



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

Αντικεραυνική προστασία κατασκευών Εφαρμογή στο Radar Λευκάδας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ποθητός Αντώνιος του Ιωάννη

Καθηγητής: Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέπων: Γεώργιος Π. Φώτης

Αθήνα, Οκτώβριος 2006



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

135

Αντικεραυνική προστασία κατασκευών Εφαρμογή στο Radar Λευκάδας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ποθητός Αντώνιος του Ιωάννη

Καθηγητής: Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Επιβλέπων: Γεώργιος Π. Φώτης

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 5^η Οκτωβρίου 2006

Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος
Καθηγητής

Περικλής Δ. Μπούρκας
Καθηγητής

Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Οκτώβριος 2006

Copyright © Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Στους GUNS N' ROSES

Περίληψη

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η σφαιρική κατανόηση του φαινομένου του κεραυνού και η επίδρασή του στις επίγειες εγκαταστάσεις, και ειδικότερα σε μια εγκατάσταση Radar που καλύπτει τις ανάγκες των πτήσεων. Για αυτούς τους λόγους κάνουμε μια εκτενή ανάλυση της δημιουργίας κεραυνών καθώς και των επιπτώσεών τους στη γήινη επιφάνεια. Ακόμα παρουσιάζονται τα μέτρα θωράκισης και προστασίας των συστημάτων χαμηλής ισχύος απέναντι στο φαινόμενο του κεραυνού. Η παραπάνω ανάλυση αποτελεί τη βάση για τη μελέτη αντικεραυνικής προστασίας μιας εγκατάστασης Radar. Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εστιάζει στο Radar της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας που βρίσκεται στο νησί της Λευκάδας στο Ιόνιο Πέλαγος.

Λέξεις Κλειδιά

Καταιγιδόφορο σύννεφο, Μηχανισμός ατμοσφαιρικών εκκενώσεων, απόσταση διάσπασης, ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, θεωρία ζωνών, μέτρα θωράκισης κατά Lemp, Κανονισμοί 1197 ΕΛΟΤ, Πρότυπα αντικεραυνικής προστασίας IEC 1024, CENELEC (ENV 61024-1), Άνω τερματικά αέρος, Μεσαία τερματικά αέρος, Χαμηλά τερματικά αέρος, συλλεκτήριες ακίδες, μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας και πύργος Radar.

Abstract

This diploma thesis attempts to comprehend spherically the phenomenon of lightning and its impact on the earthly instructions and more specifically on a Radar installation that covers the needs of a flight. For these reasons we make a lengthly analysis of the creation of thunder as well as its impact on the surface of the Earth. We also present the measures of armouring and of protection of the low-powered systems against thunder. The above analysis composes the base for the study of lightning protection of a Radar installation. This particular diploma thesis focus on the Radar of the Politic Aviation Service which is located on the island of Leukada at Ionio Sea.

Key words

Thunderstorming cloud, atmospheric discharges mechanism, space fission, electromagnetic compatibility, zones theory, armouring measures by Lemp, Regulations 1197 ELOT, Models lightning standards IEC 1024, CENELEC (ENV 61024-1), Collecting spikes, rolling bullet method and Radar tower.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	Σελίδα
Πρόλογος	i
Κεφάλαιο 1	iii
Ανασκόπηση του φαινομένου του κεραυνού	
1.1 Ηλεκτρική κατάσταση της γης	1
1.1.1 Φορτισμένο σύννεφο – χαρακτηριστικά	2
1.2 Ο μηχανισμός των ατμοσφαιρικών εκκενώσεων	4
1.2.1 Ο οχετός προεκκένωσης	6
1.2.2 Ο οχετός επιστροφής	6
1.2.3 Οι επακόλουθοι οχετοί	7
1.3 Απόσταση διάσπασης	7
1.4 Μετρήσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων	8
1.5 Εισαγωγικές γνώσεις για την προστασία από το φαινόμενο του κεραυνού	11
1.5.1 Ζημιές που προκαλούνται από τους κεραυνούς	12
1.5.2 Αντικεραυνικές εγκαταστάσεις τύπου ακίδας σε κτίρια	14
1.5.3 Αντικεραυνική προστασία με συστήματα κλωβών Faraday	15
1.5.4 Εσωτερικά αλεξικέραυνα	17
Κεφάλαιο 2	
Υπερτάσεις και προστασία συστημάτων χαμηλής ισχύος	
2.1 Ζημιές στις εγκαταστάσεις χαμηλής ισχύος λόγω υπερτάσεων	18
2.2 Άμεσα και κοντινά πλήγματα κεραυνών	19
2.3 Θέματα χειρισμών	21
2.4 Μέτρα προστασίας	22
2.5 Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα - θεωρία των ζωνών	26
2.5.1 Η θεωρία των ζωνών σε συμφωνία με παλιότερες θεωρίες	26
2.5.2 Ορισμός και χαρακτηριστικά των ζωνών	26
2.5.3 Απαιτήσεις γείωσης	27
2.5.4 Απαιτήσεις θωράκισης	28
2.5.5 Απαιτήσεις ισοδυναμικών συνδέσεων	28
2.5.6 Ισοδυναμικές συνδέσεις στα όρια των ζωνών αντικεραυνικής προστασίας	29
2.5.7 Ισοδυναμικές συνδέσεις στα όρια μεταξύ διαδοχικών ζωνών αντικεραυνικής προστασίας	31
2.5.8 Ισοδυναμικές συνδέσεις πληροφοριακών συστημάτων	31
2.5.9 Θέσεις ΣΑΠ	34
2.6 Μέθοδοι αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των μέτρων θωράκισης κατά Lemp για κατασκευές με ηλεκτρονικά συστήματα σε περίπτωση άμεσου και κοντινού πλήγματος κεραυνού	36
2.6.1 Εξασθένιση πεδίου για θωράκιση που διαρρέεται από ρεύμα	39
2.7 Επαγόμενες τάσεις στους εσωτερικούς βρόχους	40

Κεφάλαιο 3	Μελέτη αντικεραυνικής προστασίας του Radar της Λευκάδας	
3.1	Υπάρχουσα γείωση- αντικεραυνική προστασία	41
3.2	Προτεινομένη βελτίωση της υπάρχουσας αντικεραυνικής προστασίας	43
3.2.1	Συλλεκτήριο σύστημα	43
3.2.2	Αγωγοί καθόδου	46
3.2.3	Σύστημα γείωσης	46
3.3	Εκτίμηση της επαγομένης υπέρτασης σε εσωτερικό βρόχο	47
	Βιβλιογραφία	55

Πρόλογος

Η εργασία αυτή αποτελεί τη διπλωματική εργασία του φοιτητή Ποθητού Αντωνίου για την απόκτηση του διπλώματος του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η μελέτη αντικεραυνικής προστασίας εγκατάστασης Radar. Για το σκοπό αυτό στο κεφάλαιο 1 γίνεται γενική ανασκόπηση του φαινομένου του κεραυνού αναφέροντας αναλυτικά την ηλεκτρική κατάσταση της γης και το καταιγιδόφορο σύννεφο. Στη συνέχεια, περιγράφεται ο μηχανισμός των ηλεκτρικών εκκενώσεων και η απόσταση διάσπασης. Επίσης στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται και μετρήσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι υπερτάσεις και η προστασία συστημάτων χαμηλής ισχύος. Συγκεκριμένα αναφέρονται οι ζημιές που δύνανται να δημιουργηθούν στις εγκαταστάσεις χαμηλής ισχύος λόγω υπερτάσεων. Ακόμα εξετάζονται τα άμεσα και κοντινά πλήγματα κεραυνών όπως και τα θέματα χειρισμών και των μέτρων προστασίας. Γίνεται εκτενή αναφορά περί της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και της θεωρίας των ζωνών. Στο κεφάλαιο αυτό επίσης παρουσιάζονται οι μέθοδοι αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των μέτρων θωράκισης κατά Lemp για κατασκευές με ηλεκτρονικά συστήματα σε περίπτωση άμεσου και κοντινού πλήγματος κεραυνού. Το κεφάλαιο 2 κλείνει με τις επαγόμενες τάσεις στους εσωτερικούς βρόχους. Παρακάτω στο κεφάλαιο 3 έχουμε τη μελέτη αντικεραυνικής προστασίας του Radar της Λευκάδας στην οποία αναφέρεται η υπάρχουσα γείωση και αντικεραυνική προστασία. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην προτεινόμενη βελτίωση της υπάρχουσας αντικεραυνικής προστασίας. Τέλος, γίνεται εκτίμηση της επαγόμενης υπέρτασης σε εσωτερικό βρόχο.

Ευχαριστώ προσωπικά τον καθηγητή μου Ιωάννη Α. Σταθόπουλο καθηγητή του Τομέα Ηλεκτρικής Ισχύος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, την Λέκτορα του Πανεπιστημίου Πατρών Πυργιώτη Ελευθερία, τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας Γεώργιο Π. Φώτη όπως επίσης και την υπόλοιπη επιστημονική ομάδα του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ.

Κεφάλαιο 1

Ανασκόπηση του φαινομένου του κεραυνού

1.1 Ηλεκτρική κατάσταση της γης

Η γη είναι μόνιμα φορτισμένη με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο της τάξης των $5 \times 10^{25} \text{C}$. Το φορτίο αυτό προκαλεί στην επιφάνεια της γης, υπό συνθήκες καλοκαιρίας, ηλεκτρικό πεδίο με κατεύθυνση από την ατμόσφαιρα προς τη γη έντασης περίπου 0.13 kV/m . Ισοδύναμη ποσότητα θετικού φορτίου παραμένει κατανεμημένη στην ατμόσφαιρα με μεγαλύτερη πυκνότητα στα χαμηλότερα στρώματα. Η παρουσία του κατανεμημένου θετικού φορτίου έχει σαν αποτέλεσμα την προοδευτική μείωση του πεδίου της γης με το ύψος. Εξ' αιτίας αυτού του κατακόρυφου πεδίου η γη βρίσκεται συνεχώς σε τάση 300 kV σε σχέση με τα ανώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας.

Είναι γνωστό πως θετικά και αρνητικά ιονισμένα σωματίδια που παράγονται από κοσμική ακτινοβολία, γήινη ραδιενέργεια και από άλλες αιτίες προσδίδουν στον αέρα ορισμένη αγωγιμότητα. Εξαιτίας αυτής της αγωγιμότητας και του ηλεκτρικού πεδίου της ατμόσφαιρας, ιόντα και των δύο πρόσημων κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την εξομάλυνση του γήινου πεδίου και κατά συνέπεια την εκφόρτιση της γης. Το γεγονός ότι αυτό δε συμβαίνει οφείλεται στο ότι η γη δέχεται ταυτόχρονα αρνητικό φορτίο ισοδύναμο με αυτό του ρεύματος των θετικών ιόντων. Πιστεύεται πως η κύρια αιτία που τροφοδοτεί τη γη με αρνητικό φορτίο είναι τα ηλεκτρισμένα σύννεφα και οι κεραυνοί.

Ένας κεραυνός μπορεί να οριστεί ως μια μεταβατική ηλεκτρική εκκένωση πολύ μεγάλου ρεύματος το μήκος της οποίας μετράται σε χιλιόμετρα. Συμβαίνει όταν κάποια περιοχή της ατμόσφαιρας αποκτήσει ηλεκτρική φόρτιση αρκετά μεγάλη ώστε το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται να προκαλέσει ηλεκτρική διάσπαση του αέρα. Η πιο συνήθης αιτία παραγωγής κεραυνών είναι η ύπαρξη φορτισμένων σύννεφων. Διάσπαση μπορεί να συμβεί εντός του σύννεφου, μεταξύ δύο σύννεφων, μεταξύ ενός

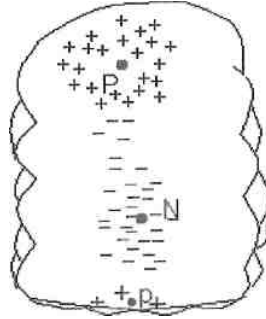
σύννεφου και της γης ή μεταξύ ενός σύννεφου και του αέρα. Η εκκένωση ενός αρνητικού νέφους προς τη γη γίνεται με ένα αρνητικό κεραυνό και ενός θετικού νέφους με ένα θετικό κεραυνό. Επειδή οι θετικοί κεραυνοί είναι λιγότερο συχνοί (10-20%), από εδώ και πέρα θα γίνεται αναφορά μόνο σε αρνητικούς κεραυνούς.

Σε μία περιοχή με εύκρατο κλίμα τα χαρακτηριστικά του κεραυνού επηρεάζονται από την ορογραφική κατάσταση της περιοχής. Στις ορεινές περιοχές η ένταση του ρεύματος του κεραυνού όπως και το σχετικό φορτίο είναι μικρά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μικρή απόσταση της γης-νέφους προκαλεί εκκενώσεις στη γη πριν ολοκληρωθεί η διαδικασία φορτίσεως του νέφους και στο ότι το μικρό, σχετικά, μήκος του αγωγού του κεραυνού έχει σαν αποτέλεσμα τη συσσώρευση ενός μικρού μόνον φορτίου κατά μήκος αυτού. Ο αριθμός των εκκενώσεων στις ορεινές περιοχές είναι πάντοτε μεγαλύτερος από εκείνον στις πεδινές. Στις πεδινές περιοχές όπου η απόσταση νέφους-γης είναι μεγαλύτερη σημειώνονται λιγότερες εκκενώσεις αλλά με υψηλή ένταση ρεύματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σπάνια, σχετικά, το ηλεκτρικό πεδίο είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπει κεραυνό νέφους-γης. Η μεγάλη ένταση ρεύματος οφείλεται στην παρουσία νέφων πολύ φορτισμένων και οχετών εκκενώσεως μεγάλου μήκους.

Επίσης σημαντικό ρόλο στη δημιουργία κεραυνικών εκκενώσεων έχει και η εποχή. Το καλοκαίρι λόγω του σημαντικού ύψους των νεφών από το έδαφος πολλές εκκενώσεις πραγματοποιούνται εντός ενός νέφους ή μεταξύ νεφών. Αυτό έχει σαν συνέπεια μια απότομη μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια του εδάφους. Εάν υπάρχει κάποια αιχμηρή κατασκευή, το πεδίο πλησίον του εδάφους μπορεί να γίνει τόσο έντονο ώστε να δημιουργήσει μια ανερχόμενη εκκένωση. Ο αριθμός των ανερχόμενων εκκενώσεων κατά την καλοκαιρινή περίοδο είναι πολύ μεγαλύτερος από εκείνον των κατερχόμενων. Στο άλλο διάστημα του χρόνου (άνοιξη, φθινόπωρο), τα νέφη κινούνται χαμηλότερα. Αυτό διευκολύνει την εκκένωση προς τη γη πριν ακόμη η διαδικασία φορτίσεως του νέφους ολοκληρωθεί κάνοντας λιγότερο συχνές τις εκκενώσεις μεταξύ νέφους-γης.

1.1.1 Φορτισμένο σύννεφο – χαρακτηριστικά

Έχουν μέγεθος που μπορεί να υπερβεί τα 20 km σε μήκος και τα 8 έως 12 km σε ύψος. Μέσα στο σύννεφο υπάρχουν οι φορτισμένες περιοχές, όπως φαίνεται στην σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1: Φορτισμένες περιοχές καταγιδοφόρου σύννεφου

Το επάνω μέρος του σύννεφου είναι κατά κανόνα θετικά φορτισμένο, ενώ το κάτω μέρος αρνητικά. Η κατανομή αυτή του φορτίου είναι αυτή ενός ηλεκτρικού δίπολου. Εκτός από τα κύρια αυτά φορτία, στη βάση του σύννεφου υπάρχει μια μικρή συγκέντρωση θετικού φορτίου. Η πιο συνηθισμένη ηλεκτρική εικόνα λοιπόν ενός σύννεφου, είναι ένα ηλεκτρικό δίπολο με θετικό στην κορυφή του και αρνητικό στην προς την γη πλευρά του, χωρίς όμως αυτό να αποτελεί γενικό κανόνα. Για τον τρόπο συγκέντρωσης του ηλεκτρικού φορτίου στα σύννεφα έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες, χωρίς καμμία να είναι γενικά παραδεκτή. Οι θεωρίες αυτές μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Σε αυτές που βασίζονται στην φόρτιση σταγονιδίων του νέφους που συμβαίνει μόλις αρχίσει η πτώση τους προς τη γη και σε αυτές που βασίζονται στη μεταφορά φορτίων σε ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, με ανοδικά ρεύματα που οφείλονται σε θερμοκρασιακές διαφορές.

Το ηλεκτρικό πεδίο ενός σύννεφου με την ηλεκτρική εικόνα που περιγράφηκε, διαταράσσει το ομαλό πεδίο καλοκαιρίας με αποτέλεσμα να προκαλεί την αναστροφή του, έτσι αναστρέφεται και η φορά του ρεύματος καλοκαιρίας που ρέει προς τη γη. Η σταθερά χρόνου αύξησης του ηλεκτρικού πεδίου ενός σύννεφου είναι περίπου 2 λεπτά, που σημαίνει πως το σύννεφο περνά από την ουδέτερη στην ηλεκτρισμένη κατάσταση σε λίγα μονον λεπτά. Με το σχηματισμό ενός ηλεκτρισμένου νέφους το ηλεκτρικό πεδίο καλοκαιρίας, αφού πρώτα αναστραφεί αποκτά με την κατεύθυνση της κακοκαιρίας (από τη γη προς την ατμόσφαιρα), τιμές που φθάνουν τα 10kV/m. Το πεδίο αυτό διαταράσσεται στιγμιαία με κάθε εκκένωση κεραυνού ή εσωτερική του νέφους, στη συνέχεια όμως αποκαθίσταται πάλι στην προηγούμενη τιμή του. Όταν το πεδίο που προκαλείται στην επιφάνεια της γης, απο την παρουσία ενός ηλεκτρισμένου σύννεφου γίνει αρκετά μεγάλο (μεγαλύτερο από 1,5 έως 2kV/m) αρχίζει ιονισμός από κρούσεις σε αιχμηρές προεξοχές του εδάφους, όπως πολύ ψηλά

κτίρια, απαγωγείς κεραυνών κλπ. και θετικά ιόντα μεταφέρονται από τη γη διαμέσου του αγωγού, στην ατμόσφαιρα. Το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται ονομάζεται ρεύμα ιονισμού της προεξοχής (point-discharge current). Αυτό το ρεύμα όπως και τα φορτία χώρου που δημιουργούνται παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκκένωση του κεραυνού, ιδιαίτερα στα τελευταία στάδια εξέλιξης του.

Πάντως πρέπει να σημειωθεί πως η ταχύτητα αυτών των ιόντων είναι μικρή, συγκρινόμενη με αυτή του ανέμου, κατά την διάρκεια της καταιγίδας και έτσι η κινήσή τους καθορίζεται κυρίως από την ταχύτητα του ανέμου, έτσι ώστε πολλά από τα ιόντα αυτά να διασκορπίζονται στην ατμόσφαιρα. Επομένως η τιμή του ρεύματος είναι συνάρτηση του μεγέθους του ηλεκτρικού πεδίου, του ύψους του αγωγού (αγωγίμου επιφανείας, ενός βρεγμένου κτιρίου, δένδρου κλπ.) από το οποίο παράγεται και από την ταχύτητα του ανέμου. Ενδεικτικά αναφέρεται πως για αγωγούς ύψους μερικών δεκάδων μέτρων η τιμή του είναι λίγα μA , ενώ σε ορεινές περιοχές όπου τα σύννεφα είναι πιο πυκνά μερικά mA . Πρέπει εδώ να σημειωθεί πως όλα τα σύννεφα δεν προκαλούν ηλεκτρικές εκκενώσεις, έστω και αν παρουσιάζουν συνθήκες φόρτισης.

1.2 Ο μηχανισμός των ατμοσφαιρικών εκκενώσεων

Ένας κεραυνός από το σύννεφο προς το έδαφος έχει διάρκεια της τάξης των 0.2 sec όμως αποτελείται από ένα ή περισσότερα στάδια (3 ή 4 συνήθως) μεταξύ των οποίων μεσολαβούν διαστήματα των 40 msec περίπου. Δεκάδες Coulomb αρνητικού φορτίου μεταφέρονται με τη διαδικασία αυτή από την αρνητικά φορτισμένη περιοχή του σύννεφου στο έδαφος.

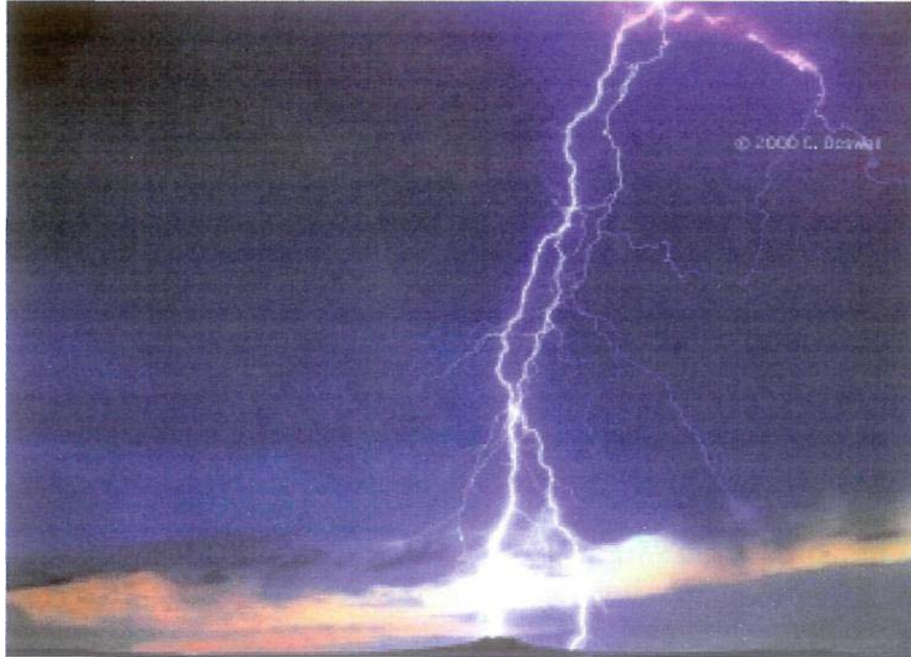
Στη συνέχεια δίνονται μερικοί ορισμοί για τις διάφορες παραμέτρους του κεραυνού που συμφωνούν με αυτούς που έχουν υιοθετηθεί από τον K.Berger .

