

ΜΕΤΡΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΛΟΙΩΝ

Ι. Προυσαλίδης¹, Γ. Τσουράκης¹, Γ. Αρβανίτης²

¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας
Ναυτικής Μηχανολογίας, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Ζωγράφου

²PROTASIS SA, Σαλαμίνας 36, Μαρούσι

e-mail: jprousal@naval.ntua.gr

Περίληψη

Στην εργασία αφού γίνει μία συζήτηση του όρου «απόδοση πλοίου» καθώς και των μεθόδων που μπορεί αυτή να μετρηθεί σύμφωνα με τους τρέχοντες κανονισμούς του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας, γίνεται αναφορά στη συναφή ερευνητική δραστηριότητα της Σχολής NMM-EMΠ στην επιστημονική περιοχή της Ναυτικής Ηλεκτρολογίας και ειδικότερα του «Πλήρως Εξηλεκτρισμένου Πλοίου».

Abstract

In this paper, initially a discussion of the term “ship efficiency” and ways to measure it, according to the recently ratified regulations of the International Maritime Organization takes place. Furthermore, a presentation of the related research activities at the School of Naval Architecture and Marine Engineering of the National Technical University of Athens in Marine Electrical Engineering domain follows, and, in particular, within the framework of “All Electric Ship”.

Λέξεις-Κλειδιά: δείκτες απόδοσης πλοίων (EEDI, EEOI), μέτρηση απόδοσης πλοίων SEEMP, ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι προστασίας, IEC-61850 (SCADA, HMI).

1. Εισαγωγή

Τα πλοία στα οποία στηρίζονται οι θαλάσσιες μεταφορές αποτελούν πηγές ρύπων που συντείνουν στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» κατά ένα σημαντικό ποσοστό. Για το λόγο αυτό, με πρωτοβουλία του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (International Maritime Organization-IMO) που τελεί υπό την αιγίδα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών, τα τελευταία χρόνια έχει ξεκινήσει μία προσπάθεια ελέγχου και περιορισμού της ρύπανσης που προκαλούν. Αρχικά είχαν τεθεί κάποιοι στόχοι περιορισμού των παραγόμενων ρύπων (οξειδία του αζώτου - NO_x, οξειδία του θείου SO_x, οξειδία του άνθρακα CO_x, αιθάλη και σωματίδια) λόγω καύσης της πρώτης ύλης στο εσωτερικό των μηχανών εσωτερικής καύσης που συνήθως είναι είτε διυλισμένο πετρέλαιο

Diesel (DFO/RFO), είτε βαρύ μαζούτ (HFO), είτε φυσικό αέριο (NG). Ο χρονικός ορίζοντας εφαρμογής ήταν περίπου μία δεκαετία (από το 2007 έως το 2016).

Στις ημέρες μας, όμως, το κανονιστικό πλαίσιο έχει προχωρήσει, θέτοντας, πλέον το ζήτημα επιδοσομετρήσεων της σχεδίασης και λειτουργίας του πλοίου στο σύνολό του, αλλά και των επιμέρους συστημάτων του [IMO2004,IMO 2009a-c,Tsekouras 2011]. Έτσι, σύμφωνα με τις πλέον πρόσφατες οδηγίες του IMO, κάθε νέο πλοίο που ναυπηγείται πρέπει κατά τις δοκιμές παράδοσης-παραλαβής να πιστοποιείται ότι είναι εντός των προδιαγραφών ρύπανσης. Η ποσοτικοποιημένη πιστοποίηση γίνεται μέσω ενός δείκτη σχεδίασης των ενεργειακών συστημάτων του πλοίου, του επονομαζόμενου Energy Efficiency Design Index – EEDI. Εξάλλου, σε διαβούλευση για μελλοντική έκδοση σχετικής οδηγίας από τον IMO είναι ο αντίστοιχος δείκτης λειτουργίας των ενεργειακών συστημάτων του πλοίου, ο επονομαζόμενος Energy Efficiency Operation Index – EEOI. Αμφότεροι οι δείκτες αξιολόγησης των επιδόσεων των ενεργειακών συστημάτων του πλοίου μετρούν την ανηγμένη ποσότητα παραγόμενου CO₂ ως προς το ωφέλιμο παραγόμενο μεταφορικό έργο.

