

Α.Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΛΟΙΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΖΙΩΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ  
ΑΜ (35010) ΣΩΤΗΡΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ  
ΑΜ (35017) ΤΟΓΙΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ  
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

A1. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	6
A1.1. Διακόπτες.	6
A1.1. Διακόπτες.	8
A1.3. Ασφάλειες.	8
A1.4. Καλώδια.	9
A1.5. Κιβώτια διακλαδώσεως.	10
A1.. Πίνακες ελέγχου και διανομής.	11
A1.7. Πίνακες ελέγχου και διανομής:	12
A1.7.1. Πίνακες ανοικτής προσόψεως.	12
A1.7.2. Πίνακες κλειστής προσόψεως.	12
A1.8. Αντιεκρηκτικό υλικό.	13
A1.9. Διαφορές ηλεκτρολογικού υλικού πλοίων και ξηράς.	13
A2 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ	14
A2.1. Γενικά.	14
A2.2. Χρησιμοποιούμενες τάσεις.	14
A2.3. Εναλλασσόμενου ρεύματος:	15
A2.4. Παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.	16
A3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ	18
A3.1. Εναλλασσόμενο (a.c.) ή συνεχές ρεύμα (d.c.)	19
A3.2. Ταξινόμηση μηχανής.	19
A3.3. Παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος.	20
A4. ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	21
A4.1. Τύποι και κατασκευή εναλλακτών	22
A4.2. Εναλλακτές με εξωτερικούς πόλους	22
A4.3. Εναλλακτές με εσωτερικούς πόλους	23
A4.4. Στροβιλοεναλλακτές	26
A4.5 Συχνότητα και ταχύτητα περιστροφής	27
A4.6. Τριφασικοί εναλλακτές	28
A4.7. Ρύθμιση τάσης εναλλακτήρα	33
A4.8. Λειτουργία υπό φορτίο	35
A4.9. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος.	40
A4.10. Συντήρηση.	46
A4.11. Επιβατηγά πλοία	47
A4.12. Τα φορτηγά πλοία	48
A4.13. Εγκαταστάσεις συσσωρευτών και μέτρα ασφαλείας	49
A4.14. Προστασία γεννήτριας	50
A4.15. Αυτόματο κύκλωμα βραχυκυκλώματος	51
A4.16. Κύκλωμα υπερφόρτισης	51
A4.17. Κυκλώματα προτίμησης	52
A4.18. Κύκλωμα αντίστροφου ρεύματος	52
A4.19. Κύκλωμα απελευθέρωσης χαμηλής-τάσης	53
A5. ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΡΩΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΖΗΤΗΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΤΟ ΠΛΗΡΩΣ ΕΞΗΛΕΚΤΡΙΣΜΕΝΟ ΠΛΟΙΟ	54

A6. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	57
A6.1. Γενικά Χαρακτηριστικά	57
A6.2. Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά	61
A6.3. Το είδος των κινητήριων μηχανών.	61
A6.4. Ελάχιστες απαιτήσεις σε καταστάσεις ανάγκης - Αντιμετώπιση.	63
A6.5. Σχετική Ορολογία	64
A7. ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	65
A7.1. Ηλεκτρικοί Κινητήρες Πρόωσης	65
A7.2. Κινητήρες αξονικής μαγνητικής ροής	68
A7.3. Πολυβάθμιοι κινητήρες αξονικής ροής (axial flux motors)	69
A7.4. Συνεργασία έλικα - κινητήρα πρόωσης	73

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

B1. Ατμοσφαιρικές Υπερτάσεις	75
B2. Κεραυνική εκκένωση	77
B3. Κατηγορίες κεραυνικών εκκενώσεων	79
B4. Μοντέλο σχηματισμού του κεραυνού	80
B5. Η ενέργεια του κεραυνικού φαινομένου	83
B6. Επιπτώσεις από πλήγματα κεραυνών	83
B6.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή	84
B6.2. Επιπτώσεις σε κατασκευές	85
B7. ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	86
B8. Σχεδιασμός του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας	87
B9. Αποτίμηση κινδύνου από πλήγμα κεραυνού	87
B10. Στάθμες προστασίας	88
B11. Συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή	89
B11.1 Εναλλακτική μέθοδος υπολογισμού του Nd	90
B12. Υπολογισμός της μέσης ετήσιας πυκνότητας πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος (Ng)	91
B13. Ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια της κατασκευής	92
B14. Αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή	94
B15. Αναγκαιότητα του ΣΑΠ και επιλογή της στάθμης προστασίας	97
B16. Εγκατάσταση συστήματος αντικεραυνικής προστασίας	98
B17. Εξωτερική ΕΑΠ	99
B18. Συλλεκτήριο σύστημα	100
B19. Ζώνη προστασίας	100
B19.1 Μέθοδος της γωνίας προστασίας	101
B19.2 Μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας	103
B19.3. Μέθοδος πλέγματος αγωγών	106
B20. Στοιχεία που αποτελούν το συλλεκτήριο σύστημα	107
B21. Σύστημα αγωγών καθόδου	108
B22. Σύστημα γείωσης εξωτερικής ΕΑΠ	
B22.1. Ηλεκτρόδια γείωσης	112
B23. Υλικά και ελάχιστες διαστάσεις δομικών στοιχείων	115
B24. Εσωτερική ΕΑΠ	116
B25. Οι ισοδυναμικές συνδέσεις	116
B26. Υπολογισμός του κεραυνικού ρεύματος που ρέει σε εξωτερικά αγωγίμα τμήματα και στα καλώδια εισερχόμενων παροχών της κατασκευής.	118

B27. Μελέτη της ζώνης προστασίας του ελλειπτικού μοντέλου	121
B27.1. Για κεραυνό τοποθετημένο 1m πάνω από την επιφάνεια του νερού	121
B27.2. Για κεραυνό τοποθετημένο 3m πάνω από την επιφάνεια του νερού	123
B27.3. Ανοδικοί οχετοί	126
B28. Σχεδιασμός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας πλοίου- Παραδείγματα	127
B28.1. Επισκόπηση	127
B28.2. Κλασσικό μοντέλο προστασίας πλοίου	128
B28.3. Μοντέλο βασισμένο στην αντικεραυνική προστασία κτιρίων	129
B28.4. Σχεδιασμός συστημάτων εφοδιασμένων με ηλεκτρόδια Siedarc™	130
B28.5. Παραδείγματα σχεδιασμού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας	139
B28.5.1. Σύστημα προστασίας πολυτελούς σκάφους αναψυχής	139
B28.5.2. Σύστημα προστασίας ιστιοπλοϊκού σκάφους	141
B28.5.2.1. Κίνδυνοι λόγω παράπλευρων εκκενώσεων	141
B28.5.2.2. Διάταξη αλεξικέραυνων και ηλεκτρόδια γείωσης	143
B28.5.3. Σύστημα προστασίας πλοίου τύπου καταμαράν	145



# ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

## **A1. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΛΟΙΩΝ**

### **Γενικά**

Το ηλεκτρολογικό υλικό των εγκαταστάσεων των πλοίων, σε γενικές γραμμές δεν διαφέρει από αυτό των εγκαταστάσεων ξηράς, όσο αφορά στη λειτουργία και χρήση του. Έτσι, για τον έλεγχο και την προστασία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και συσκευών έχουν σχεδιαστεί διάφορες διατάξεις, οι κυριότερες κατηγορίες των οποίων είναι οι διακόπτες, οι ασφάλειες και οι αυτόματοι διακόπτες. Το ηλεκτρολογικό υλικό των πλοίων πρέπει γενικώς να είναι ισχυρής κατασκευής και μονώσεως.

Ιδιαίτερα για ότι αφορά τα καλώδια τάσεων, αλλά και για το υπόλοιπο ηλεκτρολογικό υλικό εγκαταστάσεων, υπάρχουν ειδικοί κανονισμοί και συστάσεις των Νηογνωμόνων, προς τους οποίους πρέπει τα υλικά αυτά να είναι σύμφωνα. Συνήθως το ηλεκτρολογικό υλικό των πλοίων είναι τύπων εγκεκριμένων από το Νηογνώμονα.

### **A1.1. Διακόπτες.**

Ο διακόπτης είναι μία διάταξη, της οποίας σκοπός είναι ή αποκατάσταση, διακοπή ή αλλαγή των συνδέσεων ενός ηλεκτρικού κυκλώματος υπό συνθήκες πλήρους φορτίου. Η διακοπή πρέπει να γίνεται στιγμιαία για να περιορίζονται οι ζημιές υλικού (του διακόπτη) από το δημιουργούμενο τόξο. Η ταχύτητα διακοπής εξασφαλίζεται κατά κανόνα με ελατήρια.

Ουσιώδης προϋπόθεση για οποιονδήποτε διακόπτη είναι η διατήρηση καλής επαφής, με χαμηλή αντίσταση, όταν είναι κλειστός.

Μη ικανοποιητική επαφή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σημαντικής αντίστασης, η οποία τελικά προκαλεί υπερθέρμανση της περιοχής γύρω από τα σημεία επαφής.

Στους περισσότερους διακόπτες, το ηλεκτρικό κύκλωμα διακόπτεται με απόσβεση του δημιουργημένου μεταξύ των επαφών ηλεκτρικού τόξου στον περιβάλλοντα αέρα, και γι' αυτό πρέπει το άμεσο περιβάλλον του διακόπτη να μην είναι εύφλεκτο. Για

διακόπτες μεγάλης ισχύος, η διακοπή γίνεται όχι στο περιβάλλοντα αέρα αλλά εντός λαδίου.

Οι τελευταίοι αυτοί διακόπτες κατά κανόνα δεν χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις πλοίων.

Ο πλέον απλός διακόπτης, πού συναντάται στα πλοία, είναι ο μονοπολικός μαχαιρωτός διακόπτης. Αποτελείται από χάλκινη λάμα, η οποία μπορεί να περιστραφεί από το ένα της άκρο σε μικρό άξονα και να προσαρμοστεί σταθερά από το άλλο (στη κλειστή θέση του διακόπτη) μεταξύ δύο χάλκινων σφιγκτήρων. Στη χάλκινη λάμα προσαρμόζεται κατάλληλη μονωτική λαβή για το άνοιγμα και το κλείσιμο του διακόπτη. Επίσης στον διακόπτη υπάρχουν κατάλληλοι ακροδέκτες για τη σύνδεση των ηλεκτροφόρων αγωγών.

Οι μαχαιρωτοί διακόπτες ταξινομούνται αναλόγως του ρεύματος (σε Αμπέρ), πού τους διαπερνά, υπό μία ορισμένη τάση (σε Βολτ). Το ρεύμα, πού μπορεί να διαπεράσει ένα μαχαιρωτό διακόπτη, είναι ανάλογο τη διατομής της λάμας και της επιφάνειας επαφής των χάλκινων σφιγκτήρων και του άξονα.

Η τάση λειτουργίας του διακόπτη είναι ανάλογη του μήκους της λάμας και της αποστάσεως μεταξύ των λαμών, σε περίπτωση που έχουμε περισσότερες από μία λάμα. Εάν η λάμα είναι πολύ κοντή, τότε το δημιουργούμενο κατά την διακοπή του ρεύματος τόξο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την συνέχιση της ροής του ρεύματος ακόμα και όταν ο διακόπτης είναι ανοικτός.

Μαχαιρωτούς διακόπτες συναντούμε στα πλοία σε αρκετά μεγάλη ποικιλία τύπων. Έτσι έχουμε τους διπολικούς μαχαιρωτούς διακόπτες απλής ενέργειας με ειδικές βοηθητικές λάμες ταχύτατου ανοίγματος, που είναι προσαρμοσμένοι στην κύρια λάμα, και τους διπολικούς διακόπτες απλής ενέργειας χωρίς βοηθητικές λάμες ταχύτατου ανοίγματος.

Άλλος τύπος διακόπτη είναι ο διπολικός μαχαιρωτός διπλής ενέργειας, του οποίου η αρχή λειτουργίας είναι η ίδια όπως και αυτών της απλής ενέργειας, με μια μικρή διαφορά.

Άλλοι τύποι διακοπών που συναντούμε σε εγκαταστάσεις πλοίων είναι οι περιστροφικοί διακόπτες γρήγορου ανοίγματος, που έχουν την δυνατότητα να τροφοδοτήσουν ένα, δύο ή και περισσότερα κυκλώματα, ενώ αντίθετα οι μαχαιρωτοί διακόπτες τροφοδοτούν το πολύ δύο μόνο κυκλώματα (διπλής ενέργειας). Οι περισσότεροι από τους διακόπτες αυτούς είναι κατάλληλοι για λειτουργία σε εναλλασσόμενο ρεύμα 600 V (Βολτ) και σε συνεχές ρεύμα 250 V (Βολτ) και χρησιμοποιούνται για τη διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος στα διάφορα κυκλώματα του πλοίου.



### **A1.1. Διακόπτες.**

Για τη προστασία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων από υπερβολικές τιμές του διαρρέοντος σε αυτά ρεύματος, (όπως πχ. συμβαίνει σε περίπτωση βραχυκυκλώματος ή υπερβολικού φορτίου), υπάρχουν διάφορες προστατευτικές διατάξεις, οι οποίες διακόπτουν την κυκλοφορία του ρεύματος, όταν αυτό υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή, υπό την οποία το κύκλωμα εργάζεται ασφαλώς.

Διατάξεις αυτού του είδους είναι οι ασφάλειες, οι αυτόματοι διακόπτες και οι μηχανισμοί διακοπής του κυκλώματος με τη βοήθεια ορισμένων ηλεκτρονόμων (ρελέ).

### **A1.3. Ασφάλειες.**

Ασφάλεια είναι η προστατευτική διάταξη, της οποίας σκοπός είναι η διακοπή του ηλεκτρικού κυκλώματος, όταν το ρεύμα που το διαρρέει υπερβεί την προκαθορισμένη τιμή, στην οποία το κύκλωμα εργάζεται ασφαλώς.

Οι ασφάλειες κατασκευάζονται σήμερα από μεγάλη ποικιλία ειδών και μεγεθών και για διάφορες τάσεις και εντάσεις λειτουργίας, η αρχή όμως της λειτουργίας τους είναι η ίδια. Κάθε ασφάλεια λοιπόν περιλαμβάνει ένα μαλακό μεταλλικό αγωγό ηλεκτρικού κυκλώματος, ο οποίος τήκεται και διακόπτει το κύκλωμα, όταν υπερθερμανθεί εξ' αιτίας της διαρροής του από υπερβολικό ρεύμα. Τύποι ασφαλειών :

1.Κοχλιωτές

2.Κυλινδρικές (Τα μεγέθη των κυλινδρικών ασφαλειών στα πλοία δεν υπερβαίνουν τα 200 A).

3.Αυτόματες. οι αυτόματοι διακόπτες των πλοίων είναι διπολικοί ή τριπολικοί διαφορετικών ονομαστικών τιμών ρεύματος και χειρίζονται χειροκίνητα αλλά και ηλεκτρικά από απόσταση. Οι αυτόματοι διακόπτες ανοίγουν αυτόματα σε περίπτωση υπερφορτίσεως ή βραχυκυκλώματος, με τη προσθήκη κατάλληλων ηλεκτρονόμων μπορούν να παρέχουν ένα κύκλωμα προστασίας: α) από πτώση τάσης και β) από αντιστροφή ρεύματος.

Οι κυρίες επαφές των αυτόματων διακοπών κατασκευάζονται από υλικά υψηλής αγωγιμότητας όπως είναι πχ. ειδικά κράματα αργύρου.

Μηχανισμοί διακοπής κυκλώματος με τη βοήθεια ηλεκτρονόμων

α) Στιγμιαίου ανοίγματος

Με τους ηλεκτρονόμους αυτούς το άνοιγμα του διακόπτη σε περίπτωση υπερεντάσεως είναι άμεσο, δηλαδή χωρίς καμία χρονική καθυστέρηση.

β) Ορισμένου χρόνου

Με τους ηλεκτρονόμους αυτούς ο αυτόματος διακόπτης ανοίγει μετά από ορισμένο χρόνο (μπορούμε να τον καθορίσουμε εμείς) από τη στιγμή της εμφάνισης του επικίνδυνης υπερέντασης.

γ) Αντιστρόφου χρόνου

Οι ηλεκτρονόμοι αυτοί ενεργοποιούν τον μηχανισμό ανοίγματος του αυτόματου διακόπτη με χρονική επιβράδυνση που είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το μέγεθος της εμφανιζομένης επικίνδυνης υπερέντασης. Εάν δηλαδή η τιμή της εμφανιζομένης υπερέντασης είναι μεγάλη, τότε ο αυτόματος διακόπτης θα ανοίξει με πολύ μικρή χρονική καθυστέρηση. Αντιθέτως, εάν η εμφανιζόμενη υπερένταση είναι μικρή, τότε η χρονική καθυστέρηση ανοίγματος του διακόπτη είναι μεγάλη.

#### **A1.4. Καλώδια.**

Εγγύηση καλής λειτουργίας τού συστήματος ηλεκτρικής διανομής των πλοίων αποτελεί κατά κύριο λόγο το είδος των χρησιμοποιούμενων καλωδίων.

Τα χρησιμοποιούμενα καλώδια στα πλοία πρέπει να είναι τύπου εγκεκριμένου από τον Νηογνώμονα. Συγκεκριμένα πρέπει να είναι άφλεκτα και στεγανά. Έτσι αν καούν, καταστρέφονται μεν, αλλά δεν αναφλέγονται, ώστε να μεταδώσουν την πυρκαγιά. Το είδος των χρησιμοποιούμενων καλωδίων δεν είναι μόνο συνάρτηση της ποσότητας ρεύματος, που πρόκειται να μεταφερθεί ή της πτώσης τάσεως στην όλη εγκατάσταση αλλά και της αντοχής, την οποία πρέπει να έχουν τα καλώδια στις διάφορες δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας, αντοχή σε κάμψεις, στρέψεις, κραδασμούς, κρούσεις, θερμότητα, ψύχος, λάδια, πετρέλαια και υγρασία, δεδομένου ότι σχεδόν όλες οι καλωδιώσεις των πλοίων τελούν υπό δυσμενείς γενικώς συνθήκες και υγρασία. Τα περισσότερα από τα χρησιμοποιούμενα στα πλοία καλώδια φέρουν

εξωτερικά προστατευτική θωράκιση από δικτυωτό μεταλλικό πλέγμα από χάλυβα, ορείχαλκο ή αλουμίνιο, παρουσιάζουν υψηλή ανθεκτικότητα σε θερμότητα και σε φλόγα, είναι σχεδόν αδιαπέραστα από την υγρασία.

Συνεπώς είναι προφανές ότι οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις των πλοίων απαιτούν την χρησιμοποίηση μεγάλης ποικιλίας καλωδίων, που να μπορούν να ανταποκριθούν κάθε φορά σε διάφορες ειδικές συνθήκες λειτουργία τους.

Τα πιο συνηθισμένα καλώδια που απαντώνται σε εγκαταστάσεις πλοίων, διαιρούνται σε δύο γενικές κατηγορίες βάσει του σκοπού χρησιμοποίησής τους:

α) Δύσκαμπτα καλώδια που χρησιμοποιούνται βασικά σε κυκλώματα, όπου η ευκαμψία τού καλωδίου δεν είναι απαραίτητη για τη λειτουργία, την οποία αυτό εξυπηρετεί.

β) Εύκαμπτα καλώδια, που χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα τα οποία απαιτούν την αντοχή του καλωδίου σε επανειλημμένες κάμψεις.

Τα δύσκαμπτα καλώδια είναι εξαιρετικώς ανθεκτικά στην θερμότητα και στη φλόγα, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται στα περισσότερα από τα μόνιμα ηλεκτρικά κυκλώματα των πλοίων. Αυτά αποτελούνται από αγωγούς από ελαστικό χαλκό, πού είναι συνήθως μονωμένοι με πυριτιούχο ελαστικό και υαλοβάμβακα. Οι παραπάνω μονωμένοι αγωγοί προστατεύονται από κατάλληλη μεταλλική πλεκτή θωράκιση και χρώμα. Τα κενά μεταξύ των αγωγών και του πυρήνα τού καλωδίου συμπληρώνονται με ειδικό υδατοστεγές μονωτικό υλικό.

Τα δύσκαμπτα και εύκαμπτα καλώδια των πλοίων είναι μονοπολικά, διπολικά, τριπολικά, τετραπολικά και πολυπολικά, ανάλογα το με πλήθος των αγωγών πού περιλαμβάνουν.

#### **A1.5. Κιβώτια διακλαδώσεως.**

Τα καλώδια, πού αναχωρούν από τους πίνακες ισχύος του πλοίου, τροφοδοτούν συνήθως περισσότερες από μία κατανάλωση. Συγκεκριμένα ένα καλώδιο, πού αναχωρεί πχ. από το κεντρικό πίνακα μιας από τις γεννήτριες του πλοίου, σε συνέχεια διακλαδίζεται σε δύο, τρία, τέσσερα ή και περισσότερα καλώδια, μικρότερης διατομής, καθένα από τα οποία τροφοδοτεί ένα μηχάνημα ή μια κατανάλωση. Η διακλάδωση αυτή του κεντρικού καλωδίου σε περισσότερα καλώδια μικρότερης διατομής, γίνεται μέσα σε ειδικά στεγανά κιβώτια, τα οποία και ονομάζονται κιβώτια διακλαδώσεως. Κατά κανόνα κάθε γραμμή, πού αναχωρεί από τα κιβώτια

διακλαδώσεως, ασφαρίζεται με ειδική ασφάλεια, εκ των οποίων πολλές και με διακόπτη, επίσης ευρίσκονται μέσα στο ίδιο κιβώτιο διακλαδώσεως.

#### **A1.6. Πίνακες ελέγχου και διανομής.**

Οι πίνακες ελέγχου και διανομής περιλαμβάνουν ειδικές κυψέλες για την προσαρμογή των διαφόρων οργάνων μετρήσεως, ενδεικτικών λαμπτήρων και μηχανισμών, μέχρι και προστατευτικών και ρυθμιστικών διατάξεων, που είναι απαραίτητα για τον έλεγχο της λειτουργίας των γεννητριών και την διανομή της ηλεκτρικής ισχύος.

Για κάθε γεννήτρια ή ομάδα γεννητριών, υπάρχει πάντοτε και από ένας πίνακας ελέγχου και διανομής.

Οι σύγχρονοι πίνακες ελέγχου και διανομής των πλοίων έχουν τις διάφορες συσκευές και τα όργανά διατεταγμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να σχηματίζουν πλήρως συγκροτημένη ανεξάρτητη μονάδα με χωρισμένες κυψέλες. Οι κυψέλες αυτές περιλαμβάνουν τη μονάδα γεννήτριας, μονάδα χοηφόρων αγωγών (μπαταριών), μονάδα διανομής της ηλεκτρικής ισχύος και μονάδα διανομής κυκλωμάτων φωτισμού. Το σύνολο αυτών των μονάδων είναι συγκροτημένο σε μια κοινή βάση που συνιστά ένα τμήμα. Ένας πίνακας ελέγχου και διανομής είναι δυνατόν να αποτελείται από ένα ή περισσότερα τμήματα, καθένα από τα οποία είναι μεν αυτοτελές, συνδέεται όμως και με τα άλλα, ώστε να σχηματίζει ένα ενιαίο συγκρότημα πινάκων.

Ο παραπάνω διαχωρισμός του όλου πίνακα σε επιμέρους μικρότερα τμήματα, περιορίζει τους κινδύνους ηλεκτροπληξίας ή και ζημιάς από πυρκαγιές και παρέχει τη δυνατότητα εύκολης αφαίρεσης των τμημάτων που υπέστησαν βλάβη, προς επισκευή ή αντικατάσταση.

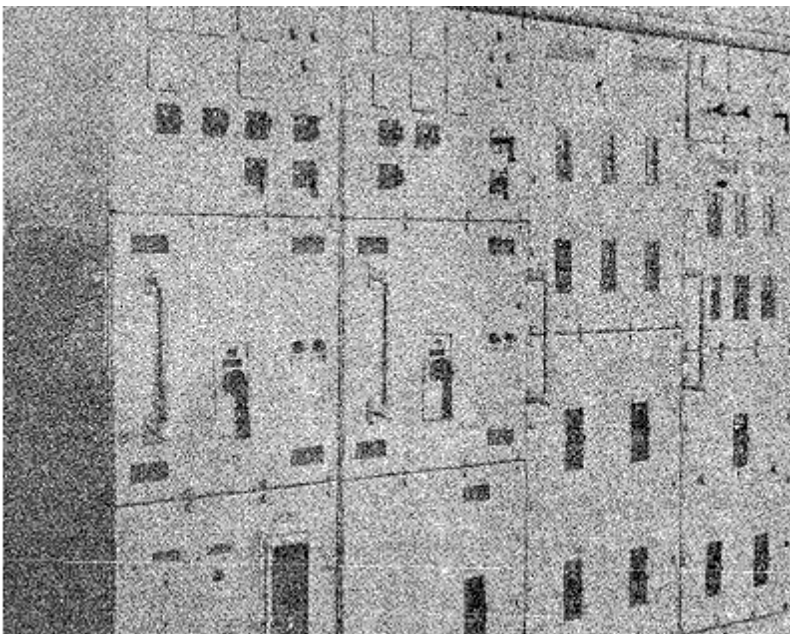
## **A1.7. Πίνακες ελέγχου και διανομής:**

### **A1.7.1. Πίνακες ανοικτής προσόψεως.**

Στους πίνακες αυτούς τα διάφορα όργανα χειρισμού και προστασίας (πχ. διακόπτες, ασφάλειες κλπ.) είναι συναρμολογημένα επί της προσόψεως. Ο πίνακας αυτού του τύπου σήμερα απαντά μόνο σε ορισμένους τύπους πλοίων παλαιάς κατασκευής ή πλοίων μικρού γενικώς εκτοπίσματος και με διανομή συνεχούς ρεύματος. Πάντως στα νέας κατασκευής πλοία, επικρατεί ή τάση καταργήσεως των πινάκων τούτων.

### **A1.7.2. Πίνακες κλειστής προσόψεως.**

Η πρόσοψη των πινάκων αυτών είναι τελείως κλειστή, προεξέχουν δε από αυτήν μόνον κομβία ή χειρολαβές διαφόρων μοχλών χειρισμού, διακοπών κ.λ.π. Έτσι η πρόσοψη των πινάκων αυτών είναι ακίνδυνη στην περίπτωση επαφής μας με αυτήν, δεδομένου διότι δεν περιλαμβάνει εξαρτήματα, από τα οποία να διέρχεται ρεύμα. Σήμερα ο τύπος των πινάκων αυτών είναι κατεξοχήν χρησιμοποιούμενος επί των πλοίων.



Σχ.Α1 Πίνακας ελέγχου και διανομή κλειστής προσόψεως.

### **A1.8. Αντιεκρηκτικό υλικό.**

Ο χειρισμός των διακοπών ενός πίνακα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία σπινθήρων (τόξου) μεταξύ των επαφών κατά την στιγμήν του ανοίγματος.

Σπινθήρες δημιουργούνται επίσης και κατά την λειτουργία των διαφόρων ηλεκτρικών μηχανημάτων (π.χ. σπινθηρισμός συλλεκτών κινητήρων και γεννητριών), ως και κατά το κάψιμο μιας ασφάλειας. Η δημιουργία των σπινθήρων αυτών, εύκολα αντιλαμβανόμαστε ότι αποτελεί εξαιρετικό κίνδυνο για την πρόκληση εκρήξεων, όταν τα προαναφερθέντα μηχανήματα ή συσκευές ευρίσκονται στο περιβάλλον, όπου υπάρχουν ατμοί πετρελαίου, βενζίνης ή άλλων εύφλεκτων υλικών, ή όπου υπάρχει συγκέντρωση εκρηκτικών αερίων. (π.χ. υδρογόνου προερχομένου από φόρτιση συσσωρευτών κ.λ.π.).

Για αυτό, όταν είναι απαραίτητη η ύπαρξη και λειτουργία μηχανημάτων και συσκευών σε χώρους, όπου υπάρχει έστω και υποψία δημιουργίας εκρηκτικού περιβάλλοντος (όπως είναι οι χώροι φορτίσεως συσσωρευτών, πετρελαιοφόρα πλοία κ.λπ.), ή κατασκευή των έχει γίνει κατά τρόπον, πού να αποκλείει την περίπτωση μεταδόσεως των δημιουργουμένων σπινθήρων στον περιβάλλοντα χώρο.

Έτσι τα τμήματα των μηχανημάτων και συσκευών, που προκαλούν τους σπινθήρες, κατασκευάζονται τελείως κλειστά και στεγανά, ώστε να αποκλείεται η περίπτωση μεταδόσεως των σπινθήρων στον εξωτερικό χώρο. Τότε τα μηχανήματα και οι συσκευές ονομάζονται αντιεκρηκτικές Έχουμε λοιπόν αντιεκρηκτικές γεννήτριες, κινητήρες, διακόπτες, πίνακες διανομής, πίνακας διακλαδώσεως, ασφαλειοκιβώτια κ.λ.π.

### **A1.9. Διαφορές ηλεκτρολογικού υλικού πλοίων και ξηράς.**

Ως προς τα είδη και τις αρχές λειτουργίας, το ηλεκτρολογικό υλικό των πλοίων δεν διαφέρει καθόλου από το υλικό των εγκαταστάσεων ξηράς. Μόνη διαφορά του ηλεκτρολογικού υλικού των πλοίων είναι ότι κατά την κατασκευή του, λαμβάνονται ορισμένα μέτρα, για τον λόγο ότι καλείται να λειτουργήσει υπό ακατάλληλες

συνθήκες περιβάλλοντος, όπως είναι ή υγρασία, οι διάφοροι κραδασμοί από τους διατοιχισμούς (μπότζι) και προνευστασμούς (σκαμπανέβασμα) τού πλοίου, το εκρηκτικό και εύφλεκτο περιβάλλον, οι μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, οι μεγάλοι κίνδυνοι ηλεκτροπληξίας λόγω της σιδηράς κατασκευής τού πλοίου κ.λ.π.

Οι διαφορές αυτές ως προς την κατασκευή του ηλεκτρολογικού υλικού των πλοίων από το υλικό των εγκαταστάσεων ξηράς προκύπτουν ευκόλως από τις προηγηθείσες παραγράφους.

## **A2 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ**

### **A2.1. Γενικά.**

Οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις των πλοίων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα κύρια συστήματα:

α) Σύστημα ισχύος. Τούτο περιλαμβάνει τις γεννήτριες, τους πίνακες ελέγχου και διανομής, τους πίνακες ισχύος, τα καλώδια, τις συσκευές ελέγχου κινητήρων (οι οποίες είναι απαραίτητες για την ηλεκτροπαραγωγή, διανομή και έλεγχο της παροχής ισχύος στα ηλεκτροκίνητα βοηθητικά μηχανήματα), (την εσωτερική επικοινωνία, τον ασύρματο, τις συσκευές ραντάρ) και τις λοιπές ηλεκτρικές συσκευές.

β) Σύστημα φωτισμού. Τούτο περιλαμβάνει τα καλώδια, τα κιβώτια διανομής, τους λαμπτήρες για τον γενικό φωτισμό, το σύστημα φωτισμού ανάγκης, τα φώτα ναυσιπλοΐας και αγκυροβολίας, ως και τα φώτα και προβολείς σημάτων.

γ) Σύστημα εσωτερικής επικοινωνίας. Τούτο περιλαμβάνει όλες τις απαιτούμενες συσκευές και καλωδιώσεις συνδέσεις αυτών για την διαβίβαση κάλυψη διαταγών και πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων διαμερισμάτων του πλοίου.

### **A2.2. Χρησιμοποιούμενες τάσεις.**

Τα ανωτέρω συστήματα διανομής υποδιαιρούνται στις ακόλουθες κατηγορίες:

α) Παράλληλα συστήματα υπό σταθερή τάση. Συνεχούς

Ρεύματος:

Διά δύο αγωγών.

Διά τριών αγωγών, από τους οποίους ό μεσαίος είναι γειωμένος.

Εναλλασσόμενου Ρεύματος:

Μονοφασικό:

Διά δύο αγωγών.

Τριφασικό:

Διά τριών αγωγών.

Διά τεσσάρων αγωγών μετά γειωμένου ουδετέρου.

β) Συστήματα εν σειρά υπό σταθερά ένταση (μόνον διά συνεχές ρεύμα).

Για τα παράλληλα συστήματα σταθερής τάσεως συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος, οι χρησιμοποιούμενες τάσεις δεν πρέπει ποτέ να υπερβαίνουν τα ακόλουθα όρια :

500 βολτ : Δι' ηλεκτροπαραγωγή, κίνηση, μαγειρεία, συσκευές θερμάνσεως και γενικώς συσκευές μονίμως συνδεδεμένες με τις μόνιμες καλωδιώσεις των δικτύων διανομής.

250 βολτ : Για φωτισμό, συσκευές Θερμάνσεως δωματίων και λοιπές εφαρμογές, που δεν αναφέρονται ανωτέρω. Βάσει των κανονισμών, πού αναφερθήκαν, συνηθέστερες τάσεις των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων των πλοίων είναι οι εξής :

### **A2.3. Εναλλασσόμενου ρεύματος:**

440 βολτ : τριφασικό, 60 περιόδων για ηλεκτροπαραγωγή και κίνηση.

380 βολτ: τριφασικό, 50 περιόδων για ηλεκτροπαραγωγή και κίνηση.



110 βολτ: μονοφασικών, 60 περιόδων για φωτισμό.

220 βολτ: μονοφασικών, 50 περιόδων για φωτισμό.

Συνεχούς ρεύματος:

500 βολτ: για ηλεκτρική πρόωση.

240 ή 220 βολτ: για φωτισμό και κίνηση.

120110 βολτ: για φωτισμό.

#### **A2.4. Παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.**

Η ηλεκτρική ενέργεια έχει σήμερα συνδεθεί απολύτως με την ζωή και λειτουργία των συγχρόνων πλοίων, παράγεται δε από κατάλληλες ηλεκτρογεννήτριες εναλλασσόμενου ή συνεχούς ρεύματος. Με την ηλεκτρική ενέργεια στρέφεται το πηδάλιο και λαμβάνουν κίνηση τα βοηθητικά μηχανήματα του πλοίου. Αυτή παρέχει τον φωτισμό στο σκάφος και τροφοδοτεί τα συστήματα εσωτερικής επικοινωνίας, τον ασυρμάτων, το ραντάρ κ.λ.π. Τα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, που απαιτούνται στα πλοία, είναι τα έξης:

1) Συστήματα παραγωγής και διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος.

Αποτελούνται από της κυρίες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας ανάγκης, της προσωρινής τροφοδότησης ανάγκης, το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ισχύος, την διάταξη λήψεως ρεύματος εκ της ξηράς, την διάταξη επιλογής πηγών ηλεκτρικής ενεργείας και το σύστημα φωτισμού.

α) Κύριες πηγές.

Αυτές είναι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος τριφασικού, 380 βολτ, 50 περιόδων ή 440 βολτ, 60 περιόδων (για αμερικανικής κατασκευής πλοία). Οι γεννήτριες αυτές κινούνται δια στροβίλων ή μηχανών ντίζελ, και παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στους πίνακες ελέγχου και διανομής. Από τους πίνακες αυτούς τροφοδοτούνται οι διάφορες καταναλώσεις του πλοίου ως και το σύστημα φωτισμού, η τάση τού οποίου είναι 220 βολτ (εάν ή τάση που παράγει ή γεννήτρια είναι 380 βολτ) ή 110 βολτ (εάν ή τάση της γεννήτριας είναι 440 βολτ), οπότε τα 110 βολτ προέρχονται από μετασχηματιστές τριφασικής, συνδεσμολογίας πρωτεύοντος και δευτερεύοντος κατά τρίγωνο, των οποίων το πρωτεύον τροφοδοτείται από τα 440

βολτ. Σε κάθε πλοίο είναι απαραίτητο να υπάρχουν δύο τουλάχιστον ανεξάρτητες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, καθεμία από τις οποίες πρέπει να δύναται να τροφοδοτεί ορισμένα ζωτικά φορτία, όπως είναι το μηχάνημα εξαερισμού του χώρου μηχανοστασίου και λεβητοστασίου, η εσωτερική επικοινωνία του σκάφους, ο ασύρματος, το ραντάρ και ο φωτισμός.

β) Σύστημα διανομής.

Σκοπός τούτου είναι ή σύνδεση των γεννητριών, πού θα παράγουν την ισχύ, με τους διάφορους ηλεκτρικούς καταναλωτές, οι όποιες είναι εγκατεστημένες επί τού πλοίου. Το σύστημα διανομής δηλαδή μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από την μία θέση στην άλλη και παρέχει την δέουσα προστασία και τον απαιτούμενο έλεγχο στη γεννήτρια και τις λοιπές συσκευές και μηχανήματα του πλοίου.

γ) Διάταξη επιλογής πηγών.

Η εγκατάσταση αυτής γίνεται επί των κυρίων πινάκων διανομής, σκοπός της δε, είναι η επιλογή της πηγής (δηλαδή της γεννήτριας), από την οποία θέλουμε να τροφοδοτηθούν οι διάφορες καταναλώσεις.

δ) Διάταξη λήψεως ρεύματος εκ της ξηράς.

Είναι εγκατεστημένη: σε κατάλληλο σημείο τού κυρίου καταστρώματος, συνδέεται δε στις μόνιμες καλωδιώσεις με τον κύριο πίνακα διανομής. Με την διάταξη αυτή συνδέονται τα φορητά καλώδια λήψεως ρεύματος εκ της ξηράς, όταν το πλοίο είναι προσαραγμένο και δεν εργάζονται οι δικές του ηλεκτρογεννήτριες.

ε) Σύστημα φωτισμού. Τούτο υποδιαιρείται στο κύριο σύστημα φωτισμού και το σύστημα φωτισμού ανάγκης. Υπό κανονικές συνθήκες οι κύριες γεννήτριες παρέχουν ηλεκτρικό ρεύμα για τον φωτισμό όλου του πλοίου. Εάν όμως, για κάποιον λόγο καταστεί αδύνατη ή παροχή ρεύματος στο σύστημα φωτισμού από την κύρια γεννήτρια, τότε αρχίζει να λειτουργεί αυτομάτως η γεννήτρια ανάγκης, η οποία και τροφοδοτεί περιορισμένο αριθμό φώτων του πλοίου, τα όποια ανήκουν στο σύστημα

φωτισμού ανάγκης (ως π.χ. κλιμακοστάσια, διαδρόμους, επίκαιρα σημεία, γέφυρα, κ.λ.π.).

στ) Πηγές ανάγκης.

Αυτές παρέχουν αμέσως και αυτόματα ηλεκτρική ενέργεια σε ορισμένα ζωτικά φορτία τού πλοίου, στην περίπτωση που οι κυρίες γεννήτριες τεθούν εκτός λειτουργίας. Πηγές ανάγκης σε ένα πλοίο είναι μία ή και περισσότερες νηζελογεννήτριες. Το σύστημα διανομής ανάγκης είναι ανεξάρτητο από το κύριο σύστημα διανομής και κάθε νηζελογεννήτριά του τροφοδοτεί τον δικό της πίνακα

ελέγχου, από τον οποίον φεύγουν ειδικές γραμμές, που καταλήγουν στις χειροκίνητες ή αυτόματες διατάξεις τροφοδοτήσεως των ζωτικών φορτίων, που υπάρχουν επί των πινάκων διανομής (π.χ. πηδάλιο, φωτισμός ανάγκης, φώτα πλεύσεως, ασυρμάτου, ραντάρ κ.λ.π.). Η τάση, που παράγεται υπό των νηζελογεννητριών ανάγκης, είναι ίδια με αυτήν που παράγεται υπό των κυρίων γεννητριών του πλοίου. Οι νηζελογεννήτριες ανάγκης, μετά των αντίστοιχων πινάκων τους δεν εγκαθίστανται ποτέ στο χώρο με τις κυρίες γεννήτριες και πίνακες διανομής τού πλοίου.

ζ) Προσωρινές τροφοδοτήσεις ανάγκης. Σκοπός τού συστήματος αυτού είναι ή ταραχή προσωρινών συνδέσεων διά την παράκαμψη καταστραφέντων καλωδίων ή πινάκων τού κυρίου συστήματος διανομής τού πλοίου. Το σύστημα περιλαμβάνει φορητά καλώδια, μονίμως εγκατεστημένους ειδικούς ακροδέκτες (για την δυνατότητα συνδέσεων και διελεύσεως των φορητών καλωδίων από φράκτες ή καταστρώματα) και φορητούς διακόπτες.

2) Συστήματα διανομής συνεχούς ρεύματος.

Αυτά συνίστανται από τις κύριες πηγές ηλεκτρικής ενεργείας, το σύστημα διανομής για δύο ή τρεις αγωγούς, το σύστημα φωτισμού και τις πηγές ανάγκης και προσωρινές τροφοδοτήσεις ανάγκης.

### **A3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ**

Η πλήρης ηλεκτρολογική εγκατάσταση σ' ένα πλοίο αποτελείται από τον εξοπλισμό παραγωγής ισχύος, ένα σύστημα διανομής και από πολλούς μηχανισμούς που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια. Ο ηλεκτρισμός χρησιμοποιείται για την κίνηση πολλών βοηθητικών μηχανημάτων καθώς επίσης και για τα μηχανήματα στο κατάστρωμα, το φωτισμό, τον αερισμό και για τον εξοπλισμό κλιματισμού του αέρα. Μια σταθερή παροχή ρεύματος είναι βασική για την ασφαλή λειτουργία του πλοίου και τη λειτουργία των μηχανημάτων, συνεπώς η ύπαρξη γεννητριών σ' ετοιμότητα (standby) ή επιπρόσθετης δυναμικότητας είναι αναγκαία μαζί με τον φωτισμό παροχής ενεργείας έκτακτης ανάγκης.

Ο εξοπλισμός έκτακτης ανάγκης δυνατόν να λάβει τη μορφή ενός εναλλακτήρα έκτακτης ανάγκης που τίθεται σε λειτουργία αυτομάτως ή δυνατόν να χρησιμοποιηθεί μια συστοιχία συσσωρευτών.

Η πλήρης σειρά του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού θα περιλαμβάνει τις γεννήτριες, το μηχανισμό διακοπών για τον έλεγχο και τη διανομή, τους κινητήρες και το συνδεδεμένο εξοπλισμό εκκίνησής τους καθώς και τις διατάξεις τροφοδοσίας έκτακτης ανάγκης.

### **A3.1. Εναλλασσόμενο (a.c.) ή συνεχές ρεύμα (d.c.)**

Σήμερα το εναλλασσόμενο ρεύμα έχει ολοκληρωτικά αντικαταστήσει το συνεχές ρεύμα ως κοινή τροφοδοσία για όλες τις εγκαταστάσεις των πλοίων. Η χρήση του εναλλασσόμενου ρεύματος έχει έναν αριθμό σπουδαίων πλεονεκτημάτων, για παράδειγμα μειωμένο αρχικό κόστος, μικρότερο βάρος, λιγότερο απαιτούμενο χώρο και μείωση των απαιτήσεων συντήρησης. Οποσδήποτε το συνεχές ρεύμα προσφέρει πλεονεκτήματα στη χρησιμοποίηση κινητήρων ελέγχου όπως για παράδειγμα το σύστημα Ward - Leonard TO οποίο εξασφαλίζει μια ευρεία σειρά ταχυτήτων.

### **A3.2. Ταξινόμηση μηχανής.**

Οι κινητήρες και οι γεννήτριες του d.c. και του a.c. ταξινομούνται ως μηχανές Συνεχούς Μέγιστου Βαθμού (CMR).

Αυτό σημαίνει ότι αυτές μπορούν να δεχθούν μια σημαντική στιγμιαία υπερφόρτωση και ίσως ακόμη μια μέτρια υπερφόρτωση για μεγαλύτερη διάρκεια.

Η θερμοκρασία επηρεάζει την απόδοση όλου του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού καθώς επίσης και τη διάρκεια ωφέλιμης ζωής της εγκατάστασης και συνεπώς του ίδιου του εξοπλισμού.

Η ολική θερμοκρασία μιας μηχανής που λειτουργεί είναι αποτέλεσμα της θερμοκρασίας του αέρα του περιβάλλοντος και της θερμικής επίδρασης του ρεύματος στα τυλίγματα.

Η αύξηση της θερμοκρασίας μετρείται πάνω από αυτή την ολική θερμοκρασία. Συνεπώς είναι βασική η ύπαρξη επαρκούς αερισμού του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.

Οι Νηογνώμονες έχουν θεσπίσει απαιτήσεις για τις διάφορες κατηγορίες μόνωσης. Οι συνήθεις κλάσεις για εγκαταστάσεις πλοίων είναι E, B και F όπου ειδικότερα υλικά μόνωσης προδιαγράφονται και η αύξηση της θερμοκρασίας φθάνει την επιτρεπόμενη τάξη (μόνωσης).

### **A3.3. Παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος.**

Οι τριφασικοί εναλλακτήρες που διατάσσονται για παράλληλη λειτουργία απαιτούν μια σημαντική εγκατάσταση οργάνων.

Αυτή θα περιλαμβάνει αμπερόμετρα, βατόμετρα, βολτόμετρα, όργανα μέτρησης της συχνότητας και ένα μηχανισμό παραλληλισμού.

Τα περισσότερα από τα όργανα αυτά χρησιμοποιούν μετασχηματιστές για τη μείωση των πραγματικών τιμών που λαμβάνονται στο όργανο. Επίσης καθίσταται δυνατό το κλείσιμο π.χ. μεταξύ των φάσεων ή στην είσοδο μιας μηχανής και στις ηλεκτροφόρες ράβδους έτσι ώστε ένα όργανο να μπορεί να δείξει μια από έναν αριθμό τιμών. Το βατόμετρο μετράει την ισχύ που ήδη καταναλώνεται: σε ένα κύκλωμα, η οποία, λόγω του συντελεστή ισχύος του εναλλασσόμενου ρεύματος, θα είναι μικρότερη από εκείνη του γινομένου τάσης επί έντασης. Στους εναλλακτήρες διατίθεται προστασία για αντίστροφη ισχύ αφού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί προστασία αντίστροφου ρεύματος.

Εναλλακτικά διάφοροι αναστολείς δυνατόν να διατίθενται για την περίπτωση βλάβης της αρχικής κινητήριας μηχανής για να εξασφαλίζεται ότι ο εναλλακτήρας δεν θα μπορεί να λειτουργεί ως κινητήρας.

Η παράλληλη λειτουργία δύο εναλλακτών απαιτεί, όπως οι τάσεις τους είναι ίσες και επίσης "εν φάση". Η παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος κάθε μηχανής πάντοτε μεταβάλλεται έτσι για δύο μηχανές και προκειμένου αυτές να λειτουργήσουν μαζί οι τάσεις τους πρέπει να μεταβάλλονται με τον ίδιο ρυθμό ή συχνότητα και να φθάνουν μαζί στο μέγιστό τους (ή σε οποιαδήποτε άλλη τιμή). Τότε λέγεται ότι οι μηχανές βρίσκονται "εν φάση". Το συγχρονοσκόπιο έχει δύο τυλίγματα τα οποία συνδέονται το ένα στην μια και το άλλο στην άλλη πλευρά του διακόπτη παραλληλισμού. Ένας δείκτης είναι ελεύθερος να περιστρέφεται και κινείται υπό τη μαγνητική επίδραση των δύο τυλιγμάτων.

Όταν οι τάσεις των δυο παροχών είναι σε φάση, ο δείκτης είναι ακίνητος στη θέση 12 του ρολογιού. Αν ο δείκτης περιστρέφεται, τότε υπάρχει μια διαφορά συχνότητας και η ένδειξη σημειώνεται για περιστροφή όπως εκείνη των δεικτών του ρολογιού

ΓΡΗΓΟΡΑ και αντίθετη της κίνησης των δεικτών του ρολογιού, περιστρέφεται ΑΡΓΑ, η αναφορά είναι στη συχνότητα της εισερχόμενης μηχανής.

Συνεπώς για το παραλληλισμό μιας εισερχόμενης μηχανής με μια που ήδη λειτουργεί είναι αναγκαίο να εξασφαλίζεται πρώτα ότι και οι δύο τάσεις είναι ίσες. Για το σκοπό αυτό διατίθενται βολτόμετρα. Δεύτερον οι συχνότητες, πρέπει να φέρονται σε φάση. Στην πράξη το συγχρονισκόπιο συνήθως κινείται αργά στη διεύθυνση ΓΡΗΓΟΡΑ και ο διακόπτης παραλληλισμού κλείνεται καθώς ο δείκτης προσεγγίζει τη θέση 11 του ρολογιού. Αυτό σημαίνει ότι η εισερχόμενη μηχανή αμέσως δέχεται μια μικρή ποσότητα του φορτίου.

Μια σειρά τριών λυχνιών δυνατόν επίσης να διατίθεται για να καταστεί δυνατός ο συγχρονισμός.

Αν οι συχνότητες των μηχανών διαφέρουν οι λυχνίες θα ανάβουν και θα σβήνουν κατά την περιστροφή, αυτό εξαρτάται από το αν η εισερχόμενη συχνότητα είναι στο ΓΡΗΓΟΡΑ ή ΑΡΓΑ.

Η σωστή στιγμή για το συγχρονισμό είναι όταν η λυχνία διακόπτης και οι άλλες δύο είναι εξίσου φωτεινές. Αυτά όλα τα συναντήσαμε και τα χειριστήκαμε και στο εργαστήριο Ηλ. Μηχανών του Τμήματος Ηλεκτρολογίας.

#### **A4. ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ**

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι δύο ειδών

A) οι σύγχρονες γεννήτριες ή εναλλακτικές

και B) οι ασύγχρονες γεννήτριες

Οι σύγχρονες γεννήτριες παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής ενώ η διέγερσή τους τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα. Οι ασύγχρονες γεννήτριες παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα του οποίου η συχνότητα είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας περιστροφής και η διέγερσή τους τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται πάντοτε σύγχρονες γεννήτριες ενώ οι ασύγχρονες χρησιμοποιούνται σπάνια. Στην συνέχεια θα εξετασθούν μόνο οι σύγχρονες γεννήτριες ή εναλλακτικές.