Πολικότητα κεραυνού: Η εκκένωση ενός «αρνητικού νέφους» προς τη γη γίνεται με ένα «αρνητικό κεραυνό» και ενός θετικού νέφους με ένα «θετικό κεραυνό».

Πολικότητα του ρεύματος του κεραυνού: Κατά την εκκένωση ενός «αρνητικού νέφους» ρέει προς τη γη ένα «αρνητικό ρεύμα» και αντίθετα.

Κατεύθυνση οχετού προεκκένωσης: Ένας «κατερχόμενος οχετός προεκκένωσης» (που συχνά ονομάζεται και «οδηγός οχετός») προχωρεί από το σύννεφο προς το έδαφος, ένας «ανερχόμενος οχετός προεκκένωσης» προχωρεί από το έδαφος προς το

σύννεφο . Ένας «ανερχόμενος οχετός σύνδεσης» είναι μια εκκένωση που ξεκινά από το έδαφος και συναντά, σε μια ενδιάμεση θέση μεταξύ σύννεφου και εδάφους ένα κατερχόμενο οχετό (βλ. εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1: Το φυσικό φαινόμενο του κεραυνού

Πολικότητα του οχετού προεκκένωσης: Η πολικότητα ενός οχετού προεκκένωσης ταυτίζεται με την πολικότητα του φορτίου της θέσης από την οποία ξεκινά. Έτσι, από ένα θετικό σύννεφο, ξεκινά ένας «θετικός οχετός προεκκένωσης» και αντίθετα. Από μια προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα θετικό σύννεφο ξεκινά ένας «αρνητικός οχετός προεκκένωσης».

Πολικότητα του ηλεκτρικού πεδίου: Το ηλεκτρικό πεδίο κάτω από ένα «αρνητικό σύννεφο» ορίζεται σαν «αρνητικό» και το αντίθετο. Σύμφωνα με αυτό τον ορισμό, το πεδίο καλοκαιρίας του εδάφους έχει «θετική κατεύθυνση».

Ο κεραυνός ξεκινά από σημεία υψηλής πεδιακής έντασης. Δύο ετερόσημα φορτία μέσα στο ίδιο σύννεφο ή δύο γειτονικά σύννεφα δημιουργούν στο διάστημα που παρεμβάλλεται μεταξύ τους υψηλές πεδιακές εντάσεις που μπορούν να προκαλέσουν μια εκκένωση εσωτερική του νέφους, ή ανάμεσα σε δύο σύννεφα. Συγκέντρωση φορτίου ενός προσήμου σε μια θέση του νέφους και το φορτίο αντίθετου προσήμου, που επάγεται εξαιτίας του, στο έδαφος, δημιουργούν ανάμεσα στο νέφος και το

έδαφος μια ζώνη αυξημένων πεδιακών εντάσεων. Οι υψηλότερες εντάσεις μέσα στη ζώνη αυτή μπορεί να αναπτύσσονται είτε κοντά στο νέφος είτε σε περίπτωση που το έδαφος παρουσιάζει μια σημαντική προεξοχή στην πλευρά του εδάφους. Στην πρώτη περίπτωση, η ενδεχόμενη εκκένωση που θα επακολουθήσει θα αρχίσει από το νέφος (με ένα κατερχόμενο οχετό προεκκένωσης) ενώ στη δεύτερη από το έδαφος (με έναν ανερχόμενο οχετό προεκκένωσης).

1.2.1 Ο οχετός προεκκένωσης

Κάθε διάσπαση αποτελείται από ένα στάδιο προεκκένωσης μικρής φωτεινότητας που εξελίσσεται από το σύννεφο προς το έδαφος, τον οχετό προεκκένωσης. Στις περιοχές του νέφους με μεγάλη πυκνότητα φορτίου η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να πάρει πολύ μεγάλες τιμές. Οι υψηλές εντάσεις σε συνδυασμό με τη μικρή πυκνότητα του αέρα -λόγω του υψόμετρου- 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 της ηλεκτρικής εκκένωσης. Στη συνέχεια δημιουργείται στη βάση του σύννεφου μεταξύ των αρνητικά και θετικά φορτισμένων περιοχών ο οχετός προεκκένωσης και προχωρά προς τη γη με βήματα των 10-150 μέτρων μεταξύ των οποίων μεσολαβούν διαστήματα των 50 μsec . Αυτός κατ' ευθείαν ακολουθείται από τον πολύ φωτεινό οχετό επιστροφής.

1.2.2 Ο οχετός επιστροφής

Όταν ο οχετός προεκκένωσης έχει πλησιάσει στο έδαφος, δημιουργεί υψηλό ηλεκτρικό πεδίο στο έδαφος ικανό να δημιουργήσει οχετούς που προχωρούν από το έδαφος προς τα πάνω. Όταν κάποιος από αυτούς έρθει σε επαφή με τον οχετό προεκκένωσης το κάτω μέρος αυτού συνδέεται με τη γη δημιουργώντας ένα πολύ φωτεινό οχετό επιστροφής. Το μέτωπο αυτού έχει ταχύτητα της τάξης του $1/3$ έως $1/10$ της ταχύτητας του φωτός, δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από αυτή με την οποία προχωρά ο οχετός προεκκένωσης. Το κανάλι ανάμεσα στο μέτωπο αυτό και το έδαφος διαρρέεται από πολύ μεγάλα ρεύματα. Το περίσσειμα αρνητικού φορτίου διοχετεύεται στη γη μέσω του υψηλά αγωγίμου καναλιού. Έχει μετρηθεί τιμή ρεύματος 10-20 kA στο έδαφος που μειώνεται όμως στο μισό μέσα σε χρονικό διάστημα 20-60 μsec . Στη συνέχεια και για μερικά msec, ρεύματα της τάξης των εκατοντάδων amperes συνεχίζουν να ρέουν.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τρόπος με τον οποίο δημιουργείται η βροντή του κεραυνού: Η μεγάλη πυκνότητα, και θερμοκρασία του καναλιού δημιουργούν μέσα σε αυτό μια πίεση πολύ μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος αέρα. Η εκτόνωση του καναλιού γίνεται με υπερηχητική ταχύτητα και παράγει το ηχητικό κύμα που αντιλαμβανόμαστε ως τη βροντή του κεραυνού. Τέλος, σε μερικά δέκατα του msec οι διαφορές πυκνότητας, θερμοκρασίας και πίεσης εξισορροπούνται.

1.2.3 Οι επακόλουθοι οχετοί

Αφού το ρεύμα του κεραυνού έχει σταματήσει να ρέει το φαινόμενο μπορεί να τελειώσει. Αν όμως υπάρχει διαθέσιμο φορτίο στην κορυφή του καναλιού μέσα σε διάστημα μικρότερο από 100 msec, συνεχίζεται με κάθε επόμενο οχετό να αντλεί φορτίο από ψηλότερες περιοχές της αρνητικής περιοχής του σύννεφου. Καθένας από αυτούς τους επακόλουθους οχετούς δεν διοχετεύει τόσο μεγάλο φορτίο στο κανάλι, ούτε έχει διακλαδώσεις όπως ο οχετός προεκκένωσης. Οι επόμενες αυτές εκκενώσεις διαδέχονται η μία την άλλη σε μικρά χρονικά διαστήματα και η καθεμία περιλαμβάνει δικό της συνδετικό οχετό και οχετό επιστροφής. Συνήθως οι διαδοχικές αυτές εκκενώσεις ακολουθούν την ίδια όδευση που χαράζει η αρχική εκκένωση χωρίς όμως να αποκλείεται και το αντίθετο.

1.3 Απόσταση διάσπασης

Είναι φανερό ότι το σημείο στο οποίο τελικά θα πέσει ο κεραυνός αποφασίζεται μόνο την τελευταία στιγμή, όταν δηλαδή ο οχετός προεκκένωσης πλησιάζει σε τέτοια απόσταση το έδαφος ώστε να υπάρξουν συνθήκες σύνδεσης του κατερχόμενου οχετού με κάποιο σημείο του εδάφους. Οι συνθήκες σύνδεσης πληρούνται όταν η μέση πεδιακή ένταση ανάμεσα στην κεφαλή του κατερχόμενου οχετού και του σημείου όπου θα πέσει τελικά ο κεραυνός φτάσει τα 5 kV/cm (αν ο οχετός προεκκένωσης ξεκινά από περιοχή αρνητικού φορτίου). Η απόσταση στην οποία η πεδιακή ένταση πέφτει στην πιο πάνω τιμή ονομάζεται "απόσταση διάσπασης" (Α.Δ.) και εξαρτάται από την τάση που παρουσιάζει η κεφαλή του κατερχόμενου οχετού προεκκένωσης προς το έδαφος. Η τάση αυτή εξαρτάται από το μέγεθος του φορτίου του νέφους από το οποίο ξεκινά ο οχετός προεκκένωσης. Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο αυτό τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση διάσπασης. Η απόσταση διάσπασης συνδέεται με το ρεύμα με τη σχέση :

$$r_s = 8 \cdot I_0^{0.65} \quad (1.1)$$

Ο σχεδιασμός συστημάτων προστασίας από κεραυνούς στηρίζεται στο γεγονός ότι αν ένα κτίσμα είναι εφοδιασμένο με μεταλλικές γειωμένες προεξοχές για τις οποίες η απόσταση διάσπασης προκύπτει πριν από οποιοδήποτε άλλο σημείο του κτίσματος, οι κεραυνοί θα καταλήγουν κατά προτίμηση στις προεξοχές αυτές και θα διοχετεύονται στο έδαφος χωρίς να προξενούν ζημιά.

1.4 Μετρήσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων

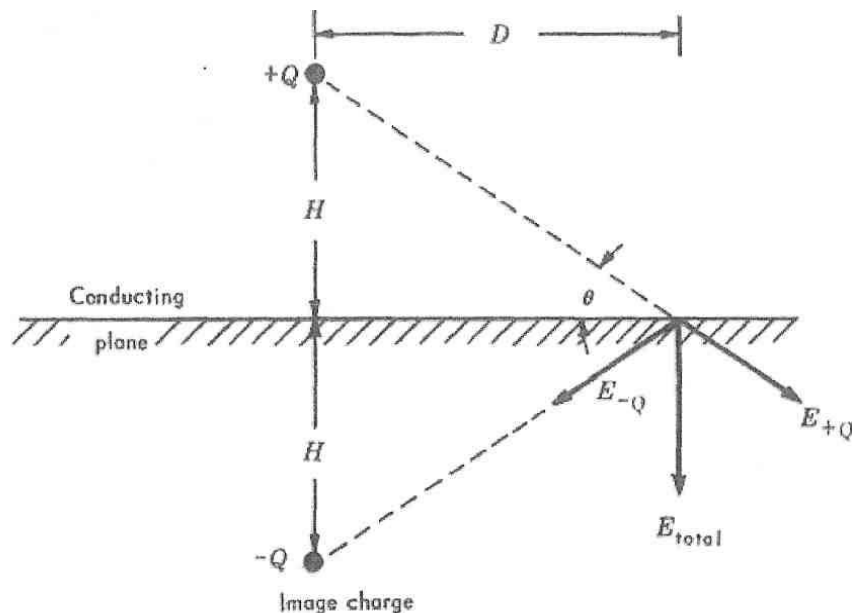
Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E σε μια απόσταση r από ένα θετικό φορτίο στον αέρα ή στο κενό είναι:

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1.2)$$

Η γη είναι αρνητικά φορτισμένη και η ατμόσφαιρα θετικά. Σε καλοκαιρία η ένταση E στο έδαφος είναι 100 V/m με κατεύθυνση προς το κέντρο της γης.

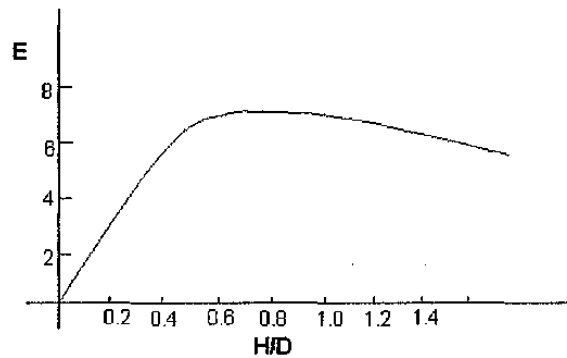
Για ένα φορτίο $+Q$ που βρίσκεται σε απόσταση H από την επιφάνεια της γης η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε οριζόντια απόσταση D από το φορτίο είναι:

$$E = \frac{2QH}{4\pi\epsilon_0 (H^2 + D^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (1.3)$$



Σχήμα 1.2: Φορτίο Q ευρισκόμενο σε απόσταση H από τη γη

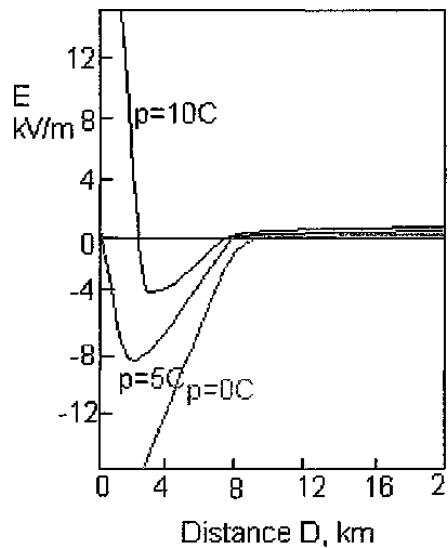
Η μεταβολή του E με τη μεταβολή του H φαίνεται στο σχήμα 13



Σχήμα 1.3: Γραφική παράσταση μεταβολής έντασης ΗΠ συναρτήσει απόστασης Η.

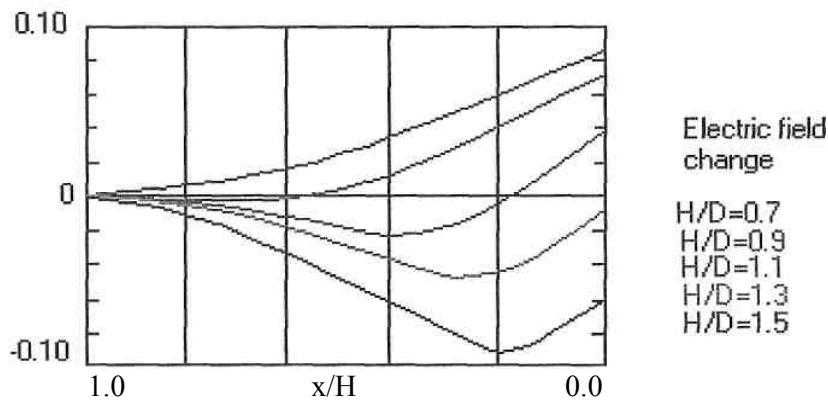
Το μέγιστο παρουσιάζεται για $H/D = 1/\sqrt{2}$

Χρησιμοποιώντας την Εξ.1.3 μπορούμε να υπολογίσουμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο έδαφος λόγω των φορτισμένων περιοχών P, N και ρ. Στο σχήμα 1.4 φαίνεται η μεταβολή του πεδίου με την απόσταση για 3 τιμές φορτίου ρ και για $P = -N = 40 \text{ C}$.



Σχήμα 1.4: Γραφική παράσταση μεταβολής του πεδίου συναρτήσει της απόστασης για 3 τιμές φορτίου P και για $P = -N = 40 \text{ C}$

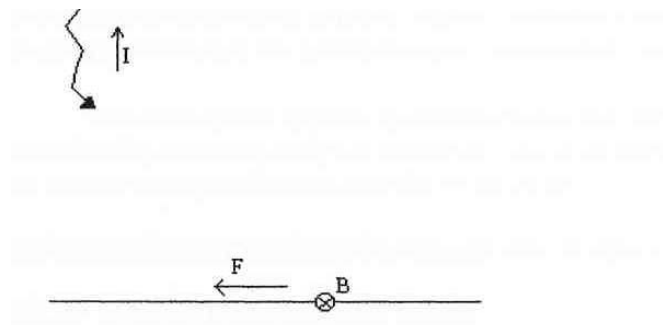
Αυτό που μας ενδιαφέρει όμως δεν είναι τόσο το ηλεκτρικό πεδίο αυτό, αλλά η μεταβολή του πεδίου που συμβαίνει καθώς ο κεραυνός προχωρά από το σύννεφο προς το έδαφος, λόγω της μεταβολής του φορτίου στην πηγή, δηλαδή μέσα στο σύννεφο.



Σχήμα 1.5: Γραφική παράσταση ηλεκτρικού πεδίου συναρτήσει σημείου πτώσης του κεραυνού

Όπου χ είναι η απόσταση της αρχής του οχετού από το έδαφος. Ανάλογα με την απόσταση που απέχει το σημείο στο οποίο πέφτει ο κεραυνός από το σημείο μετρήσεων η μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου γίνεται με διαφορετικό τρόπο, όπως φαίνεται στις παραπάνω καμπύλες του σχήματος Γ. Για μικρό D δηλαδή αν η απόσταση του σημείου μέτρησης είναι μικρή μετράται αρνητική μεταβολή ηλεκτρικού πεδίου ενώ αν το σημείο μέτρησης είναι πιο μακριά είναι θετική.

Η κίνηση φορτίων μέσα σε ένα σύννεφο και από το σύννεφο στο έδαφος συνιστά ηλεκτρικό ρεύμα. Σε αυτό το ρεύμα οφείλεται το μαγνητικό πεδίο που μετράται στο έδαφος. Μας ενδιαφέρει το πρόσημο της μεταβολής του ηλεκτρικού πεδίου, γιατί καθορίζει τη φορά του μαγνητικού πεδίου (μπορεί να καθοριστεί και η φορά των μηχανικών δυνάμεων καταπόνησης σε μεταλλικά συστήματα που βρίσκονται στο έδαφος, σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.6: Ρεύμα οφειλόμενο στο μαγνητικό πεδίο που μετράται στο έδαφος

1.5 Εισαγωγικές γνώσεις για την προστασία από το φαινόμενο του κεραυνού

Ο κεραυνός αποτελεί ένα άστατο, τυχαίο και απρόβλεπτο φαινόμενο. Περίπου 2.000 καταιγίδες ενεργούν ταυτόχρονα στη γη προκαλώντας πάνω από 100 πτώσεις κεραυνών ανά δευτερόλεπτο. Στα φυσικά χαρακτηριστικά του κεραυνού περιλαμβάνονται στάθμες ρεύματος που μερικές φορές ξεπερνούν τα 400 kA, θερμοκρασίες που φτάνουν τους 30.000 βαθμούς Κελσίου και ταχύτητες που πλησιάζουν το ένα τρίτο της ταχύτητας του φωτός. Μελέτη Αμερικανικών ασφαλιστικών εταιριών αποφαίνεται ότι ένας στους 57 κεραυνούς πλήττει κάποιο κτίριο. Κατά το National Lightning Safety Institute των ΗΠΑ κάθε χρόνο προκαλούνται εκεί περισσότερες από 26.000 πυρκαγιές από κεραυνούς με αποτέλεσμα οι ζημιές να υπερβαίνουν κάθε χρόνο τα 6 δισεκατομμύρια δολάρια. Τα φαινόμενα που εμφανίζονται κατά τις πτώσεις κεραυνών ακολουθούν την εξής περίπου συμπεριφορά:

Οι οχητοί που κατέρχονται κατά τις καταιγίδες δρουν στη γη με κίνηση προς ενεργούς ηλεκτρικούς στόχους. Αντικείμενα που βρίσκονται στη γη (φράχτες, δέντρα, θάμνοι, γωνίες κτιρίων, άνθρωποι, ακίδες αλεξικέραυνων κτλ.) ενεργούν εκπέμποντας ποικίλα μεγέθη ηλεκτρικής ενέργειας στη διάρκεια του φαινομένου.

Μερικοί από τους οχητούς που κατέρχονται συνδέονται με οχητούς που ανέρχονται με αποτέλεσμα να κλείνει η σύνδεση και να εμφανίζεται ροή ρεύματος δηλαδή να δημιουργείται κεραυνός. Τα αποτελέσματα των κεραυνών μπορεί να είναι άμεσα ή έμμεσα. Τα άμεσα αποτελέσματα προέρχονται από θερμότητα που οφείλεται στην αντίσταση (ωμική), στο τόξο και στο αποτέλεσμα καύσης, ακόμη μηχανικά αποτελέσματα που οφείλονται στην απότομη μεταφορά ενέργειας από τον κεραυνό στη δομική κατασκευή και μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα στρεβλώσεις στοιχείων από δυνάμεις Laplace κτλ. Στα έμμεσα φαινόμενα περιλαμβάνονται χωρητική, επαγωγική και μαγνητική συμπεριφορά.