Τέλος, για την επιτυχημένη παρακολούθηση, εποπτεία και καταγραφή των επιδόσεων ενός πλοίου όσον αφορά στην κατανάλωση καυσίμου και την παραγωγή ρύπων, κάθε πλοίο θα πρέπει να διαθέτει ένα Σχέδιο Κεντρικής Διαχείρισης των επιδόσεών του, το επονομαζόμενο Ship Energy Efficiency Management Plan - SEEMP. Ο τρόπος σχεδίασης και λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος δεν έχει ακόμη προτυποποιηθεί, ωστόσο, ήδη όλες οι σύγχρονες ναυπηγήσεις διαθέτουν ένα Κεντρικό Σύστημα Ενεργειακής Παρακολούθησης (Power Management System) με ενσωματωμένες πάρα πολλές δυνατότητες και σενάρια λειτουργίας.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η εποπτική παρακολούθηση της απόδοσης του πλοίου, κατά την αποστολή του απαιτεί το σχεδιασμό και την εγκατάσταση ενός πολυμετρικού συστήματος, το οποίο πρέπει να συνδυάζει την επίτευξη του στόχου μέτρησης-παρακολούθησης-καταγραφής μαζί με επικουρικό σύστημα αποφάσεων του εκάστοτε έχοντα την ευθύνη χειρισμών σε όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος (κτήσης, λειτουργίας και συντήρησης). Το μετρητικό αυτό σύστημα θα πρέπει να ενσωματώνεται στο Κεντρικό Σύστημα Ενεργειακής Παρακολούθησης (Power Management System) και μπορεί να περιλαμβάνει τα εξής:

- βέλτιστη λειτουργία ΣΗΕ πλοίου (παρακολούθηση ενεργειακής ροής σε ενεργό και άεργο ισχύ και συμβάντων ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος)
- βέλτιστη λειτουργία συστήματος πρόωσης πλοίου
- βέλτιστη εκμετάλλευση συνθηκών πλευσης

Στη συνέχεια της εργασίας αφού γίνει μία συζήτηση του όρου «απόδοση πλοίου», γίνεται μία ανασκόπηση των σύγχρονων κεντρικών μετρητικών συστημάτων που εγκαθίστανται σε ένα πλοίο.

2. Δείκτες απόδοσης πλοίου

Όπως προαναφέρθηκε, η απόδοση ενός πλοίου δεν αποτιμάται, όπως θα περίμενε κανείς από ενεργειακή άποψη, αλλά μέσω της ρύπανσης που προκαλείται στο περιβάλλον από τη λειτουργία του.

2.1 Δείκτης Απόδοσης Σχεδίασης Πλοίου Energy Efficiency Design Index – EEDI

Ο δείκτης EEDI υπολογίζεται από τη μαθηματική σχέση (1):

$$EEDI = \frac{1}{f_i \cdot Capacity V_{ref} \cdot f_w} \left\{ \left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) \right. \\ \left. + \left[\left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right] \right. \\ \left. - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right) \right\} \quad (1)$$

που ποιοτικά εκφράζεται ως ρύποι CO₂ σε σχέση με την ικανότητα παραγωγής ωφέλιμου έργου (συνδυασμός χωρητικότητας και ταχύτητας). Σύμφωνα με τους πρόσφατα εγκριθέντες από τον IMO κανονισμούς, το EEDI πιστοποιείται από το Ναυπηγείο κατά τις δοκιμές παράδοσης-παραλαβής (sea trials).

Αξίζει να σημειωθεί ότι στη μαθηματική σχέση (1), λαμβάνονται υπόψη όλα τα μηχανήματα που παράγουν ρύπους, ήτοι η κύρια προωστήρια μηχανή, καθώς και οι μηχανές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ηλεκτρογεννήτριες). Ωστόσο, η εκτίμηση που παρέχεται για την παραγόμενη ρύπανση από τις ηλεκτρογεννήτριες είναι σχετικά ανακριβής, καθώς θεωρείται ότι αυτές εργάζονται σταθερά στο 75% του ονομαστικού τους σημείου λειτουργίας.

2.2 Δείκτης Απόδοσης Λειτουργίας Πλοίου (Energy Efficiency Operation Index -EEOI)

Ο δείκτης EEOI δεν έχει ακόμη κατοχυρωθεί, ωστόσο ο υπό διαβούλευση μαθηματικός τύπος υπολογισμού δίνεται στη σχέση (2):

$$EEOI = \frac{CO_2 \text{ produced}}{\text{transport work}} = \frac{\sum (\text{fuel consumption}) \cdot (CO_2 / \text{fuel tn})}{\sum (\text{cargo}) \cdot (\text{distance})} \quad (2)$$

που ποιοτικά ερμηνεύεται ως παραγόμενοι από το πλοίο ρύποι CO₂ σε σχέση με το ωφέλιμο μεταφορικό έργο του.

2.3 Σχέδιο Κεντρικής Διαχείρισης επιδόσεων Πλοίου - Ship Energy Efficiency Management Plan - SEEMP.

