



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος

**Μελέτη Μεταβατικών Καταστάσεων Λειτουργίας
Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας Πλοίου**

Διπλωματική Εργασία
Παλουμπής Χ. Γεώργιος

Επιβλέπων Καθηγητής : Γεώργιος Κορρές

Αν.Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από τη τριμελή εξεταστική επιτροπή την 21^η Ιουλίου 2011 .

.....

Γ. Κορρές

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Ι.Προυσαλίδης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Α.Κλαδάς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα , Ιούλιος 2011

Αθήνα , Ιούλιος 2011

.....

Γεώργιος Χ. Παλουμπής

Copyright © Γεώργιος Χ. Παλουμπής 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό . Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα . Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα .

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου .

Αντί προλόγου θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους
ακόλουθους :

- εταιρεία ΑΤΤΙCΑ Group για το υλικό που μου πρόσφερε
- το πλήρωμα του πλοίου Superfast XII για τη φιλοξενία του
- το Καθηγήτη της σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Ιωάννη Προυσαλίδη για τη πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια του

Γεώργιος Χ. Παλουμπής

Περίληψη

Ο πρωταρχικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί η μελέτη και αξιολόγηση της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης ενός πραγματικού πλοίου. Για την εκπόνηση της εργασίας λήφθηκαν μετρήσεις, φωτογραφίες και δεδομένα από το υπό μελέτη πλοίο και η αξιολόγηση του έγινε τόσο με κλασσικές μεθόδους όσο και με τη βοήθεια του λογισμικού PSS/E.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ιδιαιτερότητες που έχουν τα ηλεκτρικά δίκτυα των πλοίων, επίσης γίνεται μια παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας των αξονικών γεννητριών αλλά και των πλεονεκτημάτων - μειονεκτημάτων τους. Τέλος γίνεται μια γενική παρουσίαση της δομής του Συστημάτος Ηλεκτρικής Ενέργειας των πλοίων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση του συγκεκριμένου συστήματος αξονικών γεννητριών και του ηλεκτρικού δικτύου του υπό μελέτη πλοίου . Στη συνέχεια εξηγείται ο λόγος αποφυγής παραλληλισμού των αξονικών γεννητριών του πλοίου με τις νηζελογεννήτριες και τέλος γίνεται αξιολόγηση των καλωδίων του κύριου πίνακα .

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται και σχολιάζεται ο ηλεκτρικός ισολογισμός του πλοίου , ενώ στη συνέχεια παρατίθενται οι διακριτές καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου. Τέλος, παρατίθενται οι μετρήσεις που λήφθηκαν από το πλοίο και γίνεται σύγκρισή τους με τον ηλεκτρικό ισολογισμό.

Στο τέταρτο κεφάλαιο επιλέγονται ορισμένα χαρακτηριστικά σενάρια λειτουργίας από το κεφάλαιο τρία. Για κάθε ένα από τα σενάρια αυτά υλοποιείται και σχολιάζεται μια προσομοίωση ροής φορτίου στο πρόγραμμα PSS/E.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένες ιδιαιτερότητες για τις μελέτες βραχυκυκλωμάτων σε πλοία, με βάση τα διεθνή πρότυπα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία προσομοίωσης βραχυκυκλώματος με το πρόγραμμα PSS/E και τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις βραχυκυκλωμάτων στο PSS/E συγκρινόμενα με τη δοσμένη μελέτη βραχυκυκλωμάτων.

Στο έκτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα από τη παρούσα διπλωματική εργασία και οι προτάσεις για περαιτέρω μελέτη.

Abstract

The scope of this thesis is to study and evaluate the power system of a new-built Ro-Ro ship. For that purpose, we took measurements of the consumed power and voltage, we also took data and photographs from the ship's electrical installation. The evaluation of the ship's power system was made not only with classical methods but also with the use of PSS/E software.

In the first chapter, there is a general presentation of the particularities that a shipboard installation has. There is also a presentation of the advantages and disadvantages of shaft generators, and a general overview of a ship's electric energy system.

In the second chapter, there is a presentation of the shaft generator system and the electric energy system that the ship of study has. Moreover it is explained why the personnel of this ship avoids to use in parallel operation shaft generators and diesel generators. The last topic of this chapter is a size evaluation of the Main Switchboard's cables.

In the third chapter, we present the electric load balance of this specific ship, and then we give the discrete situations that the ship's electric energy system has. At the end of this chapter, we present our measurements and we try to compare and evaluate them with the electric load balance.

In the fourth chapter, we make a selection of the most usual scenarios of the ship's electric energy system from chapter three. For every of these scenarios we create a load flow simulation using PSS/E software and we evaluate these load flow simulations.

In the fifth chapter, we present certain particularities of the Short-Circuit studies in ships, according to the International Standards. The next step is a presentation of the process of the Short-Circuit simulation using PSS/E program. We finally present and evaluate the results of the Short-Circuit simulations.

In the last chapter, we present the conclusions of this thesis and some proposals for further study.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Περιεχόμενα.....	6
ΜΕΡΟΣ Α' :	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
1.1 Εισαγωγή.....	9
1.2 Ιδιαιτερότητες της ηλεκτρικής εγκατάστασης πλοίου.....	10
1.3 Αξονικές Γεννήτριες.....	12
1.3.1 Γενικά περί αξονικών γεννητριών.....	12
1.3.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα αξονικών γεννητριών.....	13
1.4 Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας πλοίου.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
2.1 Συνοπτική περιγραφή του συστήματος αξονικών γεννητριών για το υπό μελέτη πλοίο.....	19
2.2 Παρουσίαση του ηλεκτρικού δικτύου του υπό μελέτη πλοίου.....	23
2.3 Αποφυγή παραλληλισμού αξονικών γεννητριών και ντηζελογεννητριών.....	30
2.4 Αξιολόγηση καλωδιώσεων κύριου πίνακα.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
3.1 Ηλεκτρικός ισολογισμός του υπό μελέτη πλοίου	39
3.2 Καταστάσεις λειτουργίας ΣΗΕ του υπό μελέτη πλοίου.....	42

3.3	Μέτρηση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικές καταστάσεις του πλοίου.....	47
3.4	Σύγκριση μετρήσεων με ηλεκτρικό ισολογισμό και σχολιασμός.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4		
4.1	Μοντελοποίηση ηλεκτρικών δικτύων με το PSS/E.....	53
4.1.1	Απαιτήσεις για τη μοντελοποίηση ηλεκτρικών δικτύων.....	53
4.1.2	Το πρόγραμμα PSS/E.....	54
4.1.3	Η δομή του PSS/E.....	55
4.2	Μοντελοποίηση καταστάσεων λειτουργίας ΣΗΕ πλοίου.....	56
4.2.1	Προσομοίωση κατάστασης Λιμανιού (Α1).....	59
4.2.2	Προσομοίωση κατάστασης εν πλω (Γ3).....	62
4.2.3	Προσομοίωση κατάστασης ελιγμών μόνο με χρήση ντηζελογεννητριών.....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		
5.1	Το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου κατά το βραχυκύκλωμα.....	67
5.2	Πραγματοποίηση προσομοίωσης βραχυκυκλώματος στο PSS/E.....	68
5.3	Υπολογισμός ρευμάτων βραχυκύκλωσης για το υπό μελέτη πλοίο.....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6		
6.1	Συμπεράσματα.....	78
6.2	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	79
	Βιβλιογραφία.....	81

ΜΕΡΟΣ Β' :

Παράρτημα Α	Βασικά δεδομένα ΣΗΕ πλοίου και μετατροπή στο ανά μονάδα μέγεθος.....	81
Παράρτημα Β	Ηλεκτρικός Ισολογισμός.....	97
Παράρτημα Γ	Αρχεία ανάγνωσης δεδομένων του προγράμματος PSS/E για τα σενάρια που προσομοιώθηκαν.....	117
Παράρτημα Δ	Μελέτη Βραχυκυκλωμάτων του υπό μελέτη πλοίου.....	135
Παράρτημα Ε	Λεπτομέρειες του ΡΤΟ εξαρτήματος.....	143

Σχέδιο Α Κάτοψη Μηχανοστασίου

Σχέδιο Β Πλάγια όψη πλοίου

Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με το ηλεκτρολογικό σύστημα ενός σύγχρονου πλοίου, τύπου RoRo -Trailer - Passenger, ηλικίας περίπου 10 ετών, ναυπηγημένο στη Γερμανία.

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

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

Η φόρτωση και εκφόρτωση αυτών των πλοίων είναι ταχύτατη ενώ υπολογίζεται ότι ο χρόνος φορτοεκφόρτωσης που απαιτείται γι αυτά τα πλοία είναι το 1/6 εκείνου που απαιτείται για τα πλοία εμπορευματοκιβωτίων (container-ships).

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

1.2 Ιδιαιτερότητες της Ηλεκτρικής Εγκατάστασης Πλοίου

Το ηλεκτρικό δίκτυο ενός πλοίου μπορεί να μελετηθεί σαν ένα μικρής κλίμακας αυτόνομο , συμπυκνωμένο , βιομηχανικού τύπου ηλεκτρικό σύστημα.

Γενικά υπάρχουν αρκετές διαφορές [1.] μεταξύ ενός συμβατικού ηπειρωτικού δικτύου και ενός ηλεκτρικού δικτύου πλοίου , οι σημαντικότερες εκ των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω :

- Η φύση του ηλεκτρικού συστήματος ενός πλοίου είναι αρκετά υβριδική καθώς συνδυάζει υποσυστήματα συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος που λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα τάσης και συχνότητας.
- Αναφορικά με τις κύριες μηχανές , η σχετική περιστροφική τους αδράνεια αναφορικά με τη ζήτηση ηλεκτρικού φορτίου είναι σχετικά μικρή . Ωστόσο, η συχνότητα λειτουργίας των 50 με 60 Hz ελέγχεται από ταχύτατους ρυθμιστές , καθώς οι χρονικές σταθερές των κύριων μηχανών (συχνά 4χρονες μηχανές diesel) είναι μικρές.
- Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανά μονάδα όγκου είναι αρκετά μεγάλη ειδικά στις εφαρμογές ηλεκτρικής πρόωσης . Η εγκατεστημένη ισχύς μπορεί να κυμαίνεται από 40 ως 80 MVA σε μια περιοχή μερικών δεκάδων τετραγωνικών μέτρων.
- Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας χρησιμοποιείται από ηλεκτρικούς κινητήρες , οι οποίοι είτε λειτουργούν για τη πρόωση του πλοίου είτε σαν οδηγοί βοηθητικών μηχανών. Επιπλέον , εκτός από τους ηλεκτρικούς κινητήρες που αποτελούν δυναμικά φορτία υπάρχει σημαντικός αριθμός μη γραμμικών φορτίων με μη συμβατική συμπεριφορά για παράδειγμα τα συστήματα ναυσιπλοίας.
- Το ηλεκτρικό δίκτυο αποτελείται από καλώδια σχετικά μικρού μήκους (συνήθως κυμαίνεται από 50m ως 1000m).
- Η υιοθέτηση μονωμένου ουδέτερου (δηλαδή αγείωτα συστήματα) αποτελεί συνήθη πρακτική . Γεννήτριες, Κινητήρες, και τα τυλίγματα μετασχηματιστών διανομής είναι είτε σε μορφή αγείωτου αστέρα είτε σε μορφή τριγώνου, σε αντίθεση με τη πλειοψηφία των ηπειρωτικών δικτύων που είναι γειωμένα είτε απευθείας είτε μέσω αντιστάσεων .
- Το ηλεκτρικό σύστημα είναι πλήρως αυτόνομο, και γι αυτό η αξιοπιστία του είναι υψηλής προτεραιότητας. Η μόνη διαθέσιμη εφεδρική ισχύς προέρχεται

από τη γεννήτρια έκτακτης ανάγκης, η οποία τροφοδοτεί μόνο λίγα κρίσιμα, για την ασφάλεια του πλοίου φορτία.

- Ένας σημαντικός αριθμός ηλεκτρονικών συσκευών πάνω στο πλοίο (όπως συστήματα αυτοματισμών, ελεγκτές, συστήματα ναυσιπλοΐας) είναι ευαίσθητα στην ποιότητα ηλεκτρικής ισχύος και προβλήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών προκαλούμενα από την εκτεταμένη χρήση ηλεκτρονικών ισχύος. Γι' αυτό τα προβλήματα ηλεκτρικής ισχύος είναι εξαιρετικά μεγάλης σημασίας και πρέπει να αναλύονται διεξοδικά.
- Αναφερόμενοι στους υπολογισμούς βραχυκυκλωμάτων όπως στο IEC-61363 [11-12], οι γεννήτριες θεωρούνται κοντά στα σφάλματα, οδηγώντας σε σχετικά μεγάλα ρεύματα σφάλματος. Συνεπώς, οι πτώσεις τάσης λόγω βραχυκυκλωμάτων αναμένεται να είναι πιο σοβαρές.
- Τα προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος στο πλοίο είναι διαφορετικής σημασίας συγκρινόμενα με τα ίδια προβλήματα που συμβαίνουν στο ηπειρωτικό δίκτυο. Στη ξηρά, τα προβλήματα ηλεκτρικής ισχύος εκτός από το γεγονός ότι οδηγούν σε μια προβληματική παραγωγική διαδικασία, είναι δυνατόν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη τιμολογιακή σχέση μεταξύ του παρόχου και των πελατών, κάτι το οποίο δεν έχει νόημα εν πλώ, όπου το πιο σημαντικό ζήτημα είναι η αδιάλειπτη λειτουργία του συστήματος. Μια πιθανή δυσλειτουργία σε ένα κρίσιμο φορτίο ίσως οδηγήσει σε μια ολική απώλεια του πλοίου, οδηγώντας σε πιθανές ανθρώπινες απώλειες αλλά και περιβαλλοντική μόλυνση.

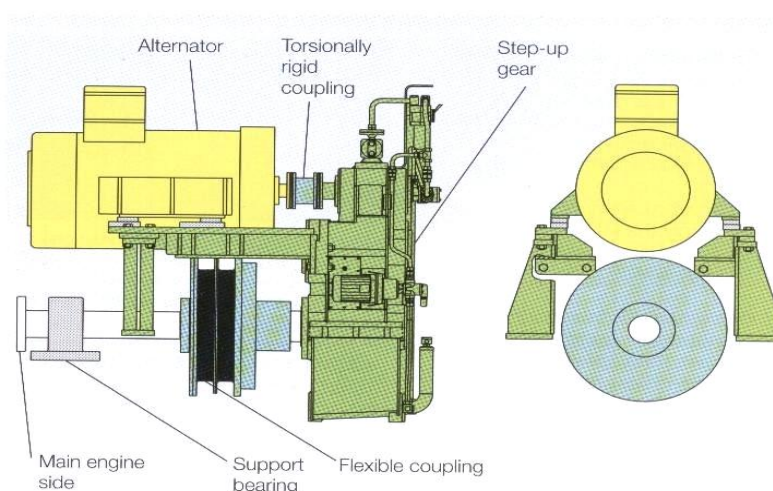
1.3 Αξονικές Γεννήτριες

1.3.1 Γενικά περί Αξονικών Γεννητριών

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 η χρήση αξονικών γεννητριών σε συνδυασμό με δίχρονες κύριες μηχανές diesel αποτέλεσε την πιο συνηθισμένη πρακτική για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία.

Την περίοδο εκείνη, οι περισσότερες νηζελογεννήτριες ήταν αδύνατον να λειτουργήσουν με βαρύ πετρέλαιο. Ακόμα όμως και εκείνες που έκαιγαν βαρύ πετρέλαιο ήταν οικονομικά ασύμφωρες, γιατί η τιμή του πετρελαίου τότε ήταν πολύ υψηλή. Για τους παραπάνω λοιπόν λόγους η χρήση των αξονικών γεννητριών ήταν και είναι συνώνυμο της οικονομικής παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Γενικά η διάταξη μιας αξονικής γεννήτριας αποτελείται από ένα γρναζοκιβώτιο ΡΤΟ (Power Take ON) το οποίο μπορεί να συνδεθεί με διαφόρους τρόπους στο άξονα της κύριας προωστήριας μηχανής. Αυτό το γρναζοκιβώτιο παίρνει κίνηση από την κύρια μηχανή και τη διοχετεύει σε ένα εναλλακτήρα για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Καθώς η κύρια μηχανή περιστρέφεται με μεταβλητή ταχύτητα, η συχνότητα εξόδου της Αξονικής Γεννήτριας δεν είναι σταθερή. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπισθεί με διάφορες μεθόδους, όπως μια σύνδεση DC ή κάποιο πολύπλοκο μειωτήρα στροφών. Ενδεικτικά παρουσιάζεται παρακάτω μια διάταξη αξονικής γεννήτριας [2.].



Σχήμα 1 - PTO BW II/GCR [2.]

Υπάρχουν διάφορα μοντέλα αξονικών γεννητριών ανάλογα με τη μορφολογία της όλης διάταξης τη διάταξη των ηλεκτρονικών ισχύος αν χρησιμοποιούνται και τις δυνατότητες του κιβωτίου ταχυτήτων. Ενδεικτικά στο σχήμα 2 παρατίθενται οι τύποι αξονικών γεννητριών της εταιρείας MAN-BW [2.].

	Alternative types and layouts of shaft generators	Design	Seating	Total efficiency (%)
PTO/GCR	1	BW I/GCR	On engine (vertical generator)	92
	2	BW II/GCR	On tanktop	92
	3	BW III/GCR	On engine	92
	4	BW IV/GCR	On tanktop	92
PTO/RCF	5a 5b	BW I/RCF	On engine (vertical generator)	88-91
	6a 6b	BW II/RCF	On tanktop (vertical generator)	88-91
	7a 7b	BW III/RCF	On engine	88-91
	8a 8b	BW IV/RCF	On tanktop	88-91
PTO/CFE	9a 9b	BW I/CFE	On engine (vertical generator)	81-85
	10a 10b	BW II/CFE	On tanktop	81-85
	11a 11b	BW III/CFE	On engine	81-85
	12a 12b	BW IV/CFE	On tanktop	81-85
	13a 13b	DMG/CFE	On engine	84-88
	14a 14b	SMG/CFE	On tanktop	84-88

Σχήμα 2 - διατάξεις αξονικών γεννητριών της εταιρείας MAN [2.]

1.3.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα αξονικών γεννητριών

Πλεονεκτήματα

- Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κυρίως από καύσιμα φθνότερα από το πετρέλαιο, όπως για παράδειγμα βαρύ μαζούτ ή φυσικό αέριο. Και στις δύο περιπτώσεις, μια αξονική γεννήτρια μπορεί να παραλληλιστεί με την κύρια προωστήρια μηχανή.

- Οι απαιτήσεις των αξονικών γεννητριών σε όγκο είναι σχετικά μικρές και μπορούν να εγκατασταθούν εύκολα στο μηχανοστάσιο.
- Έχουν σχετικά χαμηλό κόστος επένδυσης αναφορικά με τους παράγοντες εγκατάσταση, λειτουργία και συντήρηση.
- Υψηλή αξιοπιστία και μεγάλος κύκλος ζωής λόγω των αξιόπιστων ηλεκτρικών εξαρτημάτων των αξονικών γεννητριών.
- Το επίπεδο θορύβου των αξονικών γεννητριών είναι αποδεδειγμένα χαμηλότερο από συμβατικά συστήματα γεννητριών.

Μειονεκτήματα

- Στις παλαιότερες εφαρμογές οι αξονικές γεννήτριες δεν μπορούσαν να λειτουργήσουν στο λιμάνι. Ωστόσο, σήμερα η προπέλα μπορεί εύκολα να αποσυμπλεχθεί από τη κύρια προωστήρια μηχανή επιτρέποντας τη λειτουργία των αξονικών γεννητριών.
- Η λειτουργία των αξονικών γεννητριών απαιτεί επιπρόσθετο φορτίο στην κύρια μηχανή, το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά την επιλογή του συστήματος πρόωσης. Αυτό το επιπρόσθετο κόστος αντισταθμίζεται εύκολα από τη χαμηλή συχνότητα συντήρησης και από το χαμηλό κόστος παραγωγής ενέργειας σε αντίθεση με τις συμβατικές γεννήτριες diesel.
- Η απαίτηση για σταθερή ηλεκτρική συχνότητα έχει επιλυθεί από τα ηλεκτρονικά ισχύος της DC σύνδεσης. Επιπλέον λόγω των ηλεκτρονικών ισχύος η αξονική γεννήτρια μπορεί να διορθώσει τη συχνότητα παρά τις αλλαγές στο φορτίο ενεργώντας σαν άπειρος ζυγός. Η μετατροπή AC/DC/AC στη σύνδεση DC προκαλεί προβλήματα αρμονικών σε ολόκληρο το ηλεκτρικό σύστημα, όπως για παράδειγμα αρμονική παραμόρφωση στις κυματομορφές της τάσης και του ρεύματος και αυξημένες άεργες απώλειες. Ωστόσο, όπως σε όλες τις εφαρμογές ηλεκτρονικών ισχύος αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί χρησιμοποιώντας μεθόδους που βελτιώνουν το αρμονικό περιεχόμενο, όπως για παράδειγμα εγκαθιστώντας φίλτρα αρμονικών, εφαρμόζοντας εξελιγμένες διακοπτικές τεχνικές ή χρησιμοποιώντας τοπολογίες ηλεκτρονικών ισχύος που δε προκαλούν πολλές αρμονικές.

1.4 Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Πλοίου

Η λειτουργία ενός δικτύου διανομής πλοίου [3.] είναι να μεταφέρει με ασφάλεια την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε κάθε καταναλωτή συνδεδεμένο με αυτό . Το πιο σημαντικό στοιχείο στο σύστημα είναι το κύριο κέντρο διανομής ή ο κύριος πίνακας του πλοίου. Ο κύριος πίνακας τροφοδοτεί με μεγάλες ποσότητες ισχύος τους ομαδοποιημένους πίνακες εκκίνησης κινητήρων, τους πίνακες καταστρωμάτων και τους πίνακες διανομής.

Συσκευές προστασίας όπως διακόπτες και ασφάλειες είναι στρατηγικά τοποθετημένα στο σύστημα και αποσυνδέουν αυτόματα ένα βραχυκυκλωμένο τμήμα του δικτύου. Οι μετασχηματιστές διασυνδέουν τα σημεία υψηλής με τα σημεία χαμηλής τάσης στο σύστημα.

Η επιχειρησιακή κατάσταση του δικτύου διανομής περιγράφεται από καταγραφείς ισχύος, τάσης, ρεύματος και από διακόπτες προστασίας για υπερέυματα και σφάλματα γης σε κάθε κύριο κέντρο ελέγχου.

Επιπλέον, τα περισσότερα πλοία διαθέτουν δίκτυο διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος, και όχι συνεχούς ρεύματος. Αυτό συμβαίνει διότι το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος είναι φθηνότερο στην εγκατάσταση και λειτουργία από ένα δίκτυο συνεχούς ρεύματος. Επιπρόσθετα προσφέρει υψηλότερο λόγο ισχύος προς βάρος για τη παραγωγή, διανομή και χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Απλοί μετασχηματιστές αποδοτικά υποβιβάζουν ή ανυψώνουν την τάση όπου είναι αναγκαίο. Το τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα εύκολα μετατρέπεται σε περιστροφική μηχανική ισχύ με απλές και αποδοτικές μηχανές επαγωγής.

Το δίκτυο διανομής ενός πλοίου γενικά ακολουθεί τις πρακτικές της ξηράς. Αυτό δίνει τη δυνατότητα κανονικός βιομηχανικός εξοπλισμός να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πλοίο αφού προηγουμένως προσαρμοστεί, όπου απαιτείται, να αντέχει τις δύσκολες συνθήκες της θάλασσας.