#### **A4.1. Τύποι και κατασκευή εναλλακτών**

Από κατασκευαστική άποψη οι εναλλακτές διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες

A) εναλλακτές με εξωτερικούς πόλους

B) εναλλακτές με εσωτερικούς ή περιστρεφόμενους πόλους

(στροβιλοεναλλακτές)

Γ)εναλλακτές με προεξέχοντες πόλους

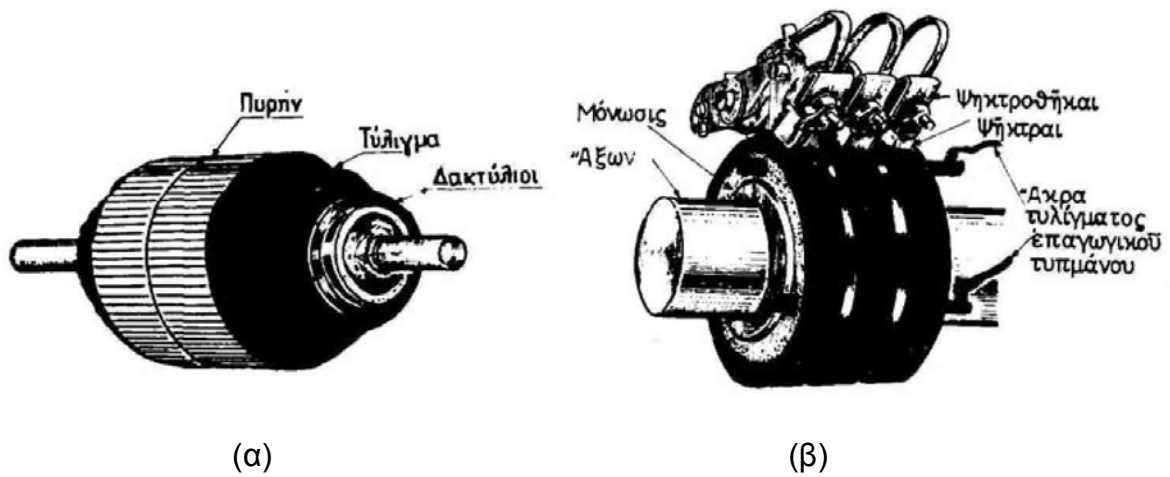
Δ) εναλλακτές με μη προεξέχοντες πόλους

#### **A4.2. Εναλλακτές με εξωτερικούς πόλους**

Σ' αυτούς η διέγερση της μηχανής γίνεται από μαγνητικούς πόλους στερεωμένους στο εσωτερικό του ζυγώματος του στάτη, όπως και στις μηχανές συνεχούς ρεύματος. Τα τυλίγματα των πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από α) πηγή συνεχούς ρεύματος β)τροφοδοτικό από γεννήτρια συνεχούς ρεύματος(διεγέρτρια) και γ) ανορθωτική διάταξη.

Ο δρομέας φέρει το επαγωγικό τύμπανο όπως και η μηχανή συνεχούς ρεύματος και το τύλιγμά του τοποθετείται στα αυλάκια του πυρήνα. Αντί συλλέκτη υπάρχουν δακτύλιοι κατασκευασμένοι από ορείχαλκο στερεωμένοι στον άξονα του δρομέα σε αριθμό ίσο με των αριθμό των φάσεων του εναλλακτήρα που συνδέονται με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Στους δακτυλίους εφάπτονται ψήκτρες σταθερά συνδεδεμένες στο ακίνητο τμήμα της μηχανής που οδηγούν το παραγόμενο ρεύμα έξω από την μηχανή.

Βασικά μειονεκτήματα της κατασκευής είναι ότι ολόκληρο το ρεύμα φορτίου πρέπει να περνά από τις ψήκτρες και η ισχυρή καταπόνηση των τυλιγμάτων λόγω περιστροφής τους σε πολύστροφους εναλλακτές. Για τους παραπάνω δύο λόγους αυτός ο τύπος εναλλακτήρα κατασκευάζεται μόνο για μικρές ισχείς και χαμηλή τάση.

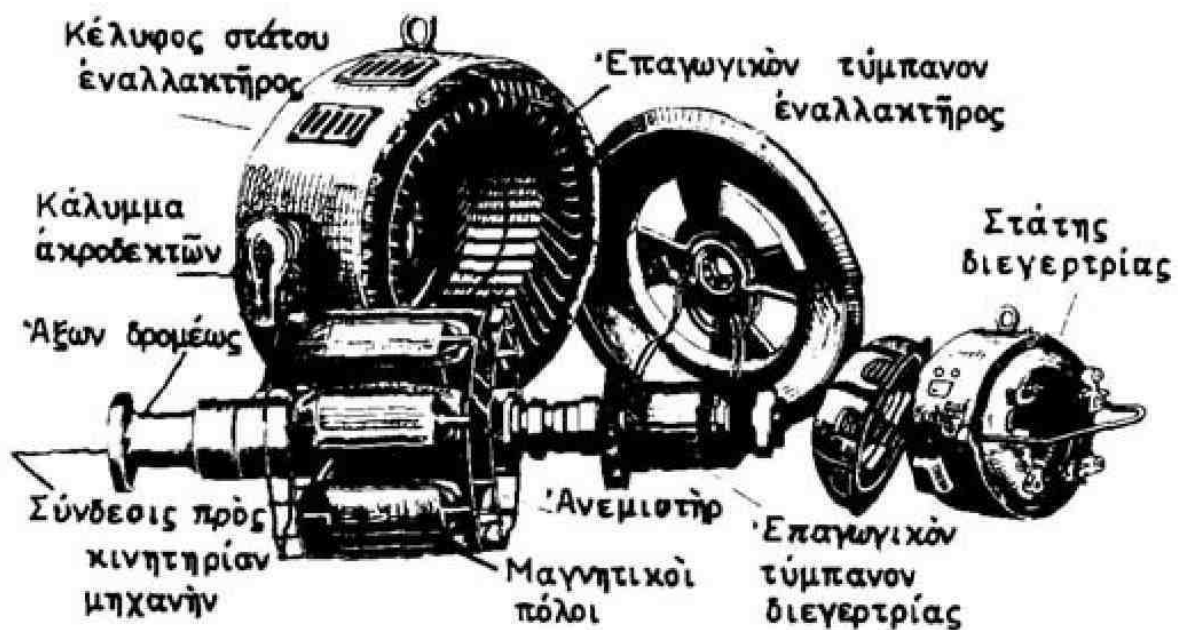


Σχήμα Α2 Δρομέας (α) και δακτύλιοι (β) εναλλακτήρα με εξωτερικούς πόλους

### A4.3. Εναλλακτήρες με εσωτερικούς πόλους

Στους εναλλακτήρες αυτούς το επαγωγικό τύμπανο είναι τοποθετημένο στο ακίνητο μέρος της μηχανής, τον στάτη. Οι μαγνητικοί πόλοι τοποθετούνται ακτινικά στον άξονα του περιστρεφόμενου δρομέα και για τον λόγο αυτό ονομάζονται και εναλλακτήρες με περιστρεφόμενους πόλους. Στο Σχήμα Α3 φαίνεται ένας αποσυναρμολογημένος εναλλακτήρας με εσωτερικούς πόλους. Η διεγέρτρια μηχανή κινείται από τον άξονα του εναλλακτήρα.

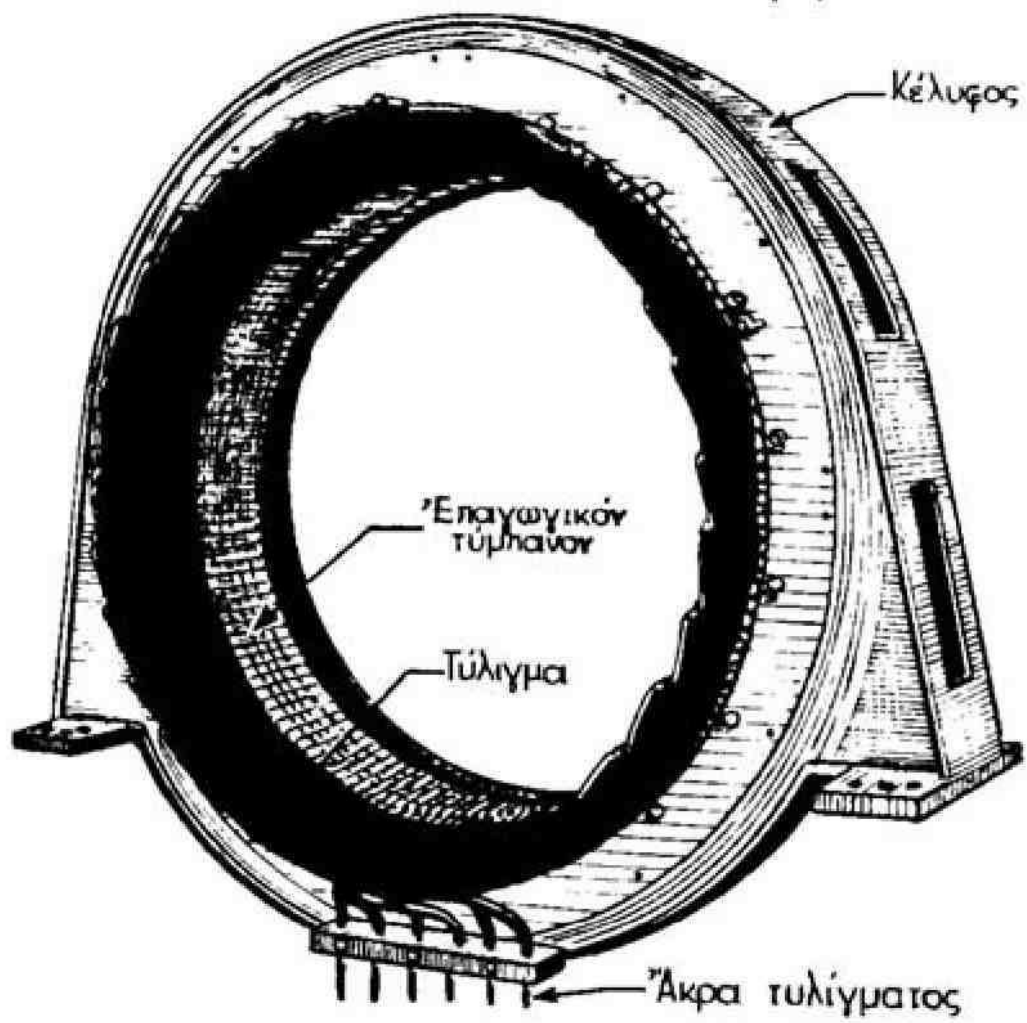


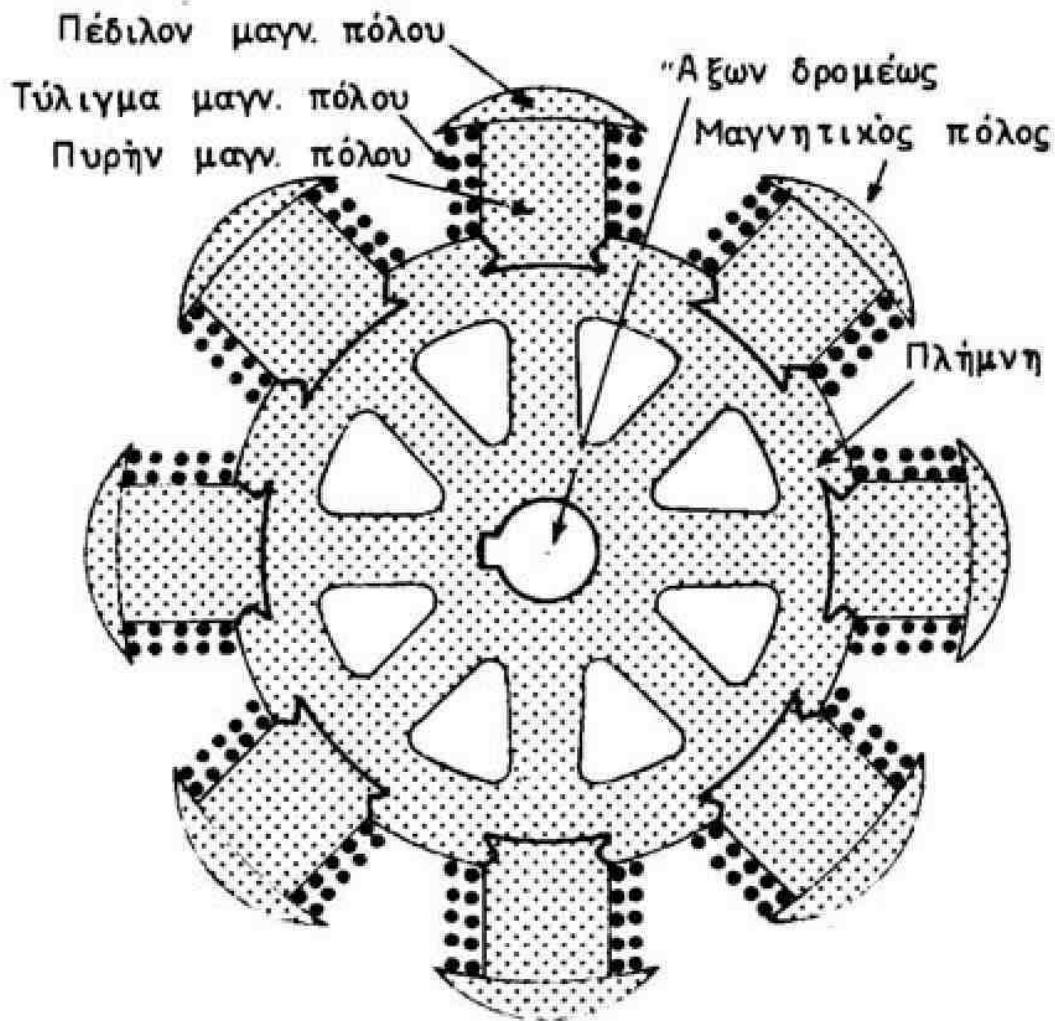


Σχήμα Α3 Αποσυναρμολογημένος εναλλακτήρας με περιστρεφόμενους πόλους.

Ο στάτης αποτελείται από εξωτερικό κέλυφος κατασκευασμένο από χαλύβδινα ελάσματα μέσα στο οποίο τοποθετείται το επαγωγικό τύμπανο που αποτελείται από τον πυρήνα και το τύλιγμα. Ο πυρήνας κατασκευάζεται από πολλούς δίσκους ελασμάτων με κατάλληλο σχήμα ώστε να σχηματίζουν τα αυλάκια (όταν τοποθετούνται παράλληλα) μέσα στα οποία τοποθετείται το τύλιγμα, τα άκρα του οποίου καταλήγουν απευθείας στους ακροδέκτες χωρίς την παρεμβολή ψηκτρών και δακτυλίων.

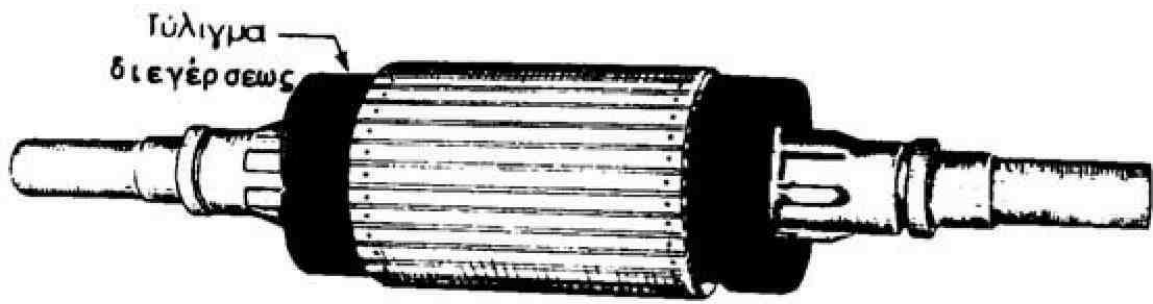
Ο δρομέας των εναλλακτάρων με εσωτερικούς πόλους φέρει τους μαγνητικούς πόλους στερεωμένους ακτινικά. Στους τριφασικούς εναλλακτάρους των σταθμών παραγωγής οι πυρήνες και τα πέδιλα των πόλων κατασκευάζονται από συμπαγή μαλακό χάλυβα. Το διάκενο, με πάχος μερικά mm, επιτρέπει την ελεύθερη περιστροφή του δρομέα μέσα στον στάτη. Τα τυλίγματα των πόλων τοποθετούνται στους πυρήνες πριν μπουν τα πέδιλα και συνδέονται μεταξύ τους έτσι ώστε να δημιουργούνται διαδοχικά μαγνητικοί πόλοι με αντίθετη πολικότητα. Τα τυλίγματα των πόλων τροφοδοτούνται με συνεχές ρεύμα από την διεγέρτρια μηχανή (γεννήτρια συνεχούς ρεύματος) μέσω ψηκτρών και δύο δακτυλίων στερεωμένων στον άξονα του δρομέα. Το ρεύμα αυτό και η τάση του είναι πολύ μικρά σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη του επαγωγικού τυμπάνου και επομένως η κατασκευή δεν καταπονείται ιδιαίτερα. Η όλη διάταξη είναι κατάλληλη για μηχανές με μικρή σχετικά ταχύτητα περιστροφής και χρησιμοποιούνται σε συστήματα παραγωγής με κινητήρια μηχανή είτε υδροστρόβιλο είτε μεγάλη μηχανή εσωτερικής καύσης.



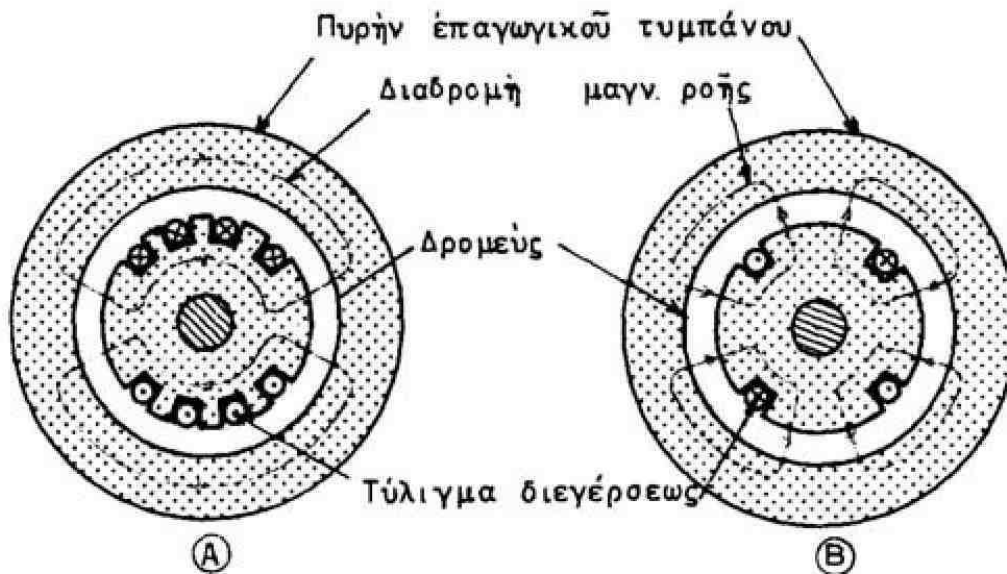


#### A4.4. Στροβιλοεναλλακτήρες

Ανήκουν στην κατηγορία των μηχανών με εσωτερικούς πόλους αλλά κατασκευάζονται να λειτουργούν με κινητήριες μηχανές μεγάλης ταχύτητας περιστροφής όπως οι ατμοστρόβιλοι. Έτσι βασικό χαρακτηριστικό είναι η μικρή διάμετρος αλλά και το μεγάλο μήκος άξονα. Ο στάτης έχει την ίδια κατασκευή αλλά ο δρομέας δεν έχει προεξέχοντες πόλους και αποτελείται από συμπαγές κυλινδρικό τύμπανο με αυλάκια, μέσα στα οποία μπαίνει και στερεώνεται το τύλιγμα διέγερσης με δύο συνήθως πόλους. Αυτό καταλήγει σε δύο δακτυλίους στερεωμένους στον δρομέα που εφάπτονται σε δύο ψήκτρες στερεωμένες στον στάτη. Ο δρομέας και το μαγνητικό πεδίο φαίνονται στο Σχήμα A4.



(α)



(β)

Σχήμα A4 Δρομέας (α) και τύλιγμα διεγέρτη (β) στροβιλοεναλλακτήρα.

#### A4.5 Συχνότητα και ταχύτητα περιστροφής

Η συχνότητα  $f$  της παραγόμενης ηλεκτρεγερτικής δύναμης αποδεικνύεται ότι είναι

$$f = p n_s (\text{Hz})$$

όπου  $p$  ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων

$n_s$  ο αριθμός στροφών του εναλλακτήρα ανά sec

Ο παραπάνω τύπος δίνει και την σύγχρονη ταχύτητα ενός κινητήρα όταν αποδίδεται μια ορισμένη συχνότητα. Έτσι

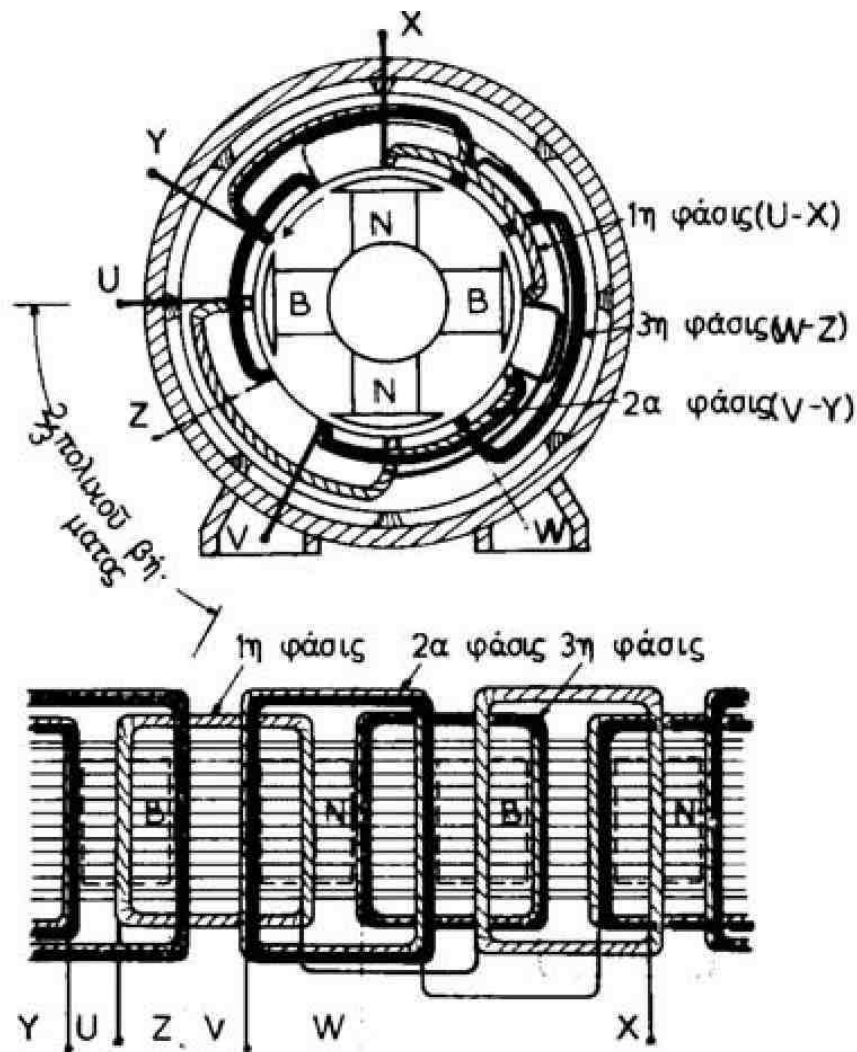
$$n_s = f/p \text{ (στρ/sec)} \text{ ή } n_s = 60f/p \text{ (στρ/min)}$$

Στην Ελλάδα και την Ευρώπη είναι  $f = 50 \text{ Hz}$  οπότε ανάλογα με τον αριθμό ζευγών πόλων μπορεί να προκύψει και η απαραίτητη ταχύτητα περιστροφής της κινητήριας μηχανής πχ

για  $p = 1$  η ταχύτητα είναι  $3000 \text{ στρ/min}$ .

#### **A4.6. Τριφασικοί εναλλακτήρες**

Οι τριφασικοί εναλλακτήρες φέρουν στο επαγωγικό τύμπανο τρία όμοια και ανεξάρτητα μεταξύ τους μονοφασικά τυλίγματα, τις τρεις φάσεις του εναλλακτήρα. Στο Σχήμα 2.6 φαίνεται ένας απλός τριφασικός εναλλακτήρας και το ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμπάνου.

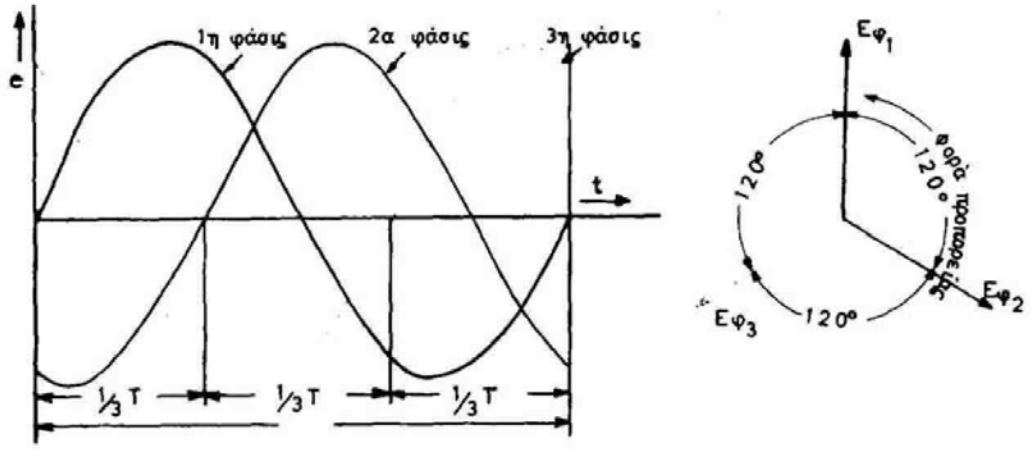


ΣχήμαΑ5 Τριφασικός εναλλακτήρας με ανάπτυγμα τυλίγματος τυμπάνου

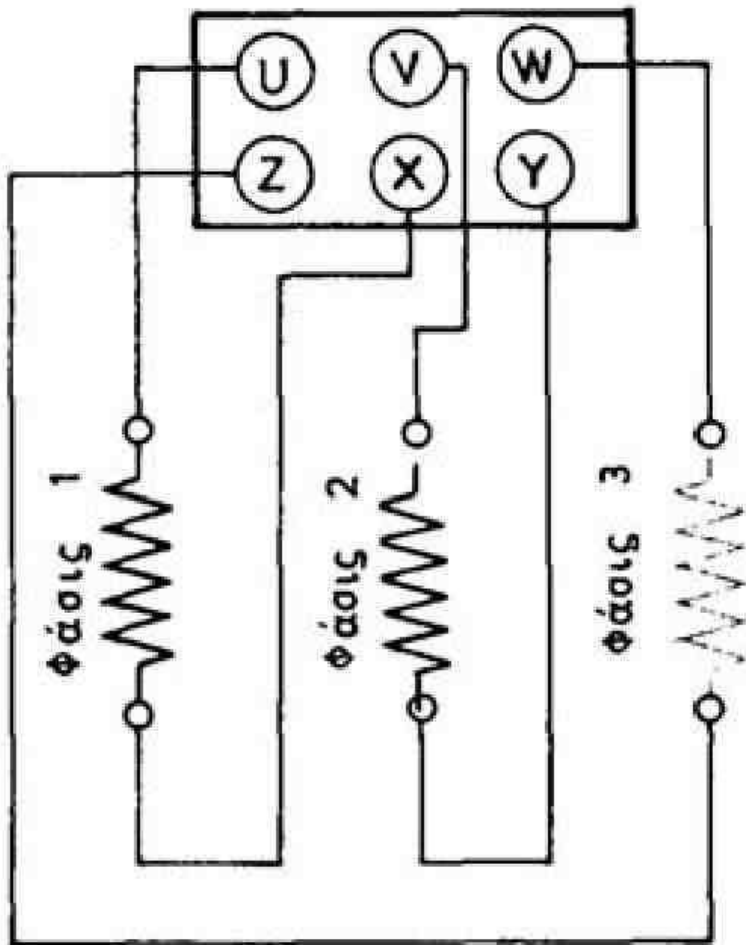
Στα τριφασικά τυλίγματα υπάρχουν 6 άκρα, τρεις αρχές U, V, W και τρία πέρατα X, Y, Z. Έτσι το τύλιγμα U-X αποτελεί την πρώτη φάση, το τύλιγμα V-Y την δεύτερη και το W-Z την τρίτη. Οι εναλλασσόμενες ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στις τρεις φάσεις έχουν το ίδιο μέγεθος (ενεργές τιμές), την ίδια συχνότητα και λέγονται φασικές ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις. Οι φασικές ΗΕΔ έχουν μεταξύ τους φασική μετατόπιση 120 μοιρών. Στο Σχήμα Α6 φαίνονται οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις τριφασικού εναλλακτήρα τόσο συναρτήσεσι του χρόνου όσο και με διανυσματική μορφή.

Τα έξι ελεύθερα άκρα της μηχανής συνδέονται στους έξι ακροδέκτες της μηχανής όπως φαίνεται στο Σχήμα Α7. Τότε οι τρεις φάσεις είναι εντελώς ανεξάρτητες μεταξύ τους και το σύστημα που προκύπτει λέγεται ανεξάρτητο τριφασικό σύστημα.

Πρακτικά όμως τα τυλίγματα των τριών φάσεων συνδέονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα το συνδεδεμένο τριφασικό σύστημα.



ΣχήμαΑ6 Ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις εναλλακτήρα



Σχήμα Α7 Ανεξάρτητο τριφασικό σύστημα

Υπάρχουν δύο τρόποι σύνδεσης μεταξύ των φάσεων, η σύνδεση σε αστέρα και η σύνδεση σε τρίγωνο. Στην σύνδεση σε αστέρα συνδέονται οι ακροδέκτες Z, X, Y που

αποτελούν έτσι τον ουδέτερο κόμβο της μηχανής και οι άλλοι τρεις ακροδέκτες U, V, W συνδέονται στο τριφασικό δίκτυο. Όταν το τριφασικό δίκτυο είναι τεσσάρων αγωγών, ο τέταρτος αγωγός συνδέεται στον ουδέτερο κόμβο της μηχανής. Μεταξύ του ακροδέκτη μιας φάσεως και του ουδέτερου υπάρχει η φασική ΗΕΔ του εναλλακτήρα  $E_{\phi}$  και μεταξύ δύο φάσεων υπάρχει η πολική ΗΕΔ  $E_{\pi}$ . Η μεταξύ των δύο σχέση είναι

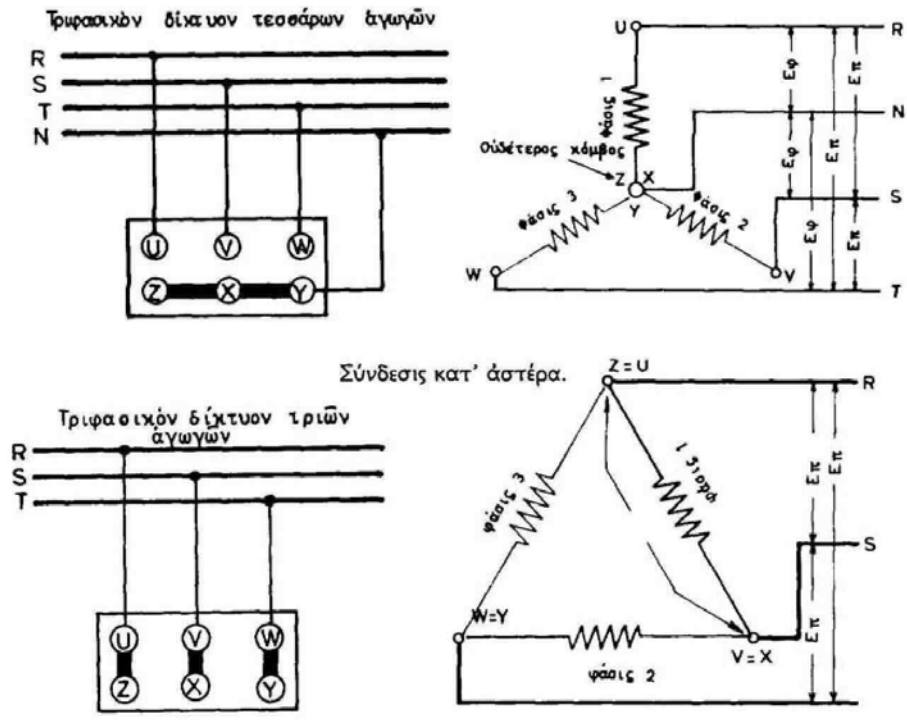
$$E_{\pi} \sqrt{3}E_{\phi} = 1.73E_{\phi}$$

Η σύνδεση σε τρίγωνο πραγματοποιείται με σύνδεση των ακροδεκτών των φάσεων έτσι ώστε η Z να συνδέεται με την U, η W με την Y και η V με την X. Στην περίπτωση αυτή η φασική ΗΕΔ είναι ίση με την πολική ΗΕΔ, δηλαδή



$$E_n = E_\phi.$$

Στο Σχήμα Α8 φαίνονται οι συνδέσεις σε αστέρα και τρίγωνο.



Σχήμα Α8 Συνδέσεις σε αστέρα και τρίγωνο.

Η ενεργός τιμή της φασικής ΗΕΔ δίνεται από την σχέση

$$E_\phi = Kfw_0\Phi \text{ σε V}$$

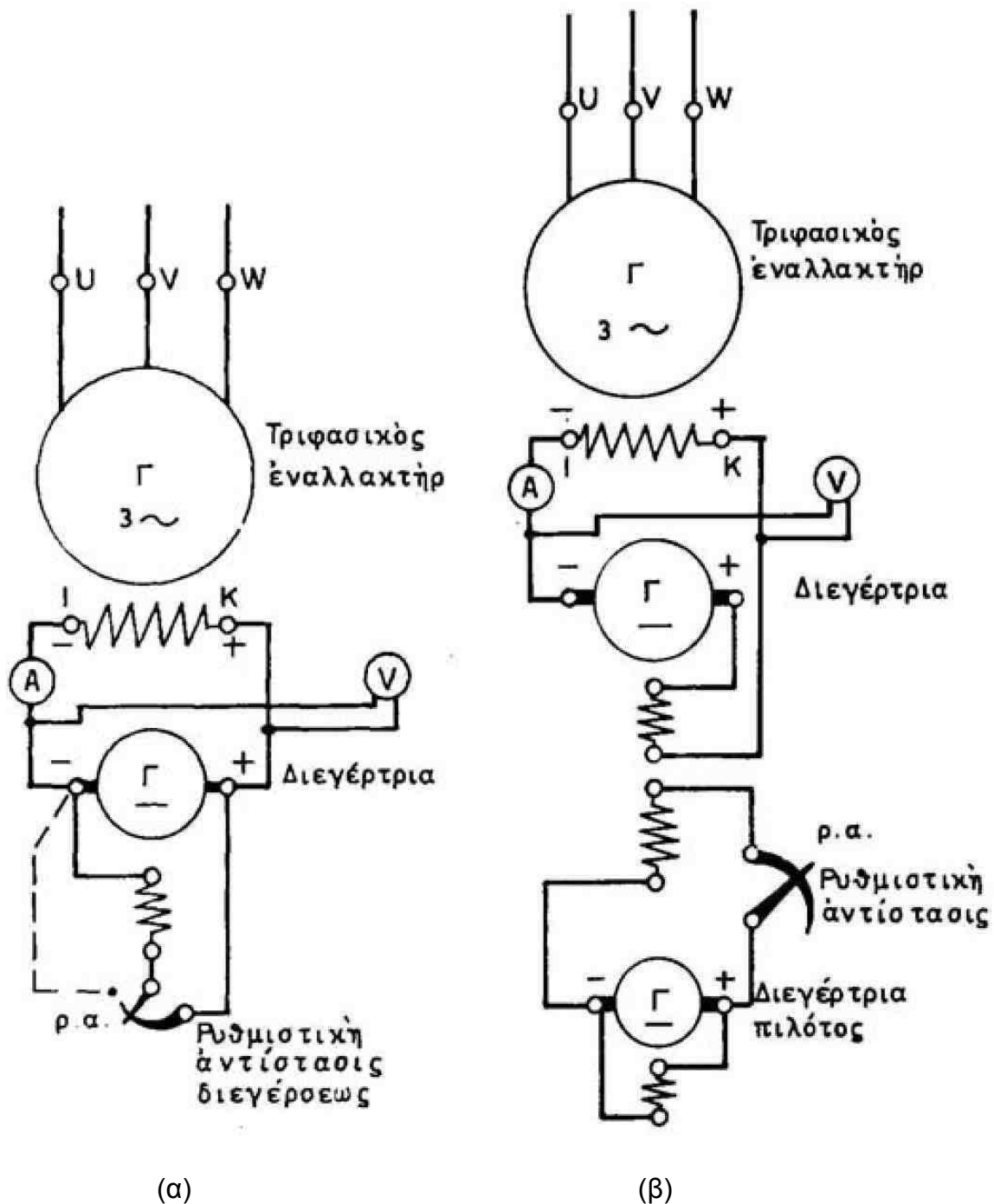
Όπου K σταθερά εξαρτώμενη από το τύλιγμα με τιμές μεταξύ 1.9 και 3.4 f η συχνότητα της παραγόμενης τάσης Φ η μαγνητική ροή ανά πόλο σε Wb w0 αριθμός των σε σειρά αγωγών του τυλίγματος της φάσης (αριθμός αυλακιών επί τον αριθμό των αγωγών ανά αυλάκι)

#### **A4.7. Ρύθμιση τάσης εναλλακτήρα**

Η μεταβολή της ΗΕΔ εναλλακτήρα μπορεί να γίνει είτε με μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής ή της μαγνητικής ροής  $\Phi$  σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο της ΗΕΔ, των άλλων παραμέτρων να αποκλείονται λόγω του ότι εξαρτώνται από κατασκευαστικά στοιχεία. Η μεταβολή της ταχύτητας πάλι δεν είναι επιτρεπτή αφού έτσι θα αλλάξει η συχνότητα της παραγόμενης τάσης. Επομένως η μόνη πρακτική δυνατότητα μεταβολής είναι εκείνη της μαγνητικής ροής  $\Phi$  που εξαρτάται από το ρεύμα διέγερσης.

Στους μεγάλους εναλλακτήρες, λόγω του ότι το ρεύμα διέγερσης έχει σημαντικές τιμές η ρύθμιση της διέγερσης γίνεται όχι με ροοστάτη διεγέρσεως στο τύλιγμα της διεγέρτριας μηχανής αλλά με τροφοδοσία του τυλίγματος της διεγέρτριας από άλλη γεννήτρια συνεχούς ρεύματος (λέγεται διεγέρτρια πιλότος).

Στο Σχήμα A9 φαίνονται δύο περιπτώσεις ρύθμισης τάσης με μεταβολή της διέγερσης



Σχήμα Α9 Ρύθμιση τάσης με μεταβολή διέγερσης

Η καμπύλη μεταβολής της ΗΕΔ εναλλακτήρα (που είναι η τάση χωρίς φορτίο) όταν μεταβάλλεται η ένταση διέγερσης για σταθερή ταχύτητα περιστροφής λέγεται χαρακτηριστική εν κενώ ή στατική χαρακτηριστική του εναλλακτήρα και φαίνεται στο Σχήμα Α10. Στην χαρακτηριστική διακρίνονται δύο τμήματα : η γραμμική περιοχή όπου η  $E$  είναι ανάλογη του ρεύματος διέγερσης και η περιοχή κορεσμού όπου

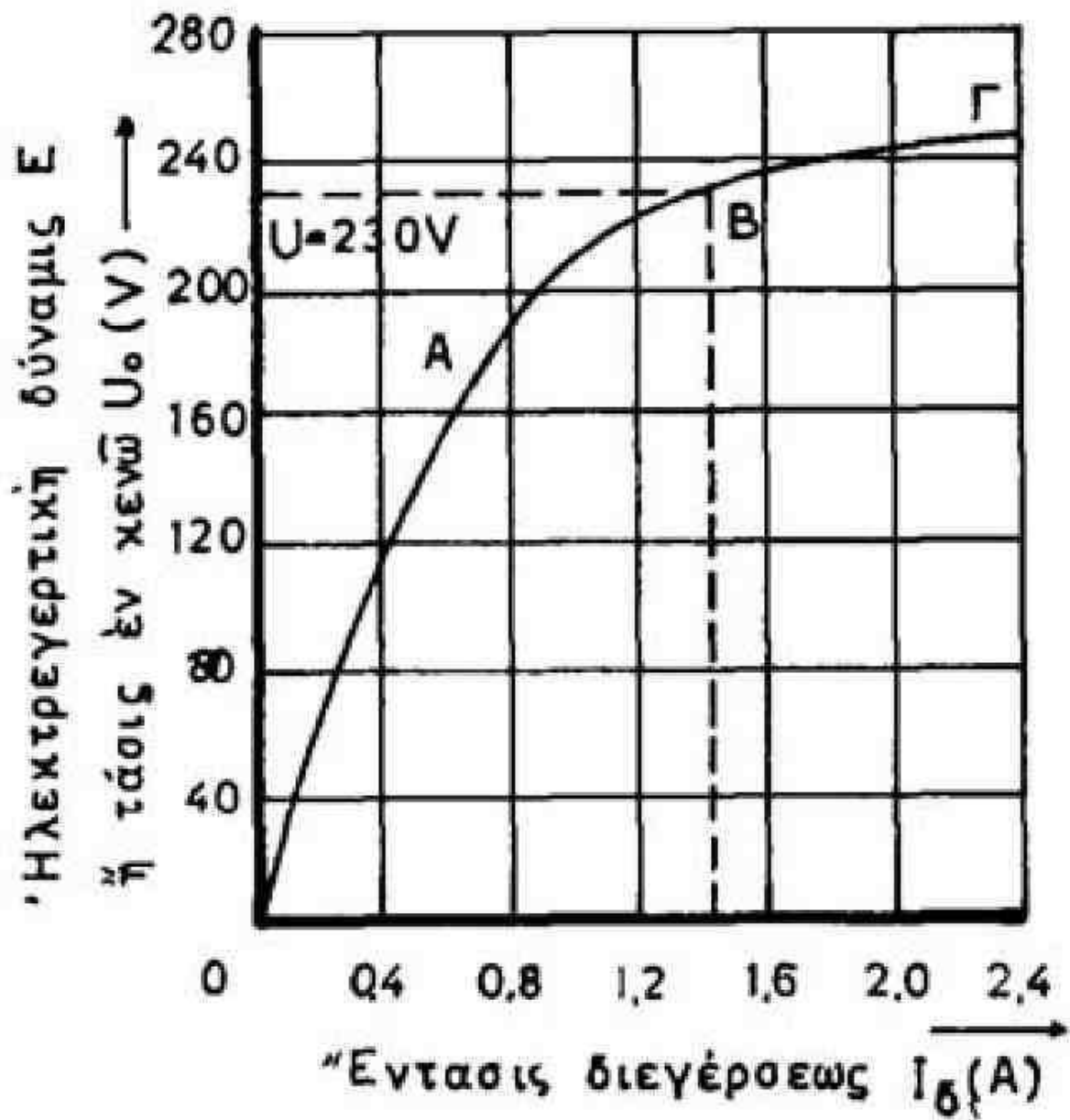
σημαντική αύξηση του ρεύματος διέγερσης έχει σαν αποτέλεσμα μικρή μόνο αύξηση της τάσης. Οι εναλλακτήρες κατασκευάζονται ώστε να λειτουργούν στην αρχή της περιοχής κορεσμού στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας.

#### **A4.8. Λειτουργία υπό φορτίο**

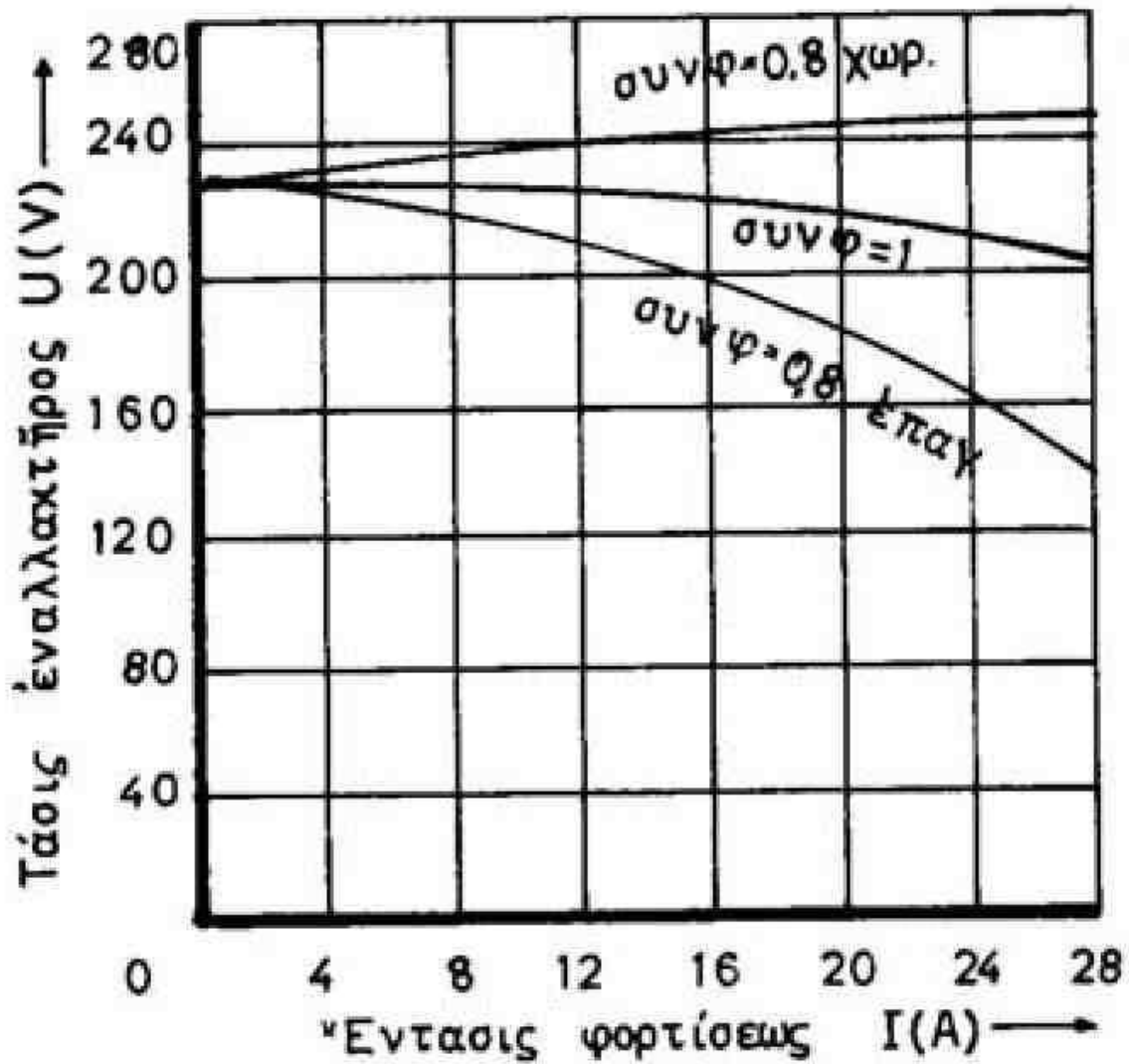
Όταν ο εναλλακτήρας λειτουργεί στο κενό με τις ονομαστικές στροφές, η τάση στα άκρα του είναι ίση με την ΗΕΔ και εξαρτάται μόνο από την τιμή της έντασης διέγερσης.

Συνδέοντας φορτίο (σύνθετες αντιστάσεις) και κρατώντας σταθερή την διέγερση η τάση του εναλλακτήρα μεταβάλλεται και εξαρτάται εκτός των άλλων και από το είδος του φορτίου (ωμικό, επαγωγικό ή χωρητικό) που εκφράζεται με τον συντελεστή ισχύος του.

Έτσι προκύπτουν χαρακτηριστικές υπό φορτίο με την μορφή του Σχήματος



Σχήμα A10 Χαρακτηριστική στο κενό



Σχήμα A11 Χαρακτηριστικές φόρτισης

Οι σχέσεις τάσεων και ρευμάτων για τις συνδεσμολογίες σε αστέρα είναι

$$u_{\phi} = u/1.73 \text{ και } I_{\phi} = I$$

και σε τρίγωνο

$$u_{\phi} = u \text{ και } I_{\phi} = I/1.73$$

Ένα άλλο σημαντικό μέγεθος του εναλλακτήρα είναι η διακύμανση τάσεως από το κενό ( $u_0$ ) μέχρι το ονομαστικό φορτίο ( $U_N$ ) που ορίζεται σαν

$$\varepsilon\% = 100 (u_0 - U_N)/U_N$$

Η ρύθμιση τάσης του εναλλακτήρα όταν μεταβάλλεται το φορτίο του γίνεται πάντα μέσω της έντασης διέγερσης και πραγματοποιείται με αυτόματο ρυθμιστή που προσαρμόζει πάντα την διέγερση ώστε να υπάρχει στην έξοδο η σταθερή ονομαστική τάση. Έτσι, ανάλογα με το είδος του φορτίου ο εναλλακτήρας υπερδιεγείρεται σε επαγωγικά φορτία και υποδιεγείρεται σε χωρητικά φορτία.

Χαρακτηριστικά στοιχεία εναλλακτών Με την βοήθεια οργάνων που έχει κάθε εγκατάσταση εναλλακτήρα μπορεί να μετρηθεί κατά την λειτουργία του η πολική τάση  $U$ , η ένταση γραμμής  $I$  και η πραγματική ισχύς  $P$  που αποδίδεται στο δίκτυο. Από τα μεγέθη αυτά μπορεί να υπολογισθεί η φαινόμενη ισχύς  $S$  και η άεργος ισχύς  $Q$  που παρέχει ο εναλλακτήρας όπως και ο συντελεστής ισχύος  $\cos\phi$  με τις γνωστές από την ηλεκτροτεχνία σχέσεις που ακολουθούν στον Πίνακα Α1

Σχέσεις υπολογισμού της ισχύος.

	Μονοφασικός έναλλακτήρ	Τριφασικός έναλλακτήρ	Διά μονοφασικών και τριφασικών έναλλακτών
Φαινόμενη ισχύς (VA)	$N_s = U \cdot I$	$N_s = 1,73 \cdot U \cdot I$	$N_s = \sqrt{N^2 + N_b^2}$ $N_s = \frac{N}{\text{συν}\phi}$
Πραγματική ισχύς (W)	$N = U \cdot I \cdot \text{συν}\phi$	$N = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \text{συν}\phi$	$N = \sqrt{N_s^2 - N_b^2}$ $N = N_s \cdot \text{συν}\phi$
Άεργος ισχύς (var)	$N_b = U \cdot I \cdot \eta\mu\phi$	$N_b = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \eta\mu\phi$	$N_b = \sqrt{N_s^2 - N^2}$ $N_b = N_s \cdot \eta\mu\phi$
Συντελεστής ισχύος	$\text{συν}\phi = \frac{N}{U \cdot I}$	$\text{συν}\phi = \frac{N}{1,73 \cdot U \cdot I}$	$\text{συν}\phi = \frac{N}{N_s}$

Πίνακας Α1 Σχέσεις υπολογισμού της ισχύος (P αντί N, S αντί  $N_s$ , Q αντί  $N_b$ )

Οι εναλλακτήρες κατασκευάζονται για μια ορισμένη ονομαστική τάση λειτουργίας που δίνεται πάντα από τον κατασκευαστή σαν πολική τάση πχ. 380V ή 15kV. Το μέγεθος ενός εναλλακτήρα χαρακτηρίζεται από την ονομαστική του ισχύ που είναι η φαινόμενη ισχύς που ο εναλλακτήρας μπορεί να δίνει συνεχώς στην ονομαστική του τάση χωρίς κίνδυνο καταστροφής των μονώσεων του από υπερθέρμανση.