Η «πρόβλεψη» των κεραυνών φαίνεται (με την απόλυτη έννοια) να είναι αδύνατη. Ο περιορισμός των συνεπειών τους μπορεί να εξασφαλιστεί με αυξημένα ποσοστά ασφάλειας με τη χρήση συστηματικών κατασκευών προστασίας. Στα έμμεσα αποτελέσματα θα πρέπει να περιληφθούν και οι κίνδυνοι από τη βηματική τάση μετά από πτώση του κεραυνού στο έδαφος.

1.5.1 Ζημίες που προκαλούνται από τους κεραυνούς

Στόχος των κεραυνών είναι ουσιαστικά όλη η επιφάνεια της γης χωρίς καμιά εξαίρεση. Αποτέλεσμα αυτής της δυνατότητας είναι να προκαλείται σειρά ατυχημάτων που μπορεί να πλήττουν:

Άνθρώπους και ζώα: Σε όλη τη γη τα άτομα ή τα ζώα που κυκλοφορούν είναι δυνατό να αποτελέσουν στόχο κεραυνού εφόσον βρίσκονται σε απροστάτευτο χώρο στη διάρκεια καταιγίδας. Είναι γνωστό ότι δεν επιτρέπεται στη διάρκεια καταιγίδας να κυκλοφορούν άτομα, ή να βρίσκονται κάτω από δέντρα, ή ηλεκτρικές γραμμές. Κατά το βάδισμα ενός ατόμου είναι δυνατό η «βηματική τάση», δηλαδή η διαφορά τάσης στο άνοιγμα των ποδιών του ατόμου, που προέρχεται από την πτώση κεραυνού στην περιοχή να προκαλέσει ηλεκτροπληξία ή και θάνατο. Αλλά και η τηλεφωνική επικοινωνία ενός ατόμου από ενσύρματο δίκτυο κατά τη διάρκεια καταιγίδας μπορεί να αποτελέσει αφορμή για ηλεκτροπληξία από την πτώση κεραυνού στο τηλεφωνικό δίκτυο. Όπως και ο άνθρωπος, κατά τον ίδιο τρόπο, κινδυνεύουν και τα ζώα από τους κεραυνούς.

Πυρκαγιές σε δάση: Η πιο σημαντική ζημία που προκαλείται από τους κεραυνούς στη φύση είναι η πυρκαγιά στα δάση. Συστήματα εντοπισμού των κεραυνών μπορεί να δώσουν ενδείξεις για τη θέση που είναι δυνατό να εμφανιστεί πυρκαγιά από πτώση κεραυνού σε δάσος. Ζημίες μπορούν να προκληθούν ακόμη από την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων τοξικών ουσιών που προέρχονται από την επίδραση που θα έχει πυρκαγιά από κεραυνό σε υλικά ή ζώντες οργανισμούς.

Κτίρια: Μεταξύ των κατασκευών που κινδυνεύουν από τις πτώσεις κεραυνών είναι και τα κτίρια. Ιδιαίτερα επηρεάζονται κατά την πτώση κεραυνών αυτά που περιλαμβάνουν ηλεκτρικές και άλλες εγκαταστάσεις καθώς και ενοίκους που βρίσκονται στο κτίριο ή στην περιοχή του. Γενικά ο κεραυνός αναζητά εύκολο δρόμο. Πολλά από τα υλικά των κτιρίων είναι μέτριοι αγωγοί του ηλεκτρισμού αλλά οπωσδήποτε έχουν λιγότερη αντίσταση από τον αέρα. Τα κτίρια χρησιμοποιούνται ως κλίμακες ανερχόμενων οχετών και οδηγοί προς τα άνω για τα ηλεκτρικά φορτία του εδάφους. Η αντίσταση στο πέρασμα του κεραυνού προκαλεί τριβή και υπερβολική θερμότητα με αποτέλεσμα την εμφάνιση πυρκαγιάς ή έκρηξης ή αμφοτέρων. Για την προστασία των κτιρίων με αντικεραυνικά συστήματα προστασίας υπάρχουν Εθνικοί ή και Διεθνείς Κανονισμοί που καθορίζουν με λεπτομέρειες τον τρόπο προστασίας των κτιρίων από τους κεραυνούς. Σε άλλες περιπτώσεις οι Κανονισμοί αυτοί είναι υπό επεξεργασία. Ήδη από

την Ι.Ε.Σ., έχουν εκδοθεί εννέα (9) σχετικά πρότυπα από τα οποία δύο (2), με κωδικούς 1197/91 και 1412/98 εκδόθηκαν, από τον Ε.Λ.Ο.Τ. και ως Ελληνικά Πρότυπα. Σχετική με τις Αντικεραυνικές Εγκαταστάσεις των κτιρίων είναι και η παλαιότερη διάταξη του άρθρου 31 του Ελληνικού Κτιριοδομικού Κανονισμού. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ανωτέρω πρότυπα αντικαταστάθηκαν από τον Φεβρουάριο του 2006 με τα πρότυπα της σειράς EN 62035.

Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις: Οι Γραμμές Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας έχουν εξαιτίας του μεγάλου μήκους τους πολύ υψηλή πιθανότητα να δεχτούν κεραυνούς. Η προστασία των ηλεκτρικών συστημάτων ισχύος απαιτεί ειδική τεχνική και προδιαγραφές που αναπτύσσονται με διεθνή συνεργασία. Για την επίλυση ορισμένων προβλημάτων υπάρχουν περιορισμένες διαφορές μεταξύ των διαφόρων Εθνικών Προδιαγραφών που οφείλονται γενικά στην αντίληψη διαφοροποίησης των συστημάτων γείωσης, κτλ. Τα μέτρα ασφάλειας προσδιορίζουν τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία που αναμένεται να είναι εξαιρετικά υψηλή. Σε κάθε περίπτωση η ανάγκη αντιμετώπισης κοινών προβλημάτων επιβάλλει τη συστηματική συνεργασία των ηλεκτρικών επιχειρήσεων ιδιαίτερα σε θέματα απρόβλεπτων διακοπών παροχής ισχύος από κεραυνούς, καταιγίδες, τυφώνες κτλ.

Τηλεπικοινωνίες: Τα συστήματα τηλεπικοινωνιών είναι ευαίσθητα σε βλάβες από άμεση πτώση κεραυνού στις γραμμές ή στις κεραίες τους. Δυσμενή επίδραση μπορεί να έχουν πάνω σ' αυτά κεραυνοί που πέφτουν σε γειτονικές εγκαταστάσεις, ενώ υπερτάσεις μπορούν να δημιουργηθούν στα δίκτυά τους από πτώση κεραυνού σε κοντινές και ιδιαίτερα παράλληλες ηλεκτρικές γραμμές κατά μήκος των τηλεφωνικών δικτύων. Οι τεχνικές μέθοδοι προστασίας τους είναι πολύπλοκες και απαιτούν συστηματική έρευνα από το στάδιο της μελέτης των τηλεπικοινωνιακών εγκαταστάσεων. Για την προστασία από τους κεραυνούς των εγκαταστάσεων τηλεπικοινωνίας, που είναι εξαιρετικής σημασίας για την οικονομία κάθε χώρας, υπάρχουν Διεθνείς και Εθνικοί Κανονισμοί, οι οποίοι πρέπει να τηρούνται απαρέγκλιτα.

Υπολογιστές και σύνθετα ηλεκτρονικά συστήματα: Όλα τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στα ηλεκτρομαγνητικά φορτία που εμφανίζονται κατά τις πτώσεις κεραυνών σε γειτονικές περιοχές καθώς και στα μεταβατικά φαινόμενα από πτώση κεραυνών σε κοντινούς αγωγούς. Επειδή στη σημερινή εποχή τα πάντα εξυπηρετούνται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές τα προβλήματα αυτά έχουν μελετηθεί ιδιαίτερα ενώ

καταβάλλονται προσπάθειες για την αντιμετώπιση των σχετικών ανωμαλιών. Η καθιέρωση αντίστοιχων Διεθνών Κανονισμών και οι εργαστηριακές έρευνες αποτελούν ουσιαστική ανάγκη ώστε να γίνουν προσπάθειες κατανόησης των ιδιοτήτων των κεραυνών και των αποτελεσμάτων τους. Κτίρια στα οποία πρέπει να εγκαθίστανται αλεξικέραυνα Στην Παράγραφο 1 του σχετικού άρθρου 31 του Κτιριοδομικού Κανονισμού αναφέρεται ότι: "Σε κτίριο ή δομικό έργο ή μεμονωμένο στοιχείο του, που βρίσκεται σε έξαρση σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο, επιβάλλεται η εγκατάσταση αλεξικέραυνου".

Πρέπει να αναφερθεί ότι το Πρότυπο Ε.Λ.Ο.Τ. 1412/98 (IEC 61024-1-1/93) παρέχει τη δυνατότητα να κριθεί με σχετική ακρίβεια πότε είναι αναγκαίο να γίνει σε ένα κτίριο εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας ανάλογα με την περιοχή και το είδος κτιρίου. Σε κανονισμούς άλλων χωρών π.χ. στη Γαλλία (NF C 17-100) αναφέρονται τα συγκεκριμένα κτίρια ή εγκαταστάσεις στις οποίες επιβάλλεται η εγκατάσταση αλεξικέραυνου.

Έτσι σ' αυτά περιλαμβάνονται: Κατασκευές που είναι καθαρά ψηλότερες από τις άλλες που βρίσκονται στον περιβάλλοντα χώρο όπως είναι τα υψηλά κτίρια, οι πυλώνες, οι υδατόπυργοι, τα κωδωνοστάσια των εκκλησιών, οι φάροι, οι καπνοδόχοι των εργοστασίων κτλ. Τα κτίρια που περιέχουν επικίνδυνα υλικά και στα οποία ο κεραυνός θα μπορούσε να προκαλέσει έναυσμα πυρκαγιάς ή έκρηξη. Σ' αυτά τα κτίρια περιλαμβάνονται οι αποθήκες υδρογονανθράκων, τα χημικά εργοστάσια, τα πυριτιδοποιεία κτλ. Τα κτίρια των οποίων η καταστροφή θα είχε ανυπολόγιστες ή ανεπανόρθωτες ζημιές όπως για παράδειγμα κτίρια μουσείων, βιβλιοθήκες, αρχειοφυλάκια, αίθουσες υπολογιστών κτλ. Κεραίες λήψης ή μετάδοσης ραδιοφώνου, τηλεόρασης, κινητής τηλεφωνίας, ιδιαίτερα όταν είναι εγκατεστημένες σε κτίρια.

1.5.2 Αντικεραυνικές εγκαταστάσεις τύπου ακίδας σε κτίρια

Από την εποχή του Franklin (1750) οι ακίδες αντικεραυνικής προστασίας διαπιστώθηκε ότι εξασφαλίζουν τα κτίρια από τους κεραυνούς. Γενικά πιστεύεται ότι δημιουργούν ανερχόμενους οχετούς σε ποικίλες αποστάσεις και χρονικές στιγμές ανάλογα με το σχήμα, ύψος και άλλους παράγοντες. Οι ακίδες αποτελούν τα ακρότατα σημεία αγωγών που ως κάθοδοι οδηγούν το ρεύμα των κεραυνών στη γη. Σε σχέση με τον ηλεκτρογεωμετρικό όγκο προστασίας που εξασφαλίζεται από την εγκατάσταση σε ένα κτίριο μιας ακίδας τύπου Franklin επαρκής μπορεί να θεωρηθεί η διατύπωση ότι

προστατεύεται από κεραυνούς το μέρος του χώρου που περιλαμβάνει ο όγκος ενός κώνου που το ύψος του είναι από το έδαφος μέχρι το άκρο της ακίδας και έχει γωνία κορυφής που κυμαίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις προστασίας. Σε συσχέτιση με τις διάφορες απαιτήσεις προστασίας χρησιμοποιούνται διάφορα σχήματα ακίδων.

Σε πολλές περιπτώσεις η εγκατάσταση μιας μοναδικής ακίδας δεν είναι επαρκής και κατάλληλη ώστε να εξασφαλίσει πλήρη προστασία (για παράδειγμα σε κτίρια μεγάλης κάτοψης, αποθήκες πυρομαχικών). Ακόμη ο μοναδικός αγωγός καθόδου που συνδέεται με αυτή δεν είναι επαρκής ως μοναδική προστασία σε μοντέρνες εγκαταστάσεις που περικλείουν ηλεκτρονικά μηχανήματα. Σε ισοδύναμα ηλεκτρικά πεδία μια ακίδα με αμβλεία μορφή φαίνεται να έχει διαφορετική συμπεριφορά από μια ακίδα με οξεία αιχμή. Με την πάροδο των ετών διάφοροι κατασκευαστές αντικεραυνικών εγκαταστάσεων προσπάθησαν να δώσουν κατασκευές αντικεραυνικών ακίδων που διαθέτουν διάφορα πρόσθετα στοιχεία που "ενισχύουν" την απόδοσή τους ή με απλά λόγια επιμηκύνουν το ύψος του κώνου προστασίας. Έτσι κυκλοφορούν ακίδες με ακτινοβολία από ενσωματωμένα σ' αυτές ραδιενεργά υλικά (που η χρήση τους έχει απαγορευτεί στην Ελλάδα), ακίδες με χωρητικές ή ενεργητικές διατάξεις, ακίδες με συστήματα «πρόδρομης» εκπομπής ανερχόμενου οχητού κτλ.

Η μελέτη των ακίδων αυτών και η απόδοση των αντικεραυνικών εγκαταστάσεων που κατασκευάζονται με τη χρήση τους διακρίνονται για τις αντιφατικές και ιδιόζυγες συμπεριφορές τους. Εμπειρικοί ισχυρισμοί για κατασκευές που προκαλούν «απόθεση» των κεραυνών επισύρουν σκεπτικιστική αποδοχή. Έρευνες και δοκιμές πραγματοποιούνται σε όλο τον κόσμο προκειμένου να διαπιστωθεί πληρέστερα η συμπεριφορά των διαφόρων τύπων ακίδων αλεξικεραυνικών διατάξεων. Στα Εργαστήρια των ΗΠΑ (Mississippi States High Voltage Laboratory και New Mexico Techs Langmuir Labs) από το 1997 πραγματοποιούνται έρευνες προκειμένου να εξεταστούν διάφορες καινοτομίες που προτείνουν κατασκευαστές παρόμοιων «βελτιωμένων» εγκαταστάσεων με «ειδικές» ακίδες. Σχετική προς τα ανωτέρω είναι και η απόφαση της Διοικούσας Επιτροπής του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας που μετά από Ημερίδα που οργανώθηκε στις 31.3.88 με θέμα την «Αντικεραυνική Προστασία» αποφάσισε ότι το Τ.Ε.Ε. θεωρεί ότι δεν μπορεί να απορριφθούν νέες τεχνολογίες εφόσον στηρίζονται σε ορθές θεωρητικές αρχές και τυγχάνουν πειραματικών εφαρμογών σε αρκετές προηγμένες βιομηχανικές χώρες ενώ συνιστά την περαιτέρω έρευνα αυτών των εφαρμογών.

1.5.3 Αντικεραυνική προστασία με συστήματα κλωβών Faraday

Ο κλωβός του Faraday παρέχει ουσιαστική προστασία σε στατικά και σε αργά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά πεδία. Σχετικώς επαρκή προστασία σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Η ονομασία «αντικεραυνική προστασία με κλωβό Faraday» θα έπρεπε ίσως να αντικατασταθεί με την ονομασία «αντικεραυνική προστασία με συνδυασμό ακίδων Franklin». Ταιριάζει όμως με τον όρο «κλωβός Faraday» από την άποψη ότι οι ακίδες Franklin συνδέονται με συλλεκτήριους αγωγούς που δημιουργούν ένα είδος κλωβού Faraday που περιλαμβάνει ακίδες, συλλεκτήριους αγωγούς, καθόδους προς τις γειώσεις και γειώσεις. Το σχήμα αυτό δίνει παρεμφερή αποτελέσματα με τους αγωγούς ηλεκτρικής προστασίας που χρησιμοποιούν οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις αντί για ακίδες στις εγκαταστάσεις υποσταθμών υψηλής τάσης, γραμμών μεταφοράς κτλ.

Ακόμη και τα περιορισμένου ύψους και μικρά κτίρια επηρεάζονται από κεραυνούς γιατί κάθε κατασκευή επί της γης μπορεί να αποτελέσει βάση για την εμφάνιση ανερχόμενου οχετού. Τα συστήματα αντικεραυνικής διάταξης θα οδηγήσουν τους κεραυνούς στη γη χωρίς να επιτρέψουν στο φορτίο του να βλάψει το κτίριο. Υψηλά δέντρα προσκείμενα σε ένα κτίριο δεν το προστατεύουν. Αντίθετα είναι αναγκαίο να προστατεύονται και τα δέντρα ενώ το κτίριο προστατεύεται μόνο στην περίπτωση που βρίσκεται στον κώνο που σχηματίζει η αντικεραυνική προστασία του δέντρου. Ένα κτίριο με μεταλλική στέγη είναι ασφαλές μόνο με αντικεραυνική προστασία. Με οποιοδήποτε υλικό και αν είναι κατασκευασμένη μια στέγη έχει τις ίδιες πιθανότητες συμπεριφοράς κατά την πτώση κεραυνού.

Πρέπει να σημειωθεί ότι καμιά αντικεραυνική προστασία δεν «έλκει» τους κεραυνούς. Απλά το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας εξασφαλίζει μια ασφαλή δίοδο των κεραυνών προς τη γη. Οι στέγες των κτιρίων αποτελούν τη βάση της μελέτης για την κατασκευή της αντικεραυνικής προστασίας. Ανάλογα με τη μορφή της στέγης καθορίζονται οι ακίδες που τοποθετούνται στα μικρά κτίρια στις γωνίες τους ενώ σε μεγαλύτερα κτίρια εφαρμόζονται - σύμφωνα με τους Αμερικανικούς Κανονισμούς σε αποστάσεις που δεν υπερβαίνουν τα 6 μέτρα. Το ύψος των ακίδων συνήθως δεν υπερβαίνει τα 90 εκ. Οι ακίδες κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό ή ορείχαλκο και καλό είναι να είναι επινικελωμένες. Βιδώνονται σε ειδικές βάσεις οι οποίες διασυνδέονται με τους κατάλληλους πολύκλωνους αγωγούς που έχουν διάμετρο που

κυμαίνεται από 8 έως 20 χιλ. Οι αγωγοί μπορεί να είναι χάλκινοι ή αλουμινίου και ανάλογα είναι και τα εξαρτήματα σύνδεσης και στήριξής τους ενώ σε περίπτωση συνδυασμού χάλκινων εξαρτημάτων και αλουμινίου επιβάλλεται να χρησιμοποιείται κατάλληλο υλικό διασύνδεσης (Cupal).

Οι αγωγοί καθόδου (ορθογωνικής ή κυκλικής διατομής) πρέπει να διέρχονται από κατάλληλες οδεύσεις και να συνδέονται ικανοποιητικά με το δίκτυο γείωσης. Κατά διαστήματα πρέπει να στερεώνονται με ειδικά εξαρτήματα. Το σύστημα γείωσης από το οποίο το ηλεκτρικό ρεύμα του κεραυνού διαχέεται στη γη περιλαμβάνει ηλεκτρόδια τα οποία συνδέονται μεταξύ τους ώστε να εξασφαλίζεται η κατά το δυνατό ελάχιστη αντίσταση γείωσης. Ειδικά για μια σωστή κατασκευή ενός αντικεραυνικού συστήματος είναι απαραίτητο να έχει προηγηθεί συνεργασία του Γραφείου Μελετών με τον προμηθευτή των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να λυθούν εξ αρχής όλα τα κατασκευαστικά προβλήματα.

1.5.4 Εσωτερικά αλεξικέραυνα

Εκτός από τα εξωτερικά αλεξικέραυνα και τις σχετικές διατάξεις πρέπει να τονιστεί η ανάγκη εγκατάστασης εσωτερικής αντικεραυνικής προστασίας που προφυλάσσει από τις υπερτάσεις που εισέρχονται στο εσωτερικό των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Για το σκοπό αυτό υπάρχει πλήθος αλεξικέραυνων που η λειτουργία τους καλύπτει κάθε εγκατάσταση. Είναι έτσι αναγκαίο κάθε εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας να ολοκληρώνεται με την αντικεραυνική προστασία κάθε μηχανήματος όπως συνήθως ορίζεται από τους κατασκευαστές των επιμέρους μηχανημάτων ή ακόμη και από τους κατασκευαστές των εσωτερικών αυτών αλεξικέραυνων.

Κεφάλαιο 2

Υπερτάσεις και προστασία συστημάτων χαμηλής ισχύος

2.1 Ζημιές στις εγκαταστάσεις χαμηλής ισχύος λόγω υπερτάσεων

Ένα μεγάλο μέρος της βιομηχανίας και του εμπορίου σήμερα στηρίζεται στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών. Τα σύγχρονα βιομηχανικά συστήματα είναι εξοπλισμένα με διατάξεις μετρήσεων, ελέγχου και ρύθμισης και ηλεκτρονικά στοιχεία επεξεργασίας δεδομένων. Ομοίως στον τομέα των τηλεπικοινωνιών η εισαγωγή ηλεκτρονικών ψηφιακών οργάνων είναι ευρεία και έχει βελτιστοποιήσει την ποιότητα των υπηρεσιών. Ο αυξημένος αριθμός ζημιών από υπερτάσεις στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χαμηλής ισχύος οφείλεται κατά κύριο λόγο στην όλο και μεγαλύτερη εισαγωγή και χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών ευαίσθητων συστημάτων.

Δεν είναι άμεσα εμφανή τα αποτελέσματα των καταστροφών αυτών, όμως οι επακόλουθες συνέπειες τους και το κόστος τους είναι σοβαρότερα από τις ζημιές και το κόστος που προκαλούνται στο ίδιο το hardware.

Αιτίες επικίνδυνων υπερτάσεων και παρεμβολών σε εγκαταστάσεις χαμηλής ισχύος:

- LEMP Lightning Electromagnetic Impulse
- Άμεσα και σε κοντινά σημεία πλήγματα κεραυνών

Δύο τύποι υπερτάσεων μπορεί να προκύψουν από αυτό το είδος χτυπήματος:

1. Διαφορά δυναμικού μεταξύ του συστήματος και της γείωσης $V_I = I_{\max} R_I$
2. Επαγόμενες τάσεις σε αγωγίμους βρόχους του συστήματος $V = f(di/dt)_{\max}$ ή ακόμα και μεταξύ παράλληλων καλωδίων

Πλήγματα κεραυνών σε μακρινά σημεία

1. Το οδεύον κύμα της υπέρτασης ταξιδεύει μέσω των γραμμών με ταχύτητα ίση με

αυτή του φωτός ή τη μισή από αυτή.

2. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του κεραυνού επηρεάζει το σύστημα.

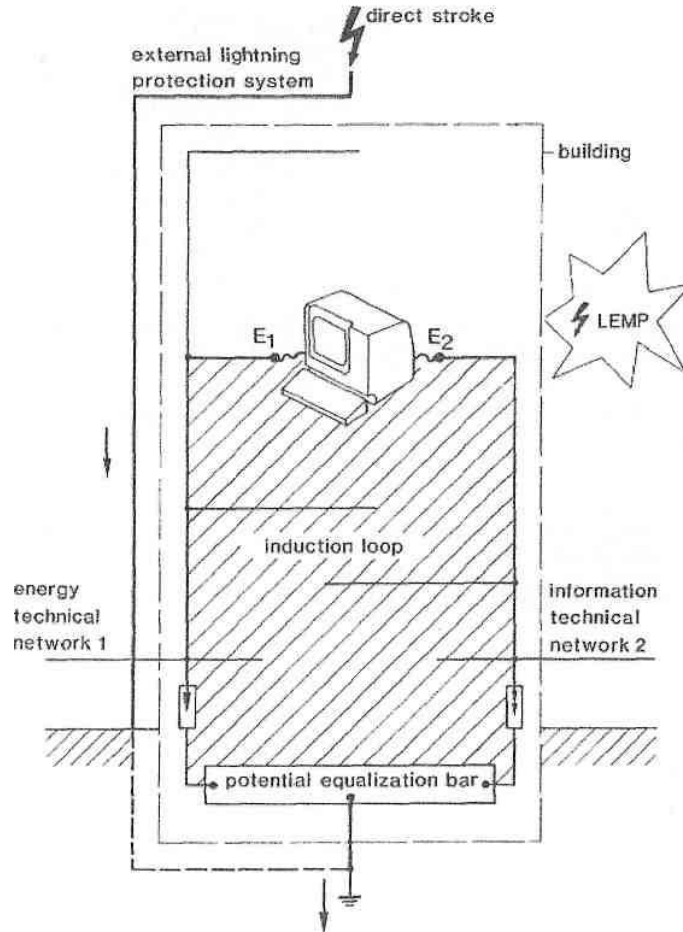
- Από χειρισμούς-διακόπτες SEMP Switching Electromagnetic Impulse
- Ηλεκτροστατικές εκκενώσεις ESD Electrostatic Discharge
- Από κρουστικές τάσεις και ρεύματα που δημιουργούνται από άνοιγμα/ κλείσιμο διακοπών στα ίδια τα κυκλώματα χαμηλής ισχύος.
- Χαμηλό και υψηλόσυχνοι πομποί
- Από αυτούς πηγάζει μια συνεχής ακτινοβολία παρεμβολής.
- Πυρηνικές εκρήξεις
- NEMP Nuclear Electromagnetic Impulse (δημιουργεί μια κρουστικής μορφής ακτινοβολία).

2.2 Άμεσα και κοντινά πλήγματα κεραυνών

Το ρεύμα του κεραυνού στους αγωγούς του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας προκαλεί την ανάπτυξη διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στους αγωγούς του συστήματος και τη γείωση. Αυτή η πτώση τάσης δεν είναι επικίνδυνη αν έχει γίνει ισοδυναμική σύνδεση όλων των αγωγών που εισέρχονται ή εξέρχονται της εγκατάστασης. Σε περίπτωση χτυπήματος κεραυνού το δυναμικό ολόκληρου του συστήματος θα αυξηθεί κατά V όμως δεν θα υπάρχουν επικίνδυνες διαφορές εντός του συστήματος.

Η μέγιστη τιμή του ρυθμού αύξησης της έντασης του ρεύματος $(di/dt)_{\max}$ καθορίζει τη μέγιστη τιμή των επαγόμενων τάσεων σε κλειστούς ή ανοικτούς βρόχους στο εσωτερικό της εγκατάστασης που βρίσκονται κοντά σε κάποιον αγωγό καθόδου που διαρρέεται από το ρεύμα του κεραυνού.

Εκτός από τις παραπάνω περιπτώσεις βρόχων, επαγωγικές υπερτάσεις μπορεί να συμβούν και σε μικρούς βρόχους που δημιουργούνται ανάμεσα σε παράλληλα καλώδια και είναι πολύ επικίνδυνες για τα ηλεκτρονικά συστήματα.

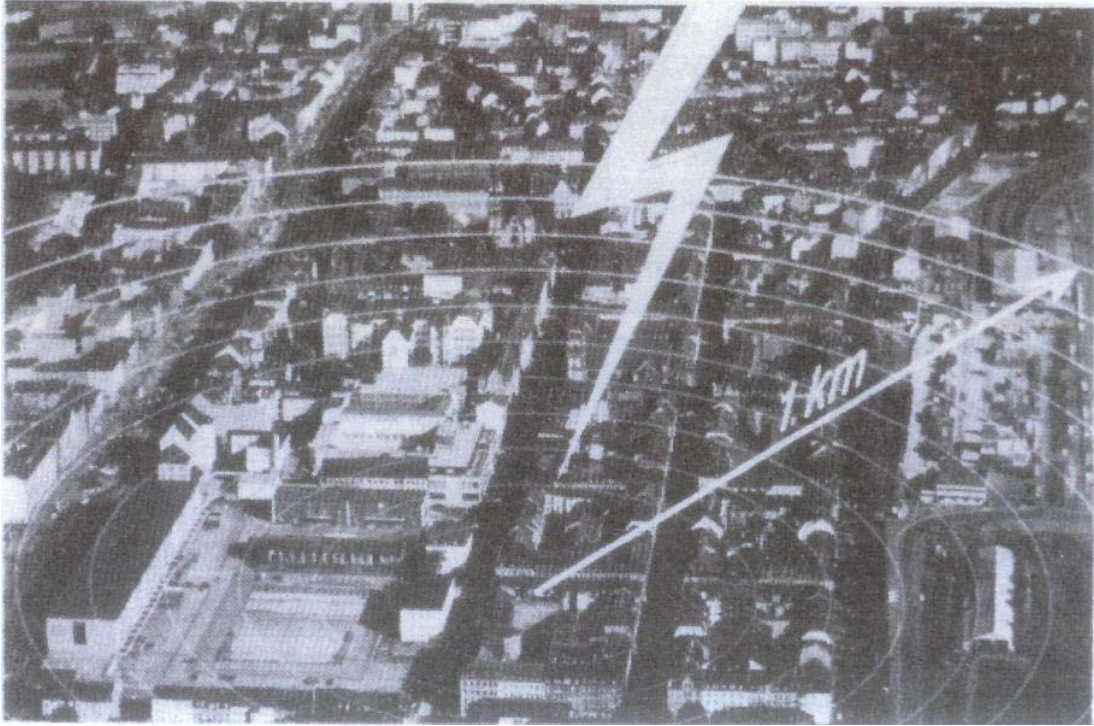


Σχήμα 2.1: Επικίνδυνες υπερτάσεις που μπορεί να πλήξουν 2 εισόδους ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1 επικίνδυνες υπερτάσεις μπορεί να αναπτυχθούν μεταξύ των δύο εισόδων της συσκευής της τάξης των 100 kV καταστρέφοντας τη συσκευή. Για αυτό το λόγο όταν ένα σύστημα συνδέεται σε δύο διαφορετικά δίκτυα (ισχύος και τηλεπικοινωνιακό) θα πρέπει το σύστημα αυτό να έχει πρόσθετα μέτρα προστασίας. Η τάση που αντέχει ένα τηλεπικοινωνιακό καλώδιο είναι 5-8 kV.

Στο κεφάλαιο 3 θα γίνει υπολογισμός επαγόμενων τάσεων σε ορισμένες περιπτώσεις τετράγωνων βρόχων και μία εκτίμηση της επαγόμενης τάσης σε ένα βρόχο ηλεκτρονικού συστήματος.

Ένας κεραυνός στον περιβάλλοντα χώρο προκαλεί μέσω της μαγνητικής ακτινοβολίας επαγωγικά ρεύματα στην εγκατάσταση. Το ίδιο και εκκενώσεις που συμβαίνουν μεταξύ των σύννεφων. Έχει αποδειχθεί ότι εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε ακτίνα 1 km γύρω από το σημείο εκκένωσης επηρεάζονται από αυτήν.



Εικόνα 2.1: Πλήγμα κεραυνού σε κατοικημένη περιοχή

Στους υπολογισμούς γίνεται αποδεκτό ότι το 50% των ρευμάτων του κεραυνού καταλήγουν στη γείωση της εγκατάστασης και 50% διαμοιράζονται σε απομακρυσμένα γειωμένα συστήματα που συνδέονται μέσω γραμμών με την εγκατάσταση.

Το μαγνητικό πεδίο σε σημείο κοντά σε έναν αγωγό που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα είναι

$$H_1(t) = \frac{i}{2\pi s} \text{ A/m} \quad (2.1)$$

όπου i το ρεύμα και s η απόσταση του σημείου από τον αγωγό.

Οι μέγιστες και μέσες επιτρεπτές τιμές του πλάτους της κυματομορφής του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό εγκαταστάσεων δίνονται από πίνακες της IEC. Για υπολογισμούς στο δισδιάστατο επίπεδο οι τιμές αυτές μειώνονται στο 66% των τιμών τους ενώ για υπολογισμούς στις τρεις διαστάσεις στο 44%.

2.3 Θέματα χειρισμών

Οι υπερεντάσεις χειρισμών σε συστήματα υψηλής έντασης ρεύματος μπορούν ειδικά μέσω χωρητικών φορτίων να επιδράσουν και σε εγκαταστάσεις χαμηλής έντασης και

δευτερεύοντα συστήματα και να προκαλέσουν υπερτάσεις της τάξης των 15 kV.

Τέτοιες υπερεντάσεις μπορεί να προκληθούν από :

-Άνοιγμα του διακόπτη μιας γραμμής υψηλής τάσης.(π.χ. με την αποσύνδεση κάποιου χωρητικού φορτίου)

Στις επαφές του διακόπτη δημιουργείται φωτεινό ηλεκτρικό τόξο, το οποίο επαναδημιουργείται ανάλογα προς την τιμή της υπερέντασης κάθε στιγμή. Η συχνότητα της ταλάντωσης της υπερέντασης είναι της τάξης των 100 kHz. Το πρώτο πλάτος της ταλάντωσης αυτής είναι ίσο με τη διαφορά τάσης ανάμεσα στις επαφές του διακόπτη τη στιγμή της ανάφλεξης.

- Αποκοπή κάποιου Μ/Σ από το δίκτυο.
- Κατάργηση της γείωσης σε δίκτυο.

Και σε αυτές τις περιπτώσεις οι υπερτάσεις έχουν τη μορφή φθίνουσας ταλάντωσης.

Παράλληλα με αυτού του είδους τις υπερτάσεις, απότομες αλλαγές στην ένταση του ρεύματος του δικτύου Υ.Τ. προκαλούν υπερτάσεις στις εγκαταστάσεις Χ.Τ.. Τέτοιες αλλαγές είναι δυνατόν να συμβούν ως εξής :

- Σύνδεση και αποσύνδεση ενός μεγάλου φορτίου.
- Αποκατάσταση ενός βραχυκυκλώματος, ενός σφάλματος γης κ.τ.λ..

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που οι υπερτάσεις προκύπτουν στην ίδια την εγκατάσταση Χ.Τ. Τέτοιες είναι:

- Απόξευξη επαγωγικών στοιχείων που βρίσκονται παράλληλα με πηγές εντάσεως όπως Μ/Σ, πηνία, ή ρελαί.
- Διακοπή του κυκλώματος από στοιχεία όπως ασφάλειες, διακόπτες προστασίας ή από πλήγματα κεραυνών.

Παρά το γεγονός ότι είναι συχνότερες οι υπερτάσεις αυτές από ότι οι υπερτάσεις που οφείλονται σε κεραυνούς δεν θα αναλυθούν περαιτέρω.

2.4 Μέτρα προστασίας

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος προστασίας πρέπει κατ' αρχήν να αποφασισθεί αν το σύστημα θα προστατευθεί μόνο από καταστροφή ή και από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές των συσκευών. Επειδή τα χτυπήματα κεραυνών είναι σπάνια φαινόμενα

και πολύ μικρής διάρκειας το αντικείμενο της αντικεραυνικής προστασίας είναι η προστασία από καταστροφή, ενώ είναι συνήθως αποδεκτές μικρές διακυμάνσεις του σήματος σε συσκευές εγκαταστάσεων χαμηλής ισχύος και σε τηλεπικοινωνιακά κέντρα.

Η αντικεραυνική προστασία διαχωρίζεται σε εξωτερική και εσωτερική.

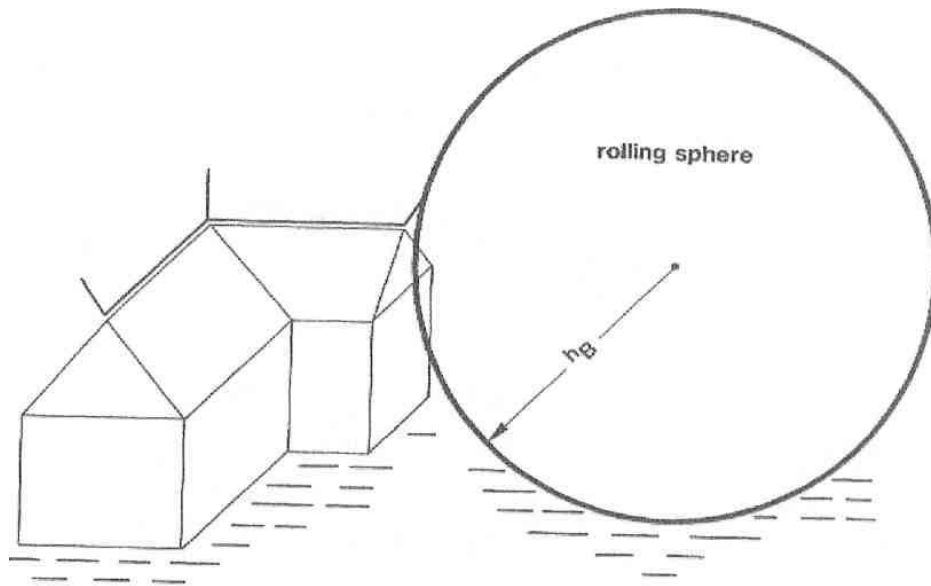
Εξωτερικά η μέθοδος που συνηθίζεται είναι αυτή της κυλιόμενης σφαίρας για τον προσδιορισμό της θέσης των συλλεκτήριων αγωγών. Ο αριθμός τόσο των συλλεκτήριων όσο και των αγωγών καθόδου συνιστάται να είναι μεγάλος έτσι ώστε να αποφεύγονται οι αγωγοί μεγάλου μήκους (ως 5-7 m). Λαμβάνοντας υπ' όψη ότι ένας κεραυνός που θα παρακάμψει ένα τέτοιο σύστημα προστασίας δεν έχει συνήθως μεγάλη ένταση και η ζημιά που θα προκαλέσει θα είναι μικρή, επιδιώκεται η καλύτερη διάταξη των αγωγών. Το μέγεθος της κυλιόμενης σφαίρας είναι ανάλογο του ρεύματος του κεραυνού. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται το μικρότερο ρεύμα κεραυνού που απαγορεύεται να πλήξει την εγκατάσταση. Από αυτό χρησιμοποιώντας τη σχέση :

$$r_s = 8 \cdot I^{0,65} \quad (2.2)$$

υπολογίζεται η ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας. Προκειμένου να εξασφαλίζεται προστασία πρέπει η σφαίρα καθώς κυλιέται επάνω στην εγκατάσταση να μην έχει κανένα σημείο επαφής με αυτή αλλά μόνο με το συλλέκτηριο σύστημα. Αν είναι γνωστή η στάθμη προστασίας (I, II, III, IV) τότε η ακτίνα της σφαίρας καθορίζεται από τους κανονισμούς (IEC 1024-1) όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα 2.1:

ΣΤΑΘΜΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	R(m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

Πίνακας 2.1: Στάθμες προστασίας σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 1024-1



Σχήμα 2.2: Παράσταση μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας

Ως εσωτερική αντικεραυνική προστασία ορίζονται τα μέτρα που εφαρμόζονται για να αντιμετωπιστούν τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που αναπτύσσονται στις μεταλλικές κατασκευές και στα ηλεκτρικά συστήματα μέσα στην εγκατάσταση. Αυτό επιτυγχάνεται με την εξίσωση των δυναμικών όλων των αντικειμένων που χρειάζεται σε μια τιμή ίση με αυτή του δυναμικού της γείωσης. Παραδείγματα μεταλλικών κατασκευών και καλωδίων που πρέπει να συνδεθούν με τη γείωση ακολουθώντας ειδικούς κανόνες είναι:

- Ηλεκτρόδια γείωσης τηλεπικοινωνιακών συσκευών.
- Τηλεπικοινωνιακά καλώδια
- Καλώδια κεραιών
- Καλώδια ισχύος
- Υδραυλικές σωληνώσεις
- Σωλήνες θέρμανσης, αερίου
- Σωλήνες συστήματος εξαερισμού ή/ και κλιματισμού
- Σωλήνες πυρόσβεσης
- Σιδηροτροχιές ανελκυστήρα

Η θωράκιση κτιρίων, δωματίων και συσκευών είναι ένα μέτρο προστασίας κατά της δημιουργίας υπερτάσεων μέσα σε αυτά. Εφαρμόζεται στο κατασκευαστικό στάδιο

γιατί έτσι διευκολύνει την περαιτέρω προστασία. Η θωράκιση από την επίδραση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι σαν ένα κέλυφος.

Το σύστημα προστασίας από κεραυνούς πρέπει να σχεδιασθεί σε συνεργασία με τον αρχιτέκτονα-μελετητή του κτιρίου. Συνήθως ο ειδικός για την κατασκευή της προστασίας καλείται μετά το τελείωμα του κτίσματος και αυτό επιβαρύνει τόσο το κόστος όσο και την αποτελεσματικότητα του συστήματος και την καλαισθησία του κτίσματος. Με καλή συνεργασία και σωστή χρησιμοποίηση κάθε υλικού της οικοδομής που μπορεί να ενσωματωθεί στην προστασία, αποφεύγεται η πρόσθετη αγορά υλικών για αγωγούς και ο βαθμός ασφαλείας αυξάνεται. Τα περισσότερα κτίρια, ιδιαίτερα τα σύγχρονα, περιέχουν πολλά μεταλλικά μέρη, όπως μεταλλικά κλιμακοστάσια ή κιγκλιδώματα, αγωγούς ρεύματος και τηλεφώνου, αγωγούς νερού και υδρορροές. Επίσης τα περισσότερα σύγχρονα κτίσματα έχουν μεταλλικό σκελετό ή σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πρέπει λοιπόν με πολλή προσοχή να εξεταστεί ποια από αυτά τα στοιχεία μπορούν να ενσωματωθούν στο σύστημα προστασίας και για τα υπόλοιπα να ληφθεί μέριμνα να προστατευθούν από εκκενώσεις που μπορούν να συμβούν μεταξύ αυτών και των αγωγών προστασίας, όταν εκφορτίζεται το ρεύμα ενός κεραυνού. Όλα αυτά μαζί με υπερκείμενους αγωγούς μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλα αντικείμενα πρέπει να αναφέρονται στο σχεδιασμό για την πρόληψη δημιουργίας αγωγίμων τόξων.

Όσον αφορά τα στοιχεία του συστήματος προστασίας πρέπει να επιλέγονται από υλικά ανθεκτικά στη διάβρωση, να εξετάζεται και να καθορίζεται ο αριθμός τους και η θέση που πρέπει να τοποθετηθούν όπως και ο τρόπος σύνδεσής τους. Η τοποθέτησή τους πρέπει να διέπεται από την ελάχιστη αντίσταση που πρέπει να παρουσιάζουν οι δρόμοι τους προς τη γη. Επίσης πρέπει να καθορίζονται με σαφήνεια οι θέσεις όπου συνδέονται και οι συνδέσεις πρέπει να αντέχουν στη διάβρωση. Όσον αφορά τα σημεία ελέγχου, πρέπει να είναι προσιτά και η θέση τους να επιλέγεται προσεκτικά, ώστε να μειώνεται ο κίνδυνος παρεμβολής. Ένα άλλο σημείο που χρειάζεται προσοχή είναι αυτό που αφορά το κύκλωμα της γείωσης. Πρέπει η εγκατάσταση να καθορίζεται με βάση προκαταρκτικές μετρήσεις της αντίστασης που παρουσιάζει το έδαφος. Επίσης πρέπει να βρίσκονται όλοι οι θαμμένοι αγωγοί ηλεκτρικού, τηλεφώνου, σωλήνες νερού κλπ και να ενσωματώνονται με ασφάλεια στο σύστημα προστασίας. Όλα τα παραπάνω πρέπει να αναφέρονται στη μελέτη προστασίας η οποία πρέπει να συνοδεύει τη μελέτη του κτιρίου. Με βάση τη μελέτη πρέπει να

γίνεται αποτελεσματικός έλεγχος της εγκατάστασης, μια και πολλές φορές χρησιμοποιούνται μη ειδικοί για την τοποθέτηση του συστήματος από τη μία, και από την άλλη γιατί μετέπειτα τροποποιήσεις στο κτίριο προκαλούν ζημιές την προστασία φτάνοντας μέχρι την ολοκληρωτική εξουδετέρωσή της. Επίσης πρέπει να αναφέρεται κάθε μετέπειτα τροποποίηση στο σύστημα προστασίας.

2.5 Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα - θεωρία των ζωνών

2.5.1 Η θεωρία των ζωνών σε συμφωνία με παλιότερες θεωρίες

Ο όγκος που θα προστατευθεί πρέπει να χωρισθεί σε ζώνες αντικεραυνικής προστασίας προκειμένου να οριστούν χώροι διαφορετικής δριμύτητας κεραυνικής ηλεκτρομαγνητικής κρούσης και να προσδιορισθούν τοποθεσίες για τα σημεία σύνδεσης στα σύνορα μεταξύ των ζωνών. Οι ζώνες θα χαρακτηρισθούν από σημαντικές μεταβολές των ηλεκτρομαγνητικών συνθηκών στα όρια τους.

2.5.2 Ορισμός και χαρακτηριστικά των ζωνών

Οι ζώνες προστασίας ορίζονται έτσι ώστε στη Ζώνη 0 ή 0_A τα στοιχεία δέχονται άμεσα κεραυνικά πλήγματα και μπορεί να χρειαστεί να μεταφέρουν το πλήρες κεραυνικό ρεύμα.

Στη ζώνη 1 τα στοιχεία δεν υπόκεινται σε άμεσα κεραυνικά πλήγματα. Τα ρεύματα σε όλα τα αγωγίμα μέρη που περιλαμβάνονται σε αυτή τη ζώνη είναι πολύ μειωμένα σε σχέση με τα ρεύματα της ζώνης 0/E ή 0β. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μπορεί να είναι ασθενές ανάλογα με τα μέτρα θωράκισης.

Μέσα στα όρια της Ζώνης προστασίας 2 οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές μειώνονται ακόμα περισσότερο.

Αν απαιτείται επιπλέον μείωση των επαγόμενων ρευμάτων και τάσεων ή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου πρέπει να δημιουργούνται συμπληρωματικές ζώνες.

Πιο παλιά η τεχνική που εφαρμοζόταν περιλάμβανε την προστασία από συγκεκριμένα πλήγματα και όχι ακολουθώντας μια γενική αρχή.

Οι κανόνες όμως που θα περιγραφούν έχουν ισχύ σε οποιοδήποτε τύπου εγκατάσταση και αν εφαρμοστούν:

Οι ήδη υπάρχουσες μεταλλικές κατασκευές της εγκατάστασης χρησιμοποιούνται σαν ηλεκτρομαγνητική θωράκιση ή διαμορφώνονται σε τέτοια. Σε αυτά τα περιβλήματα

συχνά υπάρχουν φυσικές ασυνέχειες, π.χ. πόρτες και παράθυρα σε πατώματα, ανοίγματα σε μεταλλικές προσόψεις κ. ά.

Μια ακόμη ιδιαιτερότητα είναι ότι η θωράκιση άμεσα μπορεί να συνδεθεί με τις σωληνώσεις και τη γείωση των κατασκευών.

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι ένας πλήρης έλεγχος όλων των κεραυνών και των πιθανών διαδρομών του ρεύματος εκφόρτισης δεν είναι πραγματοποιήσιμος.

Στις τεχνικές αντικεραυνικής προστασίας είναι σύνηθες τα μεταβατικά ρεύματα εκφόρτισης να 'συλλαμβάνονται' στη θωράκιση και να διοχετεύονται μέσω αυτών στη γη.

2.5.3 Απαιτήσεις γείωσης

Η γείωση πρέπει να συμμορφώνεται με το IEC 1024-1. Εάν υπάρχουν γειτονικές κατασκευές μεταξύ των οποίων περνούν ηλεκτρικά και τηλεπικοινωνιακά καλώδια, οι εγκαταστάσεις γείωσης πρέπει να είναι διασυνδεδεμένες και είναι προτιμητέο να έχουν πολλές παράλληλες διαδρομές προκειμένου να μειώνονται τα ρεύματα μέσα στα καλώδια. Ένα δικτυωτό σύστημα γείωσης ικανοποιεί αυτή την απαίτηση.

Οι επιδράσεις του κεραυνικού ρεύματος μειώνονται ακόμα περισσότερο αν όλα τα καλώδια κλειστούν μέσα σε μεταλλικούς σωλήνες ή σε σωλήνες οπλισμένου σκυροδέματος με μορφή πλέγματος, οι οποίοι πρέπει να ενσωματώνονται στη δικτυωτή εγκατάσταση γείωσης. Ο σκοπός της γείωσης είναι να κάνει δυνατή την εκφόρτιση του ρεύματος ενός πλήγματος κεραυνού, μέσα στη γη, διαμέσου ενός μεταλλικού μέρους, του ηλεκτροδίου γείωσης, το οποίο είναι θαμμένο στο έδαφος. Η αντίσταση γείωσης του ηλεκτροδίου αυτού, για ένα δεδομένο ρεύμα εκκένωσης κεραυνού, είναι ο λόγος της διαφοράς δυναμικού μεταξύ ενός σημείου του ηλεκτροδίου και ενός σημείου του εδάφους, σε Volts προς το ρεύμα εκκένωσης σε amperes. Η αντίσταση γείωσης επομένως, είναι η ωμική αντίσταση του περιβάλλοντος το ηλεκτρόδιο εδάφους και όχι κάποια επιφανειακή αντίσταση του ηλεκτροδίου .

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πως οι τιμές της αντίστασης γείωσης που πρέπει να παρουσιάζουν τα κυκλώματα γείωσης δεν είναι ίδιες στους διάφορους κανονισμούς. Έτσι στους Ολλανδικούς κανονισμούς δίνεται η τιμή των 2,5 Ω για την συνολική αντίσταση γείωσης, ενώ στους κανονισμούς της Νότιας Αφρικής, η τιμή των 30 Ω .

Οι Βρετανικοί κανονισμοί προτείνουν την τιμή των 10 Ω. Οι διαφορές αυτές δείχνουν την ισχυρή επίδραση, στο καθορισμό της αντίστασης γείωσης, του είδους του εδάφους που κυριαρχεί σε κάθε χώρα. Για την Ελλάδα συνιστάται η τιμή αυτή να μην υπερβαίνει τα 10 Ω. Επίσης σε περίπτωση που η γείωση είναι κοινή και για άλλα συστήματα της κατασκευής, η τιμή της πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με την μικρότερη απαιτούμενη για κάποιο από τα συστήματα.

2.5.4. Απαιτήσεις θωράκισης

Η θωράκιση είναι το βασικό μέτρο για τη μείωση της ηλεκτρομαγνητικής παρεμβολής. Όλα τα μεταλλικά μέρη σημαντικών διαστάσεων που σχετίζονται με την κατασκευή πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους και με το ΣΑΠ, για παράδειγμα οροφές και προσόψεις με μεταλλικό περίβλημα, μεταλλικός οπλισμός του σκυροδέματος και μεταλλικά πλαίσια από πόρτες και παράθυρα.

Όταν χρησιμοποιούνται θωρακισμένα καλώδια στο εσωτερικό του υπό προστασία χώρου, οι θωρακίσεις τους πρέπει να συνδέονται τουλάχιστον στα δύο άκρα τους καθώς και στο επίπεδο των ορίων μεταξύ των ζωνών αντικεραυνικής προστασίας.

Τα καλώδια που περνούν από μια κατασκευή σε μια άλλη πρέπει να περνούν μέσα από μεταλλικούς αγωγούς, όπως μεταλλικούς σωλήνες, πλέγματα ή οπλισμό σκυροδέματος τύπου πλέγματος, οι οποίοι πρέπει να είναι αγωγάιμοι ηλεκτρικά συνεχείς από άκρο σε άκρο και να συνδέονται στους ζυγούς ισοδυναμικής σύνδεσης ξεχωριστών κατασκευών. Οι θωρακίσεις των καλωδίων πρέπει να συνδέονται σε αυτούς τους ζυγούς. Οι μεταλλικοί αγωγοί μπορούν να αποφευχθούν εάν οι θωρακίσεις των καλωδίων μπορούν να μεταφέρουν τα προβλεπόμενα κεραυνικά ρεύματα.

2.5.5 Απαιτήσεις ισοδυναμικών συνδέσεων

Ο σκοπός της ισοδυναμικής σύνδεσης είναι να μειώσει τις διαφορές δυναμικού μεταξύ των μεταλλικών μερών και εγκαταστάσεων στο εσωτερικό του υπό αντικεραυνική προστασία χώρου.

Η ισοδυναμική σύνδεση πρέπει να προβλέπεται και να εγκαθίσταται στο επίπεδο των ορίων μεταξύ των ΖΑΠ για μεταλλικά μέρη και εγκαταστάσεις που διασχίζουν τα όρια, καθώς και για μεταλλικά μέρη και εγκαταστάσεις που βρίσκονται στο εσωτερικό μιας ΖΑΠ. Η ισοδυναμική σύνδεση στο επίπεδο των ισοδυναμικών ζυγών

πρέπει να πραγματοποιείται μέσω αγωγών εξίσωσης δυναμικών και διατάξεων σύσφιξης, και εάν είναι απαραίτητο μέσω περιοριστών υπερτάσεων και υπερεντάσεων.

2.5.6 Ισοδυναμικές συνδέσεις στα όρια των ζωνών αντικεραυνικής προστασίας

Η ισοδυναμική σύνδεση πρέπει να πραγματοποιείται για όλα τα εξωτερικά αγωγήματα στοιχεία που εισέρχονται στην κατασκευή.

Όταν τα εξωτερικά αγωγήματα στοιχεία και οι γραμμές, ηλεκτρικές και τηλεπικοινωνιακές, εισέρχονται στην κατασκευή σε διαφορετικά σημεία και απαιτούνται αρκετοί ζυγοί ισοδυναμικής σύνδεσης, αυτοί πρέπει να συνδέονται όσο το δυνατόν πλησιέστερα σε ένα περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης, καθώς επίσης και στους οπλισμούς και στις μεταλλικές προσόψεις. Εάν δεν έχει προβλεφθεί περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης, αυτοί οι ζυγοί ισοδυναμικής σύνδεσης πρέπει να συνδέονται σε ξεχωριστά ηλεκτρόδια γείωσης και να διασυνδέονται με ένα εσωτερικό περιμετρικό αγωγό (ή ένα μερικό δακτύλιο). Στην περίπτωση εισόδου των εξωτερικών αγωγών στοιχείων πάνω από το έδαφος, οι ζυγοί ισοδυναμικής σύνδεσης πρέπει να είναι συνδεδεμένοι σε ένα οριζόντιο περιμετρικό αγωγό στο εσωτερικό ή το εξωτερικό του τοίχου, ο οποίος συνδέεται στους αγωγούς καθόδου καθώς και στον οπλισμό, κατά περίπτωση.

Συνίσταται τα εξωτερικά αγωγήματα μέρη καθώς και οι γραμμές, ηλεκτρικές και τηλεπικοινωνιακές, που εισέρχονται στην κατασκευή στο επίπεδο του εδάφους να εισέρχονται στην ίδια θέση. Αυτό είναι πολύ σημαντικό όπου η κατασκευή του κτιρίου παρέχει μειωμένη θωράκιση. Ο ζυγός ισοδυναμικής σύνδεσης στο σημείο εισόδου μέσα στην κατασκευή πρέπει να είναι συνδεδεμένος όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο ηλεκτρόδιο γείωσης, καθώς και στον οπλισμό.

Ο περιμετρικός αγωγός πρέπει να είναι συνδεδεμένος με τον οπλισμό ή άλλα μέτρα θωράκισης κάθε 5 m. Η ελάχιστη διατομή των ζυγών ισοδυναμικής σύνδεσης για χαλκό ή γαλβανισμένο χάλυβα πρέπει να είναι 50 mm².

Οι ζυγοί ισοδυναμικής σύνδεσης που προορίζονται για κατασκευές που περιλαμβάνουν πληροφοριακά συστήματα όπου οι επιδράσεις του κεραυνικού πλήγματος πρέπει να είναι ελαχιστοποιημένες, είναι προτιμότερο να έχουν τη μορφή μεταλλικής πλάκας με πολλαπλά σημεία συνδέσεων με τον οπλισμό ή με άλλα στοιχεία θωράκισης.

Για τις διατάξεις σύσφιξης και τους περιοριστές υπερτάσεων που χρησιμεύουν ως ένωση στο όριο μεταξύ ΖΑΠ ΟΑ και ΖΑΠ 1 πρέπει να χρησιμοποιούνται οι τιμές των παραμέτρων του ρεύματος σύμφωνα με τους πίνακες 1-3 του κανονισμού IEC 81 (Sec.) 57, λαμβάνοντας υπ' όψη τον καταμερισμό των ρευμάτων εκεί όπου υπάρχουν πολλαπλοί αγωγοί

Για τις διατάξεις σύσφιξης και τους περιοριστές υπερτάσεων που χρησιμεύουν ως ένωση στο όριο μεταξύ ΖΑΠ ΟΒ και ΖΑΠ 1 οι τιμές των παραμέτρων του ρεύματος πρέπει να εκτιμηθούν ξεχωριστά.

Τα εξωτερικά αγωγή μέρη που βρίσκονται στη ΖΑΠ ΟΒ αναμένονται να μεταφέρουν ένα επαγόμενο ρεύμα και ένα μικρό μέρος του κεραυνικού ρεύματος.

Για τα εξωτερικά αγωγή μέρη, καθώς και για τις γραμμές, ηλεκτρικές και τηλεπικοινωνιακές, που εισέρχονται στην κατασκευή στο επίπεδο του εδάφους, τα μερικά κεραυνικά ρεύματα στο σημείο της σύνδεσης πρέπει να εκτιμούνται. Αυτό μπορεί να γίνει ως εξής :

Όπου δεν είναι δυνατή μια αναλυτική εκτίμηση μπορεί να υποτεθεί ότι 50% του συνολικού κεραυνικού ρεύματος i εισέρχεται στο σύστημα γείωσης του ΣΑΠ της κατασκευής και το 50% του i , i_s διανέμεται μεταξύ των υπηρεσιών που εισέρχονται στην κατασκευή (εξωτερικά αγωγή μέρη, γραμμές ηλεκτρικές και τηλεπικοινωνιακές κ.τ.λ.). Η τιμή του ρεύματος που ρέει σε κάθε υπηρεσία, i_i δίνεται από τη σχέση i_s/n , όπου n είναι ο αριθμός των υπηρεσιών που αναφέρονται πιο πάνω. Για την εκτίμηση του ρεύματος i_v στους ατομικούς αγωγούς μη θωρακισμένων καλωδίων, το ρεύμα του καλωδίου i_i διαιρείται με τον αριθμό των αγωγών m , δηλαδή $i_v=i_i/m$.

Στην περίπτωση θωρακισμένων καλωδίων, το ρεύμα θα ρέει κατά μήκος της θωράκισης.

Για τις διατομές των ισοδυναμικών αγωγών, εφαρμόζονται οι πίνακες 6 7 του IEC 1024-1. Ο πίνακας 6 εφαρμόζεται εάν ένα ποσοστό του κεραυνικού ρεύματος >25% ρέει μέσω του αγωγίου μέρους. Ο πίνακας 7 εφαρμόζεται εάν ένα ποσοστό του κεραυνικού ρεύματος <25% ρέει μέσω του αγωγίου μέρους.

Οι περιοριστές υπερτάσεων πρέπει να αντέχουν μερικά κεραυνικά ρεύματα και να ικανοποιούν τις πρόσθετες απαιτήσεις σχετικά με τις μέγιστες τάσεις μεταξύ των ζυγών για τις υπερτάσεις και την ικανότητα απόσβεσης των ακόλουθων ρευμάτων

από το δίκτυο. Η μέγιστη υπέρταση u_{\max} στην είσοδο της εγκατάστασης πρέπει να είναι αντίστοιχη με την ικανότητα αντοχής σε υπερτάσεις των σχετιζόμενων κυκλωμάτων.

Για την επίτευξη μιας σημαντικά χαμηλής τιμής της u_{\max} , οι γραμμές πρέπει να είναι συνδεδεμένες στο ζυγό ισοδυναμικής σύνδεσης με τα ελάχιστα δυνατά μήκη συρμάτων.

2.5.7 Ισοδυναμικές συνδέσεις στα όρια μεταξύ διαδοχικών ζωνών αντικεραυνικής προστασίας

Οι γενικές αρχές για την ισοδυναμική σύνδεση στο όριο μεταξύ των ΖΑΠ ΟΑ, ΟΒ, και Ι εφαρμόζονται εξίσου στα όρια μεταξύ των ζωνών.

Όλα τα αγωγία μέρη, καθώς και οι ηλεκτρικές και τηλεπικοινωνιακές γραμμές που διασχίζουν το όριο μεταξύ των ΖΑΠ πρέπει να είναι συνδεδεμένα στο επίπεδο του ορίου. Η ισοδυναμική σύνδεση πρέπει να πραγματοποιείται μέσω ενός τοπικού ζυγού ισοδυναμικής σύνδεσης όπου συνδέονται επίσης τα στοιχεία θωράκισης ή άλλοι μεταλλικοί οπλισμοί (για παράδειγμα κιβώτια συσκευών).

Για τις διατάξεις σύσφιξης και τους περιοριστές υπερτάσεων που χρησιμοποιούνται για να πραγματοποιήσουν την ισοδυναμική σύνδεση, οι παράμετροι του ρεύματος πρέπει να εκτιμηθούν ξεχωριστά. Οι μέγιστες υπερτάσεις στο όριο της ΖΑΠ πρέπει να αντιστοιχούν στην ικανότητα διηλεκτρικής αντοχής των σχετιζόμενων κυκλωμάτων. Οι περιοριστές υπερτάσεων σε διαφορετικά όρια ζωνών πρέπει επίσης να συναρμολογούνται ανάλογα με τα ενεργειακά τους χαρακτηριστικά.

2.5.8 Ισοδυναμικές συνδέσεις πληροφοριακών συστημάτων

Το κοινό σύστημα γείωσης της κατασκευής περιλαμβάνει το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, στο οποίο προστίθεται η σύνδεση των μεταλλικών εγκαταστάσεων, προκειμένου να επιτευχθεί ένα σύστημα γείωσης πλέγματος χαμηλής επαγωγής.

Για τα εκτεθειμένα αγωγία μέρη των πληροφοριακών συστημάτων, τα δίκτυα ισοδυναμικής σύνδεσης πρέπει να είναι τοποθετημένα. (Γενικά, ένα δίκτυο ισοδυναμικής σύνδεσης δεν χρειάζεται να συνδέεται με τη γη).

Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι για τη σύνδεση των μεταλλικών στοιχείων των

πληροφοριακών συστημάτων με την κοινή γείωση της κατασκευής, όπως θάλαμοι, περιβλήματα ή σχάρες. Μία από τις δύο βασικές διαμορφώσεις των ισοδυναμικών δικτύων πρέπει να χρησιμοποιείται:

-διαμόρφωση αστέρα τύπου S

-διαμόρφωση πλέγματος τύπου M

Εάν χρησιμοποιείται δίκτυο ισοδυναμικής σύνδεσης τύπου S, όλα τα μεταλλικά εξαρτήματα του συστήματος πρέπει να είναι επαρκώς μονωμένα από τα εξαρτήματα του κοινού συστήματος γείωσης, με εξαίρεση το σημείο σύνδεσης.

Γενικά, το δίκτυο ισοδυναμικής σύνδεσης τύπου S χρησιμοποιείται για σχετικά μικρές, τοπικά περιορισμένες εγκαταστάσεις, όπου όλες οι υπηρεσίες και τα καλώδια εισέρχονται στο πληροφοριακό σύστημα σε ένα μόνο σημείο.

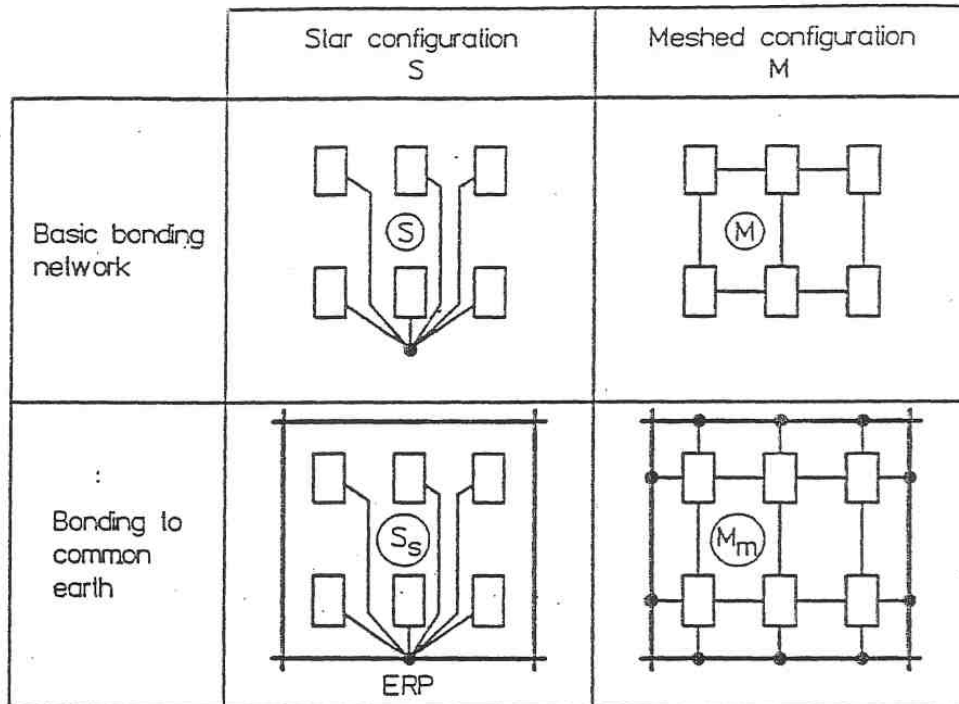
Το δίκτυο ισοδυναμικής σύνδεσης τύπου S πρέπει να είναι ενσωματωμένο στο κοινό σύστημα γείωσης σε ένα μόνο σημείο, το οποίο ονομάζεται σημείο αναφοράς της γείωσης. Επίσης, σε αυτή την περίπτωση, όλες οι γραμμές και τα καλώδια του εξοπλισμού πρέπει να είναι παράλληλα με τις ισοδυναμικές γραμμές, οι οποίες έχουν διαμόρφωση αστέρα ώστε να αποφεύγονται οι επαγωγικοί βρόχοι. Λόγω του μοναδικού σημείου σύνδεσης, κανένα ρεύμα χαμηλής συχνότητας που σχετίζεται με τον κεραυνό, δεν μπορεί να εισέλθει στο πληροφοριακό σύστημα και, επιπλέον, οι πηγές παρεμβολών χαμηλής συχνότητας που βρίσκονται μέσα στο πληροφοριακό σύστημα δεν μπορούν να παράγουν ρεύματα γης. Αυτό το μοναδικό σημείο σύνδεσης είναι επίσης το ιδανικό σημείο για τη σύνδεση των περιοριστών υπερτάσεων προκειμένου να περιορίζονται οι επαγόμενες υπερτάσεις.

Εάν χρησιμοποιείται δίκτυο ισοδυναμικής σύνδεσης τύπου M, τα μεταλλικά εξαρτήματα του συστήματος δεν πρέπει να είναι μονωμένα από τα εξαρτήματα του κοινού συστήματος γείωσης. Το δίκτυο ισοδυναμικής σύνδεσης τύπου M πρέπει να είναι ενσωματωμένο στην κοινή γείωση σε πολλά σημεία.

Γενικά, το δίκτυο ισοδυναμικής σύνδεσης τύπου M χρησιμοποιείται για σχετικά εκτεταμένες και ανοικτές εγκαταστάσεις, όπου πολλές γραμμές και καλώδια περνούν ανάμεσα στα στοιχεία του εξοπλισμού και όπου οι υπηρεσίες και τα καλώδια εισέρχονται στο πληροφοριακό σύστημα σε αρκετά σημεία.

Οι δύο τύποι δικτύων ισοδυναμικής σύνδεσης φαίνονται στο σχήμα 2.3.

Σε σύνθετες εγκαταστάσεις τα πλεονεκτήματα των δύο τύπων M και S μπορούν να συνδυαστούν.



———— common earthing system of the structure

———— bonding network



item of equipment



connection of the bonding network to the common earth

ERP earthing reference point

Σχήμα 2.3: Οι δύο τύποι δικτύων ισοδυναμικής σύνδεσης S και M.

2.5.9 Θέσεις ΣΑΠ

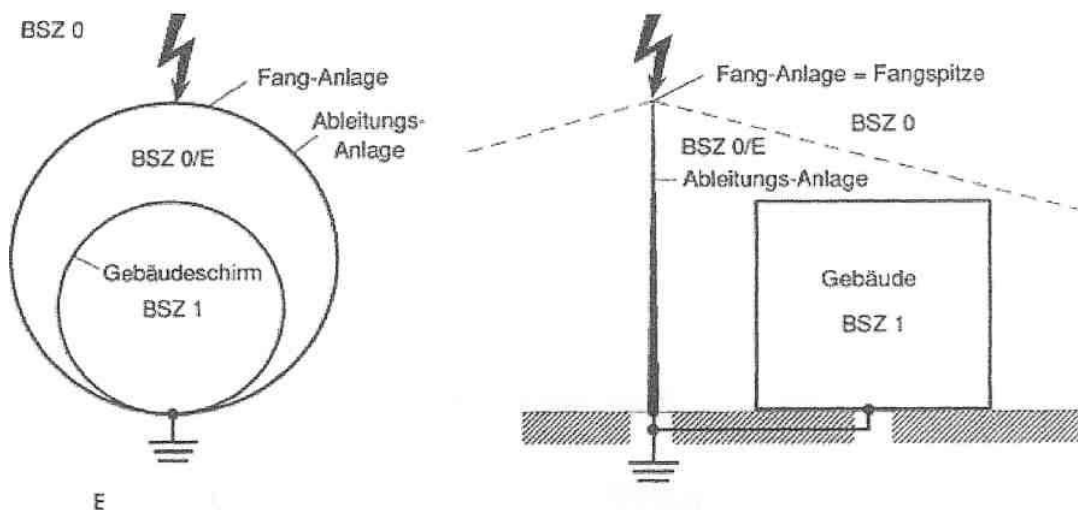
Το συλλεκτήριο σύστημα, οι αγωγοί καθόδου και η γείωση μπορούν να γίνουν με

- μια ξεχωριστή εγκατάσταση προστασίας
- μια εν μέρει ξεχωριστή εγκατάσταση προστασίας
- ένα σύστημα ενσωματωμένο στην οικοδομή.

Για την εφαρμογή ενός συγκεκριμένου θεωρήματος των ζωνών πρέπει να υπολογιστεί πρώτα το επίπεδο προστασίας κατά IEC 1024-1. Π.χ. για το επίπεδο I το συλλεκτήριο σύστημα και οι αγωγοί καθόδου πρέπει να έχουν αποτελεσματικότητα 98%, δηλαδή μόνο 1 στα 50 χτυπήματα κεραυνού υπάρχει περίπτωση να μην συλληχθεί από αυτό. Για το επίπεδο II απαιτείται αποτελεσματικότητα 95% ενώ για το III 90%. Για εγκαταστάσεις με ηλεκτρονικά συστήματα εφαρμόζονται οι κανόνες του επιπέδου I και επιπρόσθετα μέτρα.

Παράδειγμα ξεχωριστής εγκατάστασης προστασίας.

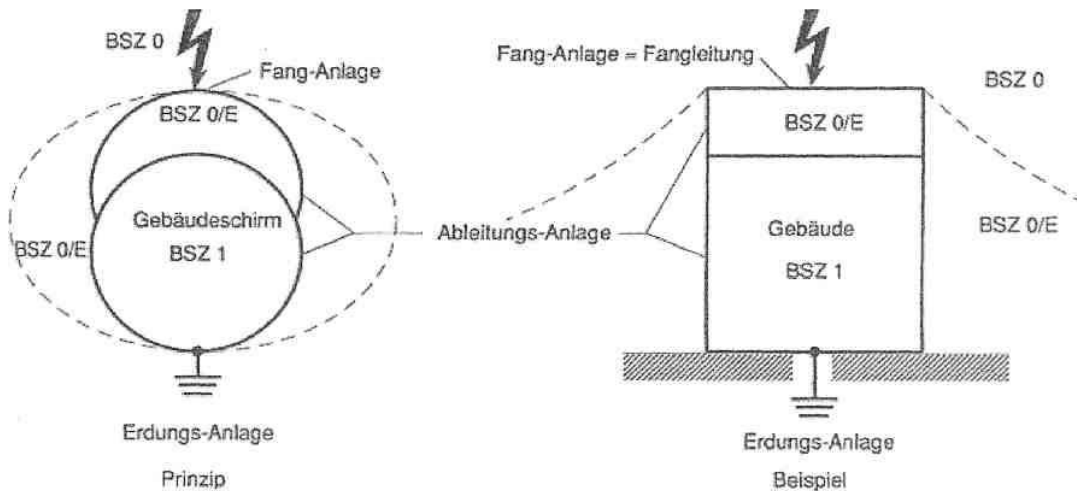
Οι συλλεκτήριες διατάξεις και οι αγωγοί καθόδου βρίσκονται εκτός του χώρου της ζώνης προστασίας 1. Ανάμεσα σε αυτές και ανάμεσα στις ζώνες 0 και 1 δημιουργείται η ζώνη 0/E μέσα στην οποία είναι απίθανο άμεσο χτύπημα όμως ισχύουν οι νόμοι του ηλεκτρομαγνητισμού. Το περίβλημα της ζώνης 1 δεν το διαπερνά ρεύμα κεραυνού.



Σχήμα 2.4: Αντίστοιχες συλλεκτήριες διατάξεις και αγωγοί καθόδου

Παράδειγμα εν μέρει ξεχωριστής εγκατάστασης προστασίας, (κατά IEC 1024-1)

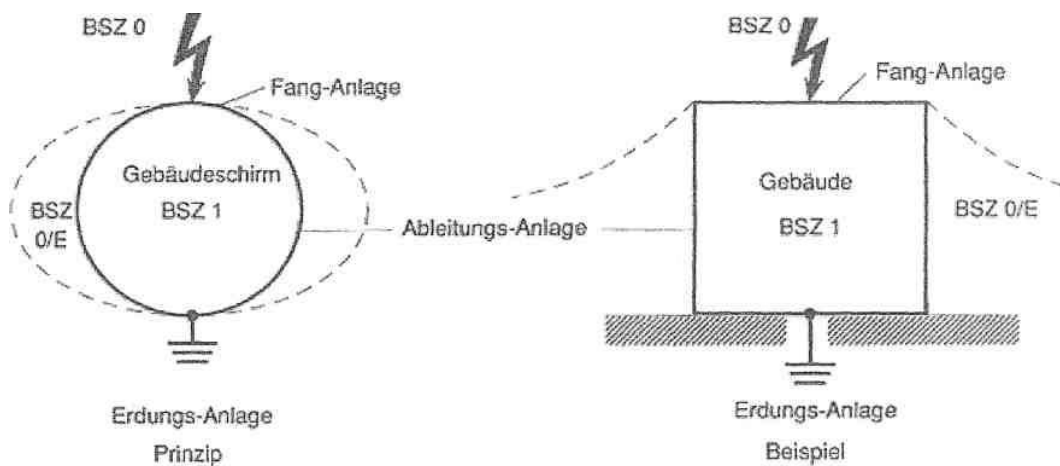
Και εδώ η ζώνη 1 περιβάλλεται από μια ηλεκτρομαγνητική ομπρέλα. Μόνο η συλλεκτήρια διάταξη είναι απομονωμένη από τη ζώνη 1 αφού ανάμεσα τους παρεμβάλλεται η ζώνη 0/E. Το ρόλο της ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης τώρα επωμίζονται οι αγωγοί καθόδου, μέσω των οποίων διοχετεύεται στη γη το ρεύμα του κεραυνού.



Σχήμα 2.5: Αντίστοιχες συλλεκτήριες διατάξεις και αγωγοί καθόδου

Παράδειγμα ενσωματωμένου συστήματος

Εδώ το ρόλο της θωράκισης επωμίζονται τόσο οι αγωγοί καθόδου όσο και το συλλεκτήριο σύστημα. Όλο το περίβλημα διαρρέεται τώρα από ρεύματα κεραυνού.



Σχήμα 2.6: Αντίστοιχες συλλεκτήριες διατάξεις και αγωγοί καθόδου.

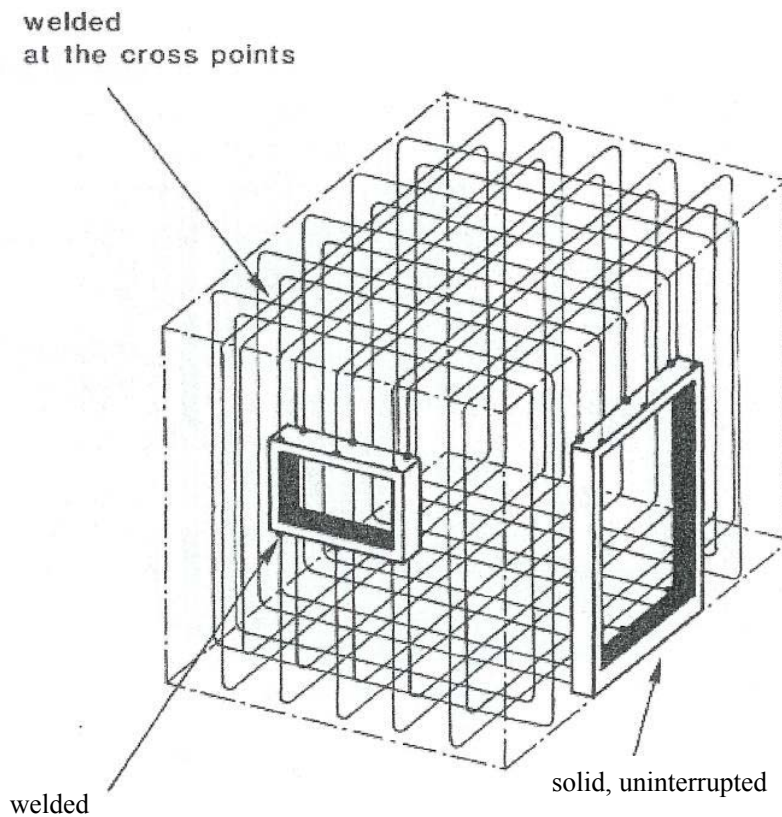
Όποια από τις 3 παραπάνω μεθόδους και αν εφαρμοστεί, είναι απαραίτητο το σύστημα να χωριστεί σε ζώνες προστασίας. Η κλιμακωτή αυτή προστασία είναι πιο συμφέρουσα

από την εφαρμογή μιας μόνο ζώνης μέσα στην οποία θα έπρεπε να προστατεύονται όλα τα συστήματα.

Εκτός από τις βασικές ζώνες προστασίας υπάρχουν και οι τοπικές ζώνες.

2.6 Μέθοδοι αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των μέτρων θωράκισης κατά Lemp για κατασκευές με ηλεκτρονικά συστήματα σε περίπτωση άμεσου και κοντινού πλήγματος κεραυνού.

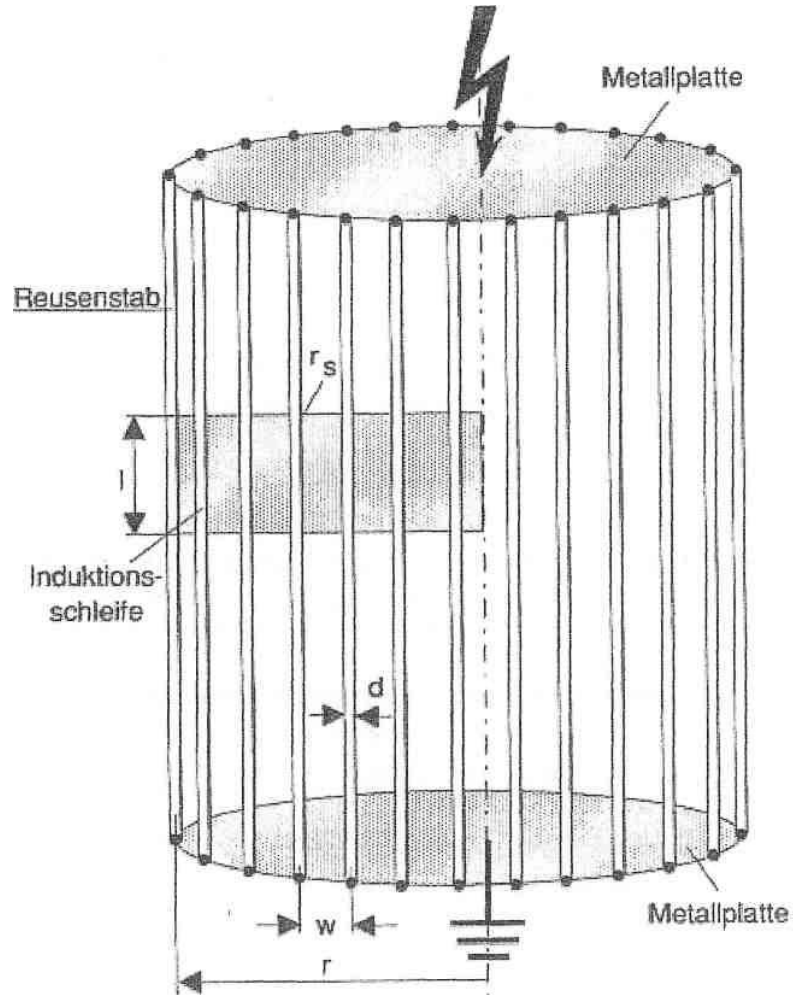
Η κύρια πηγή παρεμβολών στα ηλεκτρονικά συστήματα είναι το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τα ρεύματα όλων των διαφορετικών φάσεων του κεραυνού. Αν τα κτίρια ή τα δωμάτια μέσα στα οποία βρίσκονται τα ηλεκτρονικά συστήματα είναι κατάλληλα θωρακισμένα, το ηλεκτρικό πεδίο μειώνεται σε ικανοποιητικά χαμηλό επίπεδο. Στην πράξη θωρακίσεις μεγάλου όγκου δωματίων ή κατασκευών σχηματίζονται από φυσικά εξαρτήματα όπως μεταλλικά στηρίγματα, μεταλλικά ανοίγματα ή μεταλλικές μπάρες (οπλισμένου σκυροδέματος) που υπάρχουν μέσα στον τοίχο.



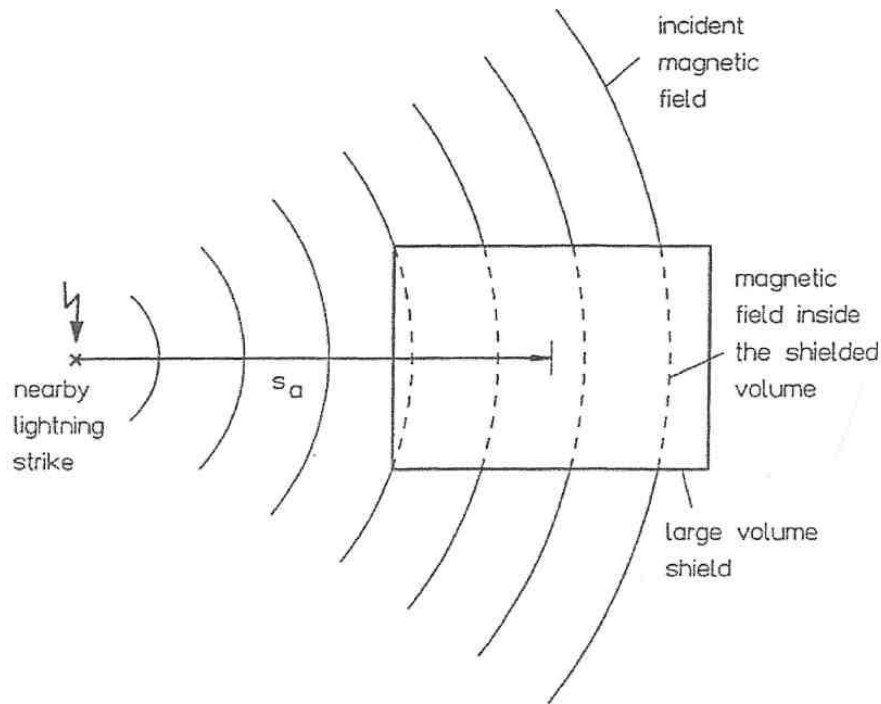
Σχήμα 2.7: Μεταλλική θωράκιση μεγάλου όγκου κατασκευής

Αυτά τα εξαρτήματα σχηματίζουν μια θωράκιση το σχήμα της οποίας θεωρείται για λόγους απλότητας ότι μοιάζει με κυλινδρικό κλουβί. Για να γίνει ο υπολογισμός του

μαγνητικού πεδίου και της επαγόμενης τάσης γίνεται η υπόθεση πως στο επάνω και στο κάτω μέρος των αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένες μεταλλικές αγωγίμες επιφάνειες τις οποίες πλήττει άμεσα ο κεραυνός. Το ρεύμα μοιράζεται εξίσου σε όλους τους αγωγούς καθόδου.



Σχήμα 2.8: Μεταλλική θωράκιση τύπου κυλινδρικού κλωβού.



Σχήμα 2.9: Εξασθένηση μαγνητικού πεδίου

Η εξασθένηση του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο ενός κτιρίου με θωράκιση όπως φαίνεται στο σχήμα είναι S_f .

Εκτιμάται το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό μιας τέτοιας θωράκισης ως εξής:

Για κάθε συχνότητα το πλάτος του ρεύματος $AD_i(f)$ διαιρείται με το συντελεστή εξασθένησης S_f . Η πυκνότητα εύρους του μαγνητικού πεδίου εντός της θωράκισης είναι:

$$AD_H(f) = \frac{AD_i(f)}{S_f(f)} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot s_a} (A/m) / Hz \quad (2.3)$$

s_a : μέση απόσταση μεταξύ του σημείου χτυπήματος του κεραυνού και της θωράκισης

f : συνήθεις τιμές συχνοτήτων είναι τα 100 Hz έως 1 MHz.

Δηλαδή η πυκνότητα εύρους του μαγνητικού πεδίου εντός της θωράκισης όπως ήταν αναμενόμενο μειώνεται όσο απομακρύνεται κανείς από το σημείο χτυπήματος του κεραυνού.

2.6.1 Εξασθένηση πεδίου για θωράκιση που διαρρέεται από ρεύμα

Η θωράκιση ενός κτιρίου μπορεί να είναι τμήμα του ΣΑΠ και να διαρρέεται από ρεύματα κεραυνού. Για αυτού του είδους τη θωράκιση δεν έχει υπολογισθεί η εξασθένηση του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό της. Για το σκοπό της αντικεραυνικής προστασίας γίνεται μια εξιδανικευμένη προσέγγιση της τιμής της εξασθένησης. Το μαγνητικό πεδίο μέσα από τη θωράκιση μετράται από την μαγνητική επαγωγή M και θα συγκριθεί με την τιμή του μαγνητικού πεδίου που θα προέκυπτε στην περίπτωση ενός κοινού ΣΑΠ (χωρίς θωράκιση) με απόσταση μεταξύ των αγωγών καθόδου 10 m. (Στάθμη προστασίας I)

Στο σχήμα 2.8 υποτίθεται ότι ένα χτύπημα κεραυνού στο επάνω μέρος προκαλεί συμμετρική ροή ρεύματος στα κατακόρυφα μεταλλικά στηρίγματα, ενώ τα οριζόντια δεν διαρρέονται από ρεύμα και για αυτό το λόγο μπορούν να παραλειφθούν.

Ένας βρόχος όπως φαίνεται στο σχήμα στην πράξη σχηματίζεται στο εσωτερικό των εγκαταστάσεων από γραμμές ισχύος και τηλεπικοινωνιών. Η χειρότερη περίπτωση ('worst case') της θέσης του βρόχου που προκαλεί και τη μεγαλύτερη υπέρταση είναι όταν αυτός έχει το ένα άκρο του στον εξωτερικό αγωγό και το άλλο στο κέντρο της θωράκισης.

Η αμοιβαία μαγνητική επαγωγή M ενός τέτοιου βρόχου είναι

$$M' = \frac{0.1 \cdot w}{\pi \cdot r} \cdot \ln\left(\frac{w}{\pi \cdot d}\right) (\mu H) \quad (2.4)$$

$$M = M' \cdot l \quad (2.5)$$

d : διάμετρος μιας κατακόρυφης μπάρας

l : μήκος του βρόχου επαγωγής

r : ακτίνα της θωράκισης

w : απόσταση ανάμεσα στις μπάρες

Η αμοιβαία μαγνητική επαγωγή στο κέντρο ενός ΣΑΠ στάθμης I δηλαδή μιας κυλινδρικής θωράκισης με $w = 10m$ και $d = 8mm$ είναι:

$$M_r = 1.91 \cdot \frac{l}{r} \quad (2.6)$$

Η εξασθένηση S ορίζεται

$$S = \frac{M_r}{M} = \frac{60}{w \cdot \ln\left(\frac{w}{\pi \cdot d}\right)} \quad (2.7)$$

2.7 Επαγόμενες τάσεις στους εσωτερικούς βρόχους

Η μέση τιμή της επαγόμενης τάσης κατά τη διάρκεια μετώπου του ρεύματος T1 είναι

$$V_1 = M \cdot \frac{I}{T_1} (kV) \quad (2.8)$$

M : μαγνητική επαγωγή που υπολογίζεται από τη σχέση 1.

I : η μέγιστη τιμή του συνολικού ρεύματος του κεραυνού.

T1 : η διάρκεια μετώπου του ρεύματος.

Το ρεύμα που αναπτύσσεται μέσα στο βρόχο λόγω της επαγόμενης τάσης V1 έχει την ίδια μορφή με αυτή του κεραυνικού ρεύματος αν αγνοηθεί η ωμική αντίσταση του βρόχου (δηλαδή εξετάζεται η χειρότερη περίπτωση). Το ρεύμα αυτό μπορεί να υπολογισθεί:

$$i_1 = i \cdot \frac{M}{L} (kA) \quad (2.9)$$

και η μέγιστη τιμή του :

$$I_1 = I \cdot \frac{M}{L} (kA) \quad (2.10)$$

I : μέγιστη τιμή του συνολικού ρεύματος του κεραυνού.

M : μαγνητική επαγωγή του βρόχου,

i : συνάρτηση του συνολικού ρεύματος του κεραυνού.

L : αυτεπαγωγή του βρόχου.

Στην πράξη η κατανομή του ρεύματος δεν είναι πάντα το ίδιο ομοιόμορφη, ειδικά στην περίπτωση κάποιου χτυπήματος στην γωνία ενός χαμηλού κτιρίου θα υπάρχουν ρεύματα που θα διαρρέουν και τους οριζόντιους αγωγούς. Για αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συντελεστές διόρθωσης για τον υπολογισμό των επαγόμενων τάσεων και των επαγόμενων ρευμάτων.

Κεφάλαιο 3

Μελέτη αντικεραυνικής προστασίας του radar Λευκάδας της Υ.Π.Α.

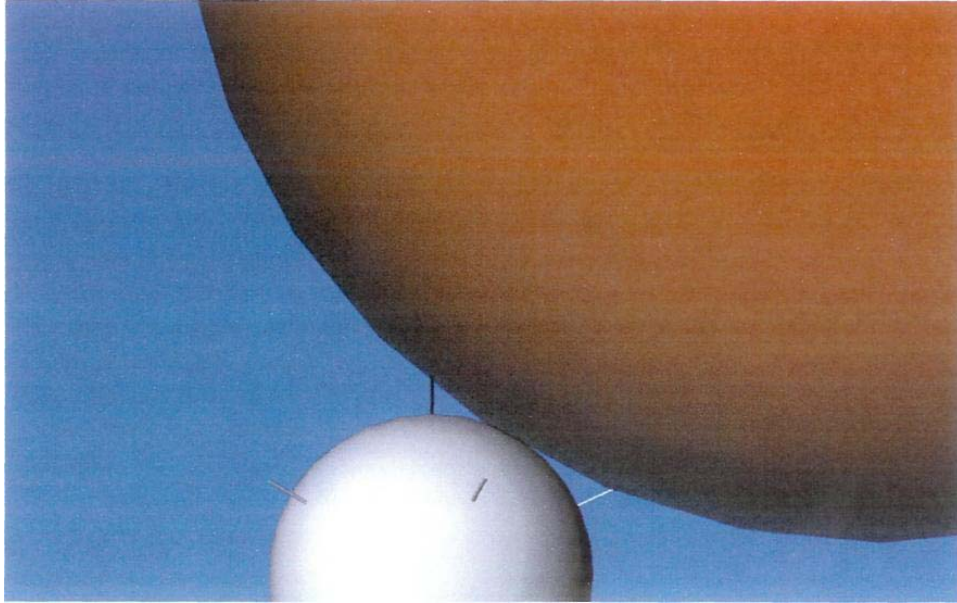
Η μελέτη έγινε σύμφωνα με:

-Τους ισχύοντες ελληνικούς και διεθνείς κανονισμούς αντικεραυνικής προστασίας

(1107 του ΕΛΟΤ, IEC 1024 και CENELEC ENV 61024-1 και EN 50164)

3.1 Υπάρχουσα γείωση – Αντικεραυνική προστασία

Μετά από επιτόπια έρευνα και έλεγχο της εγκατάστασης βάσει των κανονισμών 1197 του ΕΛΟΤ , IEC 1024 και CENELEC (ENV 61024-1) για στάθμη προστασίας I και αποτελεσματικότητα 99% έγιναν οι εξής διαπιστώσεις: Ελέγχθηκε η αποτελεσματικότητα της υπάρχουσας εγκατάστασης συλλεκτήριων ακίδων στο Radom του Radar (Αυτό φαίνεται στην Εικόνα 3.1). Ο έλεγχος έγινε με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας. Σύμφωνα με τους κανονισμούς για στάθμη προστασίας I η ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας πρέπει να λαμβάνεται ίση με 20 m. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1: Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας

Οι 6 ακίδες μήκους 1,4 m δεν προστατεύουν το Radom αφού ανάμεσα τους υπάρχει σημείο όπου η κυλιόμενη σφαίρα εφάπτεται σε αυτό.

Η σχέση που συνδέει την απόσταση διάσπασης με το ρεύμα του κεραυνού είναι:

$$r_s = 8 \cdot I^{0,65} \quad (3.1)$$

Η ακτίνα των 20 m της κυλιόμενης σφαίρας αντιστοιχεί σε ρεύμα κεραυνού 4 kA. Αυτό σημαίνει ότι κεραυνοί με ρεύμα μικρότερο ή ίσο με 4 kA μπορούν να παρακάμψουν τις υπάρχουσες ακίδες και να πλήξουν την επιφάνεια του Radom. (Η διάταξη των ακίδων φαίνεται στις Εικόνες 3.2, 3.3). Όπως προκύπτει από τον έλεγχο αυτό αλλά και οπτικό έλεγχο της επιφάνειας του Radar οι υπάρχουσες αλλοιώσεις στα panel είναι στην περιοχή ανάμεσα στο Apex air terminal και στα Lower air terminals. Από τον έλεγχο των τεχνικών χαρακτηριστικών των υλικών του Radar (Technical proposed tuned sandwich Radome, model S32-75), Ιούλιος 2000), δεν προκύπτει καμία πληροφορία για δοκιμές του υλικού σε κρουστικό ρεύμα κεραυνού. Δεν είναι δηλαδή γνωστή η ένταση του ρεύματος του κεραυνού που είναι επικίνδυνη για το υλικό του Radome (υαλοβάμβακας εμποτισμένος σε πολυεστέρα). Επιπλέον ένδειξη ότι μερικοί κεραυνοί παρακάμπτουν τις ακίδες προστασίας και πλήττουν την επιφάνεια του Radom αποτελούν οι καταστροφές στις βίδες σύνδεσης των panels του Radom.

Ο πύργος του Radar είναι εξ ολοκλήρου μεταλλικός και οι διατομές των στοιχείων του πολύ μεγαλύτερες από τις απαιτούμενες βάσει των κανονισμών. Έτσι τα στοιχεία του πύργου στήριξης του Radar μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν αγωγοί καθόδου για το ρεύμα του κεραυνού, εφ' όσον ελεγχθεί η ηλεκτρική τους συνέχεια.

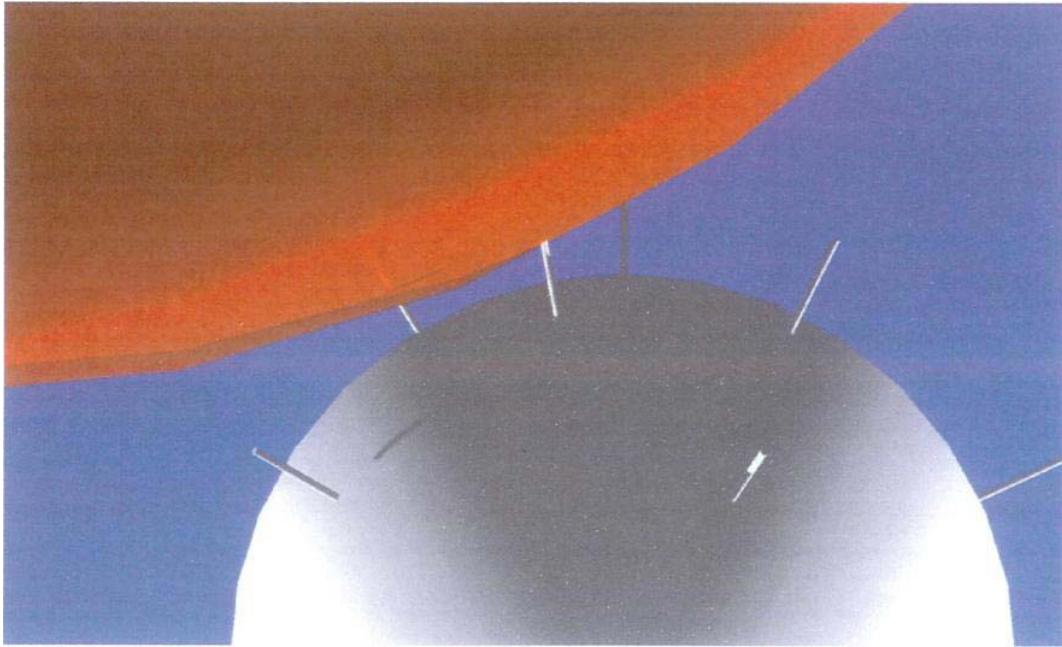
Από τις βάσεις έδρασης του πύργου (εικόνες 3.7, 3.8) ξεκινούν ταινίες γείωσης οι οποίες φαίνεται να οδεύουν στην υπάρχουσα θεμελίωση από μπετόν, συνολικών διαστάσεων 10*10*1 m. Η όλη εγκατάσταση του Radar βρίσκεται σε μια απομονωμένη κορυφή του βουνού όπου το έδαφος είναι 100% βράχος. (Εικόνα 3.10)

Παρατηρήθηκαν επίσης βλάβες λόγω διασπάσεων μεταξύ των αγωγών καθόδου και άλλων μεταλλικών τμημάτων της εγκατάστασης. Οι διασπάσεις αυτές οφείλονται στην ανάπτυξη μεγάλων διαφορών δυναμικού, αιτίες των οποίων μπορεί να είναι κακές συνδέσεις, ανάπτυξη επαγωγικών τάσεων και μεγάλη τιμή της αντίστασης γείωσης.

3.2 Προτεινόμενη βελτίωση της υπάρχουσας αντικεραυνικής προστασίας

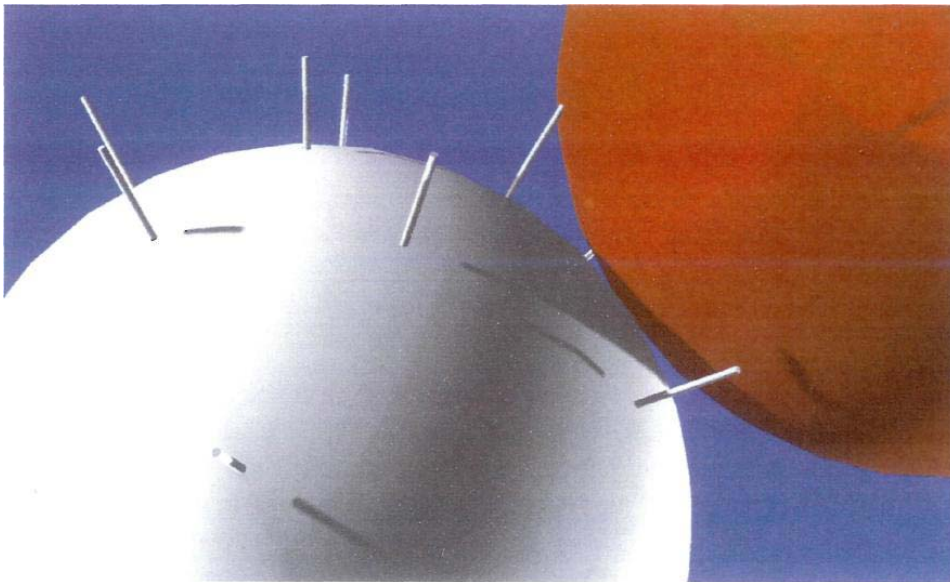
3.2.1 Συλλεκτήριο σύστημα

Η διάταξη συλλεκτήριων ακίδων που υπήρχε προσέφερε προστασία για ρεύματα κεραυνών μεγαλύτερα από 4 kA. Εγκαταστάθηκαν πέντε επιπλέον ακίδες μήκους 2 m και ίδιων χαρακτηριστικών, ενώ και οι παλιές επιμηκύνθηκαν κατά 0,6 m έτσι ώστε και οι 11 να έχουν το ίδιο μήκος, δηλαδή 2 m. Οι πέντε καινούριες ακίδες ορίζονται ως Middle air terminals και βρίσκονται στην ενδιάμεση περιοχή μεταξύ του Apex air terminal και των Lower air terminals για να εξασφαλισθεί προστασία και από ασθενέστερους κεραυνούς. Στην Εικόνα 3.2 φαίνεται σχηματικά πώς πράγματι η νέα διάταξη των ακίδων προστατεύει αποτελεσματικά το Radom από χτυπήματα των 4 kA.

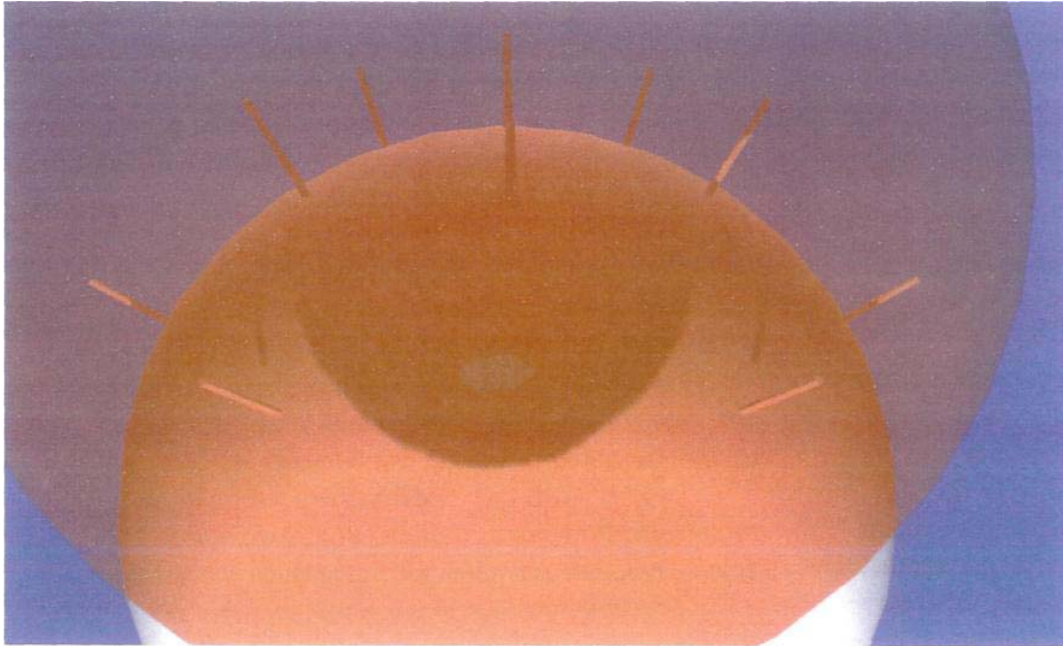


Εικόνα 3.2: Διάταξη συλλεκτήριων ακίδων

Το μεγαλύτερο ρεύμα που μπορεί να παρακάμψει τις ακίδες και να πλήξει την επιφάνεια του Radom αντιστοιχεί σε σφαίρα ακτίνας 5 m περίπου και υπολογίζεται από τη σχέση 1 περίπου 0.5 kA. Η βελτίωση των θέσεων των ακίδων οδήγησε σε μείωση περίπου στο 1/10 της τιμής του ρεύματος που μπορεί να πλήξει την επιφάνεια του Radom.

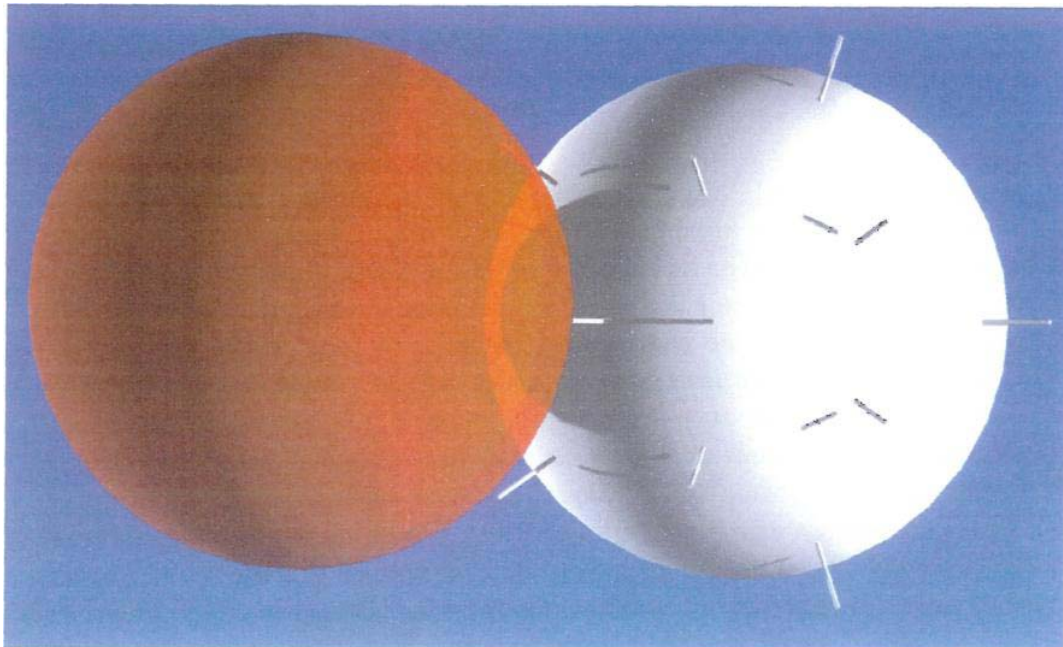


Εικόνα 3.3: Διάταξη συλλεκτήριων ακίδων



Εικόνα 3.4: Οριακή επαφή κεραυνού με επιφάνεια Radom

Στο σχήμα αυτό φαίνεται καθαρά το στιγμιότυπο που ο κεραυνός οριακά ακουμπά στην επιφάνεια του Radom ακριβώς πριν έρθει σε επαφή με κάποιον από τους συλλέκτηριους αγωγούς.



