



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Μέθοδοι γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας σε πλοία

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Κ. Κριμιτζάς

Καθηγητής: Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέπουσα: Ελένη Π. Νικολοπούλου

Αθήνα, Ιούλιος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Μέθοδοι γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας σε πλοία

184

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Κ. Κριμιτζάς

Καθηγητής: Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέπουσα: Ελένη Π. Νικολοπούλου

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17^η Ιουλίου 2013

.....
Ιωάννης Αθ.
Σταθόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Φραγκίσκος Β.
Τοπαλής
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ιωάννης Φ.
Γκόνος
Λέκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2013

Copyright © Ιωάννης Κ.Κριμιτζάς, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Η γείωση και η αντικεραυνική προστασία σε πλοία είναι ένα ζήτημα του οποίου η μελέτη χρήζει βελτίωσης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, σε πρώτη φάση παρουσιάζονται οι βασικές αρχές γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας. Στη συνέχεια περιγράφονται οι απαιτήσεις που δίνονται από τα διεθνή πρότυπα για τα δύο ζητήματα. Για κάθε ένα από τα δύο γίνεται αξιολόγηση και μελέτη για να καλυφθούν οι εκάστοτε απαιτήσεις σε ναυτιλιακές εφαρμογές. Τέλος, γίνεται συγκριτική ανάλυση η οποία σκοπεύει στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την καταλληλότητα του κάθε προτύπου και προτείνονται λύσεις για πιθανά προβλήματα.

Λέξεις κλειδιά

Αντικεραυνική προστασία σε πλοία, γείωση σε πλοία, IEEE 45, ISO 10134, IEC 6092-507, Bureau Veritas NR 566, ABYC, NVIC 2-89, ανίχνευση γείωσης σε πλοία, όγκος προστασίας, πλάκα γείωσης.

Abstract

Grounding and lightning protection in ships are matters that need further investigation. This diploma thesis firstly presents the fundamental principles of grounding and lightning protection. Furthermore the demands of the international standards, as far as these two issues are concerned, are described. For each of these issues, a study and an evaluation have been made to meet the requirements in maritime applications. Finally, a comparative analysis is held in order to conclude about the appropriateness of each standard and propose solutions.

Key words

Grounding in ships, lightning protection in ships, IEEE 45, ISO 10134, IEC 6092-507, Bureau Veritas NR 566, ABYC, NVIC 2-89, ground detection in ships, volume of protection, grounding plate.

Πρόλογος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετώνται δύο ζητήματα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εγκαταστάσεων σε σκάφη, αυτά της γείωσης και της αντικεραυνικής προστασίας. Η βιβλιογραφική εργασία που πραγματοποιήθηκε, ασχολήθηκε με τη μελέτη διεθνών προτύπων και εθνικών κανονισμών που αφορούν σε πλοία και ορίζουν τις απαιτήσεις που πρέπει να καλύπτονται για να εξασφαλίζεται ικανοποιητικό επίπεδο ασφάλειας για κάθε ένα από αυτά τα ζητήματα ξεχωριστά. Το μεγάλο εύρος των ναυτλιακών εφαρμογών και τα πολλά διαφορετικά είδη σκαφών μας οδήγησαν στην επιλογή προτύπων που ασχολούνται με αρκετές υποπεριπτώσεις για να καλυφθεί επαρκώς το θέμα. Καθώς τα πρότυπα αυτά περιέχουν μερικές φορές ασυμφωνίες, ασάφειες αλλά και επικαλύψεις, έγινε προσπάθεια να διαλευκανθούν αυτά τα σημεία και να προταθούν τρόποι ενοποίησης των προτύπων με μια συγκριτική ανάλυση που καλύπτει πλήρως το θέμα και αναφέρει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του εκάστοτε προτύπου.

Ειδικότερα, η διπλωματική εργασία αποτελείται από τα εξής κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι παράμετροι και το φαινόμενο του κεραυνού καθώς και οι πιο ευρέως διαδεδομένες μέθοδοι αντικεραυνικής προστασίας.

Κεφάλαιο 2. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το ζήτημα της γείωσης και της χρησιμότητάς της. Γίνεται λόγος για τα διάφορα συστήματα γείωσης που χρησιμοποιούνται γενικά αλλά και για τα συστήματα αντίχνευσης γείωσης.

Κεφάλαιο 3. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι διάφοροι διεθνείς και εθνικοί οργανισμοί καθώς και τα πρότυπα που επελέχθησαν για το ζήτημα της αντικεραυνικής προστασίας.

Κεφάλαιο 4. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα πρότυπα που επελέχθησαν για το ζήτημα της γείωσης.

Κεφάλαιο 5. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα καθώς και η συγκριτική ανάλυση των προτύπων που αναφέρθησαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Ελένη Νικολοπούλου για τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής εργασίας καθώς και για την ιδιαίτερη υπομονή της στη μεταξύ μας συνεργασία.

Περιεχόμενα

Περίληψη _____	i
Abstract _____	ii
Πρόλογος _____	iii
Περιεχόμενα _____	iv

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

1.1 Η ανακάλυψη της ηλεκτρικής φύσης του κεραυνού _____	1
1.2 Γενικά στοιχεία για τον κεραυνό και την ατμόσφαιρα _____	3
1.3 Παράμετροι του κεραυνού _____	6
1.4 Μέθοδοι αντικεραυνικής προστασίας _____	10
1.4.1 Μέθοδος κώνου προστασίας _____	11
1.4.2 Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας _____	12
1.4.3 Μέθοδος όγκου συλλογής _____	13
1.4.4 Μέθοδος δυναμικού του οχετού προεκκένωσης _____	15
1.5 Συμπεράσματα για την αντικεραυνική προστασία σε ιστιοφόρα σκάφη _____	16
1.5.1 Βλάβες στα ηλεκτρονικά συστήματα _____	19
1.5.2 Βλάβες στο σκελετό του σκάφους _____	21

Κεφάλαιο 2

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΙΩΣΗΣ

2.1	Τύποι γειώσεων _____	26
2.1.1	Αγείοτο σύστημα _____	26
2.1.2	Γειωμένο σύστημα _____	28
2.1.3	Γείωση μέσω υψηλής αντίστασης _____	29
2.1.4	Γείωση μέσω αντίδρασης _____	30
2.1.5	Γείωση μέσω χαμηλής αντίστασης _____	30
2.1.6	Σύγκριση τύπων γειώσεων _____	31
2.2	Συστήματα ανίχνευσης γης _____	34
2.2.1	Σύστημα ανίχνευσης γης σε αγείοτο σύστημα _____	34
2.2.2	Συσκευές ανίχνευσης γης σε γειωμένη εγκατάσταση _____	35
2.2.3	Σύστημα παρακολούθησης μόνωσης σε αγείοτο σύστημα _____	36

Κεφάλαιο 3

ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

3.1	Κατηγοριοποίηση οδηγιών και οργανισμών _____	37
3.2	Αντικεραυνική προστασία _____	41
3.2.1	ISO 10134 _____	42
3.2.2	IEC 6092-507 _____	52
3.2.3	Bureau Veritas NR 566 _____	53
3.2.4	ABYC _____	54
3.2.5	DEF STAN 02-51 _____	64

Κεφάλαιο 4

ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΕΙΩΣΗΣ

4.1	IEEE 45 _____	71
4.2	IEC 6092-507 _____	79
4.3	Bureau Veritas NR 566 _____	85
4.4	ABYC _____	90
4.5	Διεύθυνση Ηλεκτρικής Ασφάλειας Νορβηγίας _____	97
4.6	Σύστημα ανίχνευσης γης στο πρότυπο NVIC 2-89 _____	107

Κεφάλαιο 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1	Αντικεραυνική προστασία _____	112
	5.1.1 Συγκριτική ανάλυση προτύπων _____	112
5.2	Γείωση _____	121
	5.2.1 Γενικά συμπεράσματα _____	121
	5.2.2 Συμπεράσματα IEEE 45 _____	123
	5.2.2.1 Χαμηλή τάση _____	123
	5.2.2.2 Μέση τάση _____	124
	5.2.2.3 Βραχυκυκλώματα και ασφάλεια _____	125
	5.2.2.4 Στοιχεία σχεδιασμού συστήματος υψηλής αντίστασης _____	126
	5.2.2.4.1 Χωρητικό ρεύμα φόρτισης _____	126
	5.2.2.4.2 Επίπεδο μόνωσης καλωδίου ισχύος _____	129

5.2.3 Δημιουργία τεχνητού ουδέτερου σε αγείωτο σύστημα _____	130
5.2.4 Συγκριτική ανάλυση _____	132
Βιβλιογραφία	138

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

1.1 Η ανακάλυψη της ηλεκτρικής φύσης του κεραυνού

Ο κεραυνός, για χιλιάδες χρόνια, ήταν για τον άνθρωπο πηγή δέους και φόβου. Οι άνθρωποι από την αρχαιότητα μέχρι πρόσφατα ερμήνευαν την εμφάνιση των κεραυνών ως σύμβολο θεϊκής οργής και σημάδι κινδύνου. Όμως, κατά τον 18^ο αιώνα, στην εποχή της βιομηχανικής επανάστασης, ο κεραυνός μετατράπηκε σε σύμμαχο του ανθρώπου καθώς τον βοήθησε να κάνει ίσως τη σημαντικότερη ανακάλυψη της νεότερης ιστορίας του, τον ηλεκτρισμό.

Πιο συγκεκριμένα, ο Βενιαμίν Φραγκλίνος (1706-1790) για να αποδείξει την ηλεκτρική φύση του κεραυνού [1], πραγματοποίησε το διάσημο πείραμά του το 1750, κατά το οποίο ύψωσε ένα χαρταετό εν μέσω καταιγίδας για να αποσπάσει ηλεκτρικούς σπινθήρες από τα σύννεφα. Ήθελε με αυτόν τον τρόπο να δείξει την μεταφορά του ηλεκτρισμού μεταξύ δύο σημείων και το αποτέλεσμα που αυτή συνεπάγεται. Όντας γνώστης της επικινδυνότητας του πειράματος ως προς την ηλεκτροπληξία, έδεσε ένα σιδερένιο κλειδί στην άκρη του σπάγκου, το οποίο συνέδεσε με τη γυάλα του Leyden (Leyden Jar [2]), έναν πρώιμο πυκνωτή στατικού ηλεκτρισμού της εποχής. Όταν πλησίασε η καταιγίδα, ο Βενιαμίν συγκρατούσε το χαρταετό μέσα από έναν αχυρώνα για να είναι στεγνός τόσο αυτός, όσο και το τμήμα του σπάγκου που κρατούσε και να μην κινδυνεύει να χτυπηθεί από το ρεύμα.

Πράγματι, όταν ξέσπασε η καταιγίδα και προκλήθηκε ηλεκτρική εκκένωση ο επιστήμονας αρχικά δεν επηρεάστηκε από το ρεύμα. Όταν όμως πλησίασε το χέρι του στη γυάλα του Leyden το έντονα αρνητικό φορτίο που είχε συσσωρευτεί στο κλειδί αλληλεπίδρασε με το θετικό φορτίο στο σώμα του με αποτέλεσμα να προκληθεί ηλεκτρικός σπινθήρας και να πάθει ηλεκτροπληξία. Πλέον η ηλεκτρική φύση του κεραυνού είχε αποδειχτεί πειραματικά και πρακτικά πηγαίνοντας ταυτόχρονα την έρευνα στο θέμα του ηλεκτρισμού στο επόμενο επίπεδο.

Το πείραμα θα μπορούσε να αποβεί μοιραίο χωρίς το μεταλλικό κλειδί, το οποίο απορρόφησε το ηλεκτρικό φορτίο και λειτούργησε ως γειωτής. Με αυτόν τον τρόπο βρέθηκε εναλλακτικός τρόπος διοχέτευσης του ρεύματος στη γη και συνεπώς ανακαλύφθηκε το πρώτο αλεξικέραυνο εισάγοντας την αντικεραυνική προστασία στην ανθρώπινη γνώση. Μάλιστα, την ίδια χρονιά που πραγματοποιήθηκε το πείραμα, ανακαλύφθηκε ο ηλεκτρισμός σε συνθήκες καλοκαιρίας.



Εικόνα 1.1: Το πείραμα του Βενιαμίν Φραγκλίνου

1.2 Γενικά στοιχεία για τον κεραυνό και την ατμόσφαιρα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα της ατμόσφαιρας, σε ύψος κάτω των 50 χιλιομέτρων (δηλαδή στην τροπόσφαιρα και την στρατόσφαιρα), οφείλεται κυρίως στα θετικά και αρνητικά ιόντα που κινούνται μέσα στο ηλεκτρικό της πεδίο και αυξάνεται σε σχέση με το ύψος.

Η διαφορά δυναμικού που προκαλεί τον κεραυνό οφείλεται στα (συνήθως) αρνητικά φορτισμένα ιόντα στα σύννεφα και στα θετικά φορτισμένα ιόντα της ξηράς ή της θάλασσας. Υπολογίζεται μάλιστα ότι σε συνθήκες αίθριου καιρού το ηλεκτροστατικό πεδίο με φορά προς τη Γη είναι της τάξης των 100 V/m [3] στην περιοχή κοντά στην επιφάνεια της Γης. Το μέγεθος αυτό μεταβάλλεται τόσο χωρικά όσο και χρονικά και εξαρτάται από τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες (άνεμος, νέφη, βροχοπτώσεις, αιωρήματα κτλ).

Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις που παρατηρούνται στην ατμόσφαιρα ονομάζονται κεραυνοί οι οποίοι δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των καταιγίδων. Το φαινόμενο οφείλεται στη συγκέντρωση σε διαφορετικές περιοχές θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων. Έτσι, δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο και όταν η ένταση του φτάσει σε μεγάλη τιμή, ξεσπά ο κεραυνός με διάτρηση του αέρα και δημιουργία σπινθήρα.

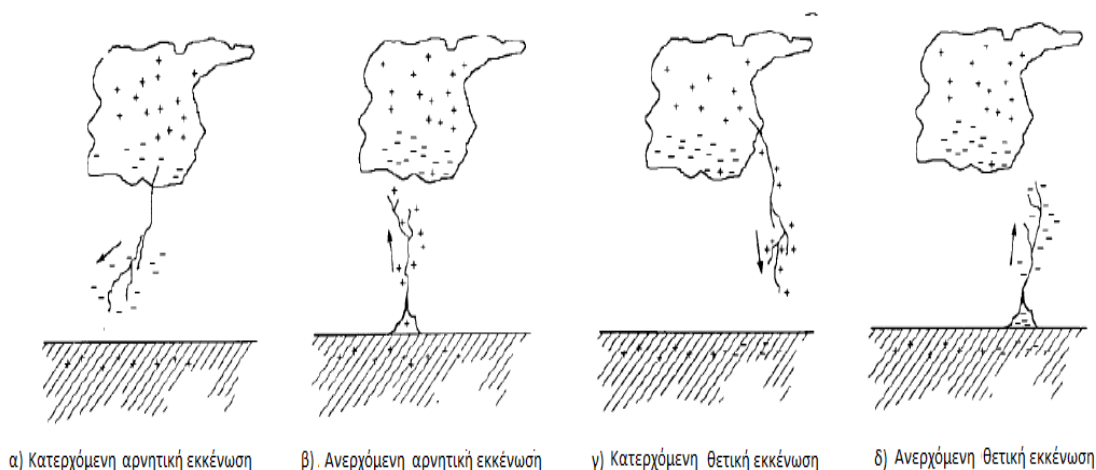
Αν θεωρήσουμε τον αέρα που μεσολαβεί μεταξύ του νέφους και της επιφάνειας της γης ως διηλεκτρικό υλικό το οποίο έχει διηλεκτρική σταθερά ίση με 1, τότε όταν η τιμή της αντοχής ξεπεραστεί, το υλικό διασπάται και προκαλείται ηλεκτρική εκκένωση δηλαδή κεραυνός. Μάλιστα, όταν ο αέρας είναι υγρός η τιμή της διηλεκτρικής αντοχής μειώνεται κάνοντας την εμφάνιση του φαινομένου πιο πιθανή. Το σύννεφο μετά από αυτή τη διαδικασία ξεφορτίζεται ενώ διατηρεί τη δυνατότητα επαναφόρτισης σε χρόνο κατώτερο του μισού λεπτού της ώρας.

Οι φορείς της διαφοράς δυναμικού προκαλούν κεραυνούς διαφόρων ειδών. Κεραυνοί μπορεί να ξεσπάσουν ανάμεσα σε:

- διαφορετικά νέφη,
- μέσα στο ίδιο νέφος,
- ανάμεσα σε ένα νέφος και στον αέρα
- ένα νέφος και το έδαφος.

Τα κεραυνικά πλήγματα που εκδηλώνονται μεταξύ νέφους και εδάφους χωρίζονται όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα ανάλογα με τη φορά και το είδος της φόρτισής τους στις εξής υποκατηγορίες:

- Κατερχόμενη θετική εκκένωση
- Κατερχόμενη αρνητική εκκένωση
- Ανερχόμενη θετική εκκένωση
- Ανερχόμενη αρνητική εκκένωση



Εικόνα 1.2.1: Διάφορα είδη κεραυνού

Η συντριπτική πλειοψηφία (75% έως 90%) των περιπτώσεων είναι κατερχόμενοι και αρνητικοί ενώ οι ανερχόμενοι κεραυνοί εκκινούν από αντικείμενα που έχουν ή βρίσκονται σε μεγάλο ύψος. Οι περισσότεροι ανερχόμενοι κεραυνοί είναι θετικά φορτισμένοι αλλά πολλές από τις παραμέτρους τους δεν έχουν ερευνηθεί λόγω της σπανιότητας του φαινομένου.

Κατά τη διάρκεια της εκκένωσης, δημιουργείται έντονος ιονισμός των αερίων του αέρα, τα οποία εκπέμπουν φως γνωστό και ως φαινόμενο της αστραπής. Το μήκος ενός κεραυνού φθάνει έως αρκετά χιλιόμετρα και έχει τεθλασμένη ή κυματοειδή μορφή. Το πλάτος του σπινθήρα είναι μικρό και φτάνει το πολύ μερικές δεκάδες εκατοστά. Η διαφορά δυναμικού κατά την έκρηξη ενός κεραυνού είναι πολλά εκατομμύρια Volt και η ένταση του ρεύματος δεκάδες χιλιάδες Ampere.

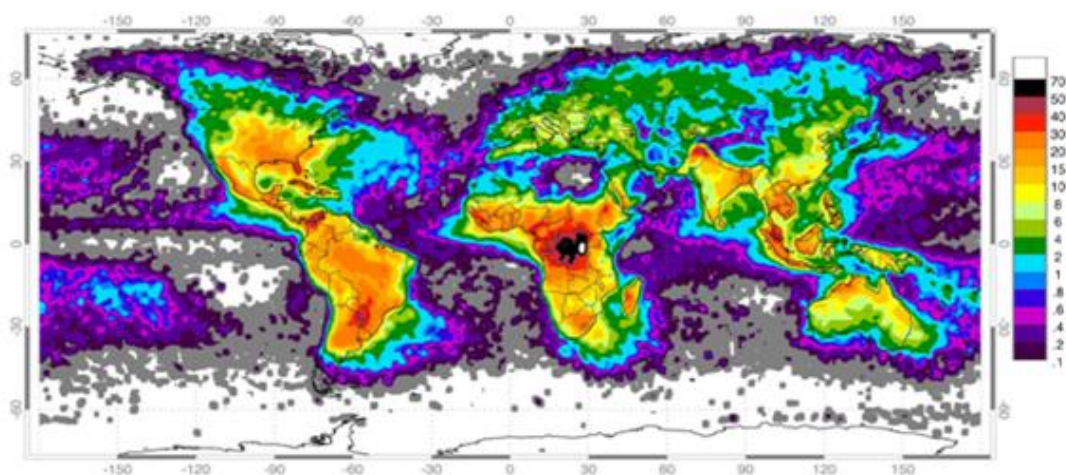
Πιο συγκεκριμένα, λίγο πριν την εκκίνηση της εκκένωσης, ένας προπομπός (οχετός προεκκένωσης) του κεραυνού κατέρχεται προς το έδαφος. Ο προπομπός αυτός κατεβαίνει κλιμακωτά προς τα κάτω και αποτελείται από ηλεκτρικά φορτία. Η διαδικασία καθόδου του διαρκεί δέκατα του ms. Κάτω από τον προπομπό, βρίσκεται μια περιοχή πολύ υψηλού φορτίου. Καθώς η απόσταση από τη γη μικραίνει, καθώς ο προπομπός κατεβαίνει, το ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο αναγκάζει αντικείμενα από το έδαφος να εκπέμψουν μέσω επαγωγής φορτία (προπομπούς) αντίθετης πολικότητας

από αυτήν του κατερχόμενου προπομπού. Καθώς τα ετερόνυμα φορτία έλκονται, το κατερχόμενο σύνολο φορτίων επηρεάζεται από το αντίθετης πολικότητας ανερχόμενο. Τη στιγμή που οι δύο προπομποί συναντιούνται, ο κεραυνός γίνεται πραγματικότητα και σχηματίζεται το συνεχές μονοπάτι φορτίων που τον απαρτίζει σε μια απόσταση R_s από το αλεξικέραυνο που ονομάζεται απόσταση πλήγματος όπως θα δούμε και παρακάτω.

Η διάρκεια που κρατά ο κεραυνός είναι μικρότερη από ένα δευτερόλεπτο, αλλά η θερμοκρασία που αναπτύσσεται είναι 30.000 °C. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η θερμοκρασία στην επιφάνεια του Ήλιου κυμαίνεται στους 6.000 °C γίνεται κατανοητό το τεράστιο ποσό ενέργειας που εκλύεται με έναν κεραυνό. Η υπερβολική και ραγδαία αυτή θέρμανση του αέρα και η εκτόνωση του δημιουργούν τον δυνατό κρότο που ονομάζουμε βροντή.

Τα ισχυρά ρεύματα του κεραυνού προκαλούν καταστροφές. Μπορούν να ανάψουν φωτιά στο δάσος, να δημιουργήσουν σοβαρή βλάβη στις ηλεκτρικές γραμμές και να καταστρέψουν απροστάτευτες εγκαταστάσεις. Ο κεραυνός που χτυπά άνθρωπο είτε άμεσα είτε έμμεσα, είναι πολύ πιθανό να προκαλέσει το θάνατο κάνοντας έτσι σημαντική την αντικεραυνική προστασία σε πάρα πολλά είδη κατασκευών.

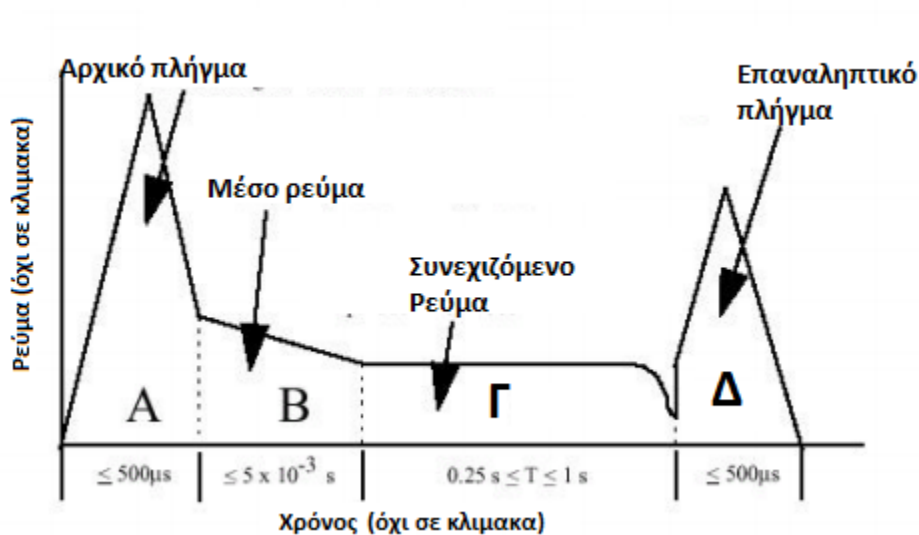
Κάθε μέρα στον πλανήτη μετρώνται πάνω από 40.000 καταιγίδες οι οποίες δημιουργούν σχεδόν 10.000.000 κεραυνούς. Στην εικόνα 1.2.2 φαίνεται η πυκνότητα κεραυνικών πληγμάτων όπως καταγράφηκε από τη NASA σε μία περίοδο οκτώ ετών. Σύμφωνα με τον χρωματικό κώδικα που χρησιμοποιείται βλέπουμε ότι η πυκνότητα είναι πολύ μεγαλύτερη στις ηπειρωτικές σε σχέση με τις θαλάσσιες περιοχές, ενώ πολλά τμήματα του ωκεανού δεν συνοδεύονται καθόλου από σχετικά στοιχεία.



Εικόνα 1.2.2: Πυκνότητα κεραυνικών πληγμάτων 1995-2003[4]

1.3 Παράμετροι του κεραυνού

Ο κεραυνός ουσιαστικά είναι ένας παλμός ρεύματος μεγάλου πλάτους με γενικά προσδιορισμένη, ταχέως μεταβατική, διπλοεκθετική κυματομορφή με μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Καθώς για τις ανάγκες της εργασίας μας απασχολούν κυρίως οι κεραυνοί από σύννεφα προς τη γη, αυτή θα είναι και η κατηγορία που θα εξετάσουμε. Η κατανόηση της κυματομορφής θα μας βοηθήσει να μοντελοποιήσουμε τη σχεδίαση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Μελετώντας τη μορφή του παλμού, βλέπουμε ότι χωρίζεται σε τέσσερα διακριτά μέρη όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα [5].



Εικόνα 1.3.1: Φάσεις του κεραυνικού πλήγματος [6]

Το μέρος Α είναι ο παλμός υψηλού ρεύματος. Πρόκειται για μετάβαση που έχει μετρηθεί μέχρι 260kA και που έχει διάρκεια έως 200μs. Ο ρυθμός αύξησης του ρεύματος συνήθως είναι κοντά στα $3 \cdot 10^{10}$ A/s όμως μπορεί να φτάσει και τα $2 \cdot 10^{11}$ A/s Κατά μέσο όρο η αύξηση που αντιστοιχεί σε 50μs είναι 20kA.

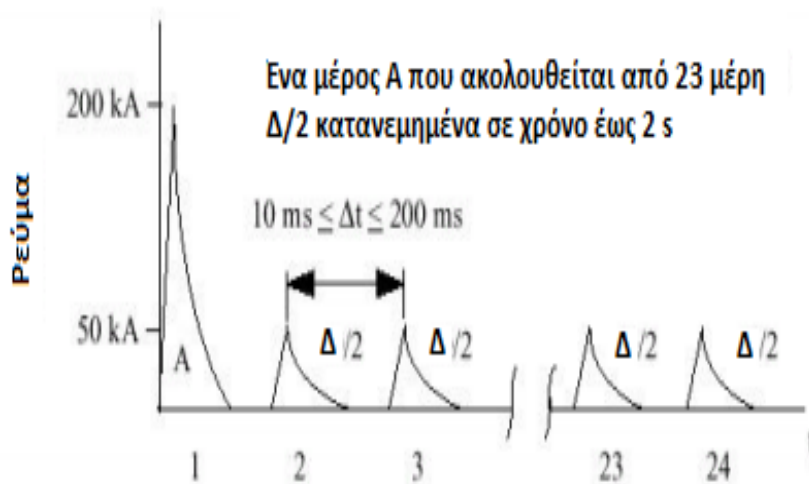
Το μέρος Β είναι η μεταβατική φάση της τάξης των μερικών χιλιάδων A ενώ στο μέρος Γ έχουμε ένα συνεχιζόμενο ρεύμα της τάξης των 300 – 500 A με διάρκεια 0.75 δευτερόλεπτα. Τέλος, το μέρος Δ αποτελεί επανάληψη του τμήματος Α με το μισό αυτή τη φορά πλάτος αλλά με σχεδόν την ίδια διάρκεια. Συνήθως ένα κεραυνικό πλήγμα επιφέρει τρία ή τέσσερα επαναληπτικά πλήγματα στα οποία κάθε φορά το πλάτος μειώνεται στο μισό.

Λαμβάνοντας υπόψιν το πρότυπο MIL-STD-464 που ασχολείται με την παραμετροποίηση του κεραυνού, έχουμε συνοπτικά τον παρακάτω πίνακα:

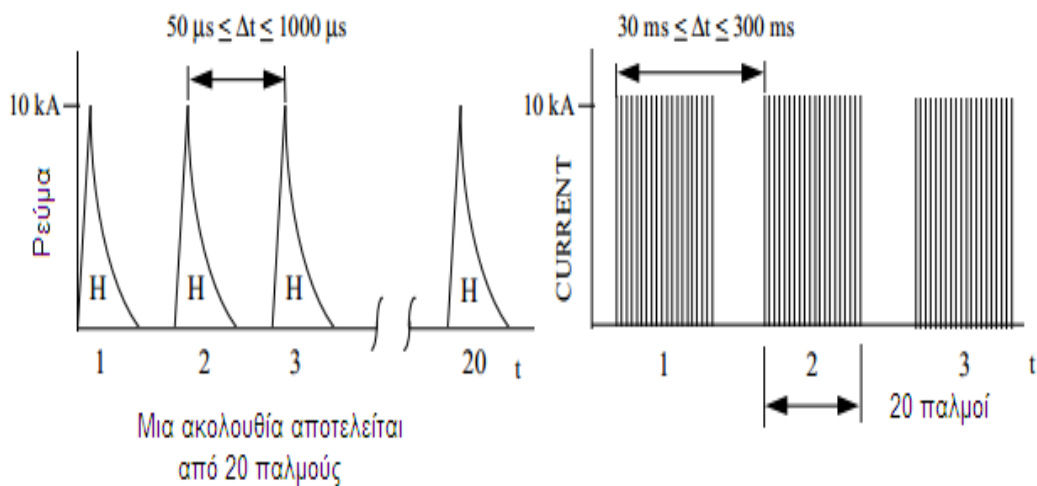
Τμήμα κυματομορφής	Περιγραφή	$i(t) = I_0 (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad t \text{ σε } s$		
		I_0 (A)	$\alpha(s^{-1})$	$\beta(s^{-1})$
A	Ισχυρό πλήγμα	218810	11354	647265
B	Μεσαίο ρεύμα	11300	700	2000
Γ	Συνεχιζόμενο ρεύμα	400 για 0.5 s	Μη εφαρμόσιμο	Μη εφαρμόσιμο
Δ	Επαναληπτικό πλήγμα	109405	22708	1294530
Δ/2	Πολλαπλό πλήγμα	54.703	22708	1294530
H	Πολλαπλές ακολουθίες	10572	187191	19105100

Πίνακας 1.1: Περιγραφή σταδίων του κεραυνού

Η παράμετρος $\Delta/2$ φαίνεται στην εικόνα 1.3.2α ενώ η παράμετρος H φαίνεται στην εικόνα 1.3.2.β

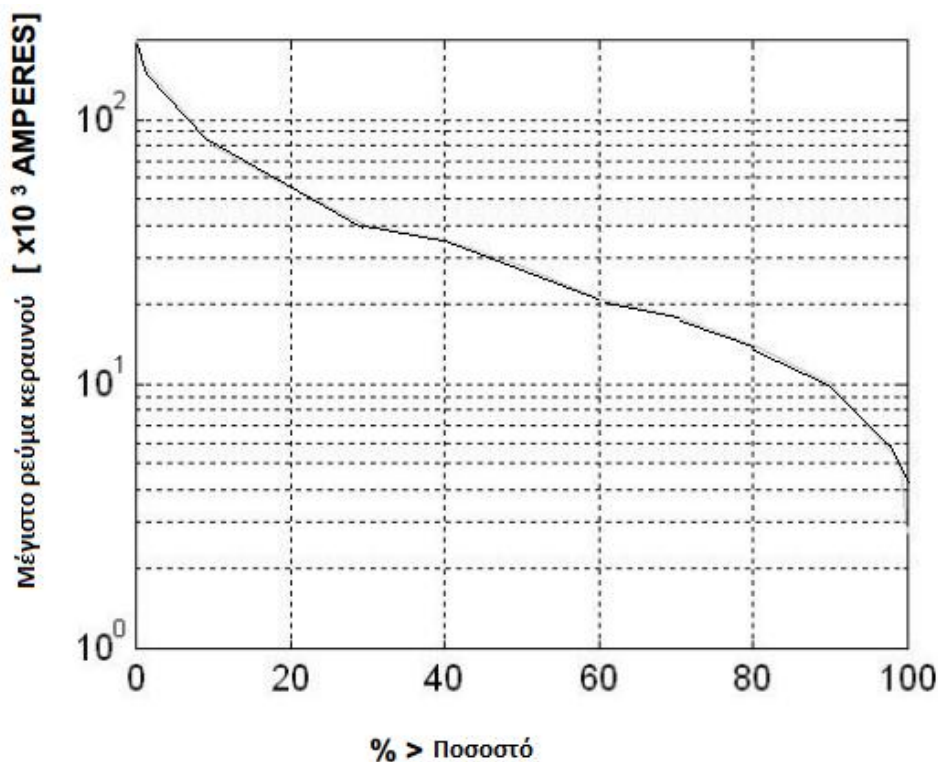


Εικόνα 1.3.2α: Επαναληπτικά πλήγματα [6]



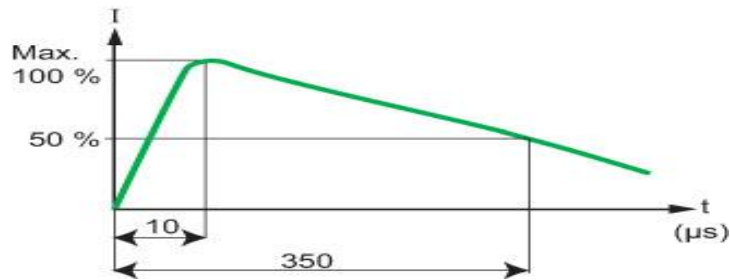
Εικόνα 1.3.2β: Πολλαπλές ακολουθίες [6]

Παρότι το πρότυπο MIL-STD-464 χρησιμοποιεί ακραίες περιπτώσεις κεραμικών πηγμάτων, κατηγοριοποιεί το μέγιστο ρεύμα με την ποσόστωση σύμφωνα με το επόμενο διάγραμμα στο οποίο φαίνεται ότι μόνο το 0.1% ξεπερνά τα 200kA ενώ το 99.9% ξεπερνά τα 5kA. Ο μέσος όρος κυμαίνεται κοντά στα 50kA.

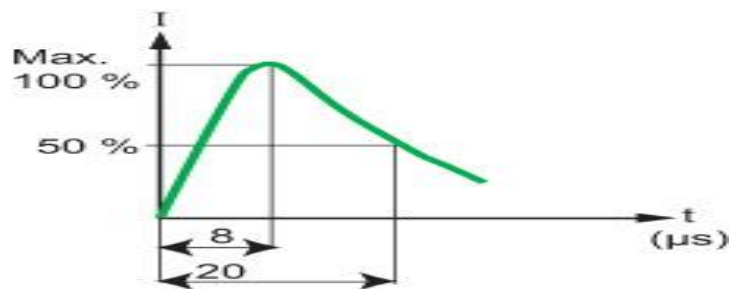


Εικόνα 1.3.3: Ποσοστιαία κατανομή μέγιστου ρεύματος κεραυνού

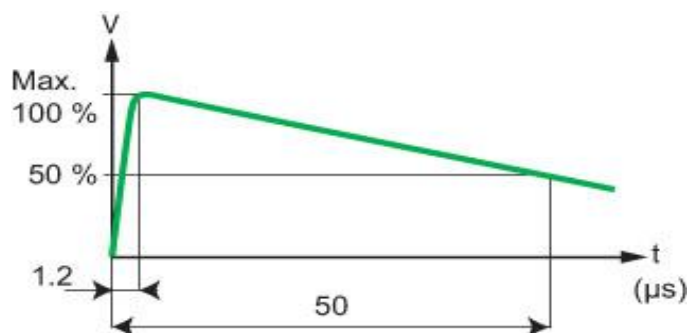
Από την άλλη, τα πρότυπα IEC (61000-4-5, 61643-11) εξετάζουν τους κεραυνούς σύμφωνα με τις δοκιμές που γίνονται γενικά στη μελέτη των υψηλών τάσεων προσφέροντας τα παρακάτω διαγράμματα [7]. Τα διαγράμματα 1.3.4α και 1.3.4β απεικονίζουν τη μεταβολή του ρεύματος με το χρόνο ενώ το 1.3.4γ την αντίστοιχη μεταβολή της τάσης. Κρίθηκε σκόπιμο να αναφερθούν αυτές οι προτυποποιημένες κυματομορφές για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου του κεραυνού.



Εικόνα 1.3.4α: Κυματομορφή ρεύματος 10/350μs (άμεσο κεραυνικό πλήγμα)



Εικόνα 1.3.4β: Κυματομορφή ρεύματος 8/20μs (έμμεσο κεραυνικό πλήγμα)



Εικόνα 1.3.4γ: Κυματομορφή ρεύματος 1.2/50μs (μελέτη υπερτάσεων από ατμοσφαιρικές εκφορτίσεις)

1.4 Μέθοδοι αντικεραυνικής προστασίας

Για να προσδιορίσουμε την περιοχή που θέλουμε να καταστήσουμε θεωρητικά απρόσβλητη από κεραυνικά πλήγματα έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι [8]. Στόχος μας είναι προφανώς η περιοχή αυτή να περιλαμβάνει ολόκληρη την επιφάνεια του σκάφους που θέλουμε να προστατέψουμε από άμεσα κεραυνικά πλήγματα.

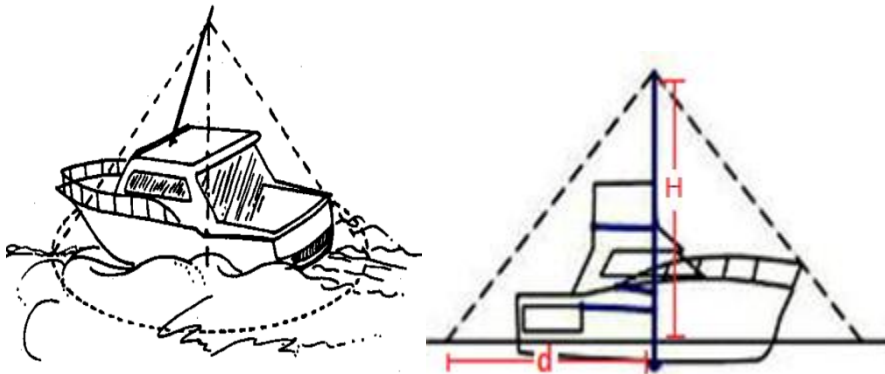
Στις μεθόδους αντικεραυνικής προστασίας που αναλύονται στις επόμενες σελίδες χρησιμοποιούνται οι εξής συμβολισμοί:

H είναι η απόσταση της κορυφής του αλεξικέραυνου από τη γη μετρούμενη σε m,

I_p είναι το μέγιστο ρεύμα του σχετού προεκκένωσης μετρούμενο σε kA,

R_s είναι η απόσταση πλήγματος ή διάσπασης μετρούμενη σε m και

d είναι η ακτίνα προστασίας στο οριζόντιο επίπεδο μετρούμενη σε m.



Εικόνα 1.4.1: Κώνος προστασίας

1.4.1 Μέθοδος Κώνου προστασίας

Η μέθοδος του κώνου προστασίας (Cone Protection Method – CPM) είναι η απλούστερη και παλαιότερη ως προς το ηλεκτρογεωμετρικό μοντέλο που χρησιμοποιεί γι' αυτό η χρήση της ευδοκιμεί και συνηθίζεται σε μικρά σκάφη . Το σκεπτικό πίσω από αυτή τη μέθοδο είναι ότι ο κεραυνός προτιμάει να συνδεθεί με το υψηλότερο δυνατό σημείο (εν προκειμένω το αλεξικέραυνο) παρά με οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο που βρίσκεται εντός του κώνου. Ουσιαστικά σχηματίζουμε έναν κλωβό Faraday [9] μέσα στον οποίο εσωκλείουμε το σκάφος. Στην προσπάθειά μας να υπολογίσουμε τα κατάλληλα γεωμετρικά μεγέθη της ζώνης προστασίας μας ενδιαφέρουν κυρίως οι εξής παράμετροι:

Η κορυφή του κώνου ορίζεται από το υψηλότερο σημείο του αλεξικέραυνου το οποίο σχηματίζει γωνία 45° με την πλευρική επιφάνεια του κώνου αν θέλουμε η αναλογία προστασίας να είναι 1:1 ($H : d$). Η γωνία που σχηματίζει το ύψος με την πλευρική επιφάνεια μπορεί να είναι και 60° αν θέλουμε η αναλογία προστασίας να είναι 2:1 αλλά πρέπει να έχουμε υπόψιν ότι όσο αυξάνεται το άνοιγμα της γωνίας, τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα να αποτύχει το σύστημα που σχεδιάζουμε. Στόχος μας είναι να καθορίσουμε κατάλληλα το ύψος του αλεξικέραυνου ώστε η ακτίνα της βάσης για τη συγκεκριμένη γωνία να είναι επαρκώς μεγάλη ώστε να καλύπτει το σκάφος.

Το μεγάλο μειονέκτημα του κώνου προστασίας είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψιν κανένα στοιχείο του κεραυνού στον υπολογισμό της ζώνης προστασίας και γενικά δεν θεωρείται απόλυτα επιστημονικά εξακριβωμένο.

1.4.2 Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας

Στη μέθοδο κυλιόμενης σφαίρας (Rolling Sphere Method –RSM), θεωρούμε την απόσταση πλήγματος R_s όπως ορίστηκε παραπάνω ως ακτίνα της σφαίρας που χρησιμοποιούμε για να προσδιορίσουμε τα πιθανά σημεία τερματισμού του κεραυνικού πλήγματος. Η φανταστική αυτή σφαίρα προκαθορισμένης ακτίνας κυλιέται πάνω από ένα ή περισσότερα τερματικά αέρα και κάθε γειωμένο μεταλλικό αντικείμενο σχετικό με το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, ανάλογα με το μέγεθος του σκάφους.

Οι μαθηματικές σχέσεις υπολογισμού των παραμέτρων αυτής της μεθόδου είναι:

$$R_s = 8I_p^{0.65} \quad (1)$$

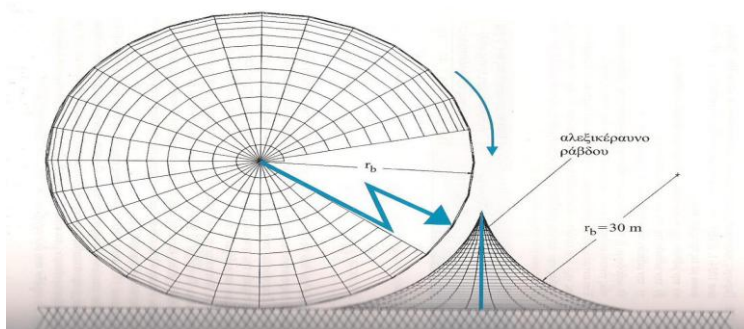
και

$$d = \sqrt{2HR_s - H^2} \quad (2)$$

Στην περίπτωση που υπάρχει μόνο ένα τερματικό αέρα, τότε η ζώνη προστασίας είναι παρόμοια με αυτήν της μεθόδου του κώνου προστασίας ως προς το σχήμα με τη διαφορά ότι στη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας η περιοχή είναι μικρότερη αλλά ακριβέστερη

Ένα αντικείμενο θεωρείται προστατευμένο από απευθείας κεραυνικό πλήγμα όταν παραμένει κάτω από την καμπυλωτή επιφάνεια της σφαίρας όταν το κέντρο αυτής έχει ανυψωθεί από τη χρήση αλεξικέραυνων ή άλλων μέσων. Αν κάποιο αντικείμενο εξέρχεται ολικά ή εν μέρει από αυτήν την επιφάνεια θεωρείται μη προστατευμένο όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.

Η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας θεωρείται θεωρητικά και πειραματικά εμπειρισταωμένη και χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές όταν χρησιμοποιούμε περισσότερα του ενός αλεξικέραυνα. Συνηθέστερα χρησιμοποιείται σε συστήματα προστασίας μεγάλων κτηρίων ή συστοιχίας οικοδομημάτων με υψομετρικές διαφορές όμως χρησιμοποιείται και στη σχεδίαση συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας σε μεγαλύτερα σκάφη.



Εικόνα 1.4.2: Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας

1.4.3 Μέθοδος όγκου συλλογής

Η μέθοδος του όγκου συλλογής (Collection Volume Method - CVM) βασίζεται στο μοντέλο απόστασης διάσπασης που εκτός των κατασκευαστικών παραμέτρων βασίζεται και στην τιμή του κεραυνικού ρεύματος με τις εξής σχέσεις:

$$R_s = 0.8[(H+15)*I_p]^{2/3} \quad (1)$$

και

$$d = \sqrt{2HR_s - H^2} \quad (2)$$

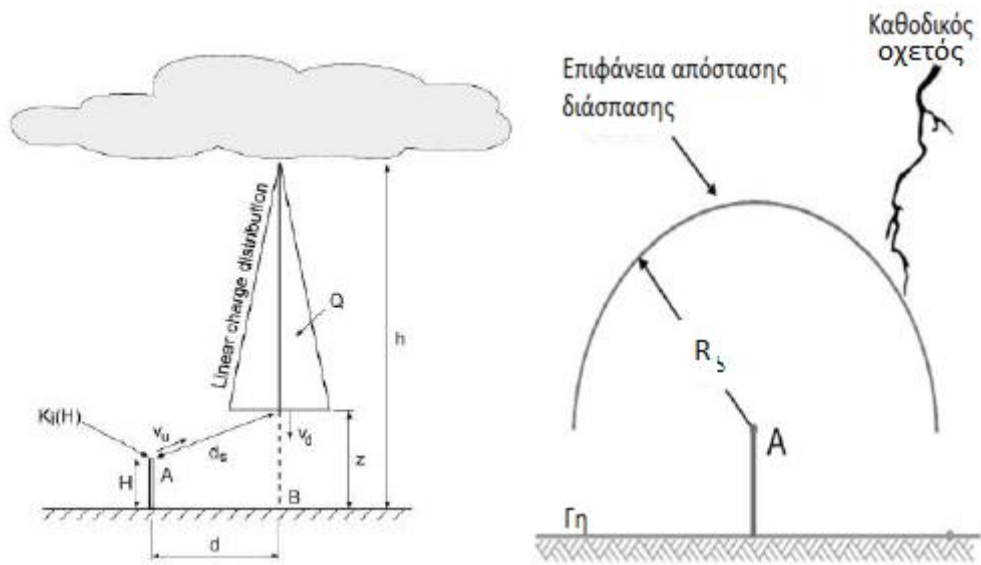
Επίσης λαμβάνεται υπόψιν ένας συντελεστής K_i ο οποίος είναι ο λόγος του επαυξημένου ηλεκτρικού πεδίου στην κορυφή της κατασκευής (E_T) προς το περιβάλλον πεδίο (E_A). Αν εξετάσουμε προσεγγιστικά το γραμμικά φορτισμένο καθοδικό οχετό και υπολογίσουμε το ηλεκτρικό πεδίο που αναπτύσσεται στην κορυφή της κατασκευής καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως αν το περιβάλλον πεδίο είναι επαρκώς μεγάλο ξεκινά από την κορυφή του αλεξικέραννου του σκάφους ο ανοδικός οχετός όπως είδαμε και παραπάνω λαμβάνοντας όμως υπόψιν και τα εξής:

- Η ένταση στην κορυφή του αλεξικέραννου καθορίζεται από το συντελεστή K_i που σχετίζεται με το είδος και τη μορφολογία της εκάστοτε κατασκευής.
- Ο καθοδικός οχετός αντιστοιχεί σε μια κάθετη στήλη συνολικού φορτίου Q που πηγάζει από το σύννεφο και διανέμεται γραμμικά.
- Η τιμή του κεραυνικού ρεύματος συνδέεται με το φορτίο με τη σχέση: $I_p = 10.6 * Q^{0.7}$
- Η έναρξη ενός σταθερού καθοδικού οχετού ξεκινά όταν αναπτυχθεί κατάλληλη πεδιακή ένταση γύρω από μια κρίσιμη ακτίνα. Αυτό σημαίνει ότι το ηλεκτρικό πεδίο στο ακρειανό σημείο του κατερχόμενου οχετού πρέπει να αυξάνεται συνεχώς μέχρι να φτάσει την κρίσιμη τιμή πεδίου (E_M) σε απόσταση από την κατασκευή που ονομάζεται κρίσιμη ακτίνα.
- Η έναρξη ενός σταθερού ανερχόμενου οχετού συμβαίνει σε τιμές πεδιακής έντασης περίπου 3MV/m σε απόσταση ίση με αυτή της κρίσιμης ακτίνας ανάλογα με την υγρασία, την πυκνότητα του αέρα και άλλες παραμέτρους.