Στην πινακίδα του εναλλακτήρα εκτός της ονομαστικής ισχύος, τάσης, έντασης, του ονόματος του κατασκευαστή και του αριθμού της κατασκευής γράφονται και τα εξής στοιχεία :

α) ο αριθμός των φάσεων,

β) η συχνότητα του ρεύματος

γ) ο ονομαστικός συντελεστής ισχύος με βάση τον οποίο έχει υπολογισθεί η ισχύς της κινητήριας μηχανής

δ) η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής

ε) η μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση και τάση διέγερσης

Επίσης στην πινακίδα μπορεί να γράφεται και το είδος της επιτρεπόμενης λειτουργίας (συνεχής, διακοπτόμενη) και στην περίπτωση που δεν γράφεται αυτό η λειτουργία θεωρείται συνεχής (continuous).

Απώλειες και βαθμός απόδοσης εναλλακτήρα Οι απώλειες των εναλλακτών που λειτουργούν με σταθερή συχνότητα διακρίνονται στις σταθερές απώλειες  $P_1$  που είναι οι μηχανικές απώλειες, οι μαγνητικές απώλειες και οι ηλεκτρικές απώλειες διέγερσης ( $U_{\delta}I_{\delta}$ ) που δεν εξαρτώνται από το φορτίο και στις μεταβλητές απώλειες  $P_2$  που είναι οι ηλεκτρικές απώλειες του τυλίγματος τυμπάνου. Αν  $R$  είναι η ωμική αντίσταση ανά φάση του τυλίγματος τυμπάνου και  $I$  η ένταση γραμμής τριφασικού εναλλακτήρα, τότε οι μεταβλητές απώλειες είναι

Για σύνδεση αστέρα  $P_2 = 3RI^2$

Για σύνδεση τριγώνου  $P_2 = RI^2$

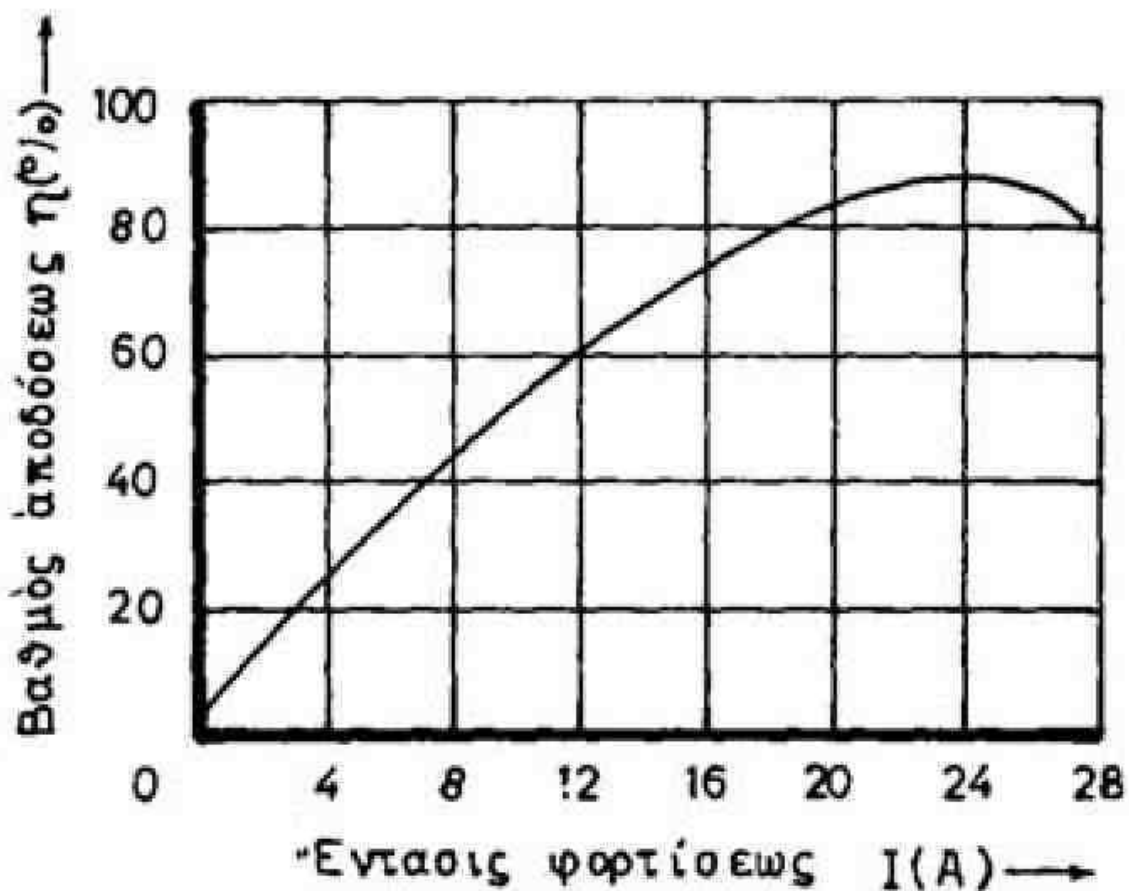
Οι συνολικές απώλειες του εναλλακτήρα είναι  $\Sigma P = P_1 + P_2$  και ο βαθμός απόδοσης είναι

$\eta = \frac{P}{P + \Sigma P}$  με  $P$  την αποδιδόμενη πραγματική ισχύ στο δίκτυο.

$P + \Sigma P$

Είναι προφανές ότι ο βαθμός απόδοσης είναι μικρότερος της μονάδας. Ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται από το φορτίο του εναλλακτήρα. Η καμπύλη του Σχήματος Α12 δείχνει πως μεταβάλλεται ο βαθμός απόδοσης ενός εναλλακτήρα όταν μεταβάλλεται το ρεύμα φορτίου του με σταθερό συντελεστή ισχύος. Ο βαθμός απόδοσης μεγιστοποιείται όταν αποδίδει την ονομαστική ένταση με τον ονομαστικό συντελεστή ισχύος και μπορεί να φθάσει μέχρι και 95% στους μεγάλους εναλλακτές





Σχήμα A12 Μεταβολή βαθμού απόδοσης εναλλακτήρα.

#### A4.9. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος.

Όταν ένα ρεύμα παρέχεται σε ένα απλό πηνίο σύρματος εντός ενός μαγνητικού πεδίου, μια δύναμη αναπτύσσεται η οποία περιστρέφει το πηνίο. Αυτή είναι μια παρόμοια κατάσταση, προς τη δημιουργία ρεύματος με την κίνηση ενός πηνίου σε ένα μαγνητικό πεδίο. Πραγματικά οι γεννήτριες και οι κινητήρες είναι σχεδόν εναλλάξιμοι, αυτό εξαρτάται από το αν διατίθενται εκτός του μαγνητικού πεδίου, άλλα δύο στοιχεία δηλαδή ρεύμα και κίνηση.

Επιπρόσθετα πηνία σύρματος και περισσότερα μαγνητικά πεδία δημιουργούν έναν περισσότερο αποτελεσματικό κινητήρα.

Βοηθητικοί πόλοι τοποθετούνται για τη μείωση των σπινθηρισμών αλλά τώρα έχουν αντίθετη πολικότητα προς τον επόμενο κύριο πόλο στη διεύθυνση της περιστροφής.

Όταν το περιστρεφόμενο επαγωγίμο ενεργεί ως γεννήτρια παράγει ρεύμα σε αντίστροφη διεύθυνση με εκείνο της τροφοδοσίας. Αυτή η ANTI-HEΔ ελέγχει την ισχύ που χρησιμοποιείται από τον κινητήρα αλλά δεν παρουσιάζεται όταν γίνεται εκκίνηση του κινητήρα. ως αποτέλεσμα και για την αποφυγή υψηλής έντασης ρεύματος εκκίνησης χρησιμοποιούνται ειδικά κυκλώματα ελέγχου ή εκκινήτες.

Η συμπεριφορά του κινητήρα d.c. υπό φορτίο επηρεάζεται, από την πτώση τάσης εγκάρσια του οπλισμού, το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο μεταξύ των πόλων και το φορτίο ή τη στρέψη σ' αυτόν. Μερικοί από τους συντελεστές αυτούς είναι ανεξάρτητοι. Για παράδειγμα, η πτώση τάσης εγκάρσια του επαγωγίμου εξαρτάται από την αντί-HEΔ η οποία εξαρτάται από την ταχύτητα του κινητήρα και την ένταση του μαγνητικού πεδίου.

Παράλληλα, εν σειρά και σύνθετα τυλίγματα χρησιμοποιούνται για την επίτευξη διαφόρων χαρακτηριστικών του κινητήρα με διαφοροποίηση των ανώτερων συντελεστών.

Ο κινητήρας με παράλληλο τύλιγμα έχει τυλίγματα πεδίου συνδεδεμένα παράλληλα με τα τυλίγματα του επαγωγίμου.

Έτσι όταν ο κινητήρας λειτουργεί με σταθερό φορτίο σε σταθερή ταχύτητα και όλους τους άλλους παράγοντες σταθερούς, μια αύξηση στο φορτίο θα προκαλεί μια πτώση στην ταχύτητα και συνεπώς μείωση στην αντί-HEΔ.

Στη συνέχεια μιας μεγαλύτερης έντασης ρεύμα θα ρέει στα τυλίγματα του επαγωγίμου και θα αυξάνει την κατανάλωση ισχύος του κινητήρα, το δε μαγνητικό πεδίο θα μένει ανεπηρέαστο επειδή αυτό είναι συνδεδεμένο παράλληλα.

Στην πράξη η μείωση της ταχύτητας είναι πολύ μικρή, γεγονός που κάνει τον κινητήρα με επαγωγίμο πηνίο μια ιδανική επιλογή για χρήσεις σταθερής –ταχύτητας μεταβλητού-φορτίου.

Ο κινητήρας με πηνίο "εν σειρά" διαθέτει τυλίγματα πεδίου συνδεδεμένα εν σειρά με τα τυλίγματα του επαγωγίμου.

Με τη διάταξη αυτή μια αύξηση στο φορτίο προκαλεί μια μείωση στην ταχύτητα και μια πτώση της αντι-HEΔ.

Οποσδήποτε το αυξημένο φορτίο ρεύματος θα αυξάνει τώρα το μαγνητικό πεδίο και συνεπώς την αντι-HEΔ. Τελικά ο κινητήρας θα σταθεροποιείται σε κάποια μειωμένη τιμή της ταχύτητας. Η ταχύτητα του κινητήρα με πηνίο εν σειρά, συνεπώς,

μεταβάλλεται σημαντικό με το φορτίο, Κατά τη λειτουργία του ο κινητήρας με παράλληλο πηνίο κινείται με σταθερή ταχύτητα ανεξαρτήτως φορτίου. Ο κινητήρας με πηνίο εν σειρά κινείται με ταχύτητα που καθορίζεται από το φορτίο, μεγαλύτερο φορτίο, χαμηλότερη κίνηση, η σύνθετη σύνδεση - η χρήση τυλιγμάτων πεδίου εν σειρά και παράλληλα εξασφαλίζει ένα συνδυασμό αυτών των χαρακτηριστικών.

Η στρέψη εκκίνησης είναι επίσης σπουδαία. Για ένα κινητήρα με τύλιγμα εν σειρά η στρέψη εκκίνησης είναι υψηλή και μειώνεται καθώς αυξάνει το φορτίο. Αυτό καθιστά τον κινητήρα με τύλιγμα εν σειρά χρήσιμο για εφαρμογές σε βίντσια και γεραμούς. Σημειώνεται ότι ένας τέτοιος κινητήρας αν εκκινήσει χωρίς φορτίο έχει μια απεριόριστη ταχύτητα.

Κάποια μικρή σύνθετη σύνδεση είναι συνήθως για την αποφυγή αυτού του επικίνδυνου συμβάντος. Ο κινητήρας με τύλιγμα εν παραλλήλω χρησιμοποιείται όπου απαιτείται σταθερή ταχύτητα ανεξαρτήτως φορτίου, π.χ. σε ανεμιστήρες ή αντλίες, Η εκκίνηση ενός κινητήρα d.c. απαιτεί μια διάταξη κυκλώματος για τον περιορισμό του ρεύματος του επαγωγού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση ενός εκκινήτη.

Ένας αριθμός αντιστάσεων διατίθεται στο επαγωγίμο και που προοδευτικά απομακρύνονται καθώς αυξάνει η ταχύτητα του κινητήρα και αναπτύσσεται αντι-ΗΕΔ.

Ένας βραχίονας ως μέρος του κυκλώματος του επαγωγίμου κινεί τις επαφές πάνω από τις αντιστάσεις έτσι ώστε ένας αριθμός αντιστάσεων πρώτα να τίθεται στο κύκλωμα του επαγωγίμου και στη συνέχεια να αφαιρούνται προοδευτικά. Ο βραχίονας πρέπει να κινείται βραδέως για να επιτρέπει την αύξηση της ταχύτητας του κινητήρα και τη δημιουργία αντι-ΗΕΔ. Στην τελική επαφή λειτουργία ουδεμία αντίσταση εκκίνησης υπάρχει στο κύκλωμα του επαγωγικού τυμπάνου. Ένα πηνίο "συγκράτησης" ή "χωρίς τάση" συγκρατεί το βραχίονα του εκκινήτη στη θέση του ενώ υπάρχει ρεύμα στο κύκλωμα του επαγωγίμου. Αν λάβει χώρα μια απώλεια της παροχής, ο βραχίονας θα απελευθερωθεί και θα επιστρέψει στη θέση "εκτός-off" με ένα ελατήριο.

Τότε ο κινητήρας πρέπει να εκκινήσει και πάλι με τον κανονικό τρόπο. Επίσης διατίθεται ένας αναστολέας υπερφόρτισης που παρεμποδίζει την περίσσεια του ρεύματος από το να απελευθερώνει το βραχίονα εκκίνησης. Το πηνίο υπερφόρτισης, έχει ένα πυρήνα μαλακού σιδήρου, ο οποίος, όταν μαγνητίζεται αρκετά από υπερβολικό ρεύμα, έλκει τη ράβδο/αναστολέα.

Αυτός ο τύπος εκκινήτη είναι γνωστός ως ένα έλασμα όψης, άλλοι τύποι χρησιμοποιούν επαφές χωρίς λαβή εκκίνησης αλλά εισάγουν αντίσταση στο κύκλωμα του επαγωγίμου με τον ίδιο ως επί το πλείστον τρόπο.

Επαγωγικοί Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος Παρέχοντας εναλλασσόμενο ρεύμα σε ένα πηνίο το οποίο είναι ελεύθερο να περιστρέφεται εντός ενός μαγνητικού πεδίου, δεν θα παράγεται ένα αποτέλεσμα κινητήρα αφού το ρεύμα μεταβάλλει σταθερά διεύθυνση. Συνεπώς γίνεται χρήση σε ένα επαγωγικό ή τύπου κλωβού κινητήρα ενός περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου που παράγεται από τρία χωριστών φάσεων τυλίγματα στον επαγωγέα. Το επαγωγίμο έχει μια σειρά χάλκινων

αγωγών κατά μήκος του άξονά του οι οποίοι συνδέονται με δακτυλίους στα άκρα σχηματίζοντας ένα κλωβό. Όταν εκκινεί ο κινητήρας το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο επάγει μια ΗΕg στον κλωβό και έτσι ρέει ένα ρεύμα. Ο αγωγός φορέας-ρεύματος σε ένα μαγνητικό πεδίο προκαλεί κίνηση η οποία κινεί τον κινητήρα. Η ταχύτητα του κινητήρα αναπτύσσεται μέχρι μια τιμή μόλις μικρότερη από την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου.

Η ταχύτητα του κινητήρα εξαρτάται από την ΗΕΔ που επάγεται στο επαγωγίμο και που αυτή εξαρτάται από τη διαφορά στην ταχύτητα μεταξύ των αγωγών και του μαγνητικού πεδίου. Αν αυξάνεται το φορτίο το επαγωγίμο επιβραδύνεται ελαφρώς προκαλώντας μια αύξηση στην επαγόμενη ΗΕΔ και έτσι μια μεγαλύτερη ροπή για την αντιμετώπιση του αυξημένου φορτίου.

Ο κινητήρας είναι σχεδόν σταθερής ταχύτητας για όλες τις τιμές του φορτίου. Αυτός θα εκκινεί έναντι περίπου διπλάσιας στρέψης φορτίου αλλά παίρνοντας ρεύμα εκκίνησης περίπου έξι φορές περισσότερο του κανονικού ρεύματος πλήρους φορτίου.

Το ρεύμα εκκίνησης δύναται να μειωθεί με μια διάταξη διπλού κλωβού στον κινητήρα. δύο διαχωρισμένοι κλωβοί τοποθετούνται ο ένας κάτω του άλλου στο επαγωγίμο. Κατά την εκκίνηση, ο εξωτερικός υψηλής-αντίστασης κλωβός φέρει σχεδόν όλο το ρεύμα του επαγωγίμου. Καθώς ο κινητήρας επιταχύνεται το χαμηλής-αντίστασης εσωτερικό τύλιγμα λαμβάνει όλο και περισσότερο από το ρεύμα μέχρις όπου αυτό φέρει το μεγαλύτερο μέρος.

Ένας αριθμός διαφορετικών σταθερών ταχυτήτων είναι δυνατός, με αλλαγή των πόλων. Η ταχύτητα ενός επαγωγικού κινητήρα είναι ανάλογη της συχνότητας διαιρούμενης δια του αριθμού των ζευγών των πόλων. Συνεπώς αν διατίθεται ένας διακόπτης ο οποίος μπορεί να αλλάζει τον αριθμό των ζευγών των πόλων, τότε διάφορες σταθερές ταχύτητες είναι δυνατές. Ο αριθμός των πόλων επηρεάζει τα χαρακτηριστικά εκκίνησης, όπως το λόγο της στρέψης εκκίνησης προς τη στρέψη πλήρους φορτίου.

Μόνο ο τύπος επαγωγικού κινητήρα a.c. περιγράφηκε επειδή αυτός είναι που σχεδόν αποκλειστικά χρησιμοποιείται στα πλοία.

Οι σύγχρονοι κινητήρες είναι ένας άλλος τύπος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε σε συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης πλην όμως όχι για κίνηση βοηθητικών μηχανημάτων.

Ένας αριθμός διαφορετικών διατάξεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκκίνηση ενός επαγωγικού κινητήρα. Αυτές περιλαμβάνουν απευθείας από τη γραμμή, αστέρα

τρίγωνο, αυτό-μετασχηματιστή και αντίσταση επαγωγέα. Απευθείας από τη γραμμή εκκίνησης είναι συνήθης όπου το σύστημα διανομής μπορεί να δεχθεί το ρεύμα εκκίνησης.

Όπου περιλαμβάνονται αργοκίνητα υψηλής αδράνειας φορτία ο χρόνος εκκίνησης πρέπει να εξετάζεται, επειδή θα υπάρξει η επίδραση θερμότητας του ρεύματος εκκίνησης.

Ο εκκινητής αστέρας-τρίγωνο συνδέει τα τυλίγματα του επαγωγέα πρώτο σε αστέρα και όταν η ταχύτητα αυξάνει σε τρίγωνο. Η σύνδεση αστέρα καταλήγει στη μισή της τάσης γραμμής που εφαρμόζεται σε κάθε φάση και συνεπώς σε μια μείωση στο ρεύμα εκκίνησης.

Η ροπή εκκίνησης μειώνεται επίσης περίπου στο ένα τρίτο της τιμής της γραμμής. Μια γρήγορη αντιστροφή στη σύνδεση τριγώνου απαιτείται στο περίπου 75% της ταχύτητας πλήρους φορτίου όταν ο κινητήρας θα τραβά περίπου 3,5 φορές το ρεύμα πλήρους φορτίου του. Ο εκκινητής με αυτομετασχηματιστή χρησιμοποιείται μόνο για μεγάλους κινητήρες. Αυτός χρησιμοποιεί ανοίγματα σπειρών στον ένα μετασχηματιστή για την παροχή π.χ. 40%, 60% και 75% της κανονικής τάσης. Ο κινητήρας εκκινεί στο ένα από τα ανοίγματα και στη συνέχεια γρήγορα στρέφεται σε πλήρη τάση στο 75% περίπου της πλήρους ταχύτητας. Τα ανοίγματα που επιλέγονται θα εξαρτώνται από την απαιτούμενη στρέψη εκκίνησης, με άνοιγμα 60% παρέχεται περίπου 70% της στρέψης πλήρους φορτίου.

Ένα επί τοις % μικρότερο άνοιγμα θα δίνει μια μικρότερη στρέψη εκκίνησης και αντιστρόφως. Ο εκκινητής αντίστασης επαγωγέα έχει μια αντίσταση στο κύκλωμα του επαγωγέα όταν εκκινεί ο κινητήρας. Ένας χρονορυθμιζόμενος μηχανισμός λειτουργεί για τη βραχυκύκλωση αυτής της αντίστασης, όταν ο κινητήρας έχει φθάσει σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα.

Σύγχρονες ηλεκτρονικές τεχνικές καθιστούν δυνατόν, όπως επαγωγικοί κινητήρες a.c, χρησιμοποιούνται σε συστήματα ελέγχου-ταχύτητας. Η ηλεκτρική παροχή του πλοίου, η οποία ίσως δεν έχει τόσο σταθερή τάση ή συχνότητα όπως εκείνη της ξηράς, ανορθώνεται πρώτα παρέχοντας ένα συνεχές ρεύμα.

Στη συνέχεια αυτό χρησιμοποιείται ως παροχή ισχύος ενός ταλαντωτή, χρησιμοποιώντας υψηλής-ισχύος ηλεκτρονικούς μηχανισμούς. Αυτοί δυνατόν να

είναι Thyristors (για ισχύ μέχρι 1,5 Mw ή μεγαλύτερη) ή αγωγοί (transistors) για ισχύ μέχρι μερικά δέκατα του Kw. Η απόδοση του υψηλής-ισχύος ταλαντωτή ελέγχεται στη συχνότητα και την τάση από ένα σύστημα ανατροφοδότησης.

Η ταχύτητα του κινητήρα μεταβάλλεται, με την αλλαγή της συχνότητας στον ταλαντωτή. Το αναγκαίο, για την επίτευξη της επιθυμητής στρέψης, ρεύμα του κινητήρα (σε μικρές γωνίες ολίσθησης) συνήθως επιτυγχάνεται διατηρώντας την τάση σχεδόν ανάλογη της συχνότητας.

Ορισμένοι προστατευτικοί μηχανισμοί τοποθετούνται στο κύκλωμα του κινητήρα για προστασία έναντι βλαβών τέτοιων όπως λειτουργία με μια φάση λιγότερη, υπερφόρτιση ή υπέρταση. Απλή φάση λαμβάνει χώρα όταν μια φάση σε ένα τριφασικό κύκλωμα καθίσταται ανοικτό κύκλωμα. Αποτέλεσμα είναι υπερβολικά ρεύματα σε όλα τα τυλίγματα, στην περίπτωση επαγωγέα συνδεδεμένου σε τρίγωνο και που λειτουργεί σε πλήρες φορτίο, ένα τύλιγμα λαμβάνει τρεις φορές περισσότερο ρεύμα από το κανονικό του φορτίο.

Μια μηχανή η οποία λειτουργεί όταν συμβεί βλάβη στη μια φάση της θα συνεχίσει να λειτουργεί αλλά με μια όχι ισορροπημένη κατανομή ρεύματος. Ένας μηχανισμός προστασίας από υπερφόρτιση δυνατόν να μην αναστέλλει τη λειτουργία (της μηχανής) αν ο κινητήρας λειτουργεί σε μικρότερο από το πλήρες φορτίο του. Μια μέθοδος προστασίας από τη λειτουργία με λιγότερες φάσεις χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό ευαίσθητο στη θερμοκρασία ο οποίος απομονώνει τη μηχανή από την παροχή σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία τυλίγματος. Μηχανισμοί προστασίας από υπερφόρτιση τοποθετούνται και δυνατόν να είναι χωριστοί ή να συνδυάζονται με το μηχανισμό προστασίας έναντι λειτουργίας με λιγότερες φάσεις. Αυτοί πρέπει να έχουν μια χρονοκαθυστέρηση τοποθετημένη έτσι ώστε να μη λαμβάνει χώρα λειτουργία κατά τη διάρκεια της περιόδου εκκίνησης με υψηλή τιμή ρεύματος. Ένας μηχανισμός προστασίας για "χαμηλή τάση" ή "χωρίς τάση" εξασφαλίζει ότι ο κινητήρας εκκινεί κατάλληλα μετά από μια βλάβη στην τροφοδοσία.

#### **A4.10. Συντήρηση.**

Η καθαριότητα είναι βασική προϋπόθεση για την καλή λειτουργία όλων των τύπων του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.

Οι ηλεκτρικές συνδέσεις πρέπει να είναι ακέραιες και να διερευνάται κάθε σημείο σπινθήρα. Τα μέρη που υπόκεινται σε φθορά πρέπει να εξετάζονται και όταν είναι αναγκαίο να αντικαθίστανται. Ο κίνδυνος από τον εξοπλισμό a.c. από την άποψη της ηλεκτροπληξίας είναι πολύ μεγαλύτερος από εκείνον για παρόμοιες τάσεις d.c.

Επίσης ο εξοπλισμός a.c. συχνά λειτουργεί σε πάρα πολύ υψηλές τάσεις. Συνεπώς προσοχή πρέπει να δίνεται για να εξασφαλίζεται η απομόνωση του εξοπλισμού πριν αναληφθεί οποιαδήποτε επιθεώρηση ή συντήρηση.

Η συσσώρευση ακαθαρσιών πάνω στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό θα οδηγήσει στη βλάβη της μόνωσης και σε διαρροή ρευμάτων, δυνατόν ακόμη και σε βλάβη της γείωσης.

Υγρασία ή επικαθίσεις λαδιού, ομοίως θα επηρεάσουν την αντίσταση της μόνωσης. Τακτική μέτρηση της αντίστασης της μόνωσης και συγκέντρωση των στοιχείων θα δείχνει την προσοχή που απαιτεί ο εξοπλισμός. Διελεύσεις αερισμού ή αεραγωγοί δυνατόν να βουλώσουν με αποτέλεσμα την ελλιπή ψύξη και συνεπώς την υπερθέρμανση. Επικαθίσεις λαδιού από μια απευθείας -συνδεδεμένη - μηχανή diesel που κινεί μια ανοικτή γεννήτρια (συνήθως d.c.) μπορεί να προκαλέσει ζημιά τυλιγμάτων και συνεπώς θα απομακρύνονται αν βρίσκονται. Ολικά κλειστές μηχανές πρέπει περιοδικά να ανοίγονται για επιθεώρηση και καθαρισμό αφού σκόνη άνθρακα θα παραμένει εντός της μηχανής και θα επικάθεται πάνω στις επιφάνειες.

Ο μηχανισμός των ψηκτρών επιθεωρείται για να εξασφαλίζεται επαρκής πίεση ψήκτρας και να γίνεται αν είναι αναγκαία ρύθμιση των ελατηρίων. Οι νέες ψήκτρες θα

"στρώνονται" στο συλλέκτη ή θα σχηματοποιούνται στο δακτύλιο - ολίσθησης με λεπτό γυαλόχαρτο. Σπινθηρισμός στο συλλέκτη δείχνει κακή συλλογή.

Αυτό δυνατόν να απαιτεί στίλβωση της τραχείας επιφάνειας του συλλέκτη. Η μόνωση mica μεταξύ των κυκλικών τμημάτων του συλλέκτη δυνατόν να απαιτεί υπόσκαψη, αν αυτή προεξέχει ή απλώς καθαρισμό αν έχει σχηματιστεί στρώμα επικαθίσεων.

Ο εξοπλισμός ελέγχου, όπως οι εκκινήτες, απαιτεί προσοχή στις επαφές οι οποίες ίσως να έχουν φθαρεί ή διαβρωθεί ως αποτέλεσμα τόξων. Οι ταχείς επαναληπτικοί διακόπτες συνήθως έχουν μια ενέργεια κίνησης ή καθαρισμού καθώς έρχονται μαζί. Αυτό βοηθά τον καθαρισμό των επιφανειών και την εξασφάλιση καλής ηλεκτρικής επαφής, επίσης δε το παραγόμενο τόξο, κατά τη διάρκεια του κλεισίματος και ανοίγματος δεν είναι στην τελικώς κλειστή θέση. Οι επιφάνειες των επαφών του επαναληπτικού διακόπτη του συχνά χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού θα υπόκεινται συνεπώς σε τακτικές επιθεωρήσεις.

Φώτα ναυσιπλοΐας (φανάρια). Η τροφοδοσία (με ρεύμα) στο κύκλωμα των φώτων ναυσιπλοΐας πρέπει να διατηρείται κάτω από όλες τις περιστάσεις και συνεπώς πρέπει να λαμβάνεται γι αυτό ειδική πρόνοια.

Για την αποφυγή κάθε δυνατότητας τυχαίου ανοίγματος των κυκλωμάτων, ο πίνακας διανομής για τα φώτα ναυσιπλοΐας δεν θα τροφοδοτεί άλλα κυκλώματα. Ένας διακόπτης αναστροφής εξασφαλίζει μια εναλλακτική πηγή τροφοδοσίας όταν υπάρξει

βλάβη της κύριας παροχής. Αν υπάρξει βλάβη στα φώτα ναυσιπλοΐας, πρέπει να δίνεται μια οπτική ή ακουστική ένδειξη.

Ένας διπολικός διακόπτης συνδέει την τροφοδοσία σε κάθε κύκλωμα φωτισμού με μια ασφάλεια σε κάθε γραμμή. Ένας ηλεκτρονόμος στο κύκλωμα θα λειτουργεί το βομβητή, αν υπάρχει ένα ανοικτό κύκλωμα, αφού ο ηλεκτρονόμος θα απενεργοποιείται και μια ράβδος αναστολής θα συμπληρώνει το κύκλωμα του βομβητή. Μια αντίσταση εν σειρά με μια λυχνία ένδειξης θα εξασφαλίζει τη λειτουργία των φώτων ναυσιπλοΐας ακόμη και αν η λυχνία ένδειξης υποστεί βλάβη. Μια βλάβη της κύριας παροχής θα έχει ως αποτέλεσμα να σβήσουν όλες οι λυχνίες. Ο διακόπτης αναστροφής στη συνέχεια θα πρέπει να κινηθεί προς την εναλλακτική τροφοδοσία.

Σε όλα τα επιβατηγά και φορτηγά πλοία ένας αριθμός βασικών υπηρεσιών πρέπει να είναι δυνατόν να διατηρούνται κάτω από συνθήκες έκτακτης ανάγκης. Οι απαιτήσεις διαφέρουν από τον τύπο του πλοίου και τη διάρκεια του ταξιδιού.

Αυτοτελείς πηγές ηλεκτρικής ισχύος εκτάκτως ανάγκης πρέπει να εγκαθίστανται σε θέσεις τέτοιες, ώστε αυτές να είναι απίθανο να υποστούν βλάβη ή να επηρεαστούν από οποιοδήποτε συμβάν ΤΟ οποίο προκάλεσε την απώλεια της κυρίας ισχύος.

Συνεπώς η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης και ο πίνακάς της τοποθετούνται σ' ένα διαμέρισμα το οποίο βρίσκεται εκτός και μακριά από τους χώρους του κύριου και βοηθητικού μηχανοστασίου, πάνω από το ανώτατο συνεχές κατάστρωμα . Ο ίδιος κανόνας εφαρμόζεται και στους συσσωρευτές, με εξαίρεση ότι η συστοιχία συσσωρευτών δεν πρέπει να τοποθετείται στον ίδιο χώρο με οποιοδήποτε πίνακα έκτακτης ανάγκης.

Μια πηγή ισχύος έκτακτης ανάγκης πρέπει να είναι ικανή να λειτουργεί με μια κλίση του πλοίου μέχρι  $221^\circ$  και μια κλίση διαγωγής μέχρι  $10^\circ$ . Το διαμέρισμα πρέπει να είναι προσβάσιμο από το ανοικτό κατάστρωμα.

#### **A4.11. Επιβατηγά πλοία**

Οι γεννήτριες έκτακτης ανάγκης, για επιβατηγά πλοία, απαιτείται να εκκινούν και να συνδέονται αυτομάτως εντός 45sec. Μια σειρά αυτομάτως συνδεδεμένων συσσωρευτών έκτακτης ανάγκης ικανών να τροφοδοτούν ορισμένα βασικά φορτία για 30 λεπτά επίσης απαιτείται. Εναλλακτικά συσσωρευτές επιτρέπονται ως η κύρια πηγή ισχύος έκτακτης ανάγκης. Οι κανονισμοί καθορίζουν την παροχή ισχύος έκτακτης ανάγκης σε βασικές υπηρεσίες σε επιβατηγά πλοία για μια χρονική περίοδο



μέχρι 36 ώρες. Μια μικρότερη περίοδος επιτρέπεται σε πλοία τέτοια όπως τα οχηματαγωγά. Μερικές από τις βασικές υπηρεσίες δυνατόν να λειτουργούν από άλλα εκτός από ηλεκτρικά μέσα (τέτοια όπως οι υδραυλικά ελεγχόμενες υδατοστεγανές θύρες) άλλα δε δυνατόν να διαθέτουν τη δική τους ηλεκτρική ισχύ. Αν οι συσσωρευτές είναι η μόνη πηγή ισχύος, αυτοί πρέπει να παρέχουν το φορτίο έκτακτης ανάγκης χωρίς επαναφόρτιση ή υπερβολική πτώση της τάσης (ΤΟ όριο είναι 12%) για την απαιτούμενη χρονική διάρκεια. Επειδή η προδιαγραφόμενη περίοδος είναι μέχρι 36 ώρες, οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται συνήθως ως προσωρινή πηγή ισχύος με τη γεννήτρια έκτακτης ανάγκης να αναλαμβάνει τα βασικά φορτία όταν αυτή εκκινήσει. Οι συσσωρευτές τοποθετούνται για παροχή προσωρινής ή μεταβατικής ισχύος στα φώτα έκτακτης ανάγκης, στα φανάρια ναυσιπλοΐας, στα κυκλώματα υδατοστεγανών θυρών περιλαμβανομένων των συναγερμών και δεικτών και των συστημάτων εσωτερικών επικοινωνιών. Επιπρόσθετα αυτοί δυνατόν να τροφοδοτήσουν τις εγκαταστάσεις ανίχνευσης και συναγερμού πυρκαγιάς, τους χειροκίνητους συναγερμούς πυρκαγιάς, τους μηχανισμούς απελευθέρωσης των θυρών πυρκαγιάς, τα εσωτερικά σήματα, τη σειρήνα του πλοίου και τα φώτα σημάτων ημέρας. Πλην όμως μερικά από τ' ανωτέρω διαθέτουν δική τους ισχύ ή τροφοδοτούνται από ένα χαμηλής-πίεσης σύστημα d.c. Το κλείσιμο των υδατοστεγών θυρών με μεταβατική ισχύ από συσσωρευτές είναι αποδεκτό. Η γεννήτρια έκτακτης ανάγκης όταν αρχίζει τη λειτουργία της τροφοδοτεί με ρεύμα ορισμένα βασικά φορτία, μέσω του δικού της πίνακα, περιλαμβανομένου του φορτίου που προσωρινά λαμβάνεται από τους συσσωρευτές. Επιπρόσθετα αυτή μπορεί να τροφοδοτεί την αντλία σεντινών έκτακτης ανάγκης, την αντλία πυρκαγιάς, την αντλία ραντιστών, Το μηχανισμό κίνησης του πηδαλίου και άλλα φορτία, αν αυτά τροφοδοτούνται μέσω του πίνακα έκτακτης ανάγκης.

Απαιτούνται διατάξεις που σε έκτακτη ανάγκη θα καθιστούν δυνατή την άνοδο των ανελκυστήρων, στο επίπεδο του καταστρώματος. Επίσης απαιτείται φωτισμός έκτακτης ανάγκης για μεταβατικό χρόνο από συσσωρευτές, σε όλους τους διαδρόμους, σκάλες, εξόδους, σταθμούς λέμβων (καταστρώματος και πλευρών) σταθμούς ελέγχου, (γέφυρα, χώρο ασυρμάτου, σταθμό ελέγχου μηχανοστασίου κ.λπ.), χώρους μηχανοστασίου και χώρους μηχανοστασίου έκτακτης ανάγκης.

#### **A4.12. Τα φορτηγά πλοία**

Η ισχύς έκτακτης ανάγκης για τα φορτηγά πλοία παρέχεται από συστοιχία συσσωρευτών ή γεννήτρια. Τα συστήματα συσσωρευτών συνδέονται αυτομάτως ευθύς μετά την απώλεια της κύριας ισχύος και σε εγκαταστάσεις όπου η γεννήτρια

δεν εκκινεί και συνδέεται εντός 15sec αυτομάτως, απαιτούνται ως μεταβατική πηγή ισχύος για τουλάχιστον 30 λεπτά.

Η ισχύς που διατίθεται για έκτακτες περιστάσεις πρέπει να είναι αρκετή για τη λειτουργία ορισμένων βασικών υπηρεσιών ταυτοχρόνως, για χρόνο μέχρι 18 ώρες. Οι υπηρεσίες αυτές είναι: τα φώτα έκτακτης ανάγκης, τα φανάρια ναυσιπλοΐας, ο εξοπλισμός εσωτερικών επικοινωνιών, οι λυχνίες σημάτων ημέρας, η σειρήνα του πλοίου, η ανίχνευση και οι εγκαταστάσεις συναγερμών πυρκαγιάς, οι χειροκίνητοι συναγερμοί πυρκαγιάς, τ' άλλα εσωτερικά σήματα έκτακτης ανάγκης, η αντλία πυρκαγιάς έκτακτης ανάγκης, ο μηχανισμός κίνησης του πηδαλίου, τα βοηθήματα ναυσιπλοΐας και ο λοιπός εξοπλισμός. Ορισμένες βασικές υπηρεσίες διαθέτουν τη δική τους ισχύ ή τροφοδοτούνται από ένα σύστημα χαμηλής-τάσης d.c.

Συσσωρευτές για μεταβατική λειτουργία απαιτούνται, για τροφοδοσία με ισχύ και για χρόνο 30 λεπτών, για το φωτισμό έκτακτης ανάγκης, το γενικό συναγερμό, το σύστημα ανίχνευσης και συναγερμού πυρκαγιάς, τον εξοπλισμό επικοινωνιών και τα φώτα ναυσιπλοΐας.

#### **A4.13. Εγκαταστάσεις συσσωρευτών και μέτρα ασφαλείας**

Ο κίνδυνος έκρηξης στα διαμερίσματα των συσσωρευτών ελαττώνεται (1) με την εξασφάλιση καλού εξαερισμού έτσι ώστε το υδρογόνο να μην μπορεί να συσσωρευθεί και (2) με τη λήψη προφυλακτικών μέτρων εξασφάλισης ότι δεν υπάρχει πηγή ανάφλεξης.

Οι εξαγωγές του εξαερισμού διατάσσονται στην οροφή κάθε διαμερίσματος συσσωρευτών όπου το ελαφρότερο του αέρα, υδρογόνο τείνει να συσσωρεύεται. Αν το εξαεριστικό είναι άλλο από εκείνο του απευθείας προς το εξωτερικό, απαιτείται ένας ανεμιστήρας που σε κάθε περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί σε μια μεγάλη εγκατάσταση. Ο ανεμιστήρας βρίσκεται στο ρεύμα του αέρα από το διαμέρισμα και τα πτερύγια του πρέπει να κατασκευάζονται από υλικό το οποίο δε δημιουργεί σπινθήρες από επαφή ή ηλεκτροστατική εκφόρτιση.

Ο κινητήρας πρέπει να βρίσκεται εκτός του χώρου εξαερισμού και θα υπάρχουν φραγές που θα παρεμποδίζουν την είσοδο αερίου στο περίβλημα του. Ο ανεμιστήρας αερίων πρέπει να είναι ανεξάρτητος των άλλων συστημάτων αερισμού.

Όλες οι εξαγωγές των αγωγών εξαερισμού πρέπει να είναι από υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση ή να προστατεύονται με κατάλληλο χρώμα.

Οι εισαγωγές εξαερισμού θα πρέπει να είναι κάτω από το επίπεδο των συσσωρευτών. Σ' αυτές και σ' όλα τ' ανοίγματα πρέπει να δίνεται προσοχή αναφορικά με την καιροστεγανότητά τους. Η χρήση γυμνών φώτων και το κάπνισμα, απαγορεύονται στα δωμάτια.

#### **A4.14. Προστασία γεννήτριας**

Οι διακόπτες του κυκλώματος της γεννήτριας τοποθετούνται μ' έναν αριθμό προστατευτικών μηχανισμών. Γενικά για μηχανές ισχύος πάνω από 50Kw και προοριζόμενες για παράλληλη λειτουργία αυτοί (οι μηχανισμοί) είναι:

- (1) ένας αυτόματος αναστολέας βραχυκυκλώματος.
- (2) ένας αναστολέας υπερφόρτισης με χρόνο καθυστέρησης μέχρι 1 5sec.
- (3) αναστολείς προτίμησης για αποβολή μη βασικού φορτίου.
- (4) αναστολέας αντίστροφου - ρεύματος.
- (5) αυτόματη απελευθέρωση χαμηλής χάρσης.
- (6) αναστολέας χαμηλής τάσης με χρόνο καθυστέρησης.

Στην πλευρά της διανομής υπάρχουν προστατευτικοί αναστολείς και ασφάλειες που θα αποσυνδέουν κινητήρες ή άλλα κυκλώματα σε περίπτωση τοπικής βλάβης. Αυτοί επίσης παρέχουν προστασία στις γεννήτριες και με τις μικρότερες τους χρονικές καθυστερήσεις και τις ρυθμίσεις σε χαμηλότερες εντάσεις ρεύματος, θα εντοπίζουν συνήθως μια βλάβη πριν από τους κύριους διακόπτες.

Ο όρος "διάκριση " χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαβάθμιση της χρόνο-καθυστέρησης του προστατευτικού μηχανισμού και τις ρυθμίσεις του ρεύματος για ολόκληρο το σύστημα διανομής.

Το βραχυκύκλωμα, η υπερφόρτιση, και τα προτιμώμενα κυκλώματα περιγράφονται κατωτέρω. Όλα αυτά ενεργοποιούνται από υπερβολικό ρεύμα και μπορούν να

βασίζονται σ' ένα πηνίο συνδεδεμένο εν σειρά για τη μεταφορά του φορτίου του ρεύματος.

#### **A4.15.Αυτόματο κύκλωμα βραχυκυκλώματος**

Ένας απλός ηλεκτρομαγνητικός διακόπτης θα λειτουργεί σχεδόν αυτόματα όταν αυξάνεται επαρκώς η μαγνητική επίδραση με περίσσεια ρεύματος που έλκει το σίδηρο "οπλισμό" έναντι της αντίστασης του ελατηρίου. Ο κινούμενος βραχίονας μπορεί ν' ανοίγει το διακόπτη μέσω ενός κυκλώματος ή με απευθείας κίνηση ενός μηχανικού συνδέσμου.

Η γεννήτρια δυνατόν να είναι ικανή για παροχή ρεύματος βραχυκύκλωσης μέχρι το διπλάσιο του πλήρους ρεύματος φορτίου. Ζημίες αποφεύγονται με τη ρύθμιση του κυκλώματος προστασίας σε τιμή πολύ μικρότερη από την ανωτέρω.

#### **A4.16. Κύκλωμα υπερφόρτισης**

Διάφοροι τύποι χρονικής καθυστέρησης χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα φόρτισης για την εξασφάλιση ότι ο διακόπτης της γεννήτριας δε θ' ανοίξει λόγω στιγμιαίας αιχμής ρεύματος, αλλά μόνο αν εμμένει η περίσσεια του ρεύματος.

Αποτέλεσμα της υπερθέρμανσης και βλάβης των καλωδίων των τυλιγμάτων της μηχανής είναι η παρατεταμένη υπερφόρτιση με ρεύμα πάνω από μια μέγιστη τιμή.

Οι χρονικές καθυστερήσεις του τύπου δοχείου απόσβεσης του κυκλώματος καθυστέρησης για το μέγιστο μέχρι 15 sec όταν υπερβολικό ρεύμα έλκει το υδρέμβολο προς το σωληνοειδές. Το έμβολο μπορεί μόνο να κινείται προς τα άνω καθώς η υγρή σιλικόνη εκτοπίζεται από την κορυφή προς τον πυθμένα, μέσω μιας μικρής οπής στο έμβολο, ή μέσω του διακένου γύρω από αυτό. Η χρονοκαθυστέρηση ρυθμίζεται με τη μεταβολή του μεγέθους της οπής (διαφορετικό έλασμα που επιπλέει ή επιλογή των οπών) ή με τη μεταβολή του διακένου γύρω από ΤΟ έμβολο (ρυθμιζόμενος κύλινδρος).

Το ρεύμα που ρυθμίζεται για το προστατευτικό κύκλωμα είναι περίπου 25% πάνω από το μέγιστο και δεν υπερβαίνει το 50% πάνω από αυτό. Το ρεύμα λειτουργίας ρυθμίζεται με τη μεταβολή της θέσης του υδρεμβόλου αντίστοιχα προς το πηνίο που φέρει το ρεύμα φορτίου

#### **A4.17. Κυκλώματα προτίμησης**

Το κύκλωμα υπερφόρτισης έχει έναν χρόνο καθυστέρησης μέχρι 1.5 sec μετά τον οποίο ο διακόπτης της γεννήτριας ανοίγει και υπάρχει απώλεια ισχύος. Τα κυκλώματα προτίμησης σχεδιάζονται για να αποσυνδέουν τα μη-βασικά κυκλώματα (π.χ. διακόπτες ελέγχου του κλιματιζόμενου αέρα, ορισμένοι ανεμιστήρες, εξοπλισμός μαγειρείων κ.λπ.) σε περίπτωση υπερφόρτισης ή μερικής βλάβης της τροφοδοσίας, με σκοπό την αποφυγή λειτουργίας του κύριου διακόπτη του κυκλώματος και απώλεια ισχύος βασικών υπηρεσιών. Ένα σχήμα για τη λειτουργία όλων των κυκλωμάτων υπερφόρτισης από ένα πηνίο μεταφοράς ρεύματος φορτίου (Σχ. 7.4) χρησιμοποιεί δύο αυτόματους βραχίονες κυκλωμάτων. Ο άνω βραχίονας με ένα αυτόματο κύκλωμα βραχυκυκλώματος ενεργοποιείται και ανοίγει το διακόπτη απευθείας, μέσω μηχανικών συνδέσεων.

Ο βραχίονας του πυθμένα κλείνει στιγμιαία στη χαμηλότερη τιμή ρύθμισης του ρεύματος υπερφόρτισης και όταν γίνεται αυτό, συμπληρώνει το κύκλωμα μέσω δύο (ή περισσότερων) μη βασικών προστατευτικών κυκλωμάτων και ενός κύριου διακόπτη κυκλώματος όλα με δοχείο απόσβεσης χρονοκαθυστέρησης. Αυτοί οι διακόπτες θα θέσουν εκτός τα μη-βασικά φορτία σε διαστήματα 5 και 10 sec και τελικά, αν η υπερφόρτιση εμμένει, τον κύριο διακόπτει μετά 15 sec. Η προειδοποίηση για υπερφόρτιση δίνεται με συναγερμό. Η προστασία για υπερφόρτιση προβλέπεται στους δύο πόλους της μηχανής.

#### **A4.18. Κύκλωμα αντίστροφου ρεύματος**

Απώλεια της διέγερσης ή της αρχικής ισχύος εκκίνησης προκαλεί μια πτώση στην τάση της γεννήτριας. Αν αυτή λειτουργεί παράλληλα, η κανονική πλήρης τάση από την άλλη γεννήτρια (ή γεννήτριες) θα προκαλεί τη ροή του ρεύματος πίσω προς τη μηχανή που έχει υποστεί βλάβη. Η κατασκευή των γεννητριών και των κινητήρων d.c. είναι παρόμοια, το αντίστροφο ρεύμα θα καθιστά τη γεννήτρια κινητήρα με πιθανότητα βλάβης του συστήματος αρχικής εκκίνησης και υπερφόρτιση της

απομένουσας (λειτουργούσας) πηγής ισχύος. Ο αξονίσκος οπλισμού του μηχανισμού που φέρει το κύκλωμα ανοίγει το διακόπτη. Κίνηση του οπλισμού, αντίθετη των δεικτών του ρολογιού ενεργοποιεί αυτόν. Κατά τη διάρκεια του κανονικού φορτίου εργασίας, το ρεύμα διέρχεται μέσω του τυλίγματος στο μεσαίο σκέλος του σιδηρού πυρήνα (κατασκευασμένου από ελάσματα σιδήρου) και δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο. Τα υψηλής αντίστασης (τάσης) πηνία στα εξωτερικά σκέλη σταθεροποιούνται κατά μήκος της κύριας θετικής και αρνητικής εξαγωγής της γεννήτριας.

Ο οπλισμός στηρίζεται πάνω στο σκέλος του πηνίου του ρεύματος φορτίου και το μαγνητικό πεδίο αυτού εκτείνεται μέσω του σιδηρού πυρήνα και του οπλισμού. Αυτή η ροή υπερεπιβάλλεται σε εκείνη που οφείλεται στα πηνία τάσης.

Αυτή (η ροή) αυξάνει την ένταση του πεδίου από την πλευρά της αριστεράς χειρός, σύροντας το σιδηρού οπλισμό δεξιόστροφα έναντι του διακόπτη και μειώνει εκείνη στην πλευρά της δεξιάς χειρός.

Αντίστροφο ρεύμα στο πηνίο του ρεύματος φορτίου που είναι στο κεντρικό σκέλος, αντιστρέφει το μαγνητικό πεδίο του. Τώρα το νέο πεδίο εξασθενεί το πεδίο προς την

αριστερά - χείρα, ενισχύοντας τη ροή στο διάκενο της δεξιάς - χειρός και σύρει τον οπλισμό αριστερόστροφα προς το κύκλωμα του διακόπτη.

#### **A4.19. Κύκλωμα απελευθέρωσης χαμηλής-τάσης**

Μέσα για την εξασφάλιση ότι ο κύριος διακόπτης του κυκλώματος δε θα μπορεί να κλείνει εκτός αν η γεννήτρια λειτουργεί και παράγει σωστά ρεύμα, δύνανται να ενσωματωθούν στο κύκλωμα χαμηλής-τάσης. Το τελευταίο προορίζεται να ανοίγει το διακόπτη όταν υπάρχει για οποιοσδήποτε λόγο απώλεια διέγερσης και έχει έναν χρόνο καθυστέρησης.