Εικόνα 3.5: Οριακή επαφή κεραυνού με επιφάνεια Radom

Η σωστή λειτουργία του Radar επιβάλλει συγκεκριμένες οδεύσεις των αγωγών καθόδου από το Apex air terminal στα Lower air terminals και από εκεί στις συλλέκτηριες ακίδες που είναι εγκατεστημένες στη βάση του Radom και μετά στη γη. Η σύνδεση εσωτερικά όλων των ακίδων με το σύστημα αγωγών καθόδου πρέπει να γίνεται με αγωγούς ισοδύναμης διατομής 8 mm.

Σημεία στα οποία πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή:

- Όλες οι συνδέσεις να υλοποιηθούν βάσει των απαιτήσεων των κανονισμών (έλεγχος υλικών και ροπή σύσφιξης των συνδέσεων).
- Όλες οι διαδρομές των αγωγών καθόδου που βρίσκονται 50 εκατοστά ψηλότερα ως 50 εκατοστά χαμηλότερα από τον λοβό ακτινοβολίας της κεραίας θα επενδυθούν με ένα στρώμα ταινίας φερρίτου για την αποφυγή ανεπιθύμητων ανακλάσεων.
- Αν εσωτερικά του Radom υπάρχουν θέσεις που δεν πρέπει να έχουν ηλεκτρική επαφή με τους αγωγούς καθόδου, πρέπει να μονωθούν με ειδική ταινία ώστε να εξασφαλισθεί μόνωση 100 kV.

Αν τα επίτονα στήριξης των ακίδων είναι μεταλλικά, πρέπει η διατομή τους να είναι τουλάχιστον 16 mm² και οι θέσεις στήριξης τους εσωτερικά να συνδέονται με τους αγωγούς καθόδου.

3.2.2 Αγωγοί καθόδου

Τα δομικά υλικά του μεταλλικού πύργου στήριξης του Radar έχουν πολύ μεγαλύτερες διατομές από αυτές που απαιτούνται για τους αγωγούς καθόδου. Έτσι εφ' όσον επιτευχθεί καλή ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν αγωγοί καθόδου.

3.2.3 Σύστημα γείωσης

Το έδαφος γύρω από τη βάση στήριξης του Radar είναι βραχώδες και απόκρημνο και εντελώς ακατάλληλο για οποιαδήποτε εγκατάσταση γείωσης. Σε προσπάθεια εντοπισμού καταλληλότερου εδάφους με καλύτερη αγωγιμότητα για την επίτευξη μικρής αντίστασης γείωσης επελέγη ένα μικρό πλάτωμα ανατολικά του πύργου

(κατεύθυνση προς Ακαρνανικά) χαμηλότερα από τη βάση και σε απόσταση περίπου 50 m από αυτόν. Εκεί το έδαφος αποτελείται από χώμα κυρίως με μικρές διάσπαρτες πέτρες σε αντίθεση με την περιοχή γύρω από τον πύργο που είναι βραχώδης και μπαζωμένη.

Για την βελτίωση της υπάρχουσας γείωσης προτάθηκε η εγκατάσταση στην προαναφερθείσα περιοχή πλέγματος γείωσης συνολικών διαστάσεων 30X30 m με βρόχους 5X5 m . Το βάθος τοποθέτησης πρέπει να είναι περίπου 1 m. Επειδή το έδαφος είναι βραχώδες, το όρυγμα που θα διανοιχθεί για την εγκατάσταση του πλέγματος πρέπει να πληρωθεί με μαλακό κοκκινόχωμα. Οι ταινίες που θα σχηματίζουν το πλέγμα πρέπει να είναι χαλύβδινες θερμά και επιψευδαργυρωμένες διαστάσεων 4x40 mm. Σύμφωνα με το ANSI/IEEE Std 80-1986 μια τέτοια διάταξη μπορεί να εξασφαλίσει τιμή αντίστασης γείωσης περίπου 3 Ω. Η σύνδεση της νέας γείωσης με την υπάρχουσα γείωση θα γίνει στη βάση του πύργου (εκεί που καταλήγουν οι κάθοδοι της αντικεραυνικής προστασίας) με τουλάχιστον δύο λάμες χαλύβδινες θερμά επιψευδαργυρωμένες ελαχίστων διαστάσεων 4x40 mm. Επειδή δεν είναι ορατή η σύνδεση των μεταλλικών βάσεων έδρασης του πύργου του Radar μεταξύ τους, πρέπει η μια από τις δύο λάμες να ενώσει πρώτα τις τέσσερις μεταλλικές βάσεις και μετά να οδεύσει προς τη νέα εγκατάσταση γείωσης. Η όδευση αυτών των ταινιών καλό είναι να γίνει εντός μικρού ορύγματος βάθους περίπου 50 cm και πλάτους περίπου 30 cm του οποίου η πλήρωση θα γίνει με μαλακό χώμα έτσι ώστε να περιβάλλεται η ταινία από αυτό.

Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εκμετάλλευση του μήκους των ταινιών σύνδεσης για βελτίωση της εγκατάστασης γείωσης και επιτυγχάνεται ταχύτερη επαφή του ρεύματος του κεραυνού με το έδαφος. Αν η διαθέσιμη επιφάνεια της πεδιάδας δεν έχει τις απαραίτητες διαστάσεις ώστε να εγκατασταθεί το πλέγμα των 30X30 m ενιαίο, μπορεί να εγκατασταθεί πλέγμα ισοδύναμης επιφάνειας π.χ. 20X45 m ή πλέγματα μικρότερων διαστάσεων ισοδύναμης αθροιστικά επιφάνειας και συνδεδεμένα μεταξύ τους σε τουλάχιστον δύο σημεία.

3.3 Εκτίμηση της επαγομένης υπέρτασης σε εσωτερικό βρόχο

Υπολογίζεται η υπέρταση που αναπτύσσεται σε εσωτερικό βρόχο τηλεπικοινωνιακής εγκατάστασης λόγω κρουστικού ρεύματος κεραυνού που ρέει σε κάποιον από τους

εξωτερικούς αγωγούς καθόδου για 4 τύπους κεραυνών:

1) Για τις τυπικές τιμές του επιπέδου προστασίας I.

I: 200 kA

di/dt_{\max} : 200 kA/μsec

T_1 : 1 μsec

2) Για κεραυνούς με

I: 100 kA

di/dt_{\max} : 100 kA/μsec

T_1 : 1 μsec

3) Για κεραυνούς που έχουν πιθανότητα 50% να εμφανιστούν.

I: 35 kA

di/dt_{\max} : 25 kA/μsec

T_1 : 5,5 μsec

4) Για κεραυνούς που έχουν πιθανότητα 98% να εμφανιστούν, είναι δηλαδή οι πιο συχνοί.

I: 4 kA

di/dt_{\max} : 9,1 kA/μsec

T_1 : 1,8 μsec

A. Αν όλο το κεραυνικό ρεύμα διοχετεύεται στο έδαφος μέσω ενός αγωγού καθόδου τότε η μέγιστη τιμή της υπέρτασης που αναπτύσσεται σε εσωτερικό βρόχο που απέχει 1 m από τον εξωτερικό αγωγό θα είναι:

A1) $V_s = 800$ kV

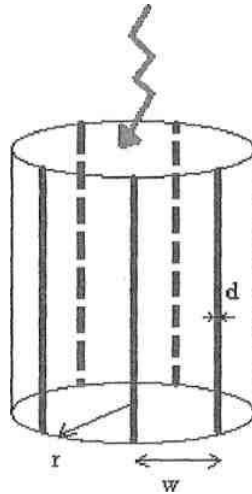
A2) $V_s = 400$ kV

$$A3) \quad V_s = 100 \quad \text{kV}$$

$$A4) \quad V_s = 36.4 \quad \text{kV}$$

Δεδομένου ότι ένα τηλεπικοινωνιακό καλώδιο έχει αντοχή σε υπέρταση 5-8 kV οι τιμές αυτές θα προκαλέσουν την καταστροφή του καλωδίου. Τα καλώδια λοιπόν του Radar χρειάζονται επιπλέον προστατευτικά μέτρα (θωράκιση).

B. Για τους ίδιους κεραυνούς 1, 2, 3, 4 θα υπολογισθεί η υπέρταση που αναπτύσσεται σε εσωτερικό βρόχο αν θεωρήσουμε ότι υπάρχουν 5 αγωγοί καθόδου (όσες ήταν δηλαδή αρχικά οι ακίδες) συνδεδεμένοι μεταξύ τους στο επάνω μέρος, κάθετοι στην επιφάνεια του εδάφους και παράλληλα τοποθετημένοι σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους σχηματίζοντας μια διάταξη που μοιάζει με κλουβί.



Σχήμα 3.1: Παράσταση 5 αγωγών καθόδου σε διάταξη κλωβού (για $r = 5 \text{ m}$, $w = 2\pi \text{ m}$, $d = 0.012 \text{ m}$)

Η μέση τιμή των υπερτάσεων που αναπτύσσονται στον εσωτερικό βρόχο υπολογίζονται ως εξής :

$$M' = \frac{0.1 \cdot w}{\pi \cdot r} \cdot \ln\left(\frac{w}{\pi \cdot r}\right) (\mu\text{H}) \quad (3.2)$$

$$M = M' \cdot l \quad (3.3)$$

Για το βρόχο που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα υπολογίστηκε :

$$M = 0.20464 \mu\text{H}$$

Και η επαγόμενη τάση προκύπτει από την παρακάτω σχέση

$$V_s = M \cdot \frac{I}{T_1} (\text{kV})$$

Για τους 4 τύπους κεραυνού που αναφέρθηκαν οι τάσεις στο βρόχο είναι:

$$B1) \quad V_s = 40 \quad \text{kV}$$

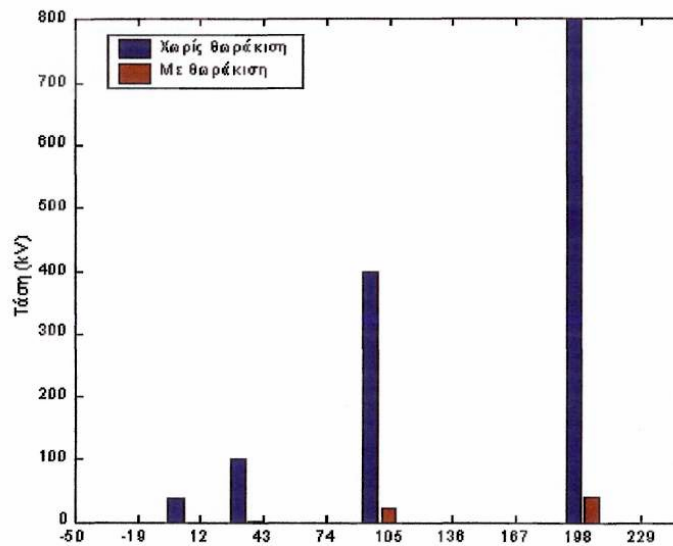
$$B2) \quad V_s = 20.46 \text{ kV}$$

$$B3) \quad V_s = 1.3 \quad \text{kV}$$

$$B4) \quad V_s = 0.46 \text{ kV}$$

Υπάρχει μεγάλη μείωση των τιμών των τάσεων και όσο αυξάνεται ο αριθμός των αγωγών καθόδου οι τάσεις αυτές θα μειώνονται ακόμα περισσότερο.

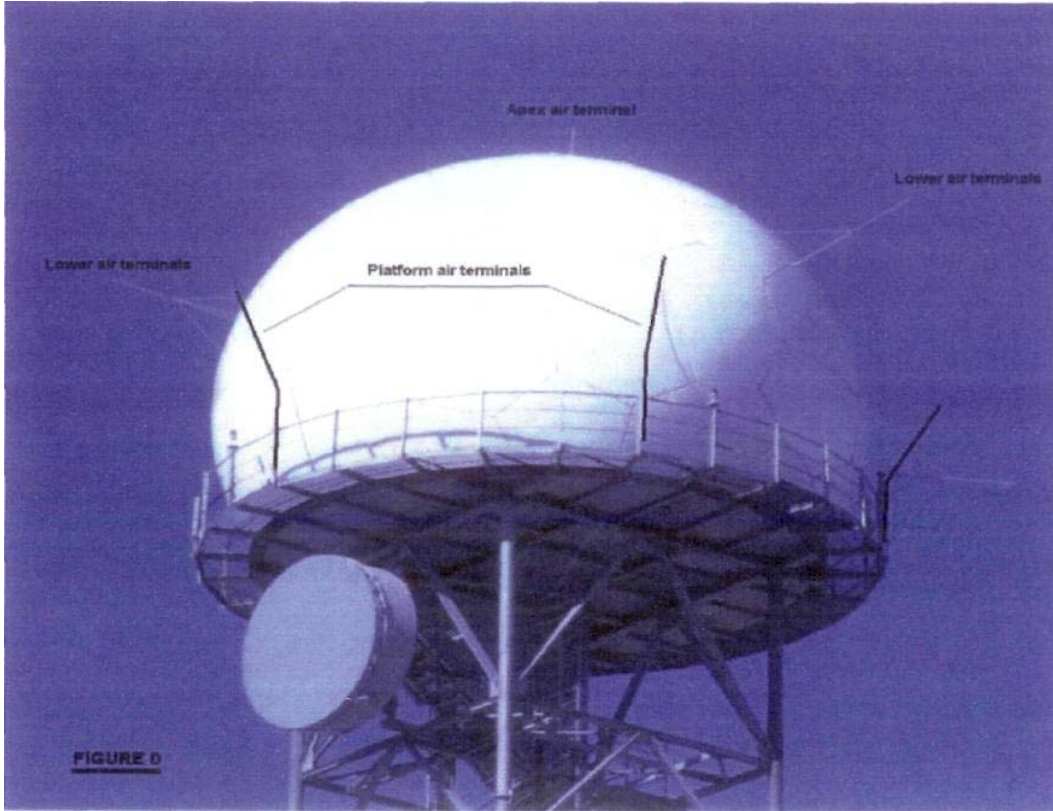
Η σύγκριση των αποτελεσμάτων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Μέγιστη τιμή ρεύματος κεραυνού (kA)

Σχήμα 3.2: Γραφική παράσταση τιμών τάσης με ή χωρίς θωράκιση

Παρατηρούμε ότι υπάρχει πολύ μεγάλη απόκλιση μεταξύ των τιμών της τάσης με (κόκκινο χρώμα) και χωρίς θωράκιση (μπλε χρώμα).



Εικόνα 3.6: Πύργος Radar Λευκάδας



Εικόνα 3.7: Βάση έδρασης του πύργου Radar Λευκάδας

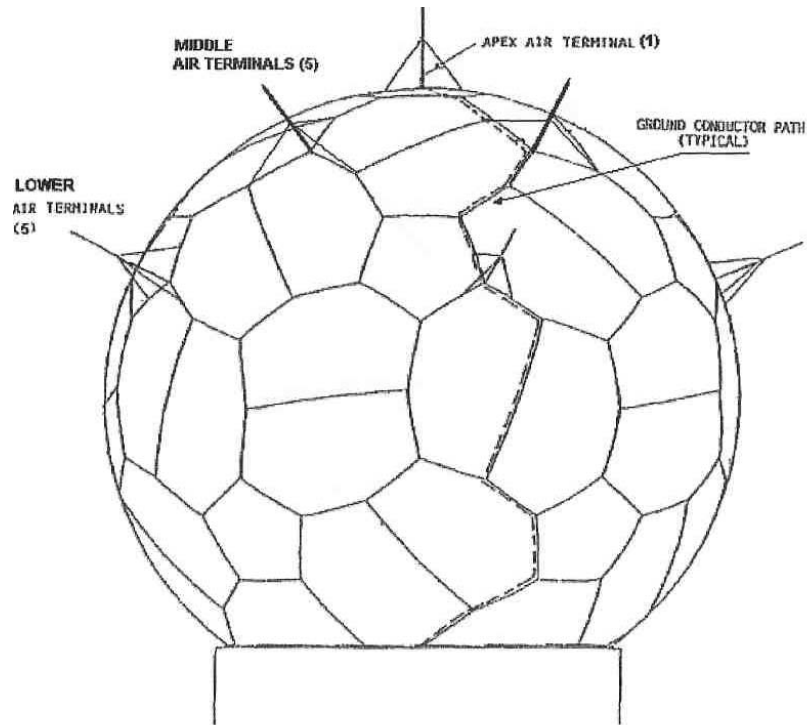


Εικόνα 3.8: Βάση έδρασης του πύργου Radar Λευκάδας

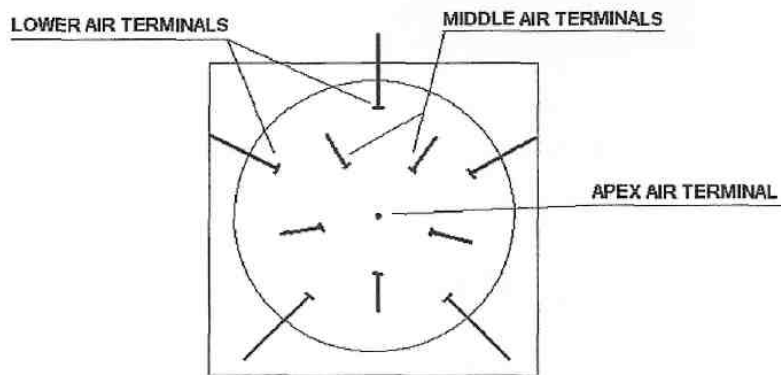


Εικόνα 3.9: Περιφραγμένος χώρος Radar Λευκάδας

RADOME WITH AIR TERMINALS (11)



Σχήμα 3.3: Διάταξη συλλεκτήριων ακίδων



TOP VIEW OF THE RADOME

Σχήμα 3.4: Διάταξη συλλεκτήριων ακίδων



Εικόνα 3.10: Radar Λευκάδας

Η μελέτη της αντικεραυνικής προστασίας του Radar της Λευκάδας της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας είναι μία σημαντική εργασία της Ελευθερίας Πυργιώτη Δρ. Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Λέκτορα του Πανεπιστημίου Πατρών του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών. Στη μελέτη αυτή βελτιώθηκε κατά το πλείστον η υπάρχουσα μέχρι τότε αντικεραυνική προστασία του Radar που βλέπουμε στην άνω εικόνα. Συγκεκριμένα ελέγχθηκε η αποτελεσματικότητα της υπάρχουσας εγκατάστασης συλλεκτήριων ακίδων στο Radom του Radar. Ο έλεγχος αυτός έγινε εύστοχα με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας που σύμφωνα με τους κανονισμούς για στάθμη προστασίας I η ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας πρέπει να λαμβάνεται ίση με 20m. Στην Ελλάδα τέτοιου είδους αναλύσεις και εργασίες περί της αντικεραυνικής προστασίας Radar είναι σπάνιες, και για αυτό το λόγο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Λέκτορα Υψηλών Τάσεων του Πανεπιστημίου Πατρών κα. Ελευθερία Πυργιώτη για το πλούσιο υλικό που μου παραχώρησε.

Βιβλιογραφία

- [1] Ελευθερία Πυργιώτη “Σχεδιασμός προστασίας κατασκευών από κεραυνούς”, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 2001.
- [2] Martin A. Uman, “Lightning”, Dover Publications inc., New York, 1992.
- [3] P. Hasse, “Overvoltage protection of low voltage systems”, English edition, Peter Peregrinus, 1992.
- [4] Hasse/Wiesinger, “Emv blitz-schutzzonen konzept“, Pflaum Verlag Munchen, 1985.
- [5] IEC 1024-1: Protection of Structures Against Lightning—Part 1: General Principles, 1990.
- [6] IEC 1024-1-1: Protection of structures against lightning.(Guide A) Selection of protection levels for lightning protection system, 1993.
- [7] Ελευθερία Πυργιώτη, “Μελετη αντικεραυνικης προστασιας του Radar της Λευκαδας της Υ.Π.Α”, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 2001.
- [8] M.S. Savic, Lj. Geric, C. Vujovic, P. Djapic, G. Saric, D. Eric, “The risk of low voltage installation failures estimation due to the direct lightning strikes into the building lightning protection system”, International Conference on Lightning Protection, 1998.
- [9] Arturo Galvan, Vernon Cooray, Rajeev Thottappillil, Victor Scuka, “Effects of lightning electromagnetic field pulses (LEMP) in low voltage power installations”, International Conference on Lightning Protection, 1998.
- [10] R. Brocke, R. Frentzel, and P. Zahlmann, “Lightning protection zones-protection of cable routes against LEMP,” 23rd Int. Conf. Lightning Protection (ICLP) Firenze, Italy, pp. 653-658, Sept., 1996.
- [11] Ιωάννης Α. Σταθόπουλος, “Προστασία ηλεκτρικών εγκαταστάσεων από υπερτάσεις”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1989.