Με σκοπό την εποπτική παρακολούθηση των επιδόσεων ενός πλοίου, στα επόμενα χρόνια σε κάθε πλοίο θα εγκαθίσταται ένα σύστημα κεντρικής διαχείρισης SEEMP. Το κεντρικό αυτό σύστημα θα λαμβάνει μία σειρά από μετρήσεις κρίσιμων παραμέτρων λειτουργίας του πλοίου, όπως:

- Ταχύτητα πλοίου
- Κατανάλωση καυσίμου

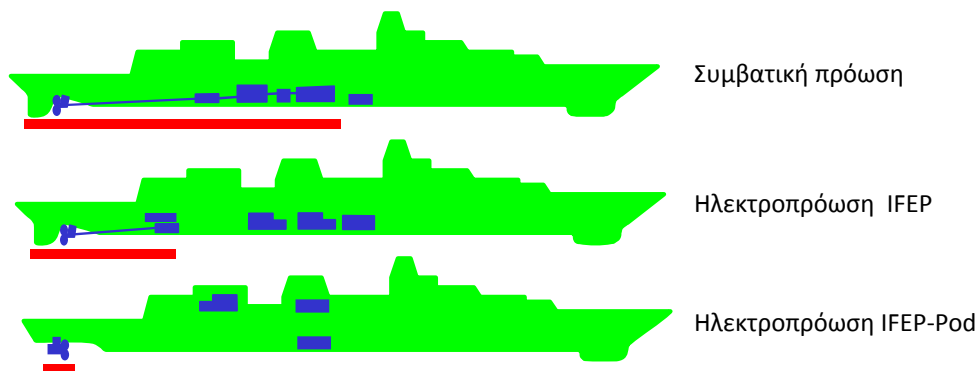
- Θέση του πλοίου
- Παραγόμενοι ρύποι από την κύρια μηχανή πρόωσης και το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

ενώ μέσα από μία σειρά αλγορίθμων θα καθίσταται δυνατή η χάραξη βέλτιστου σχεδίου λειτουργίας των μηχανημάτων του πλοίου, καθώς και, ενδεχομένως, και η χάραξη βέλτιστης πορείας. Εξάλλου, μέσα από τέτοια κεντρικά συστήματα διαχείρισης, οι πλοιοκτήτριες εταιρίες θα μπορούν να εποπτεύουν και να διαχειρίζονται την ενεργειακή απόδοση (και τη ρύπανση) του συνολικού στόλου των πλοίων τους με προφανή οφέλη.

3. Ηλεκτροπρόωση

Ως ηλεκτροπρόωση ορίζεται, [Χατζηλάου κ.ά 2006, Προυσαλίδης κ.ά 2006], το είδος εκείνο της πρόωσης στο οποίο οι άξονες του πλοίου κινούνται, είτε απευθείας είτε σπανιότερα μέσω μειωτήρων, από ηλεκτρικούς κινητήρες και όχι από άλλες μηχανές όπως ντήζελ, αεριοστρόβιλους και ατμοστρόβιλους. Φυσικά οι κινητήρες ντήζελ, αεριοστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά αντί να κινούν απευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα κινούν ηλεκτρογεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως, οπότε και αναφέρονται στη βιβλιογραφία σαν “prime movers” (‘κινητήρες μηχανές’). Η προωστήρια εγκατάσταση συμπληρώνεται από κάποιο σύστημα ελέγχου για τον χειρισμό της, δηλαδή την κράτηση-εκκίνηση, την αυξομείωση στροφών και την αλλαγή φοράς περιστροφής των ηλεκτρικών κινητήρων.

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



Σχήμα 1. Διαμορφώσεις ηλεκτροπρόωσης

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα πλοία με ηλεκτροπρόωση, προς το παρόν, δεν υπόκεινται στους περιοριστικούς κανονισμούς ρύπανσης σύμφωνα με τους δείκτες EEDI/EEOI, καθώς θεωρούνται πλοία «φιλικά προς το περιβάλλον».