Ενδεικτικά θα πρέπει να αντέχει :

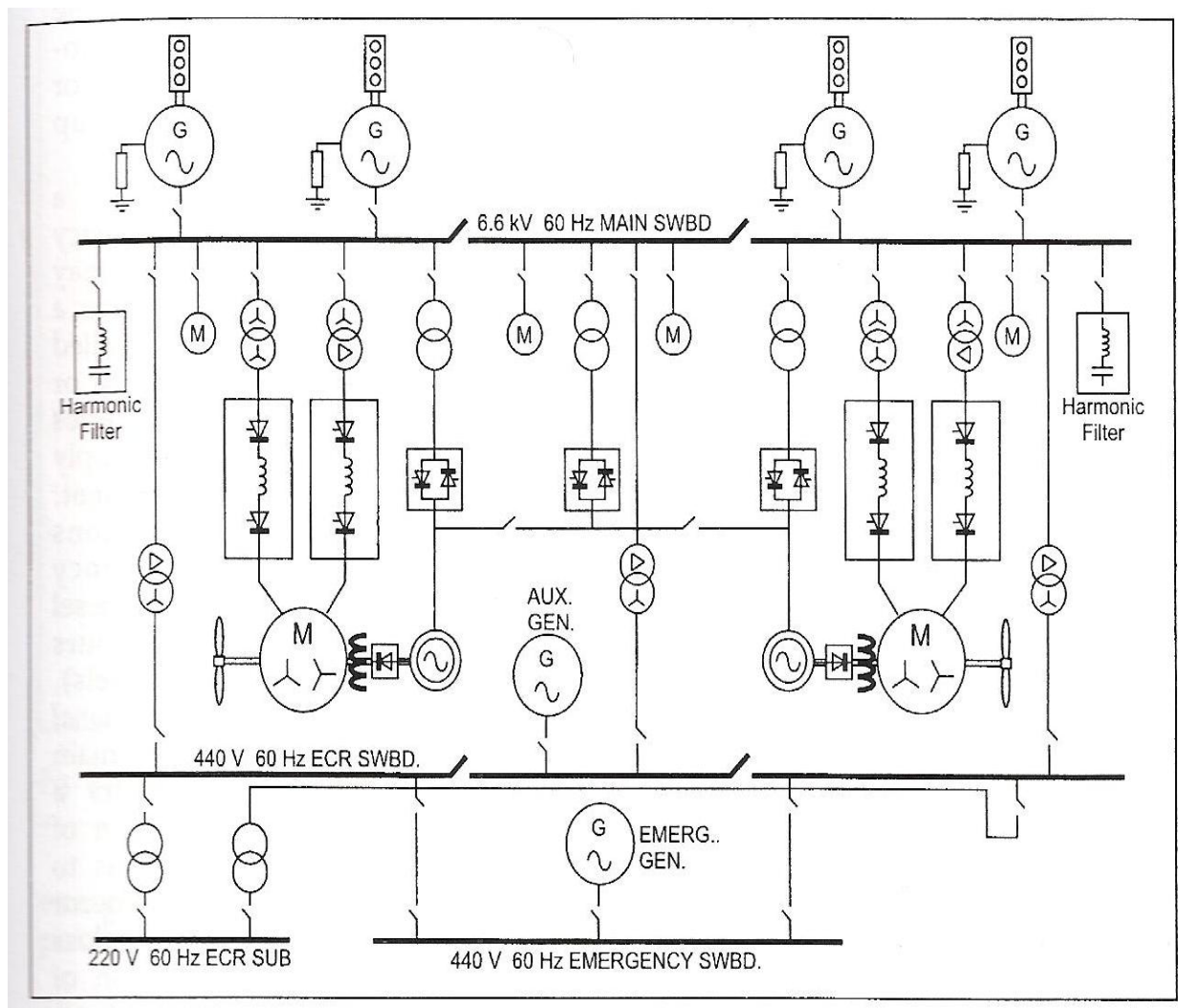
- Τους κραδασμούς
- Την υγρασία
- Την υψηλή θερμοκρασία
- Την παρουσία όζοντος
- Το θαλασσινό νερό κλπ..

Τα περισσότερα πλοία διαθέτουν τριφασικό δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος, 3 αγωγών, τάσης 440 V με μονωμένο ουδέτερο. Αυτό σημαίνει ότι το ουδέτερο σημείο σε μια γεννήτρια συνδεσμολογίας αστέρα δεν είναι γειωμένο στο κύτος του πλοίου. Σε πλοία της ηπειρωτικής Ευρώπης τριφασικά συστήματα των 380 V είναι επίσης συνηθισμένα.

Πλοία με πολύ μεγάλα ηλεκτρικά φορτία έχουν γεννήτριες που λειτουργούν σε υψηλές τάσεις όπως 3.3 kV, 6.6 kV και 11 kV. Τέτοιες υψηλές τάσεις είναι οικονομικά απαραίτητες σε συστήματα υψηλής ισχύος για να μειώνεται το μέγεθος των αγωγών και του απαιτούμενου εξοπλισμού. Πλοία που λειτουργούν σε υψηλές τάσεις συναντώνται πλέον συχνά καθώς αυξάνει το μέγεθος και η πολυπλοκότητα των πλοίων, όπως για παράδειγμα σε μεγάλα κρουαζιερόπλοια. Πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου και φυσικού αερίου λειτουργούν σε τάσεις ως και 13.8 kV, δεδομένου ότι η οικονομία στο βάρος του απαιτούμενου εξοπλισμού είναι σημαντική. Δίκτυα διανομής σε τέτοιες τάσεις έχουν τα ουδέτερα σημεία τους γειωμένα διαμέσου μιας αντίστασης ή μετασχηματιστή γείωσης στη γάστρα του πλοίου.

Η συχνότητα ενός δικτύου εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να είναι 50 Hz ή 60 Hz. Στην Ευρώπη και το περισσότερο κόσμο χρησιμοποιείται η συχνότητα των 50 Hz, ωστόσο στη Βόρεια Αμερική και ορισμένες άλλες χώρες είναι τα 60 Hz. Η πιο συνηθισμένη συχνότητα που χρησιμοποιείται σε πλοία και πλατφόρμες άντλησης υδρογονανθράκων είναι τα 60 Hz. Αυτή η υψηλότερη συχνότητα σημαίνει ότι κινητήρες και γεννήτριες λειτουργούν σε υψηλότερες ταχύτητες με συνέπεια μια μείωση του μεγέθους για μια δεδομένη ονομαστική ισχύ.

Ο φωτισμός και άλλες χαμηλής ισχύος μονοφασικές καταναλώσεις λειτουργούν συνήθως στα 220 V εναλλασσόμενη τάση (ή σπανιότερα 110 V εναλλασσόμενη τάση). Αυτές οι τάσεις προέρχονται από μετασχηματιστές υποβιβασμού της τάσης των 440 V. Για λόγους πληρότητας παρουσιάζεται παρακάτω το ηλεκτρικό δίκτυο ενός πλοίου το οποίο διαθέτει τόσο υψηλή όσο και χαμηλή τάση.



Σχήμα 3 - ηλεκτρικό δίκτυο πλοίου με HV και LV [3.]

Όπως παρατηρούμε και στο προηγούμενο σχήμα η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από γεννήτριες, στη συνέχεια οδηγείται στον κύριο πίνακα μέσω καλωδίων μικρού μήκους. Από το κύριο πίνακα, η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται μέσω καλωδίων σε άλλους πίνακες διανομής, ώσπου να φτάσει στους τελικούς καταναλωτές.

Θα πρέπει επίσης να υπάρχει μια γεννήτρια έκτακτης ανάγκης η οποία λειτουργεί σε περιπτώσεις εκτεταμένης ηλεκτρικής βλάβης (black-out). Η γεννήτρια αυτή αναλαμβάνει να τροφοδοτήσει κρίσιμα για την ασφάλεια ή την εκκένωση του πλοίου φορτία όπως το φωτισμό έκτακτης ανάγκης, τις σειρήνες κινδύνου, τις επικοινωνίες, τις υδατοστεγείς θύρες, κλπ.

Οι κανονισμοί απαιτούν η πηγή ενέργειας εκτάκτου ανάγκης να είναι γεννήτρια, μπαταρίες ή και τα δύο. Η γεννήτρια εκτάκτου ανάγκης πρέπει να διαθέτει αυτονομία και να μην εξαρτάται από οποιοδήποτε μηχανοστάσιο. Υπάρχουν διάφορες διατάξεις για τη παροχή ρεύματος σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης, ωστόσο μια ασφαλής πρακτική είναι να υπάρχουν λίγες αλλά επαρκώς φορτισμένες μπαταρίες που τροφοδοτούν τα φορτία εκτάκτου ανάγκης αμέσως μετά τη βλάβη, μέχρι η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης να ξεκινήσει να λειτουργεί με τη βοήθεια κάποιου αυτοματισμού.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε περιπτώσεις υπερφόρτισης των γεννητριών ακολουθείται συχνά "επιλεκτική επιλογή διακοπής φορτίων". Δηλαδή όταν μια γεννήτρια υπερφορτίζεται ακολουθείται με τη βοήθεια αυτοματισμού κάποιο σενάριο διακοπής μη σημαντικών φορτίων ώστε η γεννήτρια να συνεχίζει να τροφοδοτεί τα υπόλοιπα σημαντικά φορτία.

Κεφάλαιο 2

2.1 Συνοπτική περιγραφή του συστήματος αξονικών γεννητριών για το υπό μελέτη πλοίο

Το πλοίο διαθέτει συνολικά 4 μηχανές diesel της εταιρείας Wartsila , ανά δύο οι μηχανές αυτές συνδέονται με τον αντίστοιχο γρανάζι στο μειωτήρα στροφών της εταιρείας Schelde. Οι συγκεκριμένοι μειωτήρες είναι δύο εισόδων μιας εξόδου και έχουν σχεδιαστεί ώστε να δέχονται δύο εισόδους από δύο μηχανές diesel ισχύος 12.000 kW, μέγιστη συνεχούς περιστροφής στις 500 σαλ και περιστροφική ταχύτητα προπέλας στις παραπάνω συνθήκες στις 149 σαλ.

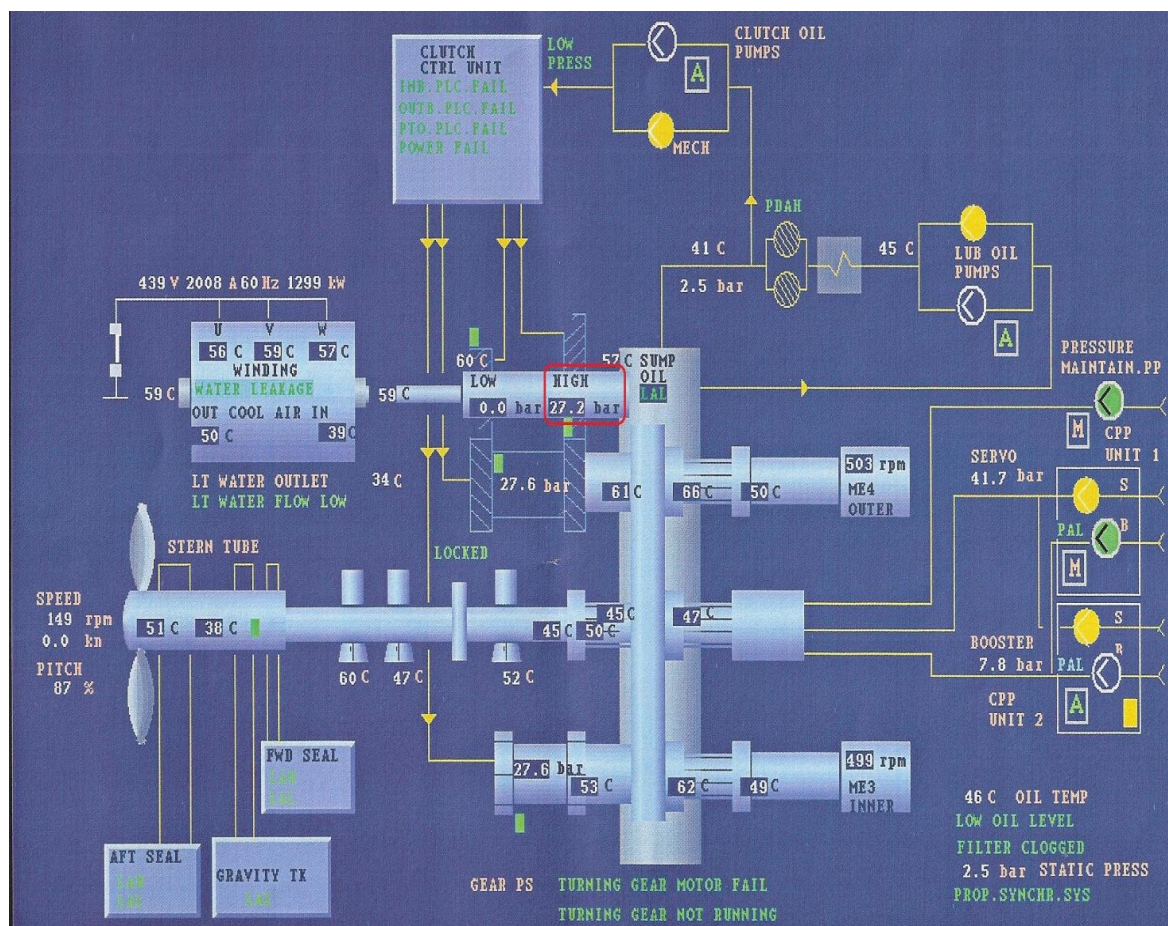
Κάθε γραναζοκιβώτιο εξοπλίζεται με δύο υδραυλικούς συμπλέκτες τριβής. Τα ενσωματωμένα κύρια ωστικά έδρανα έχουν επιλεγεί για συνεχές φορτίο στη προπέλα 1200 kN. Το εξάρτημα PTO (power take off) για τον εναλλακτήρα τοποθετείται στην εξωτερική πρυμναία πλευρά.

Η λίπανση αποτελεί κρίσιμο παράγοντα λόγω των τριβών που αναπτύσσονται και προσφέρεται από μια ενσωματωμένη αντλία ενώ υπάρχει και μια ηλεκτρική αντλία σε αναμονή. Όλα τα εξαρτήματα συναρμολογούνται μαζί με τις κατάλληλες σωληνώσεις και καλωδιώσεις.



Σχήμα 4 - διάδρομος συντήρησης και εποπτείας μεταξύ των δύο από τις τέσσερις προωστήριες μηχανές τύπου Wartsila

Όπως παρατηρούμε στην επόμενη εικόνα από το σύστημα εποπτείας των συστημάτων του πλοίου, οι άξονες των δυο προωστήριων μηχανών συνδέονται στο μειωτήρα στροφών περιστρέφοντας το αντίστοιχο γρανάζι τους. Στο κέντρο του μειωτήρα στροφών υπάρχει ένα κεντρικό γρανάζι το οποίο αναλαμβάνει τη περιστροφή της προπέλας. Στην εξωτερική πλευρά του μειωτήρα στροφών υπάρχει ένα ακόμα γρανάζι το οποίο κινεί το εξάρτημα ΡΤΟ το οποίο με τη σειρά του κινεί την αξονική γεννήτρια. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ΡΤΟ μπορεί να λειτουργήσει σε δύο ταχύτητες υψηλή και χαμηλή και συμπλέκεται με τη βοήθεια υδραυλικού συστήματος. Όπως παρατηρούμε στο παρακάτω στιγμιότυπο έχει συμπλεχθεί το υψηλής ταχύτητας γρανάζι του εξαρτήματος ΡΤΟ και απαιτείται πίεση γύρω στα 30 bar για να γίνει η σύμπλεξη.



Σχήμα 5 - στιγμιότυπο από το σύστημα εποπτείας της προπέλας και της αξονικής γεννήτριας

Αξίζει να αναφερθεί ότι το πολύπλοκο αυτό σύστημα που αναλαμβάνει να κινήσει την έλικα και την αξονική γεννήτρια και παρουσιάστηκε στο σχήμα 5 μπορεί να λειτουργήσει, είτε με τη συνεισφορά της μιας είτε με τη συνεισφορά και των δύο προωστήριων μηχανών.

Επίσης παρατηρούμε ότι δε χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά ισχύος για τη λειτουργία της αξονικής γεννήτριας και το σύστημα αναλαμβάνει να περιστρέψει τον άξονα της αξονικής γεννήτριας αλλά και της έλικας με σταθερές στροφές.

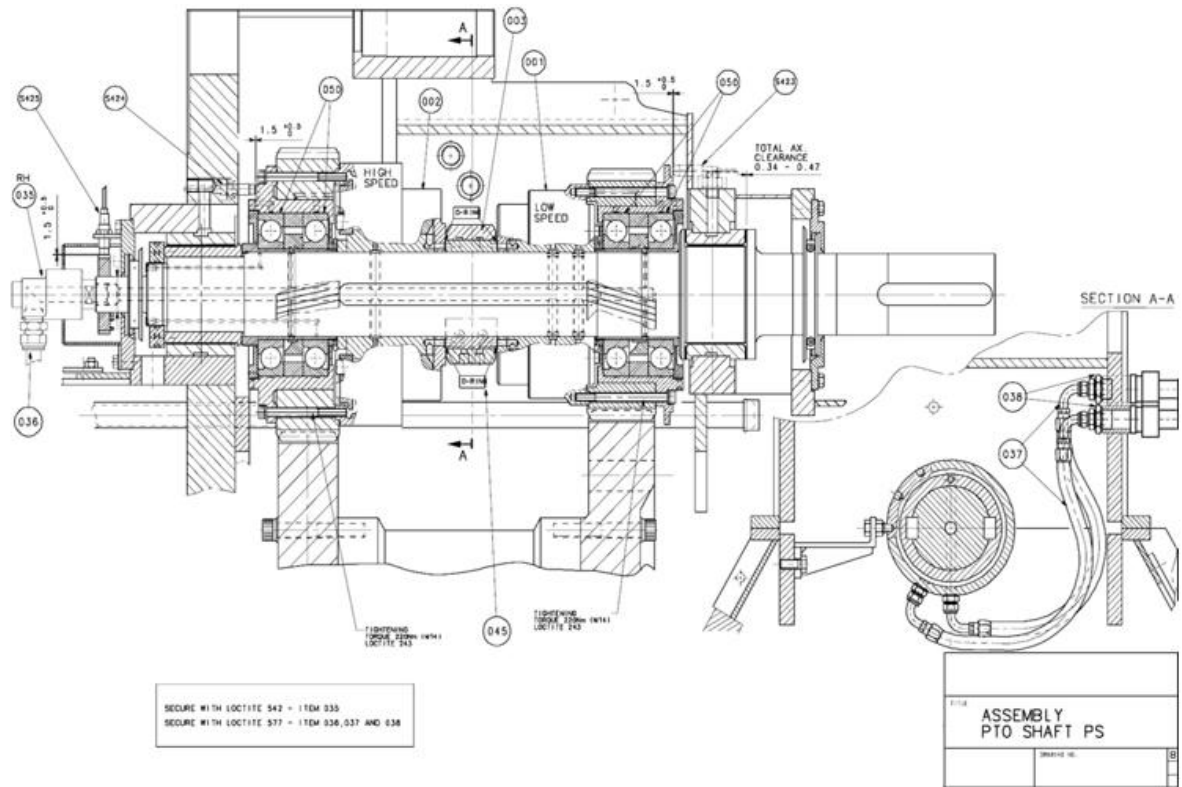
Η δυνατότητα περιστροφής των παραπάνω υποσυστημάτων σε σταθερές στροφές συνδέεται άμεσα με το γεγονός ότι το πλοίο διαθέτει έλικες μεταβλητού βήματος. Συνεπώς η πρόωση του επηρεάζεται άμεσα από τη κλίση των πτερυγίων κάθε έλικας του πλοίου.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ταχύτητες περιστροφής του άξονα της έλικας και της αντίστοιχης αξονικής γεννήτριας ανάλογα με τη ταχύτητα περιστροφής των κύριων προωστήριων μηχανών.

Προωστήριες Μηχανές	Άξονας Προπέλλας	ΡΤΟ εξάρτημα
500 σαλ	149 σαλ	1200 (1193) σαλ
400 σαλ	120 σαλ	1200 (1193) σαλ

Περισσότερες πληροφορίες για το σύστημα των αξονικών γεννητριών μπορεί να βρει ο αναγνώστης στο παράρτημα Δ.

Επιπλέον στο σχέδιο Α στο τέλος του τεύχους μπορεί να παρατηρήσει κανείς την κάτοψη του μηχανοστασίου και τη διάταξη των προωστήριων μηχανών, του μειωτήρα στροφών, του ΡΤΟ όπως επίσης και της αξονικής γεννήτριας.



Σχήμα 6 - μηχανολογικό σχέδιο σε οριζόντια μορφή ενός από τα δύο PTO εξαρτήματα



Σχήμα 7 - όψη του PTO εξαρτήματος από πάνω και σωληνώσεις λιπάνσεως

2.2 Παρουσίαση του ηλεκτρικού δικτύου του υπό μελέτη πλοίου

Το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου που μελετάμε φαίνεται στο σχήμα 8. Εύκολα παρατηρεί κανείς ότι η τροφοδοσία του πλοίου με ηλεκτρική ενέργεια γίνεται με τη βοήθεια 3 ντηζελογεννητριών (Diesel Generator , DG) του οίκου MAN-BW ονομαστικής ισχύος 2100 k VA, ενώ υπάρχουν επίσης διαθέσιμες 2 αξονικές γεννήτριες (Shaft Generator , SG) του οίκου ABB ονομαστικής ισχύος 2400 kVA και τέλος μια ντηζελογεννήτρια εκτάκτου ανάγκης του οίκου CATERPILLAR ονομαστικής ισχύος 1125 kVA.

Επίσης παρατηρούμε ότι το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου διαθέτει 2 επίπεδα τάσης στα 440 V και 230 V και συχνότητα τα 60 Hz.

Με μια πρώτη ματιά της διάταξης του ηλεκτρικού δικτύου και των διακοπών του παρατηρούμε ότι υπάρχει μια συμμετρία στη δομή του. Συγκεκριμένα υπάρχουν πρακτικά 4 μεγάλοι ζυγοί οι οποίοι αποτελούν τμήμα του κύριου ζυγού του δικτύου και με τη βοήθεια διακοπών μπορούν να διαχωρίσουν το δίκτυο σε 1 έως 4 διακριτά υποδίκτυα. Στο αριστερό και το δεξί άκρο του δικτύου υπάρχουν οι ζυγοί των αξονικών γεννητριών στους οποίους συνδέονται άμεσα οι αξονικές γεννήτριες και οι πλευρικοί προωστήριοι μηχανισμοί (εξήγηση παρακάτω) όπως επίσης και δυο από τους 3 πίνακες τροφοδοσίας των φορτηγών ψυγείων. Στο κέντρο του δικτύου υπάρχουν δύο μεγάλοι ζυγοί (βλέπε σχήμα 11), οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να ενωθούν μέσω διακόπτη, η ντηζελογεννήτρια 3 συνδέεται στον αριστερό ζυγό και η ντηζελογεννήτρια 1 συνδέεται στο δεξί ζυγό. Τέλος, η ντηζελογεννήτρια 2 διαθέτει δύο διακόπτες και έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει, τόσο στο δεξί, όσο και στον αριστερό ζυγό.

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

Παρακάτω περιγράφονται οι διάφοροι καταναλωτές που βρίσκονται στο ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου, όπως αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 8.

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

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

2. MCCs (Motor Control Centers)

Το πλοίο διαθέτει πολλούς μικρούς κινητήρες οι οποίοι έχουν διάφορες χρήσεις και είναι κατανεμημένοι στα διάφορα επίπεδα του πλοίου. Οι κινητήρες αυτοί μπορεί να αποτελούν διάφορες συσκευές όπως αντλίες, συμπιεστές αέρα, φυγοκεντριστές καυσίμου, εργαλεία μηχανοστασίου, κινητήρες για τους κάβους ή τις άγκυρες κλπ. Παρατηρούμε στο σχήμα 8 (παρακάτω) ότι υπάρχουν στο ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου τέσσερα στοιχεία με τύπου MCC, τα στοιχεία αυτά αποτελούν ομαδοποιημένους πίνακες εκκίνησης κινητήρων και ελέγχουν το μεγαλύτερο μέρος από τους κινητήρες του πλοίου.

