



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία**

**Φοιτητής: Εφραιμίδης Κωνσταντίνος**  
**Αριθμός Μητρώου: 43755**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Δρ. Κωνσταντίνος Ψωμόπουλος**  
**Καθηγητής**

**ΑΘΗΝΑ - ΑΙΓΑΛΕΩ, Ιούνιος 2021**

Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

**Study and simulation of D.C. microgrids on ships**

**Student: Efremidis Konstantinos**  
**Registration Number: 43755**

**Supervisor**

**Dr. Constantinos Psomopoulos**  
**Professor**

**ATHENS - EGALEO, June 2021**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Δρ. Κωνσταντίνος Ψωμόπουλος, Καθηγητής	Δρ. Κωνσταντίνος Καλκάνης, Επίκουρος καθηγητής	Δρ. Νικόλαος Μανουσάκης, Επίκουρος καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

**Copyright ©** Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Κωνσταντίνος Εφραιμίδης, Ιούνιος, 2021**

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 τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κωνσταντίνος Εφραιμίδης του Αιμίλιου, με αριθμό μητρώου 43755 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

**δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών

(Ονοματεπώνυμο φοιτητή)

Κωνσταντίνος Εφραιμίδης



(Υπογραφή φοιτητή)

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, με τίτλο «Μελέτη και εξομοίωση των μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία», Δρ. Κωνσταντίνο Ψωμόπουλο, για την καθοδήγησή του και τις συμβουλές σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας με τις εύστοχες και πολύ εποικοδομητικές παρατηρήσεις του, όπως επίσης και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Δημήτριο Μπάρκα, ο οποίος ήταν πάντα παρόν και ευδιάθετος να με βοηθήσει σε οποιαδήποτε στιγμή τον χρειάστηκα, ειδικά με το πρόγραμμα του Simulink του Matlab με το οποίο και πραγματοποίησα τις προσομοιώσεις. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένεια μου για όλα όσα μου έχουν προσφέρει μέχρι τώρα στη ζωή μου καθώς και τους φίλους μου για όλη τη στήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

## Περίληψη

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη προστασίας των Συνεχούς Ρεύματος μικροδικτύων σε πλοία. Αρχικά γίνεται μία γενική προσπάθεια κατανόησης της έννοιας των μικροδικτύων, των τύπων που υπάρχουν, των εφαρμογών στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν, τα μέρη τους, καθώς και των επιπέδων τάσης που υπάρχουν στα πλοία. Επίσης, αναφέρονται τα πλεονεκτήματα της χρήσης των μικροδικτύων Συνεχούς Ρεύματος, τις προκλήσεις που συναντάμε σε αυτά αλλά και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα χρήσης μικροδικτύων Εναλλασσόμενου Ρεύματος. Επιπροσθέτως, αναφέρονται οι μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να ελεγχθεί ένα μικροδίκτυο Συνεχούς Ρεύματος, των ειδών που υπάρχουν και του τρόπου με τον οποίο επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος αρχιτεκτονικής. Στη συνέχεια, εξηγούνται οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας στο πλοίο καθώς και το πώς γίνεται η προστασία σε αυτό από ενδεχόμενα σφάλματα, το σχέδιο προστασίας που πρέπει να επιλέξουμε, οι συσκευές προστασίας που υπάρχουν και ποιες είναι αυτές που πρέπει να επιλεγούν. Εν συνεχεία, αναφέρονται τα υπάρχοντα συστήματα προστασίας σε ένα μικροδίκτυο, οι γειώσεις που μπορούν να εφαρμοστούν αλλά και το πώς θα γίνει η προστασία του μικροδικτύου είτε όταν είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο είτε όταν βρίσκεται σε κατάσταση αυτόνομης λειτουργίας. Τέλος, εξηγείται το κύκλωμα της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα Matlab / Simulink και αναλύονται κάποια από τα κύρια εξαρτήματα της προσομοίωσης. Το τελικό στάδιο της διπλωματικής εργασίας, είναι η εξαγωγή των μετρήσεων και των κυματομορφών σε περίπτωση κανονικής λειτουργίας του συστήματος και σε περίπτωση σφάλματος σε διάφορα σημεία του κυκλώματος, είτε στη πλευρά του Συνεχούς Ρεύματος, είτε στη πλευρά του Εναλλασσόμενου Ρεύματος, είτε και στις δύο πλευρές ταυτόχρονα, αλλά και των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τις μετρήσεις και τις κυματομορφές όταν οι μονάδες προστασίας ενεργούν.

## Λέξεις - κλειδιά

Μικροδίκτυα, προστασία μικροδικτύων σε πλοία, μικροδίκτυα Συνεχούς Ρεύματος σε πλοία, προστατευτικές συσκευές, ιεραρχικός έλεγχος, προβλήματα μικροδικτύων.

## **Abstract**

The goal of this diploma thesis is the protection of the Direct Current microgrids in ships. Initially, we try to gain an understanding of the meaning of microgrids, the different types that exist, on which applications they can be used, their different parts and, also, the voltage levels that exist on ships. Moreover, the advantages of the use of Direct Current microgrids, the challenges we meet, but, also, the benefits and drawbacks of the use of Alternative Current microgrids are mentioned. Furthermore, herewith, we can find all methods that can be used in order to compose a Direct Current microgrid, the different types and the way we choose the appropriate architectural method. In this text reports are presented on the ways used in order to transfer energy from the sources to the loads of the ship. Next, there are explanations on the energy storage system of the ship and how this can be protected in case of eventual fault, the protection plan that we have to choose, the protection devices that exist and which are the ones that should be selected. Continuing, there are reports on the existing microgrid protection systems, the groundings that can be applied and the way that the microgrid can be protected either net connected or in independent function mode. Finally, the simulation circuit that took place in the Matlab / Simulink program is explained, and certain basic simulation components are analyzed. The final part of the diploma thesis regards the printing of the measurements and the wave shapes in both normal and fault conditions either on Direct Current side, or on Alternate Current side, or on both sides simultaneously, and, last but not least, the conclusions that arise.

## **Key words**

Microgrids, protection of microgrids on ships, Direct Current microgrids on ships, protective devices, hierarchical control, microgrid problems.

## Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	11
Κατάλογος Εικόνων.....	11
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	17
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Γενικά .....</b>	<b>19</b>
1.1 Ορισμός.....	19
1.2 Ιστορικά.....	19
1.3 Εισαγωγή.....	19
1.4 Μέρη ενός μικροδικτύου.....	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Μικροδίκτυα πλοίων .....</b>	<b>21</b>
2.1 Ενσωματωμένο Σύστημα Ισχύος ( I.P.S. ) σε πλοία.....	21
2.2 Χρήση M.V. D.C. και Χαμηλής Τάσης Σ.Ρ. ( L.V. D.C. ).....	22
2.3 Επίπεδα τάσης σε πλοίο.....	22
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μικροδικτύων Σ.Ρ. και E.P. ....</b>	<b>24</b>
3.1 Γενικά πλεονεκτήματα χρήσης μικροδικτύων Σ.Ρ. ....	24
3.2 Προκλήσεις στη χρήση μικροδικτύων Σ.Ρ. ....	26
3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα E.P. ....	26
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Μέθοδοι αρχιτεκτονικής ενός μικροδικτύου Σ.Ρ. ....</b>	<b>27</b>
4.1 Τυπική αρχιτεκτονική των χερσαίων μικροδικτύων Σ.Ρ. ....	27
4.2 Τα τρία είδη αρχιτεκτονικής ενός μικροδικτύου Σ.Ρ. ....	27
4.3 Πλεονεκτήματα ηλεκτροκινητήρων έναντι μηχανικών κινητήρων.....	33
4.4 Είδη αρχιτεκτονικής.....	33
4.5 Ιεραρχικός έλεγχος.....	34
4.6 Τρόποι επικοινωνίας.....	35
4.7 Διαδρομές από τις πηγές στα φορτία με δύο τρόπους.....	37
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : Κατανεμημένα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας στα πλοία .....</b>	<b>38</b>
5.1 Γενικά.....	38
5.2 E.S.S's στα πλοία.....	38



<b>5.3 Μπαταρίες, πυκνωτές διπλής στρώσης και flywheels.....</b>	<b>39</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : Προστασία ενός μικροδικτύου Σ.Ρ. ....</b>	<b>40</b>
<b>6.1 Προστασία των μικροδικτύων σε πλοία.....</b>	<b>40</b>
<b>6.2 Σχέδιο Προστασίας Συστήματος.....</b>	<b>40</b>
<b>6.3 Συσκευές προστασίας.....</b>	<b>41</b>
6.3.1 Ηλεκτρονικοί διακόπτες.....	42
6.3.2 Πυροδιακόπτες και πυρασφάλειες.....	42
<b>6.4 Γείωση και απομόνωση λάθους από γραμμή προς τη γη.....</b>	<b>44</b>
6.4.1 Σύστημα γείωσης TN-S.....	44
6.4.2 Σύστημα γείωσης IT.....	44
<b>6.5 Υπάρχοντα συστήματα προστασίας ενός μικροδικτύου και τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν.....</b>	<b>45</b>
<b>6.6 Προστασία σε κατάσταση σύνδεσης με το δίκτυο και σε κατάσταση αυτόνομης λειτουργίας.....</b>	<b>47</b>
<b>6.7 Προστασία των ζωνικών ηλεκτρικών συστημάτων διανομής Σ.Ρ. ....</b>	<b>48</b>
<b>6.8 Ανίχνευση βλαβών με τη προσέγγιση των συμμετρικών συνιστωσών.....</b>	<b>48</b>
<b>6.9 Αυτοθεραπευτική μέθοδος ( self-healing ).....</b>	<b>49</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : Προβλήματα στα δίκτυα των πλοίων.....</b>	<b>50</b>
<b>7.1 Διαταραχή κυματομορφής σε σταθερή κατάσταση.....</b>	<b>53</b>
<b>7.2 Διαταραχές κυματομορφών μη σταθερής κατάστασης.....</b>	<b>55</b>
<b>7.3 Βελτιστοποίηση διαχείρισης ισχύος.....</b>	<b>56</b>
<b>7.4 Σχέδιο προστασίας των μικροδικτύων Σ.Ρ. με ασφάλειες και διακόπτες.....</b>	<b>58</b>
7.4.1. Υπολογισμός σφάλματος σε ασφάλειες Σ.Ρ. και διακόπτες.....	58
7.4.2. Προτεινόμενη προστασία και συντονισμός για διακόπτες και ασφάλειες.....	60
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> : Υπό μελέτη κύκλωμα.....</b>	<b>64</b>
<b>8.1 Επεξήγηση λειτουργίας πετρελαιοκινητήρα μαζί με αεροστρόβιλο.....</b>	<b>64</b>
<b>8.2 Επεξήγηση των εξαρτημάτων.....</b>	<b>65</b>
8.2.1 Σύγχρονοι και ασύγχρονοι κινητήρες.....	65
8.2.2 Κινητήρας ντίτζελ.....	66
8.2.2.1 Παράμετροι σύγχρονης μηχανής.....	67

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

8.2.3 Αδράνεια κινητήρα ντίζελ.....	68
8.2.4 Αεροστροβίλος.....	68
8.2.4.1 Γενικά .....	68
8.2.4.2 Παράμετροι αεροστροβίλου.....	71
8.2.5 Αδράνεια αεροστροβίλου.....	71
8.2.6 Bow thruster.....	72
8.2.6.1 Γενικά.....	72
8.2.6.2 Κατασκευή και λειτουργία.....	72
8.2.6.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης προωθητήρων.....	74
8.2.6.4 Ο προωθητήρας της προσομοίωσης.....	74
8.2.6.5 Παράμετροι προωθητήρα.....	74
8.2.6.6 Αδράνεια.....	75
8.2.7 Ανορθωτής.....	75
8.2.8 Βασικό φορτίο.....	75
8.2.9 Ξενοδοχειακό φορτίο.....	76
8.2.10 Φορτίο πρόωσης.....	76
<b>8.3 Εφαρμογή της προστασίας στο υπό μελέτη κύκλωμα .....</b>	<b>76</b>
8.3.1 Αντίδραση βραχυκυκλώματος.....	77
8.3.2 Επιλογική προστασία.....	78
<b>8.4 Διαγράμματα / Αποτελέσματα.....</b>	<b>79</b>
8.4.1 Επεξήγηση κυκλώματος.....	79
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup> : Παρατηρήσεις και συμπεράσματα σε περιπτώσεις ύπαρξης σφάλματος σε κάποια επιλεγμένα σημεία του συστήματος.....</b>	<b>104</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup> : Βιβλιογραφία.....</b>	<b>126</b>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Αποτελέσματα αρμονικών επιλεγμένων εξαρτημάτων και υποομάδων.

Πίνακας 2: Αποτελέσματα υπολογισμών των παραγόντων και οι χαρακτηρισμοί διαφόρων διαταραχών.

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Διάγραμμα ενός τυπικού E.P. μικροδικτύου.

Εικόνα 2: Διαμόρφωση ενός τυπικού μικροδικτύου Σ.Ρ.

Εικόνα 3: Πλασματικό λειτουργικό διάγραμμα M.V. D.C. Πλοίου.

Εικόνα 4: Τυπικό σύστημα ισχύος σε πλοίο.

Εικόνα 5: Τυπική αρχιτεκτονική ισχύος μονού ζυγού μικροδικτύου Σ.Ρ., [36].

Εικόνα 6: Τυπικές αρχιτεκτονικές ισχύος των συστημάτων διανομής ισχύος με βάση τις ζώνες. α) D.C.Z.E.D.S., β) Κέντρο ζωνικών φορτίων.

Εικόνα 7: D.C.Z.E.D.S. τύπου δακτυλιδιού.

Εικόνα 8: Διπλός ζυγός δακτυλιδιού με D.C.Z.E.D.S.

Εικόνα 9: Παράδειγμα εφαρμογής του ζωνικού συστήματος σε πλοίο [22].

Εικόνα 10: Παράδειγμα εφαρμογής της ζωνικής αρχιτεκτονικής σε πλοίο.

Εικόνα 11: Συνοπτική απεικόνιση των επιπέδων ελέγχου.

Εικόνα 12: Απεικόνιση τρόπων επικοινωνίας.

Εικόνα 13: Αρχιτεκτονική ηλεκτρικής ταξινόμησης.

Εικόνα 14: Παράδειγμα εφαρμογής ακτινικής διάταξης σε πλοίο.

Εικόνα 15: Πυκνότητα ισχύος και πυκνότητα ενέργειας διαφόρων E.S.S.

Εικόνα 16: Ροή ρεύματος μέσω ενός πόλου Σ.Ρ.

Εικόνα 17: Νέα λύση υβριδικής προστασίας με πυροδιακόπτη και ασφάλεια συνδεδεμένα παράλληλα.

Εικόνα 18: Ηλεκτρικά σχήματα της πυρασφάλειας.

Εικόνα 19: Ύπαρξη συμμετρικών συνιστωσών σε διαφορετικούς τύπους σφαλμάτων.

Εικόνα 20: Η διαδικασία τμηματοποίησης και επαναφοράς από σφάλμα. α) εμφάνιση σφαλμάτων, β) εκκαθάριση σφάλματος 1, γ) εκκαθάριση σφάλματος 2, δ) εκκαθάριση σφάλματος 3.

Εικόνα 21: α) Διαταραχές υψηλής συχνότητας σε υποσύστημα ενός εξηλεκτρισμένου πλοίου με τιμή τάσης ίση με 230 V, β) Εγκοπές σε υποσύστημα ενός χημικού τύπου δεξαμενόπλοιο με τιμή τάσης ίση με 440V, γ) Εγκοπές και διαταραχές λόγω έκρηξης ενέργειας σε υποσύστημα χημικού τύπου δεξαμενόπλοιο με τιμή τάσης ίση με 440V και δ) έκρηξη ενέργειας σε υποσύστημα εξηλεκτρισμένου πλοίου με τιμή τάσης ίση με 400V.

Εικόνα 22: Παράδειγμα κυματομορφής επιβαλλόμενης τάσης α) στον τερματικό του εξοπλισμού πλοήγησης ενός εξηλεκτρισμένου πλοίου και του φάσματός του, β) η διακεκομμένη γραμμή χαρα-

Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

κτηρίζει τη συχνότητα της 50<sup>ης</sup> αρμονικής, ενώ η γραμμή με τις κουκίδες χαρακτηρίζει τη συχνότητα της 100<sup>ης</sup> συχνότητας. Cf: το περιεχόμενο του υψηλότερου εξαρτήματος αρμονικής με συχνότητα f.

Εικόνα 23: Παράδειγμα φάσματος τάσης στο τερματικό του εξοπλισμού πλοήγησης σε εξηλεκτρισμένο πλοίο για εύρος συχνότητας 2843,8 – 4157,1 Hz. Οι διακεκομμένες γραμμές χαρακτηρίζουν τις αρμονικές συχνότητες ως ακέραιο πολλαπλάσιο τη βασικής συχνότητας ίσης με 50,51 Hz.

Εικόνα 24: Βηματικές αλλαγές α) TWD 10kHz και β) TWD2,5-10kHz, κατά την αύξηση του φορτίου του bow thruster από το μηδέν έως το προκαθορισμένο πλήρες φορτίο του.

Εικόνα 25: Αλλαγές στους παράγοντες α) TWD 10kHz και β) TWD2,5-10kHz κατά τη διάρκεια των μανουβρών που εκτελεί ένα εξηλεκτρισμένο πλοίο.

Εικόνα 26: Επίδραση του παράγοντα L/R στις καμπύλες των ασφαλειών.

Εικόνα 27: Συμπεριφορά ρεύματος σφάλματος σε περίπτωση εκδήλωσης σφάλματος.

Εικόνα 28: Η χαρακτηριστική καμπύλη της αντίστροφης σταθεράς χρόνου του προτεινόμενου διακόπτη.

Εικόνα 29: Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης μεθόδου.

Εικόνα 30: Αρχιτεκτονική του μικροδικτύου του πλοίου της προσομοίωσης.

Εικόνα 31: Σχηματική παράσταση σύγχρονης γεννήτριας με έκτυπους πόλους.

Εικόνα 32: Αεροστρόβιλος πλοίου.

Εικόνα 33: Δρομέας και στάτης γεννήτριας με κυλινδρικό δρομέα

Εικόνα 34: Παράδειγμα εφαρμογής ενός bow thruster σε πλοίο.

Εικόνα 35: Παράδειγμα ενός bow thruster σε πραγματικό πλοίο

Εικόνα 36: Μη ελεγχόμενος ανορθωτής με πρόσθετους διακόπτες.

Εικόνα 37: Κύρια εξαρτήματα της μετατροπής E.P. σε Σ.Ρ. και της ροής ενέργειας σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στο Σ.Ρ.

Εικόνα 38: Θέση των διακοπών για την εκκαθάριση τυχαίου σφάλματος στο κύκλωμα.

Εικόνα 39: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα.

Εικόνα 40: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα.

Εικόνα 41: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα.

Εικόνα 42: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα από 8 sec. έως 18 sec.

Εικόνα 43: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα από 8 sec. έως 18 sec.

Εικόνα 44: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα από 8 sec. έως 18 sec.

Εικόνα 45: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα από 18 sec. έως 28 sec.

Εικόνα 46: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα από 18 sec. έως 28 sec.

Εικόνα 47: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα από 18 sec. έως 28 sec.

Εικόνα 48: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα από 28 sec. έως 39 sec.

Εικόνα 49: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα από 28 sec. έως 39 sec.

Εικόνα 50: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα από 28 sec. έως 39 sec.

Εικόνα 51: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα από 39 sec. έως 48 sec.

Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

Εικόνα 52: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα από 39 sec. έως 48 sec.

Εικόνα 53: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα από 39 sec. έως 48 sec.

Εικόνα 54: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα από 48 sec. έως 58 sec.

Εικόνα 55: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα από 48 sec. έως 58 sec.

Εικόνα 56: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα από 48 sec. έως 58 sec.

Εικόνα 57: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα από 58 sec. έως 70 sec.

Εικόνα 58: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα από 58 sec. έως 70 sec.

Εικόνα 59: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα από 58 sec. έως 70 sec.

Εικόνα 60: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου.

Εικόνα 61: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου.

Εικόνα 62: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου.

Εικόνα 63: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου από 8 sec. έως 18 sec.

Εικόνα 64: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου από 8 sec. έως 18 sec.

Εικόνα 65: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου από 8 sec. έως 18 sec.

Εικόνα 66: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου από 18 sec. έως 28 sec.

Εικόνα 67: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου από 18 sec. έως 28 sec.

Εικόνα 68: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου από 18 sec. έως 28 sec.

Εικόνα 69: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου από 28 sec. έως 39 sec.

Εικόνα 70: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου από 28 sec. έως 39 sec.

Εικόνα 71: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου από 28 sec. έως 39 sec.

Εικόνα 72: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου από 39 sec. έως 48 sec.

Εικόνα 73: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου από 39 sec. έως 48 sec.

Εικόνα 74: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου από 39 sec. έως 48 sec.

Εικόνα 75: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου από 48 sec. έως 58 sec.

Εικόνα 76: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου από 48 sec. έως 58 sec.

Εικόνα 77: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου από 48 sec. έως 58 sec.

Εικόνα 78: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου από 58 sec. έως 70 sec.

Εικόνα 79: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου από 58 sec. έως 70 sec.

Εικόνα 80: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου από 58 sec. έως 70 sec.

Εικόνα 81: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster.

Εικόνα 82: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster.

Εικόνα 83: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 8 sec. έως 18 sec.

Εικόνα 84: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 8 sec. έως 18 sec.

Εικόνα 85: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 18 sec. έως 28 sec.

Εικόνα 86: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

18 sec. έως 28 sec.

Εικόνα 87: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 28 sec. έως 39 sec.

Εικόνα 88: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 21 sec. έως 29 sec.

Εικόνα 89: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από

39 sec. έως 48 sec.

Εικόνα 90: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 39

sec. έως 48 sec.

Εικόνα 91: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 48 sec. έως 58 sec.

Εικόνα 92: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 41 sec. έως 49 sec.

Εικόνα 93: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 58 sec. έως 70 sec.

Εικόνα 94: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 51 sec. έως 59 sec.

Εικόνα 95: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης.

Εικόνα 96: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης.

Εικόνα 97: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης από 8 sec. έως 18 sec.

Εικόνα 98: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης από 8 sec. έως 18 sec.

Εικόνα 99: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης από 18 sec. έως 28 sec.

Εικόνα 100: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης από 18 sec. έως 28 sec.

Εικόνα 101: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης από 28 sec. έως 39 sec.

Εικόνα 102: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης από 28 sec. έως 39 sec.

Εικόνα 103: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης από 31 sec. έως 39 sec.

Εικόνα 104: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης από 39 sec. έως 48 sec.

Εικόνα 105: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης από 41 sec. έως 49 sec.

Εικόνα 106: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης από 48 sec. έως 58 sec.

Εικόνα 107: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης από 58 sec. έως 70 sec.

Εικόνα 108: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης από 58 sec. έως 70 sec.

Εικόνα 109: Διάγραμμα ισχύος που δείχνει την αντίδραση του συστήματος. Η κόκκινη γραμμή δείχνει τη κυματομορφή του πετρελαιοκινητήρα και η μπλε του αεροστροβίλου.

Εικόνα 110: Διάγραμμα ρεύματος ακριβώς μετά το σφάλμα και τον διακόπτη C.B. 2 στη πλευρά του E.P.

Εικόνα 111: Διάγραμμα τάσης ακριβώς μετά το σφάλμα και τον διακόπτη C.B. 2 στη πλευρά του E.P.

Εικόνα 112: Διάγραμμα ρεύματος ακριβώς μετά το σφάλμα, τον διακόπτη, τον inverter και τον διακόπτη Σ.Ρ. C.B. 3 στη πλευρά του Σ.Ρ.

Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

Εικόνα 113: Διάγραμμα τάσης ακριβώς μετά το σφάλμα, τον διακόπτη, τον inverter και τον διακόπτη Σ.Ρ. C.B. 3 στη πλευρά του Σ.Ρ.

Εικόνα 114: Διάγραμμα ισχύος που δείχνει την αντίδραση του συστήματος. Η κόκκινη γραμμή δείχνει τη κυματομορφή του πετρελαιοκινητήρα και η μπλε του αεροστροβίλου.

Εικόνα 115: Διάγραμμα ρεύματος ακριβώς μετά το σφάλμα και τον διακόπτη C.B 3 στη πλευρά του Σ.Ρ.

Εικόνα 116: Διάγραμμα τάσης ακριβώς μετά το σφάλμα και τον διακόπτη C.B. 3 στη πλευρά του Σ.Ρ.

Εικόνα 117: Διάγραμμα ρεύματος στη πλευρά του Σ.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 118: Διάγραμμα ρεύματος με μεγαλύτερη ακρίβεια, στη πλευρά του Σ.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 119: Διάγραμμα τάσης στη πλευρά του Σ.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 120: Διάγραμμα τάσης με μεγαλύτερη ακρίβεια, στη πλευρά του Σ.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 121: Διάγραμμα ρεύματος στη πλευρά του Ε.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 122: Διάγραμμα ρεύματος με μεγαλύτερη ακρίβεια, στη πλευρά του Ε.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 123: Διάγραμμα τάσης στη πλευρά του Ε.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 124: Διάγραμμα τάσης με μεγαλύτερη ακρίβεια, στη πλευρά του Ε.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 125: Διάγραμμα ρεύματος αμέσως πριν τον προωθητήρα, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 126: Διάγραμμα ρεύματος με μεγαλύτερη ακρίβεια, αμέσως πριν τον προωθητήρα, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 127: Διάγραμμα τάσης αμέσως πριν τον προωθητήρα, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 126: Διάγραμμα τάσης με μεγαλύτερη ακρίβεια, αμέσως πριν τον προωθητήρα, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 127: Διάγραμμα ρεύματος αμέσως πριν το ξενοδοχειακό φορτίο, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 128: Διάγραμμα ρεύματος με μεγαλύτερη ακρίβεια, αμέσως πριν το ξενοδοχειακό φορτίο, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 129: Διάγραμμα τάσης αμέσως πριν το ξενοδοχειακό φορτίο, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 130: Διάγραμμα τάσης με μεγαλύτερη ακρίβεια, αμέσως πριν το ξενοδοχειακό φορτίο, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Εικόνα 131: Διάγραμμα ρεύματος αεροστροβίλου, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του Ε.Ρ., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.





## Αλφαβητικό Ευρετήριο

Εξηλεκτρισμένα πλοία	Ε.Π
Εναλλασσόμενο Ρεύμα	Ε.Ρ.
Συνεχές Ρεύμα	Σ.Ρ.
Χαμηλής Τάσης	Χ.Τ.
Μεσαίας Τάσης	Μ.Τ.
Ενσωματωμένο Σύστημα Ισχύος	Ε.Σ.Ι.
Συσκευές Κατανομής της Διανεμημένης Ενέργειας	Σ.Κ.Δ.Ε.
Κατανομή των Πηγών Ανανεώσιμης Ενέργειας	Κ.Π.Α.Ε.
Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	Α.Π.Ε.
Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας	Σ.Α.Ε.
Ζωνικά Συστήματα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Συνεχούς Ρεύματος	Ζ.Σ.Δ.Η.Ε.Σ.Ρ.
Ζωνικό Σύστημα Ισχύος Συνεχούς Ρεύματος σε Πλοία	Ζ.Σ.Ι.Σ.Ρ.Π.
Σημείο Κοινής Σύζευξης	Σ.Κ.Σ.

All Ellectric Ship	A.E.S.
Alternating Current	A.C.
Direct Current	D.C.
Low Voltage	L.V.
Medium Voltage	M.V.
Integrated Power System	I.P.S.
Distributed Energy Storage Device	D.E.S.D.
Distributed Renewable Energy Source	D.R.E.R.
Renewable Energy Source	R.E.S.
Energy Storage System	E.S.S.
Direct Current Zonal Electrical Distribution System	D.C.Z.E.D.S.
Direct Current Zonal Shipboard Power System	D.C.Z.S.P.S.
Circuit Breakers	C.B.
Point of Common Coupling	P.C.C.
Solid State Circuit Breaker	S.S.C.B.



## 1. Γενικά

### 1.1 Ορισμός

Σύμφωνα με το CIGRE WG C6.21, τα μικροδίκτυα είναι συστήματα διανομής ηλεκτρικού ρεύματος που περιέχουν φορτία και ενεργειακούς πόρους, όπως καταναλισκόμενες γεννήτριες, συσκευές αποθήκευσης ή ελεγχόμενα φορτία, που είναι σε θέση να λειτουργούν με ελεγχόμενο και συντονισμένο τρόπο είτε όταν είναι συνδεδεμένα με το κύριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είτε όταν είναι σε κατάσταση αυτόνομης λειτουργίας.

### 1.2 Ιστορικά

Τον περασμένο αιώνα, λόγω της αυξημένης ζήτησης των ηλεκτρικών φορτίων στα πλοία, είχαν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό τα συστήματα ισχύος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα εξηλεκτρισμένα πλοία Ε.Π. ( A.E.S. ) να παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση, διότι εκμεταλλεύονται το ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης αντί του συμβατικού μηχανικού συστήματος πρόωσης.

Η ανάγκη για την εφαρμογή των μικροδικτύων άρχισε πολλά χρόνια πριν. Τα μικροδίκτυα Εναλλασσόμενου Ρεύματος Ε.Ρ. ( A.C. ) υπήρχαν διότι δεν είχαν ακόμη εφευρεθεί τα ηλεκτρονικά ισχύος μέσω των οποίων μπορούσε να γίνει διανομή του Συνεχούς Ρεύματος Σ.Ρ. ( D.C. ). Τώρα πλέον, με τα υπάρχοντα ηλεκτρονικά ισχύος είναι δυνατή η συγκεκριμένη διανομή, με αποτέλεσμα σε χώρες του τρίτου κόσμου να εγκαθίστανται εξ ολοκλήρου από την αρχή μικροδίκτυα Σ.Ρ. και όχι Ε.Ρ. Τα μικροδίκτυα Σ.Ρ. βρίσκουν εφαρμογή εκτός των άλλων και σε πλοία και σε αεροσκάφη.

Το σύστημα ισχύος στα πλοία, μπορεί να ανιχνευθεί από το 1880, όταν εφαρμόστηκε Σ.Ρ. στο SS Colombia, στο οποίο εγκαταστάθηκε για πρώτη φορά το σύστημα φωτισμού του Έντισον.

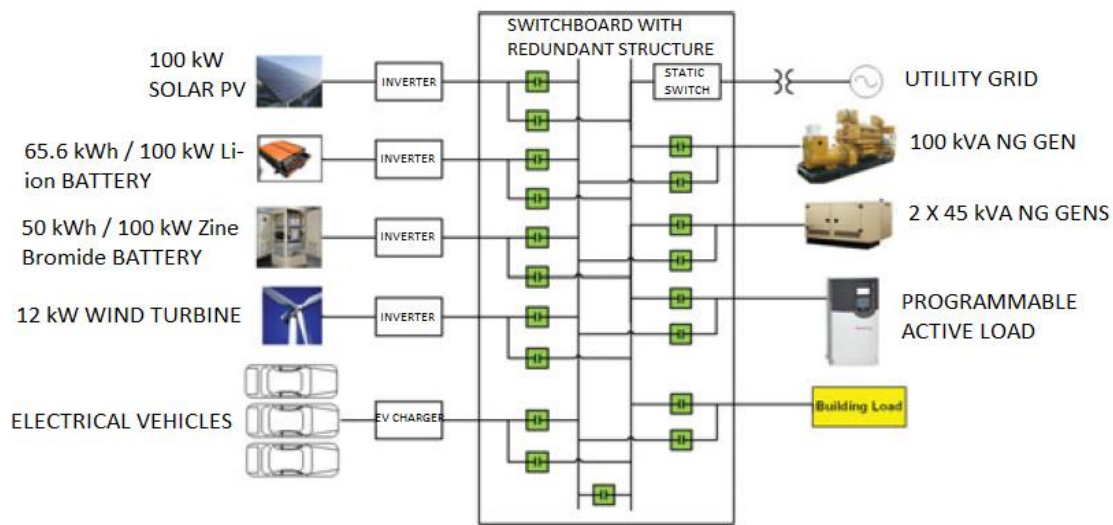
### 1.3 Εισαγωγή

Τα μικροδίκτυα αποτελούν έναν πολύ σημαντικό παράγοντα για τη φιλική προς το περιβάλλον διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και για την κάλυψη των αναγκών της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι καθιστούν δυνατή την χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας Α.Π.Ε. ( R.E.S. ) και είναι πιο κατάλληλα για την ηλεκτροδότηση αγροτικών περιοχών. Η εμφάνιση των μικροδικτύων έχει σκοπό τη βελτιστοποίηση της διανομής και της παραγωγής ενέργειας. Υπάρχουν δύο ειδών μικροδίκτυα, αυτό του Ε.Ρ. και αυτό του Σ.Ρ. [1].

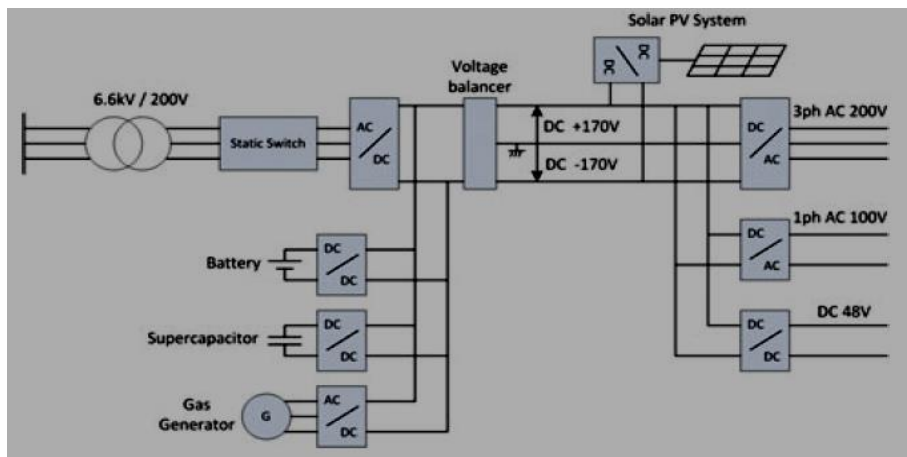
Σύμφωνα με το [2], ένα μικροδίκτυο αποτελείται από τρία βασικά μέρη, τις γεννήτριες, τους χώρους αποθήκευσης ενέργειας και τα διάφορα φορτία. Αυτό, μπορεί να είναι είτε μονοφασικό είτε τριφασικό και μπορεί να συνδεθεί σε δίκτυα διανομής ενέργειας είτε Χαμηλής Τάσης Χ.Τ. ( L.V. )

Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

είτε Μεσαίας Τάσης Μ.Τ. ( Μ.Υ. ) και να λειτουργεί είτε συνδεδεμένο στο δίκτυο είτε αυτόνομα.



Εικόνα 1: Διάγραμμα ενός τυπικού Ε.Ρ. μικροδικτύου.



Εικόνα 2: Διαμόρφωση ενός τυπικού μικροδικτύου Σ.Ρ.

Τα κρίσιμα φορτία πρέπει να λειτουργούν συνεχόμενα και δεν πρέπει να επηρεάζονται από διακοπές λειτουργίας στο ευρύτερο δίκτυο. Τα μικροδίκτυα είναι η λύση για αυτή την κατάσταση γιατί διαθέτουν την ικανότητα να θέτονται σε αυτόνομη κατάσταση λειτουργίας, δηλαδή, σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας να απομονώνεται ένα μέρος του δικτύου.

Οι τεχνολογίες διανομής ισχύος Σ.Ρ. έχουν παρουσιάσει σημαντική αύξηση στον τομέα της έρευνας και στον τομέα των βιομηχανικών εφαρμογών. Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα πάνω στα μικροδίκτυα Σ.Ρ. έχει προσφέρει και αναπτύξει μια σειρά από προηγμένες μεθόδους ελέγχου, διαχείρισης και προσανατολισμένης βελτιστοποίησης, η οποία θα μπορούσε να επιτρέψει μελλοντικές εφαρμογές σε πολλαπλές βιομηχανικές περιοχές, όπως στα πλοία, στα έξυπνα κτίρια, στα ηλεκτρικά οχήματα, καθώς, και συστήματα ισχύος που αφορούν στην αεροδιαστημική και στα αεροσκάφη [3].

## 1.4 Μέρη ενός μικροδικτύου

Τα κύρια εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται ένα τέτοιο μικροδίκτυο είναι οι πηγές, οι μετατροπείς, οι αποθήκες ενέργειας και τα φορτία [4].

- Πηγές

Οι πηγές που χρησιμοποιούνται σε μικροδίκτυα Χ.Τ. ποικίλουν. Τα φωτοβολταϊκά και οι κυψέλες καυσίμου παράγουν τάση Σ.Ρ. και έτσι είναι δυνατή η σύνδεση με ένα σύστημα ισχύος Σ.Ρ. μέσω ενός μετατροπέα Σ.Ρ. / Σ.Ρ. Στα πλοία σύμφωνα με το [5], οι πηγές είναι οι κινητήρες ντίζελ, οι αεροστρόβιλοι και οι κυψέλες καυσίμου.

- Μετατροπείς

Σε ένα μικροδίκτυο Χ.Τ., χρησιμοποιούνται και μετατροπείς Ε.Ρ. / Σ.Ρ. και Σ.Ρ. / Σ.Ρ., όπου ο μετατροπείς Ε.Ρ. / Σ.Ρ. χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση του μικροδικτύου Ε.Ρ. με το μικροδίκτυο Σ.Ρ. Αυτοί οι μετατροπείς πρέπει να παράγουν ημιτονοειδή τάση και ρεύμα Ε.Ρ. και να είναι σε θέση να μπορούν να ελέγξουν την αμφίδρομη ροή ισχύος. Επιπλέον, οι μετατροπείς πρέπει να διαθέτουν γαλβανική μόνωση, να είναι σε θέση να μπορούν να χειριστούν διάφορες διαταραχές στο δίκτυο, όπως πτώση τάσης με ασύμμετρες τάσεις και τέλος, πρέπει να έχουν υψηλή απόδοση.

Οι μετατροπείς Σ.Ρ. / Σ.Ρ. χρησιμοποιούνται για να συνδεθούν διαφορετικές πηγές και φορτία στο μικροδίκτυο και οι τύποι τους ποικίλουν. Αυτοί οι μετατροπείς είναι απλούστερα κατασκευασμένοι συγκριτικά με τους Ε.Ρ. / Σ.Ρ. και έτσι επιτυγχάνεται χαμηλότερο κόστος και υψηλότερη απόδοση.

- Αποθήκες ενέργειας

Οι αποθήκες ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βελτίωση της ποιότητας της ισχύος, για την ισορροπία του φορτίου ή και για την έκτακτη ανάγκη τροφοδοσίας του συστήματος. Οι πιο διαδεδομένες αποθήκες ενέργειας είναι οι μπαταρίες και οι πυκνωτές οι οποίες μπορούν να συνδεθούν απευθείας με τον ζυγό Σ.Ρ.

- Φορτία

Ένα μικροδίκτυο Χ.Τ. μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να παρέχει φορτία που απαιτούν τροφοδοσία υψηλής διαθεσιμότητας. Παράδειγμα τέτοιων φορτίων αποτελούν τα συστήματα φωτισμού, τα συστήματα ελέγχου, τα συστήματα ασφαλείας και επικοινωνίας και οι εξοπλισμοί θέρμανσης, κλιματισμού και εξαερισμού.

## 2. Μικροδίκτυα πλοίων

### 2.1 Ενσωματωμένο Σύστημα Ισχύος Ε.Σ.Ι. ( I.P.S. ) σε πλοία

Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά όλων των Α.Ε.Σ. είναι η έννοια του I.P.S. [3]. Με το σύστημα αυτό ελαχιστοποιείται ο αριθμός των γεννητριών ενσωματώνοντας έξυπνες μεθόδους για

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

την ικανοποίηση των απαιτήσεων των φορτίων. Ακόμα παρέχει τη δυνατότητα στις γεννήτριες να προσαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες των φορτίων. Σε γενικές γραμμές, το I.P.S. του πλοίου μπορεί να θεωρείται ως ένα μικροδίκτυο μεγάλης κλίμακας με ειδικές απαιτήσεις.

Το I.P.S. αποτελείται από το υποσύστημα παραγωγής και αποθήκευσης το οποίο απαιτεί τη χρήση μετατροπέων ισχύος για τη διόρθωση της τάσης E.P. των γεννητριών και τη σύνδεση των συστημάτων αποθήκευσης με το I.P.S. Το υποσύστημα αξιοποίησης, το οποίο απαιτεί τη χρήση μετατροπέων ισχύος για τροφοδοσία μεγάλων μονάδων M.T., όπως κινητήρες πρόωσης, προωθητήρες πλώρης κι συμπιεστές κλιματισμού. Το τελευταίο είναι το υποσύστημα διανομής και προστασίας, που απαιτεί τη χρήση μετατροπέων Σ.Ρ. / Σ.Ρ. για τη προσαρμογή των επιπέδων τάσης ανάλογα με τις απαιτήσεις των εκάστοτε φορτίων για τη διασφάλιση της γαλβανικής απομόνωσης.

Τα I.P.S. M.T. Σ.Ρ. ( M.V. D.C. ) απαιτούν την εφαρμογή μετατροπέων E.P. / Σ.Ρ. για να συνδεθούν οι γεννήτριες E.P. με το δίκτυο Σ.Ρ.

Τα I.P.S. βασισμένα σε Σ.Ρ., μπορούν να προσφέρουν ένα μεγάλο εύρος πλεονεκτημάτων τόσο στα εμπορικά πλοία όσο και στα πλοία της γραμμής. Η αρχιτεκτονική συστημάτων ισχύος με Σ.Ρ. θα εξαλείψει τους ογκώδεις μετασχηματιστές χαμηλής συχνότητας και θα μειώσει τον αριθμό των διακοπών, μειώνοντας τον καταλαμβανόμενο χώρο και το συνολικό βάρος ολόκληρου του συστήματος, παρέχοντας έτσι πρόσθετο χώρο για εμπορεύματα [3], [6], [7].

Η δυνατότητα των γεννητριών ντίζελ να μπορούν να παρέχουν μεταβλητή ταχύτητα, επιτρέπει στον εμπορικό τομέα την εξοικονόμηση καυσίμου κατά 15%. Επίσης, η ύπαρξη μιας σωστής αρχιτεκτονικής σε ένα σύστημα Σ.Ρ. θα μπορούσε να επιφέρει καλύτερη επιβίωση του συστήματος και τον περιορισμό του ρεύματος διαρροής, καθώς και την ικανότητα επαναπροσδιορισμού του συστήματος. Μέσω της αρχιτεκτονικής του συστήματος Σ.Ρ. με την ενσωμάτωση προηγμένων ταχυτήτων και υπεραποδοτικών γεννητριών ντίζελ και γεννητριών τουρμπίνας γκαζιού, θα μπορούσε να επιτευχθεί η βελτίωση στην απόδοση του καυσίμου του συστήματος.

### 2.2 Χρήση M.V. D.C. και L.V. D.C.

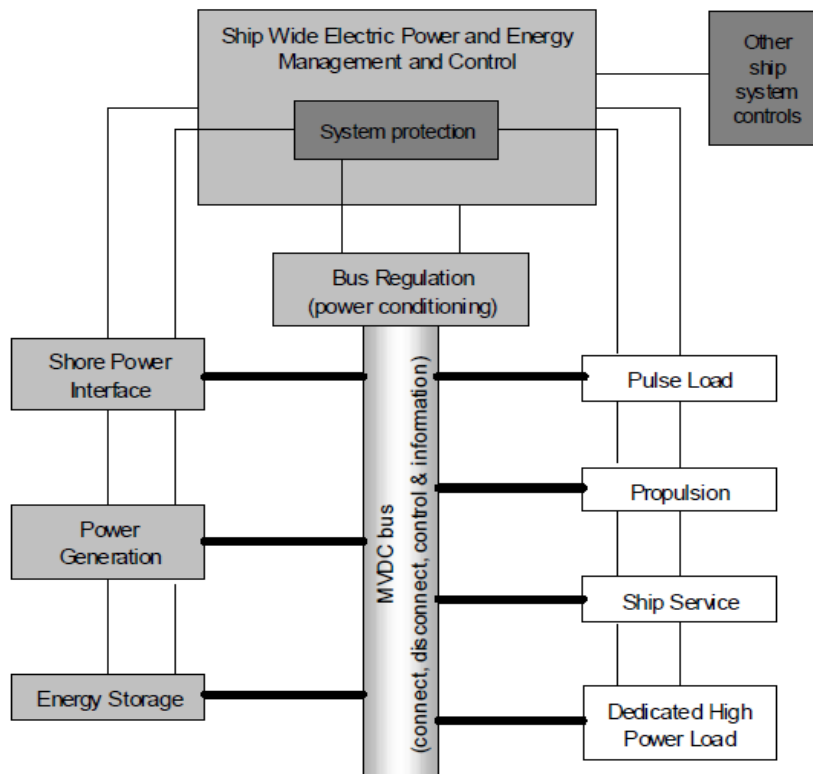
Λόγω των υψηλότερων επιπέδων ισχύος που απαιτούνται στην εφαρμογή των ηλεκτροκίνητων πλοίων, η μόνη διαθέσιμη επιλογή σχεδιασμού για ενσωματωμένα συστήματα ισχύος με βάση το Σ.Ρ. είναι η M.V. D.C. με τάση στον ζυγό πάνω από 1kV. Η L.V.D.C. είναι κατάλληλη για πιο ευαίσθητο ηλεκτρονικό εξοπλισμό όπως, φορτία υπολογιστών, γραφεία και διάφορες πρίζες που θα υπάρχουν πάνω στο πλοίο.

### 2.3 Επίπεδα τάσης σε πλοίο

Όσον αφορά στις τάσεις, για τους κύριους ηλεκτροκινητήρες και τους κινητήρες πρόωσης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ονομαστικές τιμές ισχύος που επιτρέπουν την ηλεκτρονική μετατροπή

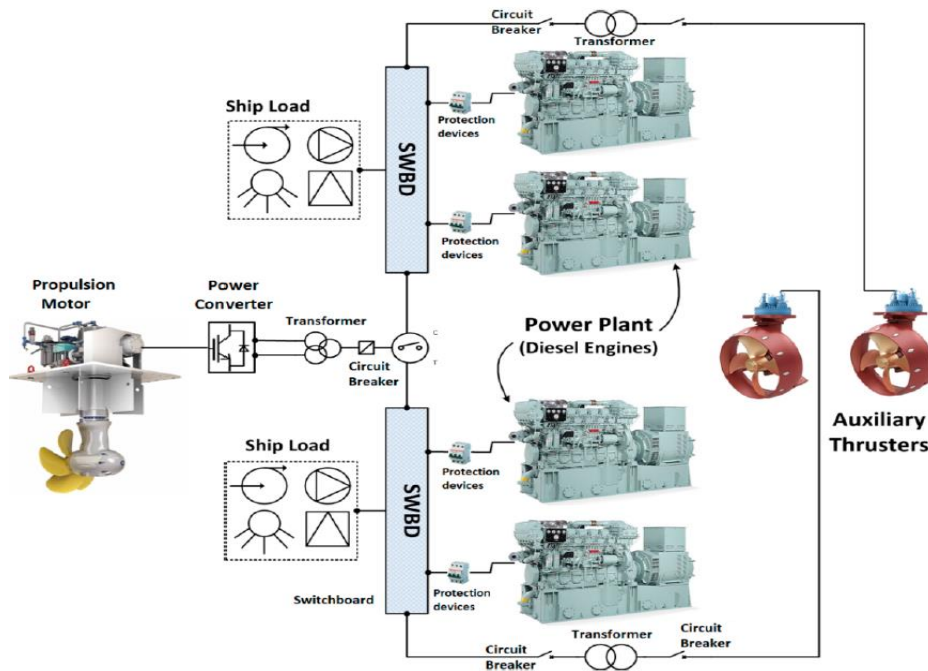
ισχύος [5]. Οι συνιστώμενες ονομαστικές τάσεις είναι οι 1.5 kV, 3 kV, 6 kV, 12 kV, 18 kV, 24 kV, ή 30 kV. Αυτές οι τάσεις μπορούν να εφαρμοστούν ανάλογα με τα ακόλουθα,  $\pm 0.75$ ,  $\pm 1.5$ ,  $\pm 3$ ,  $\pm 6$ ,  $\pm 9$ ,  $\pm 12$ , ή  $\pm 15$ kV, αντίστοιχα. Ενώ σύμφωνα με το [8], για κέντρα δεδομένων η τυπική τιμή της τάσης είναι 380 V και για οικίες τα τυπικά επίπεδα τάσης είναι 20 V, 230 V και 325 V.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα λειτουργικό διάγραμμα M.V. D.C. Πλοίου.



Εικόνα 3: Πλασματικό λειτουργικό διάγραμμα M.V. D.C. Πλοίου.

Στη παρακάτω εικόνα, παρουσιάζουμε ένα παράδειγμα συστήματος ισχύος σε πλοίο. Σύμφωνα με το [9], στο σχέδιο αυτό γίνεται φανερό πως η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτεί κυρίως τους ηλεκτρικούς κινητήρες πρόωσης και το φορτίο που αντιστοιχεί στις υπηρεσίες του πλοίου. Η πρόωση των πλοίων γενικά, προέρχεται από μεγάλους ηλεκτρικούς κινητήρες οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με μετατροπείς ισχύος που επιτρέπουν τη συνεχή μεταβλητή λειτουργία του στροφαλοφόρου άξονα του κινητήρα σε ευρύ φάσμα ταχυτήτων, έχοντας λειτουργική ευελιξία και παρέχοντας οικονομία στο καύσιμο. Τέλος, εξαλείφεται η ανάγκη για χρήση μεγάλων στροφαλοφόρων αξόνων για τη σύνδεση των προπελών και των κύριων κινητήρων καθώς και η ανάγκη για χρήση μηχανικών κιβωτίων ταχυτήτων.



Εικόνα 4: Τυπικό σύστημα ισχύος σε πλοίο.

### 3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μικροδικτύων Σ.Ρ. και Ε.Ρ.

#### 3.1 Γενικά πλεονεκτήματα χρήσης μικροδικτύων Σ.Ρ.

Ακριβώς όπως προσπάθησε κάποτε ο Εντison να αποδείξει, καθίσταται σαφές ότι, το σύστημα Σ.Ρ. έχει πολλά σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι του Ε.Ρ. επιπλέον δε, και ορισμένα πρόσφατα αναγνωρισμένα. Για παράδειγμα, η αντικατάσταση ογκωδών σιδηρομαγνητικών μετασχηματιστών με συμπαγούς ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος, πιο εύκολη παράλληλη σύνδεση ή αποσύνδεση για πηγές ενέργειας Σ.Ρ., εξάλειψη των αρμονικών και των προβλημάτων ανισορροπίας, εξάλειψη των προβλημάτων συγχρονισμού και εξάλειψη της άεργου ροής ισχύος [6].

Τα μικροδίκτυα Σ.Ρ. έχουν γίνει προτιμότερη επιλογή συγκριτικά με τα μικροδίκτυα Ε.Ρ., λόγω της αύξησης των κρίσιμων Σ.Ρ. φορτίων και διαθέτουν υψηλότερη απόδοση κατά τη διάρκεια της διανομής της ενέργειας. Επίσης, βάση του [10], προσφέρουν βελτίωση της απόδοσης μειώνοντας τα στάδια μετατροπής για τις όποιες γεννήτριες είναι Σ.Ρ. και για τις αποθήκες ενέργειας που χρησιμοποιούν Σ.Ρ. Επιπροσθέτως, σε ένα σύστημα διανομής Σ.Ρ. υπάρχουν λιγότερα προβλήματα σταθερότητας και ο έλεγχος της τάσης είναι απλούστερος.

Οι Α.Π.Ε., όπως είναι τα φωτοβολταϊκά και τα κελιά καυσίμων, τα οποία παράγουν Σ.Ρ., μπορούν να συνδέονται απευθείας στα μικροδίκτυα Σ.Ρ. ή μέσω μετατροπών από Σ.Ρ. σε Σ.Ρ. όπως γίνεται γνωστό στο [11] και τα φορτία Σ.Ρ. μπορούν να συνδεθούν απευθείας χρησιμοποιώντας κατάλληλη τάση Σ.Ρ., η οποία θα μικρύνει τις απώλειες μετατροπής.



## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

Το πλεονέκτημα της χρήσης του δικτύου Σ.Ρ. Χ.Τ. σε σχέση με το δίκτυο Ε.Ρ. Χ.Τ. είναι το γεγονός ότι τα φορτία, οι πηγές και οι αποθήκες ενέργειας μπορούν να ενωθούν μέσα από απλούστερα και ικανότερα ηλεκτρονικά ισχύος.

Τα μικροδίκτυα Σ.Ρ. παρουσιάζουν ένα δραστικό μέσο διανομής ισχύος υψηλής ποιότητας πολύ πιο αποτελεσματικό σε αστικές και σε αγροτικές περιοχές ακόμη και σε εμπορικές μονάδες. Το πιο προφανές πλεονέκτημα για ένα μικροδίκτυο Σ.Ρ. είναι η μείωση του αριθμού των απαιτούμενων ηλεκτρονικών μετατροπών.

Άλλα βασικά πλεονεκτήματα είναι:

- Η ευκολία με την οποία πολλαπλές πηγές μπορούν να συνδεθούν παράλληλα με ένα μόνο ζυγό, επιτρέποντας μια πιο έντονα αποκεντρωμένη προσέγγιση στη διαχείριση της ροής ισχύος και μια βελτιωμένη ικανότητα διεύθυνσης όταν υπάρχουν απώλειες πηγών ενέργειας από τον ζυγό.
- Τα μικροδίκτυα Σ.Ρ., ως ένα προσαρμοστικό σύστημα ελέγχου, παρέχουν ευκολία και υψηλή απόδοση προκειμένου να ενσωματωθούν τα διανεμημένα φορτία.
- Το σύστημα μικροδικτύων Σ.Ρ. μπορεί να υποστηρίξει τη λειτουργία plug and play.
- Το σύστημα αυτό μπορεί να μειώσει τις απώλειες στη μετάδοση ισχύος και να βελτιώσει την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ευκολότερη κατασκευή υβριδικών συστημάτων.
- Διαθέτουν υψηλότερη απόδοση διότι μειώνουν τα πολλαπλά στάδια μετατροπής της ισχύος και μειώνονται οι απαιτήσεις για φίλτρα.
- Είναι ευκολότερη η ενσωμάτωση των Α.Π.Ε., ειδικότερα για κάποιες πηγές Σ.Ρ. όπως τα φωτοβολταϊκά, οι κυψέλες καυσίμων, οι μπαταρίες και οι μεγάλοι πυκνωτές.
- Είναι αποδοτικότερα στο να τροφοδοτήσουν σπίτια του μέλλοντος [12].

Συγκριτικά με τη διανομή Μ.Τ. Ε.Ρ., η Μ.Τ. Σ.Ρ. έχει αρκετά πλεονεκτήματα, τα οποία περιλαμβάνονται στο πρότυπο IEEE 1709-2018 [13], όπως ότι:

- Δεν χρειάζεται ο συγχρονισμός της γωνίας φάσης των πηγών, απλοποιώντας έτσι τη σύνδεση και την αποσύνδεση συσκευών παραγωγής και αποθήκευσης διαφορετικών τύπων και μεγεθών.
- Παρατηρείται μείωση του μεγέθους και του αριθμού των συσκευών διανομής και των καλωδίων καθώς και εξάλειψη των ογκωδών μετασχηματιστών χαμηλής συχνότητας.
- Βελτιωμένη διαχείριση των ρευμάτων σφάλματος, αναδιάρθρωση του συστήματος και συνεχής ροή ισχύος σε προσωρινές και έκτακτες συνθήκες.
- Ενισχυμένες δεξαμενές αποδοτικότητας για την εξάλειψη του άεργου ρεύματος και δυνατότητα μεταβλητής ταχύτητας λειτουργίας των κινητήρων.
- Αφαίρεση των περιορισμών συχνότητας από το σχεδιασμό και τη λειτουργία των γεννητριών, δίνοντας έτσι στους παραγωγούς τη δυνατότητα μείωσης του μεγέθους και του βάρους και καθιστώντας οικονομικά δικαιολογημένη τη χρήση αεροστροβίλων καθώς εκπέμπουν πολύ χαμηλότερους ρύπους από τους κινητήρες ντίζελ.

Τα συστήματα Σ.Ρ., όσον αφορά τα πλοία, μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, περιορισμό στο ρεύμα διαρροής και δυνατότητα επαναπροσδιορισμού. Γενικά, η αρχιτεκτονική του Σ.Ρ. θα εξαλείψει τους ογκώδεις μετασχηματιστές χαμηλής συχνότητας και θα μειώσει τον αριθμό των συσκευών διανομής, μειώνοντας έτσι τον καταλαμβανόμενο χώρο και το βάρος ολόκληρου του συστήματος. Ένα από τα σημαντικά στοιχεία όλων των ηλεκτρικών πλοίων είναι το ενσωματωμένο σύστημα ισχύος, το οποίο ελαχιστοποιεί τον αριθμό των γεννητριών εφαρμόζοντας έξυπνες μεθόδους προκειμένου να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις φορτίου.

### 3.2 Προκλήσεις στη χρήση μικροδικτύων Σ.Ρ.

Τα μικροδίκτυα Σ.Ρ. αντιμετωπίζουν προκλήσεις, όπως το πώς να παρέχει μια αιεφόρο και αξιόπιστη ισχύ στο φορτίο, πώς να ελέγξει έξυπνα κάθε ένα τμήμα του μικροδικτύου ξεχωριστά, πώς να κάνει πλήρη χρήση των συσκευών κατανομής της διανεμημένης ενέργειας Σ.Κ.Δ.Ε. ( DESDs ) και της κατανομής των πηγών ανανεώσιμης ενέργειας Κ.Π.Α.Ε. ( DRERs ) με βάση τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους και τέλος, το πώς να ενσωματώσουν ένα μικροδίκτυο Σ.Ρ. σε ένα δίκτυο διανομής Ε.Ρ. [12]

### 3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Ε.Ρ.

Τα πιο αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα της διανομής του Ε.Ρ., όπως παρουσιάζονται στο [14] είναι :

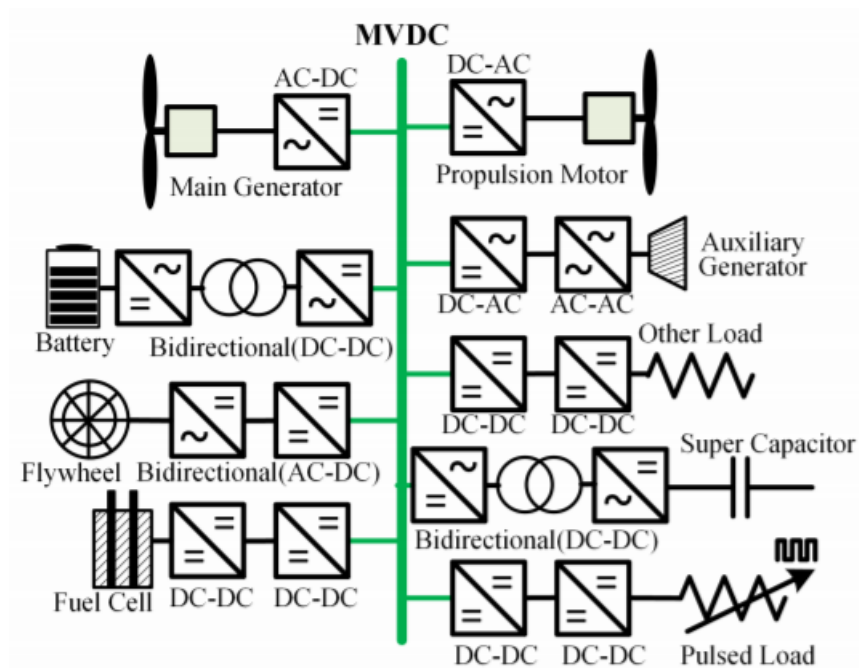
- Απλοί διακόπτες σε σύγκριση με το Σ.Ρ. : Το ηλεκτρικό τόξο εξαφανίζεται στο σημείο μηδενικής διέλευσης του ρεύματος.
- Εύκολη και αξιόπιστη προσαρμογή του επιπέδου της τάσης με τη χρήση μετασχηματιστή.
- Το ρεύμα των μικρών κυκλωμάτων περιορίζεται αυτόματα από την αντίσταση του καλωδίου.

Οι μελετητές και οι μηχανικοί έχουν επίσης παρατηρήσει, κάποια μειονεκτήματα του Ε.Ρ., όπως, ότι τα σετ των γεννητριών πρέπει να δουλεύουν με σταθερή ταχύτητα, κάτι το οποίο περιορίζει τη περαιτέρω βελτίωση στην απόδοση του καυσίμου. Η αρχιτεκτονική ισχύος Ε.Ρ. εισάγει ανεπιθύμητη ροή άεργου ισχύος και προβλήματα ποιότητας ισχύος όπως ανισορροπίες φάσης και αρμονικά ρεύματα. Οι ογκώδεις συμβατικοί μετασχηματιστές καταλαμβάνουν πολύτιμο χώρο και βάρος στο πλοίο και, τέλος, πιθανός κίνδυνος συστημικής αποσύνθεσης όταν υποστηρίζονται αναδύμενα παλμικά ηλεκτρικά φορτία.