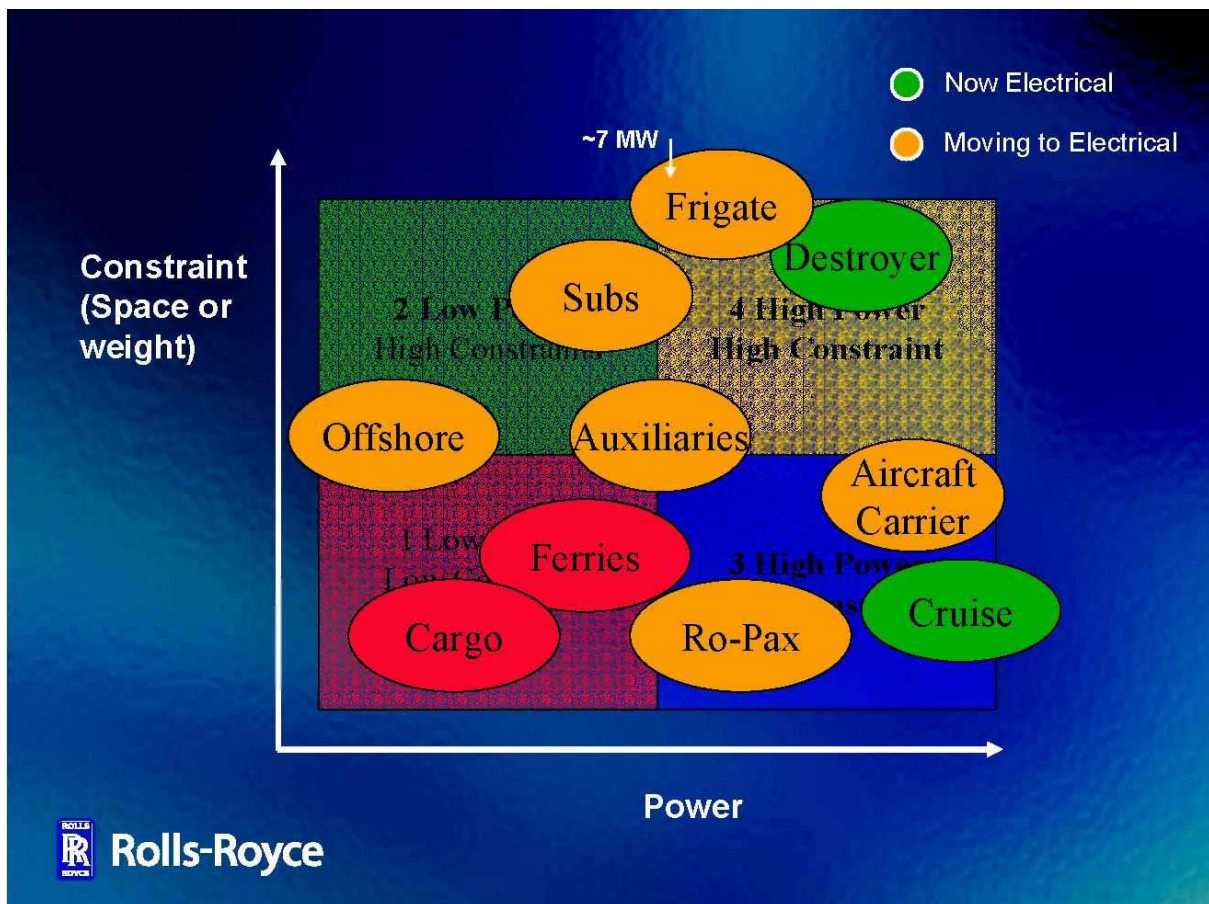
Το σωληνοειδές συρματώνεται κατά μήκος των κύριων οδηγών στην πλευρά της γεννήτριας του κυκλώματος του διακόπτη και όταν δεν ενεργοποιείται, αφήνει το υδρέμβολο στη θέση του κυκλώματος και ο διακόπτης δεν μπορεί να κλείσει. Κανονική παραγωγή τάσης με τη μηχανή να λειτουργεί, ενεργοποιεί το πηνίο και το υδρέμβολο σύρεται κάτω έναντι του φορτισμένου ελατηρίου προς απελευθέρωση του κυκλώματος.

Αυτός επιτρέπει το κλείσιμο του διακόπτη και σημαίνει ότι ρυθμίζεται ο μηχανισμός

## **Α5. ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΡΩΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΖΗΤΗΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΤΟ ΠΛΗΡΩΣ ΕΞΗΛΕΚΤΡΙΣΜΕΝΟ ΠΛΟΙΟ**

Ως ηλεκτροπρόωση ορίζεται το είδος εκείνο της πρόωσης στο οποίο οι άξονες του πλοίου κινούνται απ' ευθείας (ή και σπανιότερα μέσω μειωτήρων) από ηλεκτρικούς κινητήρες και όχι από άλλες μηχανές όπως ντίζελ, αεροστροβίλους και ατμοστρόβιλους. Φυσικά οι κινητήρες ντίζελ, αεροστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι εξακολουθούν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις ηλεκτροπρόωσης, αλλά αντί να κινούν απ' ευθείας το αξονικό σύστημα με την έλικα κινούν ηλ. γεννήτριες, που με τη σειρά τους τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως, που αναφέρονται στη βιβλιογραφία σαν "prime movers" ('κινητήριες μηχανές'). Η προωστήρια εγκατάσταση συμπληρώνεται από κάποιο σύστημα ελέγχου για τον χειρισμό της, δηλαδή την κράτηση-εκκίνηση, την αυξομείωση στροφών και την αλλαγή φοράς περιστροφής των ηλεκτρικών κινητήρων.

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



Σχήμα A13. Συγκριτικές ανάγκες περιορισμού διαστάσεων (ή βάρους) συναρτήσει της ηλεκτρικής ισχύος για διάφορους τύπους πλοίων (εμπορικών και πολεμικών),

Ηλεκτροκίνητα πλωτά μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα — Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές.

Ενώ παλαιότερα η ηλεκτρική πρόωση έβρισκε μόνον πολύ εξειδικευμένες εφαρμογές (παγοθραυστικά, ερευνητικά σκάφη, σκάφη πόντισης καλωδίων), κατά τη δεκαετία του '90 παρουσιάζει μια έντονα αυξανόμενη διάδοση σε πλοία όπως μεγάλα επιβατηγά, οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια, κ.λπ., βλ. και Σχήμα 1. Γενικά, η ηλεκτρική πρόωση μπορεί να αποδειχθεί η καταλληλότερη λύση στις ακόλουθες κατηγορίες εφαρμογών:

- α. Σκάφη με υψηλές απαιτήσεις ελκτικών ικανοτήτων.
- β. Σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανημάτων.
- γ. Σκάφη με μεγάλα φορτία ενδιαίτησης και έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης.
- δ. Σκάφη εξοπλισμένα με πολλές ταχύστροφες μη αναστρέψιμες μηχανές.



ε. Υποβρύχια και βαθυσκάφη.

Ειδικά, όσον αφορά στα πολεμικά πλοία, η ηλεκτροπρόωση αποτελεί την βασική επιλογή για την κίνηση των Υποβρυχίων. Η χρήση της σε πολεμικά πλοία επιφάνειας, που μέχρι σήμερα ήταν σχετικά περιορισμένη, προσελκύει ξανά το έντονο ενδιαφέρον των ναυτικών χωρών που κατασκευάζουν πολεμικά πλοία και εξετάζεται πλέον σαν υποψήφιο σύστημα για την προωστήρια εγκατάσταση της επόμενης γενιάς και των μεγάλων πολεμικών πλοίων. Οι αυξημένες απαιτήσεις και οι αυστηρότερες - σε σχέση με τα εμπορικά πλοία - προδιαγραφές των πολεμικών ναυτικών, (τόσο από απόψεως περιορισμών χώρου αλλά και απαιτήσεων του προωστήριου συστήματος), προϋποθέτουν περισσότερη ανάπτυξη και τελειοποίηση υποσυστημάτων για να πραγματοποιηθούν τα εν δυνάμει πλεονεκτήματα της ηλεκτροπρόωσης.

Οι κύριες αιτίες της αναζωπύρωσης του ενδιαφέροντος των πολεμικών ναυτικών για τη χρήση της ηλεκτροπρόωσης είναι:

α. η αύξηση των ηλεκτρικών καταναλωτών στα πλοία και η τάση για την 'ηλεκτροποίηση' των πλοίων (με αποκορύφωση το Πλήρως Εξηλεκτρισμένο Πλοίο-All Electric Ship-AES), δηλαδή η τάση όλες οι λειτουργίες, κύριες και βοηθητικές, να γίνονται πλέον από ηλεκτρικά συστήματα και μηχανήματα (αντικαθιστώντας π.χ. υδραυλικά, μηχανικά ή συστήματα ατμού κ.λ.π.),

β. η ανάγκη για περισσότερο 'αθόρυβη' λειτουργία των πλοίων ,

γ. η αναζήτηση προωστήριων συστημάτων με χαμηλότερο κόστος ζωής και μειωμένες απαιτήσεις επανδρώσεως,

δ. και κυρίως η ωρίμανση τεχνολογιών που απαιτούνται για να αξιοποιηθεί το πλήρες δυναμικό της ηλεκτροπρόωσης. Τέτοιες τεχνολογίες είναι κυρίως των ηλεκτρικών κινητήρων και των ηλεκτρονικών ισχύος για τον έλεγχο τους.

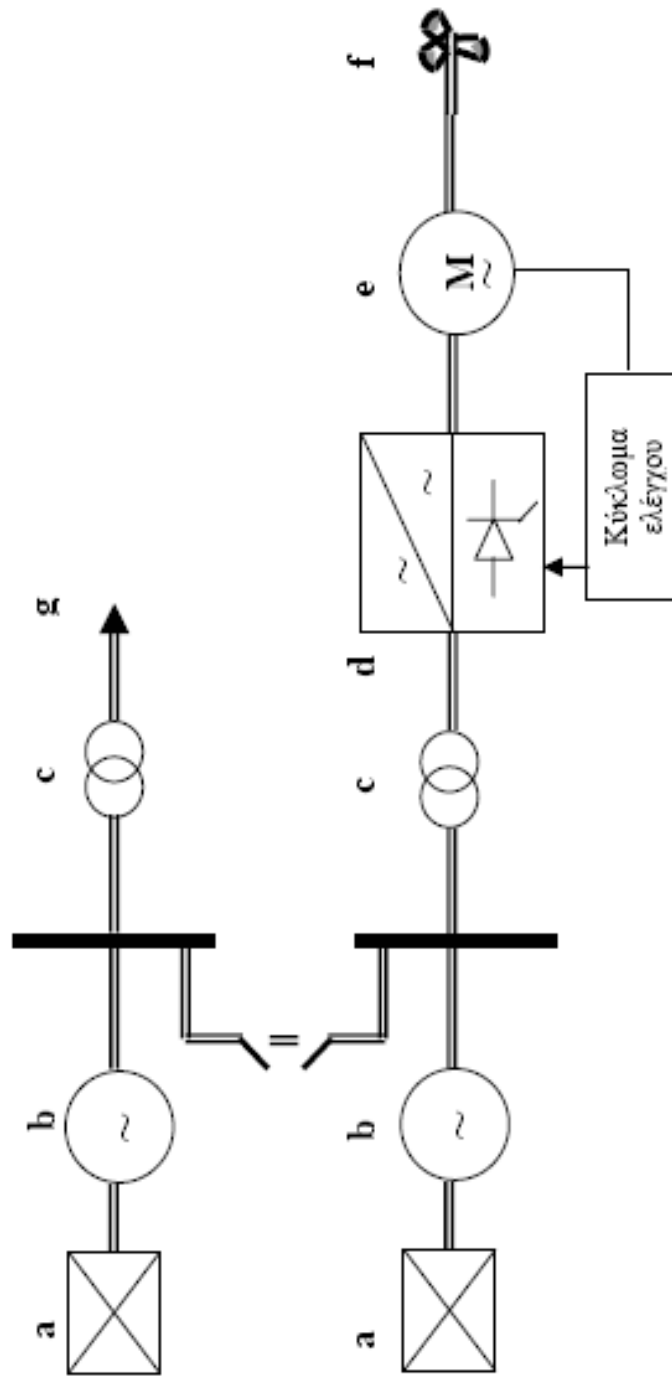
Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή συστήματος ηλεκτροπρόωσης για ένα πλοίο, προσφέρει περισσότερη ελευθερία στη σχεδίαση και στην επιλογή των υποσυστημάτων και της διάταξης όλης της προωστήριας και ηλεκτρικής εγκατάστασης. Σε κάθε περίπτωση αξίζει να σημειωθεί, ότι οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι η μόνη λύση για τη βοηθητική πρόωση (δηλ. το σύστημα των πλευρικών προωστήριων μηχανισμών που επαυξάνουν την ελκτική ικανότητα των σκαφών ιδίως εντός των λιμένων) με αξιοποίηση κυρίως επαγωγικών κινητήρων μεγάλης ισχύος (0.5-2.5 MW).

## **A6. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΛΟΙΩΝ**

### **A6.1. Γενικά Χαρακτηριστικά**

Το γενικευμένο ηλεκτρολογικό διάγραμμα ενός ηλεκτρικού δικτύου πλοίου με ηλεκτρική πρόωση απεικονίζεται στο Σχήμα 2. Το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να είναι ενιαίο, καλύπτοντας όλες τις ηλεκτρικές ενεργειακές ανάγκες, ή μπορεί να αποτελείται από δύο επιμέρους υποσυστήματα, αυτό της ηλεκτροπρόωσης κι εκείνο των λοιπών ηλεκτρικών φορτίων.

Σε πλοία με συμβατική πρόωση, ειδική υποπερίπτωση αποτελούν τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνουν και γεννήτριες άξονα-shaft generators- (εξηρητημένες δηλαδή γεννήτριες που στρέφονται από την κύρια νηζελομηχανή πρόωσης του πλοίου). Οι γεννήτριες αυτές μπορεί να συνδέονται με το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο με σύνδεσμο ΣΡ (DC link) ή να τροφοδοτούν απύνομα μόνο μεγάλα φορτία όπως οι κινητήρες βοηθητικής πρόωσης (thrusters). Ενίοτε, σε έκτακτες περιπτώσεις (π.χ. μεγάλης έκτασης ζημία στην κύρια μηχανή) μπορούν να λειτουργήσουν και αντίστροφα, δηλ. ως ηλεκτρικοί κινητήρες πρόωσης (τροφοδοτούμενες από τις άλλες ηλεκτρογεννήτριες) περιορισμένης ισχύος και να οδηγήσουν το σκάφος σε ασφαλή προορισμό.



Κινητήρια μηχανή (ντιζελοκινητήρας ή αεριοστρόβιλος)

Σύγχρονη γεννήτρια

Μετασχηματιστής ισχύος

Μετατροπέας συχνότητας

Προσθήριος κινητήρας

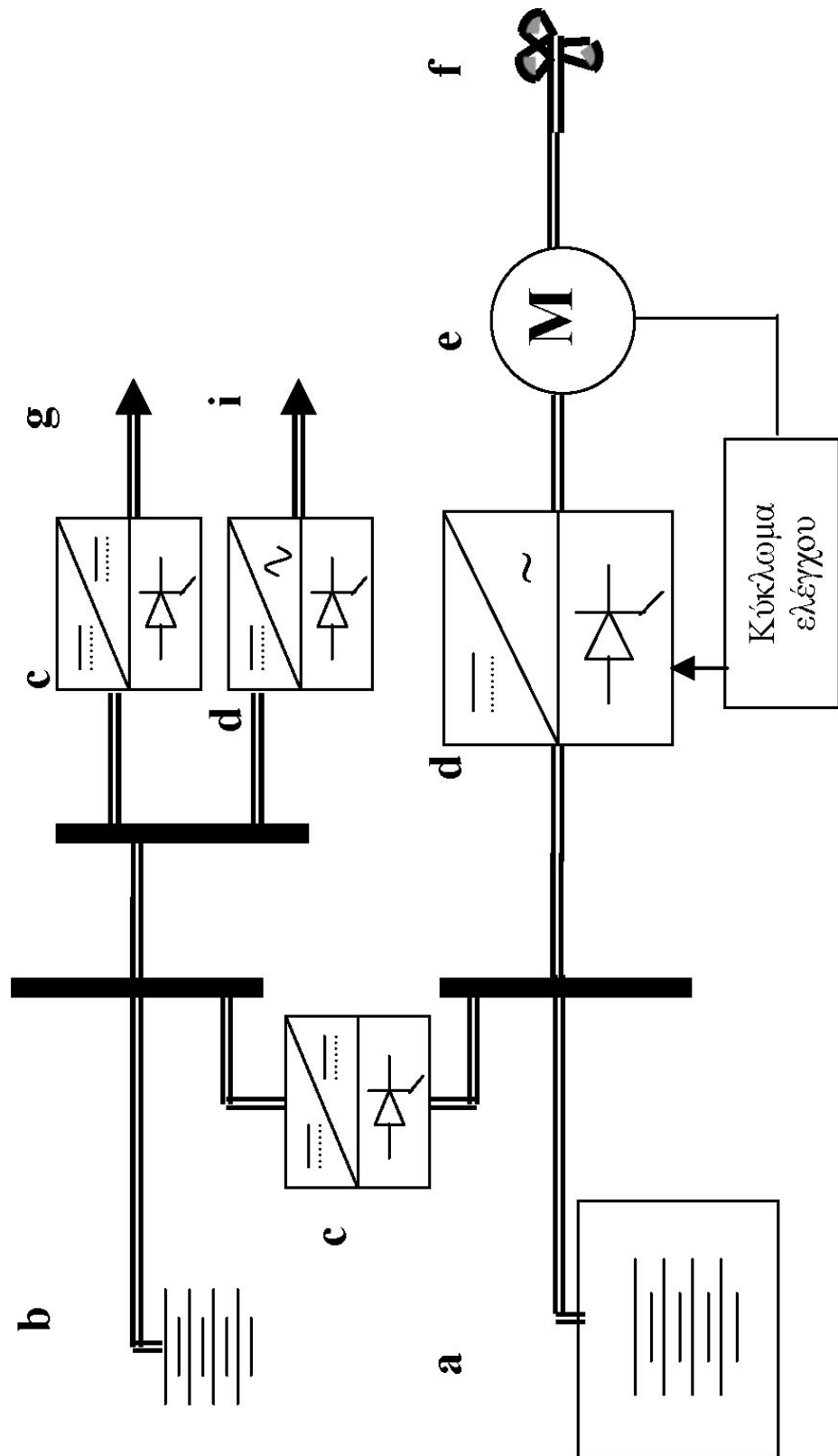
Έλικα

Λοπά φορτία (αντλίες, συμπιεστές, φωτισμός, εργάτες κλπ)

Σχήμα A142. Γενικό διάγραμμα συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου

Σημαντικά διαφορετικό είναι το ηλεκτρικό σύστημα της νέας γενιάς υποβρυχίων στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από κυψέλες καυσίμου (fuel cells) (και αποθηκεύεται σε συστοιχίες συσσωρευτών) για να τροφοδοτήσει καταναλώσεις ΣΡ αλλά και ΕΡ μέσω μετατροπών ΣΡ/ΕΡ. Ηλεκτρογεννήτριες ΕΡ που κινούνται με κινητήρες ντίζελ υφίστανται μεν, αλλά δεν αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Σε κάθε περίπτωση όμως, οι κινητήρες πρόωσης είναι ΕΡ.



a. Κυψέλη καυσίμου (fuel cell)

b. Συστοιχία μπαταριών

- c. Μετατροπέας ΣΡ/ΣΡ
- d. Μετατροπέας ΣΡ/ΕΡ
- e. Προωστήριος κινητήρας
- f. Έλικα
- g Φορτία ΣΡ
- i. Φορτία ΕΡ

Σχήμα Α15. Γενικό διάγραμμα συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πλοίου με κυψέλες καυσίμου.

### **Α6.2. Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά**

Όπως αναφέρθηκε οι επιλογές για το σχεδιασμό των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτροπρόωσης είναι πολλές και κάθε μία μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες και τον ρόλο του συγκεκριμένου πλοίου. Ο σχεδιασμός ενός σύγχρονου συστήματος ηλεκτροπρόωσης μπορεί να αναλυθεί στην επιλογή λύσεων σε επιμέρους ζητήματα, που είναι:

### **Α6.3. Το είδος των κινητήριων μηχανών.**

Ντήζελ, Αεριοστρόβιλοι (ειδικά για πιο αθόρυβη λειτουργία),

Ατμοστρόβιλοι (ειδικά για πυρηνοκίνητα σκάφη),

Συσσωρευτές ή/και Ηλεκτροχημικές Κυψέλες Καυσίμου (Fuel-Cells) (για τα υποβρύχια).

Τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου, όπως το είδος (DC, AC) και η τιμή της τάσης παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ισχύος ,που υπαγορεύεται κυρίως από τις απαιτήσεις ισχύος προώσεως και τη διαθεσιμότητα παρελκόμενου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού (καλώδια, μονωτικά, διακόπτες πίνακες κ.λ.π.).

- Ο αριθμός και το είδος των γεννητριών.
- Η παράλληλη ή μη λειτουργία των γεννητριών.
- Το ποσοστό αυτοματισμού στη λειτουργία, φόρτιση, παραλληλισμό και κράτηση των γεννητριών.
- Ο αριθμός και το είδος των κινητήρων προώσεως. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι η μέγιστη ισχύς, ο όγκος και το βάρος ανά μονάδα ισχύος, ο μέσος χρόνος μεταξύ επισκευών και βλαβών και ο βαθμός αποδόσεως
- Το είδος ελέγχου-χειρισμού των κινητήρων προώσεως.
- Το είδος των στατών μετατροπών.
- Η σχεδίαση της διάταξης του ηλεκτρικού δικτύου και συγκεκριμένα :

α. Θα υπάρξει διάκριση ανάμεσα στα ηλεκτρικά φορτία του πλοίου, άρα και στα ηλεκτρικά δίκτυα, σε φορτία προώσεως και στα λοιπά; Το ζήτημα έχει να κάνει και με το βαθμό εξηλεκτρισμού του πλοίου καθώς η σχέση του ηλεκτρικού δικτύου προώσεως με το ηλεκτρικό δίκτυο χρήσεως, μπορεί να είναι μία από τις παρακάτω :

α.1. να είναι τελείως ανεξάρτητα, δηλαδή το καθένα να εξυπηρετείται από δικές του γεννήτριες και να μη συνδέονται μεταξύ τους ή αν υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης, αυτή να είναι μόνο για κατάσταση ανάγκης.

α.2. να είναι διακριτά, αλλά να υπάρχει σύνδεση μεταξύ τους οπότε το ένα από τα δύο να μπορεί να τροφοδοτείται και από το άλλο.

α.3. να είναι ενοποιημένα σε ένα κοινό ηλεκτρικό δίκτυο, οπότε οδηγούμαστε στο «πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο» (AES), οπότε και είναι δυνατή η βελτιστοποίηση της εκμετάλλευσής των πλεονεκτημάτων της ηλεκτροπρόωσης.

β. Στην περίπτωση που τα δύο δίκτυα συνδέονται, η επιλογή του τρόπου σύνδεσης (απευθείας μέσω πινάκων, μέσω αντιστροφών (inverters) ή άλλου μετατροπέα ηλεκτρονικών ισχύος (converter), μέσω ζεύγους κινητήρα-γεννήτριας, μέσω μετασχηματιστών κ.λ.π.).

γ. Από ποιο δίκτυο τροφοδοτούνται τα βοηθητικά συστήματα προώσεως (π.χ. τα συστήματα ελέγχου-χειρισμού, ψύξης, λίπανσης).

δ. Ο τρόπος με τον οποίο διασφαλίζεται η 'ποιότητα ισχύος' του ηλεκτρικού δικτύου όσον αφορά την τάση και την συχνότητα, (θόρυβος-αρμονική παραμόρφωση) και ειδικά του δικτύου χρήσεως, όταν αυτό συνδέεται με το δίκτυο προώσεως. Σαν κύρια πηγή δημιουργίας αρμονικών αναφέρονται τα ηλεκτρονικά ισχύος των ηλεκτροκινητήρων. Η ποιότητα των ηλεκτρικών δικτύων (συχνότητα, αρμονικές τάσεως, ταχείες διαταραχές τάσεως κ.λ.π.) καθορίζεται από τις διάφορες προδιαγραφές και νηογνώμονες. Οι προδιαγραφές αυτές αφορούν μόνο το δίκτυο χρήσης του πλοίου, δηλαδή φορτία που δεν σχετίζονται με την πρόωση. Στις περιπτώσεις ανεξαρτήτου δικτύου προώσεως, δεν υπάρχουν προς το παρόν ιδιαίτερες απαιτήσεις ποιότητας για τα φορτία της πρόωσης. Αν όμως το ηλεκτρικό δίκτυο είναι ενοποιημένο, πρέπει ή και το δίκτυο της προώσεως να ικανοποιεί τις ίδιες απαιτήσεις ποιότητας, ή να λαμβάνεται μέριμνα, ώστε τυχόν 'διαταραχές' στο δίκτυο προώσεως να μην 'διαδίδονται' στο δίκτυο χρήσεως. Για δίκτυα Συνεχούς Ρεύματος δεν υπάρχουν ακόμη εν γένει ιδιαίτερες απαιτήσεις ποιότητας.

ε. Η διάταξη τέλος του ηλεκτρικού δικτύου πρέπει να μεγιστοποιεί την βιωσιμότητα του πλοίου.

#### **A6.4. Ελάχιστες απαιτήσεις σε καταστάσεις ανάγκης - Αντιμετώπιση.**

Για παράδειγμα μπορεί να απαιτείται εκκίνηση κινητήρα προώσεως με μια μόνο γεννήτρια σε λειτουργική κατάσταση, η δυνατότητα τροφοδότησης του ενός δικτύου από το άλλο, η δυνατότητα ενός μόνο κινητήρα να μπορεί να κινήσει το πλοίο με μια ελάχιστη ταχύτητα, ή να απαιτείται οι (η) γεννήτριες(α) να μπορούν να τροφοδοτούν τα φορτία ανάγκης και ταυτόχρονα να κινήσουν το πλοίο με μια μικρή ταχύτητα (3-5 knots).

Ο τρόπος δράσης των μηχανημάτων, καθώς και ο (φυσικός) διαχωρισμός τους, όπως για παράδειγμα των πινάκων ηλεκτρικού δικτύου προώσεως και χρήσεως, των κινητήρων προώσεως και των ηλεκτρονικών διατάξεων οδήγησής τους.

Ως γενικοί κανόνες-απαιτήσεις αναφέρονται:

α. αν υπάρχει αρκετός χώρος πρέπει οι πίνακες προώσεως και χρήσεως να διαχωρίζονται φυσικά.

β. οι κινητήρες και οι αντίστοιχοι αντιστροφεείς (inverters) πρέπει να τοποθετούνται σε διαφορετικούς υδατοστεγανούς τομείς.



γ. οι μετατροπείς (converters) πρέπει να τοποθετούνται κοντά στους κινητήρες για να μειώνεται το μήκος των καλωδίων.

δ. τοποθέτηση των κινητήρων (που φυσικά υπαγορεύεται από την διάταξη των αξόνων) όσο πιο πρώτα γίνεται.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, σημαντικό πλεονέκτημα της ηλεκτροπρόωσης είναι η ευχέρεια που παρέχεται στο σχεδιαστή σχετικά με τη διάταξη των υποσυστημάτων της. Έτσι είναι δυνατό οι γεννήτριες να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε απόσταση από τους κινητήρες, σχεδόν οπουδήποτε στο πλοίο, αρκεί να μην παραβιάζονται κλασσικοί κανόνες που σχετίζονται με την ευστάθεια του πλοίου, την ισοκατανομή των φορτίων στο πλοίο και την ευκολία επισκευής.

### **A6.5. Σχετική Ορολογία**

Δεδομένης της ραγδαίως αναπτυσσόμενης έρευνας επί των ηλεκτροπρωωστικών

συστημάτων, είναι αναγκαίο να διευκρινισθούν οι παρακάτω βασικοί όροι που χρησιμοποιούνται συχνά στη βιβλιογραφία :

α. Πλήρης Ηλεκτροπρόωση (Full Electric Propulsion - F.E.P.):

Η εγκατάσταση προώσεως κατά την οποία το πλοίο κινείται αποκλειστικά από ηλεκτρικούς κινητήρες. Τα ζεύγη κινητηρίων μηχανών-γεννητριών που τροφοδοτούν τους κινητήρες προώσεως, υπάρχουν αποκλειστικώς για το σκοπό αυτό (δεν τροφοδοτούν άλλα φορτία).

Η ηλ. ισχύς για όλους τους άλλους καταναλωτές του πλοίου παράγεται από άλλες γεννήτριες.

β. Ολοκληρωμένη Πλήρης Ηλεκτροπρόωση (Integrated Full Electric Propulsion - I.F.E.P.):

Η εγκατάσταση ηλεκτροπρόωσης στην οποία τα ίδια ζεύγη κινητηρίων μηχανών - γεννητριών, τροφοδοτούν τόσο τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως, όσο και τα υπόλοιπα ηλεκτρικά φορτία του πλοίου.

γ. Πλήρως Εξηλεκτρισμένο πλοίο ( All Electric Ship -A.E.S. ) :

Το πλοίο που διαθέτει ολοκληρωμένη πλήρη ηλεκτροπρόωση και που επιπλέον σε ευρεία έκταση επιτελεί τις λειτουργίες του μέσω ηλεκτρικών μηχανημάτων και συστημάτων.

δ. Ηλεκτρικό δίκτυο προώσεως (Propulsion Network):

Το τμήμα εκείνο (ανεξάρτητο ή 'ενσωματωμένο') του ηλεκτρικού δικτύου πλοίου που τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία που σχετίζονται με την πρόωση.

ε. Ηλεκτρικό δίκτυο χρήσεως (Ship Service System) :

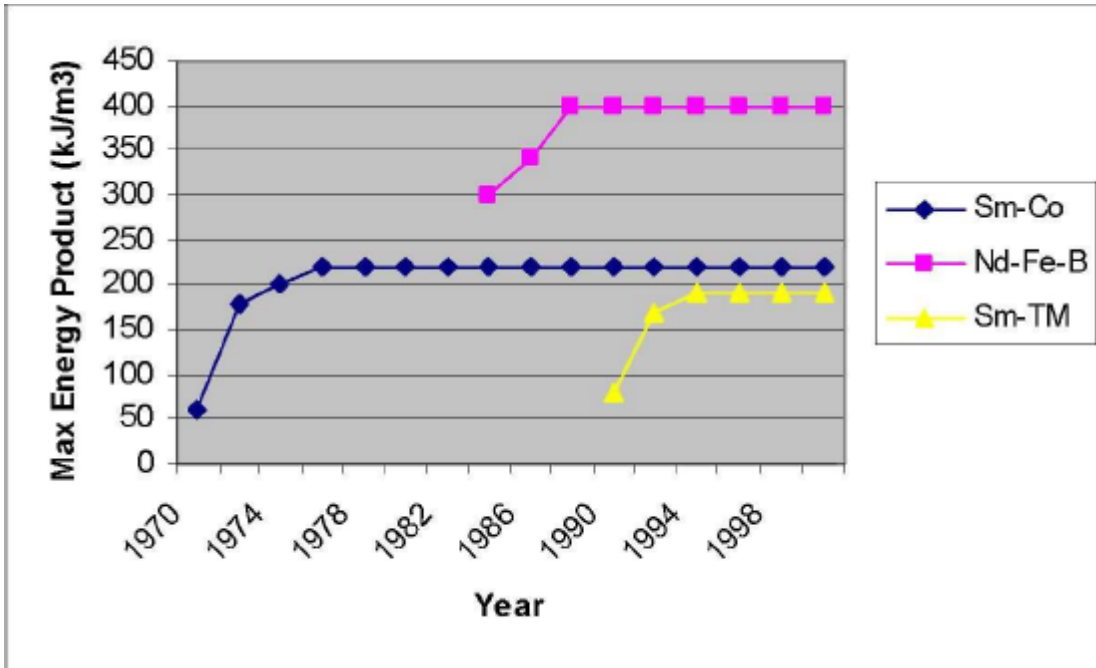
Το υπόλοιπο, πλην δικτύου προώσεως, ηλεκτρικό δίκτυο του πλοίου.

## **A7. ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

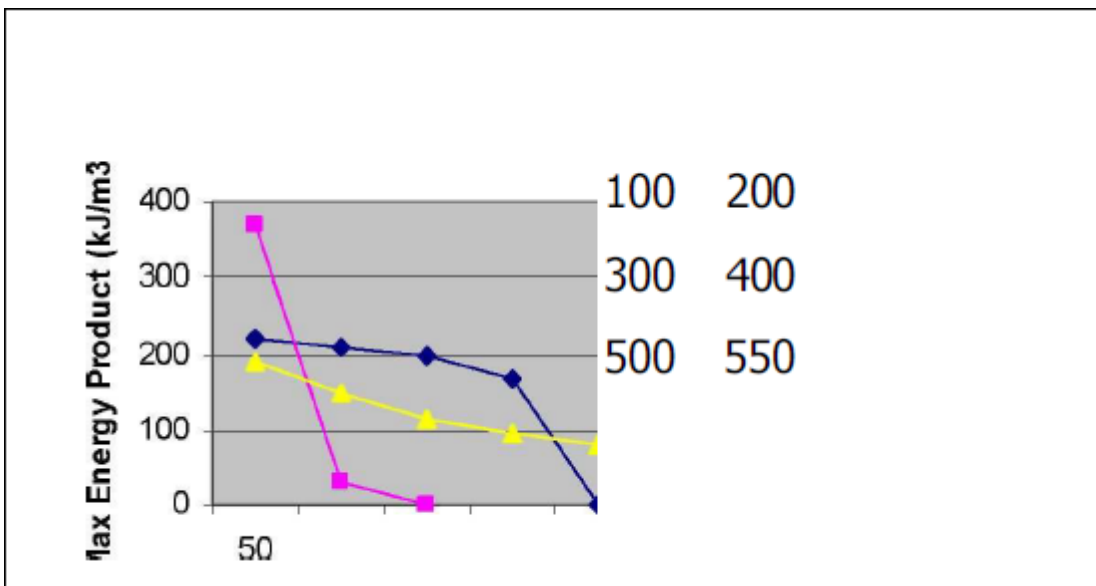
### **A7.1. Ηλεκτρικοί Κινητήρες Πρόωσης**

Η πλειονότητα των κινητήρων είναι σύγχρονοι, οι οποίοι έχουν βαθμό απόδοσης 96 - 98%, υψηλότερο κατά 3 - 4% από τον βαθμό απόδοσης κινητήρων επαγωγής. Η ονομαστική τάση λειτουργίας στις εγκαταστάσεις μέσης και μεγάλης ισχύος είναι 3,3 - 6,6 kV. Στους σύγχρονους κινητήρες έρχεται να προστεθεί μία νέα κατηγορία αυτή των σύγχρονων κινητήρων με μόνιμους μαγνήτες των οποίων η απόδοση σύμφωνα με τους κατασκευαστές τους υπερβαίνει το 98%.

Σε αυτές τις σύγχρονες μηχανές, το τύλιγμα διεγέρσεως του δρομέα (που διαρρέεται από συνεχές ρεύμα) έχει αντικατασταθεί από μόνιμους μαγνήτες. Το αποτέλεσμα είναι το ίδιο καθώς και στις δύο περιπτώσεις παράγεται ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σταθερής τιμής που στρέφεται στο χώρο με την ταχύτητα του δρομέα. Το προφανές πλεονέκτημα των μηχανών αυτών είναι ότι δεν έχουν ανάγκη παροχής σε ΣΡ, ενώ με τον τρόπο αυτό αυξάνεται και η συνολική απόδοση καθώς μεταξύ των άλλων μειώνονται και οι συνολικές απώλειες Joule στα τυλίγματα. Η ιδέα της χρήσης μόνιμων μαγνητών είναι παλιά ,αλλά η τεχνολογική πρόοδος τα τελευταία χρόνια είναι που κατέστησε δυνατή την κατασκευή κραμάτων "μονίμων μαγνητών" (κράματα σαμαρίου-κοβαλτίου, Sm-Co και νεοβιδίου-σιδήρου-βορίου, NdFeB) που έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν σταθερή τη μαγνήτισή τους για αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, όπως είναι αυτές που αναπτύσσονται στο εσωτερικό μίας στρεφόμενης μηχανής. Οι κινητήρες αυτοί, με κατάλληλη επιλογή τυλίγματος στάτη και πόλων δρομέα, μπορούν να παράγουν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ,συναγωνίζομενου έτσι μία συμβατική σύγχρονη μηχανή στα χαμηλά επίπεδα απότομων μεταβλητών ροπής (torque ripples) και μηχανικών δονήσεων (vibrations). Τα τελευταία χρόνια ερευνάται η χρησιμοποίηση ηλεκτρικών κινητήρων με υπεραγώγιμα υλικά ως κινητήρες πρόωσης, κυρίως στην Αμερική. Οι κινητήρες αυτοί, λόγω του ότι το υπεραγώγιμο υλικό παρουσιάζει μηδενική ηλεκτρική αντίσταση σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, έχουν πολύ μεγάλη ισχύ ανά μονάδα όγκου σε σύγκριση με τους συμβατικούς κινητήρες. Θεωρούνται έτσι ιδανικοί για την πρόωση πολεμικών πλοίων, όπου ο χώρος είναι περιορισμένος, σε συνδυασμό με τις αυξημένες ανάγκες ισχύος. Η εταιρεία American Syperconductor Inc. χρηματοδοτείται από το Αμερικανικό Πολεμικό Ναυτικό για να κατασκευάσει έναν κινητήρα πρόωσης ονομαστικής ισχύος 25MW.

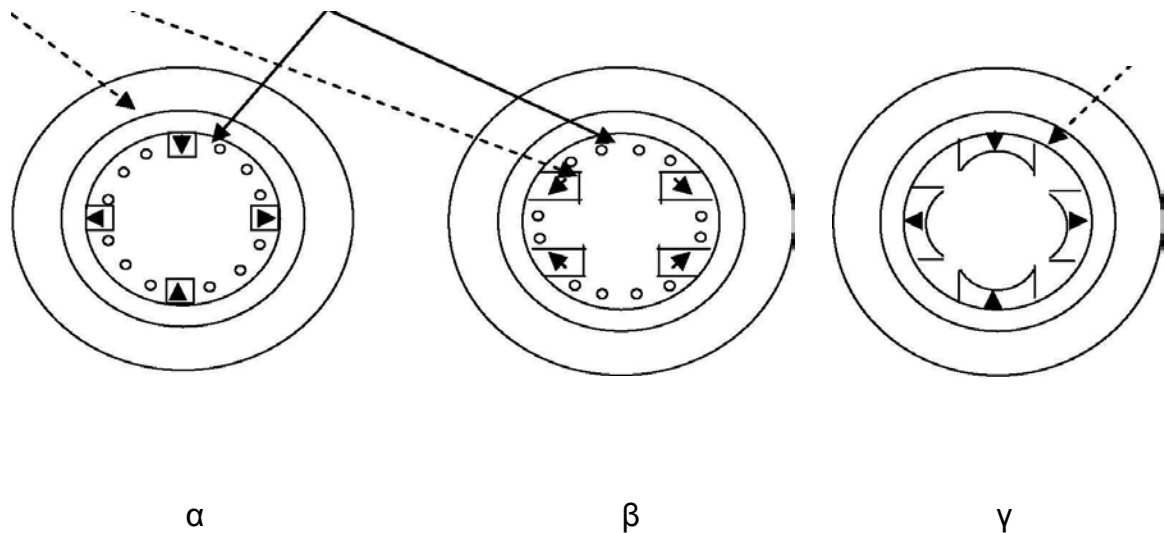


Σχήμα A16. Εξέλιξη τεχνολογίας μονίμων μαγνητών τα τελευταία 30 χρόνια.



Σχήμα A17. Επιδόσεις μονίμων μαγνητών ως προς τη θερμοκρασία

Μόνιμοι Μαγνήτες στο δρομέα Βοηθ. Τύλιγμα εκκινήσεως (κλωβός)



Σχήμα 6. διατάξεις σύγχρονων κινητήρων με μόνιμους μαγνήτες

α) οι μόνιμοι μαγνήτες στην εξωτερική επιφάνεια του δρομέα

β) οι μόνιμοι μαγνήτες στο εσωτερικό του δρομέα

γ) οι μόνιμοι μαγνήτες στο εσωτερικό του δρομέα με διεύθυνση ροής εγκάρσια στον άξονα.

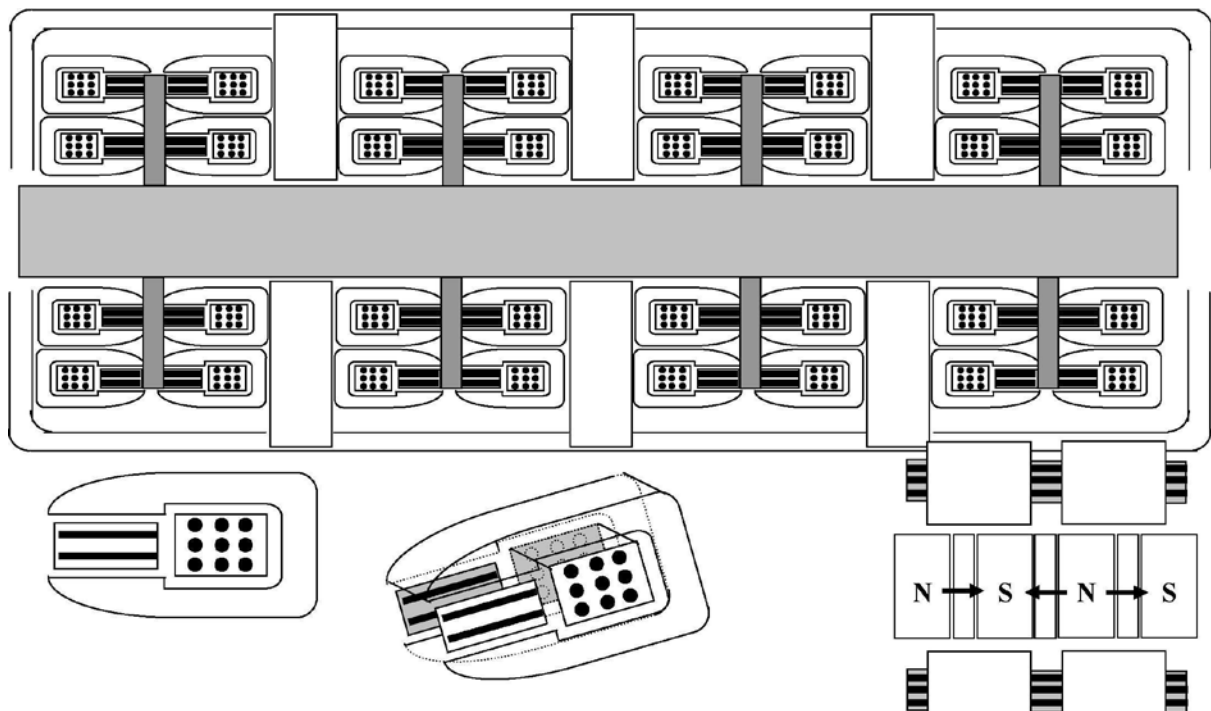
## A7.2. Κινητήρες αξονικής μαγνητικής ροής

Πρόκειται για κινητήρες στους οποίους η ωφέλιμη μαγνητική ροή είναι κατά την ακτινική διεύθυνση, δηλαδή όπως στις συνήθεις συμβατικές ηλεκτρικές μηχανές.

Αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις τέτοιων κινητήρων είναι ο κινητήρας PERMASYN της εταιρείας SIEMENS, με μόνιμους μαγνήτες Sm-Co, που βρίσκει εφαρμογές πρόωσης μεταξύ άλλων σε υποβρύχια του ΠΝ. Ένας άλλος τύπος ηλεκτρικού κινητήρα πρόωσης είναι ο Εξελιγμένος Επαγωγικός Κινητήρας (Advanced Induction Motor-AIM) της ALSTOM, ο οποίος έχει επιλεγεί για την πρόωση της φρεγάτας (Type 45) του Βρετανικού Πολεμικού Ναυτικού. Προσφέρει υψηλές τιμές ισχύος και ροπής σε σύγκριση με έναν συμβατικό επαγωγικό κινητήρα ίδιας ονομαστικής ισχύος. Η διαφορά με τον κοινό 3-φασικό επαγωγικό κινητήρα είναι ότι προσφέρει την δυνατότητα λειτουργίας με 5, 10 ή 15 φάσεις, χρησιμοποιώντας τις αρμονικές του

μαγνητικού πεδίου, με την βοήθεια εξελιγμένων ηλεκτρονικών ισχύος, για να αυξηθεί η ισχύς του κινητήρα.

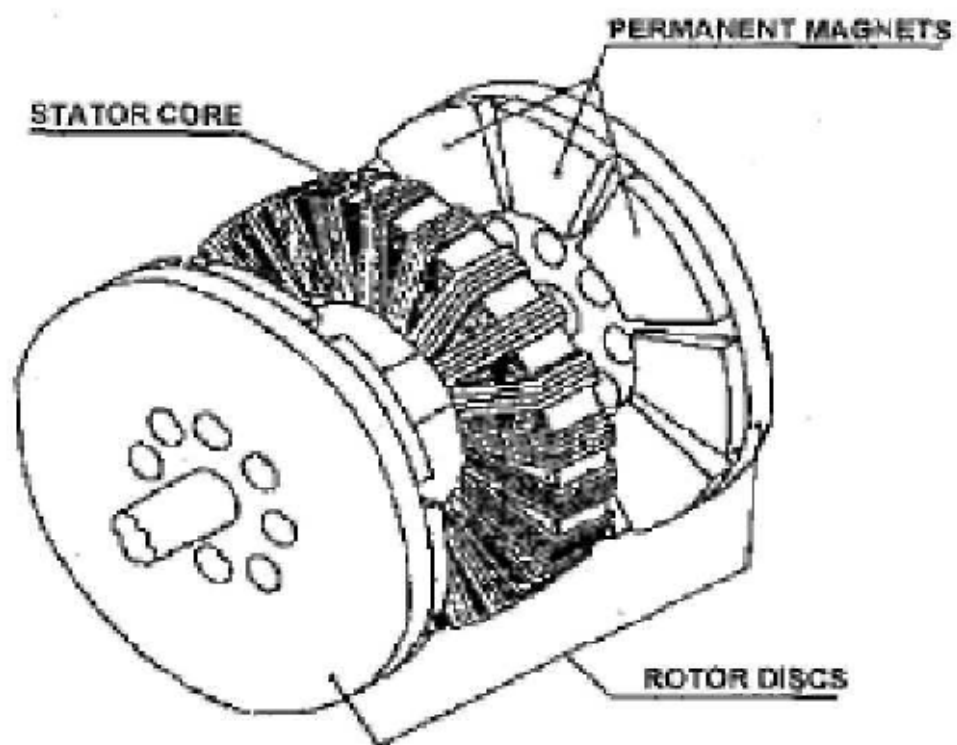
Πολυβάθμιοι κινητήρες εγκάρσιας μαγνητικής ροής (transverse flux motors) Οι κινητήρες αυτοί έχουν μόνιμους μαγνήτες στο δρομέα, προσανατολισμένους μάλιστα κατά τέτοιο τρόπο ώστε η μαγνητική ροή να ρέει μέσα στο διάκενο σε διεύθυνση εν μέρει κατά την αξονική διεύθυνση και κυρίως κάθετη-εγκάρσια προς τον άξονα της μηχανής.