3. Πρίζες φορτήγων ψυγείων (Reefer sockets)

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

4. Συνδέσεις με ακτή (Shore Connection , βλέπε σχήμα 10)

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

5. Μαγειρείο (Galley)

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

6. Κύριος Πίνακας 230 V (MSB 230V)

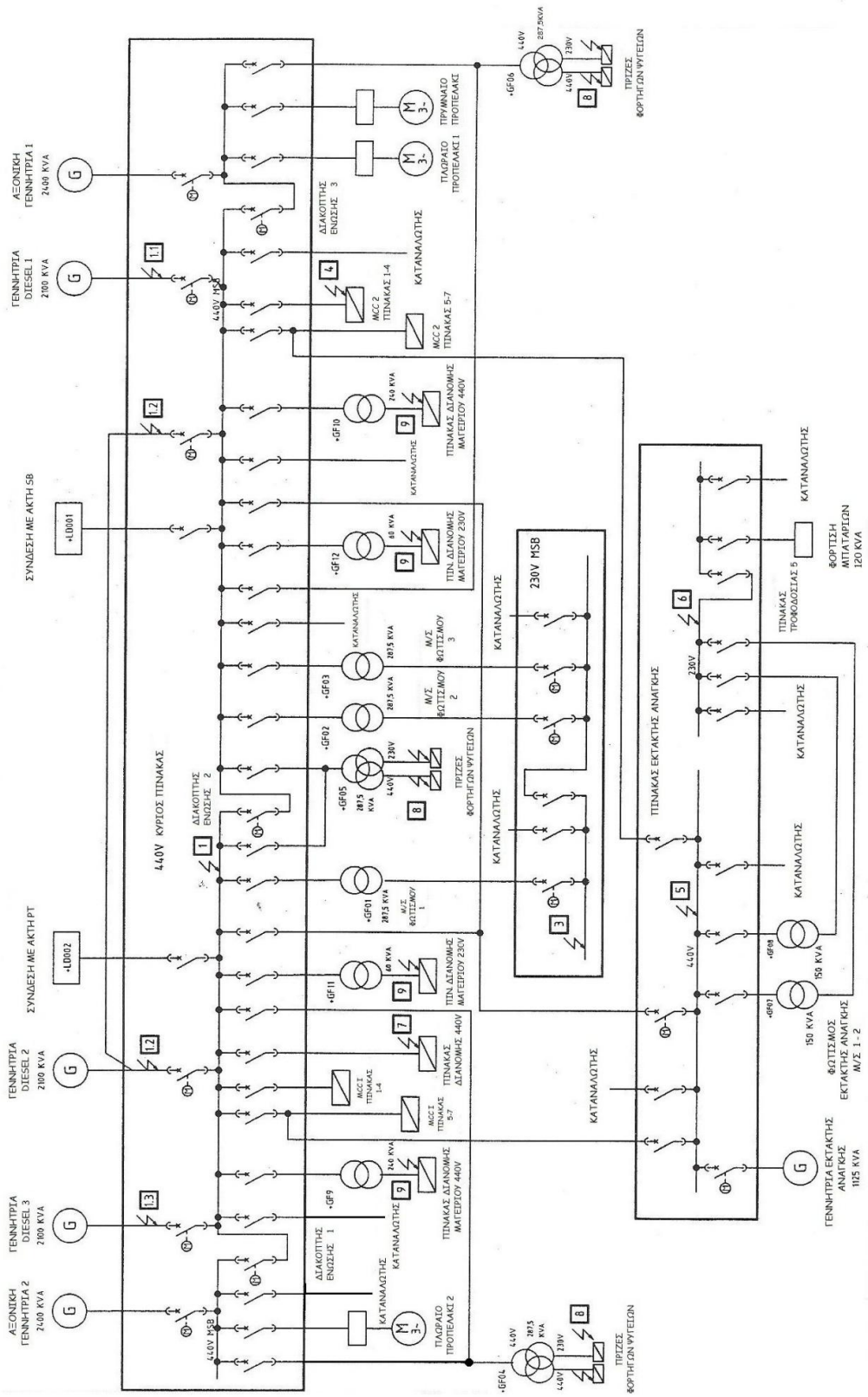
Το πλοίο διαθέτει 3 μετασχηματιστές 440/230 των 287.5 KVA, οι οποίοι τροφοδοτούν το πίνακα των 230 V. Ο πίνακας αυτός χρησιμεύει για τη τροφοδοσία του φωτισμού του πλοίου και για την τροφοδότηση μικροσυσκευών όπως υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ.

7. Διάφοροι Καταναλωτές (consumer)

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

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

Ο πίνακας αυτός αποτελείται, όπως φαίνεται στο σχήμα 8 από δύο τμήματα, τα οποία είναι σε διαφορετικά επίπεδα τάσης και συνδέονται με τη βοήθεια δύο γραμμών και μετασχηματιστών υποβιβασμού. Στην πλευρά των 440 V βρίσκεται η γεννήτρια εκτάκτου ανάγκης, ενώ στη πλευρά των 230 V υπάρχει η συσκευή (Ters converter) που τροφοδοτεί τις μπαταρίες του συστήματος εκτάκτου ανάγκης. Για λόγους ασφαλείας, το πλοίο πρέπει να διαθέτει και μπαταρίες για τη τροφοδοσία των κρίσιμων φορτίων μέχρι να εκκινήσει η νητζελογεννήτρια εκτάκτου ανάγκης. Περισσότερες πληροφορίες για το σύστημα των μπαταριών μπορεί να βρει ο αναγνώστης στο παράρτημα Γ.



Σχήμα 8 - ηλεκτρικό δίκτυο του υπό μελέτη πλοίου
(μονογραμμικό)

MCC: Motor Control Center (Υπομονάδες με ελαστικολιμένα starter από κεντρικό, για το μηχανοστάσιο.)



Σχήμα 9 - Κυψέλες πεδίων που συγκροτούν τον Κύριο Πίνακα των 440 V

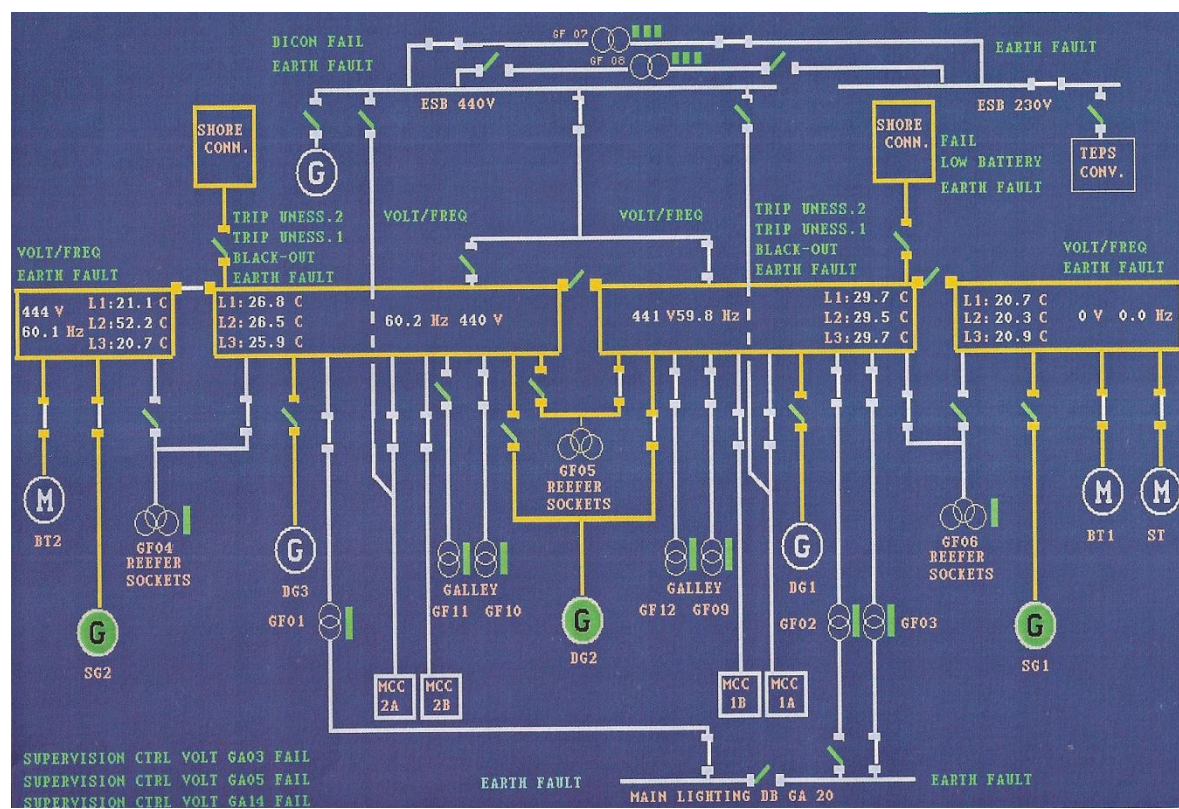


Σχήμα 10 - σύνδεση με ξηρά (shore connection)

Αναλυτικές πληροφορίες για τις καλωδιώσεις, τους μετασχηματιστές, τις γεννήτριες και τους διακόπτες του πλοίου μπορούν να βρεθούν στο παράρτημα A1, επιπλέον στο παράρτημα A2 γίνεται η μετατροπή των καλωδίων και μετασχηματιστών στο ανά μονάδα σύστημα ώστε να μπορέσουμε να τα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια σε ειδικό πρόγραμμα προσομοίωσης.

Επίσης το πλοίο διαθέτει ένα αρκετά προηγμένο σύστημα εποπτείας το οποίο συνδυάζει πληροφορίες τόσο για το ηλεκτρολογικό όσο και το μηχανολογικό εξοπλισμό του πλοίου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται (σχήμα 11, σχήμα 12) δύο στιγμιότυπα του ηλεκτρικού δικτύου του πλοίου.

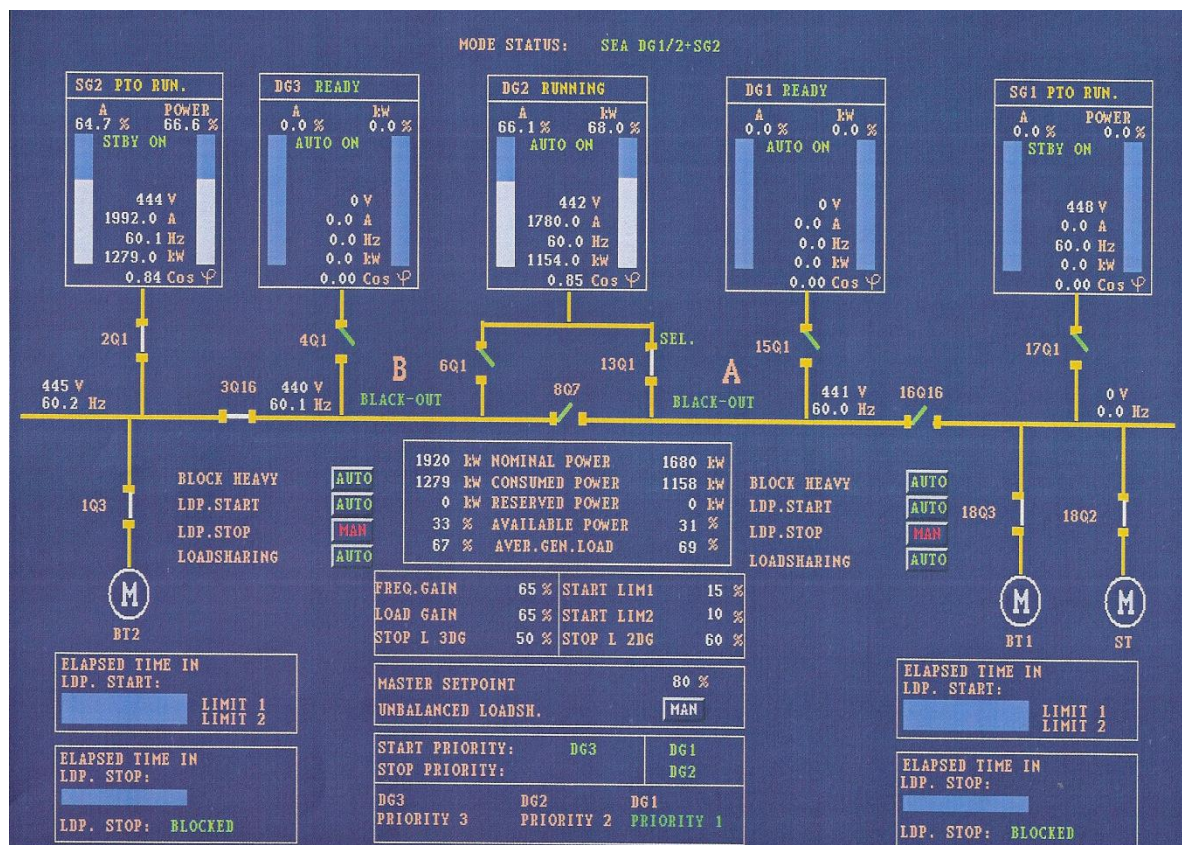
Το στιγμιότυπο από το σχήμα 11 παρουσιάζει τη μορφή του ηλεκτρικού δικτύου τη δεδομένη στιγμή, δηλαδή ποιοί διακόπτες είναι κλειστοί ή ανοικτοί ποιά τα επίπεδα τάσης και συχνότητας του δικτύου ή των υποδικτύων και ποιές πηγές τροφοδοσίας είναι σε λειτουργία όπως επίσης και ποιά φορτία τροφοδοτούν.



Σχήμα 11 - στιγμιότυπο από σύστημα εποπτείας του ηλεκτρικού δικτύου του πλοίου

Το στιγμιότυπο από το σχήμα 12 παρουσιάζει εποπτικά την κατάσταση των γεννητριών του πλοίου. Δείχνει ποιές από τις γεννήτριες είναι σε λειτουργία, ποιά η τάση, η συχνότητα, το ρεύμα και ο συντελεστής ισχύος της κάθε γεννήτριας.

Επίσης, φαίνονται τα ποσοστά φόρτισης της κάθε γεννήτριας αλλά και πληροφορίες για το ποιό σενάριο λειτουργίας του πλοίου είναι ενεργό στο συγκεκριμένο στιγμιότυπο. Τα σενάρια λειτουργίας του πλοίου θα παρουσιαστούν παρακάτω.



Σχήμα 12 - στιγμιότυπο από το σύστημα εποπτείας των γεννητριών του πλοίου

2.3 Αποφυγή παραλληλισμού Αξονικών γεννητριών με Ντηζελογεννήτριες

Στο σχήμα 12 παραθέτουμε ένα στιγμιότυπο από το σύστημα εποπτείας του ηλεκτρικού δικτύου του πλοίου, όταν το πλοίο βρισκόταν εν πλώ. Σημειώνεται πως με αυτό το στιγμιότυπο θα κάνουμε προσομοίωση του ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου σε επόμενο κεφάλαιο.

Παρατηρούμε στο σχήμα 12 ότι το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου χωρίζεται σε δύο επιμέρους υποδίκτυα, και στο τρέχον στιγμιότυπο τα φορτία είναι περίπου ισομοιρασμένα στα δύο δίκτυα. Το αριστερό μέρος του δικτύου τροφοδοτείται όπως παρατηρούμε από την αξόνικη γεννήτρια 2 (SG2) ενώ το δεξί μέρος του δικτύου από τη ντηζελογεννήτρια 2.

Τα σενάρια λειτουργίας του πλοίου (βλέπε κεφ. 3) περιγράφουν αναλυτικά ποιοί συνδυασμοί ηλεκτρογεννητριών τροφοδοτούν με ενέργεια το πλοίο σε κάθε διακριτή κατάσταση λειτουργίας του.

Γενικά ακολουθείται η τακτική να μη είναι παραλληλισμένες οι αξονικές γεννήτριες με τις ντηζελογεννήτριες. Συνεπώς , το ηλεκτρικού δίκτυο του πλοίου μπορεί να προσομοιωθεί σαν δύο απομονωμένα δίκτυα. Η τακτική αυτή ακολουθείται κυρίως για λόγους ασφαλείας από το προσωπικό του πλοίου καθώς οι αξονικές γεννήτριες μπορούν να επηρεάζονται από τις εξωτερικές συνθήκες (θάλασσα, καιρικές συνθήκες, ελιγμοί), ενώ οι ντηζελογεννήτριες είναι απόλυτα ελεγχόμενες και προστατευμένες από εξωτερικές μεταβολές του περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό οι ντηζελογεννήτριες αναλαμβάνουν τα πιο σημαντικά φορτία του πλοίου ενώ η αξονική γεννήτρια τα λιγότερο σημαντικά.

Σε περίπτωση που υπάρχει θαλασσοταραχή και το πλοίο δέχεται έντονες ριπές αέρα από τη μια πλευρά ενδέχεται να πάρει απότομα μια ελαφρά κλίση, αυτή η κλίση ενδέχεται να φέρει πιο κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας τη μια έλικα και χαμηλότερα την άλλη. Το γεγονός αυτό θα προκαλέσει αλλαγή στο φορτίο της έλικας με ενδεχόμενη αύξηση ή μείωση της ταχύτητας περιστροφής της.

Αν γίνει απότομα η αλλαγή στο φορτίο της έλικας μπορεί να μην προλάβει ο ρυθμιστής στροφών (governor) των κύριων μηχανών να αντιδράσει έγκαιρα και να προκληθούν έντονες αυξομειώσεις στη συχνότητα περιστροφής τόσο της έλικας όσο και της αξονικής γεννήτριας.

Αν ο ρυθμιστής στροφών δεν καταφέρει να κρατήσει τη συχνότητα περιστροφής των αξόνων στα επιθυμητά όρια, θα επενεργήσει στο σύστημα της αξονικής γεννήτριας κάποια προστασία υποσυχνότητας ή υπερσυχνότητας και θα διακόψει τη λειτουργία της.

Οι προϋποθέσεις παραλληλισμού δύο γεννητριών [4.] είναι οι ακόλουθες :

- Ίδια διαδοχή φάσεων
- Ίσες συχνότητες
- Ίσες τάσεις
- Τάσεις εν φάση μια προς μία

Όταν η αξονική γεννήτρια είναι παραλληλισμένη με τη νηζελογεννήτρια υπάρχει μεγάλη πιθανότητα αποσυγχρονισμού τους, αν οι ρυθμιστές τους δεν αντιδρούν με την ίδια ταχύτητα.

Παρόμοια κατάσταση με τη παραπάνω είναι και η διαδικασία ελιγμών του πλοίου καθώς και τότε ενδέχεται να πάρει κάποια κλίση το πλοίο, με πιθανή συνέπεια, όσα περιγράφηκαν ανωτέρω.

2.4 Αξιολόγηση καλωδιώσεων του κύριου πίνακα

Όπως προαναφέραμε τα δεδομένα των καλωδιώσεων του κύριου πίνακα των 440V βρίσκονται στο παράρτημα Α1. Με βάση αυτά τα δεδομένα θα υπολογίσουμε πρώτα το ονομαστικό ρεύμα κάθε καλωδίου.

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

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_\pi} \quad \text{Σημειώνεται ότι οι δοσμένες τάσεις είναι σε πολικές τιμές .}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Δεδομένου ότι το πλοίο που μελετάμε είναι γερμανικής κατασκευής θα ακολουθήθει το πρότυπο του οργανισμού Germanischer Lloyd (γερμανικός νηογνώμνας) [5.] για την αξιολόγηση των καλωδίων.

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει ποιές διατομές καλωδίων θα πρέπει να επιλεγούν με βάση το χρόνο που είναι ενεργό το καλώδιο (διαρρέεται από ρεύμα) και το ρεύμα που το διαρρέει.

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

Nominal cross-section		Continuous service		Half-hour service 30 minutes		Intermittent service Ratio 40 %, Period 10 minutes	
		Current rating A max.	Fuse rating A max.	Current rating A max.	Fuse rating A max.	Current rating A max.	Fuse rating A max.
mm ²	AWG/MCM						
Single-core cables							
1,0	17	16	16	17	16	19	20
1,5	15	20	20	21	20	24	25
2,5	13	28	25	30	25	36	35
4	11	38	35	40	35	50	50
6	9	48	50	51	50	64	63
10	7	67	63	72	63	91	80
16	5	90	80	98	100	126	125
25	3	120	100	134	125	170	160
35	2	145	125	165	160	209	200
50	0	180	160	211	200	263	250
70	2/0	225	224	272	250	332	315
95	4/0	275	250	344	-	410	-
120	250	320	315	410	-	480	-
150	300	365	-	482	-	553	-
185	400	415	-	564	-	633	-
240	500	490	-	691	-	748	-
300	600	560	-	818	-	855	-
2-core cables							
1,0	17	14	10	14	10	17	16
1,5	15	17	16	18	16	22	20
2,5	13	24	25	25	25	31	25
4	11	32	25	35	35	43	35
6	9	41	35	44	35	56	50
10	7	57	50	63	63	80	80
16	5	76	63	87	80	110	100
25	3	102	100	119	100	149	125
3- or 4-core cables							
1,0	17	11	10	12	10	14	10
1,5	15	14	16	15	16	18	16
2,5	13	20	20	21	20	26	25
4	11	27	25	29	25	37	35
6	9	34	35	37	35	47	35
10	7	47	50	53	50	67	63
16	5	63	63	74	63	92	80
25	3	84	80	102	100	124	125
35	2	101	100	128	125	152	160
50	0	126	125	166	160	192	200
70	2/0	157	160	218	200	240	224
95	4/0	192	200	278	250	294	300
120	250	224	224	337	315	342	315
Multi-core cables							
5 x 1,5	5 x 15	12	10	12	10	16	16
7 x 1,5	7 x 15	10	10	11	10	14	16
10 x 1,5	10 x 15	9	6	10	10	13	10
12 x 1,5	12 x 15	9	6	10	10	12	10
14 x 1,5	14 x 15	8	6	9	6	12	10
16 x 1,5	16 x 15	8	6	9	6	11	10
19 x 1,5	19 x 15	7	6	8	6	11	10
24 x 1,5	24 x 15	7	6	8	6	10	10

AWG: American Wire Gauge
MCM: Mille Circular Mil

Πίνακας 1 - πίνακας ικανότητας μεταφοράς ρεύματος για καλώδια σε θερμοκρασία 85 °C του Γερμανικού Νηογνόμωνα [5.]

Γεννήτριες Diesel DG1 , DG2 , DG3

$$I_{nDG} = 2694.3 \text{ A} , \text{ χρησιμοποιούμενο καλώδια : } 11 \times (3 \times (1 \times 120\text{mm}^2))$$

Οι γεννήτριες diesel χρησιμοποιούνται και εν πλώ αλλά και κατά τη παραμονή του πλοίου στο λιμάνι. Για το συγκεκριμένο πλοίο μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι τρεις γεννήτριες ανήκουν στη στήλη συνεχούς λειτουργίας.

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

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

Συμπέρασμα : Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση .

Αξονικές Γεννήτριες SG1 , SG2

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

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

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

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

Συμπέρασμα : Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση.

Κύριος Πίνακας 440 V -> Μετασχηματιστές 440 V / 230 V (GF01-03):

$$\text{Πρωτεύον : } I_{n \text{ TR1}_3} = 337.3 \text{ A} , \text{ χρησιμ. καλώδια : } 2 \times (3 \times (1 \times 120\text{mm}^2))$$

$$\text{Δευτερεύον : } I_{n \text{ TR1}_3} = 721.7 \text{ A} , \text{ χρησιμ. καλώδια : } 4 \times (3 \times (1 \times 95\text{mm}^2))$$

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

$$1^{ov}) I_{ntr1_3} / I_{n_cable} = 337.3 \text{ A} / 320 \text{ A} = 1.05 \text{ δηλαδή } 2 \text{ καλώδια}$$

(1 x 120mm²) ανά φάση

$$2^{ov}) I_{ntr1_3} / I_{n_cable} = 721.7 \text{ A} / 275 \text{ A} = 2.62 \text{ δηλαδή } 3 \text{ καλώδια}$$

(1 x 95mm²) ανά φάση

Συμπέρασμα : Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση.

