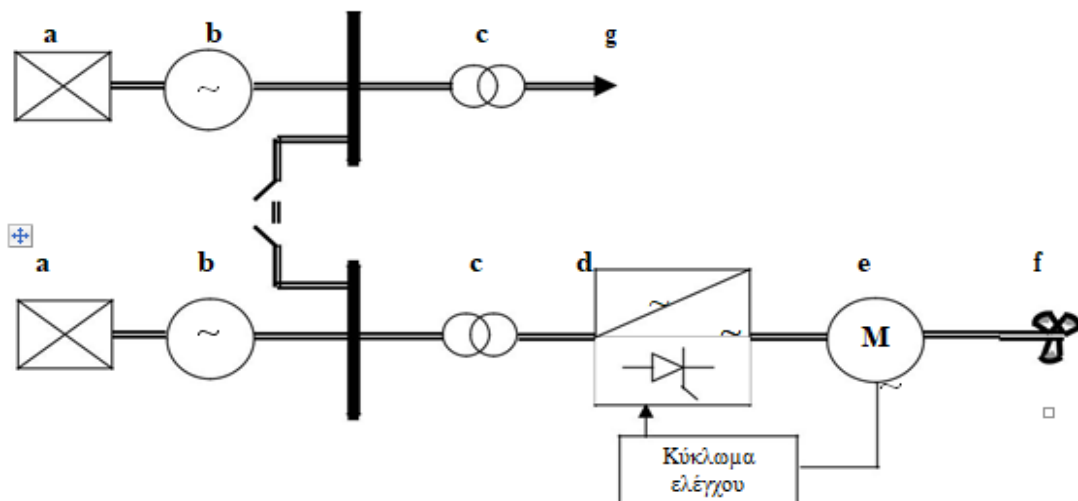
- 1) η αύξηση των ηλεκτρικών καταναλωτών στα πλοία και η τάση για την ‘ηλεκτροποίηση’ των πλοίων (με αποκορύφωση το Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο-All Electric Ship-AES), δηλαδή η τάση όλες οι λειτουργίες, κύριες και βοηθητικές, να γίνονται πλέον από ηλεκτρικά συστήματα και μηχανήματα (αντικαθιστώντας π.χ. υδραυλικά, μηχανικά ή συστήματα ατμού κ.λπ.),
- 2) η ανάγκη για περισσότερο ‘αθόρυβη’ λειτουργία των πλοίων.
- 3) η αναζήτηση προωστήριων συστημάτων με χαμηλότερο κόστος ζωής και μειωμένες απαιτήσεις επανδρώσεως.
- 4) και κυρίως η ωρίμανση τεχνολογιών που απαιτούνται για να αξιοποιηθεί το πλήρες δυναμικό της ηλεκτροπρόωσης. Τέτοιες τεχνολογίες είναι κυρίως των ηλεκτρικών κινητήρων και των ηλεκτρονικών ισχύος για τον έλεγχό τους.

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

1.3.2 Γενικά Χαρακτηριστικά

Το γενικευμένο ηλεκτρολογικό διάγραμμα ενός ηλεκτρικού δικτύου πλοίου με ηλεκτρική πρόωση απεικονίζεται στο Σχήμα 1.4 Το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να είναι ενιαίο καλύπτοντας όλες τις ηλεκτρικές ενεργειακές ανάγκες ή μπορεί να αποτελείται από δύο επιμέρους υποσυστήματα, αυτό της ηλεκτροπρόωσης κι εκείνο των λοιπών ηλεκτρικών φορτίων.

Σε πλοία με συμβατική πρόωση, ειδική υποπερίπτωση αποτελούν τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνουν και γεννήτριες άξονα-shaft generators - (εξηρητημένες δηλαδή γεννήτριες που στρέφονται από την κύρια ντίζελ-μηχανή πρόωσης του πλοίου). Οι γεννήτριες αυτές μπορεί να συνδέονται με το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο με σύνδεσμο ΣΡ (DC link) ή να τροφοδοτούν αυτόνομα μόνο μεγάλα φορτία όπως οι κινητήρες βοηθητικής πρόωσης (thrusters). Ενίοτε, σε έκτακτες περιπτώσεις (π.χ. μεγάλης έκτασης ζημιά 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 (ντίζελ κινητήρας ή αεριοστρόβιλος)
- b) Σύγχρονη γεννήτρια
- c) Μετασχηματιστής ισχύος
- d) Μετατροπέας συχνότητας
- e) Προωστήριος κινητήρας
- f) Έλικα
- g) Λοιπά φορτία (αντλίες, συμπιεστές, φωτισμός, εργάτες κ.λ.π.)

Σχήμα 1.4 Γενικό διάγραμμα συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου [4].

1.3.3 Ηλεκτρικοί Κινητήρες Πρόωσης

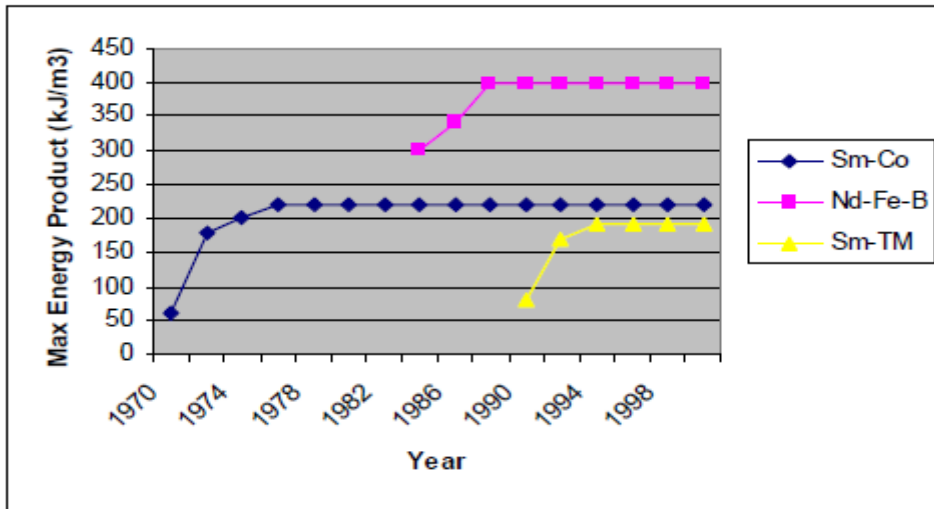
Η πλειονότητα των κινητήρων είναι σύγχρονοι, οι οποίοι έχουν βαθμό απόδοσης 96 - 98%, υψηλότερο κατά 3 - 4% από τον βαθμό απόδοσης κινητήρων επαγωγής. Η ονομαστική τάση λειτουργίας στις εγκαταστάσεις μέσης και μεγάλης ισχύος είναι 3,3 - 6,6 kV. Στους σύγχρονους κινητήρες έρχεται να προστεθεί μία νέα 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 τύλιγα διεγέρσεως του δρομέα (που διαρρέεται από συνεχές ρεύμα) έχει αντικατασταθεί από μόνιμους μαγνήτες. Το αποτέλεσμα είναι το ίδιο καθώς και στις δύο περιπτώσεις παράγεται ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σταθερής τιμής που στρέφεται στο χώρο με την ταχύτητα του δρομέα.

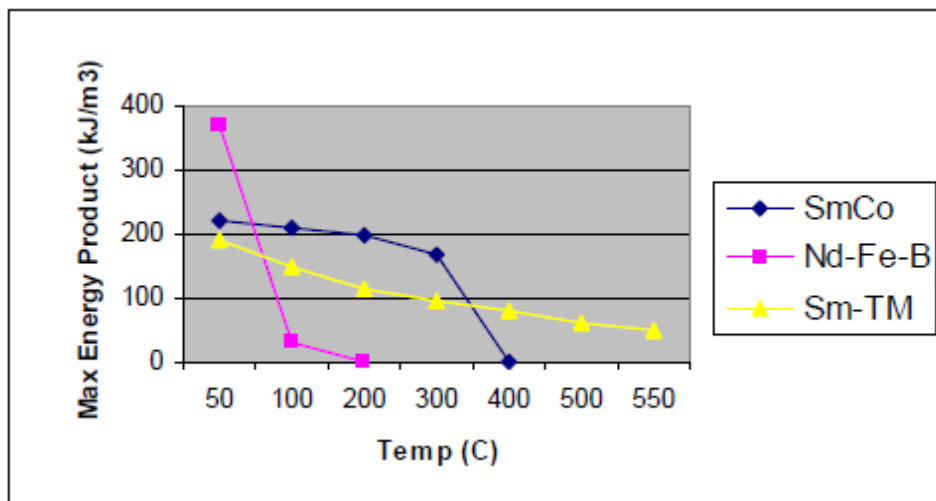
Το προφανές πλεονέκτημά των μηχανών αυτών είναι ότι δεν έχουν ανάγκη παροχής σε ΣΡ, ενώ με τον τρόπο αυτό αυξάνεται και η συνολική απόδοση καθώς μεταξύ των άλλων μειώνονται και οι συνολικές απώλειες Joule στα τυλίγματα. Η ιδέα της χρήσης μόνιμων μαγνητών είναι παλιά αλλά η τεχνολογική πρόοδος τα τελευταία χρόνια είναι που κατέστησε δυνατή την κατασκευή κραμάτων “μόνιμων μαγνητών” (κράματα σαμαρίου-κοβαλτίου, Sm-Co και νεοβιδίου-σιδήρου-βορείου, NdFeB) που έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν σταθερή τη μαγνήτισή τους για αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, όπως είναι αυτές που αναπτύσσονται στο εσωτερικό μίας στρεφόμενης μμηχανής, βλ. και Σχ. 1.5-1.6.

Οι κινητήρες αυτοί με κατάλληλη επιλογή τυλίγματος στάτη και πόλων δρομέα μπορούν να παράγουν ημιτονοειδές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο συναγωνίζοντας έτσι μία συμβατική σύγχρονη μηχανή στα χαμηλά επίπεδα απότομων αιχμών ροπής (torque ripples) και μηχανικών δονήσεων (vibrations). Τα τελευταία χρόνια ερευνάται η χρησιμοποίηση ηλεκτρικών κινητήρων με υπεραγώγιμα υλικά ως κινητήρες πρόωσης, κυρίως στην Αμερική. Οι κινητήρες αυτοί, λόγω του ότι το υπεραγώγιμο υλικό παρουσιάζει μηδενική ηλεκτρική αντίσταση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, έχουν πολύ μεγάλη ισχύ ανά μονάδα όγκου σε σύγκριση με τους συμβατικούς

κινητήρες. Θεωρούνται έτσι ιδανικοί για την πρόωση πολεμικών πλοίων όπου ο χώρος είναι περιορισμένος σε συνδυασμό με τις αυξημένες ανάγκες ισχύος.



Σχήμα 1.5 Εξέλιξη τεχνολογίας μόνιμων μαγνητών τα τελευταία χρόνια. [3].



Σχήμα 1.6 Επιδόσεις μόνιμων μαγνητών ως προς την θερμοκρασία μαγνήτισης.

[3]

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

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

Η εγκατάσταση προώσεως κατά την οποία το πλοίο κινείται 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.

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

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

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

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

δ. Ηλεκτρικό δίκτυο προώσεως (Propulsion Network) :

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

ε. Ηλεκτρικό δίκτυο γρήσεως (Ship Service System) :

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

1.3.4 Πλεονεκτήματα της Ηλεκτροπρόωσης^[4]

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 μία 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:
 1. η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρότερη, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως,
 2. 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 δεξαμενόπλοιων, χάρη στην ταχύτερη απόκριση του συστήματός κατά τους χειρισμούς και τη δυναμική τοποθέτηση του σκάφους.

1.3.5 Μειονεκτήματα της Ηλεκτροπρόωσης^[4]

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 υπερκερνάτε 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 νηξελο-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 για ηλεκτρομηχανικών ταλαντώσεων, όπως είναι τα φαινόμενα σιδηροσυντονισμού στους δρομείς των σύγχρονων γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η σειρά αυτή των προβλημάτων λόγω της εξηλέκτρισης των συστημάτων του πλοίου αντιμετωπίζεται με εξειδικευμένες αναλύσεις και μελέτες κυρίως κατά της φάση της σχεδίασης τους ηλεκτρολογικού συστήματός.

Σε πολλές εφαρμογές, η συνισταμένη πλεονεκτημάτων - μειονεκτημάτων είναι θετική, οπότε η ηλεκτρική πρόωση είναι η ενδεδειγμένη λύση, οδηγώντας σε χαμηλότερο κόστος λειτουργίας (μειωμένο πλήρωμά, οικονομικότερη συντήρηση, γρηγορότερα ταξίδια, μη αναγκαιότητα ρυμούλκησης κοκ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Ισολογισμός Ηλεκτρικής Ισχύος

2.1 Εισαγωγή

Ηλεκτρικός ισολογισμός είναι ο υπολογισμός της πραγματικής και άεργου ηλεκτρικής ισχύος του συνόλου των καταναλωτών σε ένα πλοίο στις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του. Αποτελεί μια πολύ σημαντική μελέτη κατά το στάδιο κατασκευής του πλοίου καθώς συνοψίζει το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου.

Κατά το πρώτο στάδιο του σχεδιασμού του πλοίου μια εκτίμηση του ηλεκτρικού φορτίου του πλοίου με βάση εμπειρικές σχέσεις είναι αρκετή [11]. Στη συνέχεια όμως και εφόσον έχουν προσδιοριστεί με ακρίβεια τα ηλεκτρικά φορτία του πλοίου θα πρέπει να γίνει λεπτομερής ηλεκτρικός ισολογισμός προκειμένου να γίνει η επιλογή των ηλεκτρογεννητριών του πλοίου, των καλωδίων, των διατάξεων προστασίας του δικτύου κλπ.

2.2 Ηλεκτρικός Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος

Η κατάστρωση του ισολογισμού περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός πίνακα με όλα τα ηλεκτρικά φορτία του πλοίου, χωρισμένα σε ομάδες π.χ. βοηθητικά πρόωσης, πίνακες φωτισμού κλπ. Ο πίνακας περιλαμβάνει όλες τις καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου π.χ. κατάσταση κανονικής πορείας, κατάσταση χειρισμών, εν όρμω, φόρτωσης κ.λ.π., καθώς και μια στήλη με το πλήθος των όμοιων φορτίων (**N**), μια στήλη με το βαθμό απόδοσης κάθε καταναλωτή (**η**) μια στήλη με τον συντελεστή λειτουργίας κάθε καταναλωτή (**fs**) , μια στήλη με την αποδιδόμενη ισχύ, μια με την απορροφημένη ισχύ και μια με την συνολική εγκατεστημένη ισχύ κάθε καταναλωτή. Επιπλέον, η κάθε κατάσταση λειτουργίας αποτελείται από μια στήλη μια με το πλήθος των όμοιων φορτίων που είναι σε λειτουργία (**N'**) και μία με την ισχύ λειτουργίας (**Poperations**) . Έτσι όταν είναι διαθέσιμα τα παραπάνω στοιχεία των διάφορων ηλεκτρικών καταναλωτών τότε συμπληρώνεται ο παρακάτω πίνακας.

ΙΣΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ								
		Εγκατεστημένη Ισχύς				Εν πλω / Εν όρμω / Κατάσταση χειρισμών		
Καταναλωτής	Βαθμός Απόδοσης (n)	Συνολικός Αριθμός Καταναλωτών (N)	Αποδιδόμενη Ονομαστική ισχύ (P _{ον,αποδ.})	Ονομαστική Απορροφόμενη ισχύ (P _{ον,απορ.})	Εγκατεστημένη Ισχύ (P _{εγκ.})	Σε χρήση (N')	f _s	Ισχύ λειτουργίας (P _{λειτ.})
			Δίνεται από κατασκευαστή κινητήρα	P _{ον,απορ.} = P _{ον,αποδ.} /η	P _{εγκ.} = P _{ον,απορ.} x N			P _{λειτ.} = P _{ον,απορ.} x N' x f _s
ΣΥΝΟΛΟ								

Πίνακας 2.1 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος. [1]

Για την κατάστρωση του ισολογισμού πραγματικής ισχύος

Ισχύουν :

$$\mathbf{P_{ον.απορροφ. [kW]} = P_{ον.αποδ. [kW]} / \eta \quad [kW]} \quad (2.1)$$

$$\mathbf{P_{εγκατ. [kW]} = P_{ον.απορροφ. [kW]} * N \quad [kW]} \quad (2.2)$$

$$\mathbf{P_{λειτ. [kW]} = P_{ον.απορροφ. [kW]} * N' * f_s \quad [kW]} \quad (2.3)$$

Όπου: N':(Αριθμός Φορτίων σε Λειτουργία)

N :(Πλήθος Όμοιων φορτίων)

η :(Βαθμός Απόδοσης)

f_s :(Συντελεστής Λειτουργίας κάθε Καταναλωτή)

Ο συντελεστής λειτουργίας ορίζεται από την σχέση:

$$f_s = \frac{\sum_i P_i t_i}{24 \cdot P_{ον.αποδ.}}$$

Ο συγκεκριμένος ισολογισμός όμως διαφοροποιήθηκε όσον αναφορά τον συντελεστή λειτουργίας. Οι συντελεστές λειτουργίας επιλέχθηκαν με βάση τρεις (3) διαφορετικές καταστάσεις. Δηλαδή πόσο λειτουργεί ο κάθε καταναλωτής μέσα στο 24ώρο.