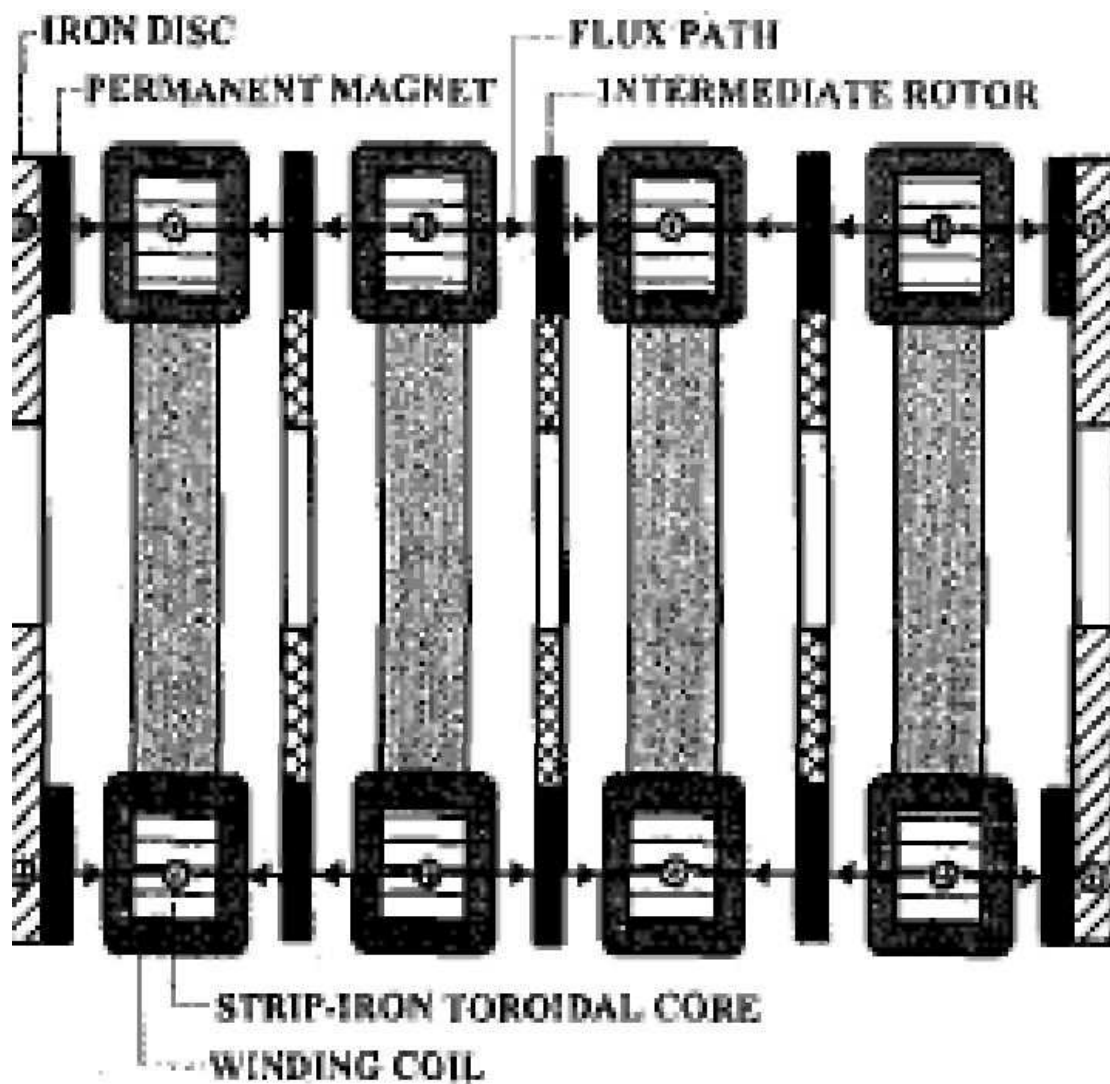
Σχήμα A18. Κινητήρας εγκάρσιας ροής

### A7.3. Πολυβάθμιοι κινητήρες αξονικής ροής (axial flux motors)

Οι κινητήρες αυτοί έχουν μόνιμους μαγνήτες στον δρομέα, προσανατολισμένους κατά τρόπο ώστε η μαγνητική ροή να ρέει σε διεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα της μηχανής (αξονική)

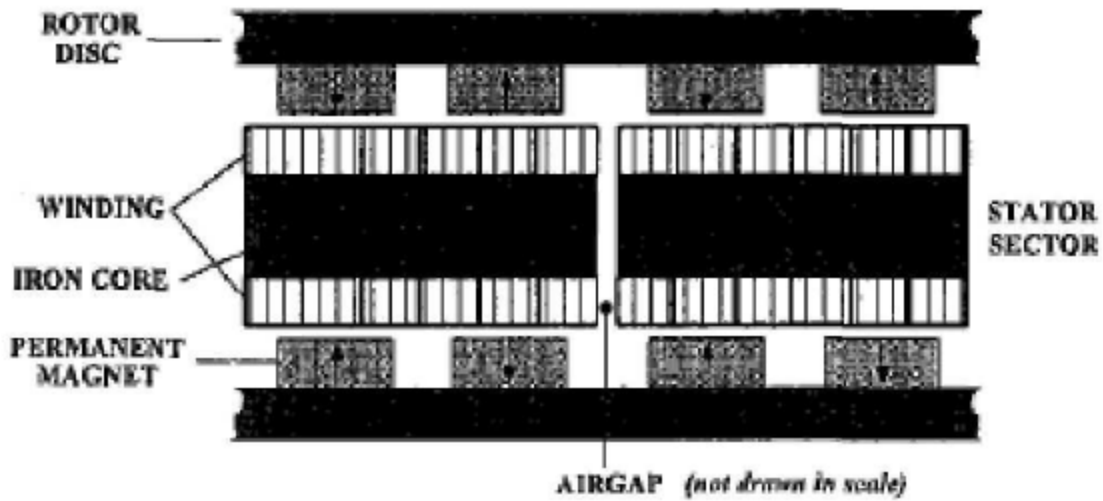


Σχήμα A198. Μηχανή αξονικής ροής

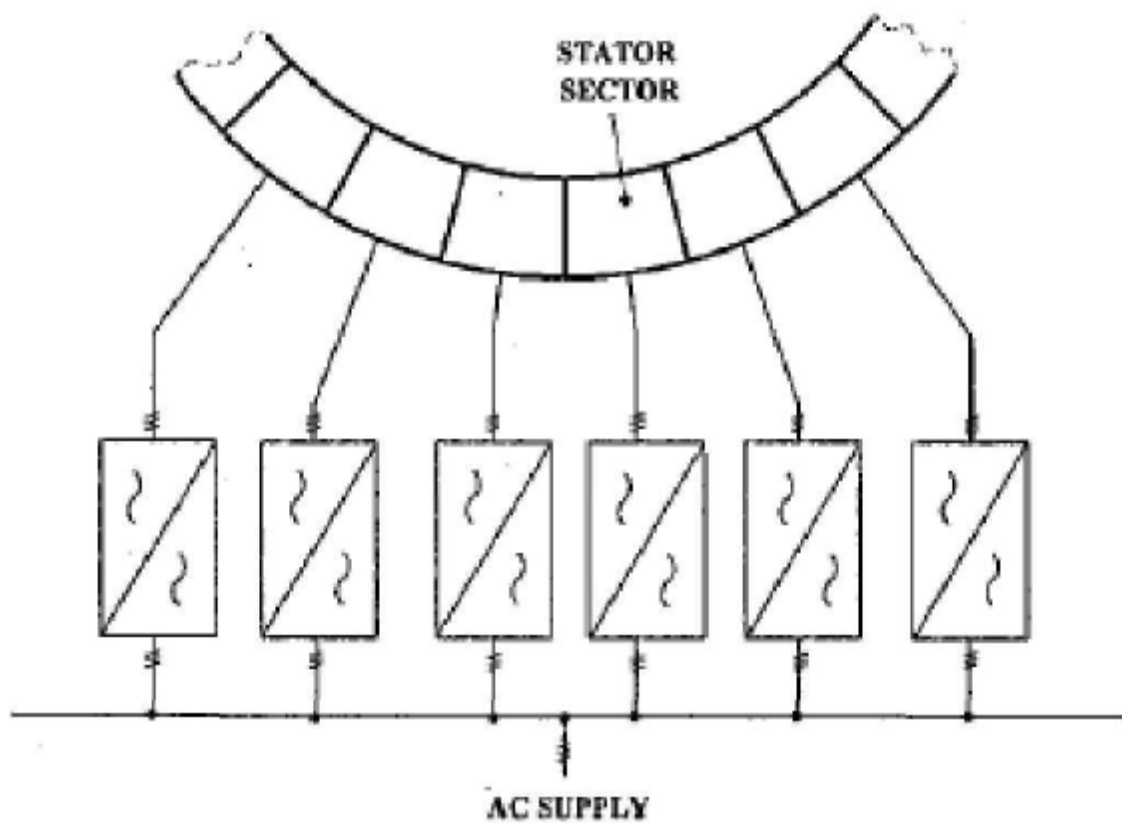


Σχήμα A20. Κάθετη τομή κινητήρα αξονικής ροής με 4 σπονδύλους (modules).





Σχήμα A21. διάταξη στάτη αποτελούμενου από 4 επιμέρους σπονδύλους κινητήρα αξονικής ροής.



Σχήμα A22. διάταξη μετατροπέα συχνότητας κινητήρα αξονικής ροής.

#### A7.4. Συνεργασία έλικα - κινητήρα πρόωσης

Στα πλεονεκτήματα της ηλεκτρικής πρόωσης συγκαταλέγεται και η ουσιαστική μείωση του αξονικού συστήματος των πλοίων, βλ. Σχ. A23.



Σχήμα A23. Συγκριτική παρουσίαση αξονικών συστημάτων πλοίων

Τα συστήματα ηλεκτρικής πρόωσης έχουν το πλεονέκτημα συνεχούς μεταβολής των στροφών σχεδόν σε όλο την περιοχή 0-100%. Επιπλέον, το 100% της ροπής μπορεί συνήθως να χρησιμοποιηθεί σε όλο το πεδίο λειτουργίας. Για λόγους ασφαλείας, η έλικα κινείται από δύο (ή και περισσότερους) ηλεκτροκινητήρες ίσης ισχύος. Όσον αφορά την έλικα ως μηχανικό φορτίο, ακολουθεί τον λεγόμενο «νόμο της έλικας» δηλ. η μηχανική ροπή ανάλογη του τετραγώνου της μηχανικής ταχύτητας, όπως περίπου και οι φυγοκεντρικές αντλίες και οι ανεμιστήρες, αλλά μπορεί η χαρακτηριστική αυτή να είναι σταθερή (έλικα σταθερού βήματος) ή να μεταβάλλεται, με αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων της (έλικα μεταβλητού βήματος).

## **ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ**

## B1. Ατμοσφαιρικές Υπερτάσεις

Ο κεραυνός θεωρείτο από αρχαιοτάτων χρόνων θεϊκό μήνυμα για τιμωρία ή έπαινο των ανθρώπων. Βέβαια, οι άνθρωποι δεν γνώριζαν στις προεπιστημονικές εποχές ότι κεραυνοί παρατηρούνται και στους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος που δεν κατοικούνται μεν από ανθρώπους, αλλά διαθέτουν ατμόσφαιρα, π.χ. στον Κρόνο, όπως έδειξαν οι μετρήσεις των διαστημοπλοίων που πλησίασαν αυτόν τον πλανήτη.

Αυτή η γνώση από μόνη της, αν ήταν διαθέσιμη παλαιότερα, θα αποθάρρυνε το συσχετισμό ενός φυσικού φαινομένου με την ανθρώπινη συμπεριφορά. Διαπιστώνουμε πώς η επιστημονική γνώση υποκαθιστά και ακυρώνει μεταφυσικές ερμηνείες και αντιλήψεις για συνηθισμένα φυσικά φαινόμενα! Αυτή η διαδικασία ανατροπής κατεστημένων αντιλήψεων με την κατάκτηση επιστημονικών γνώσεων επαναλαμβάνεται διαρκώς από την εποχή της Αναγέννησης μέχρι των ημερών μας.

Στην αρχαία ελληνική μυθολογία κατασκεύαζε τους κεραυνούς ο Ήφαιστος στην Αίτνα και τους έριχνε ο Δίας από τον Όλυμπο (Ησιόδου «Θεογονία»). Αρκετά νωρίς άρχισαν όμως οι φιλόσοφοι να ξεφεύγουν από τις θεοκρατικές αντιλήψεις και να συσχετίζουν τον κεραυνό με τη νέφωση. Οι μαθητές του Θαλή, Αναξίμανδρος και Αναξίμενης (6ος αιώνας π.Χ.) έδωσαν μάλλον την πρώτη φυσική εξήγηση για το φαινόμενο του κεραυνού! Θεωρούσαν ότι αιτία του κεραυνού ήταν ο άνεμος. Η πίεση του αέρα στα σύννεφα οδηγούσε σε τριβές, οι οποίες δημιουργούσαν (χωρίς θεϊκή παρέμβαση) τη λάμψη και τη βροντή. Ο Αναξαγόρας (5ος αιώνας π.Χ.) έδωσε μία διαφορετική, αλλά επίσης φυσική εξήγηση για τον κεραυνό!

Ο Λεύκιππος και ο Δημόκριτος θεωρούσαν ότι οι κεραυνοί κρύβονται από τη φύση στα σύννεφα και διαφεύγουν προς τη Γη με διάφορες αφορμές. Στην κωμωδία του Αριστοφάνη «Νεφέλες» εξηγεί ο Σωκράτης στο μαθητή του Στρεψιάδη ότι ο κεραυνός αποτελεί «στεγνό αέρα» που είναι συμπιεσμένος στα σύννεφα. Ο μαθητής του Αριστοτέλη Θεόφραστος (3ος αιώνας π.Χ.) δίνει επτά αίτια για τη βροντή και ανάλογα για την αστραπή.

Στη μυθολογία των σκανδιναβικών λαών ελέγχει ο θεός Donar (=βροντή) τα μετεωρολογικά φαινόμενα, ιδιαίτερα την αστραπή και τη βροντή! Σύμφωνα δε με τη μυθολογία των Κελτών και των Γερμανών οι καταιγίδες, οι βροντές και οι αστραπές προέρχονται από το διαρκή αγώνα του θεού Θωρ κατά των εχθρών του ανθρώπου. Οι πρόδρομοι των Ρωμαίων στην Ιταλία, οι Ετρούσκοι, είχαν μελετήσει λεπτομερώς το θέμα των κεραυνών και είχαν υποδιαιρέσει τον ουρανό σε 16 τομείς. Ανάλογα από ποιον τομέα ερχόταν και σε ποια κατεύθυνση έπεφτε ο κεραυνός, είχε διαφορετική σημασία για την ερμηνεία των μελλοντικών γεγονότων. Η εντύπωση των

Ετρούσκων ότι κατά την εξέλιξη των κεραυνών έπεφταν στη Γη ογκώδεις λίθοι, διατηρήθηκε στη λαϊκή πίστη μέχρι το τέλος του Μεσαίωνα.

Οι Ρωμαίοι υιοθέτησαν τις ελληνικές απόψεις για τα μετεωρολογικά φαινόμενα, προσαρμόζοντας μόνο τα ονόματα των θεών. Τα αντικείμενα που είχαν κτυπηθεί από κεραυνό ανήκαν στην ιδιοκτησία του Jupiter, ενώ όσοι πέθαιναν από κτύπημα κεραυνού θεωρούνταν ευνοημένοι των θεών! Στην αντίληψη των Ίνκας (13ος-16ος αιώνας μ.Χ.) η βροντή και η αστραπή ήταν παιδιά του ήλιου και της σελήνης και ελέγχονταν από τον παντοδύναμο βασιλιά, ο οποίος ήταν και ο ίδιος θεός.

Με την επιβολή του χριστιανισμού παραμερίζονται οι ελληνικές φυσιοκρατικές ερμηνείες για τον κεραυνό και επανέρχονται οι θεοκρατικές. Σύμφωνα λοιπόν με τη χριστιανική αντίληψη, ο κεραυνός αποτελεί τη φωνή του θεού (Ιωάννης 12,19)! Στην ύστερη Αρχαιότητα και στο Μεσαίωνα οι κεραυνοί έπαιζαν σημαντικό ρόλο στην επιβεβαίωση ενεργειών αυτοκρατόρων, πατριαρχών και του πάπα, αλλά και στην πρόβλεψη του μέλλοντος. Στην Κωνσταντινούπολη, όπου εκδηλώνονται συχνά καταιγίδες, καλούσε ο ιδρυτής της, αυτοκράτωρ Κωνσταντίνος τους οιωνοσκόπους να μελετήσουν τα εντόσθια ζώων που θυσιάζονταν επί τούτου, όταν έπεφταν αλλεπάλληλοι κεραυνοί! Σε Νεαρές του Ιουστινιανού αναφέρεται ότι η ορθότητα του νόμου επικυρώθηκε από το θεό, επειδή κατά την υπογραφή της έπεσαν 1, 2 ή περισσότεροι κεραυνοί. Στα τέλη του 13<sup>ου</sup> αιώνα κυκλοφόρησε στο Βυζάντιο ένα αντιδυτικό πόνημα για να αποδείξει τις «αιρετικές» απόψεις των Φράγκων, στο οποίο εξηγείται ότι οι αστραπές και οι βροντές στον ουρανό προκύπτουν από «συγκρούσεις μεταξύ των αγγέλων στο πέταγμά τους» (Κ.Σιμόπουλος: Ξενοκρατία...) Στο μωαμεθανισμό πιστεύεται ότι ο Αλλάχ προκαλεί τριβή στα σύννεφα, από την οποία προκύπτουν τα μετεωρολογικά φαινόμενα και μαζί τους ο κεραυνός (Κοράνι 24, 43).

Μετά την ανακάλυψη της ηλεκτρικής φύσης του κεραυνού κατά το 18<sup>ο</sup> αιώνα, παραμερίστηκαν όλες αυτές οι θεοκρατικές ερμηνείες, αποσιωπήθηκαν ή ξεχάστηκαν τα θρησκευτικά κείμενα που αναφέρονται σε κεραυνούς, διασκεδάστηκαν οι παλαιές αντιλήψεις και τοποθετήθηκε σταδιακά από ένα αλεξικέραυνο σε όλους τους ναούς και όλα τα τεμένη, που είναι κατά κανόνα τα υψηλότερα κτήρια στις μικρές και μεσαίες πόλεις και πλήττονται συχνά από κεραυνούς! Παρ' όλα αυτά, στη λαϊκή γλώσσα έχουν διατηρηθεί αντιλήψεις, ευχές και κατάρες που σχετίζονται με τη θείκη ή δαιμονική προέλευση του κεραυνού!

Η εκδήλωση του κεραυνού είναι συνέπεια της δημιουργίας υψηλής διαφοράς δυναμικού μεταξύ του εδάφους και νέφους καταιγίδας που συχνά φτάνει την τιμή μερικών εκατομμυρίων βολτ (MV). Η δημιουργούμενη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ξεπερνά την οριακή τιμή αντοχής του υλικού (εδώ ατμοσφαιρικός αέρας με συγκεκριμένη υγρασία, θερμοκρασία και πίεση) και το μονωτικό αποκτά αγώγιμες διαδρομές. Το ρεύμα που διοχετεύεται για μερικά χιλιοστά ή εκατοστά του

δευτερολέπτου μπορεί να φτάσει σε ακραίες περιπτώσεις μέχρι την τιμή των 100 kA. Τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται ταυτόχρονα είναι πολύ ισχυρά και, λόγω της ραγδαίας χρονικής μεταβολής τους, προκαλούν εξ επαγωγής επίσης πολύ ισχυρές τάσεις σε γειτονικά δίκτυα, συσκευές και μεταλλικές εγκαταστάσεις που βρίσκονται στην ευρεία περιοχή, η οποία καλύπτεται από αυτό το μαγνητικό πεδίο. Παράλληλα διατρέχουν την ατμόσφαιρα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία διαχέονται σε αρκετά ευρεία περιοχή και προκαλούν ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές σε όργανα, συσκευές και μηχανές.

Αν και «πέφτουν» ετησίως στη Γη περί τα 25 εκατομμύρια κεραυνοί και η εξέλιξη κάθε κεραυνού σχετίζεται με ιδιαίτερα υψηλές τιμές των ηλεκτρομαγνητικών μεγεθών, δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί αυτό το φυσικό φαινόμενο ενεργειακά επειδή, λόγω του πολύ μικρού χρόνου διάρκειάς του, παρέχεται κατά μέσο όρο ενέργεια που αντιστοιχεί περίπου σε 10 λίτρα πετρελαίου. Το κόστος αναπτύξεως και εγκαταστάσεως μιας μονάδας ενεργειακής αξιοποίησεως κεραυνών θα ήταν γι' αυτό το λόγο δυσανάλογα υψηλό και δεν πρόκειται να αποσβεσθεί σε ικανό χρονικό διάστημα.

## **B2. Κεραυνική εκκένωση**

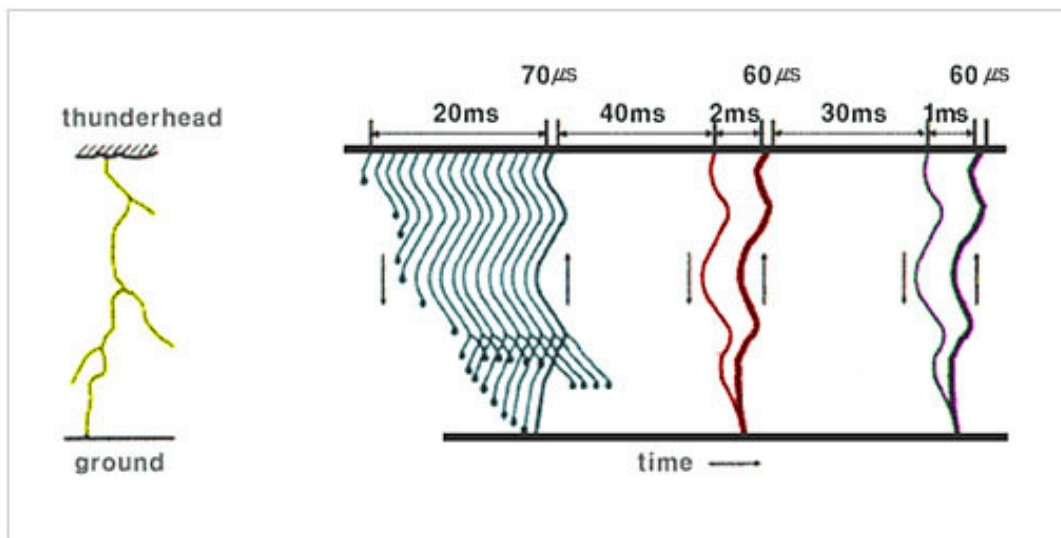
Η κεραυνική εκκένωση μπορεί να οριστεί ως μία μορφή ηλεκτρικής διάσπασης, χαρακτηριζόμενης από υψηλό ρεύμα, που συμβαίνει σε πολύ μεγάλα διάκενα. Ο κεραυνός εμφανίζεται όταν κάποια περιοχή της ατμόσφαιρας επιτυγχάνει μια ηλεκτρική φόρτιση αρκετά μεγάλη, έτσι ώστε τα ηλεκτρικά πεδία που συνδέονται με τη φόρτιση να προκαλούν την ηλεκτρική διάσπαση του αέρα.

Κατά τη διάρκεια της καταιγίδας συμβαίνει διαχωρισμός φορτίου σε ένα νέφος. Καθώς τα θετικά φορτία κινούνται προς το πάνω μέρος του νέφους, ο κύριος όγκος του φορτίζεται αρνητικά (με μία μικρή ζώνη θετικών φορτίων στο κάτω μέρος). Υπάρχουν διάφορες θεωρίες για την επεξήγηση αυτού του διαχωρισμού, εντούτοις, δεν είναι απολύτως κατανοητός αυτός ο μηχανισμός.

Ο διαχωρισμός αυτός των φορτίων δημιουργεί ηλεκτρικά πεδία μεταξύ των νεφών και της γης. Τα νέφη βρίσκονται σε ύψος μεταξύ 200 και 10000 m. Να σημειωθεί ότι το φορτίο μέσα στα νέφη είναι πολύ υψηλό, της τάξης των 1-100 C. Τα νέφη μπορούν να έχουν δυναμικό έως  $10^7$ - $10^8$  V με αναπτυσσόμενα ηλεκτρικά πεδία της τάξης 100 V/cm εντός των νεφών και έως 10 kV/cm στο αρχικό σημείο έναυσης του κεραυνικού φαινομένου. Η ενέργεια που σχετίζεται με τις εκκενώσεις μπορούν να πάρουν τιμές έως και 250 kWh (κατά άλλους έως και 350 kWh). Το μέγιστο

ηλεκτρικό πεδίο στην επιφάνεια του εδάφους λόγω φορτισμένου νέφους μπορεί να φτάσει τα 300 V/cm, ενώ σε συνθήκες καλοκαιρίας είναι περίπου 1 V/cm.

Η εκκένωση αρχίζει στην περιοχή αρνητικού φορτίου όπου το ηλεκτρικό πεδίο προσεγγίζει τιμές των 30 kV/cm (αυτό υπό κανονικές συνθήκες ενώ σε συνθήκες υγρασίας η τιμή αυτή είναι χαμηλότερη, περί τα 10 kV/cm), δηλαδή το πεδίο στο οποίο συμβαίνει ιονισμός του αέρα. Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. Β1) φαίνεται ο μηχανισμός του κεραυνικού φαινομένου.



Σχήμα Β1 Μηχανισμός του κεραυνικού φαινομένου.

Κατά την πρώτη φάση, ο οδηγός εκκένωσης κινείται προς τα κάτω με βήματα των 50 ή 100 μέτρων με διαστήματα παύσεως της τάξης των msec. Από την άκρη της εκκένωσης ένας «steamer-πιλότος» με χαμηλή φωτεινότητα και ρεύμα μερικών A διαδίδεται με ταχύτητα περίπου  $10^5$  m/sec. Ακολουθείται από το βηματικό οδηγό με μέση ταχύτητα  $5 \times 10^5$  m/sec και ρεύμα περίπου 100 A. Καθώς η εκκένωση πλησιάζει στο έδαφος, η διαφορά δυναμικού επάγει ένα φορτίο στη γη. Σε κάποιο σημείο της γης η συγκέντρωση φορτίου είναι αρκετά υψηλή ώστε να υπάρξει έναυση θετικού steamer προς τα πάνω. Όταν συναντώνται οι δύο εκκενώσεις, το «κύριο» ή «επιστρέφον» πλήγμα αρχίζει από το έδαφος προς το νέφος. Κινείται με ταχύτητα περίπου  $50 \times 10^5$  m/sec κατά μήκος του προηγούμενου ιονισμένου διαύλου. Το ρεύμα του «κυρίου» πλήγματος είναι της τάξης των λίγων έως 250 kA και οι θερμοκρασίες εντός του διαύλου της τάξης των  $15000^\circ - 20000^\circ$  C. Στο ρεύμα αυτό οφείλονται τα καταστρεπτικά αποτελέσματα του κεραυνού.

Η ταχύτητα ανάπτυξης του ιονισμένου διαύλου δίνεται από τον τύπο:

$$v = \frac{h}{\frac{h}{I_p} \Delta t} = \frac{I_p}{\Delta t}$$

όπου:

$h$  το ύψος στο οποίο βρίσκεται το νέφος,

$I_p$  η απόσταση μεταξύ των βημάτων διάδοσης (50 έως 100 m) και

$\Delta t$  το διάστημα παύσεως που λαμβάνεται περίπου 100  $\mu\text{sec}$ .

Η διάρκεια ανάπτυξης του ιονισμένου διαύλου δίνεται από τον τύπο:

$$t = \frac{h}{v}$$

Ο κεραυνός αποτελείται από ένα οπτικό φαινόμενο, την αστραπή, που οφείλεται στον ιονισμό των μορίων του αέρα και από το καθαρά ηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή τη ροή των ηλεκτρικών φορτίων και συνοδεύεται από τη βροντή λόγω της απότομης εκτόνωσης των αερίων της περιοχής που εκδηλώνεται το πλήγμα.

### **B3. Κατηγορίες κεραυνικών εκκενώσεων**

Οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

α) **Μεταξύ σύννεφου και γης ή και αντίστροφα:** οι κεραυνοί αυτοί παρατηρούνται όταν το ηλεκτρικό πεδίο πάρει την κρίσιμη τιμή κοντά στο νέφος, οπότε έχουμε εκκένωση κατερχόμενη, ή κοντά στη γη, οπότε έχουμε εκκένωση ανερχόμενη. Σαν πολικότητα της εκκένωσης μεταξύ σύννεφου και γης λαμβάνεται η πολικότητα του φορτίου του κάτω μέρους του νέφους που την προκάλεσε.

Οι κεραυνοί μεταξύ νέφους και γης είναι η καταστροφική και παράλληλα η πιο επικίνδυνη μορφή κεραυνού. Αν και δεν είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος, είναι αυτός ο οποίος κατανοείται καλύτερα. Οι περισσότεροι κεραυνοί εκδηλώνονται κοντά στην αρνητική περιοχή του νέφους. Όμως, μια σημαντική μειονότητα από κεραυνούς μεταφέρει θετικό φορτίο στη γη. Αυτοί οι θετικοί κεραυνοί συχνά συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της καταιγίδας. Οι θετικοί κεραυνοί είναι επίσης περισσότερο γνωστοί σαν ποσοστό προσκρούσεων στο έδαφος κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών.



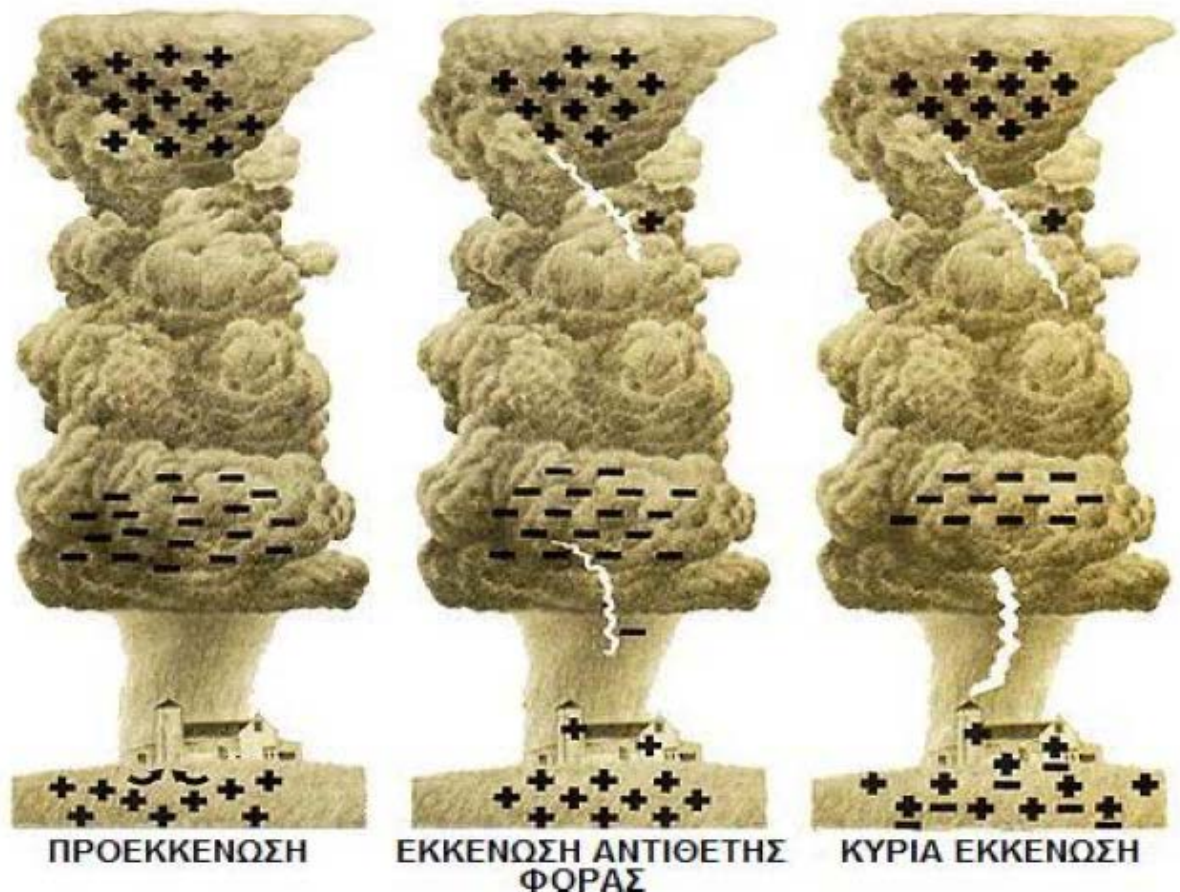
β) **Μέσα στο ίδιο σύννεφο:** οι κεραυνοί μέσα στα νέφη είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος εκφορτίσεως. Στην περίπτωση αυτή, η εκκένωση δημιουργείται ανάμεσα στο ανώτερο θετικό και κατώτερο αρνητικό κέντρο του χωρικού φορτίου. Η διάρκεια της εκκένωσης είναι μεγάλη και το ρεύμα της έχει τιμές από μερικές εκατοντάδες A έως 1000A.

γ) **Ανάμεσα στα σύννεφα:** κεραυνοί αυτού του τύπου εκδηλώνονται σε ύψος μεγαλύτερο του 1 km και μικρότερο των 12 km. Οι κεραυνοί αυτοί έχουν μεγάλο μήκος κεραυνικού τόξου, έως και 40 km.

δ) Υπάρχει άλλη μία ατμοσφαιρικών εκκενώσεων. Είναι οι εκκενώσεις που λαμβάνουν χώρα μέσα στα σύννεφα τέφρα που εκτοξεύονται από τους κρατήρες των ηφαιστείων κατά την έκρηξή τους. Είναι, όμως, προφανές ότι η φύση αυτών των εκκενώσεων και ο μηχανισμός που τις προκαλεί είναι εντελώς διαφορετικά. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι αυτές οι εκκενώσεις είναι περιορισμένες σε έκταση και δεν υπάρχει άμεσος κίνδυνος να πληγούν εγκαταστάσεις ή προσωπικό, με εξαίρεση ίσως τους επιστήμονες που προσεγγίζουν τέτοια φαινόμενα προκειμένου να τα διερευνήσουν.

#### **B4. Μοντέλο σχηματισμού του κεραυνού**

Κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας διακρίνουμε τα τρία ακόλουθα στάδια της κεραυνικής εκκένωσης:



Σχήμα Β2 Μοντέλο σχηματισμού του κεραυνού.

### α) Προεκκένωση:

Το ηλεκτρισμένο νέφος εμφανίζεται λίγο πριν από μια κεραυνική εκκένωση μακροσκοπικά, σαν ένα ηλεκτρικό δίπολο, εξαιτίας του οποίου επάγονται στο έδαφος πεδία με ένταση πάνω από  $5\text{kV/m}$ . Στις παρυφές περιοχών του νέφους με μεγάλη πυκνότητα φορτίου, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να πάρει αρκετά μεγάλες τιμές. Οι υψηλές αυτές εντάσεις, συνδυαζόμενες με τη μικρή πυκνότητα του αέρα και μερικούς άλλους παράγοντες που προκαλούν πρόσθετη τοπική ενίσχυση του ηλεκτρικού πεδίου, μπορούν να προκαλέσουν έναρξη ιονισμού των μορίων του αέρα από κρούσεις ηλεκτρονίων. Ο ιονισμός αυτός αποτελεί το πρώτο βήμα για την έναρξη μιας ηλεκτρικής εκκένωσης.

Το επόμενο βήμα είναι ο σχηματισμός ενός οχετού, ο οποίος ακολουθεί τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου. Ο οχετός ακολουθεί την κατεύθυνση που

θα προκαλέσει την ηλεκτρική σύνδεση και αλληλεξουδετέρωση των δύο ετερόσημων φορτίων, η οποία συνοδεύεται από έντονη λάμψη (αστραπή) και δυνατό θόρυβο (βροντή). Οι συνέπειες στο έδαφος εμφανίζονται σαν μια παροδική διαταραχή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, η οποία πιθανόν να γίνει αισθητή σε δέκτες της τηλεόρασης ή του ραδιοφώνου κτλ. Αν οι γραμμές μεγίστης πεδιακής έντασης κατευθύνονται προς το έδαφος, ο οχετός θα κατευθυνθεί προς αυτό.

Η προεκκένωση ξεκινάει από κάποια περιοχή του σύννεφου όπου το ηλεκτρικό πεδίο θα αποκτήσει πολύ μεγάλες τιμές, της τάξεως των μερικών εκατοντάδων V/m. Δημιουργείται έτσι ένας αγωγίμος δρόμος (οχετός), ο οποίος τροφοδοτείται συνέχεια με φορείς ηλεκτρικού φορτίου από το σύννεφο. Σαν συνέπεια αυτού, έχουμε τη δημιουργία υψηλού ηλεκτρικού πεδίου που σε μια διαδικασία ανακύκλωσης συμβάλλει στην προώθησή του προς τη γη. Έτσι, η προεκκένωση, αφού ξεκινήσει, αναπτύσσεται από μόνη της στο χώρο του ηλεκτρικού πεδίου, εφόσον τροφοδοτείται από την πλευρά του σύννεφου με μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου. Υπάρχει η πιθανότητα να δημιουργηθούν και διακλαδώσεις του αγωγίμου οχετού, οι οποίες, όμως, δεν απολήγουν σε γεφύρωσή του προς τη γη, λόγω της μη διαθεσιμότητας μεγάλου αριθμού ηλεκτρικών φορέων.

### **β) Εκκένωση αντίθετης φοράς:**

Η διαμήκης πτώση τάσεως κατά μήκος του οχετού προεκκένωσης διαφέρει στις διάφορες θέσεις του. Ο οχετός προεκκένωσης εμφανίζεται σαν μια μεταλλική προεξοχή που επεκτείνεται από το σύννεφο προς το έδαφος. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από τον οχετό προεκκένωσης και ιδίως στο άκρο του προς το έδαφος, είναι πολύ μεγάλη και υπερβαίνει κατά πολύ την πεδιακή ένταση που απαιτείται για τον ιονισμό του αέρα από κρούσεις (γύρω στα 30kV/cm).

Για αυτό το λόγο, ο οχετός περιβάλλεται διαρκώς από ένα μανδύα Corona (στεμματοειδούς εκκενώσεως), που εκτείνεται μερικά μέτρα γύρω από αυτόν. Το πάχος του μανδύα αυτού είναι μεγαλύτερο στο προς το έδαφος άκρο του οχετού και αυξάνει όσο η κεφαλή του οχετού πλησιάζει προς το έδαφος. Καθώς τώρα ο οχετός κατέρχεται στη γη, αυξάνει το ηλεκτρικό πεδίο της γης. Έτσι, είναι δυνατό να δημιουργήσει ένα φαινόμενο τύπου Corona, το οποίο καταλήγει σε μια ανερχόμενη εκκένωση, η οποία τείνει να συναντήσει τον κατερχόμενο οχετό, οπότε και έχουμε πλήρη γεφύρωση του διακένου αέρα, δηλαδή κεραυνικό πλήγμα. Η απόσταση που θα πρέπει να φτάσει η κεφαλή του κατερχόμενου οχετού για να ξεκινήσει από τη γη η εκκένωση αντίθετης φοράς χαρακτηρίζεται σαν απόσταση εναύσεως.

### **γ) Κύρια εκκένωση:**

Στην τελευταία αυτή φάση, η οποία εξελίσσεται με ιδιαίτερα μεγάλη ταχύτητα, έχουμε την γεφύρωση της απόστασης μεταξύ νέφους και γης. Ήδη προϋπάρχει αγωγίμος

οχετός προεκκένωσης που παίρνει τη μορφή ενός πλήρους οχετού εκκένωσης. Τα ρεύματα που κινούνται δια μέσου του οχετού είναι της τάξεως των 10-100kA, με κλίσεις μετώπου της τάξεως των 20-100kA/μs, ενώ η διάρκεια ροής των ρευμάτων αυτών είναι της τάξεως των μερικών δεκάδων μs. Το μήκος του κεραυνικού οχετού εξαρτάται από το ύψος που βρίσκεται το αντίστοιχο καταιγιδοφόρο νέφος, ενώ όταν πρόκειται για κεραυνό που δημιουργείται μεταξύ δύο νεφών, εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των αντιστοίχων νεφών. Σε περίπτωση που έχουμε κεραυνοπληξία προς γη, το μήκος των κεραυνικών οχετών είναι της τάξεως λίγων χιλιομέτρων το πολύ.

Η διάμετρος ενός οχετού εκκενώσεως είναι της τάξης των μερικών εκατοστών, γιατί από μόνο του το πλάσμα, λόγω του μαγνητικού πεδίου, αποσυμπιέζεται. Η μεγάλη λαμπρότητα του ηλεκτρικού τόξου εξηγεί και το γεγονός ότι ο κεραυνικός οχετός συχνά οδηγεί σε παροδικές θαμβώσεις.

## **B5. Η ενέργεια του κεραυνικού φαινομένου**

Εάν η απαιτούμενη διαφορά δυναμικού για τη διάσπαση μεταξύ ενός νέφους και της γης είναι  $10^7$  V και το φορτίο που απελευθερώνεται είναι 20 Coulombs, τότε η εκλυόμενη ενέργεια είναι  $20 \times 10^7$  Ws (J). Η ενέργεια αυτή διαχέεται σε διάφορες διεργασίες. Μικρή ποσότητα αυτής καταναλώνεται για τον ιονισμό των μορίων και την ακτινοβολία. Άλλη ποσότητα ενέργειας προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας των πληγέντων αντικειμένων του εδάφους.

## **B6. Επιπτώσεις από πλήγματα κεραυνών**

Πολλές φορές παρατηρούνται επικίνδυνες επιπτώσεις σε μια κατασκευή και στο περιεχόμενο της ως αποτέλεσμα άμεσου ή έμμεσου πλήγματος κεραυνού. Ως άμεσο πλήγμα θεωρείται η περίπτωση κατά την οποία ο κεραυνός πλήττει κατευθείαν την κατασκευή ή το συλλεκτήριο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας της. Το έμμεσο πλήγμα κεραυνού σε μια κατασκευή αναφέρεται στην περίπτωση που ο κεραυνός πλήττει τη κοντινή περιοχή της (το έδαφος ή γειτνιάζουσα κατασκευή) ή τις εισερχόμενες παροχές υπηρεσιών κοινής ωφέλειας.

## B6.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή

Ο κεραυνός μπορεί να προκαλέσει σημαντική βλάβη ή απώλεια της ανθρώπινης ζωής:

- Άμεσο πλήγμα: Σ' αυτή τη περίπτωση το ανθρώπινο σώμα δέχεται απευθείας το κεραυνό αποτελώντας την άμεση διαδρομή όδευσης της εκκένωσης προς τη γη. Αν και έχει παρατηρηθεί θεωρείται ιδιαίτερα σπάνια περίπτωση εφόσον η συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε έναν άνθρωπο εκτεθειμένο συνεχώς σε επίπεδη περιοχή μπορεί να υπολογιστεί περίπου ως ένα άμεσο πλήγμα κεραυνού ανά 2000 χρόνια.
- Άμεση επαφή: Εδώ το ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε επαφή με κάποιο αντικείμενο που πλήττεται από κεραυνό.
- Υπερπήδηση: Το ανθρώπινο σώμα ευρισκόμενο αρκετά κοντά σε κάποιο αντικείμενο που πλήττεται από κεραυνό παροχετεύει παράλληλα τμήμα της εκκένωσης προς τη γη ως αποτέλεσμα της ηλεκτρικής διάσπασης του διακένου αέρα που παρεμβάλλεται μεταξύ τους.
- Βηματική τάση: Σ' αυτή τη περίπτωση το ανθρώπινο σώμα υπόκειται σε υψηλή τάση λόγω της εμφάνισης διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στα πόδια η οποία οφείλεται στην ακτινική διάχυση του ρεύματος του κεραυνού στο έδαφος. Το δυναμικό του εδάφους στη περιοχή πτώσης του κεραυνού φθίνει με την απόσταση από το σημείο πλήγματος.
- Επιφανειακή διάσπαση του εδάφους: Σ' αυτή τη περίπτωση το ανθρώπινο σώμα ευρισκόμενο αρκετά κοντά στο σημείο πλήγματος του κεραυνού αποτελεί τμήμα της διαδρομής του ηλεκτρικού τόξου της επιφανειακής διάσπασης του εδάφους. Η επιφανειακή διάσπαση του εδάφους δεν παρατηρείται σε κάθε περίπτωση που ο κεραυνός πλήττει ένα αντικείμενο ή το έδαφος. Το φαινόμενο είναι συνάρτηση των παραμέτρων του κεραυνού καθώς και της κατάστασης της επιφάνειας του εδάφους όπως η μορφολογία, η φύση, το ποσοστό υγρασίας, κ.α.
- Τυφλό τραύμα: Το ανθρώπινο σώμα εκτινάσσεται σε απόσταση είτε λόγω των έντονων μυϊκών συσπάσεων που προκαλούνται από τη ροή του ρεύματος διαμέσου του είτε του κρουστικού κύματος πίεσης που συνοδεύει την εκκένωση του κεραυνού.

Η απώλεια της ανθρώπινης ζωής από πλήγμα κεραυνού οφείλεται σε καρδιακή ανακοπή. Τα συμπτώματα που μπορεί να παρατηρηθούν σε επιζώντες είναι

παρόμοια με αυτά που παρατηρούνται σε θύματα ηλεκτροπληξίας ωστόσο γενικότερα θεωρείται ότι είναι ασθενέστερα και μικρής χρονικής διάρκειας. Τα συμπτώματα διακρίνονται σε ψυχοσωματικά και οργανικά, παροδικά ή μόνιμα όπως διαταραχή ή απώλεια μνήμης, δυσκολία ή ανικανότητα συγκέντρωσης, μειωμένη διανοητικότητα, διαταραχή ύπνου, ίλιγγος, κεφαλαλγία, ευερεθιστότητα, εύκολη ή χρόνια κόπωση, κατάθλιψη, αγοραφοβία, φωτοφοβία, ακαμψία στις αρθρώσεις, μυϊκές συσπάσεις, απώλεια ακοής, επιφανειακά εγκαύματα, μερική παράλυση.

## **B6.2. Επιπτώσεις σε κατασκευές**

Οι επιπτώσεις του πλήγματος του κεραυνού σε μια κατασκευή οφείλεται είτε στο ίδιο το ηλεκτρικό τόξο της εκκένωσης είτε σε δευτερογενή φαινόμενα που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της εκκένωσης. Ανάλογα με τα φαινόμενα και τις επιπτώσεις που παρατηρούνται οι επιδράσεις του κεραυνού σε μια κατασκευή μπορεί να χωριστούν σε 3 κατηγορίες :

### **1. Θερμικές επιδράσεις**

Οι θερμικές επιδράσεις σχετίζονται με την ειδική ενέργεια του κεραυνού σε περίπτωση ωμικής ζεύξης και με το ολικό φορτίο ή το κρουστικό φορτίο του όταν αναπτύσσονται τόξα στην εγκατάσταση. Παρατηρούνται ρήγματα σε δομικά στοιχεία, διάτρηση ή και τήξη των υλικών της κατασκευής ως αποτέλεσμα της μεγάλης απότομης αύξησης της θερμοκρασίας τους λόγω του φαινομένου Joule και της μεταφοράς μεγάλης ποσότητας ενέργειας μεταξύ του ηλεκτρικού τόξου και της περιοχής του σημείου πλήγματος του κεραυνού στη κατασκευή. Το φαινόμενο Joule εκδηλώνεται ιδιαίτερα έντονο στη περιοχή του σημείου πλήγματος καθώς και κατά τη ροή του ρεύματος του κεραυνού σε σημεία μεγάλης ωμικής αντίστασης όπως κακές επαφές ή σε υλικά μεγάλης ειδικής αντίστασης.

### **2. Μηχανικές επιδράσεις**

Οι μηχανικές επιδράσεις σχετίζονται με τη μέγιστη τιμή του εύρους του ρεύματος του κεραυνού και την ειδική ενέργειά του. Παρατηρούνται μηχανικές καταπονήσεις όπως παραμορφώσεις ή μετακινήσεις των υλικών της κατασκευής ή και αποκόλληση στρωμάτων στρωματόμορφων υλικών ως αποτέλεσμα των ηλεκτρομαγνητικών

δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά τη διέλευση του ρεύματος του κεραυνού καθώς και της απότομης μεταφοράς ενέργειας μεταξύ του κεραυνού και της κατασκευής.

### 3. Ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις

Οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις σχετίζονται με το μέγιστο εύρος και τη κλίση του μετώπου του ρεύματος. Παρατηρούνται επικίνδυνες υπερτάσεις οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν στην ηλεκτρική διάσπαση μονώσεων ως προς γη ή μεταξύ κυκλωμάτων διαφορετικής τάσης, δευτερογενείς υπερπηδήσεις με άμεσο κίνδυνο σημαντικής βλάβης ή απώλειας της ανθρώπινης ζωής, πυρκαγιάς ή έκρηξης καθώς και διαταραχής ή διακοπής της κανονικής λειτουργίας ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Ακόμη αναπτύσσονται ηλεκτρομαγνητικά και ηλεκτροστατικά πεδία με επιζήμιες συνέπειες υπό τη μορφή βλαβών σε ηλεκτρονικές συσκευές και διακοπών της λειτουργίας ηλεκτρονικών συστημάτων σε εγκαταστάσεις. Συνοπτικά παρουσιάζονται παρακάτω οι διάφορες επιπτώσεις σε σχέση με τις παραμέτρους του κεραυνού.

## **B7. ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**

Η αντικεραυνική προστασία είναι ένα σύνθετο αντικείμενο που συνδυάζει το φυσικό φαινόμενο του κεραυνού και τα μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προστασία έναντι των πληγμάτων του. Αν και το μεγαλύτερο μέρος του κεραυνού διοχετεύεται στη γη υπάρχουν περιπτώσεις που ένας κεραυνός να έχει επικίνδυνες επιπτώσεις σε διάφορες κατασκευές ή ακόμα και στον ανθρώπινο παράγοντα. Σκοπός ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας είναι εάν πληγεί από κεραυνό άμεσα ή έμμεσα να διοχετεύσει το ρεύμα της εκκένωσης ελεγχόμενα στη γη και να περιορίσει όσο το δυνατόν περισσότερο τις ζημιές στην εγκατάσταση που έχει σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.

## **B8. Σχεδιασμός του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας**



Ως σύστημα αντικεραυνικής προστασίας ορίζεται το πλήρες σύστημα που χρησιμοποιείται για να προστατεύσει μία εγκατάσταση ή ακόμα και ολόκληρη την περιοχή της εγκατάστασης από τα πλήγματα κεραυνών. Το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας ονομάζεται και ΣΑΠ. Οι επιστήμονες μέχρι και σήμερα δεν έχουν ανακαλύψει μεθόδους έτσι ώστε να μπορέσουν να εμποδίσουν το σχηματισμό κεραυνού ή να τον εμποδίσουν να πλήξει μια κατασκευή. Ουσιαστικά η μέθοδος που χρησιμοποιείται για αντικεραυνική προστασία φαίνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα.

## **B9. Αποτίμηση κινδύνου από πλήγμα κεραυνού**

Απόλυτη προστασία έναντι πληγμάτων κεραυνού μπορεί να εξασφαλισθεί μόνο εσωκλείοντας πλήρως την υπό προστασία κατασκευή εντός ενός κελύφους με παχιά μεταλλικά τοιχώματα (κλωβός Faraday). Αν και η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για τη προστασία ευαίσθητων ηλεκτρονικών διατάξεων όπου απαιτείται αδιάλειπτη και απρόσκοπτη λειτουργία το ιδανικό αυτό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας είναι πρακτικά αδύνατο να υλοποιηθεί στις περισσότερες περιπτώσεις προστασίας



κατασκευών. Ο σχεδιασμός ενός ΣΑΠ μιας κατασκευής είναι πάντα ένας συμβιβασμός μεταξύ της αποτελεσματικότητας της προστασίας που αυτό παρέχει και του κόστους επένδυσης και συντήρησης του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που το συνιστά. Ένα τέτοιο σύστημα δε μπορεί ποτέ να εξασφαλίσει την απόλυτη προστασία της κατασκευής ωστόσο μπορεί να μειώσει σε αποδεκτό βαθμό τις επιζήμιες επιπτώσεις του κεραυνού σ' αυτήν. Γι' αυτό το λόγο ο σχεδιασμός ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας μιας κατασκευής συνιστάται στην επιλογή της αποδεκτής στάθμης προστασίας.

## **B10. Στάθμες προστασίας**

Η στάθμη προστασίας ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας σχετίζεται με την πιθανότητα με την οποία αυτό προστατεύει ένα χώρο από τις επιπτώσεις του κεραυνού, διαμορφώνει τα χαρακτηριστικά του όπως τις διαστάσεις του και κατατάσσει το ΣΑΠ σύμφωνα με την αποτελεσματικότητά του. Η σχέση μεταξύ της στάθμης και της αποτελεσματικότητας του ΣΑΠ δίνεται στο παρακάτω πίνακα 1.

### **Πίνακας B1: Αποτελεσματικότητα επιπέδων προστασίας**

Επίπεδο προστασίας	Αποτελεσματικότητα
I	0.98
II	0.95
III	0.90
IV	0.80

Η αποτελεσματικότητα του ΣΑΠ μειώνεται πηγαίνοντας από τη στάθμη προστασίας I στη στάθμη προστασίας IV. Σε κάθε στάθμη προστασίας αντιστοιχούν ανώτατα όρια τιμών των παραμέτρων του κεραυνού οι οποίες έχουν συγκεκριμένη πιθανότητα να μη ξεπεραστούν (πίνακας B1).

**Πίνακας Β2:** Τιμές των παραμέτρων του κεραυνού ανάλογα με τη στάθμη προστασίας

			Στάθμη προστασίας		
Παράμετροι κεραυνού	Σύμβολο	Μονάδα μέτρησης	I	II	III - IV
			Μέγιστη τιμή ρεύματος	I	kA
Ολικό φορτίο	Qtotal	C	300	225	150
Κρουστικό φορτίο	Qimpulse	C	100	75	50
Ειδική ενέργεια	SE	kJ/Ω	10000	5600	2500
Μέση κλίση	di/dt	kA/μs	200	150	100

Παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας είναι οι διαστάσεις της εγκατάστασης, η τοποθεσία της και το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο η κατασκευή. Επίσης είναι η κατηγορία στην οποία κατατάσσεται η εγκατάσταση ανάλογα με τη χρήση της και τις συνέπειες τις οποίες θα έχει η καταστροφή της στον ανθρώπινο Παράγοντα και στο περιβάλλον καθώς επίσης και η κεραυνική δραστηριότητα που αναπτύσσεται στη περιοχή που βρίσκεται εγκατάσταση. Αναλυτικότερα για την επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας απαιτείται η γνώση της συχνότητας άμεσων κεραυνικών πληγμάτων της εγκατάστασης καθώς και της αποδεκτής συχνότητας κεραυνικών πληγμάτων της εγκατάστασης.