Άρα ο κεραυνός ξεκινά όταν έχουμε $E_T > E_M$ σύμφωνα με τα εξής:

$$E_T = K_i * E_A \quad (3)$$

$$E_A = \frac{Q}{\pi \epsilon d^2 \left(\frac{h-z}{d}\right)^2} \left[\frac{\left(\frac{h-z}{d}\right)}{\sqrt{1+\left(\frac{z}{d}\right)^2}} + \sinh^{-1} \frac{z}{d} - \sinh^{-1} \frac{h}{d} \right] \quad (4)$$



Εικόνα 1.4.3: Μοντέλο προσέγγισης καθοδικού οχετού

1.4.4 Μέθοδος δυναμικού του οχετού προεκκένωσης

Η μέθοδος αυτή (Leader Potential Concept Method – LPCM) βασίζεται στην υπόθεση ότι ο οχετός προεκκένωσης του κεραυνού ισοδυναμεί ηλεκτρικά με έναν λεπτό νηματοειδή αγωγό που εκτείνεται εντός του ηλεκτρικού πεδίου του φορτισμένου νέφους. Επίσης, το συνολικό φορτίο του κεραυνού θεωρείται μηδενικό πριν γίνει η ζεύξη καθοδικού και ανοδικού οχετού προεκκένωσης. Η μεταβολή του δυναμικού V του κεραυνού που συμβαίνει κατά τη σύνδεσή του με το σκάφος ισοδυναμεί ηλεκτρικά με την προσθήκη ενός σταθερού φορτίου q ανά μονάδα μήκους του κεραυνικού καναλιού κατά τη διάρκεια του ανοδικού οχετού. Αν c είναι η χωρητικότητα ανά μονάδα μήκους του κεραυνικού καναλιού, η σχέση που συνδέει αυτά τα μεγέθη είναι:

$$q = -c \cdot V \quad (1)$$

Αν το κεραυνικό κανάλι αποτελείται από μακρύ κατακόρυφο νηματοειδή αγωγό διαμέτρου D και μήκους Z , τότε η χωρητικότητα ανά μονάδα μήκους του καναλιού είναι:

$$c = 2\pi\epsilon / \ln(Z/D) \quad (2)$$

Αν έχουμε σχηματισμό φαινομένου Corona κατά μήκος του παραπάνω αγωγού με ηλεκτρικό πεδίο μικρότερο 3MV/m , τότε η σχέση μεταξύ Δ και αναπτυσσόμενων φορτίων είναι:

$$D = (q/3 \cdot 10^6 \pi\epsilon) \quad (3)$$

Άρα το δυναμικό του οχετού είναι:

$$V = -(q/2\pi\epsilon) \ln(3 \cdot 10^6 \cdot Z\pi\epsilon/q) \quad (4)$$

Συνεπώς καταλήγουμε στον υπολογισμό της απόστασης διάσπασης με τον εξής τύπο:

$$R_s = V/750 \quad (5)$$

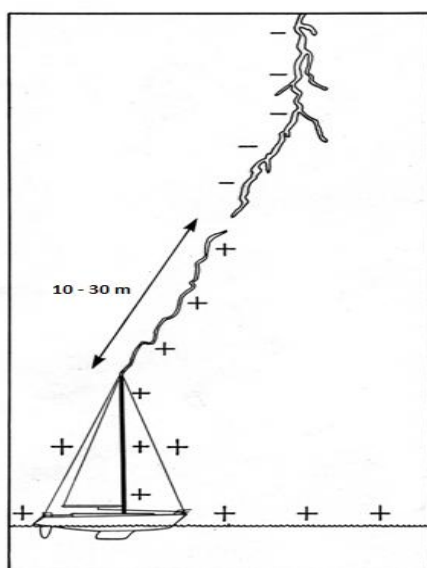
ο οποίος με αντικατάσταση από τον τύπο (4) δίνει τον τελικό τύπο υπολογισμού της απόστασης διάσπασης:

$$R_s = (q/41.7 \cdot 10^{-3}) \ln((q/41.7 \cdot 10^{-3})/(1/2Z)) \quad (6)$$

1.5 Συμπεράσματα για την αντικεραυνική προστασία σε ιστιοφόρα σκάφη

Καθώς ο κεραυνός κινείται καθοδικά όντας αρνητικά φορτισμένος στην αιχμή του, επάγει ένα θετικό φορτίο στην περιοχή που βρίσκεται κάτω του. Όταν η αιχμή βρίσκεται σε μια απόσταση 10-30 μέτρων από το έδαφος, το επαγόμενο θετικό φορτίο συγκεντρώνεται τόσο έντονα που ένας νέος σπινθήρας σχηματίζεται στη γη. Αυτός ο θετικά φορτισμένος ανερχόμενος οχετός είναι ο πιο καθοριστικός παράγοντας στη σύζευξη του πλοίου με τον κεραυνό και όπου αυτός σχηματιστεί, τότε σε αυτό το σημείο θα χτυπήσει ο κεραυνός.

Δυστυχώς δεν υπάρχει επιστημονικά έγκυρος τρόπος να εμποδίσουμε το σχηματισμό του θετικά φορτισμένου ανερχόμενου οχετού, αλλά ακόμα και αν υπήρχε συσκευή ικανή να κάνει κάτι τέτοιο δεν θα έπρεπε να τοποθετηθεί στην κορυφή του καταρτιού γιατί έτσι ο σπινθήρας θα μπορούσε να εμφανιστεί σε σημείο που θα ήταν πιο επικίνδυνος για το πλήρωμα. Καλώς ή κακώς το ενδεχόμενο ο κεραυνός να χτυπήσει το κατάρτι είναι η πιο ασφαλής περίπτωση όσον αφορά το πλήρωμα.

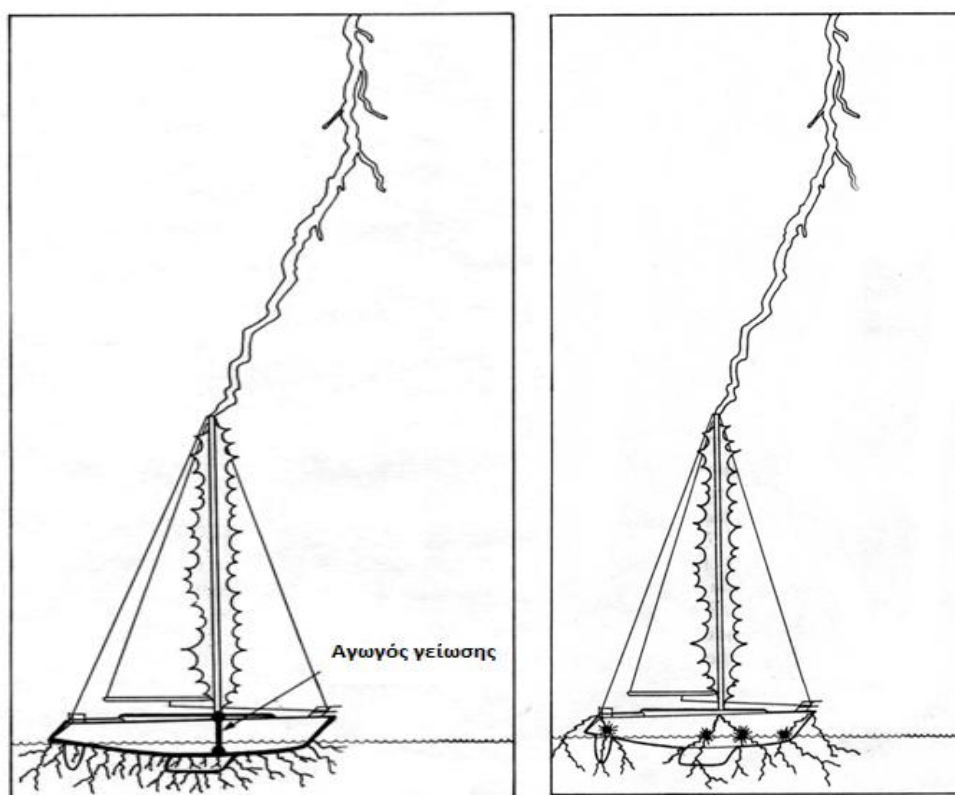


Εικόνα 1.5.1: Κεραυνικό πλήγμα σε ιστιοφόρο

Άρα στόχος της αντικεραυνικής προστασίας είναι να ελαχιστοποιήσει τη ζημιά που θα προκαλέσει ένα κεραυνικό πλήγμα, παρά το να το αποτρέψει από το να συμβεί. Γενικά, ένα ιστιοφόρο θεωρείται προστατευμένο όταν υπάρχει ένα συνεχές αγωγίμο μονοπάτι που να συνδέει την κορυφή του ιστίου με την αγωγίμη υποθαλάσσια πλάκα που βρίσκεται στο κάτω μέρος του σκάφους. Έτσι, το ρεύμα που απαιτείται για να δημιουργηθεί το κεραυνικό κανάλι αντλείται μέσω της κεραυνικής

προστασίας από τη θάλασσα. Με αυτόν τον τρόπο αναγκάζουμε το ρεύμα του κεραυνού να ρέει μέσω των αγωγών του κυκλώματος προστασίας.

Στην περίπτωση που η αγώγιμη διαδρομή δεν καταλήγει συνεχώς στη θάλασσα, το αποτέλεσμα του κεραυνικού πλήγματος στην κορυφή του καταρτιού είναι ίδιο με την περίπτωση που έχουμε μια συνεχή αγώγιμο διαδρομή. Η διαφορά όμως στις δύο περιπτώσεις έγκειται στο σημείο σύνδεσης του καταρτιού με το υπόλοιπο σκάφος το οποίο ουσιαστικά είναι και το σημείο που μας ενδιαφέρει. Στην περίπτωση της μη σωστής σύνδεσης του καταρτιού με τη γη, το θετικό φορτίο που χρειάζεται για τη δημιουργία του κεραυνού δεν αντλείται από τη θάλασσα όπως θα θέλαμε αλλά από τα γειτονικά στη βάση του καταρτιού αντικείμενα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η συγκέντρωση ισχυρού αρνητικού φορτίου στη βάση του καταρτιού με σχηματισμό τόξων με γενική κατεύθυνση προς τη θάλασσα ή γειτονικούς πιθανούς αγωγούς περιλαμβάνοντας και μέλη του πληρώματος. Έχουμε δηλαδή ελεύθερο σχηματισμό τόξων και αποφόρτιση του κεραυνού με επικίνδυνο τρόπο.



Εικόνα 1.5.2: Γειωμένο και αγείωτο σύστημα αντίστοιχα

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι ότι η ύπαρξη ή ο τρόπος γείωσης δεν σχετίζονται με την πιθανότητα να χτυπήσει ή όχι ο κεραυνός το σκάφος. Το επιχείρημα αυτό ενισχύεται από μελέτες που έγιναν στη Florida από εννέα επιθεωρητές που μελέτησαν σκάφη πληγέντα από κεραυνό καταλήγοντας στο ότι μόνο το 30% των συνολικά ελεγχθέντων σκαφών είχαν εγκατεστημένη

αντικεραυνική προστασία. Παρότι το αποτέλεσμα αυτό είχε αποκλίσεις μεταξύ των επιθεωρητών και πάλι δεν επιβεβαιώνεται η άποψη πολλών ναυτικών ότι ένα σωστά γειωμένο σκάφος έλκει τον κεραυνό.

Βασικό εμπόδιο στην ολοκληρωμένη μελέτη της αντικεραυνικής προστασίας και στην εξέλιξή της είναι η παντελής έλλειψη συγκεντρωτικών επιστημονικών δεδομένων στη συχνότητα με την οποία τα σκάφη πλήττονται από κεραυνούς. Μια προσπάθεια συλλογής δεδομένων από επισκευές κεραυνοβολημένων σκαφών στη Φλόριντα των ΗΠΑ δείχνει ότι στο σύνολο των 3000 καταγεγραμμένων σκαφών, περίπου τα 100 έχουν πληγεί από κεραυνούς, ήτοι το 3% [10]. Ενδιαφέρον όμως πέρα από αυτό το ποσοστό, παρουσιάζει η επιμέρους μελέτη των ζημιών και των συνθηκών υπό τις οποίες συνέβη το περιστατικό.

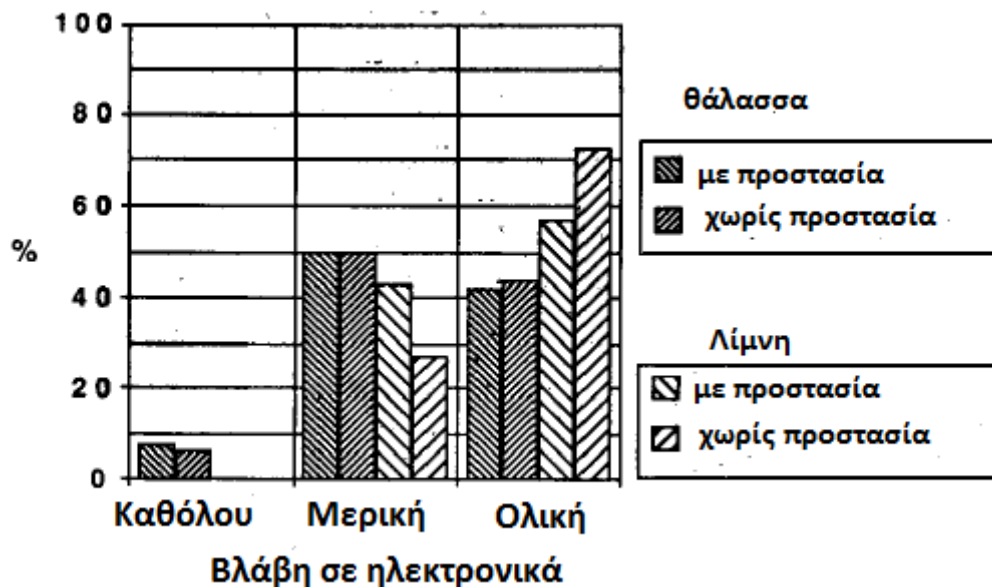
Τα δεδομένα που συνελέχθησαν από άτομα που τα ιστιοφόρα τους χτυπήθηκαν από κεραυνό δείχνουν τις διαφορές στις ζημιές που έγιναν στα σκάφη ανάλογα με την ύπαρξη ή μη αντικεραυνικής προστασίας. Τα σκάφη χωρίς σωστή γείωση υπέστησαν αισθητά μεγαλύτερες βλάβες. Στην καταχώρηση των δεδομένων λήφθηκε υπόψιν επίσης το είδος του νερού στο οποίο βρισκόταν το σκάφος κάνοντας σαφές ότι οι ζημιές σε περιβάλλον γλυκού νερού είναι μεγαλύτερες απ' ότι σε περιβάλλον ανοιχτής θάλασσας γιατί, το νερό χωρίς αλάτι είναι χειρότερος αγωγός από το θαλασσίνο νερό.

Τα 71 σκάφη που μελετήθηκαν, για να εξαχθεί ένα γενικότερο ομοιογενές συμπέρασμα, είχαν σκελετό από fiberglass, κατάρτι από αλουμίνιο και υπήρχε ξεκάθαρη ένδειξη ότι το κεραυνικό πλήγμα συνέβη στην κορυφή του καταρτιού (συνήθως λόγω κατεστραμμένης κεραίας τηλεπικοινωνιών). Στην έρευνα συγκαταλέγονται σκάφη με πολλαπλά πλήγματα (ένα σκάφος με τρία διαφορετικά πλήγματα και δύο σκάφη με δύο διαφορετικά πλήγματα).

Οι παρακάτω πίνακες κατηγοριοποιούνται βάση του υδάτινου περιβάλλοντος στο οποίο βρισκόταν το σκάφος όταν δέχτηκε το πλήγμα (αλατόνερο ή γλυκό νερό) και ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι αντικεραυνικής προστασίας. Το σκάφος θεωρείται ότι φέρει αντικεραυνική προστασία αν υπάρχει ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ τερματικού αέρα και τερματικού γείωσης όπως έχουμε δει παραπάνω.

1.5.1 Βλάβες στα ηλεκτρονικά συστήματα

Η κλίμακα των βλαβών στα ηλεκτρονικά κατανέμεται ανάλογα με το αν κανένα, μερικά ή όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα του σκάφους καθίστανται μη λειτουργήσιμα σαν αποτέλεσμα του κεραυνικού πλήγματος. Τέτοιου είδους συστήματα είναι δορυφορικά συστήματα πλοήγησης, ράδιο VHF, ράδιο μετεωρολογικής ενημέρωσης, συστήματα μέτρησης ταχύτητας, συστήματα μέτρησης ταχύτητας αέρα και γεννήτριες 12V. Τα σκάφη που πήραν μέρος ήταν ανά κατηγορία: 26 προστατευμένα και 16 απροστάτευτα σε θαλάσσιο νερό και 14 προστατευμένα και 11 απροστάτευτα σε γλυκό νερό. Τα 4 σκάφη που δεν έφεραν ηλεκτρονικά συστήματα εξαιρέθηκαν από τον πίνακα (2 με προστασία σε θαλασσινό νερό, 1 προστατευμένο και 1 απροστάτευτο σε γλυκό νερό).



Πίνακας 1.5.1: Κατανομή συχνότητας βλαβών στα ηλεκτρονικά συστήματα ως αποτέλεσμα άμεσου κεραυνικού πλήγματος

Συνολικά, βλέπουμε ότι το 96% των μελετηθέντων σκαφών υπέστη τουλάχιστον κάποια βλάβη στα ηλεκτρονικά τους. Το ποσοστό αυτό είναι πολύ μεγάλο, όμως παρουσιάζεται μια μικρή διαφορά μεταξύ προστατευμένων (48%) και απροστάτευτων (56%) σκαφών που υπέστησαν ολική βλάβη στα ηλεκτρονικά τους. Επίσης, οι ολικές βλάβες είναι λίγο μεγαλύτερες με 64% σε περιβάλλον γλυκού νερού και 43% σε περιβάλλον θαλασσινού νερού. Προφανώς λοιπόν, η τρέχουσα πρόβλεψη για αντικεραυνική προστασία είναι ανεπαρκής όπως φαίνεται από αυτά τα

στατιστικά στοιχεία που ακόμα και αν δεν είναι αποτέλεσμα μελέτης εκτενούς δείγματος, εξακολουθούν να είναι αντιπροσωπευτικά της κατάστασης.

Η μεγάλη έκταση των βλαβών μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπεύθυνη για τη δημιουργία τους δεν είναι μόνο η απευθείας ροή κεραυνικού ρεύματος. Μπορούμε να θεωρήσουμε συνυπεύθυνη την επαγόμενη υπέρταση στο σύστημα DC τροφοδοσίας του σκάφους μέσω μαγνητικής ζεύξης που προκαλείται από κάποιον κοντινό καθοδικό αγωγό που διαρρέεται από κεραυνικό ρεύμα.

Σύμφωνα με τη θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, αν θεωρήσουμε κεραυνικό ρεύμα I που ρέει ευθύγραμμα και κάθετα στον άξονα Z έχουμε ένταση μαγνητικής ροής ($B(\rho)$) σε απόσταση ρ από αυτόν [11]:

$$B(\rho) = \frac{\mu_0 I}{2\pi\rho} \hat{\phi} \text{ Wb m}^{-2} \quad (1)$$

Άρα η ηλεκτρεγερτική δύναμη (E) που επάγεται γύρω από ένα βρόχο καλωδίων για S επιφάνεια που εσωκλείεται από το βρόχο είναι:

$$E = \frac{\mu_0}{2\pi} \iint_S \frac{dI/dt}{\rho} d\rho dz V \quad (2)$$

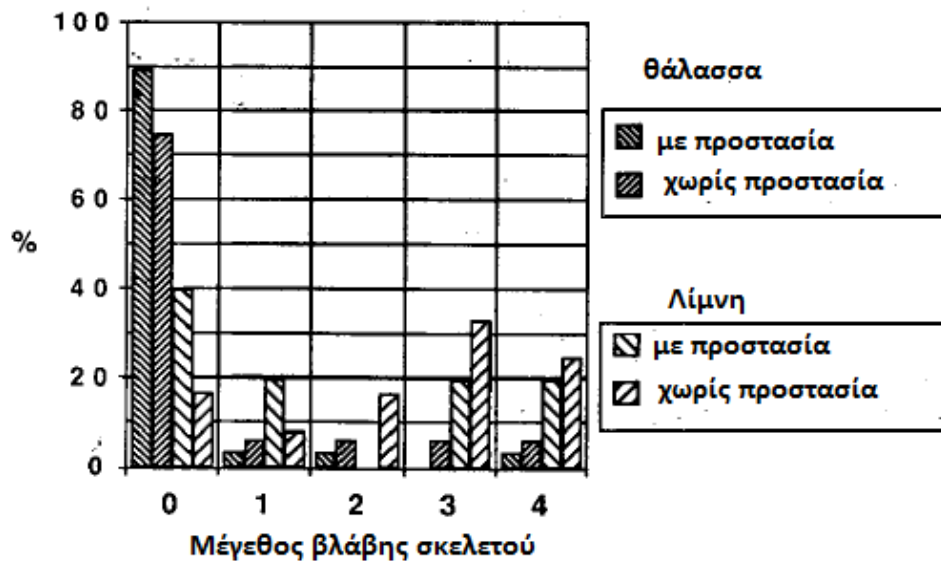
Για τα ιστιοφόρα, η μέγιστη τυπική απόσταση ρ είναι περίπου 2m που ανταποκρίνεται για παράδειγμα στην καμπίνα πλοήγησης που βρίσκεται σε απόσταση 2m από το κατάρτι. Όντως, καθώς τα περισσότερα ιστιοφόρα έχουν πλάτος περίπου 4m ή λιγότερο, είναι πρακτικά αδύνατο να δρομολογήσουμε τα καλώδια σε απόσταση μεγαλύτερη των 2m από το κατάρτι.

Συνεπώς, για $dI/dt=100\text{kA}/\mu\text{s}$ [12], η επαγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη είναι περίπου $10\text{kV}/\text{m}^2$ σε αντιστοιχία με το εμβαδό της περικλειόμενης επιφάνειας.

Εφόσον οι κατασκευαστές ηλεκτρονικών για ναυτιλιακές εφαρμογές δεν είναι υποχρεωμένοι να εγκαθιστούν προστασία από μεταβατικές υπερτάσεις, ενώ ταυτόχρονα μια υπέρταση μερικών Volt είναι ικανή να βλάψει τα ευαίσθητα ολοκληρωμένα κυκλώματα ενός συστήματος διανομής 12V, τότε δεν προκαλεί έκπληξη το μέγεθος και η έκταση των βλαβών στα ηλεκτρονικά συστήματα του σκάφους. Μια μερική λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η σύνδεση μιας συσκευής περιορισμού των μεταβατικών υπερτάσεων κατά μήκος της εισόδου 12V για κάθε μέρος του ηλεκτρονικού εξοπλισμού καθώς και η χρήση γυριστού ζεύγους καλωδίων σε όλη την καλωδίωση του σκάφους.

Πάντως ακόμα κι έτσι δεν αποτρέπεται η επαγωγή υπέρτασης λόγω μαγνητικής ζεύξης σε τυπωμένες πλακέτες κυκλωμάτων που έχουν εμβαδό τάξης των 100cm^2 με αποτέλεσμα να έχουμε επαγόμενες μεταβατικές τάσεις της τάξης των 100V.

1.5.2 Βλάβες στο σκελετό του σκάφους



Πίνακας 1.5.2.: Κατανομή συχνότητας βλαβών στο σκελετό του σκάφους με κλίμακα από 0 έως 4 ως αποτέλεσμα άμεσου κεραυνικού πλήγματος

Το μέγεθος της βλάβης στο σκελετό του σκάφους κατανέμεται διακριτά από 0 έως 4 στον πίνακα 5.1.1.2 ως εξής

- 0: μη διακριτές φθορές από κάπνισμο ή θρυμματισμό
- 1: μικρά ραγίσματα ή καψίματα που δεν προκαλούν διαρροή
- 2: μικρές οπές (περιγράφονται σαν τρύπα από καρφίτσα) διαμέτρου μικρότερης του 1mm που δεν παρουσιάζουν σημαντικό κίνδυνο εισροής
- 3: μεγάλες (αρκετών χιλιοστών) οπές πάνω από την ίσαλο γραμμή
- 4: μεγάλες (αρκετών χιλιοστών) οπές κάτω από την ίσαλο γραμμή

Για τις τιμές από 2 έως 4 έχουμε σαφή ένδειξη ότι πρόκειται για διάτρηση του σκελετού μέσω εκκένωσης. Για βλάβη τιμής 4, τα σκάφη ήταν σε κατάσταση βύθισης.

Τα συμπεράσματα για τις βλάβες στο σκελετό του πλοίου είναι πιο ξεκάθαρα δείχνοντας πολύ μεγαλύτερες βλάβες σε γλυκό νερό. Για βλάβες μεγαλύτερες ή ίσες του δείκτη 2, θεωρείται ότι το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας αποτυγχάνει. Σε γλυκό νερό έχουμε ποσοστό 56% ενώ μόνο 11% των σκαφών παρουσίασε τέτοιου

μεγέθους βλάβες σε θαλασσινό νερό. Τα προστατευμένα σκάφη παρουσίασαν ποσοστό μόνο 7% σε τέτοιες βλάβες με αντίστοιχο ποσοστό 19% σε απροστάτευτα σκάφη. Στο γλυκό νερό το 40% των προστατευμένων σκαφών έναντι του 75% των απροστάτευτων σκαφών έπαθε βλάβες με δείκτη μεγαλύτερο ή ίσο του 2.

Για να αναλύσουμε περαιτέρω τις βλάβες στο σκελετό του σκάφους και τις αιτίες που τις προκαλούν πρέπει να ανατρέξουμε στα χαρακτηριστικά του κεραυνού. Όταν συμβαίνει ένα κεραυνικό πλήγμα, η μέγιστη τιμή του ρεύματος εξαρτάται μόνο από το φορτίο που φέρει ο κατερχόμενος βηματικός προπομπός. Άρα ο κεραυνός συμπεριφέρεται σαν μια γεννήτρια ρευμάτων Norton χαμηλής αντίδρασης με την κυματομορφή ρεύματος να παρουσιάζει μέγιστο κοντά στα 30kA[13]. Τα αναπτυσσόμενα ηλεκτρικά πεδία που δημιουργούνται από την ροή ρεύματος από την πλάκα γείωσης προς το νερό που βρίσκεται κοντά της, εξαρτώνται από την πυκνότητα ροής ρεύματος που είναι συνάρτηση της γεωμετρίας του συστήματος σκελετού-πλάκας γείωσης-νερού. Καθώς ο χρόνος αύξησης του ρεύματος είναι της τάξης των 100ns ή μεγαλύτερος, με φάσμα συχνοτήτων μικρότερο των μερικών MHz και μήκος κύματος 100m, το πεδίο δυναμικού που σχετίζεται με τη ροή ρεύματος μπορεί να θεωρηθεί ηλεκτροστατικό κατά μήκος ενός ιστιοφόρου με τυπικό μήκος 10m.

Αυτά τα ηλεκτρικά πεδία αυξάνουν τη διαφορά δυναμικού μεταξύ πλάκας γείωσης (και όλων των αγωγών που συνδέονται με αυτήν) και του περιβάλλοντος νερού. Αν η διαφορά δυναμικού είναι αρκετά μεγάλη, μπορεί να οδηγήσει σε πλευρικές εκκενώσεις που μπορούν να τρυπήσουν τη μάζα του σκελετού του σκάφους ή να προκαλέσουν τραυματισμούς στους επιβαίνοντες. Καθώς το κεραυνικό ρεύμα ρέει μέσω της πλάκας γείωσης προς το νερό, αυξάνει το δυναμικό της πλάκας γείωσης και του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας σε επίπεδο που εξαρτάται από τη συνολική αντίσταση μεταξύ της πλάκας και ενός απομακρυσμένου σημείου που φέρει μηδενική τάση. Στόχος της μικρής επιφάνειας της πλάκας γείωσης όπως ορίζεται από τα περισσότερα πρότυπα είναι η ελαχιστοποίηση της αντίστασης για να μειωθεί η τάση σε τιμή τέτοια που να καθίσταται ακίνδυνη.

Μια λογική γεωμετρική προσέγγιση για ένα σκάφος με μία πλάκα γείωσης είναι ένα οριζόντιο κυκλικό ηλεκτρόδιο στην επιφάνεια του νερού. Για αυτήν την προσέγγιση υπολογίζεται αντίσταση

$$R=1/2\sigma D \quad (3)$$

όπου σ είναι η αγωγιμότητα του γλυκού νερού με $\sigma = 10^{-3}(\Omega.m)^{-1}$ χωρίς διαλυμένα άλατα και D η διάμετρος της πλάκας (34cm για τα πρότυπα ISO 1013 και ABYC). Γι' αυτές τις τιμές η αντίσταση είναι 1.45k Ω , που σημαίνει ότι θεωρώντας πως δεν υπάρχουν φαινόμενα μείωσης της αντίστασης γείωσης, η μέγιστη τιμή τάσης της πλάκας γείωσης πλησιάζει τα 44MV για κεραυνικό ρεύμα 30kA. Θεωρώντας τη ροή του ρεύματος σχεδόν ακτινική, το δυναμικό πέφτει αντιστρόφως ανάλογα της απόστασης και το δυναμικό στο νερό μηδενίζεται σε απόσταση ίση με μερικές

ακτίνες της πλάκας γείωσης, δηλαδή σε περισσότερο από 1m. Η κλίση του δυναμικού (ή ένταση ηλεκτρικού πεδίου) της τάξης των 500kV/m είναι αρκετή για ηλεκτρική διάσπαση κεραυνικών παλμών. Καθώς διαφορές δυναμικού της τάξης των 44MV υπάρχουν σε αποστάσεις της τάξης του 1m, η δημιουργία ηλεκτρικής διάσπασης είναι σχεδόν αναπόφευκτη. Συνεπώς, μια πλευρική εκκένωση είναι πολύ πιθανόν να συμβεί μεταξύ της πλάκας γείωσης (ή όποιου υπερθαλάσσιου ηλεκτρικού τμήματος είναι συνδεδεμένο με αυτήν) και του νερού.

Μπορούμε να επιτύχουμε χαμηλότερες τιμές αντίστασης εφαρμόζοντας διαφορετικές γεωμετρίες στην πλάκα γείωσης. Για παράδειγμα αν η πλάκα γείωσης αποτελείται από μια μακρόστενη λωρίδα μήκους L και πάχους d , τοποθετημένη κατά μήκος του κέντρου του πυθμένα του σκάφους, η αντίσταση σύμφωνα με τον Saraoja[14] είναι:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{2L}{1.36d}\right)}{\pi L \sigma} \Omega \quad (4)$$

Πιο συγκεκριμένα, για $L=10m$ και $d=9.3mm$ (για να επιτύχουμε εμβαδό που να συμμορφώνεται με τα πρότυπα ABYC και ISO) πετυχαίνουμε αντίσταση 234Ω και το δυναμικό της πλάκας γείωσης είναι 7MV για κεραυνικό ρεύμα 30kA. Ακόμα και αν καταφέραμε να μειώσουμε κατά έξι φορές το δυναμικό σε σχέση με τα 44MV που είχαμε προηγουμένως, εξακολουθούμε να βρισκόμαστε σε επικίνδυνα υψηλά επίπεδα.

Αντίθετα, σε συνθήκες θαλασσινού νερού όπου έχουμε $\sigma = 4(\Omega \cdot m)^{-1}$, για το κυκλικό ηλεκτρόδιο η αντίσταση είναι 0.36Ω με τάση 11kV ενώ για το ηλεκτρόδιο σε λωρίδα η αντίσταση είναι 0.06Ω με τάση 1.8kV. Καμία από αυτές τις τάσεις δεν αποτελεί κίνδυνο για σχηματισμό πλευρικών εκκενώσεων, άρα το θαλασσινό νερό είναι πολύ ασφαλέστερο σε αυτόν τον τομέα σε σύγκριση με το γλυκό νερό. Το συμπέρασμα αυτό συμβαδίζει με τα αποτελέσματα που είδαμε παραπάνω και τις πολύ σοβαρότερες βλάβες που υπέστησαν τα σκάφη σε συνθήκες γλυκού νερού.

Έκπληξη ωστόσο προκαλεί το γεγονός ότι παρότι σε συνθήκες γλυκού νερού έχουμε δύο τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη τάση από αυτήν που απαιτείται για ηλεκτρική διάσπαση, το 60% των σκαφών δεν υπέστησαν διατρήσεις στο σκελετό τους. Από αυτήν τη σκοπιά, ο παράγοντας μείωσης μπορεί να είναι η δυναμική συμπεριφορά της αντίστασης γείωσης που προκύπτει όταν συντελείται διάσπαση στο νερό καθώς το ρεύμα ρέει εκτός της πλάκας γείωσης προς το νερό. Η τιμή της είναι μικρότερη από τη στατική τιμή αντίστασης γείωσης καθώς η ενεργός επιφάνεια της πλάκας γείωσης αυξάνεται σημαντικά.

Ο Πετρόπουλος [15] περιγράφει πως, για ακτινική ροή ρεύματος, το ηλεκτρικό πεδίο ξεπερνά το σημείο διάσπασης για ακτίνες μικρότερες από:

$$r_o = \sqrt{\frac{I}{2\pi\sigma E_b}} \quad (5)$$

όπου I είναι το ρεύμα, σ η αγωγιμότητα της γης και E_b το ηλεκτρικό πεδίο διάσπασης. Άρα η ενεργός επιφάνεια πλάκας γείωσης είναι αυτή ενός ημισφαιρίου ακτίνας r_0 . Ο Πετρόπουλος σημειώνει ότι μια σφαίρα ακτίνας 5cm σε «αστικά» νερά, δεν προκαλούσε ροές όταν εφαρμοζόταν κρουστική τάση 50kV έτσι ώστε η E_b να είναι μεγαλύτερη από 10^6 V/m. Στο γλυκό νερό, αντικαθιστώντας όπου $\sigma = 10^{-3}(\Omega \cdot m)^{-1}$, $I=30$ kA και $E_b = 1 * 10^6$ V/m, παίρνουμε $r_0 = 2.2$ m. Άρα για μοναδική πλάκα γείωσης έχουμε ενεργό εμβαδό ίσο με 30 m² που είναι ανεξάρτητο από το πραγματικό εμβαδό της πλάκας.

Η ενεργός αντίσταση ισούται με

$$R=1/2\pi\sigma r_0 \quad (6)$$

και υπολογίζεται στα 72Ω.

Η μέγιστη τάση είναι 2.2MV που αν και είναι 20 φορές μικρότερη από αυτή που αναπτύσσεται για κυκλική πλάκα εμβαδού 0,1m² παραμένει μεγαλύτερη από το όριο των 500kV/m που μπορεί να προκαλέσει τόξο. Για να έχουμε τη χαμηλότερη δυνατή τάση διάσπασης σε μια δυναμική συμπεριφορά της αντίστασης γείωσης, πρέπει να αρχίσουμε τη ροή από την επιφάνεια γείωσης. Πάνω σε αυτό, ο Πετρόπουλος καταλήγει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σφαιρικό ηλεκτρόδιο ακτίνας 5cm το οποίο είναι εξοπλισμένο με εφτά σημεία από τα οποία εξέχουν μικρές ράβδη μήκους 4cm. Με την προσθήκη αυτών των ράβδων, έχουμε έναρξη μικρών σπινθήρων από τα 28kV ενώ με σφαίρα ακτίνας 5cm χωρίς τις επιπλέον ράβδους, δεν έχουμε έναρξη δημιουργίας σπινθήρων ούτε στα 50kV. Άρα η επιφάνεια γείωσης που φέρει μυτερά εξογκώματα μειώνει την αντίσταση γείωσης λόγω του φαινομένου της δυναμικής γείωσης για μικρότερα ρεύματα απ' ότι στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε ομαλά και λεία ηλεκτρόδια.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται πλάκα γείωσης σχήματος μακρόστενης λωρίδας τοποθετημένης κατά μήκος του κεντρικού άξονα του σκάφους, για να βρούμε τη δυναμική αντίσταση γείωσης, πρέπει να θεωρήσουμε κατάλληλο προσεγγιστικό μοντέλο εκφόρτισης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, αντί να έχουμε συμπαγή ροή ρεύματος μέσω του αγωγού, οι μελέτες σε ιστιοφόρα με τέτοια πλάκα γείωσης δείχνουν ότι η ροή προκαλείται από μικρό αριθμό διακριτών σημείων που είναι τοποθετημένα ανά τακτά διαστήματα. Αν το ρεύμα I_0 διαιρείται όμοια σε N σημεία, δύο από τα οποία βρίσκονται στο μπροστά και πίσω μέρος του αγωγού, τα υπόλοιπα είναι ομοιόμορφα τοποθετημένα με μεταξύ τους απόσταση $2r_0$, όπου r_0 είναι η ακτίνα διάσπασης. Για μήκος λωρίδας L και R_0 ακτίνα διάσπασης μοναδικού σημείου γείωσης έχουμε:

$$L = (N-1) * 2r_0 \quad (7)$$

Αντικαθιστώντας το παραπάνω στη σχέση (5) παίρνουμε:

$$r_0 \sqrt{\frac{I_0}{N} / 2\pi\sigma E_b} = r_0 / \sqrt{N} \quad (8)$$

Και απαλείφοντας το N παίρνουμε την τετραγωνική εξίσωση:

$$r_0^2 + L/2 * r_0 - R_0^2 = 0 \quad (9)$$

Με λύση:

$$r_0 = -\frac{L}{4} + \frac{1}{2} * \sqrt{\frac{L^2}{4} + 4R_0^2} \quad (10)$$

Για $R_0 = 2.2m$ όπως βρέθηκε προηγουμένως, βρίσκουμε $r_0 = 0.83m$ και $N=7$. Άρα από τη σχέση (6) προκύπτει ότι η δυναμική αντίσταση ανά μεμονωμένο σημείο εξόδου είναι 191Ω . Συνεπώς η συνολική αντίσταση είναι 27Ω εν συγκρίσει με τα 234Ω της μη δυναμικής αντίστασης και τα 72Ω που προκύπτουν από τη σχέση (6). Η μέγιστη τάση για θεωρούμενο κεραυνικό ρεύμα $30kA$ υπολογίζεται στα $810kV$ που είναι περίπου το $1/9$ της σταθερής μέγιστης τάσης και το ένα τρίτο της τάσης με μοναδική πλάκα γείωσης παρουσία δυναμικής γείωσης. Παρότι η τάση παραμένει αρκετά υψηλή και ικανή να δημιουργήσει ηλεκτρικά τόξα, η θέση της λωρίδας γείωσης στον κεντρικό άξονα του σκάφους, αναστέλλει το σχηματισμό παράπλευρων εκκενώσεων από αγωγούς που βρίσκονται ακριβώς πάνω από αυτήν. Στους αγωγούς αυτούς περιλαμβάνονται και αυτοί της πλώρης και πρύμνης που είναι επιρρεπείς στις πλευρικές εκκενώσεις αν χρησιμοποιείται μοναδική πλάκα γείωσης.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα παραπάνω, καθιστούν επιτακτική τη μελέτη προτύπων και οδηγιών που σκοπεύουν στην ελαχιστοποίηση των βλαβών που προκαλούνται σε σκάφη λόγω ελλιπούς αντικεραυνικής προστασίας και ελαττωματικής ή μη επαρκούς γείωσης. Στα επόμενα κεφάλαια θα αναλυθούν τόσο οι διάφορες μέθοδοι γείωσης όσο και τα πρότυπα που σχετίζονται με την αντικεραυνική προστασία και γείωση με σκοπό τόσο τη σφαιρική κατανόηση του ζητήματος όσο και την ανάδειξη πιθανών ασυμφωνιών και ασαφειών που εντοπίστηκαν κατά τη μελέτη τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΙΩΣΗΣ

2.1 Τύποι γειώσεων

Το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ενός πλοίου γειώνεται με έναν από τους ακόλουθους τρόπους [16]:

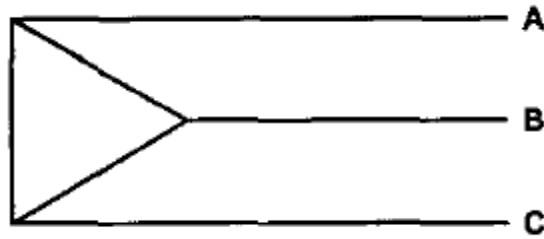
- Συμπαγώς γειωμένο
- Γειωμένο μέσω αντίδρασης (χωρητικής ή επαγωγικής)
- Γειωμένο μέσω αντίστασης (υψηλή και χαμηλή αντίσταση)
- Αγείωτο

Στα επόμενα υποκεφάλαια θα δούμε πιο αναλυτικά καθέναν από αυτούς καθώς και έναν συγκεντρωτικό πίνακα στον οποίο θα γίνεται σύγκριση των επιμέρους χαρακτηριστικών του καθενός.

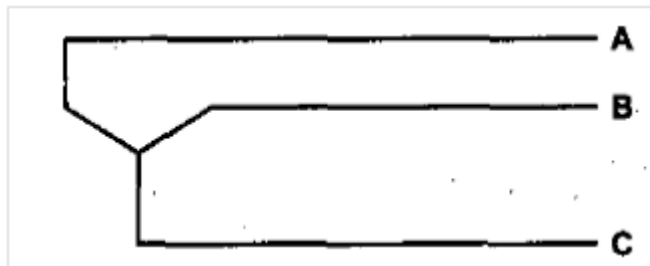
2.1.1 Αγείωτο σύστημα

Το αγείωτο σύστημα είναι ένα σύστημα στο οποίο δεν υπάρχει πουθενά εκούσια σύνδεση του με τη γη. Ο χαρακτηρισμός «αγείωτο» είναι ουσιαστικά παραπλανητικός καθώς κάθε σύστημα είναι γειωμένο μέσω της εγγενούς του χωρητικής φόρτισης προς τη γη ή μέσω του συστήματος ανίχνευσης γείωσης.

Ένα αγείωτο σύστημα διανομής (με μονωμένο ουδέτερο αγωγό) προτιμάται από πολλούς έναντι ενός γειωμένου συστήματος διανομής για να μειωθεί η πιθανότητα να χαθούν κρίσιμα για τη λειτουργία του σκάφους φορτία εξαιτίας σφάλματος γείωσης. Στην περίπτωση μονοφασικού σφάλματος γείωσης ο εξοπλισμός θα συνεχίσει να λειτουργεί, ενώ η λάμπα ανίχνευσης σφάλματος γείωσης, όπως θα δούμε και παρακάτω, δείχνει την κατάσταση του προβλήματος.



Εικόνα 2.1.1: Αγείωτος μετασχηματιστής τριών αγωγών συνδεσμολογίας Δ



Εικόνα 2.1.2: Αγείωτος μετασχηματιστής τριών αγωγών συνδεσμολογίας Υ

Οι ενέργειες που απαιτούνται για να ξεπεραστεί το πρόβλημα είναι: πρώτον ο εντοπισμός του με αλληπάλληλες ενεργοποιήσεις-απενεργοποιήσεις μέχρι να βρεθεί το προβληματικό κύκλωμα, δεύτερον διόρθωση του λάθους, τρίτον σύνδεση με εναλλακτικό πάροχο για να διαβεβαιωθεί η συνέχεια λειτουργίας ή απενεργοποίηση της προβληματικής λειτουργίας και αντικατάστασή της από εφεδρική λειτουργία.

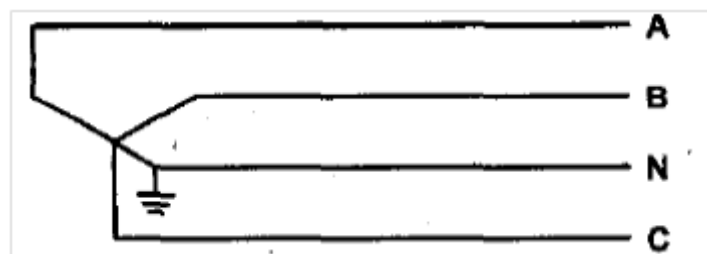
Σε κατάσταση μονοφασικής γείωσης λόγω σφάλματος, η λειτουργία θα συνεχιστεί καθώς δεν ενεργοποιείται το σύστημα προστασίας. Το αγείωτο σύστημα είναι ασφαλές όσο δεν υπάρχει μονοπάτι μεταξύ της φάσης και της γης αλλά μπορεί να υπάρξει μονοπάτι διαρροής μέσω σφάλματος της μόνωσης του καλωδίου προς τον εξοπλισμό κάνοντας την επαφή με ηλεκτρικώς ενεργά μέρη επικίνδυνη για ηλεκτροπληξία. Επιπλέον, το αγείωτο σύστημα μπορεί να είναι επικίνδυνο σε περίπτωση μονοφασικού σφάλματος καθώς στις υπόλοιπες ενεργές φάσεις παραμένει φασική τάση. Συνεπώς δεν μπορούμε να πούμε ότι οι επιβαίνοντες μπορούν να αγγίζουν με ασφάλεια τα ηλεκτρικώς ενεργά μέρη στα αγείωτα συστήματα.

2.1.2 Γειωμένο σύστημα (συμπαγώς γειωμένο)

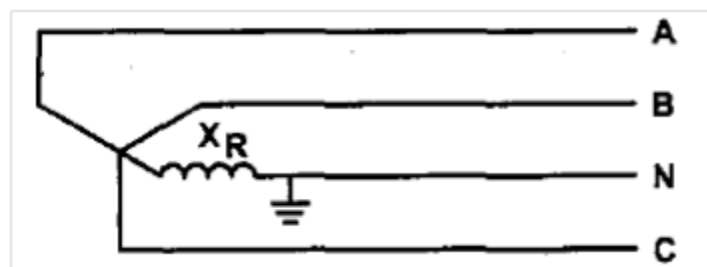
Το συμπαγώς γειωμένο σύστημα χρησιμοποιείται σε ειδικές περιστάσεις στο πλοίο για ασφάλεια στη χρήση φορητών συσκευών όπως τα ηλεκτρικά εργαλεία. Αυτό το είδος συμπαγώς γειωμένου συστήματος απαιτείται και επιτυγχάνεται με χρήση γαλβανικής μόνωσης στον ουδέτερο αγωγό.

Συνήθως όταν χρησιμοποιείται αυτού του είδους η γείωση, εφαρμόζεται συνδεσμολογία Υ όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1.3α, όπου ο ουδέτερος αγωγός ξεκινά από το κοινό σημείο των τριών φάσεων. Το συμπαγώς γειωμένο σύστημα μπορεί να εφαρμοστεί και σε συνδεσμολογία Δ με τη διαφορά ότι χρειάζεται επιπλέον εξοπλισμός.

Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι ότι οποιοδήποτε βραχυκύκλωμα με τον ουδέτερο αγωγό προκαλεί μεγάλα ποσά ρεύματος βραχυκυκλώματος. Η τάση στη φάση με το σφάλμα μικραίνει ενώ ρέει σε αυτήν μεγάλο ρεύμα σφάλματος λόγω της μικρής τιμής της σύνθετης αντίστασης. Παράλληλα, η τάση και το ρεύμα στις άλλες φάσεις δεν μεταβάλλεται. Στατιστικά, το 90-95% όλων των βραχυκυκλωμάτων σε τέτοιου είδους συστήματα είναι σφάλματα γείωσης.



α) Συμπαγώς γειωμένο



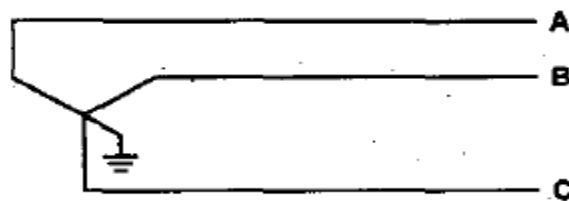
β) Γειωμένο μέσω αντίδρασης

Εικόνα 2.1.3: Σύστημα τεσσάρων καλωδίων γειωμένου ουδέτερου αγωγού σε ένα σημείο

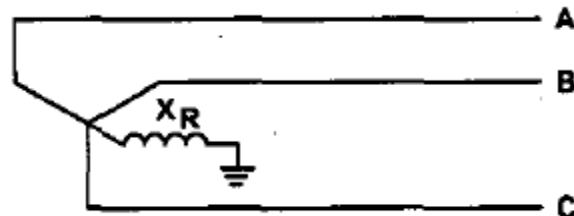
2.1.3 Γείωση μέσω υψηλής αντίστασης

Το σύστημα γείωσης υψηλής αντίστασης γενικά χρησιμοποιείται σε χρήσεις υψηλής ισχύος και μέσης ή υψηλής τάσης. Η τιμή της αντίστασης του συστήματος καθορίζεται για να ελαχιστοποιήσει την κυκλοφορία ρευμάτων σφάλματος γείωσης. Στην εν λόγω υλοποίηση, το ρεύμα σφάλματος γείωσης παρακολουθείται και καταγράφεται διαρκώς για σκοπούς προστασίας των συσκευών και συνέχειας της λειτουργίας

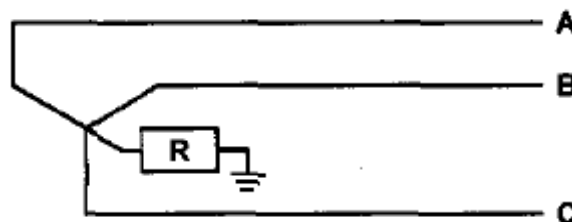
Στις περιπτώσεις που το σύστημα είναι είτε γειωμένο μέσω αντίστασης είτε αγειώτο, συνήθως δεν απαιτείται ουδέτερος αγωγός λόγω του ότι δεν αναμένεται ροή ρεύματος στον ουδέτερο αγωγό. Αυτός είναι ο λόγος που στα σχήματα της εικόνας 2.1.4 εφαρμόζεται σύστημα τριών αγωγών αντί για σύστημα τεσσάρων αγωγών που θα χρησιμοποιείτο στην αντίθετη περίπτωση.



α) Συμπαγώς γειωμένο



β) Γειωμένο μέσω αντίδρασης

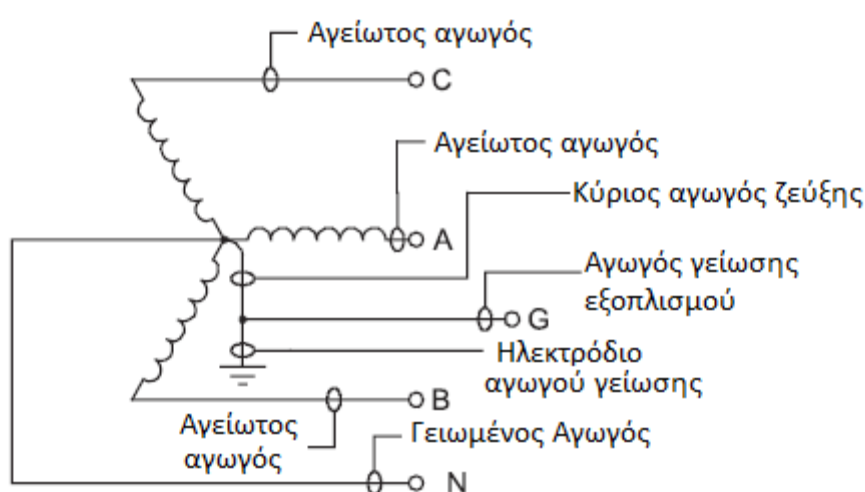


γ) Γειωμένο μέσω αντίστασης

Εικόνα 2.1.4: Γείωση σε σύστημα με τρία καλώδια

2.1.4 Γείωση μέσω αντίδρασης

Σε πολλές εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές, η γείωση μέσω αντίδρασης χρησιμοποιείται στους ουδέτερους αγωγούς γεννητριών. Στις περισσότερες γεννήτριες, η συμπαγής γείωση επιτρέπει την ανάπτυξη ρευμάτων σφάλματος γείωσης μεγαλύτερων από την τιμή που μπορούν να ανεχθούν τα τυλίγματα της γεννήτριας. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται αντίδραση πυρήνα αέρος για να μειωθεί το ρεύμα σφάλματος. Αυτή η αντίδραση ιδανικά, περιορίζει το ρεύμα σφάλματος και επιτρέπει στο σύστημα να λειτουργεί με φασικά φορτία.