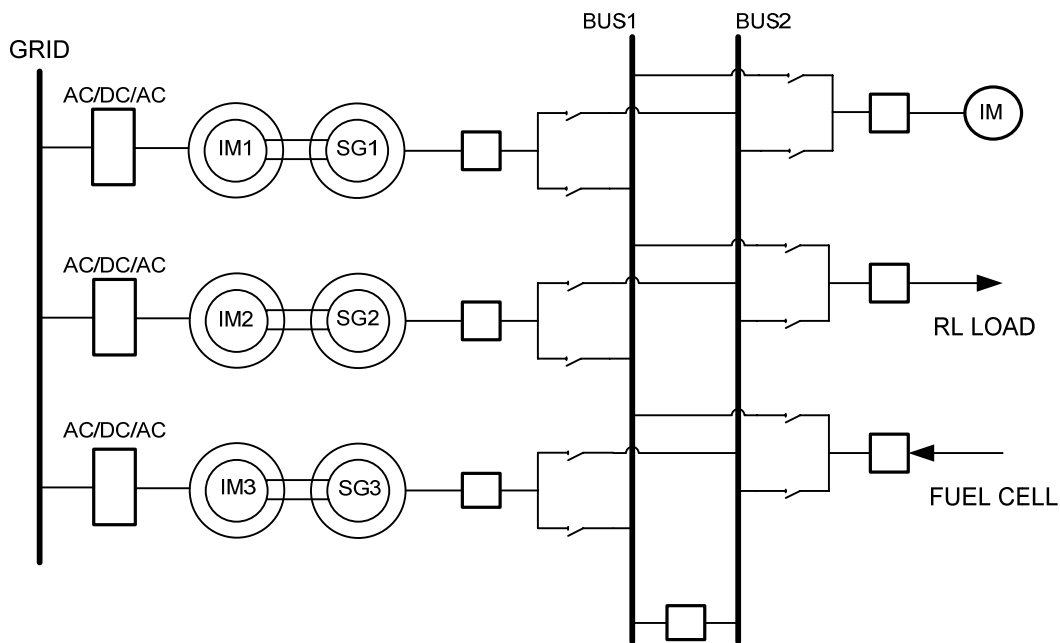
Στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ έχει ανατεθεί η ανάπτυξη και καλλιέργεια τεχνογνωσίας Πλήρως Εξηλεκτρισμένου Πλοίου και η δημιουργία ενός Κέντρου Αριστείας στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος της Ε.Ε. MARINELIVE (MARine Electrical Initiative).

3.1 Εξομοιωτής Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας Πλοίου

Στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος της Ε.Ε. MARINELIVE (MARine Electrical Initiative), κατασκευάζεται πειραματική διάταξη στο Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ. Η πειραματική διάταξη αποτελεί μικρογραφία ενός τυπικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) πλοίου.

3.1.1 Δίκτυο

Το δίκτυο (που απεικονίζεται στο Σχήμα 2) διαθέτει τρεις σύγχρονες γεννήτριες (δύο των 5.9 kVA και μία των 5 kVA), οι οποίες (ή όποιες είναι σε λειτουργία) τροφοδοτούν ένα παθητικό φορτίο RL ή/και ένα τριφασικό κινητήρα επαγωγής, ενώ υπάρχει πρόβλεψη για μελλοντική εγκατάσταση κάποιας μορφής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω αντιστροφέα AC/DC (π.χ. Fuel Cell).

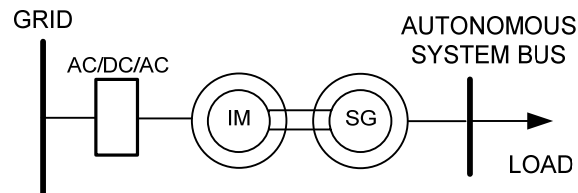


Σχήμα 2. Διάγραμμα του πειραματικού συστήματος

Κάθε γεννήτρια έχει ως κινητήρια μηχανή (prime mover) ένα κινητήρα επαγωγής που οδηγείται από ένα μετατροπέα ηλεκτρονικών ισχύος, ο οποίος με τη σειρά του τροφοδοτείται από τον πίνακα του εργαστηρίου. Σημειώνεται ότι, καθώς η τάση των γεννητριών είναι ήδη χαμηλή (400 V πολική), δεν χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές υποβιβασμού/ανύψωσης της τάσης στο σύστημα.

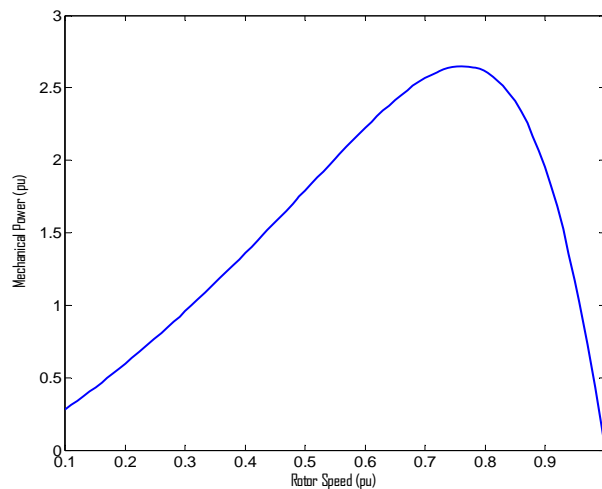
Το σύστημα είναι ηλεκτρικά αυτόνομο από το δίκτυο (ΔΕΗ) που τροφοδοτεί τους μετατροπείς ισχύος (όπως και το ηλεκτρικό δίκτυο ενός πλοίου), με εξαίρεση την τροφοδοσία των βοηθητικών κυκλωμάτων.