### **B11. Συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή**

Η συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή  $N_d$  εκφράζει το μέσο αριθμό άμεσων κεραυνικών πληγμάτων που μπορούν να συμβούν σε μια κατασκευή ανά έτος και μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$N_d = N_g * A_e * 10^{-6} \text{ πλήγματα κεραυνού ανά έτος}$$

όπου,

$N_g$  : η μέση ετήσια πυκνότητα τοπικής πτώσης κεραυνού ανά  $km^2$

$A_e$  : η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια της κατασκευής

### **B11.1 Εναλλακτική μέθοδος υπολογισμού του $N_d$**

$N_d = N_g * A_d * C_d * 10^{-6}$  πλήγματα κεραυνού ανά έτος

όπου,

$N_d$  : ο μέσος ετήσιος αριθμός άμεσων πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος

$N_g$  : η μέση ετήσια πυκνότητα τοπικής πτώσης κεραυνού ανά  $km^2$

$A_d$  : η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια άμεσων πληγμάτων κεραυνού στην εγκατάσταση

$C_d$  : ο περιβαλλοντικός παράγοντας. Κατάλληλες τιμές είναι  $C_d=1$  σε επίπεδο εδάφους και

$C_d=2$  σε λόφο ή ύψωμα.

Στο παρακάτω πίνακα B3 υπάρχουν αναλυτικά οι τιμές που μπορεί να πάρει το  $C_d$ .

**Πίνακας Β3:** Τιμές που μπορεί να πάρει το Cd

Θέση της κατασκευής	C <sub>e</sub>
Κατασκευή ευρισκόμενη σε περιοχή με άλλες κατασκευές ή δένδρα του ίδιου ή μεγαλύτερου ύψους.	0.25
κατασκευή περιβαλλόμενη από άλλες μικρότερες κατασκευές	0.5
Απομονωμένη κατασκευή (δεν υπάρχουν άλλα κτίσματα σε απόσταση 3H απο την κατασκευή)	1
Απομονωμένη κατασκευή στην κορυφή ενός λόφου	2

**B12. Υπολογισμός της μέσης ετήσιας πυκνότητας πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος (Ng)**

Η μέση ετήσια πυκνότητα πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος καθορίζεται με μετρήσεις μέσω δικτύου καταγραφής κεραυνών, ωστόσο σύμφωνα με την IEC εάν η ακριβής τιμή δεν είναι διαθέσιμη αυτή μπορεί να εκτιμηθεί προσεγγιστικά από την παρακάτω εξίσωση:

$$Ng = 0,04 * Td^{1,25} \text{ πλήγματα κεραυνού ανά km}^2 \text{ και έτος}$$

όπου,

Ng : η μέση ετήσια πυκνότητα τοπικής πτώσης κεραυνού ανά km<sup>2</sup>

Td : ο αριθμός των ημερών καταιγίδας ανά έτος (από ισοκεραυνικό χάρτη)

Ως ημέρα καταιγίδας για μια συγκεκριμένη περιοχή ορίζεται η ημέρα για την οποία στη περιοχή αυτή έχει γίνει αντιληπτός ο θόρυβος της βροντής και έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο της αστραπής δηλαδή του κεραυνού. Γι' αυτό για να βρούμε τον αριθμό Td ανατρέχουμε στον ισοκεραυνικό χάρτη και πιο συγκεκριμένα στον ισοκεραυνικό χάρτη της περιοχής.

Σημαντικό στοιχείο είναι ότι και η δημοσίευση μετεωρολογικών δεδομένων ωρών καταιγίδας αντί ημερών ανά έτος και η συσχέτισή τους με την πυκνότητα πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος:

$$N_g = 0,054 * T_h^{1,1} \text{ πλήγματα κεραυνού ανά km}^2 \text{ και έτος}$$

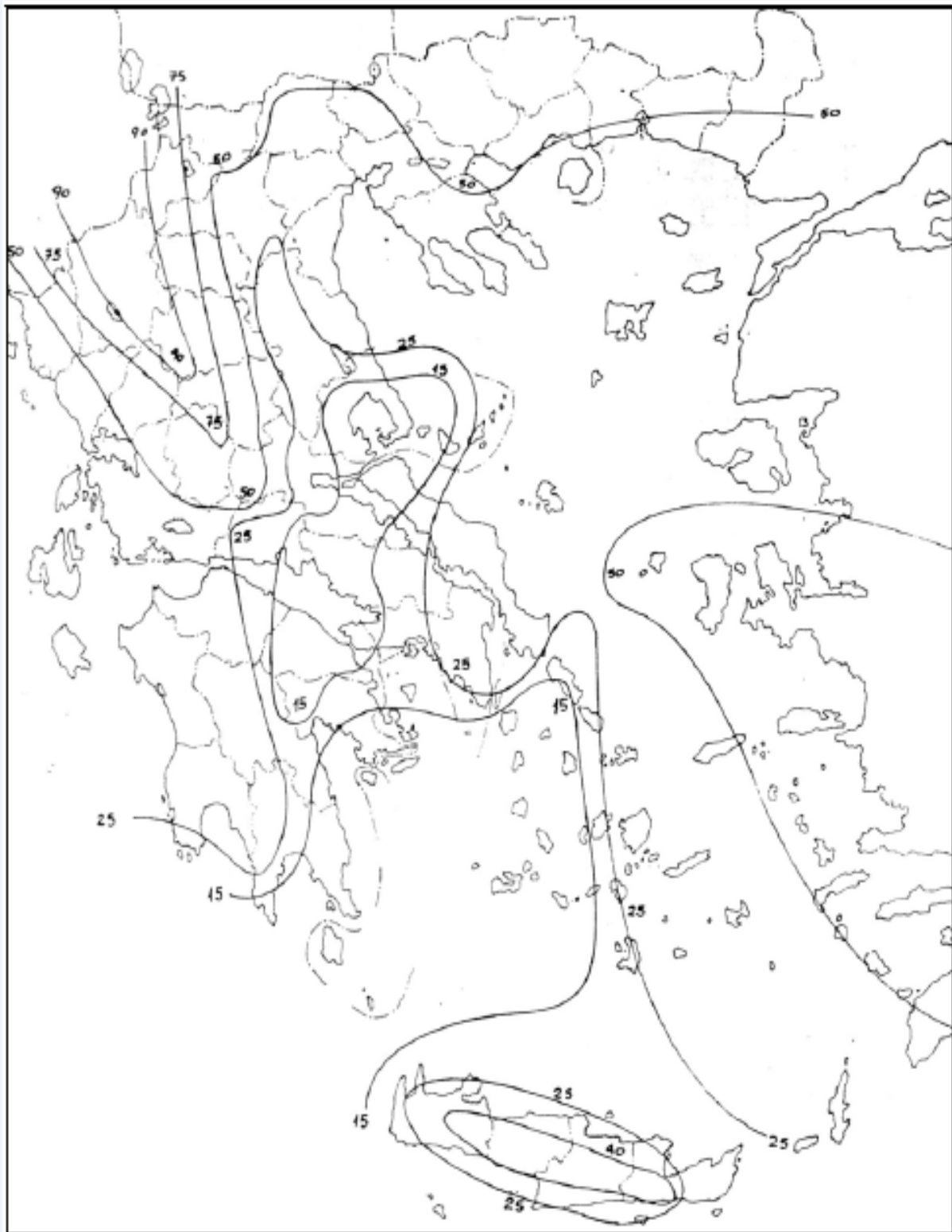
Έδειξε ότι σε περιοχές μικρής κεραυνικής δραστηριότητας η πυκνότητα πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος υπολογισμένη με βάση τις ημέρες καταιγίδας είναι περίπου διπλάσια από την αντίστοιχη υπολογισμένη με βάση τις ώρες καταιγίδας ανά έτος. Γι' αυτό για να έχουμε σωστό υπολογισμό της  $N_g$  θα πρέπει να γνωρίζουμε τη χρονική διάρκεια των καταιγίδων.

### **B13. Ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια της κατασκευής**

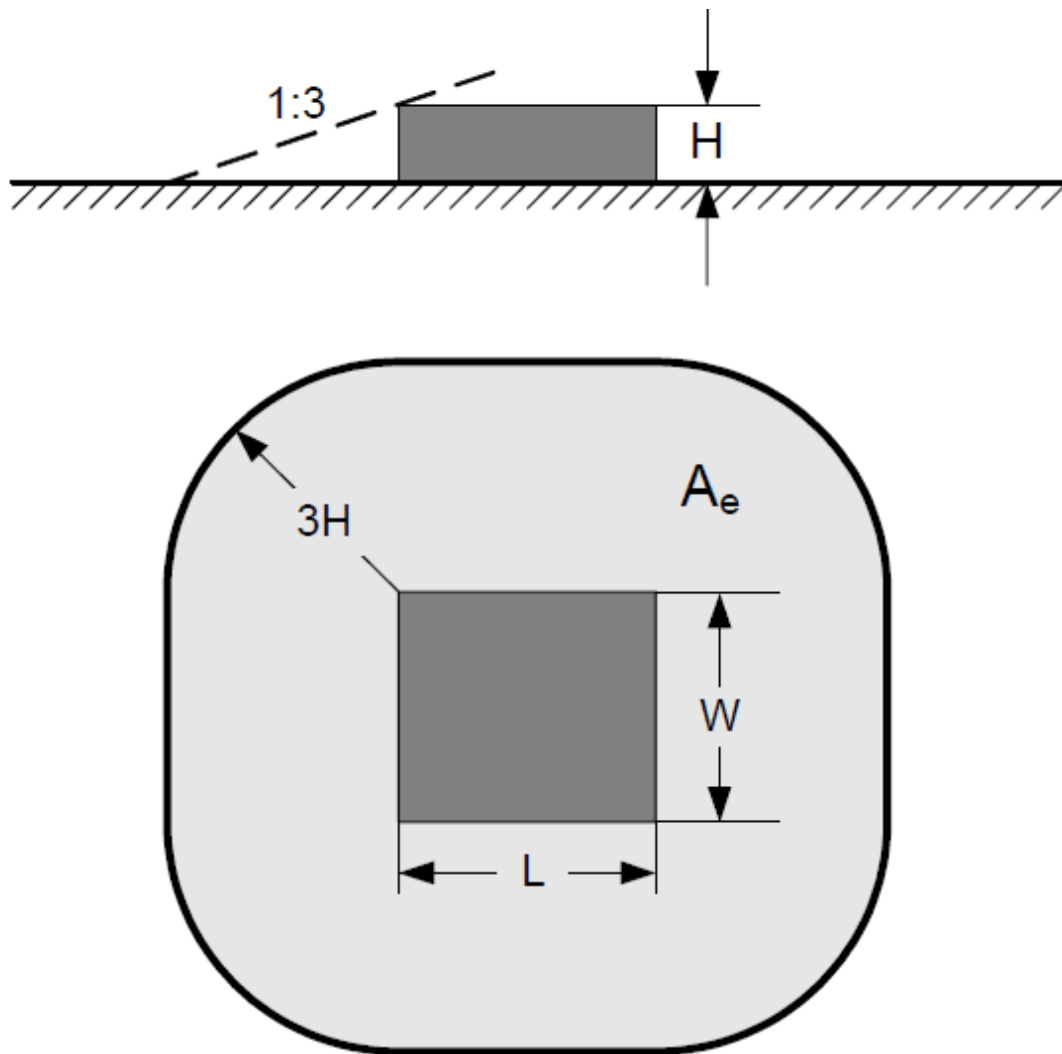
Για απομονωμένες περιοχές η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια είναι η επιφάνεια που περικλείεται από το περίγραμμα που προκύπτει από τη τομή της επιφάνειας του εδάφους και μίας ευθείας γραμμής με κλίση 1/3 η οποία διέρχεται από τα υψηλότερα τμήματα της κατασκευής και περιστρεφόμενη γύρω από αυτή. Για μια απομονωμένη ορθογώνια κατασκευή μήκους  $L$ , πλάτους  $W$  και ύψους  $H$  η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση:

$$A_e = LW + 6H(L+W) + 9\pi H^2, \text{ σε m}^2$$

Καλό είναι να αναφέρουμε ότι η ελάχιστη τιμή της ισοδύναμης συλλεκτήριας επιφάνειας σε κάθε περίπτωση δε μπορεί να είναι μικρότερη από το εμβαδόν της κάτοψης της κατασκευής.



**Εικόνα Β4:** Ισοκεραυνικός χάρτης της Ελλάδας



**Εικόνα Β5:** Ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια για κατασκευή σε επίπεδο έδαφος

#### **Β14. Αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή**

Η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων για μια κατασκευή  $N_c$  εκφράζει τη μέγιστη αποδεκτή τιμή του αριθμού άμεσων κεραυνικών πληγμάτων που μπορούν να συμβούν σε μία κατασκευή ανά έτος και μπορούν να προκαλέσουν ζημιά. Η τιμή του  $N_c$  μπορεί να εκτιμηθεί μέσω μελέτης αποτίμησης κινδύνου από πλήγμα κεραυνού λαμβάνοντας υπόψη κατάλληλους συντελεστές όπως είναι ο τύπος δόμησης, η παρουσία εύφλεκτων και εκρηκτικών ουσιών, ληφθέντα μέτρα για μείωση των επιπτώσεων του πλήγματος, πλήθος ανθρώπων που επηρεάζονται από

τη καταστροφή, τύπος και σπουδαιότητα υπηρεσιών εξυπηρέτησης του κοινού που επηρεάζονται, αξία των αγαθών που ενδεχομένως καταστραφούν, άλλους συντελεστές. Η συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή K που βγαίνει από το γινόμενο συντελεστών που λαμβάνουν υπόψη τους τη χρήση του κτιρίου και τον αριθμό των ανθρώπων που στεγάζει (συντελεστής A), τα υλικά κατασκευής του κτιρίου (συντελεστής B), το περιεχόμενο του κτιρίου (συντελεστής C), το βαθμό απομόνωσης του κτιρίου (συντελεστής D) και τη μορφολογία του εδάφους (συντελεστής E). Παρακάτω αναφέρονται οι τιμές που παίρνουν οι παραπάνω συντελεστές.

<b>Συντελεστής A: χρήση του κτιρίου</b>	
κατοικίες και άλλες κατασκευές συγκρίσιμου μεγέθους	0.3
κατοικίες και άλλες κατασκευές συγκρίσιμου μεγέθους με κεραίες	0.7
εργοστάσια, συνεργεία, εργαστήρια	1.0
κτίρια γραφείων, ξενοδοχεία, πολυκατοικίες	1.2
κτίρια με κόσμο όπως εκκλησίες, θέατρα, μουσεία, εκθεσιακοί χώροι, πολυκαταστήματα, σταθμοί, αεροδρόμια και στάδια	1.3
σχολεία, νοσοκομεία, φυλακές, οικοτροφεία	1.7

<b>Συντελεστής B: υλικά κατασκευής του κτιρίου</b>	
κτίρια χαλύβδινου σκελετού ή οπλισμένου σκυροδέματος ενδοσυνδεδεμένου χαλύβδινου οπλισμού και με μεταλλική σκεπή	0.1
κτίρια χαλύβδινου σκελετού χωρίς μεταλλική σκεπή	0.2
κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος ενδοσυνδεδεμένου χαλύβδινου οπλισμού χωρίς μεταλλική σκεπή	0.4
κτίρια από τούβλα, απλό τσιμέντο, πέτρα χωρίς μεταλλική ή ξύλινη σκεπή	1.0
κτίρια ξύλινου σκελετού χωρίς μεταλλική σκεπή	1.4
κτίρια από τούβλα, τσιμέντο, πέτρα, ξύλινου σκελετού με μεταλλική σκεπή	1.7
κτίρια με ξύλινη σκεπή	2.0



<b>Συντελεστής C: περιεχόμενο του κτιρίου</b>	
κοινές κατοικίες ή κτίρια γραφείων, εργοστάσια και συνεργεία με περιεχόμενο μικρής αξίας ή μη επιρρεπές και ευαίσθητο	0.3
Βιομηχανικά και αγροτικά κτίρια με επιρρεπές, ευαίσθητο περιεχόμενο	0.8
σταθμοί παραγωγής ενέργειας, εγκαταστάσεις φυσικού αερίου, τηλεπικοινωνιακά κέντρα, ραδιοφωνικοί σταθμοί	1.0
βιομηχανικές εγκαταστάσεις ιδιαίτερης σημασίας, αρχαία μνημεία και ιστορικά κτίρια, μουσεία, εκθεσιακοί χώροι τέχνης ή άλλα κτίρια με επιρρεπές, ευαίσθητο περιεχόμενο	1.3
σχολεία, νοσοκομεία, φυλακές, οικοτροφεία, κτίρια με κόσμο	1.7

<b>Συντελεστής D: βαθμός απομόνωσης του κτιρίου</b>	
κατασκευή σε περιοχή πυκνής δόμησης ή με πολλά δέντρα παρόμοιου ή μεγαλύτερου ύψους όπως σε μεγάλη πόλη ή σε δάσος.	0.4
κατασκευή σε περιοχή αραιής δόμησης ή με λίγα δέντρα παρόμοιου ύψους	1.0
κατασκευή πλήρως απομονωμένη ή ύψους τουλάχιστον διπλάσιου των γειτονικών κατασκευών ή δέντρων	2.0

<b>Συντελεστής E: μορφολογία του εδάφους</b>	
πεδινή περιοχή ανεξάρτητα του υψομέτρου	0.3
λοφώδης περιοχή	1.0
ορεινή περιοχή μεταξύ 300 m και 900 m	1.3
ορεινή περιοχή μεταξύ 900 m και 1500 m	1.7
ορεινή περιοχή 1500 m και άνω	2.0

Δηλαδή για το Nd' έχουμε:

$$Nd' = Nd * A * B * C * D * E$$

Για το Nc ισχύει ο παρακάτω πίνακας 2.4.

**Πίνακας Β4:** Τιμές που μπορεί να πάρει το  $N_c$

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	ΤΥΠΟΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΕΡΑΥΝΩΝ	$N_c$
ΚΟΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	Κατοικίες	Καταστροφή των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, πυρκαγιά και βλάβες υλικών. Ζημιές περιοριζόμενες στα αντικείμενα που βρίσκονται στο σημείο του πλήγματος ή του δρόμου του κεραυνού.	$5.10^{-3}$
	Αγροκτήματα	Πρωταρχικός κίνδυνος πυρκαγιάς και επικίνδυνες δηματικές τάσεις. Δευτερευόν κίνδυνος λόγω διακοπής ηλεκτρικού ρεύματος και κίνδυνος της ζωής των ζώων λόγω απώλειας του ηλεκτρονικού ελέγχου, εξαιρισμού, συστήματος τροφοδοσίας κλπ.	$1.10^{-3}$
	Θέατρο-Σχολείο-Κατάστημα-Γυμναστήριο	Βλάβη στην ηλεκτρική τροφοδότηση και ενδεχόμενη αιτία πανικού. Απώλεια της σήμανσης πυρκαγιάς με καθυστερημένη αντίδραση	$5.10^{-4}$
	Τράπεζα-Εμπορική ή ασφαλιστική εταιρία-Νοσοκομείο-Φυσικοθεραπευτήριο-Φυλακές.	Όπως πιο πάνω και επι πλέον προβλήματα από την απώλεια επικοινωνίας αστοχία υπολογιστών και απώλεια δεδομένων. Όπως πιο πάνω και επι πλέον προβλήματα εντατικής φροντίδας και δυσκολίας ακίνητων ασθενών.	$5.10^{-4}$
	Βιομηχανικά Συγκροτήματα Μουσεία και αρχαιολογικοί χώροι.	Επιπρόσθετα αποτελέσματα εξαρτώμενα από τα περιεχόμενα στις βιομηχανίες, μεταβάλλοντας τις βλάβες σε μη αποδεκτές ή απώλεια παραγωγής. Απώλεια της αναγκαίας πολιτιστικής κληρονομιάς.	$1.10^{-4}$
Κατασκευές με περιορισμένους κινδύνους	Τηλεπικοινωνίες-εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής ή με κίνδυνο πυρκαγιάς	Μη αποδεκτή απώλεια εξυπηρέτησης του πληθυσμού για μικρή ή μεγάλη χρονική περίοδο. Συνεπακόλουθοι κίνδυνοι στο γειτονικό περιβάλλον προκαλούμενοι από πυρκαγιά κλπ.	$5.10^{-5}$
Κατασκευές επικίνδυνες για το γειτονικό περιβάλλον	Διυλιστήρια-αποθήκες καυσίμων, εργοστάσια πυροτεχνημάτων, πολεμοφοδίων.	Συνεπακόλουθη πυρκαγιά και έκρηξη στο εργοστάσιο και τον περιβάλλοντα χώρο.	$1.10^{-6}$
Κατασκευές επικίνδυνες για το περιβάλλον	Χημικά ή Πυρηνικά Εργοστάσια, Βιοχημικά εργαστήρια ή εργοστάσια	Πυρκαγιά και ανεξέλεγκτη λειτουργία του εργοστασίου με διαδερές συνέπειες στο τοπικό και γενικό περιβάλλον.	$1.10^{-7}$

### B15. Αναγκαιότητα του ΣΑΠ και επιλογή της στάθμης προστασίας

Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε αν μια εγκατάσταση χρήζει κάποιου συστήματος αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να γίνει σύγκριση κάποιων δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα είναι η σύγκριση της συχνότητας άμεσων κεραυνικών πληγμάτων της κατασκευής  $N_d$  καθώς και της αποδεκτής συχνότητας κεραυνικών πληγμάτων της κατασκευής από κεραυνούς  $N_c$ . Συνοπτικότερα έχουμε:

Στη περίπτωση που έχουμε  $N_d' \leq N_c$  τότε δεν χρειάζεται ΣΑΠ.

Στη περίπτωση που έχουμε  $N_d' > N_c$  τότε πρέπει να εγκατασταθεί ΣΑΠ αποτελεσματικότητας:

Και να επιλεγεί η αποδεκτή στάθμη προστασίας σύμφωνα με το πίνακα 5.

**Πίνακας Β5:** Αποτελεσματικότητα σταθμών προστασίας ΣΑΠ

Αποτελεσματικότητα ΣΑΠ	Στάθμη Προστασίας ΣΑΠ
$E > 0.98$	I + επιπλέον μέτρα προστασίας
$0.95 < E \leq 0.98$	I
$0.90 < E \leq 0.95$	II
$0.80 < E \leq 0.90$	III
$0 < E \leq 0.80$	IV

Ουσιαστικά η αποτελεσματικότητα ενός ΣΑΠ πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του πίνακα Β5, όμως αν εγκατασταθεί ΣΑΠ αποτελεσματικότητας  $E > 0.98$  ή  $E' < E$  απαιτείται να ληφθούν επιπλέον μέτρα προστασίας όπως μέτρα περιορισμού των βηματικών τάσεων και των τάσεων επαφής, μέτρα περιορισμού της διάδοσης της φωτιάς και μέτρα μείωσης των επαγόμενων τάσεων λόγω κεραυνών σε ευαίσθητες συσκευές.

#### **Β16. Εγκατάσταση συστήματος αντικεραυνικής προστασίας**

Ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας αποτελείται από το εσωτερικό και το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Τα δύο αυτά συστήματα (εσωτερικό και εξωτερικό) χρησιμοποιούνται ή ξεχωριστά ή σε συνδυασμό ανάλογα με τη προστασία που χρειάζεται. Η εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας

(εξωτερική ΕΑΠ) σκοπό έχει να συλλάβει το κεραυνό πριν πλήξει την υπό προστασία περιοχή και να διοχετεύσει το ρεύμα με ασφάλεια στο έδαφος περιορίζοντας στο ελάχιστο τις θερμικές και μηχανικές επιδράσεις του. Η εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας (εσωτερική ΕΑΠ) να προστατέψει το εσωτερικό της εγκατάστασης και να μειώσει στο ελάχιστο τις ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού.

## **B17. Εξωτερική ΕΑΠ**

Η εξωτερική ΕΑΠ αποτελείται από:

- Το συλλεκτήριο σύστημα που προορίζεται να δέχεται τους κεραυνούς.
- Το σύστημα αγωγών καθόδου το οποίο εξασφαλίζει την όδευση του ρεύματος του κεραυνού από το συλλεκτήριο σύστημα προς τη γη.
- Το σύστημα γείωσης που άγει και διαχέει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος. Επίσης ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης του συλλεκτήριου συστήματος και του συστήματος των αγωγών καθόδου σε σχέση με τη κατασκευή που χρήζει προστασίας διακρίνεται σε δύο τύπους:
- Τη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ, όπου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα των αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού να μην έρχεται σε επαφή με την κατασκευή.
- Τη μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ, όπου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα των αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού να μπορεί να έρχεται σε επαφή με τη κατασκευή.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η εξωτερική ΕΑΠ μπορεί να είναι σε επαφή με την κατασκευή που χρήζει προστασίας. Μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ πρέπει να εγκαθίσταται όταν οι θερμικές επιπτώσεις στο σημείο πλήγματος ή στους αγωγούς που διαρρέονται από ρεύμα κεραυνού μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στη κατασκευή που χρήζει προστασία ή στο περιεχόμενό της. Τυπικές περιπτώσεις είναι κατασκευές με εύφλεκτη επικάλυψη, εύφλεκτοι τοίχοι και χώροι με κίνδυνο έκρηξης ή πυρκαγιάς.

## **B18. Συλλεκτήριο σύστημα**

Συλλεκτήριο σύστημα ορίζεται το τμήμα της εξωτερικής ΕΑΠ που προορίζεται να δέχεται τους κεραυνούς. Η σχεδίασή του εξαρτάται από τη γεωμετρία της κατασκευής που χρήζει προστασία, την απαιτούμενη στάθμη προστασίας καθώς και τη μέθοδο που λήφθηκε υπόψη για το καθορισμό της ζώνης προστασίας. Το συλλεκτήριο σύστημα μπορεί να αποτελείται από οποιοδήποτε συνδυασμό στοιχείων όπως ράβδοι, τεταμένα σύρματα ή πλέγματα αγωγών. Ο σχεδιασμός του συλλεκτήριου συστήματος του ΣΑΠ είναι κατάλληλος εάν η κατασκευή που χρήζει προστασίας βρίσκεται εξ' ολοκλήρου μέσα στη ζώνη προστασίας που αυτό παρέχει.

## **B19. Ζώνη προστασίας**

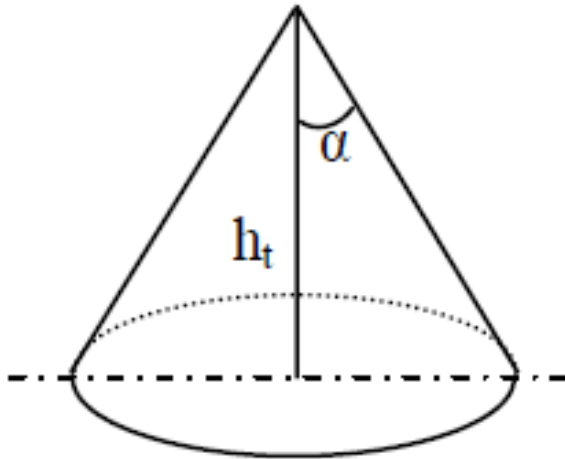
Για τον προσδιορισμό της ζώνης προστασίας που παρέχει το συλλεκτήριο σύστημα ενός ΣΑΠ χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις μέθοδοι:

- Η μέθοδος της γωνίας προστασίας
- Η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας
- Η μέθοδος πλέγματος αγωγών

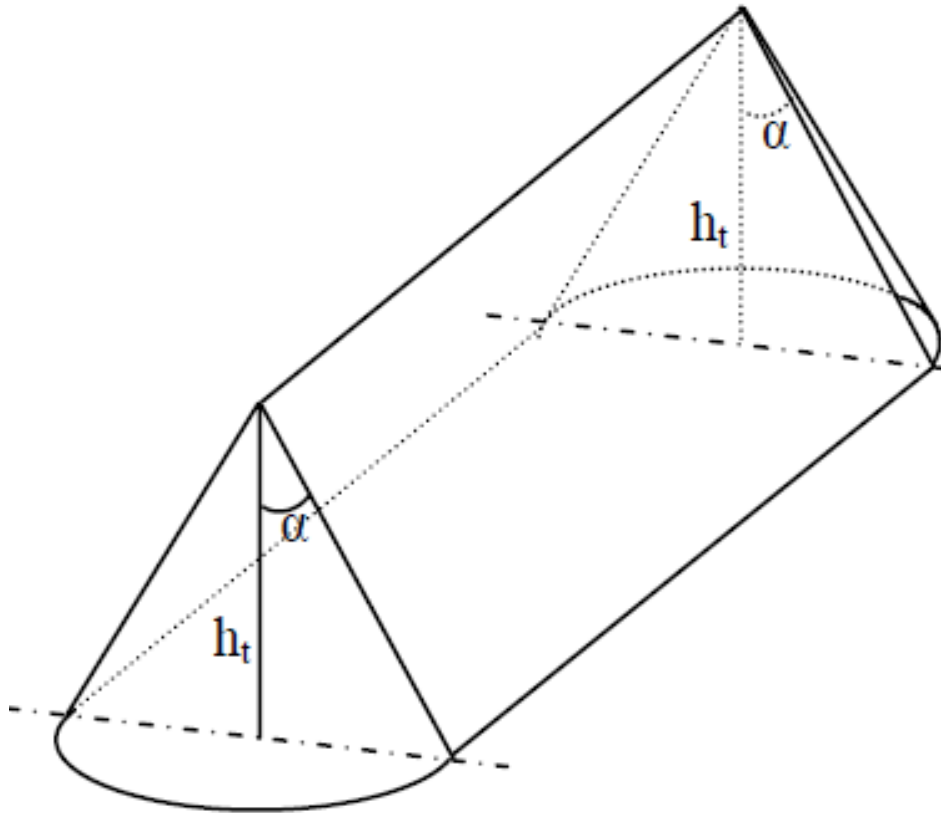
Για τα περισσότερα κτίρια απλής μορφής η μέθοδος της γωνίας προστασίας είναι πιο εύχρηστη, αλλά για σύνθετες μορφές συνιστάται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας. Η μέθοδος πλέγματος αγωγών χρησιμοποιείται για να προστατέψει επίπεδες επιφάνειες.

### B19.1 Μέθοδος της γωνίας προστάσις

Με τη μέθοδο της γωνίας προστάσις η ζώνη προστάσις μίας κατακόρυφης ράβδου ύψους  $h_t$  έχει τη μορφή ενός ορθού κυκλικού κώνου με κορυφή την απόληξη της ράβδου. Παρακάτω υπάρχουν δύο τρόποι συλλεκτηρίου συστήματος με τη μέθοδο της γωνίας προστάσις.



**Εικόνα B6:** Ζώνη προστάσις συλλεκτήριου συστήματος με τη μέθοδο της γωνίας προστάσις με κατακόρυφη ράβδο.



**Εικόνα B7:** Ζώνη προστασίας συλλεκτήριου συστήματος με τη μέθοδο της γωνίας προστασίας με τεταμένο σύρμα.

Η ημιγωνία κορυφής  $\alpha$  του κώνου προστασίας λαμβάνει τιμές οι οποίες αναγράφονται στο παρακάτω πίνακα B5 και εξαρτάται από την απαιτούμενη στάθμη προστασίας και το ύψος  $h$  πάνω από την επιφάνεια που χρήζει προστασίας. Η μέθοδος της γωνίας προστασίας έχει γεωμετρικούς περιορισμούς, συνιστάται για τον προσδιορισμό της ζώνης προστασίας σε κατασκευές απλής σχετικά γεωμετρίας και δεν επιτρέπεται να εφαρμόζεται εάν το ύψος  $h$  είναι μεγαλύτερο από την ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας.

**Πίνακας Β6:** Τιμές που παίρνει η ημιγωνία  $\alpha$

Στάθμη Προστασίας	$h$ (m) $R$ (m)	20	30	45	60	Διάσταση πλέγματος (m)
		$\alpha^{(o)}$	$\alpha^{(o)}$	$\alpha^{(o)}$	$\alpha^{(o)}$	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

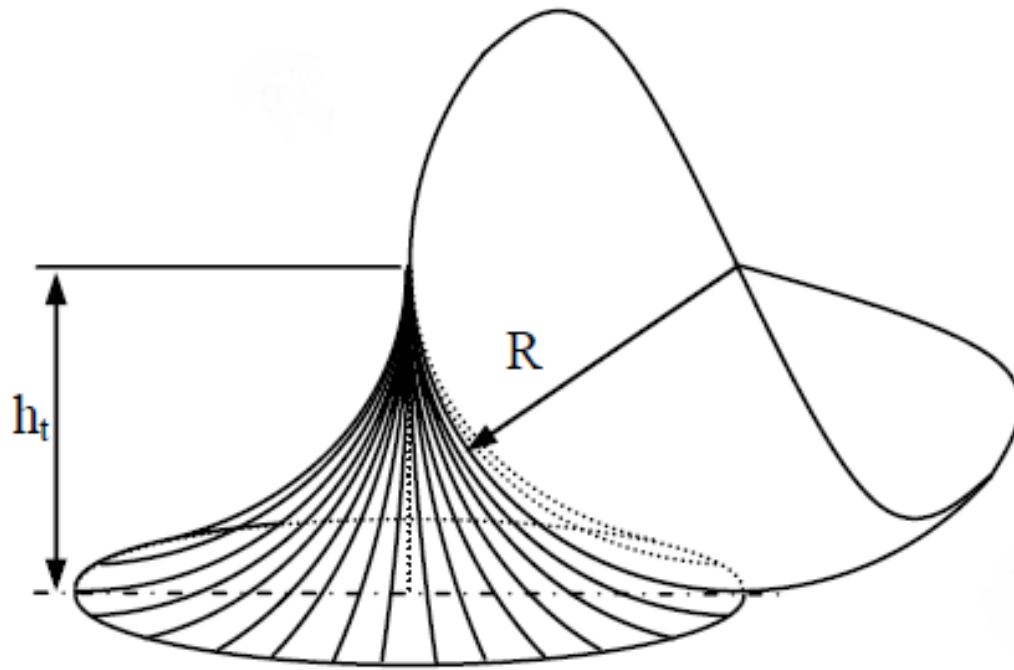
\* Σ' αυτές τις περιπτώσεις εφαρμόζονται οι μέθοδοι της κυλιόμενης σφαίρας και πλέγματος αγωγών.

### **B19.2 Μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας**

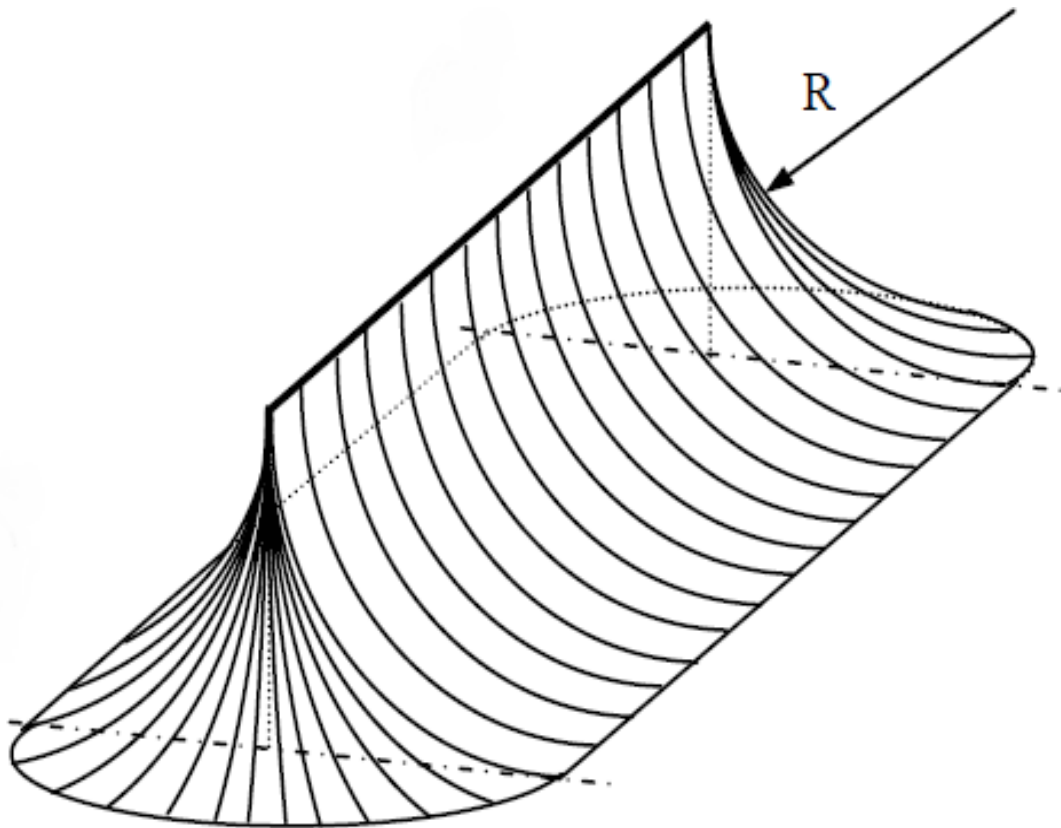
Με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας ο σχεδιασμός του συλλεκτήριου συστήματος είναι κατάλληλος εάν κανένα σημείο της κατασκευής που χρήζει προστασίας δεν έρχεται σε επαφή με μία σφαίρα ακτίνας  $R$  εξαρτώμενης από τη στάθμη προστασίας που κυλιέται στο έδαφος γύρω από τη κορυφή της κατασκευής προς όλες τις διευθύνσεις. Κατά την κύλισή της η σφαίρα πρέπει να εφάπτεται μόνο στο έδαφος ή μόνο στο συλλεκτήριο σύστημα ή και στα δύο, και τα σημεία που αυτή δεν αγγίζει είναι προστατευμένα. Επομένως συλλεκτήριοι αγωγοί πρέπει να εγκαθίστανται σε όλα τα σημεία επαφής της κυλιόμενης σφαίρας με την κατασκευή που χρήζει προστασία.

Παράδειγμα σχεδίασης ζώνης προστασίας συλλεκτηρίου συστήματος με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας υπάρχει στο παρακάτω σχήμα.





**Εικόνα Β8:** Ζώνη προστασίας συλλεκτήριου συστήματος με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας όπου  $R > h_t$  με κατακόρυφη ράβδο



**Εικόνα Β9:** Ζώνη προστασίας συλλεκτήριου συστήματος με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας όπου  $R > ht$  με τεταμένο σύρμα.

Αν είχαμε την περίπτωση δύο παράλληλων τεταμένων συρμάτων εγκατεστημένων σε ύψος  $h$  πάνω από την επιφάνεια αναφοράς και σε απόσταση  $d$  μεταξύ τους, ή δύο ράβδων ύψους  $h$  η απόσταση εισχώρησης της κυλιόμενης σφαίρας ακτίνας  $R$  εντός του χώρου μεταξύ των συρμάτων ή των ράβδων μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

Η παραπάνω σχέση ισχύει και στη περίπτωση τεσσάρων κατακόρυφων ράβδων ίσου ύψους  $h$  τοποθετημένες στις γωνίες μιας τετράγωνης επιφάνειας όπου η απόσταση  $d$  είναι ίση με τη διαγώνιο του σχηματιζόμενου τετραγώνου από τις τέσσερις ράβδους. Η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας εφαρμόζεται στον καθορισμό της ζώνης προστασίας τμημάτων ή και περιοχών μιας κατασκευής πολύπλοκης γεωμετρίας ή στις περιπτώσεις όπου πίνακας 5 αποκλείει την εφαρμογή της μεθόδου γωνίας προστασίας.

### **B19.3. Μέθοδος πλέγματος αγωγών**

Με τη μέθοδο του πλέγματος αγωγών θεωρούμε ότι εξασφαλίζεται η προστασία ολόκληρης της επιφάνειας εάν ικανοποιούνται τα παρακάτω:

- Οι αγωγοί του συλλεκτήριου συστήματος τοποθετούνται:

Πάνω στις ακμές της οροφής.

Πάνω στις προεξοχές της οροφής.

Πάνω στις γραμμές της τομής των κεκλιμένων επιφανειών της οροφής εφόσον η κλίση υπερβαίνει το 1/10.

- Οι πλευρικές επιφάνειες της κατασκευής σε ύψος μεγαλύτερο από τη τιμή τα

επιλεγείσας ακτίνας της κυλιόμενης σφαίρας εφοδιάζονται με συλλεκτήρια συστήματα.

- Οι διαστάσεις του πλέγματος δεν είναι μεγαλύτερες από τις τιμές που δίνονται στο πίνακα Β6.

- Καμία μεταλλική εγκατάσταση δεν προεξέχει του προστατευόμενου χώρου από τα συλλεκτήρια συστήματα.

- Οι αγωγοί του συλλεκτήριου συστήματος ακολουθούν όσο το δυνατόν σύντομες και ευθείες οδεύσεις.

- Το δίκτυο του συλλεκτήριου συστήματος πρέπει να διαμορφώνεται με τέτοιο

τρόπο ώστε το ρεύμα του κεραυνού να συναντά τουλάχιστον δύο χωριστές μεταλλικές οδεύσεις προς το σύστημα γείωσης.

## **B20. Στοιχεία που αποτελούν το συλλεκτήριο σύστημα**

Τα στοιχεία που μπορούν να αποτελέσουν στοιχεία συλλεκτήριου συστήματος είναι 2 τα τεχνητά και τα φυσικά.

- Τεχνητά στοιχεία που αποτελούν το συλλεκτήριο σύστημα Οι ράβδοι, τα τεταμένα σύρματα και το πλέγμα αγωγών θεωρούνται στοιχεία ισοδύναμα μεταξύ τους. Ο σχεδιασμός του συλλεκτήριου συστήματος του ΣΑΠ μπορεί να γίνει με οποιαδήποτε από τα παραπάνω στοιχεία. Ακόμα και με το συνδυασμό τους μπορεί να γίνει ένα πολύ δυνατό συλλεκτήριο σύστημα. Αναλυτικότερα η χρήση ράβδων προτείνεται σε ΣΑΠ μονωμένης εξωτερικής εγκατάστασης αντικεραυνικής προστασίας για την προστασία απλών κατασκευών μικρών διαστάσεων ή μικρών τμημάτων μεγάλων κατασκευών ενώ δεν προτείνεται όταν το ύψος της κατασκευής είναι μεγαλύτερο από την ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας σύμφωνα με την επιλεγείσα στάθμη προστασίας. Από την άλλη η χρήση τεταμένων συρμάτων προτείνεται και για

τις προηγούμενες περιπτώσεις αλλά και επιπλέον σε κατασκευές όπου ο λόγος μήκους προς πλάτος είναι μεγαλύτερος από 4.

- Φυσικά στοιχεία που αποτελούν το συλλεκτήριο σύστημα Εκτός από τα τεχνητά στοιχεία που αποτελούν το συλλεκτήριο σύστημα υπάρχουν και τα φυσικά. Φυσικά ονομάζονται εκείνα τα στοιχεία που είναι μη εγκατεστημένο συγκεκριμένα για αντικεραυνική προστασία αλλά εξαιτίας από το υλικό που είναι κατασκευασμένο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιπρόσθετα και ως στοιχείο του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Μεταλλικά τμήματα μιας κατασκευής που μπορούν να αποτελέσουν φυσικά συλλεκτήρια στοιχεία είναι:

1. Μεταλλικά φύλλα που καλύπτουν τη κατασκευή υπό κάποιες προϋποθέσεις.

2. Μεταλλικά στοιχεία της κατασκευής της οροφής που βρίσκονται κάτω από μη μεταλλική οροφή υπό τη προϋπόθεση ότι ο υπερκείμενο τμήμα μπορεί να

εξαιρεθεί από τη κατασκευή που χρήζει προστασία.

3. Μεταλλικά μέρη όπως υδρορροές, διακοσμητικά στοιχεία, κ.α. των οποίων η διατομή δεν είναι μικρότερη από αυτή που καθορίζεται για τα τυποποιημένα

στοιχεία του συλλεκτήριου συστήματος.

4. Μεταλλικοί σωλήνες και δεξαμενές υπό τη προϋπόθεση ότι είναι κατασκευασμένα από υλικό ελάχιστου πάχους 2.5mm και ότι δε θα προκληθεί

κίνδυνος ή οποιαδήποτε ανεπιθύμητη κατάσταση εάν διατρηθούν.

5. Μεταλλικοί σωλήνες και δεξαμενές υπό την προϋπόθεση ότι είναι κατασκευασμένα από υλικά πάχους τουλάχιστον ίσου με τη τιμή  $t$  που δίνεται

στο παρακάτω πίνακα B7 και ότι η ανύψωση της θερμοκρασίας στην εσωτερική επιφάνεια στο σημείο πλήγματος δε συνεπάγεται κάποιο κίνδυνο για ανθρώπινη ζωή ή κάτι άλλο.

**Πίνακας B7:** Ελάχιστο πάχος μεταλλικών φύλλων ή μεταλλικών αγωγών σε συλλεκτήρια συστήματα

Στάθμη Προστασίας	Υλικό	Πάχος $t$ (mm)
I έως IV	Fe	4
	Cu	5
	Al	7

## B21. Σύστημα αγωγών καθόδου

Την απευθείας συνέχεια των στοιχείων του συλλεκτήριου συστήματος αποτελούν οι αγωγοί καθόδου. Κατά την επιλογή του αριθμού και του τρόπου εγκατάστασής τους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι εάν το ρεύμα του κεραυνού επιμερίζεται σε πολλές οδούς όδευσης μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης δευτερογενών υπερπηδησεων και περιορίζονται οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις στο εσωτερικό της κατασκευής. Γι' αυτό το λόγο οι αγωγοί καθόδου πρέπει να κατανέμονται κατά το δυνατόν περιμετρικά

της κατασκευής σε συμμετρική διάταξη. Ακόμη πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε από το σημείο πλήγματος μέχρι τη γη να υπάρχουν αρκετές παράλληλες οδοί ροής του ρεύματος, να εξασφαλίζεται η συντομότερη και συνεχής όδευση του ρεύματος

του κεραυνού προς τη γη κατά το δυνατόν ευθεία και κατακόρυφη όδευση και α γίνονται ισοδυναμικές συνδέσεις. Οι αγωγοί καθόδου όπως και οι συλλεκτήριοι αγωγοί θα πρέπει να στερεώνονται καλά ώστε οι μηχανικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού ή άλλες καταπονήσεις να μην προκαλούν θραύση ή χαλάρωση ων αγωγών. Ο αριθμός των συνδέσεων κατά μήκος των αγωγών πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός.

Επίσης η στιβαρότητα των συνδέσεων πρέπει να εξασφαλίζεται με μεθόδους όπως είναι η μπρουτζοκόλληση, το βίδωμα, η σύσφιξη και η ηλεκτροσυγκόλληση. Η εγκατάσταση των αγωγών καθόδου ανάλογα με διάφορους παράγοντες:

- Εγκατάσταση αγωγών καθόδου με μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ

Στην εγκατάσταση αγωγών καθόδου με μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ ο αριθμός των αγωγών καθόδου εξαρτάται από τα στοιχεία που συνιστούν το συλλεκτήριο σύστημα.

Τα στοιχεία αυτά είναι:

1. Αν το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από ράβδους σε ανεξάρτητους ιστούς ή ένα μόνο ιστό απαιτείται τουλάχιστον ένας αγωγός καθόδου για κάθε ιστό. Σε περίπτωση που οι ιστοί είναι από μέταλλο ή από ενδοσυνδεδεμένο χαλύβδινο οπλισμό δεν είναι αναγκαίος επιπρόσθετος αγωγός καθόδου.
2. Αν το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από ανεξάρτητα τεταμένα σύρματα ή ένα μόνο σύρμα απαιτείται τουλάχιστον ένας αγωγός καθόδου για κάθε άκρο των συρμάτων.
3. Αν το συλλεκτήριο σύστημα συνιστάται από πλέγμα αγωγών απαιτείται τουλάχιστον ένα αγωγός για κάθε κατασκευή στήριξης του πλέγματος.

- Εγκατάσταση αγωγών καθόδου με μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ Για την εγκατάσταση αγωγών καθόδου με μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ που το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από ράβδους ή τεταμένα σύρματα απαιτείται τουλάχιστον ένας αγωγός καθόδου για κάθε ράβδο ή για κάθε άκρο των συρμάτων.

Όταν το συλλεκτήριο συνιστάται από πλέγμα αγωγών οι αγωγοί καθόδου τουλάχιστον δύο τοποθετούνται περιμετρικά της κατασκευής που χρήζει προστασίας

εξασφαλίζοντας ότι η μέση απόσταση μεταξύ τους να μην είναι μεγαλύτερη από τις τιμές του παρακάτω πίνακα Β8. Επιπλέον απαιτείται να γίνεται ισαπέχουσα τοποθέτηση των αγωγών καθόδου επί της περιμέτρου και όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις γωνίες της κατασκευής. Επίσης πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με τη βοήθεια οριζόντιων περιμετρικών δακτυλίων κοντά στη στάθμη του εδάφους καθώς και ανάλογα με τις διαστάσεις της κατασκευής με επιπλέον οριζόντιους περιμετρικούς δακτυλίους σε κατακόρυφα διαστήματα όπως φαίνεται στο πίνακα Β7. Ακόμη συνιστάται η εγκατάσταση των αγωγών καθόδου και των περιμετρικών δακτυλίων να προβλέπει κάποια απόσταση μεταξύ αυτών και κάθε πόρτας ή παραθύρου της κατασκευής.

**Πίνακας Β8:** Μέση απόσταση μεταξύ των αγωγών καθόδου και μεταξύ των περιμετρικών δακτυλίων ανάλογα με τη στάθμη προστασίας

Στάθμη Προστασίας	Μέση απόσταση (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

Η εγκατάσταση των αγωγών καθόδου επί της κατασκευής εξαρτάται από τα δομικά στοιχεία της. Ειδικότερα οι αγωγοί καθόδου μπορούν να εγκαθίστανται ως ακολούθως:

1. Αν ο τοίχος της κατασκευής είναι από εύφλεκτο υλικό οι αγωγοί καθόδου

μπορούν να εγκαθίστανται στην επιφάνεια των τοίχων υπό την προϋπόθεση ότι η ανύψωση της θερμοκρασίας τους λόγω της ροής του ρεύματος του κεραυνού δεν είναι επικίνδυνη για το υλικό του τοίχου.

2. Αν ο τοίχος της κατασκευής είναι από εύφλεκτο υλικό και η ανύψωση της θερμοκρασίας των αγωγών καθόδου είναι επικίνδυνη οι αγωγοί καθόδου πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ αυτών και του τοίχου να είναι πάντοτε μεγαλύτερη από 0.1m. Μεταλλικά εξαρτήματα στήριξης μπορούν να βρίσκονται σε επαφή με το τοίχο.