Εικόνα 2.1.5: Ορισμοί συστήματος γείωσης[17]

2.1.5 Γείωση μέσω χαμηλής αντίστασης

Χρησιμοποιώντας κατάλληλη αντίσταση ώστε να ρέει ρεύμα 200-800A σε κατάσταση σφάλματος γείωσης, έχουμε ουσιαστικά ένα σύστημα γείωσης μέσω χαμηλής αντίστασης. Το ρεύμα σφάλματος γείωσης παρότι περιορίζεται, παραμένει αρκετά μεγάλο για να εξακολουθεί να απαιτείται ο άμεσος εντοπισμός και διόρθωση του σφάλματος. Η συγκεκριμένη μέθοδος γείωσης χρησιμοποιείται σε συστήματα μέσης τάσης που έχουν φορτία τριών αγωγών, όπως σε κινητήρες, όπου ο περιορισμός της βλάβης μας αναγκάζει να χρησιμοποιήσουμε αντίσταση ενώ είναι ανεκτό το σύστημα να βγει εκτός λειτουργίας λόγω σφάλματος γείωσης. Ως προς το κόστος εγκατάστασης, το σύστημα χαμηλής αντίστασης είναι ακριβότερο από το σύστημα συμπαγούς γείωσης αλλά φθηνότερο από το σύστημα υψηλής αντίστασης.

2.1.6 Σύγκριση τύπων γειώσεων

Στον Πίνακα 2.1 [16] που ακολουθεί αναφέρονται τα χαρακτηριστικά κάθε είδους γείωσης. Ας δούμε πιο αναλυτικά τη σημασία του καθενός.

- **Μέγεθος σφάλματος γείωσης:**
Η πτώση ασφάλειας (διακοπή ρεύματος) είναι απαραίτητη στη γείωση μέσω χαμηλής αντίστασης, αντίδρασης και στη συμπαγή γείωση. Η γείωση υψηλής αντίστασης και τα αγείωτα συστήματα έχουν ελάχιστα ρεύματα σφάλματος που μπορούν κανονικά να διατηρηθούν χωρίς πτώση ασφάλειας.
- **Μετάδοση σφάλματος:**
Τα σφάλματα γείωσης στη γείωση υψηλής αντίστασης και στα αγείωτα συστήματα συνήθως δεν μετατρέπονται σε πολυφασικές βλάβες. Στα συμπαγώς γειωμένα και τα γειωμένα μέσω αντίστασης συστήματα μπορούν γρήγορα να κλιμακωθούν σε πολυφασικά σφάλματα. Τα γειωμένα συστήματα μέσω χαμηλής αντίστασης περιορίζουν τα ρεύματα βλάβης και είναι λιγότερο πιθανό να εξαπλωθούν σε πολυφασικές βλάβες, κάτι που τελικά μπορεί να συμβεί αν ο χρόνος πτώσης της ασφάλειας είναι μεγάλος.
- **Σχηματισμός Τόξου:**
Ο κίνδυνος σχηματισμού τόξου από σφάλματα γείωσης είναι αμελητέος για τα σωστά ελεγμένα αγείωτα και υψηλής αντίστασης συστήματα. Ο κίνδυνος σχηματισμού τόξου είναι ο υψηλότερος σε συμπαγώς γειωμένο σύστημα, ο οποίος μειώνεται ελαφρά με το γειωμένο μέσω αντίδρασης σύστημα και μειώνεται σημαντικά με την χαμηλή αντίσταση γείωσης συστήματος.
- **Βαθμός ασφαλείας:**
Το αγείωτο και το υψηλής αντίστασης γειωμένο σύστημα είναι τα δύο πιο ασφαλή συστήματα.
- **Βλάβη του εξοπλισμού:**
Για ένα σωστά ελεγμένο αγείωτο και υψηλής αντίστασης γειωμένο σύστημα, η δυνατότητα ζημιάς στον εξοπλισμό είναι ελάχιστη.

- Τοποθεσία σφάλματος:

Οι βλάβες μπορούν εύκολα να εντοπιστούν σε όλα τα συστήματα με εξαίρεση το αγείωτο σύστημα. Αυτό είναι ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της γείωσης μέσω υψηλής αντίστασης έναντι του αγείωτου συστήματος. Ο εντοπισμός γείωσης στα αγείωτα συστήματα γίνεται μέσω της διαδικασίας κατάργησης. Όλα τα κυκλώματα συστηματικά απενεργοποιούνται μέχρι τα κυκλώματα ανίχνευσης βλάβης γης να απενεργοποιηθούν εντοπίζοντας έτσι το σφάλμα. Με το υψηλής αντίστασης γειωμένο σύστημα η βλάβη γείωσης μπορεί να εντοπιστεί, διατηρώντας τον εξοπλισμό εντός υπηρεσίας.

- Συνέχεια της Υπηρεσίας:

Η ηλεκτρική υπηρεσία μπορεί να διατηρείται τόσο στο αγείωτο όσο και στο μέσω αντίστασης γειωμένο σύστημα. Αυτό δεν ισχύει και με τα άλλα συστήματα

- Επίπεδα μεταβατικής υπέρτασης:

Η μεταβατική υπέρταση είναι περιορισμένη σε όλα τα συστήματα με εξαίρεση το αγείωτο σύστημα.

- Επιλεκτική πτώση ασφάλειας:

Η επιλεκτική πτώση ασφάλειας είναι δυνατή σε όλα τα συστήματα με εξαίρεση το αγείωτο σύστημα.

- Συναγερμός χωρίς διακοπή ρεύματος:

Η λειτουργία συναγερμού χωρίς διακοπή ρεύματος είναι δυνατή μόνο για το αγείωτο και μέσω υψηλής αντίστασης γειωμένο σύστημα. Όλα τα άλλα συστήματα απαιτούν διακοπή ρεύματος.

- Επίπεδα μόνωσης:

Η απαιτούμενη διαστασιολόγηση για τους απαγωγείς υπερτάσεων και το επίπεδο μόνωσης είναι η υψηλότερη για το αγείωτο και το μέσω υψηλής αντίστασης γειωμένο σύστημα.

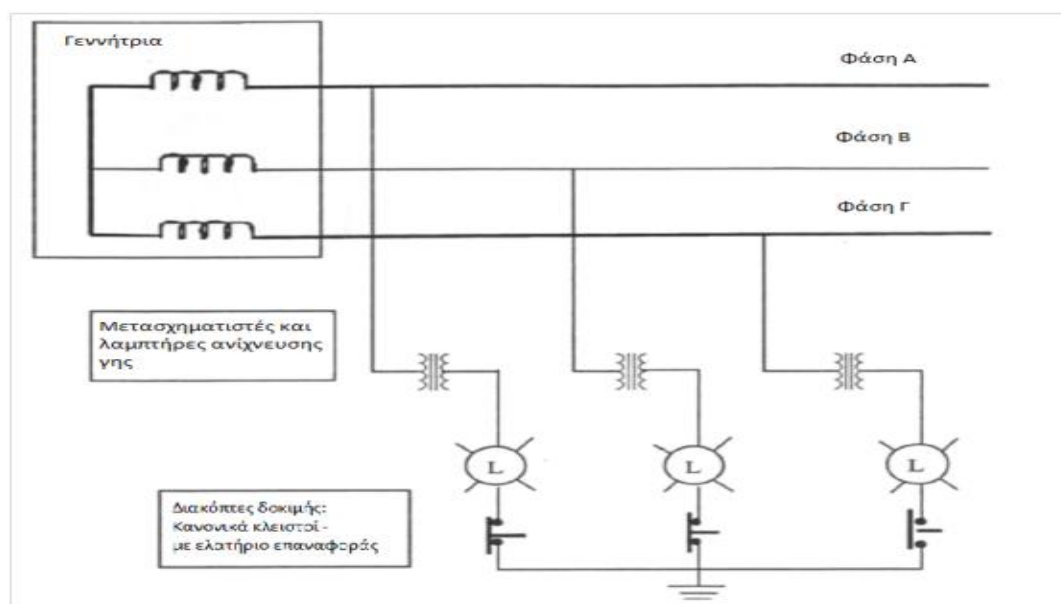
Χαρακτηριστικό	Συμπαγής	Με αντίδραση	Χαμηλή αντίσταση	Αγείοτο	Υψηλή αντίσταση
Υψηλό ρεύμα σφάλματος γείωσης	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι
Πιθανότητα διάδοσης σε πολυφασικό σφάλμα	Υψηλή	Υψηλή	Μεσαία	Χαμηλή	Χαμηλή
Επίπεδο κινδύνου σχηματισμού τόξου	Υψηλό	Υψηλό	Μεσαίο	Πολύ χαμηλό	Πολύ χαμηλό
Σχετικό επίπεδο ασφάλειας	Χαμηλό	Χαμηλό	Μεσαίο	Υψηλό	Πολύ υψηλό
Μέγεθος πιθανής ζημιάς εξοπλισμού	Υψηλό	Υψηλό	Χαμηλό	Πολύ χαμηλό	Πολύ χαμηλό
Ευκολία εντοπισμού τοποθεσίας σφάλματος	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
Συνέχιση λειτουργίας με πρόβλημα γείωσης	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι
Επίπεδο μεταβατικής υπέρτασης	2.5X	2.5X	2.5X	>6X	2.7X
Δυνατότητα επιλεκτικής διακοπής ρεύματος	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
Ειδοποίηση χωρίς διακοπή ρεύματος	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	Ναι
Επιθυμητό επίπεδο μόνωσης καλωδίων	1.0	1.0	1.00	1.73	1.73
Επίπεδο προστασίας με απαγωγείς υπερτάσεων	1.0	1.0	1.73	1.73	1.73

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις μεθόδους γείωσης του συστήματος [16]

2.2 Συστήματα ανίχνευσης γης [18]

2.2.1. Σύστημα ανίχνευσης γης σε αγείωτο σύστημα

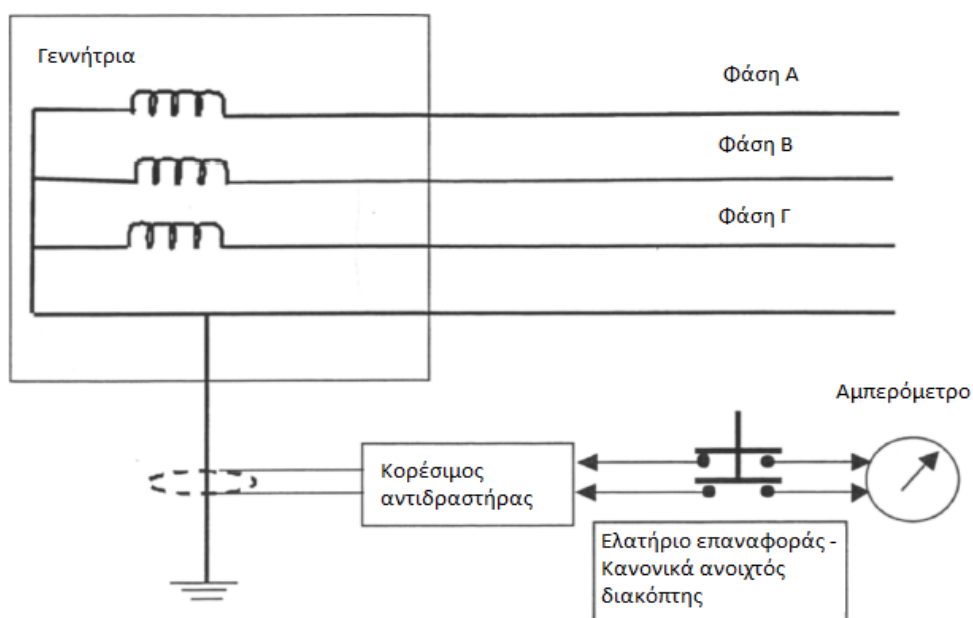
Σε αυτό το είδος της εγκατάστασης ανίχνευσης, υπάρχουν τρία σετ λαμπτήρων ανίχνευσης γης που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση γείωσης, με ένα σετ για κάθε φάση. Οι λαμπτήρες είναι γειωμένοι σε ένα κοινό ουδέτερο σημείο με έναν κανονικά κλειστό διακόπτη σε συνδεσμολογία Υ. Οι λαμπτήρες συνήθως παρέχονται με ενσωματωμένο μετασχηματιστή για παροχή 12V και 25. Κανονικά, η τάση γραμμής συστήματος είναι ίση με την τάση φάσης προς φάση διαιρεμένη με $\sqrt{3}$ (πολική τάση συστήματος). Ωστόσο, εάν μία φάση είναι γειωμένη, ο λαμπτήρας που αντιστοιχεί σε αυτή τη φάση θα λάμπει πιο αδύναμα. Ο διακόπτης παρέχεται για να χρησιμοποιηθεί στη δοκιμή του συστήματος. Ο διακόπτης ανοίγει τη γραμμή για να παράσχει πολική τάση στο λαμπτήρα, κάνοντας το λαμπτήρα να λειτουργήσει σε πλήρη φωτεινότητα.



Εικόνα 2.2.1: Σύστημα ανίχνευσης γης σε αγείωτο σύστημα

2.2.2.Συσκευές ανίχνευσης γης σε γειωμένη εγκατάσταση

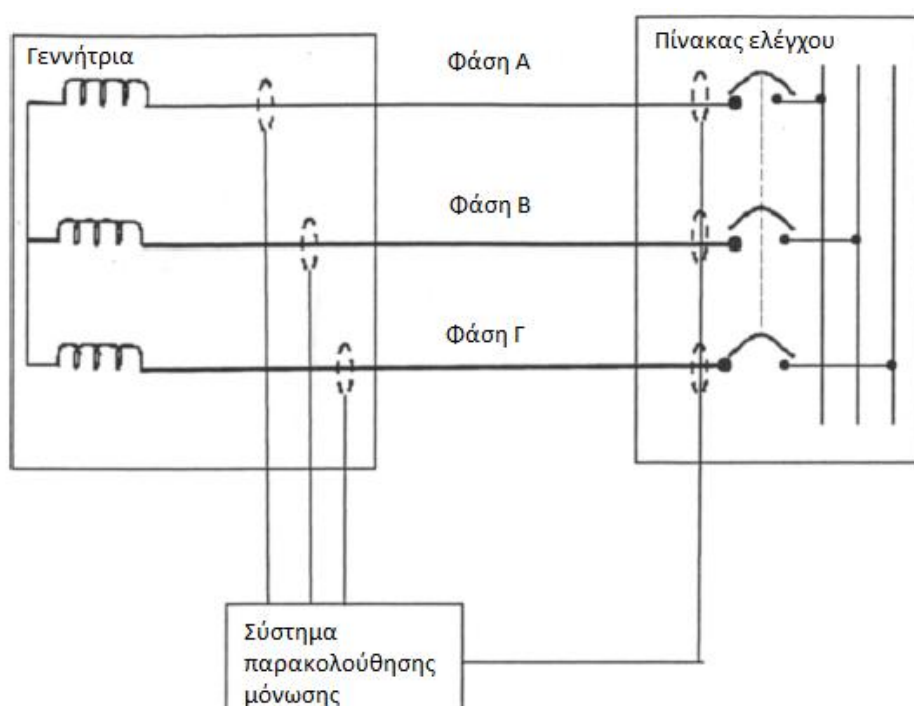
Ένα γειωμένο στον ουδέτερο αγωγό σύστημα ανίχνευσης γείωσης, τεσσάρων αγωγών με διπλή τάση για καθολική χρήση ανεξαρτήτως τάσης(π.χ. 100/240V, 110/220V, 120/250V), αποτελείται από ένα αμπερόμετρο, ένα διακόπτη δοκιμής, ένα μορφοτροπέα και ένα μετασχηματιστή ρεύματος. Ο μετασχηματιστής ρεύματος είναι συνδεδεμένος με την ουδέτερη γραμμή με ένα μορφοτροπέα και ένα αμπερόμετρο με κλίμακα μέτρου ρεύματος γείωσης από 0 έως 10A. Το σύστημα ανιχνεύει πιθανή ροή ρεύματος στον ουδέτερο αγωγό και κλείνει τον κανονικά ανοιχτό διακόπτη, επιτρέποντας στο αμπερόμετρο να καταγράψει την τιμή του ρεύματος σφάλματος.



Εικόνα 2.2.2: Σύστημα ανίχνευσης γης σε γειωμένο σύστημα

2.2.3. Σύστημα παρακολούθησης μόνωσης σε αγείοτο σύστημα

Το σύστημα παρακολούθησης μόνωσης καταγράφει διαρκώς το επίπεδο μόνωσης του συστήματος μετρώντας την τιμή της αντίστασης μεταξύ μιας ενεργής φάσης και της γης που (αν και θεωρητικά δεν υπάρχει στο κύκλωμα καθώς αυτό είναι αγείοτο) ορίζεται από το σύστημα παρακολούθησης μόνωσης. Το σύστημα παρακολούθησης μόνωσης είναι ικανό να παρέχει απομακρυσμένη ένδειξη, παρακολούθηση μέσω ένδειξης και συναγερμό όταν η τιμή της μετρούμενης αντίστασης πέφτει κάτω από ένα όριο.



Εικόνα 2.2.3: Σύστημα παρακολούθησης μόνωσης σε αγείοτο σύστημα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

3.1. Κατηγοριοποίηση οδηγιών και οργανισμών

Για την ανάλυση και τον προσδιορισμό του μεγέθους της εγκατάστασης γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας σε σκάφη, είναι απαραίτητη η σωστή προσέγγιση του πλαισίου κανονισμών που αναφέρονται σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις γενικά και σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σκαφών ειδικότερα. Εκτός των κανονισμών αυτών, θα γίνει αναφορά στις οδηγίες διάφορων οργανισμών πιστοποίησης πλοίων που είτε εξειδικεύονται είτε όχι σε σκάφη αναψυχής.

Οι οδηγίες που θα αναλυθούν διαχωρίζονται σε δύο κύριες υποκατηγορίες:

- **Νομοθετικές οδηγίες**
Είναι θεσπισμένες από την εκάστοτε Βουλή ή Κυβέρνηση και προβλέπουν συγκεκριμένες κυρώσεις για τη μη εφαρμογή τους. Είναι πάντα υποχρεωτικές σε εθνικό επίπεδο για όλους τους πολίτες και τους εργαζόμενους στον κλάδο. Λόγω των υποχρεώσεων που επιβάλλουν, οι νομικές προδιαγραφές περιέχουν γενικές οδηγίες πάνω στο θέμα που πραγματεύονται και σπάνια καταφέρνουν να ρυθμίσουν το υπό ανάλυση ζήτημα, για το οποίο συχνά γίνεται αναφορά σε τεχνικές οδηγίες.
- **Τεχνικές οδηγίες**
Είναι θεσπισμένες από εθνικούς και διεθνείς οργανισμούς και περιλαμβάνουν κατασκευαστικά κριτήρια και κανόνες ως προς τη λειτουργικότητα και την ασφαλή χρήση των προϊόντων ή των ηλεκτρικών συστημάτων. Συντάσσονται κατά τρόπο λεπτομερή, γενικά δεν είναι υποχρεωτικές, αλλά αποκτούν νομική σημασία στην περίπτωση κατά την οποία αυτή τους έχει αποδοθεί από το νομοθέτη.

Επίσης οι οργανισμοί που ασχολούνται με θέματα ασφαλείας σε σκάφη και εκδίδουν οδηγίες και τεχνικά έγγραφα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

Εθνικοί οργανισμοί:

- Εθνικοί νηογνώμονες
Οργανισμοί που αξιολογούν σκάφη ως προς τη συμμόρφωσή τους με συγκεκριμένα σύνολα κανόνων (επεκτάσεις του IMO) ως προς την ασφάλεια και τη λειτουργικότητα. Οι νηογνώμονες (όπως ο Bureau Veritas) δίνουν πιστοποιητικά εξ ονόματος της Σημαίας κράτους που φέρει το σκάφος και πραγματοποιούν επιθεωρήσεις των σκαφών είτε στο στάδιο της κατασκευής είτε κατά τη διάρκεια ζωής του σκάφους. Τέλος οι νηογνώμονες δρουν και ελεύθερα ως τεχνικοί σύμβουλοι.
- Ακτοφυλακή
Η ακτοφυλακή ανήκει στα ένοπλα σώματα κάθε κράτους με ευρύτατες νομικές εξουσιοδοτήσεις στα χωρικά και διεθνή ύδατα. Τέτοιου είδους οργανισμοί εκδίδουν έγγραφα (όπως το NVIC) με σκοπό να καλύψουν το κενό κατανόησης που πιθανόν προκύπτει στους περιορισμούς που ορίζονται από ιεραρχικά ανώτερα έγγραφα, τα οποία πολλές φορές είναι δυσνόητα και δεν παρέχουν επαρκείς διευκρινίσεις σε πολλούς τομείς.
- Διεύθυνση Ηλεκτρικής Ασφάλειας
Εθνικός οργανισμός που προετοιμάζει οδηγίες (π.χ. ε Διεύθυνση Ηλεκτρικής Ασφάλειας Νορβηγίας) εντός του παρόντος πλαισίου των παρόντων κανονισμών με σκοπό να επιτευχθεί ικανοποιητικό επίπεδο ηλεκτρικής ασφάλειας. Οι εν λόγω κανονισμοί περιλαμβάνουν τους κανόνες των νηογνομώνων, τα πρότυπα IEC και τους κανόνες του IMO.
- ABYC (American Boat and Yacht Council)
Είναι μια οργάνωση με εθελοντικό χαρακτήρα, που λειτουργεί στις Ηνωμένες Πολιτείες και έχει αναλάβει το έργο του καθορισμού των προτύπων και των πλέον κατάλληλων διαδικασιών για την κατασκευή σκαφών αναψυχής και σχετικού εξοπλισμού. Η εφαρμογή των προτύπων είναι αυστηρά εθελοντική και δεν επιβάλλεται από κανέναν νόμο. Στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε κοντινές της περιοχές (στην Καραϊβική κλπ.), είναι η κύρια τεχνική αναφορά για την ποιότητα των σκαφών αναψυχής. Η ABYC κάνει αναφορά σε ρυθμιστικές αρχές και κυρίως στο ISO.

Διεθνείς οργανισμοί:

- ISO (International Organization for Standardization)
Οργανισμός τυποποίησης για όλους τους τομείς σε παγκόσμιο επίπεδο. Ασχολείται με την τυποποίηση στο τεχνικό και βιομηχανικό κομμάτι.

- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

Τα πρότυπα IEEE αναπτύσσονται εντός της κοινότητας του IEEE και των αντίστοιχων επιτροπών, τα μέλη των οποίων λειτουργούν εθελοντικά και χωρίς αμοιβή. Τα πρότυπα που εκπονούνται αντιπροσωπεύουν την ομοφωνία ατόμων εντός και εκτός IEEE τα οποία εξειδικεύονται στα εκάστοτε θέματα. Η χρήση του κάθε προτύπου IEEE είναι εξ ολοκλήρου προαιρετική και η ύπαρξη του δεν υπαινίσσεται ότι δεν υπάρχουν άλλοι τρόποι επίτευξης των σκοπών του κάθε προτύπου. Επιπλέον το κάθε πρότυπο υπόκειται σε αλλαγές, ανάλογα με την εξέλιξη της επιστήμης στον κάθε τομέα τουλάχιστον, κάθε πέντε χρόνια.

- IEC (International Electrotechnical Commission)

Οργανισμός τυποποίησης με έδρα τη Γενεύη που έχει ως στόχο την ενοποίηση όλων των εθνικών κανονισμών στον ηλεκτρονικό και ηλεκτρικό τομέα. Συμμετέχει το σύνολο των εκβιομηχανισμένων κρατών και απαρτίζεται από τεχνικές επιτροπές για κάθε τομέα εφαρμογής. Οι εκδόσεις του IEC προορίζονται να γίνουν εναρμονισμένες σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται στο πλαίσιο του προτύπου IEC δεν είναι δεσμευτικές για τις εθνικές επιτροπές. Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει δέσμευση για την εισαγωγή τους σε κάθε χώρα με την προσαρμογή των υφιστάμενων κανονισμών ή κάνοντας αναφορά σε αυτούς ως προς τυχόν παρεκκλίσεις ή τροποποιήσεις.

- CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)

Αποτελείται από τις εθνικές επιτροπές τυποποίησης των χωρών της Ευρωπαϊκής κοινότητας και από άλλες χώρες, όπως η Νορβηγία και η Ελβετία. Ο σκοπός της CENELEC είναι η εναρμόνιση των νομοθεσιών των κρατών μελών, ατομικά, ώστε να εξαλειφθούν πιθανά τεχνικά εμπόδια στο ελεύθερο εμπόριο μεταξύ των μελών. Η CENELEC εκδίδει κείμενα εναρμόνισης (HD) ή ευρωπαϊκά πρότυπα (EN):

- HD (Harmonization Document)

Είναι ένα κείμενο αναφοράς του οποίου το τεχνικό περιεχόμενο θα πρέπει να εισαχθεί σε εθνικά πρότυπα μέσα σε ένα εκ των προτέρων συμφωνηθέν χρονικό διάστημα

- EN (European Norm)

Είναι ένα έγγραφο που εκπονείται από τη CENELEC του οποίου το κείμενο μεταφράζεται στο σύνολό του, χωρίς αλλαγές, στην εθνική γλώσσα και αποτελεί ένα εθνικό πρότυπο για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας. Αυτά τα πρότυπα, γίνονται δεκτά από χώρες μέλη της Ευρωζώνης με τις διαδικασίες που καθορίζονται για κάθε χώρα.

Ειδικότερα, θα αναφερθούν και οργανισμοί που εξειδικεύονται στον τομέα της ναυτιλίας:

- IMO (International Maritime Organization)

Υπηρεσία των Ηνωμένων Εθνών, η οποία ειδικεύεται στο ναυτικό τομέα και που έχει σκοπό την "αύξηση" της ασφάλειας στη θάλασσα. Χωρίζεται σε επιτροπές και υποεπιτροπές, δύο από τις οποίες έχουν ιδιαίτερη σημασία:

- MSC (Maritime Safety Committee)

Ασχολείται με τη διασφάλιση της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα

- MEPC (Marine Environment Committee)

Ενδιαφέρεται για την προστασία του περιβάλλοντος όσον αφορά τις δραστηριότητες που σχετίζονται με τη ναυτιλία.

Υπό την αιγίδα του IMO έχουν υιοθετηθεί από όλες τις χώρες που συμμορφώνονται με αυτόν ορισμένες από τις διεθνείς συμβάσεις για την προστασία της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα και την προστασία του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων:

- SOLAS (International Convention on Safety of Life at Sea)

Η σύμβαση στο πλαίσιο του διεθνούς ναυτιλιακού οργανισμού που ασχολείται με τη διατήρηση της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα. Ορίζει τους κανόνες που πρέπει να ληφθούν από όλα τα συμμετέχοντα κράτη, προκειμένου να κατασκευαστούν πλοία που προορίζονται για διεθνή ταξίδια έχοντας ένα αποδεκτό επίπεδο ασφαλείας. Η σύμβαση δεν ισχύει για σκάφη αναψυχής και ιστιοφόρα. Η παρούσα σύμβαση δεν περιέχει σαφείς απαιτήσεις σχετικά με τα ηλεκτρικά συστήματα επί του σκάφους.

3.2 Αντικεραυνική προστασία

Στις σελίδες που ακολουθούν γίνεται μεταφορά προτύπων σχετικών με την αντικεραυνική προστασία σε διάφορα είδη σκαφών. Η επιλογή των παρακάτω προτύπων έγινε με σκοπό την πλήρη κάλυψη του θέματος της αντικεραυνικής προστασίας με εξειδικευμένα κείμενα από διάφορους οργανισμούς. Οι πιθανές διαφορές και ασυμφωνίες θα εξεταστούν στη συγκριτική ανάλυση που θα γίνει στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας. Τα πρότυπα με τα οποία θα ασχοληθούμε στη συνέχεια αναφέρονται ανά περίπτωση και ανά κατηγορία στον Πίνακα 3.2.1.

	Αντικεραυνική προστασία
Διεθνείς Οργανισμοί	ISO 10134 [19]
	IEC 60092-507 [20]
Εθνικοί Οργανισμοί	ABYC TE-4 [21]
	Bureau Veritas NR 566 [22]
	DEF STAN 02-516 [23]

Πίνακας 3.2.1: Κανονισμοί αναφερόμενοι στην αντικεραυνική προστασία πλοίων που θα αναλυθούν στην παρούσα εργασία

3.2.1 ISO 10134: Μικρά σκάφη - Ηλεκτρικές συσκευές - Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας

Το συγκεκριμένο διεθνές πρότυπο, παρέχει οδηγίες για το σχεδιασμό, την κατασκευή και εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας σε μικρά σκάφη με μήκος μέχρι 24 μέτρα.

Το πρότυπο κάνει εξαρχής τη διευκρίνιση ότι η πιθανότητα κεραυνικού πλήγματος ποικίλλει ανάλογα με τη γεωγραφική τοποθεσία και την εποχή του χρόνου, αλλά όταν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες που επιτρέπουν να συντελεστεί ηλεκτρική εκκένωση μεταξύ των νεφών και της γης, δεν μπορεί να γίνει κάτι που να αποτρέψει την ηλεκτρική εκκένωση. Το σκάφος μπορεί να πληγεί είτε όταν βρίσκεται στην ανοιχτή θάλασσα είτε όταν βρίσκεται δεμένο στην προβλήτα. Η παρουσία συστήματος αντικεραυνικής προστασίας στο σκάφος δεν μπορεί να εγγυηθεί πλήρη προστασία ως προς τις βλάβες εξοπλισμού και επιβατών και το διεθνές πρότυπο δεν υπαινίσσεται ότι παρέχει οδηγίες που μπορούν να εξασφαλίσουν τέτοιου είδους προστασία.

3.2.1.1 Όροι και ορισμοί

Στην παράγραφο 2 του πρωτότυπου κειμένου δίνονται ορισμένοι βασικοί ορισμοί των εννοιών που πραγματεύεται το πρότυπο οι οποίοι είναι οι εξής:

Διάκενο αέρα: διακοπή της αγωγίμης διαδρομής από ένα μικρό κενό αέρα όχι μεγαλύτερο των 2mm ούτως ώστε να εμποδίζεται το πέρασμα ρεύματος χαμηλής τάσης όμως χωρίς να εμποδίζεται η ροή του κεραυνικού ρεύματος

Τερματικό αέρα: το υψηλότερο σημείο του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας που έχει ως σκοπό τη διάχυση του φορτίου ή την εκκίνηση της διαδικασίας γείωσης

Πλάκα αντικεραυνικής γείωσης - λωρίδα αντικεραυνικής γείωσης: μέσο αγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος από τα αγωγιμα μέρη του σκάφους στο νερό στο οποίο αυτό πλέει

Αντικεραυνικό κατάρτι – κατάρτι αντικεραυνικής προστασίας: αγωγιμη κατασκευή ή μέσο ηλεκτρικής σύνδεσης του τερματικού αέρα με την πλάκα αντικεραυνικής γείωσης

Πλευρική εκκένωση: ένα τόξο εκφόρτισης που συμβαίνει μεταξύ του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας και οποιουδήποτε μεταλλικού αντικειμένου

Κεραυνικός αγωγός ζεύξης: αγωγός προορισμένος να χρησιμοποιηθεί την εξίσωση του δυναμικού μεταξύ μεταλλικών σωμάτων και του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας

Αγωγός γείωσης κεραυνού: αγωγός που εγκαθίσταται για να συνδέσει το τερματικό αέρα ή το κατάρτι αντικεραυνικής προστασίας με την πλάκα αντικεραυνικής γείωσης

Ζώνη προστασίας: η ζώνη που βρίσκεται κάτω από το γειωμένο τερματικό αέρα, κατάρτι ή υπερυψωμένο καλώδιο γείωσης που είναι ουσιαστικά απρόσβλητη από άμεσα κεραυνικά πλήγματα

Σημείωση 1: Η εφαρμογή της παραπάνω ζώνης προστασίας δεν συνεπάγεται πλήρη προστασία ως προς τις βλάβες στον εξοπλισμό ή ως προς τον τραυματισμό προσώπων.

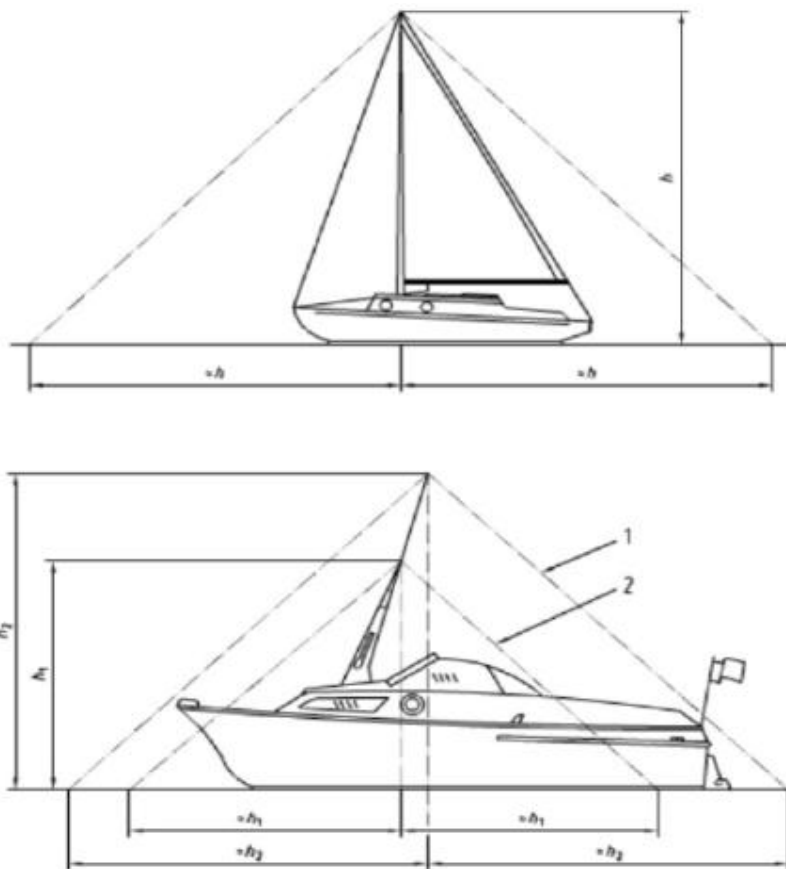
Σημείωση 2: Το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας δεν προσφέρει προστασία σε περίπτωση που το σκάφος βρίσκεται εκτός νερού και δεν προσφέρει προστασία σε περίπτωση που κάποιο μέρος του πλοίου έρθει σε επαφή με ηλεκτροφόρες γραμμές όταν επιπλέει ή όταν βρίσκεται στην ξηρά

3.2.1.2 Γενικές απαιτήσεις

- Η προστασία των ατόμων και του ίδιου του σκάφους από τον κεραυνό εξαρτάται από ένα συνδυασμό σχεδιασμού και συντήρησης εξαρτημάτων αλλά και της συμπεριφοράς του προσωπικού του σκάφους. Οι βασικές κατευθυντήριες γραμμές αυτού του διεθνούς προτύπου πρέπει να ληφθούν υπόψιν στο σχεδιασμό και την εγκατάσταση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Πάντως, λαμβάνοντας υπόψιν το μεγάλο εύρος της δομικής σχεδίασης των σκαφών, δεν μπορούν να γίνουν συγκεκριμένες προτάσεις που να καλύπτουν όλες τις επιμέρους περιπτώσεις.
- Για να υπάρξει επαρκής αγωγός γείωσης αντικεραυνικής προστασίας ή αλεξικέραυνο κατάρτι, το συνολικό κύκλωμα (από την κορυφή του αλεξικέραυνου μέχρι την πλάκα γείωσης της αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να έχει μηχανική ικανότητα και αγωγιμότητα όχι μικρότερη από αυτήν ενός αγωγού χαλκού 21mm². Επίσης, η διαδρομή του αγωγού προς τη γη πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ευθεία. Επιπλέον συστάσεις μπορούν να βρεθούν στο άρθρο IEC 60092-352 (Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε πλοία- Επιλογή και εγκατάσταση καλωδίων).
- Αν υπάρχουν μεγάλα μεταλλικά αντικείμενα (δεξαμενές, βίντσι, καζάνια κτλ) εντός ακτίνας 2m από οποιοδήποτε αγωγό γείωσης αντικεραυνικής προστασίας,

μπορεί να υπάρξει μεγάλη πιθανότητα να αναπτυχθούν πλευρικές εκκενώσεις ή σπίθες από τον αγωγό γείωσης προς το κοντινότερο σημείο του μεταλλικού αντικειμένου. Προς αποφυγή ζημιών από τέτοιου είδους πλευρικές εκκενώσεις, πρέπει να εγκατασταθεί διασυνδεδετικός αγωγός αντικεραυνικής ζεύξης τουλάχιστον ισοδύναμος με 13mm² χαλκού. Επιπλέον συστάσεις μπορούν να βρεθούν στο άρθρο IEC 60092-352.

- Μεγάλα μεταλλικά αντικείμενα που δεν είναι μέρος της ηλεκτρικής εγκατάστασης του σκάφους και που δεν είναι ήδη γειωμένα λόγω χρηστικών ή άλλων λόγων, μπορούν να γειωθούν απευθείας στην πλάκα γείωσης της αντικεραυνικής προστασίας, σε περίπτωση που δεν είναι πρακτική η διασύνδεσή τους με τον αγωγό γείωσης αντικεραυνικής προστασίας ή τον αγωγό ζεύξης αντικεραυνικής προστασίας όπως αναφέρθηκε παραπάνω.



Εικόνα 3.2.1.1: Σκάφος με κατάρτι που δεν ξεπερνά σε ύψος τα 15 μέτρα από το νερό

Υπόμνημα:

h: Ύψος καταρτιού

1. ζώνη προστασίας με συμπαγή κεραία που εκτείνει το ύψος του καταρτιού αντικεραυνικής προστασίας για να προστατέψει ολόκληρο το σκάφος
2. ζώνη προστασίας μόνο με το κατάρτι αντικεραυνικής προστασίας

3.2.1.3 Υλικά

3.2.1.3.1 Αντοχή στη διάβρωση

- Το υλικό που χρησιμοποιείται στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι ανθεκτικό στη διάβρωση. Αν είναι μη πρακτική η αποφυγή χρήσης διασταύρωσης ανόμοιων μετάλλων, όπως σε κάποιες εγκαταστάσεις, τότε οι επιπτώσεις της διάβρωσης, μπορούν να περιοριστούν με τη χρήση κατάλληλων επιμεταλλώσεων ή με ειδικές συνδέσεις που είναι γαλβανικά συμβατές και με τα δύο μέταλλα.

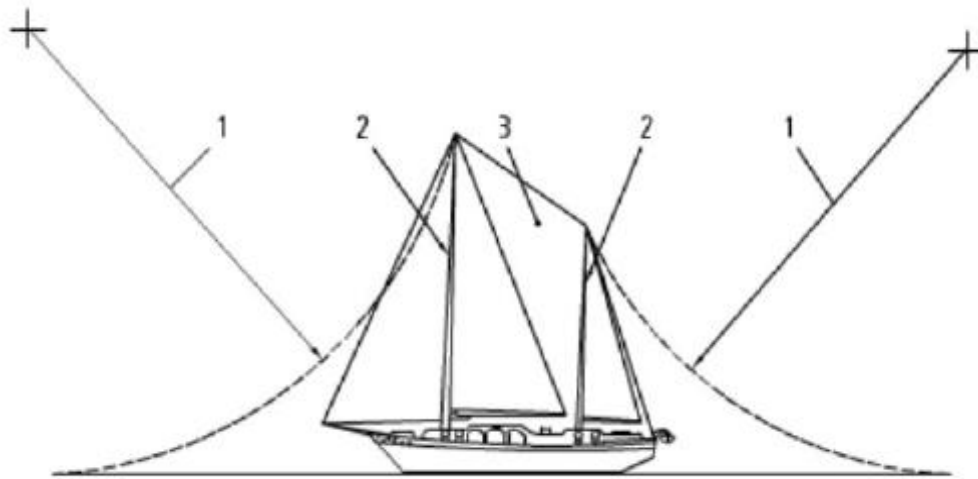
3.2.1.3.2 Αγωγοί καλωδίων

- Το μέγεθος του κάθε νήματος του γυμνού καλωδίου χαλκού δεν πρέπει να είναι μικρότερο από $0,71\text{mm}^2$. Τα μονωμένα καλώδια χαλκού πρέπει να έχουν τουλάχιστον 19 νήματα.
- Το πάχος κάθε μεταλλικής λωρίδας πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο του 1mm

3.2.1.4 Εγκατάσταση

3.2.1.4.1 Γενικό μέτρο ασφάλειας

- Για να ελαχιστοποιηθούν οι πλευρικές εκκενώσεις και η επαγωγή υψηλής τάσης στην καλωδίωση του σκάφους, οι αγωγοί αντικεραυνικής προστασίας που βρίσκονται κοντά στην καλωδίωση του σκάφους, πρέπει να μην δρομολογούνται παράλληλα με την καλωδίωση του σκάφους



Εικόνα 3.2.1.2: Σκάφος με κατάρτι(α) που ξεπερνά(ούν) σε ύψος τα 15 μέτρα από το νερό

Υπόμνημα:

1. ακτίνα 30 μέτρων (βλ. 3.2.1.4.3)
2. κατάρτια που ξεπερνούν σε ύψος τα 15 μέτρα από το νερό
3. ζώνη προστασίας εντός της περιοχής που έχει διακεκομμένο περίγραμμα

3.2.1.4.2 Αγωγήμες ενώσεις

- Οι αγωγήμες συνδέσεις πρέπει να φτιάχνονται και να υποστηρίζονται έτσι ώστε να μην ζημιώνουν τους αγωγούς και να εξασφαλίζουν αγωγιμότητα ίση με αυτή του αγωγού

3.2.1.4.3 Ύψος αντικεραυνικού καταρτιού

- Για ύψος καταρτιού που δεν ξεπερνά τα 15 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας, η ακτίνα βάσης είναι σχεδόν ίση με το ύψος h του καταρτιού. (βλ. Εικόνα 3.2.1.1)
- Για ύψη καταρτιών άνω των 15 μέτρων, η ζώνη προστασίας βασίζεται στην απόσταση πλήγματος του κεραυνικού πλήγματος. Καθώς το κεραυνικό πλήγμα μπορεί να πλήξει οποιοδήποτε γειωμένο αντικείμενο εντός της απόστασης πλήγματος του σημείου απ' όπου συντελείται η τελική κατάρρευση προς τη γη, η ζώνη προστασίας καθορίζεται από ένα κυκλικό τόξο (βλ. Εικόνα 3.2.1.2). Η ακτίνα του τόξου είναι η απόσταση πλήγματος (30 μέτρα). Το τόξο περνά μέσω

της κορυφής του καταρτιού και καταλήγει στο νερό. Στις περιπτώσεις που έχουμε περισσότερα του ενός κατάρτια, η ζώνη προστασίας καθορίζεται από τόξα σε όλα τα κατάρτια.

- Επιπρόσθετα μέτρα αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να εγερθούν δημιουργώντας αλληλεπικαλυπτόμενες ζώνες προστασίας για να προστατευθεί ένα σκάφος του οποίου το μέγεθος καθιστά τη χρήση ενός καταρτιού μη πρακτική.

Σημείωση: Η ζώνη προστασίας που προσφέρεται από οποιονδήποτε συνδυασμό καταρτιών ή άλλων υπερυψωμένων, αγωγίμων και γειωμένων αντικειμένων μπορεί άμεσα να καθοριστεί γραφικά. Αυξάνοντας το ύψος του καταρτιού πέραν της απόστασης πλήγματος δεν θα αυξήσει τη ζώνη προστασίας.

3.2.1.4.4 Εναλλακτικές στο αντικεραυνικό κατάρτι

- Αν το κατάρτι είναι κατασκευασμένο από μη αγωγίμο υλικό, ο σχετικός κεραυνικός ή γειωτικός αγωγός πρέπει:
 - A) να είναι όσο το δυνατόν ευθύς,
 - B) να είναι ασφαλώς προσδεμένος στο κατάρτι,
 - Γ) να εκτείνεται τουλάχιστον για 150 χιλιοστά πάνω από το κατάρτι,
 - Δ) να καταλήγει σε τερματικό αέρα και
 - E) να οδηγείται όσο πιο άμεσα γίνεται στη γειωτική σύνδεση όπως περιγράφεται προηγουμένως
- Η κεραία τηλεπικοινωνιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κατάρτι αντικεραυνικής προστασίας αν καλύπτει τις γενικές απαιτήσεις.

Σημείωση 1: Μη αγωγίμο κατάρτι κεραίας με σπειροειδώς τυλιγμένους αγωγούς δεν θεωρείται κατάλληλο για σκοπούς αντικεραυνικής προστασίας

Σημείωση 2: Καθώς ένα πηνίο φόρτισης παρουσιάζει υψηλή αντίδραση στη ροή του κεραυνικού ρεύματος, το τμήμα της κεραίας που βρίσκεται πάνω από το πηνίο φόρτισης δεν θεωρείται κατάλληλο ως κατάρτι αντικεραυνικής προστασίας.

Σημείωση 3: Ακόμα κι αν είναι μερικώς αγωγίμο, τα υλικά που αποτελούνται από ίνες άνθρακα (ανθρακονήματα) θεωρούνται μη αγωγίμο (μη μεταλλικά) για τους σκοπούς του παρόντος Διεθνούς Προτύπου.

- Τα μικρά σκάφη χωρίς μόνιμο κατάρτι μπορούν να προστατευθούν μέσω ενός προσωρινού αντικεραυνικού καταρτιού που μπορεί να αναρτηθεί όταν παρουσιάζονται συνθήκες που καθιστούν πιθανή την πτώση ενός κεραυνού. Η

βάση του προσωρινού αυτού καταρτιού προστασίας από κεραυνούς πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν κοντύτερα στο γεωμετρικό κέντρο του σκάφους χωρίς όμως να αποκλείεται κάποια απόκλιση δεδομένου ότι η ζώνη προστασίας στην περίπτωση αυτή θα καλύπτει και πάλι ολόκληρο το σκάφος. Το προσωρινό κατάρτι αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι κατασκευασμένο εξ ολοκλήρου από μέταλλο ή από άλλο υλικό αν είναι εξοπλισμένο με αγωγό καθόδου με αγωγιμότητα τουλάχιστον ίση με αυτή ενός αγωγού χαλκού εμβαδού 21mm². Το προσωρινό αντικεραυνικό κατάρτι πρέπει να συνδεθεί με βυθισμένη πλάκα γείωσης συνολικής επιφάνειας τουλάχιστον 0,1m².

3.2.1.4.5 Διασύνδεση μεταλλικών μαζών

- Οι μεταλλικές μάζες που βρίσκονται στο σκάφος αποτελώντας μόνιμα εγκατεστημένο τμήμα εντός ή επί του σκάφους και η λειτουργία των οποίων δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη γείωση, πρέπει να ενσωματωθούν στο σύστημα αγωγών αντικεραυνικής προστασίας μέσω διασύνδεσής τους με αυτό ή με σύνδεση μέσω διάκενου αέρα.
- Ο σκοπός της διασύνδεσης των μεταλλικών μερών του σκάφους με τον αγωγό είναι η αποτροπή βλάβης από πλευρικές εκκενώσεις, ειδικά στην περίπτωση που βρίσκονται σε μικρή απόσταση σχετικά εκτενή μεταλλικά αντικείμενα.
- Για την ελαχιστοποίηση της ροής ρεύματος κεραυνικής αποφόρτισης μέσω των στοιχείων του κινητήρα, είναι προτιμότερο να συνδεθούν τα μπλοκ της μηχανής απευθείας με την πλάκα γείωσης παρά να συνδεθούν σε αυτήν μέσω ενδιάμεσου σημείου στον αγωγό αντικεραυνικής προστασίας.

3.2.1.4.6 Εξωτερικά μεταλλικά σώματα

- Κάθε μέταλλο που βρίσκεται εξ ολοκλήρου στο εξωτερικό του σκάφους πρέπει να συνδέεται ηλεκτρικώς στο σύστημα γείωσης αντικεραυνικής προστασίας του σκάφους.
- Τα εξωτερικά μεταλλικά σώματα στο σκάφος περιλαμβάνουν κάθε μεγάλη μάζα, όπως οριζόντιες κουπαστές, κουπαστές σε καμπίνες, καμινάδες από το μαγειρείο, ηλεκτρικά βαρούλκα, κρεμαστάρια λέμβων, μεταλλικές μπουκαπόρτες και μεταλλικά κατάρτια σήμανσης.

3.2.1.4.7 Εσωτερικά μεταλλικά σώματα

- Κάθε μέταλλο που βρίσκεται εξ' ολοκλήρου στο εσωτερικό του σκάφους και το οποίο σε οποιοδήποτε σημείο του βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 2m από αγωγό του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας, πρέπει να συνδεθεί

ηλεκτρικά με αυτόν τον αγωγό. Τα εσωτερικά μεταλλικά σώματα περιλαμβάνουν μηχανές, δεξαμενές καυσίμων ή νερού και ράβδους του μηχανισμού ελέγχου πλοήγησης. Δεν κρίνεται απαραίτητο να γειωθούν μικρά μεταλλικά αντικείμενα όπως πυξίδες, ρολόγια, φούρνοι μαγειρείων, κουτιά πρώτων βοηθειών και άλλων παρόμοιων αντικειμένων του σκάφους.