Όσον αφορά στη συχνότητα του αυτόνομου συστήματος, η χρήση κινητήρων επαγωγής ως κινητήριες μηχανές έχει μια ιδιαιτερότητα. Στη συνέχεια περιγράφεται σύντομα πώς εξασφαλίζεται η πρωτεύουσα ρύθμιση συχνότητας. Για το σκοπό αυτό θεωρείται ότι οι τρεις ή όσες γεννήτριες λειτουργούν στο σύστημα είναι ίδιες, όπως και οι κινητήρες επαγωγής που τις οδηγούν. Επίσης, οι κινητήρες επαγωγής τροφοδοτούνται από τους μετατροπείς ισχύος με ονομαστική τάση και συχνότητα. Με τις υποθέσεις αυτές οι γεννήτριες μπορούν θεωρηθούν ως μία ισοδύναμη η οποία οδηγείται από έναν (ισοδύναμο) κινητήρα επαγωγής και τροφοδοτεί το συνολικό φορτίο του αυτόνομου συστήματος, όπως στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Απλοποιημένο διάγραμμα του πειραματικού συστήματος

Η μηχανική ισχύς που αποδίδει ο κινητήρας επαγωγής συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής υπό ονομαστική τερματική τάση και συχνότητα φαίνεται στο Σχήμα 4, όπου τα μεγέθη είναι ανηγμένα στις ονομαστικές του τιμές (ανά μονάδα σύστημα).



Σχήμα 4. Καμπύλη ισχύος – ταχύτητας περιστροφής κινητήρα επαγωγής

Ως γνωστόν, η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα επαγωγής σε κανονική λειτουργία είναι πολύ κοντά στη σύγχρονη ταχύτητα (1 α.μ.), δηλ. στο τμήμα της καμπύλης του Σχήματος 4, με τη μεγάλη αρνητική κλίση. Για παράδειγμα για παραγωγή ισχύος ίση με το μισό της ονομαστικής (0.5 α.μ.), η ταχύτητα περιστροφής είναι περίπου 0.98 α.μ. Δεδομένου ότι η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα του κινητήρα επαγωγής είναι και η σύγχρονη ταχύτητα του αυτόνομου συστήματος (οι δρομείς των δύο ηλεκτρικών μηχανών έχουν κοινό άξονα), τότε η συχνότητα του αυτόνομου συστήματος είναι 98% της ονομαστικής, δηλ. 49 Hz.

Υποθέτοντας ιδανικό τον ρυθμιστή τάσης της γεννήτριας και καθαρά ωμικό φορτίο, τότε σε ένα άλλο σημείο λειτουργίας με μεγαλύτερη αγωγιμότητα του φορτίου, η γεννήτρια θα αποδίδει την

απαιτούμενη αυξημένη ισχύ, όπως και ο κινητήρας. Όπως φαίνεται από την χαρακτηριστική καμπύλη του Σχήματος 4, σε αυτό το σημείο λειτουργίας ο κινητήρας θα λειτουργεί σε χαμηλότερες στροφές, άρα η συχνότητα του αυτόνομου συστήματος θα είναι χαμηλότερη, π.χ. 97% της ονομαστικής ή 48,5 Hz, [Krause et al. 1994].

Επομένως, θεωρώντας ευθεία την χαρακτηριστική ισχύος – στροφών του κινητήρα επαγωγής στην περιοχή λειτουργίας, ο κινητήρας λειτουργεί ως ισοδύναμο μιας πηγής μηχανικής ροπής για την γεννήτρια (όπως ένας στρόβιλος) με τον ρυθμιστή στροφών της. Η κλίση της χαρακτηριστικής ορίζει τον στατισμό του ισοδύναμου ρυθμιστή στροφών, αλλά με μηδενική παραγωγή στα 50 Hz, που είναι η συχνότητα τροφοδοσίας του κινητήρα από τον μετατροπέα. Η δευτερεύουσα ρύθμιση της συχνότητας μπορεί να γίνει με αυξομείωση της συχνότητας τροφοδοσίας του κινητήρα από τον μετατροπέα συχνότητας (έτσι ώστε π.χ. να επιτευχθεί συχνότητα 50 Hz στο αυτόνομο σύστημα).