Κύριος Πίνακας 440 V -> Μετασχηματιστές 440 V / 230 V (GF04-06):

$$\text{Πρωτεύον : } I_{n \text{ TR1_3}} = 337.24 \text{ A} , \text{ χρησιμ. καλώδια : } 2 \times (3 \times (1 \times 120 \text{mm}^2))$$

$$\text{Δευτερεύον : } I_{n \text{ TR1_3}} = 271.62 \text{ A} , \text{ χρησιμ. καλώδια : } 2 \times (3 \times 95 \text{mm}^2)$$

$$\text{Τριτεύον : } I_{n \text{ TR1_3}} = 202.1 \text{ A} , \text{ χρησιμ. καλώδια : } 2 \times (3 \times 50 \text{mm}^2)$$

Αν υποθέσουμε ότι τροφοδοτούν συνεχώς το φορτίο τους, εξετάζουμε την πρώτη στήλη του πίνακα 1 .

$$1^{ov}) I_{ntr4_6} / I_{n_cable} = 337.3 \text{ A} / 320 \text{ A} = 1.05 \text{ δηλαδή } 2 \text{ καλώδια}$$

(1 x 120mm²) ανά φάση

$$2^{ov}) I_{ntr4_6} / I_{n_cable} = 271.62 \text{ A} / 192 \text{ A} = 1.41 \text{ A} \text{ δηλαδή } 2 \text{ καλώδια}$$

(3 x 95mm²)

$$3^{ov}) I_{ntr4_6} / I_{n_cable} = 202.1 / 126 \text{ A} = 1.6 = 1.6 \text{ A} \text{ δηλαδή } 2 \text{ καλώδια}$$

(3 x 50mm²)

Συμπέρασμα : Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση.

Πίνακας Εκτάκτου Ανάγκης 440 V -> Μετασχηματιστές 440 V / 230 V (GF07 - 08):

$$\text{Πρωτεύον : } I_{n \text{ TR7_8}} = 196.8 \text{ A} , \text{ χρησιμ. καλώδια : } 2 \times 3 \times 50 \text{mm}^2$$

$$\text{Δευτερεύον : } I_{n \text{ TR7_8}} = 376.5 \text{ A} , \text{ χρησιμ. καλώδια : } 2 \times (3 \times 120 \text{mm}^2)$$

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

$$1^{ov}) I_{n_{TR7_8}} / I_{n_{cable}} = 196.8 A / 180 A = 1.1$$

δηλαδή 2 καλώδια 50mm² ανά φάση

$$2^{ov}) I_{n_{TR7_8}} / I_{n_{cable}} = 376.5 A / 224 A = 1.68$$

δηλαδή 2 καλώδια (3 x 120mm²)

Συμπέρασμα : Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση .

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

Πρωτεύον : $I_{n_{TR9_10}} = 314.9 A$, χρησιμοποιούμενο καλώδια : 2 x (3 x (1 x 120mm²))

Δευτερεύον : $I_{n_{TR9_10}} = 314.9 A$, χρησιμοποιούμενο καλώδια : 2 x (3 x 95mm²)

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

1^{ov}) $I_{n_{TR9_10}} / I_{n_{cable}} = 314.9 A / 320A = 0.98$ δηλαδή 1 καλώδιο (1 x 120mm²) ανά φάση

2^{ov}) $I_{n_{TR9_10}} / I_{n_{cable}} = 314.9 A / 192 A = 1.64$ δηλαδή 2 καλώδια (3 x 95mm²)

Συμπέρασμα : Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση.

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

Πρωτεύον : $I_{n_{TR11_12}} = 78.7 A$, χρησιμοποιούμενο καλώδια : 3 x 35 mm²

Δευτερεύον : $I_{n_{TR11_12}} = 150.6 A$, χρησιμοποιούμενο καλώδια : 3 x 95mm²

Οι μετασχηματιστές 11 και 12 τροφοδοτούν τους δυο πίνακες 230 V του μαγειριού, η επιλογή των συγκεκριμένων καλωδίων πρέπει να έχει γίνει με προοπτική συνεχούς λειτουργίας δεδομένου ότι το πλοίο είναι επιβατηγό οχηματαγωγό και η παρασκευή φαγητού είναι συνεχής.

$$1^{ov}) I_{n_{TR11_12}} / I_{n_{cable}} = 78.7 \text{ A} / 145 \text{ A} = 0.54 \text{ δηλαδή } 1 \text{ καλώδιο } 3 \times 35\text{mm}^2$$

$$2^{ov}) I_{n_{TR11_12}} / I_{n_{cable}} = 150.6 \text{ A} / 275 \text{ A} = 0.55 \text{ δηλαδή } 1 \text{ καλώδιο } 3 \times 95\text{mm}^2$$

Συμπέρασμα : Υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση.

Παρατηρούμε ότι τα επιλεγμένα καλώδια είναι γενικά μεγαλύτερα από το μέγεθος που προτείνεται από το Γερμανικό Νηογνόμωνα [5.] .

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

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

Κεφάλαιο 3

3.1 Ηλεκτρικός ισολογισμός πλοίου του υπό μελέτη πλοίου

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

Ηλεκτρικός ισολογισμός [4.] είναι ουσιαστικά ο υπολογισμός της πραγματικής ηλεκτρικής ισχύος του συνόλου των καταναλωτών σε ένα πλοίο στις διάφορες χαρακτηριστικές καταστάσεις λειτουργίας του, για παράδειγμα κανονική πορεία, χειρισμοί, στο λιμάνι κ.λ.π. Ο προσδιορισμός του ηλεκτρικού φορτίου με λεπτομέρεια είναι δυνατός, όταν έχουν καθορισθεί με ακρίβεια τα στοιχεία των καταναλωτών ηλεκτρισμού στο πλοίο.

Σε αυτές τις μελέτες, λαμβάνονται συνήθως υπόψιν μόνο οι ενεργειακές ανάγκες σε kW [6.] (δηλαδή οι ανάγκες ενεργού ισχύος). Λαμβάνοντας όμως υπόψιν ότι τα ηλεκτρικά δίκτυα των πλοίων είναι εναλλασσόμενου ρεύματος, αυτό υποδεικνύει ότι κυκλοφορεί και άεργος ισχύς, και θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν και αυτή στη μελέτη του ηλεκτρικού ισολογισμού. Ωστόσο στην παρούσα διπλωματική εργασία θα θεωρηθεί δεδομένος ο ηλεκτρικός ισολογισμός και δε θαπραγματευθεί με την άεργο ισχύ του συστήματος, δεδομένου ότι και η μελέτη που είχαμε στη διάθεσή μας ασχολείται με την ενεργό ισχύ.

Τα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ισολογισμού του υπό μελέτη πλοίου παρουσιάζονται στον πίνακα 2, ενώ ο αναλυτικός ηλεκτρικός ισολογισμός όπως δόθηκε από τη διαχειρίστρια εταιρεία του πλοίου βρίσκεται στο παράρτημα Β.

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

Ομάδα	Πορεία στη Θάλασσα SG1 (kW)	Πορεία στη Θάλασσα SG2 (kW)	Πορεία στη Θάλασσα DG (kW)	Ελιγμοί (kW)	Λιμάνι (kW)	Ανάπαυση στο λιμάνι (kW)	2 κύριες μηχανές σε λειτουργία έκτακτης ανάγκης (kW)	έκτακτη ανάγκη (kW)
Βοηθητικά μηχανήματα Πρόωσης	524,9	602,2	1227,2	1301,9	368,0	220,3	514,4	34,4
Βοηθητικά μηχανήματα Μηχανοστασίου	141,6	161,1	250,4	287,5	286,2	132,5	42,7	18,9
Βοηθητικά μηχανήματα για τη λειτουργία του πλοίου	108,3	83,0	188,2	123,7	157,6	61,0	30,3	318,6
Εξαερισμός , Κλιματισμός , Θέρμανση	309,4	464,6	776,0	776,0	895,1	553,6	156,3	12,1
Συσκευές Ψύξης	151,9	133,5	285,3	285,3	172,8	21,9	26,9	0,0
Μηχανήματα καταστρώματος	51,4	29,9	50,3	22,6	236,4	184,7	19,1	154,1
Εξοπλισμός Μαγειριού	97,3	103,4	200,7	182,2	182,2	100,7	0,0	0,0
Μηχανήματα εργασίας	0,0	3,5	3,5	3,5	5,3	10,6	0,0	0,0
Φωτισμός	28,6	124,1	152,7	152,7	157,6	66,5	41,5	41,5
Ναυσιπλοία	3,3	18,2	20,3	20,3	20,3	7,3	20,3	20,3
Προπελάκια	0,0	0,0	0,0	2192,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Σύνολο	1516,8	1723,6	3154,6	5347,9	2481,4	1359,1	851,4	599,9
Χρήση καλοκαιριού	1507,4	1670,7	3091,4	5284,6	2439,8	1319,8	851,4	599,9
Χρήση χειμώνα	1466,5	1597,9	2978,7	5171,9	2305,5	1183,2	851,4	599,9

Πίνακας 2 - αποτελέσματα ηλεκτρικού ισολογισμού του πλοίου [βλ. παράρτημα Β]

Ο πίνακας 2 ουσιαστικά αποτελεί μια συνοπτική μορφή του ηλεκτρικού ισολογισμού, ενώ κάθε γραμμή του πίνακα αντιστοιχεί σε μια ομάδα φορτίων και περιγράφεται αναλυτικότερα σε ένα άλλο πίνακα. Οι στήλες του πίνακα 2 αντιστοιχούν στις διαφορετικές κατάστασεις λειτουργίας του πλοίου, συνεπώς ένα στοιχείο του πίνακα δείχνει την ενεργό ισχύ που απαιτείται για να λειτουργούν τα στοιχεία της αντίστοιχης ομάδας (γραμμή) στη συγκεκριμένη κατάσταση λειτουργίας (στήλη). Οι τελευταίες γραμμές δείχνουν το άθροισμα των επιμέρους στοιχείων κάθε στήλης και γίνεται μια διάκριση σε χειμώνα και καλοκαίρι. Αυτό συμβαίνει διότι το χειμώνα λειτουργούν κάποια συστήματα θέρμανσης στη γάστρα του πλοίου, ώστε να μη ψύχονται τα συστήματα πρόωσης αλλά και το καύσιμο, ενώ ο κλιματισμός είναι περιορισμένος. Αντιθέτως, το καλοκαίρι λειτουργεί ο κλιματισμός και τα συστήματα θέρμανσης στη γάστρα του πλοίου καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια λόγω του ζεστού καιρού.

Αναλυτικά, οι υπολογισμοί για κάθε επιμέρους ομάδα φορτίων βρίσκεται στο παράρτημα Β και περιλαμβάνονται περισσότερα δεδομένα για τη κατάσταση κάθε επιμέρους καταναλωτή, σε κάθε μια διακριτή κατάσταση λειτουργίας.

Πιο συγκεκριμένα, η στήλη 1 του πίνακα 2 περιγράφει τις καταναλώσεις κάθε μιας από τις 11 ομάδες φορτίων, όταν αυτό βρίσκεται εν πλω και τροφοδοτείται με ηλεκτρισμό μόνο από την αξονική γεννήτρια 1 (SG1 = Shaft Generator 1). Αντίστοιχα η στήλη 2 περιγράφει τις καταναλώσεις του πλοίου όταν αυτό είναι εν πλω και η ηλεκτροπαραγωγή του οφείλεται στην αξονική γεννήτρια 2 (SG2 = Shaft Generator 2).

Η στήλη 3 περιγράφει τις καταναλώσεις ανά ομάδα φορτίων όταν το πλοίο είναι εν πλω και η ηλεκτροπαραγωγή γίνεται αποκλειστικά με νηζελογεννήτριες. Η στήλη 4 περιγράφει τις καταναλώσεις του πλοίου ανά ομάδα, όταν αυτό πραγματοποιεί ελιγμούς π.χ. ελλιμενισμού. Η ιδιαιτερότητα αυτής της κατάστασης έγκειται στο γεγονός ότι είναι σε λειτουργία ένας ή περισσότεροι πλευρικοί προωστήριοι μηχανισμοί (που κινούνται από μεγάλης ισχύος ηλεκτρικού κινητήρες). Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η κατάσταση απαντάται για λίγα λεπτά και συνήθως όταν το πλοίο προσεγγίζει ή αναχωρεί από λιμάνι, ενώ παρατηρείται η μέγιστη ενεργειακή κατανάλωση. Η στήλη 5 περιγράφει τις καταναλώσεις ανά ομάδα του πλοίου όταν αυτό βρίσκεται αγκυροβολημένο στο λιμάνι και είτε φορτώνει είτε εκφορτώνει αλλά ο απόπλους του θα λάβει χώρα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η στήλη 6 περιγράφει τις καταναλώσεις ανά ομάδα όταν το πλοίο είναι αγκυροβολημένο στο

λιμάνι και δεν θα αποπλεύσει σύντομα από αυτό , συνεπώς δε φιλοξενεί επιβάτες (πλην ίσως ορισμένων μελών του πληρώματος). Η διαφορά μεταξύ των στηλών 5 και 6 έγκειται στο ότι το πλοίο, στην τελευταία κατάσταση, έχει μειωμένη κατανάλωση δεδομένου ότι πολλές συσκευές είναι ανενεργές.

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

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

3.2 Καταστάσεις λειτουργίας ΣΗΕ πλοίου

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

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

A) Λειτουργία Λιμανιού :

- 1) Μια ή περισσότερες νηζελογεννήτριες σε λειτουργία.
- 2) Η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης τροφοδοτεί το κύριο ζυγό μέσω γραμμής μεταφοράς. Παράλληλη λειτουργία μεταξύ της γεννήτριας έκτακτης ανάγκης και το πολύ 2 νηζελογεννητριών μόνο για μεταφορά φορτίων.

Β) Λειτουργία Ελιγμών :

- 1) Οι νηζελογεννήτριες τροφοδοτούν το κύριο ζυγό και οι διακόπτες που συνδέουν το κύριο ζυγό με τους ζυγούς των Αξονικών γεννητριών είναι κλειστοί.
- 2) Οι νηζελογεννήτριες τροφοδοτούν το κύριο ζυγό και οι αξονικές γεννήτριες τους δικούς τους ζυγούς.

Γ) Λειτουργία Θάλασσας :

- 1) Το λιγότερο δύο νηζελογεννήτριες τροφοδοτούν το κύριο ζυγό.
- 2) Η αξονική γεννήτρια 2 τροφοδοτεί το αριστερό μέρος του κύριου πίνακα και η αξονική γεννήτρια 1 τροφοδοτεί το δεξί μέρος του κύριου πίνακα.

Δ) Λειτουργία Έκτακτης Ανάγκης :

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

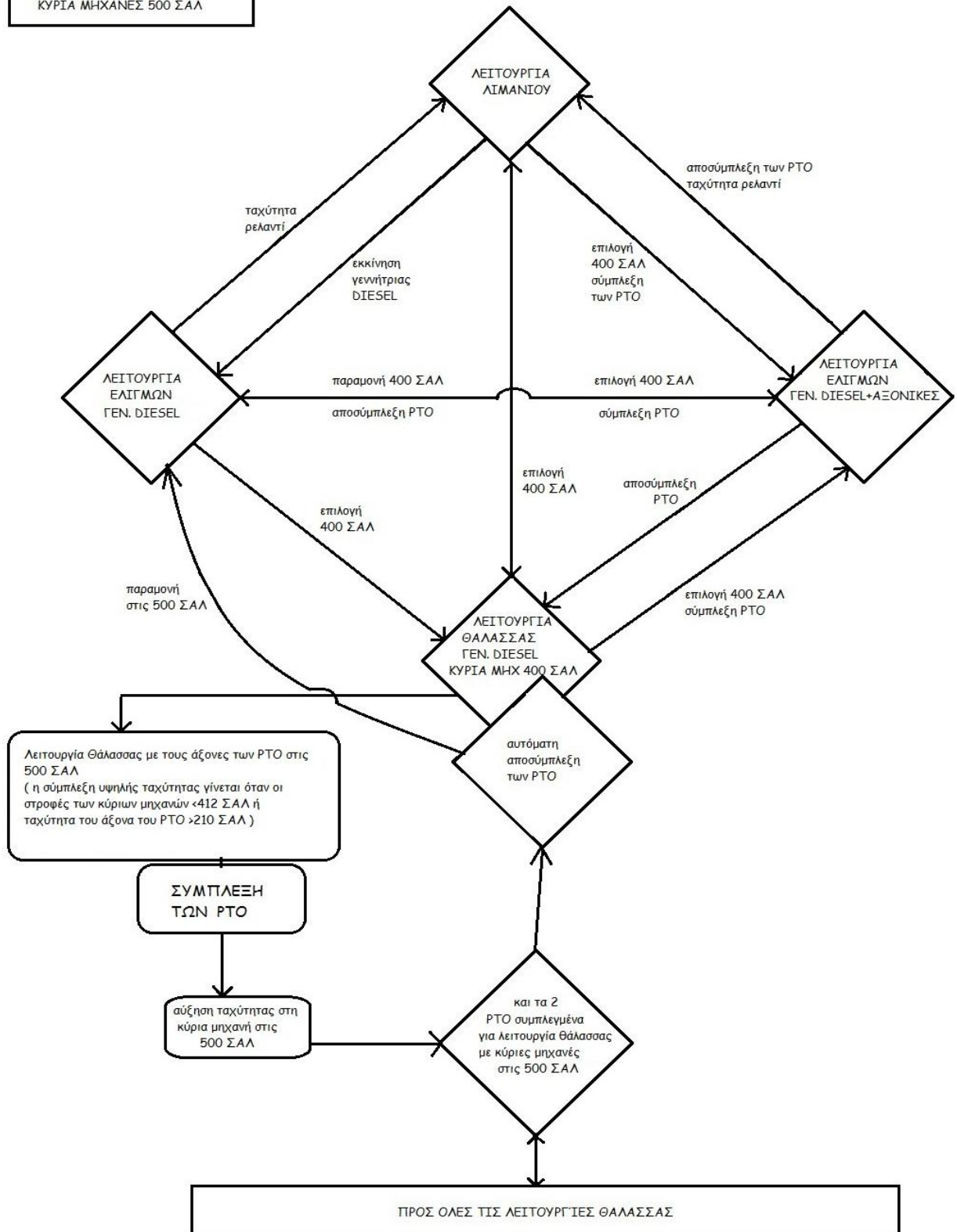
Ε) Λειτουργία μεταφοράς φορτίων :

- 1) Παράλληλη λειτουργία δύο νηζελογεννητριών και μιας αξονικής γεννήτριας μόνο για μεταφορά φορτίων.

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

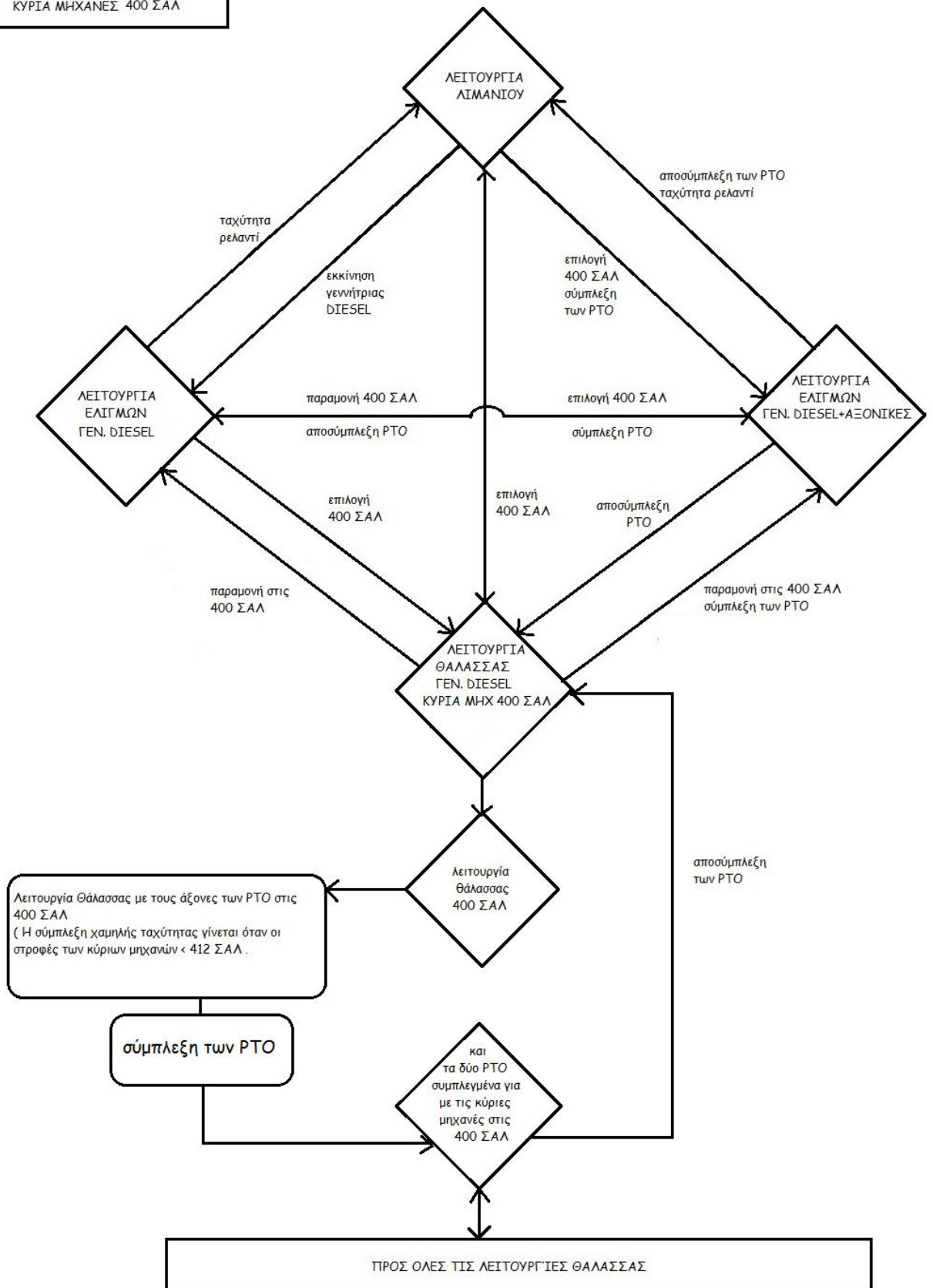
Ακολούθως παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής των αυτοματοποιημένων καταστάσεων λειτουργίας του πλοίου.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΘΑΛΑΣΣΑΣ
ΚΥΡΙΑ ΜΗΧΑΝΕΣ 500 ΣΑΛ

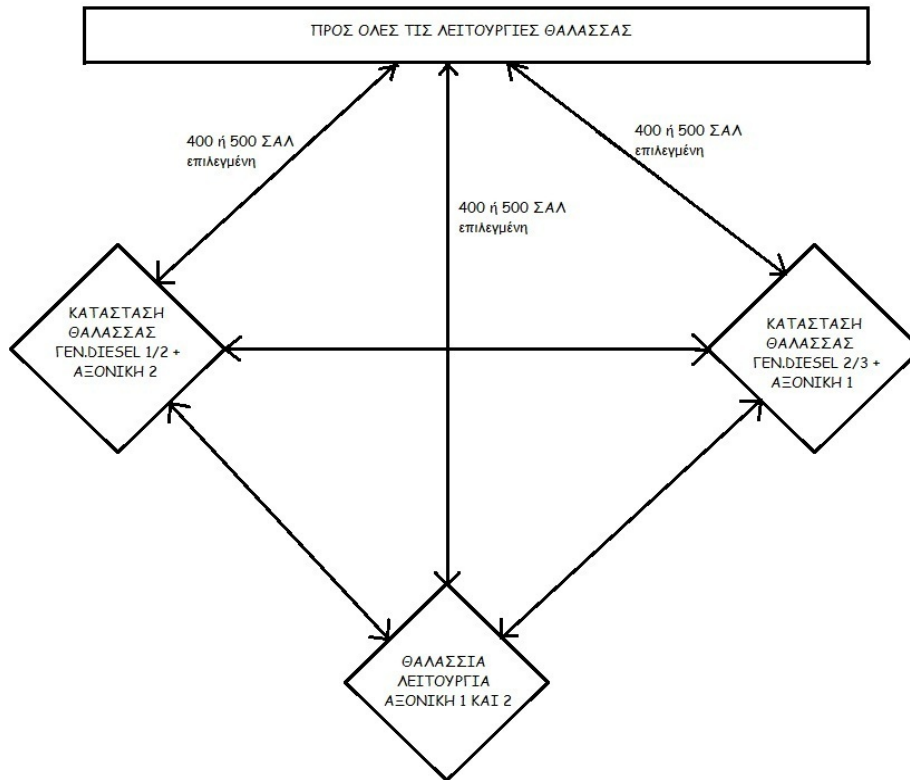


Σχήμα 13 - Καταστάσεις λειτουργίας με κύριες μηχανές στις 500 σαλ

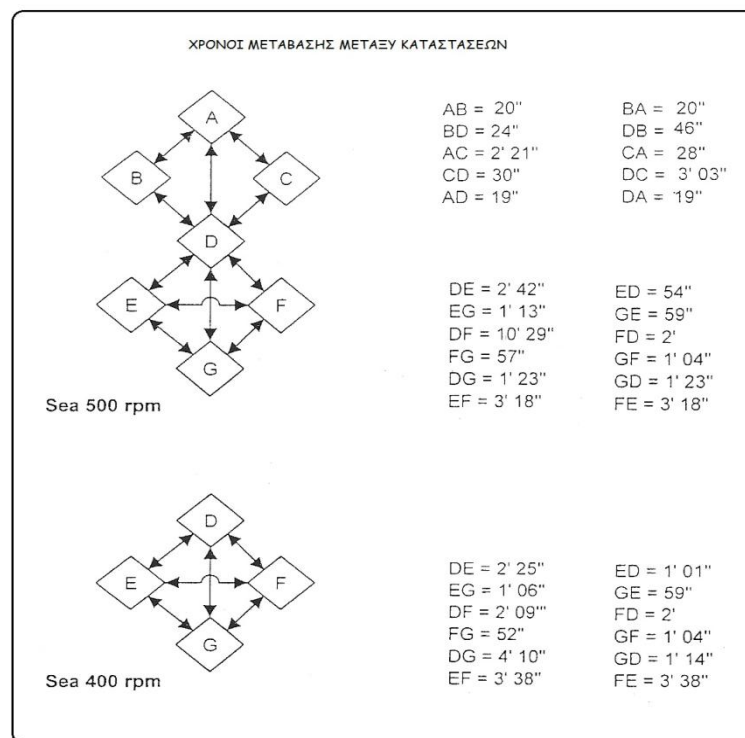
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΘΑΛΑΣΣΑΣ
ΚΥΡΙΑ ΜΗΧΑΝΕΣ 400 ΣΑΛ



Σχήμα 14 - Καταστάσεις λειτουργίας με κύριες μηχανές στις 400 σαλ



Σχήμα 15 - Λειτουργίες θάλασσας



Σχήμα 16 - Χρόνοι μετάβασης μεταξύ καταστάσεων

3.3 Μέτρηση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικές καταστάσεις του πλοίου

Λήφθηκαν μετρήσεις από το σύστημα εποπτείας του πλοίου το μήνα Ιανουάριο του έτους 2011. Οι μετρήσεις γίνονται από την πλευρά των γεννητριών καθώς μόνον εκεί υπάρχουν μετρητικά όργανα. Στις ακόλουθες μετρήσεις παρατίθεται η ώρα λήψης της μέτρησης η οποία συσχετίζεται με τη πραγματική κατάσταση του πλοίου τη συγκεκριμένη στιγμή. Επιπλέον, παρουσιάζεται για κάθε μια γεννήτρια εξαιρουμένης της γεννήτριας έκτακτης ανάγκης η πραγματική ισχύς P , το ρεύμα I , η τάση V . Ακόμα υπήρχε διαθέσιμο και το $\cos \varphi$ (συντελεστής ισχύος) όπως και η συχνότητα ωστόσο για λόγους οικονομίας χώρου δεν παρουσιάζεται στις μετρήσεις. Στο κεφάλαιο 3.2 παρουσιάστηκαν οι διακριτές καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου κατά τη φάση σχεδίασής του. Στην πραγματικότητα υπάρχει μια ακόμα κατάσταση λειτουργίας του πλοίου η οποία εφαρμόζεται χειροκίνητα και θα ονομαστεί Γ3. Στην κατάσταση αυτή το πλοίο βρίσκεται εν πλώ και το ηλεκτρικό του δίκτυο χωρίζεται σε δύο τμήματα, το ένα τμήμα αναλαμβάνει να το τροφοδοτήσει μια αξονική γεννήτρια, ενώ, το δεύτερο τροφοδοτείται από μια (ή περισσότερες) νηζελογεννήτριες.

Εύκολα γίνεται φανερό ότι οι πιο συχνά εμφανιζόμενες καταστάσεις με βάση το κεφάλαιο 3.2 είναι η Α1 και η Γ3 ενώ εμφανίζεται μια φορά η Β1 και Ε1 κατάσταση. Ορισμένες καταστάσεις είναι πολύ σπάνιο να εμφανιστούν καθώς σχετίζονται με καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όπως οι καταστάσεις Α2, Δ1. Επιπροσθέτως, οι διαχειριστές του ΣΗΕ του πλοίου αποφεύγουν, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2.3 να παραλληλίζουν τις αξονικές γεννήτριες με τις νηζελογεννήτριες, επίσης αποφεύγουν να χρησιμοποιούν αποκλειστικά νηζελογεννήτριες ή αποκλειστικά αξονικές γεννήτριες κατά την εν πλώ λειτουργία του σκάφους. Για λόγους οικονομίας και αξιοπιστίας επιλέγουν συνδυασμό αξονικής και νηζελογεννητριών. Τα παραπάνω δικαιολογούν τη συχνή εμφάνιση της κατάστασης Γ3 και τη μη εμφάνιση των καταστάσεων Γ1, Γ2.

Τέλος η κατάσταση Β1 επίσης, αποφεύγεται, καθώς υπάρχει μεγάλη πιθανότητα black-out κατά τους ελιγμούς, γεγονός το οποίο θα αφήσει το πλοίο ακυβέρνητο σε μια πολύ κρίσιμη κατάσταση. Γι το λόγο αυτό, επιλέγεται η Β2 κατάσταση ως ασφαλέστερη επιλογή, διότι οι αξονικές γεννήτριες τροφοδοτούν τα προπελάκια αποκλειστικά και οι νηζελογεννήτριες όλα τα άλλα φορτία του πλοίου.

Ημερομηνία μετρήσεων : 20 / 1 / 2011

ώρα λήψης	ΚΑΤ	ΑΞΟΝΙΚΗ 1			ΑΞΟΝΙΚΗ 2			DIESEL 1			DIESEL 2			DIESEL 3			Σ Pgen
	ΛΕΙΤ	P (KW)	I (A)	V(V)	P (KW)	I (A)	V(V)	P (KW)	I (A)	V(V)	P (KW)	I (A)	V(V)	P (KW)	I (A)	V(V)	
1:59 μμ	A1	0	0	0	0	0	0	698	1052	448	694	1053	447	703	1109	446	2095
3:43 μμ	Γ3	0	0	448	1279	1992	444	0	0	0	1154	1780	442	0	0	0	2433
6:10 μμ	Γ3	0	0	449	1294	2005	446	0	0	0	1178	1809	442	0	0	0	2472
7:50 μμ	Γ3	0	0	449	1327	2059	446	0	0	0	1171	1791	443	0	0	0	2498
10:45 μμ	A1	0	0	0	0	0	0	1068	1672	445	0	0	0	1071	1645	443	2139
11:45 μμ	Γ3	0	0	448	1367	2139	444	0	0	0	1125	1709	443	0	0	0	2492

Ημερομηνία μετρήσεων : 21 / 1 / 2011

ώρα λήψης	ΚΑΤ.	ΑΞΟΝΙΚΗ 1			ΑΞΟΝΙΚΗ 2			DIESEL 1			DIESEL 2			DIESEL 3			Σ Pgen
	ΛΕΙΤ.	P (KW)	I (A)	V(V)	P (KW)	I (A)	V(V)	P (KW)	I (A)	V(V)	P (KW)	I (A)	V(V)	P (KW)	I (A)	V(V)	
2:03 πμ	Γ3	0	0	448	1315	2056	446	0	0	0	1145	1746	443	0	0	0	2460
3:46 πμ	Γ3	0	0	449	1338	2091	446	0	0	0	1121	1705	443	0	0	0	2459
5:50 πμ	B2	95	502	448	160	540	448	843	1302	447	841	1313	446	863	1376	445	2802
7:49 πμ	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	903	1358	445	919	1405	445	1822
12:50 μμ	A1	0	0	0	0	0	0	614	877	449	603	915	447	612	979	447	1829
2:03 μμ	A1	0	0	0	0	0	0	1018	1569	445	0	0	0	1025	1575	443	2043
9:33 μμ	A1	0	0	453	0	0	448	816	1228	447	791	1227	445	788	1248	445	2395
11:42 μμ	E1	0	0	0	1134	1715	447	667	1005	448	567	905	446	0	0	0	2368

Ημερομηνία μετρήσεων : 22/1/2011

ώρα λήψης	ΚΑΤ.	ΑΞΟΝΙΚΗ 1			ΑΞΟΝΙΚΗ 2			DIESEL 1			DIESEL 2			DIESEL 3			Σ Pgen
		ΛΕΙΤ.	P (KW)	I (A)	V (V)	P (KW)	I (A)	V (V)	P (KW)	I (A)	V (V)	P (KW)	I (A)	V (V)	P (KW)	I (A)	
2:23 πμ	Γ3	0	0	449	1331	2085	446	0	0	0	1088	1655	444	0	0	0	2419
3:46 πμ	Γ3	0	0	449	1354	2116	446	0	0	0	1100	1673	443	0	0	0	2454
6:59 πμ	A1	0	0	0	0	0	0	1025	1563	445	0	0	0	1031	1562	444	2056
7:53 πμ	A1	0	0	0	0	0	0	858	1299	447	0	0	0	854	1301	445	1712
10:54 πμ	A1	0	0	0	0	0	0	862	1300	447	0	0	0	863	1307	445	1725
11:54 πμ	A1	0	0	0	0	0	0	858	1297	447	0	0	0	861	1303	445	1719
5:37 μμ	A1	0	0	0	0	0	0	1203	1878	444	0	0	0	1191	1824	443	2394
7:56 μμ	A1	0	0	0	0	0	0	1216	1906	445	0	0	0	1207	1847	442	2423
10:03 μμ	A1	0	0	0	0	0	0	1046	1634	445	0	0	0	1034	1588	444	2080
11:50 μμ	Γ3	0	0	0	1224	1910	446	1210	1854	444	0	0	0	0	0	0	2434

Ημερομηνία μετρήσεων : 23/1/2011

ώρα λήψης	ΚΑΤ.	ΑΞΟΝΙΚΗ 1			ΑΞΟΝΙΚΗ 2			DIESEL 1			DIESEL 2			DIESEL 3			Σ Pgen
		ΛΕΙΤ.	P (KW)	I (A)	V (V)	P (KW)	I (A)	V (V)	P (KW)	I (A)	V (V)	P (KW)	I (A)	V (V)	P (KW)	I (A)	
2:12 πμ	Γ3	0	0	448	1228	1907	446	1185	1824	443	0	0	0	0	0	0	2413
3:54 πμ	Γ3	0	0	449	1228	1925	445	1194	1836	444	0	0	0	0	0	0	2422
6:21 πμ	A1	0	0	0	0	0	0	987	1528	446	0	0	0	978	1485	444	1965
8:12 πμ	A1	0	0	0	0	0	0	883	1353	446	0	0	0	884	1343	444	1767
11:59 πμ	A1	0	0	0	0	0	0	940	1421	446	0	0	0	937	1412	445	1877
2:22 μμ	A1	0	0	0	0	0	0	994	1549	445	0	0	0	983	1516	444	1977
3:59 μμ	Γ3	0	0	449	1285	1981	446	0	0	0	1230	1906	441	0	0	0	2515
6:06 μμ	Γ3	0	0	448	1292	1991	446	0	0	0	1191	1837	442	0	0	0	2483
7:47 μμ	Γ3	0	0	449	1300	2007	446	0	0	0	1232	1887	441	0	0	0	2532
10:26 μμ	A1	0	0	0	0	0	0	1039	1604	445	0	0	0	1024	1570	443	2063
11:57 μμ	Γ3	0	0	0	1209	1885	445	1162	1776	445	0	0	0	0	0	0	2371

24/1/2011

1:52 πμ	Γ3	0	0	449	1248	1936	446	1136	1749	444	0	0	0	0	0	0	2384
3:49 πμ	Γ3	0	0	449	1206	1889	445	1189	1827	444	0	0	0	0	0	0	2395

Πίνακας 3 - Μετρήσεις παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

ποσοστά επί της ονομαστικής ενεργού ισχύος κάθε γεννήτριας

		SG1 (%)	SG2 (%)	DG1 (%)	DG2 (%)	DG3 (%)
20/1/2011	ώρα λήψης	ΚΑΤΑΣΤ				
	1:59 μμ	A1		41	41	41
	3:43 μμ	Γ3		66.6	68	
	6:10 μμ	Γ3		67.4	70	
	7:50 μμ	Γ3		69.1	69	
	10:45 μμ	A1		63		63
21/1/2011	ώρα λήψης	ΚΑΤΑΣΤ				
	2:03 πμ	Γ3		68.5	68	
	3:46 πμ	Γ3		69.7	66	
	5:50 πμ	B2	4.9	8.3	50	51
	7:49 πμ	A1			53	54
	12:50 μμ	A1		36	35	36
	2:03 μμ	A1		60		60
	9:33 μμ	A1		48	47	46
22/1/2011	ώρα λήψης	ΚΑΤΑΣΤ				
	2:23 πμ	Γ3		69.3	63	
	3:46 πμ	Γ3		70.5	65	
	6:59 πμ	A1		61		61
	7:53 πμ	A1		51		50
	10:54 πμ	A1		51		51
	11:54 πμ	A1		51		51
	5:37 μμ	A1		71		70
	7:56 μμ	A1		72		71
	10:03 μμ	A1		62		61
23/1/2011	ώρα λήψης	ΚΑΤΑΣΤ				
	2:12 πμ	Γ3		64	70	
	3:54 πμ	Γ3		64	71	
	6:21 πμ	A1		58		58
	8:12 πμ	A1		52		52
	11:59 πμ	A1		55		55
	2:22 μμ	A1		59		58
	3:59 μμ	Γ3		66.9		73
	6:06 μμ	Γ3		67.3		71
	7:47 μμ	Γ3		67.7		73
	10:26 μμ	A1		61		61
	11:57 μμ	Γ3		63	69	
23/1/2011	1:52 πμ	Γ3		65	67	
	3:49 πμ	Γ3		62.8	70	

Πίνακας 4 - Ποσοστά φόρτισης γεννητριών

Ο πίνακας 4 παρουσιάζει τα ποσοστά φόρτισης των γεννητριών που ήταν σε λειτουργία για κάθε μια από τις μετρήσεις μας. Γενικά παρατηρείται ότι οι ντηζελογεννήτριες φθάνουν το ανώτερο στο 73% της ονομαστικής τους ισχύς,

ενώ οι αξονικές γεννήτριες φθάνουν το ανώτερο στο 70.5% της ονομαστικής τους ισχύς.

Συνάγεται επομένως ότι, οι νηζελογεννήτριες πιθανόν, λειτουργούν χαμηλότερα από το σημείο βέλτιστης λειτουργίας τους ενώ για τις αξονικές γεννήτριες δε μπορεί να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα, καθώς η περιστροφή του δρομέα των αξονικών γεννητριών γίνεται με τη βοήθεια των προωστήριων μηχανών για τις οποίες δεν υπήρχαν επαρκή δεδομένα αν λειτουργούν σε οικονομικό σημείο.

3.4 Σύγκριση μετρήσεων με ηλεκτρικό ισολογισμό και σχολιασμός

Είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι οι καταστάσεις του ηλεκτρικού ισολογισμού δε ταυτίζονται απόλυτα με τις πραγματικές αυτοματοποιημένες καταστάσεις του πλοίου, οι οποίες παρουσιάζονται στα σχήματα 13, 14, 15. Οι στήλες 1 και 2 του ηλεκτρικού ισολογισμού όπου λειτουργεί μόνο η αξονική γεννήτρια 1 ή 2 αντίστοιχα δεν υπάρχουν ως καταστάσεις αυτοματοποιημένες στον υπολογιστή του πλοίου. Το πλοίο, θεωρητικά, μπορεί να βρεθεί με χειροκίνητες ρυθμίσεις σε αυτές τις καταστάσεις, ωστόσο το πλοίο διαθέτει μόνο ένα αυτοματοποιημένο σενάριο λειτουργίας όπου χρησιμοποιεί και τις δύο αξονικές γεννήτριες και όχι μία όπως στον ηλεκτρικό ισολογισμό.

Η στήλη 3 του ηλεκτρικού ισολογισμού περιγράφει τη λειτουργία όταν είναι εν πλω και για ηλεκτροπαραγωγή χρησιμοποιεί μόνο νηζελογεννήτριες. Αυτό το σενάριο υπάρχει αυτοματοποιημένο στο πρόγραμμα διαχείρισης του πλοίου, ωστόσο δεν συναντήθηκε στις μετρήσεις μας.

Η στήλη 4 του ηλεκτρικού ισολογισμού αφορά τη κατάσταση του πλοίου όταν αυτό είναι στο λιμάνι σε διαδικασία πρόσδεσης. Η κατάσταση αυτή μπορεί να υλοποιηθεί με δύο αυτοματοποιημένες καταστάσεις στο πρόγραμμα διαχείρισης του πλοίου. Η πρώτη υλοποιείται με τις τρεις νηζελογεννήτριες να τροφοδοτούν τον κύριο ζυγό, καμμία αξονική γεννήτρια σε λειτουργία και επιτρέπεται η χρήση μόνο ενός από τους τρεις πλευρικούς προωστήριους μηχανισμούς. Η δεύτερη υλοποιείται με διαχωρισμό του ηλεκτρικού δικτύου σε 3 τμήματα, τα ακραία τμήματα τροφοδοτούνται από τις αντίστοιχες αξονικές γεννήτριες, ενώ μοναδικοί καταναλωτές τους είναι οι αντίστοιχοι πλευρικοί προωστήριοι μηχανισμοί και ενδεχομένως ορισμένες πρίζες φορτηγών ψυγείων. Τέλος στην κατάσταση αυτή, ο κεντρικός ζυγός τροφοδοτείται από ένα συνδυασμό νηζελογεννητριών.

Η στήλη 5 του ηλεκτρικού ισολογισμού περιγράφει τη λειτουργία όπου το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι και φορτώνει ή εκφορτώνει αλλά θα αναχωρήσει σχετικά άμεσα από το λιμάνι. Συνεπώς ένας μεγάλος αριθμός φορτίων παραμένουν σε λειτουργία καθώς δεν υπάρχει λόγος να τεθούν εκτός λειτουργίας εφόσον θα πρέπει να λειτουργήσουν ξανά σε σύντομο χρονικό διάστημα. Τέλος η λειτουργία αυτή υπάρχει ως αυτοματοποιημένη κατάσταση.

Η στήλης 6 του ηλεκτρικού ισολογισμού ουσιαστικά αποτελεί παρόμοια κατάσταση με αυτή της στήλης 5, ωστόσο το πλοίο παραμένει για μακρύτερο χρονικό διάστημα στο λιμάνι και πολλά φορτία τίθενται εκτός λειτουργίας. Θα μπορούσε να αντιστοιχιστεί στο ίδιο αυτοματοποιημένο σενάριο με τη στήλη 5, απλά η ζήτηση ισχύος είναι μειωμένη.

Οι στήλες 7 και 8 του ηλεκτρικού ισολογισμού περιγράφουν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, στην πρώτη από τις οποίες το πλοίο έχει τη δυνατότητα να κινηθεί ενώ στη δεύτερη όχι. Οι λειτουργίες αυτές δεν αντιστοιχίζονται σε αυτοματοποιημένες καταστάσεις μπορούν να εμφανιστούν με χειροκίνητες ρυθμίσεις.

Ο μέσος όρος μετρήσεων για τις καταστάσεις A1 και Γ3 που εμφανίζονται πιο

$$P_{avg\Gamma3} = 2449.2kW$$

συχνά ενώ στις μετρήσεις είναι : $P_{avgA1} = 2004.5kW$

Συγκρίνοντας τη κατάσταση A1 με τη στήλη 5 του ηλεκτρικού ισολογισμού για χρήση σε χειμερινούς μήνες παρατηρείται μια διαφορά της τάξης του 13.6 %.

Επίσης συγκρίνοντας την κατάσταση Γ3 με τη στήλη 3 (παρά το γεγονός ότι δε συμμετέχουν στην ηλεκτροπαραγωγή οι ίδιες γεννήτριες) του ηλεκτρικού ισολογισμού για χρήση σε χειμερινούς μήνες παρατηρείται μια διαφορά της τάξης του 17.8 %.

Γενικά, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η μελέτη του ηλεκτρικού ισολογισμού θα μπορούσε να είναι πιο επιτυχημένη και να πλησιάζει περισσότερο τις πραγματικές καταστάσεις του πλοίου.

Κεφάλαιο 4

4.1 Μοντελοποίηση Ηλεκτρικών Δικτύων με το PSS/E

4.1.1 Απαιτήσεις για τη μοντελοποίηση ηλεκτρικών δικτύων

Ένα αντιπροσωπευτικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σε μια ανεπτυγμένη χώρα, μπορεί να περιλαμβάνει ενδεικτικά 5000 κόμβους (ζυγούς), 8000 κλάδους, 2500 φορτία μεγάλης ισχύος και 1000 γεννήτριες.

Ένα μοντέλο προσομοίωσης ενός τέτοιου συστήματος θα χρειαζόταν περίπου:

- 5000 ταυτόχρονες μιγαδικές αλγεβρικές εξισώσεις για τη μοντελοποίηση του δικτύου.
- 2500 μη γραμμικές εξισώσεις συνοριακών συνθηκών των φορτίων.
- 1000 ισοδύναμες πηγές (Thevenin ή Norton) για να αναπαραστήσουν τις εσωτερικές τάσεις των γεννητριών.
- 14000 ταυτόχρονες, μη γραμμικές διαφορικές εξισώσεις που διέπουν τις μεταβολές των 14000 μεταβλητών κατάστασης και μοντελοποιούν της γεννήτριες παραγωγής και τα συστήματα ελέγχου τους.

Ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να είναι χρήσιμο μόνο όταν ο μηχανικός έχει ένα ισχυρό εργαλείο για τη μαθηματική επίλυση αυτού του τεράστιου αριθμού εξισώσεων.

Η διαδικασία επίλυσης των αλγεβρικών εξισώσεων για τα δοσμένα φορτία και τις δοσμένες εξόδους ισχύος γεννητριών αναφέρεται ως Υπολογισμός Ροής Φορτίου. Αυτός ο υπολογισμός προϋποθέτει την ύπαρξη μιας επαναληπτικής διαδικασίας. Υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές επαναληπτικές διαδικασίες και οι περισσότερες εξ'αυτών παράγουν μια λύση στη μορφή ενός δοσμένου μέτρου και γωνίας της τάσης για κάθε κόμβο του δικτύου.

Η διαδικασία της ολοκλήρωσης των διαφορικών εξισώσεων για την παραγωγή στιγμιοτύπων της μεταβατικής κατάστασης των στιγμιοτύπων ποσοτήτων, όπως γωνία του δρομέα ή ροή ισχύος (σαν συνάρτηση του χρόνου) καλείται Δυναμική Προσομοίωση.

Η προσομοίωση ροής φορτίου μπορεί να γίνει στον υπολογιστή με ένα εξελεγμένο πρόγραμμα προσομοίωσης όπως το πρόγραμμα PSS/E.

4.1.2 Το πρόγραμμα PSS/E

Το PSS/E ουσιαστικά αποτελεί ένα σύστημα προγραμμάτων και δομημένων αρχείων δεδομένων, σχεδιασμένα για να διαχειρίζονται τις βασικές λειτουργίες ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας όπως:

- Διαχείριση δεδομένων, ενημέρωση και χειρισμός
- Ροή φορτίου
- Ανάλυση σφαλμάτων
- Δυναμική προσομοίωση και μακροπρόθεσμη προσομοίωση
- Κατασκευή ισοδυνάμου

Το PSS/E βασίζεται στη φιλοσοφία ότι όλες οι προσομοιώσεις συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας θα έπρεπε να χρησιμοποιούν το καλύτερο δυνατό μοντέλο για κάθε κομμάτι του εξοπλισμού. Η επιλογή των μοντέλων για κάθε τμήμα του εξοπλισμού περιοριζόταν παλαιότερα από τις χαμηλές δυνατότητες του υλικού των υπολογιστών.

Οι μοντέρνες τεχνολογίες υπολογιστών έχουν περιορίσει την επίδραση των υπολογιστικών δυνατοτήτων του υλικού στα επιλεγόμενα μοντέλα για τον εξοπλισμό. Σήμερα οι κύριοι παράγοντες για την επιλογή των μοντέλων του εξοπλισμού είναι, τόσο η διαθεσιμότητα λεπτομερών στοιχείων όσο και η κατανόηση των φυσικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα σε κάθε τμήμα του εξοπλισμού όπως επίσης και η συμπεριφορά τους υπό το πρίσμα του ηλεκτρικού συστήματος.

Τα βήματα για τη δημιουργία μιας προσομοίωσης ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και η αξιολόγηση της λειτουργίας της στο PSS E είναι τα ακόλουθα:

1. Σχεδιασμός του φυσικού εξοπλισμού (γραμμές μεταφοράς, γεννήτριες, διακόπτες, ρυθμιστές στροφών κλπ) που αποτελεί τη προσομοίωση και επιλογή των σωστών εξισώσεων και τιμές παραμέτρων για την αναπαράσταση του εξοπλισμού.
2. Μεταφορά του φυσικού μοντέλου του συστήματος σε μια μορφή δεδομένων εισόδου του PSS/E αναφερόμενη σε διασυνδεδεμένα μοντέλα ζυγών, κλάδων γεννητριών κλπ. Χρήση ισοδύναμων κυκλωμάτων, τα οποία δεν γίνονται αντικείμενο επεξεργασίας από ένα μόνο μοντέλο στο PSS/E.

3. Χρήση του PSS/E για την επεξεργασία των δεδομένων, εφαρμογή των υπολογισμών και εκτύπωση των αποτελεσμάτων.
4. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων του υπολογισμού αναφορικά με τη φυσική συμπεριφορά του πριν και μετά τη προσομοίωση.

4.1.3 Η δομή του PSS/E

Το πρόγραμμα PSS/E χρησιμοποιεί ένα μεγάλο λειτουργικό αρχείο, το οποίο περιέχει μια πλήρη αναπαράσταση του κυκλώματος θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας και μια δυναμική αναπαράσταση του υπό μελέτη δικτύου. Οι κύριες λειτουργίες του προγράμματος αφορούν την ανάλυση του ηλεκτρικού δικτύου όπως επαναληπτική ροή φορτίων, μελέτη βραχυκυκλωμάτων και συνόψιση υπερφορτίσεων γραμμών. Κάθε μια από τις παραπάνω λειτουργίες αντιστοιχεί σε ένα κουμπί, και τρέχει μια αυτόνομη διαδικασία πάνω στο λειτουργικό αρχείο. Η επαναληπτική ροή φορτίου για παράδειγμα ρυθμίζει τις τάσεις των ζυγών, ώστε να ικανοποιεί τους νόμους του Kirchoff και τις απαιτήσεις των φορτίων και αφήνει το λειτουργικό αρχείο ανεπηρέαστο. Ο χρήστης θα πρέπει να διασφαλίσει ότι το λειτουργικό αρχείο περιέχει σωστά δεδομένα.

Η λειτουργική βάση δεδομένων διατηρεί τα πλήρη μοντέλα συμμετρικών συνιστωσών και τα δυναμικά μοντέλα, που αναπαριστούν ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, οι μέγιστες δυνατότητες του οποίου παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

ζυγοί	150000
φορτία	300000
ζυγοί γεννητριών	26840
γεννήτριες	33050
κλάδοι	300000
μετασχηματιστές	60000
γραμμές dc	50
περιοχές εναλλαγής	1200
αμοιβαίοι σύνδεσμοι μηδενικής ακολουθίας	4000
ζώνες	2000
ιδιοκτήτες	1200

Πίνακας 5 - Μέγιστες δυνατότητες προγράμματος για λειτουργίες ροής φορτίου

ζυγοί	150000
μηχανές	33050
κλάδοι	300000
μετασχηματιστές	60000
μεταβλητές κατάστασης	257900
σταθερές	515800
μεταβλητές	206300
Κανάλια εξόδου	66110
ICONS	257900

Πίνακας 6 - Μέγιστες δυνατότητες προγράμματος για λειτουργίες Δυναμικής Προσομοίωσης

Επιπλέον το PSS/E μπορεί να λειτουργήσει τόσο σε διαδραστική όσο και σε αυτοματοποιημένη μορφή. Στη διαδραστική μορφή, οι λειτουργίες του προγράμματος ελέγχονται από το γραφικό περιβάλλον του. Η εναλλακτική μέθοδος τροφοδοτεί το πρόγραμμα με τις εντολές και τα δεδομένα από ένα μεγάλο αρχείο εισόδου (batch file).

Το προηγούμενο αρχείο εισόδου καλείται υπεύθυνο αρχείο, το PSS/E δέχεται τις εντολές από το αρχείο αυτό εκτελώντας τις ίδιες λειτουργίες όπως και στη διαδραστική λειτουργία εξαιρουμένης μιας διαφορετικής ακολουθίας εισόδου δεδομένων.

4.2 Μοντελοποίηση καταστάσεων λειτουργίας ΣΗΕ πλοίου

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε το τρόπο με τον οποίο εργαστήκαμε στο πρόγραμμα PSS/E και τα αποτελέσματα από τη προσομοίωση ροής φορτίου με τη βοήθεια του προγράμματος PSS/E για τις πιο συχνά εμφανιζόμενες καταστάσεις λειτουργίας του πλοίου.

Για τη πραγματοποίηση μιας προσομοίωσης ροής φορτίου με το PSS/E αρχικά θα πρέπει να εισαχθεί ένα αρχείο δεδομένων τύπου .raw το οποίο κάνει ανάγνωση το πρόγραμμα μας, και μπορούμε να το δημιουργήσουμε με οποιοδήποτε κειμενογράφο. Τα αρχεία τύπου .raw ουσιαστικά τροφοδοτούν το πρόγραμμά μας με τα απαραίτητα δεδομένα για την αναπαράσταση του δικτύου μας σε κατανοητή από το πρόγραμμα μορφή. Ένα αρχείο .raw έχει διακριτά τμήματα, όπου κάθε

τμήμα περιλαμβάνει ένα είδος στοιχείων του εξοπλισμού, π.χ. γεννήτριες, ζυγούς, καλώδια κλπ. Το αρχείο .raw αφού αναγνωστεί από το PSS/E μπορεί να επιλυθεί με μια επαναληπτική μέθοδο της επιλογής μας και να δούμε τα αποτελέσματα της ροής φορτίου. Οι αλλαγές που προκύπτουν από τη προσομοίωση ροής φορτίου δεν αποθηκεύονται στο αρχείο .raw αν εμείς δεν το ζητήσουμε από το πρόγραμμα.

Το πρόγραμμα δύναται να δημιουργήσει οπτικά σκαριφήματα του δικτύου μας τα οποία έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται σε αλλαγές των δεδομένων του δικτύου μας και να μας παρουσιάζουν με οπτικό τρόπο τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις ροής φορτίου. Τα οπτικά αυτά αρχεία είναι τύπου .sld και για να λειτουργήσουν προϋποθέτουν ότι το αντίστοιχο αρχείο .raw έχει ανοιχθεί προηγουμένως. Από τα αρχεία τύπου .sld έχουμε τη δυνατότητα να πάρουμε εικόνες των προσομοιώσεων. Επιπρόσθετα υπάρχουν και άλλες μορφές αρχείων του PSS/E τα οποία έχουν διαφορετική χρησιμότητα, ενδεικτικά αναφέρουμε τα αρχεία τύπου .sav, .shp, .out , τα οποία έχουν παρόμοια λειτουργία με τα αρχεία .raw, αλλά δεν μπορούμε να τα επεξεργαστούμε με κειμενογράφο, καθώς διαβάζονται μόνο από το πρόγραμμα PSS/E.

Αναφορικά με τις προσομοιώσεις του πλοίου ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

Αρχικά επιλέχθηκαν 3 καταστάσεις του ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου οι οποίες θα προσομοιώνονταν. Οι 2 από αυτές αποτελούν τις πιο συνηθισμένες καταστάσεις του πλοίου, ωστόσο το ηλεκτρικό δίκτυο διαφέρει μορφολογικά και υπάρχει διαφορά στη παραγόμενη και ζητούμενη ενεργό ισχύ. Η τρίτη κατάσταση ουσιαστικά αποτελεί ένα ακραίο σενάριο λειτουργίας διαφορετικό από τα προηγούμενα, στο οποίο θα μελετηθεί και το βραχυκύκλωμα αργότερα.

Επειδή στα 3 αυτά σενάρια λειτουργίας το ηλεκτρικό δίκτυο διαφέρει μορφολογικά, δημιουργήθηκαν 3 ξεχωριστά .raw αρχεία με τη περιγραφή του κάθε σεναρίου. Ακολούθως έτρεξε η προσομοίωση της ροής φορτίου με τη μέθοδο Newton-Raphson, στη συνέχεια δημιουργήθηκε το αντίστοιχο οπτικό αρχείο .sld το οποίο και υπέστη μικρή επεξεργασία, ώστε να είναι ευπαρουσίαστο. Έχοντας το αρχείο .sld, στη συνέχεια ρυθμίστηκαν τα taps των μετασχηματιστών ώστε τα επίπεδα τάσης να είναι πολύ κοντά στην επιθυμητή τιμή και ξαναέτρεξε η προσομοίωση. Τέλος, για κάθε σενάριο λειτουργίας εκτός από το αρχείο δεδομένων .raw με τις αποθηκευμένες τις αλλαγές που προέκυψαν από τη προσομοίωση της ροής φορτίου, είναι διαθέσιμο ακόμα το αντίστοιχο αρχείο .sld και εικόνες από αυτό,

καθώς και μια έτοιμη αναφορά του προγράμματος προσανατολισμένη στους ζυγούς του συστήματος.

Σημειώνεται ότι η κατασκευή των αρχείων .raw έγινε αφού πρώτα μετατράπηκαν τα απαιτούμενα μεγέθη στο ανά μονάδα σύστημα (όπως καλώδια, ισχύς φορτίων και γεννητριών κλπ), για τους μετασχηματιστές χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τη δοκιμή βραχυκύκλωσης, ώστε να υπολογισθούν η αντίσταση και η αντίδραση τους. Αναλυτικά στοιχεία για τη μετατροπή στο ανά μονάδα σύστημα βρίσκονται στο παράρτημα Α.

Επιπροσθέτως, απλοποιήθηκε το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα του και να είναι ευκολότερα διαχειρίσιμο.

- Όπου υπήρχαν περισσότερα από ένα καλώδια παράλληλα, υπολογίστηκε η ισοδύναμη αντίσταση και αντίδραση σαν να ήταν ένα ισοδύναμο καλώδιο.
- Αμελήθηκαν ορισμένα μη σημαντικά φορτία για λόγους απλοποίησης και χρησιμοποιήθηκαν τα φορτία, που είναι πιο σημαντικά για τη λειτουργία του πλοίου.
- Οι κινητήρες των ηπλευρικών προωστήριων μηχανισμών, που είναι μεγάλοι καταναλωτές δε συμμετέχουν στη προσομοίωση, διότι χρησιμοποιούνται μόνο στη λειτουργία ελιγμών και απομονώνονται από τον κύριο ζυγό κατά τη λειτουργία τους.
- Υπολογίστηκε η αντίσταση και αντίδραση των μετασχηματιστών με τη βοήθεια της δοκιμής βραχυκύκλωσης.

4.2.1 Προσομοίωση κατάστασης Λιμανιού (A1)

Η κατάσταση αυτή, όπως διαπιστώθηκε στο κεφάλαιο 3 είναι συνηθισμένη όταν το πλοίο βρίσκεται στο λιμάνι. Στη συγκεκριμένη προσομοίωση παρουσιάζεται η κατάσταση του πλοίου στις 23/1/2011 και ώρα 6:21 πμ.

Στη συγκεκριμένη κατάσταση, η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από δύο παραλληλισμένες νηζελογεννήτριες. Το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ενιαίο και η ζήτηση φορτίων είναι ελαφρά μειωμένη σε σύγκριση με τη ζήτηση, όταν το πλοίο είναι στη θάλασσα. Σημειώνεται ότι οι μεγάλοι καταναλωτές του πλοίου, δηλαδή οι πλευρικοί προωστήριοι μηχανισμοί δε βρίσκονται σε λειτουργία στην κατάσταση αυτή. Ακολούθως, παρουσιάζεται στο σχήμα 17 την εικόνα που προέκυψε από το αρχείο .slid της κατάστασης A1. Στο κέντρο της εικόνας απεικονίζεται ο κεντρικός ζυγός, ο οποίος τροφοδοτείται από τις δύο νηζελογεννήτριες εκείνη τη στιγμή, όπως φαίνεται κάτω δεξιά στο σχήμα. Το φορτίο των δύο γεννητριών είναι σχεδόν ισομοιρασμένο και η νηζελογεννήτρια 2 έχει αναλάβει να διατηρεί την τάση στα επιθυμητά επίπεδα (swing bus).

Παρατηρούμε ότι τα στοιχεία MCC1 και MCC2 (ζυγοί 2002 και 2006) έχουν έντονη επαγωγική συμπεριφορά και καταναλώνουν αρκετή ποσότητα αέργου ισχύος, κάτι που είναι λογικό, καθώς αποτελούν ομαδοποιημένους πίνακες κινητήρων.

Το στοιχείο ESB από τα αρχικά Emergency Switchboard αντιστοιχεί στο πίνακα έκτακτης ανάγκης (ζυγός 2008). Το στοιχείο αυτό θεωρούμε ότι τροφοδοτεί τις μπαταρίες του πλοίου και ενδεχομένως ορισμένα πολύ κρίσιμα φορτία τα οποία σε περίπτωση διακοπής θα τροφοδοτηθούν αμέσως από τις μπαταρίες.

Υπάρχουν επίσης δύο γραμμές που τροφοδοτούν τις πρίζες φορτηγών ψυγείων (ζυγοί 2009 και 2010) μέσω μετασχηματιστή τριών τυλιγμάτων 440/440/230 V, ωστόσο εμείς αγνοήσαμε το τύλιγμα χαμηλής τάσης. Το φορτίο αυτό παρουσιάζει αρκετά επαγωγική συμπεριφορά και καταναλώνει αρκετή άεργο ισχύ.

Ακόμα υπάρχουν δύο γραμμές τροφοδοσίας του μαγειριού (ζυγοί 2001 και 2007), στις οποίες μεσολαβεί μετασχηματιστής 440/440 V. Αυτές παρουσιάζουν μέτρια επαγωγική συμπεριφορά κάνοντας τη παραδοχή ότι χρησιμοποιούνται μεσαίου μεγέθους κινητήρες για την παρασκευή φαγητού, αλλά και τη λειτουργία διαφόρων ψυγείων.

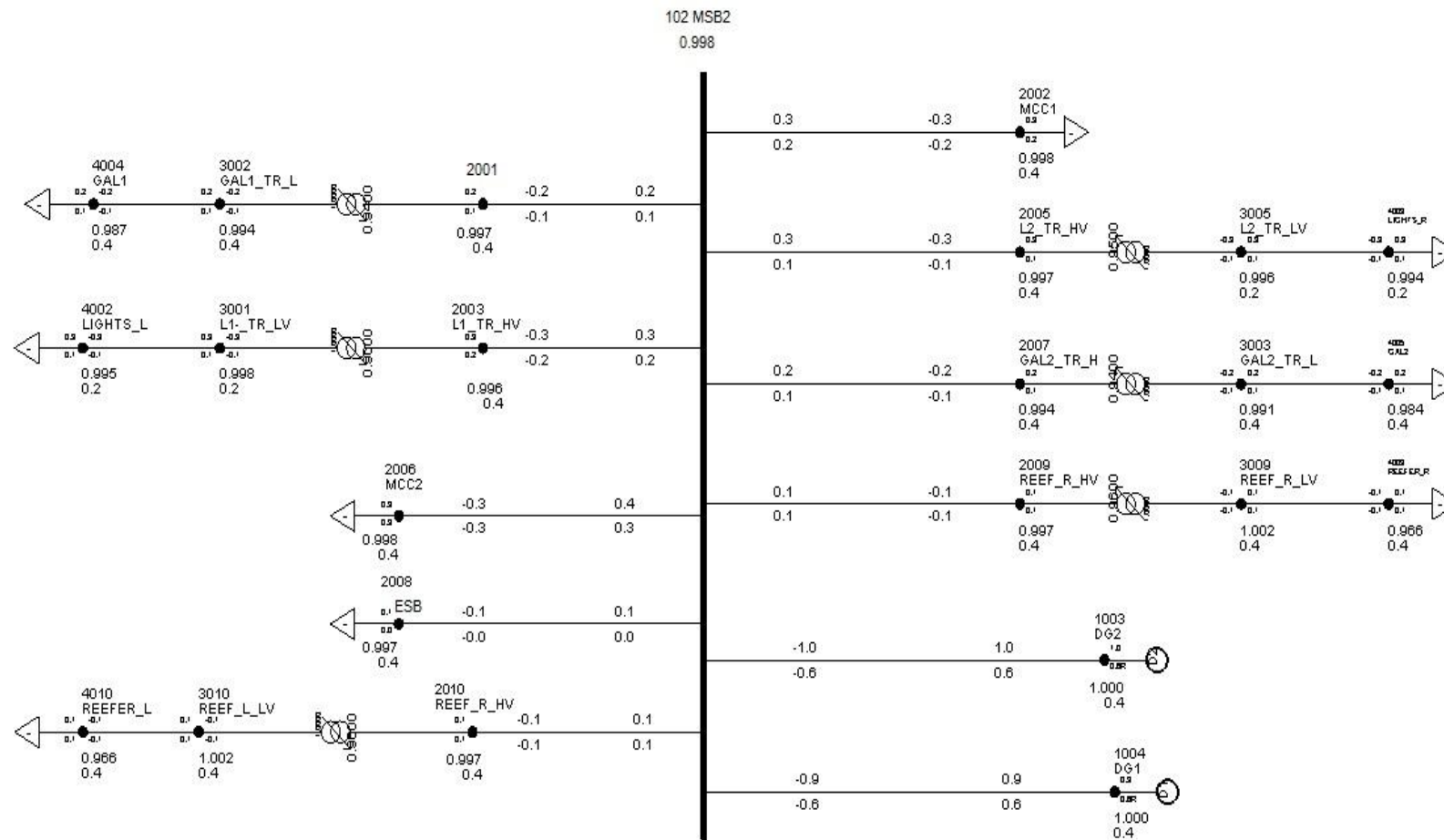
Τέλος, υπάρχουν και δύο γραμμές φωτισμού (ζυγοί 2003 και 2005) οι οποίες παρουσιάζουν μέτρια επαγωγική συμπεριφορά.

Πρέπει ακόμα να αναφερθεί ότι στο υπάρχον στιγμιότυπο (σχήμα 17) οι τάσεις των ζυγών είναι πολύ κοντά στην ονομαστική τους. Αυτό επιτεύχθηκε με διαδοχικές εκτελέσεις της επαναληπτικής μεθόδου της ροής φορτίου, ρυθμίζοντας κατάλληλα τα taps των μετασχηματιστών κάθε φορά.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το χαμηλότερο tap στο συγκεκριμένο στιγμιότυπο είναι 0.9 από τη πλευρά υψηλής μετά το ζυγό φωτισμού 2003. Συγκρίνοντας την αντίστοιχη ρύθμιση για το tap του μετασχηματιστή της άλλης γραμμής φωτισμού μετά το ζυγό 2005 παρατηρείται ότι είναι 0.95, και το φορτίο των δύο γραμμών είναι το ίδιο. Το παραπάνω οφείλεται στο γεγονός ότι στο αρχικό σχέδιο του ηλεκτρικού δικτύου υπήρχαν τρεις όμοιες γραμμές που τροφοδοτούσαν το πίνακα φωτισμού. Από αυτές, οι δύο απλοποιήθηκαν θεωρώντας ότι είναι παράλληλα συνδεδεμένες (ζυγός 102 ως ζυγός 4003) και η τρίτη έμεινε ως έχει (ζυγός 102 ως ζυγός 4002). Συνεπώς οι παράλληλα συνδεδεμένες γραμμές (102->4003) έχουν μικρότερη σύνθετη αντίσταση από την τρίτη γραμμή (102->4002).

Υποθέτοντας ότι ο ζυγός 102 έχει σταθερή τάση 1 ανά μονάδα και ο μετασχηματιστής έχει ρυθμιστεί ώστε τα taps να έχουν σχέση 1:1, η τάση τότε στο ζυγό 2003 μειώνεται, καθώς αυξάνεται το άεργο φορτίο Q της γραμμής [8.]. Επειδή δεν είναι δυνατή η τοπική παραγωγή αέργου ισχύος γίνεται ρύθμιση στο tap του μετασχηματιστή στην υψηλή πλευρά, έτσι ώστε όταν δέχεται 0.9 αμ της ονομαστικής του τάσης στο τύλιγμα υψηλής να αποδίδει τάση 1 αμ στο τύλιγμα χαμηλής.

Περισσότερες πληροφορίες (και αποτελέσματα με μεγαλύτερη ακρίβεια) της προσομοίωσης ροής φορτίου μπορούν να βρεθούν στο αντίστοιχο αρχείο .raw της συγκεκριμένης κατάστασης στο παράρτημα Γ.



Σχήμα 17 - εικόνα από τη προσομοίωση της κατάστασης A1 στο πρόγραμμα PSS/E

4.2.2 Προσομοίωση κατάστασης εν πλω (Γ3)

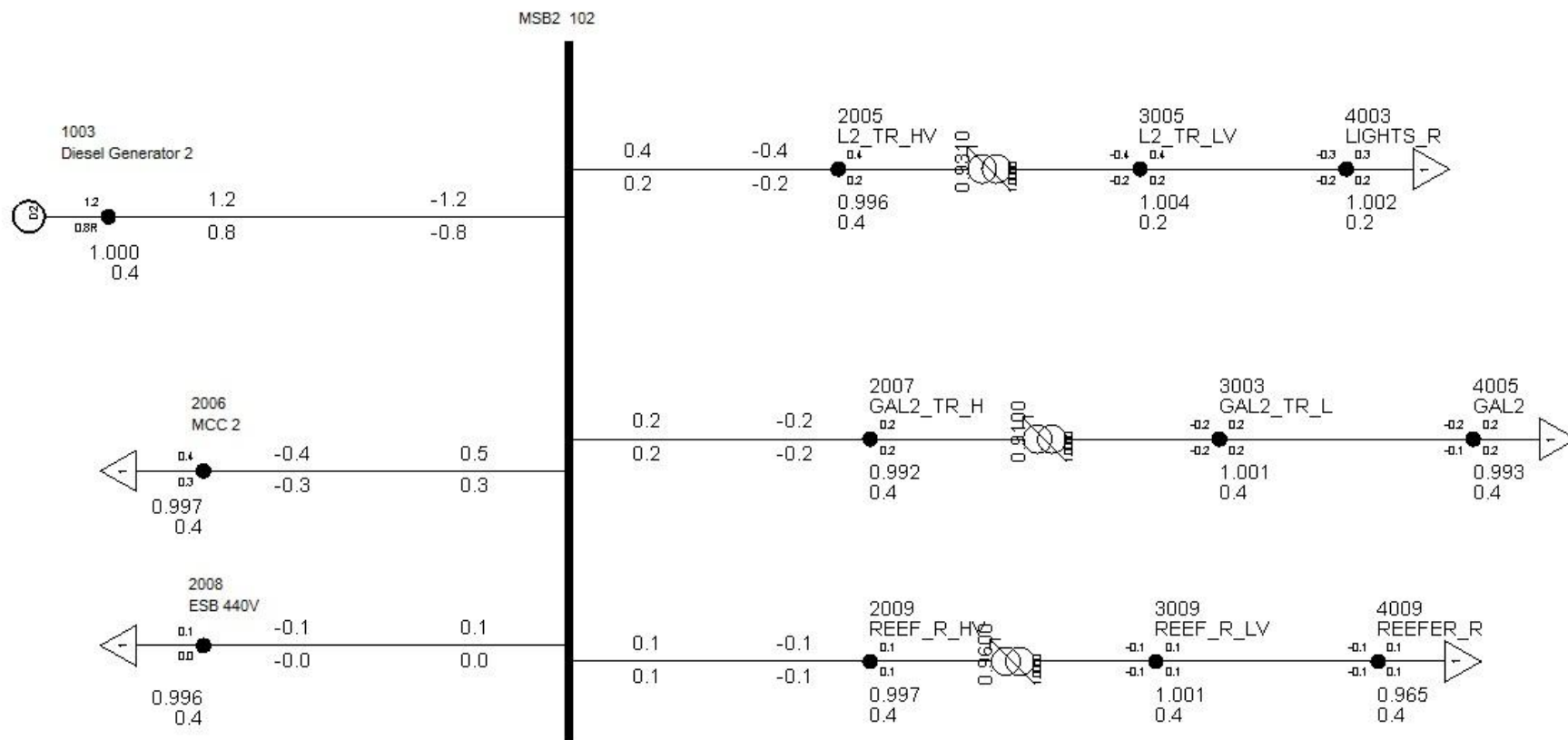
Η κατάσταση αυτή όπως διαπιστώθηκε στο κεφάλαιο 3 είναι συνηθισμένη όταν το πλοίο βρίσκεται εν πλω και τίθεται σε λειτουργία με χειροκίνητο τρόπο. Στη συγκεκριμένη προσομοίωση παρουσιάζεται η κατάσταση του πλοίου στις 21/1/2011 και ώρα 3:46 π.μ.