3.2.1.4.8 Εσωτερικά/Εξωτερικά μεταλλικά σώματα

- Κάθε μέταλλο που προεξέχει από οροφή καμπίνας, κατάστρωμα ή πλευρικά του σκάφους, πρέπει να συνδεθεί στον πλησιέστερο αγωγό αντικεραυνικής προστασίας στο σημείο που το μέταλλο εξέρχεται από το σκάφος και πρέπει να γειώνεται στο χαμηλότερο ή στο πιο ακραίο σημείο του εντός του σκάφους.
- Οι μεταλλικές βαλβίδες που επιτρέπουν στο νερό να εισέλθει ή να εξέλθει από το σκάφος και οι προσαρμογές που διαπερνούν το σκελετό του σκάφους αν είναι συνδεδεμένες στο σύστημα γείωσης αντικεραυνικής προστασίας του σκάφους, δεν πρέπει να συνδεθούν στον αγωγό γείωσης αντικεραυνικής προστασίας. Πρέπει να συνδεθούν με αγωγούς ζεύξης αντικεραυνικής προστασίας:

- A) στην πλάκα γείωσης αντικεραυνικής προστασίας
- B) στη λωρίδα γείωσης αντικεραυνικής προστασίας
- Γ) σε ισοδύναμα υποβρύχια εξαρτήματα όπως στην παράγραφο της κεραυνικής γείωσης

3.2.1.4.9 Κεραυνική γείωση

- Η αντικεραυνική γείωση ενός σκάφους πρέπει να αποτελείται από μία οποιαδήποτε μεταλλική επιφάνεια βυθισμένη στο νερό υπό οποιοσδήποτε συνθήκες που να έχει εμβαδό τουλάχιστον 0,1m². Πρέπει να αποτελείται από τουλάχιστον ένα από τα ακόλουθα:

- A) μια εξωτερική πλάκα γείωσης ή ισοδύναμο, που να βρίσκεται πρακτικά όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη βάση του καταρτιού αντικεραυνικής προστασίας για να μειωθεί οποιαδήποτε οριζόντια ροή στον αγωγό γείωσης αντικεραυνικής προστασίας
- B) μια εξωτερική λωρίδα γείωσης από χαλκό, κράμα χαλκού, ανοξειδωτο ατσάλι ή αλουμίνιο που να έχει ελάχιστο πάχος 5mm και ελάχιστο πλάτος 19mm

- Οι ακμές της εξωτερικής πλάκας ή λωρίδας γείωσης πρέπει να είναι αιχμηρές, εκτεθειμένες και όχι στεγανοποιημένες και στρογγυλεμένες στην περιοχή πρόσδεσης.

Σημείωση: μια λωρίδα γείωσης πλάτους περίπου 20mm και μήκους 4m έχει ουσιαστικά πολύ μεγαλύτερη περιοχή ακμής εκτεθειμένη στο νερό που, σε σύγκριση με την πλάκα γείωσης, βελτιώνει την διάχυση των φορτίων.

- Η λωρίδα γείωσης, αν χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει να εκτείνεται από ένα σημείο που θα βρίσκεται όσο είναι πρακτικά δυνατόν πλησιέστερα στη βάση του αντικεραυνικού καταρτιού, προς την κατεύθυνση της πρύμνης όπου θα μπορεί να γίνει μια άμεση σύνδεση με τη μηχανή του σκάφους.
- Οι μεταλλικές επιφάνειες του πηδαλίου, τα υποστηρίγματα και οι μόνιμες ή αφαιρούμενες καρίνες ή η πλάκα γείωσης των ραδιοπομπών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξωτερική πλάκα γείωσης αν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις εμβαδού επιφάνειας και θέσης
- Ένας μεταλλικός σκελετός σκάφους από μόνος του αποτελεί επαρκή πλάκα γείωσης.

3.2.1.5 Σκάφη με μεταλλικούς σκελετούς

- Αν υπάρχει ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ μεταλλικού σκελετού και αντικεραυνικού καταρτιού ή άλλης μεταλλικής υπερδομής επαρκούς ύψους σύμφωνα με την παράγραφο της αντικεραυνικής προστασίας, δεν χρειάζεται καμία περαιτέρω αντικεραυνική προστασία

3.2.1.6 Ιστιοφόρα με μη μεταλλικούς σκελετούς

- Μεταλλικές βάσεις και καλύμματα, μεταλλικά κατάρτια και ράγες πανιών σε μη μεταλλικά κατάρτια πρέπει να γειώνονται.
- Η γείωση άλλων αντικειμένων στα ιστιοφόρα πρέπει να είναι σε συμφωνία με την παράγραφο της αντικεραυνικής προστασίας.
- Σκάφη με πολλούς σκελετούς πρέπει να παρέχουν γείωση αντικεραυνικής προστασίας σύμφωνα με την παράγραφο της κεραυνικής γείωσης για κάθε σκελετό που έχει συνημμένα ή προσκολλημένα σε αυτόν αντικείμενα που πρέπει να γειωθούν.

3.2.1.7 Μηχανοκίνητα σκάφη με μη μεταλλικούς σκελετούς

- Τα μηχανοκίνητα σκάφη μπορούν να είναι επαρκώς προστατευμένα από μια γειωμένη κεραία τηλεπικοινωνιών, έναν γειωμένο εκπομπό ή άλλο γειωμένο αντικεραυνικό κατάρτι σε συμφωνία με την παράγραφο που περιγράφεται η εγκατάσταση, αρκεί το ύψος του καταρτιού να συμμορφώνεται με εκείνο που περιγράφεται για την κατάλληλη ζώνη προστασίας.
- Η διασύνδεση και η γείωση μεταλλικών μαζών πρέπει να έρχεται σε συμφωνία με την παράγραφο που αναφέρεται στην εγκατάσταση του συστήματος.

3.2.2 IEC 60092-507

Το κεφάλαιο 13.8 του προτύπου IEC 60092-507 ασχολείται με την αντικεραυνική προστασία σε σκάφη που έχουν χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντίστοιχη παράγραφο της γείωσης του εν λόγω προτύπου βρισκόμενη στην παράγραφο 4.2 της εργασίας.

Πιο αναλυτικά οι προτάσεις του προτύπου είναι:

- Τα σκάφη μη μεταλλικής κατασκευής ή με μη μεταλλικά κατάρτια (ιστιοπλοΐας) πρέπει να είναι εξοπλισμένα με αντικεραυνική προστασία.
- Οι αγωγοί καθόδου της αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από χαλκό και η διατομή τους δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 70 mm². Οι αγωγοί πρέπει να τοποθετηθούν σε μια επαφή από χαλκό με διάμετρο όχι μικρότερη από 12mm² και θα πρέπει να προεξέχει από την κορυφή του καταρτιού για τουλάχιστον 300mm .
- Το κατώτερο άκρο του καλωδίου πρέπει να συνδεθεί στη γείωση.
- Οι αγωγοί καθόδου των αλεξικέραυνων πρέπει να βρίσκονται έξω από το σκάφος. Η διαδρομή τους θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ευθεία, αποφεύγοντας μικρές καμπύλες.
- Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο βιδωτές ,καρφωμένες ή συγκολλημένες συνδέσεις.
- Εάν το κύτος είναι κατασκευασμένο από μέταλλο, το κάτω άκρο των αγωγών καθόδου πρέπει να είναι γειωμένο σε αυτό.
- Αν το κύτος είναι μη-μεταλλικό, το κάτω άκρο των αγωγών καθόδου θα πρέπει να είναι συνδεδεμένο με ένα σημείο γείωσης από χαλκό ή άλλο αγώγιμο υλικό συμβατό με το νερό της θάλασσας και με επιφάνεια όχι μικρότερη από 0,25m² περίπου, τοποθετημένο στο έξω μέρος του κύτους σε μια περιοχή που προορίζεται για το σκοπό αυτό και τοποθετείται κάτω από την ίσαλο γραμμή , έτσι ώστε να παραμένει βυθισμένο σε όλες τις συνθήκες κλίσης του κύτους .
- Το σημείο γείωσης του αλεξικέραυνου πρέπει να υπάρχει και να είναι διαχωρισμένο από την πλάκα γείωσης που χρησιμοποιείται για τη γείωση του συστήματος ισχύος ή του συστήματος σύνδεσης στη γείωση.

3.2.3 Bureau Veritas NR 566

Ο οργανισμός Bureau Veritas ιδρύθηκε το 1828 και δραστηριοποιείται σε διάφορους τομείς σχετικούς με την πιστοποίηση, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται και η ναυτιλία. Στο πρότυπο του Γαλλικού αυτού νηογνώμονα, η αντικεραυνική προστασία αναλύεται στην παράγραφο 3.18. Σύμφωνα λοιπόν με το κείμενο, η αντικεραυνική προστασία πρέπει να παρέχεται ως εξής:

- Τα σκάφη με μη μεταλλικό σκελετό πρέπει να φέρουν αγωγό αντικεραυνικής προστασίας. Το κατώτερο μέρος του αγωγού αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να συνδεθεί σε πλάκα γείωσης χαλκού ή άλλου αγώγιμου υλικού συμβατού με το θαλάσσιο νερό, επιφάνειας όχι μικρότερης του 0.25m^2 . Η πλάκα αυτή πρέπει να είναι ασφαλώς προσδεμένη στο εξωτερικό μέρος του σκελετού του πλοίου σε θέση που προορίζεται γι' αυτό το σκοπό και που βρίσκεται κάτω από την ίσαλο γραμμή σε συνθήκες μικρής φόρτωσης του πλοίου ούτως ώστε να είναι βυθισμένη υπό οποιεσδήποτε συνθήκες πλεύσης. Η πλάκα γείωσης του αγωγού αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι πρόσθετη και ξεχωριστή από την πλάκα γείωσης που αναφέρεται στον Τομέα 4 και παράγραφο 7.4.2 του εγγράφου (βλ. κεφάλαιο 3.3.5 της εργασίας).
- Σε σκάφη με μεταλλικό σκελετό που φέρουν μη μεταλλικά κατάρτια πρέπει να παρέχεται αγωγός αντικεραυνικής προστασίας. Το κατώτερο μέρος του αγωγού αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να συνδεθεί στο μεταλλικό σκελετό του πλοίου.
- Σε σκάφη με μεταλλικό σκελετό αν υπάρχει ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ του σκελετού του πλοίου και των καταρτιών αντικεραυνικής προστασίας ή άλλων μεταλλικών υπερδομών επαρκούς ύψους, δεν χρειάζεται περαιτέρω αντικεραυνική προστασία.
- Οι αγωγοί αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι φτιαγμένοι από χαλκό (σε λωρίδα ή πολύκλωνο) και δεν πρέπει να είναι μικρότεροι από 70mm^2 σε διατομή. Πρέπει να προσδεθούν σε χάλκινο καρφί διαμέτρου όχι μικρότερης των 12mm που να προεξέχει για τουλάχιστον 300mm πάνω από την κορυφή του καταρτιού. Το κατώτερο άκρο του αγωγού πρέπει να γειωθεί.
- Οι αγωγοί αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να εγκατασταθούν εξωτερικά του σκάφους και η διαδρομή τους πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ευθεία. Οι απότομες αλλαγές πορείας πρέπει να αποφεύγονται.
- Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο βιδωμένες, θηλυκωμένες ή συγκολλημένες ενώσεις.

3.2.4 ABYC

TE-4 Αντικεραυνική προστασία

Το κεφάλαιο αυτό, από E-4 που ήταν προηγουμένως, υποβαθμίστηκε σε τεχνικό έγγραφο (TE). Αυτό το τεχνικό έγγραφο εφαρμόζεται σε ιστιοφόρα και ταχύπλοα αν υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.

Η προστασία των ατόμων και του ίδιου του σκάφους από τον κεραυνό εξαρτάται από το συνδυασμό σχεδίασης και συντήρησης εξαρτημάτων. Οι οδηγίες του κειμένου πρέπει να ληφθούν υπόψιν στη σχεδίαση και εγκατάσταση συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Πάντως, λαμβάνοντας υπόψιν το μεγάλο εύρος της δομικής σχεδίασης των σκαφών και την απρόβλεπτη φύση του κεραυνού, δεν μπορούν να γίνουν συγκεκριμένες προτάσεις που να καλύπτουν όλες τις επιμέρους περιπτώσεις άρα δεν συνεπάγεται πλήρης προστασία εξοπλισμού ή προσωπικού.

3.2.4.1 Ορισμοί

Τερματικό αέρα - το υψηλότερο σημείο του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας που έχει ως σκοπό να προσελκύσει τον κεραυνό στο σύστημα γείωσης

Κεραυνικός αγωγός ζεύξης - αγωγός προορισμένος να χρησιμοποιηθεί για την εξίσωση του δυναμικού μεταξύ μεταλλικών σωμάτων και του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας

Τερματικό γείωσης κεραυνού – συσκευή που άγει το κεραυνικό ρεύμα από το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας στο νερό

Κατάρτι αντικεραυνικής προστασίας - αγωγή κατασκευή ή μέσο ηλεκτρικής σύνδεσης του τερματικού αέρα με την πλάκα αντικεραυνικής γείωσης

Κύριος κεραυνικός αγωγός - αγωγός που εγκαθίσταται για να συνδέσει το τερματικό αέρα με το τερματικό γείωσης κεραυνού

Δευτερέων κεραυνικός αγωγός – αγωγός που συνδέει τις αγωγίμες προσαρμογές, όπως το πλέγμα ενός ιστιοφόρου, στον κύριο κεραυνικό αγωγό ή στο τερματικό γείωσης κεραυνού

Πλευρική εκκένωση - εκφόρτιση που συμβαίνει μεταξύ του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας και οποιουδήποτε μεταλλικού αντικειμένου ή μεταξύ οποιουδήποτε αγωγού επί του σκάφους και του νερού

Απόσταση πλήγματος – η τελική απόσταση που γεφυρώνεται από τον κεραυνό όταν αυτός συναντά ένα γειωμένο αντικείμενο

Ζώνη προστασίας – ένας κωνοειδής χώρος, που βρίσκεται κάτω από το γειωμένο τερματικό αέρα, κατάρτι ή υπερυψωμένο καλώδιο γείωσης, του οποίου ο κίνδυνος να πληγεί από άμεσα κεραυνικά πλήγματα μειώνεται σημαντικά.

3.2.4.2 Γενικές πληροφορίες

- Κάθε κύριος αγωγός πρέπει να έχει αντίσταση όχι μεγαλύτερη από αυτήν αγωγού χαλκού 21.2mm^2 (#4AWG) ίδιου μήκους.
- Κάθε δευτερεύον αγωγός, πρέπει να έχει αντίσταση όχι μεγαλύτερη από αυτήν αγωγού χαλκού 13.3mm^2 (#6AWG) ίδιου μήκους.
- Για να εξασφαλιστεί το αγωγή μονοπάτι μεταξύ του τερματικού αέρα και του νερού για την επαρκή εκφόρτιση κεραυνικών ρευμάτων, το σύστημα πρέπει να αποτελείται από αγωγούς που να είναι απαραίτητα κάθετοι και ευθείοι.

3.2.4.2.1 Αγωγοί

- Οι αγωγοί πρέπει να είναι από επικασσιτερωμένο πολύκλωνο χαλκό, Τύπου II για αγωγό 21.2mm^2 ή λιγότερο και πολύκλωνο χαλκό Τύπου III για αγωγό 21.2mm^2 ή μεγαλύτερο και σε συμμόρφωση με τους κανονισμούς ABYC E-11
- Ο κύριος αγωγός δεν πρέπει να αποτελείται από χάλκινη κορδέλα.
- Κορδέλες ή λωρίδες που χρησιμοποιούνται ως δευτερεύοντες αγωγοί δεν πρέπει να έχουν μεγαλύτερη αντίσταση από το αντίστοιχο σύρμα και πρέπει να έχουν ελάχιστο πάχος 0.8mm .
- Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται χάλκινη θωράκιση.
- Τελικοί υποδοχείς και συνδέσεις από πλέγμα ανοξειδωτού χάλυβα, αυξάνουν την πιθανότητα ψηλής αντίστασης. Το πλέγμα δεν παρέχει αξιόπιστο μονοπάτι προς τη γη.
- Αλουμινένιο κατάρτι εμβαδού 100mm^2 θεωρείται επαρκής αγωγός.

3.2.4.2.2 Τερματικό αέρα

- Το τερματικό αέρα πρέπει να έχει διάμετρο τουλάχιστον 9.5mm όταν είναι χάλκινο ή 12.7mm όταν είναι αλουμινένιο και πρέπει να εκτείνεται για τουλάχιστον 152mm πάνω από την κορυφή του καταρτιού αντικεραυνικής προστασίας, με την πλευρά που είναι εκτεθειμένη στα σύννεφα να πρέπει να είναι στρογγυλεμένη.

- Τα μέσα σταθεροποίησης του τερματικού αέρα στο κατάρτι πρέπει να παρουσιάζουν αντίσταση όχι μεγαλύτερη από αυτήν του κύριου κεραυνικού αγωγού.
- Σκάφη με αγείωτα ή μη αγωγή αντικείμενα που προεξέχουν από τα αντικεραυνικά κατάρτια ή υπερδομές, μπορούν να προστατεύσουν αυτά τα αντικείμενα με έναν αγωγό γείωσης που θα καταλήγει σε τερματικό αέρα πάνω από το εκάστοτε αντικείμενο.
- Αν υπάρχει κεραία τύπου «μαστίγιο», τότε αυτή δεν πρέπει να καθιλώνεται στη διάρκεια καταιγίδας αν έχει σχεδιαστεί ως μέρος του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας.

3.2.4.2.3 Διασύνδεση

- Κάθε μεταλλικό περίβλημα και βάση πρέπει να συνδεθεί απευθείας στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας με τουλάχιστον δευτερεύοντα αγωγό.
- Μεγάλα μεταλλικά αντικείμενα (δεξαμενές, μηχανές, βίντσια κτλ) εντός ακτίνας 1.8m από κάθε κεραυνικό αγωγό, πρέπει να συνδεθούν στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας μέσω ενός τουλάχιστον δευτερεύοντος αγωγού.
- Αν το πλαίσιο ηλεκτρικών συσκευών είναι εσωτερικά συνδεδεμένο στο DC αρνητικό και το αρνητικό καλώδιο είναι μικρότερο από 13.3mm^2 , τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως δευτερεύον κεραυνικός αγωγός.
- Αν το πλαίσιο ηλεκτρικών συσκευών δεν είναι εσωτερικά συνδεδεμένο στο DC αρνητικό και το αρνητικό καλώδιο είναι 13.3mm^2 ή μεγαλύτερο, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί δευτερεύον κεραυνικός αγωγός.
- Επιπρόσθετα στα μεγάλα μεταλλικά σώματα του σκάφους μπορεί να περιλαμβάνονται άμβωνες πλήρης και πρύμνης, πηδάλια πλοήγησης, οριζόντια κάγκελα, κουπαστές, καμινάδες, ηλεκτρικά βίντσια, κρεμαστάρια λέμβων, μεταλλικές καταπακτές, μεταλλικές καμάρες, πυργίσκοι, μηχανές, δεξαμενές νερού και καυσίμων και βάσεις τιμονιού.
- Δεν είναι επιθυμητό να γειωθούν μικρά μεταλλικά αντικείμενα όπως πυξίδες, ρολόγια, κουτιά πρώτων βοηθειών και άλλα εργαλεία του σκάφους.
- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι ανθεκτικά στη διάβρωση. Η χρήση συνδυασμού μετάλλων που σχηματίζουν ζημιογόνα γαλβανικά ζεύγη, πρέπει να αποφεύγεται.
- Στις περιπτώσεις που είναι μη πρακτική η αποφυγή χρήσης συνένωσης ανόμοιων μετάλλων, η επίδραση της διάβρωσης μπορεί να μειωθεί με τη χρήση κατάλληλης επιψευδαργύρωσης, ή με χρήση ειδικών φινιρίσματος, όπως φινιρίσματα από ανοξείδωτο ατσάλι που χρησιμοποιείται μεταξύ αλουμινίου και κράματος χαλκού. Εξαιρώντας τη χρήση αγωγίμων υλικών που είναι ήδη μέρος της δομής του πλοίου (πχ αλουμινένια κατάρτια), στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο χαλκός. Όπου χρησιμοποιείται χαλκός, πρέπει

να είναι του τύπου που χρησιμοποιείται για συνήθεις εμπορικές ηλεκτρικές χρήσεις, γενικά καθορισμένου με αγωγιμότητα 98% όταν είναι ξεπυρωμένος.

- Οι αγώγιμες συνδέσεις πρέπει να γίνονται και να υποστηρίζονται σύμφωνα με το άρθρο E-11 του κανονισμού ABYC και δεν πρέπει να έχουν μεγαλύτερη αντίσταση από τους χρησιμοποιούμενους αγωγούς. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται κόλλα μετάλλων.
- Καμία καμπύλη του κύριου αγωγού δεν πρέπει να σχηματίζει γωνία μεγαλύτερη των 90° και όλες οι καμπύλες πρέπει να έχουν ακτίνα τουλάχιστον 20.3cm.

Στην Εικόνα 3.2.1.4 απεικονίζεται το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.

3.2.4.3 Ζώνη προστασίας

- Ένας γειωμένος αγωγός, ή αντικεραυνικό κατάρτι ύψους έως 30m, γενικά ελκύει το απευθείας κεραυνικό πλήγμα που διαφορετικά θα έπεφτε εντός ενός κωνικού χώρου. Η κορυφή αυτού του χώρου είναι το ανώτερο σημείο του αγωγού ή του καταρτιού αντικεραυνικής προστασίας, ενώ η βάση αυτού του χώρου είναι ένας κύκλος πάνω στην επιφάνεια του νερού με ακτίνα ίση με το ύψος του καταρτιού ή του αγωγού που αναφέρθηκε προηγουμένως.
- Τα τερματικά αέρα πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε η ζώνη προστασίας να καλύπτει ολόκληρο το σκάφος. Βλέπε Εικόνα 3.2.1.1.
- Για να καλυφθεί ένα σκάφος το μέγεθος του οποίου δεν καθιστά επαρκή τη χρήση ενός τερματικού αέρα, πρέπει να προστεθούν επιπλέον μέσα αντικεραυνικής προστασίας ώστε να σχηματιστούν αλληλεπικαλυπτόμενες ζώνες προστασίας που τελικά να εμπεριέχουν ολόκληρο το σκάφος.
- Η ζώνη προστασίας που προκύπτει από οποιαδήποτε επαλληλία καταρτιών ή άλλων υπερυψωμένων, αγώγιμων, γειωμένων αντικειμένων άνω των 30m μπορεί να προσδιοριστεί γραφικά χρησιμοποιώντας τη μέθοδο κυλιόμενης σφαίρας όπως αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 3.2.1.3. Το να αυξήσουμε το ύψος του καταρτιού πάνω από την απόσταση κεραυνικού πλήγματος (που γενικά θεωρείται 30m), δεν αυξάνει τον όγκο της περιοχής προστασίας. Κατάρτια χαμηλότερα των 30m παρέχουν ζώνη προστασίας. Βλέπε Εικόνα 3.2.1.1.

3.2.4.3.1 Εναλλακτικές στο αντικεραυνικό κατάρτι

- Αν το κατάρτι αποτελείται από μη μεταλλικό υλικό, ο σχετικός κεραυνικός ή γειωτικός αγωγός πρέπει, να είναι όσο το δυνατόν ευθύς, να είναι ασφαλώς προσδεμένος στο κατάρτι, να εκτείνεται τουλάχιστον 150mm πάνω από το κατάρτι, να καταλήγει σε τερματικό αέρα, και να οδηγείται όσο το δυνατόν πιο άμεσα στη σύνδεση γείωσης. Βλέπε Εικόνα 3.2.1.4. Αν χρησιμοποιείται

εκτομπός ως αντικεραυνικό κατάρτι, πρέπει να έχει αγωγιμότητα ίση ή λιγότερη από την αντίσταση του κύριου αγωγού.

3.2.4.3.2 Ανθρακονήματα

- Αν και μερικώς αγωγή, τα υλικά από ανθρακονήματα όπως και τα κατάρτια από ανθρακονήματα, θεωρούνται μη αγωγή (μη μεταλλικά) για τους σκοπούς αυτού του εγγράφου. Ως προς την αντικεραυνική προστασία, τα κατάρτια από ανθρακονήματα, πρέπει να έχουν επιπροσθέτως τερματικό αέρα και κύριο αγωγό όπως περιγράφεται σε άλλες παραγράφους του εγγράφου. Αν ο σκελετός ή άλλες δομές περιέχουν ανθρακονήματα, οι κεραυνικοί αγωγοί, πρέπει να μονώνονται από αυτά.

3.2.4.4 Τερματικό κεραυνικής γείωσης

- Το τερματικό κεραυνικής γείωσης ενός σκάφους πρέπει να αποτελείται από μία μεταλλική επιφάνεια (χαλκός, κράμα χαλκού, ανοξείδωτο ατσάλι, αλουμίνιο ή μόλυβδος) πάχους 5mm, που είναι σε επαφή με το νερό και που έχει εμβαδό τουλάχιστον 0,1mm². Πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο ευθεία κάτω από το αντικεραυνικό κατάρτι για να ελαχιστοποιηθούν τα οριζόντιες διαρροές του κύριου αγωγού.
- Οι προπέλες, οι άξονες, τα πηδάλια και οι άλλες μεταλλικές επιφάνειες με το κατάλληλο εμβαδό, μπορούν επιτυχώς να χρησιμοποιηθούν ως τερματικά κεραυνικής γείωσης μόνο όπου το κατάρτι αντικεραυνικής προστασίας βρίσκεται πάνω από τα υποθαλάσσια μεταλλικά αντικείμενα που λειτουργούν ως γείωση αντικεραυνικού συστήματος. Ο αγωγός σύνδεσης πρέπει να είναι τουλάχιστον αντίστοιχος με τον κύριο αγωγό.
- Τα πηδάλια, τα αντίβαρα της καρίνας, οι εξισορροπητές ή κάθε μεταλλική προσθήκη με τουλάχιστον μία εξωτερική όψη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συμπληρωματική γείωση, εφόσον τηρούν τις απαιτήσεις που έχουν προαναφερθεί σε αυτό το έγγραφο, όπως το ότι ο αγωγός σύνδεσης πρέπει να είναι τουλάχιστον αντίστοιχος με τον δευτερεύοντα αγωγό. Αν το πηδάλιο χρησιμοποιείται για γείωση, ο κεραυνικός αγωγός, πρέπει να συνδέεται απευθείας στον άξονα του πηδαλίου ή στο μεταλλικό κολάρο.
- Με σκοπό την αποφυγή οριζόντιας διαδρομής των γειωτικών αγωγών, τα σκάφη που χρησιμοποιούν γειωτική πλάκα ή λωρίδα τοποθετημένη μπροστά, θα πρέπει να γειώσουν τα όποια μεταλλικά αντικείμενα βρίσκονται πίσω στον αρνητικό ακροδέκτη της μηχανής, σε ένα μεταλλικό πηδάλιο ή σε άλλο εξωτερικό

αντικείμενο στην πρύμνη του σκάφους. Αυτές οι γειώσεις πρέπει να διασυνδεθούν με την πλάκα ή λωρίδα γείωσης που βρίσκεται προς την πλώρη.

- Η πλάκα ή λωρίδα πρέπει να είναι τοποθετημένη έτσι ώστε να είναι βυθισμένη υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Όλες οι συνδέσεις στη λωρίδα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ευθείς και σύντομες. Επιπρόσθετες βίδες που διαπερνούν το σκελετό μπορούν να τοποθετηθούν κατά μήκος της λωρίδας για επιπλέον συνδέσεις.
- Η πρυμναία άκρη της λωρίδας γείωσης, πρέπει να συνδέεται απευθείας στο αρνητικό τερματικό της μηχανής. Έτσι παρέχουμε μονοπάτι για οποιοδήποτε διαφυγόν ρεύμα DC που μπορεί να προκύψει ανάμεσα στις βίδες που διαπερνούν το σκελετό και τη λωρίδα γείωσης.
- Η εναρκτήρια σπίθα που χρειάζεται για τη διάχυση του κεραυνού, είναι πιο πιθανόν να σημειωθεί σε αιχμηρές άκρες και γωνίες παρά σε επίπεδες επιφάνειες. Οι αιχμές της εξωτερικής πλάκας ή λωρίδας γείωσης, πρέπει να είναι αιχμηρές, εκτεθειμένες και όχι υδατοστεγώς σφραγισμένες ή στρογγυλεμένες στην περιοχή συγκόλλησης.
- Κάθε καρφί που διαπερνά το σκελετό του πλοίου και που συνδέει τον κεραυνικό αγωγό στο τερματικό γείωσης, πρέπει να έχει αγωγιμότητα όχι μικρότερη από αυτή του κύριου αγωγού.

3.2.4.5 Βαλβίδες εισροής-εκροής και διαμπερή αποσπώμενα μέρη του σκελετού

- Οι βαλβίδες εισροής- εκροής νερού και τα διαμπερή αποσπώμενα μέρη του σκελετού του σκάφους, αν συνδέονται με τη γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας, τότε δεν πρέπει να συνδέονται στον καθοδικό αγωγό. Πρέπει να συνδέονται στην πλάκα ή λωρίδα γείωσης με τουλάχιστον δευτερεύοντα αγωγό.
- Τα σκάφη με πολλές καρίνες, πρέπει να έχουν σύνδεση αντικεραυνικής γείωσης σύμφωνα με το κεφάλαιο «Γενικές πληροφορίες» του εγγράφου, για κάθε καρίνα που φέρει αντικείμενα προς γείωση.

3.2.4.6 Σκάφη με μεταλλικό σκελετό

- Αν εξασφαλίζεται η ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ του μεταλλικού σκελετού και του καταρτιού ή άλλης μεταλλικής υπερδομής κατάλληλου ύψους σύμφωνα με τα προηγούμενα κεφάλαια, τότε δεν χρειάζεται καμία περαιτέρω πρόβλεψη αντικεραυνικής προστασίας.

3.2.4.7 Σκάφη χωρίς μόνιμο κατάρτι

- Τα σκάφη που δεν φέρουν μόνιμο κατάρτι πρέπει να προστατευτούν με προσωρινό αντικεραυνικό κατάρτι που θα εγείρεται όταν υπάρχουν οι ενδείξεις ότι είναι πιθανό να συμβεί κεραυνική εκφόρτιση. Το προσωρινό κατάρτι, πρέπει να είναι όσο το δυνατότερο κοντά στο γεωμετρικό κέντρο του σκάφους αλλά μπορεί και να απέχει από αυτό υπό την προϋπόθεση ότι η ζώνη προστασίας καλύπτει ολόκληρο το σκάφος. Η θέση του καταρτιού πρέπει να είναι τέτοια ώστε οι επιβαίνοντες στο σκάφος να μπορούν να μην έρχονται σε άμεση επαφή με αυτό. Αν το προσωρινό κατάρτι έχει ξεχωριστή βάση, τότε αυτή πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ψηλή και πρέπει να υπάρχει η απαραίτητη πρόβλεψη ώστε το αποσπώμενο κατάρτι να παραμένει στη θέση του σε συνθήκες κακοκαιρίας. Το προσωρινό αντικεραυνικό κατάρτι πρέπει να είναι μεταλλικό ή από άλλο υλικό αν φέρει κύριο καθοδικό αγωγό. Όπως περιγράφηκε παραπάνω, το προσωρινό κατάρτι πρέπει να συνδεθεί με βυθισμένη πλάκα γείωσης εμβαδού τουλάχιστον 0.1m^2 .

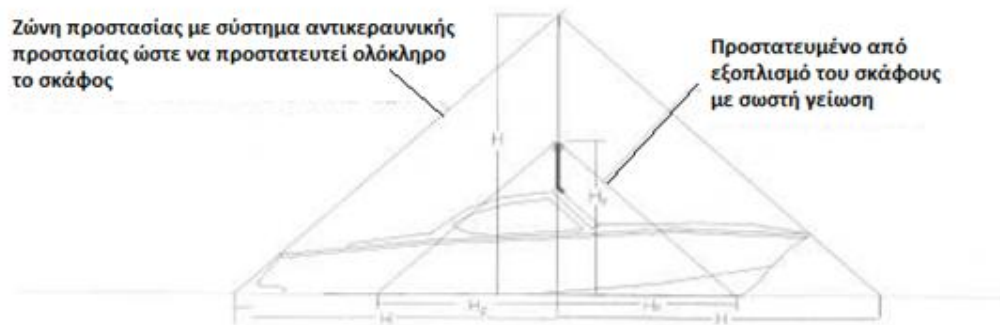
3.2.4.8 Συντήρηση

- Οι προβλέψεις για την αντικεραυνική προστασία είναι πιθανό να τύχουν ελλιπούς προσοχής μετά την εγκατάστασή τους. Πάντως η σύνθεση και η υλοποίηση της πρέπει να είναι συμπαγής και τα χρησιμοποιούμενα υλικά πρέπει να είναι πολύ ανθεκτικά στη διάβρωση.
- Η γείωση μεταλλικών αντικειμένων με σκοπό την αντικεραυνική προστασία αυξάνει την πιθανότητα επιβλαβούς γαλβανικής διάβρωσης.
- Αν ένα σκάφος έχει πληγεί από κεραυνό, οι πυξίδες, τα ηλεκτρικά και τα ηλεκτρονικά μέρη πρέπει να ελεγχθούν για πιθανές βλάβες ή αλλαγές στις ρυθμίσεις τους.

- Αν ένα σκάφος έχει πληγεί από κεραυνό, το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να ελεγχθεί για φυσικές βλάβες και για την ακεραιότητα και συνέχεια γείωσης του συστήματος.
- Αν ένα σκάφος έχει πληγεί από κεραυνό, πρέπει να ρυμουλκηθεί για επιθεώρηση του σκελετού, των υποθαλάσσιων δομών και των διαμπερών αποσπώμενων μερών του. Ο κεραυνός μπορεί να εξέλθει από μία ή περισσότερες θέσεις κάτω από την ίσαλο γραμμή και ο μη εντοπισμός των ζημιών από κεραυνικό πλήγμα μπορεί να έχει μεταγενέστερο αποτέλεσμα την εισροή υδάτων, τη βύθιση και τη μακροχρόνια βλάβη στο σκελετό του σκάφους.
- Για την προστασία του εξοπλισμού, όπου είναι δυνατόν, πρέπει αυτός να εσωκλείεται σε μεταλλικούς θαλάμους, οι οποίοι θα συνδέονται με το σύστημα αντικεραυνικής γείωσης με αγωγό διατομής τουλάχιστον 8.39mm^2 . Επίσης πρέπει να εγκαθίστανται συσκευές καταστολής υπερτάσεων σε όλες τις καλωδιώσεις που εισέρχονται ή εξέρχονται από τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό.
- Η γείωση μεταλλικών κεραιών τύπου ράβδου, παρέχει κάποια προστασία για σκάφη χωρίς κατάρτια ή δοκούς, με την προϋπόθεση ότι οι αγωγοί στο γειωτικό σύστημα της κεραιάς έχουν αγωγιμότητα αντίστοιχη με τον κύριο αγωγό, ότι η κορυφή της κεραιάς δεν βρίσκεται 30m πάνω από το νερό, ότι μια φανταστική γραμμή υπό γωνία 45° προς την κάθετη της κεραιάς δεν τέμνει καμία επιφάνεια του σκάφους (κόνος προστασίας) και ότι το πηνίο φόρτισης της κεραιάς είναι εξοπλισμένο με κατάλληλο εξοπλισμό για να παρακάμπτει το κεραυνικό ρεύμα.



Εικόνα 3.2.1.1: Ζώνη προστασίας για κατάρτι κάτω των 30m από το νερό



Εικόνα 3.2.1.2: Μέθοδος κώνου για κατάρτι ύψους κάτω των 30m από το νερό



Εικόνα 3.2.1.3: Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας



Εικόνα 3.2.1.4: Σύστημα αντικεραυνικής προστασίας

Σημείωση 1: Ο κύριος αγωγός συνδέεται απευθείας στη βυθισμένη πλάκα ή λωρίδα γείωσης

Σημείωση 2: Όλα τα απομονωμένα υπό άλλες συνθήκες μεταλλικά αντικείμενα εντός 1.8m από κεραυνικό αγωγό, πρέπει να συνδεθούν στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας τουλάχιστον μέσω δευτερεύοντος αγωγού ζεύξης

3.2.5 DEF STAN 02-51

Το πρότυπο αυτό εκδίδεται από την εκτελεστική αντιπροσωπεία του Υπουργείου Άμυνας του Ηνωμένου Βασιλείου και περιέχει αναλυτικές πληροφορίες για θέματα αντικεραυνικής προστασίας για διάφορες κατηγορίες πολεμικών σκαφών. Το γεγονός ότι το πρότυπο αυτό προέρχεται από στρατιωτικές υπηρεσίες το κάνει αυστηρό, συγκεκριμένο και κατατοπιστικό στο θέμα της αντικεραυνικής προστασίας που μας απασχολεί.

3.2.5.1 Προστασία έναντι πρωτευόντων αποτελεσμάτων

- Πρέπει να παρέχεται προστασία έναντι των άμεσων αποτελεσμάτων ενός κεραυνικού πλήγματος διασφαλίζοντας ότι υπάρχει ένα μονοπάτι χαμηλής αντίστασης μεταξύ των προτιμώμενων σημείων σύνδεσης του κεραυνού και της γείωσης στο οποίο τα κεραυνικά ρεύματα άγονται ασφαλώς.
- Το μονοπάτι χαμηλής αντίδρασης πρέπει να έχει υψηλή μηχανική αντοχή, επαρκή ικανότητα ροής ρεύματος και να αποτελείται από:
 - A) Ένα τερματικό αέρα ικανό να λαμβάνει ένα απευθείας κεραυνικό πλήγμα χωρίς να παθαίνει σημαντική βλάβη
 - B) Έναν αγωγό καθόδου που συνδέει το τερματικό αέρα με το τερματικό γείωσης
 - Γ) Ένα τερματικό γείωσης που μπορεί να άγει ασφαλώς ψηλά ρεύματα στη θάλασσα
- Τα προτιμώμενα σημεία σύνδεσης παρέχουν έναν βαθμό προστασίας έναντι απευθείας πληγμάτων σε μέρη που βρίσκονται εντός της ζώνης προστασίας που βρίσκεται κάτω από το τερματικό αέρα.
- Όλα τα μέρη του σκάφους πάνω από το επίπεδο του καταστρώματος (με εξαίρεση ειδικά προστατευμένες εγκαταστάσεις) πρέπει να βρίσκονται εντός της ζώνης προστασίας
- Τα μεταλλικά μέρη που μπορεί να δεχτούν κεραυνικό πλήγμα, ακόμα και αν βρίσκονται εντός της ζώνης προστασίας, πρέπει να συνδέονται μέσω ζεύξης στο πλησιέστερο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας με κεραυνική γείωση.

3.2.5.2 Προστασία έναντι δευτερευόντων αποτελεσμάτων

- Πρέπει να παρέχεται προστασία έναντι των δευτερευόντων αποτελεσμάτων ενός κεραυνικού πλήγματος διασφαλίζοντας ότι:
 - A) Η μόνωση μεταξύ των μερών είναι επαρκής για να αντέχει τάσεις που μπορεί να εμφανιστούν μεταξύ τους
 - B) Η τοποθέτηση αγωγίμων κυκλωμάτων όπως καλώδια και σωλήνες πρέπει να αποφεύγει μεγάλες επαγωγικούς βρόχους μειώνοντας τις επαγόμενες τάσεις.
 - Γ) Τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα «σκληραίνουν» με τη χρήση ηλεκτρικών πλαισίων και προστατευτικών διατάξεων όπως διακένων σπινθηρισμού.
 - Δ) Υπάρχει επαρκής ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ όλων των παρακείμενων μεταλλικών δομών και μερών.
- Ακόμα και αν το κεραυνικό πλήγμα συνδεθεί ικανοποιητικά και μεταφερθεί ασφαλώς στη θάλασσα, εξακολουθούν να υπάρχουν κίνδυνοι λόγω των δευτερευόντων αποτελεσμάτων που προκαλούνται από τη ροή του ρεύματος μέσα στο σκάφος και στο νερό πλησίον της γειωτικής πλάκας. Αυτοί οι κίνδυνοι μπορεί να είναι μοιραίοι αν οι τάσεις παράξουν σπινθήρες στον αέρα που βρίσκεται εντός των δεξαμενών καυσίμων.
- Οι δευτερεύουσες τάσεις μπορεί να είναι πτώσεις αντίστασης ή επαγόμενες από ροή που σχετίζεται με τη ροή κεραυνικού ρεύματος. Στη δεύτερη περίπτωση, το επαγωγικό ζεύγος μπορεί να βρίσκεται μεταξύ αγωγών του κυκλώματος προκαλώντας διαφορική τάση ή μεταξύ κάθε αγωγού προκαλώντας κανονική τάση.

3.2.5.3 Σχεδίαση για μεταλλικά σκάφη

- Τα υψηλά σημεία του σκάφους πρέπει να είναι ικανά να φέρουν τερματικά αέρα για το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας εκτός αν βρίσκονται ήδη εντός της ζώνης προστασίας ενός άλλου τερματικού αέρα.
- Το τερματικό αέρα πρέπει να αποτελείται από αγωγήμη ράβδο διαμέτρου τουλάχιστον 12mm και που θα προεξέχει τουλάχιστον 300mm από οποιοδήποτε σημείο είναι εγκατεστημένο. Πρέπει να είναι κατασκευασμένο από χαλκό, κράμα χαλκού ή ανοξείδωτο ατσάλι, εκτός αν υπάρχει αλουμινένιο κατάρτι όπου πρέπει να χρησιμοποιηθεί ίδιο είδος αλουμινίου.
- Μεταλλικά κατάρτια και δομικά στοιχεία μπορούν να αποτελούν τον καθοδικό αγωγό

- Τα μεταλλικά πλέγματα λειτουργούν επίσης ως καθοδικοί αγωγοί και συνεπώς πρέπει να είναι συνδεδεμένα μέσω ζεύξης στον κύριο καθοδικό αγωγό.
- Ο σκελετός του σκάφους λειτουργεί ως τερματικό γείωσης.
- Τα ψηλά καλώδια που διατρέχονται παράλληλα με τον καθοδικό αγωγό πρέπει να εσωκλείονται στο κατάρτι όπου αυτό είναι δυνατόν για να αποφεύγονται επαγόμενες τάσεις. Τα κατάρτια συνθετικής κατασκευής πρέπει να διατηρούν μόνιμες μεταλλικές συνδέσεις χαμηλής αντίστασης μεταξύ όλων των μερών

3.2.5.4. Σχεδίαση για μη μεταλλικά σκάφη

- Τα υψηλά σημεία του σκάφους πρέπει να είναι ικανά να φέρουν τερματικά αέρα για το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας εκτός αν βρίσκονται ήδη εντός της ζώνης προστασίας ενός άλλου τερματικού αέρα
- Το τερματικό αέρα πρέπει να αποτελείται από αγωγήμη ράβδο διαμέτρου τουλάχιστον 12mm και που θα προεξέχει τουλάχιστον 300mm από οποιοδήποτε σημείο είναι εγκατεστημένο. Πρέπει να είναι κατασκευασμένο από χαλκό, κράμα χαλκού ή ανοξείδωτο ατσάλι, εκτός αν υπάρχει αλουμινένιο κατάρτι όπου πρέπει να χρησιμοποιηθεί ίδιο είδος αλουμινίου.
- Η διαδρομή του καθοδικού αγωγού πρέπει να αποφεύγει επικίνδυνες περιοχές (δεξαμενές και χώρους αποθήκευσης πυρομαχικών) και πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ευθεία με ελάχιστη ακτίνα κάμψης δέκα φορές την αντίστοιχη διάμετρο του αγωγού. Ο αγωγός πρέπει να είναι ασφαλώς προσδεμένος στη δομή του σκάφους σε όλο το μήκος της διαδρομής με μέγεθος τουλάχιστον 75mm² χαλκού ή κράματος αλουμινίου.
- Διάφοροι τύποι ενώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά μήκος της διαδρομής αρκεί να ικανοποιούν τα ακόλουθα κριτήρια:
 - A) Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται συγκολλημένες συνδέσεις
 - B) Τα καλώδια πρέπει να τερματίζουν σε κατάλληλα συγκολλημένες προεξοχές
 - Γ) Το αγωγήμο μονοπάτι κάθε σύνδεσης δεν πρέπει να διασφαλίζεται από τις βίδες και τους σφικτήρες που συγκρατούν τις αγωγήμες περιοχές των μερών του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Το εμβαδό των αγωγήμων περιοχών στις συνδέσεις δεν πρέπει να είναι μικρότερο των 100mm² χαλκού ή αλουμινίου.
 - Δ) Οι συνδέσεις πρέπει να είναι ανθεκτικές στη διάβρωση. Πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα για συνδέσεις μεταξύ ασύμβατων μετάλλων.
 - E) Η ακεραιότητα των συνδέσεων πρέπει να επιβεβαιώνεται μετρώντας την αντίσταση μεταξύ του τερματικού αέρα και του τερματικού γείωσης το πολύ στα 0.02Ω.

ΣΤ) Οι συνδέσεις πρέπει να είναι προσβάσιμες για επιθεώρηση και να τοποθετούνται σε σημεία που δεν είναι πιθανό να δεχτούν βλάβες.

- Τα σκάφη με μη μεταλλικό σκελετό πρέπει να έχουν τερματικό γείωσης αντικεραυνικής προστασίας που διαπερνά το σκελετό και αποτελείται από μια μονίμως βυθισμένη αγωγίμη πλάκα με ένα συνδετικό στύλο. Αυτή ή πλάκα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως η κύρια ηλεκτρική γη του σκάφους.
- Η πλάκα γείωσης μπορεί να αποτελείται από οποιοδήποτε υλικό συμβατό με το νερό και που δεν αποτελεί κυψέλη ηλεκτροχημικής διάβρωσης με οποιοδήποτε άλλο μεταλλικό αντικείμενο όπως η προπέλα.
- Η πλάκα αυτή δεν πρέπει να βάφεται ή να καλύπτεται με οποιονδήποτε τρόπο
- Η πλάκα πρέπει να έχει σχήμα που να ταιριάζει με το σκάφος και να τοποθετείται σε σημείο που να διευκολύνει την καθετότητα του καθοδικού αγωγού.
- Το πάχος της πλάκας πρέπει να είναι τουλάχιστον 7mm για να αποφευχθεί διηλεκτρική διάσπαση του νερού στην επιφάνειά της όταν φέρει κεραυνικά ρεύματα. Το εμβαδό της πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.25m².
- Ιδεατά, η πλάκα πρέπει να είναι κυκλική και στρογγυλεμένη στις άκρες. Αν χρησιμοποιείται ορθογώνια πλάκα, πρέπει να έχει πλάτος τουλάχιστον 400mm, γωνίες με ελάχιστη ακτίνα 50mm.
- Ο συνδετικός στύλος της πλάκας γείωσης πρέπει να είναι του ίδιου υλικού με την πλάκα γείωσης και να έχει ελάχιστη διάμετρο 50mm.
- Πρέπει να παρέχεται δυνατότητα σύνδεσης της πλάκας αντικεραυνικής προστασίας με την ξηρά μέσω αγωγού εμβαδού 75mm².
- Η προσεκτική σχεδίαση μπορεί να εξασφαλίσει ότι οποιαδήποτε τάση παράγεται δευτερευόντως μπορεί να συγκρατηθεί σε τιμές κάτω των 2kV και ότι ο εξοπλισμός μπορεί να αντέξει τους παλμούς τάσης στους οποίους μπορεί να υποβληθεί. Οι τάσεις αυτές μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με το σχεδιασμό κυκλωμάτων γείωσης με τη σωστή χωροθέτηση των αγωγίμων κυκλωμάτων, με πλαισιωμένα καλώδια και με τη χρήση μόνωσης και προστατευτικών διατάξεων για τον εξοπλισμό.
- Κανονικά, τα μεταλλικά περιβλήματα γειώνονται στο σκελετό του πλοίου αλλά στα μη μεταλλικά σκάφη πρέπει να εγκατασταθεί ένα σύστημα αγωγών που να χρησιμοποιείται στη ζεύξη του εξοπλισμού με τη βυθισμένη πλάκα γείωσης. Παρότι η αντικεραυνική πλάκα γείωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως κύρια πλάκα γείωσης στο σκάφος, το σύστημα ζεύξης πρέπει να συνδέεται μόνο στην αντικεραυνική πλάκα γείωσης.
- Αν ένα κύκλωμα βρίσκεται εκτός πεδίου μαγνητικής ροής, τότε δεν μπορούν να επαχθούν σε αυτό τάσεις. Αυτό μπορεί να συμβεί αν θωρακίσουμε το κύκλωμα από τη ροή. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν θωρακισμένα δωμάτια ή κλωβοί για την προστασία μεγαλύτερου εξοπλισμού.

- Στην περίπτωση που η χρήση θωράκισης για σκοπούς αντικεραυνικής προστασίας έρχεται σε αντίθεση με τους σκοπούς της προστασίας από ραδιοπαρεμβολές, τότε πρέπει να δίνεται προτεραιότητα στο δεύτερο.

3.2.5.5 Αγώγιμοι Βρόχοι

- Όταν μαγνητική ροή λόγω κεραυνικών ρευμάτων σχετίζεται με ένα βρόχο, τότε επάγονται τάσεις σε αυτόν. Καθώς ο βρόχος δεν είναι απαραίτητα εξ' ολοκλήρου μεταλλικός, οι τάσεις συγκεντρώνονται στη μη μεταλλική περιοχή και μπορούν να προκαλέσουν ηλεκτρική διάσπαση. Τα μεταλλικά μέρη του βρόχου δεν είναι απαραίτητα καλώδια αλλά μπορεί να είναι σωλήνες ή άλλα μεταλλικά αντικείμενα της δομής.
- Η χωροθέτηση των αγώγιμων κυκλωμάτων πρέπει να είναι κατάλληλη για να αποφευχθεί ή να μειωθεί η επαγόμενη δευτερεύουσα τάση και για να βοηθηθεί η πρόβλεψη επαρκών επιπέδων μόνωσης.
- Η σύνδεση της ροής συμβαίνει στο βρόχο που σχηματίζεται μεταξύ του καθοδικού αγωγού και οποιουδήποτε ηλεκτρικού κυκλώματος που βρίσκεται κοντά στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Η τάση εξαρτάται από το εμβαδό του βρόχου ενώ η ισχύς διάσπασης εξαρτάται από τα διάκενα αέρα. Για να αποφευχθούν σπινθήρες, αν μέρη του κυκλώματος εξ ανάγκης πλησιάζουν τον καθοδικό αγωγό, τότε πρέπει αυτή η απόσταση να είναι όσο πιο μικρή γίνεται για να ελαχιστοποιηθεί το εμβαδό του βρόχου καθώς και η τάση διάσπασης μεταξύ κοντινών αντικειμένων.
- Η σύνδεση της ροής μπορεί να μειωθεί μειώνοντας το εμβαδό του βρόχου ή τοποθετώντας το κύκλωμα σε μια περιοχή χαμηλής πυκνότητας μαγνητικής ροής. Το εμβαδό που πρέπει να μειωθεί είναι αυτό της επιφάνειας που βρίσκεται στο επίπεδο που είναι ορθογώνιο στη ροή.
- Τα ηλεκτρικά κυκλώματα του ράδιο ή του ραντάρ που βρίσκονται στον αέρα και που μπορεί να υποστούν κεραυνικό πλήγμα, πρέπει να προστατεύονται από μια μη γραμμική συσκευή (σπινθηριστή ή συσκευή απομάκρυνσης απότομων υπερτάσεων). Διαφορετικά, πρέπει να λαμβάνονται μέτρα γείωσης σε περιόδους κεραυνικής δραστηριότητας.
- Μεταβατικές διατάξεις προστασίας και ο καλός σχεδιασμός των κυκλωμάτων μπορούν να παρέχουν προστασία για ευαίσθητα ηλεκτρονικά κυκλώματα.
- Σε μη μεταλλικά σκάφη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν περιφερειακές πλάκες γείωσης στις δεξαμενές καυσίμων για να μειώσουν τοπικά τη συσσώρευση τάσης εμποδίζοντας το σχηματισμό εσωτερικών σπινθήρων λόγω διάσπασης.

- Αν χρησιμοποιηθούν περιφερειακές πλάκες γείωσης, τότε όλοι οι σωλήνες και οι μεταλλικές δομές εντός της προστατευόμενης περιοχής, πρέπει να συζευχτούν με την πλησιέστερη περιφερειακή γείωση για να μειώσουν την πτώση αντίστασης και τις επαγόμενες τάσεις.
- Όλες οι αγώγιμες προεξοχές εντός της θάλασσας όπως προπέλες, πηδάλια κτλ πρέπει να μεταχειρίζονται ως περιφερειακές γειώσεις και να συζευχτούν στην αντικεραυνική γείωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΕΙΩΣΗΣ

Αντίθετα με τα πρότυπα που σχετίζονται με την αντικεραυνική προστασία, τα πρότυπα που σχετίζονται με τη γείωση είναι πολύ εκτενέστερα, γεγονός που δεν κάνει πρακτική την συνολική μεταφορά τους για τους σκοπούς της διπλωματικής εργασίας. Για το λόγο αυτό, απομονώθηκαν τα ενδιαφέροντα τμήματα, ενώ αρκετά κομμάτια που σχετίζονταν με πιο περιφερειακά θέματα γείωσης (π.χ. γείωση κατά τη σύνδεση του σκάφους με τροφοδοσία από ξηράς, συστήματα ανίχνευσης γης) δεν κρίθηκε σκόπιμο να ενσωματωθούν σε όλα τα αναφερόμενα πρότυπα για πρακτικούς λόγους, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι αγνοήθηκαν. Αντίθετα, δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση σε πιο ουσιαστικά ζητήματα, όπως στον τρόπο γείωσης που προτείνει το κάθε πρότυπο, στο ποια μέρη πρέπει να συνδέονται στο σύστημα γείωσης, στην προβλεπόμενη διαστασιολόγηση κ.α. ενώ τα περιφερειακά πρότυπα αναφέρονται λιγότερο εκτενώς.

Όμοια με τα πρότυπα που σχετίζονται με τα θέματα αντικεραυνικής προστασίας, έτσι και για τα πρότυπα γείωσης θα γίνει συγκεντρωτική ανάλυση στο τελευταίο κεφάλαιο, στο οποίο θα προταθούν επίσης και πιθανές λύσεις στις ασυμφωνίες που προκύπτουν μεταξύ των προτύπων τόσο στο κομμάτι της διατύπωσης όσο και στο κομμάτι της ουσιαστικής εφαρμογής των προβλεπόμενων.

Τα πρότυπα που θα αναλυθούν είναι τα εξής:

	Γείωση
Διεθνείς Οργανισμοί	IEEE 45 [24]
	IEC 60092-507
Εθνικοί Οργανισμοί	ABYC E-11 [25]
	DEF STAN 02-516
	Διεύθυνση Ηλεκτρικής Ασφάλειας Νορβηγίας [26]
	NVIC 2-89 [27]
	Bureau Veritas NR 566

Πίνακας 4.1: Πρότυπα γείωσης

4.1 IEEE 45

Το πρότυπο IEEE 45-2002 καλύπτει τις απαιτήσεις των γειώσεων για συστήματα χαμηλής και μέσης τάσης σε πλοία ενώ δεν καλύπτει τις απαιτήσεις σκαφών αναψυχής καθώς θεωρεί ότι αυτές καλύπτονται από άλλα εθνικά και διεθνή πρότυπα. Το κεφάλαιο που καλύπτει το θέμα της γείωσης είναι το 5.9.6 στο αρχικό κείμενο του προτύπου, ενώ στο κεφάλαιο 5.9.7 γίνεται λόγος για την ανίχνευση γείωσης. Με αυτά τα δύο κεφάλαια θα ασχοληθούμε για τις ανάγκες αυτής της παραγράφου

4.1.1 Γείωση συστήματος – γενικά

Ως προς τη χαμηλή τάση, οι τρεις συνιστώσες που λαμβάνονται υπόψιν για τη γείωση συστημάτων κάτω των 600V είναι:

- Μείωση δυνατότητας εμφάνισης μεταβατικών υπερτάσεων
- Συνέχιση παροχής υπηρεσίας για σφάλμα μεταξύ μιας φάσης και γης.
- Ελαχιστοποίηση ρεύματος σφάλματος γείωσης στο σκελετό του πλοίου.

Σύμφωνα με το παραπάνω πρότυπο, οι επιτρεπόμενες επιλογές γείωσης είναι:

- Αγείωτο σύστημα με όλους τους πιθανούς φορείς ρευμάτων απολύτως μονωμένους από τη γη με συνεχή παρακολούθηση σφάλματος γείωσης.
- Σύστημα γειωμένο με υψηλή αντίσταση, όπου σφάλματα μεταξύ μιας γραμμής και της γης περιορίζονται στα 5A. Ένα σύστημα γείωσης με υψηλή αντίσταση πρέπει να έχουν πρόβλεψη για συνεχή παρακολούθηση σφάλματος γείωσης. Επιπλέον, τα καλώδια που φέρουν αγωγούς ισχύος πρέπει να είναι εφοδιασμένα με εξοπλισμό γείωσης με αγωγούς διαστάσεων που συμμορφώνονται με τον πίνακα NEC 250-122 ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα τα ρεύματα σφάλματος γείωσης να ρέουν στο σκελετό του πλοίου.
- Συμπαγώς γειωμένο σύστημα μόνο για συστήματα που τροφοδοτούν φορτία μη κρίσιμης σημασίας. Όταν χρησιμοποιείται συμπαγώς γειωμένο σύστημα διανομής, ο ουδέτερος αγωγός πρέπει να είναι ευμεγέθης ώστε να αποτρέπει την υπερθέρμανση λόγω αρμονικής παραμόρφωσης από μη γραμμικά φορτία. Επιπλέον, τα καλώδια που φέρουν αγωγούς ισχύος πρέπει να είναι εφοδιασμένα με εξοπλισμό γείωσης με αγωγούς διαστάσεων που συμμορφώνονται με τον πίνακα NEC 250-122 ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα τα ρεύματα σφάλματος γείωσης να ρέουν στο σκελετό του πλοίου.

- Τα συστήματα μέσης τάσης μπορούν να γειωθούν μέσω αντίστασης ή αντίδρασης. Για περαιτέρω οδηγίες παραπεμπόμαστε σε αρμόδιους οργανισμούς πιστοποίησης.
- Το δευτερεύον τυλίγμα κάθε οργάνου και κάθε μετασχηματιστή ελέγχου πρέπει να γειώνεται στο περίβλημα.

4.1.2 Σημεία γείωσης

Για κάθε ξεχωριστής προέλευσης σύστημα ή κομμάτι του συστήματος που επιθυμούμε να λειτουργεί ως γειωμένο σύστημα, πρέπει να παρέχεται σύνδεση με το σύστημα γείωσης. Ξεχωριστά γειωμένα και αγείωτα συστήματα μπορούν να υπάρχουν σε ένα σκάφος αν αυτά απομονώνονται μέσω σει μηχανής-γεννήτριας ή μέσω μετασχηματιστών με ξεχωριστά τυλίγματα πρωτεύοντος και δευτερεύοντος.

Το σημείο γείωσης του συστήματος πρέπει να επιλέγεται στην παρακάτω βάση:

- Τριφασικό σύστημα: Στον ουδέτερο αγωγό
- Μονοφασικό σύστημα τριών καλωδίων: Στο μέσο της φάσης
- Μονοφασικό σύστημα δυο καλωδίων: Σε οποιοδήποτε αγωγό ισχύος

Επιπλέον: Η σύνδεση με τη γείωση του συστήματος ή των επιμέρους κομματιών του συστήματος πρέπει να γίνει το πλησιέστερο δυνατό στην πηγή ισχύος παρά κοντά στο άκρο του φορτίου. Πρέπει να υπάρχει μόνο ένα σημείο σύνδεσης με τη γείωση σε κάθε ξεχωριστά εκπορευόμενο γειωμένο σύστημα ανεξαρτήτως αριθμού πηγών ισχύος που λειτουργούν παράλληλα στο σύστημα. Όπου υπάρχουν πολλαπλές πηγές σε ένα ξεχωριστά εκπορευόμενο σύστημα, πρέπει να παρέχεται ένας μονωμένος δίαυλος γείωσης με μόνο ένα σημείο σύνδεσης με τη γη.

4.1.3 Ρυθμίσεις γείωσης

- Τα γειωμένα συστήματα χαμηλής τάσης (600V ή λιγότερο) πρέπει να είναι συμπαγώς γειωμένα ή γειωμένα μέσω υψηλής αντίστασης. Ωστόσο, μια γείωση χαμηλής σύνθετης αντίστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπου το μέγιστο ρεύμα σφάλματος που προκύπτει από ένα φασικό σφάλμα είναι αρκετά υψηλότερο από το μέγιστο σφάλμα τριών φάσεων. Η εν λόγω γείωση απαιτεί τη χρήση των διακοπών κυκλώματος με αυξημένες δυνατότητες διακοπής βραχυκυκλώματος, διαφορετικά θα ξεπερνούσαν η τιμή του ρεύματος την οποία αντέχουν τα τυλίγματα της γεννήτριας. Αν απαιτείται η χρήση αντίδρασης στη σύνδεση της

γείωσης, πρέπει να επιλεγθεί τιμή αντίδρασης τέτοια ώστε το φασικό ρεύμα σφάλματος να μην υπερβαίνει το ρεύμα σφάλματος τριών φάσεων.

- Η σύνδεση με το σκελετό του σκάφους πρέπει να γίνει σε ένα κατάλληλο δομικό πλαίσιο ή σε μια διαμήκη δοκό. Στην περίπτωση συστήματος μεγάλης χωρητικότητας, η σύνδεση πρέπει να γίνεται τόσο με το πλαίσιο όσο και με τη δοκό. Οι συσκευές γείωσης θα πρέπει να έχουν κλάση μόνωσης κατάλληλη για την ονομαστική πολική τάση του συστήματος. Οι θερμικές ικανότητες οποιασδήποτε εξωτερικής αντίστασης πρέπει να συμφωνούν με τα χαρακτηριστικά της συσκευής προστασίας από υπερτάσεις για την πηγή ισχύος ώστε να διασφαλιστεί ότι τα ρεύματα σφάλματος γείωσης θα διακοπούν πριν ξεπεραστεί το θερμικό όριο της συσκευής γείωσης.
- Για τα γειωμένα συστήματα πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα αποσύνδεσης κάθε γεννήτριας σε κάθε σύνδεση με τη γείωση ώστε να επιτραπεί ο έλεγχος της αντοχής της μόνωσης γεννήτριας προς τη γη, πριν η γεννήτρια συνδεθεί στο δίαυλο.

4.1.4 Επιστροφή μέσω του σκελετού του σκάφους

- Ο σκελετός του σκάφους δεν πρέπει να φέρει ρεύμα σαν αγωγός, εκτός αν πρόκειται για ρεύμα του συστήματος καθοδικής προστασίας ή για τοπικώς γειωμένα συστήματα (π.χ. συστήματα μπαταριών για εκκίνηση μηχανών με σύστημα ενός καλωδίου με το άλλο καλώδιο συνδεδεμένο στη μηχανή, συσκευές παρακολούθησης μόνωσης με ρεύμα που δεν ξεπερνά τα 30mA στη χειρότερη περίπτωση κ.α.).

4.1.5 Γείωση ουδέτερου

- Σε κάθε σύστημα προώθησης, ισχύος, φωτισμού ή διανομής που έχει ουδέτερο δίαυλο ή αγωγό, πρέπει αυτός να γειώνεται σε ένα μόνο σημείο. Το ουδέτερο σημείο ενός συστήματος διπλής τάσης (π.χ. τριφασικό ac τεσσάρων καλωδίων, dc τριών καλωδίων, μονοφασικό ac τριών καλωδίων) πρέπει να γειώνεται συμπαγώς στον πίνακα ελέγχου της γεννήτριας ή να εφάπτεται σε αυτόν. Όπου το γειωμένο σύστημα συμπεριλαμβάνει πηγή ισχύος, όπως έναν μετασχηματιστή, η σύνδεση του μοναδικού σημείου γείωσης πρέπει να γίνεται στον πίνακα ελέγχου ή διανομής της πηγής ισχύος ή να εφάπτεται σε αυτόν.

4.1.6 Γείωση συστημάτων παραγωγής και διανομής

- Ο ουδέτερος αγωγός κάθε γειωμένου συστήματος παραγωγής και διανομής πρέπει να γειώνεται στον πίνακα ελέγχου της γεννήτριας εκτός του ουδέτερου ενός συστήματος παραγωγής επείγουσας ανάγκης που θα πρέπει να γειώνεται χωρίς άμεση σύνδεση με τη γη στον πίνακα ελέγχου έκτακτης ανάγκης. Ο ουδέτερος δίαυλος του πίνακα ελέγχου έκτακτης ανάγκης πρέπει να είναι μόνιμα συνδεδεμένος με τον ουδέτερο δίαυλο του πίνακα ελέγχου λειτουργίας του πλοίου και κανένας διακόπτης ή ασφάλεια δεν πρέπει να είναι στον ουδέτερο αγωγό του συνδεδεμένου στο δίαυλο παροχέα που συνδέει τον κύριο πίνακα με τον πίνακα έκτακτης ανάγκης.
- Η σύνδεση με τη γείωση πρέπει να είναι προσβάσιμη για έλεγχο της αντοχής της μόνωσης της γεννήτριας προς τη γη προτού αυτή να συνδεθεί στο δίαυλο.
- Οι ασφάλειες δεν πρέπει και οι διακόπτες δεν χρειάζεται να υπάρχουν στον ουδέτερο αγωγό ενός κυκλώματος. Ο γειωμένος αγωγός ενός κυκλώματος δεν πρέπει να αποσυνδεθεί από έναν διακόπτη ή ασφάλεια εκτός αν αποσυνδεθούν ταυτόχρονα και οι αγείωτοι αγωγοί.
- Τα ουδέτερα πρωτεύοντα τυλίγματα ενός μετασχηματιστή μέσης τάσης δεν πρέπει να είναι γειωμένα εκτός αν όλες οι γεννήτριες είναι αποσυνδεδεμένες και γίνεται παροχή ισχύος από την ξηρά.

4.1.7 Δεξαμενόπλοιο με γειωμένα συστήματα διανομής

- Τα συστήματα διανομής με τάση χαμηλότερη των 1000V, πολική, σε δεξαμενόπλοια δεν πρέπει να γειώνονται. Αν η τάση του συστήματος διανομής σε ένα δεξαμενόπλοιο είναι μεγαλύτερη των 1000V, πολική, ενώ το σύστημα είναι γειωμένο, το οποιοδήποτε ρεύμα γείωσης προκύψει δεν πρέπει να ρέει μέσα από τις επικίνδυνες περιοχές του σκάφους.

4.1.8 Μέγεθος ουδέτερου αγωγού γείωσης

- Σε ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος, ο αγωγός που συνδέει το ουδέτερο του συστήματος με το μοναδικό σημείο γείωσης πρέπει να είναι ίσος σε χωρητικότητα με τον μεγαλύτερο αγωγό γεννήτριας που τροφοδοτεί το σύστημα ή αντίστοιχος για παραλληλισμένες γεννήτριες.

4.1.9 Ανίχνευση γης

4.1.9.1 Γενικά

- Τα μέσα, ώστε να παρακολουθείται συνεχώς και να αναφέρεται η κατάσταση της μόνωσης προς τη γη, θα πρέπει να παρέχονται για τα ηλεκτρικά συστήματα προώθησης και τις ολοκληρωμένες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, τις υπηρεσίες παροχής ισχύος εκτάκτου ανάγκης του πλοίου, τα συστήματα φωτισμού και τα συστήματα διανομής ισχύος και φωτισμού που απομονώνονται με μετασχηματιστές, γεννήτριες ή άλλες συσκευές από την κύρια ή έκτακτη παροχή του πλοίου.
- Στα αγείωτα συστήματα διανομής, πρέπει να εγκατασταθούν μία ή πολλές συσκευές που παρακολουθούν και καταγράφουν διαρκώς το επίπεδο μόνωσης δίνοντας ηχητική και οπτική προειδοποίηση σε περίπτωση μη κανονικής κατάστασης.
- Όταν ένα σκάφος είναι σχεδιασμένο για λειτουργία με μη επιτηρούμενους χώρους μηχανημάτων, πρέπει να συνδέονται συναγερμοί εντοπισμού γης στο σύστημα προειδοποίησης και παρακολούθησης μηχανημάτων.
- Οι ενδείξεις γείωσης για τα συστήματα κανονικού και έκτακτου φωτισμού καθώς και για τα συστήματα κανονικής ισχύος πρέπει να τοποθετούνται στον πίνακα ελέγχου υπηρεσιών του πλοίου. Οι ενδείξεις γείωσης για τα συστήματα έκτακτου φωτισμού και ισχύος πρέπει να τοποθετούνται στον πίνακα ελέγχου έκτακτης ανάγκης του πλοίου. Τέλος, οι ενδείξεις γείωσης τα ολοκληρωμένα συστήματα προώθησης πρέπει να τοποθετούνται στον κύριο πίνακα ελέγχου ισχύος του πλοίου. Όλες οι εν λόγω ενδείξεις πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμες.

4.1.9.2 Λάμπες ανίχνευσης γης σε αγείωτα συστήματα

- Η ανίχνευση γης για κάθε αγείωτο σύστημα θα πρέπει να έχει ένα σύστημα παρακολούθησης και καταγραφής το οποίο θα έχει μία λάμπα για κάθε φάση που είναι συνδεδεμένη μεταξύ φάσης και γης. Αυτή η λάμπα θα πρέπει να λειτουργεί σε περισσότερα από 5 W και λιγότερα από 24W στη μισή τάση κατά την απουσία γείωσης. Το σύστημα παρακολούθησης και καταγραφής θα πρέπει επίσης να έχει ένα κανονικά κλειστό διακόπτη, επιστροφής στο κανονικό, μεταξύ των φανών και της σύνδεσης γείωσης. Αν είναι εγκατεστημένοι λαμπτήρες και συνεχής παρακολούθηση γείωσης που χρησιμοποιούν επαλληλία τάσης συνεχούς ρεύματος (DC), ο διακόπτης δοκιμής θα πρέπει να δώσει προτεραιότητα στη συνεχή παρακολούθηση γείωσης ενώ θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για να προσδιορίσει ποια φάση έχει το πρόβλημα γείωσης ενεργοποιώντας τη λάμπα ανίχνευσης γης. Με τη συνεχή επιτόπου παρακολούθηση γείωσης συνδεδεμένη στο συναγερμό και στο σύστημα παρακολούθησης, θα πρέπει να εξετάζεται

εναλλακτική επιμέρους ένδειξη της φάσης σε βλάβη γείωσης. Αν χρησιμοποιούνται λαμπτήρες χαμηλής αντίδρασης, η συνεχής παρακολούθηση γείωσης διαβάξει σφάλμα γείωσης αντίστοιχο με την αντίδραση των λαμπτήρων που συνδέονται απευθείας στη γη.

- Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται συστήματα συνεχούς παρακολούθησης της γείωσης σε συστήματα που παρουσιάζουν μη γραμμικά φορτία, το σύστημα παρακολούθησης της γείωσης πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σωστά.

4.1.9.3. Ανίχνευση γείωσης σε συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος με γειωμένο ουδέτερο αγωγό

- Η ανίχνευση γείωσης για κάθε σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος που έχει γειωμένο ουδέτερο αγωγό, πρέπει να έχει ένα αμπερόμετρο και διακόπτη αμπερομέτρου που μπορεί να αντέξει το μέγιστο διαθέσιμο ρεύμα βλάβης χωρίς ζημιά. Το αμπερόμετρο πρέπει να δείχνει το ρεύμα στη σύνδεση γείωσης και πρέπει να έχει κλίμακα που με ακρίβεια, και με σαφή ορισμό, υποδεικνύει την τιμή του ρεύματος σε κλίμακα από 0 έως 10A.
- Το αμπερόμετρο και ο μετασχηματιστής ρεύματος θα πρέπει να είναι ένα σχεδιασμένα ώστε να μην καταστρέφονται από τα ρεύματα σφάλματος γείωσης. Όταν το αμπερόμετρο βρίσκεται σε απομακρυσμένο περίβλημα από τον μετασχηματιστή ρεύματος, μια κατάλληλη προστατευτική συσκευή θα πρέπει να παρέχεται για να αποφευχθεί υψηλή τάση στην περίπτωση του ανοικτοκυκλώματος. Ένας διακόπτης βραχυκυκλώματος πρέπει να συνδεθεί παράλληλα με την προστατευτική συσκευή, ώστε να μπορούμε να βραχυκυκλώσουμε χειροκίνητα το απομακρυσμένο μέρος του μετασχηματιστή ρεύματος.
- Για συστήματα γειωμένα μέσω υψηλής αντίστασης, πρέπει να συνδεθεί αμπερόμετρο ή βολτόμετρο με ενδείξεις της ροής ρεύματος γείωσης.

4.1.9.4 Γείωση εξοπλισμού

- Τα εκτεθειμένα μη ρευματοφόρα μεταλλικά μέρη του σταθερού εξοπλισμού, που μπορεί να γίνουν ηλεκτρικώς ενεργά λόγω κάποιας κατάστασης για την οποία η ρύθμιση και η μέθοδος εγκατάστασης δεν μπορούν να διασφαλίσουν θετική γείωση, πρέπει να γειώνονται μόνιμα μέσω ξεχωριστού αγωγού ή ιμάντα γείωσης, ασφαλώς προσδεδεμένου και προστατευμένου από φθορές.
- Το μεταλλικό κουτί κάθε οργάνου, ρελέ, ενδείξεως, και μετασχηματιστή οργάνου πρέπει να γειώνεται.
- Τα περιβλήματα των οργάνων και των μετασχηματιστών ελέγχου, πρέπει να γειώνονται στη δομή του πλοίου.

4.1.9.5 Μέθοδοι γείωσης εξοπλισμού

- Όλα τα μεταλλικά εξαρτήματα του ηλεκτρικού εξοπλισμού που δεν είναι ρευματοφόρα πρέπει να είναι γειωμένα αποτελεσματικά με τις παρακάτω μεθόδους. Τα μεταλλικά πλαίσια ή περιβλήματα της κάθε συσκευής πρέπει να είναι σε μεταλλική επαφή και σταθερά προσδεμένα με τον σκελετό του πλοίου, με την προϋπόθεση ότι οι επιφάνειες επαφής είναι καθαρές και απαλλαγμένες από σκουριά, άλατα και βαφές όταν εγκατασταθούν και πρέπει να είναι σταθερά στερεωμένα μεταξύ τους. Εναλλακτικά, θα πρέπει να συνδεθούν με το κύτος είτε απευθείας μέσω ιμάντα γείωσης ή, για φορητό εξοπλισμό, μέσω του ακροδέκτη γείωσης της υποδοχής εξόδου. Θα πρέπει να επιτευχθεί ανάγνωση $0,1\Omega$ ή λιγότερο (DC αντίσταση) μεταξύ ενός περιβλήματος εξοπλισμού και του παρακείμενου δομικού σημείου με δυναμικό γείωσης.
- Δεν πρέπει να βασιζόμαστε αποκλειστικά στα μεταλλικά περιβλήματα ή στη θωράκιση για την επίτευξη γείωσης εξοπλισμού. Τα μεταλλικά περιβλήματα και η θωράκιση πρέπει να γειώνονται μέσω του φινιρίσματος ή εγκεκριμένων καλωδίων, που απαριθμούνται, ή φέρουν σήμανση για το σκοπό αυτό και έχουν σχεδιαστεί για να εξασφαλίσουν την αποτελεσματική σύνδεση γείωσης. Ο σωλήνας στοιβάγματος πρέπει να είναι σταθερά στερεωμένος και σε αποτελεσματική ηλεκτρική επαφή με μια γειωμένη μεταλλική δομή. Οι αγωγοί πρέπει να είναι γειωμένοι με βίδωμα σε γειωμένο μεταλλικό περίβλημα, ή με παξιμάδια και στις δύο πλευρές του τοιχώματος ενός γειωμένου μεταλλικού περιβλήματος όπου οι επιφάνειες επαφής είναι καθαρές και απαλλαγμένες από σκουριά, άλατα, ή βαφή.
- Ως εναλλακτική λύση για τις μεθόδους που περιγράφονται στην ανωτέρω παράγραφο, η θωράκιση και οι αγωγοί μπορούν να είναι γειωμένοι με σφιγκτήρες ή κλιπ από μέταλλο ανθεκτικό στη διάβρωση, έχοντας αποτελεσματική επαφή με το περίβλημα ή τη θωράκιση και το γειωμένο μέταλλο. Όλες οι συνδέσεις με μεταλλικούς αγωγούς και με μεταλλικά περιβλήματα καλωδίων που χρησιμοποιούνται για εξασφάλιση της συνέχειας της αγωγιμότητας της γείωσης θα πρέπει να είναι σταθερά τοποθετημένες και να προστατεύονται από τη διάβρωση.
- Κάθε αγωγός γείωσης θα πρέπει να είναι από χαλκό ή άλλα υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση και πρέπει να εγκαθίσταται με ασφάλεια και, όπου απαιτείται, να προστατεύεται από ζημιές και ηλεκτρολυτική διάβρωση.
- Για ξύλινα και συνθετικά πλοία, ένας αγωγός συνέχειας γείωσης θα πρέπει να εγκατασταθεί για να διευκολύνει την γείωση εκτεθειμένων μεταλλικών μερών που δεν φέρουν ρεύμα. Ο αγωγός της γείωσης πρέπει να τερματίζει σε μια χάλκινη πλάκα της περιοχής όχι μικρότερη από $0,2 \text{ m}^2$ σταθεροποιημένη στην καρίνα κάτω από την ίσαλο γραμμή σε μια θέση που είναι πλήρως βυθισμένη υπό οποιεσδήποτε συνθήκες.
- Κάθε σύνδεση γείωσης προς το σκελετό του πλοίου (ή προς τον αγωγό συνέχειας της γείωσης σε ξύλινα και συνθετικά πλοία) θα πρέπει να γίνει σε μια προσιτή θέση και θα πρέπει να ασφαλιζεται με μια βίδα ή φινιρίσμα από ορείχαλκο ή άλλο

ανθεκτικό στη διάβρωση υλικό που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για το σκοπό αυτό.

- Όλες οι θωρακίσεις ή άλλα μεταλλικά καλύμματα καλωδίων πρέπει να είναι ηλεκτρικώς συνεχή καθ' όλο τους το μήκος και θα πρέπει να είναι σε αποτελεσματική γείωση στο σκελετό του πλοίου και στα δύο τους άκρα με εξαίρεση τα κυκλώματα διακλάδωσης (τελικά υποκυκλώματα) τα οποία μπορούν να είναι γειωμένα μόνο στο άκρο τροφοδοσίας. Το μεταλλικό πλέγμα ή περίβλημα θα πρέπει να τερματιστεί στο σωλήνα ή στο καλώδιο στοιβάγματος όπου το καλώδιο εισέρχεται στο περίβλημα και πρέπει να βρίσκονται σε καλή ηλεκτρική επαφή με το περίβλημα.
- Οι μέθοδοι διασφάλισης σύνδεσης κατασκευών αλουμινίου με το χάλυβα του σκελετού του πλοίου συχνά περιλαμβάνουν τη μόνωση για την αποφυγή γαλβανικής διάβρωσης μεταξύ αυτών των υλικών. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μια ξεχωριστή σύνδεση κόλλησης πρέπει να παρέχεται μεταξύ της κατασκευής και του σκελετού του πλοίου. Η σύνδεση πρέπει να γίνεται με τρόπο που να ελαχιστοποιεί τη γαλβανική διάβρωση και που να επιτρέπει την περιοδική επιθεώρηση.

4.1.9.6 Γείωση φορητού εξοπλισμού

- Οι φορητές ηλεκτρικές συσκευές που τροφοδοτούνται μέσω του ηλεκτρικού συστήματος του πλοίου θα πρέπει να έχουν όλα τα εκτεθειμένα μεταλλικά μέρη τους γειωμένα. Αυτό θα πρέπει να επιτυγχάνεται με ένα πρόσθετο αγωγό (πράσινο) στο φορητό καλώδιο και μια διάταξη γείωσης στην πρίζα και τον υποδοχέα. Περαιτέρω ασφάλεια μπορεί να παρέχεται με τη χρήση ενός μετασχηματιστή απομόνωσης. Οι φορητές ηλεκτρικές συσκευές με διπλή μόνωση δεν χρειάζεται να έχουν γειωμένα εκτεθειμένα μεταλλικά μέρη.

4.2 IEC 60092-507

Μεταξύ των κανόνων που έχουν θεσπιστεί από την οργάνωση IEC, εκείνοι της σειράς 60092 ασχολούνται με τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πλοίων. Ιδίως το IEC 60092-507 ασχολείται με τα ηλεκτρικά συστήματα του σκάφους και την εγκατάσταση γείωσης. Τα παρακάτω είναι κάποια ενδιαφέροντα μέρη του κειμένου, σχετικά με το σύστημα γείωσης. Η οδηγία στα ζητήματα που σχετίζονται με τη γείωση είναι οργανωμένη ως εξής:

4.2.1 Πεδίο εφαρμογής

Το παρόν κομμάτι της IEC 60092 καθορίζει τις απαιτήσεις για το σχεδιασμό, την κατασκευή και εγκατάσταση των ηλεκτρικών συστημάτων σε σκάφη αναψυχής. Ισχύει για τα σκάφη αναψυχής που πλέουν σε εσωτερικά ύδατα και σε εκείνα που πλέουν στην ανοιχτή θάλασσα.

Το παρόν πρότυπο ισχύει για τα ακόλουθα είδη ηλεκτρικών συστημάτων σε σκάφη αναψυχής με μήκος μεταξύ 2m και 50m, ή τα οποία έχουν ολική χωρητικότητα που δεν υπερβαίνει τους 500 κόρους ολικής χωρητικότητας (grt):

- μονοφασικά συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος που λειτουργούν σε ονομαστική τάση όχι μεγαλύτερη των 250V
- τριφασικά συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος που λειτουργούν σε ονομαστική τάση όχι μεγαλύτερη των 500V
- συστήματα συνεχούς ρεύματος που λειτουργούν σε ονομαστική τάση όχι μεγαλύτερη των 50V

Η παραπάνω οδηγία εφαρμόζεται επίσης σε τριφασικά συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος που λειτουργούν σε ονομαστική τάση όχι μεγαλύτερη των 500V σε σκάφη αναψυχής μικρότερα των 24m.

4.2.2. Ορισμοί

Χαμηλότερη τάση ασφαλείας: Τάση που δεν υπερβαίνει τα 50V ac ή 50V DC μεταξύ των αγωγών ή μεταξύ ενός αγωγού και γης, σε ένα κύκλωμα απομονωμένο από τα κυκλώματα υψηλότερης τάσης.

Εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη: Αγώγιμο μέρος των ηλεκτρικών εξαρτημάτων που μπορεί να αγγιχτεί και που ενώ κανονικά δεν είναι ενεργό, μπορεί να γίνει σε καθεστώς βλάβης.

4.2.3. Συστήματα διανομής

4.2.3.1 Κανονικά συστήματα διανομής σε d.c.

Τα συστήματα πρέπει να είναι:

- με δύο μονωμένα καλώδια ή
- με δύο καλώδια με ένα πόλο γειωμένο ή
- τριών καλωδίων με το κεντρικό σημείο στη γη, αλλά χωρίς επιστροφή ρευμάτων στο σκελετό του πλοίου.

4.2.3.2 Συνιστώμενες τιμές dc τάσεων

- Οι συνιστώμενες τιμές dc τάσεων είναι: 12 V, 24 V και 38 V.

4.2.3.3 Κανονικά συστήματα διανομής σε a.c.

Τα συστήματα πρέπει να είναι:

- τριφασικά, με τρία μονωμένα καλώδια, ή
- τριφασικά, τεσσάρων καλωδίων με το ουδέτερο γειωμένο αλλά χωρίς επιστροφή ρευμάτων στο σκελετό του πλοίου· ή
- μονοφασικά, με δύο μονωμένα καλώδια, ή
- μονοφασικά, με δύο καλώδια με ένα πόλο στο έδαφος· ή
- μονοφασικά, με δύο καλώδια με κεντρικό σημείο στη γη, για σκοπούς φωτισμού και για πρίζες ρεύματος ή
- μονοφασικά, τριών απολήξεων με κεντρικό σημείο στη γη, χωρίς επιστροφή ρευμάτων στο σκελετό του πλοίου.

4.2.3.4 Συστήματα διανομής σε σύνδεση με τη γη

- Η σύνδεση με τη γείωση ενός συστήματος, πρέπει να εκτελείται ανεξάρτητα από τον τρόπο διασύνδεσης των μεταλλικών μέρων που δεν φέρουν ρεύμα.
- Στη σύνδεση με τη γη του ουδέτερου πρέπει να τοποθετείται ένα αφαιρούμενο πλαίσιο έτσι ώστε να μπορεί να αποσυνδεθεί για συντήρηση και μέτρηση της αντίστασης της μόνωσης του συστήματος.

4.2.3.5 Σύνδεση με την ηπειρωτική χώρα (βλ. IEC 60674-7 -709)

- Πρέπει να παρέχεται ένας ακροδέκτης γείωσης για να συνδεθεί ο σκελετός του πλοίου στη «γη». Θα πρέπει να ληφθούν ιδιαίτερος υπόψη οι κίνδυνοι της ηλεκτρολυτικής διάβρωσης του κύτους του σκάφους. Ο ακροδέκτης γείωσης μπορεί να ενσωματωθεί στην συσκευή για σύνδεση με τη γείωση της ηπειρωτικής χώρας.
- Η σύνδεση πρέπει να ελέγχεται από ένα διακόπτη ή από μια επαφή, προστατευμένους από υπέρταση. Οι προστατευτικές διατάξεις πρέπει να ανοίξουν ταυτόχρονα όλους τους ενεργούς αγωγούς που δεν είναι γειωμένοι και τον ουδέτερο αγωγό. Η λειτουργία του αγωγού γείωσης δεν πρέπει να διακόπτεται από τη χρήση της συσκευής προστασίας από υπερτάσεις.

4.2.3.6 Προστασία από ηλεκτροπληξία

- Ο εξοπλισμός πρέπει να έχει ένα βαθμό προστασίας έναντι άμεσης επαφής τουλάχιστον IP2X ή IPXXB που να συμμορφώνεται με το έγγραφο EN 60529.

4.2.3.7 Προστασία από έμμεση επαφή

4.2.3.7.1 Προστασία μέσω αυτόματης αποσύνδεσης τροφοδοσίας

4.2.3.7.1.1 Γενικά

- Μια αυτόματη συσκευή προστασίας θα πρέπει να αποσυνδέει αυτόματα την τροφοδοσία του κυκλώματος ή του εξαρτήματος σε περίπτωση βλάβης ανάμεσα σε ένα ηλεκτρικά ενεργό στοιχείο και σε ένα εκτεθειμένο αγωγίμο στοιχείο.
- Για τα συστήματα που δεν συνδέονται με τη γείωση, επιτρέπεται ένα μοναδικό σφάλμα ανάμεσα σε ένα ενεργό μέρος και ένα αγωγίμο μέρος να επιβεβαιώνεται χωρίς αυτόματη αποσύνδεση, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει έλεγχος σχετικά με την κατάσταση της μόνωσης. Μια δεύτερη αποτυχία θα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα την αυτόματη αποσύνδεση. Μια τάση επαφής που υπερβαίνει τη

μέγιστη τάση ασφάλειας, όπως ορίζεται παραπάνω , θα πρέπει να διαρκέσει λιγότερο από το χρόνο που αρκεί για να προκαλέσει κίνδυνο φθοράς σε ανθρώπους .

4.2.3.7.1.2 Συστήματα συνδεδεμένα στη γείωση

- Στα γειωμένα συστήματα όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα της εγκατάστασης πρέπει να είναι συνδεδεμένα στο σημείο γείωσης του συστήματος ισχύος μέσω αγωγών προστασίας που πρέπει να γειωθούν με το σχετικό μετασχηματιστή ή τη γεννήτρια ή σε κοντινό χώρο. Στα γειωμένα συστήματα , η προστατευτική διάταξη πρέπει να είναι:

- A) μια συσκευή προστασίας από υπερτάσεις ή
- B) μια διαφορική διάταξη[28]

4.2.3.7.1.3 Συστήματα που δεν είναι συνδεδεμένα στη γείωση

- Για τα συστήματα που δεν συνδέονται με τη γείωση, η εγκατάσταση πρέπει να είναι απομονωμένη από τη γείωση ή συνδεδεμένη με τη γείωση μέσω μιας σύνθετης αντίστασης αρκετά υψηλής (η τιμή δεν προσδιορίζεται από το κείμενο). Αυτή η σύνδεση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σε ηλεκτρικά ουδέτερο σημείο του συστήματος.
- Τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα πρέπει να είναι ηλεκτρικώς γειωμένα.
- Για τα συστήματα που δεν συνδέονται με τη γείωση, η προστατευτική διάταξη πρέπει να είναι:

- A) μια συσκευή προστασίας από υπερτάσεις ή
- B) μια διαφορική διάταξη

- Η τροφοδοσία ρεύματος για της βασικές υπηρεσίες που δεν είναι εις διπλούν δεν πρέπει να αποσυνδεθεί από κάποιο μεμονωμένο σφάλμα γείωσης

4.2.3.7.2 Προστασία μέσω της χρήσης των εξαρτημάτων της κατηγορίας II

- Η προστασία μέσω της χρήσης εξαρτημάτων της κατηγορίας II, ή μέσω ισοδύναμης μόνωσης έχει προβλεφθεί για να αποφευχθεί η εμφάνιση επικίνδυνης ηλεκτρικής τάσης σε προσβάσιμα μέρη των ηλεκτρικών εξαρτημάτων εξαιτίας σφάλματος στην κύρια μόνωση (IEC 60536 και IEC 61140).

4.2.3.7.3 Προστασία με ηλεκτρικό διαχωρισμό

- Το κύκλωμα που χρησιμοποιεί τον εν λόγω ηλεκτρικό διαχωρισμό πρέπει να διαχωρίζεται από την εγκατάσταση τροφοδοσίας, με τρόπο τέτοιο ώστε, σε περίπτωση αποτυχίας στην μόνωση του διαχωρισμένου κυκλώματος, να μην μπορεί να προκύψει οποιαδήποτε επικίνδυνη τάση.

4.2.3.8 Καλώδια

4.2.3.8.1 Προσδιορισμός της διατομής των αγωγών

- Η ελάχιστη διατομή της σύνδεσης στη γη με χαλκό για τα εξαρτήματα θα πρέπει να είναι ως εξής :
 - A) Για τους αγωγούς συνέχειας της γείωσης (αγωγός προστασίας) σε ένα εύκαμπτο καλώδιο με:
 - διατομή ίση με αυτή του ρευματοφόρου αγωγού, αν αυτή είναι μικρότερη ή ίση των 16 mm^2 ή
 - διατομή ίση με το 50% του ρευματοφόρου αγωγού, εάν αυτό είναι μεγαλύτερο ή ίσο των 16 mm^2
 - B) Για τους αγωγούς της ηλεκτρικής συνέχειας της γείωσης ενσωματωμένους σε ένα σταθερό πολυπολικό καλώδιο με:
 - διατομή ίση με εκείνη των κύριων αγωγών, αν αυτή είναι μικρότερη ή ίση των 16 mm^2 , με ελάχιστο το $1,5 \text{ mm}^2$, ή
 - διατομή όχι μικρότερη από το 50% της διατομής του τμήματος του κύριου αγωγού, εάν η τελευταία είναι μεγαλύτερη από 16 mm^2 , με ένα ελάχιστο των 16 mm^2 .

4.2.3.9 Εγκαταστάσεις

4.2.3.9.1 Σύνδεση στη γη

- Κάθε σύνδεση γείωσης θα πρέπει να είναι χάλκινη ή αποτελούμενη από άλλο υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση, θα πρέπει να είναι εγκατεστημένη ασφαλώς και θα πρέπει να προστατεύεται από ζημιές και γαλβανική διάβρωση.
- Η ονομαστική διατομή ενός αγωγού διαχωρισμένου από τη γείωση δεν πρέπει να είναι μικρότερη του μισού της διατομής του ρευματοφόρου αγωγού, με ελάχιστη διατομή τα 3 mm^2 . Για τους ενσωματωμένους σε σταθερό καλώδιο αγωγούς συνέχειας της γείωσης οι διατομές πρέπει να συμμορφώνονται με την παράγραφο 4.2.3.8

- Τα μεταλλικά μέρη της ηλεκτρικής εγκατάστασης που είναι προσπελάσιμα, εκτός από εκείνα που φέρουν ρεύμα, πρέπει να συνδεθούν με τη γείωση
- Τα μεταλλικά περιβλήματα των ηλεκτρικών συσκευών θα πρέπει να συνδεθούν με το κοινό σύστημα γείωσης του σκάφους ή να είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με την αρχή της διπλής μόνωσης.
- Σε μη μεταλλικά σκάφη, πρέπει να παρέχεται σύνδεση μεταξύ της δομής της γεννήτριας, της βοηθητικής μηχανής, των μεταλλικών στοιχείων του συστήματος καυσίμου και της πλάκας γείωσης. Η πλάκα γείωσης πρέπει να είναι κατασκευασμένη από χαλκό ή άλλο αγωγίμο υλικό συμβατό με το νερό της θάλασσας και πρέπει να έχει επιφάνεια όχι μικρότερη από 0,25m² περίπου. Η πλάκα γείωσης πρέπει να τοποθετηθεί στο εξωτερικό του κύτους σε μια περιοχή που προορίζεται για το σκοπό αυτό και που πρέπει να βρίσκεται κάτω από την ίσαλο γραμμή στο κενό, έτσι ώστε να παραμένει βυθισμένη σε όλες τις συνθήκες κλίσης του σκάφους.
- Για μεταλλικά σκάφη, ιδίως αυτά που είναι κατασκευασμένα από κράμα αλουμινίου, τα συστήματα ελέγχου των κινητήρων εσωτερικής καύσης πρέπει να απομονωθούν από τη γείωση του κινητήρα.

Σημείωση: Για τα τελικά κυκλώματα, που τροφοδοτούν το βύσμα και της υποδοχές των σταθερών συσκευών που γειώνονται σε ένα δωμάτιο που χρησιμοποιείται ως καθαριστήριο ρούχων, ως μπάνιο ή σε παρόμοιους υγρούς χώρους, συνιστάται να χρησιμοποιηθεί η πρόσθετη προστασία που παρέχεται από μια διαφορική διάταξη.

4.2.3.10 Δοκιμές

- Πρέπει να εκτελούνται δοκιμές για να πιστοποιηθεί ότι όλοι οι αγωγοί συνέχειας της γείωσης και τα καλώδια σύνδεσης με τη γείωση είναι συνδεδεμένα στη δομή της κάθε συσκευής και στο σκελετό του σκάφους για μεταλλικά ή στην πλάκα γείωσης για μη μεταλλικά σκάφη. Πρέπει οι επαφές γείωσης των σταθερών πριζών να συνδέονται στη γη. Η μέγιστη τιμή της αντίστασης γείωσης πρέπει να είναι 1Ω.

4.3 Bureau Veritas NR 566

4.3.1 Συστήματα τροφοδοσίας

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ακόλουθα συστήματα διανομής:

α) σε εγκαταστάσεις DC:

- Σύστημα δύο καλωδίων μονωμένο (σ.σ. αγείωτο)
- Σύστημα δύο καλωδίων με το αρνητικό γειωμένο

β) σε εγκαταστάσεις AC:

- Μονοφασικό σύστημα δύο καλωδίων μονωμένο (σ.σ. αγείωτο)
- Μονοφασικό σύστημα δύο καλωδίων με γειωμένο ουδέτερο σημείο
- Τριφασικό σύστημα τριών καλωδίων με μονωμένο ουδέτερο αγωγό ή απευθείας γειωμένο
- Τριφασικό σύστημα τεσσάρων καλωδίων με γειωμένο ουδέτερο αγωγό χωρίς επιστροφή μέσω σκελετού
- Τριφασικό σύστημα πέντε καλωδίων με γειωμένο ουδέτερο αγωγό χωρίς επιστροφή μέσω σκελετού

4.3.2 Διανομή

4.3.2.1 Συστήματα γειωμένου ουδέτερου αγωγού

- Στα συστήματα γειωμένου ουδέτερου αγωγού, η πηγή ισχύος συνδέεται απευθείας στη γείωση και όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης συνδέονται στο γειωμένο σημείο του συστήματος ισχύος μέσω προστατευτικού αγωγού ή μέσω του σκελετού για ατσάλινα σκάφη. Τα συστήματα γειωμένου ουδέτερου αγωγού πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε το πιθανό ρεύμα σφάλματος γείωσης να:

A) μην ξεπερνά τη χωρητικότητα του σχεδιασμού για οποιοδήποτε μέρος του συστήματος

B) είναι επαρκώς μεγέθους για να εξασφαλίζεται η λειτουργία προστασίας

Σημείωση 1: Όπου το ουδέτερο σημείο συνδέεται απευθείας με τη γη, η αντίδραση του βρόχου γείωσης πρέπει να είναι επαρκώς χαμηλή για να επιτρέπει το πέρασμα

ρεύματος τουλάχιστον 3 φορές του ονομαστικού για συστήματα που προστατεύονται από ασφάλεια ή 1.5 φορά για συστήματα που προστατεύονται από ασφαλειοδιακόπτη.

4.3.2.2 Μονωμένα συστήματα

- Στα γειωμένα συστήματα, η πηγή ισχύος μονώνεται από τη γη ή συνδέεται με τη γη μέσω επαρκώς υψηλής αντίδρασης
- Κάθε μονωμένο σύστημα διανομής, είτε πρωτεύον είτε δευτερεύον, πρέπει να είναι εξοπλισμένο με μέσα παρακολούθησης της μόνωσης.
- Για σκάφη άνω των 24m , πρέπει να υπάρχει κατάλληλη συσκευή που να παρακολουθεί διαρκώς τα επίπεδα μόνωσης προς τη γη και που να μπορεί να δώσει οπτικό και ακουστικό σήμα σε περίπτωση μη φυσιολογικά χαμηλών τιμών μόνωσης.

4.3.2.3 Χαμηλότερη τάση ασφαλείας

Στο συγκεκριμένο κανονισμό δίνονται οι παρακάτω ορισμοί της χαμηλότερης τάσης ασφαλείας:

- Τάση που δεν υπερβαίνει τα 50V ac r.m.s. ή 50V DC μεταξύ των αγωγών ή μεταξύ ενός αγωγού και γης, σε ένα κύκλωμα απομονωμένο από την τροφοδοσία μέσω μετασχηματιστή ασφαλούς απομόνωσης ή μετατροπέα ξεχωριστών τυλιγμάτων.
- Τάση που δεν υπερβαίνει τα 50V DC μεταξύ των αγωγών ή μεταξύ ενός αγωγού και γης, σε ένα κύκλωμα απομονωμένο από τα κυκλώματα υψηλότερης τάσης.

4.3.3 Γείωση μη ρευματοφόρων μερών

4.3.3.1 Γενικά

- Ο σκοπός της γείωσης και της ζεύξης των μη ρευματοφόρων μερών του ηλεκτρικού συστήματος είναι η μείωση του κινδύνου ηλεκτροπληξίας και η ελαχιστοποίηση των ζημιών στον εξοπλισμό εξαιτίας των ρευμάτων γείωσης. Τα ρεύματα γείωσης μπορούν να προκύψουν από αποτυχία της μόνωσης ρευματοφόρων αγωγών ή από επαγόμενες τάσεις και ρεύματα

4.3.3.2 Μέρη που πρέπει να γειωθούν

Όλα τα εκτεθειμένα μη ρευματοφόρα αγωγή μέρη τόσο των σταθερών όσο και των φορητών συσκευών που μπορούν σε συνθήκες σφάλματος να γίνουν ηλεκτρικώς ενεργά καθώς και όλα τα παρόμοια με τα παραπάνω που βρίσκονται εντός μη μεταλλικών περιβλημάτων πρέπει να γειώνονται εκτός αν πρόκειται για μηχανές ή εξοπλισμό που:

- τροφοδοτούνται από τάση που δεν ξεπερνά τα 50V DC ή 50V RMS πολική χωρίς την χρήση αυτομετασχηματιστών ή
- τροφοδοτούνται από τάση που δεν ξεπερνά τα 250V. Σε αυτήν την περίπτωση απομονώνουμε ασφαλώς μετασχηματιστές που τροφοδοτούν μόνο μία συσκευή κατανάλωσης.
- είναι κατασκευασμένοι σύμφωνα με την αρχή της διπλής μόνωσης όπως αναφέρεται στο πρότυπο IEC 60536 ή παρόμοια μόνωση που χρησιμοποιείται για την αποφυγή εμφάνισης επικίνδυνων τάσεων στα προσβάσιμα μέρη εξαιτίας σφάλματος της βασικής μόνωσης.