#### 4. Μέθοδοι αρχιτεκτονικής ενός μικροδικτύου Σ.Ρ.

##### 4.1 Τυπική αρχιτεκτονική των μικροδικτύων Σ.Ρ.

Στην εικόνα 5 γίνεται σαφής η αρχιτεκτονική, όπου οι Α.Π.Ε., οι Ε.Σ.Σ. και τα τοπικά ηλεκτρικά φορτία είναι μαζί συνδεδεμένα με τον ζυγό Σ.Ρ. προκειμένου να ενεργοποιηθεί η αυτόνομη λειτουργία που καθιστά το σύστημα πλήρως ανθεκτικό στις μεγάλες διακοπές ρεύματος στο κύριο δίκτυο. Η εξάλειψη των αντιδραστικών δυνάμεων και των προβλημάτων συγχρονισμού καθιστούν ολόκληρο το σύστημα πολύ απλούστερο στο σχεδιασμό, τον έλεγχο και τον συντονισμό. Επιπλέον, με μια καλά επιλεγμένη ονομαστική τάση ζυγού, η συνολική αποτελεσματικότητα θα είναι γενικά υψηλότερη από την αντίστοιχη τιμή του στο Ε.Ρ. [3].



Εικόνα 5: Τυπική αρχιτεκτονική ισχύος μονού ζυγού μικροδικτύου Σ.Ρ., [15].

##### 4.2 Τα τρία είδη αρχιτεκτονικής ενός μικροδικτύου Σ.Ρ.

Υπάρχουν τριών ειδών αρχιτεκτονικές ενός μικροδικτύου Σ.Ρ., αυτή των τριών καλωδίων ή αλλιώς διπολικός τύπος, το σύστημα ζωνικής ηλεκτρικής διανομής Σ.Ρ. και τέλος αυτός του δαχτυλιδιού [6].

###### 1. Τριών καλωδίων ή διπολικός τύπος

Με ένα σωστά επιλεγμένο ζυγό, η συνολική απόδοση θα είναι γενικά υψηλότερη από αυτή του Ε.Ρ. Η μέθοδος αυτή προέρχεται από το σύστημα διανομής ισχύος των τριών καλωδίων του

Έντισον, η οποία ήταν έτσι κατασκευασμένη ώστε να εξοικονομεί αγωγούς. Συγκριτικά με τις τυπικές μεθόδους, ο θετικός ζυγός και ο αρνητικός ζυγός μπορούν να συνυπάρχουν ο ένας με τον άλλο, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την εφεδρεία του συστήματος και την υψηλότερη αξιοπιστία. Επιπροσθέτως, επιτρέπει τη χρήση ουδέτερου ζυγού με χαμηλό ονομαστικό ρεύμα αν τα φορτία του θετικού ζυγού και του αρνητικού ζυγού είναι περίπου ίσα.

## 2. Σύστημα ζωνικής ηλεκτρικής διανομής Σ.Ρ.

Μία μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί στα πλοία, είναι αυτή που το εσωτερικό μέρος του συστήματος θα είναι χωρισμένο σε ηλεκτρικές ζώνες. Το σύστημα αυτό, δίνει τη δυνατότητα στο πλοίο ακόμα και σε περιπτώσεις που θα υπάρξει βλάβη σε μεγάλο μέρος του, αυτό να μπορεί να συνεχίσει τη λειτουργία του [16]. Επίσης πρέπει να περιέχει δύο τουλάχιστον υποσυστήματα, τα οποία να επικοινωνούν μεταξύ τους, εικόνα 6. Αυτές οι ηλεκτρικές ζώνες αντιστοιχούν στις τροφοδοσίες και θα αναπαρίστανται συνήθως με πηγές και στις δύο πλευρές, αριστερά και δεξιά, και με απλή διεπαφή στο μπροστά και στο πίσω μέρος του συστήματος όπως φαίνεται και στην εικόνα 6 (α). Ένα τέτοιο σύστημα είναι ευρέως γνωστό ως ζωνικό ηλεκτρικό σύστημα διανομής Σ.Ρ. Η εικόνα 6 (β), παρουσιάζει τη διάταξη του εξοπλισμού σε μια ηλεκτρική ζώνη. Παρατηρείται ότι ένας μεγάλος αριθμός φορτίων μέσα στη ζώνη τροφοδοτείται και από τις δύο πλευρές του πλοίου για την ενίσχυση της επιβίωσης του συστήματος. Σε αντίθεση με ένα επίγειο σύστημα ισχύος, τα συστήματα ισχύος των πλοίων είναι αναπόφευκτα περιορισμένα, λόγω της δομής του θαλάμου του πλοίου, με αποτέλεσμα το μέγεθος και το βάρος του συνολικού συστήματος να είναι σημαντικά. Για να ελαχιστοποιηθεί το μέγεθος της καλωδίωσης, τα επίπεδα τάσης πρέπει να είναι μεγαλύτερα από τα 6 kV. Για μεθόδους όπως στην εικόνα 6 (α), οι διακόπτες γύρω από το ζυγό δαχτυλιδιού υπάρχουν ώστε να απομονώσουν κάποιο τυχόν σφάλμα που μπορεί να προκύψει στους ζυγούς που διανέμουν την ισχύ στις ζώνες.

## 3. Δαχτυλιδιού

Η εικόνα 7 δείχνει την αρχιτεκτονική ενός Σ.Ρ. μικροδικτύου που βασίζεται στο ζυγό δαχτυλιδιού και προτείνεται για κρίσιμα φορτία με υψηλότερη ανάγκη για ασφάλεια. Ο ζυγός δαχτυλιδιού, επιτρέπει τη ροή της ενέργειας κατά μήκος είτε της σύντομης διαδρομής, είτε ενός βέλτιστου μονοπατιού. Αυτό σημαίνει ότι, όποτε προκύψει κάποιο σφάλμα στο σύστημα, μπορεί να απομονωθεί ανοίγοντας το πλησιέστερο διακόπτη, επιτρέποντας έτσι άλλα κομμάτια του συστήματος να δουλεύουν κανονικά. Αυτό εγγυάται την επιβίωση του συστήματος από σφάλμα σε κάποιο σημείο. Επίσης, αυτή η μέθοδος επιτρέπει στα κρίσιμα φορτία να αποκτούν ενέργεια από πολλαπλούς κόμβους εφαρμόζοντας είτε ένα συμβατικό διακόπτη πολλαπλών σημείων επαφής είτε μετατροπείς πολλαπλών τερματικών σταθμών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα κρίσιμα φορτία να είναι εξαιρετικά ασφαλή και έτσι επιτυγχάνεται μία αδιάλειπτη λειτουργία του συστήματος.

Τα Σύστημα Ζωνικής Ηλεκτρικής Διανομής Σ.Ρ. έχουν αρκετά πλεονεκτήματα στη χρήση τους, όπως φαίνονται στο [17] τα οποία είναι:

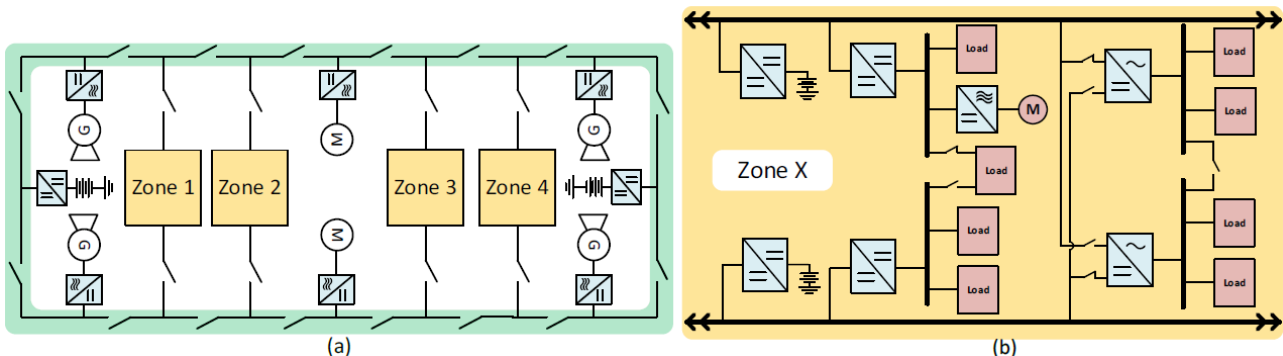
- Οι μονάδες μετατροπών των πλοίων και οι μονάδες εναλλακτήρων των πλοίων είναι πολυλειτουργικές, εκτελώντας τη μετατροπή ισχύος παρακολουθώντας και περιορίζοντας κατάλληλα το σύστημα κατά τη διάρκεια της ύπαρξης σφαλμάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα Σύστημα Ζωνικής Ηλεκτρικής Διανομής Σ.Ρ. να διευκολύνουν την απομόνωση των σφαλμάτων σε μία ηλεκτρική ζώνη.
- Ο έλεγχος του κινητήρα με μεταβλητή ταχύτητα είναι άμεσα διαθέσιμος για τις πολλές αντλίες και φυσητήρες που βρίσκονται στο πλοίο ούτως ώστε να διασφαλιστεί η λειτουργία

αυτών των συσκευών με την υψηλότερη δυνατή απόδοση.

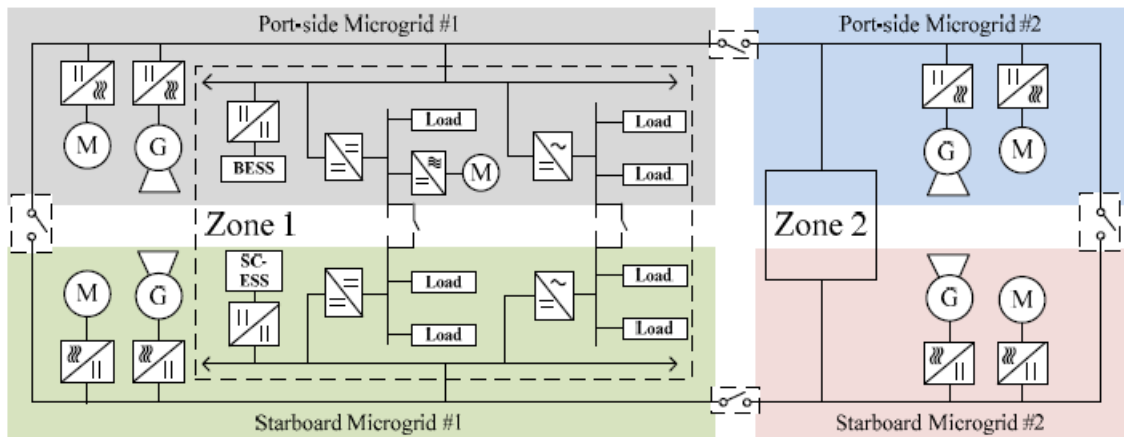
- Προσφέρουν πλεονέκτημα όσον αφορά στον αριθμό των σταδίων μετατροπής της ισχύος.
- Η συχνότητα της γεννήτριας είναι διαχωρισμένη από τις απαιτήσεις διανομής, με αποτέλεσμα οι συνδυασμοί γεννήτριας με ανορθωτή να μπορούν να βελτιστοποιηθούν ως προς το μέγεθος και το κόστος. Έτσι προκύπτει ότι οι κύριοι κινητήρες μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να προσφέρουν πάντα την πιο αποτελεσματική ταχύτητα.
- Εφαρμόζει state-of-art τεχνολογία ημιαγωγικών διακοπών που έχουν δημιουργηθεί από το πρόγραμμα «Power Electronic Building Block (P.E.B.B.)» του Γραφείου Ναυτικών Ερευνών (O.N.R.).

Όπως γίνεται γνωστό από το [18], όσον αφορά τον έλεγχο της ροής ισχύος μέσα στις ζώνες, χρησιμοποιούνται μετατροπείς ισχύος για τον έλεγχο της ροής μεταξύ των ζωνών και των αγωγών τροφοδοσίας του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας αλλά και κατά την ύπαρξης σφαλμάτων.

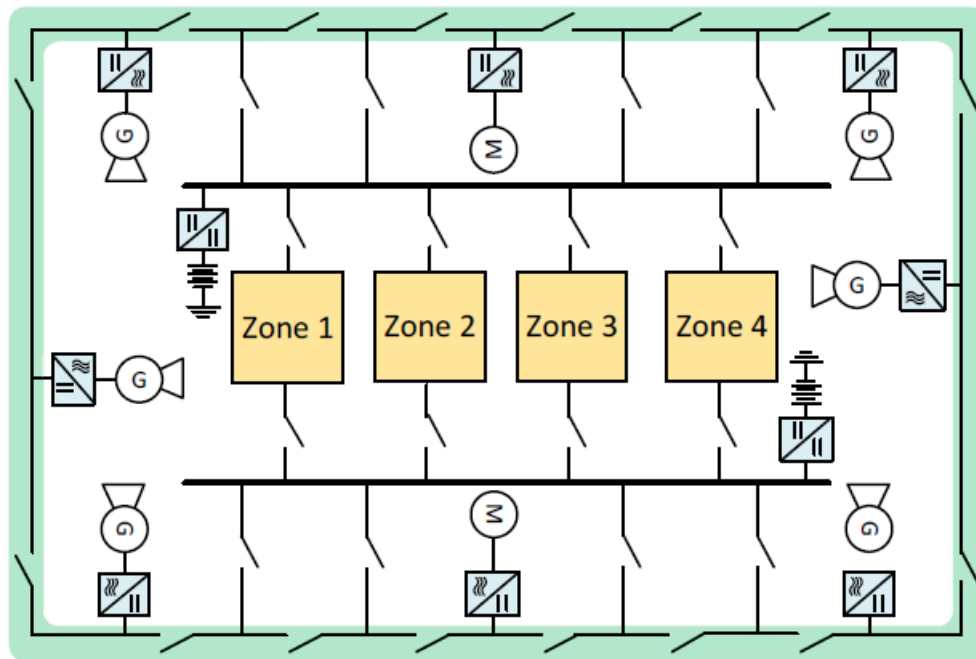
Σύμφωνα με το [19], προκειμένου να βελτιωθεί η παραγωγικότητα, και η λειτουργική ευελιξία, να μεγιστοποιηθεί η βιωσιμότητα του συστήματος και να μειωθεί η ευπάθεια, έχει σχεδιαστεί το Ζωνικό Σύστημα Ισχύος Σ.Ρ. σε Πλοία ( D.C.Z.S.P.S. ). Σε αντίθεση με το σύστημα ακτινικής τροφοδοσίας Ε.Ρ., το D.C.Z.S.P.S. περιέχει ζυγούς στο αριστερό και στο δεξί μέρος του πλοίου για να τροφοδοτήσει το δίκτυο διανομής Σ.Ρ.



Εικόνα 6: Τυπικές αρχιτεκτονικές ισχύος των συστημάτων διανομής ισχύος με βάση τις ζώνες. α) D.C.Z.E.D.S., β) Κέντρο ζωνικών φορτίων.

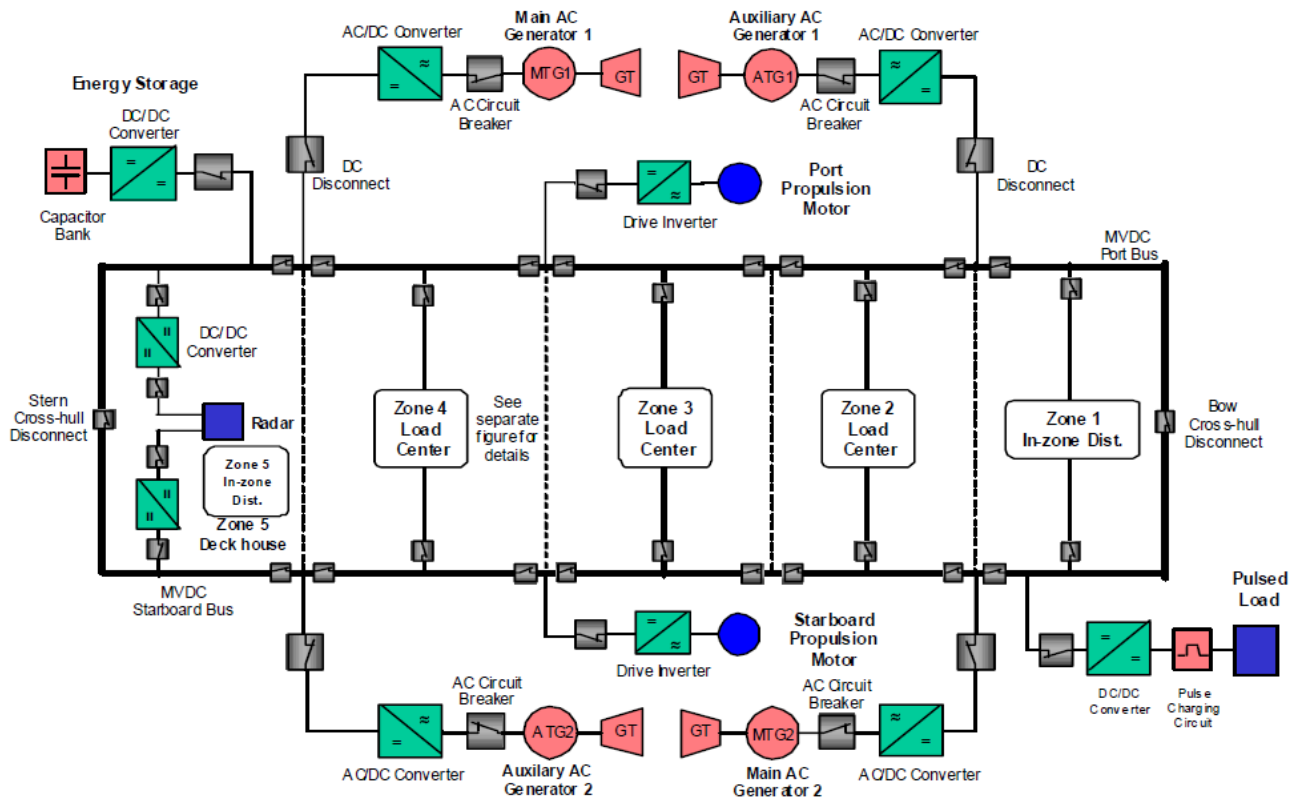


Εικόνα 7: D.C.Z.E.D.S. τύπου δακτυλιδιού.

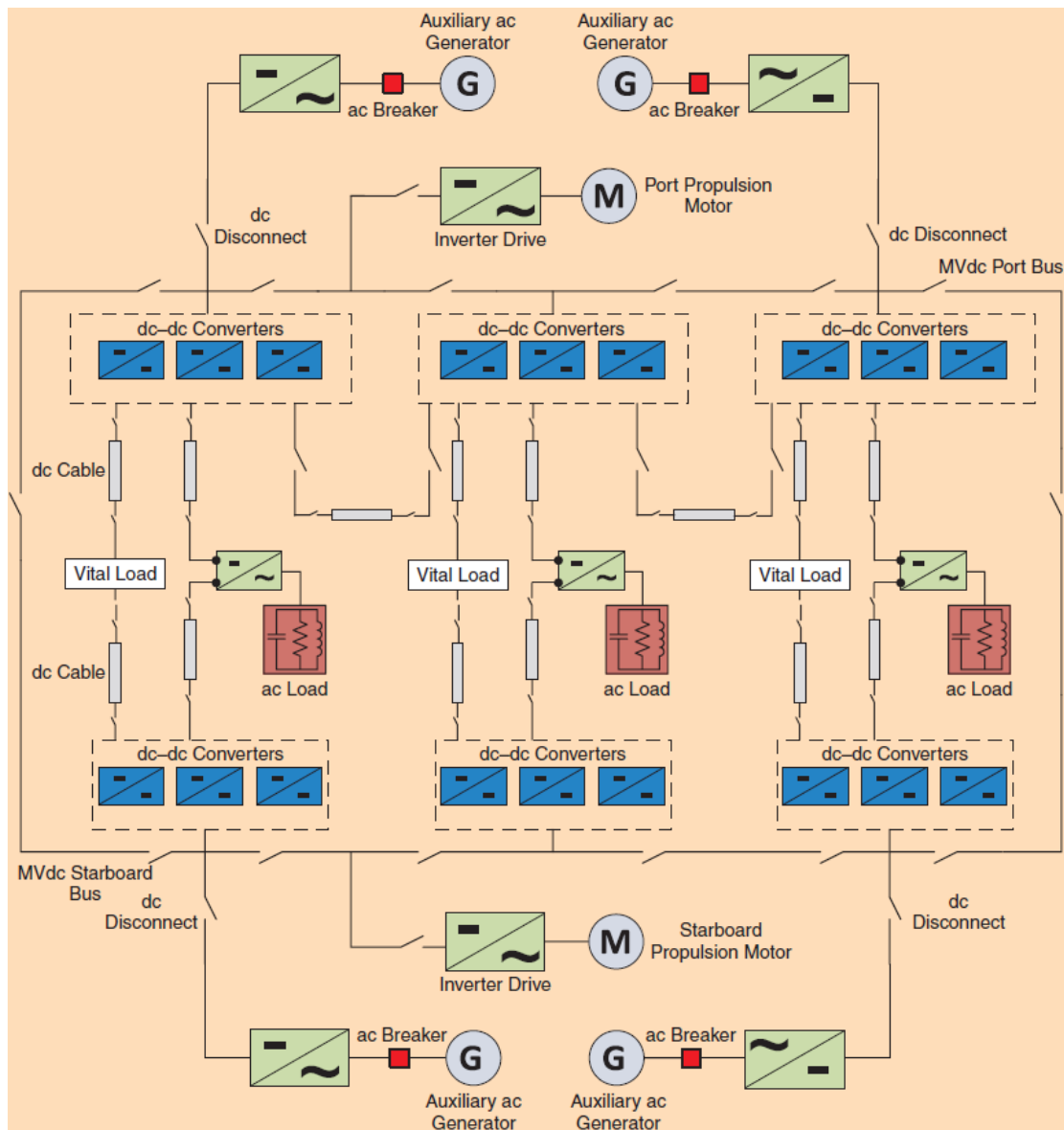


Εικόνα 8: Διπλός ζυγός δακτυλιδιού με D.C.Z.E.D.S.

# Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 9: Παράδειγμα εφαρμογής του ζωνικού συστήματος σε πλοίο [5].



Εικόνα 10: Παράδειγμα εφαρμογής της ζωνικής αρχιτεκτονικής σε πλοίο.

Η παραπάνω εικόνα παρουσιάζει ένα ακόμα παράδειγμα της ζωνικής εφαρμογής σε πλοίο, σύμφωνα με το [20].

Λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές ανάγκες των συστημάτων ισχύος που έχουν τα πλοία, ένα ενσωματωμένο σύστημα ισχύος με βάση το Σ.Ρ. θα μπορούσε να φέρει ένα ευρύ φάσμα πλεονεκτημάτων τόσο στα εμπορικά πλοία όσο και στα πλοία της γραμμής. Στα Ε.Σ.Ι, το μηχανικό σύστημα και το ηλεκτρικό σύστημα συνδυάζονται με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αξιοπιστία κατά τη διάρκεια της κανονικής πορείας του πλοίου. Ένα από τα ενδεχόμενα που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν πιο συχνά στα Ε.Σ.Ι. είναι το ζωνικό σύστημα διανομής Σ.Ρ., το οποίο μπορεί να επιφέρει διάφορα πλεονεκτήματα, όπως η βοήθεια στη προστασία, δεδομένου ότι οι πηγές και τα φορτία είναι κατανομημένα σε διαφορετικές ζώνες και η κάθε μία με δικούς της μετατροπείς. Αυτό το σύστημα ισχύος είναι που εφαρμόζεται στην αρχιτεκτονική ενός πλοίου όπου τόσο τα φορτία υπηρεσιών όσο και το σύστημα πρόωσης ενός πλοίου μπορούν να τροφοδοτηθούν από κοινή ηλεκτρική πηγή. Πλοία της γραμμής και παγοθραυστικά έχουν περάσει σε ηλεκτροκινητήρες.



#### 4.3 Πλεονεκτήματα ηλεκτροκινητήρων έναντι μηχανικών κινητήρων

Από άποψη ναυπηγικής, οι ηλεκτροκινητήρες προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα έναντι των μηχανικών κινητήρων [17].

- Ο αριθμός των κινητήριων μηχανών μειώνεται.
- Η κινητήρια μηχανή δεν είναι απαραίτητο να είναι σε απευθείας σύνδεση με τον άξονα της προπέλας.
- Μέσω κατάλληλης ηλεκτρικής διεπαφής, κάθε κινητήρια μηχανή μπορεί να τροφοδοτήσει οποιοδήποτε κινητήρα πρόωσης.
- Η ταχύτητα της κινητήριας μηχανής είναι ανεξάρτητη από τη ταχύτητα της προπέλας.
- Απεριόριστος μεταβλητός έλεγχος της ταχύτητας βελτιώνει τις μανούβρες και απλοποιεί την αλλαγή της φοράς της προπέλας.
- Μειώνεται ο θόρυβος του πλοίου με αποτέλεσμα να είναι πιο αθόρυβο.

Επιφέρουν επιπλέον πλεονεκτήματα όπως, λιγότερες απαιτήσεις συντήρησης λόγω του μικρότερου αριθμού κινητήριων μηχανών, ο αγωγός τροφοδοσίας και εξάτμισης μπορούν να μικρύνουν και να τοποθετηθούν σε υψηλότερα καταστρώματα, ένας μικρότερος άξονας της προπέλας μειώνει τη πολυπλοκότητα της ευθυγράμμισης του εξοπλισμού σε όλες τις κατασκευαστικές ζώνες του πλοίου, οι ταχύτητες ή οι τουρμπίνες για όπισθεν περιορίζονται οπότε μία προπέλα ελεγχόμενης ευθυγράμμισης γίνεται προαιρετική. Αυτό σημαίνει ότι τόσο το κόστος όσο και το βάρος μειώνονται και ότι η λειτουργία της κινητήριας μηχανής βελτιστοποιείται αυξάνοντας την αποδοτικότητα των καυσίμων και μειώνοντας τις εκπομπές ρύπων.

#### 4.4 Έλεγχος μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

Πολύπλοκες αρχιτεκτονικές ισχύος απαιτούν πολύ πιο περίπλοκες στρατηγικές ελέγχου και συντονισμού, οι οποίες είναι απαραίτητο να ελέγχονται στα πρώτα στάδια.

Οι κύριες κατευθυντήριες οδοί για τον σχεδιασμό και την επιλογή της καταλληλότερης αρχιτεκτονικής πρέπει να είναι η αξιοπιστία, οι απαιτήσεις εφεδρείας και οι απαιτήσεις του κάθε πλοίου.

Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 1709-2018, το σύστημα ισχύος Σ.Ρ. σε πλοία χρειάζεται να πληροί τα ακόλουθα [5].

- Σταθερότητα του συστήματος τροφοδοσίας, δηλαδή η ικανότητα αυτόματης διατήρησης της ισορροπίας σε κανονικές συνθήκες και να επανακτά την κατάσταση ισορροπίας μετά από μία διαταραχή.
- Ποιότητα τροφοδοσίας, δηλαδή η ικανότητα να διατηρεί ή να επαναφέρει τους κοινούς ζυγούς Σ.Ρ. στην ονομαστική τους τάση με αποδεκτή ανοχή τάσης.
- Διαχείριση τροφοδοσίας, δηλαδή η δυνατότητα βελτιστοποίησης της απόδοσης του συστήματος με σκόπιμο προγραμματισμό ή με παρέμβαση, χωρίς να χρειαστεί να αυξηθεί η ζήτηση της τροφοδοσίας.

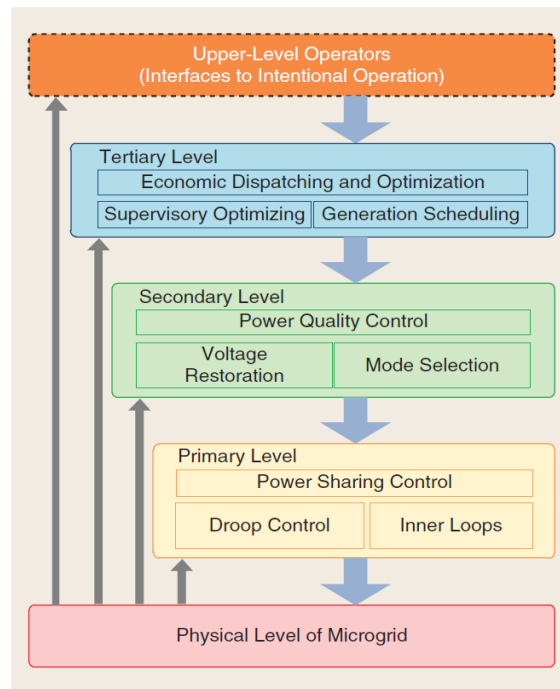
#### 4.5 Ιεραρχικός έλεγχος

Μετά από μια σειρά ερευνών σχετικά με προηγμένους τεχνικούς ελέγχους και ελέγχους συντονισμού για τα μικροδίκτυα Σ.Ρ., πιο αντιπροσωπευτική είναι αυτή του ιεραρχικού ελέγχου. Για μικροδίκτυα Σ.Ρ. μεγάλης κλίμακας, η προτιμότερη επιλογή είναι ο ιεραρχικός έλεγχος διότι προσφέρει αποσύζευξη μεταξύ διαφόρων επιπέδων ελέγχου [3], [7], [8].

Ο ιεραρχικός έλεγχος είναι αναγκαίος, προκειμένου να επιτευχθούν αποτελεσματικά οι διάφορες λειτουργίες ελέγχου. Τα επίπεδα ελέγχου είναι:

- Επίπεδο 0. Πρόκειται για τους εσωτερικούς βρόγχους ελέγχου, είναι δηλαδή ο θεμελιώδης έλεγχος βρόγχων για τη ρύθμιση της εξόδου της τάσης και του ρεύματος, αναλόγως, και βρίσκεται ανάμεσα σε κάθε μετατροπέα ισχύος στο μικροδίκτυο.
- Επίπεδο 1. Πρόκειται για τον πρώτο έλεγχο, τον έλεγχο δηλαδή των μεθόδων για την προσομοίωση των φυσικών συμπεριφορών που κάνει ένα σύστημα σταθερό.
- Επίπεδο 2. Πρόκειται να τον δεύτερο έλεγχο, δηλαδή είναι ο έλεγχος των μεθόδων για να εξασφαλιστεί ότι οι κύριες μεταβλητές του συστήματος είναι μέσα στο όριο των επιθυμητών τιμών.
- Επίπεδο 3. Πρόκειται για τον αρχικό τρίτο έλεγχο και είναι οι μέθοδοι ελέγχου με σκοπό τη διαχείριση και τον έλεγχο της ροής ισχύος ανάμεσα στο ανώτερο δίκτυο και στο μικροδίκτυο.
- Ανώτερα επίπεδα. Πρόκειται να τον εκτεταμένο τρίτο έλεγχο, ο οποίος είναι ο έλεγχος και η λήψη αποφάσεων για την επίτευξη επιπλέον στόχων, [3], [7].

Ο πρωτεύων έλεγχος, εκτελεί τον τοπικό έλεγχο της τάσης εξόδου και του ρεύματος στα σημεία επαφής των ηλεκτρονικών ισχύος, ακολουθώντας τα σημεία ρύθμισης του ανώτερου ελέγχου. Ο δευτερεύων έλεγχος που εμφανίζεται πάνω από τον πρωτεύοντα, ασχολείται με την αποκατάσταση της τάσης και της συχνότητας και με τη διαχείριση της ποιότητας της ισχύος. Επίσης, είναι υπεύθυνος για την ανταλλαγή ισχύος με τα άλλα μικροδίκτυα του ίδιου συστήματος. Ο τρίτος έλεγχος, ασχολείται συμβατικά με τον τομέα της διαχείρισης της ανταλλαγής ισχύος μεταξύ των μικροδικτύων και των ανώτερων επιπέδων του δικτύου. Αυτό το επίπεδο ελέγχου υπάρχει ούτως ώστε να εισάγονται πληροφορίες στο μικροδίκτυο και να βελτιστοποιείται η λειτουργία του μικροδικτύου αναλόγως με τα ενδιαφέροντα, δηλαδή να είναι αποδοτικό και οικονομικό. Στη συνέχεια, ακολουθεί ένα γράφημα που δείχνει τα επίπεδα ελέγχου ενός μικροδικτύου.

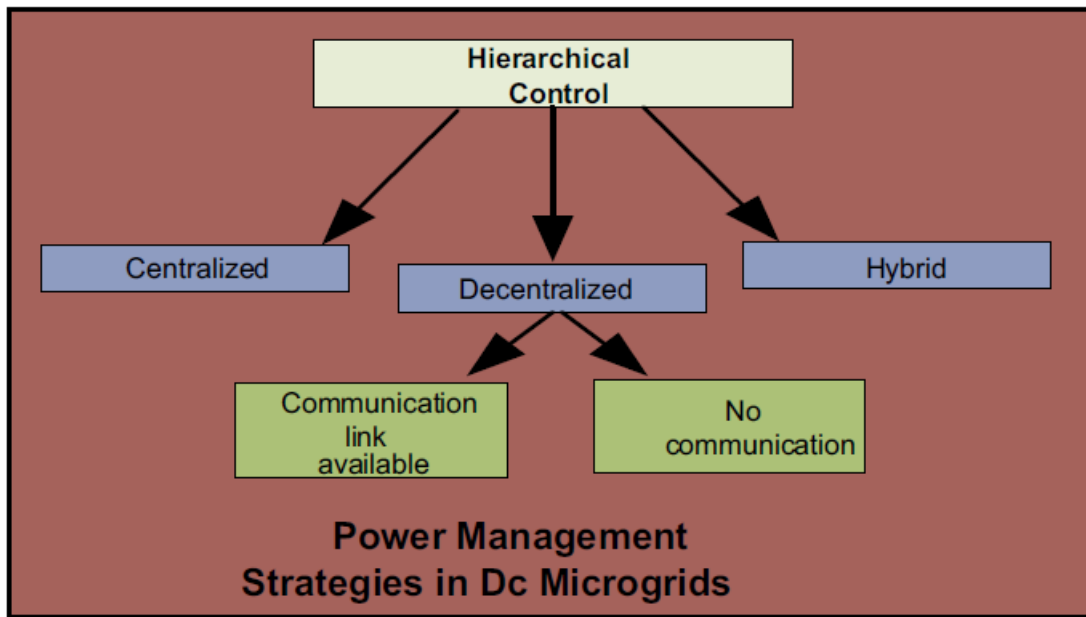


Εικόνα 11: Συνοπτική απεικόνιση των επιπέδων ελέγχου.

Για μικροδίκτυα Σ.Ρ. μεγάλης κλίμακας, ο ιεραρχικός έλεγχος είναι συχνά μια επιλογή που προτιμάται δεδομένου ότι προσφέρει τη δυνατότητα να αποσυνδέονται μεταξύ τους τα διαφορετικά επίπεδα ελέγχου [3]. Ωστόσο, ο ιεραρχικός έλεγχος επιτυγχάνεται με ταυτόχρονη χρήση του τοπικού ελέγχου των ηλεκτρονικών διεπαφών ισχύος και του συντονισμένου ελέγχου όλων αυτών των στοιχείων. Τα επίπεδα δευτερογενούς και τριτογενούς ελέγχου βασίζονται στη συνεργασία μερικών ή όλων των τοπικών ελεγκτών. Για το λόγο αυτό, ο συντονισμός στο μικροδίκτυο θα επηρεάσει τη σταθερότητα, την αξιοπιστία και την απόδοση του συστήματος.

#### 4.6 Τρόποι επικοινωνίας

Σύμφωνα με τους διαφορετικούς τρόπους επικοινωνίας τους, οι μέθοδοι συντονισμού θα μπορούσαν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: κεντρική, αποκεντρωμένη και καταναμημένη ή αλλιώς υβριδική, [3], [7], [8]. Στο παρακάτω σχήμα γίνονται κατανοητές οι στρατηγικές κατανομής της διαχείρισης ισχύος.



Εικόνα 12: Απεικόνιση τρόπων επικοινωνίας.

### 1. Κεντρική

Ο κεντρικός έλεγχος συντονισμού μπορεί να υλοποιηθεί σε μικροδίκτυα Σ.Ρ. με τη χρήση ενός κεντρικού ελεγκτή και ενός δικτύου επικοινωνίας όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Σε μικροδίκτυα Σ.Ρ. μικρής κλίμακας, κάθε μονάδα μπορεί να ρυθμιστεί απευθείας από τον κεντρικό ελεγκτή μέσω επικοινωνίας υψηλού ζωνικού εύρους χρησιμοποιώντας μέθοδο master/slave. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο κεντρικός έλεγχος παρέχει την καλύτερη βάση για τις προηγμένες λειτουργίες ελέγχου καθώς και τη βελτιστοποίηση σε επίπεδο συστήματος καθώς όλα τα σχετικά δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν και να υποβληθούν σε επεξεργασία μέσα σε έναν ενιαίο ελεγκτή.

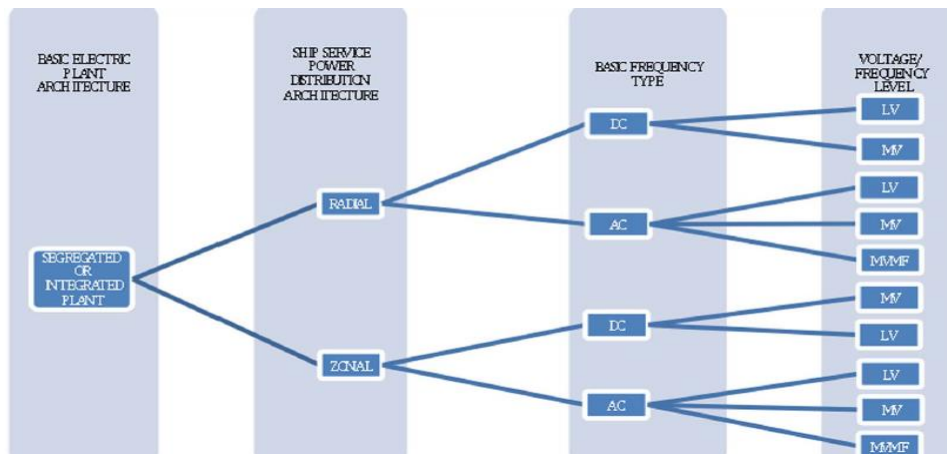
### 2. Αποκεντρωμένη

Ο αποκεντρωμένος έλεγχος συντονισμού επιτυγχάνεται αποκλειστικά από τους τοπικούς ελεγκτές, όπως φαίνεται στο πιο πάνω σχήμα. Το προφανές πλεονέκτημα του αποκεντρωμένου συντονισμού είναι η ανεξαρτησία του από την επικοινωνία με τον κεντρικό ελεγκτή, έτσι ώστε αυτή η αρχιτεκτονική να προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και αποφυγή σφαλμάτων. Σε πρόσφατες μελέτες, ο αποκεντρωμένος συντονισμός μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους, όπως η μέθοδος σήματος ζυγού Σ.Ρ. και γραμμής ισχύος.

### 3. Υβριδική

Σε σύγκριση με τον κεντρικό έλεγχο συντονισμού και τον έλεγχο επικεντρωμένου συντονισμού, ο διανεμημένος συντονισμός προτείνεται ως συμβιβασμός, όπου δεν υπάρχει κεντρικός ελεγκτής, αλλά οι τοπικοί ελεγκτές είναι σε θέση να επικοινωνούν μεταξύ τους. Η πιο σημαντική μέθοδος διανεμημένου συντονισμού είναι το σύστημα πολλαπλών παραγόντων – multi-agent system – στο οποίο κάθε τοπικός ελεγκτής μπορεί να θεωρηθεί ως “ευφυής” παράγοντας και όλοι οι παράγοντες μαζί συνθέτουν το σύστημα πολλαπλών παραγόντων. Με την εφαρμογή αλγορίθμων, θα μπορούσε να επιτευχθεί τέτοια ευαισθητοποίηση της πληροφόρησης, συγκρίσιμη με εκείνη του κεντρικού ελέγχου και να προσφέρει τη δυνατότητα εφαρμογής ευρύτερων λειτουργιών από ότι ο αποκεντρωμένος έλεγχος. Εν τω μεταξύ, η αξιοπιστία του είναι ισάξια με αυτή του αποκεντρωμένου ελέγχου.

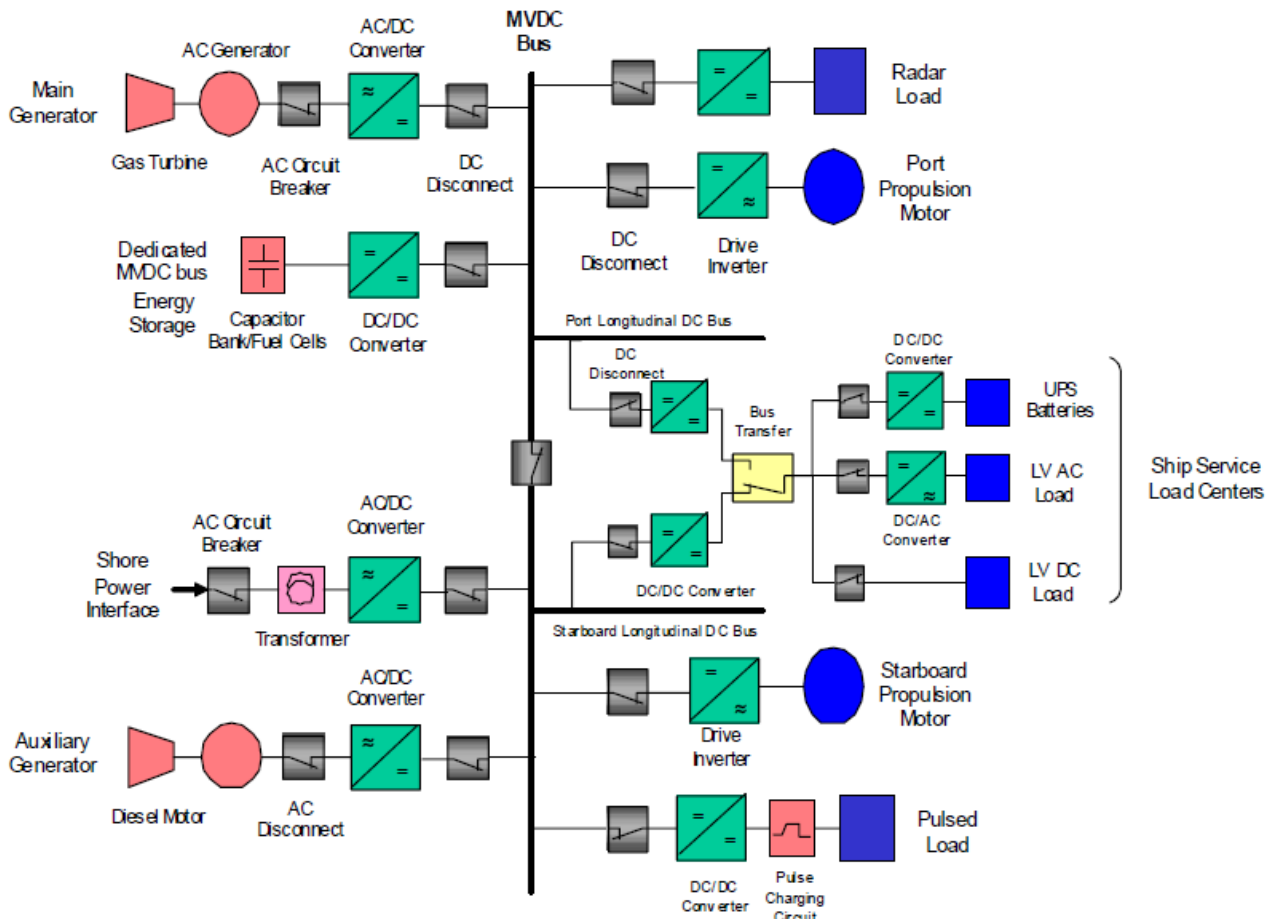
#### 4.7 Διαδρομές από τις πηγές στα φορτία με δύο τρόπους



Εικόνα 13: Αρχιτεκτονική ηλεκτρικής ταξινόμησης.

Το παραπάνω σχήμα, αναφέρεται στις διαδρομές από την πηγή έως το φορτίο. Οι ζωνικές τεχνικές αρχιτεκτονικής βρίσκονται συνήθως μόνο στα πολεμικά πλοία, όπου οι απαιτήσεις επιβίωσης του συστήματος, υποχρεώνουν την προσθήκη πλεονασμού στην παροχή ισχύος των κρίσιμων φορτίων. Τα εμπορικά πλοία υποχρεούνται, από τις διάφορες εταιρείες ταξινόμησης και το Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), να πληρούν τους κανόνες της Διεθνούς Σύμβασης για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα και να παρέχουν εφεδρεία σε ορισμένα κρίσιμα φορτία για λόγους αξιοπιστίας. Συνήθως, τα εμπορικά πλοία υιοθετούν μια ακτινική διάταξη δύο ζυγών, συνδεδεμένα μεταξύ τους με δεσμό μονού ζυγού, όμως, η λειτουργία γίνεται με ζωνική αρχιτεκτονική [21].

Μία επιπλέον εικόνα που παρουσιάζει την εφαρμογή της ακτινικής διάταξης σε πλοίο είναι η ακόλουθη, σύμφωνα με το [5]:



Εικόνα 14: Παράδειγμα εφαρμογής ακτινικής διάταξης σε πλοίο.

## 5. Κατανεμημένα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας στα πλοία

### 5.1 Γενικά

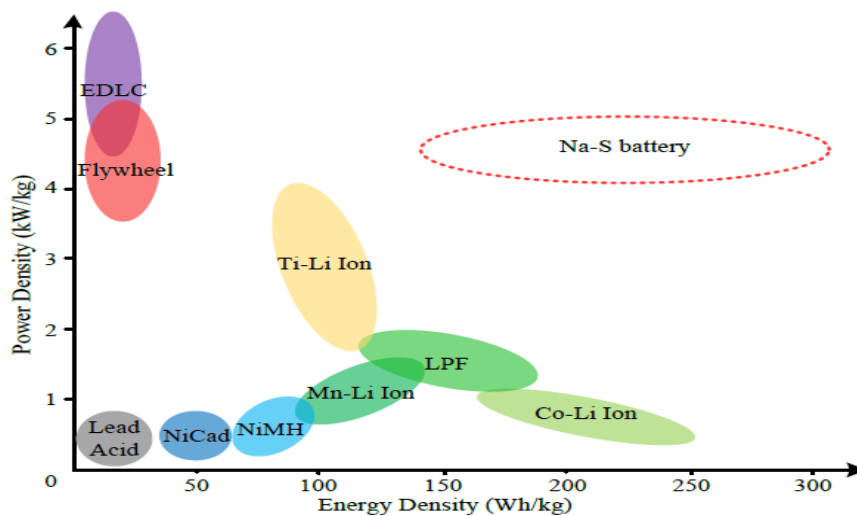
Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας Σ.Α.Ε. ( E.S.S. ), χρειάζονται απαραίτητως προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία, η ασφάλεια, η σταθερότητα και η επιθυμητή ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά σε περίπτωση αυτόνομης λειτουργίας [22]. Η σημασία των E.S.S's στα μικροδίκτυα, ιδίως στις περιπτώσεις ανεξάρτητης λειτουργίας, αυξάνεται βαθμιαία λόγω της δυνατότητας να εισαγάγει μια σειρά από οφέλη, όπως το να μπορούν να ελεγχθούν απευθείας ως μία κύρια μονάδα του μικροδικτύου, με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται η αδιάλειπτη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος. Επίσης, ο κύκλος φόρτισης – εκφόρτισης των E.S.S's μπορεί να προγραμματιστεί σύμφωνα με τη πρόβλεψη της κατανάλωσης και τη πρόβλεψη του καιρού.

### 5.2 E.S.S's στα πλοία

Σε περίπτωση εφαρμογών σε πλοία, τα E.S.S's διαδραματίζουν βασικό ρόλο στο IPS των

ηλεκτροκίνητων πλοίων νέας γενιάς. Όσον αφορά στον εμπορικό τομέα, η οικονομία καυσίμου είναι η κύρια ανησυχία. Η παρουσία των E.S.S's μπορεί να εισάγει στο σύστημα την αμφίδρομη ελεγχόμενη ροή ισχύος για να επιτευχθεί η ρύθμιση του φορτίου με σημαντικά πλεονεκτήματα [23]. Ένα τέτοιο γεγονός καθιστά δυνατή την τροποποίηση της απόδοσης του καυσίμου με τη βοήθεια των ενσωματωμένων E.S.S. Επίσης, σύμφωνα με το [24], καθίσταται δυνατή η χρησιμοποίηση μεγάλων πακέτων μπαταριών, οι οποίες θα είναι συνδεδεμένες με τον ζυγό Σ.Ρ. Αυτά τα πακέτα μπαταριών μπορούν να συνδεθούν είτε απευθείας με τον ζυγό Σ.Ρ., είτε μέσω ενός μετατροπέα ισχύος Σ.Ρ. / Σ.Ρ. στον ζυγό.

Τα συστήματα που βασίζονται στις μπαταρίες επιφέρουν σημαντική εξοικονόμηση καυσίμων της τάξης περίπου του 15% - 20% μαζί με μεγάλες μειώσεις εκπομπών CO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> [3]. Μια σύγκριση της στιγμιαίας πυκνότητας ισχύος και της πυκνότητας ενέργειας παρουσιάζονται στην εικόνα 15.



Εικόνα 15: Πυκνότητα ισχύος και πυκνότητα ενέργειας διαφόρων E.S.S.

### 5.3 Μπαταρίες, πυκνωτές διπλής στρώσης και flywheels

Μπαταρίες, ειδικά μπαταρίες ιόντων λιθίου, αποτελούν ήδη διαθέσιμη επιλογή για ηλεκτρικά οχήματα και υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα. Οι ηλεκτρικοί πυκνωτές διπλής στρώσης ή, ανεπίσημα, υπερπυκνωτές, έχουν εφαρμοστεί για μέγιστη εξοικονόμηση ισχύος. Τα λεγόμενα “flywheels” έχουν βρει εφαρμογή στη βελτίωση της Χ.Τ. στα αιολικά πάρκα.

Στις μέρες μας, για εφαρμογές σε πλοία, οι πιο ελπιδοφόρες και επικρατέστερες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας είναι η μπαταρία, οι ηλεκτρικοί πυκνωτές διπλής στρώσης και τα λεγόμενα “flywheels”. Με τον διπλό έλεγχο των E.S.S's και των γεννητριών, μπορούν να επιτευχθούν ταυτόχρονα, υπό τις σύνθετες συνθήκες φορτίου, η χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου και / ή η ελάχιστη εκπομπή ρύπων, καθώς και η ανάγκη εξυπηρέτησης εξαιρετικά απαιτητικών φορτίων και απαιτήσεων παλμικής ενέργειας.

## 6. Προστασία ενός μικροδικτύου Σ.Ρ.

### 6.1 Προστασία των μικροδικτύων σε πλοία

Στα συστήματα ισχύος των πλοίων εφαρμόζονται συστήματα διανομής πολλαπλών φορτίων Σ.Ρ. Ο λόγος εφαρμογής τους οφείλεται στην ανάγκη για τον σχεδιασμό διανομής εφεδρικής τροφοδοσίας ισχύος και την αυτοματοποίηση του συστήματος ισχύος.

Ειδικότερα, για την προστασία του μικροδικτύου λαμβάνονται υπόψη τρία θέματα: Α) σχεδιασμός συστήματος προστασίας, Β) συσκευές προστασίας και Γ) γείωση και απομόνωση λάθους που θα προκύψει στη γείωση [2].

### 6.2 Σχέδιο Προστασίας Συστήματος

Η αξιόπιστη εφαρμογή των μικροδικτύων εξαρτάται από δύο σημαντικούς παράγοντες: όμοιος τω ομοίω ( peer to peer ) και άμεση λειτουργία ( plug and play ) για κάθε εξάρτημα του μικροδικτύου. Όμοιος τω ομοίω ( peer to peer ) σημαίνει ότι τα λανθασμένα εξαρτήματα βρίσκονται και απομονώνονται δίχως την επέμβαση του κεντρικού ελέγχου ή επικοινωνίας μεταξύ των τμημάτων. Άμεση λειτουργία ( plug and play ) σημαίνει ότι τα εξαρτήματα είναι τοποθετημένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε η τυχόν απομάκρυνση τους δεν επηρεάζει την συμπεριφορά των άλλων εξαρτημάτων [1].

Η βιβλιογραφία που υπάρχει στο θέμα των μικροδικτύων αποκαλύπτει τα πιο κάτω βασικά προαπαιτούμενα προκειμένου να έχουμε ασφαλές, αξιόπιστο και εύρυθμη λειτουργίας μικροδίκτυο Σ.Ρ. [1] :

1. Κανένα σημείο αποτυχίας.
2. Υπερτροφοδοτημένες ηλεκτρικές ζώνες ή ζυγοί που μπορούν γρήγορα να διαχωριστούν από το κεντρικό ηλεκτρικό σύστημα.
3. Ικανότητα γρήγορης επαναρύθμισης του συστήματος, απομόνωσης του συστήματος και ανακατεύθυνση του ρεύματος μακριά από τυχόν λάθος, και ελαχιστοποίηση της περίπτωσης διακοπής του ρεύματος στις περιοχές του συστήματος στις οποίες δεν έχει προκύψει κάποιο λάθος.
4. Ικανότητα προσδιορισμού και απομόνωσης του λάθους χωρίς την ανάγκη διεπικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων εξαρτημάτων
5. Ικανότητα ανάκτησης από κατάσταση λάθους σε αξιόπιστη ρύθμιση των παραμέτρων και αξιόπιστη κατάσταση λειτουργίας.
6. Προτεραιότητα φορτίου μεταξύ ασθενούς και μη ασθενούς.
7. Ελαχιστοποίηση του αντίκτυπου που μπορεί να έχει ένα λάθος φορτίο σε άλλα φορτία.
8. Εφεδρικές τροφοδοσίες σε ασθενή φορτία.



Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

9. Ικανότητα γρήγορης απομάκρυνσης μη ασθενών φορτίων.
10. Κεντρικός έλεγχος διαχείρισης φορτίου και ροής ρεύματος.
11. Δυνατότητα μεταβατικής λειτουργίας σε καταστάσεις απώλειας ισχύος, όπως απώλεια ψύξης και απώλεια διαχείρισης της ροής ισχύος.
12. Συντήρηση βασισμένη ανά περίπτωση.

### 6.3 Συσκευές προστασίας

Γενικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος που περιέχουν προστατευτικές λειτουργίες. Άλλες προστατευτικές διατάξεις που διατίθενται στο εμπόριο για ένα σύστημα μικροδικτύου Σ.Ρ. είναι ασφάλειες και διακόπτες, συμπεριλαμβανομένων των κυκλωμάτων διακοπής τύπου molded-case circuit breakers και των isolated-case circuit breakers. Λόγω του μικροδικτύου Σ.Ρ. που δεν έχει μια φυσική κατάσταση μηδενικού ρεύματος, οι συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για το μικροδίκτυο αυτό, πρέπει να είναι σε θέση να σβήσουν το τόξο γρήγορα και με ασφάλεια [25]. Υπάρχουν μέθοδοι που, για την προστασία συστημάτων Σ.Ρ., χρησιμοποιούν ασφάλειες και διακόπτες τα οποία, ξεκινούν τη ροή του ρεύματος με ένα τόξο. Οι συσκευές είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε το μήκος του τόξου να αυξάνει έως ότου λιώσει το μέταλλο ή ανοίξουν οι επαφές, ώσπου το ρεύμα μηδενιστεί και το τόξο εξαφανιστεί, ενώ αυξάνει το τόξο τάσης.

- Ασφάλειες [4], [25]

Η εφαρμογή της ασφάλειας στα συστήματα Σ.Ρ. υπάρχει κατά κύριο λόγο σε περιοχές προστασίας της μπαταρίας, επικουρικές πηγές ενέργειας χαμηλής τάσης, προστασίας ηλεκτρικού κυκλώματος και για τάσεις έως 4200V.

- Διακόπτες ( Circuit Breakers C.B. ) [4], [25]

Ένα συμβατό σύστημα διανομής το οποίο χρησιμοποιεί ειδικά διαμορφωμένους διακόπτες για προστασία, ενδείκνυται για ένα μικροδίκτυο 325 V D.C. Το εγγενές τόξο διακοπής τάσης, το οποίο προέρχεται από διακόπτες E.P., μπορεί να αξιοποιηθεί σε συστήματα Σ.Ρ. για τη διακοπή του ρεύματος, ενώνοντας επαφές σε σειρά έως ότου επιτευχθεί ένα ικανό μπλοκάρισμα της τάσης.

- Μετατροπή Σ.Ρ. σε Σ.Ρ.

Οι μετατροπείς είναι δυνατόν να εισάγονται μεταξύ του μικροδικτύου και του φορτίου ή μεταξύ ομάδων φορτίων προκειμένου να παράξουν μεταβαλλόμενα επίπεδα τάσης ή να παράσχουν υψηλή συχνότητα απομόνωσης. Η αποφόρτιση της χωρητικότητας σε σχέδια προστασίας με τη χρήση διακοπών έχει ταυτοποιηθεί μόνο για εφαρμογές μικροδικτύων Σ.Ρ. στα πλοία.

- Διακόπτες χωρίς φορτίο ( No load switches ) [25]

Τα DCZEDS πλοίων, χρησιμοποιούν μία εναλλακτική προσέγγιση σε περίπτωση βίαιης διακοπής του ρεύματος μέσω ενός ηλεκτρομηχανικού διακόπτη. Χρησιμοποιούνται ταχείς διακόπτες, άνευ φορτίου, προκειμένου να απομονώσουν τμήματα ή ζώνες του συστήματος. Μετατροπείς ισχύος που τροφοδοτούν το σύστημα αδρανοποιούν τους ζυγούς στους οποίους ανιχνεύεται κάποιο λάθος,

Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

απομονώνουν το λάθος με τους διακόπτες άνευ φορτίου και κατόπιν επανενεργοποιούν το εναπομένον υγιές σύστημα. Η προσέγγιση είναι αρκετά αργή λόγω του χρόνου που απαιτείται για να αδρανοποιηθούν και να επανενεργοποιηθούν οι δίαυλοι.

- Συμπαγείς διακόπτες ( Solid state switches )

Ένας εξ' ολοκλήρου συμπαγής διακόπτης σε αντιστοιχία με ένα διακόπτη έχει το πλεονέκτημα ότι είναι ικανός να διακόψει το ρεύμα σε χρόνο msec. Σε εφαρμογές που αφορούν τα πλοία αποδείχτηκε ως μία σημαντική ώθηση για την εξέλιξη των συμπαγών διακοπών ρεύματος.

- Ηλεκτρονόμος προστασίας [4]

Σε κάποιες περιπτώσεις, όταν παρουσιάζεται ένα σφάλμα με υψηλή αντίσταση, οι ηλεκτρονόμοι προστασίας χρειάζονται στο να υπολογίσουν τον χρόνο και τη βηματική μεταβολή του ρεύματος ούτως ώστε να καθοριστεί αν θα ενεργήσουν οι διακόπτες ή όχι.

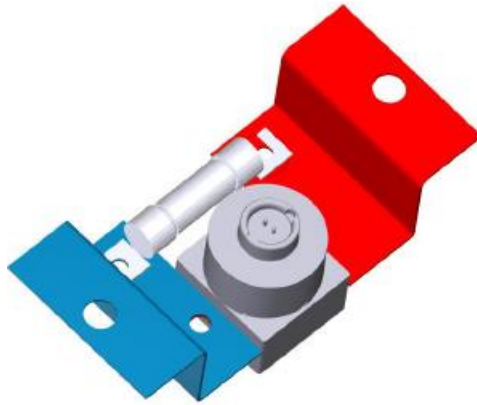
### 6.3.1 Ηλεκτρονικοί διακόπτες

Σχετικά με τους ηλεκτρονικούς C.B., όταν το ρεύμα φτάσει την οριακή τιμή, το μέγιστο ρεύμα του ηλεκτρονόμου στέλνει την εντολή να ανοίξει ο ηλεκτρονικός διακόπτης, κάτι το οποίο γίνεται σε πολύ σύντομο χρόνο προστατεύοντας έτσι όλα τα κυκλώματα και τις συσκευές [26].

### 6.3.2 Πυροδιακόπτες και πυρασφάλειες

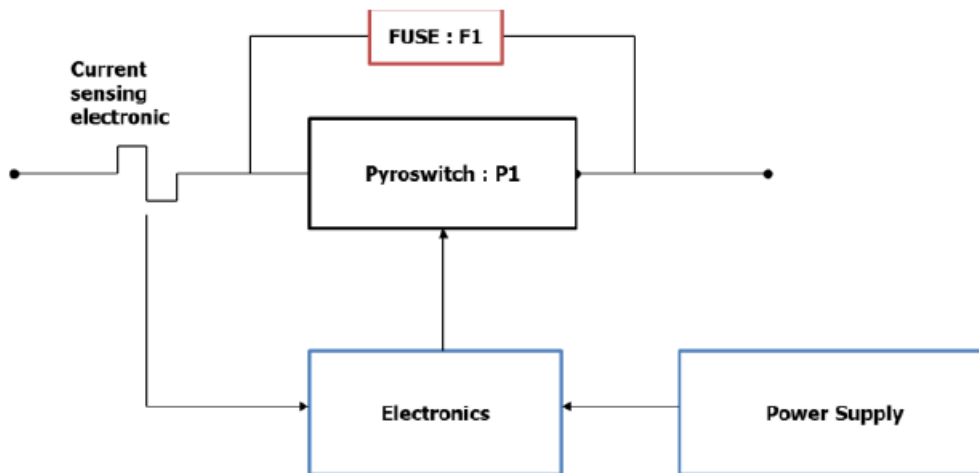
Σύμφωνα με το [27], έχουν κάνει την εμφάνισή τους οι λεγόμενοι πυροδιακόπτες με σκοπό την αποτελεσματικότερη προστασία του μικροδικτύου Σ.Ρ. Αυτό, έγινε λόγω του ότι τα μηχανικά C.B. είναι πολύ αργά για να ανοίξουν σε δίκτυα με μεγάλο σφάλμα ρεύματος και οι ασφάλειες είναι πολύ αργές για να ανοίξουν σε περίπτωση πολύ χαμηλού σφάλματος ρεύματος. Επίσης, σε εφαρμογές E.P. η ύπαρξη φυσικού περάσματος από το μηδέν βοηθάει στην επιδιόρθωση των σφαλμάτων ρεύματος. Ενώ σε εφαρμογές Σ.Ρ. αυτό το σημείο δεν υπάρχει και έτσι η επιδιόρθωση των σφαλμάτων με συμβατικές τεχνολογίες είναι δύσκολη.

Το [27], προτείνει και μία άλλη λύση, την πυρασφάλεια που χαρακτηρίζεται ως υβριδική. Αποτελείται από έναν πυροδιακόπτη και μια ασφάλεια συνδεδεμένα παράλληλα. Στη παρακάτω εικόνα, απεικονίζεται ο πυροδιακόπτης με το γκρι χρώμα και η ασφάλεια με το άσπρο χρώμα. Το γεγονός ότι είναι παράλληλα διαμορφωμένη αυτή η κατασκευή δείχνει πως ο σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει τα καλύτερα υλικά του κάθε τύπου.



Εικόνα 17: Νέα λύση υβριδικής προστασίας με πυροδιακόπτη και ασφάλεια συνδεδεμένα παράλληλα.

Η ασφάλεια και ο πυροδιακόπτης αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα ηλεκτρικά σχήματα της πυρασφάλειας. Στην εικόνα αυτή λοιπόν παρουσιάζεται με F1 η ασφάλεια, με P1 ο πυροδιακόπτης και το ηλεκτρονικό σύστημα ενεργοποίησης. Κατά τη διάρκεια της ζωής του, ολόκληρη η συσκευή είναι κλειστή και το ονομαστικό ρεύμα ρέει. Η αντίσταση του P1, που είναι μία ράβδος χαλκού, είναι χαμηλότερη από την αντίσταση της F1. Για παράδειγμα, με έναν πυροδιακόπτη 400A, η αντίσταση στην κατάσταση λειτουργίας είναι περίπου 200μΩ και η αντίσταση μιας ασφάλειας είναι περίπου 1-2mΩ. Όταν το ρεύμα αυξάνει ασυνήθιστα εξαιτίας μιας βλάβης στην εφαρμογή Σ.Ρ., ένας αισθητήρας ανιχνεύει το ρεύμα σφάλματος και στέλνει το σήμα ενεργοποίησης στο P1 χάρη σε μια πλακέτα ελέγχου.



Εικόνα 18: Ηλεκτρικά σχήματα της πυρασφάλειας.

Τα συστήματα πυροδιακοπών, υποφέρουν από τον κίνδυνο επιβλαβών τόξων όταν κόβουν ένα φορτίο υψηλής τάσης. Αλλά σε αυτή την περίπτωση, μια ασφάλεια F1 βρίσκεται συνδεδεμένη παράλληλα και είναι ακόμα κλειστή. Έτσι, η P1 κόβει τη χάλκινη ράβδο χωρίς την ύπαρξη κάποιας τάση και το ρεύμα σφάλματος ρέει μέσω του F1. Καθώς η ασφάλεια αυτή υποτιμάται, ανοίγει το κύκλωμα με πολύ μικρό χρόνο διακοπής, μικρότερο από 300μs. Αυτή η νέα προστασία καθιστά δυνατή τη διακοπή της υψηλής τάσης, μέχρι 1500V, και του υψηλού ρεύματος 400-800A.

## 6.4 Γείωση και απομόνωση λάθους από γραμμή προς τη γη

Η τελευταία περιοχή στην προστασία του μικροδικτύου είναι η γείωση και η απομόνωση λάθους από μία γραμμή προς τη γη. Ο ακριβής εντοπισμός βλάβης σε γείωση θα είναι απαραίτητο στοιχείο για την προστασία του μικροδικτύου Σ.Ρ. Ενώ πολλές εφαρμογές με λάθος γείωση μπορούν να λειτουργούν ασταμάτητα, το γεγονός ενός δεύτερου λάθους γείωσης θα μπορούσε να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες συνέπειες. Έτσι λοιπόν πρέπει να υπάρχει ιδιαίτερη προσοχή στο σύστημα γείωσης [1].

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι γείωσης σε ένα σύστημα ισχύος. Ένα μικροδίκτυο Σ.Ρ. μπορεί να είναι μη γειωμένο, γειωμένο με υψηλή αντίσταση ή γειωμένο με χαμηλή αντίσταση. Υπάρχουν δύο τύποι γείωσης, ο TN-S και ο IT [25].

### 6.4.1 Σύστημα γείωσης TN-S

Στο σύστημα γείωσης TN-S ενός μικροδικτύου Σ.Ρ., το μεσαίο σημείο του μετατροπέα και της μπαταρίας είναι συνδεδεμένο στη γη (T) και οι μεταλλικές επιφάνειες του εξοπλισμού συνδέονται στον ουδέτερο και στο προστατευτικό γείωσης (N). Το καλώδιο του ουδέτερου και το προστατευτικό καλώδιο είναι ξεχωριστά και συνδέονται στη πλευρά της γείωσης (S). Όταν προκύψει ένα σφάλμα γείωσης, ένα μεγάλο ρεύμα και μία μεγάλη μεταβατική τάση εντοπίζονται εύκολα με αποτέλεσμα τη γρήγορη αντιμετώπιση του σφάλματος. Έτσι, αυτό το σύστημα γείωσης μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα στα μικροδίκτυα Σ.Ρ. και ειδικά σε εφαρμογές που αφορούν σπίτια, εμπορικά καταστήματα και εργοστάσια.

### 6.4.2 Σύστημα γείωσης IT

Στο σύστημα γείωσης IT ενός μικροδικτύου Σ.Ρ., ο ουδέτερος του μετατροπέα και η μπαταρία είναι μη γειωμένα ή γειωμένα με υψηλή αντίσταση (I) και οι μεταλλικές επιφάνειες του εξοπλισμού είναι συνδεδεμένες με τη γη ανεξάρτητα από τον ουδέτερο (T). Ως αποτέλεσμα, υπάρχει ένα μικρό ρεύμα σφάλματος γείωσης και προσωρινή τάση. Από τη μία πλευρά, το μικρό ρεύμα σφάλματος προκαλεί δυσκολία για την ανίχνευση της βλάβης. Από την άλλη πλευρά, το μικρό ρεύμα σφάλματος και η προσωρινή τάση δεν θα κάνουν σοβαρές ζημιές στο σύστημα. Εάν προκύψει ένα σφάλμα γείωσης, το σύστημα μπορεί να εξακολουθήσει να λειτουργεί σταθερά για μια λογική χρονική περίοδο. Τέλος, αυξάνοντας την αντίσταση σε κάθε φορτίο, μπορεί να περιορίσει τη προσωρινή τάση αλλά θα οδηγήσει σε υψηλότερες απώλειες.

Για παράδειγμα, στα πλοία υπάρχουν πολύ υψηλές αντιστάσεις Σ.Ρ. και Ε.Ρ. ανάμεσα από οποιεσδήποτε γραμμές και γειώσεις, έτσι, ώστε, εάν συμβεί οπουδήποτε κάποιο λάθος στη γείωση, τότε να συνεχίζεται η συνεχής παροχή υπηρεσιών στα σημαντικά φορτία.

## 6.5 Υπάρχοντα συστήματα προστασίας ενός μικροδικτύου και τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν

Σύμφωνα με το [28], η πλειοψηφία των συστημάτων διανομής ενέργειας, λειτουργούν σε ακτινική μορφή, που σημαίνει ότι είναι συνδεδεμένα ακτινικά. Άλλα συστήματα, μπορεί να έχουν τροφοδότες κλεισίματος βρόχου ( Loop Closing Feeders ), αλλά οι κανονικά ανοιχτοί διακόπτες διατηρούν τους βρόχους ανοικτούς και κλείνουν μόνο όταν ανοίξουν άλλα τμήματα των βρόχων λόγω σφαλμάτων. Επίσης, η ροή ισχύος εντός των μικροδικτύων μπορεί να είναι αμφίδρομη λόγω των συνδέσεων των γεννητριών διανομής σε διαφορετικές θέσεις. Συνεπώς, οι συμβατικές προστατευτικές διατάξεις θα ήταν αποτελεσματικές στην προστασία των μικροδικτύων. Επιπροσθέτως, μια άλλη δυσκολία σχετίζεται με τη χαμηλή χωρητικότητα ρεύματος σφάλματος των μονάδων αντιστροφής εντός του μικροδικτύου. Η χωρητικότητα είναι κανονικά μικρότερη από το 50% του ονομαστικού ρεύματος, εκτός από τις περιπτώσεις όπου είναι ειδικά σχεδιασμένες για να παρέχουν υψηλό ρεύμα σφάλματος. Η μετάβαση από τη σύνδεση με το δίκτυο σε αυτόνομη λειτουργία, θα έχει ως αποτέλεσμα μια σημαντική μείωση του επιπέδου σφάλματος στο μικροδίκτυο, εάν ένας σημαντικός αριθμός πηγών διαθέτει διεπαφές αντιστροφής ισχύος. Θα επηρεαστεί επίσης η ευαισθησία και η λειτουργία των ηλεκτρονόμων υπερεύματος στο σύστημα, τα οποία λειτουργούν όταν το ρεύμα αυξηθεί πέρα από την καθορισμένη τιμή λειτουργίας του ηλεκτρονόμου. Για την προστασία των μικροδικτύων, τόσο κατά τη σύνδεση με το δίκτυο όσο και κατά την αυτόνομη λειτουργία, θα πρέπει να αναπτυχθούν ορισμένες εναλλακτικές στρατηγικές, επειδή οι συμβατικές προστατευτικές διατάξεις δεν θα είναι πλέον επαρκείς.

Η φιλοσοφία γύρω από τη λειτουργία ενός μικροδικτύου, είναι ότι κάτω από κανονικές συνθήκες, θα λειτουργούσε συνδεδεμένο με το δίκτυο. Ωστόσο, θα αποσυνδέεται από το δίκτυο στο Σημείο Κοινής Σύζευξης Σ.Κ.Σ. ( P.C.C. ) και θα συνεχίσει να λειτουργεί ως αυτόνομο, στη περίπτωση ύπαρξης κάποιας διαταραχής στο δίκτυο. Ένα κατάλληλο σχέδιο για την προστασία του μικροδικτύου, θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκριθεί τόσο στα σφάλματα του δικτύου όσο και στα σφάλματα στο μικροδίκτυο. Τα σχέδια προστασίας σύμφωνα με το [28], είναι:

- Η προσαρμοστική προστασία

Το πρόγραμμα προσαρμοστικής προστασίας θα μπορούσε να λύσει τα προβλήματα που προκύπτουν και από τους δύο τρόπους σύνδεσης, όταν βρίσκεται το πλοίο σε σύνδεση με το δίκτυο, στις περιπτώσεις που είναι σε λιμάνι αλλά και όταν είναι σε αυτόνομη λειτουργία. Σε αυτό το σχήμα προστασίας, η αυτόματη αναπροσαρμογή των ρυθμίσεων του ηλεκτρονόμου θα ενεργοποιηθεί όταν το μικροδίκτυο αλλάξει από τη συνδεδεμένη σε δίκτυο λειτουργία στην αυτόνομη λειτουργία ή το αντίστροφο.

Τα προβλήματα όμως που υπάρχουν σε αυτή τη στρατηγική προστασίας είναι ότι:

- Απαιτείται ενημέρωση ή αναβάθμιση των συσκευών προστασίας που χρησιμοποιούνται σήμερα στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.
- Όλες οι πιθανές διαμορφώσεις των μικροδικτύων πρέπει να είναι γνωστές πριν από την εφαρμογή αυτών των συστημάτων.
- Η δημιουργία μιας υποδομής για επικοινωνία μπορεί να συνεπάγεται υψηλό κόστος.
- Ο υπολογισμός του βραχυκυκλώματος θα είναι δύσκολος για ένα μικροδίκτυο με διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας.

- Η διαφορική προστασία

Η διαφορική προστασία συγκρίνει τα ρεύματα που εισέρχονται και εξέρχονται από μια προστατευόμενη ζώνη και λειτουργεί μόνο όταν η διαφορά μεταξύ αυτών των ρευμάτων υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο μέγεθος.

Προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε αυτό τον τύπο προστασίας πρέπει να λάβουμε υπ' όψη μας τα εξής:

- Δεδομένου ότι υπάρχει πιθανότητα να αποτύχει το σύστημα επικοινωνίας, είναι απαραίτητο να προβλεφθεί η ύπαρξη ενός δευτερεύοντος συστήματος προστασίας.
- Η δημιουργία μιας υποδομής για επικοινωνία είναι σχετικά δαπανηρή.
- Μπορεί να αντιμετωπιστούν δυσκολίες σε συστήματα ή φορτία τα οποία είναι ασταθή.
- Οι μεταβατικοί διακόπτες κατά τη σύνδεση και αποσύνδεση των δικτύων διανομής μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα.

- Η προστασία από απόσταση

Η σύνθετη αντίσταση μιας γραμμής είναι ανάλογη προς το μήκος της, επομένως είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί ένας ηλεκτρονόμος που να μπορεί να μετρήσει την σύνθετη αντίσταση μίας γραμμής μέχρι ένα προκαθορισμένο σημείο για μέτρηση από απόσταση. Ένας τέτοιος ηλεκτρονόμος ονομάζεται ηλεκτρονόμος απόστασης και είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί μόνο για σφάλματα που συμβαίνουν μεταξύ της θέσης του ηλεκτρονόμου και του επιλεγμένου σημείου.

Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει αυτή η στρατηγική προστασίας είναι:

- Η ακρίβεια της εξαγωγής βασικών στοιχείων που προκύπτουν από τις αρμονικές και την παροδική συμπεριφορά του ρεύματος.
- Ορισμένα σφάλματα ενδέχεται να δημιουργηθούν από την αντίσταση σφάλματος στη μετρηθείσα σύνθετη αγωγιμότητα.
- Είναι δύσκολο να μετρηθεί η σύνθετη αγωγιμότητα για σύντομες γραμμές στα δίκτυα διανομής.

- Η προστασία βασισμένη στη τάση

Ουσιαστικά, οι τεχνικές προστασίας βασισμένες στην τάση χρησιμοποιούν μετρήσεις τάσης για την προστασία των μικροδικτύων από διάφορα είδη σφαλμάτων.

Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει αυτή η στρατηγική προστασίας είναι:

- Η εσφαλμένη λειτουργία των συσκευών προστασίας μπορεί να οδηγήσει σε οποιαδήποτε πτώση τάσης μέσα στο μικροδίκτυο.
- Η προαναφερθείσα μεθοδολογία δεν μπορεί να εντοπίσει τα σφάλματα υψηλής σύνθετης αντίστασης.
- Η πλειοψηφία αυτών των τεχνικών σχεδιάζεται και δοκιμάζεται για συγκεκριμένα μικροδίκτυα. Στην πραγματικότητα, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη διαμόρφωση του

μικροδικτύου και από τον ορισμό της ζώνης προστασίας. Επομένως, ενδέχεται να μην είναι κατάλληλα για μικροδίκτυα με διαφορετικές δομές.

- Ο τρόπος λειτουργίας που συνδέεται με το δίκτυο έχει λιγότερη ευαισθησία.

- Η προστασία με την ανάπτυξη εξωτερικών συσκευών

Η πρόκληση που αντιμετωπίζει η προστασία του μικροδικτύου συσχετίζεται με την τεράστια διαφορά μεταξύ του επιπέδου ρεύματος σφάλματος στη λειτουργία σύνδεσης με το δίκτυο και της αυτόνομης λειτουργίας. Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική η εφαρμογή ενός συστήματος προστασίας το οποίο είναι σε θέση να λειτουργεί κατάλληλα τόσο σε κατάσταση σύνδεσης με το δίκτυο όσο και σε αυτόνομη κατάσταση. Ουσιαστικά, αυτές οι στρατηγικές προστασίας βασίζονται στην τροποποίηση της στάθμης βραχυκυκλώματος όταν ο τρόπος λειτουργίας μικροδικτύου μεταβάλλεται από τη σύνδεση στο δίκτυο σε αυτόνομη ή αντίστροφα. Αυτές οι συσκευές μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες δύο ομάδες, τους περιοριστές ρεύματος σφάλματος και τις συσκευές αποθήκευσης ενέργειας.

- Η προστασία που βασίζεται σε εξαρτήματα υπερευμάτων και σε συμμετρικά εξαρτήματα

Αυτές οι στρατηγικές προστασίας εξελίχθηκαν κυρίως από την τρέχουσα ανάλυση των συμμετρικών εξαρτημάτων και προσπαθούν να βελτιώσουν τη συμβατική απόδοση προστασίας από υπερτάσεις και να παράσχουν ένα ισχυρό σύστημα προστασίας στο μικροδίκτυο.

Η κύρια πρόκληση στη συγκεκριμένη στρατηγική προστασίας είναι η ανάγκη συστημάτων επικοινωνίας.

## 6.6 Προστασία σε κατάσταση σύνδεσης με το δίκτυο ( στο λιμάνι ) και σε κατάσταση αυτόνομης λειτουργίας ( εν πλω )

Η προστασία ενός μικροδικτύου πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχεται ασφάλεια και προστασία, και σε περίπτωση σύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο αλλά και σε κατάσταση αυτόνομης λειτουργίας. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφαλής και αδιάκοπη χρήση του μικροδικτύου θα πρέπει να γίνουν διάφορες δοκιμές [2].

Κατά τη αυτόνομη λειτουργία, το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι εμφανέστερα μικρότερο από αυτό στη κατάσταση σύνδεσης του μικροδικτύου με το κεντρικό δίκτυο. Ο λόγος είναι ότι η σύνθετη αντίσταση στο σημείο βλάβης στην κατάσταση αυτόνομης λειτουργίας είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που υπάρχει στην αντίστοιχη περίπτωση όταν το μικροδίκτυο είναι συνδεδεμένο με το κεντρικό δίκτυο.

Η κατάσταση αυτόνομης λειτουργίας μπορεί να βελτιώσει τη συνολική ασφάλεια της παρεχόμενης ισχύος και μπορεί επίσης να επιφέρει επιπλέον έσοδα στον εκάστοτε ιδιοκτήτη λόγω της βελτίωσης των δεικτών ποιότητας. Όσον αφορά στους πελάτες, το κύριο όφελος της κατάστασης αυτόνομης

λειτουργίας είναι η μείωση της συχνότητας και της διάρκειας των διακοπών λειτουργίας, οι οποίες προκύπτουν από διακοπή στο σύστημα διανομής και μεταφοράς. Αυτή η λειτουργία σε ένα σύστημα διανομής, είναι μία επιλογή που μπορεί να καταστήσει τα προβλήματα αντιμετωπίσιμα. Όπως γίνεται γνωστό, επίσης από το [29], πολλές τεχνικές ανίχνευσης της αυτόνομης λειτουργίας έχουν αναπτυχθεί πρόσφατα, όπως η τεχνική απομακρυσμένης ανίχνευσης της αυτόνομης λειτουργίας, η τεχνική παθητικής ανίχνευσης της αυτόνομης λειτουργίας, η τεχνική ενεργητικής ανίχνευσης της αυτόνομης λειτουργίας, η τεχνική υβριδικής ανίχνευσης της αυτόνομης λειτουργίας και η τεχνική ανίχνευσης της επανασύνδεσης από την κατάσταση αυτόματης λειτουργίας στο δίκτυο.

## 6.7 Προστασία των ζωνικών ηλεκτρικών συστημάτων διανομής Σ.Ρ.

Η προστασία των συστημάτων ισχύος Σ.Ρ., ειδικά εκείνων με σύνθετη διαμόρφωση D.C. Z.E.D.S., είναι ένα δύσκολο έργο που απαιτεί την ανάπτυξη SSCBs κατάλληλων για Σ.Ρ. μεσαίας τάσης καθώς και πολύπλοκο συντονισμό μεταξύ των μετατροπέων ισχύος και των προστατευτικών λειτουργιών. Καθώς οι ζώνες είναι συνήθως διασυνδεδεμένες, λαμβάνοντας υπόψη το D.C. Z.E.D.S., τότε ίσως υπάρξουν διάφορες περιπτώσεις που ένα συγκεκριμένο σφάλμα μπορεί να εξαπλωθεί και να αναχθεί σε ένα ενιαίο σφάλμα στο σύστημα εφ' όσον η αρχιτεκτονική προστασίας δεν έχει σχεδιαστεί για την αντιμετώπιση τέτοιων περιπτώσεων [3].

Ως εκ τούτου, η αποτελεσματική προστασία σφάλματος, αλλά και η απομόνωση ενός συγκεκριμένου σφάλματος, θεωρούνται ως οι κύριες προκλήσεις για την εξασφάλιση της ασφάλειας του IPS. Έχει γίνει σημαντική προσπάθεια έρευνας και ανάπτυξης για να καταστεί δυνατή η προστασία χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν αρκετά σημεία για τα οποία χρειάζεται να βρεθεί κάποια λύση, όπως για παράδειγμα, στη καθυστέρηση στην επικοινωνία και στις βλάβες μέτρησης. Οι αποτυχίες μέτρησης μπορούν να ξεπεραστούν με τη χρήση αλγορίθμων ανίχνευσης δεδομένων και ανασυγκρότησης. Προχωρημένες έννοιες συστήματος έχουν επίσης εισαχθεί στο μικροδίκτυο Σ.Ρ. προκειμένου να επιτευχθεί η σωστή πρόγνωση του σημείου σφάλματος και να εφαρμοστεί η κατάλληλη προστατευτική ενέργεια σε περίπτωση εμφάνισής του. Η δυνατότητα επαναδιαμόρφωσης είναι ένα από τα πιο υποσχόμενα πλεονεκτήματα του IPS για τα μελλοντικά A.E.S και ειδικά για ναυτικές εφαρμογές [3], [7].

## 6.8 Ανίχνευση βλαβών με τη προσέγγιση των συμμετρικών συνιστωσών

Για την ανίχνευση διαφορετικών τύπων βλαβών, παρουσιάζεται ένα σχήμα προστασίας που βασίζεται στην προσέγγιση των συμμετρικών συνιστωσών, το οποίο εφαρμόζεται για να μετατρέψει ένα τριφασικό μη ισορροπημένο σύστημα σε τρία σύνολα συμμετρικών ισορροπημένων φάσεων, δηλαδή θετικών, αρνητικών και μηδενικών ακολουθιών, όπως εξηγείται στο [30]. Επίσης, γίνεται φανερό ότι η θετική ακολουθία υπάρχει σε όλων των τύπων βλάβες με αποτέλεσμα να την καθιστά την ιδανικότερη στην ανίχνευση βλαβών. Πολύ σημαντικό βέβαια είναι η άμεση εύρεση του μέρους στο οποίο έγινε η βλάβη, ούτως ώστε να υπάρξει έγκαιρη αντιμετώπιση.

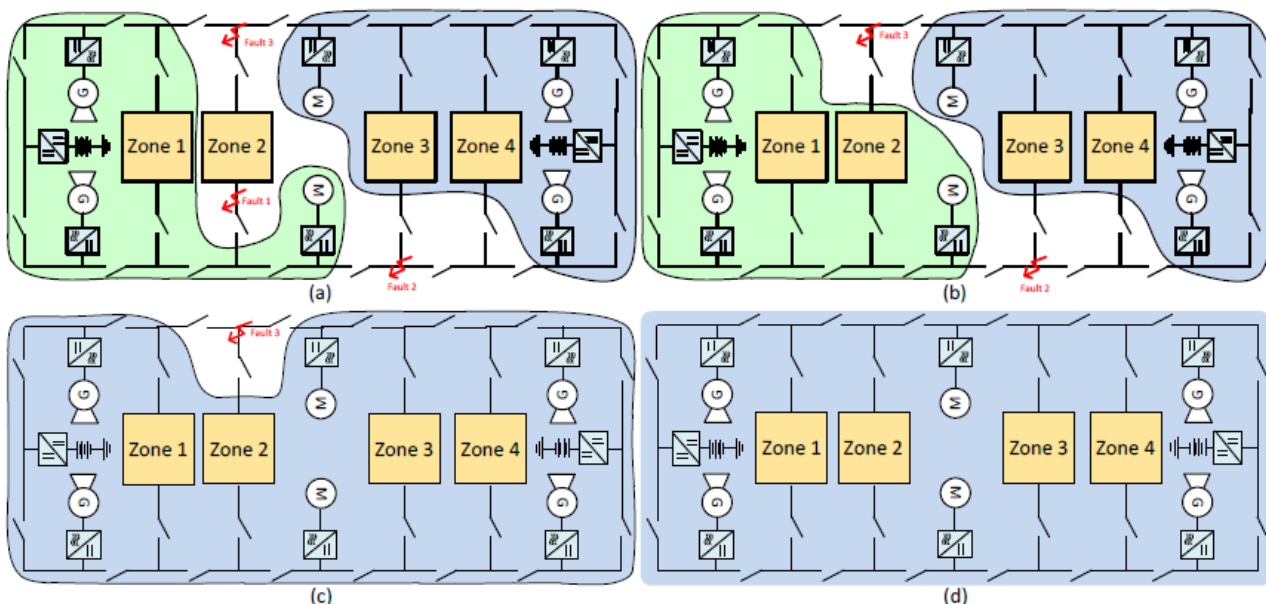


Fault type	Positive-sequence	Negative-sequence	Zero-sequence
Single line to ground	Yes	Yes	Yes
Line to line	Yes	Yes	No
Line to line to ground	Yes	Yes	Yes
Three phase	Yes	No	No

Εικόνα 19: Ύπαρξη συμμετρικών συνιστωσών σε διαφορετικούς τύπους σφαλμάτων.

### 6.9 Αυτοθεραπευτική μέθοδος ( self-healing )

Όσον αφορά στη παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται μια αυτοθεραπευτική μέθοδος ανοικοδόμησης, η οποία αρχικά υποδιαιρεί το σύστημα ισχύος σε διάφορες ζώνες στο μικροδίκτυο και στη συνέχεια ανακατασκευάζεται όταν εκκαθαριστεί το σφάλμα [3]. Η τοποθέτηση σε τμήματα αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση της απομονωμένης περιοχής και ταυτόχρονα στη διατήρηση της παροχής ρεύματος σε υγιείς ζώνες. Επίσης, τα διαχωρισμένα τμήματα ζωνών ενός μικροδικτύου θα προσπαθήσουν να συνδεθούν μεταξύ τους και να σχηματίσουν ολοκληρωμένα μικροδίκτυα, τα οποία να μπορούν να βελτιώσουν τη λειτουργία και την αξιοπιστία. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα ισχύος θα επανέλθει από το σφάλμα και ταυτόχρονα θα απομονώσει τη θέση του σφάλματος, όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα. Εκεί, παρατηρούμε ότι σε περίπτωση ύπαρξης τριών σφαλμάτων σε διαφορετικές θέσεις γίνεται ξεκάθαρη η διαδικασία της τμηματοποίησης και της επαναφοράς από το σφάλμα.



Εικόνα 20: Η διαδικασία τμηματοποίησης και επαναφοράς από σφάλμα. α) εμφάνιση σφαλμάτων, β) εκκαθάριση σφάλματος 1, γ) εκκαθάριση σφάλματος 2, δ) εκκαθάριση σφάλματος 3.

## 7. Προβλήματα στα δίκτυα των πλοίων

Όλα αυτά τα χρόνια που το Ε.Ρ. είναι αυτό που χρησιμοποιείται στα πλοία, έχουν παρατηρηθεί διάφορα ανεπιθύμητα προβλήματα, όπως η άεργος ισχύς, οι αρμονικές και προβλήματα συγχρονισμού. Τα τελευταία αν τα εξαλείψουμε, θα μπορούμε να έχουμε ανεξάρτητο έλεγχο της ταχύτητας του κάθε κινητήρα, κάτι το οποίο στη περίπτωση του μικροδικτύου Σ.Ρ. μπορεί να πραγματοποιηθεί, με αποτέλεσμα να υπάρξει εξοικονόμηση καυσίμου. Αυτό συμβαίνει διότι το δίκτυο ισχύος δεν είναι πλέον σταθερό στα 50/60 Hz, με συνέπεια η ταχύτητα των ντιζελοκινητήρων να ποικίλει και έτσι να μπορούν να λειτουργούν σε ευρύτερο φάσμα φορτίου και κατ' επέκταση αποδοτικότερου καυσίμου. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι, με τη χρήση ενός συστήματος διαχείρισης ενέργειας (Energy Management System - E.M.S.) μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές ρίπων έως 15% και με τη χρήση R.E.S. φτάνει έως το 20%, [31], [32]. Τέλος, συναντάμε προβλήματα που έχουν να κάνουν με πιθανή ανισορροπία σε περιπτώσεις υπερφόρτωσης και για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται πλέον τα E.S.Ss. σύμφωνα με το [33].

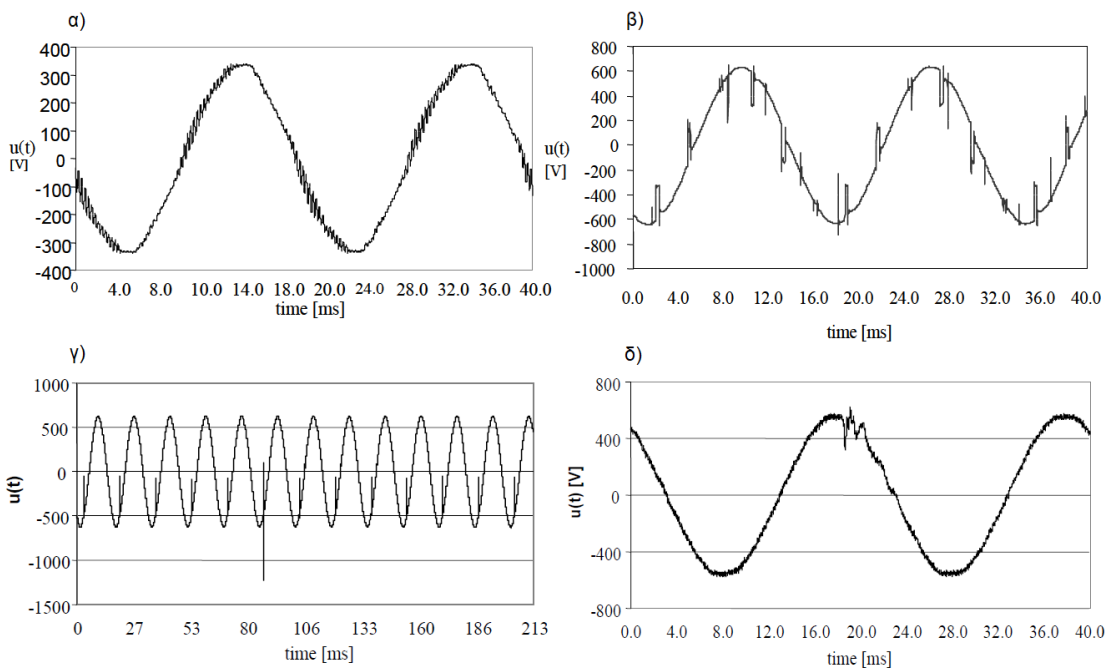
Η αυξανόμενη χρήση μετατροπέων ισχύος και ειδικά των μετατροπέων συχνότητας για τα φορτία των πλοίων, όπως αντλίες, εξαερισμοί, bow thrusters, μονάδες συμπίεσης και συστήματα πρόωσης, ανέπτυξαν τον προβληματισμό γύρω από τη ποιότητα ισχύος στα μικροδίκτυα των πλοίων. Τριφασικοί μετατροπείς ισχύος με χαμηλού κόστους δίοδο ανόρθωσης χρησιμοποιούνται ευρέως στις προαναφερθείσες εφαρμογές. Οι δίοδοι ανόρθωσης, μπορούν να πετύχουν χαμηλότερες απώλειες ισχύος συγκριτικά με άλλες τοπολογίες Active Front End (A.F.E.). Ωστόσο, ενδέχεται να αυξήσει τις αρμονικές λόγω της μη γραμμικής επίδρασης τους. Οι αρμονικές ρεύματος που προέρχονται από αυτούς τους μετατροπείς ισχύος, μπορούν να προκαλέσουν χαμηλή ποιότητα ισχύος, διαταραχές και προβλήματα στην ευστάθεια του δικτύου διανομής.

Ένα ακόμη σοβαρό θέμα προς επίλυση σύμφωνα με το [31], που συναντάμε στα δίκτυα των πλοίων, είναι αυτό της εμπέδησης, καθώς είναι γύρω στο 15-20% σε σχέση με πολλούς εμπορικούς και αστικούς τομείς, στους οποίους η εμπέδηση που συναντάμε είναι της τάξης του 4-6%. Αυτό έχει σαν συνέπεια οι μετατροπείς αυτοί με τόσο μεγάλη εμπέδηση να παράγουν αρμονικές και οι ενδοαρμονικές παραμορφώσεις που παράγονται, να προκαλούν απαράδεκτες διαταραχές στο σύστημα ισχύος. Έχουν παρατηρηθεί συχνά παραμορφώσεις έως και 15-20% και ακόμα υψηλότερες σε πλοία, κατά πλεύση τους.

Ζητήματα ως προς τη ποιότητα ισχύος στα μικροδίκτυα των πλοίων, μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρές επιπτώσεις για το λόγο ότι αυτές οι γεννήτριες χρησιμοποιούνται με περιορισμένη χωρητικότητα και διακριτά προφίλ φορτίων υψηλής ισχύος και μη γραμμικών και παλμικών φορτίων. Αυτά τα ιδιαίτερα στοιχεία των μικροδικτύων των πλοίων μπορούν να οδηγήσουν σε μια πληθώρα προβλημάτων ως προς τη ποιότητα ισχύος, όπως σε ποικιλία της τάσης και της συχνότητας, ανισορροπίας, αρμονικές παραμορφώσεις τάσης και ρεύματος και προσωρινή διαφορά δυναμικού που μπορεί να εμφανιστεί στη πλευρά του Ε.Ρ. Παρ' όλο που όλα αυτά τα ζητήματα ποιότητας ισχύος, οδηγούν στη μείωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας των συστημάτων ισχύος των πλοίων, η παραμόρφωση και η ανισορροπία της τάσης, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές συνέπειες στις γεν-

νήτριες και γενικά στον υπόλοιπο ηλεκτρολογικό εξοπλισμό που είναι συνδεδεμένο στο ίδιο σύστημα.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα νέο είδος μέτρησης για τη ποιότητα της ισχύος που λέγεται, εκτιμητής – αναλυτής ποιότητας ισχύος. Στην εικόνα 1 παρουσιάζονται παραδείγματα κυματομορφών τάσης σε συστήματα πλοίων.



Εικόνα 21: α) Διαταραχές υψηλής συχνότητας σε υποσύστημα ενός εξηλεκτρισμένου πλοίου με τιμή τάσης ίση με 230 V, β) Εγκοπές σε υποσύστημα ενός χημικού τύπου δεξαμενόπλοιο με τιμή τάσης ίση με 440V, γ) Εγκοπές και διαταραχές λόγω έκρηξης ενέργειας σε υποσύστημα χημικού τύπου δεξαμενόπλοιο με τιμή τάσης ίση με 440V και δ) έκρηξη ενέργειας σε υποσύστημα εξηλεκτρισμένου πλοίου με τιμή τάσης ίση με 400V.

Υπάρχουν πολλά στάνταρ που ασχολούνται με το πρόβλημα της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος και μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες. Στα στάνταρ τα οποία καθορίζουν ένα σετ από αναφορές σε τεχνικές παραμέτρους και στα επιτρεπτά τους όρια και σε αυτά, που καθορίζουν τις μεθόδους μέτρησης.

Σύμφωνα με το [34] το καλύτερο έως σήμερα στάνταρ είναι το “IEC Standard 60092-101”. Στο στάνταρ αυτό έχουν καθοριστεί οι διαταραχές σε συνθήκες σταθερής κατάστασης:

- Απόκλιση τάσης +6%, -10%.
- Ανισορροπία 3%.
- Απόκλιση συχνότητας  $\pm 5\%$ .
- Συνολική αρμονική παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion – T.H.D.) 5%.
- Οποιαδήποτε αρμονική είναι ικανοποιητική όταν είναι μεγαλύτερη του 3%.

Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

- Πλάτος έκρηξης ενέργειας 5,5 Un.

Επίσης, το στάνταρ αυτό ορίζει τις αποκλίσεις της τάσης και της συχνότητας μικρής διάρκειας:

- Μικρής διάρκειας απόκλιση τάσης  $\pm 20\%$ , για διάρκεια έως και 1,5 sec.
- Μικρής διάρκειας απόκλιση συχνότητας  $\pm 10\%$ , για διάρκεια έως και 5 sec.

Η σύγκριση αρμονικών επιλεγμένων εξαρτημάτων και αντίστοιχων αρμονικών υποομάδων για επιλεγμένη τιμή τάσης σε δίκτυο πλοίου όπως φαίνεται στην εικόνα 1β), παρουσιάζεται στον πίνακα 1. Τα αποτελέσματα στον πίνακα αυτό είναι ακριβείς τιμές, σύμφωνα με το [4], μετά από ανάλυση διακοσίων μετρήσεων κατά τις συνθήκες σταθερής κατάστασης.

Harmonic component and subgroup order	Harmonic component [V]	Harmonic subgroup [V]
1 <sup>st</sup>	435.98	436.04
5 <sup>th</sup>	20.59	20.73
7 <sup>th</sup>	18.35	18.56
11 <sup>th</sup>	15.71	15.95
13 <sup>th</sup>	15.39	15.75
17 <sup>th</sup>	13.00	13.48
19 <sup>th</sup>	13.29	13.93

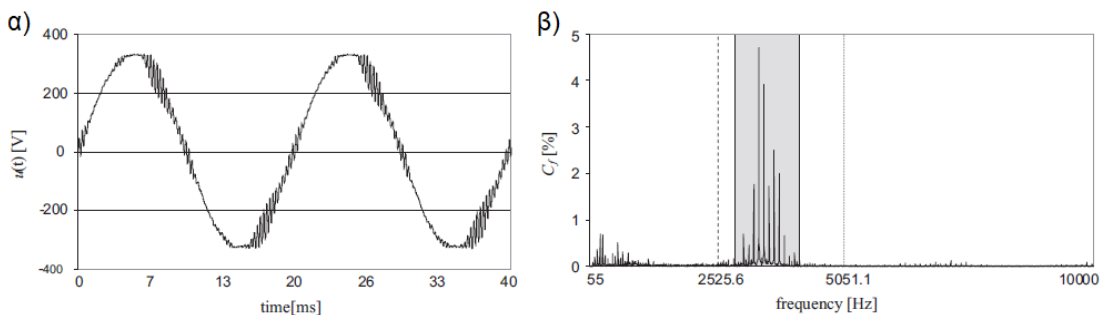
Πίνακας 1: Αποτελέσματα αρμονικών επιλεγμένων εξαρτημάτων και υποομάδων.

Από τον πίνακα 1, διακρίνεται το φάσμα της διαρροής της συχνότητας δίπλα στις αρμονικές. Αυτό συμβαίνει λόγω των αυξομειώσεων της τάσης και της συχνότητας. Τα συστήματα σήματος των πλοίων είναι μη σταθερά. Η διαρροή αυξάνεται σχετικά για τις αρμονικές ανώτερης τάξης. Για την 17<sup>η</sup> αρμονική για παράδειγμα, υπολογίστηκε ότι η ικανοποιήσιμη αρμονική για το αρμονικό εξάρτημα είναι 2,98%. Μικρότερη δηλαδή από το επιτρεπόμενο όριο του 3%. Ωστόσο, η ικανοποιήσιμη αρμονική για την αρμονική υποομάδα είναι ίση με 3,09%, μεγαλύτερη από το επιτρεπτό όριο.

Συμπερασματικά, η μέθοδος που βασίζεται στις αρμονικές των υποομάδων, φαίνεται να είναι η πιο χρήσιμη, καθώς και αυτή που αποτυπώνει τη πραγματική προσέγγιση των διαταραχών των κυματομορφών στα συστήματα των πλοίων, σύμφωνα με το [34].

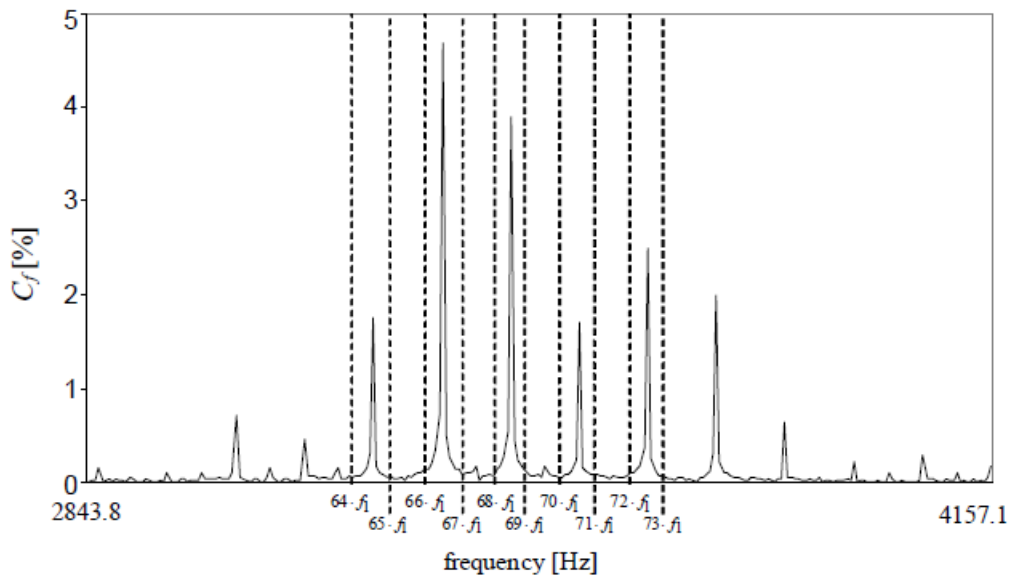
## 7.1 Διαταραχή κυματομορφής σε σταθερή κατάσταση

Οι διαταραχές στις κυματομορφές του ρεύματος και της τάσης στα πλοία είναι ολοένα και συχνότερες. Συνήθως οι διαταραχές αυτές υπολογίζονται έως και την 50<sup>η</sup> αρμονική. Οι κανόνες των ινστιτούτων κατηγοριοποίησης απαιτούν μετρήσεις έως και τη 50<sup>η</sup> αρμονική. Για να γίνει κατανοητό θα χρησιμοποιηθεί ένα παράδειγμα όπως στο [35] και στο [36], που έχει να κάνει με τη τάση που δέχεται το τερματικό του εξοπλισμού πλοήγησης ενός εξηλεκτρισμένου πλοίου, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 22: Παράδειγμα κυματομορφής επιβαλλόμενης τάσης α) στον τερματικό του εξοπλισμού πλοήγησης ενός εξηλεκτρισμένου πλοίου και του φάσματός του, β) η διακεκομμένη γραμμή χαρακτηρίζει τη συχνότητα της 50<sup>ης</sup> αρμονικής, ενώ η γραμμή με τις κουκίδες χαρακτηρίζει τη συχνότητα της 100<sup>ης</sup> συχνότητας. Cf: το περιεχόμενο του υψηλότερου εξαρτήματος αρμονικής με συχνότητα  $f$ .

Είναι ευδιάκριτο ότι τα εξαρτήματα σε αρμονικές άνω της 50<sup>ης</sup> είναι κυρίαρχα σε αυτή τη περίπτωση. Οι διαταραχές προκαλούνται από τη λειτουργία των μετατροπέων ισχύος με δηλωμένη switching frequency 3,6 kHz. Έτσι, η κατάλληλη ανάλυση αυτής της περίπτωσης απαιτεί τη κάλυψη των συχνοτήτων υψηλότερα της 50<sup>ης</sup> αρμονικής. Αυτό το πρόβλημα έχει αναγνωριστεί από κάποια σωματεία κατηγοριοποίησης πλοίων. Για παράδειγμα, το «American Bureau of Shipping» προτείνει τον υπολογισμό της συνολικής αρμονικής διαταραχής T.H.D., έως και την 100<sup>η</sup> αρμονική για συστήματα πλοίων εξοπλισμένα με συστήματα A.F.E. P.W.M. Προφανώς η λύση θα έπρεπε να λύσει αυτό το πρόβλημα, εφόσον τα συγκεκριμένα εξαρτήματα βρίσκονται κάτω από την 100<sup>η</sup> αρμονική. Αυτές οι διαταραχές όμως, δεν σχετίζονται με τη βασική συχνότητα εξαρτημάτων, που σημαίνει ότι δεν είναι αρμονικές. Αυτό παρουσιάζεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 2311: Παράδειγμα φάσματος τάσης στο τερματικό του εξοπλισμού πλοήγησης σε εξηλεκτρισμένο πλοίο για εύρος συχνότητας 2843,8 – 4157,1 Hz. Οι διακεκομμένες γραμμές χαρακτηρίζουν τις αρμονικές συχνότητες ως ακέραιο πολλαπλάσιο τη βασικής συχνότητας ίσης με 50,51 Hz.

Τέλος, σύμφωνα με το [35] και το [36], ο κατάλογος των βασικών διαταραχών έχει υπολογιστεί από όλες τις προηγούμενες περιγραφές και για διάφορα πλάτη συχνοτήτων. Τα αποτελέσματα αναγράφονται στον πίνακα 2.

<i>THD<sub>50</sub></i>	<i>THD<sub>100</sub></i>	<i>TWD<sub>2.5kHz</sub></i>	<i>TWD<sub>10kHz</sub></i>	<i>TWD<sub>50kHz</sub></i>
1.51%	1.61%	1.62%	7.83%	7.9%

Πίνακας 2: Αποτελέσματα υπολογισμών των παραγόντων και οι χαρακτηρισμοί διαφόρων διαταραχών.

Η λεπτομερής ανάλυση των αποτελεσμάτων από τον πίνακα 2, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, στη περίπτωση που έρθει κάποιος αντιμέτωπος με διαταραχές στις κυματομορφές των πλοίων:

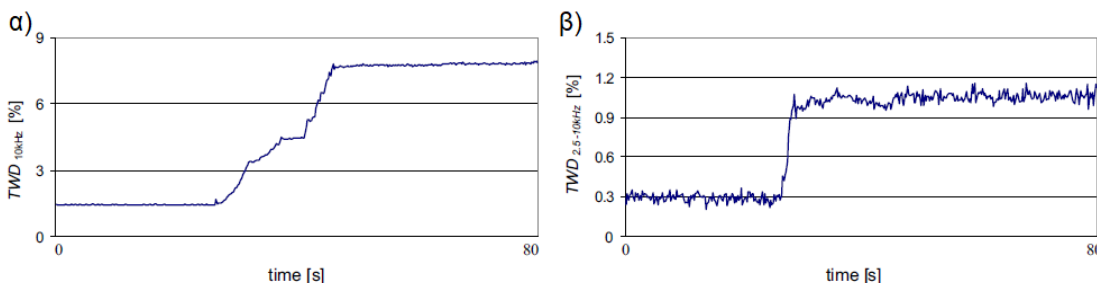
- Πρέπει να ξεχαστούν όλοι οι παράγοντες που βασίζονται μόνο στις αρμονικές, όπως η THD50 υπολογισμένη έως και τη 50<sup>η</sup> αρμονική ή ακόμα και η THD100 υπολογισμένη έως και την 100<sup>η</sup> αρμονική.
- Οι παράγοντες της συνολικής διαταραχής της κυματομορφής (Total Waveform Distortion – T.W.D.), είναι η μόνη ζωτική λύση, αλλά πρέπει να επιλεγθεί προσεκτικά ένα κατάλληλο εύρος συχνότητας στην είσοδο του σήματος.
- Οι καθοριστικοί παράγοντες των TWD10kHz και TWD2,5-10kHz, θα είναι αρκετοί για τυπικές και λιγότερο τυπικές κατηγορίες.

Επίσης, πρέπει να προτείνεται η εφαρμογή των παραγόντων TWD10kHz και TWD2,5-10kHz για τη καταγραφή των διαταραχών των κυματομορφών των ηλεκτρικών σημάτων στα πλοία. Με το τρόπο αυτό, είναι δυνατή η εύκολη ανίχνευση των διαταραχών και μιας πιο γενικής κατηγοριοποίησης, όπως για παράδειγμα φαινόμενα χαμηλών ή υψηλών συχνοτήτων ή και των δύο μαζί. Έχοντας ακόμη υπόψη τις switching frequencies των τυπικών μονάδων A.F.E. P.W.M. μεγάλης ισχύος, το όριο των 10 kHz του εύρους συχνοτήτων θα είναι αρκετό.

## 7.2 Διαταραχές κυματομορφών μη σταθερής κατάστασης

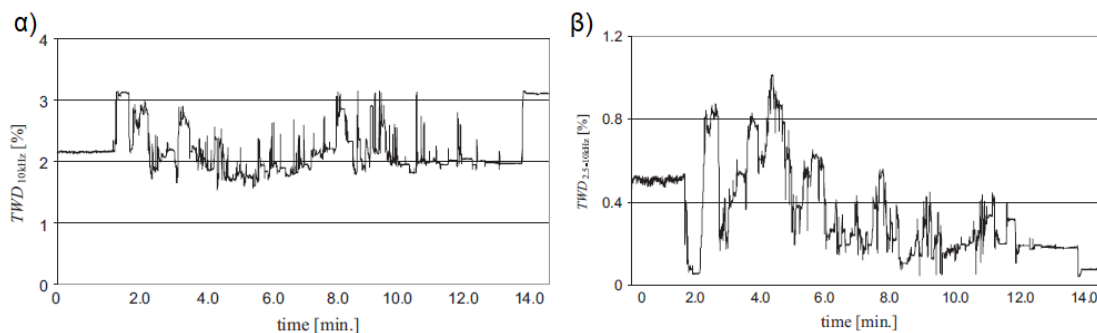
Το επίπεδο των διαταραχών των κυματομορφών στα συστήματα των πλοίων ποικίλει και κάποιες φορές σημαντικά. Όπως εξηγείται στο [35], αυτό αφορά διάφορες βηματικές αλλαγές μεταξύ δύο επιπέδων διαταραχών κυματομορφής, οι οποίες συνήθως προκαλούνται από τις βηματικές αλλαγές του φορτίου, καθώς και από τις συνεχείς μεταβολές των διαταραχών της κυματομορφής που αφορούν τα παλμικά φορτία.

Στην εικόνα 4, παρουσιάζεται το προηγούμενο παράδειγμα, στην οποία όμως αναπαρίστανται οι διαταραχές της τάσης στους ζυγούς του κύριου πίνακα διανομής, κατά την αύξηση ενός μη γραμμικού φορτίου από το μηδέν μέχρι και το πλήρες φορτίο του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρουσιάζεται ένα bow thruster το οποίο τροφοδοτείται μέσω ενός μετατροπέα ισχύος.



Εικόνα 24: Βηματικές αλλαγές α) TWD 10kHz και β) TWD2,5-10kHz, κατά την αύξηση του φορτίου του bow thruster από το μηδέν έως το προκαθορισμένο πλήρες φορτίο του.

Στην εικόνα 4, έχουμε μόνο την αλλαγή από ένα σημείο σταθερής κατάστασης σε ένα άλλο, οπότε δεν χρειάζεται ιδιαίτερη αναφορά στις κυματομορφές αυτές. Ωστόσο, αυτό αλλάζει όταν υπάρχουν παλμικά φορτία και βρίσκονται σε λειτουργία. Τέτοια φορτία δουλεύουν όταν το πλοίο πραγματοποιεί μανούβρες. Ένα παράδειγμα που δείχνει τις διαταραχές των κυματομορφών της τάσης κατά τη διάρκεια μανουβρών που εκτελεί ένα εξηλεκτρισμένο πλοίο, παρουσιάζεται στην εικόνα 5. Οι ορατές αλλαγές στο επίπεδο των διαταραχών της τάσης προκαλούνται από τις αλλαγές στο φορτίο των προπελών.



Εικόνα 25: Αλλαγές στους παράγοντες α)  $TWD_{10kHz}$  και β)  $TWD_{2,5-10kHz}$  κατά τη διάρκεια των مانουβρών που εκτελεί ένα εξηλεκτρισμένο πλοίο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Ι.Ε.Ε.Ε.), προτείνει την εξής πρακτική για τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στα πλοία σύμφωνα με το στάνταρ: Ι.Ε.Ε.Ε. Standard 45-2002. Σημειώνει ότι, ένας ειδικός ζυγός που αφορά τη πρόωση, θα πρέπει κανονικά να έχει μια συνολική διαταραχή της αρμονικής της τάσης που να μη ξεπερνά το 8%. Αν αυτό το όριο υπερβεί, θα πρέπει να επιβεβαιωθεί από τεκμήρια και ελέγχους ότι δεν θα προκύψει οποιαδήποτε δυσλειτουργία ή υπερθέρμανση. Ένας μη ειδικός ζυγός κύριας γεννήτριας ή κύριας διανομής δεν θα πρέπει να υπερβεί τη τιμή του 5%, όσον αφορά στη συνολική διαταραχή της αρμονικής της τάσης και καμία αρμονική τάσης δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 3%.

### 7.3 Βελτιστοποίηση διαχείρισης ισχύος

Σύμφωνα με το [37], το σύστημα βελτιστοποίησης ισχύος (Power Management System – P.M.S.) ενός πλοίου, διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ισορροπίας της ισχύος, στη βελτίωση της απόδοσης των καυσίμων, στην αποτροπή μιας διακοπής ρεύματος και στην εξασφάλιση μιας ασφαλούς λειτουργίας σε διάφορες καταστάσεις λειτουργίας. Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, το P.M.S. περιλαμβάνει εξοικονόμηση ισχύος, έλεγχο των μηχανισμών πρόωσης, έλεγχο των κυρίως και των εκτάκτων γεννητριών, φόρτωση και εκφόρτωση των σετ γεννητριών E.P., φορτίο από το οποίο εξαρτάται η εκκίνηση και η παύση, διαμοιρασμό φορτίου, μείωση φορτίου, αυτόματο σταμάτημα των μηχανών, έλεγχο της ισχύος και της συχνότητας, συγχρονισμό και παρακολούθηση του συστήματος αλλά και παραδείγματα ανάλυσης φορτίου. Αυτές οι λειτουργίες έρχονται σε συνδυασμό με το δεύτερο, το τρίτο και το ανώτερο επίπεδο ελέγχου του ιεραρχικού ελέγχου που εφαρμόζεται στα πλοία.

Στη συνέχεια, θα αναλυθούν ορισμένες από αυτές τις λειτουργίες.

- Εξοικονόμηση ενέργειας: Η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να παρουσιαστεί στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες. Στη μείωση συγκεκριμένης κατανάλωσης καυσίμου, στη μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου για τη πρόωση και στη μείωση της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου του πλοίου.



- Βοηθητικές γεννήτριες σε κατάσταση αναμονής για την εκκίνησή τους ή τη παύση τους: Οι γεννήτριες λειτουργούν ανάλογα με τη κατανάλωση ισχύος. Ένα πλεόνασμα διαθέσιμης ισχύος θα πρέπει να περιοριστεί όσο γίνεται για μεγαλύτερη ασφάλεια. Το P.M.S. συγκρίνει συνεχώς το συνολικό φορτίο γεννήτριας με το φορτίο το οποίο εξαρτάται από την αυτόματη εκκίνηση και παύση. Εάν η διαθέσιμη ισχύς πλην το περιθώριο ασφαλείας, είναι μικρότερη από την απαιτούμενη ισχύ, είτε λόγω της αύξησης του φορτίου, είτε λόγω σφάλματος σε ένα ενεργό σετ γεννητριών, το P.M.S. θα ξεκινήσει αυτόματα την επόμενη σε αναμονή για λειτουργία γεννήτρια στην αρχική ακολουθία. Όταν το φορτίο μειωθεί σε επίπεδο που δεν θα υπερφορτώνει τις υπόλοιπες γεννήτριες, οι εν αναμονή γεννήτριες θα σταματήσουν και θα αποσυνδεθούν.
- Αυτόματος διαμοιρασμός φορτίου: Όταν αυξάνεται το φορτίο, μια άλλη γεννήτρια συνδέεται στον πίνακα ελέγχου. Το P.M.S. χωρίζει το φορτίο με βέλτιστο τρόπο στις γεννήτριες μετά τον συγχρονισμό.
- Πτώση φορτίου: Όταν προκύψει μια ξαφνική απώλεια μιας γεννήτριας ή το φορτίο αυξηθεί με αποτέλεσμα να οδηγήσει σε μία υπερφόρτωση των άλλων γεννητριών, τα μη βασικά φορτία αποσυνδέονται αυτόματα από το P.M.S. Για παράδειγμα οι προωθητήρες μπορούν να λειτουργούν με μειωμένο φορτίο σε θέση ισχύος για μια χρονική περίοδο, λόγω της αργής απόκρισης του πλοίου όσον αφορά στη θέση και τον χειρισμό. Αυτή η χρονική περίοδος είναι σημαντική για να συνδεθεί η επόμενη μονάδα και να αυξηθεί η χωρητικότητα της παραγόμενης ισχύος. Το P.M.S. υπάρχει για να αποτρέπει την υπερφόρτωση των γεννητριών και να διατηρεί την ισχύ των βασικών φορτίων, όπως του φορτίου πρόωσης με τη μείωση των μη βασικών φορτίων.
- Αυτόματος συγχρονισμός και σύστημα αποκατάστασης: Ο αυτόματος συγχρονισμός ενεργοποιείται ούτως ώστε να εξασφαλιστεί η λειτουργία των γεννητριών στις προαπαιτούμενες ταχύτητες, τάση και φάση. Μετά από μια διακοπή λειτουργίας, το σύστημα χρειάζεται να ακολουθήσει μια ακολουθία ελέγχου της επανεκκίνησης και της επαναδιαμόρφωσης του συστήματος ισχύος, το οποίο περιλαμβάνει σετ γεννητριών εκκίνησης και συγχρονισμού και διαδοχικές εκκινήσεις φορτίων.
- Παρακολούθηση και ανάλυση φορτίου: Το P.M.S. αποτελείται από ένα σύστημα παρακολούθησης για την επίβλεψη των φορτίων, από τη παρακολούθηση του ενεργούς και του παθητικού φορτίου διαμοιρασμού για την επίβλεψη της πιθανής αποτυχίας του διαμοιρασμού του φορτίου, από τη παρακολούθηση της κατανάλωσης καυσίμου, γραφική απεικόνιση πληροφοριών που μπορούν να βοηθήσουν τους χειριστές να εντοπίσουν την απολεσθείσα ενέργεια και από τη παρακολούθηση της απόδοσης του κινητήρα. Επίσης, κάποια συστήματα παρακολούθησης P.M.S. προσφέρουν δεδομένα που βοηθούν στη λήψη αποφάσεων για τη διατήρηση και τη λειτουργία των μηχανισμών και άλλων εξαρτημάτων του συστήματος ισχύος του πλοίου.
- Μεταφορά φορτίου: Το P.M.S. μπορεί να ελέγχει και να παρακολουθεί τη μεταφορά φορτίου από το κύριο φορτίο στο βοηθητικό φορτίο και αντίστροφα, στα υβριδικά ηλεκτρικά πλοία.

Ο τύπος και κατάσταση του φορτίου διαδραματίζουν έναν ζωτικό ρόλο ως προς τη διατήρηση της απόδοσης της διαχείρισης ισχύος στα πλοία. Για το λόγο αυτό, ένα κατάλληλο P.M.S. μπορεί να εφαρμοστεί ανάλογα με τους τύπους φορτίων και των δυναμικών τους που υπάρχουν σε ένα πλοίο. Για δεξαμενόπλοια, οι αντλίες και οι συμπιεστές είναι σημαντικοί παράγοντες, καθώς καταναλώνουν σημαντικό μέρος της παραγόμενης ισχύος. Στα πλοία της γραμμής, σχεδόν το 50% του συνολικού καυσίμου, καταναλώνεται από ξενοδοχειακά φορτία, όπως ο κλιματισμός, τα συστήματα

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

θέρμανσης, τον εξοπλισμό της κουζίνας του πλοίου και τον φωτισμό. Για φορτηγά πλοία, ο εξοπλισμός χειρισμού φορτίων, παίζει έναν σημαντικό ρόλο και χαρακτηρίζει τη σημαντική ανάγκη για ισχύ στο εγκαταστημένο σύστημα ισχύος του πλοίου. Επίσης, σε κάποια πλοία οι σταθεροποιητές των αντλιών νερού καταναλώνουν ένα μεγάλο φορτίο από το σύστημα ισχύος του πλοίου.

### 7.4 Σχέδιο προστασίας των μικροδικτύων Σ.Ρ. με ασφάλειες και διακόπτες

Όπως έχουμε αναφέρει, η προστασία των μικροδικτύων Σ.Ρ. σε περίπτωση σφάλματος είναι δύσκολη λόγω της πληθώρας τοπολογιών, του γεγονότος ότι η κυματομορφή του Σ.Ρ. δεν περνάει από το μηδέν και λόγω της παρουσίας των μετατροπέων ισχύος. Στα μικροδίκτυα Σ.Ρ., τα εξαρτήματα προστατεύονται χρησιμοποιώντας ασφάλειες και διακόπτες. Οι ασφάλειες τοποθετούνται σε σειρά με τα εξαρτήματα και σε απομακρυσμένη θέση από τη πλευρά του δικτύου. Σε περίπτωση προσωρινού σφάλματος οι ασφάλειες δεν πρέπει να λειώσουν και η γρήγορη λειτουργία του διακόπτη αφαιρεί το σφάλμα που προκύπτει στη πλευρά του δικτύου. Επιτρέπει δηλαδή στο σφάλμα να απομακρυνθεί μόνο του. Στις περιπτώσεις που υπάρξει συνεχόμενο σφάλμα, η ασφάλεια είναι αυτή που πρέπει να απομακρύνει το σφάλμα λειώνοντας, πριν ενεργοποιηθεί ο διακόπτης, ούτως ώστε να αποφευχθεί η διακοπή των φορτίων μεταξύ του διακόπτη και της ασφάλειας. Αυτή η μέθοδος προστασίας είναι τοπική και δεν χρειάζεται συνδέσμους επικοινωνίας και μπορεί να εφαρμοστεί και σε ψηφιακές και σε πιο κλασικές συσκευές. Επίσης, ο κακός συντονισμός μεταξύ των συσκευών προστασίας προκαλεί προσωρινή διακοπή τάσης και πτώση τάσης. Αυτό καθιστά το ζήτημα του συντονισμού μεταξύ των συσκευών προστασίας να είναι αναγκαίο, σύμφωνα με το [38].

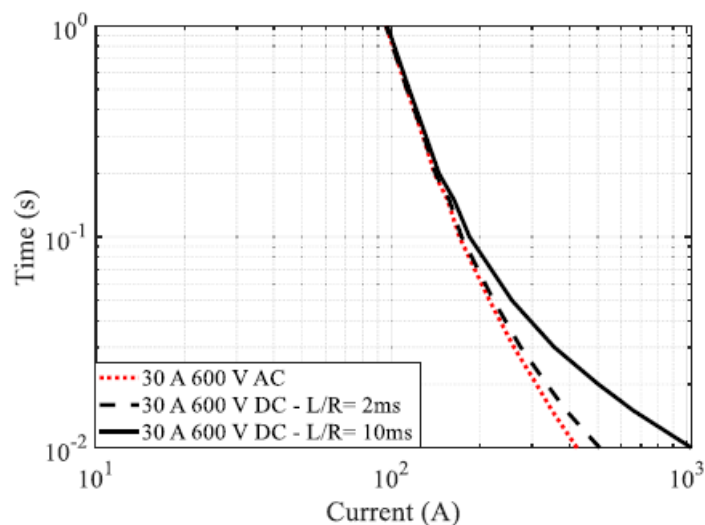
#### 7.4.1. Υπολογισμός σφάλματος σε ασφάλειες Σ.Ρ. και διακόπτες

Η συμπεριφορά ενός συστήματος Σ.Ρ. κατά τη διάρκεια σφάλματος σε αυτό, μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρία στάδια:

- Αποφόρτιση πυκνωτή
- Conducting freewheeling diode
- Ρεύμα από τον μετατροπέα

Αμέσως μετά την ύπαρξη σφάλματος, οι πυκνωτές των μετατροπέων αρχίζουν να εγχέουν υψηλό ρεύμα στο σημείο σφάλματος. Μετά από 1-2 msec. οι πυκνωτές αποφορτίζονται πλήρως και τότε ξεκινάει το δεύτερο στάδιο. Στο δεύτερο στάδιο, το ισοδύναμο κύκλωμα του συστήματος θα είναι ένα ωμικοεπαγωγικό κύκλωμα. Συνεπώς, λόγω του μεγάλου χρόνου που χρειάζεται για να λειώσει η ασφάλεια Σ.Ρ. συγκριτικά με τη λειτουργία του διακόπτη, τη καμπύλη λειτουργίας των διακοπών και των ασφαλειών Σ.Ρ. μπορούν να προσδιοριστούν κατά το πρώτο και το δεύτερο στάδιο αντίστοιχα.

Για την επιλογή μιας ασφάλειας Σ.Ρ. το δύσκολο σκέλος είναι να βρεθεί ο χρόνος λειτουργίας βάσει των χαρακτηριστικών του σφάλματος. Για να καθοριστεί ο χρόνος λειτουργίας, διότι η αύξηση του σφάλματος βασίζεται στο  $L/R$ , ο σταθερός χρόνος, οι επαγωγές του συστήματος και το τόξο έχουν σημαντικές διαφορές. Στα συστήματα Σ.Ρ. για το λόγο ότι το ρεύμα σφάλματος απαιτεί περισσότερο χρόνο για να φτάσει τη τιμή της σταθερής κατάστασης, η ασφάλεια Σ.Ρ. χρειάζεται περισσότερο χρόνο να αισθανθεί το ρεύμα σφάλματος. Για παράδειγμα, σε ένα μικροδίκτυο Σ.Ρ. με  $L/R$  μικρότερο από 10 msec. η καμπύλη ασφάλειας Σ.Ρ. είναι ίδια με τη καμπύλη λειτουργίας των ασφαλειών Ε.Ρ., αλλά σε υψηλότερο τμήμα της καμπύλης ρεύματος έχει κάποιες μικρές διαφορές. Για  $L/R$  υψηλότερο των 10 msec., υπάρχει μια αργή απομόνωση του σφάλματος από τις ασφάλειες, λόγω της αργής αύξησης του ρεύματος σφάλματος. Η επίπτωση του  $L/R$  στη λειτουργία των ασφαλειών Σ.Ρ. συγκριτικά με τις ασφάλειες Ε.Ρ. απεικονίζεται στην εικόνα 6.



Εικόνα 26: Επίδραση του παράγοντα  $L/R$  στις καμπύλες των ασφαλειών.

Βάσει αυτής της εικόνας, για εξάρτημα με χαμηλή τιμή  $L/R$ , μπορεί να χρησιμοποιηθεί η χαρακτηριστική καμπύλη της ασφάλειας Ε.Ρ. για ασφάλειες Σ.Ρ. Για παράδειγμα, η τιμή του  $L/R$  για μεταρίες είναι περίπου 2 msec.

Βασιζόμενοι στη διαφορά μεταξύ των ασφαλειών Σ.Ρ. και Ε.Ρ., η χαρακτηριστική καμπύλη της ασφάλειας Σ.Ρ. θα πρέπει να οριστεί υπό τον όρο  $L/R$ . Κατά την εκδήλωση σφάλματος σε ένα σύστημα Σ.Ρ., η γραμμή του Σ.Ρ. μπορεί να αντιστοιχηθεί από ένα ωμικοεπαγωγικό κύκλωμα. Συνεπώς, το σφάλμα ρεύματος μπορεί να οριστεί από τον τύπο:

$$I_i = I_f(1 - e^{-n})(1),$$

όπου  $I_i$  είναι το στιγμιαίο ρεύμα,  $n$  ο αριθμός της σταθεράς χρόνου και  $I_f$  το ρεύμα σφάλματος και είναι καθορισμένο από την αρχική τιμή της τάσης  $V$  και της αντίστασης και για τον λόγο αυτό το προκύπτει από το  $V/R$ .

Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

Η επίδραση της θερμότητας στις ασφάλειες Σ.Ρ. κατά το λειώσιμό του, υπολογίζεται από τη τιμή του (1):

$$I_{rms} = \left( \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt \right)^{0,5} \quad (2),$$

Όπου  $T$  είναι η περίοδος. Αντικαθιστώντας το (1) στο (2) το  $I_{rms}$  παίρνει την εξής μορφή:

$$I_{rms} = I_f \left( 1 + 2 \frac{e^{-n}}{n} - \frac{e^{-2n}}{2n} - \frac{1,5}{n} \right)^{0,5} \quad (3),$$

και η τιμή του  $n$  είναι  $tR/L$ .

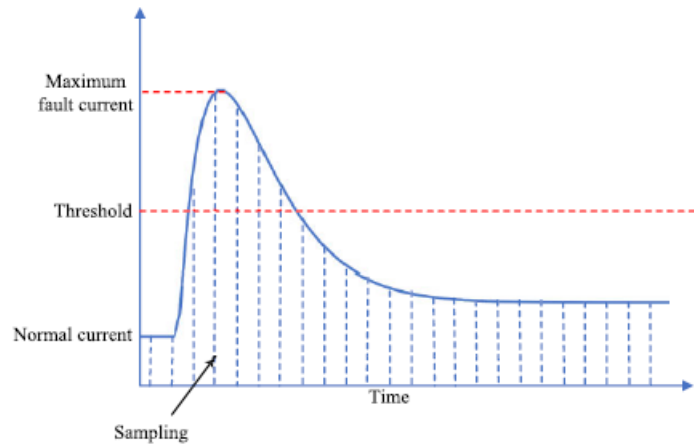
Βάσει του (3), η χαρακτηριστική καμπύλη των ασφαλειών Σ.Ρ. μπορεί να παρουσιαστεί από τον εξής τύπο:

$$\log(tfuse) = a \log \left\{ \frac{IDCfuse}{\left( 1 + 2L \frac{e^{-\frac{tR}{L}}}{tR} - L \frac{e^{-\frac{2tR}{L}}}{2tR} - L \frac{1,5}{tR} \right)^{0,5}} \right\} tb \quad (4),$$

Όπου  $IDCfuse$  είναι το ρεύμα σφάλματος που περνά από την ασφάλεια Σ.Ρ. Συνεπώς η (4) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χαρακτηριστική καμπύλη της ασφάλειας Σ.Ρ.

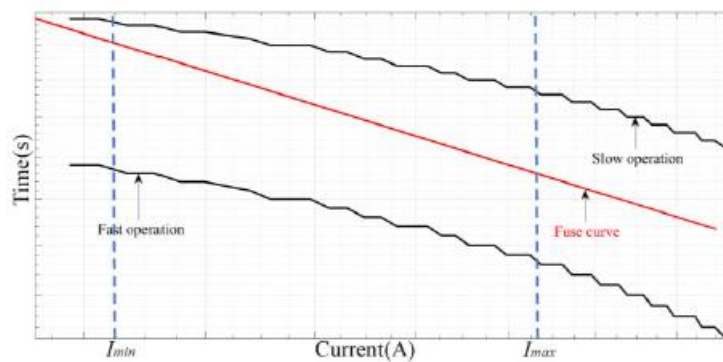
#### 7.4.2. Προτεινόμενη προστασία και συντονισμός για διακόπτες και ασφάλειες

Όταν προκύπτει ένα σφάλμα σε ένα μικροδίκτυο Σ.Ρ. οι IGBT διακόπτες των μετατροπέων μπλοκάρουν και αφήνουν τις αντιπαράλληλες διόδους, αυτές δηλαδή που είναι συνδεδεμένες παράλληλα μεταξύ τους αλλά με τις πολικότητές τους αναστραμμένες, εκτεθειμένες στο ρεύμα σφάλματος. Αυτό σημαίνει ότι κατά το σφάλμα και τη πτώση τάσης, το ρεύμα περνά από τις διόδους και δεν μπορεί να περιοριστεί. Ωστόσο, το τυπικό ρεύμα σφάλματος των διόδων είναι υψηλό αλλά το θερμικό όριο των διόδων, το οποίο καθορίζεται από το  $I^2 t$ , θα πρέπει να συνυπολογιστεί κατά την επιλογή των ασφαλειών. Έπειτα, οι πυκνωτές των μετατροπέων αρχίζουν να εκφορτίζονται μέσω των γραμμών. Κατά το στάδιο εκφόρτισης του πυκνωτή, το ρεύμα σφάλματος παρουσιάζεται στην εικόνα 7.



Εικόνα 27: Συμπεριφορά ρεύματος σφάλματος σε περίπτωση εκδήλωσης σφάλματος.

Στην εικόνα 8, παρουσιάζεται η καμπύλη του διακόπτη η οποία είναι μια αντίστροφη καμπύλη χρόνου – ρεύματος.



Εικόνα 28: Η χαρακτηριστική καμπύλη της αντίστροφης σταθεράς χρόνου του προτεινόμενου διακόπτη.

Η καμπύλη της γρήγορης λειτουργίας του διακόπτη είναι υπεύθυνη για τα προσωρινά σφάλματα και πρέπει να βρίσκεται κάτω από την χαρακτηριστική καμπύλη της ασφάλειας. Επίσης, η καμπύλη της αργής λειτουργίας του διακόπτη, η οποία προσδιορίζει τα μόνιμα σφάλματα, πρέπει να είναι πάνω από τη καμπύλη της γρήγορης λειτουργίας με μία χρονική καθυστέρηση. Η προτεινόμενη καμπύλη, σύμφωνα με το [38], απεικονίζεται στην εικόνα 8. Για να καθοριστεί μια γενική εξίσωση για το μέγιστο ρεύμα σφάλματος και του αντίστοιχου χρόνου του, τα δεδομένα για το μέγιστο ρεύμα σφάλματος κι του αντίστοιχου χρόνου του υπολογίζονται από δύο εκθετικούς όρους:

$$t_{max} = Ae^{-DI_{settings}} + Ce^{-DI_{settings}} \quad (5),$$

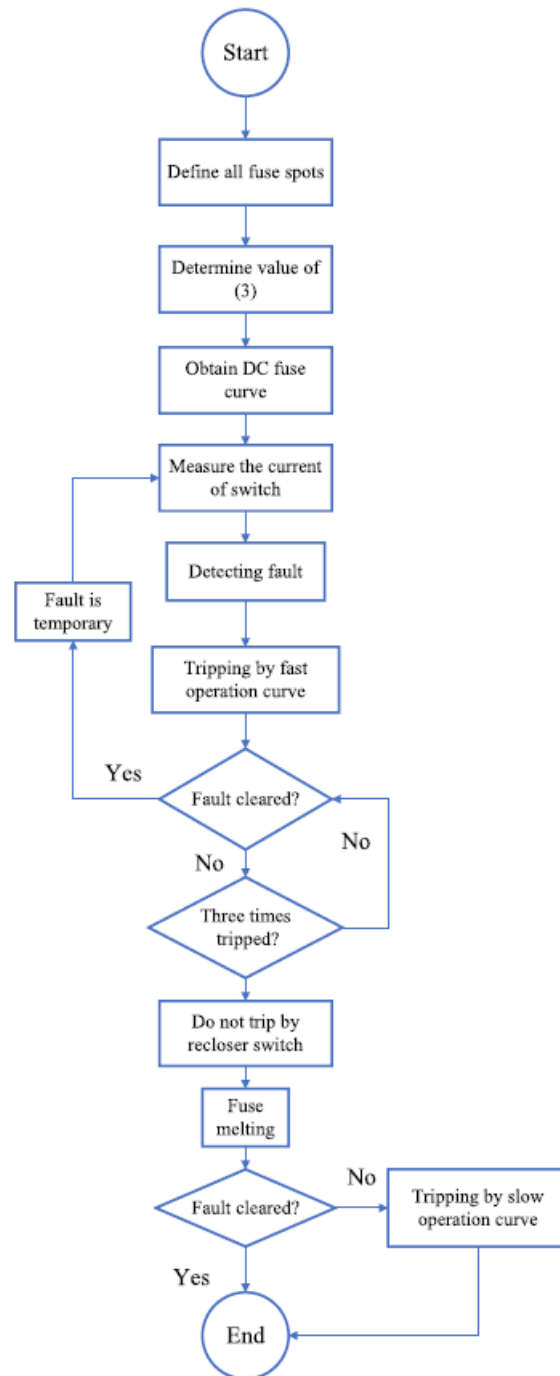
όπου A, B, C, D οι σταθερές του διακόπτη. Η χαρακτηριστική καμπύλη της ασφάλειας θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των δύο προαναφερόμενων καμπυλών. Μετά τον εντοπισμό του σφάλματος

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

που προκλήθηκε από το ρεύμα σφάλματος, ο διακόπτης θα κόψει τη τροφοδοσία και μετά από συγκεκριμένη καθυστέρηση, αν το σφάλμα καθαριστεί, το σύστημα θα επανέλθει στη φυσιολογική του λειτουργία. Αν όμως το σφάλμα δεν εκκαθαριστεί από το σύστημα, ο διακόπτης ενεργοποιείται ξανά.

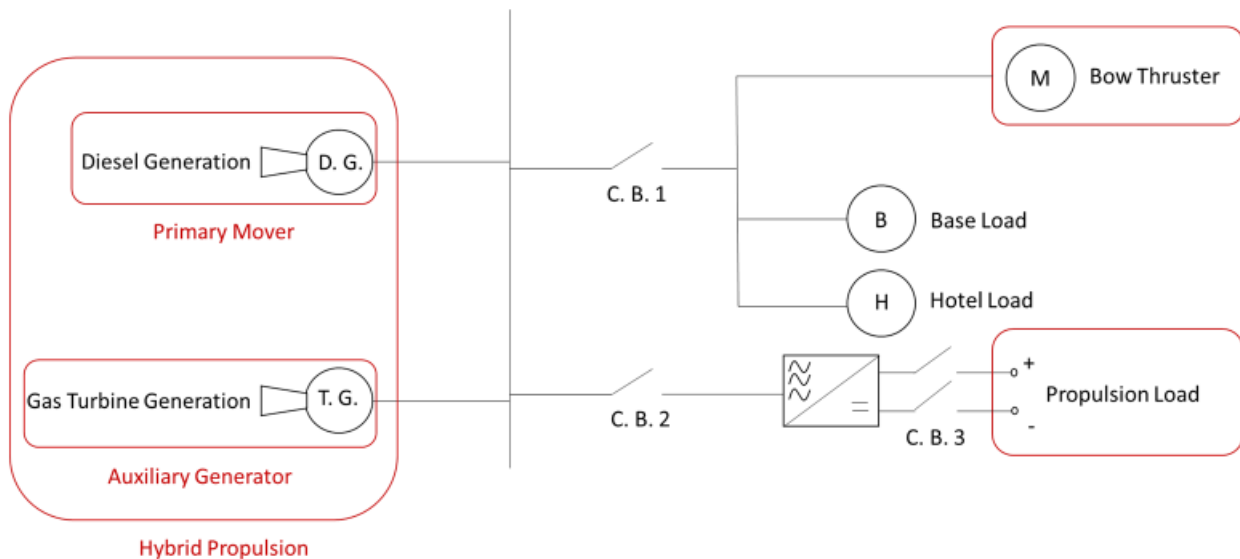
Το διάγραμμα ροής της προτεινόμενης αυτής μεθόδου απεικονίζεται στην εικόνα 9. Συνεπώς, υπολογίζοντας τα χαρακτηριστικά του μικροδικτύου Σ.Ρ., την υψηλή αύξηση του ρεύματος σφάλματος και τη χαμηλή ανεκτικότητα των εξαρτημάτων Σ.Ρ. σε υψηλά ρεύματα σφάλματος, το προτεινόμενο σχήμα υποδεικνύει ότι εκκαθαρίζει και τα προσωρινά και τα μόνιμα σφάλματα στον ελάχιστο δυνατό χρόνο.

Κατά τη μέθοδο αυτή, θα πρέπει να αναγνωριστούν δύο καθυστερήσεις για να ρυθμιστεί ο αργός χρόνος λειτουργίας του διακόπτη με την ασφάλεια. Όλοι οι αγωγοί ενός μικροδικτύου Σ.Ρ. έχουν ένα θερμικό περιορισμό, ο οποίος παρουσιάζεται από τη καμπύλη  $I^2t$ . Συνεπώς, σύμφωνα με το [38], η αργή λειτουργία του διακόπτη θα πρέπει να είναι κάτω από τη καμπύλη του θερμικού ορίου. Όμως η χαρακτηριστική καμπύλη της ασφάλειας θα πρέπει να είναι μεταξύ των δύο αυτών καμπυλών. Έτσι, η καθυστέρηση μεταξύ της αργής και της γρήγορης καθυστέρησης συμβολίζεται με  $\tau$ . Οι τιμές  $a, b$  της (4) θα πρέπει να υπολογιστούν μέσω των καμπυλών.



Εικόνα 2912: Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης μεθόδου.

## 8. Υπό μελέτη κύκλωμα



Εικόνα 30: Αρχιτεκτονική του μικροδικτύου του πλοίου της προσομοίωσης.

### 8.1 Επεξήγηση λειτουργίας πετρελαιοκινητήρα μαζί με αεροστρόβιλο

Σύμφωνα με το [39], λόγω της άριστης θερμικής τους απόδοσης, της αξιοπιστίας και της υψηλής διαθεσιμότητάς τους, οι πετρελαιοκινητήρες έχουν γίνει οι πλέον προτιμώμενοι κύριοι κινητήρες σε πλοία. Οι πετρελαιοκινητήρες, μπορούν να ρυθμιστούν γρήγορα, συνήθως σε λιγότερο από δώδεκα μήνες, για να παράγουν εκατοντάδες μεγαβάτ ενέργειας. Ένα άλλο πλεονέκτημα των πετρελαιοκινητήρων είναι ότι μπορούν να κινούνται έχοντας ως καύσιμο βαρύ πετρέλαιο, ένα σχετικά φθινό προϊόν των δυλιστηρίων πετρελαίου. Οι πετρελαιοκινητήρες είναι επίσης κατάλληλοι για την καύση του φυσικού αερίου και των βιοκαυσίμων είτε σε καθαρή μορφή είτε σε ανάμιξη με καύσιμα πετρελαίου. Η διάταξη του πετρελαιοκινητήρα και του αεροστροβίλου επιτρέπει τη λειτουργία του πετρελαιοκινητήρα και του αεροστροβίλου ανεξάρτητα, παρέχοντας στο σύστημα μεγάλη ευελιξία κατά τη λειτουργία. Η ευελιξία των καυσίμων των πετρελαιοκινητήρων και του αεροστροβίλου τους επιτρέπει να τροφοδοτούνται με καύσιμο το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο ή τα ανανεώσιμα βιοκαύσιμα.



## 8.2 Επεξήγηση των εξαρτημάτων

### 8.2.1 Σύγχρονοι και ασύγχρονοι κινητήρες

Στο κύκλωμα που θα μελετηθεί, το bow thruster είναι ένας ασύγχρονος κινητήρας. Οι κινητήρες αυτοί, σύμφωνα με το [40], αποτελούνται από δύο τυλίγματα Ε.Ρ., ένα στον στάτη και ένα στον δρομέα. Το είδος αυτό κινητήρα παράγει μη μηδενική μέση ροπή σε οποιαδήποτε ταχύτητα εκτός από τη σύγχρονη ταχύτητα. Το τύλιγμα του στάτη, είναι γνωστό και ως τύλιγμα τυμπάνου. Το τύλιγμα αυτό, στη περίπτωση του τριφασικού κινητήρα αποτελείται από τρία όμοια διανεμημένα μονοφασικά τυλίγματα, μετατιθέμενα στο χώρο κατά 120 μοίρες. Ο αριθμός των πόλων αυτών για δεδομένη συχνότητα τροφοδοσίας καθορίζει τις ονομαστικές στροφές του κινητήρα. Ανάλογα με τις τάσεις τροφοδοσίας και τον τύπο του κινητήρα, τα τυλίγματα του στάτη συνδέονται είτε σε αστέρα είτε σε τρίγωνο. Το τύλιγμα του δρομέα είναι βραχυκυκλωμένο και τροφοδοτείται έμμεσα με Ε.Ρ. από τον στάτη λόγω επαγωγής.

Για το λόγο ότι για τη λειτουργία του ασύγχρονου κινητήρα απαιτείται η τροφοδότηση με εναλλασσόμενη τάση μόνο του ενός από τα δύο τυλίγματα και συγκεκριμένα του τυλίγματος του στάτη, ο κινητήρας αυτός μπορεί να χαρακτηριστεί και σαν κινητήρας απλής τροφοδοσίας. Το ρεύμα διέγερσης, που απαιτείται για τη δημιουργία της συνισταμένης μαγνητικής ροής στο διάκενο της μηχανής, είναι περίπου το 40% του ονομαστικού ρεύματος, λόγω της σημαντικά αυξημένης μαγνητικής αντίστασης που εισάγεται από την ύπαρξη του διακένου. Επειδή είναι κινητήρας απλής τροφοδότησης, το ρεύμα διέγερσης που απαιτείται για τη λειτουργία του, το απορροφά από το δίκτυο του Ε.Ρ. Έτσι, ο ασύγχρονος κινητήρας λειτουργεί πάντα με συντελεστή ισχύος μικρότερο από τη μονάδα λόγω της απορρόφησης επαγωγικής άεργης ισχύος και για το λόγο αυτό σε κινητήρες μεσαίας και μεγάλης ισχύος είναι επιτακτική η χρήση τοπικών μονάδων αντιστάθμισης, ή αλλιώς πυκνωτών για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες διακρίνονται σε κινητήρες δρομέα ή δακτυλιοφόροι και σε κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα ή τύπου κλωβού, που σαν τον τελευταίο είναι και το bow thruster που χρησιμοποιείται στη προσομοίωση.

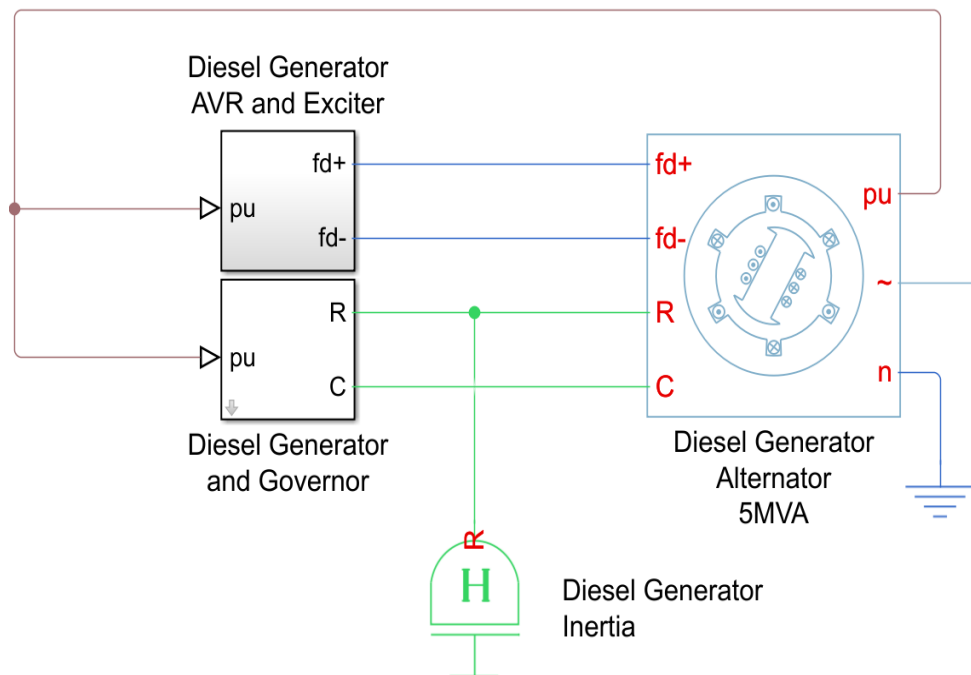
Στους κινητήρες τύπου κλωβού λοιπόν, το τύλιγμα του δρομέα αποτελείται από χάλκινες ή αλουμινένιες μπάρες, τοποθετημένες κατά μήκος των αυλακώσεων οι οποίες βραχυκυκλώνονται περιμετρικά στα δύο άκρα μέσω κατάλληλων δακτυλίων.

Όσον αφορά τον πετρελαιοκινητήρα και τον αεροστρόβιλο, που αποτελούν τις κύριες προωθητήριες κινητήριες μονάδες της προσομοίωσης, αναπαρίστανται ως σύγχρονες μηχανές. Σε αντίθεση με την ασύγχρονη μηχανή, η σύγχρονη μηχανή είναι διπλής τροφοδοσίας. Το τύλιγμα τυμπάνου είναι απόλυτα όμοιο με εκείνο των μηχανών επαγωγής, βρίσκεται συνήθως στο στάτη και είναι τριφασικό διανεμημένο τύλιγμα. Το τύλιγμα του δρομέα είναι γνωστό και ως τύλιγμα διέγερσης, είναι ένα τύλιγμα Σ.Ρ. και ανάλογα τον αριθμό των πόλων μπορεί να είναι διανεμημένο ή συγκεντρωμένο.

Ανάλογα με τον αριθμό των πόλων, οι σύγχρονες μηχανές διακρίνονται στις μηχανές κυλινδρικού δρομέα και με αυτό τον τύπο αναπαρίσταται ο αεροστρόβιλος και σε μηχανές με έκτυπους πόλους. Ο πετρελαιοκινητήρας που χρησιμοποιείται είναι μία μηχανή με έκτυπους πόλους. Οι μηχανές

κυλινδρικού δρομέα είναι πολύστροφες μηχανές και συνήθως είναι διπολικές ή τετραπολικές. Από την άλλη μεριά, οι αργόστροφες μηχανές είναι έκτυπων πόλων και για το λόγο αυτό οι σύγχρονες μηχανές άνω των τεσσάρων πόλων κατασκευάζονται με έκτυπους πόλους. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των σύγχρονων μηχανών, ανεξάρτητα από το είδος λειτουργίας ως κινητήρας ή γεννήτρια και τις συνθήκες φόρτισης, είναι ότι στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας στρέφεται πάντα με σταθερό αριθμό στροφών.

### 8.2.2 Πετρελαιοκινητήρας



Ο κινητήρας ντίζελ που υπάρχει σε ένα πλοίο είναι η κύρια μονάδα που του δίνει κίνηση. Είναι αυτός που με τη καύση του πετρελαίου δίνει πρόωση στο πλοίο. Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται ο κινητήρας ντίζελ που θα χρησιμοποιηθεί για τη προσομοίωση καθώς και άλλα εξαρτήματα που θα εξηγηθούν.

Όσον αφορά τη γεννήτρια, είναι μία σύγχρονη μηχανή με παραμετροποιημένο ρότορα έκτυπου πόλου, χρησιμοποιώντας στάνταρ ανά μονάδες παραμέτρους. Για προσομοίωση, παροδικές τιμές των παραμέτρων μετατρέπονται σε βασικές ανά μονάδα παραμέτρους που βασίζονται σε κλασικούς ορισμούς.

Το τύλιγμα τυμπάνου των μηχανών με έκτυπους πόλους, είναι κατασκευαστικά το ίδιο με εκείνο των μηχανών με ομοιόμορφο διάκενο. Οι έκτυποι πόλοι εισάγουν μια ανομοιομορφία στο διάκενο, με αποτέλεσμα η μαγνητική αντίσταση του κυκλώματος να μην είναι πλέον σταθερή γύρω από την περιφέρεια του διακένου. Η μικρότερη τιμή της μαγνητικής αντίστασης, θα εμφανίζεται στους άξονες των μαγνητικών πόλων και η μεγαλύτερη τιμή της μαγνητικής αντίστασης στους άξονες μεταξύ δύο διαδοχικών πόλων, [41].

Όσον αφορά τις αντιδράσεις, σύμφωνα επίσης με το [41],  $x_d$  είναι η σύγχρονη αντίδραση ορθού

άξονα, δηλαδή ο λόγος της θεμελιώδους συνιστώσας της τάσης αντίδρασης τυμπάνου λόγω της θεμελιώδους συνιστώσας ορθού άξονα του ρεύματος τυμπάνου και  $x_q$  η σύγχρονη αντίδραση εγκάρσιου ή κατακόρυφου άξονα, δηλαδή ο λόγος της θεμελιώδους συνιστώσας της τάσης αντίδρασης τυμπάνου λόγω της θεμελιώδους συνιστώσας εγκάρσιου άξονα του ρεύματος τυμπάνου, στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και για ονομαστική συχνότητα.

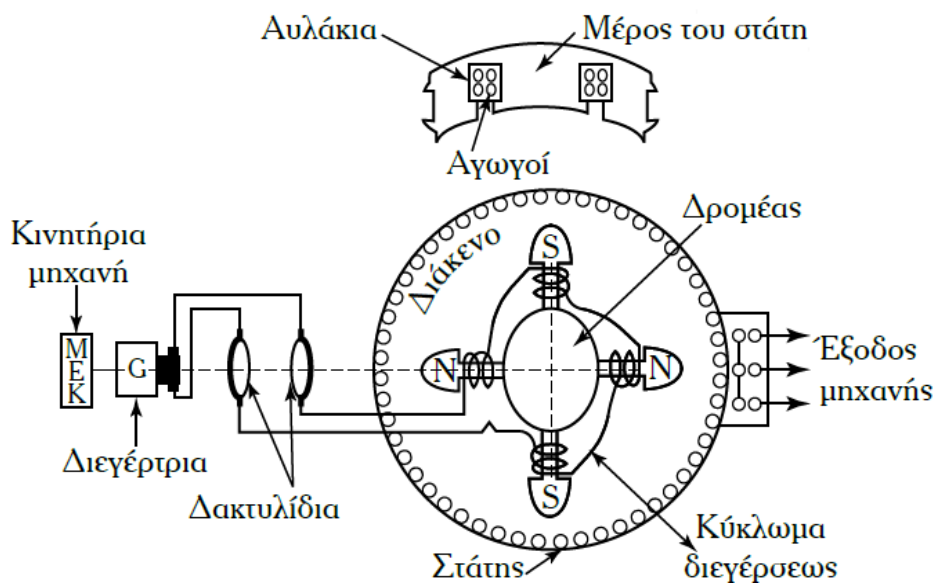
$$E_A = E_d + E_q$$

$$E_d = -jx * I_d$$

$$E_q = -jx * I_q$$

Ανεξάρτητα από το είδος της λειτουργίας της σύγχρονης μηχανής ως κινητήρας ή γεννήτρια και τις συνθήκες φόρτισης, στρέφεται πάντα με σταθερό αριθμό στροφών (σύγχρονο αριθμό στροφών που εξαρτώνται από τον αριθμό των μαγνητικών πόλων των τυλιγμάτων και από τη συχνότητα των ρευμάτων του τυλίγματος τυμπάνου).

Το βασικό πλεονέκτημα της σύγχρονης γεννήτριας είναι η εύκολη ρύθμιση της ενεργού και της άεργης ισχύος.



Εικόνα 31: Σχηματική παράσταση σύγχρονης γεννήτριας με έκτυπους πόλους.

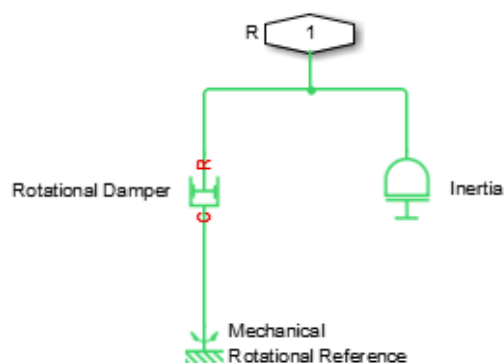
### 8.2.2.1 Παράμετροι σύγχρονης μηχανής

Σχετικά με τις παραμέτρους της σύγχρονης μηχανής, χωρίζονται στη κύρια, στις σύνθετες αντιστάσεις, στη σταθερά του χρόνου, στον κορεσμό και στην αρχική κατάσταση.

Πετρελαιοκινητήρας 5 MVA	
Όνομαστική φαινομενική ισχύ ( VA )	5000000
Όνομαστική τάση ( V )	4160
Όνομαστική συχνότητα ( Hz )	50
Αριθμός ζεύγων πόλων	4
Πεδίο ρεύματος κυκλώματος ( A )	50
Πεδίο τάσης κυκλώματος ( V )	216.54
Σταθερή αδράνεια, H ( sW / VA )	3.525
Πραγματική αδράνεια, J ( kg * m <sup>2</sup> )	27548

### 8.2.3 Αδράνεια κινητήρα ντίτζελ

Το μπλοκ αδρανείας μηχανών διαμορφώνει την αδράνεια και την απόσβεση που συνδέετε στη μηχανική περιστροφική θύρα R μιας τριφασικής μηχανής. Το μπλοκ έχει μια εσωτερική σύνδεση με μια μηχανική αναφορά περιστροφής. Το σχήμα δείχνει μια ισοδύναμη διαμόρφωση με το μπλοκ μηχανικής αδράνειας χρησιμοποιώντας μηχανικά στοιχεία περιστροφής Simscape™. Η αδράνεια της μηχανής μπορεί να εισαχθεί απευθείας ή να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τη σταθερή αδράνεια της μηχανής.



### 8.2.4 Αεροστρόβιλος

#### 8.2.4.1 Γενικά

Ως ένας αντιπροσωπευτικός ορισμός για τους αεροστρόβιλους σύμφωνα με το [42], μπορεί να χαρακτηριστεί ότι αεροστρόβιλος είναι ένας τροχός που απορροφά κινητική ενέργεια από ένα ρευστό. Με αυτόν τον ορισμό καλύπτεται ένα ευρύ φάσμα, από τους ανεμόμυλους μέχρι τους υπερσύγχρονους αεροστρόβιλους.

Σύμφωνα με το [43], οι αεροστρόβιλοι είναι εξαιρετικά πυκνοί, επιτρέποντας την τοποθέτηση

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

σημαντικών ποσοτήτων ισχύος σε μικρούς χώρους και ως εκ τούτου έχουν επιλεγεί για τη τροφοδοσία των σκαφών αναψυχής, των υδροπτερυγών, των ναυτικών σκαφών και των αιωροπτερών.

Για την παραγωγή ωφέλιμου μηχανικού έργου, υπάρχει και η εμβολοφόρος μηχανή εσωτερικής καύσης, έναντι της οποίας ο στρόβιλος παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα όπως:

- Η συμπαγής κατασκευή του.
- Η περιστροφική μορφή της ισχύος εξόδου του είναι αμέσως χρησιμοποιήσιμη για τη κίνηση μιας έλικας.

Λόγω της ομαλής συνέχειας της ροής του ρευστού και της περιστροφής, το οποίο προκαλείται από τη συμπαγή κατασκευή του στρόβιλου, το βάρος ανά ίππο παραγόμενης ισχύος είναι πολύ μικρότερο σε αυτούς. Παρόλα αυτά, για τη μετάδοση της κίνησης από τον στρόβιλο στην έλικα είναι επιτακτική η χρήση μειωτήρα. Για τον λόγο αυτό, ο αεροστρόβιλος αποτελεί τη λύση σε αυτό το πρόβλημα καθώς συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του στρόβιλου και του πετρελαιοκινητήρα.

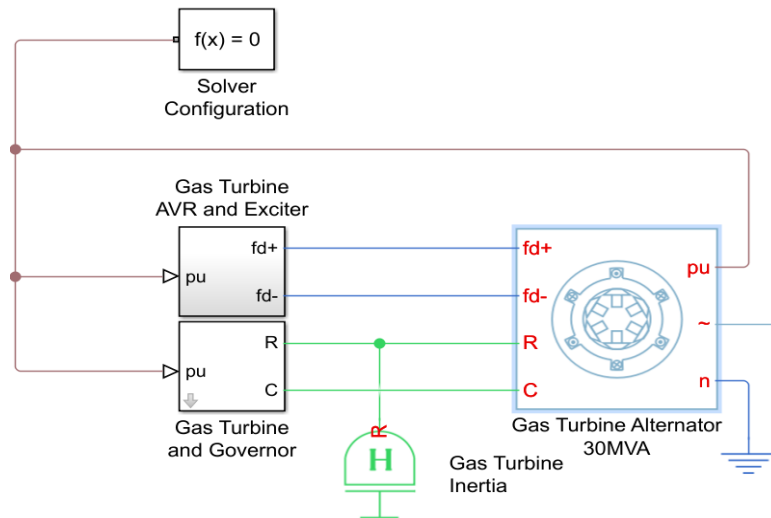
Στη παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένας αεροστρόβιλος πλοίου:



*Εικόνα 32: Αεροστρόβιλος πλοίου.*

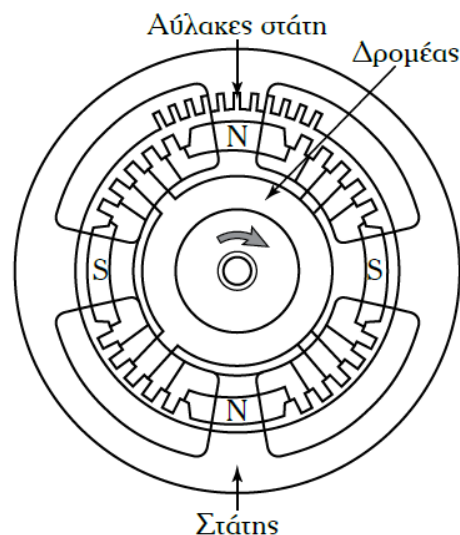
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται ο αεροστρόβιλος που θα χρησιμοποιηθεί για τη προσομοίωση καθώς και άλλα εξαρτήματα που θα εξηγηθούν.



Όσον αφορά τον αεροστρόβιλο, είναι μία σύγχρονη μηχανή με παραμετροποιημένο περιστρεφόμενο κυλινδρικό δρομέα χρησιμοποιώντας τις τυπικές ανά μονάδα παραμέτρους. Για την προσομοίωση, οι παροδικές τιμές των παραμέτρων μετατρέπονται σε βασικές παραμέτρους ανά μονάδα που βασίζονται σε κλασσικούς ορισμούς.

Σε αντίθεση με τις ασύγχρονες μηχανές, στις σύγχρονες μηχανές η ολίσθηση του δρομέα είναι μηδενική. Δηλαδή, το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο στο διάκενο της μηχανής και ο δρομέας, στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, στρέφονται με την ίδια ταχύτητα. Οι σύγχρονες μηχανές, χρησιμοποιούνται κυρίως ως γεννήτριες και λιγότερο ως κινητήρες.



Εικόνα 33: Δρομέας και στάτης γεννήτριας με κυλινδρικό δρομέα

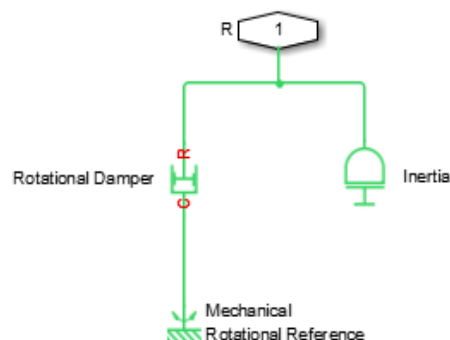
### 8.2.4.2 Παράμετροι αεροστροβίλου

Σχετικά με τις παραμέτρους της σύγχρονης μηχανής, χωρίζονται στη κύρια, στις σύνθετες αντιστάσεις, στη σταθερά του χρόνου, στον κορεσμό και στην αρχική κατάσταση.

Αεροστρόβυλος 30 MVA	
Ονομαστική φαινομενική ισχύ ( VA )	30000000
Ονομαστική τάση ( V )	4160
Ονομαστική συχνότητα ( Hz )	50
Αριθμός ζεύγων πόλων	1
Πεδίο ρεύματος κυκλώματος ( A )	200
Πεδίο τάσης κυκλώματος ( V )	92.95
Σταθερή αδράνεια, H ( sW / VA )	2.525
Πραγματική αδράνεια, J ( kg * m <sup>2</sup> )	27548

### 8.2.5 Αδράνεια αεροστροβίλου

Το μπλοκ αδρανείας μηχανών διαμορφώνει την αδράνεια και την απόσβεση που συνδέετε στη μηχανική περιστροφική θύρα R μιας τριφασικής μηχανής. Το μπλοκ έχει μια εσωτερική σύνδεση με μια μηχανική αναφορά περιστροφής. Το σχήμα δείχνει μια ισοδύναμη διαμόρφωση με το μπλοκ μηχανικής αδρανείας χρησιμοποιώντας μηχανικά στοιχεία περιστροφής Simscape™. Η αδράνεια της μηχανής μπορεί να εισαχθεί απευθείας ή να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τη σταθερή αδράνεια της μηχανής.



## 8.2.6 Bow thruster

### 8.2.6.1 Γενικά

Οι προωθητήρες πλώρης, σύμφωνα με το [44], είναι τύποι προπελών, οι οποίοι έχουν μικρότερο μέγεθος από τις τυπικές προπέλες του πλοίου και συμβάλλουν στην καλύτερη ευελιξία των πλοίων σε χαμηλότερες ταχύτητες. Χρησιμοποιούνται γενικά για ελιγμούς του πλοίου κοντά στα παράκτια ύδατα ή κατά την είσοδο ή την έξοδο από λιμάνι. Οι προωθητήρες πλώρης βοηθούν στην υποβοήθηση των ρυμουλκών για να φτάσουν στο πλοίο χωρίς να σπαταλούν χρόνο. Αυτό εξοικονομεί πολλά χρήματα για τη ναυτιλιακή εταιρεία λόγω της μικρότερης διαμονής των πλοίων στα λιμάνια. Επιπλέον, η παρουσία των προωθητήρων πλώρης σε ένα πλοίο εξαλείφει την ανάγκη δύο ρυμουλκών κατά την έξοδο και την είσοδο στο λιμάνι, και έτσι εξοικονομεί περισσότερα χρήματα.

Γενικά, οι προωθητήρες πλώρης είναι εγκάρσιοι προωθητήρες τοποθετημένοι στο εμπρόσθιο και οπίσθιο άκρο του πλοίου. Ο προωθητήρας που είναι τοποθετημένος στο εμπρόσθιο άκρο είναι γνωστός ως προωθητής πλώρης και αυτός που τοποθετείται στην πρύμνη είναι γνωστός ως προωθητήρας πρύμνης. Η απαίτηση για τον αριθμό των προωθητών που θα εγκατασταθούν εξαρτάται από το μήκος του πλοίου.

### 8.2.6.2 Κατασκευή και λειτουργία

Οι προωθητήρες πλώρης και πρύμνης τοποθετούνται στις διασταυρωμένες σήραγγες που είναι ανοικτές και στις δύο πλευρές του πλοίου. Υπάρχουν δύο τέτοιες σήραγγες - στα εμπρόσθια και οπίσθια άκρα του πλοίου. Ο προωθητής κάνει αναρρόφηση από τη μια πλευρά και το ρίχνει στην άλλη πλευρά του πλοίου, μετακινώντας έτσι το πλοίο προς την αντίθετη κατεύθυνση. Αυτό μπορεί να λειτουργήσει και στις δύο κατευθύνσεις, δηλαδή από τη αριστερή στη δεξιά πλευρά και από τη δεξιά στην αριστερή πλευρά. Οι προωθητήρες τοποθετούνται κάτω από την ενδεικτική γραμμή νερού που υπάρχει στο πλοίο και για τον λόγο αυτό, πρέπει να ελέγχεται η συσσώρευση νερού σε τακτά χρονικά διαστήματα [44].

Επιπροσθέτως, οι προωθητήρες πλώρης και πρύμνης μπορεί να είναι είτε ηλεκτρικοί, υδραυλικοί είτε ντίζελ. Ωστόσο, αυτοί που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι οι ηλεκτρικοί, καθώς οι υδραυλικοί που προωθούνται μπορεί να αντιμετωπίσουν πολλά προβλήματα διαρροής. Τέλος, όσον αφορά στους ντίζελ, το ποσό της συντήρησης που απαιτείται είναι μεγαλύτερο και κάθε φορά πριν ξεκινήσετε, κάποιος πρέπει να πάει στο δωμάτιο προωθητήρων για να ελέγξει τους προωθητήρες. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες εικόνες που γίνεται πιο σαφής ο τρόπος λειτουργίας του προωθητήρα στο πλοίο καθώς και το μέρος στο οποίο βρίσκονται πάνω στο πλοίο.





*Εικόνα 34: Παράδειγμα εφαρμογής ενός bow thruster σε πλοίο.*



*Εικόνα 35: Παράδειγμα ενός bow thruster σε πραγματικό πλοίο.*

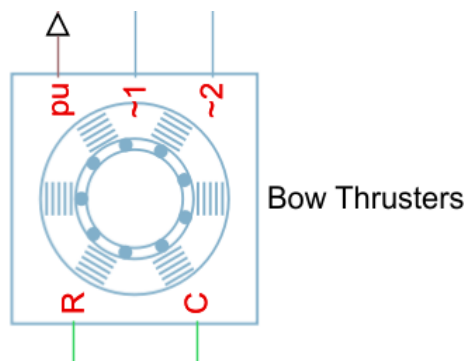
Εν κατακλείδι, όπως αναφέρει το [44], Ο προωθητήρας αποτελείται από έναν ηλεκτροκινητήρα ο οποίος είναι τοποθετημένος απευθείας επάνω του, χρησιμοποιώντας μια διάταξη με ατέρμονα γρανάζια. Ο κινητήρας λειτουργεί με σταθερή ταχύτητα και κάθε φορά που απαιτείται αλλαγή στην πρόωση ή την κατεύθυνση, ρυθμίζονται τα ελεγχόμενα περύγια pitch. Αυτά τα περύγια κινούνται και το pitch μεταβάλλεται με τη βοήθεια υδραυλικού λαδιού το οποίο κινεί το μέρος στο οποίο είναι τοποθετημένα τα περύγια. Καθώς ο προωθητήρας είναι controllable pitch type, μπορεί να λειτουργεί συνεχώς, και όταν δεν απαιτείται πρόωση, το pitch μπορεί να φτάσει στο μηδέν. Ο προωθητήρας ελέγχεται από τη γέφυρα και οι κατευθύνσεις δίνονται εξ αποστάσεως, αλλά σε περίπτωση σφάλματος ελέγχου του προωθητήρα εξ αποστάσεως, παρέχεται χειροκίνητη μέθοδος αλλαγής του pitch στο δωμάτιο προωθητήρα και μπορεί να λειτουργήσει από εκεί.

### 8.2.6.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης προωθητήρων

Στο [36], αναφέρονται ορισμένα από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα χρήσης προωθητήρων σε ένα πλοίο, τα οποία είναι αντίστοιχα η καλύτερη ευελιξία σε χαμηλές ταχύτητες, η αύξηση της ασφάλειας του πλοίου σε περίπτωση κακοκαιρίας και η εξοικονόμηση χρημάτων της εταιρίας λόγω της μείωσης της παραμονής στο λιμάνι και της λιγότερης χρήσης ρυμουλκών. Αντιθέτως, απαιτείται ένας πολύ μεγάλος επαγωγικός κινητήρας που απαιτεί πολύ ρεύμα και έχει μεγάλο ηλεκτρικό φορτίο με αποτέλεσμα να χρειάζεται χώρος για μεγάλη γεννήτρια, το κόστος εφαρμογής τους είναι υψηλό και τέλος σε περίπτωση σφάλματος ή βλάβης, η επισκευή είναι ακριβή

### 8.2.6.4 Ο προωθητήρας της προσομοίωσης

Η ασύγχρονη μηχανή περιστρεφόμενου κλωβού, υποδεικνύει μία ασύγχρονη μηχανή ρότορα περιστρεφόμενου κλωβού χρησιμοποιώντας βασικές παραμέτρους. Μια ασύγχρονη μηχανή ρότορα περιστρεφόμενου κλωβού είναι ένας τύπος επαγωγικής μηχανής. Όλες οι συνδέσεις του στάτη είναι προσβάσιμες στο μπλοκ. Επομένως, μπορεί να διαμορφωθεί καθεστώς ήπιας εκκίνησης χρησιμοποιώντας ένα διακόπτη μεταξύ της συνδεσμολογίας σε αστέρα και σε τρίγωνο.



### 8.2.6.5 Παράμετροι προωθητήρα

Σχετικά με τις παραμέτρους της σύγχρονης μηχανής, χωρίζονται στη κύρια, στις σύνθετες αντιστάσεις και στις αρχικές καταστάσεις.

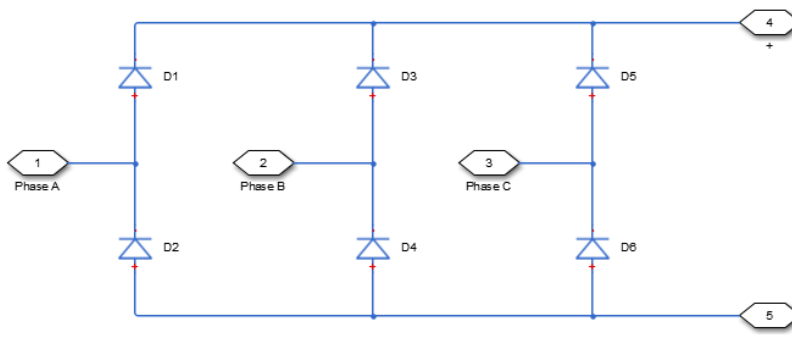
Bow Thruster 1 MVA	
Ονομαστική φαινομενική ισχύ ( VA )	1000000
Ονομαστική τάση ( V )	4160
Ονομαστική συχνότητα ( Hz )	50
Αριθμός ζεύγων πόλων	5
Πραγματική αδράνεια, J ( kg * m <sup>2</sup> )	27548

### 8.2.6.6 Αδράνεια

Το μπλοκ αδρανείας αποτυπώνει μια ιδανική μηχανική περιστροφική αδράνεια, που περιγράφεται με την ακόλουθη εξίσωση:  $T = J * ( d\omega / dt )$ .

### 8.2.7 Ανορθωτής

Πρόκειται για έναν ανορθωτή μέσης τιμής, πλήρους κύματος, έξι παλμών. Μετατρέπει τις στιγμιαίες τριφασικές τάσεις Ε.Ρ. σε τάση Σ.Ρ. Το παρακάτω σχήμα δείχνει το ισοδύναμο κύκλωμα για τον ανορθωτή ως ανορθωτή πλήρους κύματος, έξι παλμών. Το μπλοκ ανορθωτή μέσης τιμής δεν αποδίδει τις αρμονικές που συνδέονται τυπικά με τη λεπτομερή αναπαράσταση, αλλά επειδή εκτελεί μετατροπή ισχύος μέσης τιμής.



### 8.2.8 Βασικό φορτίο

Το βασικό φορτίο αποτελεί τα φορτία που πρέπει να λειτουργούν πάντοτε στο πλοίο, ακόμα και σε περίπτωση σφάλματος. Αυτά τα φορτία διακρίνονται στον φωτισμό ασφαλείας, στον πίνακα οργάνων ναυσιπλοΐας, στον πίνακα βοηθητικής πρόωσης, δηλαδή οι κινητήρες μηχανισμού πηδαλίου και στον πίνακα βοηθητικού σκάφους, δηλαδή η αντλία κύτους, η αντλία πυρκαγιάς, η βαρούλκα σωσίβιων λέμβων, η αντλία στεγανών θυρών και οι αντλίες πυρκαγιάς γκαράζ.

Βασικό φορτίο	
Τάση ( V )	4160
Φαινόμενη ισχύς ( VA )	11.500.000

### 8.2.9 Ξενοδοχειακό φορτίο

Το φορτίο αυτό απαιτείται για τη λειτουργία των συστημάτων που αφορούν τον κλιματισμό, τους υπολογιστές, τις τηλεοράσεις, τον καθαρισμό του νερού, τα ραδιόφωνα κ.α.

Ξενοδοχειακό φορτίο	
Τάση ( V )	4160
Φαινόμενη ισχύς ( VA )	6.000.000

### 8.2.10 Φορτίο πρόωσης

Το φορτίο αυτό σύμφωνα με το [5], αντλεί κυρίως ενέργεια από το σύστημα για τη πρόωση του πλοίου.

Φορτίο πρόωσης	
Τάση ( V )	4160
Φαινόμενη ισχύς ( VA )	20.000.000

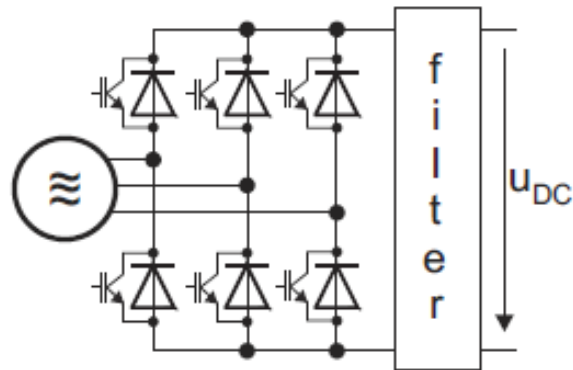
### 8.3 Εφαρμογή της προστασίας στο υπό μελέτη κύκλωμα

Στο υπό μελέτη κύκλωμα εφαρμόζεται μια ακτινική διάταξη πάνω στην οποία εφαρμόζονται C.B. τα οποία θα ενεργούν στην περίπτωση κάποιου σφάλματος, με σκοπό την αποφυγή κάποιας βλάβης στον εξοπλισμό και κυρίως την αποτροπή κάποιου τραυματισμού των ανθρώπων. Στη συνέχεια, θα γίνει εξαγωγή των κυματομορφών σε περίπτωση που το σύστημα λειτουργεί κανονικά, αλλά και σε περίπτωση που προκύψει κάποιο σφάλμα, ούτως ώστε να γίνει αντιληπτό το πώς συμπεριφέρεται το κύκλωμα.

Η προστασία του υπό μελέτη μικροδικτύου θα γίνει σύμφωνα με το [6]. Στο κείμενο αυτό, γίνεται αναφορά για το αν η χρήση του φίλτρου στη πλευρά του Σ.Ρ. είναι σημαντική ή όχι. Διότι σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, η ενέργεια που αποθηκεύεται στο φίλτρο πρέπει να διαχέεται ή να αποθηκεύεται κάπου, διότι κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος η τάση της ζεύξης θα μειωθεί σημαντικά και μετά τον μετριασμό του βραχυκυκλώματος, το ρεύμα Σ.Ρ. θα γίνει μηδενικό, τουλάχιστον για μικρό χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση μιας γέφυρας διόδων όπως φαίνεται στην εικόνα 27, η γεννήτρια θα τροφοδοτεί αναπόφευκτα το βραχυκύκλωμα εφόσον παράγει τάση. Το ρεύμα περιορίζεται μόνο από τις σχετικές αντιστάσεις της γεννήτριας. Για την εκκαθάριση του σφάλματος χρειάζονται διακόπτες από την πλευρά του Ε.Ρ. ή του Σ.Ρ. Οι διακόπτες της πλευράς Σ.Ρ. είναι άμεσα διαθέσιμοι μέχρι μια ονομαστική τάση περίπου 3 kV. Σε υψηλότερες τάσεις και κατ' επέκταση μεγάλα ρεύματα, πρόσθετα ηλεκτρονικά ισχύος μπορούν να βοηθήσουν, με αυξανόμενες

Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

όμως απώλειες και μειωμένη αξιοπιστία.

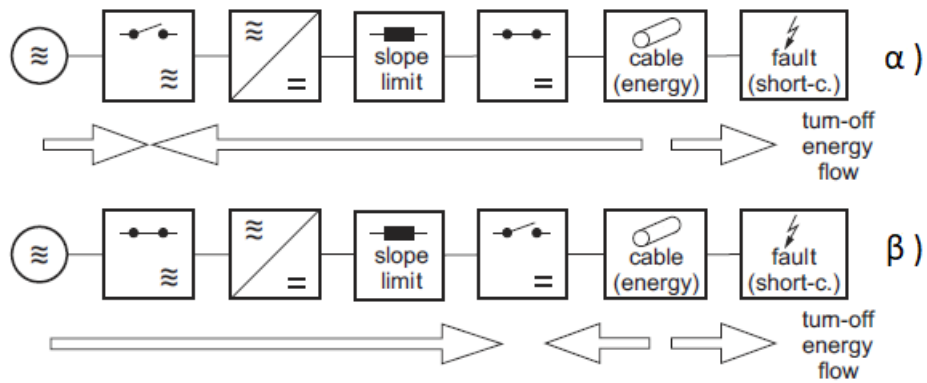


Εικόνα 36: Μη ελεγχόμενος ανορθωτής με πρόσθετους διακόπτες.

### 8.3.1 Αντίδραση βραχυκυκλώματος

Η εικόνα 28α, δίνει την αντίδραση σε περίπτωση που ένας διακόπτης Ε.Ρ. εκκαθαρίσει τη βλάβη. Η ενέργεια του συστήματος διαχέεται στο σφάλμα και στον διακόπτη Ε.Ρ. Όσο το ρεύμα ρέει, η γεννήτρια συνεχίζει να τροφοδοτεί το σύστημα. Με αυτό τον τρόπο, το ρεύμα βραχυκυκλώματος αυξάνεται περαιτέρω ή παραμένει το ίδιο μέχρις ότου ο διακόπτης Ε.Ρ. ανοίξει το κύκλωμα. Οι δίοδοι του μετατροπέα, επιβιώνουν μόνο αν ληφθούν προστατευτικά μέτρα ή εάν οι δίοδοι είναι μεγάλου μεγέθους. Εντούτοις, μπορεί να εφαρμοστεί συμβατικός διακόπτης Ε.Ρ., με πολύ μικρό χρόνο αντίδρασης.

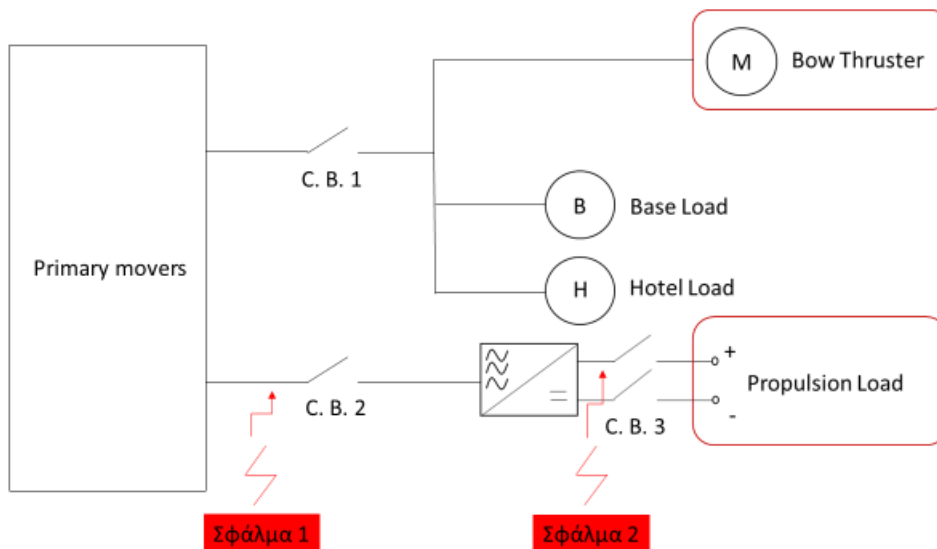
Η εικόνα 28β, δίνει την αντίδραση σε περίπτωση ενεργοποίησης του διακόπτη στο κομμάτι του Σ.Ρ. Πρέπει να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρονικά ισχύος, ενδεχομένως σε συνδυασμό με μηχανικό διακόπτη για τη μείωση των απωλειών. Αυτό δίνει την ευκαιρία για ταχύτερη αντίδραση σε σύγκριση με τους συμβατικούς μηχανικούς διακόπτες, μειώνοντας την καταπόνηση των διόδων. Σε αυτή την περίπτωση, θα μπορούσε να χρειαστεί η χρησιμοποίηση ενός περιοριστή κλίσης, διαφορετικά το ρεύμα Σ.Ρ. θα αυξηθεί γρήγορα και θα φτάσει υψηλές τιμές έως ότου να ανοίξει ο διακόπτης στο κομμάτι του Σ.Ρ. Σε αυτή τη περίπτωση επίσης, η πρόσθετη ενέργεια πρέπει να μηδενιστεί, αυτή τη φορά στον διακόπτη Σ.Ρ. και τέλος, η γεννήτρια συνεχίζει να τροφοδοτεί το σύστημα μέχρι να μειωθεί το ρεύμα στο μηδέν.



Εικόνα 37: Κύρια εξαρτήματα της μετατροπής E.P. σε Σ.P. και της ροής ενέργειας σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στο Σ.P.

### 8.3.2 Επιλογική προστασία

Στη προσομοίωση, θα εφαρμόσουμε την επιλογική προστασία. Αυτό σημαίνει πως όπου και να γίνει το σφάλμα, ο διακόπτης που βρίσκεται αμέσως μετά από αυτό να απομονώνει το συγκεκριμένο, και μόνο, μέρος του κυκλώματος που έπεται του σφάλματος. Ενώ παράλληλα, τα υπόλοιπα τμήματα του κυκλώματος να δουλεύουν κανονικά χωρίς κάποιο πρόβλημα. Στο παρακάτω σχήμα, απεικονίζονται οι θέσεις των διακοπών που θα ανοίξουν σε περίπτωση σφάλματος στο κύκλωμα.



Εικόνα 38: Θέση των διακοπών για την εκκαθάριση τυχαιού σφάλματος στο κύκλωμα.

## 8.4 Διαγράμματα / Αποτελέσματα

### 8.4.1 Επεξήγηση κυκλώματος

Κατά τη λειτουργία του πλοίου γίνονται διάφορες ενέργειες και αυτές είναι περισσότερες όταν το πλοίο εισέρχεται σε ένα λιμάνι και εξέρχεται από αυτό. Στη περίπτωση που μελετάται σε αυτή την εργασία, παρουσιάζεται η συμπεριφορά του ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου κατά την έξοδο από το λιμάνι, τη πορεία του στη θάλασσα, κατά την είσοδό του στο λιμάνι και τέλος την παραμονή του σε αυτό.

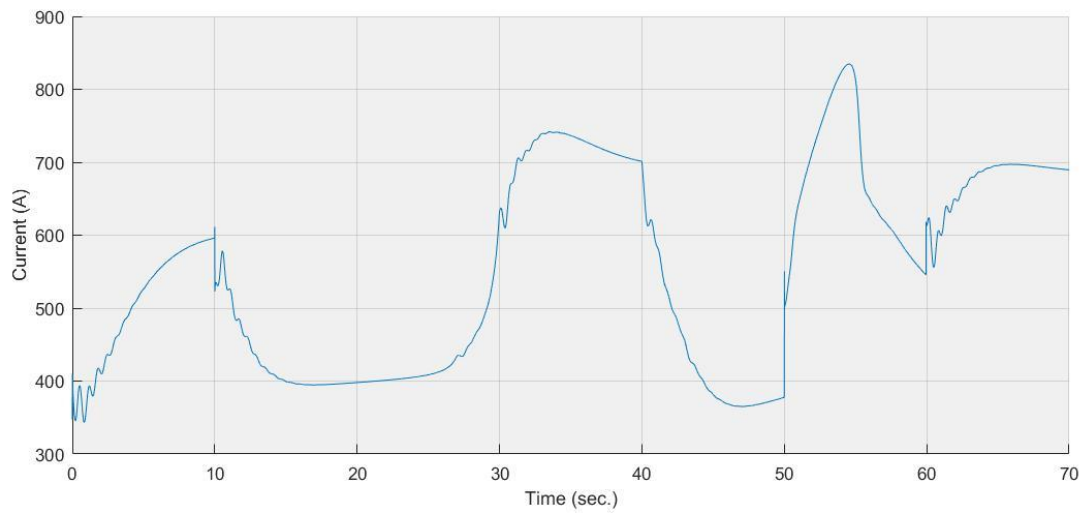
Πιο αναλυτικά, από 0 sec. μέχρι 10 sec. το πλοίο είναι δεμένο στο λιμάνι με το ξενοδοχειακό φορτίο συνδεδεμένο. Στα 10 sec. το ξενοδοχειακό φορτίο αποσυνδέεται και το πλοίο είναι έτοιμο να ξεκινήσει. Στη συνέχεια, στα 20 sec. το πλοίο αρχίζει να έχει πρόωση και η οποία σιγά σιγά ανεβαίνει έως ότου στα 30 sec. να έχουμε πλήρη ισχύ στο πλοίο η οποία διαρκεί στη προσομοίωση για 10 sec. Στα 40 sec. λοιπόν, η πρόωση αρχίζει να μειώνεται καθώς το πλοίο προσεγγίζει το λιμάνι και έχει διάρκεια 10 sec. αυτή η φάση. Έπειτα, στα 50 sec. το Bow Thruster ξεκινάει τη λειτουργία του με σκοπό το πλοίο να κάνει τις απαιτούμενες μανούβρες μέσα στο λιμάνι ώστε να πλησιάσει στον ντόκο για να δέσει. Από τα 50 sec. μέχρι τα 60 sec. το πλοίο θα δέσει στο λιμάνι και στα 60 sec. το ξενοδοχειακό φορτίο συνδέεται καθώς το πλοίο είναι ακίνητο και έτσι η προσομοίωση κλείνει μένοντας σε αυτή τη κατάσταση για άλλα 10 sec. μέχρι δηλαδή τα 70 sec. συνολικά που ήταν ο χρόνος της προσομοίωσης.

Σύμφωνα και με τα παρακάτω διαγράμματα, παρατηρείται πως η ισχύς του πετρελαιοκινητήρα κυρίως, ο οποίος και είναι η κύρια μηχανή του πλοίου, και έπειτα του αεροστροβίλου, μεταβάλλεται ανάλογα με τα φορτία. Δηλαδή, όταν στα 10 sec., αποσυνδέεται ο ξενοδοχειακό φορτίο παρατηρείται μία πτώση της ισχύος η οποία διαρκεί για 10 sec. στην προσομοίωση καθώς στα 20 sec. η πρόωση του πλοίου αυξάνεται με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η ισχύς που πρέπει να δώσει ο πετρελαιοκινητήρας και ο αεροστρόβιλος. Στα 30 sec. της προσομοίωσης, έχουμε την πιο υψηλή τιμή ισχύος καθώς τότε και για 10 sec. έχουμε πλήρη ισχύ στο πλοίο. Έπειτα, στα 40 sec. η ισχύς παρουσιάζει μία πτώση κάτι το οποίο είναι λογικό, διότι η πρόωση του πλοίου μειώνεται και αυτό ισχύει για 10 sec., ενώ στα 50 sec. που αρχίζει τη λειτουργία του το Bow Thruster και διαρκεί 10 sec., υπάρχει μια στιγμιαία απότομη αύξηση της ισχύος, διότι συνδέθηκε ένα μεγάλο φορτίο και επηρέασε το κύκλωμα. Τέλος, στα 60 sec. το ξενοδοχειακό φορτίο συνδέεται και πάλι με αποτέλεσμα να υπάρξει αύξηση της ισχύος καθώς ένα ακόμα φορτίο συνδέθηκε. Όπως για την ισχύ, έτσι ισχύει και για την τάση και το ρεύμα καθώς είναι ανάλογα.

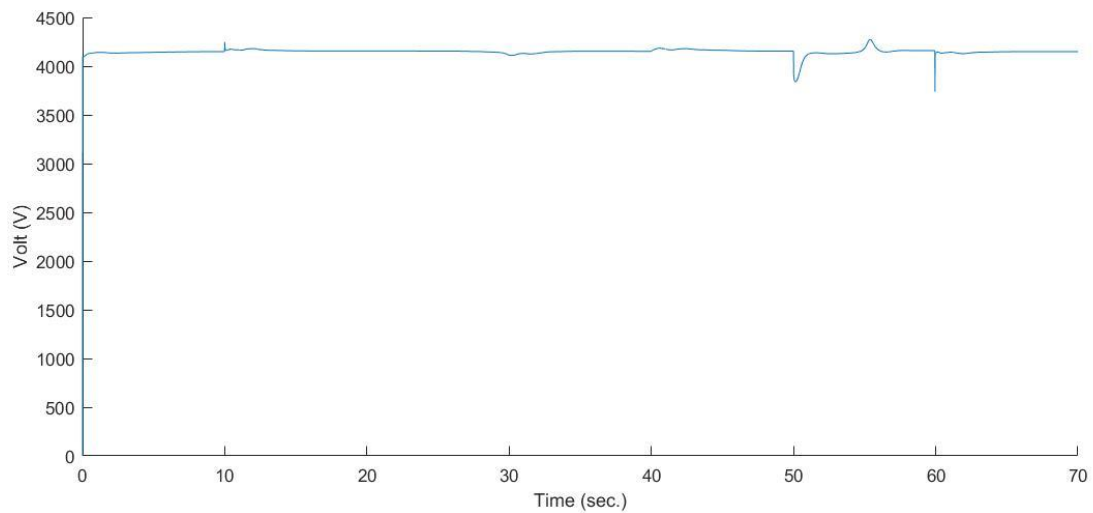
- Περίπτωση κανονικής λειτουργίας συστήματος

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι κυματομορφές ρεύματος και τάσης για όλα τα στοιχεία του κυκλώματος, συνολικά και ανά 10 sec., καθώς ανά 10 sec. έχουμε κάποια συμβάντα στο κύκλωμα, όπως περιεγράφηκαν στην ενότητα 8.4.1, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η κυματομορφή μας. Όλες οι κυματομορφές είναι στην ενεργό τιμή τους και παρουσιάζονται έτσι ώστε να φαίνεται η μόνιμη κατάσταση πριν το μεταβατικό στάδιο, την είσοδο ή την έξοδο δηλαδή κάποιου φορτίου από το κύκλωμα, το μεταβατικό αυτό σημείο και τέλος η μόνιμη κατάσταση αμέσως μετά το μεταβατικό στάδιο.

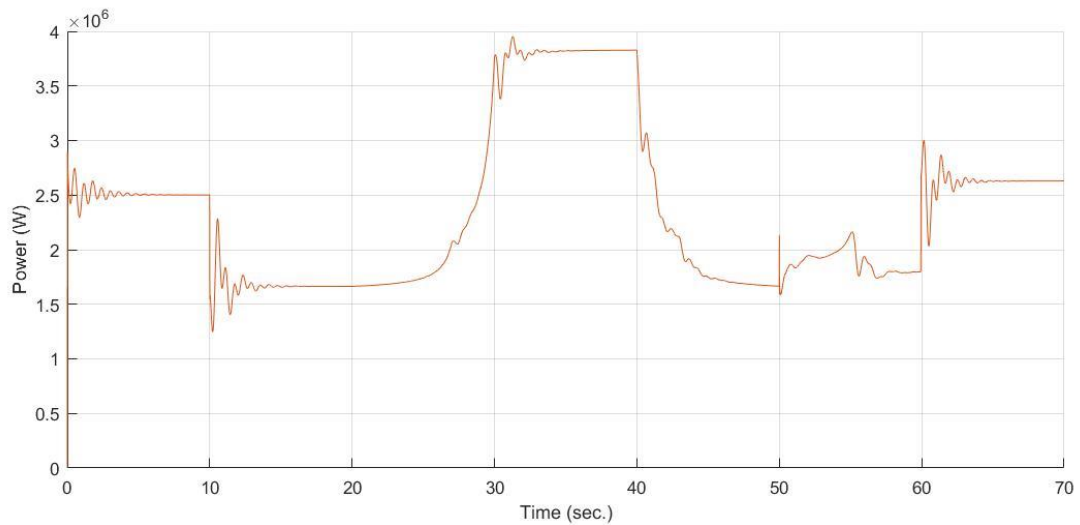
I. Πετρελαιοκινητήρας



Εικόνα 39: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα.



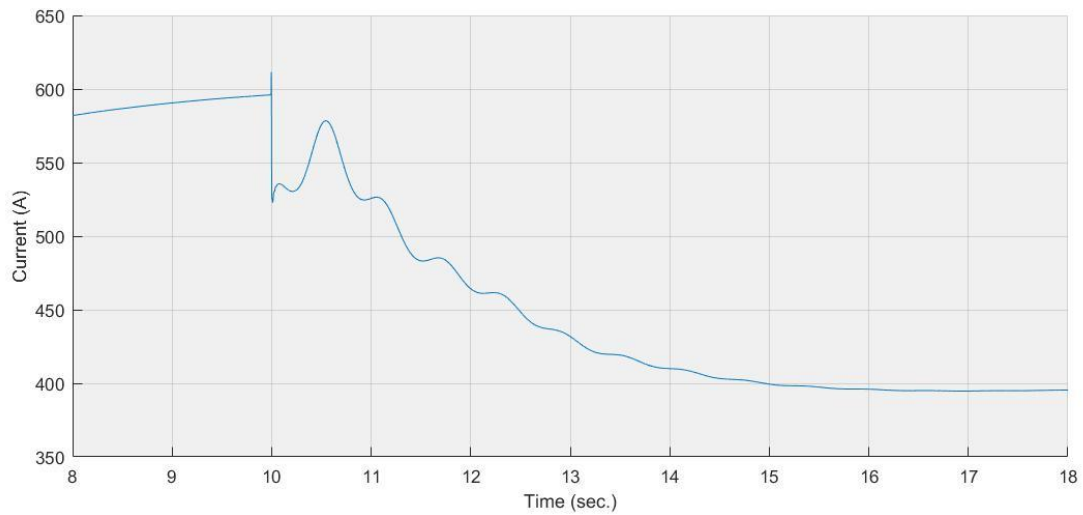
Εικόνα 40: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα.



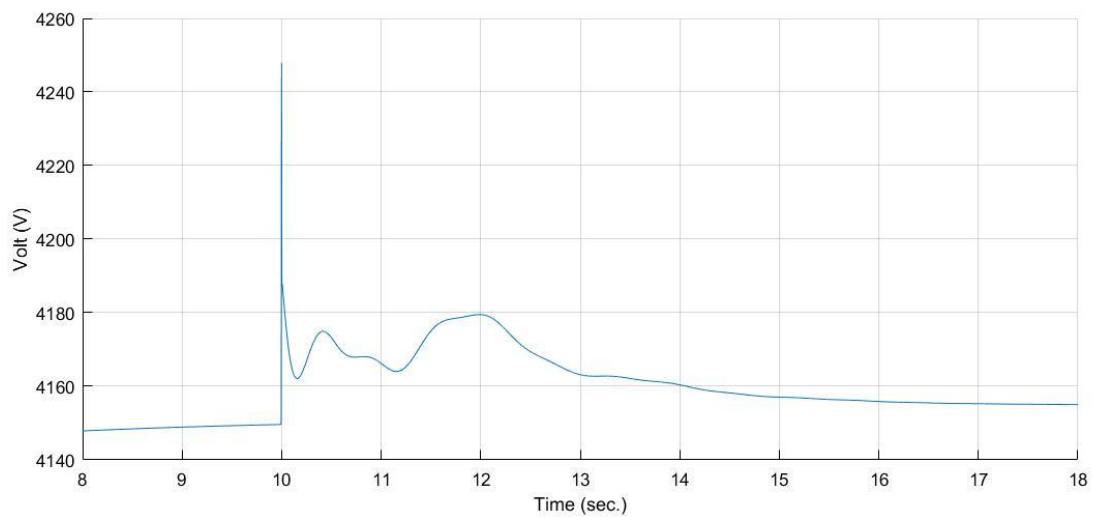
Εικόνα 41: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα.



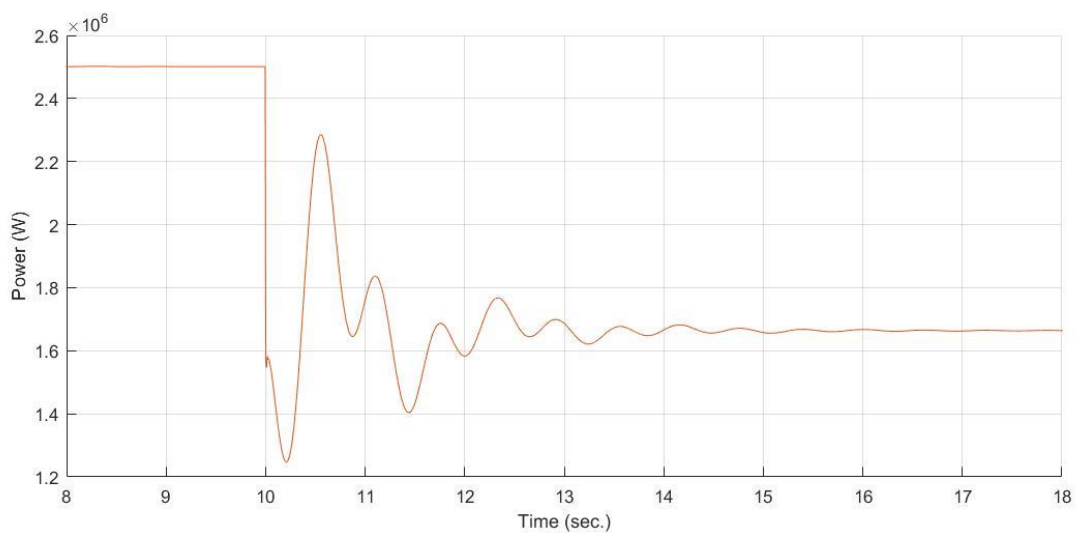
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 42: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα από 8 sec. έως 18 sec.

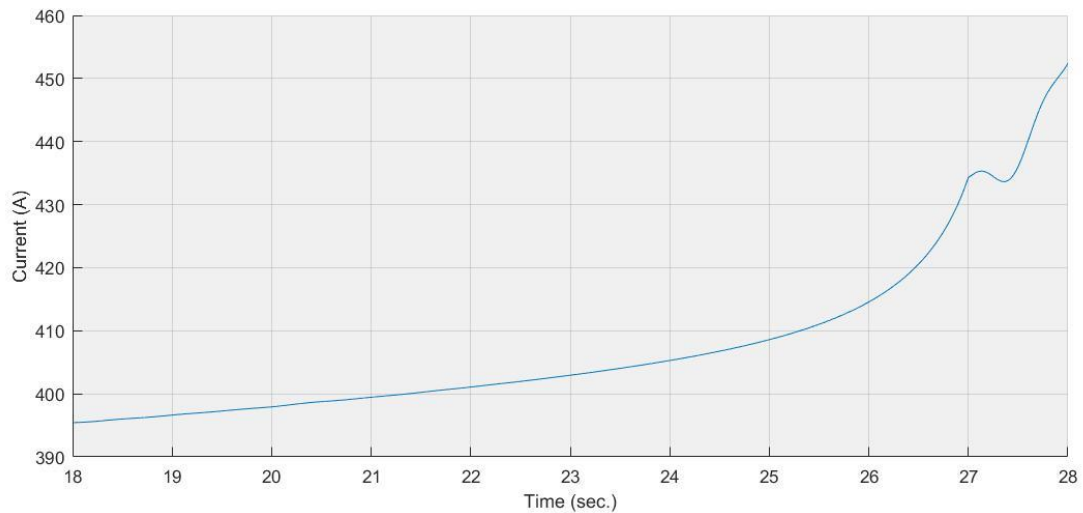


Εικόνα 43: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα από 8 sec. έως 18 sec.

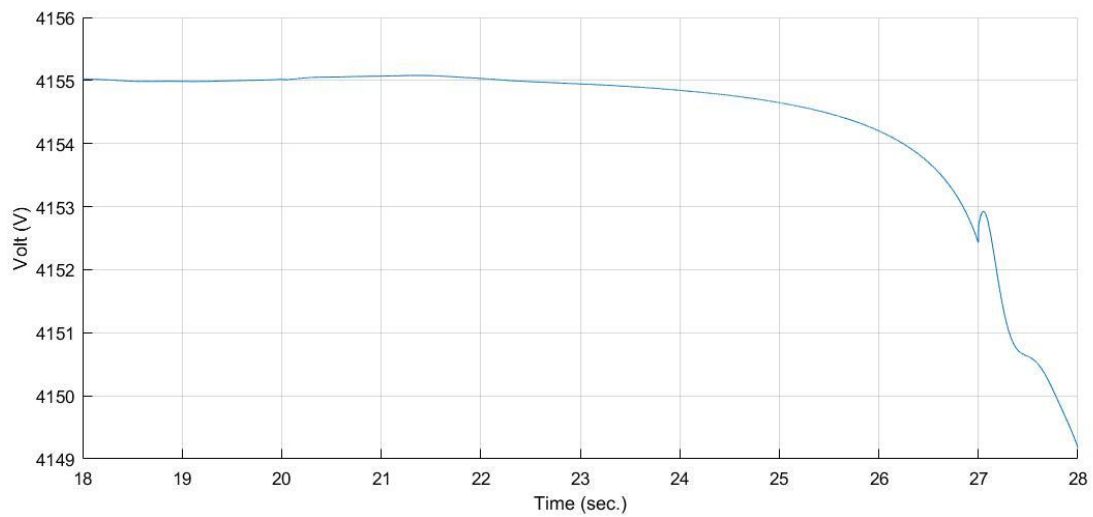


Εικόνα 44: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα από 8 sec. έως 18 sec.

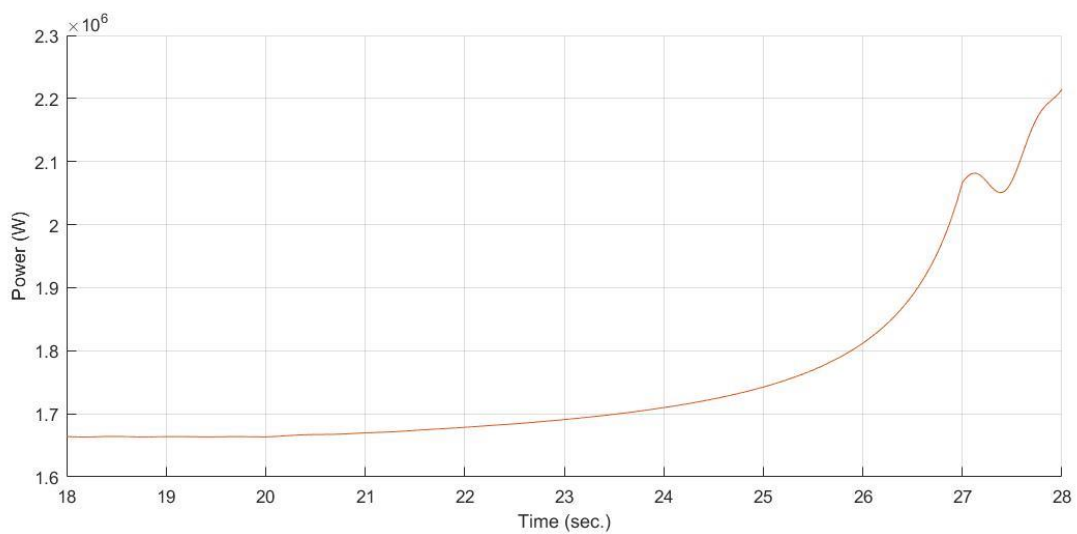
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 45: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα από 18 sec. έως 28 sec.

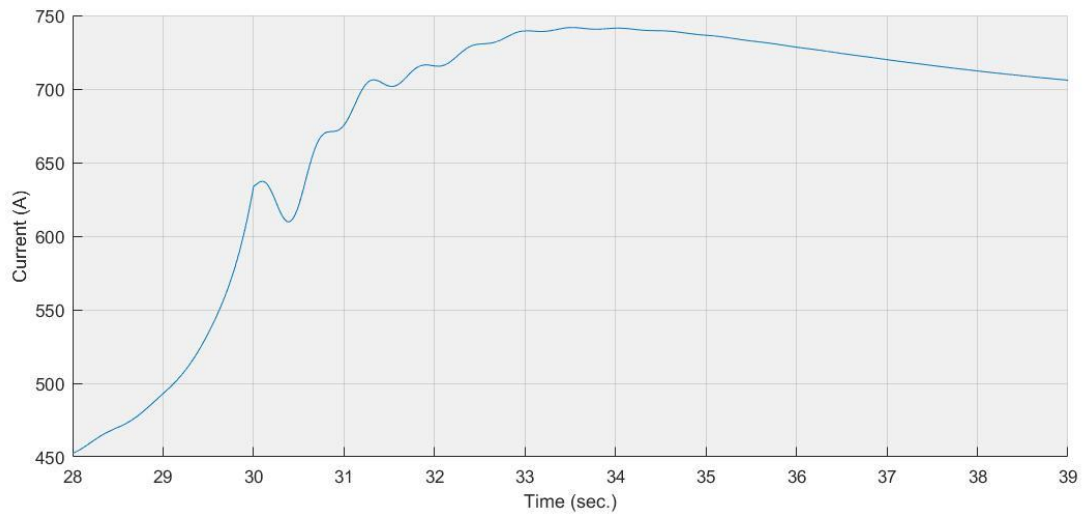


Εικόνα 46: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα από 18 sec. έως 28 sec.

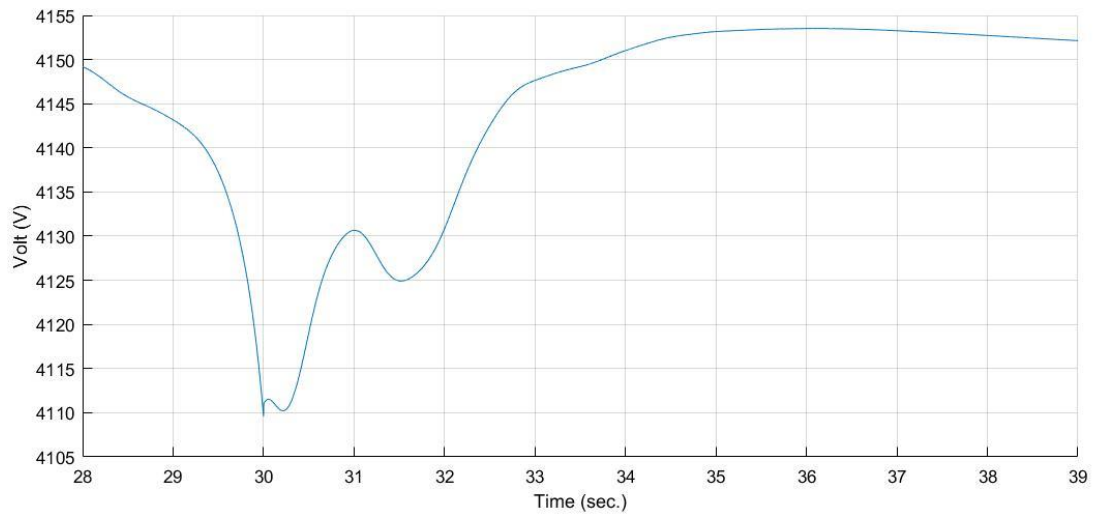


Εικόνα 47: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα από 18 sec. έως 28 sec.

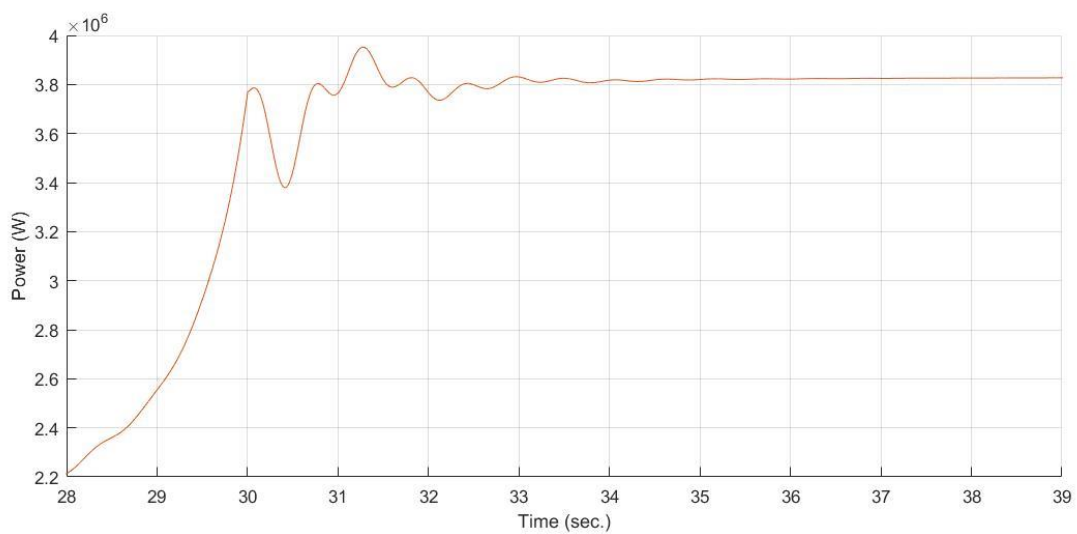
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 48: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα από 28 sec. έως 39 sec.

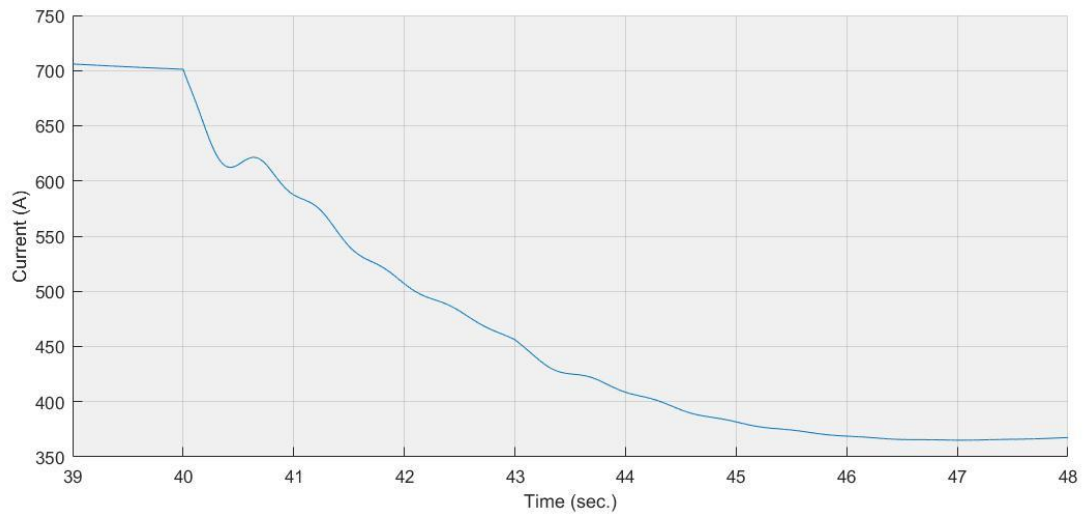


Εικόνα 49: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα από 28 sec. έως 39 sec.

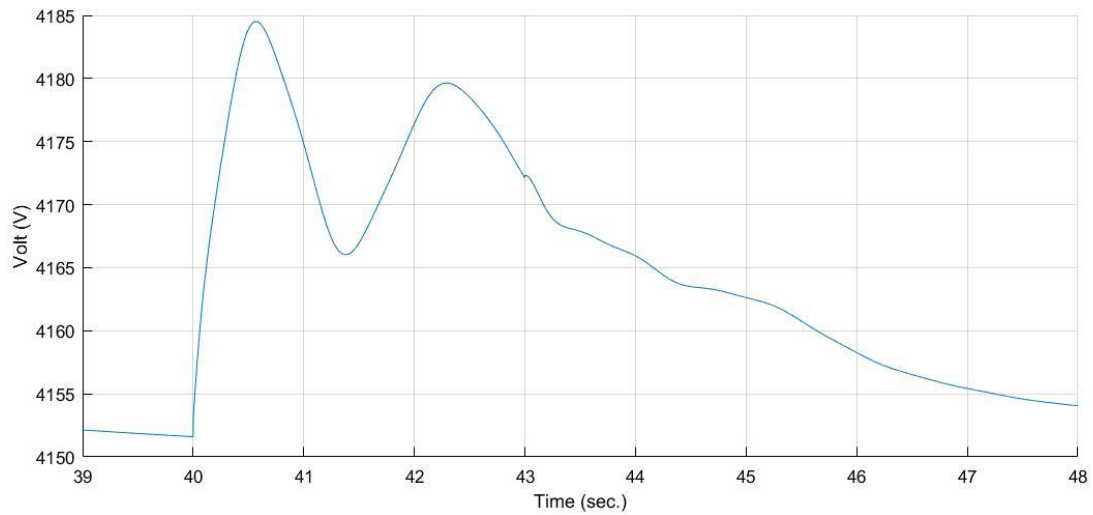


Εικόνα 50: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα από 28 sec. έως 39 sec.

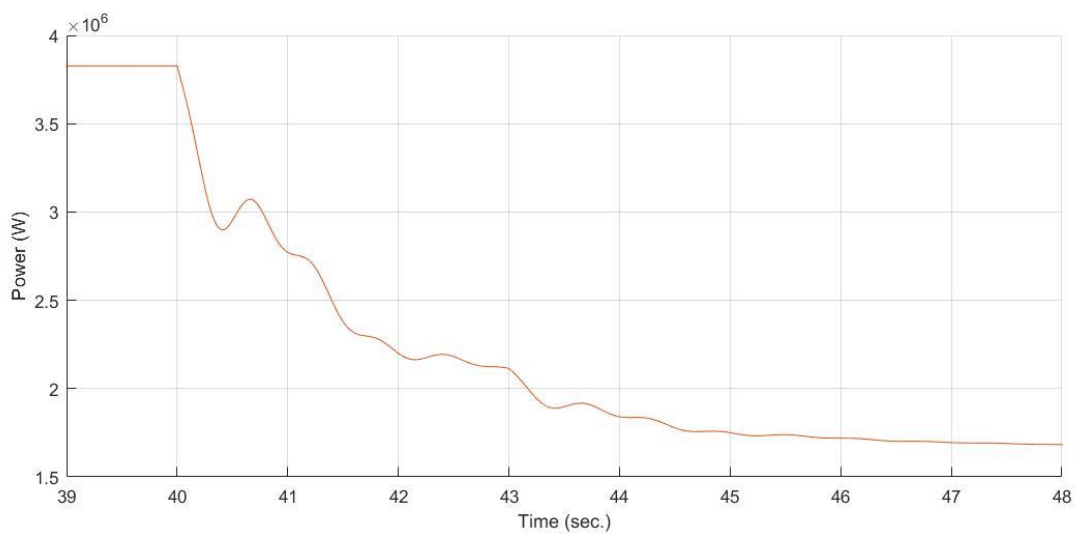
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 51: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα από 39 sec. έως 48 sec.

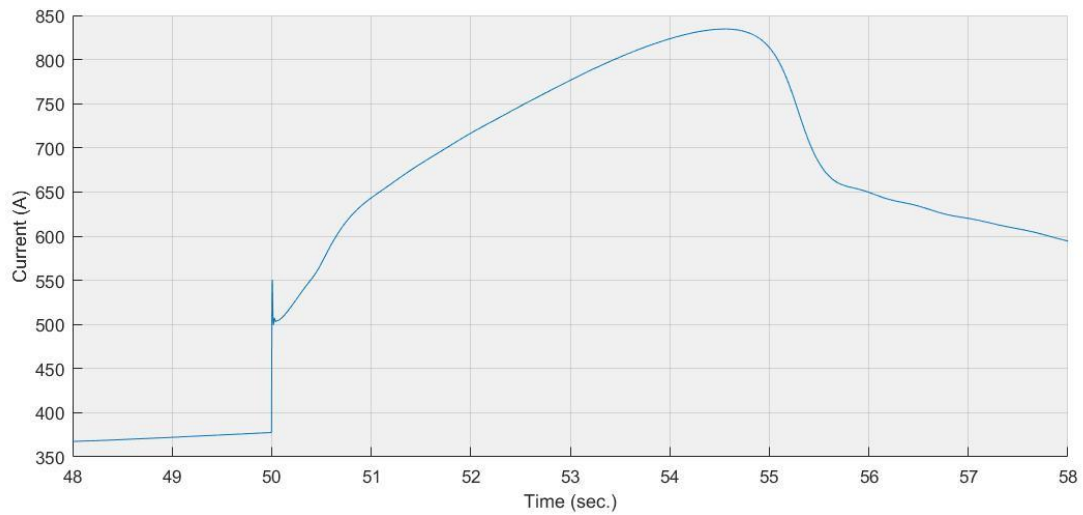


Εικόνα 52: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα από 39 sec. έως 48 sec.

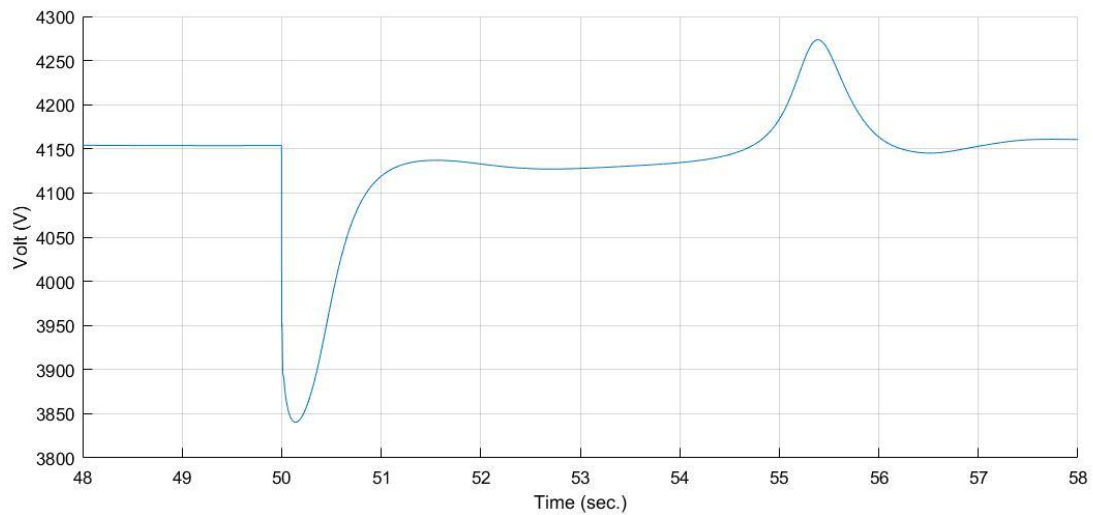


Εικόνα 53: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα από 39 sec. έως 48 sec.

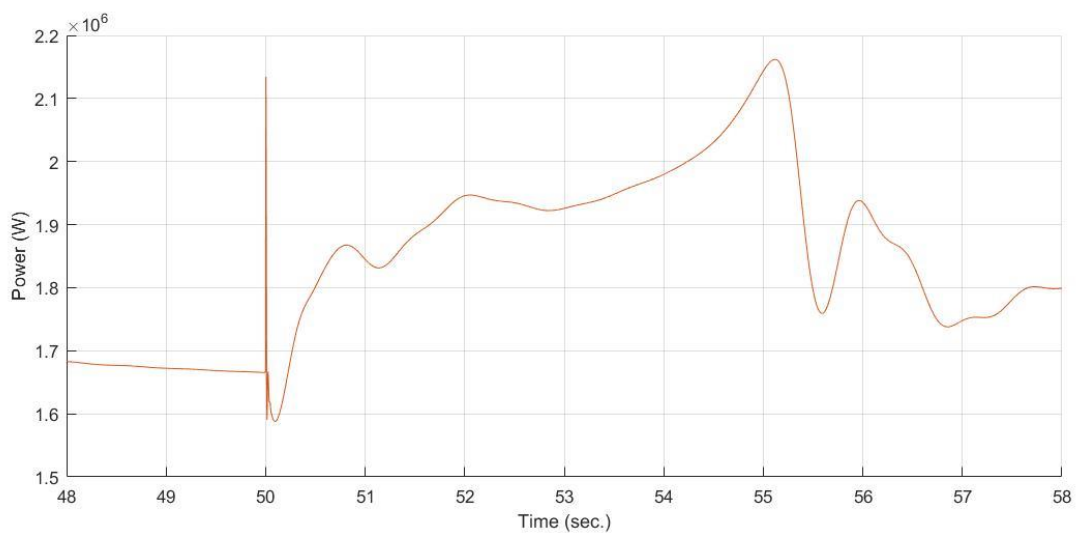
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 54: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα από 48 sec. έως 58 sec.

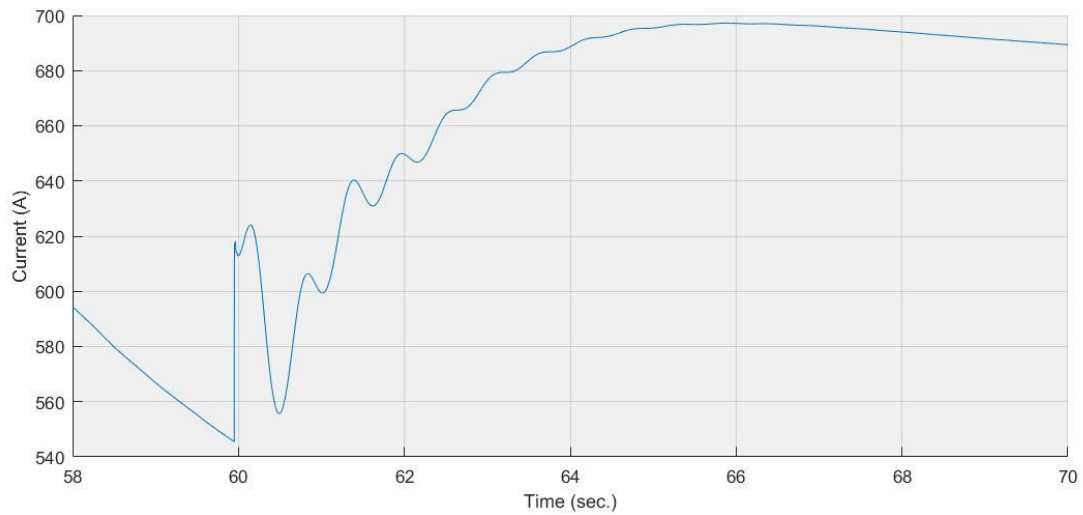


Εικόνα 55: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα από 48 sec. έως 58 sec.

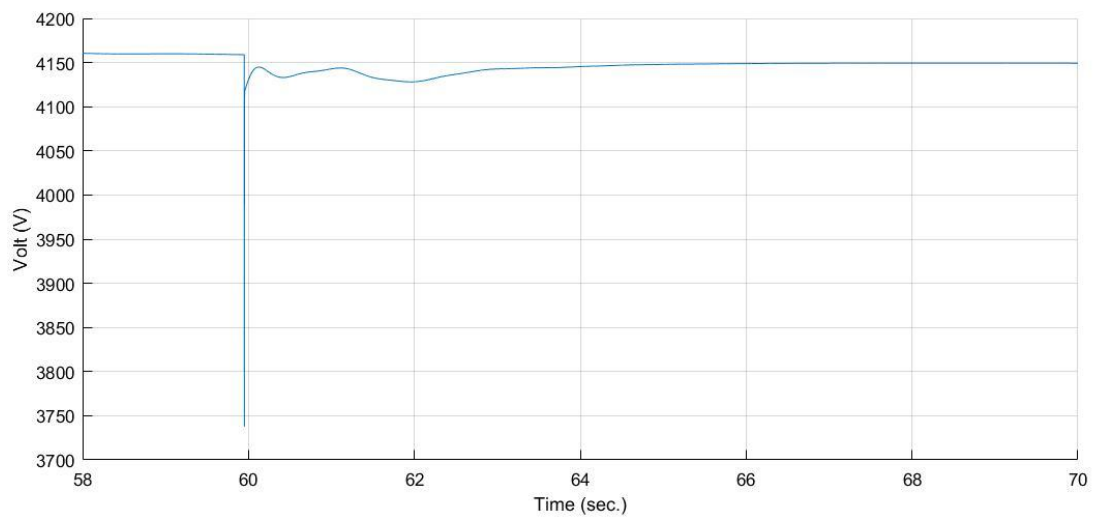


Εικόνα 5613: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα από 48 sec. έως 58 sec.

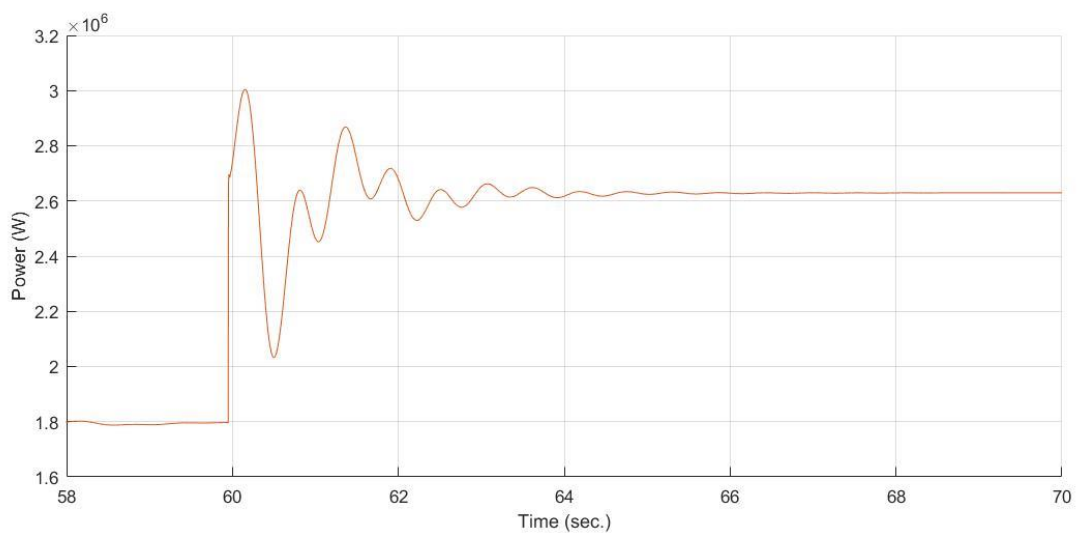
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 57: Κυματομορφή ρεύματος πετρελαιοκινητήρα από 58 sec. έως 70 sec.

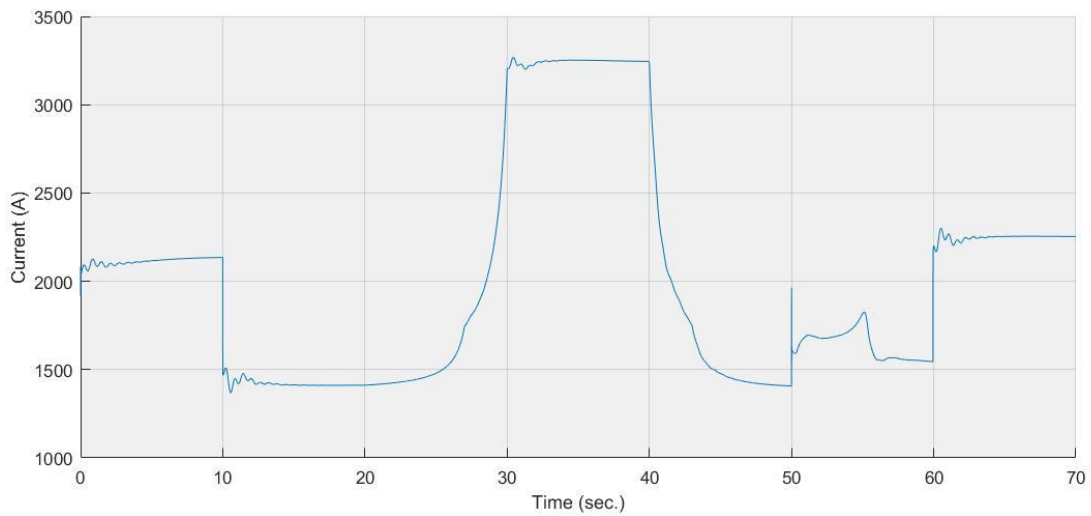


Εικόνα 58: Κυματομορφή τάσης πετρελαιοκινητήρα από 58 sec. έως 70 sec.

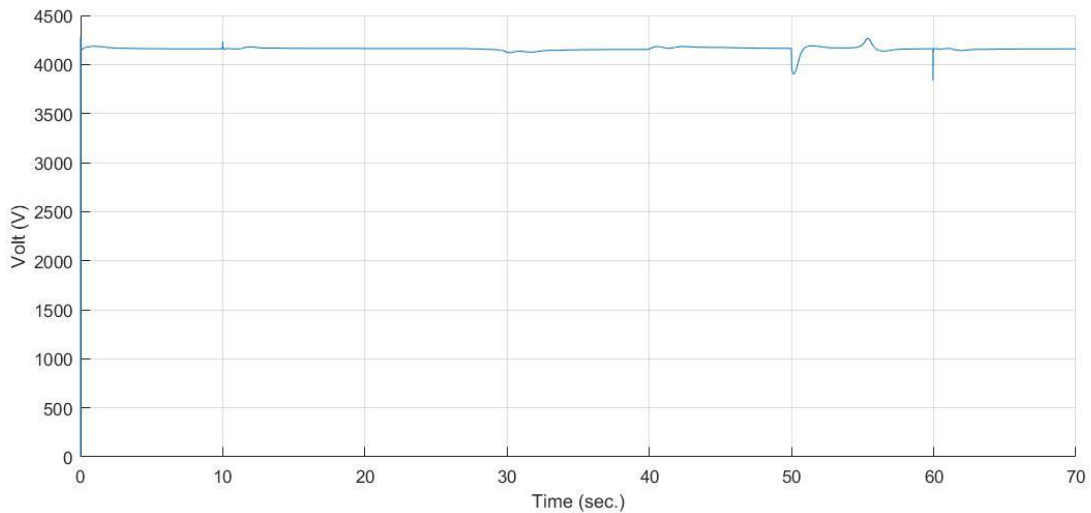


Εικόνα 59: Κυματομορφή ισχύος πετρελαιοκινητήρα από 58 sec. έως 70 sec.

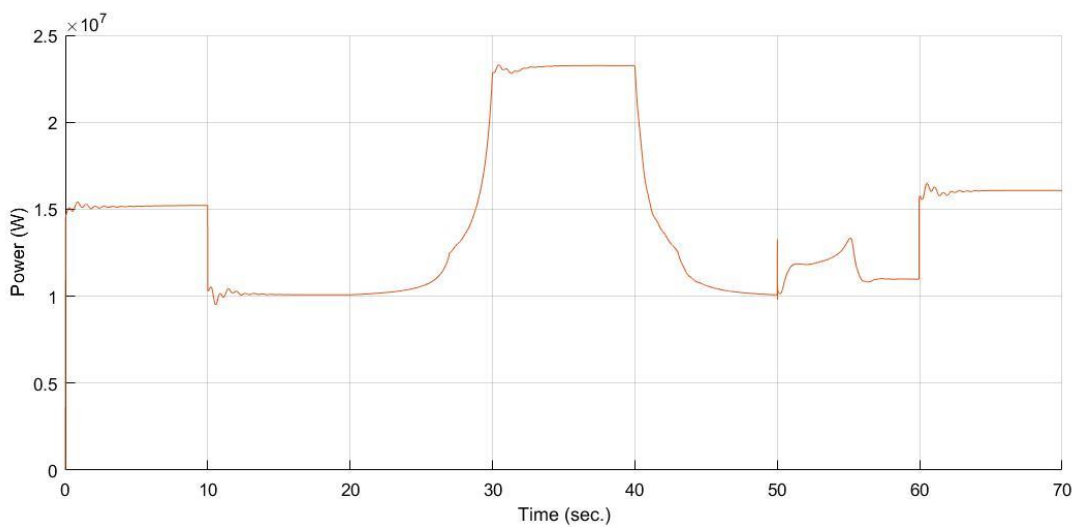
## II. Αεροστρόβιλος



Εικόνα 60: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου.

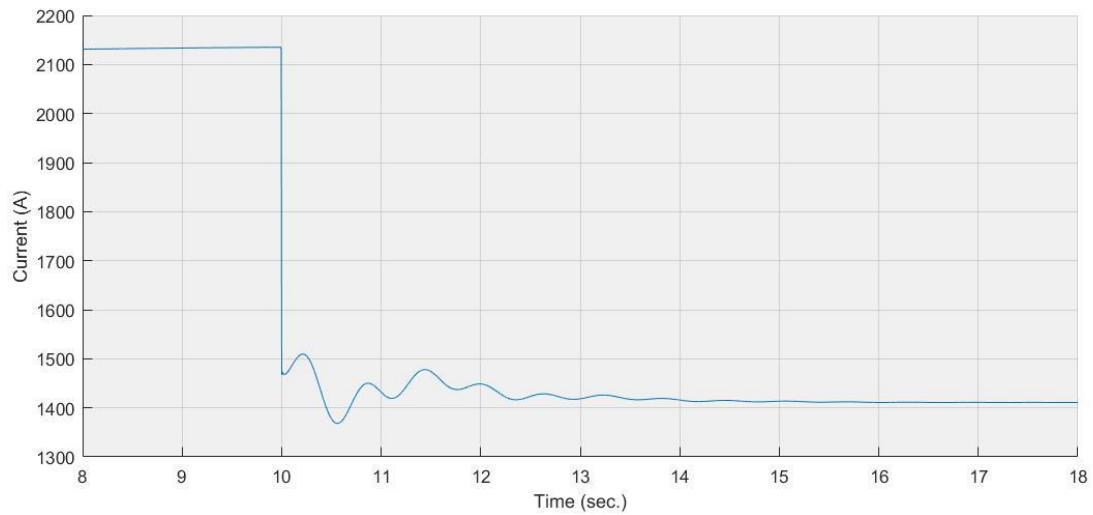


Εικόνα 61: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου.

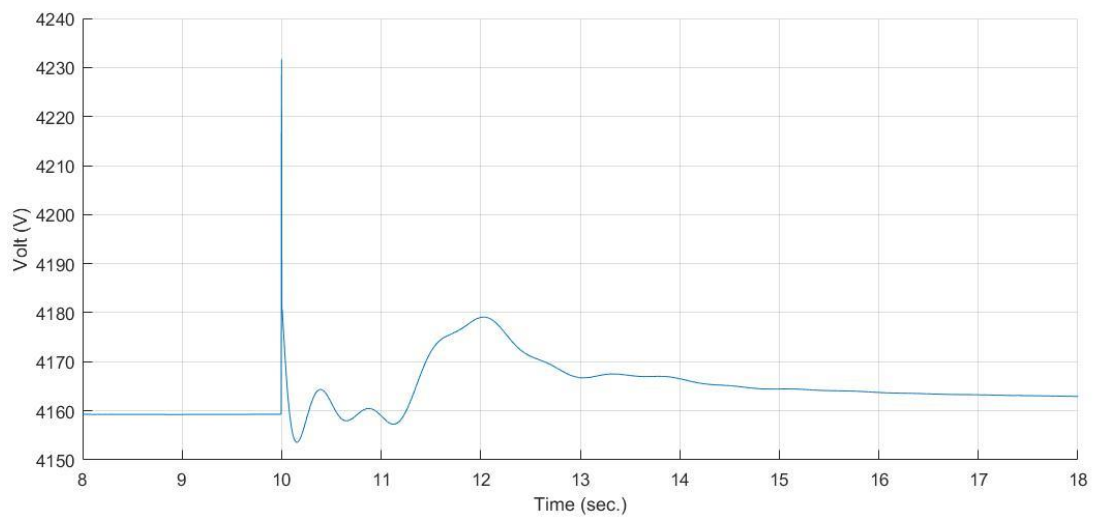


Εικόνα 62: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου.

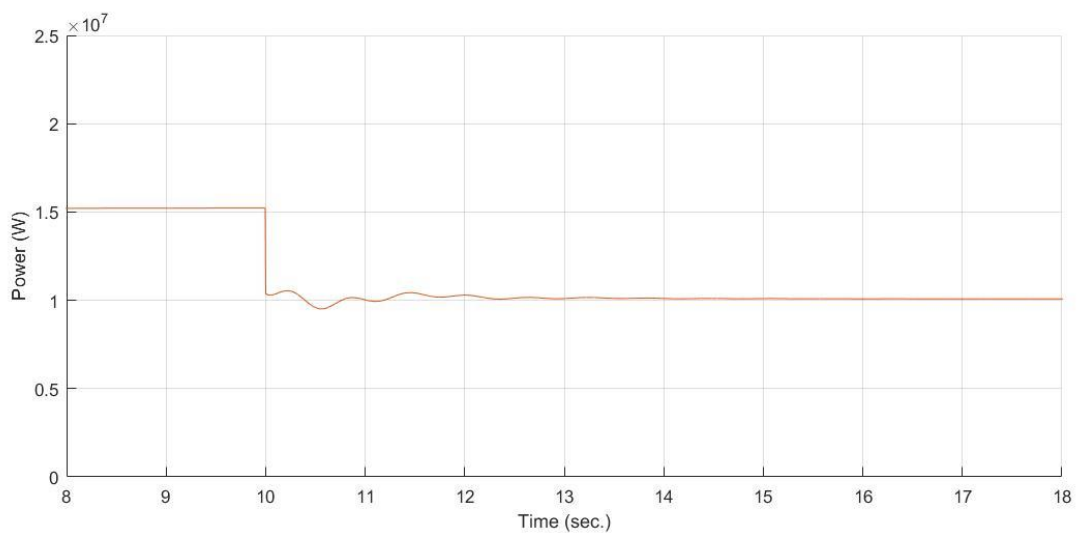
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 63: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου από 8 sec. έως 18 sec.



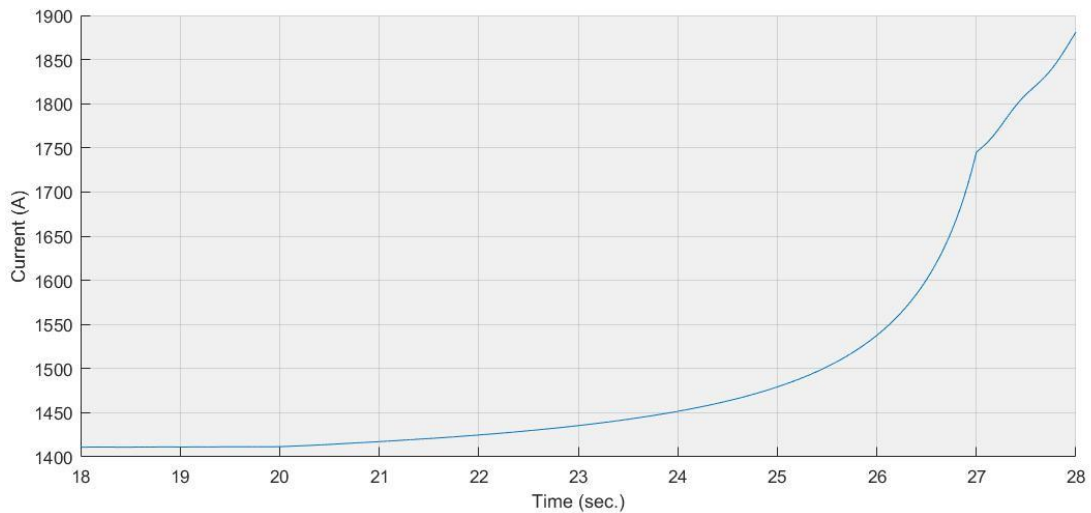
Εικόνα 64: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου από 8 sec. έως 18 sec.



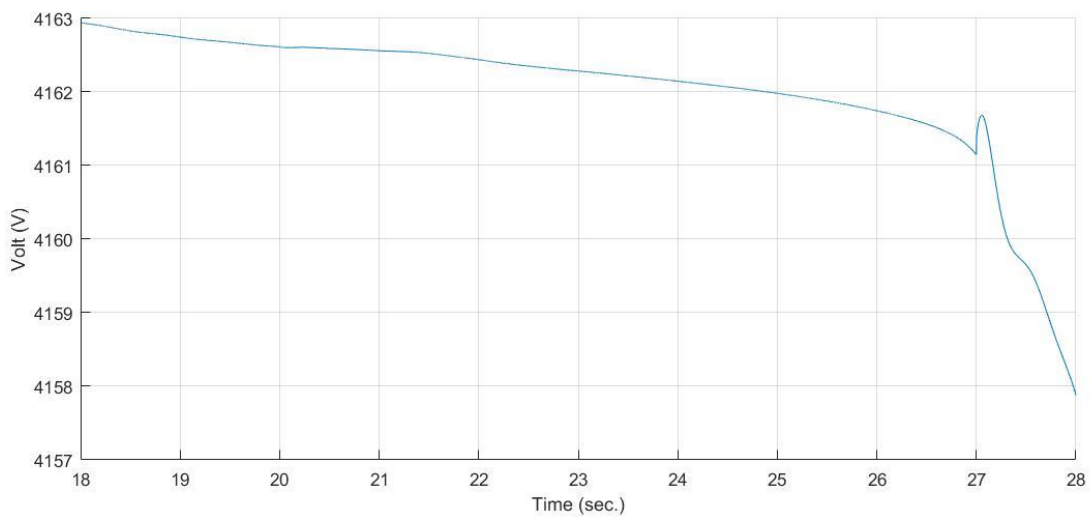
Εικόνα 65: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου από 8 sec. έως 18 sec.



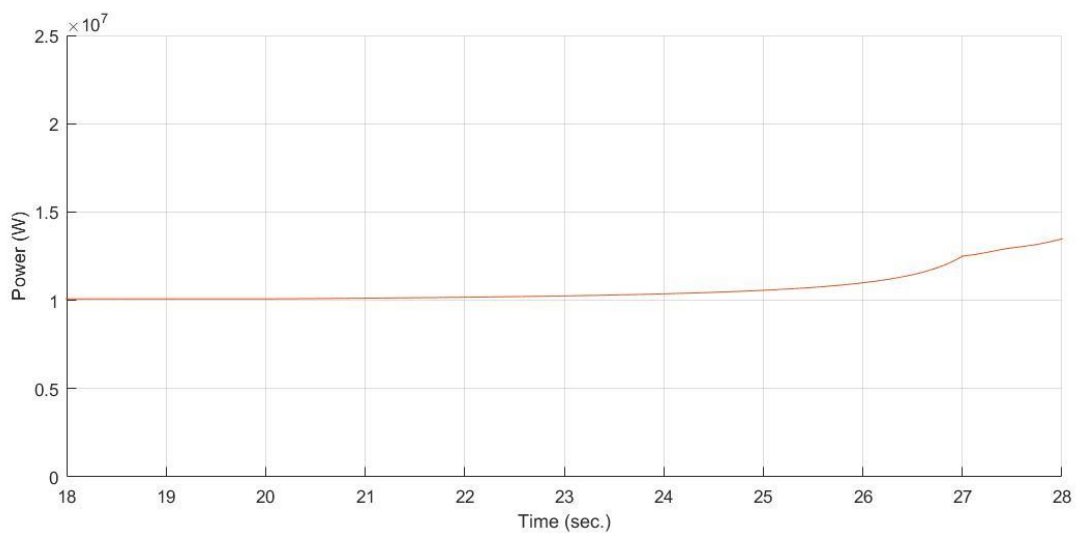
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 66: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου από 18 sec. έως 28 sec.

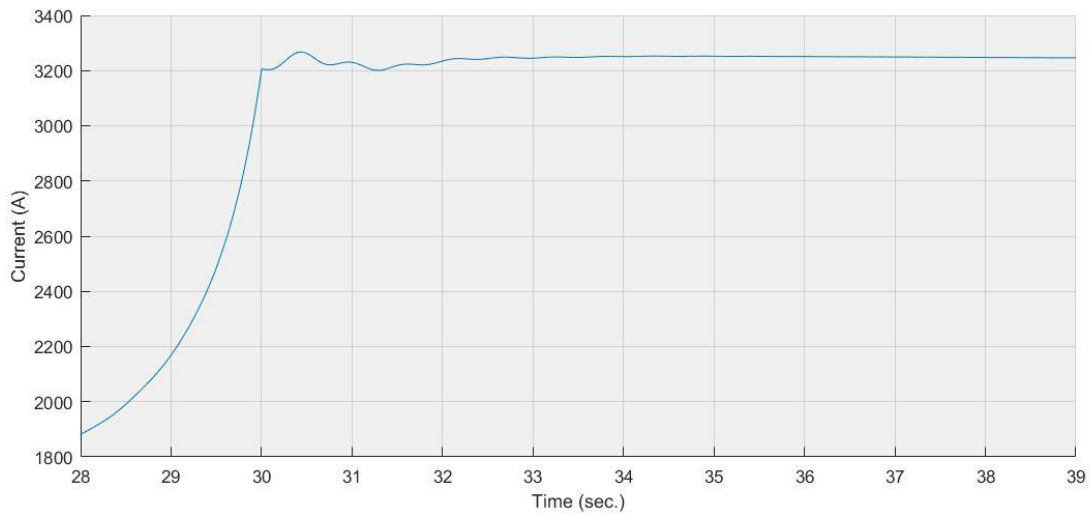


Εικόνα 67: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου από 18 sec. έως 28 sec.

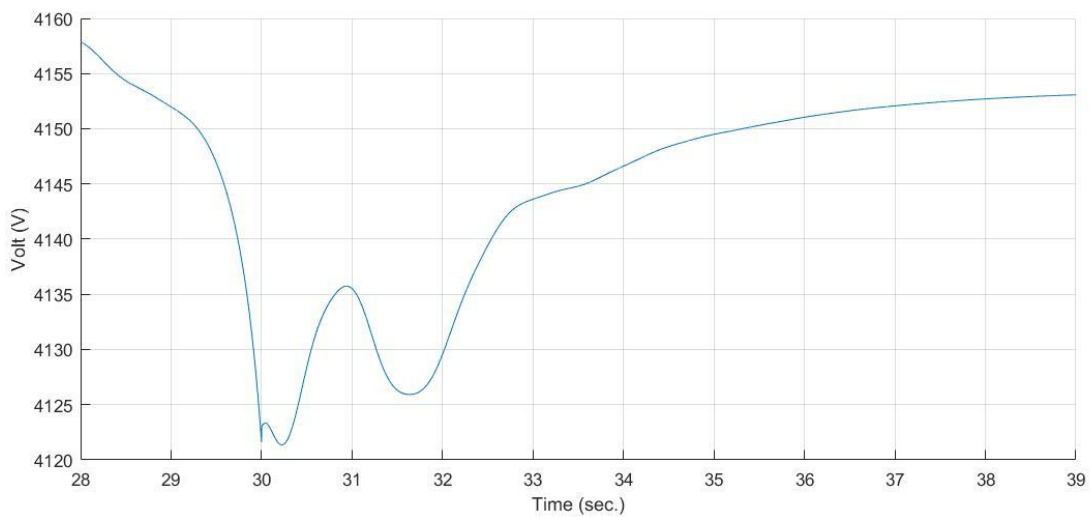


Εικόνα 68: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου από 18 sec. έως 28 sec.

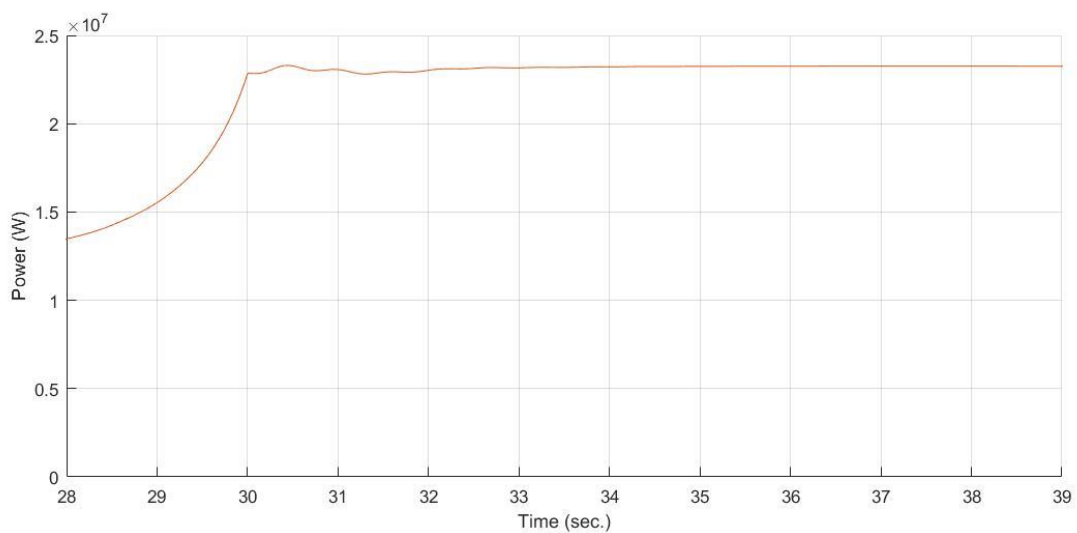
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 69: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου από 28 sec. έως 39 sec.

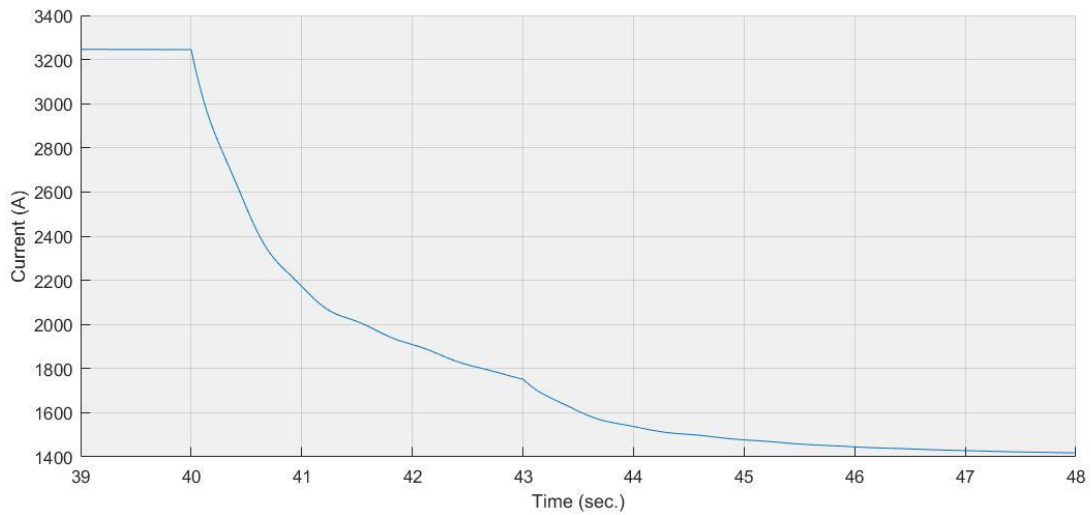


Εικόνα 70: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου από 28 sec. έως 39 sec.

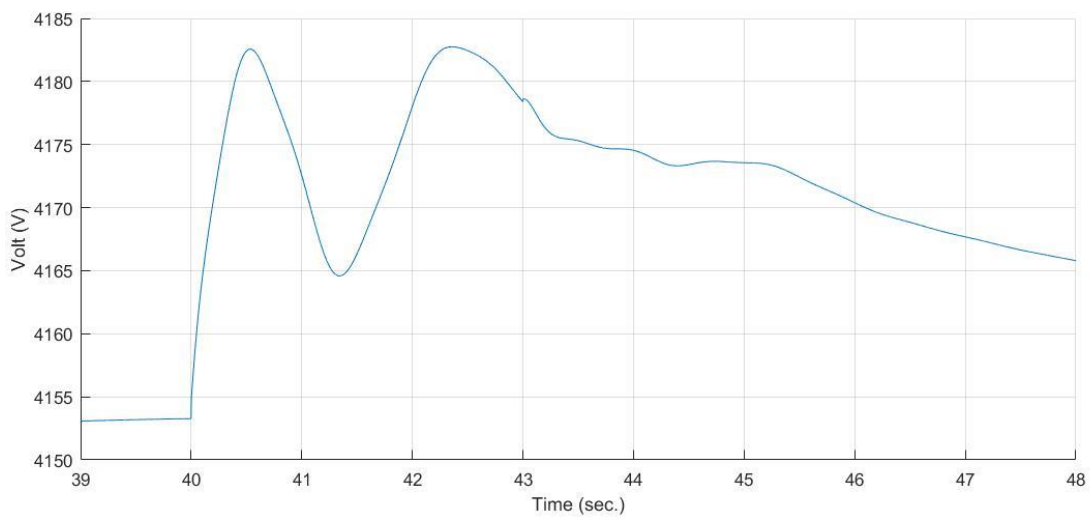


Εικόνα 71: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου από 28 sec. έως 39 sec.

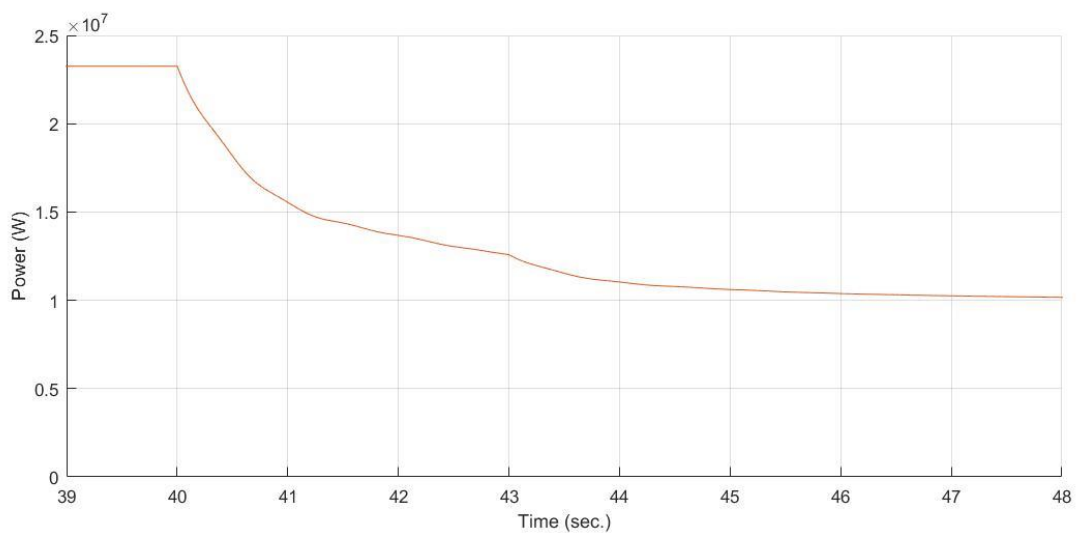
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 72: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου από 39 sec. έως 48 sec.

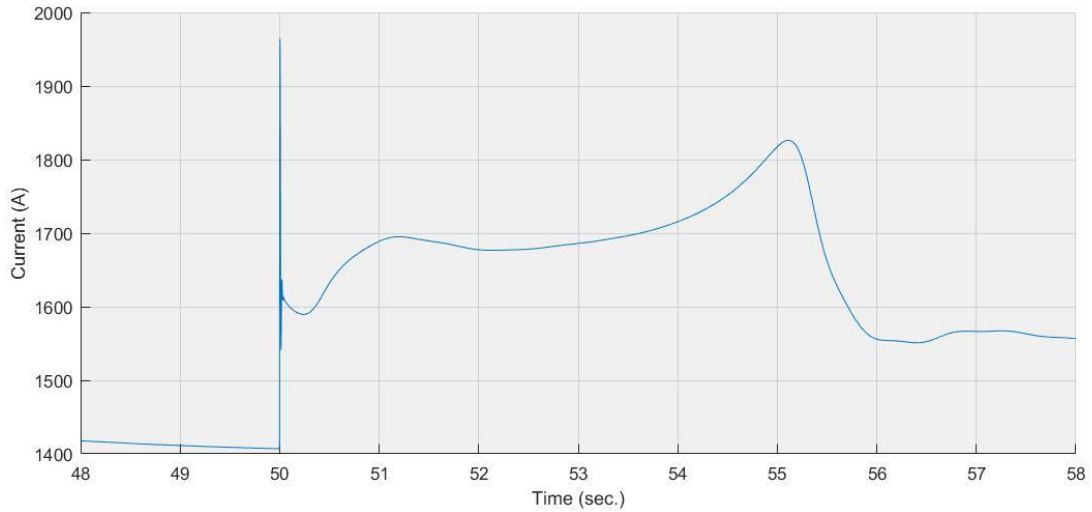


Εικόνα 73: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου από 39 sec. έως 48 sec.

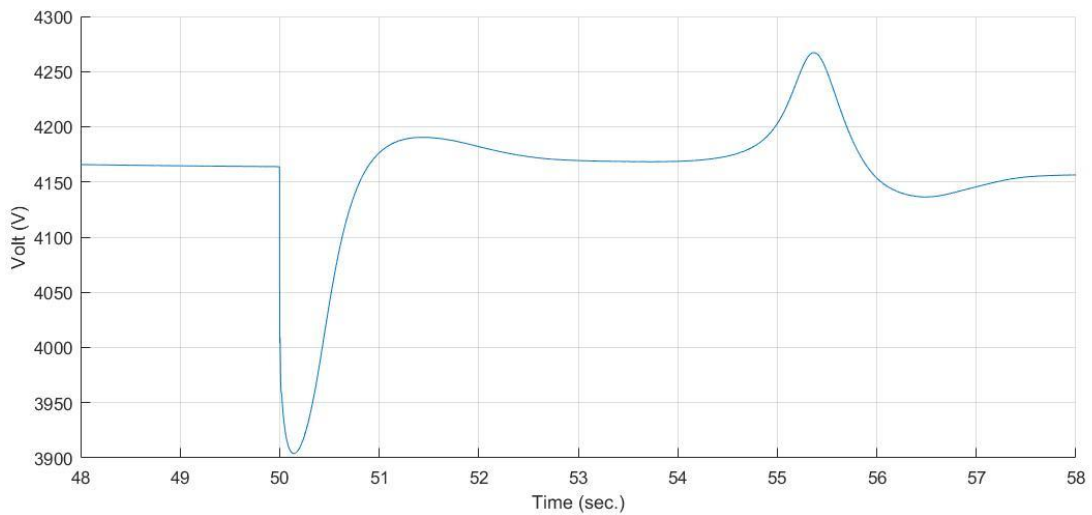


Εικόνα 74: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου από 39 sec. έως 48 sec.

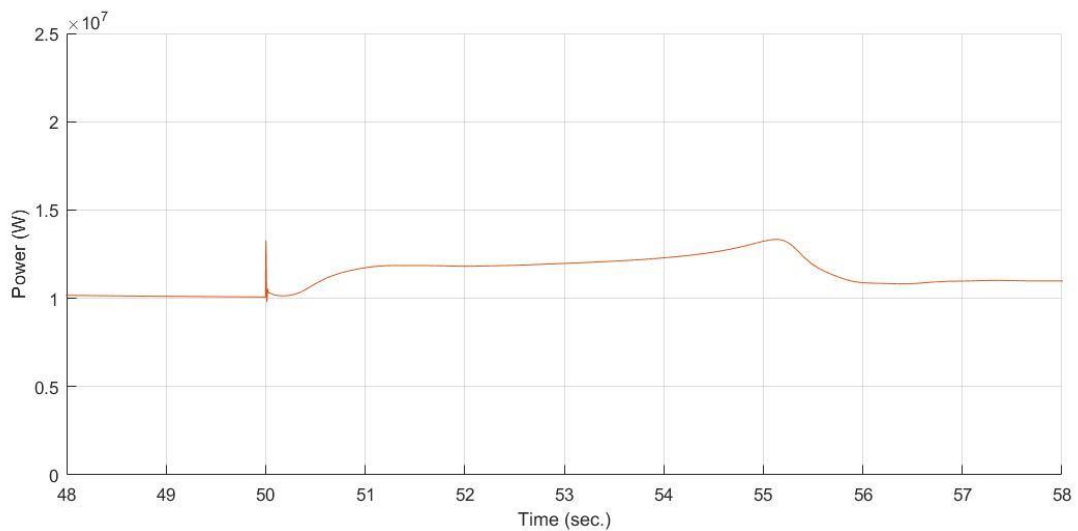
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 75: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου από 48 sec. έως 58 sec.

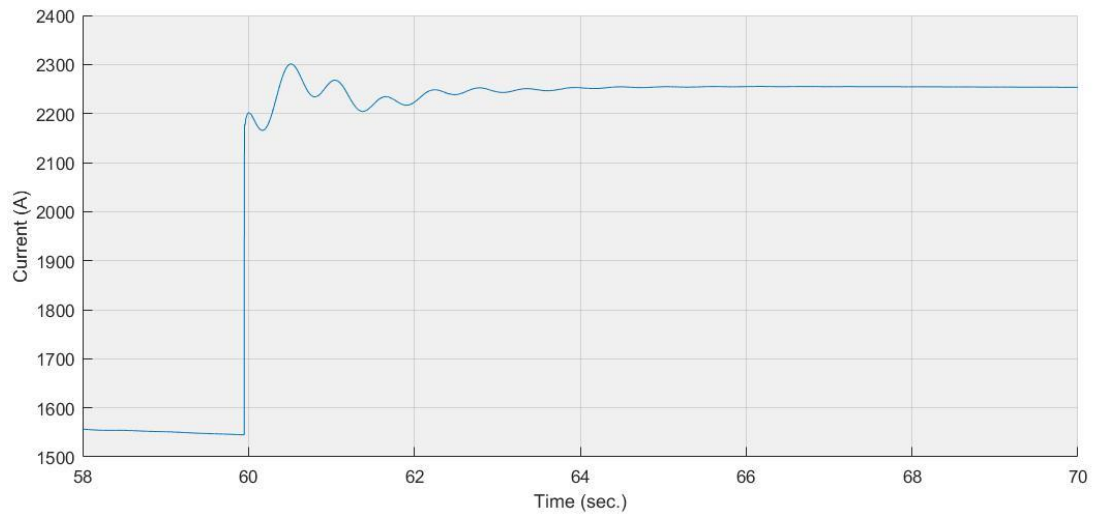


Εικόνα 76: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου από 48 sec. έως 58 sec.

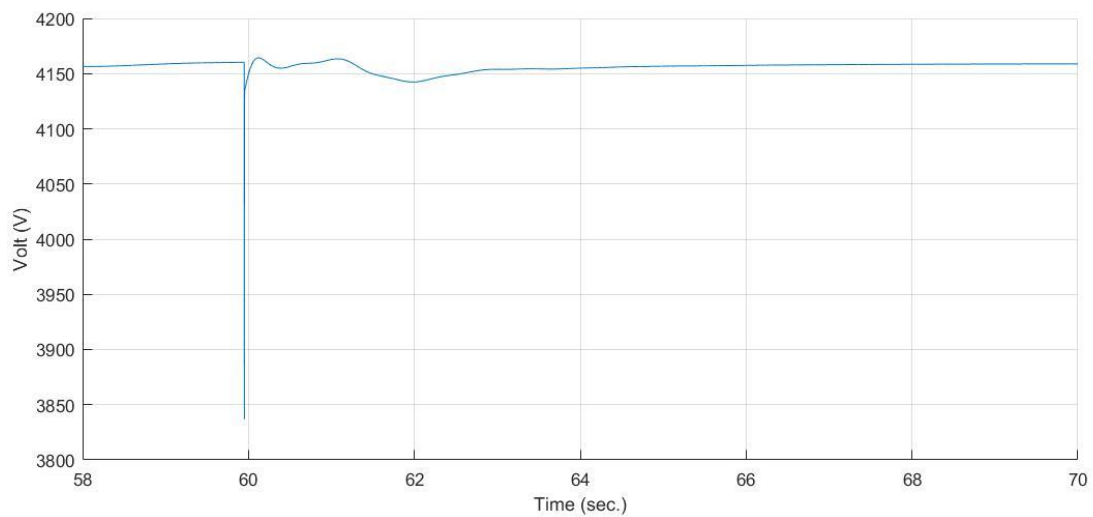


Εικόνα 77: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου από 48 sec. έως 58 sec.

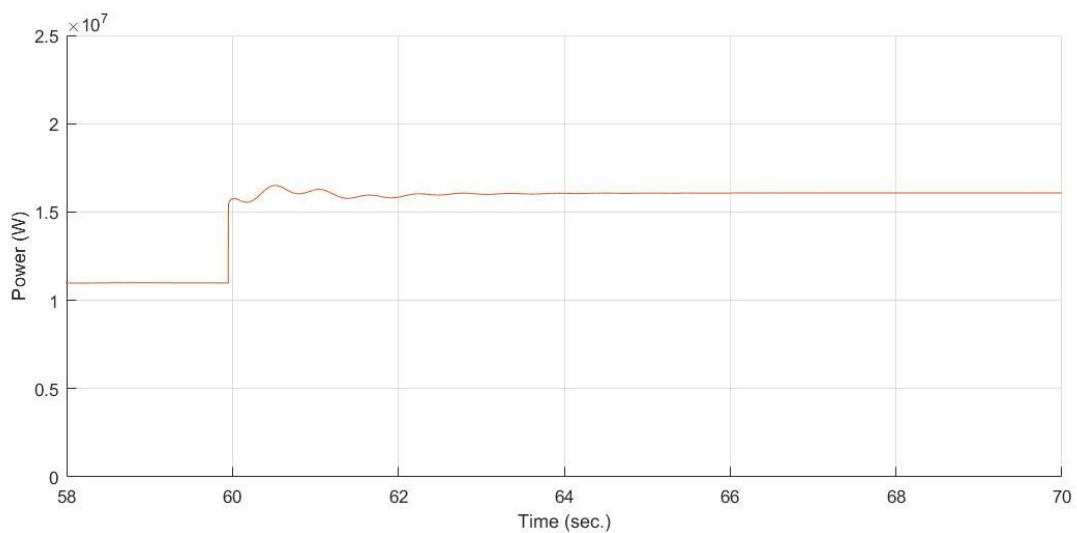
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 78: Κυματομορφή ρεύματος αεροστροβίλου από 58 sec. έως 70 sec.

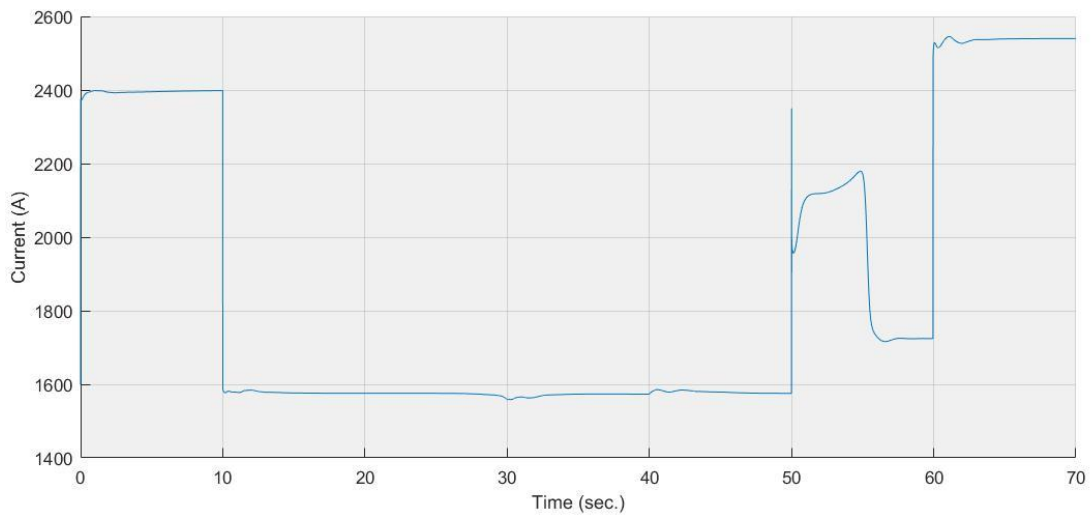


Εικόνα 79: Κυματομορφή τάσης αεροστροβίλου από 58 sec. έως 70 sec.

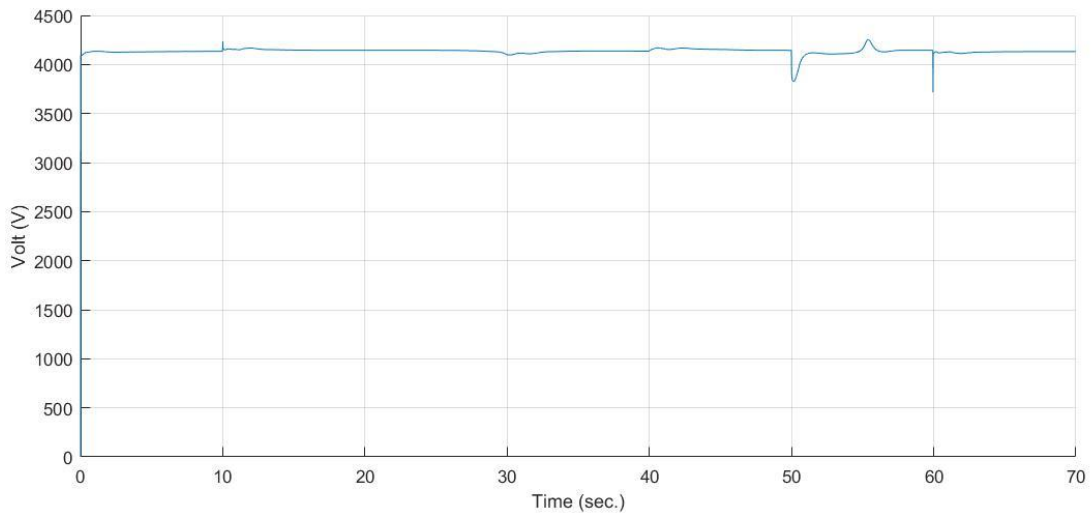


Εικόνα 80: Κυματομορφή πραγματικής ισχύς αεροστροβίλου από 58 sec. έως 70 sec.

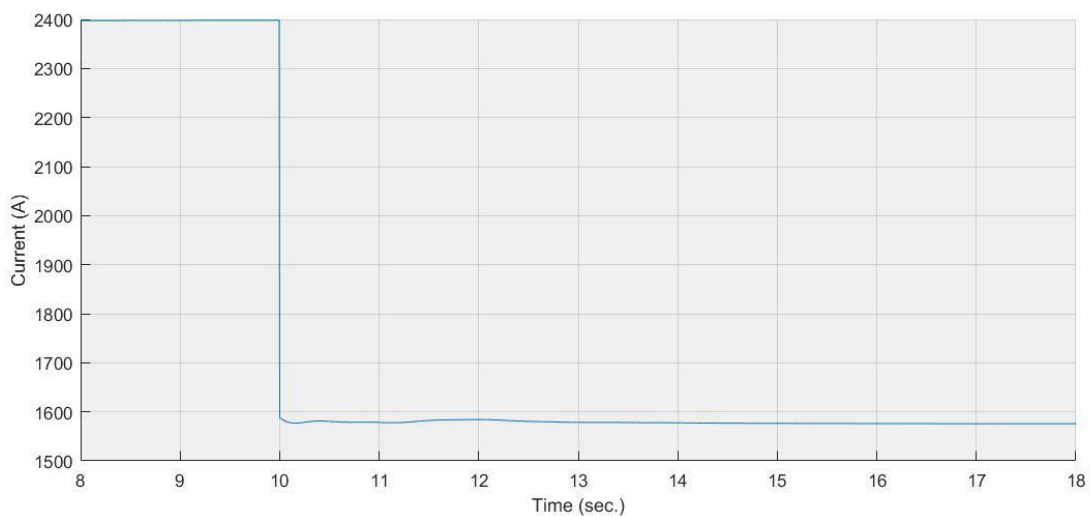
### III. Βασικό φορτίο, ξενοδοχειακό φορτίο και Bow Thruster



Εικόνα 81: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster.

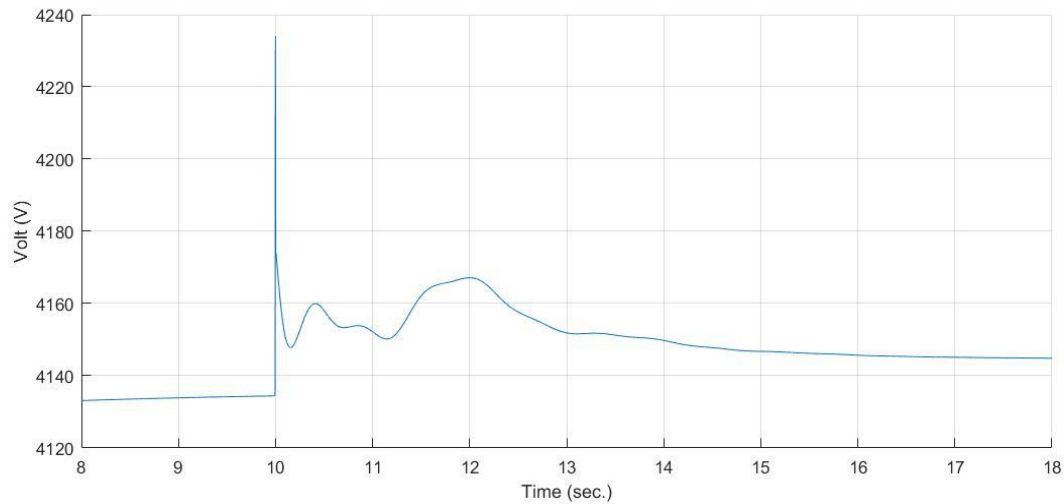


Εικόνα 82: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster.

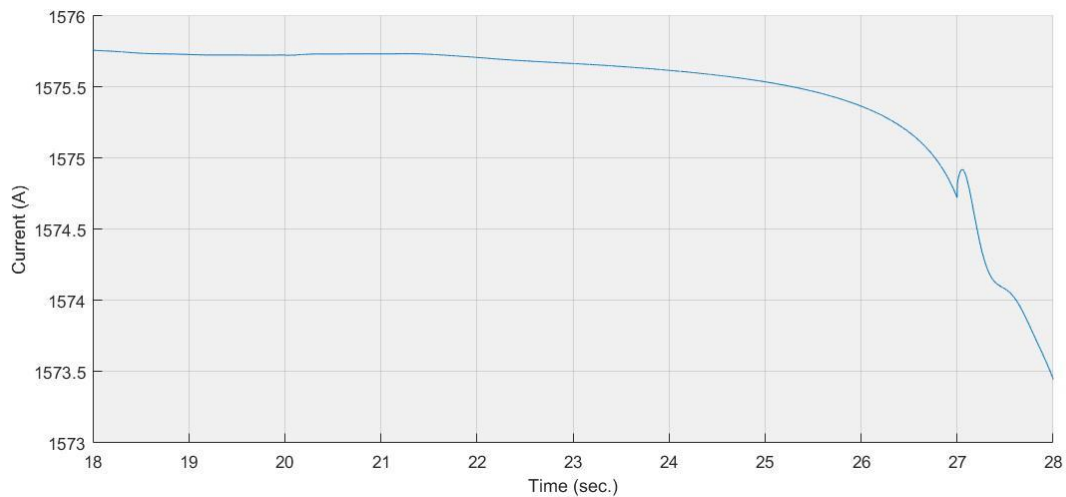


Εικόνα 83: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 8 sec. έως 18 sec.

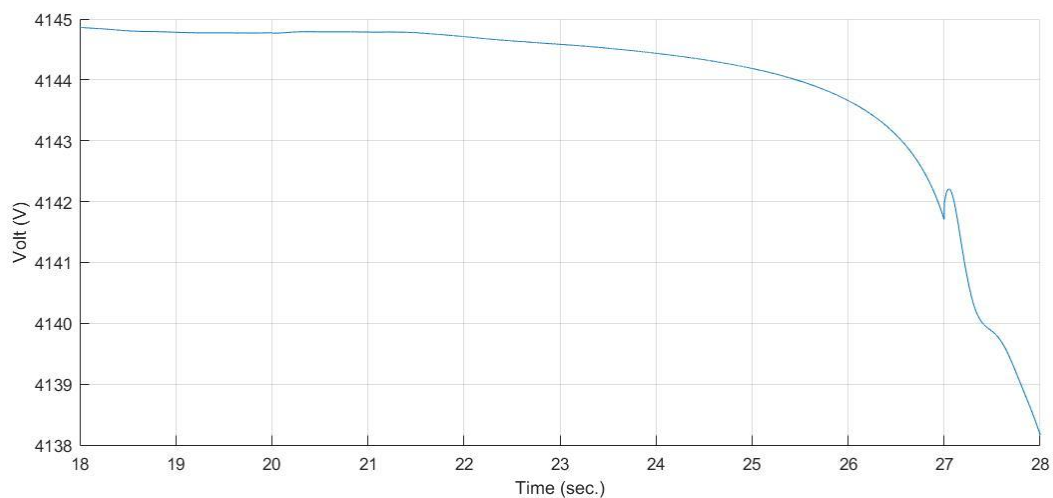
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 84: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 8 sec. έως 18 sec.

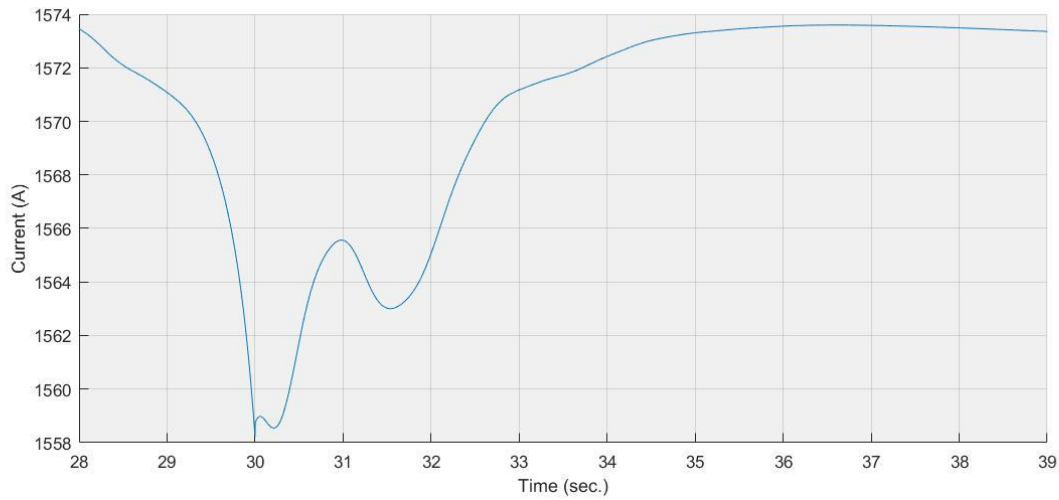


Εικόνα 85: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 18 sec. έως 28 sec.

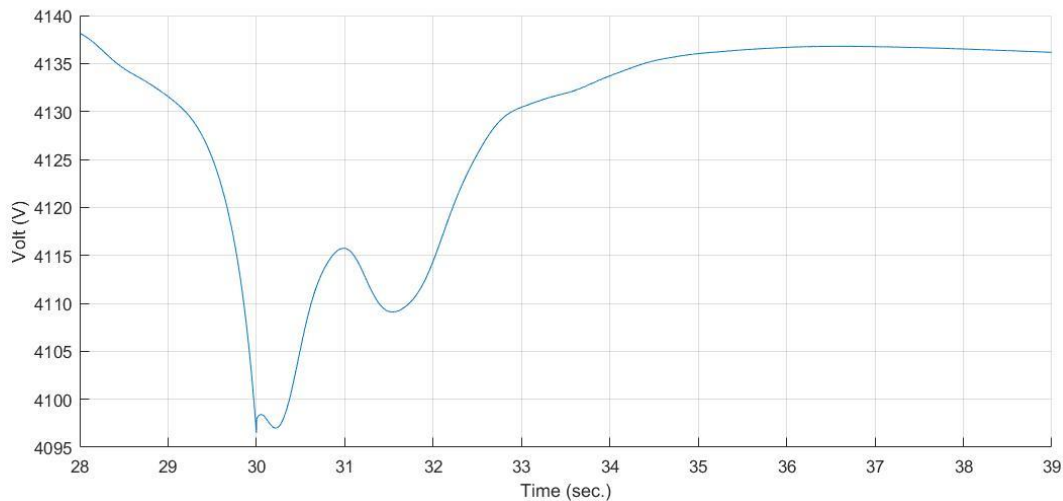


Εικόνα 86: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 18 sec. έως 28 sec.

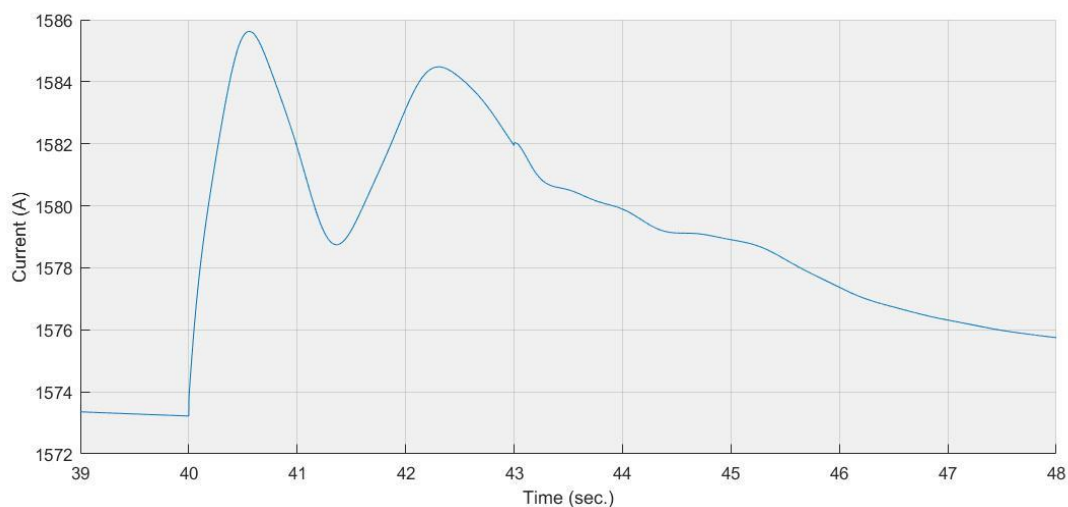
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 87: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 28 sec. έως 39 sec.



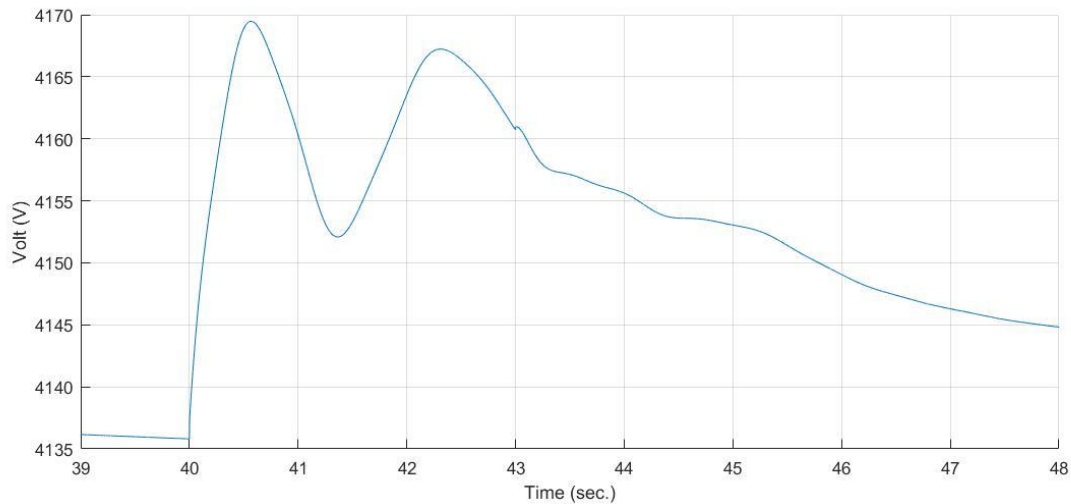
Εικόνα 88: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 21 sec. έως 29 sec.



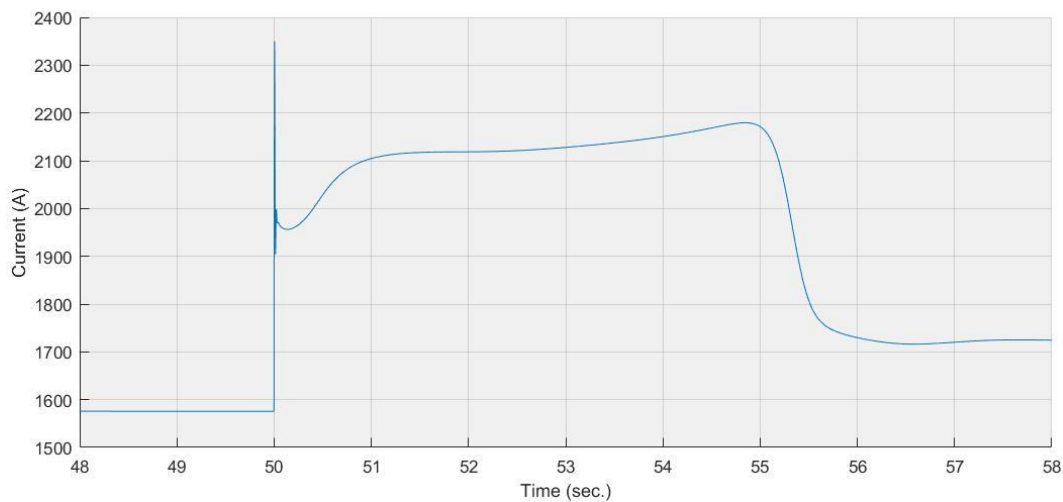
Εικόνα 89: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 39 sec. έως 48 sec.



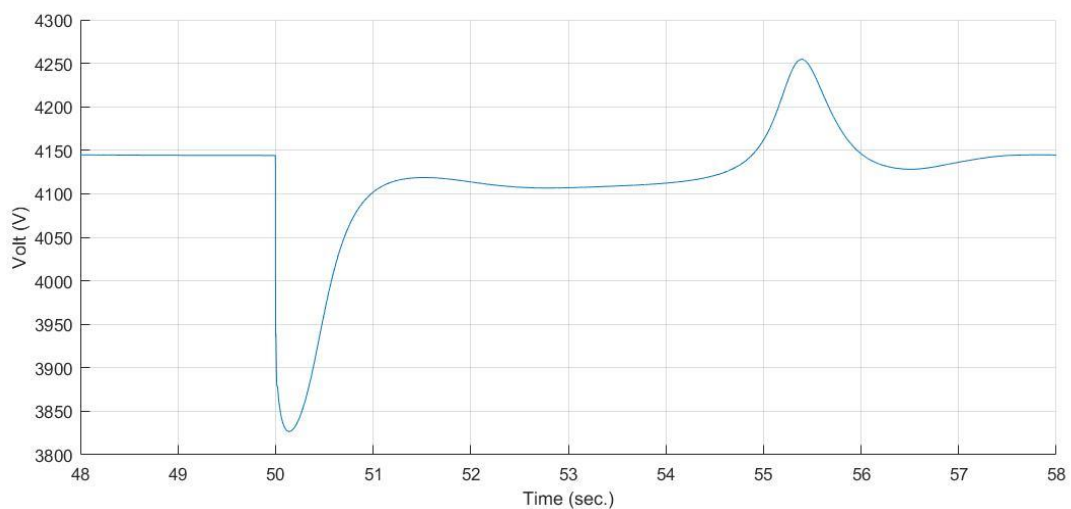
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 90: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 39 sec. έως 48 sec.

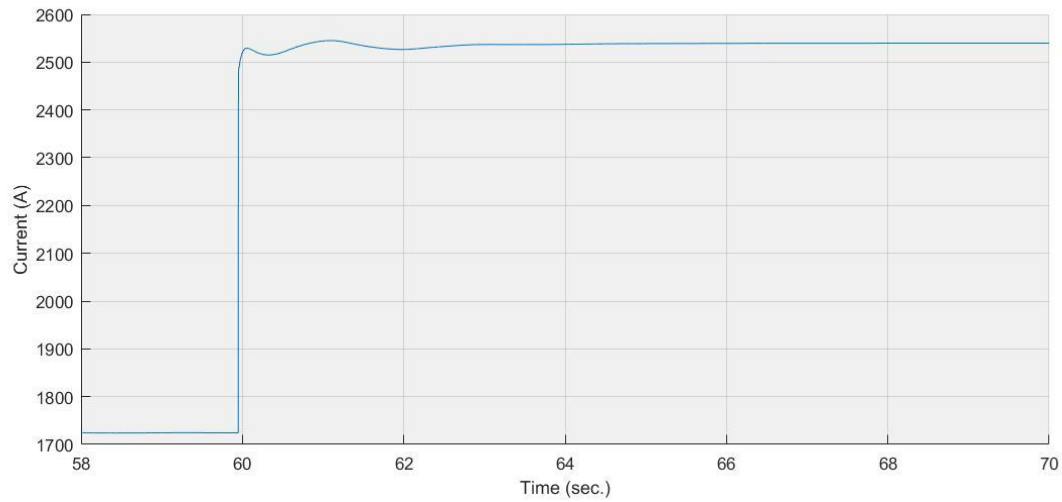


Εικόνα 91: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 48 sec. έως 58 sec.

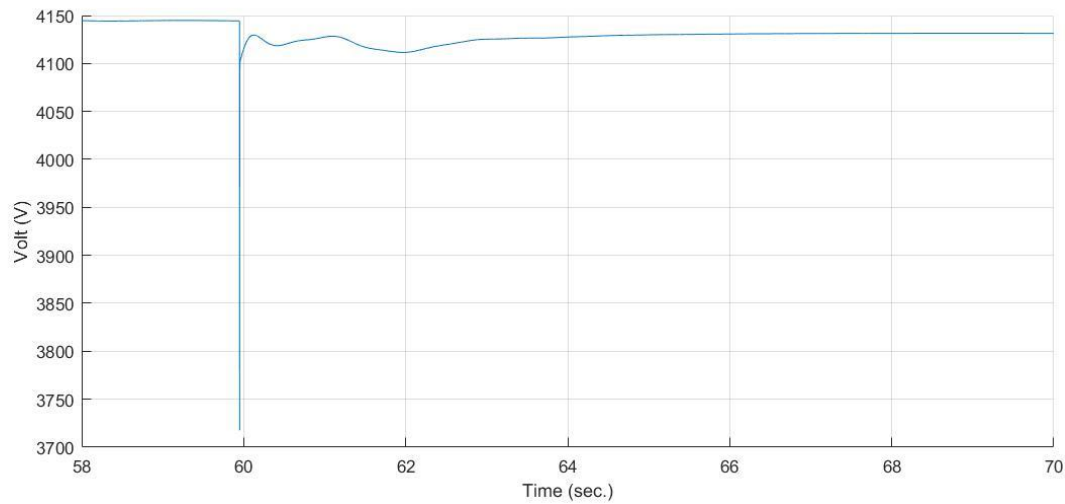


Εικόνα 92: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 41 sec. έως 49 sec.

## Μελέτη και εξομίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

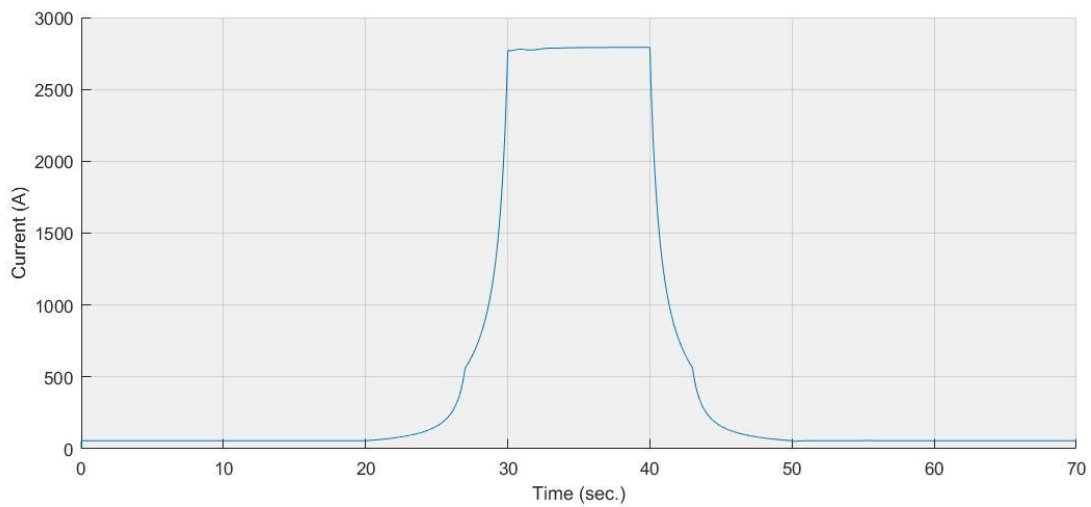


Εικόνα 93: Κυματομορφή ρεύματος βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 58 sec. έως 70 sec.

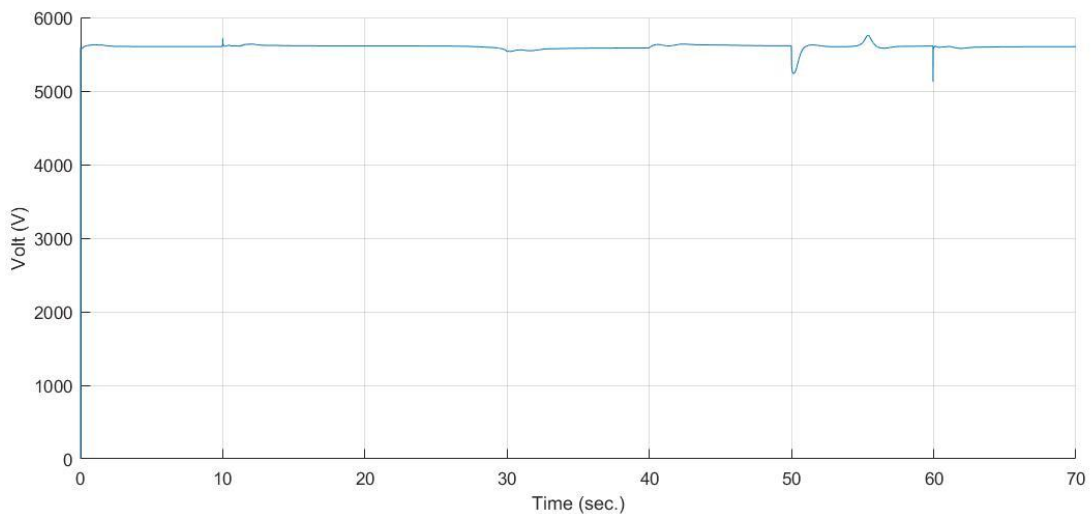


Εικόνα 94: Κυματομορφή τάσης βασικού φορτίου, ξενοδοχειακού φορτίου και Bow Thruster από 51 sec. έως 59 sec.

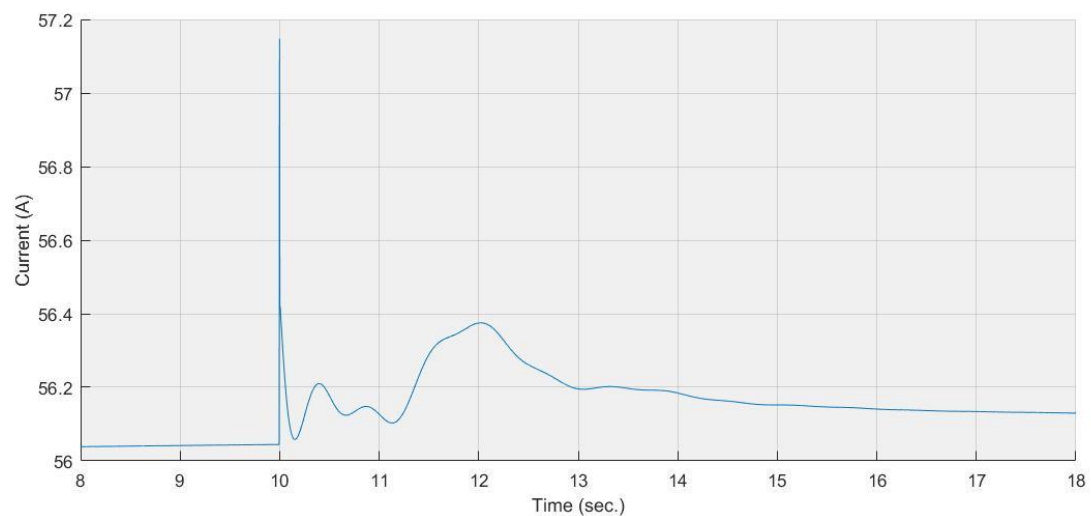
#### IV. Φορτίο πρόωσης



Εικόνα 95: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης.

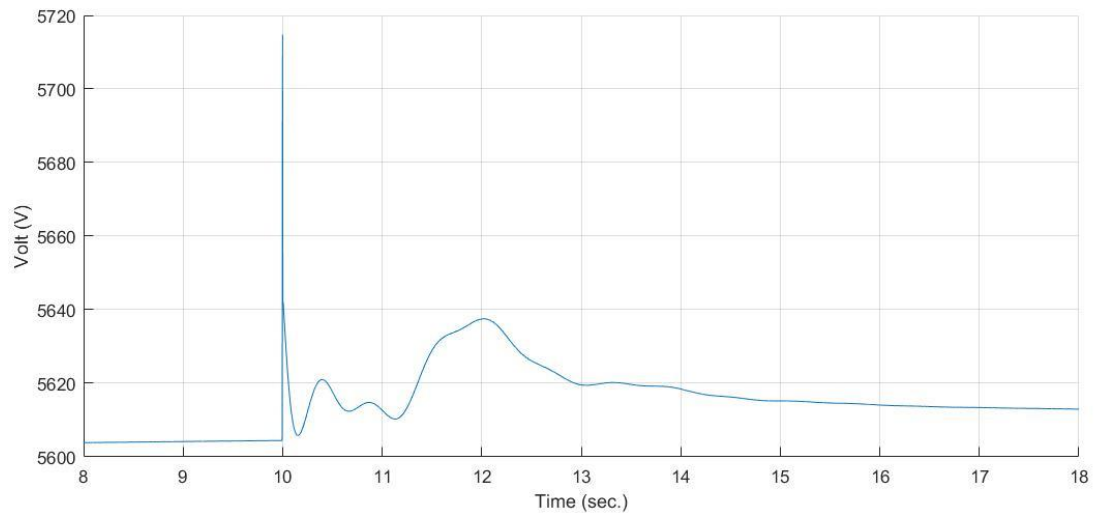


Εικόνα 96: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης.

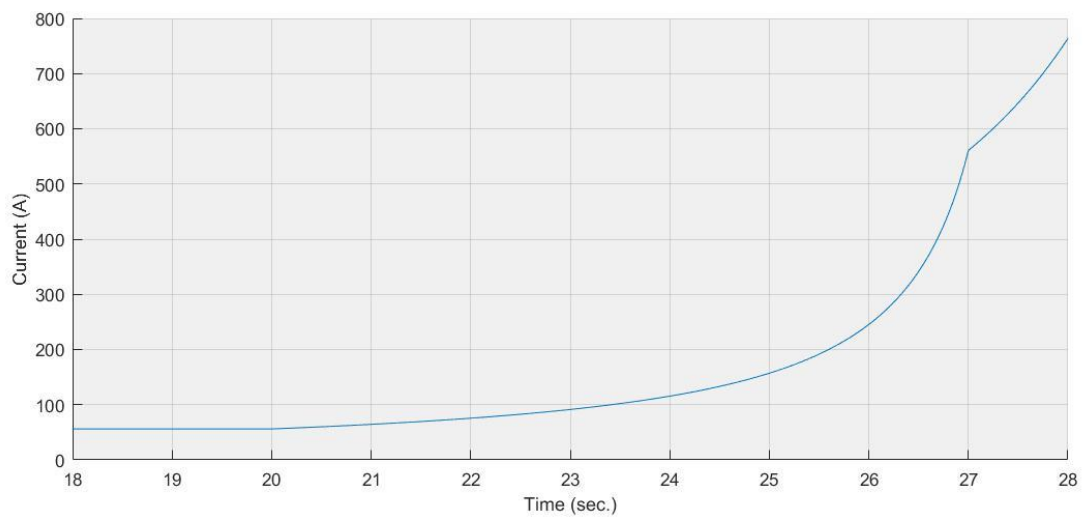


Εικόνα 97: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης από 8 sec. έως 18 sec.

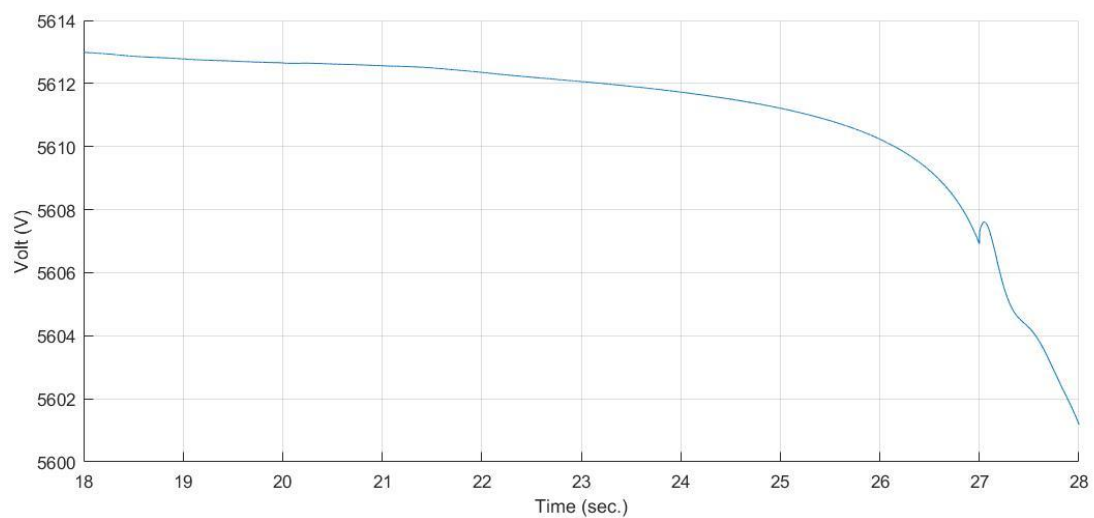
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 98: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης από 8 sec. έως 18 sec.

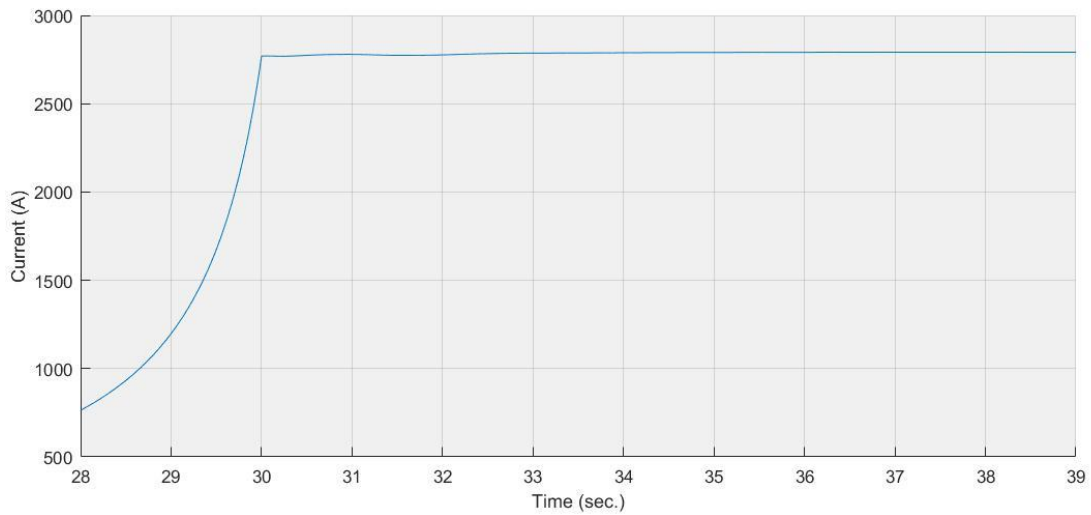


Εικόνα 99: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης από 18 sec. έως 28 sec.

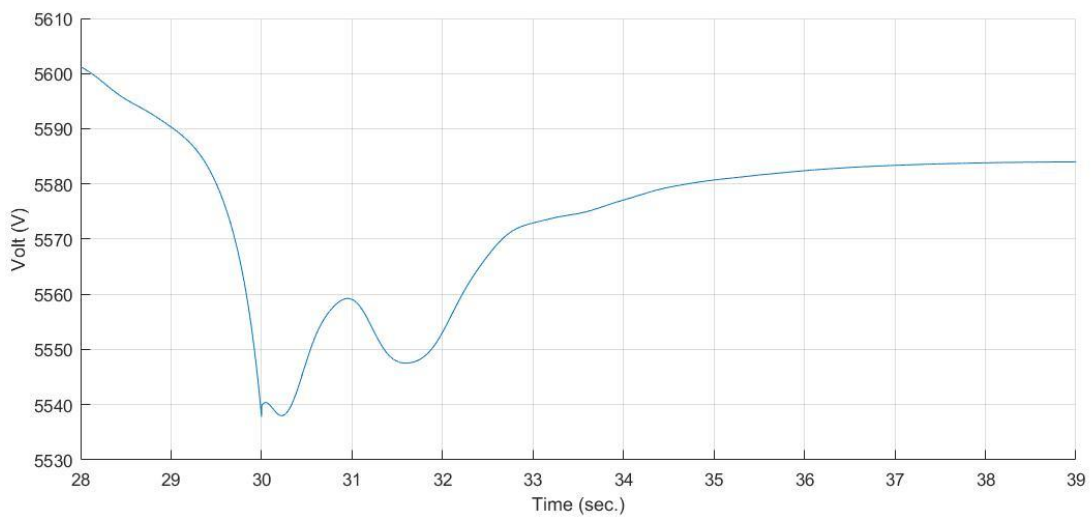


Εικόνα 100: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης από 18 sec. έως 28 sec.

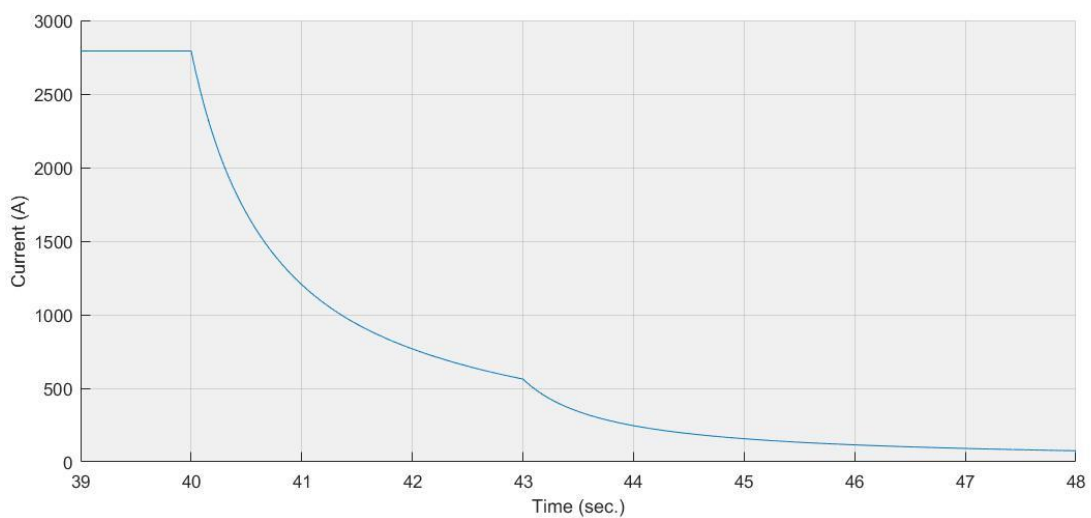
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 101: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης από 28 sec. έως 39 sec.

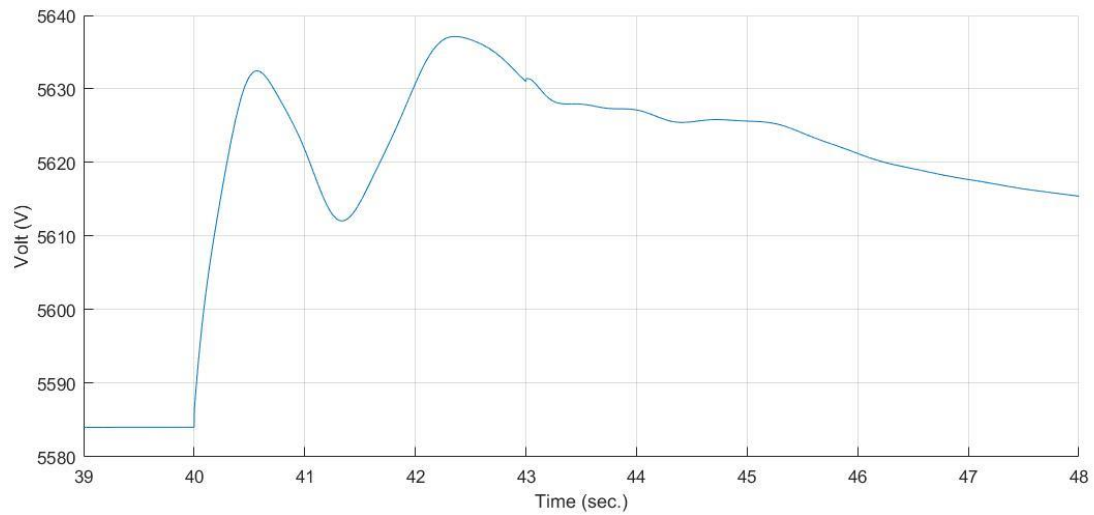


Εικόνα 102: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης από 28 sec. έως 39 sec.

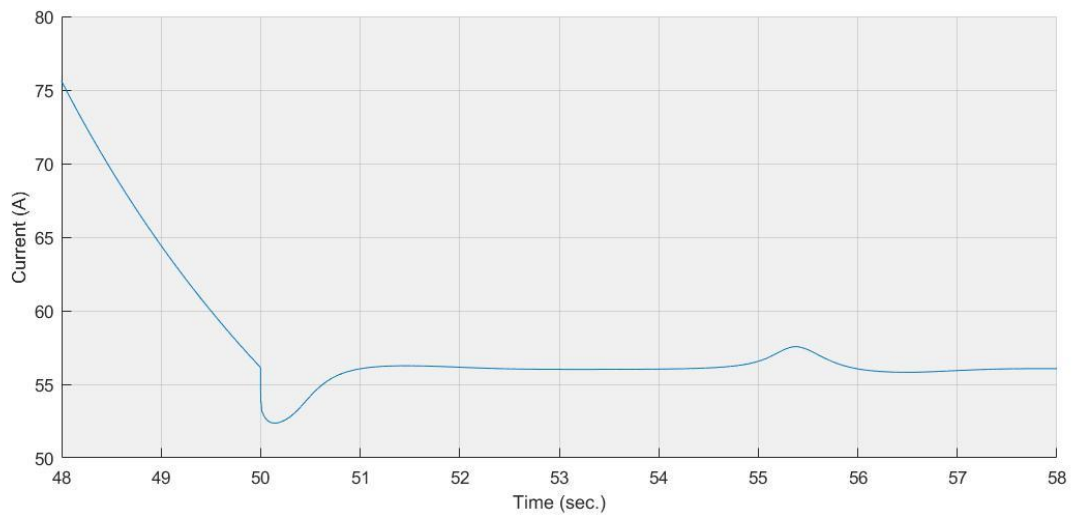


Εικόνα 103: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης από 31 sec. έως 39 sec.

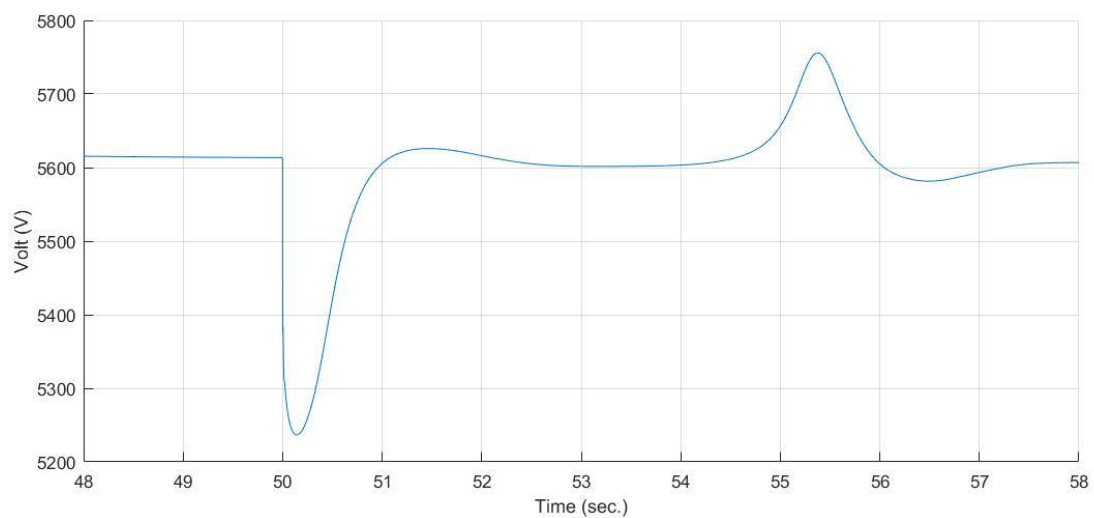
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 104: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης από 39 sec. έως 48 sec.

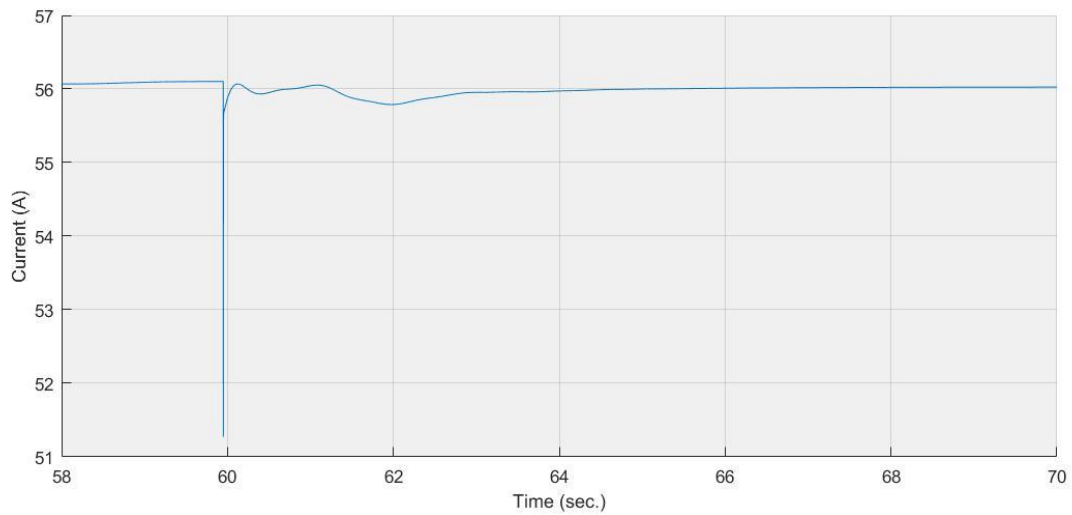


Εικόνα 105: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης από 41 sec. έως 49 sec.

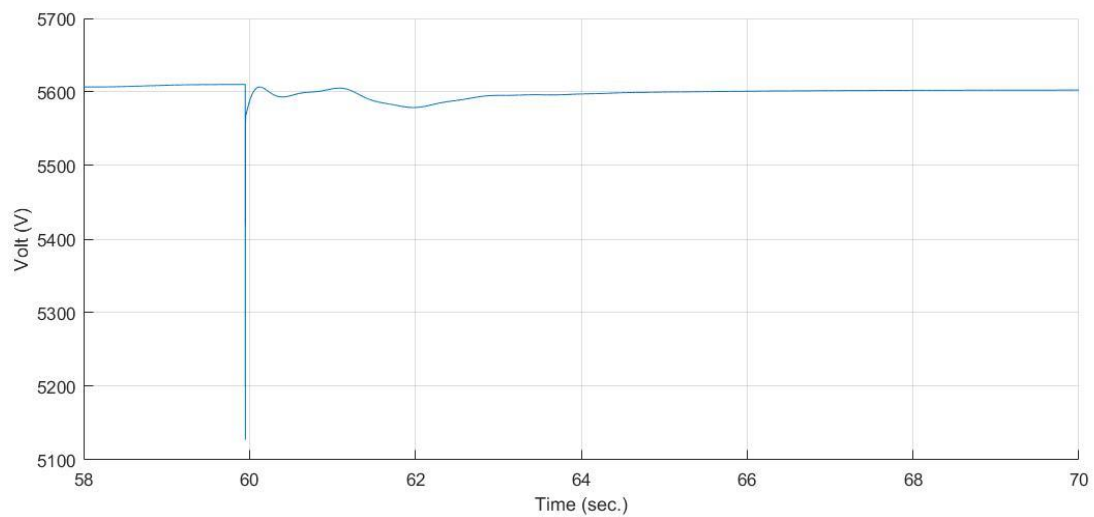


Εικόνα 106: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης από 48 sec. έως 58 sec.

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



*Εικόνα 107: Κυματομορφή ρεύματος φορτίου πρόωσης από 58 sec. έως 70 sec.*



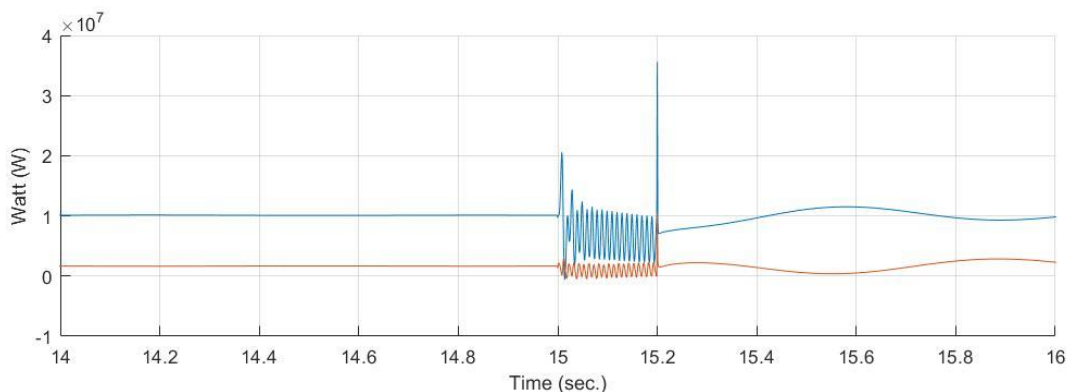
*Εικόνα 108: Κυματομορφή τάσης φορτίου πρόωσης από 58 sec. έως 70 sec.*

## 9. Παρατηρήσεις και συμπεράσματα σε περιπτώσεις ύπαρξης σφάλματος σε κάποια επιλεγμένα σημεία του συστήματος

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν οι κυματομορφές που μας δείχνουν πως συμπεριφέρονται οι κινητήρες και όλα τα φορτία κατά τη λειτουργία του συστήματος με την ύπαρξη σφάλματος. Οι θέσεις στις οποίες γίνονται τα σφάλματα αναπαρίστανται στην εικόνα 38 και ορίζονται σαν σφάλμα 1, το σφάλμα που γίνεται στην πλευρά του Ε.Ρ. και σαν σφάλμα 2 το σφάλμα που γίνεται στη πλευρά του Σ.Ρ. Επίσης, έχει οριστεί το σφάλμα να γίνεται στα 15 sec. από την έναρξη της προσομοίωσης και να διαρκεί 0.2 sec. Παρ' όλα αυτά, όταν το σφάλμα γίνεται στη πλευρά του Σ.Ρ., διαρκεί μόνο 0.001 sec., λόγω του ότι το σφάλμα εκκαθαρίζεται πολύ πιο γρήγορα στο Σ.Ρ.

Στη συνέχεια, προβάλλονται τα σφάλματα ανά περιπτώσεις. Στη μία περίπτωση θα απεικονίζεται ένα διάγραμμα όταν το σφάλμα βρίσκεται στο τμήμα του Ε.Ρ. και στην άλλη περίπτωση όταν το σφάλμα βρίσκεται στο τμήμα του Σ.Ρ., καθώς θα παρουσιαστούν και διάφορες κυματομορφές, οι οποίες αναπαριστούν τη συμπεριφορά του συστήματος κατά το σφάλμα. Στην εικόνα 109, γίνεται η απεικόνιση των ισχύων του πετρελαιοκινητήρα και του αεροστροβίλου στο σύστημα λίγο πριν το σφάλμα, κατά τη διάρκειά του και αμέσως μετά. Παρατηρείται, πως υπάρχει μια αντίδραση στο σύστημα, κάτι που είναι λογικό καθώς ένα σφάλμα σε ένα σημείο του κυκλώματος είναι λογικό να επηρεάσει ελάχιστα και τα άλλα φορτία.

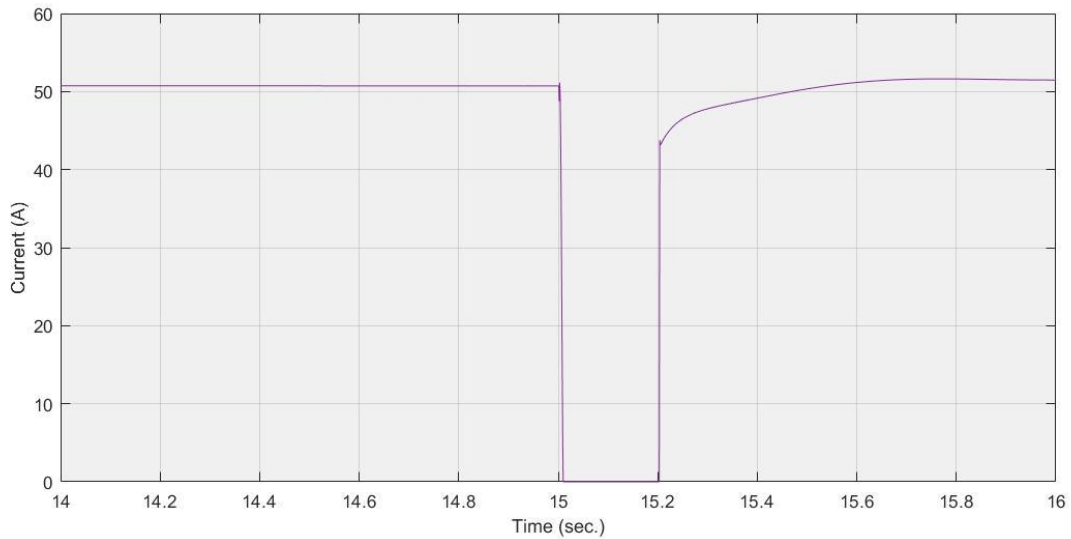
### I. Σφάλμα στο τμήμα του Ε.Ρ.



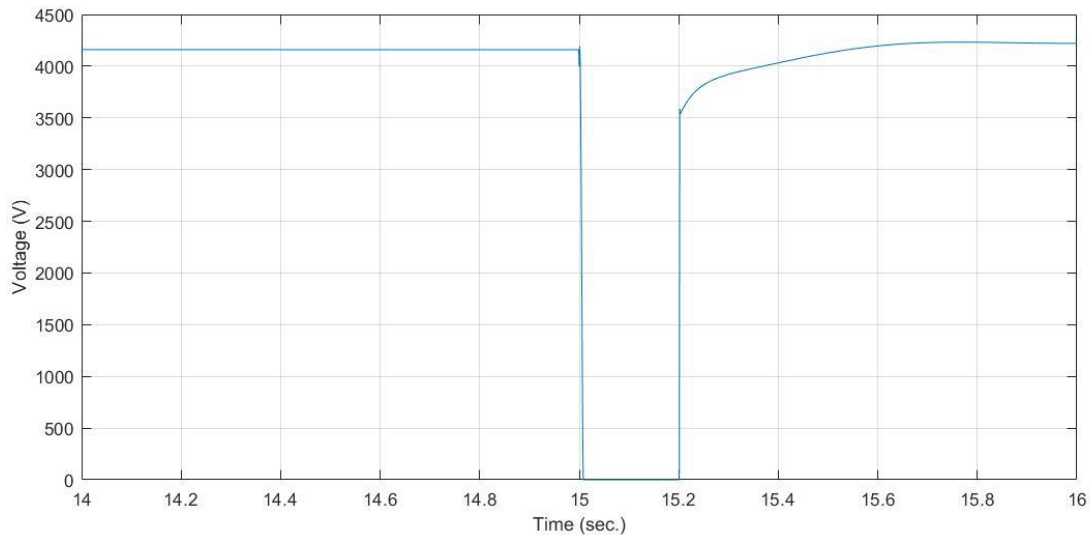
Εικόνα 109: Διάγραμμα ισχύος που δείχνει την αντίδραση του συστήματος. Η κόκκινη γραμμή δείχνει τη κυματομορφή του πετρελαιοκινητήρα και η μπλε του αεροστροβίλου.



## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

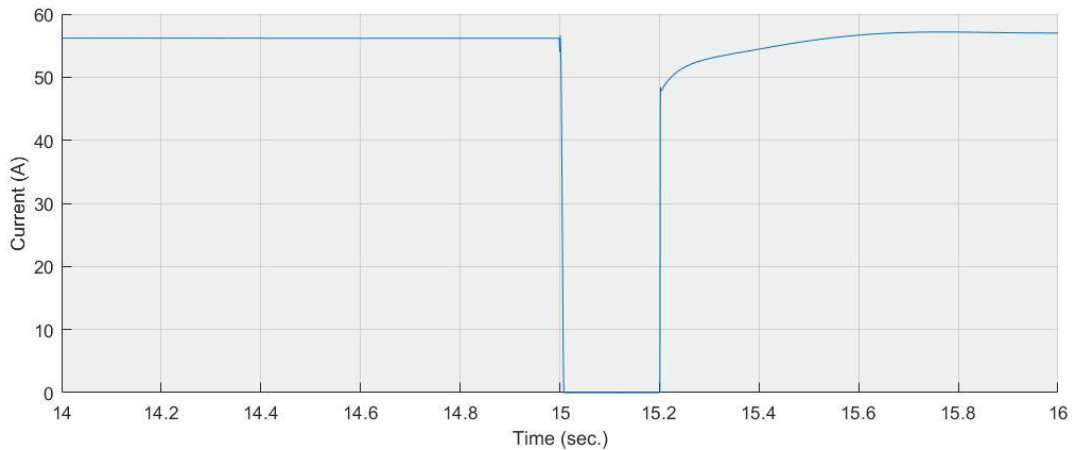


Εικόνα 110: Διάγραμμα ρεύματος ακριβώς μετά το σφάλμα και τον διακόπτη C.B. 2 στη πλευρά του E.P.

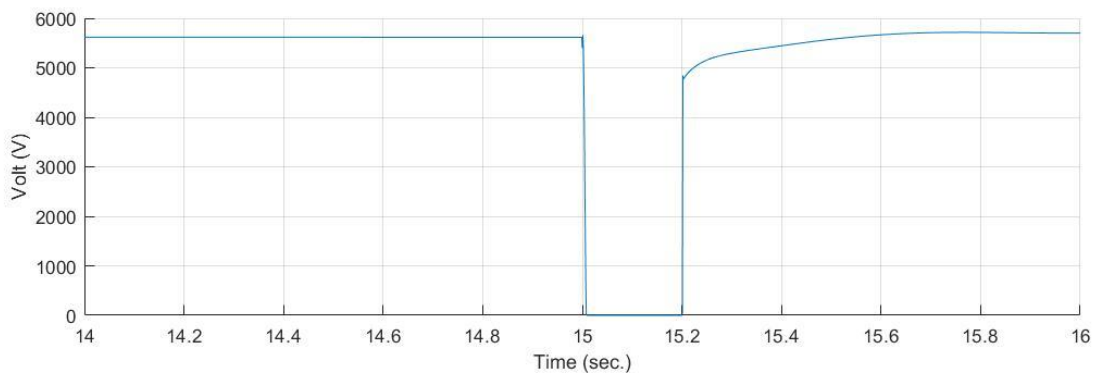


Εικόνα 111: Διάγραμμα τάσης ακριβώς μετά το σφάλμα και τον διακόπτη C.B. 2 στη πλευρά του E.P.

Στις εικόνες 110 και 111, παρουσιάζονται οι αντιδράσεις του ρεύματος και της τάσης αντίστοιχα στη περίπτωση που το σφάλμα γίνει στη πλευρά του E.P. πριν τον inverter και ανοίγει ο C.B. 2 ούτως ώστε να προστατευτεί το τμήμα μετά από αυτόν.



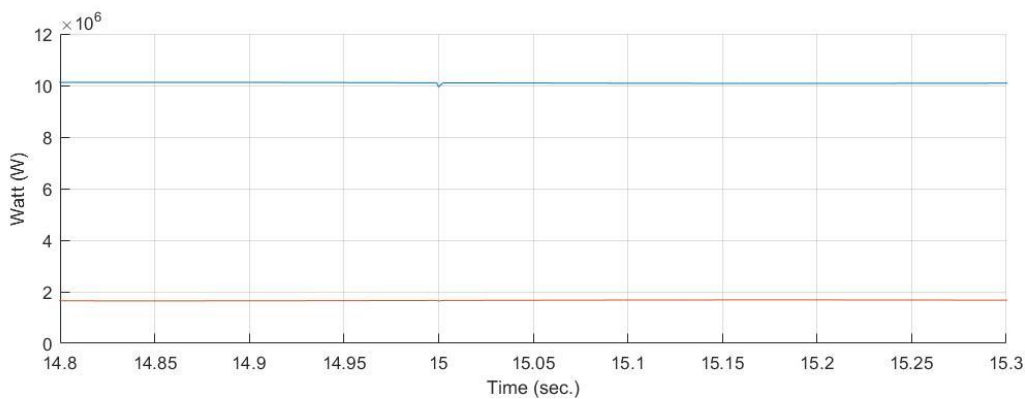
Εικόνα 112: Διάγραμμα ρεύματος ακριβώς μετά το σφάλμα, τον διακόπτη, τον inverter και τον διακόπτη Σ.Ρ. C.B. 3 στη πλευρά του Σ.Ρ.



Εικόνα 113: Διάγραμμα τάσης ακριβώς μετά το σφάλμα, τον διακόπτη, τον inverter και τον διακόπτη Σ.Ρ. C.B. 3 στη πλευρά του Σ.Ρ.

Ενώ στις εικόνες 112 και 113, παρουσιάζονται οι αντιδράσεις του ρεύματος και της τάσης αντίστοιχα στο κομμάτι του Σ.Ρ. του κυκλώματος, αλλά στη περίπτωση που το σφάλμα γίνει στη πλευρά του Ε.Ρ. και ανοίγει πάλι ο C.B. 2.

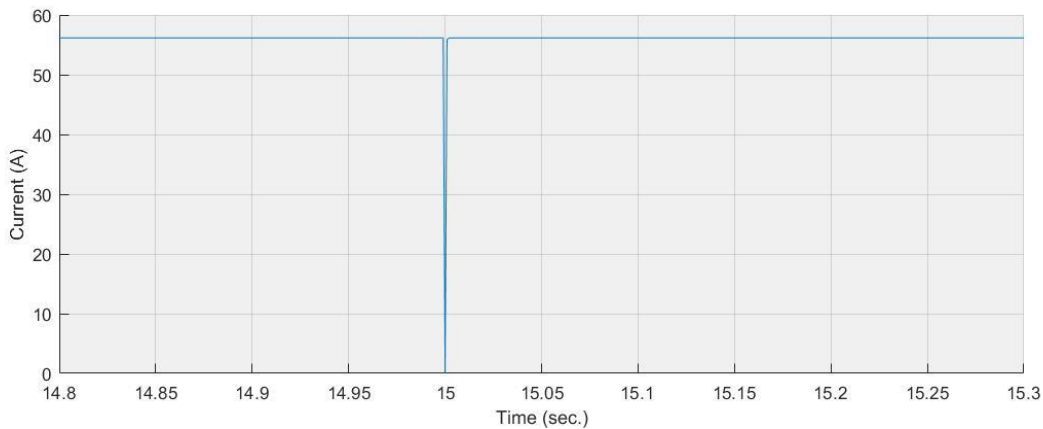
## II. Σφάλμα στο τμήμα του Σ.Ρ.



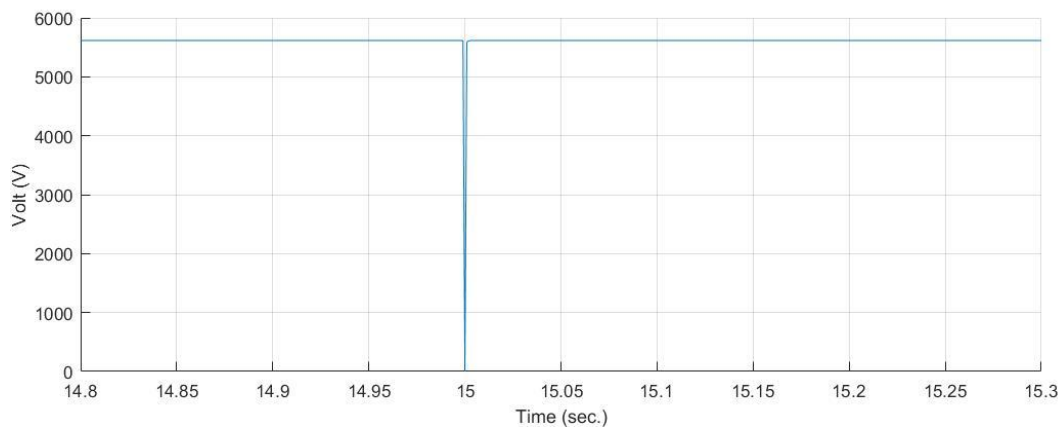
Εικόνα 114: Διάγραμμα ισχύος που δείχνει την αντίδραση του συστήματος. Η κόκκινη γραμμή δείχνει τη κυματομορφή του πετρελαιοκινητήρα και η μπλε του αεροστροβίλου.

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

Στην εικόνα 114, απεικονίζονται οι ισχύς του πετρελαιοκινητήρα και του αεροστροβίλου στο σύστημα λίγο πριν το σφάλμα, κατά τη διάρκειά του και αμέσως μετά, όταν αυτό γίνεται μετά τον inverter στην πλευρά του Σ.Ρ. Εκεί παρατηρείται πως η αντίδραση που υπάρχει το κύκλωμα είναι ακόμα πιο μικρή λόγω και του ότι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το σφάλμα διαρκεί μόνο 0.001 sec.



Εικόνα 115: Διάγραμμα ρεύματος ακριβώς μετά το σφάλμα και τον διακόπτη C.B. 3 στη πλευρά του Σ.Ρ.



Εικόνα 116: Διάγραμμα τάσης ακριβώς μετά το σφάλμα και τον διακόπτη C.B. 3 στη πλευρά του Σ.Ρ.

Στις εικόνες 115 και 116, παρουσιάζονται οι αντιδράσεις του ρεύματος και της τάσης αντίστοιχα όταν το σφάλμα γίνει στη πλευρά του Σ.Ρ. αμέσως μετά τον inverter και ανοίγει ο C.B. 3 για τη προστασία του τμήματος αυτού.

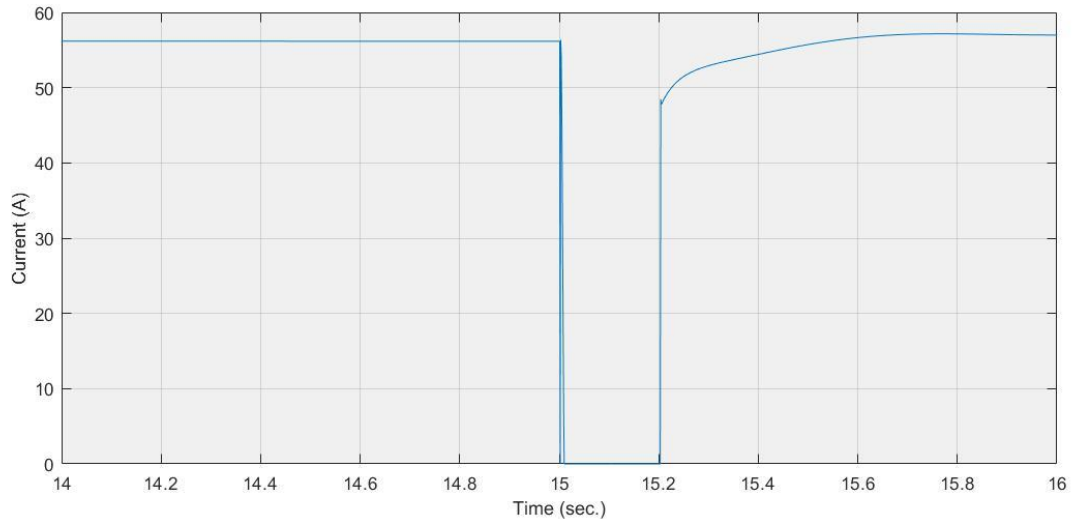
### III. Σφάλμα ταυτόχρονα στο Ε.Ρ. και στο Σ.Ρ.

Στη περίπτωση αυτή θα πραγματοποιήσουμε κάποια σφάλματα και στη πλευρά του Ε.Ρ. και σε αυτή του Σ.Ρ. ταυτόχρονα. Αρχικά θα δούμε πως συμπεριφέρεται το ρεύμα και η τάση κατά στο σφάλμα βραχυκυκλώματος, το οποίο όπως και πριν εκδηλώνεται στα 15 sec. της προσομοίωσης και διαρκεί για 0,2 sec., στη πλευρά του Σ.Ρ., όταν αυτό συμβαίνει αμέσως μετά τον μετατροπέα Ε.Ρ. / Σ.Ρ. και ακριβώς πριν τον διακόπτη. Να σημειωθεί ότι το ενεργό ρεύμα του συστήματος στη πλευρά του Σ.Ρ. είναι 55,84 A και η ενεργή τάση είναι 5584 V, ενώ στη πλευρά του Ε.Ρ. το ενεργό ρεύμα είναι 50,44 A και η ενεργή τάση 4135 V.

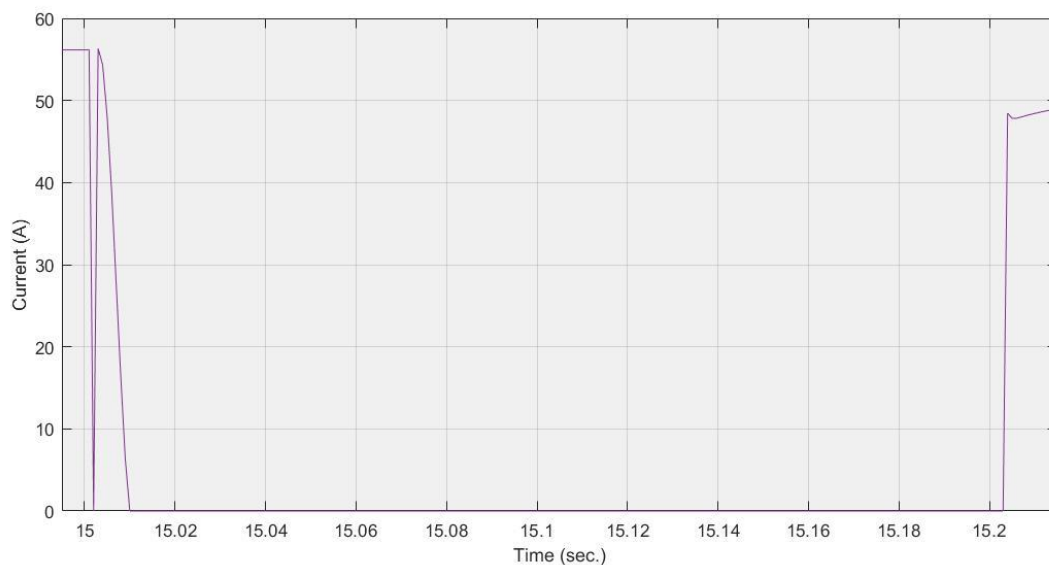
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

Θα παρουσιάσω παρακάτω το κάθε διάγραμμα για το οποίο θα αναλύσουμε και στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η ίδια περίπτωση με μεγαλύτερη ακρίβεια κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος, με σκοπό να παρατηρήσουμε πιο προσεκτικά την αντίδραση του συστήματος.

- Πλευρά Σ.Ρ.



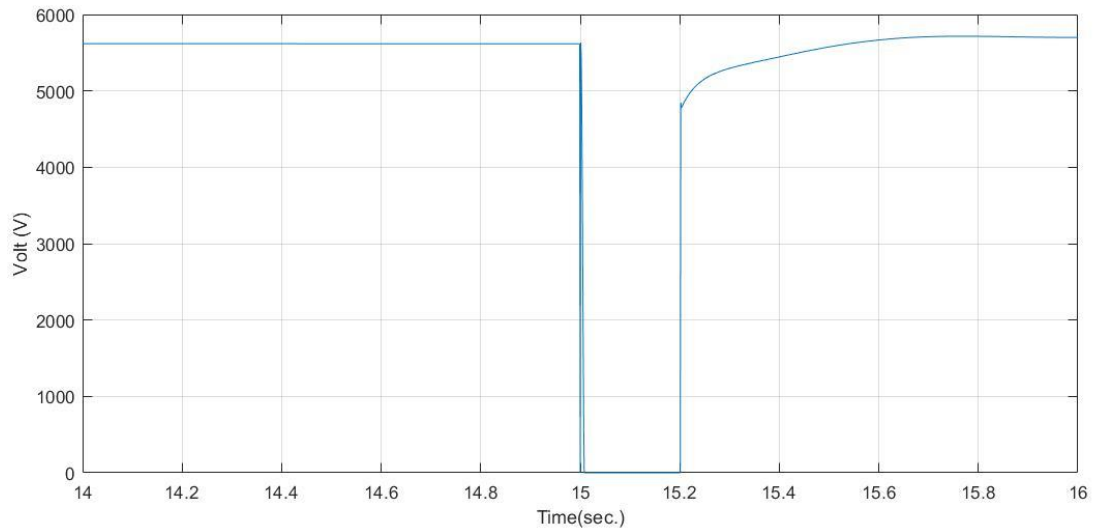
Εικόνα 117: Διάγραμμα ρεύματος στη πλευρά του Σ.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.



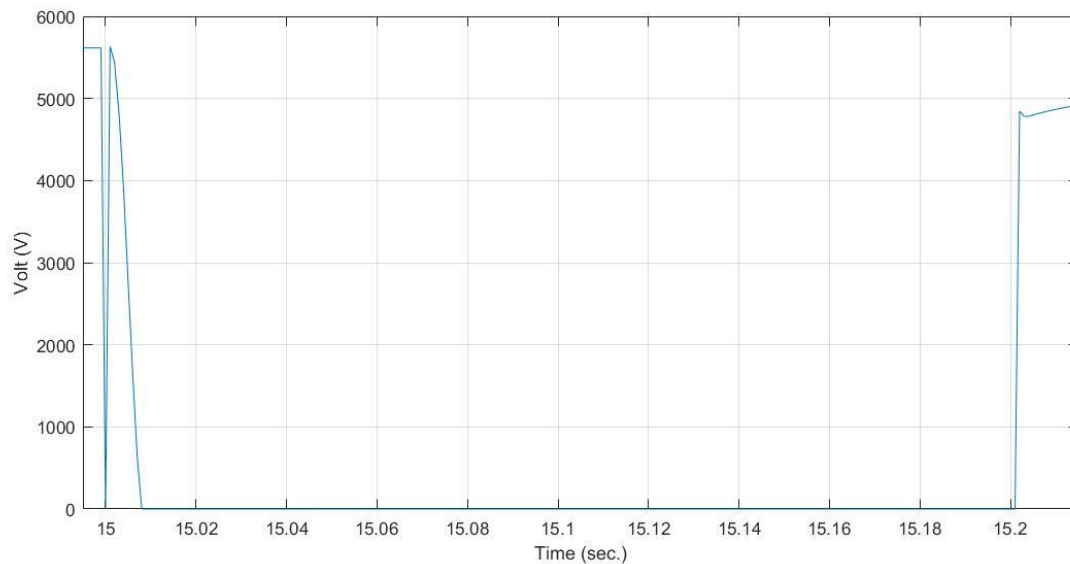
Εικόνα 118: Διάγραμμα ρεύματος με μεγαλύτερη ακρίβεια, στη πλευρά του Σ.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Παρατηρείται λοιπόν, μια καθυστέρηση 0.002 sec. ούτως ώστε να κόψει το ρεύμα ο διακόπτης. Ο διακόπτης δηλαδή κόβει στα 15.002 sec. και έχουμε αναπήδηση από τα 15.003 sec. έως τα 15.01 sec. όταν και εκκαθαρίζεται μέχρι τα 15.204 sec. που γίνεται και η επαναφορά στη κανονική λειτουργία του συστήματος.

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



Εικόνα 119: Διάγραμμα τάσης στη πλευρά του Σ.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

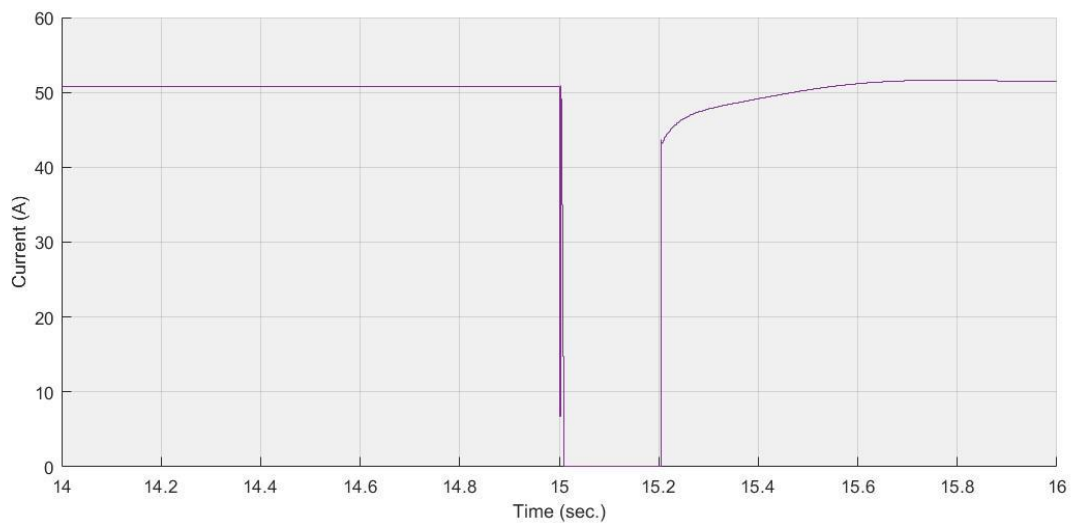


Εικόνα 120: Διάγραμμα τάσης με μεγαλύτερη ακρίβεια, στη πλευρά του Σ.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

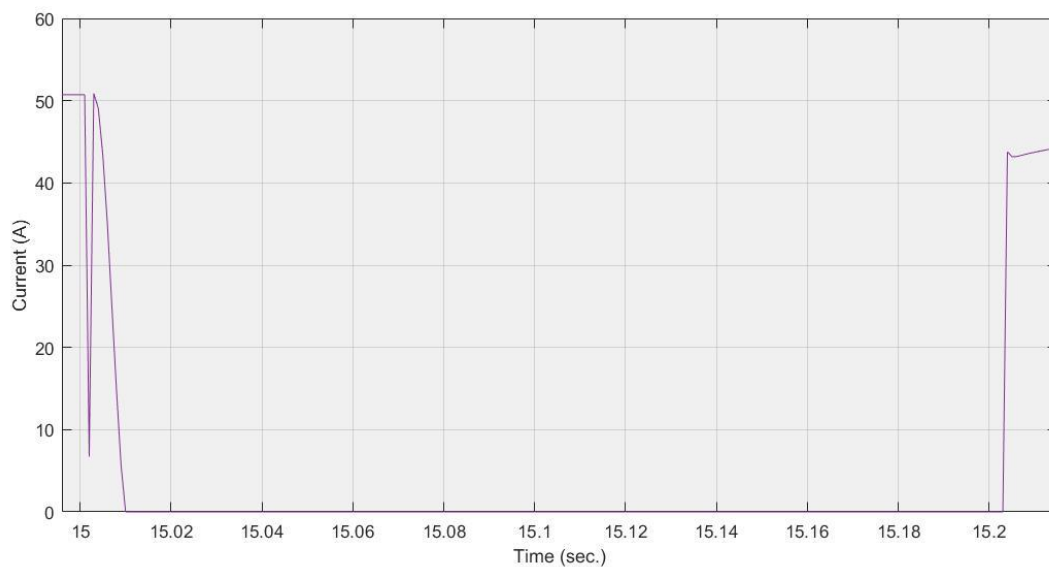
Παρατηρείται λοιπόν, πτώση της τάσης στο 0 στα 15 sec. και έχουμε αναπήδηση από τα 15.001 sec. και πλήρη εκκαθάριση του σφάλματος βραχυκύκλωσης στα 15.008 sec. με επαναφορά του συστήματος στη κανονική του λειτουργία στα 15.202 sec.

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

- Πλευρά Ε.Ρ.

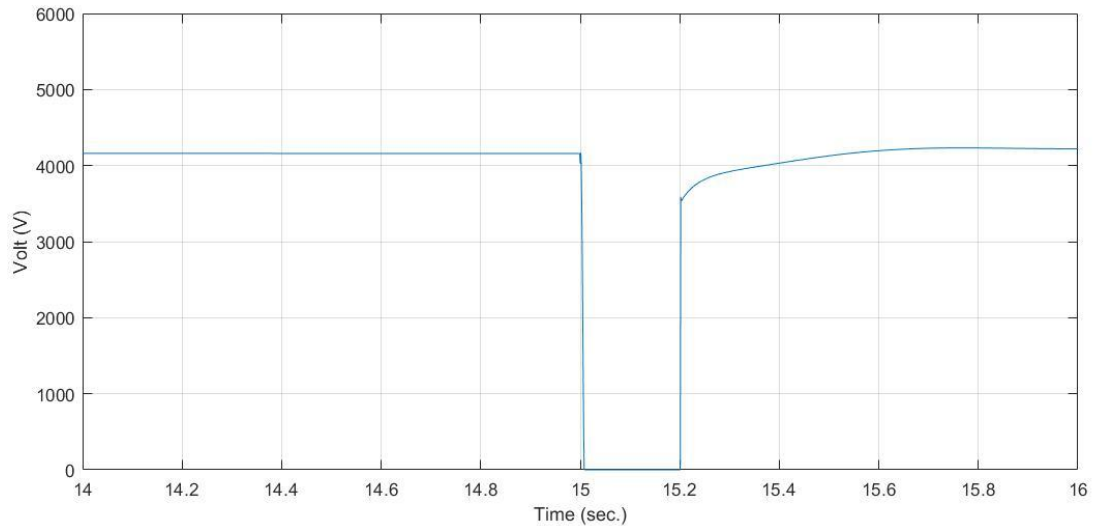


Εικόνα 121: Διάγραμμα ρεύματος στη πλευρά του Ε.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

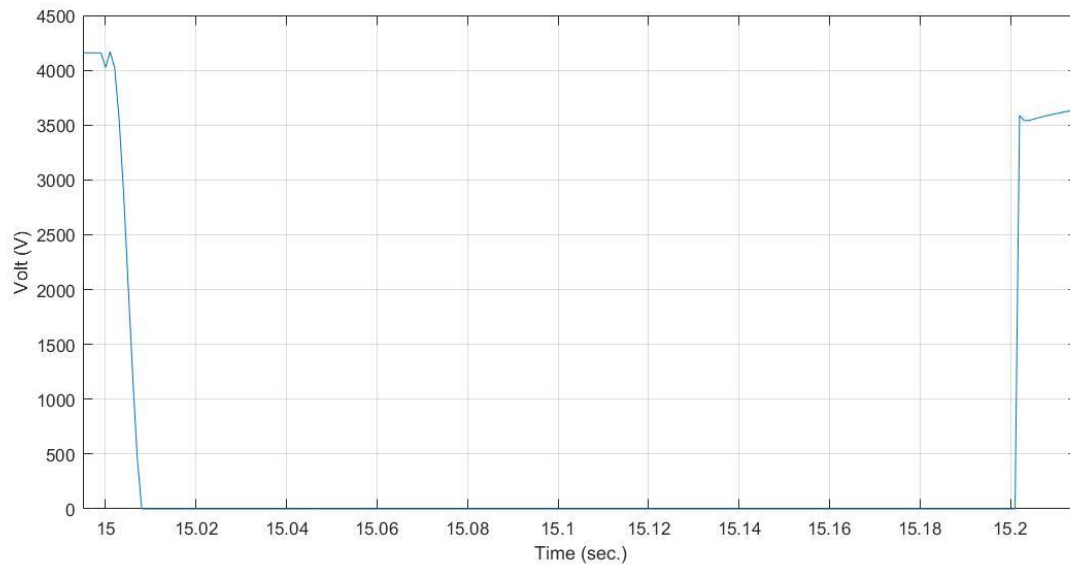


Εικόνα 122: Διάγραμμα ρεύματος με μεγαλύτερη ακρίβεια, στη πλευρά του Ε.Ρ. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Παρατηρείται λοιπόν, μια καθυστέρηση 0.01 sec. ούτως ώστε να κόψει το ρεύμα ο διακόπτης. Ο διακόπτης δηλαδή κόβει στα 15.01 sec. και εκκαθαρίζεται μέχρι τα 15.204 sec. που γίνεται και η επαναφορά στη κανονική λειτουργία του συστήματος.



Εικόνα 123: Διάγραμμα τάσης στη πλευρά του E.P. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του E.P. και του Σ.P. ταυτόχρονα.



Εικόνα 124: Διάγραμμα τάσης με μεγαλύτερη ακρίβεια, στη πλευρά του E.P. κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του E.P. και του Σ.P. ταυτόχρονα.

Παρατηρείται λοιπόν, μια καθυστέρηση 0.009 sec. ούτως ώστε να κόψει το ρεύμα ο διακόπτης. Ο διακόπτης δηλαδή κόβει στα 15.009 sec. και εκκαθαρίζεται μέχρι τα 15.202 sec. που γίνεται και η επαναφορά στη κανονική λειτουργία του συστήματος.

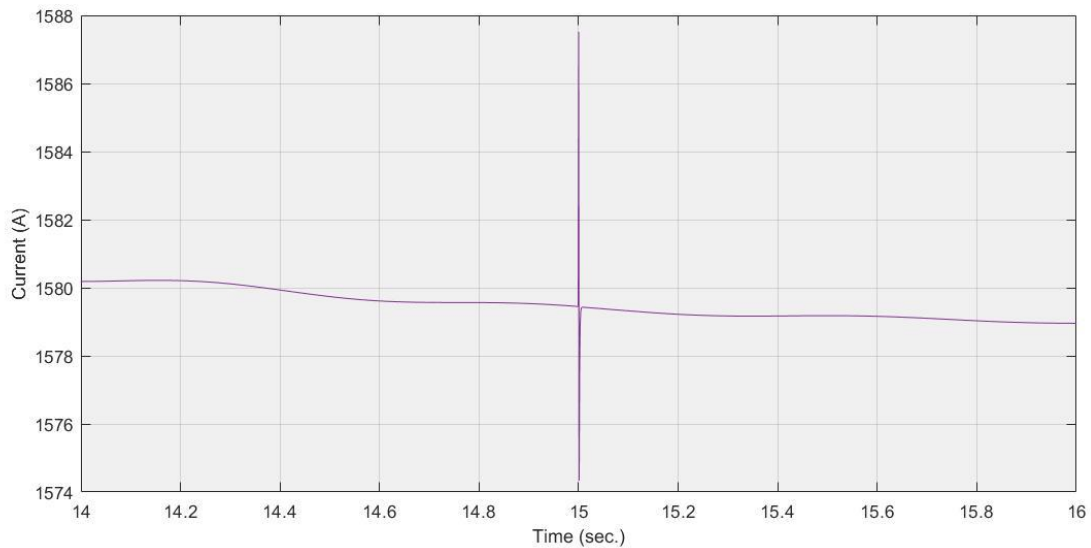
Αν λοιπόν συγκρίνουμε τις περιπτώσεις αντίδρασης του συστήματος στη περίπτωση σφάλματος βραχυκύκλωσης μόνο στη πλευρά του E.P. και σε αυτή της πλευράς του Σ.P., με τη περίπτωση σφάλματος βραχυκύκλωσης ταυτόχρονα στη πλευρά του E.P. και του Σ.P., μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι υπάρχει διαφορά στις αντιδράσεις του συστήματος στη πλευρά του Σ.P., όταν γίνεται βραχυκύκλωμα μόνο στη πλευρά αυτή, σε σχέση με όταν γίνεται και στο E.P. και στο Σ.P. ταυτόχρονα. Παρατηρείται αρχικά, ότι υπάρχει ταχύτερη εκκαθάριση του σφάλματος στη πλευρά του Σ.P. από κάθε άποψη. Είτε έχουμε βραχυκύκλωμα στη πλευρά του Σ.P. μόνο είτε και στο E.P. και στο Σ.P. Η πλευρά του Σ.P. εκκαθαρίζει πιο έγκαιρα το σφάλμα. Η ταχύτερη αντίδραση και

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

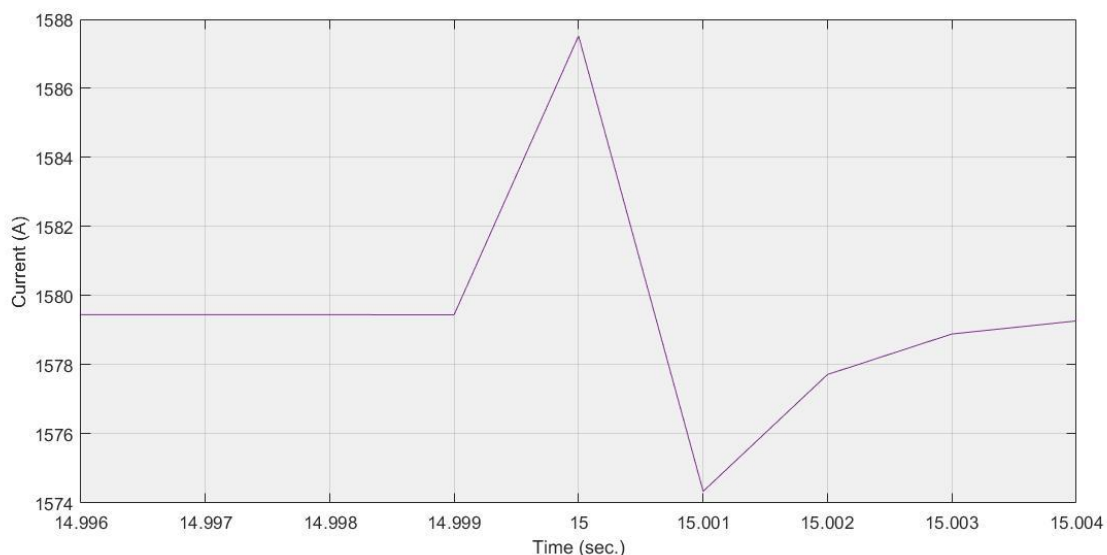
εκκαθάριση του βραχυκυκλώματος γίνεται όταν υπάρξει αυτό, μόνο στη πλευρά του Σ.Ρ., που όπως είδαμε εκκαθαρίζεται σε 0.001 sec. και το σύστημα επανέρχεται στη κανονική του λειτουργία.

- Προωθητήρας (Bow Thruster)

Σε αυτή τη περίπτωση θα εξετάσουμε την αντίδραση του συστήματος με την ύπαρξη σφάλματος βραχυκύκλωσης ακριβώς πριν τον προωθητήρα. Επειδή το σφάλμα συμβαίνει μετά τον διακόπτη ασφαλείας, περιμένουμε το σύστημα να μη κόψει τη τροφοδοσία του, αλλά να υπάρξει μια διαταραχή στο σύστημα που όπως θα παρατηρήσουμε κάποιες από αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικές.



Εικόνα 125: Διάγραμμα ρεύματος αμέσως πριν τον προωθητήρα, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

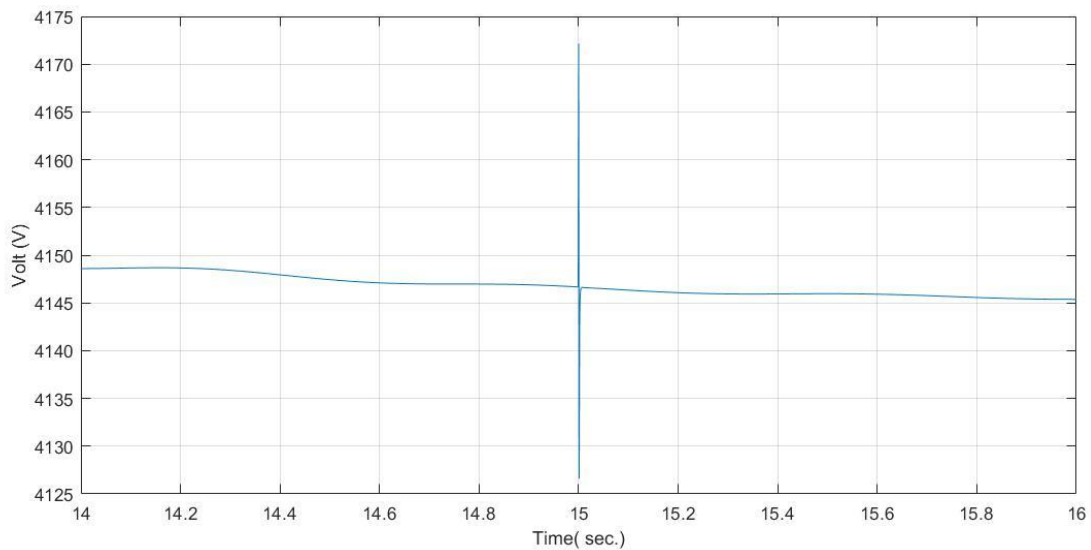


Εικόνα 126: Διάγραμμα ρεύματος με μεγαλύτερη ακρίβεια, αμέσως πριν τον προωθητήρα, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

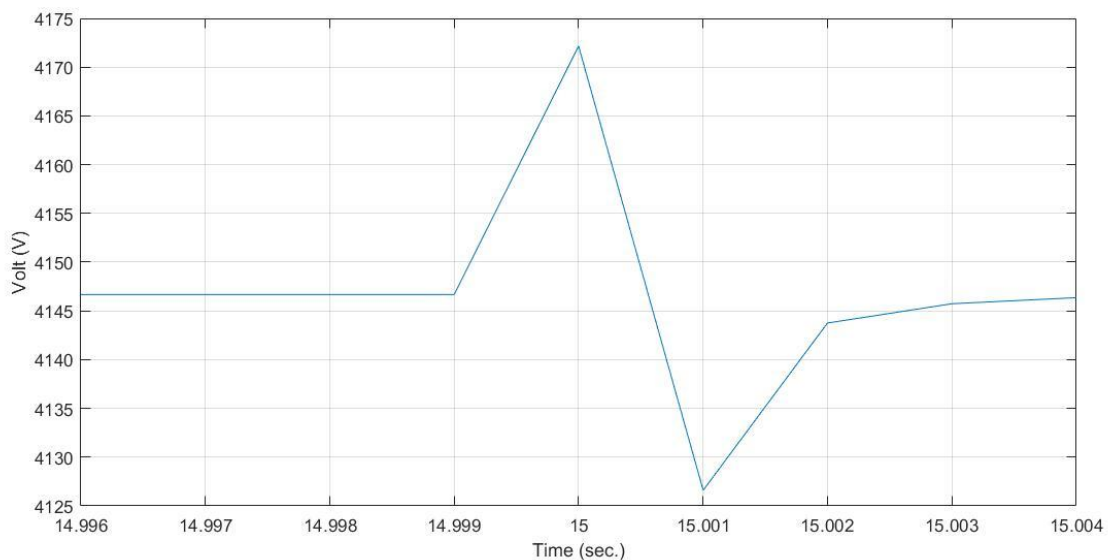


## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

Παρατηρείται μια στιγμιαία αναπήδηση η οποία δεν ξεκινά στα 15 sec., την ώρα δηλαδή που ξεκινάει το σφάλμα, αλλά στα 14.999 sec. και διαρκεί για 0.002 sec. Από τα 15.002 sec. αρχίζει το σύστημα να εξισορροπείται και στα 15.006 sec. το σύστημα επιστρέφει στη κανονική του λειτουργία.



Εικόνα 127: Διάγραμμα τάσης αμέσως πριν τον προωθητήρα, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του E.P. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.



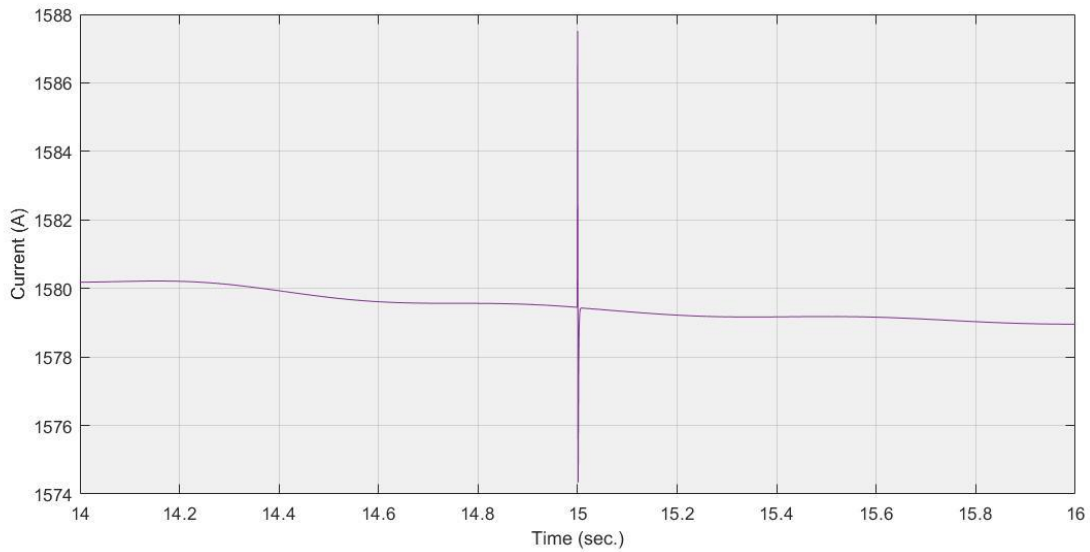
Εικόνα 126: Διάγραμμα τάσης με μεγαλύτερη ακρίβεια, αμέσως πριν τον προωθητήρα, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του E.P. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Όπως και στη περίπτωση του ρεύματος έτσι και στη περίπτωση της τάσης, η αντίδραση του συστήματος είναι αρκετά παρόμοια. Συνεπώς, η αναπήδηση της τάσης έρχεται και εδώ ελαφρά νωρίτερα από το σφάλμα και αυτή διαρκεί 0.002 sec. με την εξισορρόπηση της τάσης να ξεκινάει στα 15.002 sec. μέχρι και τα 15.006 sec. όταν και επιστρέφει το σύστημα στη κανονική λειτουργία.

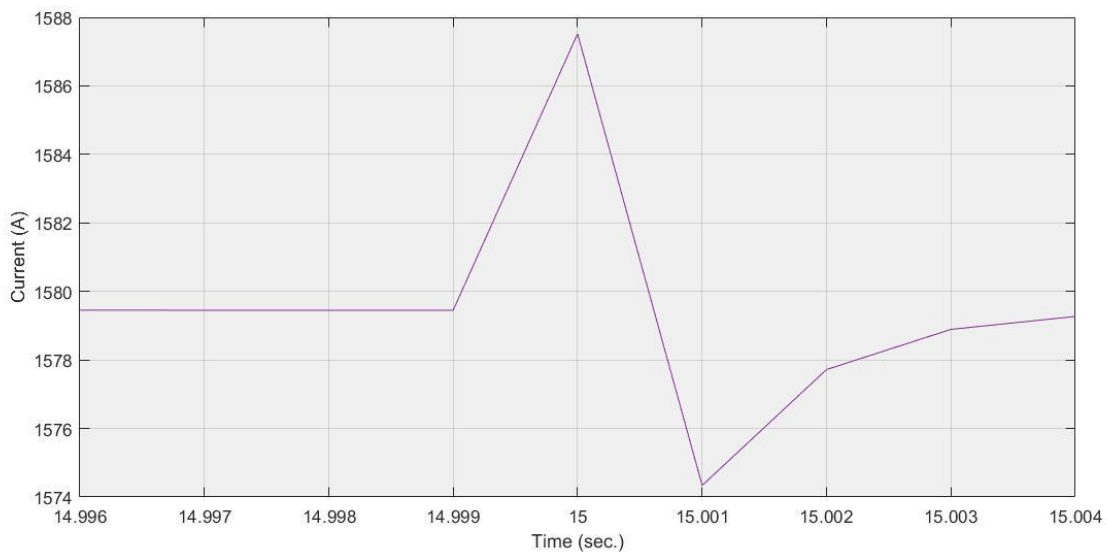
## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

- Ξενοδοχειακό φορτίο

Στο ξενοδοχειακό φορτίο οι αντιδράσεις των κυματομορφών ρεύματος και τάσης είναι ακριβώς οι ίδιες με αυτές του προωθητήρα.

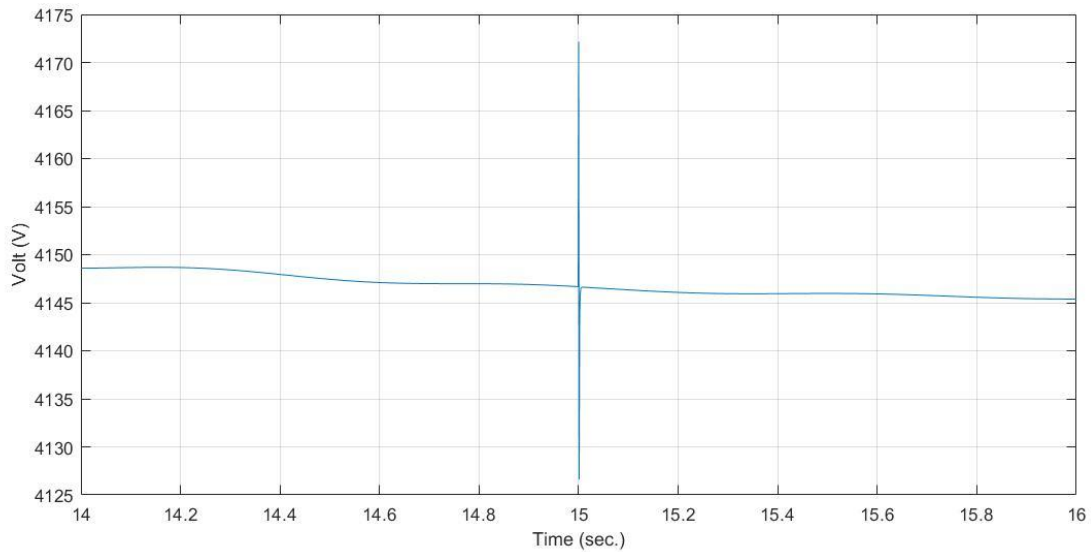


Εικόνα 127: Διάγραμμα ρεύματος αμέσως πριν το ξενοδοχειακό φορτίο, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του E.P. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

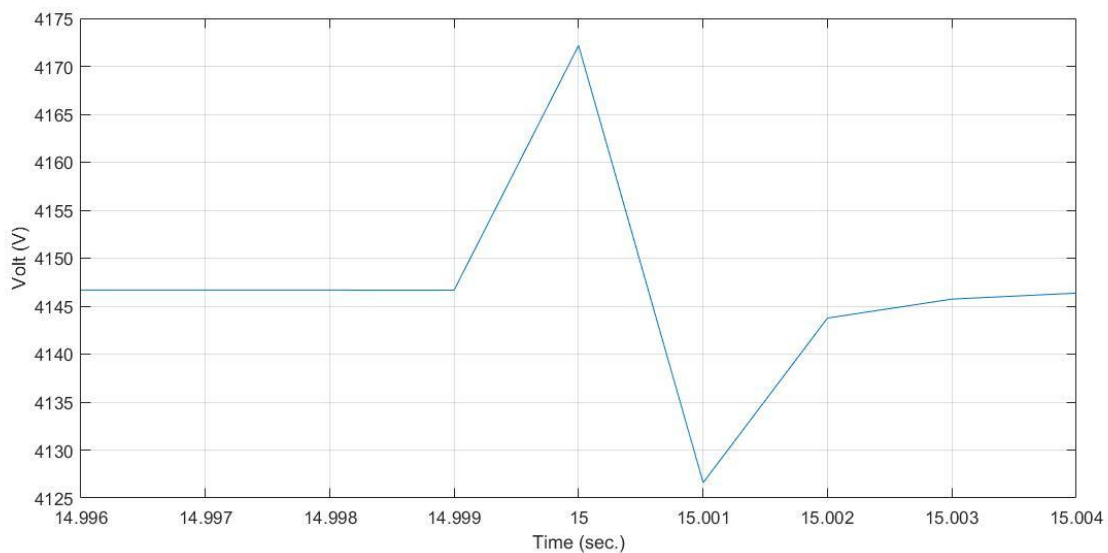


Εικόνα 128: Διάγραμμα ρεύματος με μεγαλύτερη ακρίβεια, αμέσως πριν το ξενοδοχειακό φορτίο, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του E.P. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



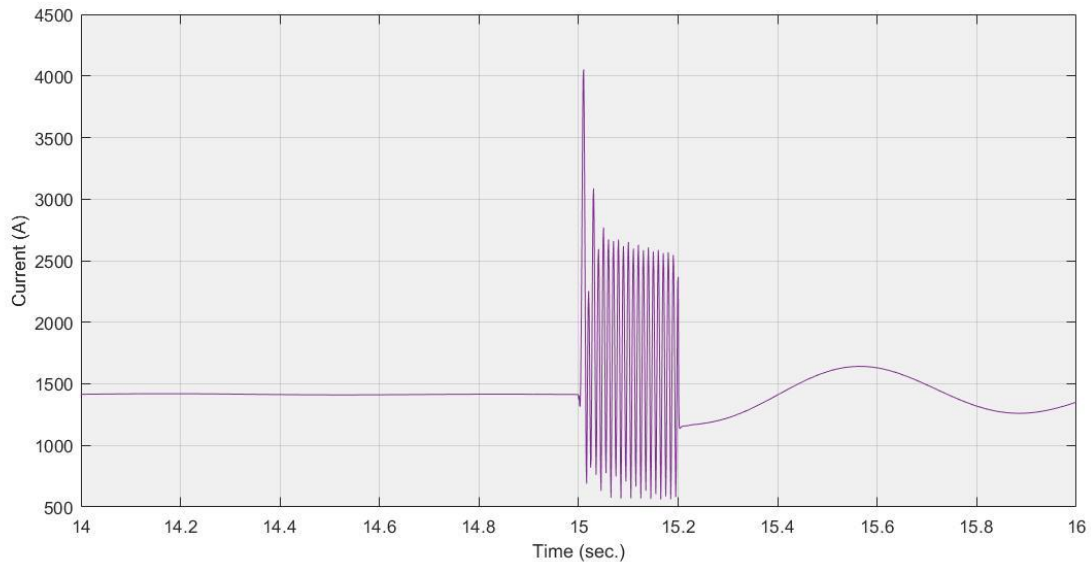
Εικόνα 129: Διάγραμμα τάσης αμέσως πριν το ξενοδοχειακό φορτίο, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.



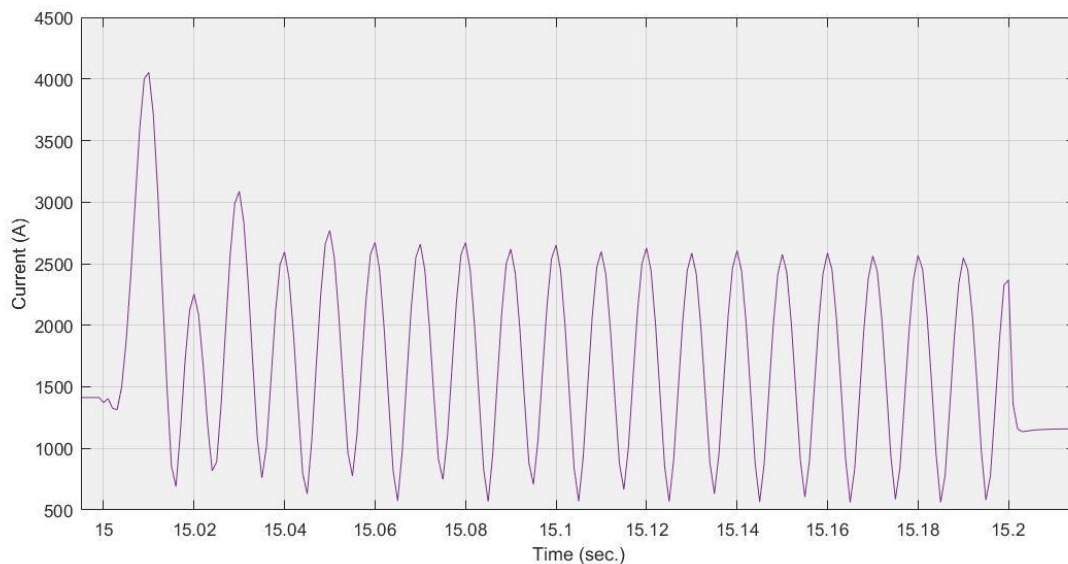
Εικόνα 130: Διάγραμμα τάσης με μεγαλύτερη ακρίβεια, αμέσως πριν το ξενοδοχειακό φορτίο, κατά την εκδήλωση σφάλματος στη πλευρά του Ε.Ρ. και του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

- Αεροστρόβιλος

Στη περίπτωση αυτή, θα εφαρμοστεί σφάλμα βραχυκύκλωσης στην έξοδο ακριβώς του αεροστροβίλου, πριν από οποιαδήποτε διάταξη προστασίας. Περιμένουμε οι διαταραχές να είναι πολύ μεγαλύτερες καθώς η μέτρηση γίνεται στην έξοδό του, χωρίς δηλαδή να υπάρχουν άλλα φορτία ή καλώδια, τα οποία καταναλώνουν ενέργεια.



Εικόνα 131: Διάγραμμα ρεύματος αεροστροβίλου, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του E.P., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

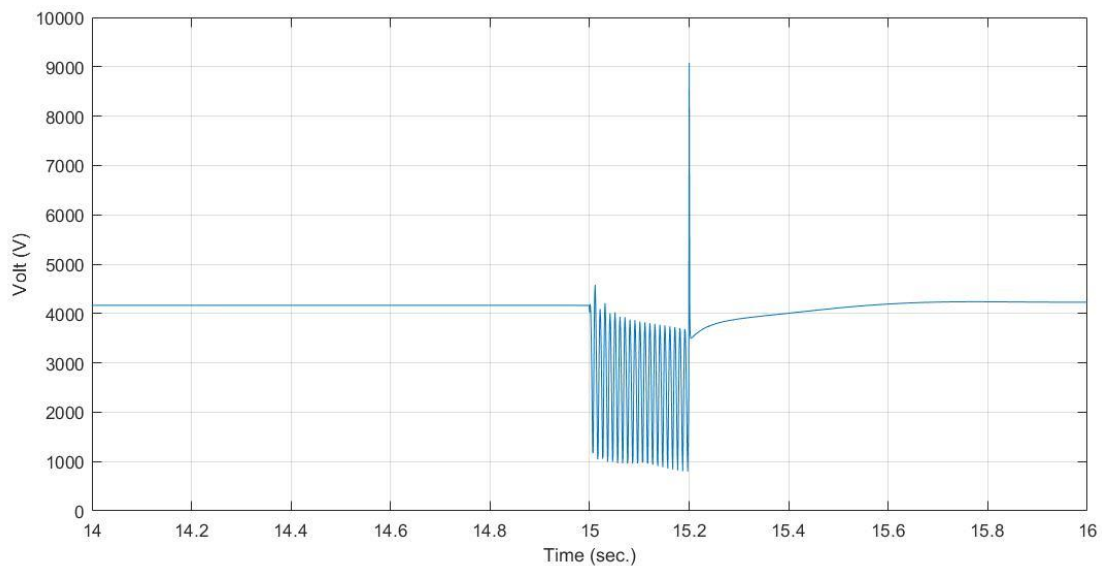


Εικόνα 132: Διάγραμμα ρεύματος αεροστροβίλου με μεγαλύτερη ακρίβεια, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του E.P., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

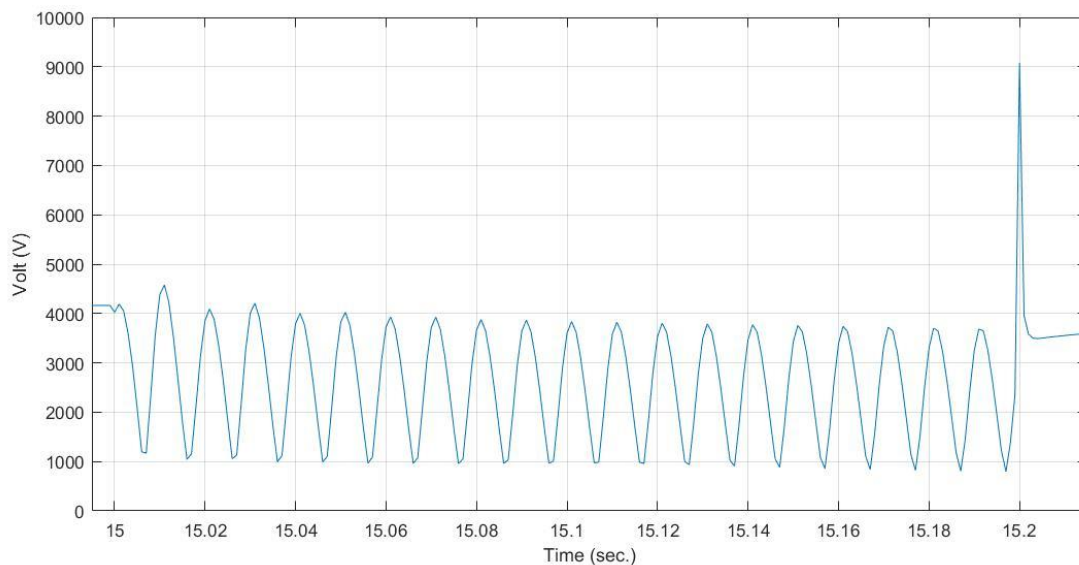
Παρατηρείται λοιπόν μεγάλη διαταραχή και μεγάλη αναπήδηση του ρεύματος στο ξεκίνημα του σφάλματος στα 15 sec. όταν και ξεκινά το σφάλμα και διαρκεί μέχρι τα 15.204 sec., όταν και αρχίζει να εξισορροπείται. Η εξισορρόπηση όμως διαρκεί μέχρι τα 22 sec. και μετά από αυτά

Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

δείχνει το σύστημα να επανέρχεται στη κανονική του λειτουργία.



Εικόνα 133: Διάγραμμα τάσης αεροστροβίλου, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του E.P., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.



Εικόνα 134: Διάγραμμα τάσης αεροστροβίλου με μεγαλύτερη ακρίβεια, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του E.P., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

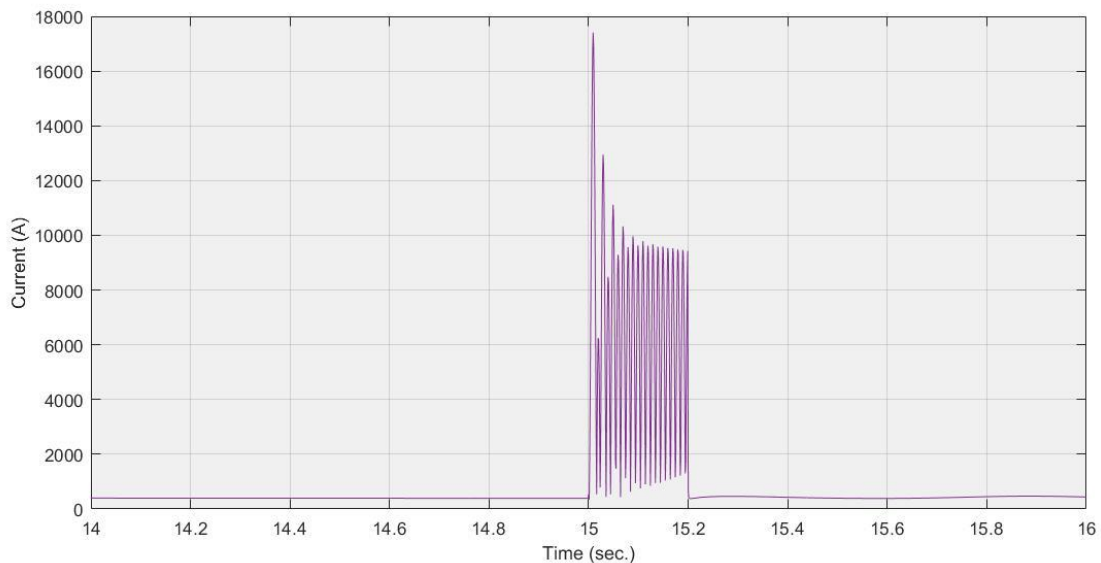
Παρατηρείται και εδώ μεγάλη διαταραχή στη κυματομορφή η οποία ξεκινά στα 15 sec. και διαρκεί έως τα 15.204 sec. όταν και αρχίζει τότε να εξισορροπείται. Η εξισορρόπηση στη περίπτωση της τάσης διαρκεί λιγότερο σε σχέση με τη περίπτωση του ρεύματος, καθώς συμβαίνει μέχρι τα 18.5 sec. και στη συνέχεια επανέρχεται το σύστημα στη κανονική λειτουργία του. Επίσης, παρατηρείται προς το τέλος του σφάλματος πολύ μεγάλη στιγμιαία αναπήδηση της τάσης που οφείλεται στην επαναλειτουργία του συστήματος.

Συμπερασματικά, σύμφωνα με τα διαγράμματα ρεύματος και τάσης του αεροστροβίλου,

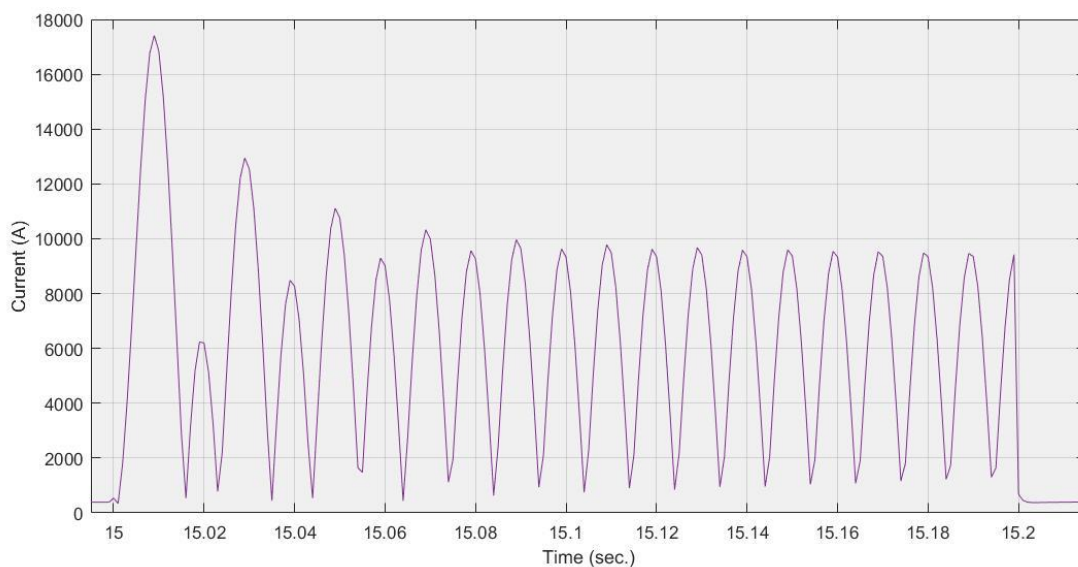
παρατηρείται να επηρεάζεται το σύστημα πολύ περισσότερο σε περίπτωση σφάλματος βραχυκύκλωσης στην έξοδο του αεροστροβίλου σε σχέση με τα προηγούμενα φορτία που εξετάστηκαν.

- Πετρελαιοκινητήρας

Στη περίπτωση αυτή, όπως και στη προηγούμενη με τον αεροστρόβιλο, θα εφαρμοστεί σφάλμα βραχυκύκλωσης στην έξοδο ακριβώς του πετρελαιοκινητήρα, πριν από οποιαδήποτε διάταξη προστασίας. Περιμένουμε οι διαταραχές να είναι πολύ μεγαλύτερες καθώς η μέτρηση γίνεται στην έξοδό του, χωρίς δηλαδή να υπάρχουν άλλα φορτία ή καλώδια, τα οποία καταναλώνουν ενέργεια.



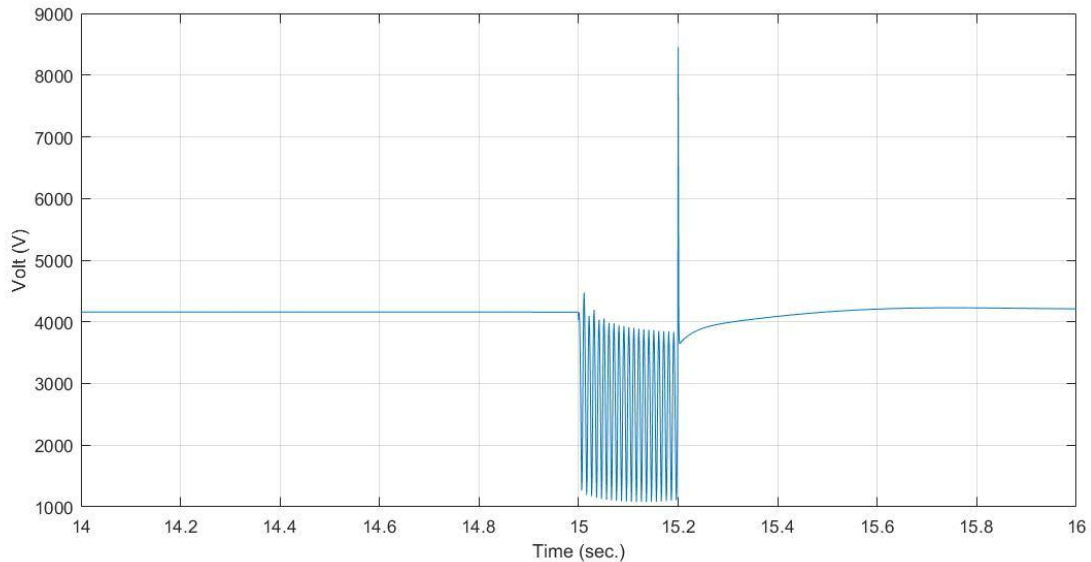
Εικόνα 135: Διάγραμμα ρεύματος πετρελαιοκινητήρα, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του E.P., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.



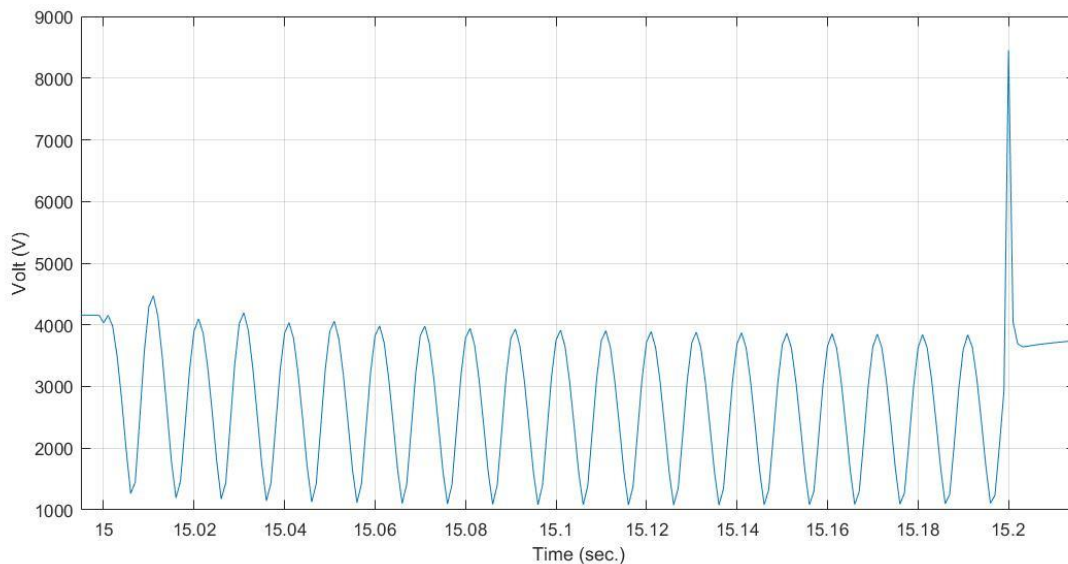
Εικόνα 136: Διάγραμμα ρεύματος πετρελαιοκινητήρα με μεγαλύτερη ακρίβεια, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του E.P., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

Στη περίπτωση αυτή παρατηρείται πολύ μεγάλη αναπήδηση του ρεύματος στο ξεκίνημα του σφάλματος και μεγάλη διαταραχή της κυματομορφής καθ' όλη τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος. Η διαταραχή αυτή του ρεύματος που ξεκινά στα 15 sec. αρχίζει να εξισορροπείται στα 15.205 sec. μέχρι σχεδόν τα 18 sec. όταν και επανέρχεται στη κανονική λειτουργία.



Εικόνα 137: Διάγραμμα τάσης πετρελαιοκινητήρα, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του E.P., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.



Εικόνα 138: Διάγραμμα τάσης πετρελαιοκινητήρα με μεγαλύτερη ακρίβεια, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του E.P., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

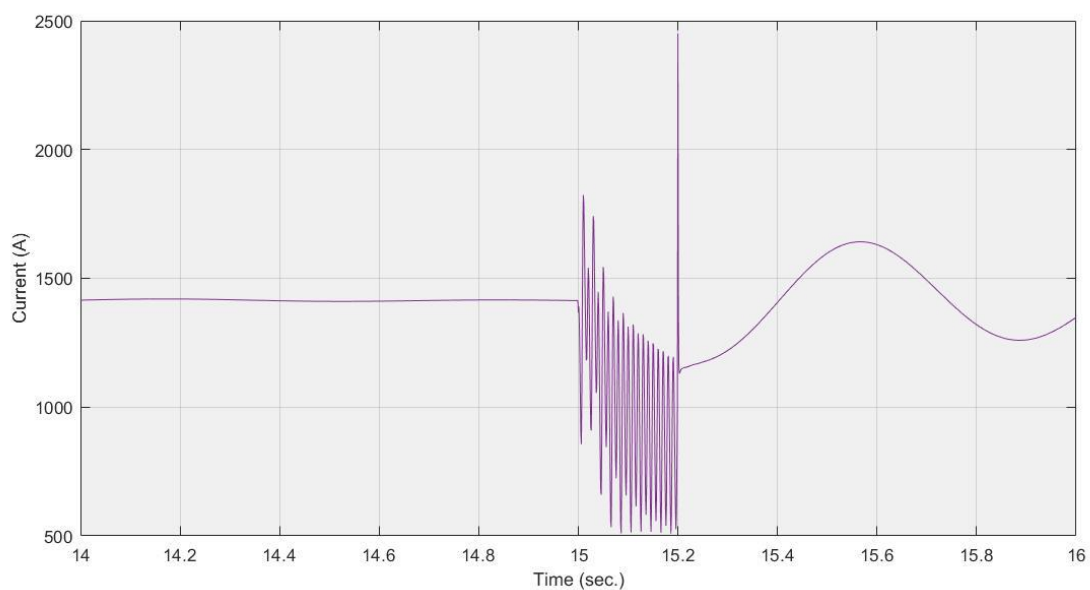
Στη κυματομορφή τάσης του πετρελαιοκινητήρα παρατηρείται μεγάλη διαταραχή αυτής όταν φτάσει στα 15 sec., όταν και ξεκινά το βραχυκύκλωμα. Η διαταραχή αυτή διαρκεί μέχρι τα 15.2 sec., τη στιγμή που σταματά το σφάλμα. Τη στιγμή αυτή έχουμε μια αρκετά μεγάλη στιγμιαία

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

αναπήδηση της τάσης η οποία διαρκεί 0.002 sec. Αυτή η αναπήδηση, οφείλεται στην επαναλειτουργία του συστήματος και στα 15.204 sec. αρχίζει η εξισορρόπηση της τάσης μέχρι τα 17 sec. όταν και επανέρχεται στη κανονική λειτουργία του συστήματος.

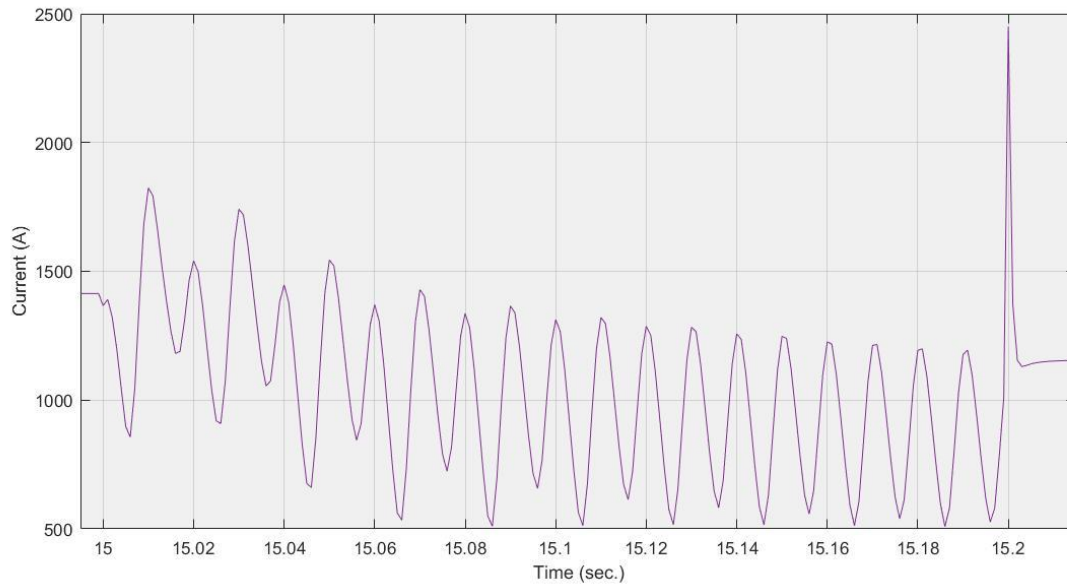
- Ταυτόχρονο σφάλμα σε αεροστρόβιλο και σε πετρελαιοκινητήρα

Σε αυτή τη περίπτωση θα εξετάσουμε το πως επηρεάζονται οι κυματομορφές ρεύματος και τάσης του αεροστροβίλου και του πετρελαιοκινητήρα, που προκύπτουν μετά από βραχυκύκλωμα στις εξόδους τους. Θα παρουσιαστούν αρχικά οι κυματομορφές ρεύματος και τάσης του αεροστροβίλου με τα ανάλογα αποτελέσματα και στη συνέχεια αυτές του πετρελαιοκινητήρα. Όπως και σε όλες τις άλλες περιπτώσεις σφάλματος, έτσι και εδώ, θα εμφανίζω τις κυματομορφές στη στιγμή του σφάλματος έχοντας επικεντρωθεί αρκετά στη στιγμή αυτή, ούτως ώστε να είναι πιο κατανοητά τα συμπεράσματα.



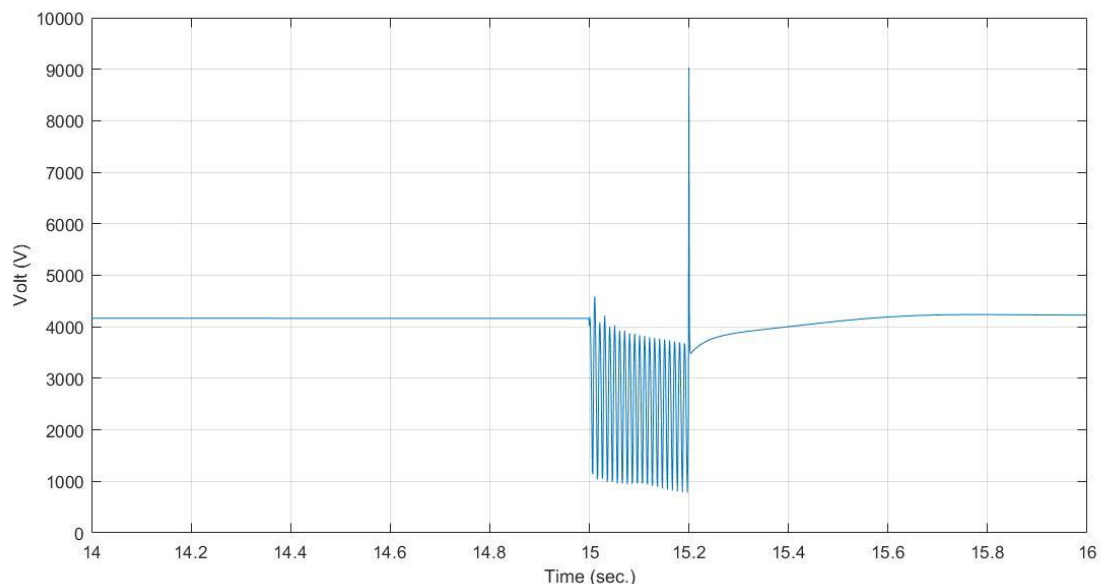
*Εικόνα 138: Διάγραμμα ρεύματος αεροστροβίλου, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του E.P., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στην έξοδο του πετρελαιοκινητήρα και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.*





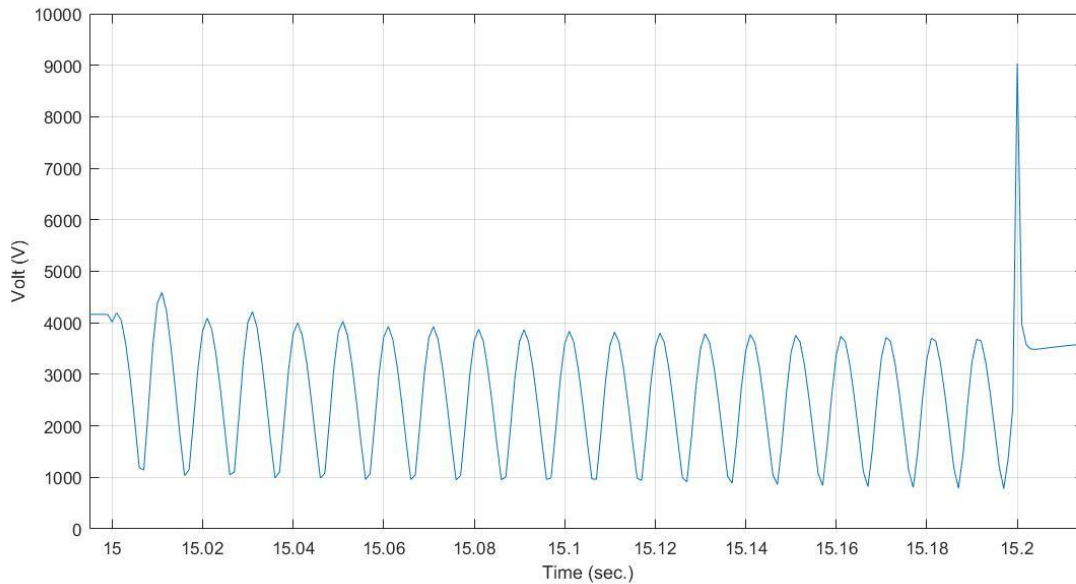
Εικόνα 139: Διάγραμμα ρεύματος αεροστροβίλου με μεγαλύτερη ακρίβεια, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του Ε.Ρ., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στην έξοδο του πετρελαιοκινητήρα και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

Παρατηρείται στα διαγράμματα αυτά έντονη διαταραχή της κυματομορφής του ρεύματος του αεροστροβίλου η οποία ξεκινά στα 15 sec. και διαρκεί μέχρι τα 15.2 sec. όταν σταματάει και το σφάλμα. Τη στιγμή αυτή παρατηρείται μεγάλη στιγμιαία αναπήδηση για 0.003 sec. Από τα 15.203 sec. αρχίζει η εξισορρόπηση μέχρι σχεδόν τα 20 sec. όταν και επανέρχεται στη κανονική λειτουργία.



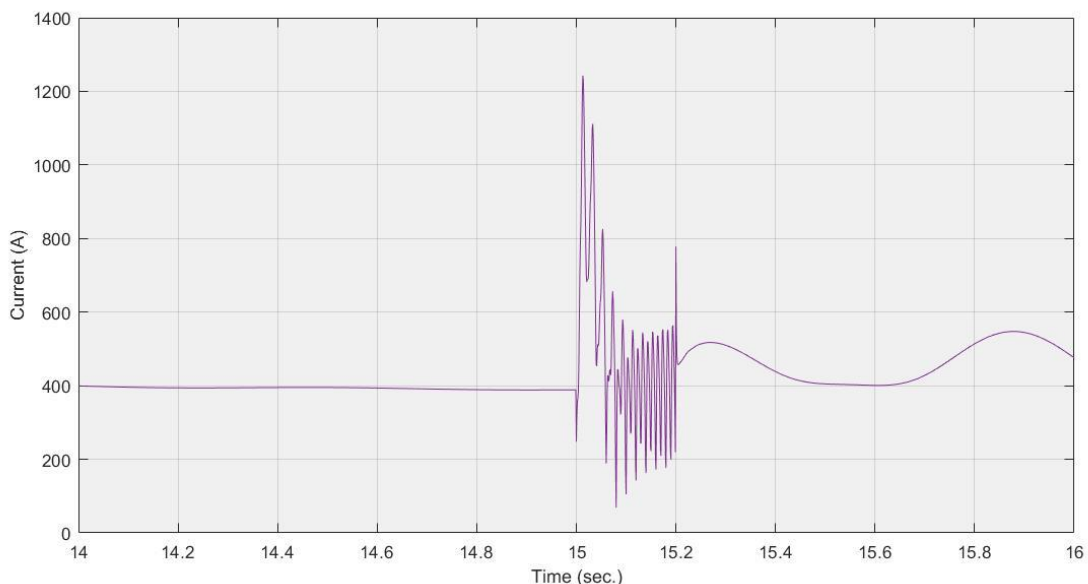
Εικόνα 140: Διάγραμμα τάσης αεροστροβίλου, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του Ε.Ρ., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στην έξοδο του πετρελαιοκινητήρα και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



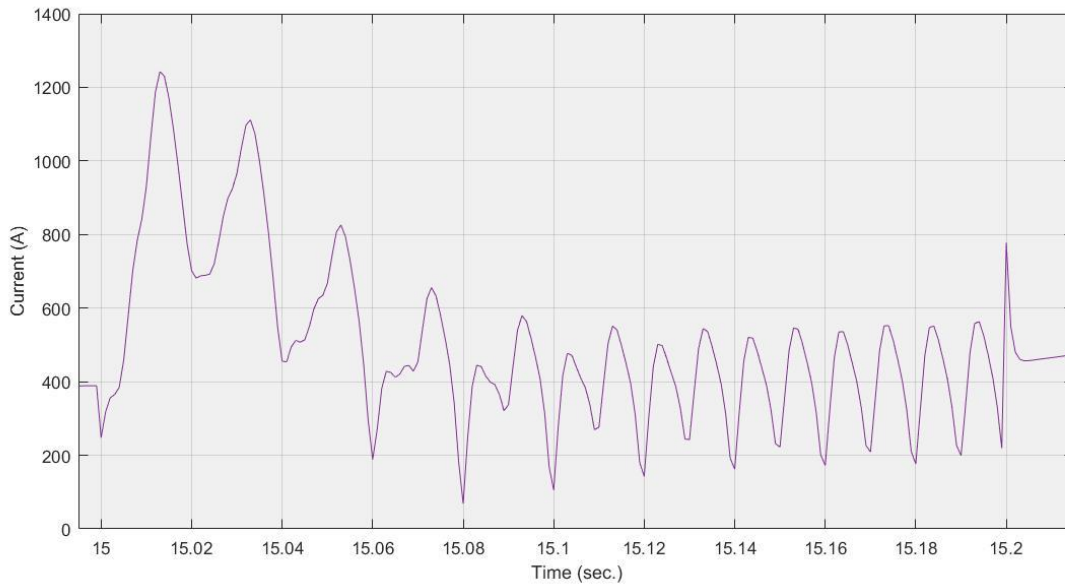
*Εικόνα 141: Διάγραμμα τάσης αεροστροβίλου με μεγαλύτερη ακρίβεια, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του Ε.Ρ., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στην έξοδο του πετρελαιοκινητήρα και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.*

Παρατηρείται στα διαγράμματα αυτά έντονη διαταραχή της κυματομορφής του ρεύματος του αεροστροβίλου η οποία ξεκινά στα 15 sec. και διαρκεί μέχρι τα 15.2 sec. όταν σταματάει και το σφάλμα. Τη στιγμή αυτή παρατηρείται μεγάλη στιγμιαία αναπήδηση για 0.002 sec. Από τα 15.202 sec. αρχίζει η εξισορρόπηση μέχρι σχεδόν τα 19 sec. όταν και επανέρχεται στη κανονική λειτουργία.



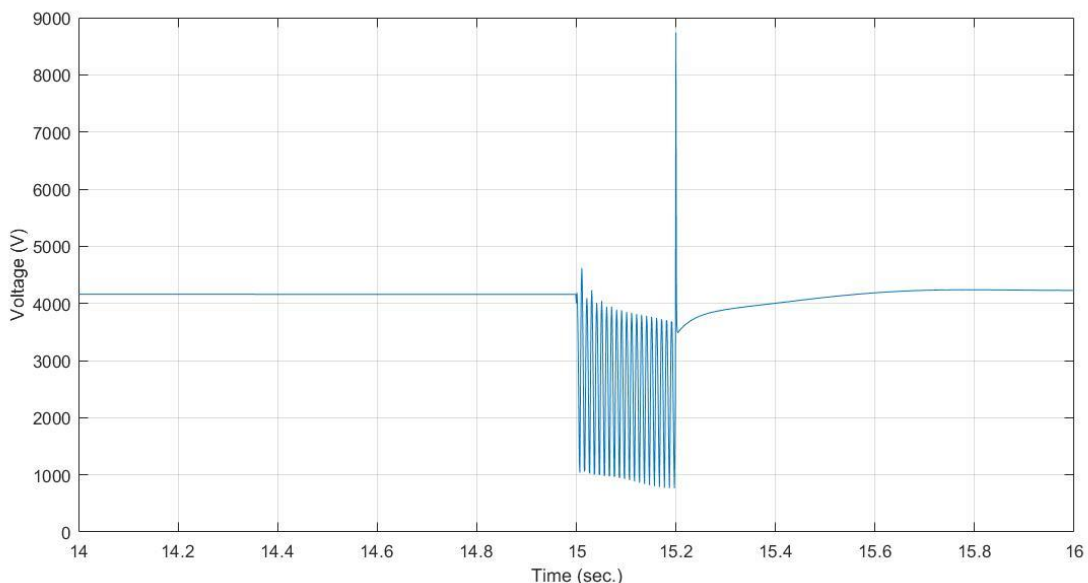
*Εικόνα 142: Διάγραμμα ρεύματος πετρελαιοκινητήρα, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του Ε.Ρ., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στην έξοδο του αεροστροβίλου και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.*

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



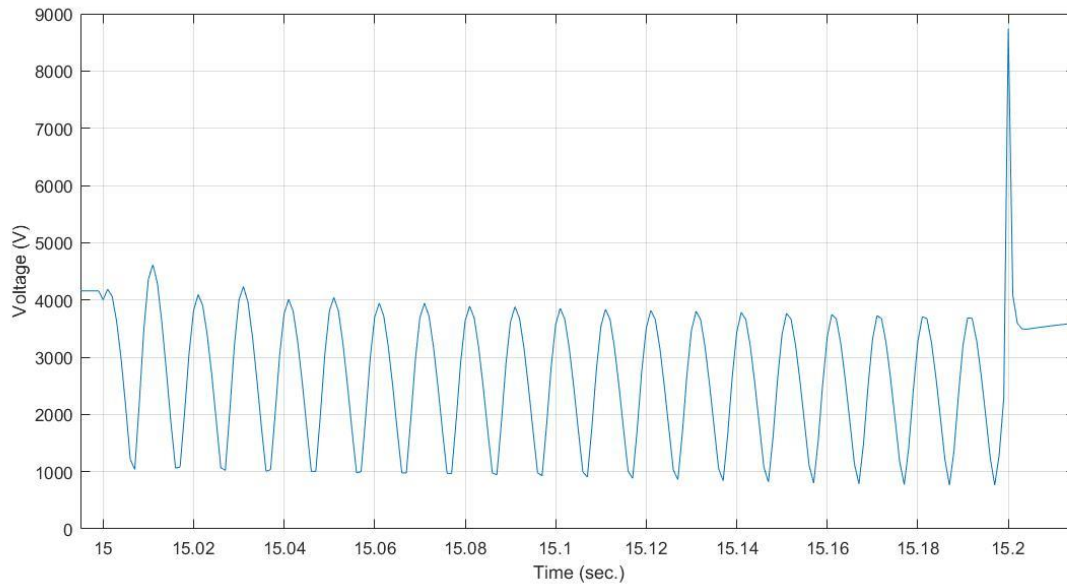
*Εικόνα 143: Διάγραμμα ρεύματος πετρελαιοκινητήρα με μεγαλύτερη ακρίβεια, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του Ε.Ρ., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στην έξοδο του αεροστροβίλου και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.*

Παρατηρείται στα διαγράμματα αυτά έντονη διαταραχή της κυματομορφής του ρεύματος του πετρελαιοκινητήρα η οποία ξεκινά στα 15 sec. και διαρκεί μέχρι τα 15.2 sec. όταν σταματάει και το σφάλμα. Από τα 15.204 sec. αρχίζει η εξισορρόπηση μέχρι σχεδόν τα 22 sec. όταν και επανέρχεται στη κανονική λειτουργία.



*Εικόνα 144: Διάγραμμα τάσης πετρελαιοκινητήρα, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του Ε.Ρ., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στην έξοδο του αεροστροβίλου και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.*

## Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία



*Εικόνα 145: Διάγραμμα τάσης πετρελαιοκινητήρα με μεγαλύτερη ακρίβεια, κατά την εκδήλωση σφάλματος ακριβώς στην έξοδό του, που βρίσκεται στη πλευρά του Ε.Ρ., αλλά ύπαρξη σφάλματος και στην έξοδο του αεροστροβίλου και στη πλευρά του Σ.Ρ. ταυτόχρονα.*

Παρατηρείται και σε αυτά τα διαγράμματα να υπάρχει έντονη διαταραχή της κυματομορφής του ρεύματος του πετρελαιοκινητήρα η οποία ξεκινά στα 15 sec. και διαρκεί μέχρι τα 15.2 sec. όταν σταματάει και το σφάλμα. Τη στιγμή αυτή παρατηρείται μεγάλη στιγμιαία αναπήδηση για 0.002 sec. Από τα 15.203 sec. αρχίζει η εξισορρόπηση μέχρι σχεδόν τα 17.8 sec. όταν και επανέρχεται στη κανονική λειτουργία.

Εν κατακλείδι, χρειάζεται να τονιστεί πως, τα Σ.Ρ. δίκτυα πλοίων Μ.Τ. προσφέρουν:

- υψηλή ικανότητα μεταφοράς ενέργειας με χαμηλές απώλειες,
- μειώνεται το συνολικό βάρος του πλοίου και
- αυξάνεται η αποδοτικότητα.

Οι προκλήσεις που δημιουργούνται από τις συνθήκες βραχυκυκλώματος πρέπει να έρχονται εις πέρας. Για να γίνει αυτό, οι διαθέσιμες επιλογές που έχουμε, περιλαμβάνουν:

- διακόπτες στη πλευρά του Ε.Ρ.,
- διακόπτες στη πλευρά του Σ.Ρ. και
- προσεκτικά σχεδιασμένες και επιλεγμένες ηλεκτρονικές συσκευές ισχύος.



## 10. Βιβλιογραφίες

- [1] Robert M. Cuzner, Giri Venkataramanan , “The Status of DC Micro-Grid Protection”, 2008 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, IAS '08, pp. 1 – 8, 2008.
- [2] Seyed Amir Hosseini, Hossein Askarian Abyaneh, Seyed Hossein Hesamedin Sadeghi, Farzad Razavi, Adel Nasiri, “An overview of microgrid protection methods and the factors involved”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 64, October 2016, pp. 174 – 186, 2016.
- [3] Zheming Jin, Giorgio Sulligoi, Rob Cuzner, Lexuan Meng, Juan C. Vasquez, Josep M. Guerrero, “Next Generation Shipboard. DC Power System: Introduction Smart Grid and dc Microgrid Technologies into Maritime Electrical Networks”, IEEE Electrification Magazine ( Volume: 4, Issue: 2, June 2016 ), pp. 45 – 57, 2016.
- [4] Daniel Salomonsson, Lennart Söder, Ambra Sannino, “Protection of low voltage DC microgrids”, IEEE Transactions on Power Delivery ( Volume: 24, Issue: 3, July 2009 ), pp.1045 – 1053, 2009.
- [5] “IEEE Recommended Practice for 1 kV to 35 kV Medium Voltage DC Power Systems on Ships”, IEEE Std 1709-2018 , pp. 1 – 54, 2010.
- [6] Zheming Jin, Giorgio Sulligoi, Rob Cuzner, Lexuan Meng, Juan C. Vasquez, Josep M. Guerrero, “Next-Generation Shipboard DC Power System: Introduction Smart Grid and dc Microgrid Technologies into Maritime Electrical Networks”, IEEE Electrification Magazine ( Volume: 4, Issue: 2, June 2016 ), pp. 45 – 57, 2016.
- [7] Zheming Jin, Mehdi Savaghebi, Juan C. Vasquez, Lexuan Meng, Josep M. Guerrero, “Maritime DC Microgrids - A Combination of Microgrid Technologies and Maritime Onboard Power System for Future Ships”, 2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC-ECCE Asia), pp. 179 – 184, 2016.
- [8] C. N. Papadimitriou, E. I. Zountouridou, N. D. Hatziaargyriou, “Review of hierarchical control in DC Microgrids”, Electric Power Systems Research, volume 122, May 2015, pp. 159 – 167, 2015.
- [9] Fotis D. Kanellos, Amjad Anvari-Moghaddam and Josep M. Guerrero, “Smart Shipboard Power System Operation and Management”, Inventions 2016, 1(4), 22, doi:10.3390/inventions1040022, pp. 1 – 18, 2016.
- [10] Qiang Fu, Adel Nasiri, Ashishkumar Solanki, Abedalsalam Bani-Ahmed, Luke Weber & Vijay Bhavaraju, “Microgrids: Architectures Controls Protection and Demonstration”, Journal Electric Power Components and Systems Volume 43, 2015 - Issue 12: Renewable Energy Devices and Systems - State-of-the-Art and Future Trends, Frede Blaabjerg - Guest Editor-in-Chief and Dan M. Ionel - Editor in Chief, pp. 1453 – 1465, 2015.
- [11] I. Pramudya, Umer A. Khan, Suwarno, “Modeling and evaluation of low voltage DC circuit breaker for the protection of DC microgrids”, 2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), pp. 295 – 298, 2016.
- [12] Xunwei Yu, Xu She, Alex Huang, “Hierarchical Power Management for DC Microgrid in islanding mode and Solid State Transformer Enabled Mode”, IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 1656 – 1661, 2013.
- [13] Simone Castellan, Roberto Menis, Alberto Tassarolo, Giorgio Sulligoi, “Power electronics for all-electric ships with MVDC power distribution system: An Overview”, 2014 Ninth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), pp. 1 – 7, 2014.
- [14] Volker Staudt, Roman Bartelt, Carsten Heising, “Short-Circuit Protection Issues in DC ship grids”, 2013 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS), pp. 475 – 479, 2013.

- [15] Pinjala Mohana Kishore, Ravikumar Bhimasingu, “Enabling the fault tolerant operation of shipboard microgrid architecture”, International Conference on Sustainable Green Buildings and Communities (SGBC), 2016.
- [16] Zheming Jin, Lexuan Meng, Juan C. Vasquez, Josep M. Guerrero, “Frequency Division Power Sharing and Hierarchical Control Design for DC Shipboard Microgrids with Hybrid Energy Storage Systems”, 2017 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), pp. 3661 – 3668, 2017.
- [17] J.G. Ciezki, R.W. Ashton, “Selection and Stability issues associated with a NAVY Shipboard DC zonal electric distribution system”, IEEE Transactions on Power Delivery (Volume: 15, Issue: 2, Apr 2000 ), pp. 665 – 669, 2000.
- [18] Enrico Tironi, Matteo Corti, Giovanni Ubezio, “Zonal Electrical Distribution Systems in Large Ships - Topology and Control”, 2015 AEIT International Annual Conference (AEIT), pp. 1 – 6, 2015.
- [19] Ming Fang, Lijun Fu, Ruitian Wang, Zhihao Ye, “Coordination Protection for DC Distribution Network in DC Zonal Shipboard Power System”, 2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, Year: 2011, Volume: 1, pp. 418 – 421, 2011.
- [20] Gregory F. Reed, Brandon M. Grainger, Adam R. Sparacino, Zhi-Hong Mao, “Ship to Grid: Medium-Voltage DC Concepts in Theory and Practice”, IEEE Power and Energy Magazine ( Volume: 10, Issue: 6, Nov.-Dec. 2012, pp. 70 – 79, 2012.
- [21] Timothy J. McCoy, “Integrated Power Systems- An Outline of Requirements and Functionalities for Ships”, Proceedings of the IEEE ( Volume: 103, Issue: 12, Dec. 2015 ), pp. 2276 – 2284, 2015.
- [22] Josep M. Guerrero, Zheming Jin, Wenzhao Liu, Muzaidi B. Othman, Mehdi Savaghebi, Amjad Anvari-Moghaddam, Lexuan Meng, Juan C. Vasquez, “Shipboard Microgrids: Maritime Islanded Power Systems Technologies”, PCIM Asia 2016; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, pp. 1 – 8, 2016.
- [23] Ahmed T. Elsayed, Ahmed A. Mohamed, Osama A. Mohammed, “DC Microgrids and Distribution Systems: An overview”, Electric Power Systems Research, volume 119, February 2015, pp. 407 – 417, 2015.
- [24] N. Remijn, B. Krijgsman, “Advantages of common DC busses on ships”, 2010 3rd International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE), pp. 177 – 182, 2010.
- [25] Yuhong Xie, Jia Ning, Yanquan Huang, Junbo Jia, and Zhihui Jian, “A Review of DC Microgrid Protection”, Advances in Brain Inspired Cognitive Systems. BICS 2013. Lecture Notes in Computer Science, vol 7888, pp. 338 – 347, 2013.
- [26] Morris Brenna, Dario Zaninelli, George C. Lazaroiu, Mariacristina Roscia, Enrico Tironi, “Fault Isolation in DC networks Supplying Electric Vehicles”, 2017 Twelfth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), pp. 1 – 5, 2017.
- [27] Rémy Ouaida, Jean François de Palma, Gille Gonthier, “New over current protection technology addressing DC Transportation”, 2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), pp. 1 – 6, 2016.
- [28] Sohrab Mirsaiedi, Dalila Mat Said, Mohd. Wazir Mustafa, Mohd. Hafiz Habibuddin, Kimia Ghaffari, “Progress and problems in micro-grid protection schemes”, Renewable and Sustainable Energy Reviews volume 37, September 2014, Pages 834-839, 2014.
- [29] Pukar Mahat, Zhe Chen, Birgitte Bak-Jensen, “Review on Islanding Operation of Distribution System with Distributed Generation”, 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. 1

– 8, 2011.

[30] Sohrab Mirsaedi, Dalila Mat Said, Mohammad Wazir Mustafa, Mohammad Hafiz Habibuddin, Kimia Ghaffari, “Design and testing of a centralized protection scheme for micro-grids”, Journal of Central South University, October 2015, volume 22, Issue 10, pp. 3876 – 3887, 2015.

[31] DINESH KUMAR 1, (Member, IEEE), AND FIRUZ ZARE 2, (Senior Member, IEEE), “A Comprehensive Review of Maritime Microgrids”, Received April 12, 2019, accepted May 8, 2019, date of publication May 15, 2019, date of current version June 5, 2019.

[32] Angelo Accetta , Member, IEEE, and Marcello Pucci , Senior Member, IEEE, “Energy Management System in DC Micro-Grids of Smart Ships”, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 55, NO. 3, MAY/JUNE 2019.

[33] Zheming Jin, Mehdi Savaghebi, Juan C. Vasquez, Lexuan Meng, Josep M. Guerrero, “Maritime DC Microgrids - A Combination of Microgrid Technologies and Maritime Onboard Power System for Future Ships”, 2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC-ECCE Asia).

[34] Tomasz Tarasiuk Gdynia Maritime University, “A Few Remarks About Assessment Methods of Electric Power Quality on Ships – Present State and Further Development”, This is author's version of the paper of Measurement vol. 42, no. 8, 2009, pp. 1153–1163. doi:10.1016/j.measurement.2008.02.003.

[35] Janusz Mindykowski, Tomasz Tarasiuk, “Problems of power quality in the wake of ship technology development”, Ocean Engineering 107(2015)108–117.

[36] Janusz Mindykowski Gdynia Maritime University, “Power quality on ships: Today and tomorrow's challenges”, This is author's version of the Conference paper EPE 2014, pp. 1-18, <https://doi.org/10.1109/ICEPE.2014.6969860>.

[37] Monaaf D. A. Al-Falahi 1 ID , Tomasz Tarasiuk 2 ID , Shantha Gamini Jayasinghe 1,\* ID , Zheming Jin 3, Hossein Enshaei 1 ID and Josep M. Guerrero 3 ID, “AC Ship Microgrids: Control and Power Management Optimization”, Energies 2018, 11(6), 1458; <https://doi.org/10.3390/en11061458>.

[38] NAVID BAYATI 1, HAMID REZA BAGHAEI 2, (Member, IEEE), AMIN HAJIZADEH 1, (Senior Member, IEEE), AND MOHSEN SOLTANI 1, (Senior Member, IEEE), “A Fuse Saving Scheme for DC Microgrids With High Penetration of Renewable Energy Resources”, Received June 17, 2020, accepted July 23, 2020, date of publication July 27, 2020, date of current version August 6, 2020. Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.3012195

[39] Mohamed M. El-Awad, Mohamed A. Siraj, “A Combined Diesel-Engine Gas-Turbine System for Distributed Power Generation”, International Conference on Chemical, Biological and Medical Sciences (ICCBMS'2012) August 25-26, 2012 Kuala Lumpur (Malaysia), pp. 39 – 43, 2012.

[40] Παντελής Β. Μαλατέστας, “Ηλεκτρικές Μηχανές 3η Έκδοση”, Εκδόσεις Τζιόλα, σελ. 421-422, σελ. 563, 2015.

[41] [http://electrical-dep.teipir.gr/LotusQuickr/elec\\_mach\\_ii/Main.nsf/\\$defaultview/C6E41493A029015BC2257DCD002A197D/\\$File/%CE%A3%CE%A5%CE%93%CE%A7%CE%A1%CE%9F%CE%9D%CE%95%CE%A3%20%CE%9C%CE%97%CE%A7%CE%91%CE%9D%CE%95%CE%A3.pdf?OpenElement](http://electrical-dep.teipir.gr/LotusQuickr/elec_mach_ii/Main.nsf/$defaultview/C6E41493A029015BC2257DCD002A197D/$File/%CE%A3%CE%A5%CE%93%CE%A7%CE%A1%CE%9F%CE%9D%CE%95%CE%A3%20%CE%9C%CE%97%CE%A7%CE%91%CE%9D%CE%95%CE%A3.pdf?OpenElement).



Μελέτη και εξομοίωση μικροδικτύων Σ.Ρ. σε πλοία

[42] Στμάτιος Γ. Κλουδάς, “Αεροστρόβιλοι”, Ανώτερες δημόσιες σχολές εμπορικού ναυτικού, σελ. 8 – 9.

[43] Rolls-Royce, “Marine products and systems”, Ref: MPS 10/05/17.

[44] <https://www.marineinsight.com/tech/bow-thrusters-construction-and-working/>.