3.1.2 Κεντρικό Σύστημα Παρακολούθησης Λειτουργίας Συστήματος- PMS/EPMACS (ενοποιημένο SCADA παρακολούθησης, καταγραφής)

Για την παρακολούθηση λειτουργίας τους συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει ένα Σύστημα Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας (Power Management System-PMS ή Electric Power Management And Control Systems – EPMACS) ενοποιημένο με σύστημα για προστασία των ηλεκτρικών μηχανών, των ζυγών αλλά και του συνολικού συστήματος διακίνησης ηλεκτρικής ισχύος. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι προστασίας (H/N) του οίκου Schweitzer Engineering Laboratories (SEL) με έδρα τις Η.Π.Α. Οι ψηφιακοί H/N εκτός της προστασίας παρέχουν και δυνατότητες τηλεμετρήσεων και τηλεχειρισμών. Αυτές υλοποιούνται με χρήση των ενσωματωμένων καρτών επικοινωνιών των H/N.

Έχουν αναπτυχθεί πληθώρα πρωτοκόλλων επικοινωνιών για χρήση σε δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα IEC-60870-5-104/103/101, DNP3.0, MODBUS και IEC-61850, [IEC 2004]. Το τελευταίο αποτελεί την αιχμή της τεχνολογίας στις μέρες μας. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που βασίζεται στην αρχιτεκτονική SERVER – CLIENT και χρησιμοποιεί το ETHERNET (ηλεκτρικό ή οπτικό) ως φυσικό μέσο. Με χρήση του IEC-61850 μπορούμε να λάβουμε σε ένα κεντρικό σύστημα τηλεοπτείας και τηλεχειρισμών (Supervisory Control And Data Acquisition System – SCADA) πληθώρα μετρήσεων αλλά και να χειριστούμε απομακρυσμένα τα στοιχεία του ηλεκτρικού δικτύου.

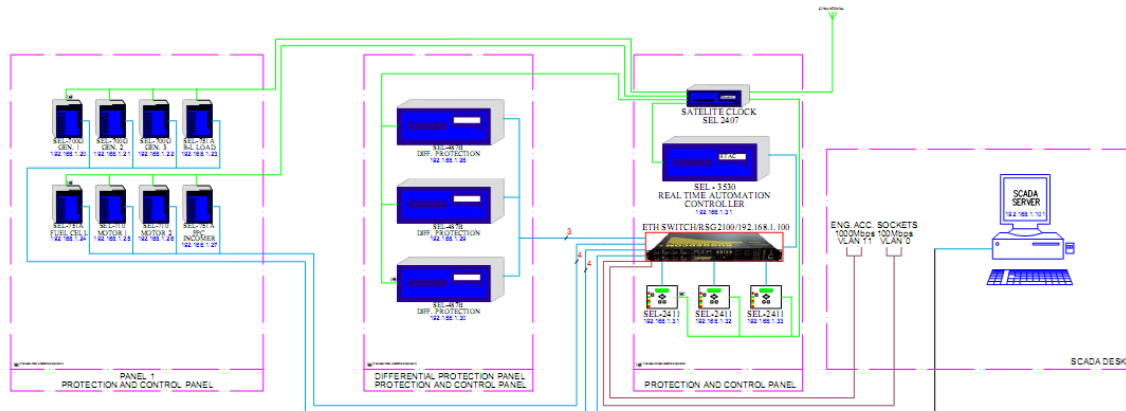
Το δίκτυο δεδομένων στο οποίο βασίζεται η εφαρμογή SCADA απαρτίζεται από τους ψηφιακούς H/N προστασίας, το κεντρικό Managed Ethernet Switch (ETHSW), έναν κεντρικό ελεγκτή για τις αυτοματοποιημένες διαδικασίες (Real Time Automation Controller – RTAC) και τον κεντρικό Ηλεκτρονικό Υπολογιστή (H/Y) του συστήματος, ο οποίος αποτελεί και τον SCADA Server. Το σύστημα πλαισιώνεται επίσης από έναν δικτυακό, έγχρωμο, τεχνολογίας LASER εκτυπωτή για την εκτύπωση καμπυλών, μετρήσεων, γεγονότων και σημάνσεων.

Όσον αφορά στην αρχιτεκτονική του συστήματος η οποία απεικονίζεται στον Σχήμα 5, όλοι οι H/N και οι λοιπές συσκευές συνδέονται ακτινικά με το ETHSW μέσω ηλεκτρικού δικτύου Ethernet (100Mbps - UTP Cat6). Το εγκατεστημένο ETHSW είναι του οίκου RuggedCom και είναι πλήρως παραμετροποιήσιμο, γεγονός που επιτρέπει την υλοποίηση πληθώρας Virtual Lan (VLAN) για κάθε διαφορετική εφαρμογή του δικτύου δεδομένων. Το δίκτυο δεδομένων απασχολείται από τις κάτωθι εφαρμογές:

- Δεδομένα Τηλεχειρισμών και Τηλεοπτείας, πρωτόκολλο IEC-61850.MMS
- Ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των H/N αλλά και μεταξύ H/N και RTAC, πρωτόκολλο IEC61850.Goose

- Δεδομένα εφαρμογής παραμετροποίησης των Η/Ν αλλά και λήψης συμβάντων (event recorder), πρωτόκολλο TELNET & FTP.