4.3.3.3 Σύνδεση γείωσης

- Όλα τα εκτεθειμένα μη ρευματοφόρα αγωγή μέρη πρέπει να συνδεθούν με τη γη είτε μέσω των προστατευτικών αγωγών (που μπορεί να είναι είτε ξεχωριστοί από τον ουδέτερο αγωγό είτε όχι), είτε με κατευθείαν σύνδεση στο σκελετό του πλοίου για μεταλλικά σκάφη.
- Η ονομαστική διατομή των αγωγών ζεύξης και των προστατευτικών αγωγών πρέπει να μην είναι μικρότερη των διαστάσεων που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Σημείωση 1: Πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα για τον υπολογισμό της διατομής του προστατευτικού αγωγού των συσκευών που παράγουν αρμονικές παραμορφώσεις

Τύπος σύνδεσης με τη γη		Διατομή σχετικού ρευματοφόρου αγωγού	Ελάχιστη διατομή χάλκινης σύνδεσης με τη γη
1	Προστατευτικός αγωγός σε ευλύγιστο καλώδιο	οποιαδήποτε	Διατομή ίση με του ρευματοφόρου αγωγού για αγωγό έως 16mm ² και διατομή όχι μικρότερη από τη μισή του ρευματοφόρου αγωγού αν αυτός είναι μεγαλύτερος ή ίσος των 16mm ² με ελάχιστο τα 16mm ²
2	Προστατευτικός αγωγός ενσωματωμένος σε σταθερό πολύκλωνο καλώδιο	οποιαδήποτε	α) διατομή ίση με αυτή του κύριου αγωγού αν αυτός είναι μεταξύ 1,5mm ² και 16mm ² β) διατομή όχι μικρότερη από τη μισή του κύριου αγωγού αν αυτός είναι μεγαλύτερος ή ίσος των 16mm ²
3	Προστατευτικός αγωγός που παρέχεται σε μονόκλωνο καλώδιο	οποιαδήποτε	α) διατομή ίση με του ρευματοφόρου αγωγού αν αυτός είναι μικρότερος ή ίσος των 16mm ² β) διατομή όχι μικρότερη από τη μισή του ρευματοφόρου αγωγού αν αυτός είναι μεγαλύτερος ή ίσος των 16mm ²
4	Ξεχωριστός σταθερός αγωγός ζεύξης	>1,5mm ² αλλά ≤120mm ²	Η μισή διατομή του ρευματοφόρου αγωγού, με ελάχιστο τα 2.5 mm ²
		>120mm ²	70mm ²

Πίνακας 4.3.1: Ελάχιστη διατομή για διάφορους τύπους σύνδεσης με τη γη

4.3.3.4 Γειωμένο σύστημα διανομής

- Ο κάθε αγωγός προστασίας σε a.c. πρέπει να φέρει τελική σύνδεση προς το σκελετό του πλοίου για μεταλλικά πλοία και την εξωτερική κύρια πλάκα γείωσης, όπως απαιτείται στην παράγραφο που ακολουθεί, για σκάφη με μη μεταλλικό σκελετό. Η σύνδεση πρέπει να πραγματοποιείται σε ένα σημείο μόνο, με τρόπο ανεξάρτητο από οποιαδήποτε εγκατάσταση γείωσης μη ρευματοφόρου μέρους. Σε μεγαλύτερα σκάφη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας κύριος αγωγός γης για να συνδέσει όλους τους προστατευτικούς αγωγούς σε ένα σημείο πριν γίνει η τελική σύνδεση.
- Η γείωση σε πλοία με μη μεταλλικό σκελετό γίνεται σε εξωτερική πλάκα γείωσης χαλκού ή άλλου αγώγιμου υλικού συμβατού με το θαλάσσιο νερό, επιφάνειας όχι μικρότερης του 0.25m². Η πλάκα αυτή πρέπει να είναι ασφαλώς προσδεμένη στο εξωτερικό μέρος του σκελετού του πλοίου σε θέση που προορίζεται γι' αυτό το σκοπό και που βρίσκεται κάτω από την ίσαλο γραμμή σε

συνθήκες μικρής φόρτωσης του πλοίου ούτως ώστε να είναι βυθισμένη υπό οποιεσδήποτε συνθήκες πλεύσης.

Σημείωση 1: Στα μεταλλικά σκάφη και ειδικότερα σε αυτά από κράμα αλουμινίου, ο έλεγχος μηχανών εσωτερικής καύσης πρέπει να απομονώνεται από την γείωση της μηχανής.

- Η σύνδεση γείωσης πρέπει να γίνει σε θέση που βρίσκεται πάνω από κάθε σημείο που συγκεντρώνεται νερό, σε προσβάσιμο σημείο όπου θα μπορεί να επιθεωρηθεί και να αποσυνδεθεί για να γίνει μέτρηση της μόνωσης.

4.3.3.5 Ζεύξη στο σύστημα γείωσης

- Η ζεύξη γείωσης πρέπει να είναι τέτοια που να παρέχει ουσιαστικά ίσο δυναμικό και επαρκώς χαμηλή αντίδραση βρόχου γείωσης για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία των προστατευτικών διατάξεων.
- Κάθε γειωτικός αγωγός πρέπει να είναι χάλκινος ή από άλλο ανθεκτικό στη διάβρωση υλικό που πρέπει να προστατεύεται και να εγκαθίσταται να ασφαλώς ως προς τον κίνδυνο φθοράς και ηλεκτρολυτικής διάβρωσης
- Εξωτερικά αγωγίμα υλικά που συνδέονται στον ατσάλινο σκελετό του πλοίου με μόνιμη και αξιόπιστη σύνδεση αμελητέας αντίστασης μεταξύ μετάλλου με μέταλλο, δεν χρειάζονται επιπλέον ζεύξη με ξεχωριστούς γειωτικούς αγωγούς.
- Όλοι οι αγωγοί ζεύξης για συστήματα ac και dc πρέπει να αναγνωρίζονται από μόνωση πράσινου χρώματος με κίτρινες λωρίδες ή πρέπει να είναι αμόνωτοι. Αγωγοί πράσινου χρώματος με κίτρινες λωρίδες δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για ρευματοφόρους αγωγούς.
- Για σκάφη άνω των 24m, όπου είναι δυνατόν πρέπει να διαχωρίζονται τα μέσα ζεύξης από εκείνα που χρησιμοποιούνται για κυκλώματα ράδιο, ραντάρ και τηλεπικοινωνιών για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανή αλληλεπίδραση.

4.4 ABYC

Ο παρών κανονισμός ABYC έχει ως στόχο την τυποποίηση ως προς την κατασκευή σκαφών αναψυχής και των συσκευών που λειτουργούν εντός του. Είναι οργανωμένος σε κεφάλαια και υποκεφάλαια που περιλαμβάνουν όλα τα πεδία της ναυπήγησης και της πιστοποίησης των σκαφών αναψυχής. Καθώς το πρότυπο έχει στις σελίδες του εικόνες που δείχνουν πολλές παραλλαγές παρόμοιων κυκλωμάτων, δεν κρίνεται σκόπιμο να παραταχθούν όλες αλλά οι πιο ενδεικτικές από αυτές.

Πιο αναλυτικά θα ασχοληθούμε με το εξής κεφάλαιο του προτύπου: E-11 Ηλεκτρικά συστήματα AC&DC σε σκάφη. Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί συγχώνευση των πρώην κεφαλαίων E-8 και E-9 τα οποία ήταν ξεχωριστά και ασχολούνταν με την εναλλασσόμενη και συνεχή τάση αντίστοιχα.

Το πρότυπο εφαρμόζεται σε συστήματα συνεχούς ρεύματος (DC) με τάση μικρότερη ή ίση των 50V και σε συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος συχνότητας 50 ή 60 HZ με τάση μικρότερη των 300V περιλαμβάνοντας συστήματα που τροφοδοτούνται από την ξηρά μέχρι το σημείο σύνδεσης με την παροχή στην ξηρά, περιλαμβάνοντας και το καλώδιο σύνδεσης.

4.4.1 Ορισμοί

Γειωμένος AC αγωγός – Ρευματοφόρος αγωγός που διατηρείται εκούσια στο δυναμικό της γης

Σημείωση: Μπορεί να γίνει αναφορά στο γειωμένο AC αγωγό και ως ουδέτερο (λευκό) AC αγωγό

AC Αγωγός γείωσης (πράσινος ή πράσινος με κίτρινη ρίγα) – Κανονικά μη ρευματοφόρος αγωγός που συνδέει τα μεταλλικά μη ρευματοφόρα μέρη του AC ηλεκτρικού συστήματος στο δίαυλο γείωσης AC, στο αρνητικό τερματικό της μηχανής ή στο δίαυλό της και στη γη της πηγής

Σημείωση: η πηγή μπορεί να είναι AC ισχύς από την ξηρά, ένας αντιστροφέας, ένας μετασχηματιστής απομόνωσης ή μια γεννήτρια

Γειωμένος DC αγωγός – Ρευματοφόρος αγωγός που συνδέεται στην πλευρά της πηγής ισχύος που διατηρείται εκούσια στο δυναμικό της γης

DC Αγωγός – Κανονικά μη ρευματοφόρος αγωγός που συνδέει τα μεταλλικά μη ρευματοφόρα μέρη του DC ηλεκτρικού συστήματος στο αρνητικό τερματικό της

μηχανής ή στο διάυλό της με σκοπό την ελαχιστοποίηση της διάβρωσης λόγω διαφυγόντων ρευμάτων

Γείωση – Η γείωση αντιστοιχεί στο δυναμικό της επιφάνειας της γης. Η γείωση του σκάφους εξασφαλίζεται από μια αγώγιμη σύνδεση (εκούσια ή ακούσια) με τη γη, περιλαμβάνοντας οποιοδήποτε αγώγιμο μέρος της βρεγμένης επιφάνειας του σκελετού του σκάφους

4.4.2 Απαιτήσεις

4.4.2.1 Απαιτήσεις για συστήματα DC

- Σε σύστημα δύο καλωδίων όλα τα συστήματα διανομής συνεχούς ρεύματος πρέπει να είναι τύπου δύο καλωδίων

ΕΞΑΙΡΕΣΗ: Εξοπλισμός συνδεδεμένος με τη μηχανή

- Ο μεταλλικός σκελετός του πλοίου ή τα συστήματα σύζευξης και γείωσης DC δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως αγωγοί επιστροφής
- Αν η μία πλευρά ενός συστήματος συνεχούς ρεύματος δύο καλωδίων συνδέεται στη γείωση, πρέπει να είναι η αρνητική πλευρά και να πολώνεται όπως στους ορισμούς.
- Αν κάποιο σκάφος έχει περισσότερες από μια μηχανές με γειωμένο μοτέρ μίζας, συμπεριλαμβανομένων βοηθητικών γεννητριών, τότε οι μηχανές πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με έναν κοινό αγωγό που να μπορεί να μεταφέρει το ρεύμα μίζας του κυκλώματος του κάθε κινητήρα. Οι εξωλέμβιες μηχανές πρέπει να συνδέονται στον αρνητικό ακροδέκτη της μπαταρίας.
- Σε εγκαταστάσεις πολλαπλών εσωλέμβιων μηχανών, συμπεριλαμβανομένων βοηθητικών γεννητριών με παράλληλα κυκλώματα μίζας, οι μηχανές θα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με καλώδιο αρκετά μεγάλο ώστε να μπορεί να φέρει το ρεύμα μίζας του κυκλώματος του κάθε κινητήρα. Το καλώδιο αυτό καθώς και οι απολήξεις του πρέπει να υπάρχει επιπρόσθετα και ανεξάρτητα από οποιαδήποτε άλλη ηλεκτρική σύνδεση στις μηχανές συμπεριλαμβανομένων και αυτών του ακριβώς προηγούμενου σημείου.

ΕΞΑΙΡΕΣΕΙΣ:

1. Εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αγείωτο σύστημα

2. Εξωλέμβιες μηχανές

4.4.2.2 Συνδέσεις αρνητικών σε DC σύστημα

- Αν υπάρχει εγκατεστημένο AC σύστημα, τότε ο κύριος δίαυλος γείωσης του AC συστήματος πρέπει να συνδεθεί με:
 - A) τον αρνητικό ακροδέκτη της μηχανής ή με τον κύριο δίαυλο γείωσης του DC συστήματος σε γειωμένα DC συστήματα ή
 - B) τον DC δίαυλο γείωσης σε εγκαταστάσεις με μη γειωμένα DC συστήματα
- Αν η αρνητική πλευρά του συστήματος DC πρέπει να συνδεθεί στη γη, η σύνδεση αυτή πρέπει να γίνει αποκλειστικά μέσω του αρνητικού ακροδέκτη της μηχανής ή του διαύλου της, στο δίαυλο γείωσης DC. Αυτή η σύνδεση πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο ως τρόπος διατήρησης της αρνητικής πλευράς σε δυναμικό ίσο με αυτό της γης και δεν πρέπει να φέρει ρεύμα σε φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας.

4.4.2.3 Συστήματα AC

- Απαιτείται σύστημα με γειωμένο ουδέτερο αγωγό.
- Ο ουδέτερος αγωγός της παροχής τροφοδοσίας από την ξηρά, γειώνεται μέσω του καλωδίου παροχής ισχύος από την ξηρά και δεν πρέπει να γειώνεται εντός του σκάφους.
- Ο δευτερεύον ουδέτερος αγωγός ενός μετασχηματιστή απομόνωσης ή πόλωσης πρέπει να γειώνεται στο δευτερεύον ενός μετασχηματιστή απομόνωσης ή πόλωσης
- Ο ουδέτερος αγωγός της γεννήτριας πρέπει να γειωθεί στη γεννήτρια
- Ο ουδέτερος αγωγός εξόδου του μετατροπέα τάσης (inverter) πρέπει να γειωθεί στο μετατροπέα.

ΕΞΑΙΡΕΣΕΙΣ:

Στα συστήματα που χρησιμοποιούν μετασχηματιστή απομόνωσης ή πόλωσης, οι ουδέτεροι αγωγοί τόσο του μετατροπέα ή της γεννήτριας όσο και των δευτερευόντων των μετασχηματιστών μπορούν να γειωθούν στον κύριο δίαυλο γείωσης AC αντί για τα αντίστοιχα δευτερεύοντα των γεννητριών, μετατροπέων ή μετασχηματιστών.

- Ο κύριος δίαυλος γείωσης AC του συστήματος πρέπει να συνδεθεί με:
 - A) τον αρνητικό ακροδέκτη της μηχανής ή τον κύριο αρνητικό δίαυλο γείωσης σε γειωμένα DC συστήματα ή
 - B) τον δίαυλο γείωσης DC του σκάφους σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται αγείωτο DC σύστημα.

- Σε κυκλώματα AC, όλοι οι αγωγοί που φέρουν ρεύμα και ο αγωγός γείωσης πρέπει να εκτείνονται μαζί στο ίδιο καλώδιο ή να βρίσκονται στον ίδιο σωλήνα καλωδίων ρεύματος
- Δεν πρέπει να υπάρχει διακόπτης ή συσκευή προστασίας από υπερτάσεις στον αγωγό γείωσης AC.

4.4.2.4 Συσκευές και εξοπλισμός

4.4.2.4.1 DC συστήματα

- Συσκευές και DC φορητός εξοπλισμός πρέπει να είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε τα ρευματοφόρα μέρη του να είναι μονωμένα από όλα τα εκτεθειμένα ηλεκτρικώς αγωγή μέρη.
- Όλα τα εκτεθειμένα ηλεκτρικώς αγωγή μη ρευματοφόρα μέρη του σταθερού DC εξοπλισμού και συσκευές που μπορεί να έρθουν σε επαφή με νερό, πρέπει να συνδεθούν στο DC σύστημα γείωσης

Εξαιρέσεις:

1. Σκάφη μη εξοπλισμένα με DC σύστημα γείωσης
 2. Εξοπλισμός με επαρκές σύστημα διπλής μόνωσης
 3. Μεταλλικά μέρη απομονωμένα σε μη αγωγή υλικό
- Οι γειωμένοι πομποί μέτρησης στάθμης υγρών που είναι προσδεμένοι σε δεξαμενές καυσίμων ή σε πλάκες δεξαμενών, πρέπει να έχουν τον αρνητικό αγωγό επιστροφής απευθείας συνδεδεμένο με τον κύριο αρνητικό δίαυλο DC και το αρνητικό τερματικό της μηχανής (ή το αρνητικό τερματικό της μπαταρίας ή το δίαυλό της σε εξωλέμβια μηχανή). Καμία άλλη συσκευή δεν πρέπει να συνδεθεί με αυτόν τον αγωγό. Αυτός ο αγωγός πρέπει να λειτουργεί και ως στατική γείωση ή/και αγωγός ζεύξης για τη δεξαμενή και το περιεχόμενό της. Αν μια δεξαμενή καυσίμων αποτελεί μέρος του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας, τότε ο αγωγός μεταξύ της δεξαμενής και του κύριου αρνητικού δίαυλου DC πρέπει να συμμορφώνεται με τις προδιαγραφές του εγγράφου TE-4

4.4.2.4.2 AC συστήματα

- Ο σταθερός AC εξοπλισμός πρέπει να είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε τα ρευματοφόρα μέρη του να είναι μονωμένα από όλα τα εκτεθειμένα ηλεκτρικώς αγωγή μέρη.

- Όλα τα εκτεθειμένα ηλεκτρικώς αγώγιμα μη ρευματοφόρα μέρη του σταθερού AC εξοπλισμού και οι συσκευές που θέλουμε να γειωθούν, πρέπει να συνδεθούν στον αγωγό γείωσης

Σημείωση: Αν μια συσκευή έχει μιάνα ζεύξης ουδέτερου αγωγού προς γη, πρέπει να αφαιρεθεί.

- Πρέπει να παρέχεται ακέραια προστασία από υπερτάσεις.

4.4.2.5 DC Γείωση και ζεύξη

- DC γείωση – Αν υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα DC γείωσης, ο αγωγός DC γείωσης πρέπει να συνδέσει τα μεταλλικά μη ρευματοφόρα μέρη των DC συσκευών με το αρνητικό τερματικό της μηχανής ή το δίαυλό της για να ελαχιστοποιηθούν τα διαφυγόντα ρεύματα διάβρωσης.
- Ο αγωγός γείωσης DC πρέπει να είναι τουλάχιστον μικρότερος κατά ένα μέγεθος από αυτό που απαιτείται για τους ρευματοφόρους αγωγούς και όχι μικρότερος από 16AWG.
- Διαδρομή – Ο αγωγός γείωσης DC πρέπει να ακολουθεί πορεία από την συσκευή στο αρνητικό τερματικό της μηχανής με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

A) Ο αγωγός γείωσης DC πρέπει να ακολουθεί διαδρομή μαζί με αυτή του ρευματοφόρου αγωγού ως τρίτο καλώδιο.

B) Ο αγωγός γείωσης DC πρέπει να ακολουθεί ξεχωριστή διαδρομή ως ξεχωριστός αγωγός.

Γ) Ο αγωγός γείωσης DC πρέπει να συνδεθεί σε δίαυλο γείωσης DC σύμφωνα με τα παρακάτω:

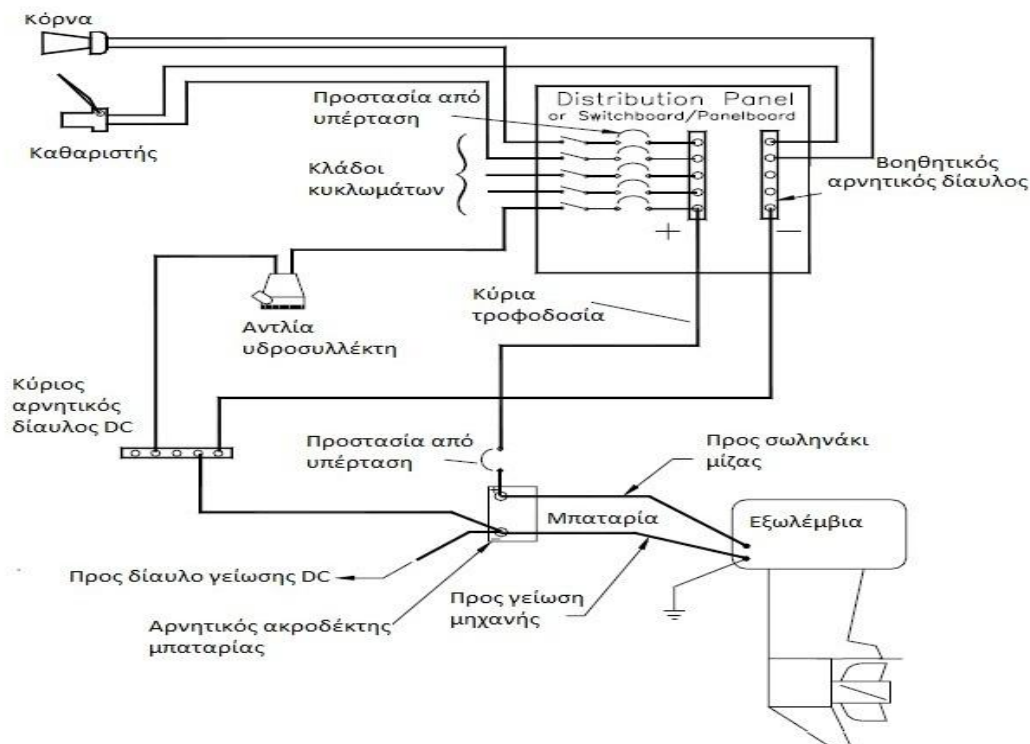
- Ο δίαυλος γείωσης DC πρέπει να συνδεθεί απευθείας στο αρνητικό τερματικό της μηχανής ή στον κύριο αρνητικό δίαυλο DC.
- Ο δίαυλος γείωσης DC που εξυπηρετεί περισσότερες από μία συσκευές, πρέπει να συμμορφώνεται με τα παραπάνω για τη μεγαλύτερη από τις συσκευές και πρέπει να κατασκευαστεί και να εγκατασταθεί σύμφωνα με τα εξής: Αν ο δίαυλος γείωσης DC είναι κατασκευασμένος από λωρίδες από χαλκό ή μπρούντζο, τότε πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον 0.8mm και πλάτος τουλάχιστον 13mm και

A) πρέπει να του ανοιχθούν όχι διαμπερείς τρύπες αν το πάχος του διαύλου εξασφαλίζει τουλάχιστον τρία πλήρη σπειρώματα δέσμευσης για τις βίδες των ακροδεκτών, ή

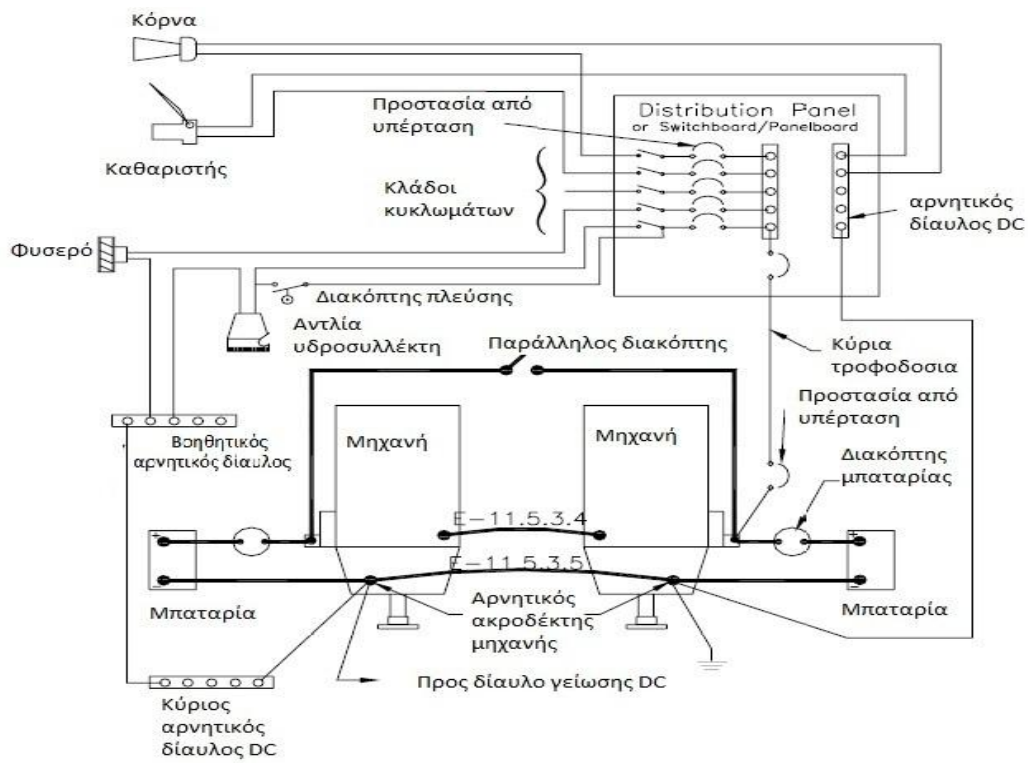
B) πρέπει να του ανοιχθούν διαμπερείς τρύπες και οι συνδέσεις να γίνουν με βίδες μηχανής και μπουλόνια

Σημείωση: μπορεί να χρησιμοποιηθεί σωλήνας χαλκού αρκεί το πάχος των τοιχωμάτων του να είναι αρκετά μεγάλο για να του ανοιχθούν όχι διαμερείς τρύπες όπως αναφέρεται παραπάνω.

- Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται χάλκινη θωράκιση
- Συνδυασμένα συστήματα DC γείωσης και ζεύξης - Οι αγωγοί γείωσης DC μπορούν να συνδυαστούν με τα παρακάτω συστήματα αρκεί να καλύπτονται οι απαιτήσεις του μεγέθους των αγωγών για κάθε σύστημα
- Πλάκα γείωσης ράδιο- Αν η πλάκα γείωσης του ράδιο συνδέεται στο αρνητικό τερματικό της μηχανής, ο συνδετικός αγωγός πρέπει να συμφωνεί με τις προδιαγραφές του TE-4 καθώς η πλάκα γείωσης του ράδιο μπορεί να λειτουργεί και ως πλάκα γείωσης αντικεραυνικής προστασίας.



Εικόνα 4.4.1: Ενδεικτικό κύκλωμα γείωσης μίας μηχανής



Εικόνα 4.4.2: Ενδεικτικό κύκλωμα γείωσης δύο μηχανών

4.5 Διεύθυνση Ηλεκτρικής Ασφάλειας Νορβηγίας

Η Διεύθυνση Ηλεκτρικής Ασφάλειας Νορβηγίας έχει ως σκοπό της να δώσει πρακτικές οδηγίες για τη γείωση ηλεκτρικών εγκαταστάσεων σε Νορβηγικά σκάφη και θαλάσσιες εγκαταστάσεις που βρίσκονται στα Νορβηγικά χωρικά ύδατα.

Οι οδηγίες καλύπτουν προστατευτικές ισοδυναμικές ζεύξεις γείωσης και γείωση οργάνων. Η γείωση του συστήματος καλύπτεται μόνο ως προς τη σύνδεση του αγωγού γείωσης με τη γη.

Η πρόθεση των εν λόγω οδηγιών είναι να καλύψει θέματα γείωσης σε σκάφη με σκελετό αποτελούμενο από αγωγίμο υλικό.

4.5.1 Ορισμοί

Κύρια γη – Κύρια γη είναι η μάζα του σκελετού του πλοίου.

Οδηγία: Η βασική, συνεχής δομή μονάδων που είναι συγκολλημένες ή έχουν συμπαγή και συνεχή σύνδεση στον κύριο σκελετό του πλοίου λογίζεται ως κύρια γη.

Τερματικό κύριας γης – Ένα τερματικό που παρέχεται για τη σύνδεση προστατευτικών αγωγών, αγωγών ισοδυναμικής ζεύξης και λειτουργικής γείωσης, αν αυτοί υπάρχουν, με την κύρια γη

Κύριος γειωτικός αγωγός – Ένας προστατευτικός αγωγός που συνδέει το τερματικό κύριας γης με την κύρια γη

Προστατευτική σύνδεση με τη γη – Πρόκειται για μια σύνδεση με τη γη που συνδέει οποιαδήποτε από τα ακόλουθα:

- εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη
- εξωτερικά αγωγίμα μέρη
- κύριο τερματικό γείωσης
- κύρια γη
- γειωμένο σημείο της πηγής του γειωμένου ουδέτερου

έτσι ώστε εκτεθειμένα και εξωτερικά αγωγίμα μέρη να τοποθετούνται σε ουσιαστικά ίσο δυναμικό και να έχουν προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας

Προστατευτικός αγωγός – Μια ειδικά εγκατεστημένη προστατευτική σύνδεση γείωσης.

Ισοδυναμική ζεύξη – Προστατευτικές συνδέσεις με τη γη που θέτουν διάφορα εκτεθειμένα αγωγία μέρη και εξωτερικά αγωγία μέρη σε ένα ουσιαστικά ίσο δυναμικό.

Γείωση οργάνων – Μια γειωτική σύνδεση που θα εξασφαλίζει δυναμικό ίσο με αυτό της γης σε συστήματα οργάνων.

Ενδογενώς ασφαλής γείωση – Μια γειωτική σύνδεση που διασφαλίζει δυναμικό ίσο με αυτό της γης και προστασίας σε περίπτωση σφάλματος σε ενδογενώς ασφαλή συστήματα.

Οδηγία: Η ενδογενώς ασφαλής γείωση μπορεί να συνδυαστεί με τη γείωση οργάνων

4.5.2 Γείωση πινάκων ελέγχου και ηλεκτρικού εξοπλισμού

- Γείωση κύριων πινάκων ελέγχου και πινάκων ελέγχου έκτακτης ανάγκης: Κάθε κύριος πίνακας ελέγχου και πίνακας ελέγχου έκτακτης ανάγκης πρέπει να συνδέεται στην κύρια γείωση με ξεχωριστό κύριο γειωτικό αγωγό. Ο αγωγός αυτός πρέπει να ακολουθεί την πιο σύντομη και πρακτική διαδρομή από το τερματικό κύριας γης του σχετικού πίνακα ελέγχου ως την κύρια γη.
- Σύνδεση αγωγού κύριας γης: Ο κύριος αγωγός γης πρέπει να συνδεθεί στη δομή μέσω ξεχωριστής σύνδεσης με την κύρια γη. Αυτή η σύνδεση μπορεί να είναι μια ατσάλινη ράβδος ή ένα εξόγκωμα γείωσης συγκολλημένο στην κύρια γη. Πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον μία κύρια σύνδεση γείωσης προς τους πίνακες ελέγχου σε κάθε δωμάτιο πινάκων ελέγχου.

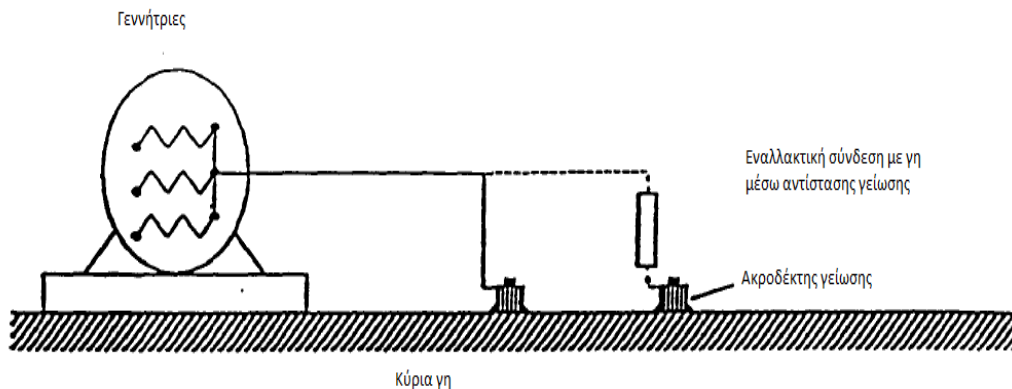
Οδηγία: Πρέπει να υπάρχει πρόληψη για να διασφαλιστεί ότι η συγκολλημένη σύνδεση προς την κύρια γη έχει επαρκή διατομή για το αναμενόμενο μέγιστο ρεύμα γείωσης.

- Τοποθεσία σύνδεσης με την κύρια γη: Η σύνδεση με την κύρια γη πρέπει να βρίσκεται σε μέρος τέτοιο που να μην υπόκειται σε διάβρωση ή άλλη ζημιά και που να είναι εύκολα επιθεωρήσιμο.
- Γείωση εξοπλισμού επικοινωνιών: Τα εκτεθειμένα μέρη του εξοπλισμού τηλεπικοινωνιών πρέπει να συνδεθεί στην προστατευτική γη μέσω του καλωδίου τροφοδοσίας ή εναλλακτικά μέσω ξεχωριστού αγωγού προστατευτικής γείωσης. Μεγαλύτεροι πίνακες τηλεπικοινωνιών μπορεί να έχουν ξεχωριστό τερματικό κύριας γης για προστατευτική γη.
- Γείωση εξοπλισμού: Ηλεκτρικές συσκευές, μηχανές κλπ πρέπει να γειώνονται μέσω του καλωδίου τροφοδοσίας. Μεγαλύτερος εξοπλισμός μπορεί να γειώνεται απευθείας στην κύρια γη.
- Διαχωρισμός συστημάτων γείωσης: Η προστατευτική γείωση πρέπει να διαχωρίζεται από τα συστήματα γείωσης των οργάνων και των τηλεπικοινωνιών.

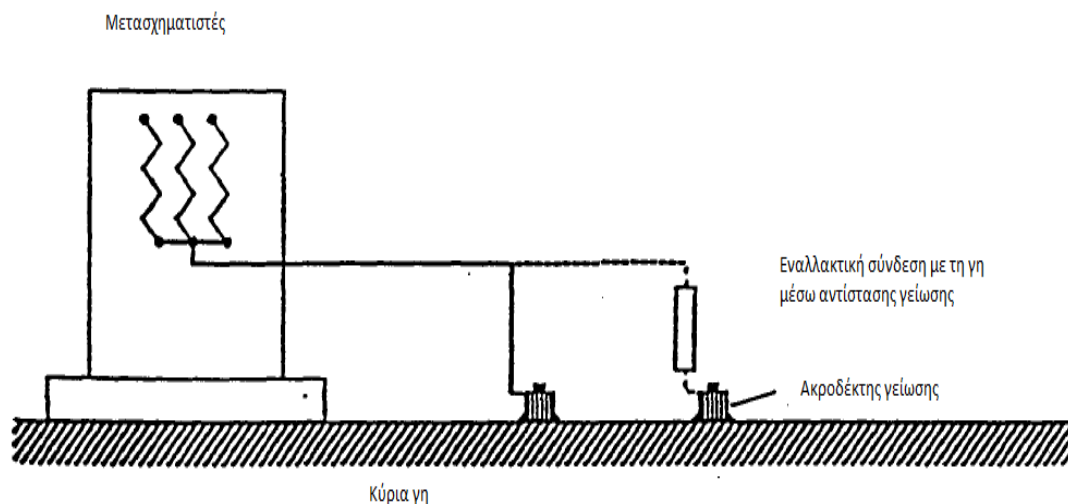
Ο λόγος που πρέπει να γίνει αυτό είναι η αποφυγή της μετάδοσης της αύξησης τάσης, που προκαλείται από σφάλματα στο σύστημα προστατευτικής γείωσης, σε άλλα συστήματα. Ο διαχωρισμός αυτός συνεπάγεται την ύπαρξη ξεχωριστών εξογκωμάτων γείωσης με απόσταση τουλάχιστον 1m μεταξύ τους. Οι αγωγοί γείωσης του εξογκώματος γείωσης πρέπει να διαχωρίζονται όσο πιο πολύ γίνεται.

4.5.3 Λειτουργική γείωση

- Η σύνδεση του συστήματος γείωσης πρέπει να γίνεται απευθείας, ή μέσω αντίστασης στην κύρια γη. Η σύνδεση του συστήματος γείωσης πρέπει να γίνεται ξεχωριστά από την προστατευτική γείωση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κοινός ακροδέκτης γείωσης για τη σύνδεση της προστατευτικής και της κύριας γης αλλά με διαφορετικές βιδωτές συνδέσεις στον ακροδέκτη γείωσης



Εικόνα 4.5.1: Γείωση γεννήτριας



Εικόνα 4.5.2: Γείωση μετασχηματιστή

4.5.4 Ισοδυναμική ζεύξη

- Ο σκοπός της ισοδυναμικής ζεύξης, είναι να διασφαλίσει ότι τα ζευγμένα μέρη βρίσκονται στο ίδιο δυναμικό.

Οδηγία: Η ισοδυναμική ζεύξη πρέπει να παρέχεται σε εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη, δομικά στοιχεία από αγωγίμο υλικό, σωλήνες κτλ. για να αποφευχθούν διαφορές δυναμικών και ηλεκτροστατικές φορτίσεις.

4.5.5 Γείωση συστημάτων οργάνων

Η πρόθεση της γείωσης συστημάτων οργάνων είναι η εξασφάλιση:

- αναφοράς τάσης παροχής
- προστασίας από αποτυχία λειτουργίας
- πρόληψης εναντίον του θορύβου χωρίς να υπάρχει κίνδυνος για το αντίθετο λόγω ανεπαρκούς γείωσης. Τέτοιου είδους πρόληψη είναι:

- η γείωση θαλάμων και περιβλημάτων

- γείωση πλαισίων καλωδίων
- γείωση φίλτρων ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας
- Ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος (παρεμβολή) είναι παρόν σε συχνότητες μεταξύ λίγων Hz μέχρι αρκετών GHz. Αν ο θόρυβος αυτός εισχωρήσει σε καλώδια ή μονοπάτια αγωγών, ένας θόρυβος απροσδιόριστου πλάτους θα εμφανίζεται στο σύστημα. Ακόμα και αν το σήμα του θορύβου έχει πολύ υψηλότερη συχνότητα από το σήμα λειτουργίας που μας ενδιαφέρει, η ισχύς του θορύβου αργά ή γρήγορα θα συναντήσει ένα μη γραμμικό στοιχείο που θα το μετατρέψει σε DC σήμα. Αυτή η DC συνιστώσα αναγκαστικά θα προστεθεί στο σήμα λειτουργίας, παραμορφώνοντάς το.

Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος χρειάζεται ακριβής γνώση για τα παρακάτω:

- το ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον όπου θα εγκατασταθεί ο εξοπλισμός
- η ακεραιότητα του εξοπλισμού όσον αφορά στην ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα
- Αυτές οι παράμετροι είναι δύσκολο να εξασφαλιστούν ακριβώς γιατί μπορούν να αναλυθούν και να μετρηθούν μόνο υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Το σύστημα οργάνων συχνά αποτελείται από επιμέρους τμήματα που παρέχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές με διαφορετικές απαιτήσεις πάνω στο θέμα της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Είναι πάρα πολύ σημαντικό εκ κατασκευής και εγκατάστασης συνδέσεων γείωσης να αποφασιστεί η μέγιστη συχνότητα θορύβου ούτως ώστε να μπορέσουμε να καταφέρουμε ικανοποιητική αντιμετώπιση του θορύβου. Αυτό συμβαίνει γιατί οι παρεμβολές υψηλών συχνοτήτων άγονται μόνο στην επιφάνεια του αγωγού (επιδερμικό φαινόμενο). Ο εκπεμπόμενος ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος μπορεί να διαπεράσει ανοίγματα στα περιβλήματα (π.χ. οι υψηλότερες συχνότητες χρειάζονται μικρότερα ανοίγματα για να περάσουν). Όσον αφορά στη σύνδεση γείωσης, είναι πιο σημαντικό να εγκαταστήσουμε έναν αγωγό γείωσης με μεγάλη επιφάνεια παρά με μεγαλύτερο πάχος τομής. Για να κρατήσουμε την αντίδραση στον αγωγό γείωσης όσο το δυνατόν μικρότερη είναι πολύ σημαντικό να κρατήσουμε τη διαδρομή του όσο το δυνατόν συντομότερη. Αν χωρίσουμε το φάσμα συχνοτήτων σε τρεις κατηγορίες, τότε πρακτικά μπορούμε να χωρίσουμε τις ενέργειες που πρέπει να κάνουμε σε τρεις κατηγορίες:

α) Χαμηλές συχνότητες έως 10 kHz

Σε αυτή τη μάντα συχνοτήτων, ο θόρυβος θα είναι ηλεκτρομαγνητικής φύσης και εκπέμπεται στο δίκτυο του συστήματος μέσω επαγωγικών συνδέσεων. Τέτοια πεδία μπορούν να προκληθούν από μηχανές μετατροπής κλπ. Μπορεί να

εισέλθει στο δίκτυο του συστήματος επίσης και ισχύς χωρητικού θορύβου λόγω εναλλαγής με κορυφές υψηλής συχνότητας. (Αυτό μπορεί να προκαλέσει και θόρυβο υψηλής συχνότητας)

β) Ψηλές συχνότητες μεταξύ 10 kHz και 30 MHz

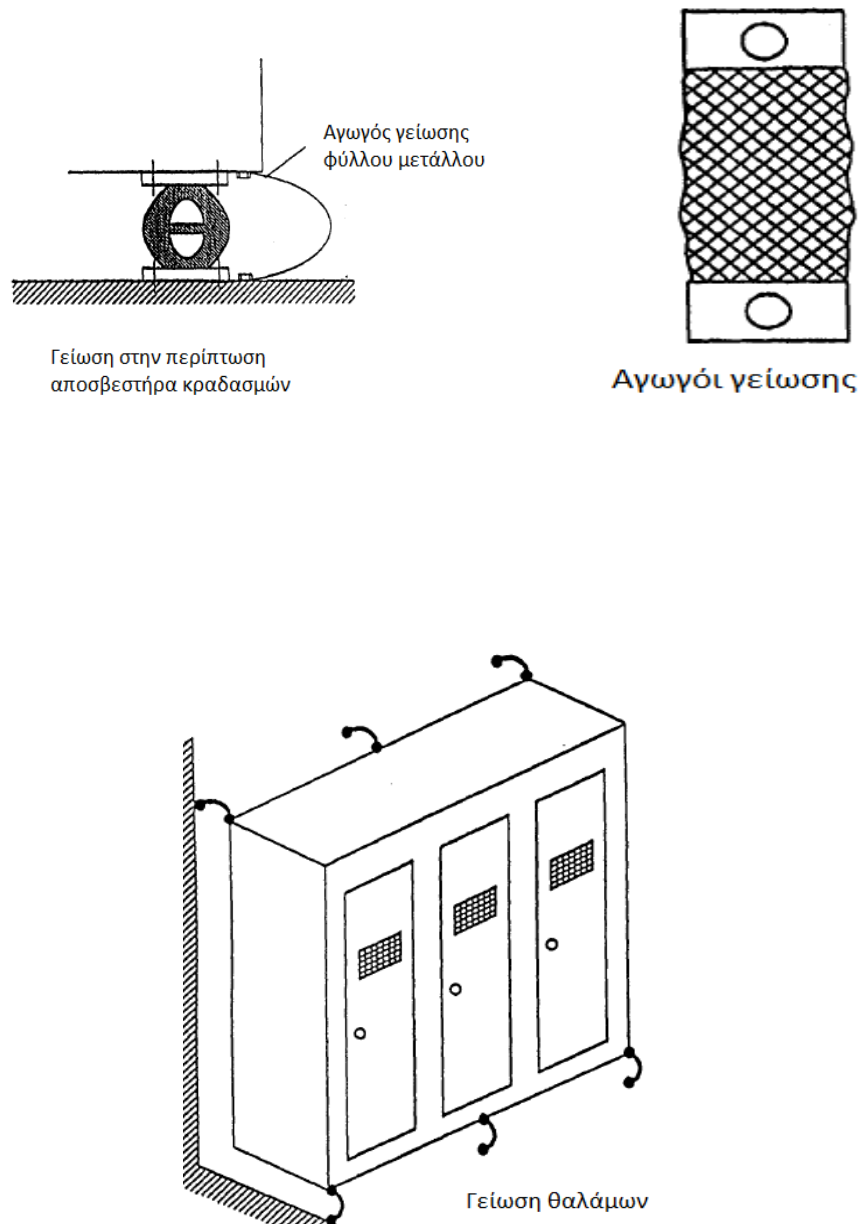
Σε αυτήν την περίπτωση, η ισχύς του θορύβου μπορεί να προκληθεί από τα συστήματα παροχής ισχύος και συσκευές τηλεπικοινωνιών. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο θα είναι εγκάρσιας ηλεκτρικής και μαγνητικής φύσης. Η ισχύς θορύβου μπορεί να εισέλθει στο δίκτυο του συστήματος μέσω επαγωγικών ή χωρητικών συνδέσεων.

γ) Συχνότητες μεγαλύτερες των 30 MHz

Σε αυτό το εύρος συχνοτήτων η ισχύς θορύβου μπορεί να προέλθει από συσκευές τηλεπικοινωνιών αλλά και από εναλλαγή επαγωγικών φορτίων μέσω διακόπτη. Το αποτέλεσμα είναι η παρουσία παρεμβάλλοντος θόρυβος σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Το παραγόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι ηλεκτρικής φύσης και η ισχύς θορύβου εισέρχεται στο σύστημα μέσω χωρητικών συνδέσεων. Στις ακόλουθες παραγράφους θα εισάγουμε μεθόδους γείωσης για τις περιπτώσεις α) και β) καθώς στην παρούσα κατάσταση ο εξοπλισμός των πλοίων χρησιμοποιεί σε αυτά τα εύρη συχνοτήτων.

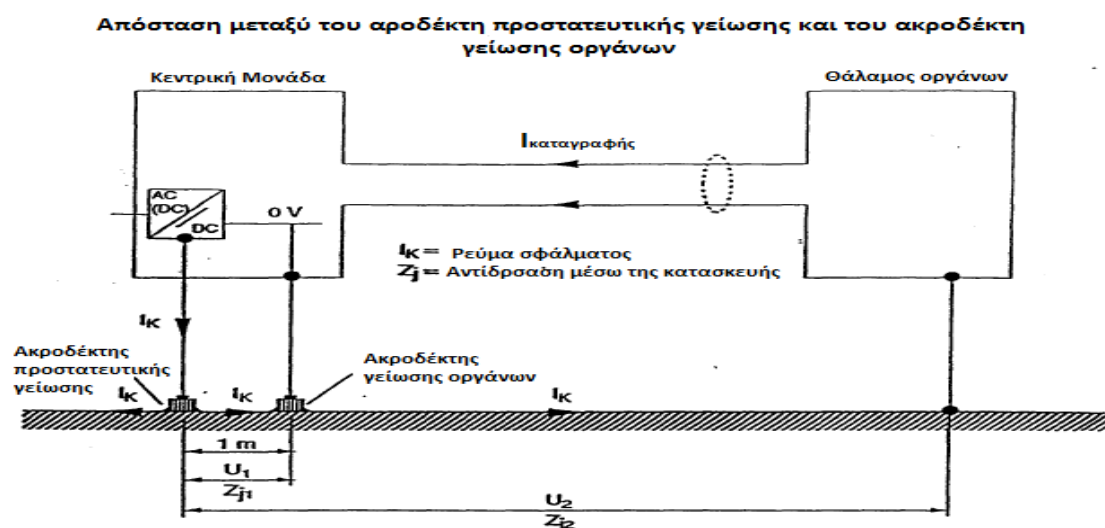
- Στην παρούσα συγκυρία τα ηλεκτρονικά συστήματα εισάγουν λίγο θόρυβο στην περίπτωση γ) αλλά σε κάποιες περιπτώσεις μπορούν να δημιουργηθούν προβλήματα. Το όριο των 30 MHz θα αυξηθεί καθώς δημιουργούνται νέα μηχανήματα για ταχύτερη ροή σήματος. Ο σκοπός της γείωσης λοιπόν ούτως ώστε να ελαττωθεί η παρουσία του ηλεκτρομαγνητικού θορύβου είναι η δημιουργία ενός μονοπατιού επιστροφής χαμηλής αντίδρασης των ρευμάτων θορύβου ώστε αυτά να επιστρέφουν μέσω διαδρομών σε πλαίσια, περιβλήματα ή κουβούκλια χωρίς να εισέρχονται στο δίκτυο του συστήματος που φέρει το σήμα. Μία ανεπαρκώς εγκατεστημένη επαφή με τη γείωση μπορεί να έχει τόσο μεγάλη αντίδραση που το ρεύμα θορύβου να “ψάχνει” την επιστροφή του μέσω επαγωγικών ή χωρητικών αγωγών προς το δίκτυο παρά μέσω της γαλβανικής διαδρομής όπως θα επιθυμούσαμε με τη γείωση πλαισίων περιβλημάτων και κουβουκλίων.
- Κατασκευή και εγκατάσταση συνδέσεων γείωσης: Η σύνδεση γείωσης πρέπει να εγκατασταθεί με προσοχή, οι επιφάνειες συνδέσεις πρέπει να καθαριστούν και να είναι απαλλαγμένες από μπογιά, γράσο κτλ. Μετά το τέλος της εγκατάστασης, η σύνδεση πρέπει να συντηρείται για αποφυγή διάβρωσης. Η σύνδεση με τη γη πρέπει να προστατευτεί με σπρέι ψευδαργύρου και μόλις αυτό στεγνώσει, πρέπει να καλυφθεί με tectyl (ειδικό προστατευτικό αντιδιαβρωτικό υλικό). Για τις βίδες τα παξιμάδια κτλ πρέπει να χρησιμοποιηθεί μέταλλο ανθεκτικό στο οξύ.
- Για να εξασφαλίσουμε αρκετά μεγάλη επιφάνεια για τη σύνδεση γείωσης, για τη γείωση θαλάμων και περιβλημάτων, χρησιμοποιούμε τουλάχιστον έναν αγωγό με

εμβαδόν τομής τουλάχιστον 25τ.χιλ. αποτελούμενο κατά προτίμηση από επικασιτερωμένο χαλκό. Για μεγαλύτερους θαλάμους που περιέχουν ευαίσθητα ηλεκτρονικά συστήματα συνίσταται η εγκατάσταση πολλαπλών συνδέσεων γείωσης. Γενικά συνίσταται η εγκατάσταση μιας σύνδεσης γείωσης για κάθε ένα μέτρο θαλάμου. Οι θάλαμοι μεγάλου ύψους μπορούν να γειωθούν τόσο στην κορυφή τους όσο και στη βάση τους. Αν θέλουμε, μπορεί να τοποθετηθεί ξεχωριστός δίαυλος γείωσης για εγγενώς ασφαλή συστήματα. βλ. Εικόνα 4.5.5,4.5.6



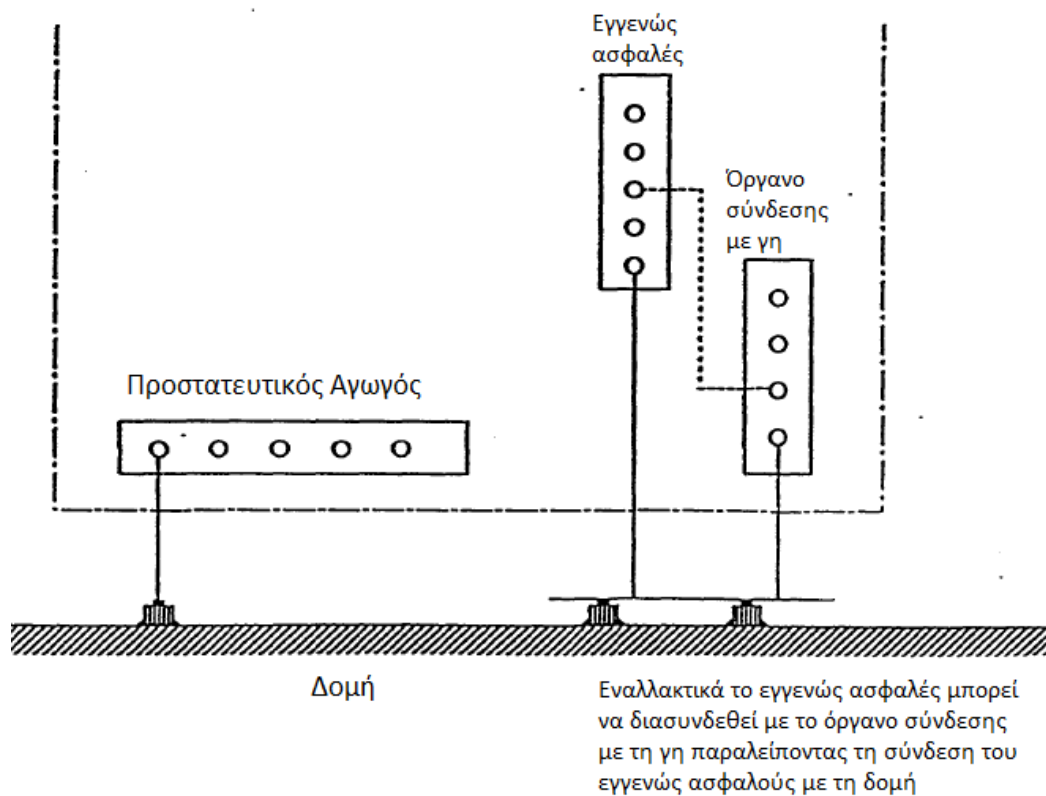
Εικόνα 4.5.3: Γείωση διάφορων μερών

- Η σύνδεση γείωσης θα πρέπει να γίνει με ξεχωριστό ακροδέκτη συγκολλημένο στην ατσάλινη κατασκευή. Η σύνδεση πρέπει να γίνει όσο το δυνατόν συντομότερη γιατί ο μάντας γείωσης λειτουργεί ως κεραία όταν τον διατρέχουν ρεύματα γείωσης.
- Η προστατευτική γη της παροχής ισχύος θα πρέπει να συνδεθεί με διαφορετικό ακροδέκτη γείωσης συγκολλημένο στην κατασκευή. Αυτό πρέπει να γίνει γιατί μεγάλα ρεύματα βραχυκύκλωσης μπορεί να ρέουν στον αγωγό προκαλώντας διαφορά δυναμικού μεταξύ της κατασκευής και του σημείου σύνδεσης της συσκευής με τη γη, λόγω αντίδρασης στον μάντα σύνδεσης με τη γείωση (αγωγού και ακροδέκτη). Αυτή η διαφορά δυναμικού δεν πρέπει να δυσκολεύει τη λειτουργία του συστήματος οργάνων.
- Αν απαιτείται προστασία από θόρυβο υψηλής συχνότητας (για συχνότητες άνω των 100kHz) τότε η προστατευτική γείωση πρέπει να συνδεθεί κεντρικά στο θάλαμο ή στο περίβλημα, κατά προτίμηση στην ίδια σύνδεση γης με αυτή του θαλάμου. Αυτό θα πρέπει να γίνει προς αποφυγή της ροής ισχύος ηλεκτρομαγνητικού θορύβου εντός ή εκτός του θαλάμου – περιβλήματος μέσω της σύνδεσης γης. Όλα τα καλώδια που εισέρχονται στο θάλαμο πρέπει να είναι πλαισιωμένα και τα πλαίσια πρέπει να συνδέονται στο θάλαμο στο σημείο εισόδου των καλωδίων. Αυτό σημαίνει ότι ένας εγγενώς ασφαλής αγωγός γείωσης πρέπει να πλαισιωθεί ακόμα και αν το καλώδιο εξέρχεται του θαλάμου – περιβλήματος. Βλ Εικόνα 4.5.5
- Η τάση αναφοράς της κεντρικής μονάδας πρέπει να γειωθεί ξεχωριστά και άμεσα στο δίαυλο γείωσης οργάνων αν αυτό είναι επιθυμητό.

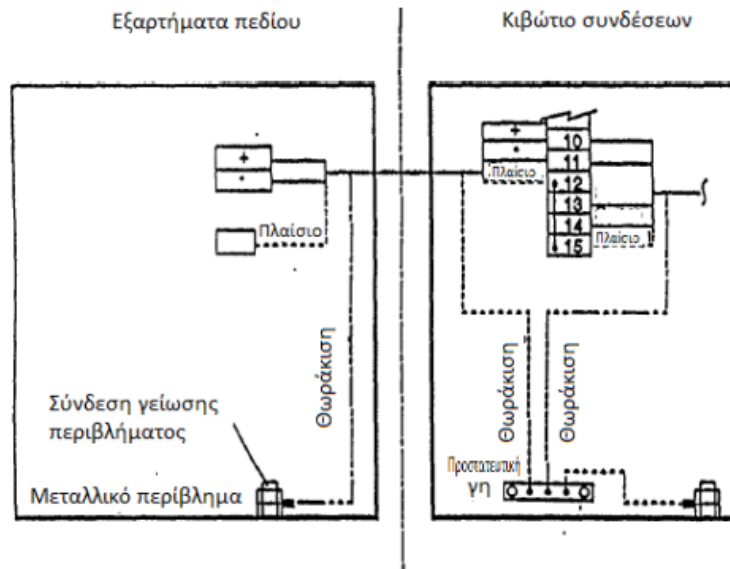


Εικόνα 4.5.4: Απόσταση του ακροδέκτη προστατευτικής γείωσης και του ακροδέκτη γείωσης οργάνων

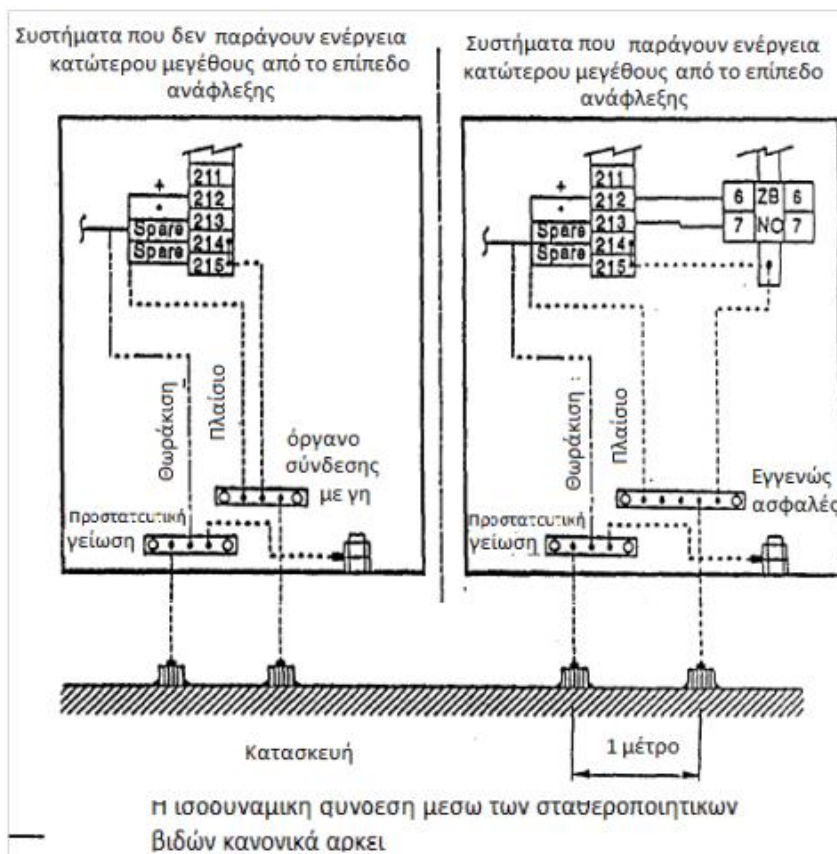
Γείωση οργάνων στην κεντρική μονάδα



Εικόνα 4.5.5: Γείωση οργάνων στην κεντρική μονάδα



Στα συστήματα που παράγουν ενέργεια κατώτερου μεγέθους από το επίπεδο ανάφλεξης και για τάσεις μικρότερες των 30V ac/50V dc η γείωση μπορεί να εξαληφθεί. Η ισοδυναμική σύνδεση μέσω των σταθεροποιητικών βιδών κανονικά αρκεί



Εικόνα 4.5.6: Απόσταση σύνδεσης με τη γείωση για διάφορα συστήματα

4.6 NVIC 2-89 Σύστημα ανίχνευσης γης

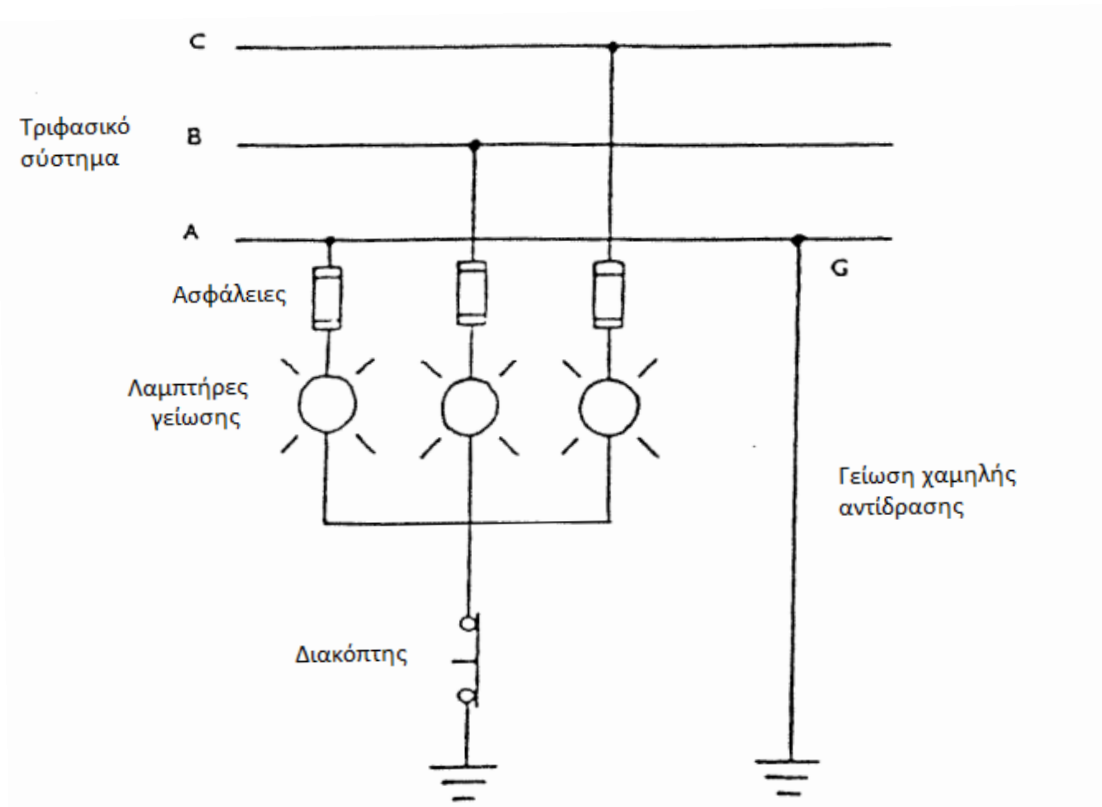
Το πρότυπο NVIC (Navigation and Vessel Inspection Circular) είναι ένα έγγραφο που εκδίδεται από την Ακτοφυλακή των ΗΠΑ και έχει ως σκοπό την παροχή οδηγιών σχετικών με τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε εμπορικά πλοία και κινητές μονάδες υπεράκτιας γεώτρησης με στόχο τη βελτίωση του επιπέδου ασφαλείας. Οι οδηγίες και οι περιορισμοί που καταγράφονται στο κείμενο του προτύπου, αν και δεν είναι νομικά περιοριστικοί και η μη εφαρμογή τους δεν αποτελεί αδίκημα, καλό είναι να εφαρμόζονται καθώς η μη εφαρμογή τους μπορεί τελικά να οδηγήσει τους αρμόδιους στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν ασυμφωνίες με το νόμο. Πιο συγκεκριμένα θα ασχοληθούμε με τα συστήματα ανίχνευσης γείωσης που υπάρχουν στο κείμενο του κανονισμού.

4.6.1 Ανίχνευση γείωσης – Γενικά

- Οι γειώσεις μπορεί να γίνουν πηγές πυρκαγιάς και ηλεκτροπληξίας. Σε ένα αγείωτο σύστημα, μια μοναδική γείωση δεν έχει αξιοσημείωτη επιρροή στη ροή ρεύματος. Αντιθέτως, αν συμβούν γειώσεις χαμηλής αντίστασης σε αγωγούς διαφορετικών δυναμικών, μπορεί να έχουμε ως αποτέλεσμα πολύ μεγάλα ρεύματα. Σε ένα γειωμένο σύστημα, μια μοναδική γείωση χαμηλής αντίδρασης, μπορεί να καταλήξει σε μεγάλα ρεύματα σφάλματος. Για την ανίχνευση των γειώσεων, οι κανονισμοί απαιτούν τα μέσα ανίχνευσης εδάφους να παρέχονται για κάθε ηλεκτρικό σύστημα πρόωσης, κάθε υπηρεσία συστήματος ισχύος του πλοίου, κάθε σύστημα φωτισμού και κάθε σύστημα φωτισμού ή ισχύος που είναι απομονωμένο από την υπηρεσία συστήματος ενέργειας και φωτισμού του πλοίου από μετασχηματιστές, σετ μοτέρ-γεννητριών, ή άλλη συσκευή. Αυτή η ένδειξη δεν χρειάζεται να είναι μέρος του κύριου πίνακα ελέγχου αλλά θα πρέπει να συνυπάρχει στον ίδιο χώρο με τον πίνακα ελέγχου (π.χ. Στην κονσόλα ελέγχου του μηχανικού που γειτονεύει με τον κύριο πίνακα ελέγχου).

4.6.2 Ανίχνευση γείωσης σε αγείοτο σύστημα

- Η ένδειξη μπορεί να επιτυγχάνεται με μια ενιαία τράπεζα λαμπτήρων με ένα διακόπτη που επιλέγει το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που επιθυμούμε να δοκιμαστεί, ή από ένα σετ λαμπτήρων ανίχνευσης γείωσης για κάθε σύστημα που παρακολουθείται. Σε ένα μη γειωμένο τριφασικό σύστημα ανίχνευσης γείωσης χρησιμοποιούνται λαμπτήρες. Οι λαμπτήρες γείωσης είναι συνδεδεμένοι σε συνδεσμολογία Y με γειωμένο το κοινό σημείο. Στη σύνδεση γείωσης παρέχεται ένας κανονικά κλειστός διακόπτης.



Εικόνα 4.6.1: Ανίχνευση γείωσης σε αγείοτο σύστημα

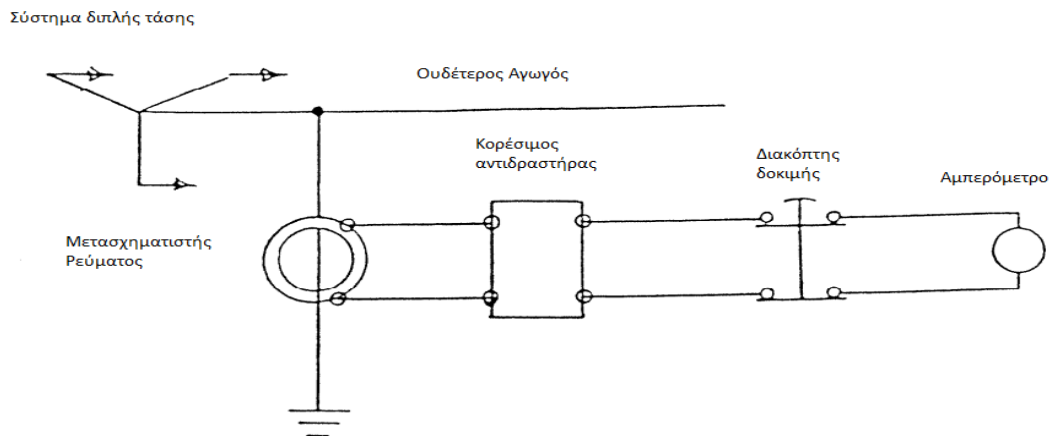
- Χωρίς την παρουσία γης στο σύστημα, κάθε λαμπτήρας θα βλέπει τη μισή τάση φάσης προς φάση και όλοι οι λαμπτήρας θα λάμπουν με ίδια ένταση. Αν η γραμμή A γειώνεται μέσω γείωσης χαμηλής αντίδρασης, ο λαμπτήρας που συνδέεται στη γραμμή A θα αποκοπεί και θα πάψει να λάμπει. Οι δύο άλλοι λαμπτήρες που αντιστοιχούν στις υπόλοιπες γραμμές θα βλέπουν τάση ίση με

την τάση φάσης προς φάση και θα λάμπουν περισσότερο από το κανονικό. Αν σε οποιαδήποτε γραμμή εμφανιστεί γείωση μέσω γείωσης χαμηλής αντίστασης, η ένταση του λαμπτήρα που αντιστοιχεί σε αυτή τη γραμμή θα εξασθενίσει ελαφρά ενώ οι υπόλοιποι λαμπτήρες θα λάμπουν ελαφρά εντονότερα. Ο διακόπτης χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στον εντοπισμό γειώσεων υψηλής αντίδρασης που προκαλούν μικρή μεταβολή της τάσης. Όταν ο διακόπτης ανοίξει τη σύνδεση γείωσης, η τάση κατά μήκος κάθε λαμπτήρα επιστρέφει στο φυσιολογικό (φασική τάση) και κάθε λαμπτήρας θα έχει την ίδια ένταση. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να εντοπίσουμε διαφορές μεταξύ φυσιολογικών τάσεων και τάσεων που έχουν υποστεί μικρές μετατοπίσεις.

- Οι λαμπτήρες ισχύος μεταξύ 5 και 25W όταν λειτουργούν στη μισή τάση φάσης προς φάση (χωρίς παρουσία γης), έχουν ικανοποιητική απόδοση, δίνοντας επαρκή διαφορά φωτισμού σε περιπτώσεις γείωσης υψηλής αντίδρασης. Ακόμα και στην περίπτωση συμπαγούς γείωσης, οι λαμπτήρες θα εξακολουθούν να βρίσκονται εντός των ονομαστικών τους τιμών και δεν θα υποστούν βλάβες. Για μικρότερες γειώσεις, τα λούμεν εξόδου του κάθε λαμπτήρα, θα ποικίλλουν σχεδόν αναλογικά με τον κύβο της τάσης. Αυτή η εκθετική αλλαγή στη φωτεινότητα του λαμπτήρα (αυξανόμενη στο τετράγωνο και μειούμενη στη μονάδα) παρέχει την αναγκαία αντίθεση που μας επιτρέπει να αντιληφθούμε τις διαφορές.

4.6.3 Ανίχνευση γείωσης – Γειωμένο σύστημα

- Σε γειωμένα συστήματα διπλής τάσης, για τον εντοπισμό της γείωσης χρησιμοποιείται ένα αμπερόμετρο. Το εν λόγω αμπερόμετρο συνδέεται εν σειρά με τη σύνδεση μεταξύ του ουδέτερου και της γης του σκάφους. Για την ανίχνευση γείωσης υψηλής αντίδρασης με αποτέλεσμα μικρά ρεύματα γείωσης, οι κανονισμοί απαιτούν αμπερόμετρα με κλίμακα μεταξύ 0 και 10A. Πάντως, το αμπερόμετρο θα πρέπει να είναι ικανό να αντέξει χωρίς βλάβη πολύ μεγαλύτερα ρεύματα γείωσης κοντά στα 500A. Αυτή η δυνατότητα αντοχής δίνεται μέσω της χρήσης ειδικού μορφοτροπέα (π.χ. κορέσιμου αντιδραστήρα) στο κύκλωμα του μετρητή. Κάποια αμπερόμετρα χρησιμοποιούν μη γραμμική κλίμακα διευκολύνοντας τον εντοπισμό κίνησης για μικρές τιμές ρεύματος. Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στην επόμενη εικόνα



Εικόνα 4.6.2: Ανίχνευση γείωσης σε γειωμένο σύστημα

- Με την πάροδο του χρόνου διατίθενται και άλλοι τύποι διατάξεων συμπαγούςκατάστασης που μπορούν να κάνουν ανίχνευση γείωσης. Δεν θα πρέπει να απαγορεύονται, αλλά θα πρέπει να αξιολογούνται για να αποδειχθεί ότι είναι λειτουργικά ισοδύναμοι με τους λαμπτήρες και τα αμπερόμετρα που παραδοσιακά χρησιμοποιούνται. Κάποια συστήματα επίσης περιέχουν οπτικό ή και ακουστικό συναγερμό για προκαθορισμένα επίπεδο ρεύματος γείωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν οι ασυμφωνίες μεταξύ των προτύπων ενώ θα γίνουν προτάσεις υλοποίησης συστημάτων βάσει των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τη μελέτη των προτύπων όπως και άλλων επιστημονικών άρθρων σχετικών με την αντικεραυνική προστασία και τη γείωση. Τα συμπεράσματα για κάθε ένα από τα δύο αυτά κεντρικά ζητήματα θα περιγραφούν σε διαφορετικές παραγράφους παρότι η υλοποίηση ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη σωστή γείωση της. Ο λόγος που θα αντιμετωπιστούν χωριστά λοιπόν, είναι ότι προκύπτει το ζήτημα πως η αντικεραυνική προστασία χρήζει περισσότερης μελέτης σε μικρά (συνήθως μη μεταλλικά) σκάφη αναψυχής και ιστιοφόρα, ενώ το θέμα της γείωσης, τουλάχιστον ως προς τα συστήματα διανομής και παραγωγής, παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον σε μεγάλα εμπορικά και επιβατηγά σκάφη, όπου ο κίνδυνος από πιθανά σφάλματα είναι αυξημένος τόσο ως προς την πιθανότητα να συμβούν ατυχήματα όσο και ως προς την κλίμακα των κυκλωμάτων με τα οποία ασχολούμαστε.

5.1 ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

5.1.1 Συγκριτική ανάλυση προτύπων

Για να καταλήξουμε σε μία ενιαία πρόταση ως προς το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, πρέπει να εντοπίσουμε τις πιθανές ασυμφωνίες ανάμεσα στα πρότυπα που αναφέρθηκαν παραπάνω και στη συνέχεια να εντοπίσουμε τα σημεία στα οποία το κάθε πρότυπο υπερτερεί ή υστερεί έναντι των άλλων. Το πλεονέκτημα ή μειονέκτημα του κάθε προτύπου μπορεί να είναι ποσοτικό, π.χ. να απαιτεί μικρότερες ή μεγαλύτερες διαστάσεις κάποιων μερών του συστήματος προστασίας, ή ποιοτικό ως προς την πληρότητα των πληροφοριών που παρέχει.

Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο 13.8 του προτύπου IEC 60092-507 γίνεται λόγος για την αντικεραυνική προστασία για σκάφη μήκους έως 50m όμως στο πρότυπο ISO10134 οι διευκρινίσεις γίνονται πιο συγκεκριμένες. Βλέπουμε ότι οι οδηγίες του νηογνώμονα Bureau Veritas σχεδόν ταυτίζονται με αυτές του IEC 60092-507 ειδικά ως προς τη διαστασιολόγηση. Το πρότυπο ABYC από την άλλη παρέχει πολλές από τις πληροφορίες του και σε μορφή διαγραμμάτων και κυκλωμάτων, γεγονός που το κάνει πιο εύχρηστο και πρακτικό σε συνδεσμολογίες και εφαρμογές.

Όλα τα πρότυπα συγκλίνουν στην αναγκαιότητα αντικεραυνικής προστασίας που αποτελείται από τερματικό αέρα (αλεξικέραυνο), καθοδικό αγωγό και πλάκα γείωσης, σε σκάφη μη μεταλλικού σκελετού. Ουσιαστικά λοιπόν, ασχολούμαστε με τη σύγκριση των αναφερόμενων διαστάσεων αυτών των τριών συστατικών του αντικεραυνικού συστήματος όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 5.1.1.

	IEC 60092-507	ISO 10134	DEF STAN 02-51	ABYC	Bureau Veritas
Αγωγοί αντικεραυνικής προστασίας (mm²)	>70	21	75	21.2	>70
Διάμετρος Αλεξικέραυνου (mm)	12	-	12	9.5 για χαλκό 12.7 για αλουμίνιο	12
Εξοχή αλεξικέραυνου από το κατάρτι (mm)	300	*	300	152	300
Πλάκα γείωσης (m²)	0.25	0.1	0.25	0.1	0.25
Ελάχιστο πάχος πλάκας γείωσης (mm)	-	5	7	5	-
Ελάχιστο μήκος πλάκας γείωσης (m)	-	4	0.4	-	-
Ελάχιστο πλάτος πλάκας γείωσης (mm)	-	20	-	-	-
Αγωγοί ζεδξής (mm²)	16	13	-	13.3	-

Πίνακας 5.1.1: Διάφορες διαστάσεις ανά οδηγία

*Το πρότυπο υπαγορεύει ότι ο αγωγός μπορεί να εξέχει από το κατάρτι 150 mm και να καταλήγει σε αλεξικέραυνο χωρίς όμως να κάνει αναφορά στο πόσο πρέπει να εξέχει το αλεξικέραυνο.

Μια ομοιότητα που εντοπίζεται ανάμεσα στα πρότυπα ABYC και ISO είναι η δυνατότητα χρήσης των μεταλλικών καταρτιών ως καθοδικών αγωγών (με κάποιους περιορισμούς ως προς την αντίσταση και τη σύνδεση). Όμως το πρότυπο ABYC πηγαίνοντας ένα βήμα παραπέρα, διευκρινίζει επίσης ότι επί της διαδρομής του αγωγού αντικεραυνικής προστασίας, δεν πρέπει να σχηματίζονται γωνίες μικρότερες των 90° και πρέπει να έχουν ακτίνα καμπυλότητας μικρότερη των 20 εκατοστών. Το πρότυπο ISO 10134 αρκείται στο ότι κανένα καλώδιο δεν πρέπει να ακολουθεί οριζόντια διαδρομή.

Στο ISO 10134 αναφέρεται ότι η πλάκα γείωσης του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι τοποθετημένη σε σημείο τέτοιο ώστε ο καθοδικός αγωγός να ακολουθεί την πιο ευθεία και σύντομη διαδρομή. Αυτή η διατύπωση όμως δεν επαρκεί, γιατί δεν γίνεται σαφής αναφορά στο γεγονός ότι η πλάκα γείωσης του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να είναι διαφορετική και ξεχωριστή από την πλάκα γείωσης που χρησιμοποιεί ο εξοπλισμός του σκάφους για ηλεκτρικούς σκοπούς. Αντίθετα στο πρότυπο IEC 60092-507 και στον κανονισμό του Bureau Veritas αυτή η σημαντικότερη διαφοροποίηση είναι δοσμένη με τρόπο ρητό και ξεκάθαρο. Αντιδιαμετρικά αντίθετη γνώμη επί του θέματος εκφράζει το πρότυπο DEF STAN 02-51, το οποίο επιτρέπει τη χρήση της πλάκας γείωσης αντικεραυνικής προστασίας και ως κύρια πλάκα γείωσης των ηλεκτρικών συστημάτων του σκάφους. Αυτές οι ασυμφωνίες γίνονται σαφέστερες στον πίνακα 5.2.4.3 της επόμενης παραγράφου.

Περνώντας στην περίπτωση μεταλλικού σκάφους, το γενικό συμπέρασμα είναι ότι τη θέση του αντικεραυνικού καταρτιού, του καθοδικού αγωγού και της πλάκας γείωσης, παίρνει το ίδιο το σκάφος. Αν στην περίπτωση μη μεταλλικού σκάφους επιδιώκουμε να εξασφαλίσουμε την ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ αυτών των στοιχείων, στο μεταλλικό σκάφος, η ίδια η αγωγιμότητα του υλικού συνδέει αυτόματα τον κεραυνό με το νερό. Στα πρότυπα ISO, IEC, ABYC, DEF STAN και Bureau Veritas γίνεται λόγος για την περίπτωση μεταλλικού σκελετού σκάφους με το πρότυπο ABYC να είναι το μοναδικό που κάνει λόγο για την περίπτωση που το σκάφος είναι κατασκευασμένο από ανθρακονήματα, κατατάσσοντάς το στην κατηγορία των μη μεταλλικών σκαφών.

Στα πρότυπα ISO και ABYC εντοπίζονται κάποια ζητήματα που απουσιάζουν στο αντίστοιχο IEC και για τα οποία γίνονται αναφορές σε πρότυπα τα οποία ασχολούνται με επίγεια συστήματα αντικεραυνικής προστασίας. Ένα από αυτά τα ζητήματα είναι αυτό της ισοδυναμικής ζεύξης. Γενικά αναφέρεται ότι οι μεγάλες μεταλλικές μάζες, εσωτερικές ή εξωτερικές, πρέπει να ενώνονται στην εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας με χάλκινο αγωγό κατάλληλων διαστάσεων. Αυτή η σύνδεση ισχύει για τις δεξαμενές, τα καύσιμα, τα συστήματα πρόωσης, τα εξωτερικά μεταλλικά μέρη και το νερό. Στο πρότυπο ABYC γίνεται λόγος για τον ισοδυναμικό δίαυλο, ο οποίος τοποθετείται κοντά στην πλάκα γείωσης. Οι ισοδυναμικές ζεύξεις έχουν ως σκοπό να εξαφανίσουν τις διαφορές δυναμικού που εντοπίζονται ανάμεσα στα μεταλλικά μέρη και τις γειώσεις με τις οποίες αυτά συνδέονται και του

συστήματος αντικεραυνικής προστασίας, αποφεύγοντας τον κίνδυνο εμφάνισης επικίνδυνων τάσεων ή δευτερευόντων εκφορτίσεων προς μεταλλικά μέρη του σκάφους.

Επίσης στα πρότυπα ISO και ABYC γίνεται αναφορά στην έννοια του όγκου προστασίας, η οποία απουσιάζει πλήρως από το αντίστοιχο πρότυπο IEC. Ο όγκος προστασίας σχετίζεται με τη μέθοδο του κώνου προστασίας και δίνονται οι γεωμετρικές διευκρινίσεις ανάλογα με τα ύψη των καταρτιών σύμφωνα με τον πίνακα 5.1.2

	ABYC	ISO
Ύψος έως 15 μέτρα	Κώνος προστασίας 1:1	Κώνος προστασίας 1:1
Ύψος πάνω από 15 μέτρα	-	Κυλιόμενη σφαίρα
Ύψος έως 30 μέτρα	Κώνος προστασίας 1:1	Κυλιόμενη σφαίρα
Ύψος πάνω από 30 μέτρα	Κυλιόμενη σφαίρα	Κυλιόμενη σφαίρα

Πίνακας 5.1.2: Μέθοδος προστασίας ανά ύψος καταρτιού

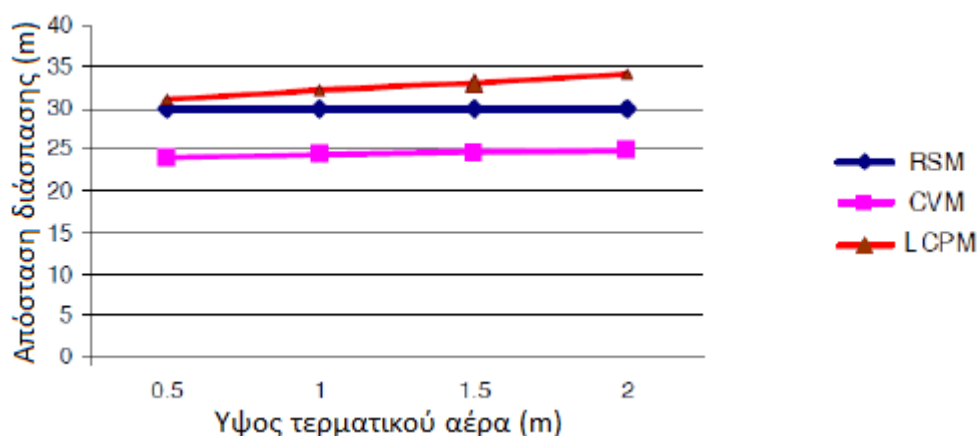
Ο αποκαλούμενος κώνος προστασίας όπως είδαμε και σε προηγούμενα κεφάλαια για να θεωρηθεί αποτελεσματικός πρέπει να έχει αναλογία ύψους με ακτίνα βάσης 1:1. Αν κάποιος κεραυνός χτυπούσε εντός της περιοχής προστασίας, αν δεν υπήρχε αλεξικέραυνο, θα έπρεπε να χτυπήσει την κορυφή του κώνου με την παρουσία του αλεξικέραυνο. Η επιστημονική ακρίβεια της μεθόδου του κώνου προστασίας αμφισβητείται από τα ευρήματα των Muller-Hillerbrand [29], οι οποίοι βρήκαν ότι οι κεραυνοί πλήττουν ψηλά σημεία ανάλογα με το τετράγωνο του ύψους τους και όχι γραμμικά όπως θεωρεί η μέθοδος του κώνου προστασίας. Επιπρόσθετα, δεν φαίνεται να έχει γίνει συγκεκριμένη επιστημονική μελέτη για την εφαρμογή του κώνου προστασίας σε σκάφη.

Η υπόθεση ότι κάθε κεραυνός πλήττει ένα μόνο σκάφος τη φορά, δεν είναι έγκυρη σε περιοχές που αγκυροβολούν πολλά σκάφη, καθώς πολλοί ανερχόμενοι προπομποί εκκινούν από πολλά σημεία από το επίπεδο που βρίσκονται τα σκάφη ως αντίδραση στον κατερχόμενο οχετό του κεραυνού. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε βλάβες ηλεκτρονικών συστημάτων αντίστοιχες με αυτές ενός απευθείας κεραυνικού πλήγματος. Επιπλέον, κοντινά κεραυνικά πλήγματα μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ηλεκτρονικά λόγω επαγωγής που παραπέμπουν επίσης σε απευθείας κεραυνικό πλήγμα.

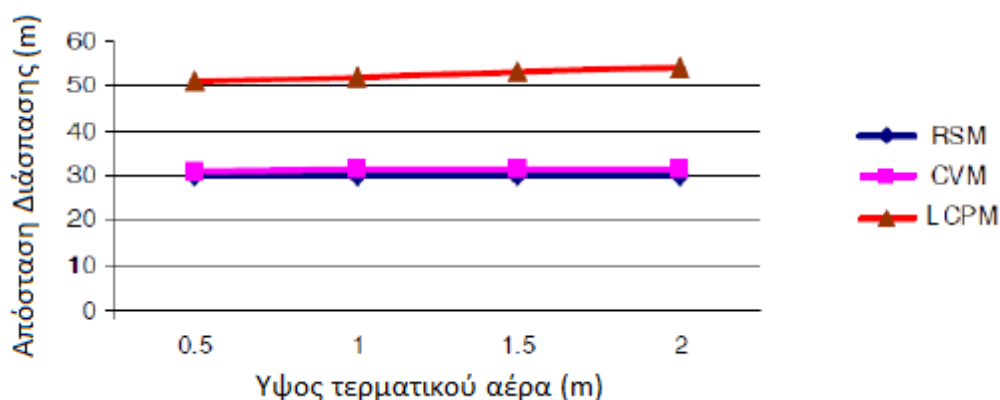
Άρα το συμπέρασμα είναι ότι το σκεπτικό του κώνου προστασίας μπορεί να αμφισβητηθεί από διάφορες απόψεις, παρότι παραμένει η κυρίαρχη μέθοδος αντικεραυνικής προστασίας. Μια πρόταση βελτίωσης της μεθόδου του κώνου προστασίας είναι μια πιθανοτική προσέγγιση που να προκύπτει από μελέτες σε πλήγματα που έχουν γίνει σε περιοχές με πολλά σκάφη για να προσδιοριστεί μια πιο

αποτελεσματική ακτίνα κορυφής (γωνία μεταξύ του άξονα του κώνου και της πλευράς του) από τις 90° που προτείνεται από τα πρότυπα.

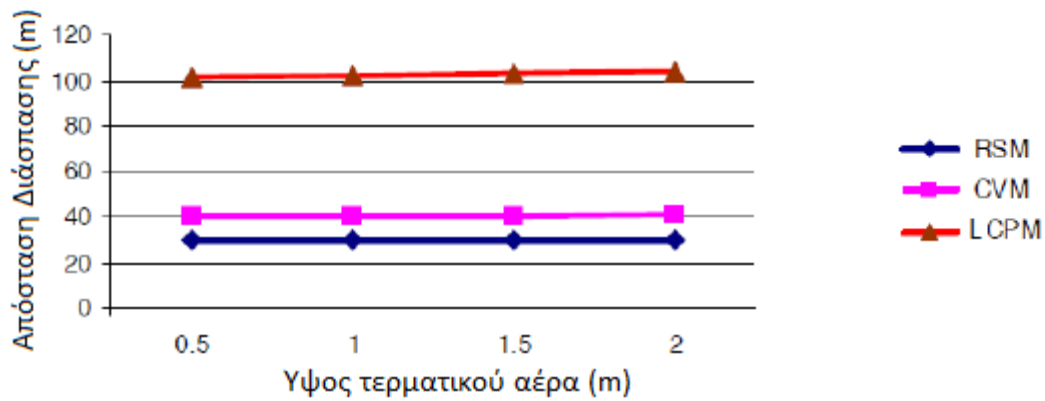
Η αποτελεσματικότερη προστασία του σκάφους πάντως απαιτεί πιο προηγμένες μεθόδους όπως τις Leader Potential Concept Method (LPCM) και Collection Volume Method (CVM). Αυτές οι μέθοδοι αν και δεν αναφέρονται στα πρότυπα, παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα όπως θα γίνει σαφές στα διαγράμματα που φαίνονται στη συνέχεια τα οποία δείχνουν τις επιδόσεις της κάθε μεθόδου για κεραυνικό ρεύμα 5.4kA με την απόσταση των νεφών από την επιφάνεια της θάλασσας να ορίζεται στα 5000 μέτρα.



Διάγραμμα 5.1: Απόσταση διάσπασης για ύψος τερματικού αέρα σε κατάρτι 15m



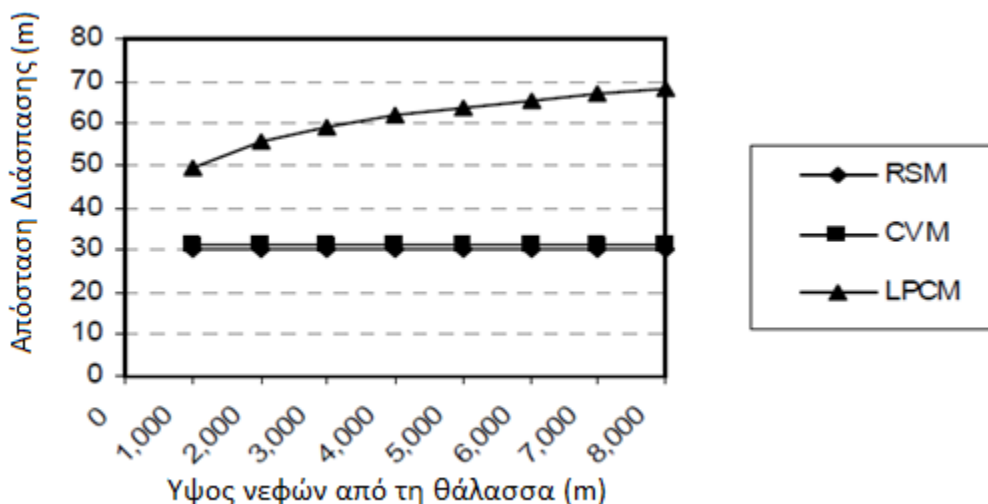
Διάγραμμα 5.2: Απόσταση διάσπασης για ύψος τερματικού αέρα σε κατάρτι 25m



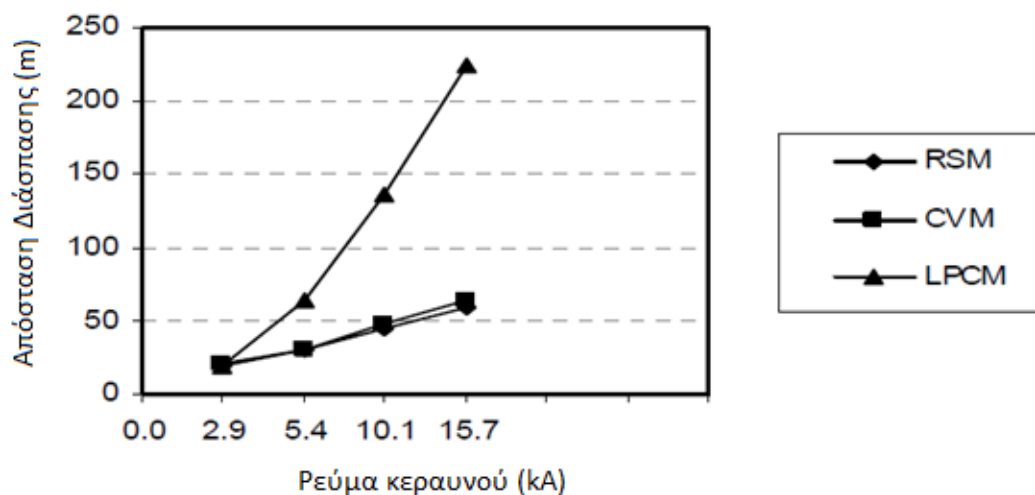
Διάγραμμα 5.3: Απόσταση διάσπασης για ύψος τερματικού αέρα σε κατάρτι 50m

Βλέπουμε λοιπόν την υπεροχή της μεθόδου LCPM η οποία για όλα τα ύψη του αλεξικέραυνου και για διάφορα ύψη καταρτιών παρέχει αισθητά μεγαλύτερη απόσταση διάσπασης (έως και 2.5 φορές μεγαλύτερη απ' ότι στις άλλες μεθόδους) παρέχοντας συνεπώς καλύτερη κάλυψη του σκάφους. Επίσης η μεγάλη αύξηση της απόστασης διάσπασης όσο αυξάνεται το ύψος του αλεξικέραυνου δείχνει ότι μπορούμε να μειώσουμε αισθητά το κόστος της αντικεραυνικής προστασίας που εγκαθίσταται στο σκάφος.

Επιπλέον η εν λόγω μέθοδος είναι η μόνη που λαμβάνει υπόψιν την απόσταση των νεφών από την επιφάνεια της θάλασσας εισάγοντας την παράμετρο Z του μήκους καναλιού του οχετού αλλά και το κεραυνικό ρεύμα I_p . Οι επιδόσεις της κάθε μεθόδου για διάφορες τιμές των παραμέτρων αυτών φαίνεται στα διαγράμματα 5.4 και 5.5



Διάγραμμα 5.4: Απόσταση διάσπασης για διάφορα ύψη νεφών

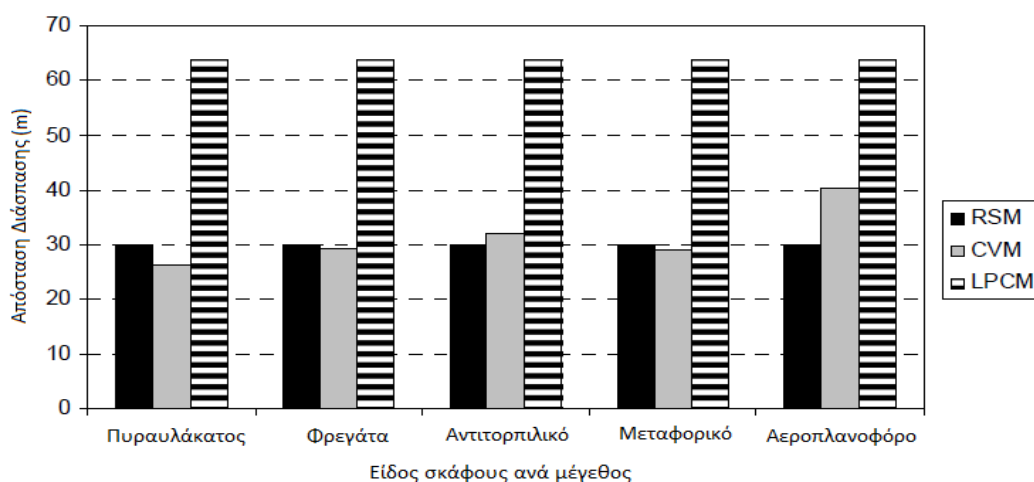


Διάγραμμα 5.5: Απόσταση διάσπασης για διάφορα ρεύματα κεραυνού

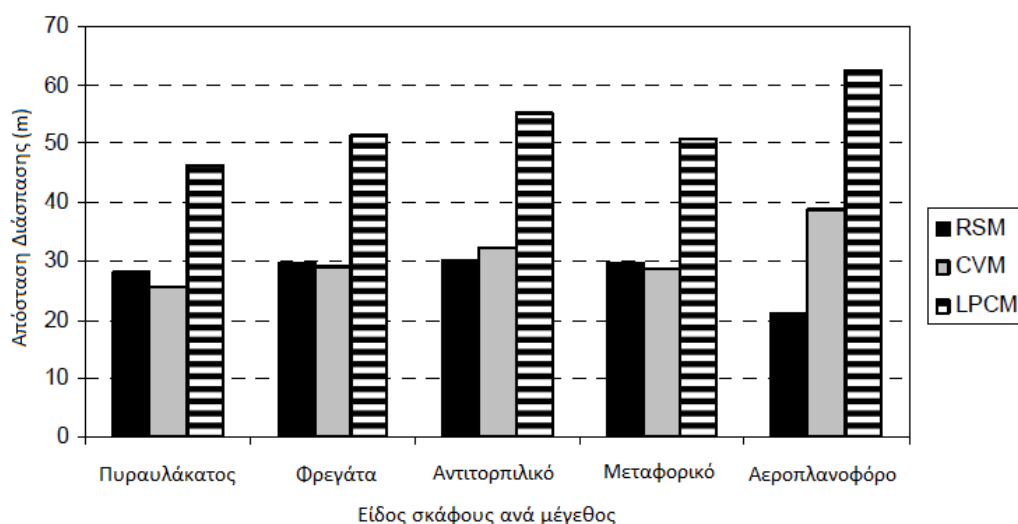
Για διάφορα πολεμικά και εμπορικά σκάφη στα οποία έγιναν προσομοιώσεις ανάλογα με το μέγεθός τους έχουμε τα εξής συμπεράσματα για παραμέτρους ίδιες με πριν ($Z=5000m$ και $I_p=5.4kA$):

Είδος σκάφους	Μήκος (m)	Πλάτος (m)	Ύψος καταρτιού (m)
Πυραυλάκατος	90	15	20
Φρεγάτα	145	20	26
Αντιτορπιλικό	194	27	32
Μεταφορικό	130	22	25
Αεροπλανοφόρο	270	44	51

Πίνακας 5.1.3: Διαστάσεις ανά είδος σκάφους

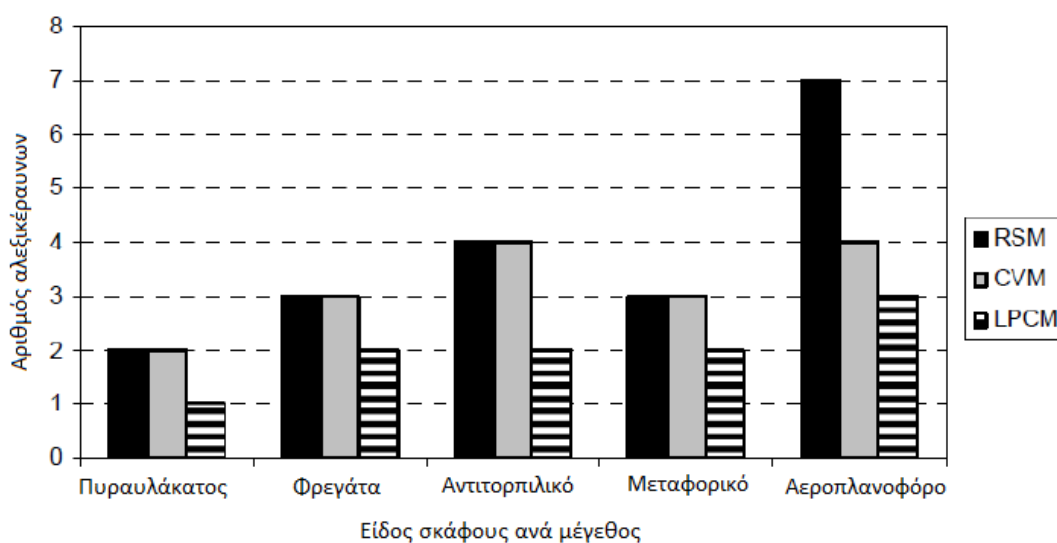


Διάγραμμα 5.6: Απόσταση διάσπασης για διάφορα είδη σκαφών



Διάγραμμα 5.7: Οριζόντια απόσταση προστασίας για διάφορα είδη σκαφών

Ένα ακόμα σημαντικό ζήτημα που χρήζει ανάλυσης είναι ο αριθμός των τερματικών αέρα που χρειάζεται κάθε είδος σκάφους για να προστατευτεί με τη χρήση κάθε μεθόδου.