1. Continuous Operations όπου f_s 1.0-0.8
2. Periodical Operations όπου f_s 0.8-0.4
3. Temporary Operations όπου f_s 0.4-0.2

Έγινε η εξής παραδοχή:

Continuous Operations: είναι για ένα ηλεκτρικό καταναλωτή ο οποίος στο 24ωρο είναι σχεδόν σε συνεχή λειτουργία.

Periodical Operations: είναι για καταναλωτές οι οποίοι μέσα στο 24ωρο θα δουλέψουν σχεδόν την μισή ημέρα και το f_s κυμαίνεται από 0,5 έως 0,8.

Temporary Operations: είναι για καταναλωτές οι οποίοι θα δουλέψουν πολύ λίγο χρόνο της τάξης του μισάωρου με f_s συνήθως 0,2 0,3.

Ο ισολογισμός της πραγματικής απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος του συνόλου των καταναλωτών σε ένα πλοίο γίνεται σε διάφορες διακριτές καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου.

Οι διακριτές αυτές καταστάσεις λειτουργίας είναι:

- Εν πλω (sea going)
- Εν όρμω (In port)
- Κατάσταση χειρισμών (Maneuvering)

Προκειμένου να υπολογισθεί το απαιτούμενο ποσό ηλεκτρικής ισχύος σε διάφορες άλλες «δευτερεύουσες» καταστάσεις λειτουργίας είναι δυνατό να γίνει ηλεκτρικός ισολογισμός σε:

- Κατάσταση χειρισμού φορτίου (cargo handling)
- Ερματισμός – Αφερματισμός (Ballasting – Deballasting)
- Εναλλαγή έρματος (Ballast exchange at sea)

Πιο συγκεκριμένα οι πέντε (5) διακριτές καταστάσεις λειτουργίας στο υπό μελέτη πλοίο είναι:

- Seagoing(HFO) Laden (Το πλοίο βρίσκεται εν πλω και χρησιμοποιεί ως καύσιμο αργό πετρέλαιο) (Operation 1)
- Seagoing(Gas) Laden (Το πλοίο βρίσκεται εν πλω και χρησιμοποιεί ως καύσιμο φυσικό αέριο) (Operation 2)
- Port in/out with Thruster (Εν όρμω με /χωρίς χειρισμούς) (Operation 3)
- Cargo Load (Φόρτωση Φορτίου) (Operation 4)
- Cargo Unload (Εκφόρτωση Φορτίου) (Operation 5)

Με βάση τα αποτελέσματα του ισολογισμού ηλεκτρικής ισχύος (συνολική απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ) γίνεται η επιλογή των γεννητριών του πλοίου. Η επιλογή αυτή βασίζεται στην δυσμενέστερη κατάσταση λειτουργίας καθώς και στην πρόβλεψη πάντα ενός περιθωρίου ισχύος της τάξης του **15%** για τις γεννήτριες.

Πιο συγκεκριμένα ο πίνακας ισολογισμού ενεργού ισχύος αποτελείται από τις παρακάτω στήλες.

Στήλη 1^η: Όνομα κάθε καταναλωτή

Στήλη 2^η: Αριθμός καταναλωτών

Στήλη 3^η: Mode για την επιλογή του συντελεστή λειτουργίας fs των φορτίων

Στήλη 4^η: Ονομαστική ισχύ καταναλωτή

Στήλη 5^η: Βαθμός απόδοσης καταναλωτή

Στήλη 6^η: Ονομαστική απορροφημένη ισχύ καταναλωτή (από την σχέση 2.1)

Στήλη 7^η: Συντελεστής λειτουργίας καταναλωτή fs

Στήλη 8^η: Αριθμός καταναλωτών σε χρήση

Στήλη 9^η: Ισχύς λειτουργίας καταναλωτών (από την σχέση 2.3) (Operation 1)

Στήλη 10^η: Αριθμός καταναλωτών σε χρήση

Στήλη 11^η: Ισχύς λειτουργίας καταναλωτών (από την σχέση 2.3) (Operation 2)

Στήλη 12^η: Αριθμός καταναλωτών σε χρήση

Στήλη 13^η: Ισχύς λειτουργίας καταναλωτών (από την σχέση 2.3) (Operation 3)

Στήλη 14^η: Αριθμός καταναλωτών σε χρήση

Στήλη 15^η: Ισχύς λειτουργίας καταναλωτών (από την σχέση 2.3) (Operation 4)

Στήλη 16^η: Αριθμός καταναλωτών σε χρήση

Στήλη 17^η: Ισχύς λειτουργίας καταναλωτών (από την σχέση 2.3) (Operation 5)

Το άθροισμα των τιμών της στήλης με την ισχύ λειτουργίας κάθε καταναλωτή δίνει την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ σε κάθε κατάσταση κινήσεως του πλοίου. Στο τέλος τα τελικά αποτελέσματα από τον ισολογισμό θα αναφέρονται σε έναν πίνακα που θα έχει την παρακάτω μορφή βλ. και Πίνακα 2.2..

SUMMARY TABLE					
Operational Condition	SeaGoing(HFO) Laden	SeaGoing(Gas) Laden	Portin/out with Thruster	Cargo Load	Cargo Unload
Total Load					

Πίνακας 2.2 Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων Ισολογισμού Ενεργού Ισχύος.

2.3 Ηλεκτρικός Ισολογισμός Άεργου Ισχύος

Τα ενεργειακά συστήματα πλοίων είναι αυτόνομα, με τις γεννήτριες να καλύπτουν τις ανάγκες σε ενέργεια των εγκατεστημένων φορτίων όπως και οποιεσδήποτε απώλειες στο σύστημα διανομής ισχύος. Έτσι, οι γεννήτριες και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους προσδιορίζονται και επιλέγονται κατά το αρχικό στάδιο του σχεδιασμού του συστήματος ενέργειας του πλοίου με βάση τον ηλεκτρικό ισολογισμό του πλοίου. Σε αυτή τη μελέτη, λαμβάνεται υπόψη μόνο η ισχύς σε kW, δηλαδή η ενεργός ισχύς. Ωστόσο, στα εναλλασσόμενα ηλεκτρικά δίκτυα πλοίων, κυκλοφορεί επίσης άεργος ισχύς και πρέπει επομένως να εκτιμηθεί και αυτή.

Η άεργος ισχύς ενός ηλεκτρικού δικτύου αναφέρεται σε μια ποσότητα ενέργειας που κυκλοφορεί σε ένα κύκλωμα και η οποία μολονότι είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του κυκλώματος, δεν παράγει έργο. Άρα είναι εξίσου σημαντικό κατά την μελέτη για την σωστή προ εκτίμηση του ηλεκτρικού φορτίου να λάβουμε υπόψιν μας και την άεργο ισχύ. Στην συνέχεια αναφέρεται λεπτομερώς η κατάστρωση ισολογισμού άεργου ισχύος

Η κατάστρωση του ισολογισμού άεργου ισχύος περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός ακόμα πίνακα με όλα τα ηλεκτρικά φορτία του πλοίου, χωρισμένα σε ομάδες π.χ. βοηθητικά πρόωσης, πίνακες φωτισμού κλπ. Όπως ο πίνακας του ισολογισμού ενεργού ισχύος περιλαμβάνει όλες τις καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου το ίδιο ισχύει και για τον ισολογισμό άεργου ισχύος. Η διαφορά του συγκεκριμένου ισολογισμού στον πίνακα είναι ότι υπολογίζεται κάθε φορά η άεργος ισχύ για κάθε καταναλωτή ξεχωριστά. Πιο συγκεκριμένα ο πίνακας για τον ισολογισμό άεργου ισχύος έχει την παρακάτω μορφή.

Ισολογισμός Αέργου Ηλεκτρικής Ισχύος						
Καταναλωτής	Τάση	cosφ	tanφ	fs	Εν πλω/Εν όρμω/Κατάσταση Χειρισμών	
					Ενεργός Ισχύ	Άεργος Ισχύ
Σύνολο						
Φαινόμενη Ισχύ						
cosφ						
tanφ						

Πίνακας 2.3 Ισολογισμός Αέργου Ισχύος

Η κατάστρωση του ισολογισμού άεργου ισχύος έγινε με την βοήθεια των παρακάτω τύπων:

Ισχύουν:

$$\mathbf{Q\acute{a}eργος = P\lambdaειτουργίας [Kw]*tan\phi [kVar]} \quad (2.4)$$

$$\mathbf{\Phiαινόμενη Ισχύς = S^2=P^2+Q^2 [kVA]} \quad (2.5)$$

$$\mathbf{tan\phi = \frac{Q\acute{a}eργος}{P\epsilonνεργός}} \quad (2.6)$$

$$\mathbf{cos\phi = \frac{P\pi\rhoαγματική}{S\phiαινομένη}} \quad (2.7)$$

όπου: Pλειτουργίας (δεδομένο από τον ισολογισμό ενεργού ισχύος)

cosφ (ονομαστικός συντελεστής ισχύος)

tanφ=0,75 (ονομαστικός συντελεστής ισχύος cosφ 0,8)

fs (δεδομένο από τον ισολογισμό ενεργού ισχύος)

V τάση (δεδομένο από τον κατασκευαστή)

Όπως και στον ισολογισμό ενεργού ισχύος έτσι και στον ισολογισμό άεργου ισχύος ισχύουν οι πέντε (5) ίδιες διακριτές καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα:

- Seagoing(HFO) Laden (Το πλοίο βρίσκεται εν πλω και χρησιμοποιεί ως καύσιμο αργό πετρέλαιο)
- Seagoing(Gas) Laden (Το πλοίο βρίσκεται εν πλω και χρησιμοποιεί ως καύσιμο φυσικό αέριο)
- Port in/out with Thruster (Εν όρμω με /χωρίς χειρισμούς)
- Cargo Load (Φόρτωση Φορτίου)
- Cargo Unload (Εκφόρτωση Φορτίου)

Πιο συγκεκριμένα ο πίνακας ισολογισμού άεργου ισχύος αποτελείται από τις παρακάτω στήλες.

Στήλη 1^η: Όνομα κάθε καταναλωτή

Στήλη 2^η: Ονομαστική τάση καταναλωτή

Στήλη 3^η: Ονομαστικός συντελεστής ισχύος (0,8 για κινητήρες -1,0 για φωτισμό)

Στήλη 4^η: Εφαπτομένη της γωνίας φ

Στήλη 5^η: Συντελεστής λειτουργίας καταναλωτή fs (δεδομένο)

Στήλη 6^η: Ενεργός ισχύς λειτουργίας καταναλωτών

Στήλη 7^η: Άεργος ισχύς λειτουργίας καταναλωτών (από την σχέση 2.4) (Operation 1)

Στήλη 8^η: Ενεργός ισχύς λειτουργίας καταναλωτών

Στήλη 9^η: Άεργος ισχύς λειτουργίας καταναλωτών (από την σχέση 2.4) (Operation 2)

Στήλη 10^η: Ενεργός ισχύς λειτουργίας καταναλωτών

Στήλη 11^η: Άεργος ισχύς λειτουργίας καταναλωτών(από την σχέση 2.4) (Operation 3)

Στήλη 12^η: Ενεργός ισχύς λειτουργίας καταναλωτών

Στήλη 13^η: Άεργος ισχύς λειτουργίας καταναλωτών (από την σχέση 2.4) (Operation 4)

Στήλη 14^η: Ενεργός ισχύς λειτουργίας καταναλωτών

Στήλη 15^η: Άεργος ισχύς λειτουργίας καταναλωτών(από την σχέση 2.4) Operation (5)

Το άθροισμα των τιμών της στήλης με την άεργο ισχύ λειτουργίας κάθε καταναλωτή δίνει την άεργο ισχύ σε κάθε κατάσταση κινήσεως του πλοίου. Στο τέλος τα τελικά αποτελέσματα από τον ισολογισμό θα αναφέρονται σε έναν πίνακα που θα έχει την παρακάτω μορφή βλ. και Πίνακα 2.4..

Final Results	SeaGoing(HFO) Laden	SeaGoing(Gas) Laden	Portin/out with Thruster	Cargo Load	Cargo Unload
Total Load					
tanφ					
cosφ					

**Πίνακας 2.4 Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων Ισολογισμού Άεργου
Ισχύος**

2.3.1 Προβλήματα Άεργου Ισχύος στα Σ.Η.Ε των Πλοίων

2.3.1.1 Εισαγωγή

Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου είναι ένα αυτόνομο σύστημα που περιλαμβάνει περιορισμένο αριθμό γεννητριών και μεγάλο αριθμό φορτίων, τα περισσότερα από τα οποία αποτελούνται από ασύγχρονους κινητήρες. Από την άποψη της ισορροπίας της ηλεκτρικής ενέργειας, οι γεννήτριες πρέπει να αξιολογούνται στο στάδιο του σχεδιασμού του πλοίου για να καλύπτουν όλες τις ενεργειακές απαιτήσεις, δηλαδή όσον αναφορά την ενεργό ισχύ σε (W) και την άεργη ισχύ σε (Var). Ωστόσο καθώς η ανάλυση ηλεκτρικού φορτίου συχνά καλύπτει μόνο τις απαιτήσεις από την άποψη της ενεργού ισχύος, είναι πιθανό να εμφανιστούν προβλήματα κατά την ικανοποίηση των απαιτήσεων άεργου ισχύος.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο έχει εμφανιστεί η αναγκαιότητα της ισορροπίας άεργου ισχύος στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας των πλοίων. Η ανάλυση ηλεκτρικού φορτίου θα πρέπει επίσης να λαμβάνει υπόψη και την άεργη ισχύ.

Επιπλέον αποδεικνύεται ότι με την σωστή επίλυση των προβλημάτων της άεργου ισχύος η ενέργεια αυτή μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη ικανότητα φόρτωσης του συστήματος και βελτίωση της αποδοτικότητας του πλοίου, που αυτό ερμηνεύεται ως μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και την βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του πλοίου.

Για το σκοπό αυτό παρουσιάζονται και αναλύονται εναλλακτικά μέτρα μετασκευής. Έτσι εκτός από τις σύγχρονες γεννήτριες, παρουσιάζονται και άλλοι τρόποι βελτίωσης του συντελεστή ισχύος, όπως αντιστάθμιση με την χρήση πυκνωτών ή τράπεζες πυκνωτών.

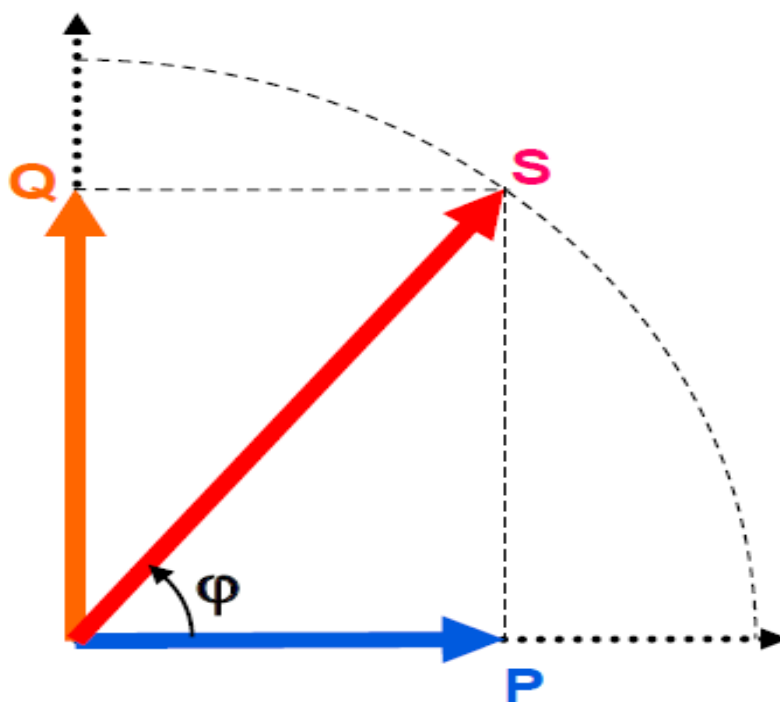
2.3.1.2 Η Έννοια της Άεργου Ισχύος

Σε αντίθεση με το DC, όπου η ισχύς είναι προϊόν τάσης και ρεύματος (αυτή η ισχύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μηχανικής εργασίας), στο AC αυτή η υστέρηση εισάγεται επίσης μέσω του συντελεστή ισχύος. Ο συντελεστής ισχύος είναι ένα μέσο που δείχνει ποιο τμήμα του προϊόντος (τάση x ρεύμα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μηχανικής εργασίας. Οι τιμές του συντελεστή ισχύος είναι στην περιοχή από 0 – 1. Επιπλέον, ο συντελεστής ισχύος είναι ίσος με το συνημίτονο της γωνίας μεταξύ της ενεργού και της φαινόμενης ισχύος βλ. Σχήμα 2.1 [6].

Όλα τα ηλεκτρικά δίκτυα AC καταναλώνουν δύο τύπους ισχύος:

1.Ενεργός ισχύς (kW) : Η ενεργή ισχύς P (σε kW) είναι η πραγματική ισχύς που μεταδίδεται σε φορτία όπως κινητήρες, λάμπες, θερμαντήρες, υπολογιστές. Η ενεργή ισχύ μετατρέπεται σε μηχανική ισχύ, θερμότητα ή φως

2.Άεργος ισχύς (kVar) : Η άεργος ισχύς Q (σε kVar) χρησιμοποιείται μόνο για την παροχή σε μαγνητικά κυκλώματα μηχανών, κινητήρων και μετασχηματιστών.



Σχήμα 2.1 Τρίγωνο ισχύος [5]

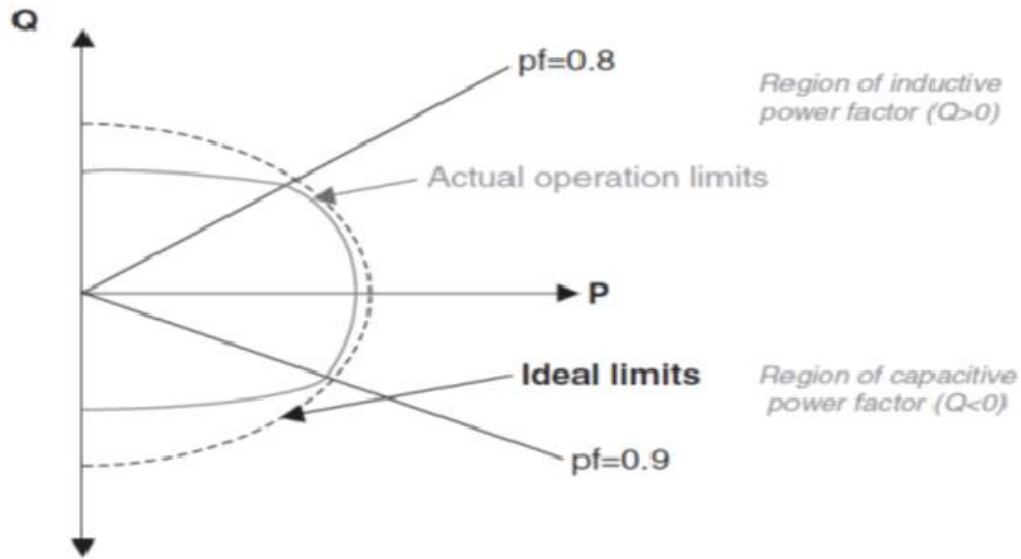
Οι σχεδιαστές και χειριστές αυτών των συστημάτων μαζί με τους κατασκευαστές εξαρτημάτων καταβάλλουν προσπάθεια να διατηρήσουν τη ροή της αντίστασης όσο το δυνατόν χαμηλότερα. Επομένως, ένας συντελεστής ισχύος 0,85-0,9 είναι ένας ρεαλιστικός στόχος.

2.3.1.3 Ο Ρόλος των Σύγχρονων Γεννητριών

Σε ένα ηλεκτρικό σύστημα πλοίου οι επαγωγικοί κινητήρες απαιτούν άεργο ισχύ ενώ οι σύγχρονες γεννήτριες είναι αυτές που παράγουν την άεργο ισχύ λειτουργώντας ως χωρητικές με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μια ισορροπία. Εάν για κάποιο λόγο, η ισορροπία αυτή δεν ικανοποιηθεί πρέπει να ληφθούν μέτρα που αφορούν την ικανοποίηση της άεργου ισχύος, συχνά αποκαλούμενα αντιστάθμιση της άεργου ισχύος.

Ωστόσο, οι γεννήτριες που παράγουν την άεργο ισχύ, έχουν περιορισμένη ικανότητα ισχύος: ενεργού, άεργου και φαινόμενης. Η επιτρεπτή περιοχή λειτουργίας στο P-Q επίπεδο είναι ιδανικά ένα ημικύκλιο, το οποίο περιορίζεται ακόμη περισσότερο λόγω των περιορισμών κατασκευής και της μη-γραμμικότητας των γεννητριών βλ. Σχήμα 2.2. Επιπλέον για λόγους ευστάθειας, προτείνεται από τους κατασκευαστές, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2, ο συντελεστής ισχύος να περιορίζεται στην περιοχή ανάμεσα στο 0,9 χωρητικό και 0,8 επαγωγικό.

Συμπερασματικά, η ικανότητα της ισχύος της γεννήτριας περιορίζεται και σε επίπεδο ενεργού και άεργου ισχύος και αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον ηλεκτρικό ισολογισμό [6].



Σχήμα 2.2 Όρια λειτουργίας γεννήτριας (τα ιδανικά όρια επισημαίνονται με διακεκομμένη γραμμή ενώ τα πραγματικά όρια με συμπαγή γραμμή) [6]

Η εκτίμηση του f_s δεν είναι εύκολο έργο. Συνήθως, υπάρχουν αντιπροσωπευτικές τιμές για κάθε φορτίο ανάλογα με τον τύπο του πλοίου και την κατάσταση λειτουργίας. Συνήθως στον ηλεκτρικό ισολογισμό δεν αναφέρεται η άεργος ισχύς και όπου χρειάζεται π.χ. στον υπολογισμό της διατομής των καλωδίων, ο συντελεστής ισχύος των κινητήρων λαμβάνεται ως 0,8 επαγωγικός και για το φωτισμό ίσος με 1.

Από το Σχήμα 2.2 βλέπουμε ότι υπάρχει μεγάλη εξάρτηση μεταξύ άεργου ισχύος και του συντελεστή λειτουργίας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι στον ηλεκτρικό ισολογισμό ισχύος υπολογίζεται μόνο η ενεργός ισχύς, τότε σημαντικά λάθη στην εκτίμηση της ζήτησης της άεργου και της φαινόμενης ισχύος μπορεί να προκύψουν. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη ενός εκτεταμένου ηλεκτρικού ισολογισμού που θα περιλαμβάνει πέρα από την ενεργό ισχύ (P) και την άεργο(Q) και τη φαινόμενη ισχύ (S).

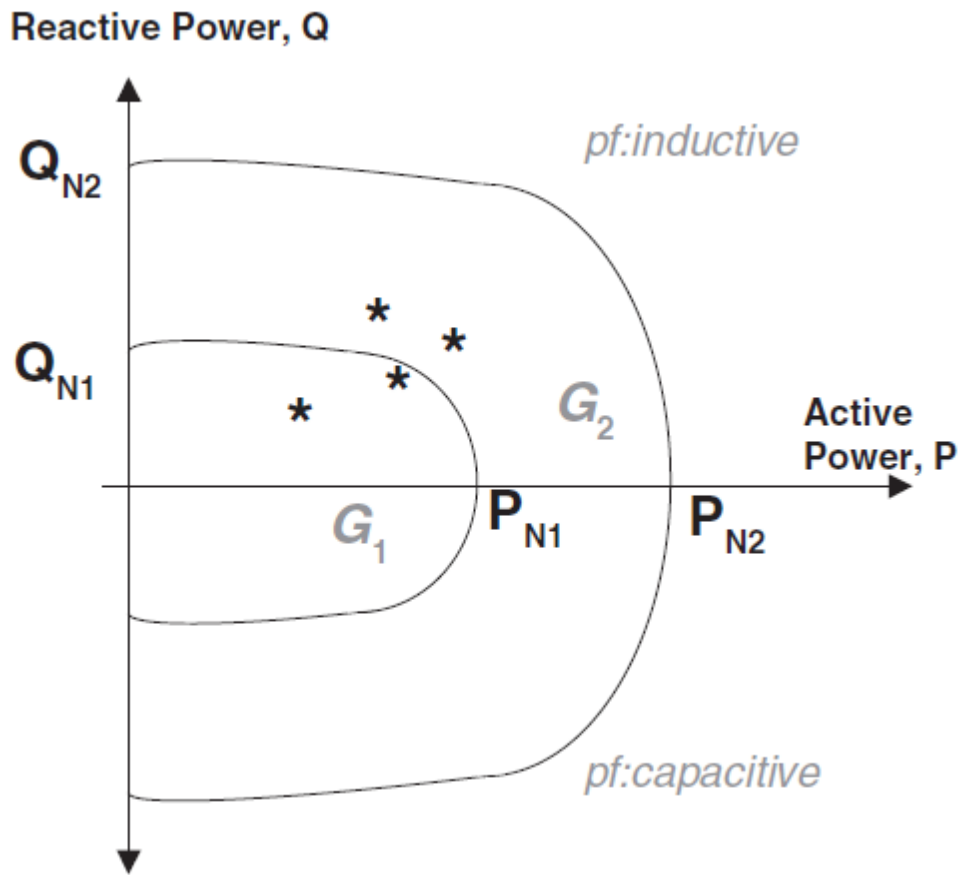
Operation Mode 1						
Equipment	Rated Input Power P_N	Service load factor (slf)=(sf).(lf)	pf=pf(slf)	$P=P_N \cdot (slf)$	$Q=Q(slf)$	S
No 1	P_{N1}	slf ₁	pf ₁	$P_1^{(1)}$	$Q_1^{(1)}$	$S_1^{(1)}$
No 2	P_{N2}	slf ₂	pf ₂	$P_2^{(1)}$	$Q_2^{(1)}$	$S_2^{(1)}$
...
No M	P_{NM}	slf _M	pf _M	$P_M^{(1)}$	$Q_M^{(1)}$	$S_M^{(1)}$
Total		-	$\frac{P_{tot}^{(1)}}{S_{tot}^{(1)}}$	$P_{tot}^{(1)} = \sum_{k=1}^M P_k^{(1)}$	$Q_{tot}^{(1)} = \sum_{k=1}^M Q_k^{(1)}$	$S_{tot}^{(1)} = \sum_{k=1}^M S_k^{(1)}$

Operation Mode 2						
Equipment	Rated Input Power P_N	Service load factor (slf)=(sf).(lf)	pf=pf(slf)	$P=P_N \cdot (slf)$	$Q=Q(slf)$	S
No 1	P_{N1}	slf ₁	pf ₁	$P_1^{(2)}$	$Q_1^{(2)}$	$S_1^{(2)}$
No 2	P_{N2}	slf ₂	pf ₂	$P_2^{(2)}$	$Q_2^{(2)}$	$S_2^{(2)}$
...
No M	P_{NM}	slf _M	pf _M	$P_M^{(2)}$	$Q_M^{(2)}$	$S_M^{(2)}$
Total		-	$\frac{P_{tot}^{(2)}}{S_{tot}^{(2)}}$	$P_{tot}^{(2)} = \sum_{k=1}^M P_k^{(2)}$	$Q_{tot}^{(2)} = \sum_{k=1}^M Q_k^{(2)}$	$S_{tot}^{(2)} = \sum_{k=1}^M S_k^{(2)}$

Operation Mode J						
Equipment	Rated Input Power P_N	Service load factor (slf)=(sf).(lf)	pf=pf(slf)	$P=P_N \cdot (slf)$	$Q=Q(slf)$	S
No 1	P_{N1}	slf ₁	pf ₁	$P_1^{(J)}$	$Q_1^{(J)}$	$S_1^{(J)}$
No 2	P_{N2}	slf ₂	pf ₂	$P_2^{(J)}$	$Q_2^{(J)}$	$S_2^{(J)}$
...
No M	P_{NM}	slf _M	pf _M	$P_M^{(J)}$	$Q_M^{(J)}$	$S_M^{(J)}$
Total		-	$\frac{P_{tot}^{(J)}}{S_{tot}^{(J)}}$	$P_{tot}^{(J)} = \sum_{k=1}^M P_k^{(J)}$	$Q_{tot}^{(J)} = \sum_{k=1}^M Q_k^{(J)}$	$S_{tot}^{(J)} = \sum_{k=1}^M S_k^{(J)}$

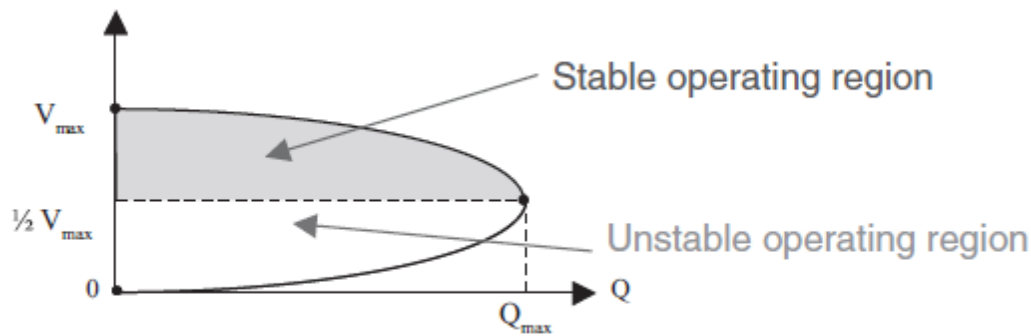
Πίνακας 2.5 Εκτεταμένος ηλεκτρικός ισολογισμός που περιλαμβάνει και την ενεργό (P) και την άεργο (Q) και τη φαινόμενη ισχύ (S) [6]

Με τον τρόπο που περιγράφεται στην παράγραφο αυτή ο συντελεστής ισχύος προσεγγίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια. Συγκεκριμένα προστίθενται στήλες που περιλαμβάνουν την άεργο και φαινόμενη ισχύ σε συνθήκες μερικής φόρτισης. Επιλέγεται λοιπόν γεννήτρια που να καλύπτει τις ανάγκες ενεργού και άεργου ισχύος όπως αυτές υπολογίστηκαν. Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3 Επιλογή κατάλληλης γεννήτριας μεταξύ G_1 και G_2 ώστε να καλύπτεται η ζήτηση ενεργού και άεργου ισχύος που προκύπτει από τον ισολογισμό (η ζητούμενη ισχύς επισημαίνεται με *) [6].

Συμπερασματικά, ο συντελεστής ισχύος που υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη μερική φόρτιση, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη άεργο ισχύ σε σχέση με παρόμοια μελέτη που θεωρεί σταθερό συντελεστή ισχύος 0,8 για επαγωγικούς κινητήρες και 1 για φωτισμό (πλήρη φόρτιση). Στην συγκεκριμένη μελέτη θεωρήθηκε σταθερός συντελεστής ισχύος. Η υψηλότερη άεργος ισχύς μπορεί να οδηγήσει και στην αστάθεια των γεννητριών όπως συμπεραίνεται και από το Σχήμα 2.4. [6].



Σχήμα 2.4 Καμπύλη τάσης – άεργου ισχύος σύγχρονης γεννήτριας (Αύξηση της άεργου ισχύος μπορεί να οδηγήσει στην ασταθή περιοχή) [6]

Η περίπτωση υπερφόρτωσης της γεννήτριας μπορεί να λυθεί με την εγκατάσταση χωρητικοτήτων στο ζυγό σύνδεσης των κινητήρων ώστε να παρέχουν την επιπλέον άεργο ισχύ που απαιτείται. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αντιστάθμισης της άεργου ισχύος οι οποίοι θα αναπτυχθούν παρακάτω. Η λύση αυτή μπορεί να αποφευχθεί με την παραπάνω μελέτη στο στάδιο του σχεδιασμού του ηλεκτρολογικού δικτύου του πλοίου.

2.4 Αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος

Τα οφέλη που προκύπτουν από την εγκατάσταση διατάξεων αντιστάθμισης της άεργου ισχύος περιλαμβάνουν τη μείωση της ροής της άεργου ισχύος στο σύστημα αυξάνοντας έτσι το φορτίο της γραμμής. Ως εκ τούτου για καλύτερα αποτελέσματα, η αντιστάθμιση και ποιο συγκεκριμένα οι πυκνωτές πρέπει να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο φορτίο.

Μερικοί από τους λόγους για την αντιστάθμιση ισχύος είναι οι εξής:

- Μείωση των απαιτήσεων στην συνολική ηλεκτρική ενέργεια και συνεπώς στην αντίστοιχη κατανάλωση καυσίμου.
- Μείωση απωλειών I^2R και συνεπώς θέρμανση στο σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

- Μείωση του ρεύματος στις γραμμές διανομής και μετασχηματιστών, επιτρέποντας την εξυπηρέτηση πρόσθετου φορτίου χωρίς την κατασκευή νέων κυκλωμάτων στο μέλλον.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται μια σύντομη επισκόπηση των εναλλακτικών τρόπων αντιστάθμισης ισχύος, επισημαίνοντας τα διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

2.4.1 Σύγχρονοι συμπυκνωτές^[6]

Ένα σύγχρονο μηχάνημα χωρίς μηχανικό φορτίο συνδεδεμένο στον άξονά του, συνδέεται παράλληλα με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και εισάγει την άεργη ισχύ του στο δίκτυο. Κατά τρόπο παρόμοιο με τις σύγχρονες γεννήτριες, η άεργη ισχύ μπορεί να ρυθμιστεί μέσω των διεγερτών τους, και ειδικότερα των συνδεδεμένων τους AVR. Έτσι, ο συμπυκνωτής μπορεί να λειτουργήσει είτε ως πυκνωτής (που παράγει άεργο ισχύ) είτε ως απαγωγέας (απορροφώντας την άεργη ισχύ). Αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα στις εγκαταστάσεις των πλοίων με σύστημα γεννήτριας άξονα.

2.4.2 Στατικοί πυκνωτές^[6]

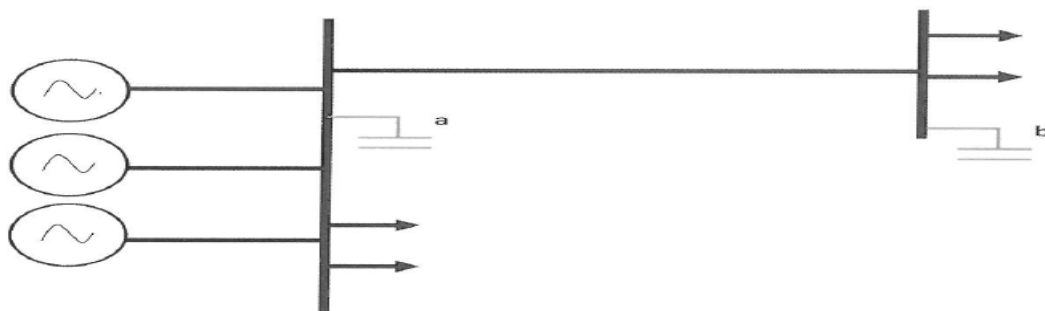
Το κύριο κίνητρο για την εγκατάσταση στατικών πυκνωτών είναι γενικά η εξάλειψη κυρώσεων συντελεστών ισχύος χρησιμότητας, αλλά υπάρχουν επίσης τεχνικά οφέλη που σχετίζονται με την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- Είναι φθηνότερα σε σύγκριση με άλλες λύσεις.
- Έχουν χαμηλότερες απώλειες.
- Είναι λιγότερο ευέλικτοι στην προσαρμογή της άεργου ισχύος στην έξοδο.
- Μπορούν μόνο να αλλάξουν την παρεχόμενη άεργο ισχύ σταδιακά.
- Δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως επαγωγείς.
- Κατά την διάρκεια της βύθισης της τάσης η άεργος ισχύς που παράγεται τείνει να μειωθεί.
- Δεν μπορούν να υπερφορτωθούν ακόμη και σύντομα χρονικά διαστήματα.
- Έχουν μεταβατικές μεταβολές κατά τη λειτουργία ON/OFF.
- Πρέπει να βρίσκονται πολύ κοντά στο σημείο που είναι το πρόβλημα.

- Πρέπει να συνδεθούν πριν από την έλλειψη άεργου ισχύος διαφορετικά συμβάλουν στην κατάρρευση της τάσης.
- Κατά τη διάρκεια βραχυκυκλώματος δεν συμβάλουν στη σταθερότητα του συστήματος.
- Υπόκεινται σε προβλήματα υπερθέρμανσης και συντονισμού σε περίπτωση αρμονικών στρεβλώσεων στο σύστημα.

Πρέπει να δίνεται προσοχή κατά την προσθήκη πυκνωτών καθώς μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία συνηθέστερα είναι η αρμονική παραμόρφωση. Ενώ οι πυκνωτές διόρθωσης παράγοντα ισχύος δεν είναι αρμονικές πηγές, μπορούν να αλληλοεπιδράσουν με το σύστημα για να τονίσουν τις αρμονικές που υπάρχουν ήδη εκεί. Υπάρχουν επίσης μεταβατικές παρενέργειες όπως η μεγέθυνση των παροδικών διακοπών του πυκνωτή χρησιμότητας. Επιπλέον, επειδή η άεργο ισχύς που παρέχεται από τον πυκνωτή είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της τάσης, για τον έλεγχο της τάσης οι τράπεζες πυκνωτών πρέπει να ενεργοποιηθούν πριν χρειαστούν για την μεγιστοποίηση της παραγόμενης ισχύος.

Σε αντίθεση με τα εσωτερικά δίκτυα όπου υπάρχει ένας αριθμός εναλλακτικών θέσεων για τους πυκνωτές, στην περίπτωση του πλέγματος πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη τη συμπαγή φύση του κυκλώματος διανομής ηλεκτρικής ισχύος (το δίκτυο διανομής δεν είναι υπερβολικά μεγάλο, οι γεννήτριες βρίσκονται κοντά στα φορτία). Μπορεί να εγκατασταθεί κοντά σε μεγάλους κινητήρες επαγωγής (θέση α στο Σχήμα 2.5). Στην περίπτωση καλωδίων μεγάλου μήκους, μια εναλλακτική λύση θα ήταν να τοποθετηθεί ο πυκνωτής αντιστάθμισης στο τοπικό αγωγό τροφοδοσίας που παρέχει μια ομάδα κινητήρων.



Σχήμα 2.5 Θέση πυκνωτή αντιστάθμισης άεργου ισχύος [6].

Ο βέλτιστος σχεδιασμός και η θέση για την αντιστάθμιση των πυκνωτών είναι συχνά ένας συμβιβασμός μεταξύ αντικρουόμενων στόχων, επομένως είναι δύσκολο να προβλεφθούν σαφείς κανόνες για τη θέση των πυκνωτών. Ωστόσο, οι γενικές κατευθυντήριες γραμμές έχουν ως εξής:

- Οι πυκνωτές πρέπει να βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο φορτίο, έτσι ώστε οι απώλειες να ελαχιστοποιούνται και η αύξηση της τάσεως να μεγιστοποιείται.
- Μια ελάχιστη ποσότητα αντιστάθμισης της άεργου ισχύος μπορεί να επιτευχθεί με μόνιμα συνδεδεμένους πυκνωτές. Με αυτόν τον τρόπο δεν χρειάζονται διακόπτες σύνδεσης-αποσύνδεσης μειώνοντας έτσι το κόστος.
- Οι τράπεζες πυκνωτών θα πρέπει να χρησιμοποιούνται έτσι ώστε η τάση να ελέγχεται καλύτερα στα στάδια.

2.4.3 Στατικός αντισταθμιστής Var Θυρίστορ^[6]

Ο στατικός αντισταθμιστής Var (SVC) είναι μια πιο εξελιγμένη πηγή άεργου ισχύος που περιλαμβάνει μια τράπεζα πυκνωτών η σύνδεση της οποίας ελέγχεται από έναν ηλεκτρονικό διακόπτη ισχύος (π.χ. ένα θυρίστορ). Το SVC μπορεί να θεωρηθεί ως το στοιχείο που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα ενός συγχρονισμένου συμπυκνωτή και μια τράπεζα πυκνωτών. Αυτή η συσκευή είναι δαπανηρή καθώς ανταποκρίνεται γρήγορα, έχει αυξημένο αριθμό βημάτων άεργου ισχύος και έχει την ικανότητα να απορροφά την άεργη ισχύ καθώς και την παροχή της. Αξίζει να σημειωθεί ότι καθώς οι ηλεκτρονικές διατάξεις είναι ευαίσθητες στη θερμοκρασία, η εγκατάσταση μιας τέτοιας συσκευής επί του πλοίου απαιτεί πολύ λεπτομερή μελέτη των συνθηκών λειτουργίας του περιβάλλοντος.

2.5 Αποτελέσματα Αντιστάθμισης Άεργου Ισχύος

Σε αυτή την παράγραφο δημιουργείται μια μεθοδολογία για να αξιολογηθεί η σκοπιμότητα εγκατάστασης μιας πηγής άεργου ισχύος. Έτσι το κύκλωμα εξετάζεται τόσο πριν όσο και μετά την εγκατάσταση της πηγής και συγκρίνονται οι συνθήκες λειτουργίας. Το αναμενόμενο αποτέλεσμα αποδίδει στη διαφορά στις ενεργές απώλειες (σε W) οι οποίες μπορούν να μετατραπούν σε καύσιμα και εκπομπές.

1. Πριν την εγκατάσταση οποιασδήποτε πηγής αντιστάθμισης άεργου ισχύος.



Σχήμα 2.6 Χωρίς αντιστάθμιση άεργου ισχύος [7]

Οι μαθηματικοί τύποι που ισχύουν είναι:

$$P_k = f_{s,k} \cdot P_{N,k}$$

$$Q_k = \frac{P_k}{(pf_k)} \sqrt{1 - (pf_k)^2}$$

$$I_k = \frac{P_k}{\sqrt{3} \cdot V \cdot (pf_k)}$$

$$P_{tot} = \sum_{k=1}^M P_k$$

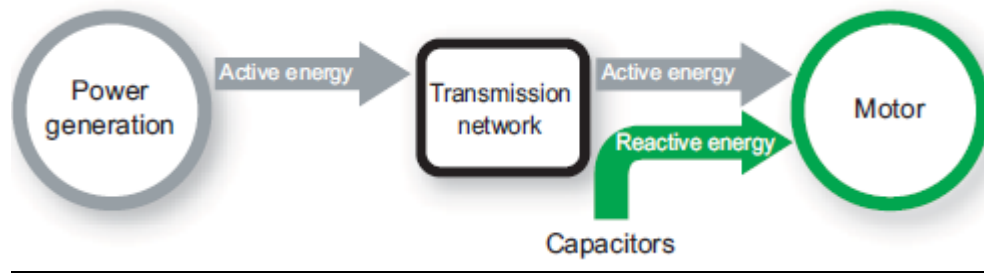
$$Q_{tot} = \sum_{k=1}^M Q_k$$

$$pf_{tot} = \cos \left(\arctan \left(\frac{Q_{tot}}{P_{tot}} \right) \right)$$

$$I_{tot} = \frac{P_{tot}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot (pf_{tot})}$$

$$P_{losses} = |I_{tot}|^2 \cdot R_{c,tot} + \sum_{k=1}^M |I_k|^2 \cdot R_{c,k}$$

2. Μετά την εγκατάσταση οποιασδήποτε πηγής αντιστάθμισης της άεργου ισχύος



Σχήμα 2.7 Με αντιστάθμιση άεργου ισχύος [7]

Οι μαθηματικοί τύποι που ισχύουν με την εγκατάσταση πυκνωτών είναι:

Οι συνολικές απαιτήσεις άεργου ισχύος είναι:

$$Q'_{tot} = \sum_{k=1}^M Q_k - Q_{source}$$

Ενώ ο συντελεστής ισχύος στην κεντρική γραμμή είναι:

$$pf'_{tot} = \cos\left(\arctan\left(\frac{Q'_{tot}}{P_{tot}}\right)\right)$$

Υποθέτοντας ότι η τάση στην κεντρική γραμμή παραμένει η ίδια δηλ. ίση με V το ρεύμα είναι:

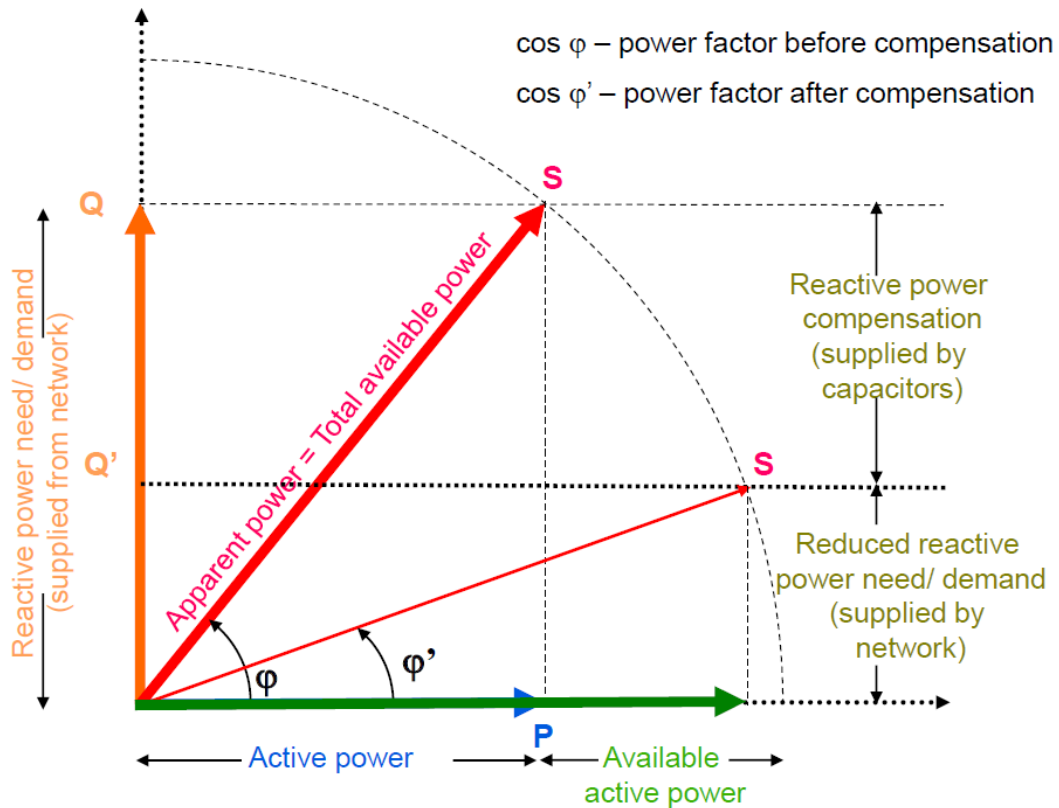
$$I'_{tot} = \frac{P_{tot}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot (pf'_{tot})}$$

Οι συνολικές απώλειες σε αυτή την περίπτωση προέρχονται από:

$$P'_{losses} = |I'_{tot}|^2 \cdot R_{c,tot} + \sum_{k=1}^M |I_k|^2 \cdot R_{c,k}$$

Ως εκ τούτου το αποτέλεσμα της εξοικονόμησης ενέργειας λαμβάνεται από:

$$\Delta P = P_{\text{losses}} - P'_{\text{losses}}$$



Σχήμα 2.8 Τρίγωνο ισχύος πριν και μετά την αντιστάθμιση (S πριν την αντιστάθμιση , S' μετά την αντιστάθμιση) [5].

Ωστόσο υπάρχουν κάποιοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Η αντιστάθμιση της άεργου ισχύος δεν αποτελεί απόλυτη λύση για την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες περιπτώσεις υπό την προϋπόθεση ότι έχει πραγματοποιηθεί προσεκτική μελέτη εκ των προτέρων. Σε γενικές γραμμές μπορεί να υποστηριχθεί ότι τα φορτία βρίσκονται κοντά στις σύγχρονες γεννήτριες οι οποίες είναι πηγές άεργου ισχύος δεν είναι υποχρεωτικό να εγκατασταθεί άλλη πηγή άεργου ισχύος [6].

Επιπλέον, υπάρχουν διάφοροι άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με την επιλογή της μεθόδου αντιστάθμισης άεργου ισχύος οι οποίοι έχουν ως εξής:

- Οι συνθήκες περιβάλλοντος (θερμοκρασία και υγρασία) πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά. Για παράδειγμα, ένα SVC που βασίζεται σε ηλεκτρονικές συσκευές ισχύος που είναι εγκατεστημένο στο μηχανολογικό χώρο μπορεί να έχει ακόμη μεγαλύτερα προβλήματα.
- Ο σύγχρονος συμπυκνωτής είναι ακριβός, βαρύς, μεγάλος σε όγκο και συνεπάγεται με σημαντικό κόστος συντήρησης. Αλλά ως μέθοδο για την αντιστάθμιση της άεργου ισχύος είναι ισχυρός και μπορεί να αντιδράσει γρήγορα και να διατηρήσει σταθερή την τάση στους ακροδέκτες.

Η μεθοδολογία όπως περιγράφεται παραπάνω πριν αποφασιστεί το επίπεδο και η μέθοδος αντιστάθμισης της άεργου ισχύος πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα.

1. Επαλήθευση της ανάλυσης ηλεκτρικού φορτίου έτσι ώστε να επιβεβαιώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας του πλοίου.
2. Εκτίμηση του συντελεστή ισχύος.
3. Εκτίμηση του κόστους εγκατάστασης των εναλλακτικών πηγών άεργου ισχύος.
4. Εκτίμηση της εξοικονόμησης ενέργειας μέσω προσομοιώσεων ή/και υπολογισμών.

2.6 Ηλεκτρικός Ισολογισμός Κατάστασης Εκτάκτου Ανάγκης

Υπάρχει άλλη μία κατηγορία ηλεκτρικών φορτίων την οποία είναι πολύ σημαντικό και πρέπει να την λάβουμε υπόψιν μας. Ποιο συγκεκριμένα είναι η κατάσταση ‘Εκτάκτου Ανάγκης’, άρα είναι πολύ σημαντικό να πραγματοποιήσουμε έναν ακόμα ισολογισμό ενεργού και άεργου ισχύος. Η μόνη διαφορά με του δύο προηγούμενους ισολογισμούς είναι ότι αλλάζουν οι διακριτές καταστάσεις λειτουργίας.

Οι καταστάσεις αυτές είναι οι εξής:

1. Emergency Black-out (Operation 1)
2. Emergency Fire (Operation 2)

Ο πίνακας για τον ισολογισμό ενεργού ισχύος Εκτάκτου Ανάγκης, έχει την παρακάτω μορφή βλ. και πίνακα 2.6.. Ο συντελεστής λειτουργίας (fs) στην κατάσταση εκτάκτου ανάγκης είναι ίσων με 1.

Emergency										
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	Emergency Black-out		Emergency Fire	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Καταναλωτής										
Total										

Πίνακας 2.6 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Εκτάκτου Ανάγκης

Αποτελείται από τις παρακάτω στήλες.

Στήλη 1η: Όνομα κάθε καταναλωτή

Στήλη 2η: Αριθμός καταναλωτών

Στήλη 3η: Mode για την επιλογή του συντελεστή λειτουργίας fs των φορτίων

Στήλη 4η: Ονομαστική ισχύς καταναλωτή

Στήλη 5η: Βαθμός απόδοσης καταναλωτή

Στήλη 6^η: Ονομαστική απορροφημένη ισχύ καταναλωτή (από την σχέση 2.1)

2.7 Επιλογή Κύριων Γεννητριών

2.7.1 Ορισμοί

Στην αρχή αυτής της παραγράφου κρίθηκε σκόπιμο να δοθούν οι παρακάτω ορισμοί σύμφωνα με τη διεθνή σύμβαση SOLAS [7] και τους κανονισμούς του GL (όπου χρειάστηκαν περισσότερες λεπτομέρειες) :

- Κανονικές συνθήκες λειτουργίας και ελάχιστης διαβίωσης είναι οι συνθήκες κάτω από τις οποίες το πλοίο σαν σύνολο, οι μηχανές, οι υπηρεσίες, τα βοηθητικά μέσα πρόωσης, η ικανότητα να κατευθύνεται (πηδάλιο), η ασφαλής πλοήγηση, η ασφάλεια από πυρκαγιά ή πλημμύρα, τα μέσα εσωτερικής και εξωτερικής επικοινωνίας και τα σήματα, τα μέσα διαφυγής, τα βίντσια των σωσίβιων λέμβων όπως και οι άνετες συνθήκες διαβίωσης, είναι σε ομαλή και κανονική λειτουργία.
- Κατάσταση έκτακτης ανάγκης είναι μια κατάσταση κατά την οποία οποιεσδήποτε υπηρεσίες χρειάζονται για τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας και ελάχιστης διαβίωσης του πλοίου, δεν λειτουργούν σωστά λόγω βλάβης της κύριας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Κύρια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μια πηγή προορισμένη να τροφοδοτεί με ηλεκτρική ισχύ τον κύριο πίνακα για διανομή σε όλες τις υπηρεσίες που είναι απαραίτητες για τη διατήρηση του πλοίου σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας και συνθήκες ελάχιστης διαβίωσης.
- Dead ship condition- Νεκρή κατάσταση πλοίου είναι η κατάσταση κατά την οποία το συνολικό σύστημα των μηχανών, συμπεριλαμβανομένου και της κύριας πηγής ηλεκτρικής ισχύος είναι εκτός λειτουργίας και η βοηθητική ισχύς όπως πεπιεσμένος αέρας, ρεύμα εκκίνησης από μπαταρίες κλπ., δεν είναι διαθέσιμη για την αποκατάσταση της κύριας τροφοδοσίας, την επανεκκίνηση των βοηθητικών μέσων και την εκκίνηση του συστήματος πρόωσης. Ωστόσο, ο εξοπλισμός για την εκκίνηση των γεννητριών έκτακτης ανάγκης θεωρείται ότι είναι έτοιμος προς χρήση.
- Κύριος πίνακας διανομής είναι ο πίνακας που τροφοδοτείται απευθείας από την κύρια πηγή ηλεκτρικής ισχύος και προορίζεται για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στα μηχανήματα του πλοίου.

- Πίνακας έκτακτης ανάγκης είναι ο πίνακας ο οποίος σε περίπτωση βλάβης του κύριου συστήματος ηλεκτρικής ισχύος τροφοδοτείται απευθείας από την πηγή ισχύος έκτακτης ανάγκης ή την μεταβατική πηγή ισχύος και προορίζεται για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης.
- Πηγή έκτακτης ανάγκης είναι μια πηγή ηλεκτρικής ισχύος, που προορίζεται για την τροφοδοσία του πίνακα έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση βλάβης στην κύρια πηγή ηλεκτρικής ισχύος.
- Χώροι μηχανημάτων κατηγορίας A είναι οι χώροι και οι δίοδοι που περιέχουν είτε:
 1. μηχανές εσωτερικής καύσης για την κύρια πρόωση
 2. μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνται οπουδήποτε αλλού πέρα από την πρόωση, και οι οποίες έχουν στο σύνολο ισχύ όχι μικρότερη από 375 kW ή οποιοδήποτε λέβητα πετρελαίου ή μονάδα πετρελαίου, ή άλλον εξοπλισμό πετρελαίου πέρα από το λέβητα, όπως είναι οι γεννήτριες αδρανούς αερίου, οι αποτεφρωτήρες, κλπ.

2.7.2 Γενικά

Σύμφωνα με τους κανονισμούς του νηογνώμονα GL, **οι κύριες γεννήτριες** θα πρέπει να τοποθετούνται στο κύριο μηχανοστάσιο ή σε ένα συγκεκριμένο χώρο βοηθητικών μηχανημάτων, π.χ. μέσα στο χώρο που οριοθετείτε από κύρια υδατοστεγή διαφράγματα. Το μηχανοστάσιο του πλοίου βρίσκεται συνήθως κοντά στον πυθμένα και στο πίσω μέρος του πλοίου ώστε να επιτρέπει περισσότερο χώρο φορτίου και να μειωθεί το κόστος και τα προβλήματα λόγω του μεγάλου μήκους άξονα που συνδέει τις μηχανές πρόωσης με την προπέλα.

Υπό κανονικές συνθήκες **οι κύριοι πίνακες** θα πρέπει να τοποθετούνται έτσι, σε σχέση με τις κύριες γεννήτριες, ώστε, όσο είναι δυνατόν, η τροφοδοσία ηλεκτρικής ισχύος να επηρεάζεται μόνο από μια φωτιά ή άλλα περιστατικά που προκαλούνται στον ίδιο χώρο. Ο κύριος πίνακας διανομής θα πρέπει να τοποθετείται όσο πιο κοντά γίνεται στις κύριες γεννήτριες, μέσα στον ίδιο χώρο μηχανημάτων. [8]

Οι πίνακες διανομής που τροφοδοτούν ουσιώδη εξοπλισμό και συναφείς μετασχηματιστές, μετατροπείς και όμοιο εξοπλισμό, εγκαθίστανται εάν ικανοποιούνται οι συνθήκες που απαιτούνται για τις κύριες γεννήτριες/ κύριους πίνακες και αν η εγκατάσταση βρίσκεται μέσα στην ίδια ζώνη πυρκαγιάς αντίστοιχα στο ίδιο υδατοστεγές τμήμα με τον ουσιώδη εξοπλισμό.

Οι κύριες γεννήτριες θα πρέπει να λειτουργούν ακόμη και με κλίση 15° προς τα δεξιά αριστερά, με διατοιχισμό $22,5^\circ$, με διαμήκη κλίση 5° και προνευστασμό $7,5^\circ$ [8]. Ακόμη πρέπει να λειτουργούν χωρίς προβλήματα σε θερμοκρασία έως 85°C εκτός μηχανοστασίου ενώ μέσα σε αυτό σε θερμοκρασία έως και $90-95^\circ\text{C}$. Η θερμοκρασία αυτή εξαρτάται και από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αλλά και από τη θέρμανση της ίδιας της μηχανής. Η μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να λειτουργήσει συνεχώς μια μηχανή εξαρτάται από την κλάση (A, E, B, F, H) του μονωτικού υλικού των τυλιγμάτων της. Η εγκατάσταση των γεννητριών θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι η εισαγωγή καθαρού αέρα και η εξαγωγή των καυσαερίων, ακόμα και σε κακοκαιρία, γίνεται σε ικανοποιητικό βαθμό.

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η εγκατάσταση των ηλεκτρικών μηχανών και των συσκευών θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντέχουν στις καταπονήσεις από τις ταλαντώσεις του πλοίου και η λειτουργία τους να μην διακόπτεται λόγω των καταπονήσεων.

Στις ηλεκτρικές μηχανές θα πρέπει να υπάρχει προστασία από ηλεκτροπληξία (μέσω γείωσης προστασίας ή μέσω μόνωσης προστασίας (διπλή μόνωση)), από τυχαίες επαφές, από την είσοδο ξένων σωμάτων, νερού κ.λ.π.. Η αντίσταση μόνωσης της μηχανής θα πρέπει να είναι τουλάχιστον $1\text{ M}\Omega$ για τάσεις έως 1000V και $(1+U_N/1000)\text{ M}\Omega$ για τάσεις από 1000V έως 15000 V .

Τέλος όσον αφορά την τοποθέτηση των μηχανών, αυτή συνιστάται να γίνεται με τον άξονα της μηχανής είτε κατακόρυφο είτε παράλληλο με την τρόπιδα του πλοίου. Σε περίπτωση που η τοποθέτηση του άξονα των μηχανών γίνει κατά τον εγκάρσιο άξονα του πλοίου, τότε θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για την προστασία του άξονα κατά τους διατοιχισμούς του πλοίου.

2.8. Κύρια πηγή ηλεκτρικής ισχύος

2.8.1 Αριθμός και ισχύς γεννητριών

Με βάση τους κανονισμούς του GL και τη διεθνή σύμβαση SOLAS, σε κάθε πλοίο απαιτείται η εγκατάσταση μιας κύριας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η κύρια αυτή πηγή θα πρέπει να αποτελείται από τουλάχιστον δύο ανεξάρτητες μεταξύ τους ηλεκτρογεννήτριες.

Η ικανότητα αυτών των γεννητριών θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας μιας γεννήτριας, η εναπομένουσα ηλεκτρογεννήτρια να μπορεί να τροφοδοτήσει επαρκώς όλα τα φορτία τα οποία είναι απαραίτητα, κατά την εν πλω κατάσταση, για την εξασφάλιση:

- κανονικών συνθηκών λειτουργίας για την πρόωση και την ασφάλεια του πλοίου.
- των ελαχίστων συνθηκών άνετης διαβίωσης.
- της προστασίας του φορτίου.

Οι ελάχιστες συνθήκες άνετης διαβίωσης στο πλοίο, περιλαμβάνουν τουλάχιστον επαρκείς υπηρεσίες για φωτισμό, μαγείρεμα, θέρμανση, ψύξη, μηχανικό αερισμό, υγιεινή, και πόσιμο νερό.

Ωστόσο, στην πραγματικότητα συνηθίζεται μια πιο συντηρητική προσέγγιση, για λόγους ασφαλείας, αλλά και για τη διευκόλυνση των διαδικασιών συντήρησης, η οποία οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των εγκατεστημένων ηλεκτρογεννητριών σε τρεις τουλάχιστον γεννήτριες, που συνήθως έχουν ίδια ονομαστική ισχύ (μειωμένη ποσότητα ανταλλακτικών στο πλοίο). Οι τρεις αυτές γεννήτριες μπορεί να δουλεύουν χωριστά ή παράλληλα ανά ζεύγη, αφήνοντας μια εφεδρική, ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας του πλοίου και τη συνολική ζητούμενη ηλεκτρική ισχύ από τα φορτία του πλοίου. Είναι επιθυμητό οι ώρες λειτουργίας των γεννητριών να ίσο μοιράζονται ώστε οι γεννήτριες να υφίστανται την ίδια φθορά.

2.8.2 Λειτουργία κύριων γεννητριών

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

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

από 2,5% για μηδενικό φορτίο έως το ονομαστικό και για ονομαστικό συντελεστή ισχύος.

- Στην μεταβατική κατάσταση λειτουργίας, με τη γεννήτρια σε ονομαστική ταχύτητα και τάση, θα πρέπει η τάση να μην πέσει κάτω από 85% ή να υπερβεί το 120% της ονομαστικής τιμής, όταν συμμετρικά φορτία συγκεκριμένης τιμής ρεύματος και συντελεστή ισχύος προστίθενται ή αφαιρούνται ξαφνικά. Η τάση θα πρέπει να ανακτά την ονομαστική της τιμή $\pm 3\%$ σε 1,5 δευτερόλεπτα.
- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης μόνιμης κατάστασης δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τρεις φορές ή μεγαλύτερο από έξι φορές του ονομαστικού ρεύματος. Η γεννήτρια και η διεγέρτρια θα πρέπει να αντέχουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης μόνιμης κατάστασης για δύο δευτερόλεπτα χωρίς βλάβη.
- Όταν γεννήτριες ίδιας ονομαστικής ικανότητας λειτουργούν παράλληλα και η ενεργός ισχύς ισομοιράζεται, τότε η άεργος ισχύς κάθε μηχανής δεν πρέπει να διαφέρει από την άεργο ισχύ αναλογικής κατανομής περισσότερο από 10% της ονομαστικής άεργου ισχύος της.
- Στην περίπτωση που οι μηχανές έχουν διαφορετική ονομαστική ισχύ, η απόκλιση από την ισχύ αναλογικής κατανομής δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα παρακάτω όρια, θεωρώντας πάντα αναλογική κατανομή ενεργού ισχύος:
 - 10% της ονομαστικής άεργου ισχύος της μεγαλύτερης μηχανής
 - 25% της ονομαστικής άεργου ισχύος της μικρότερης μηχανής
- Στην περίπτωση που η κύρια πηγή ηλεκτρικής ισχύος είναι απαραίτητη για την πρόωση και το σύστημα πηδαλιουχίας, το δίκτυο του πλοίου θα πρέπει να είναι έτσι ρυθμισμένο ώστε σε περίπτωση βλάβης μιας εκ των γεννητριών σε λειτουργία, η τροφοδοσία των ουσιωδών καταναλωτών να μη διακοπεί ή να αποκατασταθεί άμεσα.
- Όπου χρειάζεται, αυτόματη απόρριψη των μη ουσιωδών φορτίων ακόμη και των δευτερευόντων ουσιωδών φορτίων πρέπει να γίνει, προκειμένου να προστατευτούν οι γεννήτριες από υπερφόρτιση.
- Σε περίπτωση black-out, η αυτόματη εκκίνηση και σύνδεση μιας γεννήτριας και του πρωτεύοντα ουσιώδους εξοπλισμού, θα πρέπει να γίνει μέσα σε 30 δευτερόλεπτα.

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Εφαρμογή στο υπό Μελέτη Πλοίο

3.1 Αναλυτικός Ηλεκτρικός Ισολογισμός

Η εφαρμογή όσων έχουν περιγραφή στα προηγούμενα κεφάλαια, έγινε πάνω σε ένα πλοίο μεταφοράς φυσικού αερίου με ηλεκτροπρόωση. Τα επίπεδα των τάσεων που εμφανίζονται στα φορτία του πλοίου είναι της τάξεως των 6600V, των 400V και των 220V και επομένως μιλάμε για φορτία υψηλής, μέσης και χαμηλής τάσης.

3.1.1 Υπολογισμός Ενεργού Ισχύος

Ο αναλυτικός ηλεκτρικός ισολογισμός ενεργού ισχύος του υπό μελέτη πλοίου έχει γίνει για 5 χαρακτηριστικές καταστάσεις του πλοίου:

- 1) *Seagoing(HFO) Laden*
- 2) *Seagoing(Gas) Laden*
- 3) *Port in/out with Thruster*
- 4) *Cargo Load*
- 5) *Cargo Unload*

Παρατηρούμε ότι τα φορτία του πλοίου τα οποία δίνονται αναλυτικά στους παρακάτω Πίνακες 3.1-3.15 έχουν ομαδοποιηθεί σε ορισμένες κατηγορίες:

1. *Βοηθητικά πρόωσης*
2. *Πίνακας βοηθητικών μηχανοστασίου*
3. *Βοηθητικά σκάφους*
4. *Βοηθητικά χώρων ενδιαίτησης*
5. *Συσκευές μαγειρείου*
6. *Πίνακες φωτισμού*
7. *Πίνακας οργάνων ναυσιπλοΐας*
8. *Εφεδρική παροχή*

Σημειώνεται ότι οι συντελεστές λειτουργίας των φορτίων του πλοίου έχουν ληφθεί σύμφωνα με την εξής παραδοχή:

Continuous Operations: είναι για ένα ηλεκτρικό καταναλωτή ο οποίος στο 24ωρο είναι σχεδόν σε συνεχή λειτουργία.

Periodical Operations: είναι για καταναλωτές οι οποίοι μέσα στο 24ωρο θα δουλέψουν σχεδόν την μισή ημέρα και το fs κυμαίνεται από 0,5 έως 0,8

Temporary Operations: είναι για καταναλωτές οι οποίοι θα δουλέψουν πολύ λίγο χρόνο της τάξης του μισάωρου με fs συνήθως 0,2-0,3.

Με βάση τα αποτελέσματα που παρατίθενται και στον Πίνακα 3.14 βλέπουμε ότι η συνολική καταναλισκόμενη ισχύς είναι:

Seagoing(HFO) Laden = 29,193.40 kW

Seagoing(Gas) Laden = 29,899 kW

Port in/out with Thruster = 10,725.82 kW

Cargo Load = 3,407.96 kW

Cargo Unload = 6,568.39 kW

Για την περίπτωση της κατάστασης έκτακτης ανάγκης, τα φορτία έκτακτης ανάγκης έχουν προσδιορισθεί με βάση τη διεθνή σύμβαση S.O.L.A.S, όπως έχει περιγραφή αναλυτικά στο 2^ο κεφάλαιο και για το υπό μελέτη πλοίο φαίνονται στον Πίνακα 3.15, θεωρώντας συντελεστή λειτουργίας για λόγους ασφαλείας, ίσο με 1 για όλα τα φορτία.

Ηλεκτρικός Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος

Propulsion Plant																
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Electric propulsion motor	2	C	13614	0,974	13260	1,00	2	27228	2	27228	0	0	0	0	0	0
Ditto	2	T	13614	0,974	13260	0,20	0	0	0	0	2	5445,6	0	0	0	0
Propulsion motor cooling fan	4	P	14,8	0,890	13,2	0,80	4	47,36	4	47,36	4	47,36	0	0	0	0
Propulsion motor excitation power	2	C	59,0			1,00	2	118	2	118	2	118	0	0	0	0
Propulsion transformer cooling fan	8	P	2,2	0,820	1,8	0,80	4	7,04	4	7,04	4	7,04	0	0	0	0
Lub. pump for motor lub. unit	4	P	1,6	0,800	1,3	0,80	2	2,56	2	2,56	2	2,56	0	0	0	0
Total								27402,96		27402,96		5620,56				

Πίνακας 3.1 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Προωστήριων Μηχανημάτων

Generating Plant																
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Main GE JW preheating pump	2	P	1,4	0,800	1,1	0,80	0	0	0	0	1	1,12	2	2,24	2	2,24
Main GE FO supply pump (for 9L)	8	P	1,9	0,800	1,5	0,80	4	6,08	2	3,04	4	6,08	2	3,04	2	3,04
Main GE FO circ. pump (for 9L)	8	P	4,3	0,860	3,7	0,80	4	13,76	2	6,88	4	13,76	1	3,44	1	3,44
Main GE pilot oil supply pump	4	P	3	0,830	2,5	0,50	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
Main GE pre-LO pump (for 9L)	4	P	14,3	0,890	12,7	0,80	0	0	0	0	2	22,88	3	34,32	3	34,32
Total								22,84		12,92		46,84		46,04		46,04

Πίνακας 3.2 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Γεννητριών

Water Handling Equipment																
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Main cool. S.W. pump	3	P	81,5	0,920	75	0,80	2	130,4	2	130,4	2	130,4	1	65,2	1	65,2
Aux. cool. S.W. pump	2	C	160,3	0,936	150	0,85	1	136,26	1	136,26	1	136,26	1	136,26	1	136,26
Aux. cool. F.W. pump	2	C	142,1	0,929	132	0,85	1	120,79	1	120,79	1	120,79	1	120,79	1	120,79
Cargo machinery CFW booster pump	2	C	41,1	0,900	37	0,85	0	0	1	34,94	1	34,94	1	34,94	1	34,94
F.W. generator distillate pump	2	P	1,6	0,800	1,3	0,80	2	2,56	2	2,56	0	0	0	0	0	0
F.W. generator ejector pump	2	P	12,5	0,880	11	0,65	2	16,25	2	16,25	0	0	0	0	0	0
Total								406,25		441,19		422,38		357,18		357,18

Πίνακας 3.3 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Διαχείρισης Νερού

Oil Handling Equipment																
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
HFO purifier	3	P	19,7	0,890	17,5	0,80	2	31,52	0	0	2	31,52	1	15,76	1	15,76
HFO purifier feed pump	3	P	4,1	0,850	3,5	0,75	2	6,15	0	0	2	6,15	1	3,08	1	3,08
HFO transfer pump	1	C	18,9	0,900	17	0,85	1	16,07	0	0	1	16,07	1	16,07	1	16,07
MDO transfer pump	1	C	18,9	0,900	17	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Main GE LO Purifier	4	P	9,8	0,880	8,6	0,80	4	31,36	4	31,36	2	15,68	1	7,84	1	7,84
Main GE LO purifier feed pump	4	P	3	0,830	2,5	0,60	4	7,2	4	7,2	2	3,6	1	1,8	1	1,8
Stern tube LO pump	2	P	1,6	0,800	1,3	0,95	1	1,52	1	1,52	1	1,52	0	0	0	0
LO transfer pumo	1	C	4,2	0,830	3,5	0,95	1	3,99	1	3,99	1	3,99	0	0	0	0
Incinerator MDO supply pump	2	P	4,3	0,860	3,7	0,80	1	3,44	0	0	0	0	0	0	0	0
Total								101,25		44,07		78,53		44,54		44,54

Πίνακας 3.4 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Διαχείρισης Πετρελαίου

Boiler Plant																
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Aux. boiler F.D. fan	2	P	19,7	0,890	17,5	0,80	0	0	0	0	1	15,76	2	31,52	2	31,52
Aux. boiler F.O. pump	2	P	5,6	0,860	4,8	0,80	0	0	0	0	1	4,48	1	4,48	1	4,48
Aux. boiler feed W. pump	2	C	24,7	0,890	22	0,80	1	19,76	1	19,76	1	19,76	1	19,76	1	19,76
Boiler water circ. Pump	4	P	6,4	0,865	5,5	0,75	2	9,6	2	9,6	2	9,6	2	9,6	2	9,6
Boiler chemical feed pump	2	P	0,6	0,680	0,4	0,80	1	0,48	1	0,48	1	0,48	1	0,48	1	0,48
Total								29,84		29,84		50,08		65,84		65,84

Πίνακας 3.5 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Ατμολέβητα

Other Equipment in Machinery Space																
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Main air compressor	2	P	30,6	0,900	27,5	0,80	0	0	0	0	2	48,96	0	0	0	0
Ditto	2	P	30,6	0,900	27,5	0,80	1	24,48	1	24,48	0	0	1	24,48	1	24,48
Control/Service air compressor	4	P	46,2	0,910	42	0,80	2	73,92	2	73,92	2	73,92	2	73,92	2	73,92
Engine room fan	4	C	60,4	0,910	55	0,85	4	205,36	4	205,36	4	205,36	2	102,68	2	102,68
Purifier room exhaust fan	1	P	16,9	0,890	15	0,75	1	12,68	1	12,68	1	12,68	1	12,68	1	12,68
Welding area exhaust fan	1	T	1,1	0,740	0,8	0,30	1	0,33	1	0,33	1	0,33	1	0,33	1	0,33
MGPS (Marine growth prevention syst	1	P	0,4			0,80	1	0,32	1	0,32	1	0,32	1	0,32	1	0,32
Sludge pump	1	P	7,1	0,890	6,3	0,75	1	5,33	1	5,33	1	5,33	1	5,33	1	5,33
Bilge W. transfer pump	1	C	3,1	0,840	2,6	0,85	1	2,64	1	2,64	1	2,64	1	2,64	1	2,64
Clean drain pump (ER bilge pump)	1	C	2,7	0,820	2,2	0,80	1	2,16	1	2,16	1	2,16	1	2,16	1	2,16
Incinerator F.D. fan. etc.	1	P	31,1	0,900	28	0,80	1	24,88	1	24,88	0	0	0	0	0	0
Extracton fan for MG	4	P	4,3	0,860	3,7	0,80	2	6,88	2	6,88	2	6,88	2	6,88	2	6,88
Extracton fan for GCU	2	P	2,7	0,820	2,2	0,80	1	2,16	1	2,16	1	2,16	1	2,16	1	2,16
Total								361,13		361,13		360,73		233,57		233,57

Πίνακας 3.6 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Διαφόρων Βοηθητικών Μηχανημάτων

Cargo Handling Equipment							SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Electric cargo pump	8	C	635,4	0,960	610	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	8	4320,72
Cargo stripping/spray pump	4	C	33,3	0,900	30	0,85	0	0	0	0	1	28,31	0	0	0	0
Hydro power pack	2	P	37,8	0,900	34	0,80	0	0	1	30,24	0	0	1	30,24	1	30,24
Em' cy cargo pump	1	P	212,8	0,940	200	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
High duty compressor	2	C	1047,1	0,955	1000	0,90	0	0	0	0	0	0	2	1884,78	0	0
High duty aux. LO pump	2	C	3	0,860	2,6	0,90	0	0	0	0	0	0	2	5,4	0	0
Low duty compressor	2	P	942,4	0,955	900	0,75	0	0	1	706,8	1	706,8	0	0	0	0
Low duty aux. LO pump	2	C	7,6	0,870	6,6	0,90	0	0	1	6,84	1	6,84	0	0	0	0
Fuel gas pump	2	P	13,5	0,890	12	0,75	0	0	1	10,13	0	0	0	0	0	0
Glycol water circ. Pump	2	P	8,6	0,870	7,5	0,80	1	6,88	1	6,88	1	6,88	1	6,88	1	6,88
Glycol water heater	1	C	70			1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vacuum pump	2	P	41,1	0,900	37	0,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IG plant blower	4	C	131,2	0,953	125	0,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IG plant refrigeant compressor	1	C	305,3	0,950	290	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IG plant dryer fan	1	P	68,5	0,920	63	0,65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IG plant FO pump	2	C	7,4	0,870	6,4	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IG plant control system	1	P	3,5			1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrogen generator	1	C	91,4	0,930	85	0,80	1	73,12	1	73,12	1	73,12	1	73,12	1	73,12
Gas detection system	2	P	1			1,00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GCU combution air fan	2	C	170,2	0,940	160	0,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GCU dilution air fan	3	C	180,9	0,940	170	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GCU cooling & ingitor fan	2	C	0,9	0,740	0,7	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IG plant dryer heater	1	C	340			1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total								81		835,01		822,95		2001,42		4431,96

Πίνακας 3.7 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Διαχείρισης Φορτίου

Ship System																
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Ballast pump	3	C	373,3	0,950	355	0,85	0	0	0	0	0	0	2	634,61	2	634,61
Valve control hydro p/pack pump	2	P	9,8	0,890	8,6	0,80	1	7,84	1	7,84	1	7,84	1	7,84	1	7,84
Forward HFO transfer pump	2	C	18,9	0,900	17	0,86	1	16,25	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilge fire & GS pump	2	P	96,8	0,930	90	0,80	1	77,44	1	77,44	1	77,44	1	77,44	1	77,44
Fire pump	1	P	81,5	0,920	75	0,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Em'cy fire pump	1	P	60,4	0,910	55	0,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Water spray pump	1	P	373,3	0,950	355	0,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jockey pump	1	P	12,5	0,880	11	0,80	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10
Total								111,53		95,28		95,28		729,89		729,89

Πίνακας 3.8 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Διαφόρων Συστημάτων Πλοίου

Manoeuvring Equipment																
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Streering gear motor	2	P	118,3	0,930	110	0,50	0	0	0	0	1	59,15	0	0	0	0
Ditto	2	T	107,5	0,930	100	0,25	1	26,88	1	26,88	0	0	0	0	0	0
Bow thruster	1	P	2303,7	0,955	2200	0,80	0	0	0	0	1	1842,96	0	0	0	0
Thruster hydrooil pump	1	P	6,4	0,860	5,5	0,80	0	0	0	0	1	5,12	0	0	0	0
Bow thruster/FWD pump room faw	1	P	6,4	0,860	5,5	0,75	0	0	0	0	1	4,8	1	4,8	1	4,8
Total								26,88		26,88		1912,03		4,8		4,8

Πίνακας 3.9 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Ελιγμών

Deck Machinery																
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Deck machinery hyd. p/pack. Fore	4	P	138,9	0,950	132	0,80	0	0	0	0	4	444,48	0	0	0	0
Deck machinery hyd. p/pack. aft	2	P	138,9	0,950	132	0,80	0	0	0	0	2	222,24	0	0	0	0
Total												666,72				

Πίνακας 3.10 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Καταστρώματος

Miscellaneous Equipmet																
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Galley & laundry equipment	1	P	100			0,80	1	80	1	80	1	80	1	80	1	80
Prov. Ref. plant compressor	2	P	8,6	0,880	7,6	0,50	1	4,3	1	4,3	1	4,3	1	4,3	1	4,3
Elevator	1	P	8,6	0,870	7,5	0,80	1	6,88	1	6,88	1	6,88	1	6,88	1	6,88
Hot water circ. Pump	2	P	0,6	0,680	0,4	0,60	1	0,36	1	0,36	1	0,36	1	0,36	1	0,36
F.W. hydrophore pump	2	P	6,4	0,860	5,5	0,80	1	5,12	1	5,12	1	5,12	1	5,12	1	5,12
Sewage treatment plant	1	P	3,3	0,860	2,8	0,80	1	2,64	1	2,64	1	2,64	1	2,64	1	2,64
Sewage discharge pumo for holding	2	P	3	0,860	2,6	0,80	1	2,4	1	2,4	1	2,4	1	2,4	1	2,4
Total								101,7		101,7		101,7		101,7		101,7

Πίνακας 3.11 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Βοηθητικών Διαφόρων Άλλων Μηχανημάτων

Air Cond. & Ventilation Equipment																
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Steering gear room fan	1	P	6,4	0,860	5,5	0,65	1	4,16	1	4,16	1	4,16	0	0	0	0
Bosun store fan	1	P	8,6	0,870	7,5	0,65	1	5,59	1	5,59	1	5,59	1	5,59	1	5,59
Pipe duct fan	1	C	12,5	0,880	11	0,80	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10
Side passage fan	2	P	16,9	0,890	15	0,60	2	20,28	2	20,28	2	20,28	2	20,28	2	20,28
Hospital fan	1	P	0,4	0,680	0,3	0,80	1	0,32	1	0,32	1	0,32	1	0,32	1	0,32
Cargo compressor room fan	2	P	33,3	0,900	30	0,65	1	21,65	1	21,65	1	21,65	1	21,645	1	21,645
Electric motor room fan	2	C	6,4	0,860	5,5	0,90	1	5,76	1	5,76	1	5,76	1	5,76	1	5,76
Accom. A/Cond. Compressor	2	P	191,5	0,940	180	0,80	1	153,2	1	153,2	1	153,2	1	153,2	1	153,2
Accom. A/Cond. Fan	2	P	46,8	0,910	42,6	0,80	1	37,44	1	37,44	1	37,44	1	37,44	1	37,44
ER A/cond. Compressor	2	P	136,6	0,930	127	0,80	1	109,28	1	109,28	1	109,28	1	109,28	1	109,28
Fan unit for ECR	1	P	0,7	0,740	0,5	0,80	1	0,56	1	0,56	1	0,56	1	0,56	1	0,56
Fan unit for ER workshop	1	P	4,3	0,860	3,7	0,80	1	3,44	1	3,44	1	3,44	1	3,44	1	3,44
Fan unit for MSB room	2	P	8,6	0,870	7,5	0,80	2	13,76	2	13,76	2	13,76	2	13,76	2	13,76
Fan unit for CSB room	4	P	0,4	0,680	0,3	0,80	4	1,28	4	1,28	4	1,28	4	1,28	4	1,28
Fan unit for Converter room	2	P	2,7	0,820	2,2	0,80	2	4,32	2	4,32	2	4,32	2	4,32	2	4,32
Drying room heater	1	C	3			1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Galley pack. A/Cond. Heater	1	C	30			1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Galley pack. A/Cond. Fan	1	C	1,9	0,800	1,5	1,00	1	1,9	1	1,9	1	1,9	1	1,9	1	1,9
Galley pack. A/Cond. Unit	1	P	8,6	0,870	7,5	0,80	1	6,88	1	6,88	1	6,88	1	6,88	1	6,88
Galley exh. Fan	1	P	1,9	0,800	1,5	0,65	1	1,24	1	1,24	1	1,24	1	1,24	1	1,235
Sanitary space fan	1	P	4,3	0,860	3,7	0,55	1	2,37	1	2,37	1	2,37	1	2,37	1	2,365
Sundry space exhaust fan	1	P	2,2	0,820	1,8	0,80	1	1,76	1	1,76	1	1,76	1	1,76	1	1,76
Lift machine room fan	1	P	0,6	0,380	0,4	0,80	1	0,48	1	0,48	1	0,48	1	0,48	1	0,48
CO2 bottle room exh. Fan	1	P	1,1	0,740	0,8	0,80	1	0,88	1	0,88	1	0,88	1	0,88	1	0,88
Total								406,54		406,54		406,54		402,38		402,375

Πίνακας 3.12 Ισολογισμός Ενέργου Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Ψύξης και Εξαερισμού

Lighting, Nav & Control Equipment							SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Control & navigation equipment	1	P	25			0,80	1	20	1	20	1	20	0	0	0	0
Ditto	1	P	25			0,80	0	0	0	0	0	0	1	20	1	20
Electric whistle	1	C	5,5			1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Em' & navigation lighting	1	C	40			1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Machinery space lighting	1	C	80			1,00	1	80	1	80	1	80	1	80	1	80
Accommodation lighting	1	C	30			1,00	1	30	1	30	1	30	0	0	0	0
Ditto	1	P	30			0,80	0	0	0	0	0	0	1	24	1	24
Deck lighting	1	C	15			1,00	0	0	0	0	0	0	1	15	1	15
Ditto	1	C	15			1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ICCP system	1	T	30			0,25	1	7,5	1	7,5	1	7,5	1	7,5	1	7,5
Space heater & others	1	P	5			0,80	1	4	1	4	1	4	1	4	1	4
Total								141,5		141,5		141,5		150,5		150,5

Πίνακας 3.13 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Φωτισμού Ελέγχου και Ναυσιπλοΐας

FINAL RESULTS	SeaGoing(HFO) Laden	SeaGoing (Gas) Laden	Port in/out with Thruster	Cargo Load	Cargo Unload
Grand Total	29193,40	29899,00	10725,82	3407,96	6568,39

Πίνακας 3.14 Συνολικά Αποτελέσματα Ισολογισμού Ενεργού Ισχύος

Emergency										
Item	Set	Mode	Input	Eff'y	Output	fs	Emergency	Black-out	Emergency Fire	
							N'	Pop. K(W)	N'	Pop. K(W)
Engine room fan	4	C	60,4	0,910	55	1,00	1	60,4	0	0
Fire pump	1	C	81,5	0,920	75	1,00	0	0	1	81,5
Em'cy fire pump	1	C	60,4	0,910	55	1,00	0	0	1	60,4
Steering gear motor	2	C	107,5	0,930	100	1,00	1	107,5	1	107,5
Elevator	1	C	8,6	0,870	7,5	1,00	1	8,6	0	0
Control & navigation equip.	1	C	25			1,00	1	25	1	25
Electric whistle	1	C	5,5			1,00	1	5,5	1	5,5
Em'cy & navigation lighting	1	C	40			1,00	1	40	1	40
Total								247		319,9

Πίνακας 3.15 Ισολογισμός Ενεργού Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Εκτάκτου Ανάγκης.

3.1.2 Υπολογισμός Άεργου Ισχύος

Ο αναλυτικός ηλεκτρικός ισολογισμός άεργου ισχύος του υπό μελέτη πλοίου έχει γίνει για 5 χαρακτηριστικές καταστάσεις του πλοίου:

- 1) *SeaGoing(HFO) Laden*
- 2) *SeaGoing(Gas) Laden*
- 3) *Port in/out with Thruster*
- 4) *Cargo Load*
- 5) *Cargo Unload*

Παρατηρούμε ότι τα φορτία του πλοίου τα οποία δίνονται αναλυτικά στους παρακάτω Πίνακες 3.16-3.30 έχουν ομαδοποιηθεί σε ορισμένες κατηγορίες:

1. *Βοηθητικά πρόωσης*
2. *Πίνακας βοηθητικών μηχανοστασίου*
3. *Βοηθητικά σκάφους*
4. *Βοηθητικά χώρων ενδιαίτησης*
5. *Συσκευές μαγειρείου*
6. *Πίνακες φωτισμού*
7. *Πίνακας οργάνων ναυσιπλοΐας*
8. *Εφεδρική παροχή*

Με βάση τα αποτελέσματα που παρατίθενται και στον Πίνακα 3.30 βλέπουμε ότι η συνολική άεργος ισχύς για τις 5 διακριτές καταστάσεις λειτουργίας είναι:

SeaGoing(HFO) Laden = 21,728.29 kVar

SeaGoing(Gas) Laden = 22,275.88 kVar

Port in/out with Thruster = 7,878 kVar

Cargo Load = 2,930.27 kVar

Cargo Unload = 4,752.21 kW

Propulsion Plant					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Electric propulsion motor	6600	0,8	0,75	1,00	27228	20421	27228	20421	0	0	0	0	0	0
Ditto	6600	0,8	0,75	0,20	0	0	0	0	5445,6	4084,2	0	0	0	0
Propulsion motor cooling fan	440	0,8	0,75	0,80	47,36	35,52	47,36	35,52	47,36	35,52	0	0	0	0
Propulsion motor excitation power	6600	0,8	0,75	1,00	118	88,5	118	88,5	118	88,5	0	0	0	0
Propulsion transformer cooling fan	440	0,8	0,75	0,80	7,04	5,28	7,04	5,28	7,04	5,28	0	0	0	0
Lub. pump for motor lub. unit	440	0,8	0,75	0,80	2,56	1,92	2,56	1,92	2,56	1,92	0	0	0	0
Total					27402,96	20552,22	27402,96	20552,22	5620,56	4215,42	0	0	0	0
Apparent Power k(VA)					34253,7		34253,7		7025,7		0		0	
tanφ					0,75		0,75		0,75		0		0	
cosφ					0,8		0,8		0,8		0		0	

Πίνακας 3.16 Ισολογισμός Αεργου Ισχύος Βοηθητικών Προωστήριων Μηχανημάτων

Generating Plant					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Main GE JW preheating pump	440	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	1,12	0,84	2,24	1,68	2,24	1,68
Main GE FO supply pump (for 9L)	440	0,8	0,75	0,80	6,08	4,56	3,04	2,28	6,08	4,56	3,04	2,28	3,04	2,28
Main GE FO circ. pump (for 9L)	440	0,8	0,75	0,80	13,76	10,32	6,88	5,16	13,76	10,32	3,44	2,58	3,44	2,58
Main GE pilot oil supply pump	440	0,8	0,75	0,50	3	2,25	3	2,25	3	2,25	3	2,25	3	2,25
Main GE pre-LO pump (for 9L)	440	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	22,88	17,16	34,32	25,74	34,32	25,74
Total					22,84	17,13	12,92	9,69	46,84	35,13	46,04	34,53	46,04	34,53
Apparent Power k(VA)					28,55		16,15		58,55		57,55		57,55	
tanφ					0,75		0,75		0,75		0,75		0,75	
cosφ					0,8		0,8		0,8		0,8		0,8	

Πίνακας 3.17 Ισολογισμός Αεργου Ισχύος Γεννητριών

Water Handling Equipment					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation 5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Main cool. S.W. pump	440	0,8	0,75	0,80	130,4	97,8	130,4	97,8	130,4	97,8	65,2	48,9	65,2	48,9
Aux. cool. S.W. pump	440	0,8	0,75	0,85	136,26	102,19	136,26	102,19	136,26	102,19	136,26	102,19	136,26	102,19
Aux. cool. F.W. pump	440	0,8	0,75	0,85	120,79	90,59	120,79	90,59	120,79	90,59	120,79	90,59	120,79	90,59
Cargo machinery CFW booster pump	440	0,8	0,75	0,85	0	0	34,94	26,20	34,94	26,20	34,94	26,20	34,94	26,20
F.W. generator distillate pump	440	0,8	0,75	0,80	2,56	1,92	2,56	1,92	0	0	0	0	0	0
F.W. generator ejector pump	440	0,8	0,75	0,65	16,25	12,19	16,25	12,19	0	0	0	0	0	0
Total					406,25	304,69	441,19	330,89	422,38	316,78	357,18	267,88	357,18	267,88
Apparent Power k(VA)					507,81		551,48		527,97		446,47		446,47	
tanφ					0,75		0,75		0,75		0,75		0,75	
cosφ					0,8		0,8		0,8		0,8		0,8	

Πίνακας 3.18 Ισολογισμός Αεργου Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Διαχείρισης Νερού

Oil Handling Equipment					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation 5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
HFO purifier	440	0,8	0,75	0,80	31,52	23,64	0	0	31,52	23,64	15,76	11,82	15,76	11,82
HFO purifier feed pump	440	0,8	0,75	0,75	6,15	4,61	0	0	6,15	4,61	3,075	2,31	3,075	2,31
HFO transfer pump	440	0,8	0,75	0,85	16,07	12,05	0	0	16,07	12,05	16,07	12,05	16,065	12,049
MDO transfer pump	440	0,8	0,75	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Main GE LO Purifier	440	0,8	0,75	0,80	31,36	23,52	31,36	23,52	15,68	11,76	7,84	5,88	7,84	5,88
Main GE LO purifier feed pump	440	0,8	0,75	0,60	7,2	5,4	7,2	5,4	3,6	2,7	1,8	1,35	1,8	1,35
Stern tube LO pump	440	0,8	0,75	0,95	1,52	1,14	1,52	1,14	1,52	1,14	0	0	0	0
LO transfer pumo	440	0,8	0,75	0,95	3,99	2,99	3,99	2,99	3,99	2,99	0	0	0	0
Incinerator MDO supply pump	440	0,8	0,75	0,80	3,44	2,58	0	0	0	0	0	0	0	0
Total					101,25	75,93	44,07	33,053	78,53	58,89	44,54	33,41	44,54	33,41
Apparent Power k(VA)					126,56		55,09		98,16		55,68		55,68	
tanφ					0,75		0,75		0,75		0,75		0,75	
cosφ					0,8		0,8		0,8		0,8		0,8	

Πίνακας 3.19 Ισολογισμός Αεργου Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Διαχείρισης Πετρελαίου

Boiler Plant					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Aux. boiler F.D. fan	440	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	15,76	11,82	31,52	23,64	31,52	23,64
Aux. boiler F.O. pump	440	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	4,48	3,36	4,48	3,36	4,48	3,36
Aux. boiler feed W. pump	440	0,8	0,75	0,80	19,76	14,82	19,76	14,82	19,76	14,82	19,76	14,82	19,76	14,82
Boiler water circ. Pump	440	0,8	0,75	0,75	9,6	7,2	9,6	7,2	9,6	7,2	9,6	7,2	9,6	7,2
Boiler chemical feed pump	440	0,8	0,75	0,80	0,48	0,36	0,48	0,36	0,48	0,36	0,48	0,36	0,48	0,36
Total					29,84	22,38	29,84	22,38	50,08	37,56	65,84	49,38	65,84	49,38
Apparent Power k(VA)					37,3		37,3		62,6		82,3		82,3	
tanφ					0,75		0,75		0,75		0,75		0,75	
cosφ					0,8		0,8		0,8		0,8		0,8	

Πίνακας 3.20 Ισολογισμός Αεργου Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Ατμολέβητα

Other Equipment in Machinery Space					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation 5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Main air compressor	440	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	48,96	36,72	0	0	0	0
Ditto	440	0,8	0,75	0,80	24,48	18,36	24,48	18,36	0	0	24,48	18,36	24,48	18,36
Control/Service air compressor	440	0,8	0,75	0,80	73,92	55,44	73,92	55,44	73,92	55,44	73,92	55,44	73,92	55,44
Engine room fan	440	0,8	0,75	0,85	205,36	154,02	205,36	154,02	205,36	154,02	102,68	77,01	102,68	77,01
Purifier room exhaust fan	440	0,8	0,75	0,75	12,68	9,51	12,68	9,51	12,68	9,51	12,68	9,51	12,68	9,51
Welding area exhaust fan	440	0,8	0,75	0,30	0,33	0,25	0,33	0,25	0,33	0,25	0,33	0,25	0,33	0,25
MGPS (Marine growth prevention syst	440	1,0	0,00	0,80	0,32	0	0,32	0	0,32	0	0,32	0	0,32	0
Sludge pump	440	0,8	0,75	0,75	5,33	3,99	5,33	3,99	5,33	3,99	5,33	3,99	5,33	3,99
Bilge W. transfer pump	440	0,8	0,75	0,85	2,64	1,98	2,64	1,98	2,64	1,98	2,64	1,98	2,64	1,98
Clean drain pump (ER bilge pump)	440	0,8	0,75	0,80	2,16	1,62	2,16	1,62	2,16	1,62	2,16	1,62	2,16	1,62
Incinerator F.D. fan. etc.	440	0,8	0,75	0,80	24,88	18,66	24,88	18,66	0	0	0	0	0	0
Extracton fan for MG	440	0,8	0,75	0,80	6,88	5,16	6,88	5,16	6,88	5,16	6,88	5,16	6,88	5,16
Extracton fan for GCU	440	0,8	0,75	0,80	2,16	1,62	2,16	1,62	2,16	1,62	2,16	1,62	2,16	1,62
Total					361,13	270,60	361,13	270,60	360,73	270,30	233,57	174,93	233,57	174,93
Apparent Power k(VA)					451,26		451,26		450,76		291,81		291,81	
tanφ					0,74933541		0,74933541		0,749334673		0,748972449		0,748972449	
cosφ					0,800255211		0,800255211		0,800255495		0,800394601		0,800394601	

Πίνακας 3.21 Ισολογισμός Άεργου Ισχύος Διαφόρων Βοηθητικών Μηχανημάτων

Cargo Handling Equipment					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Electric cargo pump	440	0,8	0,75	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	4320,72	3240,54
Cargo stripping/spray pump	440	0,8	0,75	0,85	0	0	0	0	28,31	21,23	0	0	0	0
Hydro power pack	440	0,8	0,75	0,80	0	0	30,24	22,68	0	0	30,24	22,68	30,24	22,68
Em' cy cargo pump	440	0,8	0,75	0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
High duty compressor	440	0,8	0,75	0,90	0	0	0	0	0	0	1884,78	1413,59	0	0
High duty aux. LO pump	440	0,8	0,75	0,90	0	0	0	0	0	0	5,4	4,05	0	0
Low duty compressor	440	0,8	0,75	0,75	0	0	706,8	530,1	706,8	530,1	0	0	0	0
Low duty aux. LO pump	440	0,8	0,75	0,90	0	0	6,84	5,13	6,84	5,13	0	0	0	0
Fuel gas pump	440	0,8	0,75	0,75	0	0	10,13	7,59	0	0	0	0	0	0
Glycol water circ. Pump	440	0,8	0,75	0,80	6,88	5,16	6,88	5,16	6,88	5,16	6,88	5,16	6,88	5,16
Glycol water heater	440	0,8	0,75	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vacuum pump	440	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IG plant blower	440	0,8	0,75	0,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IG plant refrigeant compressor	440	0,8	0,75	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IG plant dryer fan	440	0,8	0,75	0,65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IG plant FO pump	440	0,8	0,75	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IG plant control system	440	0,8	0,75	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrogen generator	440	0,8	0,75	0,80	73,12	54,84	73,12	54,84	73,12	54,84	73,12	54,84	73,12	54,84
Gas detection system	440	0,8	0,75	1,00	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75
GCU combustion air fan	440	0,8	0,75	0,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GCU dilution air fan	440	0,8	0,75	0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GCU cooling & ingitor fan	440	0,8	0,75	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IG plant dryer heater	440	1,0	0,00	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total					81	60,75	835,01	626,25	822,95	617,21	2001,42	1501,07	4431,96	3323,97
Apparent Power k(VA)					101,25		1043,76		1028,68		2501,78		5539,95	
tanφ					0,75		0,75		0,75		0,75		0,75	
cosφ					0,8		0,8		0,8		0,8		0,8	

Πίνακας 3.22 Ισολογισμός Άεργου Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Διαχείρισης Φορτίου

Ship System					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Ballast pump	440	0,8	0,75	0,85	0	0	0	0	0	0	634,61	475,96	634,61	475,96
Valve control hydro p/pack pump	440	0,8	0,75	0,80	7,84	5,88	7,84	5,88	7,84	5,88	7,84	5,88	7,84	5,88
Forward HFO transfer pump	440	0,8	0,75	0,86	16,25	12,19	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilge fire & GS pump	440	0,8	0,75	0,80	77,44	58,08	77,44	58,08	77,44	58,08	77,44	58,08	77,44	58,08
Fire pump	440	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Em'cy fire pump	440	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Water spray pump	440	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jockey pump	440	0,8	0,75	0,80	10	7,5	10	7,5	10	7,5	10	7,5	10	7,5
Total					111,53	83,65	95,28	71,46	95,28	71,46	729,89	547,42	729,89	547,42
Apparent Power k(VA)					139,42		119,1		119,1		912,36		912,36	
tanφ					0,75		0,75		0,75		0,75		0,75	
cosφ					0,8		0,8		0,8		0,8		0,8	

Πίνακας 3.23 Ισολογισμός Άεργου Ισχύος Διαφόρων Συστημάτων Πλοίου

Manoeuvring Equipment					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Streering gear motor	440	0,8	0,75	0,50	0	0	0	0	59,15	44,36	0	0	0	0
Ditto	440	0,8	0,75	0,25	26,88	20,16	26,88	20,16	0	0	0	0	0	0
Bow thruster	6600	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	1842,96	1382,22	0	0	0	0
Thruster hydrooil pump	440	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	5,12	3,84	0	0	0	0
Bow thruster/FWD pump room fan	440	0,8	0,75	0,75	0	0	0	0	4,8	3,6	4,8	3,6	4,8	3,6
Total					26,88	20,16	26,88	20,16	1912,03	1434,02	4,8	3,6	4,8	3,6
Apparent Power k(VA)					33,59		33,59		2390,04		6		6	
tanφ					0,75		0		0,75		0,75		0,75	
cosφ					0,8		0		0,8		0,8		0,8	

Πίνακας 3.24 Ισολογισμός Άεργου Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Ελιγμών

Air Cond. & Ventilation Equipment					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Steering gear room fan	440	0,8	0,75	0,65	4,16	3,12	4,16	3,12	4,16	3,12	0	0	0	0
Bosun store fan	440	0,8	0,75	0,65	5,59	4,19	5,59	4,19	5,59	4,19	5,59	4,19	5,59	4,19
Pipe duct fan	440	0,8	0,75	0,80	10	7,5	10	7,5	10	7,5	10	7,5	10	7,5
Side passage fan	440	0,8	0,75	0,60	20,28	15,21	20,28	15,21	20,28	15,21	20,28	15,21	20,28	15,21
Hospital fan	440	0,8	0,75	0,80	0,32	0,24	0,32	0,24	0,32	0,24	0,32	0,24	0,32	0,24
Cargo compressor room fan	440	0,8	0,75	0,65	21,65	16,23	21,65	16,23	21,65	16,23	21,65	16,23	21,65	16,23
Electric motor room fan	440	0,8	0,75	0,90	5,76	4,32	5,76	4,32	5,76	4,32	5,76	4,32	5,76	4,32
Accom. A/Cond. Compressor	440	0,8	0,75	0,80	153,2	114,9	153,2	114,9	153,2	114,9	153,2	114,9	153,2	114,9
Accom. A/Cond. Fan	440	0,8	0,75	0,80	37,44	28,08	37,44	28,08	37,44	28,08	37,44	28,08	37,44	28,08
ER A/cond. Compressor	440	0,8	0,75	0,80	109,28	81,96	109,28	81,96	109,28	81,96	109,28	81,96	109,28	81,96
Fan unit for ECR	440	0,8	0,75	0,80	0,56	0,42	0,56	0,42	0,56	0,42	0,56	0,42	0,56	0,42
Fan unit for ER workshop	440	0,8	0,75	0,80	3,44	2,58	3,44	2,58	3,44	2,58	3,44	2,58	3,44	2,58
Fan unit for MSB room	440	0,8	0,75	0,80	13,76	10,32	13,76	10,32	13,76	10,32	13,76	10,32	13,76	10,32
Fan unit for CSB room	440	0,8	0,75	0,80	1,28	0,96	1,28	0,96	1,28	0,96	1,28	0,96	1,28	0,96
Fan unit for Converter room	440	0,8	0,75	0,80	4,32	3,24	4,32	3,24	4,32	3,24	4,32	3,24	4,32	3,24
Drying room heater	440	0,8	0,75	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Galley pack. A/Cond. Heater	440	1,0	0,00	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Galley pack. A/Cond. Fan	440	0,8	0,75	1,00	1,9	1,425	1,9	1,43	1,9	1,43	1,9	1,425	1,9	1,43
Gallery pack. A/Cond. Unit	440	0,8	0,75	0,80	6,88	5,16	6,88	5,16	6,88	5,16	6,88	5,16	6,88	5,16
Galley exh. Fan	440	0,8	0,75	0,65	1,24	1	1,24	0,93	1,24	0,93	1,24	0,93	1,24	0,93
Sanitary space fan	440	0,8	0,75	0,55	2,37	1,77	2,37	1,77	2,37	1,77	2,37	1,77	2,365	1,77
Sundry space exhaust fan	440	0,8	0,75	0,80	1,76	1,32	1,76	1,32	1,76	1,32	1,76	1,32	1,76	1,32
Lift machine room fan	440	0,8	0,75	0,80	0,48	0,36	0,48	0,36	0,48	0,36	0,48	0,36	0,48	0,36
CO2 bottle room exh. Fan	440	0,8	0,75	0,80	0,88	0,66	0,88	0,66	0,88	0,66	0,88	0,66	0,88	0
Total					406,54	304,90	406,54	304,90	406,54	304,90	402,38	301,78	402,38	301,12
Apparent Power k(VA)					508,17		508,17		508,17		502,97		502,57	
tanφ					0,75		0,75		0,75		0,75		0,75	
cosφ					0,8		0,8		0,8		0,8		0,8	