Το δίκτυο δεδομένων, πλαισιώνεται από ένα δορυφορικό δέκτη χρόνου, του οίκου SEL, το οποίο λαμβάνει ακριβή χρόνο διαμέσω του δορυφορικού συστήματος γεωγραφικού εντοπισμού (GPS) και τον διανέμει με χρήση του πρωτοκόλλου IRIG-B00x σε όλες τις συσκευές του δικτύου δεδομένων.



Σχήμα 5. Αρχιτεκτονική του δικτύου δεδομένων.

Το διαδραστικό περιβάλλον ανθρώπου – μηχανής (Human Machine Interface - HMI), το οποίο αποτελεί και την «κορυφή» του συστήματος SCADA υλοποιείται με τη χρήση του λογισμικού ZenOn Energy Edition του Αυστριακού οίκου Copra-Data. Πρόκειται για μια εξαιρετικά δυνατή εφαρμογή με πληθώρα δυνατοτήτων η οποία έχει σχεδιαστεί με γνώμονα την υψηλή αξιοπιστία και τον υψηλό βαθμό χρηστικότητας. Η υψηλή αξιοπιστία εξασφαλίζεται από τα υποσυστήματα τα οποία πλαισιώνουν το HMI και τα οποία έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί από κορυφαίες στο χώρο εταιρίες (SEL – RUGGEDCOM – HP – COPA DATA). Ο υψηλός βαθμός χρηστικότητας εξασφαλίζεται από το περιβάλλον ανάπτυξης του HMI.

Έτσι, με γνώμονα όλα τα παραπάνω αναπτύχθηκε ένα πολυπαραθυρικό περιβάλλον το οποίο παρέχει στον χρήστη πυκνή και συνάμα κατανοητή πληροφόρηση σχετικά με το ηλεκτρικό δίκτυο. Μέσω του HMI παρέχεται η δυνατότητα εκτέλεσης χειρισμών στα διακοπτικά και όχι μόνο στοιχεία του δικτύου. Αναλυτικότερα παρέχεται η δυνατότητα :

- Χειρισμού (Άνοιγμα – Κλείσιμο) των διακοπών ισχύος.
- Χειρισμού (Άνοιγμα – Κλείσιμο) των αποζευκτών.
- Αυτοματοποιημένων ακολουθιακών εντολών (π.χ. μεταγωγή ζυγού).
- Εντολών Αύξησης και Μείωσης Βήματος στους αντιστροφείς (Inverter) των κινητήριων μηχανών για χειροκίνητο έλεγχο της συχνότητάς τους.

Αρχική εικόνα του HMI αποτελεί το Μονογραμμικό διάγραμμα του ηλεκτρικού δικτύου. Πρόκειται για μια δυναμική εικόνα η οποία, αφενός παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του ηλεκτρικού δικτύου στο χρήστη του HMI, και αφετέρου παραπέμπει, με κατάλληλους χειρισμούς, σε λεπτομερείς εικόνες του ηλεκτρικού δικτύου.

Οι πληροφορίες οι οποίες εμφανίζονται στο Μονογραμμικό διάγραμμα αφορούν τόσο στην κατάσταση των διακοπτικών στοιχείων ισχύος (διακόπτες, αποζεύκτες,) όσο και σε ηλεκτρικές μετρήσεις στους ζυγούς. Οι καταστάσεις των διακοπών καθώς και οι μετρήσεις προέρχονται από τις ψηφιακές συσκευές προστασίας και ελέγχου.

Οι μετρήσεις που απεικονίζονται στο HMI αφορούν τα κάτωθι μεγέθη:

- Τάση.
- Συχνότητα.
- Ρεύμα.
- Ενεργός και Άεργος Ισχύς (Εισερχόμενη – Εξερχόμενη ως προς κάποιο στοιχείο).
- Συντελεστής Ισχύος.
- Ενεργός και Άεργος Ενέργεια.

Όλες οι μετρήσεις αποθηκεύονται ανά λεπτό στην εσωτερική βάση δεδομένων της εφαρμογής HMI και είναι διαθέσιμες για περαιτέρω επεξεργασία, όπως δημιουργία γραφημάτων και αναφορών. Παρέχεται η δυνατότητα εξαγωγής των μετρήσεων σε αρχεία της μορφής Comma Separated Values (CSV) ή σε βάση δεδομένων SQL για περαιτέρω επεξεργασία από τρίτα λογισμικά (spreadsheets κλπ.)

Το HMI υποστηρίζει την λειτουργία δυναμικού χρωματισμού (Automatic Line Coloring), δηλαδή μεταβάλλει το χρώμα των στοιχείων του (διακόπτης – αποζεύκτης – ζυγός) ανάλογα με τις καταστάσεις των διακοπτικών στοιχείων και την ύπαρξη ή την απώλεια τάσης σε κάποια κομβικά σημεία (π.χ ζυγοί).

Τέλος, στη λίστα συμβάντων του HMI καταγράφεται ο,τιδήποτε συμβαίνει στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η λίστα σημάτων αποτελεί συμπληρωματικό εργαλείο της λίστας συμβάντων, αφού στη λίστα σημάτων καταγράφονται μόνο ενεργοποιήσεις σημάτων και όχι οι απενεργοποιήσεις αυτών. Προφανώς, η λίστα σημάτων αποτελεί υποσύνολο της λίστας συμβάντων. Κρίνεται σκόπιμο να αναφέρουμε ότι χρόνοι ενεργοποίησης – απενεργοποίησης και αναγνώρισης όλων των καταχωρήσεων της λίστας σημάτων και της λίστας συμβάντων είναι εξαιρετικά ακριβείς με ακρίβεια ms, αφού όλες πληροφορίες που διακινούνται στο δίκτυο δεδομένων και αφορούν την εφαρμογή HMI είναι time-stamped με ακρίβεια 1 ms.

4. Συμπεράσματα

Στην εργασία γίνεται γίνεται μία ανασκόπηση των σύγχρονων κεντρικών μετρητικών συστημάτων που εγκαθίστανται σε ένα πλοίο. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στην αξιοποίηση των μετρήσεων που λαμβάνονται για τη βελτίωση των επιδόσεων του πλοίου (οικονομία λειτουργίας, φιλικότητα στο περιβάλλον) με τη βοήθεια κατάλληλων συστημάτων αποφάσεων, ενώ βαρύτητα δίνεται στις σύγχρονες εξηλεκτρισμένες ναυπηγήσεις και στη συναφή ερευνητική δραστηριότητα στο ΕΜΠ.

Βιβλιογραφία

[IMO 2004] MARPOL 73/78 Annex VI: Prevention of Air Pollution from Ships, International Maritime Organization, August 2004.[IMO 2009a] Second IMO GHG Study 2009, International Maritime Organization (IMO), London, UK, April 2009; Buhaug, Ø., Corbett, J.J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D.S., Lee, D., Lindstad, H., Markowska, A.Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Pålsson, C., Winebrake, J.J., Wu, W., Yoshida, K.

[IMO 2009b] IMO MEPC.1/Circ.681 Annex Interim Guidelines On The Method Of Calculation Of The Energy Efficiency Design Index For New Ships, 17 August 2009.

[IMO 2009c] IMO MEPC GHG-WG 2/2/7, Consideration Of The Energy Efficiency Design Index For New Ships, 4 February 2009.

[IMO 2009d] IMO MEPC.1/Circ.683 Guidance For The Development Of A Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), 17 August 2009.[Tsekouras2011] Nikolaos Tsekouras, “Ship Energy Efficiency Indices Within the Framework of IMO”, graduation diploma thesis, National Technical University of Athens, July 2011.

[Χατζηλάου κ.ά.2006] I.K. Χατζηλάου, I.M. Προυσαλίδης, Γ. Αντωνόπουλος, I.K. Γύπαρης, Π. Βαλλιανάτος, “ «Εξελίξεις στην ηλεκτροπρόωση πλοίων και ανασκόπηση ζητημάτων σχεδιασμού στο "Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο», Δημερίδα TEE, «Ηλεκτρο-κίνητα μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα – Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές», Αθήνα, 12&13 Ιαν. 2006.

[Προυσαλίδης κ.ά. 2006] I.M. Προυσαλίδης, I.K. Χατζηλάου, Ε. Στυβακτάκης, Φ. Κανέλλος, Ν. Χατζηαργυρίου, Χ. Φραγκόπουλος, Η. Σοφράς, “ Ηλεκτροπρόωση πλοίων και Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο : προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος”, Δη-μερίδα TEE, «Ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα – Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές», Αθήνα, 12&13 Ιαν. 2006.

[Krause et al. 1994] Krause P. C., Wasynczuk O., Sudhoff S. D., “Analysis of Electric Machinery”, 1994, IEEE Press.

[IEC 2004] IEC, IEC-61850-1 “Communication networks and systems in substations”, Geneva – Switzerland, 2004.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς επιθυμούν να εκφράσουν τις ευχαριστίες τους προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την υποστήριξη της ερευνητικής δραστηριότητας που παρουσιάζεται στην εργασία στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου MARINELIVE (contract No 264057, www.marinelive.org).