3. Οι αγωγοί καθόδου δεν πρέπει να εγκαθίστανται μέσα σε οριζόντιες ή κατακόρυφες υδρορροές ακόμη και αν καλύπτονται με μονωτικό υλικό διότι η υγρασία μπορεί να οδηγήσει στη διάβρωσή τους.

- Φυσικοί αγωγοί καθόδου ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας

Ως φυσικοί αγωγοί καθόδου μιας κατασκευής μπορούν να χαρακτηριστούν τα εξής:

1. Μεταλλικές εγκαταστάσεις οι οποίες μπορούν να επικαλύπτονται με μονωτικό υλικό υπό την προϋπόθεση ότι η ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ των διαφόρων τμημάτων τους είναι αξιόπιστη και στιβαρή και ότι οι διαστάσεις τους είναι τουλάχιστον ίσες με αυτές που καθορίζονται για τους τυποποιημένους αγωγούς καθόδου.

2. Ο μεταλλικός σκελετός ή ο ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός του

σκυροδέματος της κατασκευής λαμβάνοντας υπόψη τον κίνδυνο ανεπιθύμητων μηχανικών επιδράσεων από τη ροή του ρεύματος του κεραυνού, στις περιπτώσεις αυτές δεν είναι απαραίτητοι οριζόντιοι περιμετρικοί δακτύλιοι.

3. Στοιχεία των όψεων προεξέχοντα κιγκλιδώματα και επιμέρους κατασκευές των μεταλλικών όψεων υπό προϋποθέσεις διαστάσεων και στιβαρούς ηλεκτρικής συνέχειας.

- Σύνδεσμοι ελέγχου αγωγών ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας

Οι σύνδεσμοι ελέγχου τοποθετούνται στο σημείο σύνδεσης κάθε αγωγού καθόδου με το σύστημα γείωσης έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να ελέγχεται η ηλεκτρική συνέχεια του υπολοίπου κυκλώματος της εξωτερικής ΕΑΠ. Επιπλέον με τον τρόπο αυτό παρέχεται η δυνατότητα μέτρησης της αντίστασης γείωσης των ηλεκτροδίων γείωσης. Στις περιπτώσεις που έχουμε φυσικούς αγωγούς καθόδου ο σύνδεσμος ελέγχου δεν είναι απαραίτητος.



## **B22. Σύστημα γείωσης εξωτερικής ΕΑΠ**

Το σύστημα γείωσης σκοπό έχει να μεταφέρει το ρεύμα με ασφάλεια στο έδαφος μέσω των ηλεκτροδίων γείωσης χωρίς να αναπτύσσονται επικίνδυνες υπερτάσεις. Επίσης συνδέει ισοδυναμικά τους αγωγούς καθόδου όπου είναι εφικτό, να περιορίζει την ανύψωση του δυναμικού του εδάφους στη περιοχή του καθώς και να αναχαιτίζει το κεραυνό στη περίπτωση επιφανειακής διάσπασης του εδάφους. Αν και πάντα συνίσταται η όσον το δυνατόν χαμηλότερη τιμή αντίστασης γείωσης έχει περισσότερο σημασία στην αποτελεσματικότητα του συστήματος γείωσης η μορφή και οι διαστάσεις του παρά η τιμή της αντίστασης γείωσης που παρουσιάζει. Από την άποψη της αντικεραυνικής προστασίας την καλύτερη λύση αποτελεί μια ενιαία γείωση ενσωματωμένη στο κτίριο η οποία μπορεί να προσφέρει πλήρη προστασία σε όλες τις εγκαταστάσεις της κατασκευής.

### **B22.1. Ηλεκτρόδια γείωσης**

Ένα ή περισσότερα περιμετρικά ηλεκτρόδια τύπου δακτυλίου, κατακόρυφα ή κεκλιμένα ηλεκτρόδια, ακτινικά ηλεκτρόδια και ηλεκτρόδια θεμελιακής γείωσης είναι τα καταλληλότερα σαν ηλεκτρόδια γείωσης. Επίσης πλάκες ή μικρά πλέγματα αγωγών μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλά συνιστάται να αποφεύγονται όταν υπάρχει πιθανότητα διάβρωσης ειδικά στα σημεία σύνδεσης. Επίσης καταλληλότερο είναι να χρησιμοποιούνται πολλά ηλεκτρόδια σωστά διατεταγμένα παρά ένα ηλεκτρόδιο μεγάλου μήκους διότι τα πολλά ηλεκτρόδια είναι πιο αποτελεσματικά σε σχέση με το ένα. Το ελάχιστο μήκος ενός ηλεκτροδίου γείωσης  $l$  είναι συνάρτηση της απαιτούμενης στάθμης προστασίας και της ειδικής αντίστασης του εδάφους  $\rho$ . Σύμφωνα με την 61024 για ΣΑΠ στάθμης προστασίας II ÷ IV λαμβάνεται ίσο με 5m ανεξάρτητα από την ειδική αντίσταση του εδάφους. Για ΣΑΠ στάθμης προστασία I λαμβάνεται ίσο με 5m για  $\rho < 500\Omega.m$  ενώ για μεγαλύτερες τιμές της ειδικής αντίστασης του εδάφους αυξάνει γραμμικά. Στη περίπτωση που ένα ΣΑΠ δεν περιλαμβάνει εξωτερική ΕΑΠ αλλά απαιτείται σύστημα γείωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης ένα οριζόντιο ηλεκτρόδιο  $l$  ή ένα κατακόρυφο μήκους 0.5l. Για τον ίδιο σκοπό μπορεί να χρησιμοποιηθεί η γείωση της ηλεκτρικής εγκατάστασης χαμηλής τάσης υπό την προϋπόθεση ότι το συνολικό μήκος των ηλεκτροδίων γείωσης είναι σύμφωνα με τα προηγούμενα ανάλογα με τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων γείωσης. Τα ηλεκτρόδια γείωσης πρέπει να ενταφιάζονται εξωτερικά της κατασκευής που χρήζει προστασίας κατά το δυνατόν ομοιόμορφα κατανεμημένα ώστε να ελαχιστοποιούνται φαινόμενα ηλεκτρικής

σύζευξης μέσα στο έδαφος. Ακόμη πρέπει να εξασφαλίζεται η εύκολη επιθεώρησή τους κατά τη κατασκευή του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Ο τύπος των ηλεκτροδίων γείωσης και το βάθος ενταφιασμού τους πρέπει να επιλέγονται

με βάση την ελαχιστοποίηση των επιδράσεων της διάβρωσης, της ξήρανσης ή του παγώματος του εδάφους ώστε να εξασφαλίζεται σταθερή ισοδύναμη ειδική αντίσταση του εδάφους. Τα ηλεκτρόδια γείωσης εκτείνονται σε μεγάλο βάθος και έτσι είναι αποτελεσματικά σε εδάφη που η ειδική τους αντίσταση μειώνεται με το βάθος και όπου τα συνήθη μήκη κατακόρυφων ηλεκτροδίων δεν εξασφαλίζουν επαφή με το υπέδαφος χαμηλής ειδικής αντίστασης.

**Πίνακας Β9:** Ελάχιστο μήκος ηλεκτροδίου γείωσης συναρτήσει της στάθμης προστασίας

Στάθμη Προστασίας	Ελάχιστο μήκος ηλεκτροδίου γείωσης, $l_1$
I	5 m για $\rho < 500 \Omega \cdot m$ $l_1 (m) = 0.03\rho - 10$ για $500 < \rho (\Omega \cdot m) < 3000$
II ÷ IV	5 m

Τα ηλεκτρόδια των γειώσεων κατατάσσονται σε 4 περιπτώσεις:

### 1. Διάταξη τύπου Α

Οι διατάξεις τύπου Α περιλαμβάνουν οριζόντια ή κατακόρυφα ηλεκτρόδια γείωσης. Το ελάχιστο μήκος κάθε ηλεκτροδίου καθορίζεται ως  $l$  για ακτινικά οριζόντια ηλεκτρόδια ή  $0.5l$  για κατακόρυφα ή κεκλιμένα ηλεκτρόδια όπου  $l$  είναι το ελάχιστο μήκος ακτινικού ηλεκτροδίου όπως φαίνεται και στο πίνακα Β8. Σε διάφορες όμως περιπτώσεις αυτά τα μήκη μπορούν να μη ληφθούν υπόψη υπό την προϋπόθεση όμως ότι επιτυγχάνεται αντίσταση γείωσης μικρότερη από  $10\Omega$ . Σε περίπτωση όμως που έχουμε πολλά ηλεκτρόδια μαζί υπόψη λαμβάνεται το συνολικό τους μήκος. Οι διατάξεις των ηλεκτροδίων τύπου Α είναι κατάλληλες για εδάφη μικρής τιμής ειδικής αντίστασης ακόμα και για μικρά κτίσματα. Κάθε αγωγός καθόδου της εξωτερικής ΕΑΠ πρέπει να

συνδέεται τουλάχιστον σ' ένα ανεξάρτητο ηλεκτρόδιο γείωσης ενώ ο ελάχιστος συνολικός αριθμός ηλεκτροδίων γείωσης πρέπει να είναι δύο. Τα ηλεκτρόδια γείωσης πρέπει να αλληλοσυνδέονται μέσω δακτυλίου ισοδυναμικής σύνδεσης ή ισοδυναμικών ζυγών στην κατασκευή και εάν η περιοχή εγκατάστασή τους είναι προσβάσιμη από ανθρώπους ή ζώα πρέπει να λαμβάνονται ειδικά μέσα προστασίας. Διάταξη τύπου A θεωρείται και μια διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης που επιπρόσθετα περιλαμβάνει περιμετρικό δακτύλιο ισοδυναμικής σύνδεσης των αγωγών καθόδου ο οποίος βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος σε ποσοστό μικρότερο από το 80% του συνολικού του μήκους του. Τα ακτινικά ηλεκτρόδια πρέπει να ενταφιάζονται σε βάθος όχι μικρότερο από 0.5m γιατί ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις της διάβρωσης, της ξήρανσης ή του παγώματος του εδάφους εξασφαλίζοντας σχετικά σταθερή ισοδυναμική ειδική αντίσταση του εδάφους και ανεξάρτητη από την εποχή του έτους. Επιπλέον το μεγαλύτερο βάθος ενταφιασμού οδηγεί σε μικρότερη ανύψωση δυναμικού του εδάφους σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού.

## 2. Διάταξη τύπου B

Οι διατάξεις αυτού του τύπου αποτελούνται από ένα περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης τύπου δακτυλίου εξωτερικά της κατασκευής με τουλάχιστον το 80% του μήκους του σε επαφή με το έδαφος ή από ένα ηλεκτρόδιο θεμελιακής γείωσης. Το περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης τύπου δακτυλίου πρέπει κατά προτίμηση να ενταφιάζεται σε βάθος τουλάχιστον 0.5m και σε απόσταση τουλάχιστον 1m από τους εξωτερικούς τοίχους της κατασκευής. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος γείωσης μειώνεται όταν τμήμα του μήκους του ηλεκτροδίου γείωσης κατανέμεται εκτός εδάφους. Κατά τη θεμελιακή γείωση το ηλεκτρόδιο γείωσης, ταινία ή αγωγός τοποθετείται μέσα στο σκυρόδεμα, στη βάση των περιμετρικών θεμελίων της κατασκευής καθώς και των εσωτερικών της όταν πρόκειται για κατασκευή μεγάλων διαστάσεων. Οι διατάξεις των ηλεκτροδίων γείωσης τύπου B συνιστάται στις περιπτώσεις όπου ο ενταφιασμός των ηλεκτροδίων είναι πρακτικά δύσκολος έως αδύνατος.

## 3. Διάταξη τύπου πλέγματος

Οι διατάξεις τύπου πλέγματος χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις που κατά κανόνα συμπεριλαμβάνουν πολλές γειτονικές κατασκευές. Επίσης είναι σημαντικό οι διατάξεις ηλεκτροδίων γείωσης των επιμέρους κατασκευών να αλληλοσυνδέονται σχηματίζοντας ένα σύστημα γείωσης τύπου πλέγματος. Το πλέγμα των αγωγών γείωσης πρέπει να επεκτείνεται στα εξωτερικά όρια της βιομηχανικής εγκατάστασης. Το σύστημα γείωσης πλέγματος εξασφαλίζει χαμηλή

τιμή αντίστασης γείωσης και περιορίζει δραστικά τις επικίνδυνες επιδράσεις του κεραυνού λόγω υψηλών τιμών τάσης επαφής και βηματικής τάσης.

#### 4. Διάταξη φυσικών ηλεκτροδίων γείωσης

Τέλος, υπάρχουν τα φυσικά ηλεκτρόδια γείωσης, για τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα μέρη της κατασκευής. Τέτοια μέρη της κατασκευής είναι ο ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός του σκυροδέματος των θεμελίων ή άλλες κατάλληλες υπόγειες μεταλλικές κατασκευές των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις των υλικών των ηλεκτροδίων γείωσης. Στη περίπτωση που χρησιμοποιείται ο οπλισμός των θεμελίων ως ηλεκτρόδιο γείωσης πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στις ενδοσυνδέσεις του ώστε να αποφεύγεται θραύση του σκυροδέματος κατά τη διέλευση του κεραυνικού ρεύματος από μέσα του.

### **B23. Υλικά και ελάχιστες διαστάσεις δομικών στοιχείων**

Τα δομικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του συστήματος

αντικεραυνικής προστασίας όπως είναι αγωγοί, σύνδεσμοι, ηλεκτρόδια γείωσης πρέπει να αντέχουν στις θερμικές, μηχανικές και ηλεκτρομαγνητικές επιπτώσεις του ρεύματος του κεραυνού καθώς και σε άλλες τυχαίες μηχανικές καταπονήσεις φυσικής αιτίας.

Επιπλέον για την επιλογή τους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα διάβρωσης τόσο της προστατευμένης κατασκευής όσο και των ίδιων των στοιχείων ανάλογα με την εφαρμογή τους στην εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας. Στο παρακάτω πίνακα Β9 υπάρχουν τα υλικά και οι ελάχιστες διαστάσεις των υλικών του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας.

**Πίνακας Β10:** Υλικά και ελάχιστες διαστάσεις (mm<sup>2</sup>) των υλικών του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας

Στάθμη Προστασίας	Υλικό	Αγωγοί συλλεκτήριου συστήματος	Αγωγοί καθόδου	Αγωγοί συστήματος γείωσης	Αγωγοί ισοδυναμικών συνδέσεων*
I ÷ IV	Cu	35	16	50	16 (6)
	Al	70	25	–	25 (10)
	Fe	50	50	80	50 (16)

\* Οι τιμές εντός παρενθέσεων αντιστοιχούν σε αγωγούς ισοδυναμικών συνδέσεων που διαρρέονται από μικρό ποσοστό του ρεύματος του κεραυνού (<25%).

## B24. Εσωτερική ΕΑΠ

Η εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής Προστασίας περιλαμβάνει όλα τα μέσα προστασίας που πρέπει να ληφθούν ώστε να περιοριστούν σε αποδεκτό βαθμό οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις ου κεραυνικού ρεύματος στο εσωτερικό αλλά και περιμετρικά της κατασκευής που χρειάζεται προστασία ανεξάρτητα αν χρειάζεται εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας. Η αναγκαιότητα ή μη της εσωτερικής ΕΑΠ καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την τοποθέτηση της εξωτερικής ΕΑΠ σε σχέση με τα αγωγίμα τμήματα και τις εσωτερικές εγκαταστάσεις της κατασκευής. Ως μέσα προστασίας που συνιστούν την εσωτερική ΕΑΠ θεωρούνται οι ισοδυναμικές συνδέσεις, η τήρηση των αποστάσεων, η μόνωση.

## B25. Οι ισοδυναμικές συνδέσεις

Με τις ισοδυναμικές συνδέσεις περιορίζουμε την πιθανότητα εμφάνισης επικίνδυνων υπερτάσεων σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού σε μια κατασκευή ή ακόμη γενικότερα ενός σφάλματος σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση ή ηλεκτρονική εγκατάσταση της κατασκευής. Επίσης οι ισοδυναμικές συνδέσεις πρέπει να γίνονται στις περιπτώσεις όπου δεν ικανοποιούνται οι αποστάσεις ασφαλείας μεταξύ της μονωμένης εξωτερικής ΕΑΠ και της ίδιας κατασκευής ή μεταξύ της μη μονωμένης εξωτερικής ΕΑΠ και γειτονικών μεταλλικών εσωτερικών ή εξωτερικών εγκαταστάσεων καθώς και ηλεκτρικών εγκαταστάσεων της κατασκευής. Οι ισοδυναμικές συνδέσεις πραγματοποιούνται είτε μέσω συνδετήρων αγωγών όπου η ηλεκτρική συνέχεια δεν εξασφαλίζεται με φυσικές συνδέσεις, είτε μέσω εκτροπών υπέρτασης όπου δεν επιτρέπεται η άμεση αγωγή σύνδεση. Για την υλοποίηση των απαιτούμενων ισοδυναμικών συνδέσεων στο υπόγειο ή γενικά στη στάθμη του

εδάφους της κατασκευής που χρειάζεται προστασία εγκαθιστούμε ένα ζυγό εξίσωσης δυναμικών ο οποίος συνδέεται με το σύστημα γείωσης και στον οποίο καταλήγουν όλοι οι συνδετήριοι αγωγοί και οι ακροδέκτες γείωσης των εκτροπέν υπέρτασης.

Επίσης στο ζυγό εξίσωσης δυναμικών συνδέονται μέσω συνδετήριων αγωγών ο ενδοσυνδεδεμένος οπλισμός του σκυροδέματος της κατασκευής ή ο μεταλλικός σκελετός της, οι εσωτερικές μεταλλικές εγκαταστάσεις της όπως υδραυλική ή θέρμανσης καθώς και οι θωρακίσεις, ή οι μεταλλικοί σωλήνες όδευσης των καλωδίων των εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων ισχυρών ή ασθενών ρευμάτων. Επιπλέον στο ζυγό εξίσωσης δυναμικών συνδέονται μέσω συνδετήριων αγωγών είτε εκτροπέν υπερέτασεων όλες οι παροχές υπηρεσιών κοινής ωφέλειας δηλαδή ηλεκτρισμού, τηλεπικοινωνιών, φυσικού αερίου, ύδρευσης όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην είσοδό τους στην κατασκευή. Στα δίκτυα TN (γειωμένος ουδέτερος) ο αγωγός προστασίας PE ή

ο κοινός αγωγός ουδέτερου-γείωσης PEN συνδέονται απευθείας στο ζυγό εξίσωσης δυναμικών μέσω συνδετήριων αγωγών ενώ οι ενεργοί αγωγοί συνδέονται μέσω εκτροπέν υπέρτασης. Όταν οι παροχές υπηρεσιών κοινής ωφέλειας εισέρχονται στη κατασκευή στο επίπεδο του εδάφους από διαφορετικά σημεία εγκαθίστανται ζυγός ισοδυναμικών συνδέσεων σε κάθε σημείο εισόδου των παροχών ο οποίος συνδέεται άμεσα με το σύστημα γείωσης και με τον συνδεδεμένο οπλισμό του σκυροδέματος των θεμελίων της κατασκευής. Στην περίπτωση συστήματος γείωσης διάταξης ηλεκτροδίων

γείωσης τύπου A ζυγοί εξίσωσης δυναμικών συνδέονται άμεσα σε κάθε ηλεκτρόδιο γείωσης και επιπρόσθετα διασυνδέονται εσωτερικά της κατασκευής μέσω περιμετρικού δακτυλίου ισοδυναμικής σύνδεσης.

Στην περίπτωση συστήματος γείωσης με διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης τύπου B οι ζυγοί ισοδυναμικών συνδέσεων συνδέονται άμεσα με τον περιμετρικό δακτύλιο γείωσης ή τη θεμελιακή γείωση.

Όταν οι παροχές υπηρεσιών κοινής ωφέλειας εισέρχονται στην κατασκευή σε κάποιο ύψος από το επίπεδο του εδάφους οι ζυγοί ισοδυναμικών συνδέσεων διασυνδέονται εσωτερικά ή εξωτερικά του εξωτερικού τοίχου της κατασκευής μέσω περιμετρικού δακτυλίου ισοδυναμικής σύνδεσης. Ο τελευταίος συνδέεται με τους αγωγούς καθόδου της εξωτερικής ΕΑΠ και με τον ενδοσυνδεδεμένο οπλισμό του σκυροδέματος της κατασκευής εάν υφίσταται σε διαστήματα όπως αυτά καθορίζονται για τις αποστάσεις μεταξύ των αγωγών καθόδου (πίνακας 8). Στη περίπτωση μονωμένης εξωτερικής ΕΑΠ

πραγματοποιείται ισοδυναμική σύνδεση μεταξύ της εξωτερικής ΕΑΠ και της ίδιας της κατασκευής μόνο στη στάθμη του εδάφους. Η ίδια μέθοδος χρησιμοποιείται και στη περίπτωση που δομικά στοιχεία της κατασκευής (π.χ. ο μεταλλικός σκελετός) αποτελούν φυσικούς αγωγούς καθόδου. Οι αγωγοί ισοδυναμικών συνδέσεων πρέπει να αντέχουν το ποσοστό του ρεύματος του κεραυνού που τους διαρρέει. Το ποσοστό αυτό συνήθως είναι μικρό όταν διασυνδέουν ισοδυναμικά μεταλλικές εγκαταστάσεις στο εσωτερικό της κατασκευής ενώ γίνεται σημαντικό όταν διασυνδέουν εξωτερικά αγωγήματα με το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Το ποσοστό αυτό του ρεύματος του κεραυνού καθορίζει τις ελάχιστες διαστάσεις των αγωγών ισοδυναμικών συνδέσεων (πίνακας Β9) και μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την παρακάτω μέθοδο.

**Β26. Υπολογισμός του κεραυνικού ρεύματος που ρέει σε εξωτερικά αγωγήματα και στα καλώδια εισερχόμενων παροχών της κατασκευής.**

Το κεραυνικό ρεύμα κατά τη διαδρομή του προς τη γη μοιράζεται στο σύστημα γείωσης και στα εξωτερικά αγωγήματα καθώς και στα καλώδια των εισερχόμενων παροχών κοινής ωφέλειας της κατασκευής που είναι συνδεδεμένα στο ζυγό εξίσωσης δυναμικών είτε άμεσα μέσω αγωγών ισοδυναμικών συνδέσεων είτε μέσω εκτροπέων υπέρτασης. Το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που διαρρέει αντίστοιχα κάθε εξωτερικό αγωγήμα ή καλώδιο των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής εξαρτάται από το πλήθος τους, την ισοδυναμική αντίσταση γείωσής τους και από την ισοδύναμη αντίσταση γείωσης του συστήματος γείωσης της κατασκευής. Το ρεύμα  $I_f$  μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$I_f = I \cdot \frac{Z_e}{nZ_e + Z_i}$$

όπου,

$I(kA)$ : Το ρεύμα του κεραυνού αντίστοιχο με την επιλεγθείσα στάθμη προστασίας (πίνακας Β2).

$Z_e(\Omega)$ : Η ισοδυναμική αντίσταση γείωσης του συστήματος γείωσης.

$Z_i(\Omega)$ : Η ισοδυναμική αντίσταση γείωσης κάθε εξωτερικού αγωγίμου τμήματος ή καλωδίου των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής.

$n$ : Ο συνολικός αριθμός των εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων και των καλωδίων των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής.

Οι ισοδυναμικές αντιστάσεις γείωσης  $Z_e$  και  $Z_i$  εξαρτώνται από την ειδική αντίσταση του εδάφους η οποία υπάρχει στο παρακάτω πίνακα B11.

**Πίνακας B11:** Τιμές ισοδυναμικών αντιστάσεων γείωσης  $Z_e$  και  $Z_i$  ανάλογα με την ειδική αντίσταση του Εδάφους

$\rho, (\Omega.m)$	$Z_i (\Omega)$	$Z_e (\Omega)$ ανάλογα με την στάθμη προστασίας		
		I	II	III και IV
100	8	4	4	4
200	13	6	6	6
500	16	10	10	10
1000	22	10	15	20
2000	28	10	15	40
3000	35	10	15	60

Αντίστοιχα το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού διοχετεύεται στη γη μέσω του συστήματος γείωσης της κατασκευής και υπολογίζεται από τη σχέση:

Ο δεύτερος όρος του γινομένου της εξίσωσης (A) μπορεί να παραστεί μέσω ενός συντελεστή  $K_p$  που εκφράζει το ποσοστό του ρεύματος του κεραυνού που διαρρέει αντίστοιχα κάθε εξωτερικό αγωγίμο τμήμα ή καλώδιο των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής. Λαμβάνοντας υπόψη το πίνακα 11 οι τιμές του συντελεστή  $K_p$  παρουσιάζονται συναρτήσει της ειδικής αντίστασης του εδάφους στο πίνακα B12 σε σχέση με την επιλεγθείσα στάθμη προστασίας και το συνολικό αριθμό των εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων και των καλωδίων των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής.



**Πίνακας B12:** Συντελεστής κατανομής του ρεύματος του κεραυνού  $K_p$  συναρτήσει της ειδικής αντίστασης του εδάφους

$\rho_s$ ( $\Omega \cdot m$ )	$K_p$											
	$n = 1$			$n = 2$			$n = 3$			$n = 4$		
	I	II	III & IV	I	II	III & IV	I	II	III & IV	I	II	III & IV
100	0.33	0.33	0.33	0.25	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20	0.17	0.17	0.17
200	0.32	0.32	0.32	0.24	0.24	0.24	0.19	0.19	0.19	0.16	0.16	0.16
500	0.38	0.38	0.38	0.28	0.28	0.28	0.22	0.22	0.22	0.18	0.18	0.18
1000	0.31	0.41	0.48	0.24	0.29	0.32	0.19	0.22	0.24	0.16	0.18	0.20
2000	0.26	0.35	0.59	0.21	0.26	0.37	0.17	0.21	0.27	0.15	0.17	0.21
3000	0.22	0.30	0.63	0.18	0.23	0.39	0.15	0.19	0.28	0.13	0.16	0.22

Σύμφωνα με το πίνακα B12 το ποσοστό του ρεύματος του κεραυνού που παροχετεύεται στη γη μέσω του συστήματος γείωσης της κατασκευής αυξάνει με τη μείωση του αριθμού των εισερχόμενων παροχών καθώς και βαίνοντας από τη στάθμη IV στην I. Εάν η ειδική αντίσταση του εδάφους ή η στάθμη προστασίας δεν είναι γνωστές το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που ρέει σε κάθε εξωτερικό αγωγίμο τμήμα ή καλώδιο των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής μπορεί προσεγγιστικά να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$I_f = 0.5 \frac{I}{n}$$

Θεωρώντας ότι το 50% του συνολικού ρεύματος του κεραυνού παροχετεύεται στη γη μέσω του συστήματος γείωσης της κατασκευής.

Σε κατοικίες το τηλεφωνικό δίκτυο μπορεί να μη ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό του παράγοντα  $n$  της εξίσωσης (A) καθώς θεωρείται ότι δεν επηρεάζει το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που διαρρέει τις υπόλοιπες παροχές σε περίπτωση πλήγματος.

Ωστόσο σύμφωνα με μελέτες το τηλεφωνικό δίκτυο πρέπει να συνδέεται ισοδυναμικά στο ζυγό εξίσωσης δυναμικών και για τον καθορισμό των ισοδυναμικών συνδέσεων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι τα τηλεφωνικά καλώδια διαρρέονται από ρεύμα τουλάχιστον 5% του ρεύματος του κεραυνού. Στις περιπτώσεις μάλιστα που στις εισερχόμενες παροχές της κατασκευής χρησιμοποιούνται καλώδια χωρίς θωράκιση ή τα καλώδια δεν οδεύουν σε μεταλλικούς σωλήνες, το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που διαρρέει κάθε αγωγό του καλωδίου  $I_f'$  υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση:

$$I_f' = \frac{I_f}{m}$$

όπου  $m$  είναι ο αριθμός των αγωγών του καλωδίου και το  $I_f$  δίνεται από τη σχέση (A).

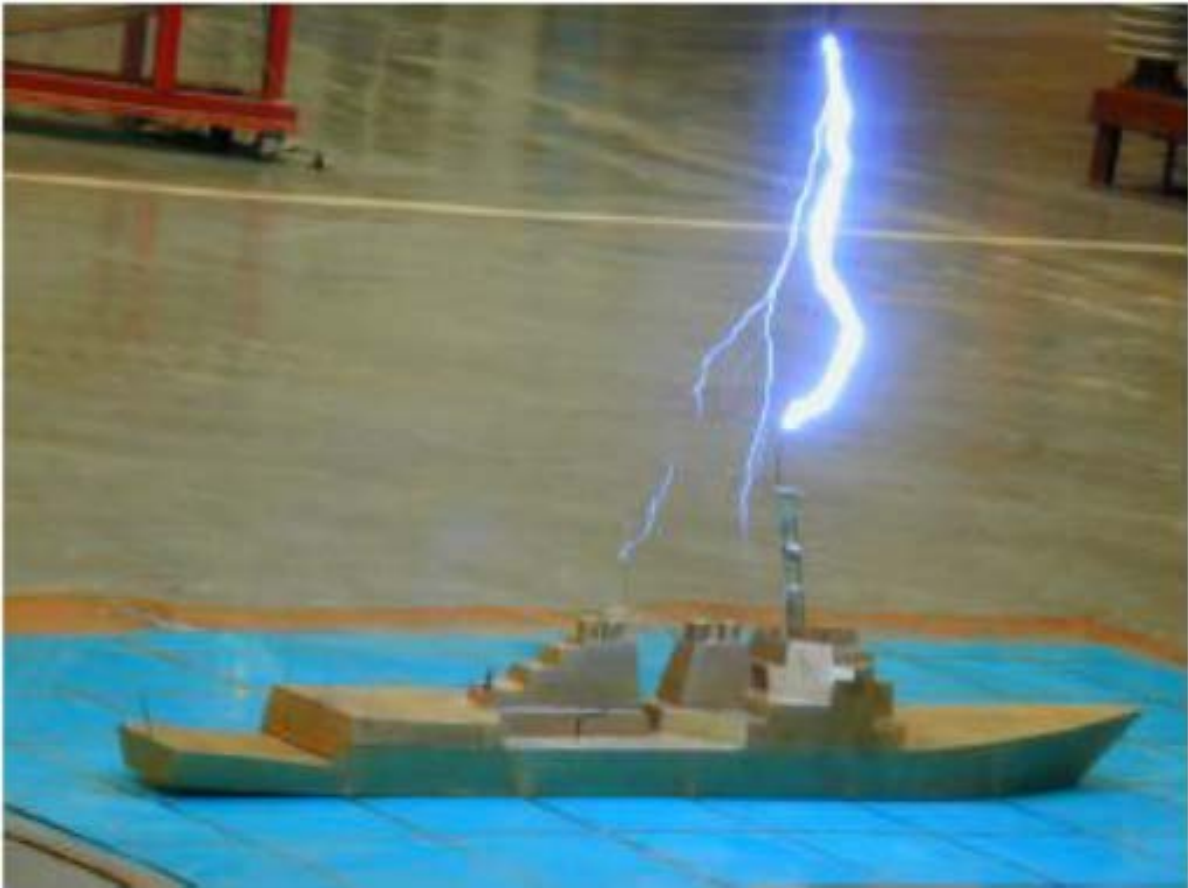
## **B27. Μελέτη της ζώνης προστασίας του ελλειπτικού μοντέλου**

Για τη μελέτη της ζώνης προστασίας του μοντέλου έγινε προσομοίωση κεραυνού με κρουστική τάση 1.2/50μs σε ένα μοντέλο πλοίου. Η απόσταση μεταξύ της άκρης της ηλεκτρισμένης ράβδου(που αντιπροσωπεύει τον καθοδικό οχετό) και του επιπέδου του νερού επιλέχθηκε 1 και 3 m αντίστοιχα, η οποία σε κλίμακα 1:100 αντιπροσωπεύει την απόσταση διάσπασης μεταξύ του καθοδικού οχετού και του επιπέδου του νερού σε 100 και 300m αντίστοιχα.

### **B27.1. Για κεραυνό τοποθετημένο 1m πάνω από την επιφάνεια του νερού**

Για κεραυνό τοποθετημένο 1m πάνω από την επιφάνεια του νερού παρατηρήθηκε ότι: το αλεξικέραυνο συλλαμβάνει κεραυνικά πλήγματα θετικής και αρνητικής πολικότητας όταν το άκρο του κεραυνού βρίσκεται πάνω απ' αυτό και σε περιοχή γύρω απ' αυτό (σχήμα B10). Μετακινώντας το άκρο του κεραυνού πιο πίσω ή στο πλάι του αλεξικέραυνου, αυτό συλλαμβάνει μόνο κάποια από τα χτυπήματα. Οι

κεραυνοί χτυπάνε διαφορετικά αντικείμενα με βάση τη θέση του άκρου τους. Με άλλα λόγια εξαρτάται από την απόσταση διάσπασης. Γενικά τα αντικείμενα πλήττονται μεμονωμένα, αλλά μερικές φορές, δύο αντικείμενα μπορεί να χτυπηθούν ταυτόχρονα. Το σχήμα 21.1.2 παρουσιάζει τον κεραυνό που χτυπάει ταυτόχρονα το αλεξικέραυνο και ένα προστατευόμενο αντικείμενο.



**Σχήμα Β10** Κεραυνός καταλήγει στο αλεξικέραυνο του μοντέλου πλοίου.



**Σχήμα Β11** Κεραυνός καταλήγει στο αλεξικέραυνο και σε προστατευόμενο αντικείμενο.

#### **Β27.2. Για κεραυνό τοποθετημένο 3m πάνω από την επιφάνεια του νερού**

Για κεραυνό τοποθετημένο 3m πάνω από την επιφάνεια του νερού παρατηρήθηκε ότι ο κεραυνός ήταν πιο ελκυστικός στο αλεξικέραυνο. Η ζώνη προστασίας που δημιουργείται από ένα αλεξικέραυνο για αρνητικό κεραυνό είναι πολύ μεγαλύτερη όταν η απόσταση διάσπασης πάνω από το πλοίο είναι μεγαλύτερη. Η ζώνη προστασίας για απόσταση διάσπασης 3 m είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για 1 m. Για θετικούς κεραυνούς, η ζώνη προστασίας αυξάνεται με την αύξηση της απόστασης διάσπασης. Συγκρίνοντας τη ζώνη προστασίας για θετικούς και αρνητικούς κεραυνούς, παρατηρήθηκε ότι η ζώνη προστασίας είναι μικρότερη για θετική παρά για αρνητική πολικότητα κεραυνού. Τα περισσότερα από τα αρνητικά κεραυνικά χτυπήματα πάνω από 3m από την επιφάνεια του νερού κατέληξαν στο αλεξικέραυνο. Τα αντίστοιχα που παράχθηκαν αρκετά πίσω από το αλεξικέραυνο

κατέληξαν στο αντικείμενο που βρισκόταν στην πίσω μεριά του πλοίου. Για θετικό κεραυνό, όταν αυτός ήταν τοποθετημένος από την πλευρά του πλοίου και από πίσω απ' αυτό ,τα κεραυνικά χτυπήματα κάποιες φορές κατέληξαν στο αλεξικέραυνο(σχήμα B12) και κάποιες άλλες σε διάφορα αντικείμενα (σχήμα B13),ανάλογα με την πλευρά του πλοίου στην οποία είχε παραχθεί ο κεραυνός. Το σύνολο των θετικών κεραυνών παρουσίασαν πολλά παρακλάδια που αναπτύχθηκαν προς διάφορα αντικείμενα.



**Σχήμα B12** Κεραυνός καταλήγει στο αλεξικέραυνο του μοντέλου πλοίου.



**Σχήμα Β13** Κεραυνός καταλήγει σε προστατευόμενο αντικείμενο.

### B27.3. Ανοδικοί οχετοί

Από τα σχήματα B12 και B13 φαίνεται ότι δεν αναπτύχθηκαν μόνο πολλά, μακριά και έντονα παρακλάδια από τον θετικό κεραυνό, αλλά και κάποιοι δυνατοί ανοδικοί οχετοί από πολλά αντικείμενα. Σε αυτή την περίπτωση το αλεξικέραυνο και άλλα αντικείμενα προσελκύουν τον θετικό κεραυνό. Και οι δύο κεραυνοί(σχήμα B12 και B13)εφαρμόστηκαν κάτω από ίδιες συνθήκες. Το σημείο όπου ο κεραυνός θα χτυπήσει αποφασίζεται από τον ανοδικό οχετό. Το σχήμα B14 φανερώνει την κατάληξη του κεραυνού σε ένα από τα αντικείμενα που βρίσκεται στην πίσω μεριά του πλοίου και τους ανοδικούς οχετούς που δημιουργούνται γύρω από την ράβδο και από τα γύρω αντικείμενα. Σε κάθε περίπτωση, όταν ο κεραυνός είναι θετικός, το κανάλι του κύριου κεραυνού έχει πολλά παρακλάδια και έντονους ανοδικούς οχετούς από διάφορα αντικείμενα. Όταν ο κεραυνός είναι αρνητικός, ανοδικοί οχετοί παρατηρούνται μόνο από το αλεξικέραυνο και οι οποίοι δεν είναι τόσο έντονοι και μακριοί όπως στην περίπτωση θετικού κεραυνού.



**Σχήμα B14** Ανοδικοί οχετοί από το αλεξικέραυνο και από άλλα αντικείμενα για θετικό κεραυνό.

## **B28. Σχεδιασμός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας πλοίου- Παραδείγματα**

### **B28.1. Επισκόπηση**

Η αντικεραυνική προστασία είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την προστασία ανθρώπων, κτιρίων, πλοίων κλπ. Ο σχεδιασμός των συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας απαιτεί βασικά δύο εργαλεία ανάλυσης. Το πρώτο αφορά την εκτίμηση της πιθανότητας ένας κεραυνός να χτυπήσει σε ένα προβλεπόμενο σημείο της κατασκευής όπου υπάρχει ο εξοπλισμός προστασίας (αλεξικέραυνο), και να μη χτυπήσει στα προστατευόμενα αντικείμενα, όπως είναι οι διάφορες κεραίες πάνω στο πλοίο. Το δεύτερο εργαλείο αφορά την ανάλυση των άμεσων και έμμεσων συνεπειών της οδήγησης του κεραυνικού φορτίου στο νερό.

Οι προκλήσεις για την προστασία ενός πλοίου από ένα κεραυνό υψηλής τάσης είναι πολύ σημαντικές καθώς:

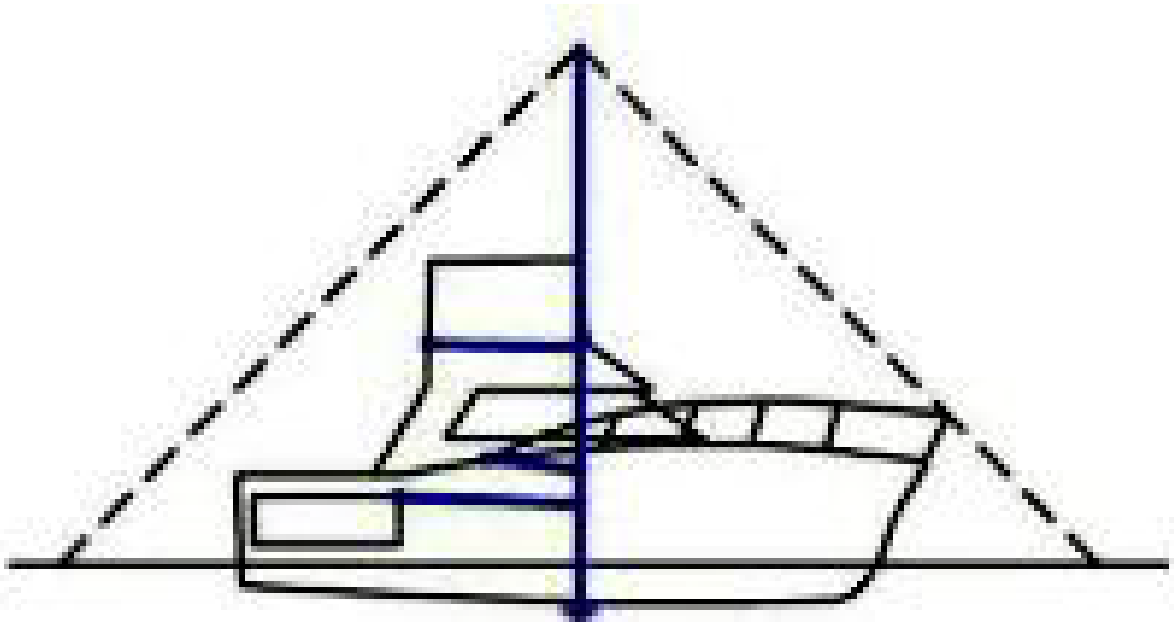
- Ευαίσθητα ηλεκτρονικά αισθητήρια όπως κεραίες VHF, πιάτα ραντάρ και ανεμόμετρα είναι συνήθως τοποθετημένα σε μεγάλο ύψος, με αποτέλεσμα πολλοί ανοδικοί οχετοί, οι οποίοι προηγούνται ενός ενδεχόμενου κεραυνικού χτυπήματος, να σχηματίζονται απ' αυτά.
- Μέλη του πληρώματος, καλωδιώσεις και ενισχύσεις από ανθρακονήματα είναι καλοί αγωγοί και κάθε καλός αγωγός οπουδήποτε στο πλοίο αποτελεί πιθανή πηγή σχηματισμού σπινθήρα.
- Τάσεις μόλις μερικών δεκάδων V είναι αρκετά μεγάλες ώστε να καταστρέψουν ηλεκτρονικά στερεάς κατάστασης, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι διαθέσιμες τάσεις είναι αρκετά μεγάλες για να προκαλέσουν εκκενώσεις οποιουδήποτε μήκους μεταξύ των αγωγών και του νερού.
- Καταστροφικές παράπλευρες εκκενώσεις σχηματίζονται από αγωγούς σε υψηλό δυναμικό, αλλά το γλυκό νερό είναι τόσο φτωχά αγώγιμο ώστε να είναι απίθανη μία χαμηλή αντίσταση εδάφους. Τεράστια δυναμικά είναι αναπόφευκτα όταν έχουμε ροή ρεύματος του οχετού επιστροφής.

Η μόνη βιώσιμη λύση για τον σχεδιασμό ενός αποτελεσματικού συστήματος προστασίας είναι μία ολοκληρωμένη προσέγγιση. Βασικά στοιχεία για την ανάπτυξη της θα πρέπει να είναι τα εξής:



- αναγνώριση των θεμελιωδών αδυναμιών που παρουσιάζουν οι κλασικές μέθοδοι και κανονισμοί
- αναγνώριση και εφαρμογή των επιτυχημένων τεχνικών που χρησιμοποιούνται στα κτίρια
- χρησιμοποίηση ηλεκτροδίων Siedarc™ αντί των κλασσικών ράβδων γείωσης

Σύμφωνα με τους μέχρι πρότινος κανονισμούς για την προστασία των πλοίων από τα κεραυνικά πλήγματα (ABYC, NFPA, ISO), το κλασσικό μοντέλο προστασίας (Σχήμα B15) θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:



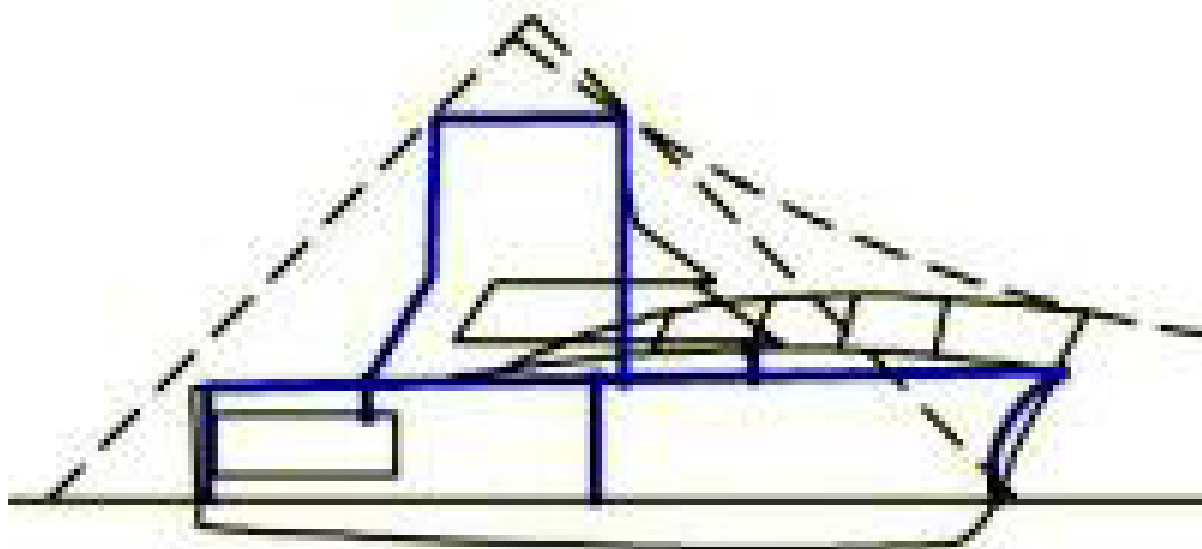
**Σχήμα B15** Κλασσικό μοντέλο αντικεραυνικής προστασίας πλοίου

- Να έχει εγκατασταθεί ένα αρκετά ψηλό αλεξικέραυνο, ώστε σύμφωνα με τη θεωρία του κώνου προστασίας, να προστατεύεται ολόκληρο το πλοίο, δηλαδή να σχηματίζει γωνία 90°.
- Να έχει τοποθετηθεί ένας κατακόρυφος αγωγός προστασίας.
- Στην καρίνα του πλοίου να έχει εγκατασταθεί μία αγώγιμη ταινία ή μία πλάκα γείωσης μίας συγκεκριμένης επιφάνειας (1ft<sup>2</sup>).
- Τα μεταλλικά εξαρτήματα του πλοίου να έχουν συνδεθεί με τον αγωγό προστασίας και μέσω αυτού με τη γειωμένη μεταλλική πλάκα/ταινία.

Πειραματικές έρευνες αλλά και πραγματικά περιστατικά πτώσης κεραυνών σε πλοία, έδειξαν ότι ένα τέτοιο σύστημα δεν προσφέρει την επιθυμητή προστασία, καθώς αδυνατεί να αποτρέψει τη ανάπτυξη επικίνδυνων παράπλευρων εκκενώσεων και να οδηγήσει με ασφάλεια το κεραυνικό φορτίο στο νερό.

### **B28.3. Μοντέλο βασισμένο στην αντικεραυνική προστασία κτιρίων**

Έτσι παρουσιάσθηκε ένα νέο μοντέλο προστασίας του οποίου τα βασικά χαρακτηριστικά έρχονται σε συμφωνία με αυτά που χρησιμοποιούνται για την προστασία κτιρίων(Σχήμα B16). Οι αγωγοί προστασίας φαίνονται με μπλε χρώμα και οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν τις ζώνες προστασίας με βάση τις μεθόδους του ανεστραμμένου κώνου και της κυλιόμενης σφαίρας.



**Σχήμα B16** Μοντέλο βασισμένο στην αντικεραυνική προστασία κτιρίων

Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού του σχεδιασμού είναι:

- Αντί για ένα βασικό και ψηλό αλεξικέραυνο, τοποθετούνται πολλαπλά αλεξικέραυνα μικρότερου ύψους γύρω από την περίμετρο του πλοίου,

δημιουργώντας μία ζώνη προστασίας που μπορεί να υπολογιστεί με την μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας.