Πίνακας 3.25 Ισολογισμός Αεργου Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Ψύξης και Εξαερισμού

Deck Machinery					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Deck machinery hyd. p/pack. Fore	440	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	444,48	333,36	0	0	0	0
Deck machinery hyd. p/pack. aft	440	0,8	0,75	0,80	0	0	0	0	222,24	166,68	0	0	0	0
Total					0	0	0	0	666,72	500,04	0	0	0	0
Apparent Power k(VA)					0		0		833,4		0		0	
tanφ					0		0		0,75		0		0	
cosφ					0		0		0,8		0		0	

Πίνακας 3.26 Ισολογισμός Αεργου Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Καταστρώματος

Miscellaneous Equipment					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Galley & laundry equipment	440	1,0	0,00	0,80	80	0	80	0	80	0	80	0	80	0
Prov. Ref. plant compressor	440	0,8	0,75	0,50	4,3	3,23	4,3	3,23	4,3	3,23	4,3	3,23	4,3	3,23
Elevator	440	0,8	0,75	0,80	6,88	5,16	6,88	5,16	6,88	5,16	6,88	5,16	6,88	5,16
Hot water circ. Pump	440	0,8	0,75	0,60	0,36	0,27	0,36	0,27	0,36	0,27	0,36	0,27	0,36	0,27
F.W. hydrophore pump	440	0,8	0,75	0,80	5,12	3,84	5,12	3,84	5,12	3,84	5,12	3,84	5,12	3,84
Sewage treatment plant	440	0,8	0,75	0,80	2,64	1,98	2,64	1,98	2,64	1,98	2,64	1,98	2,64	1,98
Sewage discharge pump for holding	440	0,8	0,75	0,80	2,4	1,8	2,4	1,8	2,4	1,8	2,4	1,8	2,4	1,8
Total					101,7	16,28	101,7	16,28	101,7	16,28	101,7	16,28	101,7	16,28
Apparent Power k(VA)					102,99		102,99		102,99		102,99		102,99	
tanφ					0,16		0,16		0,16		0,16		0,16	
cosφ					0,99		0,99		0,99		0,99		0,99	

Πίνακας 3.27 Ισολογισμός Αεργου Ισχύος Βοηθητικών Διαφόρων Άλλων Μηχανημάτων

Lighting, Nav & Control Equipment					Operation 1		Operation 2		Operation 3		Operation 4		Operation5	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	SeaGoing(HFO) Laden		SeaGoing (Gas) Laden		Port in/out with Thruster		Cargo Load		Cargo Unload	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Control & navigation equipment	220	1,0	0,00	0,80	20	0	20	0	20	0	0	0	0	0
Ditto	220	1,0	0,00	0,80	0	0	0	0	0	0	20	0	20	0
Electric whistle	220	1,0	0,00	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Em' & navigation lighting	220	1,0	0,00	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Machinery space lighting	220	1,0	0,00	1,00	80	0	80	0	80	0	80	0	80	0
Accommodation lighting	220	1,0	0,00	1,00	30	0	30	0	30	0	0	0	0	0
Ditto	220	1,0	0,00	0,80	0	0	0	0	0	0	24	0	24	0
Deck lighting	220	1,0	0,00	1,00	0	0	0	0	0	0	15	0	15	0
Ditto	220	1,0	0,00	1,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ICCP system	220	1,0	0,00	0,25	7,5	0	7,5	0	7,5	0	7,5	0	7,5	0
Space heater & others	220	1,0	0,00	0,80	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0
Total					141,5	0	141,5	0	141,5	0	150,5	0	150,5	0
Apparent Power k(VA)					141,5		141,5		141,5		150,5		150,5	
tanφ					0		0		0		0		0	
cosφ					1		1		1		1		1	

Πίνακας 3.28 Ισολογισμός Άεργου Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Φωτισμού Ελέγχου και Ναυσιπλοΐας

Emergency					Operation 1		Operation 2	
Item	V	cosφ	tanφ	fs	Emergency Black-out		Emergency Fire	
					Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Operation Power k(W)	Reactive Power k(Var)
Engine room fan	440	0,8	0,75	1,0	60,4	45,3	0	0
Fire pump	440	0,8	0,75	1,0	0	0	81,5	61,13
Em'cy fire pump	440	0,8	0,75	1,0	0	0	60,4	45,3
Steering gear motor	440	0,8	0,75	1,0	107,5	80,625	107,5	80,63
Elevator	440	0,8	0,75	1,0	8,6	6,45	0	0
Control & navigation equip.	220	1,0	0	1,0	25	0	25	0
Electric whistle	220	1,0	0	1,0	5,5	0	5,5	0
Em'cy & navigation lighting	220	1,0	0	1,0	40	0	40	0
Total					247	132,375	319,9	187,05
Apparent Power k(VA)					280,24		370,57	
tanφ					0,54		0,58	
cosφ					0,88		0,86	

Πίνακας 3.19 Ισολογισμός Άεργού Ισχύος Βοηθητικών Μηχανημάτων Εκτάκτου Ανάγκης

FINAL RESULTS	SeaGoing(HFO) Laden			SeaGoing (Gas) Laden			Port in/out with Thruster			Cargo Load			Cargo Unload		
	Operations Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Apparent Power (kVA)	Operations Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Apparent Power (kVA)	Operations Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Apparent Power (kVA)	Operations Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Apparent Power (kVA)	Operations Power k(W)	Reactive Power k(Var)	Apparent Power (kVA)
Grand Total	29193,40	21728,69	36432,10505	29899,00	22257,88	37314,09	10725,82	7878,00	13347,62	4137,85	2930,27	5110,41	6568,39	4752,51	8148,19
tanφ	0,74			0,74			0,73			0,71			0,72		
cosφ	0,80			0,80			0,80			0,81			0,81		

Πίνακας 3.30 Συνολικά Αποτελέσματα Ισολογισμού Άεργου Ισχύος

3.1.3: Επιλογή Κύριων και Γεννήτριας Ανάγκης

Ο αριθμός και οι ισχύεις των γεννητριών θα πρέπει να ικανοποιούν την ακόλουθη απαίτηση: *με μια γεννήτρια εκτός λειτουργίας, πρέπει να είναι δυνατή η τροφοδότηση όλων των μηχανημάτων, που είναι απαραίτητα για την ασφάλεια και πρόωση του πλοίου και τη διατήρηση του φορτίου σε καλή κατάσταση.*

Με βάση τα αποτελέσματα του ισολογισμού, επιλέγονται γεννήτριες ώστε να είναι ικανές να καλύψουν το ηλεκτρικό φορτίο κανονικής πορείας με καύσιμο φυσικό αέριο, που είναι και η δυσμενέστερη κατάσταση κινήσεως του πλοίου από πλευράς ηλεκτρικού φορτίου. Άρα κάθε μια γεννήτρια θα πρέπει υπό φόρτιση 85%-90% να τροφοδοτεί τα 29,899.00 kW, επειδή όμως το ηλεκτρικό φορτίο είναι αρκετά μεγάλο πρέπει να επιλεγθεί ένα πλήθος γεννητριών που στο σύνολό τους θα μπορούν να ικανοποιήσουν το φορτίο.

Στις υπόλοιπες διακριτές καταστάσεις λειτουργίας την ικανοποίηση του ηλεκτρικού φορτίου θα την κάνουν μία ή δύο εκ των παραπάνω γεννητριών που επιλέχθηκαν για την δυσμενέστερη κατάσταση.

Στην περίπτωση της εκτάκτου ανάγκης επιλέγεται μια γεννήτρια ξεχωριστά μόνο για την συγκεκριμένη κατάσταση λειτουργίας όπου εδώ ο συντελεστής φόρτισης είναι 0.8 και ο συντελεστής λειτουργίας είναι 1, δηλαδή τα ηλεκτρικά φορτία λειτουργούν όλο το 24ώρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Συμπεράσματα

4.1 Συμπεράσματα

Κατά την υλοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, που σκοπό είχε τον κατά το δυνατόν πλήρη και αναλυτικό ηλεκτρολογικό ισολογισμό ενεργού και άεργου ισχύος σε πλοίο μεταφοράς φυσικού αερίου, έγινε μια προσπάθεια να επιτευχθούν τα παρακάτω:

Σωστή διαστασιολόγηση των γεννητριών, μέσω του ηλεκτρικού ισολογισμού και του εκτεταμένου ηλεκτρικού ισολογισμού αλλά και θεωρώντας ότι οι γεννήτριες θα πρέπει να λειτουργούν σε φόρτιση 85-90% όταν πρόκειται να καλύψουν το μέγιστο ηλεκτρικό φορτίο του πλοίου, δηλαδή την δυσμενέστερη κατάσταση από τις πέντε διακριτές λειτουργίες του πλοίου. Υπό τέτοια φόρτιση οι γεννήτριες παρουσιάζουν μέγιστο βαθμό απόδοσης, το οποίο αυτομάτως σημαίνει μείωση των ρύπων του περιβάλλοντος αλλά και λιγότερη ανάγκη συντήρησης της μηχανής.

- Υποδιαστασιολόγηση των στοιχείων στην προηγούμενη παράγραφο θα μπορούσε να οδηγήσει το πλοίο σε μια κατάσταση επικίνδυνη (καταστροφή ηλεκτρικού εξοπλισμού, μη επαρκής ισχύς παροχής των ουσιωδών καταναλωτών) για την ασφάλειά του αλλά και των επιβαινόντων.
- Υπερδιαστασιολόγηση είναι μεν από την ασφαλή πλευρά ωστόσο αυξάνει τους ρύπους στο περιβάλλον, τον όγκο του ηλεκτρικού εξοπλισμού στο πλοίο, το συνολικό βάρος του πλοίου αλλά και το κόστος της συνολικής εγκατάστασης.

Συμπερασματικά, ο συντελεστής ισχύος που υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη μερική φόρτιση, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη άεργο ισχύ σε σχέση με παρόμοια μελέτη που θεωρεί σταθερό συντελεστή ισχύος 0,8 για επαγωγικούς κινητήρες και 1 για φωτισμό (πλήρη φόρτιση). Στην συγκεκριμένη μελέτη θεωρήθηκε σταθερός συντελεστής ισχύος. Η υψηλότερη άεργος ισχύς δηλαδή μεγάλη διαφορά του συντελεστή ισχύος της γεννήτριας με το σταθερό συντελεστή μπορεί να οδηγήσει και στην αστάθεια των γεννητριών.

Επίσης το πλοίο στο οποίο μελετήθηκε ο ισολογισμός είναι ένα πραγματικό πλοίο. Ο ηλεκτρικός ισολογισμός έχει πραγματοποιηθεί κατά την ηλεκτρολογική μελέτη του πλοίου και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1. Οι διαφορές που προκύπτουν από τους δύο ισολογισμούς αναφέρονται στον πίνακα 4.2. σε μορφή ποσοστού.

Operational Condition	SeaGoing(HFO) Laden	SeaGoing(Gas) Laden	Port in/out with Thruster	Cargo Load	Cargo Unload
Total Load	28939.7 kW	29648.1 kW	9841.2 kW	3919.8kW	6329.2 kW

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα Ηλεκτρικού Ισολογισμού Ναυπηγείου

Operational Condition	SeaGoing(HFO) Laden	SeaGoing(Gas) Laden	Port in/out with Thruster	Cargo Load	Cargo Unload
Total Load	0,88%	0,84%	8,25%	-15,02%	3,64%

Πίνακας 4.2 Διαφορά σε ποσοστό μεταξύ ηλεκτρικού ισολογισμού πτυχιακής εργασίας και ηλεκτρικού ισολογισμού ναυπηγείου

Παρατηρούμε ο ηλεκτρικός ισολογισμός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας έχει αυξηθεί στις τέσσερις διακριτές καταστάσεις του πλοίου : SeaGoing(HFO) Laden, SeaGoing(Gas) Laden, Port in/out with Thruster, Cargo Unload ενώ η μόνη λειτουργία του πλοίου όπου έχει μειωθεί ο ισολογισμός είναι : Cargo Load.

4.2 Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη

Με την ολοκλήρωση της εργασίας, προέκυψαν τα παρακάτω θέματα τα οποία θα μπορούσαν να μελετηθούν σε μελλοντικές εργασίες:

- Μελέτη για μείωση απωλειών στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, σε σύγκριση με το μηχανικό σύστημα. Π.χ., σε συμβατικό σύστημα κινητήρα - 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 ντίζελ-ηλεκτρικής πρόωσης, το σύστημα μετάδοσης προκαλεί απώλειες 7 - 8%: 3% στις γεννήτριες, 2% στους μετασχηματιστές και μετατροπείς συχνότητας και 2 - 3% στους προωστήριους ηλεκτροκινητήρες. Άρα οι απώλειες είναι περισσότερες σε ένα πλοίο με ηλεκτροπρόωση σε σχέση με ένα συμβατό πλοίο με ντίζελ κινητήρες.
- Μελέτη μείωσης άεργου ισχύος που κυκλοφορεί μέσα στο ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου, καθώς επίσης εύρεση νέων συστημάτων αντιστάθμισης άεργου ισχύος με χαμηλό κόστος. Επίσης τρόπους ώστε στην ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της συστοιχίας πυκνωτών κατά την αντιστάθμιση να έχουμε όσων το δυνατόν λιγότερη αρμονική παραμόρφωση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Επεξήγηση εννοιών

Diesel Generators	Γεννήτρια Ντίζελ
Shaft Generators	Αξονικές Γεννήτριες
Turbo Generators	Στρόβιλο Γεννήτριες
Stand by	Εφεδρεία
POD	Αξιμουθιακό Σύστημα
Prime Movers	Κινητήριες Μηχανές
Thrusters	Κινητήρες Βοηθητικής Πρόωσης
P Operations	Ισχύς Λειτουργίας
Continuous Operations	Συνεχής Λειτουργίας
Periodical Operations	Περιοδική Λειτουργία
Temporary Operations	Προσωρινή Λειτουργία
Sea going	Εν Πλω
In Port	Εν Ορμώ
Maneuvering	Κατάσταση Χειρισμών
Cargo Handling	Διαχείριση Φορτίου
Ballasting – Deballasting	Ερματισμός - Αφερματισμός
Ballast exchange at sea	Εναλλαγή Έρματος
HFO-Heavy Fuel Oil	Αργό πετρέλαιο
Gas	Φυσικό Αέριο
SeaGoing(HFO) Laden	Κίνηση Πλοίου με Αργό Πετρέλαιο
SeaGoing(Gas) Laden	Κίνηση Πλοίου με Φυσικό Αέριο
Port in/out with Thruster	Εισαγωγή στο λιμάνι με/χωρίς Βοηθητικούς Κινητήρες
Cargo Load	Φόρτωση Φορτίου
Cargo Unload	Εκφόρτωση Φορτίου
Emergency	Κατάσταση Ανάγκης

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σοφράς Δ. Ηλίας , ‘*Σημειώσεις Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Πλοίων*’, Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. , Αθήνα 2017
- [2] Σοφράς Δ. Ηλίας , ‘*Παρουσιάσεις Μαθήματος Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Πλοίων*’, Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. , Αθήνα 2017
- [3] Rolls – Royce, <http://www.rolls-royce.com>
- [4] Χατζηλάου Ι.Κ. , Προυσαλίδης Ι.Μ. , Αντωνόπουλος Γ , Γύπαρης Ι.Κ., Βαλλιανάτος Π., ‘*Εξελίξεις στην ηλεκτροπρόωση πλοίων και ανασκόπηση ζητημάτων σχεδιασμού στο πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο*’, Αθήνα 2009
- [5] Jose Matias, ‘*Reactive Power Compensation ABB*’ Chile 2013
- [6] Προυσαλίδης Ι.Μ. , Αντωνόπουλος Γ. , Μουζάκης Π. , Σοφράς Η. ‘*Επιλύοντας τα προβλήματα της άεργου ισχύος στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας πλοίων*’, Ε.Μ.Π. Αθήνα 2013
- [7] SOLAS, Consolidated edition 2009, IMO
- [8] GL Rules and Guidelines, I- Part 1, Chapter 3, GL 2010
- [9] Χατζηλάου Ι.Κ, Γύπαρης Ι.Κ. (2001): ‘*Ηλεκτροπρόωση Πολεμικών Πλοίων*’, Μονογραφία ΣΝΔ, Πειραιάς, Μάρτιος.
- [10] Χατζηλάου Ι.Κ, Γαλάνης Γ. , Περτζινίδης Ν. (2006): ‘*Συστήματα ηλεκτροπρόωσης υποβρυχίων του Π.Ν.*’, Διήμερο ΤΕΕ : «Ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα» 12-13 Ιανουαρίου 2006.
- [11] Φραγκόπουλος Χ. , Προυσαλίδης Ι.Μ. , ‘*Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Τεύχος Α*’, Ηλεκτρολογικές Εγκαταστάσεις, Εισαγωγή στον Αυτοματισμό’, ΕΜΠ, Αθήνα 2005