Διάγραμμα 5.8: Αριθμός αλεξικέραυνων ανά είδος σκάφους

Γίνεται σαφές λοιπόν η καθολική υπεροχή της μεθόδου LPCM έναντι των υπολοίπων σε όλους τους τομείς που εξετάστηκαν γιατί το μοντέλο γραμμικού φορτίου πρώτον λαμβάνει υπόψιν το δυναμικό του οχητού αντί για το κεραυνικό ρεύμα επιστροφής και δεύτερον στη σχεδίαση συνδυάζεται με το μοντέλο κυλιόμενης σφαίρας. Το γεγονός ότι η μέθοδος αυτή δεν προτείνεται από κανένα πρότυπο αλλά αντί αυτής προτείνεται η απλοϊκή και μη εμπειρισματομένη μέθοδος του κώνου προστασίας δείχνει την πρόχειρη προσέγγιση που έχουν οι διάφοροι οργανισμοί επί του θέματος καθώς η LPCM υπερτερεί τόσο στην ασφάλεια όσο και στην οικονομία

και μπορεί να βελτιστοποιηθεί αν ληφθούν υπόψιν με ακρίβεια οι επιτόπιες συνθήκες σε κάθε περίπτωση.

Συνολικά λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι παρότι οι προτεινόμενες από τα πρότυπα μέθοδοι αντικεραυνικής προστασίας αποδεικνύονται ανεπαρκείς, το θέμα του συστήματος της αντικεραυνικής προστασίας κατά τα άλλα καλύπτεται επαρκώς στα δύο άλλα δομικά συστατικά του (καθοδικός αγωγός και πλάκα γείωσης). Σκοπός λοιπόν τόσο στην αντικεραυνική προστασία όσο και στη γείωση (όπως φαίνεται και στα συμπεράσματα της επόμενης παραγράφου) είναι η διοχέτευση των ανεπιθύμητων ρευμάτων στο νερό και όσο οι προβλέψεις των συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας δεν είναι σε θέση να αποτρέψουν τη σύνδεση του κεραυνού με το σκάφος ή να προβλέψουν το ακριβές σημείο που θα χτυπήσει ο κεραυνός, τα δύο αυτά ζητήματα θα παραμένουν σε μεγάλο βαθμό συναφή.

5.2 ΓΕΙΩΣΗ

5.2.1 Γενικά συμπεράσματα

Ο λόγος χρήσης κάθε είδους σκάφους (εμπορικό, αλιευτικό, αναψυχής, ερευνητικό, πολεμικό κτλ) απαιτεί ένα ηλεκτρικό σύστημα που να μπορεί να εξυπηρετήσει τους σκοπούς του σε οποιοσδήποτε συνθήκες κι αν βρίσκεται αυτό. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το σκάφος διαρκώς κινείται χωρίς να έχει άμεση πρόσβαση σε εξωτερική βοήθεια ενώ φέρει περιορισμένα εφόδια και εργαλεία, αυξάνεται η ανάγκη λεπτομερούς πρόβλεψης και σχεδίασης ενός ασφαλούς και αξιόπιστου ηλεκτρικού συστήματος, βασικό κομμάτι του οποίου είναι η γείωση των επιμέρους συστημάτων του.

Βρισκόμενοι στο υδάτινο περιβάλλον της θάλασσας, εξ ορισμού η λέξη γείωση φαντάζει αδόκιμη, γιατί παραπέμπει νοηματικά στη σύνδεση του πλοίου με τη γη. Ο μόνος τρόπος που μπορεί να συνδεθεί με πραγματική γείωση το πλοίο, είναι όταν τροφοδοτείται ηλεκτρικά από πηγή που βρίσκεται στην ξηρά και είναι γειωμένη στο έδαφος. Ως προς το πλοίο θα οριστεί ως κατ' ουσίαν γη το ίδιο το νερό πάνω στο οποίο πλέει το σκάφος.

Εν προκειμένω, λέγοντας γείωση εννοούμε την επαφή του σκελετού του πλοίου με το νερό. Στις περιπτώσεις που ο σκελετός είναι κατασκευασμένος από μη μεταλλικό (μη αγώγιμο) υλικό, απαιτείται η εγκατάσταση γειωτικής πλάκας κατά μήκος της καρίνας και κάτω από τη στάθμη της θάλασσας έτσι ώστε η πλάκα να βρίσκεται διαρκώς σε επαφή με το νερό. Έτσι η γειωτική πλάκα γίνεται, από ηλεκτρικής άποψης, το σημείο μηδενικής αναφοράς όλων των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων του πλοίου. Συνεπώς, έχουμε καταφέρει να δημιουργήσουμε μια ισοδυναμική επιφάνεια την οποία μπορούμε να ορίσουμε ως γη.

Η σύνδεση των συστημάτων ισχύος του πλοίου με τη γείωση γίνεται είτε απευθείας είτε με μεσολάβηση αντίστασης. Ακόμα και τα φαινομενικά αγείωτα συστήματα ισχύος συνδέονται με τη γη είτε μέσω της παράσιτης χωρητικότητας του κυκλώματος είτε μέσω ενός κυκλώματος ανίχνευσης σφάλματος γείωσης. Πολλές φορές η χρήση γείωσης στο σύστημα χρησιμεύει στην ανίχνευση ενός σφάλματος κατά το οποίο έχουμε μη ηθελημένη σύνδεση με τη γη.

Οι συνδέσεις όλων των συσκευών με τη γείωση πρέπει να γίνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η ροή ρευμάτων στο σκελετό εκτός από μερικές εξαιρέσεις. Επίσης όλα τα μεταλλικά μέρη του πλοίου που δεν είναι σε επαφή με τη γείωση πρέπει να συνδεθούν με τη στάθμη αναφοράς, είτε με μεταλλικούς ιμάντες,

είτε με μεταλλικά μπουλόνια. Τα συστήματα ισχύος μπορούν να γειωθούν είτε συμπαγώς είτε μέσω αντίδρασης στην πλάκα γείωσης.

Πολύ σημαντική κρίνεται η σωστή προστασία των ραδιοσυσκευών του πλοίου. Οι κεραίες χρειάζονται επίπεδο γείωσης για αναφορά τέτοιο που να βρίσκεται αρκετά κοντά στο πρότυπο της εκάστοτε κεραίας μετάδοσης ραδιοσυχνοτήτων. Χωρίς το σωστό επίπεδο γείωσης αναφοράς, η χαρακτηριστική αντίδραση της κεραίας, εξαιτίας της αντιστάθμισης, θα είναι λανθασμένη και το φορτίο που θα παρουσιάζεται στο τέλος της γραμμής μετάδοσης δεν θα είναι το κατάλληλο για σωστή αναμετάδοση. Άρα βλέπουμε πως η πλάκα γείωσης βοηθά ακόμα και στη διατήρηση των τηλεπικοινωνιών του πλοίου.

Η αρτιότητα της πλάκας γείωσης πρέπει να ελέγχεται διαρκώς ως προς τη διάβρωση, την καταπόνηση, μηχανικά σφάλματα και άλλα. Οι έλεγχοι θα πρέπει να είναι συχνοί διότι λόγω της παρουσίας ηλεκτρικών φορτίων στο υδάτινο περιβάλλον πυροδοτούνται ηλεκτρολυτικές αντιδράσεις που διαβρώνουν την πλάκα. Όμοια πρέπει να ελέγχονται και οι συνδέσεις προς αυτήν την πλάκα τόσο των κυκλωμάτων παρακολούθησης σφάλματος γείωσης όσο και των υπόλοιπων συστημάτων. Η ασφάλεια του πλοίου ως προς το ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό κομμάτι κρίνονται από τη λειτουργικότητα αυτής της πλάκας.

5.2.2 Συμπεράσματα IEEE 45

Το πρότυπο IEEE 45 αναλύεται ξεχωριστά ως προς τα συμπεράσματα στο θέμα της γείωσης, πρώτον γιατί έχει ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον λόγω του οργανισμού που το εκδίδει και δεύτερον γιατί ασχολείται με μεγάλο εύρος σκαφών, στο οποίο δεν περιλαμβάνονται τα σκάφη αναψυχής όπως στα περισσότερα από τα υπόλοιπα πρότυπα.

5.2.2.1 Χαμηλή Τάση

Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 45 η γείωση για συστήματα 600V και κάτω πρέπει να γίνεται με τα ακόλουθα κριτήρια:

- Μείωση δυνατότητας ανάπτυξης μεταβατικών υπερτάσεων
- Συνέχεια λειτουργίας για μονοφασικό σφάλμα προς γη
- Ελαχιστοποίηση ροής ρεύματος σφάλματος γείωσης στο σκελετό του πλοίου

Συνεπώς, το πρότυπο IEEE 45 επιτρέπει τις ακόλουθες επιλογές γείωσης:

- Αγειώτο σύστημα με όλα τα μέρη που φέρουν ρεύμα μονωμένα από τη γη με διαρκή παρακολούθηση σφάλματος γείωσης
- Σύστημα γείωσης μέσω υψηλής αντίστασης με μονοφασικό σφάλμα προς γη να περιορίζεται στα 5A
- Συμπαγώς γειωμένο σύστημα αλλά μόνο σε μη ζωτικής σημασίας κυκλώματα

Το πρότυπο IEEE 45 αναγνωρίζει την ανάγκη να μειωθεί η δυνατότητα ανάπτυξης μεταβατικών υπερτάσεων αλλά επιτρέπει τη χρήση του αγειώτου συστήματος. Σε αυτό το σημείο φαίνεται να υπάρχει κάποια αντίφαση γιατί όπως αναφέρεται και στον πίνακα 2.1, το αγειώτο σύστημα είναι επιρρεπές στην ανάπτυξη τέτοιων υπερτάσεων, κάτι που δεν συμβαίνει με το συμπαγές ή το υψηλής αντίστασης σύστημα.

Η μέθοδος υψηλής αντίστασης εξαρτάται από τη χωρητικότητα του συστήματος. Παρότι τα περισσότερα συστήματα μπορούν να γειωθούν μέσω μιας αντίστασης που να περιορίζει το ρεύμα στα 5A (όπως απαιτείται από το πρότυπο), είναι πιθανό να συναντήσουμε χωρητικότητα τέτοια που ακόμα και με μέθοδο υψηλής αντίστασης 5A να εξακολουθούμε να απειλούμαστε από μεταβατικές υπερτάσεις. Συνεπώς, πρέπει να είμαστε σε θέση να περιορίσουμε τη χωρητικότητα με τρόπο τέτοιο ώστε να μπορούμε να ανταποκριθούμε στις ανάγκες του προτύπου.

Τα συμπαγώς γειωμένα συστήματα πάντα απαιτούν λόγω σχεδιασμού διακοπή ρεύματος μη ικανοποιώντας τις απαιτήσεις του προτύπου για συνέχιση λειτουργίας. Αντίθετα χρησιμοποιώντας την υψηλή αντίσταση, μπορούμε να ενεργοποιήσουμε κάποιο σύστημα συναγερμού ταυτόχρονα με διακοπή ρεύματος ή ξεχωριστά. Άρα με αυτόν τον τρόπο ανταποκρινόμαστε στις απαιτήσεις αξιόπιστης λειτουργίας του IEEE 45.

5.2.2.2 Μέση τάση

Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 45, η γείωση συστημάτων μέσης τάσης μπορεί να γίνει είτε μέσω αντίστασης είτε μέσω αντίδρασης. Ως προς τις ανάγκες του πλοίου, η χρήση της αντίδρασης δεν παρουσιάζει κανένα όφελος εκτός αν έχουμε τριφασικό σύστημα διανομής που χρησιμοποιεί τέσσερα καλώδια παρουσία ουδέτερων ρευμάτων. Τέτοιο σύστημα διανομής δεν έχει λόγο να εφαρμοστεί σε πλοίο και στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων χρησιμοποιούμε σύστημα τριών καλωδίων χωρίς ουδέτερο αγωγό επιστροφής.

Τα συστήματα μέσης τάσης (600-15000V) έχουν πολλές ομοιότητες με τα συστήματα χαμηλής τάσης ως προς τη γείωση. Το εγγενές πλεονέκτημα του συστήματος μέσης τάσης σε πλοία είναι η χρήση μικρότερων αγωγών. Όσο τα ηλεκτρικά φορτία στο πλοίο γίνονται όλο και μεγαλύτερα, το αυξημένο μέγεθος των διαύλων και των καλωδίων δημιουργούν δυσκολίες. Πρέπει συνεπώς να λάβουμε υπόψιν τα εξής:

- Τα ρεύματα προς τη γη μπορούν να είναι αρκετά ψηλά και στη μέση τάση ειδικά σε μεγάλες γεννήτριες και μετασχηματιστές.
- Οι τρόποι γείωσης που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι γείωση με ψηλή ή χαμηλή αντίσταση, με αντίδραση ή με συμπαγή γείωση.
- Στο αγείωτο σύστημα μέσης τάσης εξακολουθεί να υπάρχει το πρόβλημα εμφάνισης τόξου σε περίπτωση σφάλματος γείωσης.
- Το ρεύμα φόρτισης, παρότι ελάχιστο στη χαμηλή τάση, είναι αρκετά υψηλό στη μέση τάση. Πράγματι το ρεύμα φόρτισης στα 15kV χρειάζεται μέριμνα ως προς τη διασπορά της θερμότητας γιατί μπορεί να παρουσιαστεί βλάβη στον αντιστάτη στο σημείο του σφάλματος.

Το ρεύμα φόρτισης του συστήματος είναι το συνολικό ρεύμα που χρειάζεται για να φορτιστεί η συνολική χωρητικότητα του συστήματος προς τη γη και πρέπει να είναι μικρότερο από το επιτρεπόμενο ρεύμα σφάλματος.

5.2.2.3 Βραχυκυκλώματα και ασφάλεια

Στις εφαρμογές χαμηλής τάσης, κατά τον υπολογισμό των παραμέτρων της γείωσης, πρέπει να συμπεριλάβουμε τα πιθανώς μεγάλα ρεύματα σφάλματος και τα πιθανά προβλήματα σχηματισμών τόξων σφάλματος στα συμπαγώς γειωμένα συστήματα.

- Τα ρεύματα σφάλματος γείωσης μπορούν να πάρουν σχετικά μεγάλες τιμές ακόμα και στη χαμηλή τάση (>600V) όπου έχουμε σχετικά μικρούς μετασχηματιστές και γεννήτριες. Για παράδειγμα ένας μετασχηματιστής 500KVA, 120/208V με αντίδραση 5% μπορεί να παρουσιάσει ρεύμα σφάλματος γείωσης της τάξης των 50kA. Ο ίδιος μετασχηματιστής στα 480 και 600V θα είχε 12 και 10kA αντίστοιχα. Άρα βλέπουμε ότι τα μεγάλα ρεύματα σφάλματος σχετίζονται με συστήματα χαμηλής τάσης.
- Η τάση που μπορεί να σημειωθεί τόξο στο σύστημα είναι περίπου 150V προς τη γη. Λόγω της τιμής της τάσης κάνει τα σφάλματα λόγω τόξου πιο πιθανά σε συστήματα με υψηλότερη τάση από 260V μεταξύ φάσεων.

Καθώς τα περισσότερα σφάλματα έχουν ως αφετηρία κάποιο σφάλμα γείωσης, μπορούμε να περιορίσουμε τα ρεύματα σφάλματος γείωσης στη χαμηλή τάση γειώνοντας είτε μέσω υψηλής είτε χαμηλής αντίστασης. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνουμε την ασφάλεια των μηχανημάτων και του προσωπικού που βρίσκεται κοντά σε αυτά.

Ως προς την ασφάλεια, τα αγείωτα συστήματα στην ναυτιλιακή βιομηχανία έχουν υπάρξει αρκετά αξιόπιστα και σχετικά ασφαλή και παρότι χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές πλοίων δεν συνίστανται για τους δύο λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω και γι' αυτό δεν προτείνονται και από το πρότυπο IEEE 45 για συστήματα μέσης και υψηλής τάσης. Το σύστημα γείωσης μέσω υψηλής αντίστασης που προτείνεται και που χρησιμοποιείται εκτενώς από τις πετρελαϊκές εταιρείες παρέχει εκτός των πλεονεκτημάτων του αγείωτου συστήματος, δύο επιπλέον πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2. Το σύστημα γείωσης μέσω υψηλής αντίστασης είναι το ασφαλέστερο και ο κίνδυνος εμφάνισης τόξου είναι ελάχιστος.

Σύμφωνα με προσεγγιστικές στατιστικές η κατανομή της αιτίας σφάλματος είναι η εξής:

- Μονοφασικό Σφάλμα >98%
- Διφασικό Σφάλμα <1.5%
- Τριφασικό σφάλμα <0.5%

Πρακτικά όλα τα σφάλματα προέρχονται από μονοφασικό σφάλμα με ελάχιστο ποσοστό σφαλμάτων να προέρχεται από σφάλμα μεταξύ φάσεων. Επίσης, με εξαίρεση σφάλματα που προκαλούνται από τον ανθρώπινο παράγοντα, είναι σχετικά απίθανο να συναντήσουμε τριφασικά σφάλματα. Ένα τυπικό ανθρώπινο σφάλμα είναι το λανθασμένο κλείσιμο ενός ασφαλειοδιακόπτη σε ένα τριφασικό-προς-γη σετ καλωδίων γείωσης.

Συνολικά λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι το σύστημα γείωσης μέσω υψηλής αντίστασης είναι το πιο κατάλληλο και συμβατό με τις ανάγκες του σκάφους σε σύγκριση με τις υπόλοιπες προτεινόμενες λύσεις τόσο στη χαμηλή όσο και στη μέση τάση. Έχοντας δεδομένο αυτό το συμπέρασμα μπορούμε να προβούμε σε κάποιους υπολογισμούς για τη σχεδίαση του, αλλά και να προτείνουμε τρόπους μετατροπής ήδη εγκατεστημένων συστημάτων με άλλες μεθόδους γείωσης σε γείωση μέσω υψηλής αντίστασης.

5.2.2.4 Στοιχεία σχεδιασμού συστήματος υψηλής αντίστασης

5.2.2.4.1 Χωρητικό ρεύμα φόρτισης

Ο λόγος που η γείωση υψηλής αντίστασης λειτουργεί τόσο καλά υπό φυσιολογικές συνθήκες είναι ότι το ρεύμα σφάλματος γείωσης είναι σχετικά μικρό και δεν προκαλεί βλάβες. Αυτό είναι δυνατό όταν το χωρητικό ρεύμα φόρτισης του συστήματος είναι μικρό και το ρεύμα σφάλματος γείωσης είναι λίγα Αμπέρ μεγαλύτερο. Πάντως, όταν το ρεύμα φόρτισης είναι πολύ υψηλό, τα ρεύματα σφάλματος γείωσης δεν μπορούν να αφεθούν να ρέουν και πρέπει να γίνει πτώση κάποιας ασφάλειας.

Το ρεύμα φόρτισης και ο υπολογισμός του βασίζεται στο εξής:

$$I_{oc} = V_{LL}/(\sqrt{3}X_{co}) \quad (1)$$

Όπου :

V_{LL} : Τάση γραμμής προς γραμμή

X_{co} : Αντίσταση μηδενικής ακολουθίας

I_{oc} : Ρεύμα φόρτισης χωρητικότητας ανά φάση

Καθώς η αντίσταση μηδενικής ακολουθίας είναι αντιστρόφως ανάλογη της χωρητικότητας του συστήματος (όπως φαίνεται και στην επόμενη σχέση), η τιμή της γίνεται μικρότερη όσο η χωρητικότητα του συστήματος αυξάνεται.

$$X_{CO}=(2\pi fC_0)^{-1} \quad (2)$$

Όπου :

f: Συχνότητα σε Hz

C₀: Χωρητικότητα μηδενικής ακολουθίας

Κάποια πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν από τα παραπάνω ως προς τη χωρητικότητα σε εξοπλισμό που λειτουργεί σε ανώτερο επίπεδο τάσης. Η χωρητικότητα έχει την τάση να μειώνεται όσο αυξάνεται το επίπεδο μόνωσης. Για παράδειγμα, το καλώδιο ισχύος 500KCM έχει τα εξής χαρακτηριστικά ανά 3048 μέτρα μήκους:

Χωρητικότητα (μF)	Τάση συστήματος (kV)
0,215	5
0,0920	15
0,0685	25
0,0532	34.5

Πίνακας 5.2.2.4.1.1: Χαρακτηριστικά χωρητικότητας καλωδίου ισχύος προς τάση

Όμοια, η προτεινόμενη χωρητικότητα για απότομη διακύμανση της τάσης για τις μηχανές του πλοίου είναι αντίστοιχα:

Χωρητικότητα (μF)	Τάση συστήματος (kV)
1	0,48
0,5	2,4
0,5	4,16
0,25	13,8

Πίνακας 5.2.2.4.1.2: Χαρακτηριστικά χωρητικότητας μηχανής προς τάση

Η χωρητικότητα στις μηχανές ως προς την ισχύ ανά ίππο τείνει να μειωθεί όσο αυξάνεται η ονομαστική τάση ισχύος της μηχανής.

Καθώς η χωρητικότητα μηδενικής ακολουθίας ενός συστήματος πρέπει να υπολογιστεί και να ελεγχθεί για να προσδιοριστεί η τιμή του πραγματικού ρεύματος φόρτισης μηδενικής ακολουθίας, ένα καλό σημείο εκκίνησης της τιμής της αντίστασης μηδενικής ακολουθίας είναι τα 300Ω. Όπως γίνεται κατανοητό, μεγαλύτερα συστήματα θα έχουν μικρότερη τιμή ενώ μικρότερα συστήματα θα έχουν μεγαλύτερη τιμή. Βασισμένο σε αυτήν την προσέγγιση, τα ακόλουθα τριφασικά ρεύματα χωρητικής φόρτισης και η σχετική αποδιδόμενη ισχύς σε έναν αντιστάτη σε σύστημα γείωσης υψηλής αντίστασης κατάλληλων διαστάσεων δείχνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Τάση συστήματος σε Volt (πολική)	Ρεύμα χωρητικής φόρτισης (A)	Διάχυση ισχύος (kW)
480	1	0,3
2400	5	7
4200	8	19,2
7200	14	59
13800	27	215

Πίνακας 5.2.2.4.1.3: Χαρακτηριστικά ρεύματος και ισχύος χωρητικής φόρτισης ως προς την τάση

Ο παραπάνω πίνακας δείχνει ότι η διάχυση θερμότητας σε έναν αντιστάτη συστήματος γείωσης μέσω υψηλής αντίστασης στα 480V είναι 300W. Υποθέτοντας ότι το ρεύμα αντιστάτη είναι ακριβώς ίδιο με το ρεύμα φόρτισης, το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων στο σημείο του σφάλματος είναι μόνο 1,414A ($1 \times \sqrt{2}$). Ωστόσο, στη μέση τάση, τόσο η τιμή του ρεύματος φόρτισης όσο και της διάχυσης ισχύος γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη. Το σύστημα γείωσης μέσω υψηλής αντίστασης λειτουργεί ικανοποιητικά έως τα 4200V. Για τιμές τάσης μεγαλύτερες των 4200V το ρεύμα σφάλματος γείωσης γίνεται προβληματικά υψηλό. Συνεπώς, στις υψηλότερες τάσεις πρέπει να ληφθούν υπόψιν κάποιες επιπλέον παράμετροι:

- Η ασφαλής διάχυση θερμότητας από τον αντιστάτη μέχρι να διορθωθεί η κατάσταση σφάλματος γείωσης.
- Η σωστή προτεραιότητα εντοπισμού και διόρθωσης του σφάλματος που βασίζεται όμως σε άλλες λειτουργικές διαδικασίες

Στο σημείο αυτό μπορούμε να αναφέρουμε ότι το σύστημα γείωσης μέσω υψηλής αντίστασης έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε ηλεκτρικές εφαρμογές μεγάλων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τάσεις στην περιοχή των 25 kV.

5.2.2.4.2 Επίπεδο μόνωσης καλωδίου ισχύος

Τόσο το αγείωτο όσο και το σύστημα γείωσης μέσω υψηλής αντίστασης επιτρέπουν την συνέχεια της λειτουργίας εκτός αν συμβεί δεύτερο σφάλμα γείωσης σε κάποια από τις άλλες φάσεις του συστήματος. Με ένα σφάλμα γείωσης, η τάση στις δύο άλλες μη προβληματικές φάσεις θα αυξηθεί μέχρι και 1,73 φορές σε σχέση με την κανονική τιμή γραμμής προς ουδέτερο. Ως συνέπεια, πρέπει όλα τα μηχανήματα να είναι σε θέση να αντέξουν αυτήν την πιθανή υπέρταση. Αυτό είναι ιδιαίτερα αληθές και για τα καλώδια ισχύος που έχουν ως κανονική ονομαστική τάση την φασική τάση.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις τιμές που έχουν προσδιοριστεί για συστήματα μέσης και χαμηλής τάσης:

Προδιαγραφή καλωδίου (V)	Μέγιστη φασική τάση λειτουργίας (V)
600	347
1000	578
5000	2890
8000	4624
15000	8760
25000	14450

Πίνακας 5.2.2.4.2.1: Προδιαγραφή καλωδίου ανάλογα με την τάση λειτουργίας

Το καλώδιο που χρησιμοποιείται τόσο στο αγείωτο όσο και στο σύστημα γείωσης μέσω υψηλής αντίστασης πρέπει να έχει κατάλληλες προδιαγραφές για την πολική τάση του συστήματος. Τα καλώδια ισχύος ταξινομούνται σε τρία επίπεδα

- Επίπεδο 100% - Τα καλώδια αυτής της κατηγορίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα όταν τα σφάλματα γείωσης διορθώνονται ταχύτατα σε χρονικό πλαίσιο ενός λεπτού της ώρας.
- Επίπεδο 130% - Τα καλώδια αυτής της κατηγορίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα όπου τα καλώδια επιπέδου 100% δεν μπορούν να ανταποκριθούν αλλά που το σφάλμα γείωσης διορθώνεται εντός μιας ώρας.
- Επίπεδο 173% - Τα καλώδια αυτής της κατηγορίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα όπου ο χρόνος διόρθωσης του σφάλματος γείωσης είναι απροσδιόριστος.

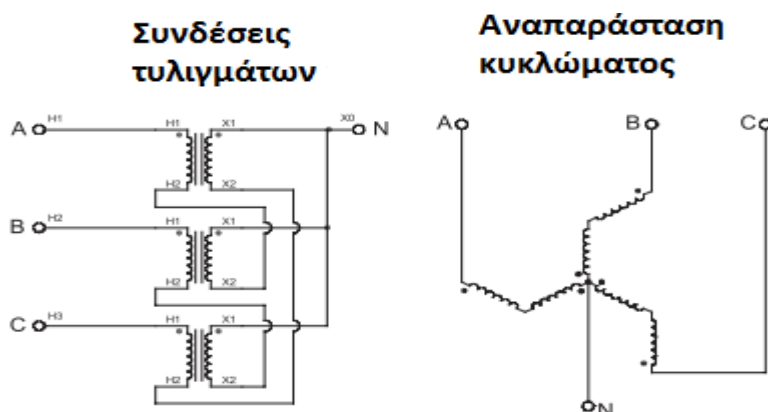
Η βιομηχανία τείνει να αγνοεί τους περιορισμούς υπέρτασης στα καλώδια ισχύος. Ακόμα και αν το αποτέλεσμα είναι μικρή ή καθόλου βλάβη, θεωρητικά τα προβλήματα συνεχίζουν να υφίστανται οδηγώντας στη μείωση του χρόνου ζωής του καλωδίου.

5.2.3 Δημιουργία τεχνητού ουδέτερου αγωγού σε αγείωτο σύστημα

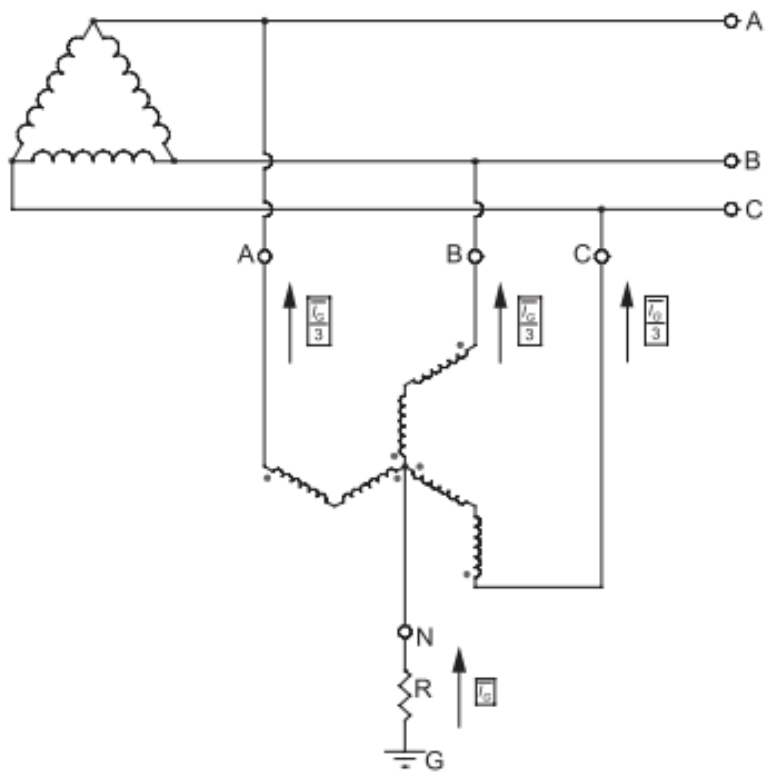
Σε κάποιες περιπτώσεις πρέπει να υπάρχει ουδέτερη αναφορά σε ένα αγείωτο σύστημα. Αυτό μπορεί να συμβεί αναβαθμίζοντας ένα σύστημα από αγείωτο σε γειωμένο μέσω υψηλής αντίστασης. Πάντως η ύπαρξη πολλών μετασχηματιστών και γεννητριών σε συνδεσμολογία Δ μπορεί να κάνουν την εν λόγω αναβάθμιση οικονομικά ανέφικτη.

Η λύση είναι η χρήση ενός μετασχηματιστή γείωσης. Παρότι υπάρχουν πολλές διαφορετικές υλοποιήσεις, η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη σε εμπορικές και βιομηχανικές χρήσεις είναι η τοποθέτηση μετασχηματιστή ζιγκ ζαγκ όπου χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές συνδεδεμένοι όπως φαίνεται στην εικόνα 5.2.3.1.

Ο μετασχηματιστής ζιγκ ζαγκ επιτρέπει μόνο στο ρεύμα γείωσης να περάσει. Η τυπική του υλοποίηση για να μετατρέψει ένα αγείωτο σύστημα σε γειωμένο μέσω υψηλής αντίστασης φαίνεται στην εικόνα 5.2.3.2. Ο μετασχηματιστής ζιγκ ζαγκ διανέμει το ρεύμα γείωσης I_G ισότιμα μεταξύ των τριών φάσεων. Το αποτέλεσμα είναι, από πρακτικής άποψης, το σύστημα να συμπεριφέρεται σαν γειωμένο μέσω υψηλής αντίστασης.



Εικόνα 5.2.3.1: Υλοποίηση μετασχηματιστή ζιγκ ζαγκ



Εικόνα 5.2.3.2: Υλοποίηση μετασχηματιστή γείωσης ζιγκ ζαγκ

5.2.4 Συγκριτική ανάλυση

Στη συγκριτική ανάλυση μεταξύ των διάφορων οδηγιών και κανονισμών ένα πρωταρχικό εμπόδιο εντοπίζεται στη χρησιμοποιούμενη ορολογία, η οποία διαφέρει από έγγραφο σε έγγραφο ακόμα και αν στόχος πολλές φορές είναι να περιγραφεί η ίδια έννοια. Η πιο χαρακτηριστική τέτοιου είδους ασυμβατότητα όρων βρίσκεται μεταξύ των όρων earth και ground οι οποίοι στα αγγλικά αντιπροσωπεύουν δύο επιστημονικά ακριβείς έννοιες διακριτές η μία από την άλλη. Για την ακρίβεια, ground είναι το χρησιμοποιούμενο επίπεδο αναφοράς, ενώ earth είναι η σύνδεση με το έδαφος. Ως προς τη χρήση τους όμως οι δύο λέξεις έχουν σχεδόν ταυτιστεί καθώς τα αμερικάνικα αγγλικά χρησιμοποιούν τον όρο grounded με την ίδια έννοια που τα βρετανικά αγγλικά χρησιμοποιούν τον όρο earthed. Για λόγους ομοιογένειας, καθώς η διακριτή μετάφραση από τα πρωτότυπα κείμενα δεν ήταν πάντα δυνατή, χρησιμοποιήθηκε κυρίως η λέξη γείωση στην παρούσα εργασία. Στα ελληνικά πάντως, μια προσέγγιση θα μπορούσε να είναι για τη λέξη ground η γείωση και για τη λέξη earth η γη.

Πιο αναλυτικά μπορούμε να δώσουμε τους εξής ορισμούς για τη γη και τη γείωση για να διαφοροποιηθούν ξεκάθαρα ως έννοιες:

- Γείωση: Αγώγιμο μέρος, κομμάτι της ηλεκτρικής εγκατάστασης, που δεν είναι υπό τάση σε φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας και μόνωσης, αλλά που μπορεί να βρεθεί υπό τάση σε περίπτωση αποτυχίας της κύριας μόνωσης, αλλά που μπορεί να αγχίχτεί. Ένα αγώγιμο μέρος που μπορεί να βρεθεί υπό τάση μόνο λόγω του ότι είναι σε επαφή με τη γείωση, δεν πρέπει να λογίζεται ως μέρος της γείωσης.
- Γη: Στην προκειμένη περίπτωση το νερό ως αγώγιμο σώμα, με ηλεκτρικό δυναμικό συμβατικά ορισμένο ίσο με το μηδέν σε κάθε του σημείο.

Ορισμοί	IEC 60092-507	IEEE 45	Bureau Veritas NR 566	Διεύθυνση ηλεκτρικής ασφάλειας Νορβηγίας	ABYC
Γη - Γείωση	Earth	Ground	Earth	Earth	Ground
Μη ρευματοφόρος αγωγός	Non- current- carrying	non-current- carrying metallic part	Non- current- carrying	-	non-current carrying
Εκτεθειμένο αγώγιμο μέρος	Exposed conductive part	non-current- carrying exposed metal part	Exposed non- current- carrying part	Exposed conductive part	Exposed, electrically conductive, non-current carrying parts

Πίνακας 5.2.4.1: Ορισμοί ανά κανονισμό

Όπως φαίνεται λοιπόν από τον πίνακα 5.2.4.1 όχι μόνο δεν υπάρχει ομοιογένεια χρήσης ορισμών μεταξύ των εγγράφων αλλά αντιθέτως υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί εντός του ίδιου εγγράφου για την ίδια έννοια, γεγονός που προκαλεί ακόμα μεγαλύτερη σύγχυση στη σωστή εφαρμογή του συνόλου των προτύπων.

Για τον όρο Exposed conductive part στο πρότυπο IEC 60092-507, μπορούμε να πούμε ότι συμπίπτει με τον όρο του γειωμένου μέρους στα επίγεια συστήματα. Ταυτόχρονα, ο όρος ηλεκτρικά ενεργό μέρος απουσιάζει από το πρότυπο IEC 60092-507 ενώ θα έπρεπε να είναι παρόν και να ορίζεται ως:

- Ενεργό μέρος: κάθε αγωγός ή αγωγίμο μέρος που βρίσκεται υπό τάση σε φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένου και του ουδέτερου αγωγού.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το κείμενο της Διεύθυνσης ηλεκτρικής ασφάλειας Νορβηγίας στο παρόν ζήτημα καθώς «συμψηφίζει» ηλεκτρικά τα εξής:

- εκτεθειμένα αγωγήμα μέρη
- εξωτερικά αγωγήμα μέρη
- κύριο τερματικό γείωσης
- κύρια γη
- γειωμένο σημείο της πηγής του γειωμένου ουδέτερου

σε μία έννοια, αυτήν της προστατευτικής σύνδεσης με τη γη η οποία καλύπτει τις ανάγκες μας τόσο από άποψη σαφήνειας όσο και από άποψη λειτουργικότητας.

Πέρα από το γλωσσικό κομμάτι, υπάρχουν και διαφορές ανάμεσα στα πρότυπα οι οποίες δυσχεραίνουν την ενοποίηση των προτύπων καθώς σε κάποια πρότυπα παρότι γίνεται λόγος για συγκεκριμένες προβλέψεις, αυτές δεν προσδιορίζονται περαιτέρω ή δεν ποσοτικοποιούνται αριθμητικά. Πιο συγκεκριμένα στο πρότυπο IEC 60092-507 όπως και στα πρότυπα του ABYC και της Διεύθυνσης ηλεκτρικής ασφάλειας Νορβηγίας παρότι αναφέρεται η ανάγκη απομόνωσης από τη γη στο αγείωτο σύστημα ή σύνδεσης με αυτήν απευθείας στο συμπαγώς γειωμένο υποσύστημα ή με επαρκώς υψηλή σύνθετη αντίσταση η τιμή της υψηλής αντίστασης στην περίπτωση αυτή δεν προσδιορίζεται αριθμητικά. Αντίθετα το πρότυπο IEEE 45, για τα συμπεράσματα του οποίου έχει γίνει αρκετός λόγος παραπάνω, παρότι δεν αναφέρεται στην τιμή της σύνθετης αντίστασης, πράγμα λογικό από τη στιγμή που αυτή δεν είναι συγκεκριμένη και σταθερή για όλες τις εφαρμογές, περιορίζει ρητά το επιτρεπτό ρεύμα για φασικό σφάλμα στα 5A. Στο πρότυπο του Bureau Veritas αντιθέτως, στην παράγραφο των δοκιμών αναφέρεται ότι η αντίσταση μεταξύ της μόνωσης και της γης πρέπει να μετράται στο 1ΜΩ μετά από δοκιμή υψηλής τάσης.

Στο ζήτημα της επιστροφής ρευμάτων μέσω του σκελετού του σκάφους, παρότι όλα τα πρότυπα το απαγορεύουν, το πρότυπο IEEE 45 επιτρέπει ροή ρεύματος σε αυτόν μέχρι 30mA ενώ στα άλλα πρότυπα αυτή η τιμή δεν αναφέρεται.

Ένα σημαντικό θέμα στο οποίο έγινε περιληπτικά λόγος στο αντίστοιχο κεφάλαιο των συμπερασμάτων της αντικεραυνικής προστασίας είναι ο διαχωρισμός των τερματικών γείωσης ανάλογα με το αν αυτά χρησιμοποιούνται για την αντικεραυνική προστασία ή για κοινή ηλεκτρική χρήση. Όπως είδαμε λοιπόν, η πλάκα που προορίζεται για αμιγώς ηλεκτρική χρήση πρέπει να είναι ξεχωριστή από την πλάκα γείωσης αντικεραυνικής προστασίας εκτός από το πρότυπο DEF STAN που δίνει τη δυνατότητα να συμβεί το αντίθετο, το πρότυπο IEC 60092-507 που δεν αναφέρεται καν επ' αυτού και το πρότυπο ABYC το οποίο επιτρέπει κοινή πλάκα γείωσης για ράδιο και αντικεραυνική προστασία. Μάλιστα, στο πρότυπο της Διεύθυνση ηλεκτρικής ασφάλειας Νορβηγίας ο διαχωρισμός αυτός ποσοτικοποιείται και αναφέρεται ότι οι πλάκες πρέπει να απέχουν μεταξύ τους κατά τουλάχιστον 1 μέτρο.

Πριν ολοκληρωθεί η συγκριτική ανάλυση, πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες αναφορές σε σημαντικά ζητήματα διαστασιολόγησης όπως έγιναν και στο αντίστοιχο κεφάλαιο της αντικεραυνικής προστασίας. Στον πίνακα 5.2.4.2.1 που ακολουθεί καθώς και στον πίνακα 5.2.4.4 θα γίνει χρήση δεδομένων από το πρότυπο του νορβηγικού νηογνώμονα (Norske Veritas) και του ιταλικού νηογνώμονα (RINA) αντίστοιχα, τα οποία αν και δεν μεταφέρθηκαν στο κείμενο της διπλωματικής εργασίας (λόγω της σημαντικής ομοιότητας με άλλα πρότυπα αλλά και λόγω μεγέθους), μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν κατάλληλα.

	Bureau Veritas	Norske Veritas	IEEE 45	ABYC	IEC 60092-507
Αντίσταση γείωσης* (Ω)	1	0.02	0.1	-	1
Πλάκα γείωσης (m²)	0.25	0.25	0.2	0.1	0.25
Αντίσταση μόνωσης (αγείο σύστημα)	1MΩ	1MΩ	Βλ. πίνακα 5.2.4.2	-	-

Πίνακας 5.2.4.2.1: Σύγκριση διαστάσεων ανά πρότυπο

*Στην τιμή της αντίστασης γείωσης αντιστοιχεί η συνολική αντίσταση που πρέπει να μετράται μεταξύ οποιουδήποτε σημείου της εγκατάστασης και του τερματικού γείωσης του σκάφους σε συμπαγώς γειωμένο σύστημα.

Στον πίνακα 5.2.4.4 φαίνονται οι διαφορές που υπάρχουν στις προτεινόμενες διαστάσεις των προστατευτικών αγωγών και αγωγών ζεύξης. Οι ομοιότητες ανάμεσα στα πρότυπα είναι εμφανείς, ενώ το πρότυπο ABYC φαίνεται να υστερεί σε αυστηρότητα κυρίως λόγω του γεγονότος ότι ασχολείται με μικρότερα σκάφη τα οποία έχουν πολύ μικρότερες ροές ρευμάτων εντός των αγωγών σε σύγκριση με τα υπόλοιπα πρότυπα.

Ρεύμα φορτίου (A)	>5	>10	>25	>50	<50
Τιμή αντίστασης μόνωσης	2ΜΩ	1ΜΩ	400kΩ	250 kΩ	100 kΩ

Πίνακας 5.2.4.2.2: Αντίσταση μόνωσης σύμφωνα με το πρότυπο IEEE45

Ως προς την ανίχνευση γης, το πρότυπο IEEE 45 σχεδόν ταυτίζεται με το NVIC με μόνη διαφορά ότι το πρότυπο IEEE απαιτεί χρήση λαμπτήρα 5-24W ενώ το αντίστοιχο NVIC 5-25W για ρεύμα 0-10A και στις δύο περιπτώσεις. Στο πρότυπο NVIC αναφέρεται επίσης ότι τα αμπερόμετρα πρέπει να αντέχουν ρεύματα μέχρι 500A κάτι το οποίο δεν διευκρινίζεται στο IEEE.

	DEF STAN	ABYC	IEC	Bureau Veritas
Γείωση ηλεκτρικού συστήματος	Δυνατότητα κοινής χρήσης μιας πλάκας γείωσης	-	Δεν προσδιορίζεται	Ξεχωριστή πλάκα γείωσης από αντικεραυνική προστασία
Γείωση ράδιο		Κοινή πλάκα για ράδιο και αντικεραυνική προστασία	-	Ξεχωριστό σύστημα ζεύξης για ράδιο
Γείωση αντικεραυνικής προστασίας			Πλάκα αντικεραυνικής προστασίας για μη μεταλλικά σκάφη	Πλάκα αντικεραυνικής προστασίας για μη μεταλλικά σκάφη

Πίνακας 5.2.4.3: Διαχωρισμός τερματικών γείωσης

	IEC 60092-507	RINA	Bureau Veritas	ABYC
Εύκαμπτο καλώδιο ζεύξης	ίση με του ρευματοφόρου αγωγού, για αγωγό $\leq 16 \text{ mm}^2$		ίση με του ρευματοφόρου αγωγού για αγωγό έως 16 mm^2	
	ίση με το 50% του ρευματοφόρου αγωγού, για αγωγό $\geq 16 \text{ mm}^2$		ίση με το 50% του ρευματοφόρου αγωγού, για αγωγό $\geq 16 \text{ mm}^2$ με ελάχιστο τα 16 mm^2	
Σταθερό πολύπολικό καλώδιο ζεύξης	ίση με τη διατομή των κύριων αγωγών για για αγωγό $\leq 16 \text{ mm}^2$, με ελάχιστη διατομή το $1,5 \text{ mm}^2$	-	ίση με των κύριων αγωγών για για αγωγό $\leq 16 \text{ mm}^2$, με ελάχιστη διατομή το $1,5 \text{ mm}^2$	-
	\geq από το 50% του κύριου αγωγού για αγωγό $\geq 16 \text{ mm}^2$, με ελάχιστη διατομή τα 16 mm^2		\geq από το 50% του κύριου αγωγού για αγωγό $\geq 16 \text{ mm}^2$, με ελάχιστη διατομή τα 16 mm^2	
Ξεχωριστός σταθερός αγωγός ζεύξης	-	Διατομή ίση με του ρευματοφόρου αγωγού με ελάχιστο τα $1,5 \text{ mm}^2$ για αποσπώμενη σύνδεση με τη γη και $2,5 \text{ mm}^2$ για μη αποσπώμενη	Η μισή διατομή του ρευματοφόρου αγωγού (για διατομή μεταξύ $1,5$ και 120 mm^2), με ελάχιστο τα $2,5 \text{ mm}^2$	Διατομή μικρότερη κατά ένα νούμερο (στην κλίμακα AWG) από του ρευματοφόρου αγωγού με ελάχιστο $1,31 \text{ mm}^2$
		Η μισή διατομή του ρευματοφόρου αγωγού (για διατομή μεταξύ $2,5$ και 120 mm^2), με ελάχιστο τα 4 mm^2	70 mm^2 για αγωγό διατομής $> 120 \text{ mm}^2$	
		70 mm^2 για αγωγό διατομής $> 120 \text{ mm}^2$		
Ρευματοφόρος αγωγός (mm²)	> 3	-	-	$> 1,31$

Πίνακας 5.2.4.4: Σύγκριση διαστασιολόγησης αγωγών ζεύξης ανά πρότυπο

Τέλος, μια ακόμη δυσκολία στη συγκέντρωση και ανάλυση των προτύπων είναι οι διαρκείς ανανεώσεις των εκδόσεων και η δυσκολία εντοπισμού των αλλαγών

μεταξύ μιας παλαιότερης και μιας νεότερης έκδοσης. Αυτό το πρόβλημα, σε συνδυασμό με τον μη συγχρονισμό των ανανεώσεων μεταξύ τους, κάνει την έρευνα επίπονη καθώς υπάρχει πολύ μεγάλος αριθμός οργανισμών έκδοσης πιστοποιητικών οι οποίοι στην προσπάθειά τους να αναβαθμίζουν διαρκώς το πλαίσιο κανονισμών ανάγουν τη δημιουργία συγκριτικής ανάλυσής τους σε ένα επαχθές έργο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Lightning_rod
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Leyden_Jar
3. R. G. Roble and I. Tzur, "The global atmospheric-electrical circuit," in The Earth's Electrical Environment, p. 206ff, National Academy Press, 1986
4. NASA
<http://www.nasa.gov/centers/marshall/multimedia/video/2006/video06-112.html>
5. <http://www.weighing-systems.com/TechnologyCentre/Lightning1.pdf>
6. <http://www.tscm.com/MIL-STD-464.pdf>
7. http://www.electrical-installation.org/enwiki/Characterization_of_the_lightning_wave
8. Gerard Berger, Lightning Protection and Applications, UMR 8578-Supelec, Παρίσι
9. <http://www.physics.gla.ac.uk/~kskeldon/PubSci/exhibits/E3/>
10. Ewan Thompson, A Critical Assessment of the US Code for the Lightning Protection of Ships, IEEE, 1991
11. Τσαλαμέγκας – Ρουμελιώτης, Σημειώσεις Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων, Τόμος Β, Αθήνα 2004
12. C.D. Weidman and E.P. Krider, Submicrosecond risetimes in lightning return stroke fields, 1980
13. Y.T. Lin, M. A. Uman, R.B Standler, Lightning return stroke models, 1980
14. E.K. Saraoja, Lightning Earths, New York 1977
15. Γ.Μ. Πετρόπουλος, Χαρακτηριστικά αντιστάσεων γης σε υψηλές τάσεις, 1948

16. The grounding of marine power systems: problems and solutions, IEEE Paper No.PCIC-2004-17
17. National Electrical Code, NFPA 70, NFPA Inc., 2005
18. Mohammed M. Islam, Handbook to IEEE Standard 45: A Guide to Electrical Installations on Shipboard,2011
19. International Standard ISO 10134:2003 (E)
20. International Standard IEC 60092-507 2008-01 Electrical installations in ships – Part 507: Small vessels
21. ABYC TE-4 07/06
22. Hull Arrangement, Stability and Systems for Ships less than 500 GT, July 2011 Rule Note NR 566 DT R00 E
23. Ministry of Defense, Defense Standard 02-516, July 2003
24. IEEE 45-2002, Recommended Practice for Electric Installations on Shipboard
25. ABYC E-11 7/03. AC and DC Electrical Systems on Boats
26. The Norwegian Electrical Safety Directorate, Guidelines for Earthing in Maritime Installations, July 2003
27. Navigation and Vessel Inspection Circular No 2-89, U.S. Department of Transportation, United States Coast Guard
28. http://en.wikipedia.org/wiki/Protective_relay
29. D. Muller-Hillebrand, On the frequency of lightning flashes to high objects on the Gulf of Bohemia, Tellus, 1960