Στη συγκεκριμένη κατάσταση, η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από μία ντηζελογεννήτρια και μια αξονική γεννήτρια. Το ηλεκτρικό δίκτυο δεν είναι ενιαίο, αλλά χωρίζεται σε δύο επιμέρους δίκτυα για τους λόγους που εξηγήθηκαν στο κεφάλαιο 2.3. Σημειώνεται ότι οι μεγάλοι καταναλωτές του πλοίου, δηλαδή οι πλευρικοί προωστήριοι μηχανισμοί δε βρίσκονται σε λειτουργία στη κατάσταση εν πλω, καθώς το πλοίο δεν χρειάζεται να κάνει ελιγμούς στη θάλασσα, και αν αυτό απαιτηθεί μπορεί να γίνει με χρήση του τιμονιού.

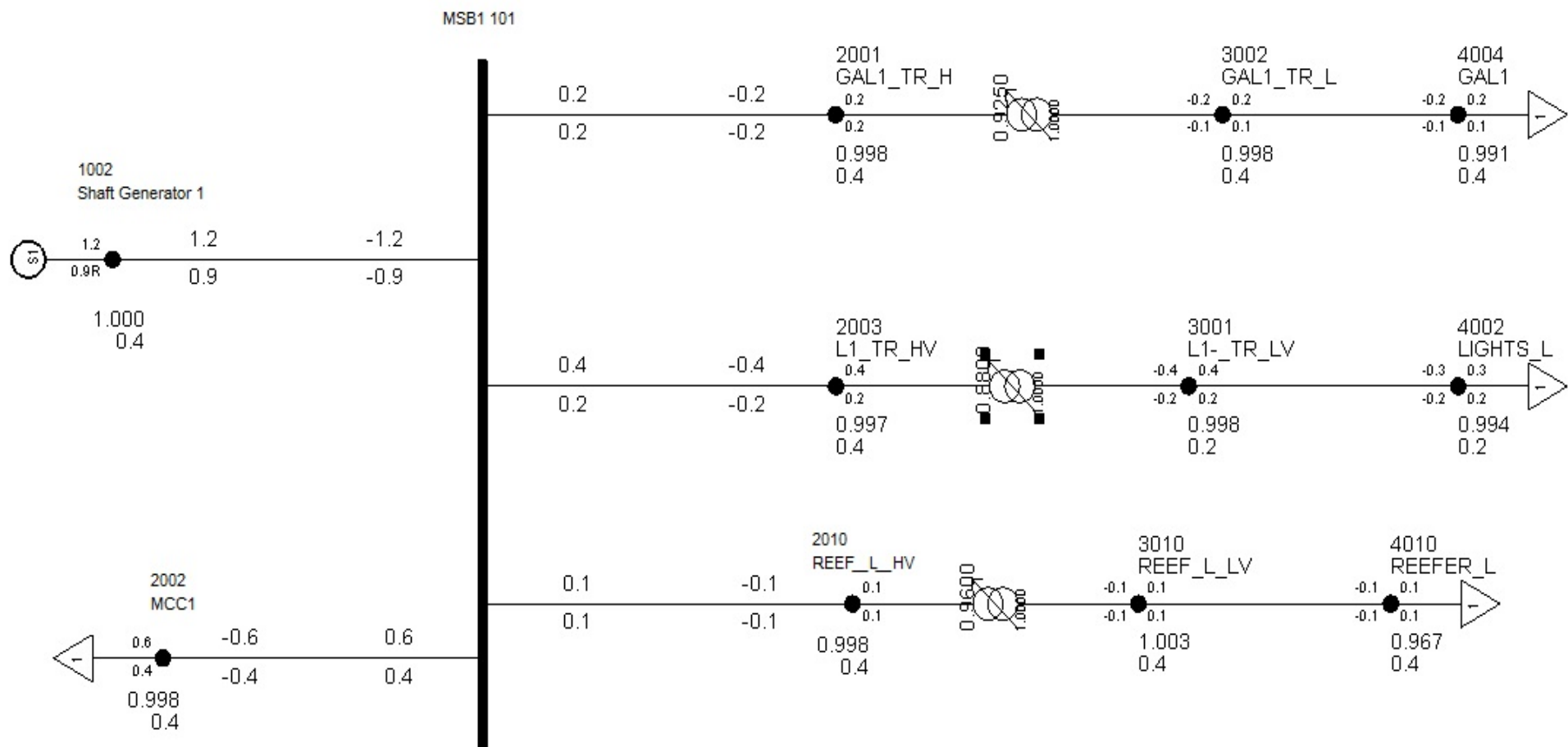
Ακολούθως παρουσιάζεται στο σχήμα 18 η εικόνα που προέκυψε από το αρχείο .sld της κατάστασης Γ3 για το υποδίκτυο που τροφοδοτείται από την ντηζελογεννήτρια. Στη συνέχεια παρουσιάζεται στο σχήμα 19 η εικόνα που προέκυψε από το αρχείο .sld της κατάστασης Γ3 για το υποδίκτυο που τροφοδοτείται από την αξονική γεννήτρια. Και οι δύο γεννήτριες έχουν αναλάβει να διατηρούν τη τάση στα επιθυμητά επίπεδα (swing bus), καθώς για κάθε επιμέρους υποδίκτυο δεν υπάρχει άλλη διαθέσιμη γεννήτρια για να αναλάβει αυτό το ρόλο.

Αντιστοίχως και εδώ έγιναν αρκετές εκτελέσεις της επαναληπτικής μεθόδου ρυθμίζοντας τα tap των μετασχηματιστών, ώστε οι τάσεις όλων των ζυγών να βρεθούν πολύ κοντά στο 1 αμ. Η χαμηλότερη ρύθμιση tap βρίσκεται πάλι στον ίδιο μετασχηματιστή φωτισμού, όπως και στη κατάσταση A1 με ρύθμιση στην υψηλή τάση 0.88.

Περισσότερες πληροφορίες (και αποτελέσματα με μεγαλύτερη ακρίβεια) της προσομοίωσης ροής φορτίου μπορούν να βρεθούν στο αντίστοιχο αρχείο .raw της συγκεκριμένης κατάστασης στο παράρτημα Γ.



Σχήμα 18 - εικόνα από τη προσομοίωση της κατάστασης Γ3 (μέρος του δικτύου που τροφοδοτεί η νηζελογεννήτρια) στο πρόγραμμα PSS/E



Σχήμα 19 - εικόνα από τη προσομοίωση της κατάστασης Γ3
(μέρος του δικτύου που τροφοδοτεί η νηζελογεννήτρια) στο πρόγραμμα PSS/E

4.2.3 Προσομοίωση κατάστασης ελιγμών μόνο με χρήση ντηζελογεννητριών

Η κατάσταση αυτή δεν εμφανίστηκε στις μετρήσεις μας, καθώς η διαδικασία ελιγμών στο λιμάνι διαρκεί λίγα λεπτά και αποτελεί μια οριακή κατάσταση για το πλοίο. Στο συγκεκριμένο σενάριο ελιγμών οι τρεις ντηζελογεννήτριες παραλληλίζονται στο κύριο ζυγό και τροφοδοτούν όλα τα φορτία, ο μελετητής σε αυτή τη κατάσταση τοποθέτησε αυτοματισμό, ο οποίος επιτρέπει να τεθεί σε λειτουργία μόνο ένας πλευρικός προωστήριος μηχανισμός. Στη πράξη αυτό το σενάριο δεν χρησιμοποιείται συχνά καθώς για τη πρόσδεση του πλοίου στο λιμάνι χρησιμοποιούνται τουλάχιστον 2 πλευρικοί προωστήριοι μηχανισμοί.

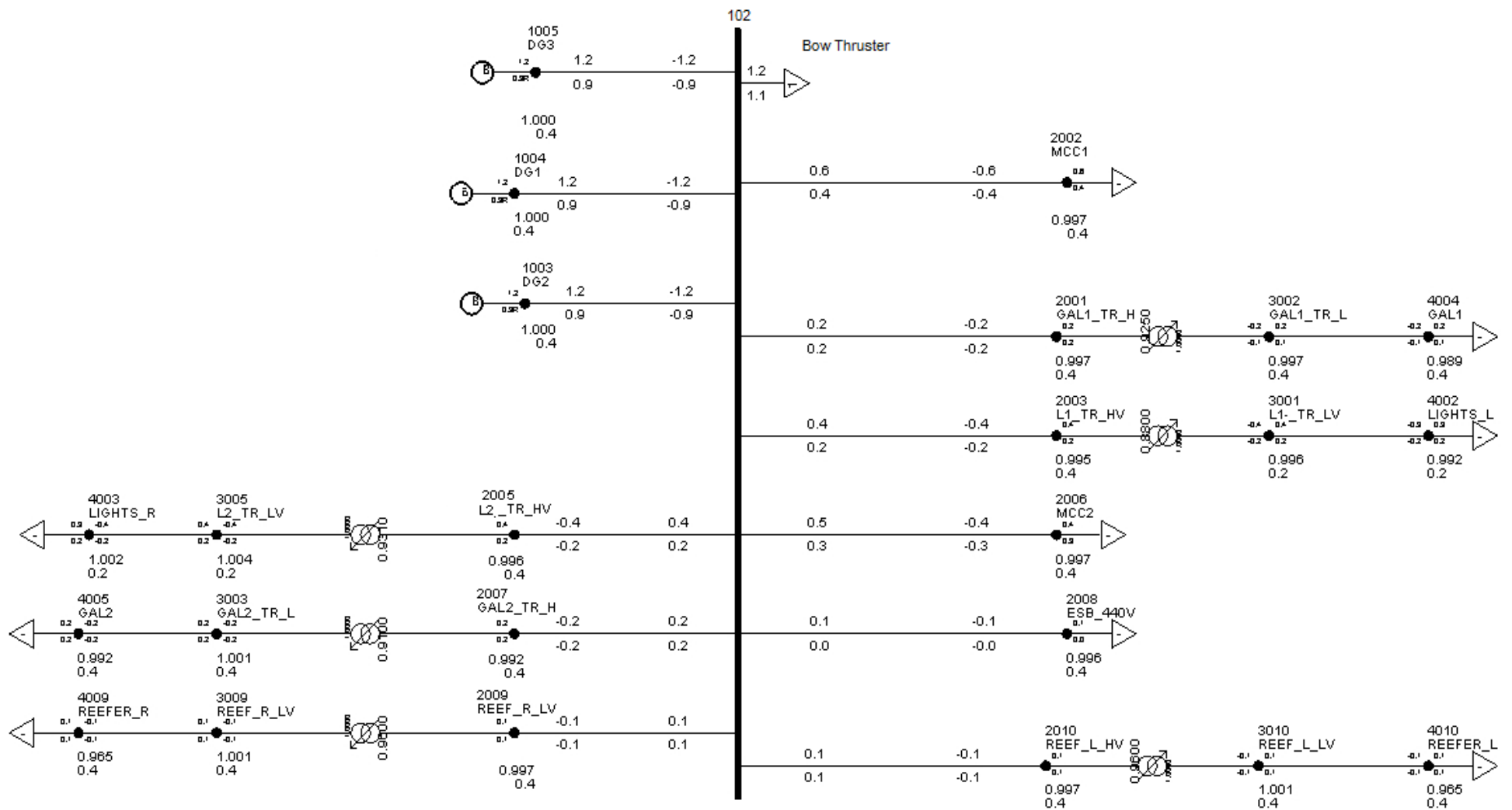
Όμως σε αυτό το σενάριο το ηλεκτρικό δίκτυο διαιρείται σε 3 τμήματα, όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.2, όπου το κύριο ζυγό τροφοδοτούν οι ντηζελογεννήτριες και κάθε μια αξονική γεννήτρια τροφοδοτεί τους αντίστοιχους πλευρικούς προωστήριους μηχανισμούς και ενδεχομένως μερικές πρίζες φορτηγών ψυγείων. Θεωρήθηκε ότι το συγκεκριμένο σενάριο δε θα είχε έντονο ενδιαφέρον να μελετηθεί και επιλέξαμε το σενάριο ελιγμών με 3 ντηζελογεννήτριες και ένα ζυγό.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη προσομοίωση θεωρήθηκε ότι ο πλευρικός προωστήριος μηχανισμός συνδέεται απευθείας στο κύριο ζυγό λόγω έλλειψης στοιχείων για τη καλωδίωση του.

Ακολούθως παρουσιάζεται στο σχήμα 20 η εικόνα που προέκυψε από το αντίστοιχο αρχείο .sld της κατάστασης ελιγμών για το δίκτυο του πλοίου. Στην προκειμένη περίπτωση, η ντηζελογεννήτρια 2 αναλαμβάνει να κρατήσει σταθερή τη συχνότητα (swing bus).

Αντιστοίχως και εδώ έγιναν αρκετές εκτελέσεις της επαναληπτικής μεθόδου ρυθμίζοντας τα taps των μετασχηματιστών, ώστε οι τάσεις όλων των ζυγών να βρεθούν πολύ κοντά στο 1 αμ. Η χαμηλότερη ρύθμιση tap βρίσκεται πάλι στον ίδιο μετασχηματιστή φωτισμού, όπως και στη κατάσταση A1 με ρύθμιση στην υψηλή τάση 0.88.

Περισσότερες πληροφορίες (και αποτελέσματα με μεγαλύτερη ακρίβεια) της προσομοίωσης ροής φορτίου μπορούν να βρεθούν στο αντίστοιχο αρχείο .raw της συγκεκριμένης κατάστασης στο παράρτημα Γ.



Σχήμα 20 - εικόνα από τη προσομοίωση της κατάστασης ελιγμών στο πρόγραμμα PSS/E

Κεφάλαιο 5

5.1 Το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου κατά το βραχυκύκλωμα

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

IEC-61909 για βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις ΕΡ ξηράς

IEC-61363 για βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις ΕΡ πλοίων

IEC-61660-1 για βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις ΣΡ ξηράς

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

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

Ο κανονισμός IEC-61909 δίνει μόνον τη μεθοδολογία υπολογισμού χωρίς να υποδεικνύει τις ιδιαίτερες συνθήκες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά τη μελέτη βραχυκυκλώματος . Αντίθετα, ο κανονισμός IEC-61363 ορίζει σαφώς ότι για τα πλοία πρέπει να γίνεται μελέτη για τριφασικό βραχυκύκλωμα (η δυσμενέστερη περίπτωση), όλοι δε οι υπολογισμοί να γίνονται για χρονική στιγμή ίση με τη πρώτη ημιπερίοδο ($T/2$) της ονομαστικής ηλεκτρικής συχνότητας του δικτύου συνεπώς, δεν έχει πραγματοποιηθεί καθόλου απόσβεση. Από την άποψη αυτή, ο κανονισμός IEC-61363 είναι αυστηρότερος.

Μοντελοποίηση του Δικτύου τη στιγμή ($t+$) μετά το βραχυκύκλωμα

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

Τα ενεργητικά, αποτελούν ουσιαστικά όλες οι στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές ανεξαρτήτως εάν λειτουργούν ως γεννήτριες ή κινητήρες . Η μέγιστη συνεισφορά στην τροφοδότηση των σφαλμάτων [9.] καθόλη τη διάρκεια τους προέρχεται από τις σύγχρονες μηχανές, ενώ οι ασύγχρονες συνεισφέρουν περισσότερο κατά την

έναρξη . Τέλος, μικρή, αλλά όχι αμελητέα, επίδραση στη συμπεριφορά όλων των μηχανών έχει και η κατάσταση φόρτισής τους πριν το βραχυκύκλωμα.

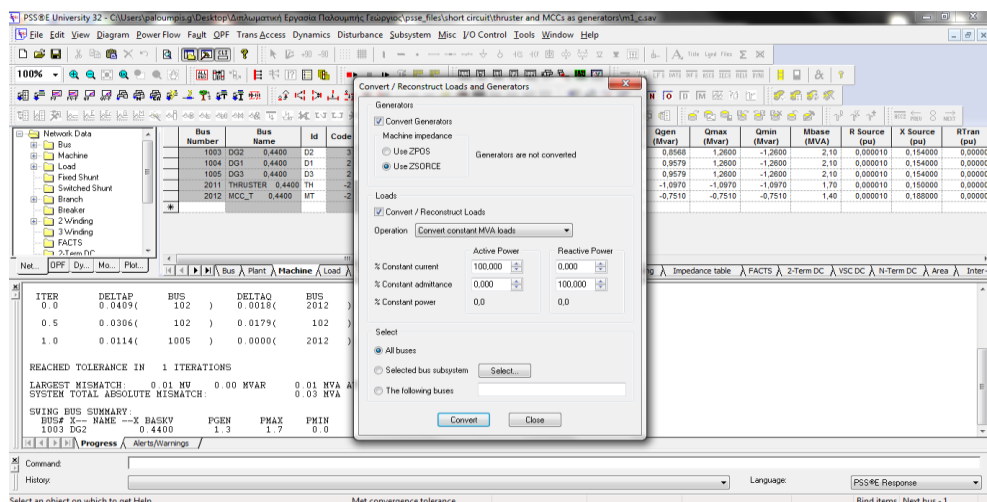
Στα παθητικά στοιχεία συγκαταλέγονται τα καλώδια, οι μετασχηματιστές, τα επαγωγικά πηνία, κλπ.

Αξίζει να σημειωθεί ότι με το που αντιληφθεί μια στρεφόμενη μηχανή το βραχυκύκλωμα αντιδρά προσπαθώντας να το τροφοδοτήσει, εμφανιζόμενη στο δίκτυο ως πηγή τάσης με χαμηλές μάλιστα επαγωγικές αντιδράσεις. Οι ωμικές αντιστάσεις δρουν αποσβεστικά και μόνον συνεισφέροντας στη διαμόρφωση του χρόνου απόσβεσης των φαινομένων.

5.2 Πραγματοποίηση προσομοίωσης βραχυκυκλώματος στο PSS/E

Για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση βραχυκυκλώματος στο πρόγραμμα PSS/E θα πρέπει προηγουμένως να έχει εισαχθεί το αντίστοιχο αρχείο.raw του δικτύου που μας ενδιαφέρει και να έχει εκτελεστεί κάποια επαναληπτική μέθοδος για τη προσομοίωση της ροής φορτίου του συγκεκριμένου δικτύου.

Ουσιαστικά το αποτέλεσμα της προσομοίωσης ροής φορτίου αποτελεί τα δεδομένα του προγράμματος για τη χρονική στιγμή (t-) ακριβώς πριν το βραχυκύκλωμα. Αμέσως μετά από το άνω μενού της κεντρικής οθόνης του PSS/E επιλέγουμε Powerflow -> Convert Loads and Generators και στη συνέχεια επιλέγουμε Convert Generators, Convert / Reconstruct Loads όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 21 - Μετατροπή του μοντέλου των Γεννητριών και Φορτίων

Με την παραπάνω διαδικασία μετατράπηκαν τα μοντέλα των γεννητριών και των φορτίων, ώστε να είναι κατάλληλα για τη στιγμή (t+), δηλαδή τη στιγμή αμέσως μετά το βραχυκύκλωμα. Χρήσιμο είναι να γίνεται αποθήκευση του αρχείου μας τόσο μετά τη ροή φορτίου, αλλά και μετά τη μετατροπή των μοντέλων γεννητριών και φορτίων.

Στη συνέχεια παρατηρούμε στο κάτω μέρος τη κύριας οθόνης του PSS/E υπάρχει η γραμμή εντολών του προγράμματος και αμέσως από πάνω ένα παράθυρο όπου εμφανίζονται μηνύματα και αποτελέσματα από το PSS/E.

Στη γραμμή εντολών δίνουμε την εντολή CHNG με την οποία ουσιαστικά ζητούμε από το πρόγραμμα να εφαρμοσεί το σφάλμα. Στη συνέχεια το πρόγραμμα εμφανίζεται μια ομάδα επιλογών και μας ζητά να επιλέξουμε σε τι είδος στοιχείων θέλουμε να γίνει το σφάλμα και να πληκτρολογήσουμε το αντίστοιχο νούμερο.

Το επόμενο στάδιο ζητά από το χρήστη με βάση το αρχείο.raw που έχει εισάγει και τη προηγούμενη επιλογή του να δώσει στο PSS/E το όνομα του στοιχείου από τη συγκεκριμένη υπομάδα στοιχείων όπου επέλεξε να γίνει το σφάλμα. Σημειώνεται ότι στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέξαμε τα σφάλματα να γίνονται σε ζυγούς του συστήματος.

Στη συνέχεια το πρόγραμμα PSS/E ρωτά αν ο χρήστης θέλει να αλλάξει τα δεδομένα του επιλεγμένου στοιχείου. Με βάση αυτό το στοιχείο δίνει μια ομάδα δεδομένων που το αφορούν καλώντας το χρήστη να τροποποιήσει όποια επιθυμεί. Γενικά για τα τριφασικά σφάλματα που μας ενδιαφέρουν μπορούμε να προσθέσουμε μια μεγάλη αγωγιμότητα ενδεικτικά $B = -2E9$. Αμέσως μετά, το PSS/E ζητά από το χρήστη αν θέλει να αλλάξει κάποιο από τα δεδομένα της ροής φορτίου που εκτελέστηκε προηγουμένως.

Το επόμενο βήμα είναι η εκτέλεση των εντολών ORDR, FACT, TYSL με τη σειρά που αναφέρονται και επιλύουν το πρόβλημα τη στιγμή (t+) αμέσως μετά το βραχυκύκλωμα.

Η εντολή ORDR επεξεργάζεται τους ζυγούς του δικτύου, ώστε να είναι διαχειρίσιμοι με μορφή πινάκων.

Η εντολή FACT παραγοντοποιεί το πίνακα αγωγιμοτήτων του δικτύου.

Η εντολή TYSL αποτελεί μια ειδική επαναληπτική διαδικασία κατάλληλη για χρήση σε προσομοιώσεις διακοπτικών και δυναμικών φαινομένων. Αυτή η διαδικασία

διαχειρίζεται το μέρος του δικτύου όπου υπάρχει το πρόβλημα με ευθεία επίλυση, και είναι επίσης ευαίσθητη στις οριακές συνθήκες των φορτίων.

Ακολούθως δίνεται η εντολή POUT, με την οποία ζητείται από το PSS/E να εξάγει δεδομένα από την κατάσταση αμέσως μετά το βραχυκύκλωμα (+). Πρώτα ζητείται πού θέλει ο χρήστης να εμφανιστούν τα αποτελέσματα, η επιλογή 7 είναι η οθόνη του υπολογιστή και έπειτα το πρόγραμμα δίνει την επιλογή εισαγωγής έως 20 ζυγών, για τους οποίους μπορεί να βγάλει αποτελέσματα.

Παρακάτω παραθέτουμε ενδεικτικά ένα παράδειγμα από το δίκτυο του υπό μελέτη πλοίου, όταν το βραχυκύκλωμα έγινε στο κύριο ζυγό 102. Με κίτρινο παρουσιάζονται τα δεδομένα που ο χρήστης εισάγει στο πρόγραμμα.