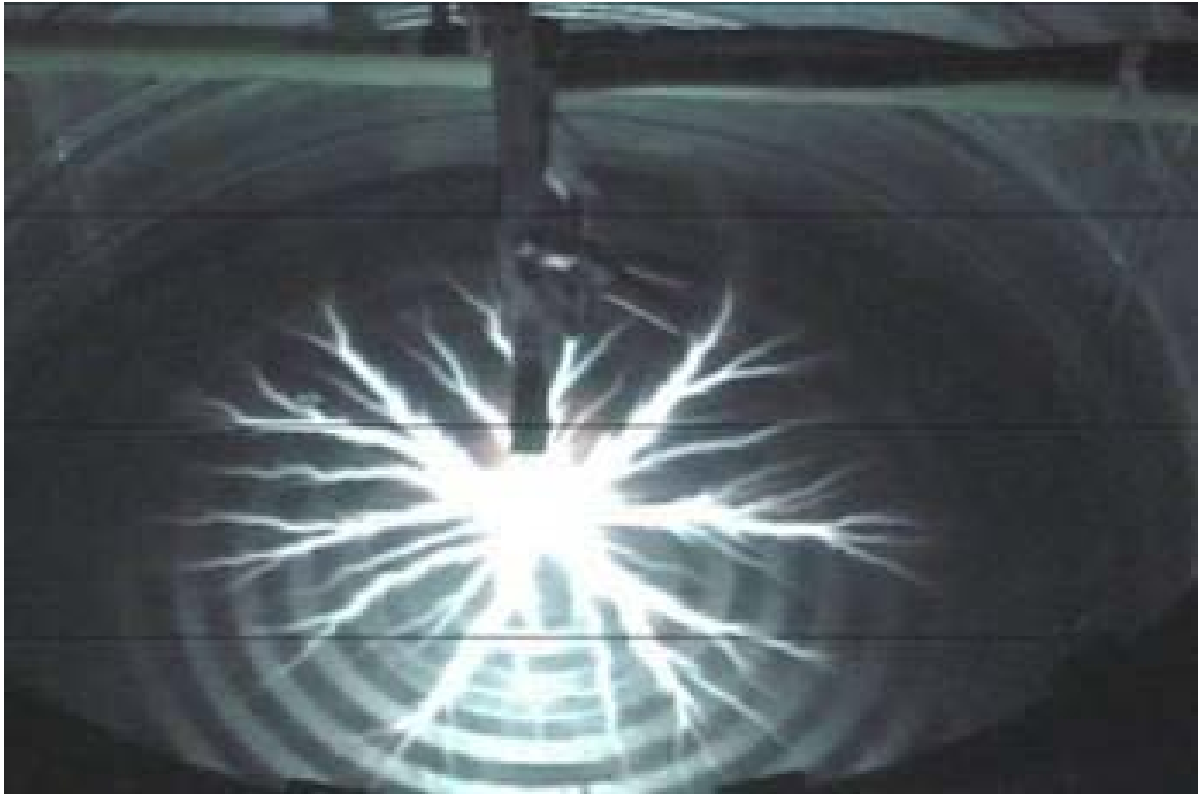
- Ένας ισοδυναμικός βρόχος περικυκλώνει το κουφάρι του πλοίου, κατά προτίμηση στο επίπεδο του καταστρώματος. Αυτός παρέχει ηλεκτροστατική θωράκιση και λειτουργεί σαν σπονδυλική στήλη ολόκληρου του συστήματος των αγωγών, επιτρέποντας στα αλεξικέραυνα και στα ηλεκτρόδια γείωσης να είναι πλήρως διασυνδεδεμένα. Στον βρόχο αυτό συνδέονται συνήθως και διάφορα μεταλλικά εξαρτήματα του πλοίου.
- Ένα δίκτυο από αγωγούς προστασίας τοποθετείται στο εξωτερικό του πλοίου και συνδέεται με τον αγωγίμο βρόχο και το σύστημα γείωσης ώστε να δημιουργήσει μία περιοχή προστασίας, παρόμοια με ένα κλωβό Faraday, γύρω από το εσωτερικό του σκάφους. Μέσα σε αυτή την περιοχή τα πάντα βρίσκονται στην ίδια τάση με το σύστημα προστασίας ακόμα και αν δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ τους.
- Πολλαπλά ηλεκτρόδια γείωσης τοποθετούνται γύρω από την περίμετρο του σκελετού του πλοίου. Το κύριο μέρος αυτών αποτελούν τα ηλεκτρόδια Siedarc™, τα οποία τοποθετούνται λίγο πάνω από την ίσαλο γραμμή για να προκαλέσουν εκτεταμένες εκκενώσεις πάνω από την επιφάνεια του νερού. Πέρα απ' αυτά, τοποθετούνται μέσα στο νερό αγωγίμες ταινίες που περικλείουν τα βυθισμένα εξαρτήματα, όπως προπέλες και πηδάλια, για να δημιουργήσουν μία παράκαμψη για το ρεύμα γύρω απ' αυτά
- Αγωγοί σύνδεσης συνδέουν μεταλλικά εξαρτήματα με το σύστημα προστασίας. Δεδομένου ότι η θωράκιση με τη βοήθεια εξωτερικών αγωγών είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος να εξισωθούν τα δυναμικά και ότι είναι η μόνη μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αγωγούς όπως δεξαμενές νερού και ανθρώπους, με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η εξίσωση των δυναμικών στο εσωτερικό του πλοίου που επιφέρει μείωση της πιθανότητας ανάπτυξης παράπλευρων εκκενώσεων

#### **B28.4. Σχεδιασμός συστημάτων εφοδιασμένων με ηλεκτρόδια Siedarc™**

Το βασικό στοιχείο σε αυτό το νέο σύστημα είναι το κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ηλεκτρόδιο Siedarc™. Αυτό εφευρέθηκε το 2001 (US Patent # 6,708,638) με βάση την εμπειρική παρατήρηση ότι οι αγωγοί προστασίας του πλοίου θα πρέπει να τοποθετούνται στα σημεία όπου παρατηρείται συχνότερα ζημιά από πτώση κεραυνού, δηλαδή, ακριβώς πάνω από την ίσαλο γραμμή. Από τότε, τα πειράματα για την διερεύνηση του μηχανισμού σπινθήρων έχουν αποκαλύψει ότι η ροή ρεύματος με τη μορφή καναλιών σπινθήρων διαδίδεται στον αέρα ακριβώς πάνω από την επιφάνεια του νερού και η έκτασή τους είναι πολύ μεγαλύτερη από την αναμενόμενη. Τα ηλεκτρόδια Siedarc™ εκτελούν την λειτουργία των τερματικών

εξόδου για τη διάχυση του φορτίου στο νερό. Είναι σχεδιασμένα με βάση τις ίδιες προδιαγραφές με τα αλεξικέραυνα, και κάθε ένα από αυτά είναι ενσωματωμένο μέσα σε ένα εξάρτημα από ειδικό πλαστικό(marelon) το οποίο εισχωρείται και βιδώνεται μέσα στον εξωτερικό φλοιό του πλοίου, ακριβώς πάνω από την ίσαλο γραμμή. Το σχήμα B17 δείχνει τους σπινθήρες που αναπτύχθηκαν στην άκρη ενός ηλεκτροδίου Siedarc™ συνδεδεμένο σε πηγή 10kV και τοποθετημένο πάνω από ποσότητα θαλασσινού νερού.





**Σχήμα B17** Ανάπτυξη σπινθήρων σε ηλεκτρόδιο Siedarc™

Ο Δρ. Moore και η ομάδα του στο New Mexico Tech ερμήνευσε το φαινόμενο από την άποψη του φορτίου που επάγεται στην επιφάνεια του νερού ή στο έδαφος λόγω του φορτίου του κεραυνού. Υπό το φως αυτών των παρατηρήσεων, προτείνεται ο μηχανισμός που φαίνεται στις παρακάτω εικόνες και εξηγεί πως τα ηλεκτρόδια Siedarc™ οδηγούν το αρνητικό φορτίο του κεραυνού προς το θετικό φορτίο που έχει επαχθεί πάνω στην επιφάνεια του νερού. Η αλληλουχία των γεγονότων είναι η εξής:

- Πριν από το χτύπημα τόσο το νερό όσο και το πλοίο είναι αφόρτιστα.
- Όταν ο αρνητικά φορτισμένος οχετός προεκκένωσης πλησιάζει το πλοίο, επάγει θετικά φορτία τόσο στην επιφάνεια του νερού όσο και σε όλα τα αγώγιμα σώματα που βρίσκονται στο πλοίο.
- Με την έναρξη του θετικού ανοδικού οχετού σύνδεσης που ξεκινά από το αλεξικέραυνο ,αρνητικές εκκενώσεις σχηματίζονται από τα ηλεκτρόδια Siedarc™ και διαδίδονται προς την θετικά φορτισμένη επιφάνεια του νερού.
- Το θετικό φορτίο συνεχίζει να ρέει μέσα στο κεραυνικό κανάλι καθώς ο ανοδικός οχετός έχει συνδεθεί με τον οχετό προεκκένωσης.
- Συγχρόνως, οι αρνητικές εκκενώσεις που ξεκινούν από τα ηλεκτρόδια εξαπλώνονται πάνω από την επιφάνεια του νερού τροφοδοτώντας το κανάλι με

θετικό φορτίο ώστε να εξουδετερώσει το αρνητικό φορτίο που μεταφέρθηκε λόγω του κεραυνού.

- Να σημειωθεί ότι αυτή είναι μια δυναμική διαδικασία στην οποία το άκρο της επιφανειακής εκκένωσης επάγει και συγκεντρώνει το φορτίο στην επιφάνεια του νερού ακριβώς μπροστά απ' αυτήν και ως εκ τούτου μπορεί να μεταδοθεί για όσο χρονικό διάστημα ρέει το ρεύμα του κεραυνού.
- Μόλις το δίκτυο σπινθήρων έχει καθιερωθεί στον αέρα ακριβώς πάνω από την επιφάνεια του νερού, κάνει μια ηλεκτρική σύνδεση χαμηλής αντίστασης μεταξύ του ηλεκτροδίου, άρα και του αλεξικέραυνου αλλά και του κεραυνικού καναλιού με τα οποία είναι συνδεδεμένο, και της επιφάνειας του νερού.

Ένα τέτοιο δίκτυο σπινθήρων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

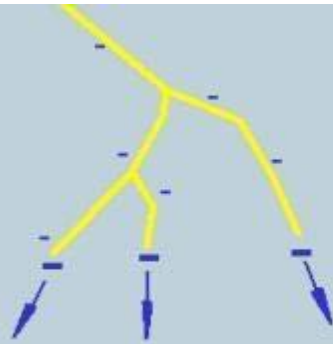


**Σχήμα B18** Φωτογραφία εκφόρτισης μίας δεξαμενής νερού στο πανεπιστήμιο του Colorado

Ολόκληρη η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω φαίνεται στα σχήματα που ακολουθούν:



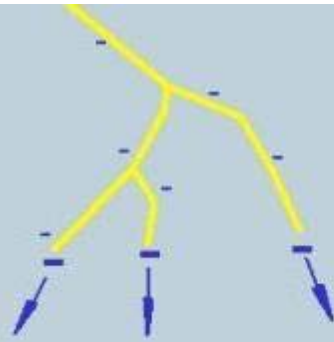
πριν τον κεραυνό



ο σχετός προεκκένωσης οδηγεί αρνητικά φορτία προς το έδαφος

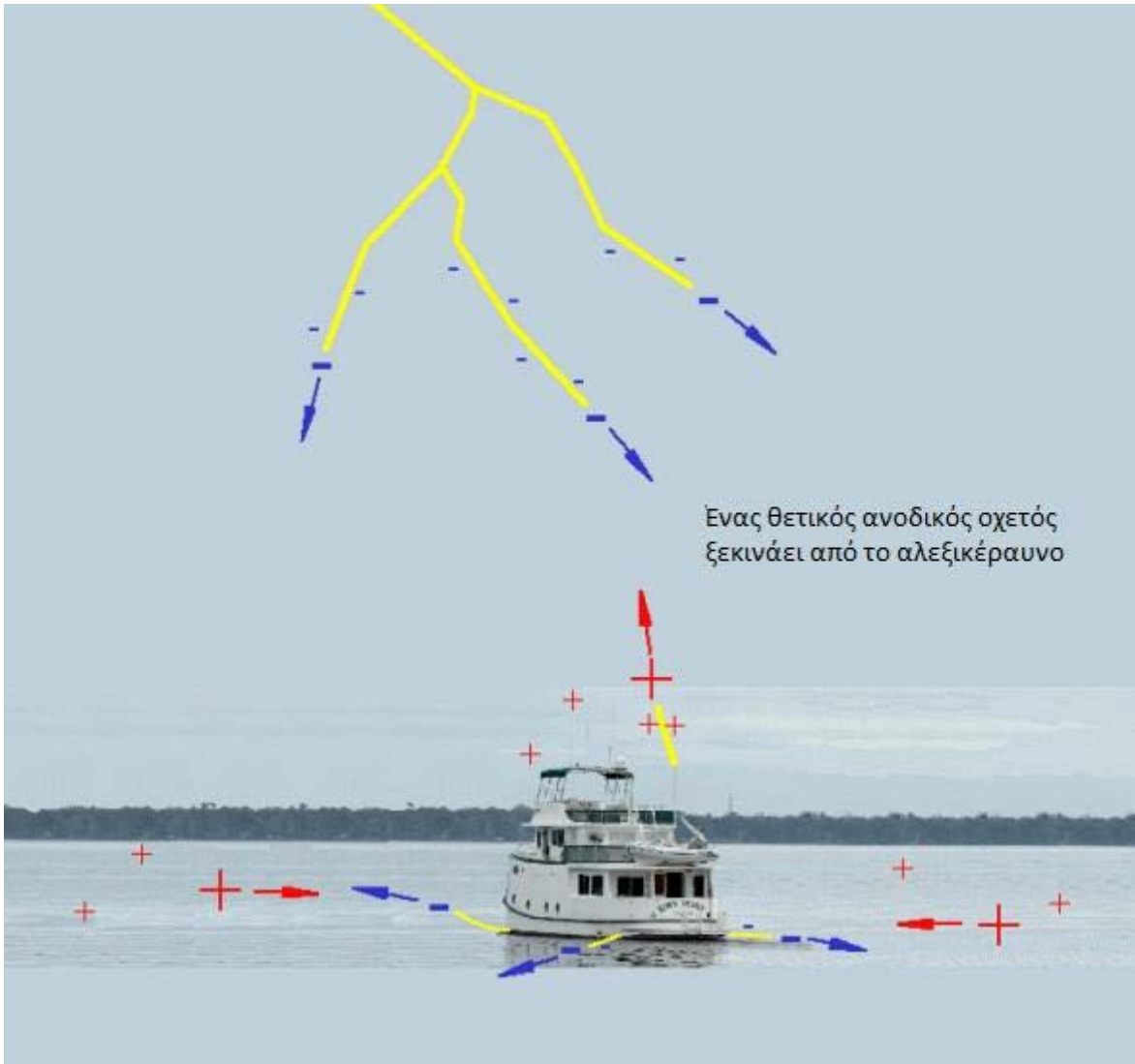


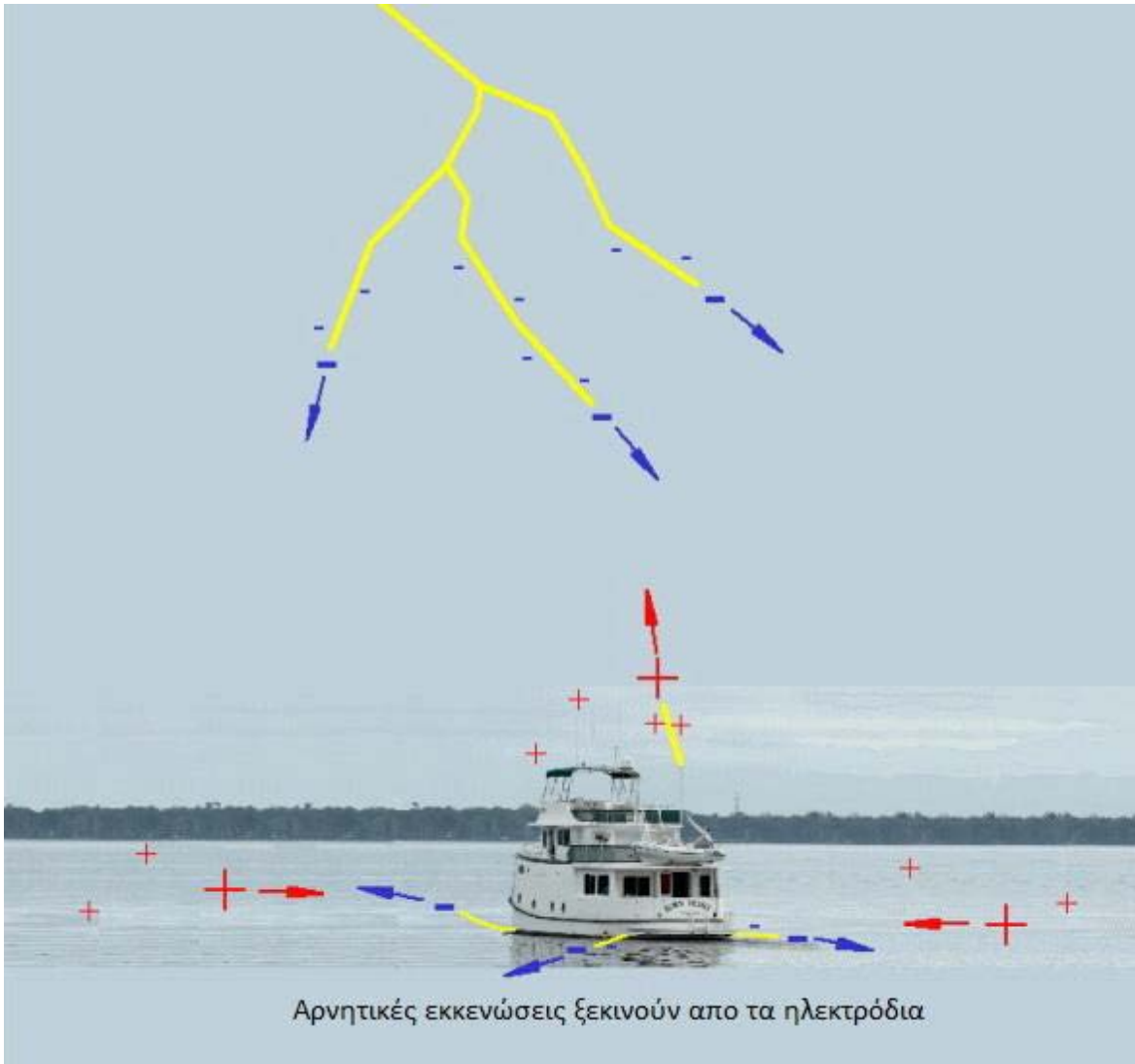


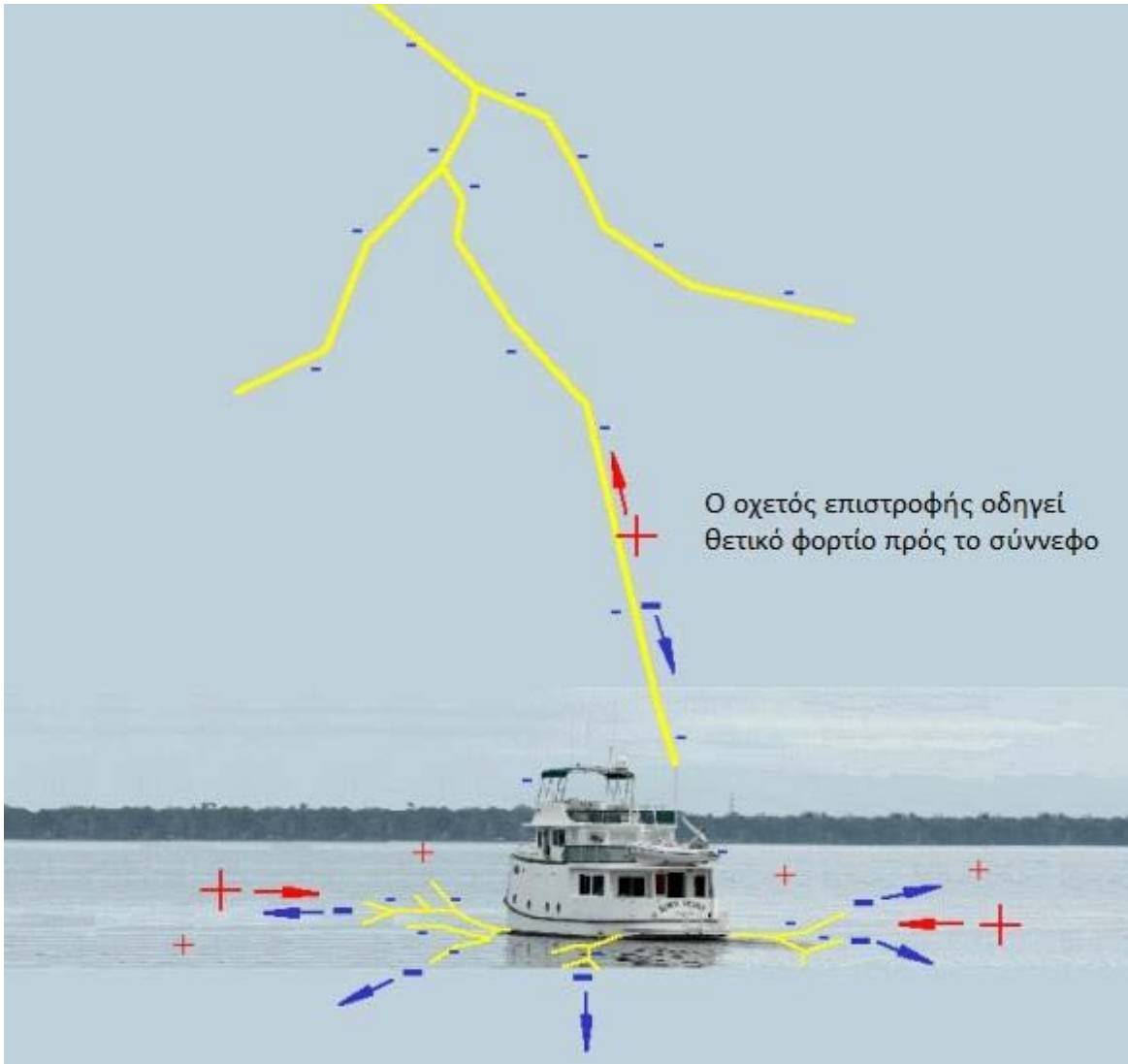


εμφάνιση επαγωγικών θετικών φορτίων









## **B28.5. Παραδείγματα σχεδιασμού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας**

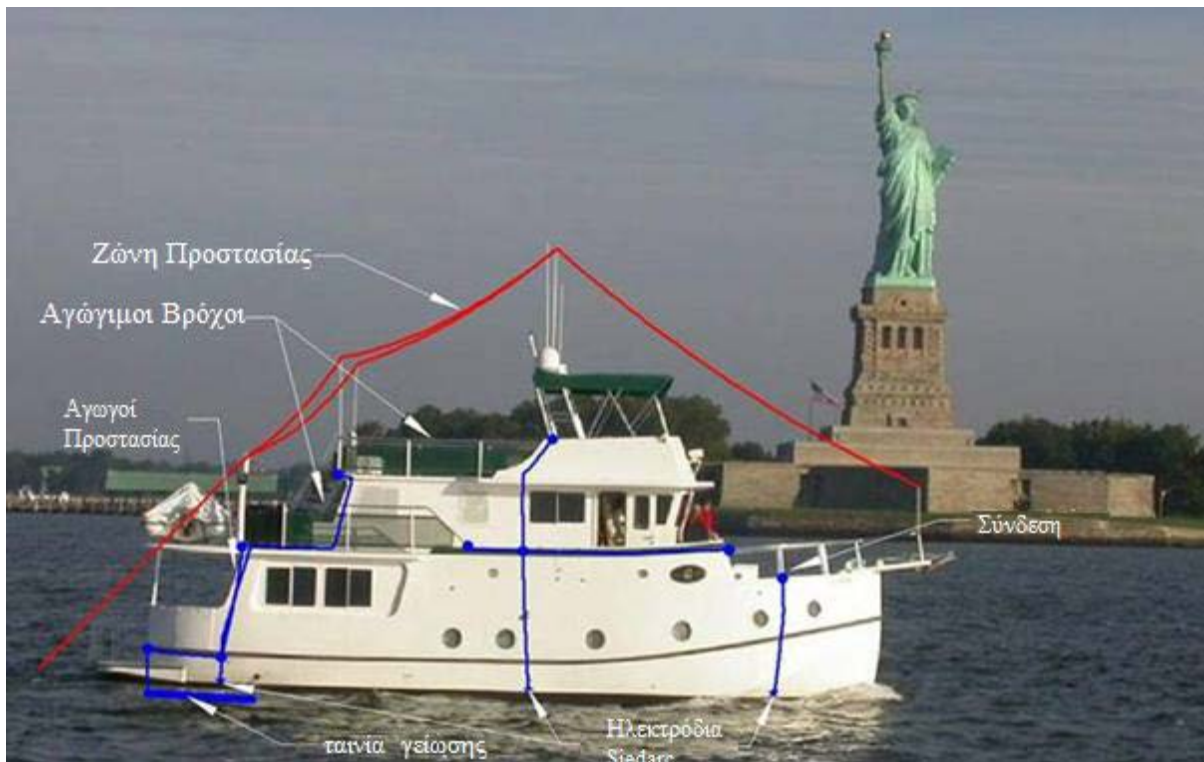
### **B28.5.1. Σύστημα προστασίας πολυτελούς σκάφους αναψυχής**

Ένα παράδειγμα συστήματος που περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που περιγράφηκαν προηγουμένως είναι αυτό που φαίνεται στα σχήματα B19 και B20. Οι κόκκινες γραμμές δείχνουν την συνολική ζώνη προστασίας με βάση τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας(μόνο για το αλεξικέραυνο που βρίσκεται στην κρεμάστρα της λέμβου στην πρύμνη η ζώνη προστασίας σχεδιάστηκε με βάση τη μέθοδο του

κώνου προστασίας). Οπουδήποτε στο κατάστρωμα και να περπατάει κάποιος άνθρωπος βρίσκεται μέσα σ' αυτήν. Για την επίτευξη αυτής της ζώνης προστασίας έχουν τοποθετηθεί αλεξικέραυνα στο μπροστινό μέρος της πλώρης, στην κορυφή της γέφυρας πάνω από το πιλοτήριο και στις κορυφές των κουπαστών στο πίσω μέρος της γέφυρας. Επίσης, η κρεμάστρα της λέμβου έχει συνδεθεί με το σύστημα προστασίας. Οι μπλε γραμμές δείχνουν τους αγωγούς που είναι συνδεδεμένοι με αγωγίμα εξαρτήματα όπως οι κουπαστές που βρίσκονται και στα δύο επίπεδα του καταστρώματος, και δημιουργούν δύο αγωγίμους βρόχους, έναν σε κάθε επίπεδο του καταστρώματος. Οι αγωγοί προστασίας που είναι συνδεδεμένοι με τους αγωγίμους βρόχους αυτούς διαπερνούν κάθετα το εσωτερικό του κουφαριού και καταλήγουν σε ηλεκτρόδια Siedarc™ σε έξι σημεία συμμετρικά γύρω από την ίσαλο γραμμή. Η αναγκαία βυθισμένη επιφάνεια γείωσης παρέχεται από μία ταινία γείωσης που είναι τοποθετημένη δίπλα από την πρύμνη του σκάφους.



**Σχήμα Β19** Ζώνη προστασίας συστήματος πολυτελούς σκάφους αναψυχής

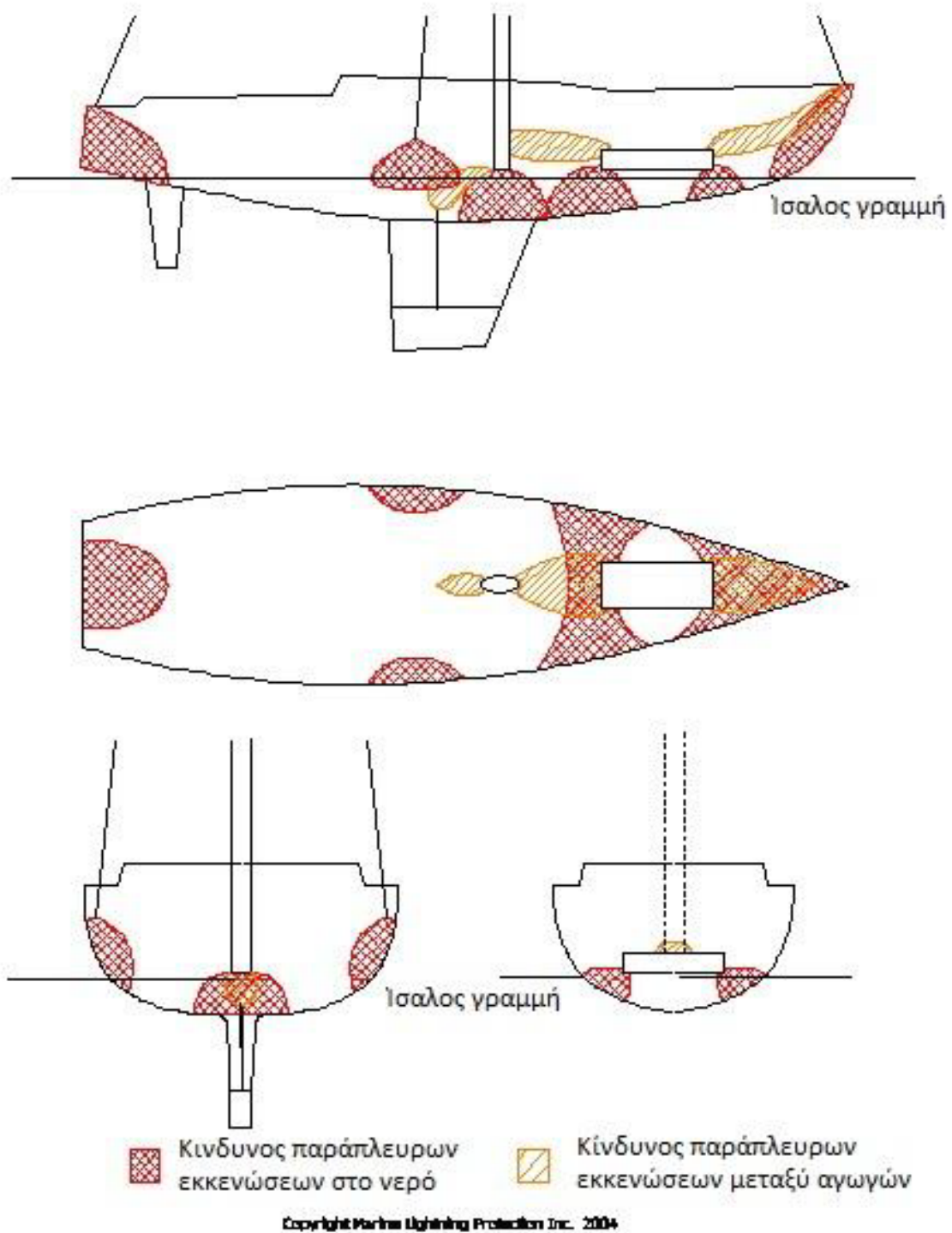


**Σχήμα B20** Σύστημα αντικεραυνικής προστασίας πολυτελούς σκάφους αναψυχής

## **B28.5.2. Σύστημα προστασίας ιστιοπλοϊκού σκάφους**

### **B28.5.2.1. Κίνδυνοι λόγω παράπλευρων εκκενώσεων**

Οι παράπλευρες εκκενώσεις είναι αναπόφευκτες σε γλυκό νερό, ξεκινώντας κατά προτίμηση από αγώγιμα εξαρτήματα πάνω στο πλοίο και εμφανίζονται σχεδόν ταυτόχρονα με την έναρξη του οχετού σύνδεσης, αν δεν υπάρχει αγώγιμη σύνδεση με το νερό. Εφαρμόζοντας αυτά τα συμπεράσματα για τα αγώγιμα εξαρτήματα ενός πλοίου, μπορούμε να εντοπίσουμε συγκεκριμένα εξαρτήματα που βρίσκονται σε σχετικά υψηλό κίνδυνο. Ας θεωρήσουμε τον σκελετό ενός απλού ιστιοφόρου όπως φαίνεται στο σχήμα B21.



**Σχήμα B21** Περιοχές υψηλού κινδύνου ανάπτυξης παράπλευρων εκκενώσεων

Στην πράξη, ένα ιστιοφόρο έχει πολλά περισσότερα αγωγίμα εξαρτήματα κοντά στην ίσαλο γραμμή, έτσι ώστε, στην πράξη, η περιοχή κινδύνου λόγω παράπλευρων

εκκενώσεων θα πρέπει ουσιαστικά να περιλαμβάνει το σύνολο του όγκου κοντά και κάτω από την ίσαλο γραμμή.

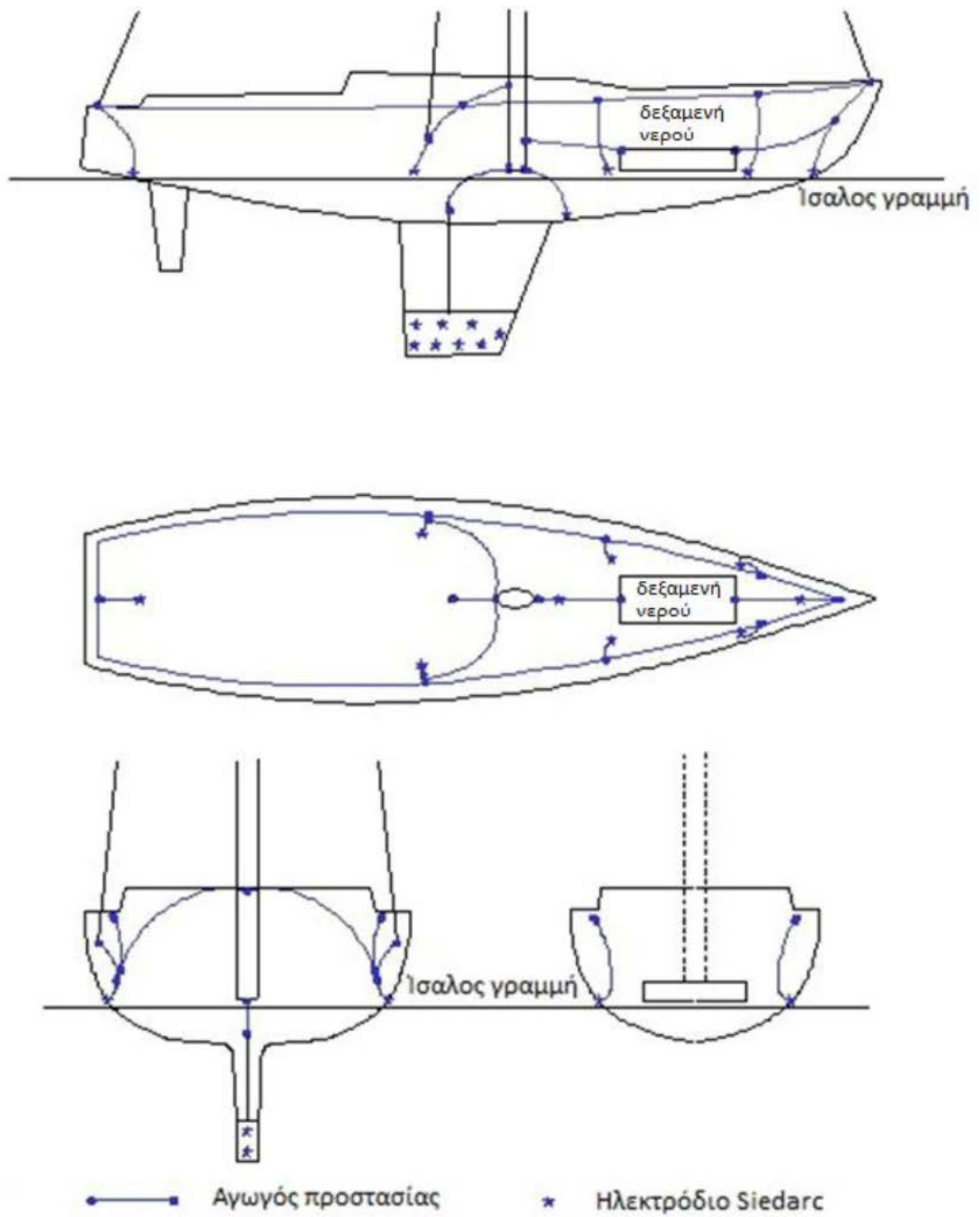
#### **B28.5.2.2. Διάταξη αλεξικέραυνων και ηλεκτρόδια γείωσης**

Δεδομένων των κινδύνων λόγω παράπλευρων εκκενώσεων που φαίνονται στο Σχήμα B22, οι αγωγοί του συστήματος προστασίας και τα ηλεκτρόδια γείωσης θα πρέπει να τοποθετηθούν έτσι ώστε να προσεγγίσουν μια ισοδυναμική περιοχή μέσα στο πλοίο. Γενικά, αυτό σημαίνει:

- σύνδεση μεταλλικών εξαρτημάτων με το σύστημα προστασίας
- τοποθέτηση αγωγών προστασίας γύρω από ευάλωτες περιοχές
- χρήση υπαρχόντων βυθισμένων μεταλλικών εξαρτημάτων σαν επιφάνειες γείωσης
- έγχυση ρεύματος μέσα στο νερό μέσω αγωγών που βρίσκονται κοντά στην ίσαλο γραμμή ή στο νερό

Το σχήμα B22 δείχνει μία πιθανή διάταξη για την μείωση των κινδύνων λόγω παράπλευρων εκκενώσεων. Για την βυθισμένη περιοχή έχει χρησιμοποιηθεί ένα μολύβδινο έρμα και ηλεκτρόδια Siedarc™ έχουν προστεθεί στις άκρες όλων των κύριων αγωγών προστασίας, τα οποία περικυκλώνουν την δεξαμενή νερού και την περιοχή πληρώματος μέσα στην καμπίνα. Ο κύριος διασυνδετικός αγωγός σχηματίζει ένα δαχτυλίδι γύρω από το κουφάρι στο επίπεδο του καταστρώματος για να ελαχιστοποιήσει τον κίνδυνο παράπλευρων εκκενώσεων από αγωγήμα αντικείμενα εκτός των ηλεκτρόδιων γείωσης.

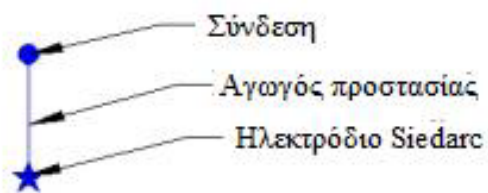
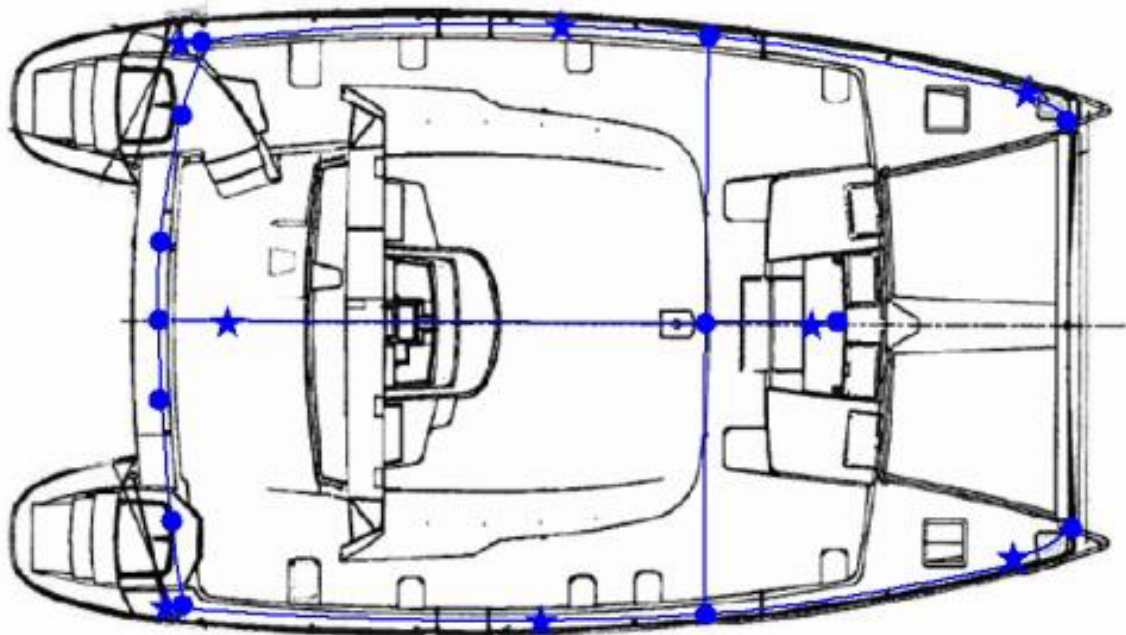




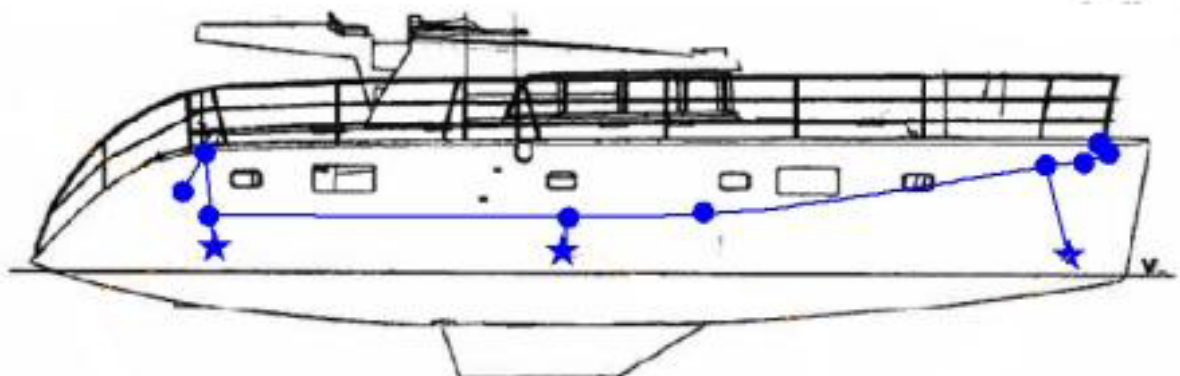
**Σχήμα Β22** Διάταξη αγωγών προστασίας και ηλεκτροδίων γείωσης

### **B28.5.3. Σύστημα προστασίας πλοίου τύπου καταμαράν**

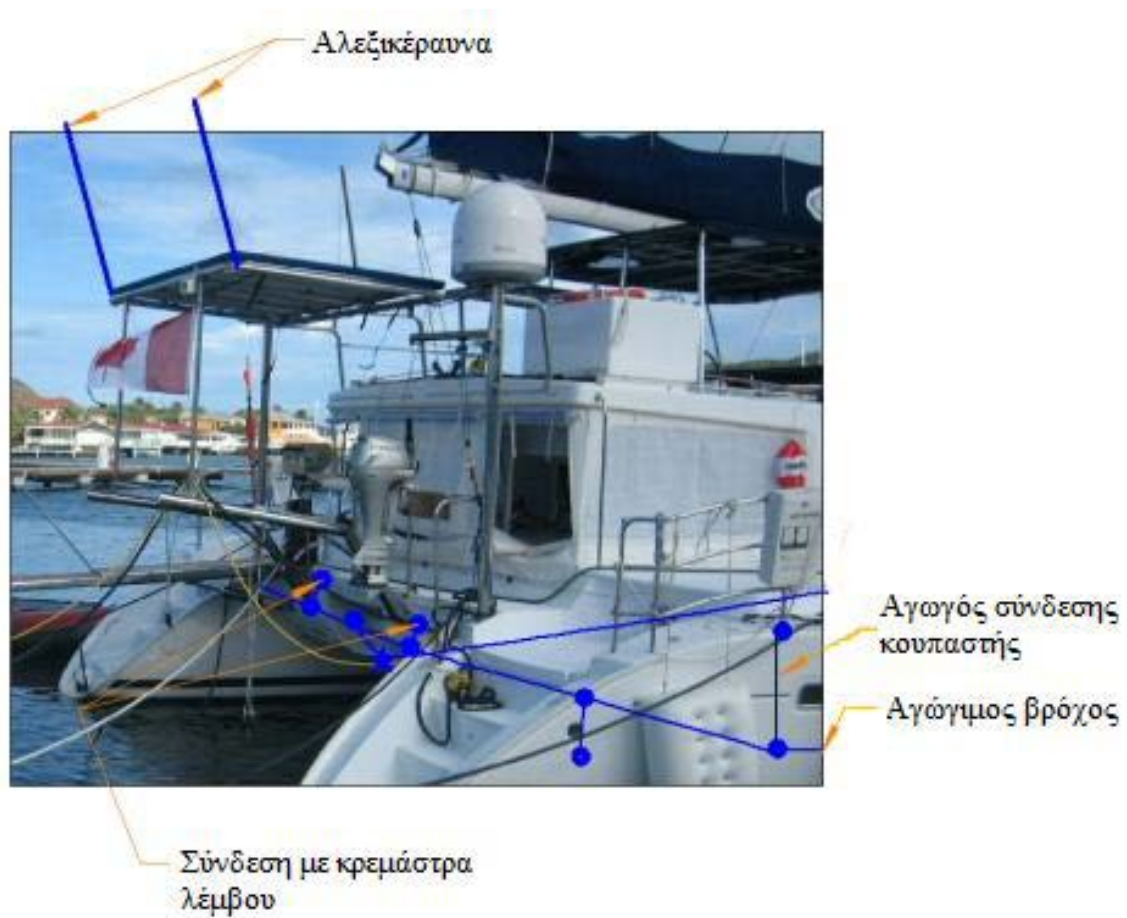
Το σύστημα προστασίας περιλαμβάνει ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο αλεξικέραυνων, αγωγών προστασίας, και ηλεκτροδίων γείωσης που σχηματίζουν ένα αγωγίμο πλέγμα έξω από τον εσωτερικό χώρο του σκάφους. Η ζώνη προστασίας που παρέχεται από το αλεξικέραυνο που είναι τοποθετημένο στην κορυφή του ιστού καλύπτει ολόκληρο το σκάφος. Επιπλέον αλεξικέραυνα έχουν τοποθετηθεί πίσω από τα ηλιακά πάνελ για να μειώσουν το κίνδυνο σχηματισμού εκκενώσεων απ' αυτά. Οι αγωγοί προστασίας έχουν εγκατασταθεί εξωτερικά όλων των καλωδιωμένων, υδραυλικών και κατειλημμένων περιοχών. Το αγωγίμο πλέγμα περιλαμβάνει έναν αγωγίμο βρόχο στο εξωτερικό του κελύφους του σκάφους και διασυνδέσεις κατά μήκος ολόκληρου του σκάφους. Γείωση παρέχεται μέσω έξι ηλεκτροδίων Siedarc™ που είναι διανεμημένα γύρω από τον σκελετό του σκάφους, μέσω δύο ηλεκτροδίων Siedarc™ που βρίσκονται κάτω από το επίπεδο της γέφυρας και μέσω των υπάρχοντων συστημάτων μετάδοσης κίνησης. Όλα τα ηλεκτρόδια Siedarc™ είναι εγκατεστημένα πάνω και δίπλα από την ίσαλο γραμμή.



Σχήμα Β23 Κάτοψη του αγωγίμου βρόχου

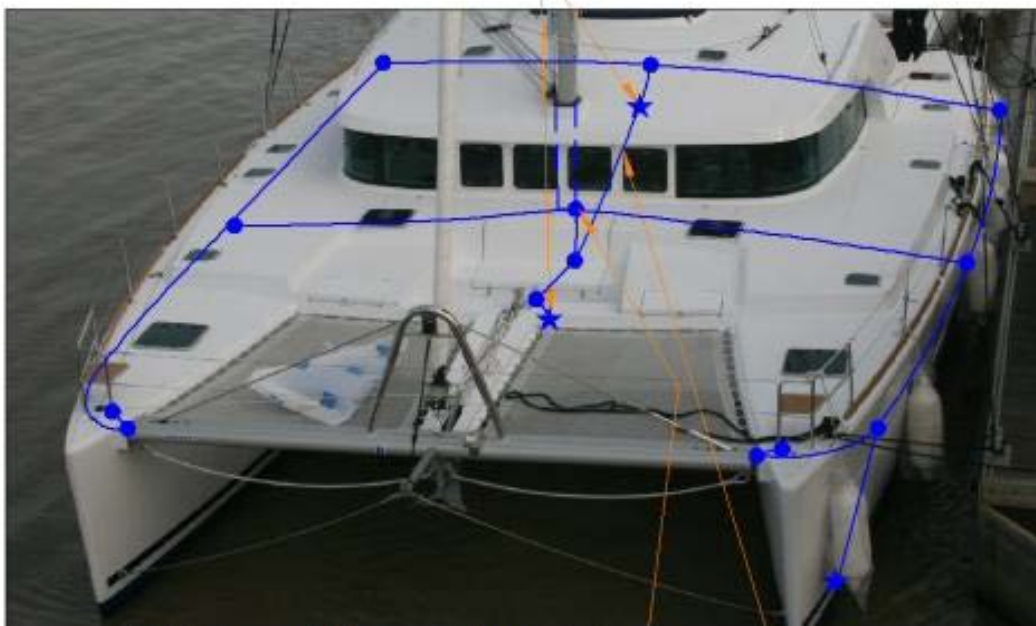


Σχήμα Β24 Πλάγια όψη του αγωγίμου βρόχου



**Σχήμα Β25** Πρυμναίο τμήμα του αγώγιμου βρόχου που απεικονίζει και τα αλεξικέραυνα των ηλιακών πάνελ

Ηλεκτρόδια Siedarc κάτω από το επίπεδο της γέφυρας



Συνδετήρες στη βάση του στύλου στήριξης

Αγωγός προστασίας κάτω από το επίπεδο της γέφυρας

**Σχήμα B26** Διάταξη του αγώγιμου βρόχου στο μπροστινό μέρος του σκάφους

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ι. Α. ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ, «ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ», ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΕΩΝ, ΑΘΗΝΑ 1989
- [2] ΜΙΧΑΗΛ Γ. ΔΑΝΙΚΑΣ, «Στοιχεία Υψηλών Τάσεων», ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΜΠΙΛΙΑΣ Α.Ε.Β.Ε., ΑΘΗΝΑ 2007
- [3] Πέτρος Ντοκόπουλος, «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών», ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη Ιανουάριος 2005
- [4] ΕΛΟΤ 1197
- [5] ΕΛΟΤ HD 384
- [6] National Lightning Safety Institute of U.S.A. – Επίσημος ιστότοπος του αμερικανικού ινστιτούτου αντικεραυνικής προστασίας: [www.lightningsafety.com](http://www.lightningsafety.com)
- [7] Prof.-Dr-Eng. Christian Bouquegneau, «THE LIGHTNING PROTECTION INTERNATIONAL STANDARD
- [8] <http://www.lightningsafety.com/>

- [9] F. Heidler, W. Zischank, Z. Flisowski, Ch. Bouquegneau, C. Mazzetti, «PARAMETERS OF LIGHTNING CURRENT GIVEN IN IEC 62305 – BACKGROUND, EXPERIENCE AND OUTLOOK», 29<sup>th</sup> International Conference on Lightning Protection», 23<sup>rd</sup>-26<sup>th</sup> June 2008, Uppsala, Sweden
- [10] Hellenic Register of Shipping (1999), "Rules and Regulations for the Classification and Construction of Steel Ships- Part 6: Electrical Installations", Piraeus (Greece).
- [11] Μπατιστάτος Ν. (1999), "Ανάλυση Συστημάτων Οηζελοηλεκτρικής Πρόωσης Πλοίων", Οπλωματική Μεταπτυχιακή Εργασία ΟΠΜΣ "Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας", Αθήνα, Οκτώβριος
- [12] Μπατιστάτος Ν. (1999), "Ανάλυση Συστημάτων Δηζελοηλεκτρικής Πρόωσης Πλοίων", Διπλωματική Μεταπτυχιακή Εργασία ΔΠΜΣ "Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας", Αθήνα, Οκτώβριος.
- [13] Φραγκόπουλος Χ., Προυσαλίδης Ι (2005): "Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου – Τόμος Α': Ηλεκτρολογικό μέρος", Διδακτικές σημειώσεις για φοιτητές της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.
- [14] Χατζηλάου ΙΚ, Γύπαρης Ι. (2001): "Ηλεκτροπρόωση Πολεμικών Πλοίων", Μονογραφία ΣΝΔ, Πειραιάς, (Μάρτιος 2001)
- [15] Χατζηλάου ΙΚ, Γαλάνης Γ. , Περτζινίδης Ν.: "Συστήματα ηλεκτροπρόωσης υποβρυχίων του Π.Ν. ", Διήμερο ΤΕΕ : «ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ-ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ», 12-13 Ιανουαρίου 2006.

- [16] Προυσαλίδης Ι., Χατζηλάου Ι.Κ., Στυβακτάκης Ε., Κανέλλος Φ., Χατζηαργυρίου Ν., Φραγκόπουλος Χ, Σοφράς Η.: “Ηλεκτροπρόωση πλοίων και πλήρως εξηλεκτρισμένο πλοίο: προβλήματα ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος”, Διήμερο ΤΕΕ : «ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ-ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ», 12-13 Ιανουαρίου 2006.
- [17] ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΠΡΩΣΗ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΖΗΤΗΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΤΟ ΠΛΗΡΩΣ ΕΞΗΛΕΚΤΡΙΣΜΕΝΟ ΠΛΟΙΟ, Δρ Ι. Κ. Χατζηλάου, Καθ/τής ΣΝΔ, Ι. Μ. Προυσαλίδης, Επ. Καθ/τής ΕΜΠ, Δρ Γ. Αντωνόπουλος, ΔΕΣΜΗΕ ΑΕ, Πλωτάρχης (Μ) Ι. Κ. Γύπαρης ΠΝ, MSc MESE, Π. Βαλλιανάτος, ΗΜ - ROTECHE Engineering Ltd
- [18] Δ. Κόκκινος: «Αντικεραυνικός Κώδικας, ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΣΑΠ», ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΛΕΜΚΟ,