



**«Διερεύνηση Και Αντιμετώπιση προβλημάτων  
ποιότητας ηλεκτρικής Ισχύος σε Συστήματα  
Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) πλοίων»  
(ΔΕΥ.Κ.Α.Λ.Ι.ΩΝ)**

πράξη ΘΑΛΗΣ-ΕΜΠ,  
πράξη ένταξης 11012/9.7.2012,

MIS: 380164,  
Κωδ.ΕΔΕΙΛ/ΕΜΠ: 68/1129

**Παραδοτέο: Π5.2.1**

***(Κυκλωματική αναπαράσταση δικτύου γείωσης  
πλοίου σε συνθήκες βραχυκυκλώματος)***

**Μελέτη προβλημάτων ΠΗΙ λόγω του συστήματος  
γείωσης**



Διερεύνηση Και Αντιμετώπιση προβλημάτων  
ποιότητας ηλεκτρικής Ισχύος σε Συστήματα  
Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) πλοίων  
(ΔΕΥ.Κ.Α.Λ.Ι.ΩΝ)



DEFKALION

## Περιεχόμενα

1.	Συστήματα γείωσης πλοίων .....	1
2.	Προσομοιώσεις .....	2
2.1	Περιγραφή προγράμματος WinIGS.....	2
2.2	Περιγραφή του υπό μελέτη πλοίου .....	3
2.3	Προσομοιώσεις στο αγείωτο σύστημα .....	4
2.4	Προσομοιώσεις στο συμπαγώς γειωμένο σύστημα .....	7
2.5	Επίδραση παράσιτων χωρητικότητων .....	9
3.	Συμπεράσματα .....	10
4.	Βιβλιογραφία.....	11

## 1. Συστήματα γείωσης πλοίων

Το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ενός πλοίου γειώνεται με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

- Συμπαγώς γειωμένο
- Γειωμένο μέσω επαγωγικής αντίδρασης
- Γειωμένο μέσω αντίστασης (υψηλής ή χαμηλής)
- Αγείωτο

Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 45, η μέθοδος γείωσης του εκάστοτε πλοίου, σε εφαρμογές **χαμηλής τάσης** (600V ή λιγότερα), πρέπει να καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τα εξής:

- Τα συστήματα γείωσης οφείλουν να μειώνουν τις ενδεχόμενες μεταβατικές υπερτάσεις.
- Ο σχεδιασμός του συστήματος πρέπει να επιτρέπει την αδιάλειπτη τροφοδότηση ισχύος, ειδικότερα των κρίσιμων φορτίων του πλοίου, υπό συνθήκες μονοφασικού σφάλματος προς γη, στο μέγιστο βαθμό που αυτός είναι δυνατός.
- Τα συστήματα πρέπει να είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης, που ρέει στο κέλυφος του πλοίου.

Προκειμένου να ικανοποιούνται αυτά τα κριτήρια, τα συστήματα οφείλουν να σχεδιάζονται με μία από τις ακόλουθες μεθοδολογίες γείωσης:

- Αγείωτο σύστημα, έχοντας όλους τους ρευματοφόρους αγωγούς απόλυτα μονωμένους από τη γη, σε όλο το σύστημα. Τα αγείωτα συστήματα πρέπει να διαθέτουν διατάξεις για συνεχή παρακολούθηση σφαλμάτων γείωσης.
- Γείωση μέσω υψηλής αντίστασης, τέτοιας ώστε η τιμή των μονοφασικών σφαλμάτων προς γη να περιορίζεται έως τα 5A. Τα συστήματα γείωσης υψηλής αντίστασης πρέπει να διαθέτουν διατάξεις για συνεχή παρακολούθηση σφαλμάτων γείωσης.
- Συμπαγώς γειωμένο. Τα συμπαγώς γειωμένα συστήματα περιορίζονται στην τροφοδότηση μη κρίσιμων φορτίων, όπως είναι ο γενικός φωτισμός, κυκλώματα μαγειρείων κλπ. Όταν χρησιμοποιείται ένα τέτοιο σύστημα διανομής, ο ουδέτερος αγωγός πρέπει να είναι πλήρους μεγέθους ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση λόγω αρμονικής παραμόρφωσης από μη γραμμικά φορτία.

Τα συστήματα **μέσης τάσης** (600-15000V) στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων χρησιμοποιούν σύστημα τριών καλωδίων χωρίς ουδέτερο αγωγό επιστροφής. Ως προς τη γείωση, υπάρχουν πολλές ομοιότητες με τα συστήματα χαμηλής τάσης. Όσο τα ηλεκτρικά φορτία στο πλοίο γίνονται όλο και μεγαλύτερα, αυξάνεται το μέγεθος των ζυγών και των καλωδίων και συνεπώς το κόστος και οι απώλειες της εγκατάστασης. Το κύριο πλεονέκτημα του συστήματος μέσης τάσης είναι η χρήση μικρότερων αγωγών.

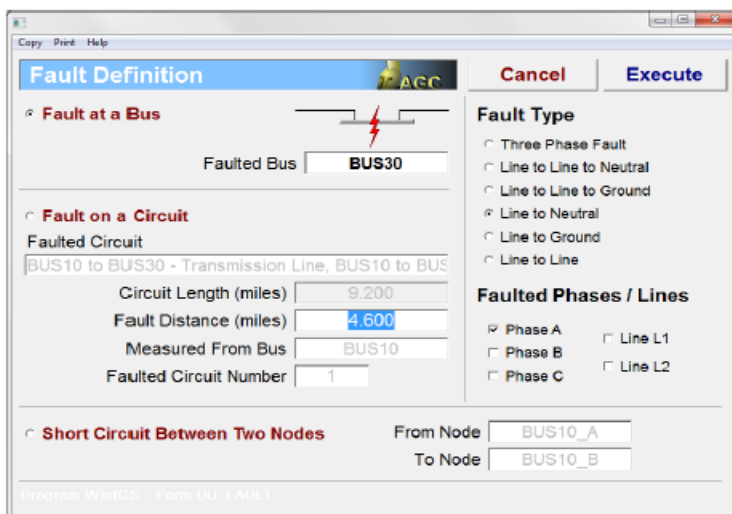
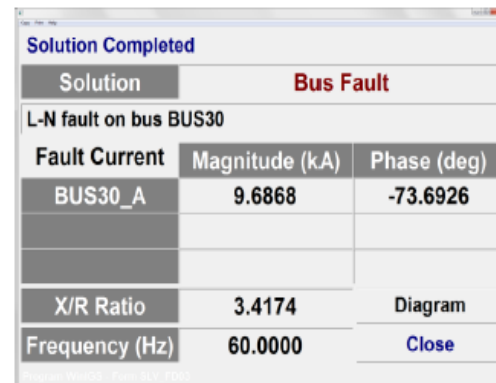
## 2. Προσομοιώσεις

Για τη συγκριτική μελέτη των δύο βασικότερων μεθοδολογιών γείωσης σε πλοία (αγείωτο και συμπαγός γειωμένο σύστημα) πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις ανάλυσης σφάλματος σε ηλεκτρικό δίκτυο ενός γενικευμένου τύπου πλοίου, το οποίο σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα WinIGS.

### 2.1 Περιγραφή προγράμματος WinIGS

Το πρόγραμμα **WinIGS** (Windows Based Integrated Grounding System) αξιολογεί την απόδοση ενός συστήματος γείωσης, το οποίο αποτελεί αναπόσπαστο μέρος ενός ηλεκτρικού συστήματος ενέργειας. Επιτρέπει στο χρήστη να διαμορφώσει οποιοδήποτε σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τις δομές γείωσης του. Αναλύει και αξιολογεί την απόδοση του συστήματος υπό κανονικές συνθήκες και υπό συνθήκες σφάλματος μόνιμης κατάστασης, βάση βιομηχανικών προτύπων και κριτηρίων. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ως πρότυπο είτε το IEEE Std. 80 είτε το IEC-479-1, τα οποία είναι ενσωματωμένα στο πρόγραμμα. Η ανάλυση σφάλματος περιλαμβάνει τάσεις και ρεύματα σε όλους τους κόμβους του συστήματος στην μόνιμη κατάσταση και υπό συγκεκριμένο σφάλμα. Όπως και στην κανονική κατάσταση, οι πηγές λειτουργούν στην ημιτονική μόνιμη κατάσταση. Με την ανάλυση σφάλματος μπορούν να προσομοιωθούν τρεις διακριτές κατηγορίες σφαλμάτων, όπως φαίνεται και στο σχήμα Π5.2.1\_1.

1. Σφάλμα σε ζυγό, όπου απαιτείται ο προσδιορισμός του ζυγού, το είδος του σφάλματος (μονοφασικό, διφασικό προς γη κλπ.), καθώς και των ελαττωματικών φάσεων ή γραμμών του
2. Σφάλμα σε υποκύκλωμα, όπου απαιτείται ο προσδιορισμός του υποκυκλώματος, το είδος σφάλματος και οι ελαττωματικές φάσεις, καθώς και το ακριβές σημείο του σφάλματος
3. Βραχυκύκλωμα μεταξύ δύο επιλεγμένων κόμβων, όπου απαιτείται ο προσδιορισμός των επιθυμητών κόμβων

Solution Completed		
Solution		
Bus Fault		
L-N fault on bus BUS30		
Fault Current	Magnitude (kA)	Phase (deg)
BUS30_A	9.6868	-73.6926
X/R Ratio		
	3.4174	Diagram
Frequency (Hz)		
	60.0000	Close

Σχήμα Π5.2.1\_1 WinIGS (α) Παράθυρο επιλογής σφάλματος (β) Αναφορά ανάλυσης σφάλματος

## 2.2 Περιγραφή του υπό μελέτη πλοίου

Η ανάλυση βραχυκυκλωμάτων έγινε πάνω σε ένα γενικευμένου τύπου πλοίο. Τα επίπεδα των τάσεων που εμφανίζονται στα φορτία του πλοίου είναι της τάξεως των 440V και των 115V, και επομένως μιλάμε για φορτία χαμηλής τάσης, ενώ η συχνότητα του δικτύου είναι 60 Hz. Προκειμένου να έχουμε τάση των 115V υπάρχουν δύο μετασχηματιστές υποβιβασμού, ο ένας για τις κύριες γεννήτριες και ο άλλος για τη γεννήτρια έκτακτης ανάγκης.

Στο πλοίο εφαρμόστηκαν δύο διαφορετικές μεθοδολογίες γείωσης. Στην πρώτη περίπτωση, το δίκτυο του πλοίου είναι τριφασικό, τριών αγωγών, με τον **ουδέτερο αγείωτο** (insulated neutral system). Στη δεύτερη περίπτωση, το δίκτυο του πλοίου είναι τριφασικό, τεσσάρων αγωγών, με τον **ουδέτερο γειωμένο μέσω υψηλής αντίστασης** (high resistance grounding system). Συνεπώς, οι δύο τοπολογίες είναι παρόμοιες. Παραμένουν ίδιες οι ισχείς των φορτίων, οι τιμές των γεννητριών και των μετασχηματιστών, ενώ προστίθενται ο αγωγός του ουδετέρου στα καλώδια και η γείωση στον ουδέτερο στις γεννήτριες. Τα φορτία έχουν ομαδοποιηθεί σε πίνακες, οι οποίοι είναι οι εξής:

- Χώροι ενδιαίτησης (**ACCOMODATION AREA\_440V**)
- Βοηθητικά πρόωσης (**PROPULSION\_440V**)
- Βοηθητικά μηχανοστασίου (**MACHINERY\_440V**)
- Βοηθητικά σκάφους (**AUXILIARY EQUIPMENT\_440V**)
- Μαγειρείο (**COOK-HOUSE\_440V**)
- Φωτισμός (**LIGHTING BOARD\_115V**)
- Βοηθητικά χώρων ενδιαίτησης (**ACCOMODATION AREA\_115V**)
- Βοηθητικά μαγειρείου (**KITCHEN\_115V**)



– Έκτακτης ανάγκης (EMERGENCY BOARD)

## 2.3 Προσομοιώσεις στο αγείωτο σύστημα

Το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου για το αγείωτο σύστημα στην κατάσταση κανονικής πορείας παρουσιάζεται στο σχήμα Π5.2.1\_2. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μία γεννήτρια είναι σε λειτουργία (**GEN.1A**) και καλύπτει όλο το φορτίο, ενώ η δεύτερη (**GEN.2A**) είναι σε εφεδρεία. Επιπλέον, στο μονογραμμικό σχέδιο του ηλεκτρικού δικτύου οι γεννήτριες συνδέονται στον κύριο ζυγό (**MAIN-BUS**). Από εκεί τροφοδοτούνται οι πέντε πίνακες των **440V**, καθώς επίσης και ο μετασηματιστής υποβιβασμού συνδεσμολογίας τριγώνου-τριγώνου. Αυτός με τη σειρά του, συνδέεται με τον δευτερεύοντα ζυγό (**SEC-BUS**), ο οποίος τροφοδοτεί τους τρεις πίνακες των **115V**. Όλα τα φορτία στο αγείωτο σύστημα είναι σε συνδεσμολογία τριγώνου.

Όσον αφορά στο αγείωτο σύστημα, δεν υπήρχε τρόπος να προσομοιωθούν οι *εγκάρσιες χωρητικότητες προς γη*, με αποτέλεσμα το ρεύμα βραχυκύκλωσης να μην έχει δίοδο προς αυτή. Συνεπώς, οι κατηγορίες σφαλμάτων που έχει νόημα να αναλυθούν είναι τα *τριφασικά* και τα *διφασικά χωρίς γη*. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των διφασικών σφαλμάτων προς γη, όπως ήταν αναμενόμενο, τα αποτελέσματα είναι ταυτόσημα με εκείνα των διφασικών χωρίς γη. Από την άλλη πλευρά, τα μονοφασικά εμφανίζουν μηδενικό ρεύμα βραχυκύκλωσης, καθώς δεν υπάρχει αγώγιμος δρόμος προς γη.

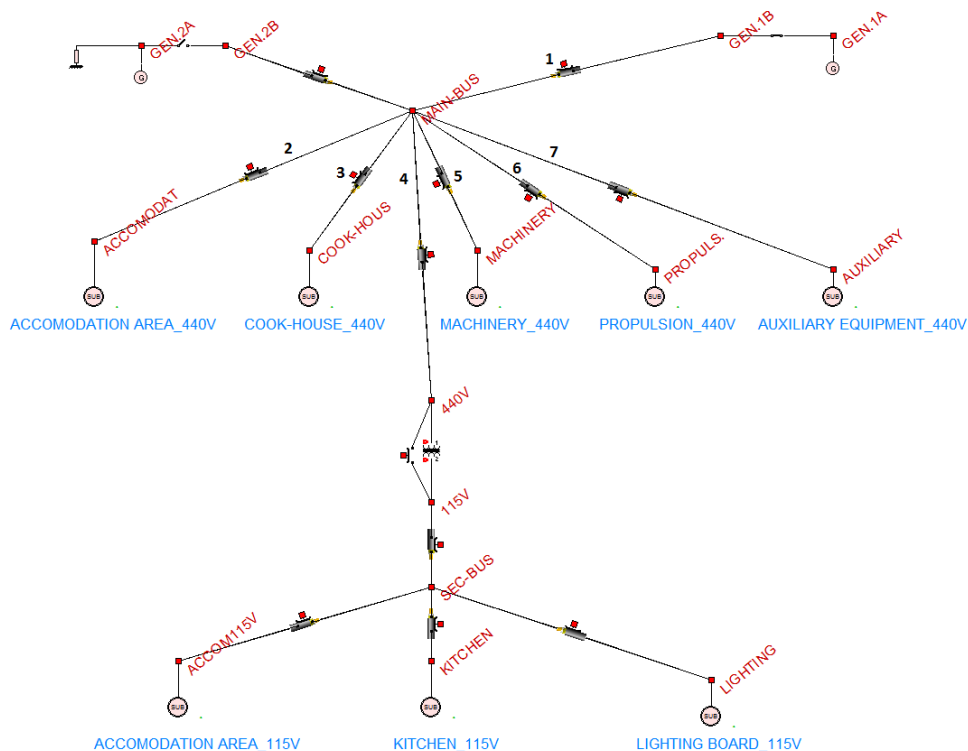
Στον πίνακα Π5.2.1\_1 παρουσιάζονται τα ρεύματα των καλωδίων **1-7** (βλ. σχήμα Π5.2.1\_2) υπό διφασικό βραχυκύκλωμα στις φάσεις **b-c** του κύριου ζυγού (**MAIN-BUS**). Είναι εμφανές ότι το ρεύμα σφάλματος δεν ταυτίζεται εξολοκλήρου με το ρεύμα που δίνει η γεννήτρια κατά το σφάλμα, διότι υπάρχει και ένα μικρό ρεύμα που συνεχίζει και ρέει προς το φορτίο στη βραχυκυκλωμένη φάση.



Διερεύνηση Και Αντιμετώπιση προβλημάτων ποιότητας ηλεκτρικής Ισχύος σε Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) πλοίων (ΔΕΥ.Κ.Α.Λ.Ι.ΩΝ)



DEFKALION



**Σχήμα Π5.2.1\_2 Ηλεκτρικό δικτύου πλοίου**

Διφασικό σφάλμα			
Καλώδιο	$I_A$	$I_B$	$I_C$
1	1436.3∠146.37	7545.6∠-162.47	8520.2∠9.98
2	265.5∠141.06	132.7∠-39.00	132.9∠-38.89
3	60.4∠168.45	30.2∠-11.55	30.2∠-11.56
4	223.4∠169.94	111.5∠-10.63	111.9∠-9.50
5	48.2∠122.90	24.1∠-57.11	24.1∠-57.09
6	769.6∠145.16	383.7∠-34.99	385.9∠-34.68
7	101.7∠128.77	50.8∠-51.25	50.9∠-51.21
Σύνολο(2-7)	1435.831∠147.22	716.9∠-32.96	719.031∠-32.6

**Πίνακας Π5.2.1\_1 Φασικά ρεύματα καλωδίων υπό διφασικό σφάλμα στον κύριο ζυγό**

Στον πίνακα Π5.2.1\_2, παρατίθενται οι τάσεις των φάσεων και του ουδετέρου κάθε ζυγού για το εκάστοτε είδος σφάλματος, για την περίπτωση σφάλματος στον ίδιο το ζυγό. Η περίπτωση μονοφασικού σφάλματος που μελετήθηκε είναι το σφάλμα στη φάση **A** και αντίστοιχα διφασικού σφάλματος, το σφάλμα μεταξύ των φάσεων **B-C**. Επομένως, όσον αφορά στα ρεύματα, παρατίθεται το ρεύμα του σφάλματος (ως ρεύμα στο κελί της φάσης

Α στο μονοφασικό σφάλμα και ως ρεύμα στα κελιά των φάσεων Β και C για το διφασικό σφάλμα) και τα ρεύματα των υπόλοιπων υγιών φάσεων στη θέση του σφάλματος.

Τοποθεσία	Μόνιμη Κατάσταση			Διφασικό Σφάλμα		Τριφασικό Σφάλμα
	Φάση	Τάση (V)	Ρεύμα (A)	Τάση (V)	Ρεύμα (A)	Ρεύμα (A)
GEN.1	A	248.3∠-2	1032.2∠-35.6	367.9∠-3.3	1544.6∠-37	22494.47∠-90
	B	248.3∠-122	1032.1∠-156	187.5∠176.7	9832.8∠-177	22494.47∠150
	C	248.3∠118	1032.9∠84.5	187.5∠176.7	9832.8∠3	22494.47∠30
MAIN-BUS	A	241.7∠-2.45	1032.2∠144.4	332.2∠-0.54	<b>1436.2∠146.4</b>	15122.29∠-72
	B	241.1∠-122.79	1032.1∠24.49	169.4∠179.5	<b>8015.5∠-166.5</b>	15139.68∠168
	C	241.2∠117.84	1032.9∠-96	169.4∠179.48	<b>8015.5∠13.5</b>	15128.05∠47.8
M/Σ 440V	A	239.0∠-2.52	160.6∠-12.59	304.9∠2.59	206.8∠172.51	9861.05∠-52.4
	B	239.4∠-122.8	160.7∠-132.37	155.5∠-177.5	6234.7∠-151.3	9894.3∠-172.3
	C	239.5∠117.76	161.2∠107.49	155.5∠-177.46	6234.7∠28.8	9885.4∠67.51
ACCOMO DAT.	A	236.0∠-1.97	190.9∠138.21	277.2∠4.45	226.0∠144.66	6253.77∠-38.4
	B	236.3∠-122.3	190.9∠18.25	141.2∠-175.5	4595∠-136.59	6292.32∠-158
	C	236.6∠118	191.0∠-102.0	141.2∠-175.5	4595∠43.41	6363.86∠81.7
PROPULS.	A	232.2∠-2.18	553.6∠142.4	320.3∠-0.28	770.1∠144.3	8315.6∠-50.93
	B	232.5∠-122.5	553.5∠22.39	163.4∠179.72	5552.3∠-148.7	8299.3∠-170.8
	C	232.5∠118	553.6∠-97.6	163.2∠179.8	5552.3∠31.3	8320.5∠69.22
SEC-BUS	A	63.45∠-4.6	354.5∠167	60.9∠-1.93	645.2∠170	4054.6∠-41.56
	B	63.4∠-124.8	354.7∠47.7	31.2∠178.1	5854.2∠-133.8	4130.1∠-161.09
	C	63.5∠115.7	355.9∠-72.5	31.2∠178.1	5854.2∠46.16	4122.3∠77.77

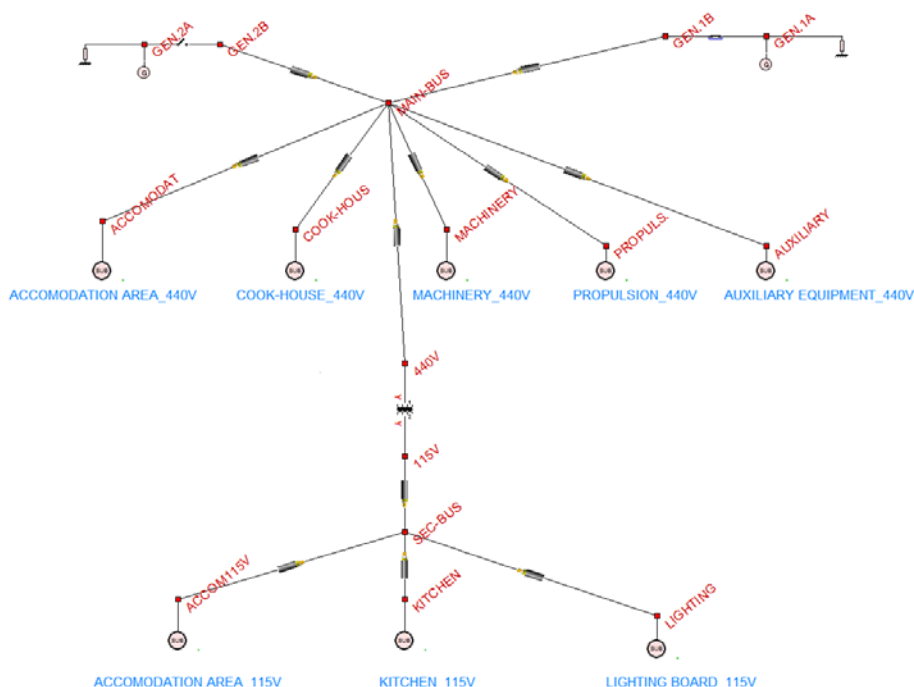
Πίνακας Π5.2.1\_2 Δυναμικά και ρεύματα σε μόνιμη και υπό σφάλμα κατάσταση

- Υπό διφασικό σφάλμα, (για λόγους συντομίας και λόγω συμμετρίας όλων των στοιχείων του δικτύου εξετάζεται μόνο η περίπτωση σφάλματος μεταξύ των φάσεων **b-c**) το ρεύμα ( $I_A$ ) και η τάση ( $V_A$ ) της υγιούς φάσης είναι αυξημένα σε σχέση με τα αντίστοιχα της κανονικής λειτουργίας.
- Η τιμή του ρεύματος ( $I_A$ ) παραμένει ίδια πριν και μετά το σφάλμα. Στο σημείο του σφάλματος παρατηρείται βύθιση τάσης και  $V_B = V_C$ . Μετά το σφάλμα ισχύει ότι  $I_B = I_C$  σε όλα τα καλώδια, καθώς τα φορτία είναι συμμετρικά και  $V_B = V_C$ . Κατά το τριφασικό σφάλμα ισχύει  $I_A = I_B = I_C$  κατά μέτρο.



## 2.4 Προσομοιώσεις στο συμπαγές γειωμένο σύστημα

Το ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου για το γειωμένο σύστημα στην κατάσταση κανονικής πορείας παρουσιάζεται στο σχήμα Π5.2.1\_3. Τα καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν φέρουν τέσσερις αγωγούς, τρεις των φάσεων και έναν του ουδέτερου, καθώς τα φορτία είναι σε συνδεσμολογία αστέρα. Η γεννήτρια γειώνεται απευθείας στον ουδέτερο κόμβο της, ενώ ο μετασηματιστής υποβιβασμού είναι σε συνδεσμολογία αστέρα-αστέρα. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι στη **μόνιμη κατάσταση λειτουργίας**, τόσο το αγείωτο όσο και το γειωμένο σύστημα έχουν ανάλογη συμπεριφορά καθώς το σύστημα είναι συμμετρικό και ο ουδέτερος δε διαρρέεται από ρεύμα.



Σχήμα Π5.2.1\_3 Ηλεκτρικό δικτύου πλοίου (γειωμένο)

Τοποθεσία		Μονοφασικό Σφάλμα		Διφασικό Σφάλμα	
	Φάση	Δυναμικό (V)	Ρεύμα (A)	Δυναμικό (V)	Ρεύμα (A)
GEN.1	A	2.8∠85.55	15342.9∠-87.28	370.2∠-3.30	1542.4∠143.19
	B	313.3∠-100.15	1302.9∠51.28	185.1∠176.78	9827.988∠0.50
	C	311.1∠96.41	1289.0∠-124.45	185.1∠176.78	9827.988∠-174
	N	2.8∠85.55	15342.9∠-87.28	0.2∠-89.20	0.0
MAIN-BUS	A	77.19∠-27.29	8506.9∠-62.03	334.2∠0.96	1435.9∠147.22
	B	249.6∠-108.99	1054.7∠45.02	167.5∠179.30	8115.27∠10.1
	C	293.8∠105.28	1218.0∠-113.47	167.5∠179.30	8115.27∠-162.3
	N	77.1∠-27.29	8506.9∠-62.03	12.2∠-79.20	0.0

M/Σ 440V	A	100.4∠-17.75	4674.6∠-45.71	304.8∠3.44	205.4∠172.64
	B	233.6∠-114.57	804.6∠37.15	153.2∠-177.71	6199.1∠27.82
	C	276.3∠111.76	908.7∠-105.48	153.2∠-177.71	6199.1∠-151
	N	100.4∠-17.75	4674.6∠-45.71	11.2∠-65.31	0.0
ACCOMMOD AT.	A	111.0∠-11.77	3118.5∠-31.87	272.1∠6.57	222.2∠146.00
	B	231.1∠-117.76	179.0∠31.47	139.3∠-175.71	4629.15∠42.19
	C	265.4∠114.75	200.8∠-112.32	139.3∠-175.71	4629.15∠-135.1
	N	111.0∠-11.77	3118.5∠-31.87	15.3∠-51.03	0.0

Πίνακας Π5.2.1\_3 Δυναμικά και ρεύματα υπό μονοφασικό και διφασικό σφάλμα

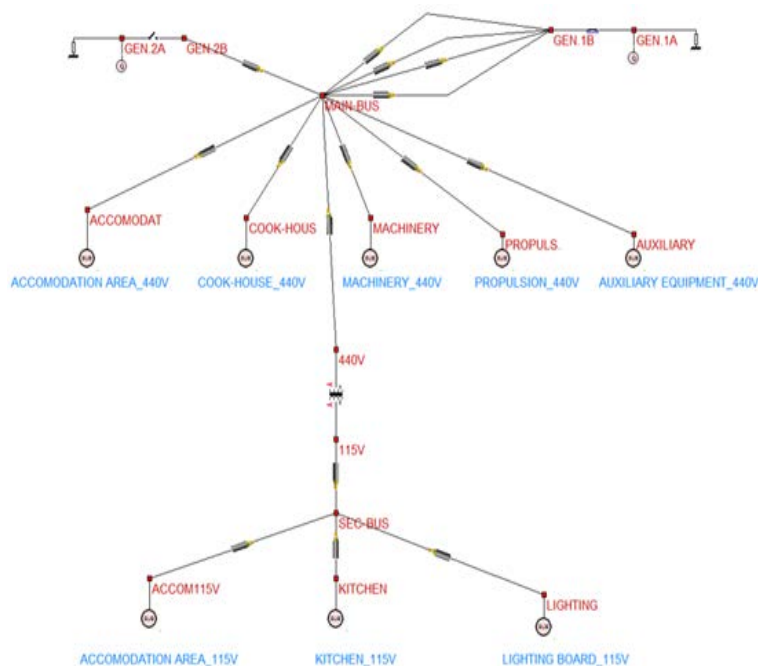
- Κατά το μονοφασικό σφάλμα το δυναμικό του ουδετέρου αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από την γεννήτρια, καθώς ο αγωγός του ουδετέρου των καλωδίων φέρει αντίσταση, αντίστοιχη της κάθε φάσης. Επιπλέον, ισχύει ότι  $I_A \approx I_N$ .
- Κατά το διφασικό σφάλμα χωρίς γη οι μετρήσεις διαφέρουν ελάχιστα από το αγείωτο σύστημα, καθώς η γείωση δεν έχει καμία επίδραση.

Τοποθεσία	Φάση	Διφασικό Σφάλμα προς γη		Τριφασικό	
		Δυναμικό (V)	Ρεύμα (A)	Δυναμικό (V)	Ρεύμα (A)
GEN.1	A	205.0∠-3.37	571.5∠145.25	0.0	22494.47∠-90
	B	7.8∠-97.90	26207.55∠126	0.0	22494.47∠150
	C	7.8∠-97.90	26866.63∠52.5	0.0	22494.47∠30
	N	7.8∠-97.90	42506.9∠-88.79	0.0	0.0
MAIN-BUS	A	290.0∠-3.05	1087.3∠142.36	2.6∠-59.91	14784.1∠111.8
	B	90.2∠171.05	11587.34∠173	2.6∠-59.91	14916.3∠-13.7
	C	90.2∠171.05	9051.39∠51.31	2.6∠-59.91	15745.4∠-133.7
	N	90.2∠171.05	10266.6∠124.7	2.6∠-59.91	2224.9∠31.93
M/Σ 440V	A	290.3∠0.82	171.3∠169.75	1.7∠-51.14	9718.0∠129.20
	B	91.6∠178.11	7734.8∠-165.67	1.7∠-51.14	10020.6∠6.04
	C	91.6∠178.11	5924.61∠54.97	1.7∠-51.14	9942.2∠-111.8
	N	91.6∠178.11	5038.6∠144.34	1.7∠-51.14	654.7∠100.71
ACCOMMOD AT.	A	260.7∠3.54	186.9∠143.42	1.1∠-34.28	5939.7∠144.00
	B	85.3∠-177.78	5173∠-148.63	1.1∠-34.28	6307.0∠21.72
	C	85.3∠-177.78	4482.9∠62.36	1.1∠-34.28	6528.5∠-100.23
	N	85.3∠-177.78	2663.9∠151.32	1.1∠-34.28	608.9∠80.04

Πίνακας Π5.2.1\_4 Δυναμικά και ρεύματα υπό τριφασικό και διφασικό προς γη σφάλμα

## 2.5 Επίδραση παράσιτων χωρητικότητας

Στους πίνακες Π5.2.1\_3 και Π5.2.1\_4 παρατηρείται διαφοροποίηση στα δυναμικά των φάσεων σε διάφορους κόμβους του δικτύου, χωρίς αυτή να οφείλεται σε σφάλματα. Για το λόγο αυτό, εξετάστηκε η επίπτωση των παράσιτων χωρητικότητας που εμφανίζονται μέσα σε ένα πολυφασικό καλώδιο σε συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου. Συνεπώς, αντικαταστάθηκε το τεσσάρων αγωγών καλώδιο, που συνέδεε τη γεννήτρια με τον κύριο ζυγό, με τέσσερα μονοπολικά, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα Π5.2.1\_4.



**Σχήμα Π5.2.1\_4 Προσαρμοσμένο ηλεκτρικό δίκτυο για τη μελέτη των παράσιτων χωρητικότητας**

Στην προσομοίωση πραγματοποιήθηκε μονοφασικό και διφασικό σφάλμα στον κύριο ζυγό και οι μετρήσεις αφορούν τόσο τον ίδιο όσο και τον ζυγό της γεννήτριας. Τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης παρουσιάζονται στον πίνακα Π5.2.1\_5 και συγκρίνονται με τα δυναμικά του δικτύου με πλήρες φορτίο.

Μονοφασικό σφάλμα στον κύριο ζυγό			
Τοποθεσία		Τετραπολικό καλώδιο	Μονοπολικά καλώδια
	Φάση	Δυναμικό (V)	Δυναμικό (V)
GEN.1	A	136.2∠-25.23	217.4∠-0.31
	B	248.1∠-107.15	250.8∠-119.16
	C	300.9∠107.56	254.1∠114.46

Main Bus	N	4.0∠111.47	4.0∠89.46
	A	75.5∠-27.42	99.8∠-5.57
	B	249.6∠-109.38	224.4∠-127.10
	C	294.8∠105.54	220.2∠108.83
	N	75.5∠-27.42	99.8∠-5.57
<b>Διφασικό σφάλμα στον κύριο ζυγό</b>			
GEN.1	A	309.6∠-3.80	277.8∠-2.39
	B	171.3∠-167.47	204.2∠-131.75
	C	118.9∠141.43	202.7∠128.73
	N	4.8∠-56.35	3.1∠-42.48