CHNG

ENTER CHANGE CODE:

0 = EXIT ACTIVITY 1 = BUS DATA
2 = GENERATOR DATA 3 = BRANCH DATA
4 = 2 WINDING TRANSFORMER DATA 5 = AREA INTERCHANGE DATA
6 = TWO-TERMINAL DC LINE DATA 7 = SOLUTION PARAMETERS
8 = CASE HEADING 9 = SWITCHED SHUNT DATA
10 = IMPEDANCE CORRECTION TABLES 11 = MULTI-TERMINAL DC DATA
12 = ZONE NAMES 13 = INTER-AREA TRANSFER DATA
14 = OWNER NAMES 15 = MACHINE OWNERSHIP DATA
16 = BRANCH OWNERSHIP DATA 17 = FACTS CONTROL DEVICE DATA
18 = 3 WINDING TRANSFORMER DATA 19 = VSC DC LINE DATA
20 = FIXED BUS SHUNT DATA: 1

ENTER BUS NUMBER (0 FOR NEW CHANGE CODE, -1 TO EXIT): 102

BUS DATA FOR BUS 102 [MSB2 0.4400]:

CODE S H U N T

OLD 1 0.00 0.00 CHANGE IT?: 1

ENTER CODE, G, B

,-2E9

AREA VOLT ANGLE X-- NAME --X BASVLT ZONE OWNER

OLD 1 0.9973 0.00 MSB2 0.440 2 1 CHANGE IT?: -1

NO POWER FLOW DATA CHANGED FOR BUS 102 [MSB2 0.4400]

SHUNT "1" AT BUS 102 [MSB2 0.4400] ADDED. POWER FLOW DATA ITEMS WITH NON-DEFAULT VALUES:

X--DEFAULT---X X---ACTUAL---X DATA ITEM

0.00000 -0.200000E+10 BL

ENTER BUS NUMBER (0 FOR NEW CHANGE CODE, -1 TO EXIT): -1

ACTIVITY? **ORDR**

DIAGONALS = 25 OFF-DIAGONALS = 24 MAX SIZE = 48

ACTIVITY ? **FACT**

25 DIAGONAL AND 24 OFF-DIAGONAL ELEMENTS

ACTIVIT ? **TYSL**

ITER DELTAV/TOL X----- AT BUS -----X REAL(DELTAV) IMAG(DELTAV)

1 *****	3001	[L1_TR_LV	0.2300]	-0.1069E+01	-0.3705E-01
2 18748.580	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.4690E-01	0.1815E+00
3 10941.989	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.8014E-01	-0.7450E-01
4 7249.474	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	-0.6909E-01	-0.2194E-01
5 5130.396	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.1094E-01	0.5012E-01
6 3780.377	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.2788E-01	-0.2553E-01
7 2861.689	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	-0.2734E-01	-0.8469E-02
8 2207.738	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.5038E-02	0.2149E-01
9 1726.980	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.1249E-01	-0.1192E-01
10 1365.009	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	-0.1313E-01	-0.3725E-02
11 1087.500	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.2761E-02	0.1052E-01
12 871.758	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.6135E-02	-0.6193E-02
13 702.198	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	-0.6809E-02	-0.1716E-02
14 567.784	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.1608E-02	0.5445E-02
15 460.501	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.3137E-02	-0.3371E-02
16 374.403	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	-0.3658E-02	-0.7993E-03
17 305.003	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.9575E-03	0.2896E-02
18 248.863	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.1635E-02	-0.1876E-02
19 203.319	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	-0.1999E-02	-0.3686E-03
20 166.284	4002	[LIGHTS_L	0.2300]	0.5739E-03	0.1561E-02

TERMINATED AFTER 20 ITERATIONS

LARGEST MISMATCH: 0.00 MW 0.00 MVAR 0.00 MVA AT BUS 4002 [LIGHTS_L 0.2300]

SYSTEM TOTAL ABSOLUTE MISMATCH: 0.00 MVA

ACTIVITY? POUT

ENTER OUTPUT DEVICE CODE:

0 FOR NO OUTPUT

1 FOR REPORT DEVICE

2 FOR A FILE

3 FOR DEFAULT PRINTER

6 FOR ALTERNATE SPOOL DEVICE

7 FOR PROGRESS DEVICE: 7

ENTER UP TO 20 BUS NUMBERS

1003 1004 1005 102 2011 2012 2001 2008

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS@E UniversityTUE, JUL 19 2011 0:17

PSS(R)E PROGRAM APPLICATION GUIDE EXAMPLE

RATING %MVA FOR TRANSFORMERS

BASE CASE INCLUDING SEQUENCE DATA

SET A % I FOR NON-TRANSFORMER BRANCHES

BUS 1003 DG2 0.4400 CKT MW MVAR MVA % 0.0247PU -50.32

FROM GENERATION 0.3 0.2R 0.4 17 0.0109KV

TO 102 MSB2 0.4400 1 0.3 0.2 0.4 490

FAULT MVA 0.0 0.0 0.0

BUS 1004 DG1 0.4400 CKT MW MVAR MVA % 0.0249PU -50.67

FROM GENERATION 0.3 0.2R 0.4 17 0.0109KV

TO 102 MSB2 0.4400 1 0.3 0.2 0.4 493

FAULT MVA 0.0 0.0 0.0

BUS 1005 DG3 0.4400 CKT MW MVAR MVA % 0.0249PU -50.67

FROM GENERATION 0.3 0.2R 0.4 17 0.0109KV

TO 102 MSB2 0.4400 1 0.3 0.2 0.4 493

FAULT MVA 0.0 0.0 0.0

BUS 102 MSB2 0.4400 CKT MW MVAR MVA % 0.0000PU 2.35

0.0000KV

TO SHUNT	0.0	0.0	0.0		
TO 1003 DG2	0.4400	1	0.0	0.0	490
TO 1004 DG1	0.4400	1	0.0	0.0	493
TO 1005 DG3	0.4400	1	0.0	0.0	493
TO 2001 GAL1_TR_H	0.4400	1	0.0	0.0	
TO 2003 L1_TR_HV	0.4400	1	0.0	0.0	
TO 2005 L2_TR_HV	0.4400	1	0.0	0.0	
TO 2007 GAL2_TR_H	0.4400	1	0.0	0.0	
TO 2008 ESB_440V	0.4400	1	0.0	0.0	
TO 2009 REEF_R_HV	0.4400	1	0.0	0.0	
TO 2010 REEF_L_HV	0.4400	1	0.0	0.0	
TO 2011 THRUSTER	0.4400	1	0.0	0.0	
TO 2012 MCC_T	0.4400	1	0.0	0.0	
FAULT MVA			2.4	59.8	59.8

BUS 2011 THRUSTER	0.4400	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.0174PU	-62.73
FROM GENERATION			0.1	0.1H	0.2	10	0.0077KV	
TO 102 MSB2	0.4400	1	0.1	0.1	0.2			
FAULT MVA			0.0	0.0	0.0			

BUS 2012 MCC_T	0.4400	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.0019PU	-69.83
FROM GENERATION			0.0	0.0H	0.0	1	0.0008KV	
TO 102 MSB2	0.4400	1	0.0	0.0	0.0			
FAULT MVA			0.0	0.0	0.0			

5.3 Υπολογισμός ρευμάτων βραχυκύκλωσης για το υπό μελέτη πλοίο

Για την εύρεση των ρευμάτων βραχυκύκλωσης θεωρήθηκε ένα δυσμενές σενάριο λειτουργίας, στο οποίο βρισκόταν το πλοίο πριν το βραχυκύκλωμα. Το σενάριο που επιλέχθηκε έχει παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 4 και αντιπροσωπεύει μια κατάσταση ελιγμών του πλοίου εντός του λιμανιού. Στην κατάσταση αυτή το πλοίο τροφοδοτείται από τις 3 διαθέσιμες νηζελογεννήτριες και, έχει τεθεί σε λειτουργία ένας εκ των τριών πλευρικών προωστήριων μηχανισμών (υπενθυμίζεται ότι σε αυτή τη κατάσταση δεν επιτρέπεται να τεθεί σε λειτουργία πάνω από ένας πλευρικός προωστήριος μηχανισμός).

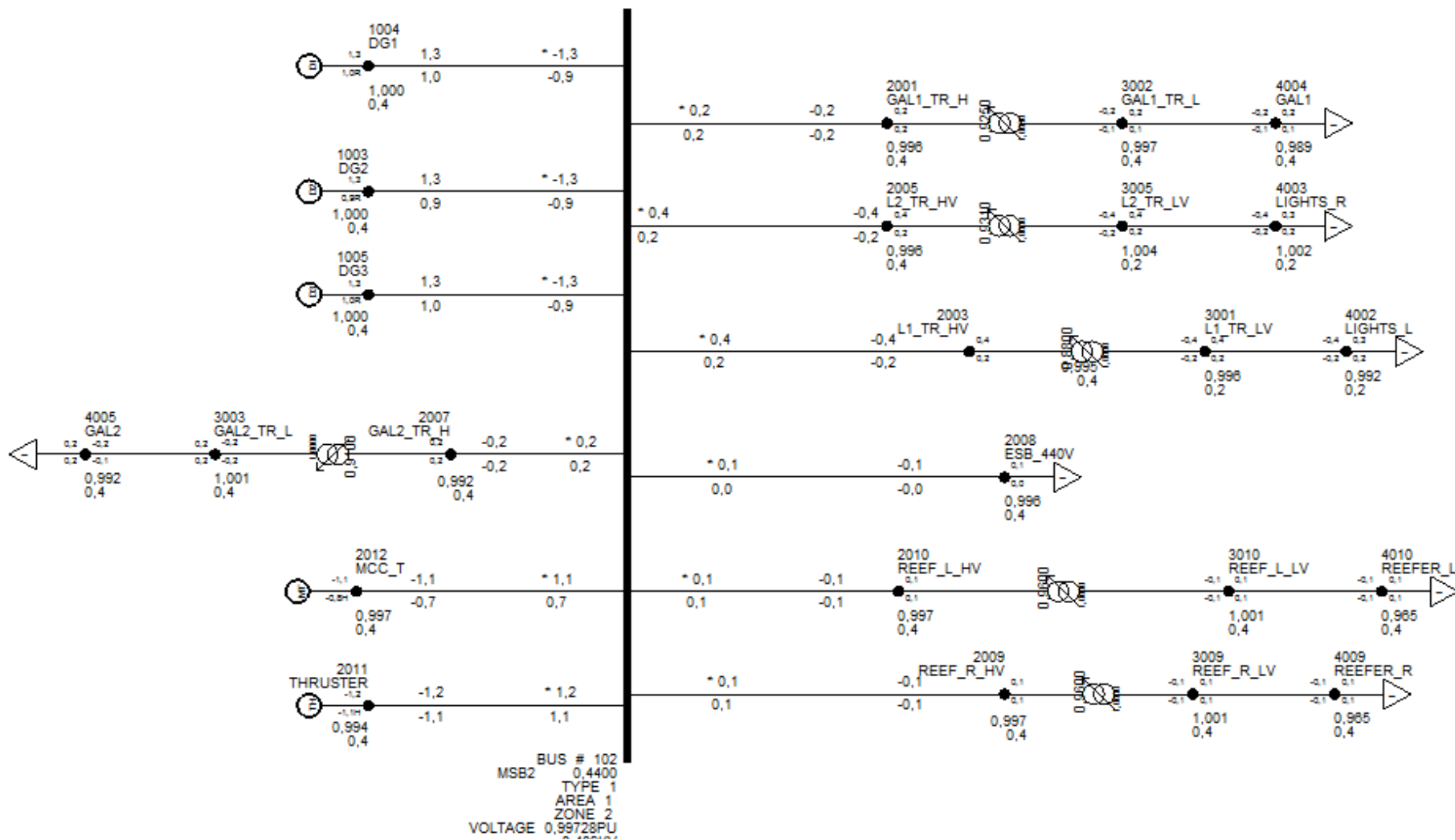
Ο πλευρικός προωστήριος μηχανισμός αναπαράσταθηκε στο πρόγραμμα PSS/E σαν γεννήτρια [10.] που καταναλώνει ενεργή και άεργο ισχύ, σε αντίθεση με τη ροή φορτίου στο κεφάλαιο 4, όπου είχε αναπαρασταθεί σαν ένα φορτίο.

Επιπλέον, οι ομαδοποιημένοι πίνακες κινητήρων (MCCs) αντικαταστάθηκαν από ένα ισοδύναμο κινητήρα [10.], ο οποίος αναπαραστάθηκε στο PSS/E, επίσης ως γεννήτρια που απορροφά ενεργό και άεργο ισχύ. Επίσης έγιναν και οι σχετικές απλοποιήσεις των καλωδιώσεων των 2 MCC δεδομένου ότι είναι όμοιες και θεωρώντας ότι είναι παράλληλα συνδεδεμένες στο νέο Κινητήρα που αντικατέστησε τα MCC.

Η υπομεταβατική αντίδραση του πλευρικού προωστήριου μηχανισμού θεωρήθηκε γνωστή [10.] $X_M'' = 0.15$ pu, επίσης ο κινητήρας που αντικατέστησε τα MCC θεωρήσαμε [10.] ότι έχει υπομεταβατική αντίδραση $X_M'' = 0.188$ pu.

Τέλος θεωρήσαμε ότι οι υπομεταβατικές αντιστάσεις είναι πολύ μικρές .

Στο σχήμα 22 θα παρουσιαστεί ένα στιγμιότυπο από τη μορφή του δικτύου τη στιγμή (t-) προ του βραχυκυκλώματος. Η δοσμένη μελέτη βραχυκυκλωμάτων και οι διακόπτες που επιλέχθηκαν μπορούν να βρεθούν στο παράρτημα Δ.



Σχήμα 22 - στιγμιότυπο ροής φορτίου πριν το βραχυκύκλωμα

	Μελέτη		Προσομοίωση	
	Βραχυκυκλωμάτων		στο PSS/E	
	I_{rms} (k A)	I_p (k A)	I_{rms} (k A)	I_p (k A)
Σφάλμα στο κύριο ζυγό όταν τροφοδοτείται από 3 νηζελογεννήτριες	83,14	193,6	78,47	221,95
Σφάλμα στο πίνακα των MCCs	84,6	185,5	77,81	220,1
Σφάλμα στο πίνακα έκτακτης ανάγκης στη πλευρά 440V	50,98	81,43	48,55	137,3
Σφάλμα στο ζυγό (4005) φωτισμού πριν τους 2 παράλληλους μετασχηματιστές	32,45	53,73	6,3	17,82
Σφάλμα στις πρίζες φορτηγών ψυγείων από τη πλευρά χαμηλής 440 V	7,6	11,8	4,33	12,24

Πίνακας 7 - σύγκριση ρευμάτων βραχυκύκλωσης της προσομοίωσης και της δοσμένης μελέτης βραχυκυκλωμάτων

Αξίζει να σημειωθεί ότι με βάση το IEC-61363 [10.] η χειρότερη δυνατή περίπτωση για το I_p προκύπτει όταν $I_p = 2\sqrt{2} \cdot I_{rms}$. Ωστόσο, όπως παρατηρήσαμε στη δοσμένη μελέτη βραχυκυκλωμάτων ο μελετητής θεώρησε πως σε όλες τις περιπτώσεις I_p μικρότερο από αυτό της χειρότερης δυνατής περίπτωσης. Από επεξεργασία των δεδομένων του μπορούμε βρέθηκε ότι για τον υπολογισμό του I_p χρησιμοποιεί συχνότερα τον τύπο $I_p = 1.225\sqrt{2} \cdot I_{rms}$.

Γενικά παρατηρείται ότι οι προσομοιώσεις στο πρόγραμμα PSS/E βγάζουν αποτελέσματα πολύ κοντά σε αυτά της δοσμένης μελέτης βραχυκυκλωμάτων για σφάλματα κοντά στο κύριο ζυγό ή σε γραμμές καταναλωτών πριν από μετασχηματιστές.

Ωστόσο, οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων του PSS/E με τη δοσμένη μελέτη βραχυκυκλωμάτων αυξάνονται όσο πλησιάζουμε προς τα φορτία. Αυτό, ενδεχομένως, οφείλεται στο ότι δεν έχουμε ταξινομήσει την ενεργό και άεργο ισχύ, όπως ο μελετητής και ενδεχομένως τα αποτελέσματα να επηρεάζονται από παραδοχές που κάναμε για να απλοποιήσουμε το δίκτυο του πλοίου.

Ενδεχομένως ένα πιο λεπτομερές μοντέλο του δικτύου του πλοίου να έδινε μια πιο ακριβή εικόνα για τα ρεύματα βραχυκύκλωσης σε διάφορα σενάρια υλοποίησης βραχυκυκλώματος.

Συμπεραίνεται επίσης ότι το PSS/E μπορεί να ανταποκριθεί σαν ένα εργαλείο για το υπολογισμό ρευμάτων βραχυκύκλωσης ενός μικρού αυτόνομου δικτύου όπως αυτό του υπό μελέτη πλοίου.

Κεφάλαιο 6

6.1 Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε μία προσπάθεια *ελέγχου* και *αξιολόγησης* της ηλεκτρολογικής μελέτης του ΣΗΕ ενός οχηματαγωγού-επιβατηγού πλοίου. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στον ηλεκτρολογικό ισολογισμό, στην μελέτη της καλωδιακής εγκατάστασης και τη μελέτη βραχυκυκλωμάτων. Πολύτιμο εργαλείο σε αυτή τη διερεύνηση αποδείχθηκε το πρόγραμμα PSS/E, καθώς πλεονεκτεί έναντι άλλων συναφών προγραμμάτων στο ότι, στη μελέτη βραχυκυκλωμάτων μπορεί να συμπεριλάβει και τη συνεισφορά των (πολλών) ηλεκτρικών κινητήρων επαγωγής της εγκατάστασης. Στη συνέχεια, συνοψίζονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας .

Καταρχήν, όσον αφορά στη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε :

- Διαφάνηκε ότι αξιοποιώντας ένα σύνολο αντιπροσωπευτικών μετρήσεων της φόρτισης των γεννητριών¹ (σε διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του ΣΗΕ του πλοίου) σε συνδυασμό με τον ηλεκτρικό ισολογισμό του πλοίου (όπου εμφανίζεται η εκτιμώμενη ενεργειακή απαίτηση όλων των εγκατεστημένων καταναλωτών) είναι δυνατόν να εκτιμηθεί το πραγματικό σημείο λειτουργίας όλων των στοιχείων του ΣΗΕ .
- Σε συνέχεια του ανωτέρω συμπεράσματος, είναι δυνατόν να εκτελεστούν σενάρια βελτιστοποιημένης λειτουργίας όλου του ΣΗΕ, κάτι εξαιρετικά ενδιαφέρον τη σημερινή εποχή που αρχίζει η επιβολή κανονισμών της απόδοσης των πλοίων .
- Η συνεισφορά των κινητήρων επαγωγής τουλάχιστον στην υπομεταβατική συνιστώσα των ρευμάτων βραχυκυκλώματος (που ορίζει ο κανονισμός μελετών βραχυκυκλωμάτων για ΣΗΕ Πλοίων, IEC 61363) είναι αξιοσημείωτη και δέν μπορεί να αγνοηθεί για κανένα λόγο, καθώς κάτι τέτοιο οδηγεί σε μεγάλο σφάλμα .

¹ Τονίζεται ότι στα περισσότερα ΣΗΕ πλοίων, μετρητικά όργανα υπάρχουν μόνον στις γεννήτριες του πλοίου .

Όσον αφορά στα ειδικά συμπεράσματα που αφορούν στο πλοίο που μελετήθηκε:

- Παρατηρήθηκε ότι υπάρχει υπερδιαστασιολόγηση στα καλώδια του κύριου πίνακα. Μάλιστα, φάνηκε ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές περιπτώσεις το ίδιο πλήθος καλωδίων ανά αντικείμενο του εξοπλισμού, αλλά στην αμέσως μικρότερη διατομή από την υπάρχουσα .
- Οι νηζελογεννήτριες του πλοίου, μάλλον, υπολειτουργούν (σε όλες τις καταστάσεις λειτουργίας), γεγονός το οποίο οδηγεί σε αντισυμβαλλόμενη κατανάλωση καυσίμου από αυτές. Για τις αξονικές γεννήτριες δεν ήταν δυνατόν να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα, καθώς είναι εξαρτημένες από τις προωστήριες μηχανές και δεν ήταν διαθέσιμα αρκετά στοιχεία σχετικά με τη σχεδίαση και το βέλτιστο σημείο λειτουργίας του όλου συστήματος (κύρια προωστήρια μηχανή και ΡΤΟ) .
- Υπάρχει απόκλιση μεταξύ των καταστάσεων λειτουργίας του πλοίου που έλαβε υπόψιν του ο μελετητής του ηλεκτρικού ισολογισμού και των πραγματικών αυτοματοποιημένων καταστάσεων που διαθέτει το πλοίο .
- Ο ηλεκτρικός ισολογισμός θα μπορούσε να είναι πιο επιτυχημένος, καθώς υπήρξαν περιπτώσεις με αποκλίσεις μεταξύ εκτίμησης και μέτρησης μεγαλύτερες του 10% .

6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- Θα μπορούσε να επεκταθεί ο ηλεκτρικός ισολογισμός συμπεριλαμβάνοντας την άεργο ισχύ. Το γεγονός ότι οι ανάγκες σε άεργο ισχύ των διαφόρων καταναλωτών δεν είναι σταθερές, αλλά εξαρτώνται από το εκάστοτε σημείο λειτουργίας τους συνεπάγεται ότι ο ισολογισμός αέργου ισχύος είναι επίσης σημαντικός στη μελέτη του ΣΗΕ του πλοίου .
- Θα μπορούσε να διερευνηθεί η χρήση των ηλεκτρικών συνδέσεων με την ακτή κατά τη παραμονή του πλοίου στο λιμάνι, από οικονομική αλλά

και λειτουργική σκοπιά. Η θεώρηση αυτή θα μπορούσε να εξομοιωθεί ως διασύνδεση αυτόνομου δικτύου βιομηχανικού τύπου (ΣΗΕ πλοίου) με μεγάλο ΣΗΕ (άπειρο ζυγό ή κάτι παρόμοιο) .

- Έχοντας ως δεδομένη τη πραγματική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και τα πραγματικά σενάρια λειτουργίας του θα μπορούσε να επαναληφθεί εκ νέου η μελέτη της ηλεκτρικής εγκατάστασης του πλοίου, με στόχο να βελτιστοποιηθεί οικονομικά .

Βιβλιογραφία

1. S.Spagkouros, J.Prousalidis, "Electric Power Quality Problems in ship systems : A classification method ", IASME transactions Issue 3, Vol 1, July 2004.
2. MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, " Shaft Generators for the MC and ME Engines ",
http://www.mandieselturbo.com/files/news/files/5478/Shaft_generators.pdf
3. Dennis T. Hall B.A. (Hons), C. Eng. , M.I.E.E. , M.I.Mar.E ,
"PRACTICAL MARINE ELECTRICAL KNOWLEDGE
(second edition)".
4. Χρίστος ΑΘ. Φραγκόπουλος, Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης,
"Ηλεκτρολογικές Εγκαταστάσεις Πλοίου Τεύχος Α ",
εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005.
5. Ι. Ιωαννίδης, Χ. Φραγκόπουλος, Ι. Προυσαλίδης, "Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, Συμπληρωματικά Βοηθήματα και Ασκήσεις ",
εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2010.
6. J. Prousalidis, "The necessity of reactive power balance in ship electric energy systems", Journal of Marine Engineering and Technology, Volume 10 Issue 1, January 2011.
7. Κ. Βουρνάς, Γ. Κονταξής, "Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ", εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2010.
8. Β. Παπαδίας, "Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τόμος Ι, Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας ", εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1985.
9. Α. Κονσολάκης, Διπλωματική Εργασία, "Προσομοίωση Ηλεκτρικού Συστήματος (ΣΗΕ) Πλοίου Μέσω του Λογισμικού EDSA ", Αθήνα Απρίλιος 2008.
10. INTERNATIONAL STANDARD , IEC-61363-1:1998 , "Electrical installations of ships and mobile and fixed offshore units - Part 1 : Procedures for calculating short-circuit currents in three-phase a.c. "