Πίνακας Π5.2.1\_5 Σύγκριση τάσεων δικτύου με πολυφασικό καλώδιο και με τέσσερα ισοδύναμα μονοφασικά

### 3. Συμπεράσματα

Η μέθοδος γείωσης είναι αναπόσπαστο κομμάτι της ηλεκτρολογικής μελέτης ενός πλοίου, καθώς επηρεάζει τόσο την σχεδίαση (διαστασιολόγηση ζυγών, καλωδίων, διακοπών κλπ.) όσο και την εύρυθμη λειτουργία του ίδιου του συστήματος. Διαπιστώθηκε ότι η γείωση του συστήματος επηρεάζει αισθητά τα σφάλματα προς γη, ενώ τα υπόλοιπα είδη σφάλματος εξαρτώνται κυρίως από την προ σφάλματος τάση και την ισχύ βραχυκύκλωσης του ζυγού.

Οι προσομοιώσεις στο αγείωτο σύστημα περιορίστηκαν από την αδυναμία του προγράμματος να αναπαραστήσει τις εγκάρσιες χωρητικότητες μεταξύ των καλωδίων και της γης. Παράλληλα, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν τόσο για τα τριφασικά όσο και για τα διφασικά βραχυκυκλώματα χωρίς γη, ταυτίζονται με εκείνα του συμπαγώς γειωμένου συστήματος. Από την άλλη πλευρά, η ύπαρξη ουδετέρου στο συμπαγώς γειωμένο σύστημα κατέστησε δυνατή την εκτέλεση όλων των τύπων βραχυκυκλωμάτων.

Αρχικά, σε όλα τα σφάλματα προς γη, οι τάσεις των εμπλεκόμενων φάσεων στο σημείο αυτό τείνουν να μηδενίζονται. Το δυναμικό του ουδετέρου στη θέση του σφάλματος αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από την γεννήτρια λόγω της σύνθετης αντίστασης του ίδιου του αγωγού του ουδετέρου.

Υπό μονοφασικό σφάλμα, το πλάτος της τάσης των υγιών φάσεων παραμένει κοντά στην ονομαστική της τιμή, ενώ οι τιμές των ρευμάτων τους αυξάνουν. Στην περίπτωση των διφασικών σφαλμάτων χωρίς γη, παρατηρείται στην υγιή φάση τόσο η αύξηση της τιμής της τάσης όσο και του ρεύματος λειτουργίας της. Απεναντίας, οι τάσεις των φάσεων με το σφάλμα πέρα από το ότι εξισώνονται, μειώνονται αισθητά.

Στη συνέχεια, όσον αφορά στα διφασικά σφάλματα προς γη, στον κόμβο της γεννήτριας διαπιστώνεται βύθιση τάσης στην υγιή φάση, ενώ αυξάνει η τιμή του ρεύματος



βραχυκύκλωσης από τις φάσεις στον ουδέτερο. Όσο η θέση του σφάλματος απομακρύνεται από την γεννήτρια, το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται, ενώ στην περίπτωση του συμπαγώς γειωμένου συστήματος η τάση της υγιούς φάσης αυξάνει. Τέλος, στα τριφασικά σφάλματα μηδενίζονται τα δυναμικά φάσεων και ουδετέρου και, συνήθως, πρόκειται για την δυσμενέστερη περίπτωση σφαλμάτων.

Γενικά παρατηρήθηκε σε όλα τα είδη σφαλμάτων, με εξαίρεση τα τριφασικά, πως ένα μικρό ρεύμα συνεχίζει και ρέει στις εσφαλμένες φάσεις, καθώς η τάση τους μπορεί να μηδενίζεται, αλλά όχι απαραίτητα και το δυναμικό τους.

Στις προσομοιώσεις εξετάστηκε επίσης η επίδραση των παράσιτων χωρητικοτήτων, οι οποίες προκαλούνται όπως αποδείχθηκε κυρίως από τα καλώδια διανομής, αλλά και από τα τυλίγματα της γεννήτριας. Οι βυθίσεις τάσης ενισχύονται, ενώ παράλληλα παρατηρείται άνιση κατανομή τάσης μεταξύ των φάσεων.

#### 4. Βιβλιογραφία

- [1] Windows Based Integrated Grounding System manual (WinIGS)
- [2] IEC 61363-1: Electrical installations of ships and mobile and fixed offshore units, 1998
- [3] IEEE Recommended Practice for Electrical Installations on Shipboard, October 2002
- [4] The National Electrical Code, NFPA 70, The National Fire Protection Association, Inc., 2005 Edition
- [5] Κ. Κ. Τριανταφύλλου, «Μελέτη βραχυκυκλωμάτων σε ηλεκτρικό δίκτυο πλοίου», Διπλωματική εργασία, Αθήνα, Οκτώβριος 2015



ΔιερΕύνηση Και Αντιμετώπιση προβλημάτων ποιότητας ηλεκτρικής Ισχύος σε Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) πλοίων (ΔΕΥ.Κ.Α.Λ.Ι.ΩΝ)



DEFKALION