



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ , ΑΜ: 5745

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται τρόποι αντικεραυνικής προστασίας ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών συστημάτων. Μετά το πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο, ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο όπου παρουσιάζεται το φαινόμενο του κεραυνού και οι επιπτώσεις του σε κατασκευές και στον ανθρώπινο οργανισμό. Στη συνέχεια, στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι βασικές αρχές αντικεραυνικής προστασίας (διατάξεις, εξοπλισμός) και στο τέταρτο και πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διατάξεις αντικεραυνικής προστασίας για ανεμογεννήτριες και για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	II
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	VII
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	VII
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ.....	3
2.1 Κεραυνός.....	3
2.1.1 Παράμετροι κεραυνού	3
2.2 Είδη κεραυνικών πληγμάτων	5
2.3 Επιπτώσεις κεραυνικών πληγμάτων.....	6
2.3.1 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή	6
2.3.2 Επιπτώσεις σε κατασκευές.....	9
2.3.3 Θερμικές επιδράσεις	9
2.3.4 Μηχανικές επιδράσεις	9
2.3.5 Ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις	10
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 –ΑΡΧΕΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	11
3.1 Είδη ΣΑΠ	11
3.1.1 Εξωτερικό ΣΑΠ	11
3.1.2 Εσωτερικό ΣΑΠ.....	11
3.2 Στάθμες Προστασίας.....	12
3.3 Αλεξικέραυνα	13
3.3.1 Αλεξικέραυνα τύπου Franklin για κατασκευή εξωτερικού Σ.Α.Π	13

3.3.2	Αλεξικέραυνα τύπου κλωβού Faraday για κατασκευή εξωτερικού Σ.Α.Π	14
3.3.3	Η Θεμελιακή Γείωση ως μέρος του κλωβού Faraday	17
3.3.4	Αλεξικέραυνα Ιονισμού	18
3.4	Μη συμβατικές διατάξεις σύλληψης κεραυνού	21
3.4.1	Ραδιενεργά αλεξικέραυνα	21
3.4.2	Αλεξικέραυνα “απόθησης” κεραυνού	21
3.4.3	Αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού	22
3.5	Υπολογισμός Χώρου Προστασίας Μέσω Ακίδας με τη μέθοδο Γωνίας Προστασίας και Κυλιόμενης Σφαίρας (EN62305-3)	22
3.5.1	Μέθοδος Γωνίας Προστασίας	22
3.5.2	Μέθοδος Κυλιόμενης Σφαίρας	23
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	25
4.1	Ανεμογεννήτριες και Πτερύγια	25
4.2	Αντικεραυνική προστασία γενικά	26
4.3	Μέθοδοι Προστασίας Ανεμοπτερυγίων	27
4.4	Προστασία από κεραυνούς και υπερτάσεις για σύστημα ανεμογεννητριών	28
4.5	Μέτρα προστασίας	28
4.6	Έννοια της ζώνης αντικεραυνικής προστασίας	30
4.7	Μέτρα θωράκισης	31
4.8	Σύστημα τερματισμού αέρα/αγωγός καθόδου	34
4.9	Σύστημα τερματισμού γείωσης	34
4.10	Διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης	36
4.11	Ηλεκτρόδια θεμελίωσης γείωσης	36
4.12	Προστασία κατά τη μετάβαση από το LPZ 0A στο LPZ 1	37

4.12.1	Επιλογή SPD με βάση το επίπεδο προστασίας τάσης (U_p) και την ατρωσία του εξοπλισμού	38
4.13	Προστασία τροφοδοσίας.....	39
4.13.1	Συστήματα τροφοδοσίας 230/400 V	40
4.13.2	Συστήματα τροφοδοσίας 400/690 V	40
4.14	Προστασία των γραμμών γεννήτριας	40
4.15	Απαγωγείς υπερτάσεων για συστήματα πληροφορικής	41
4.16	Εργαστηριακές δοκιμές σύμφωνα με το IEC 61400-24	42
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	43
5.1	Αντικεραυνική προστασία για φωτοβολταϊκά συστήματα ταράτσας ..	43
5.1.1	Η αναγκαιότητα ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας ταράτσας	43
5.1.2	Δρομολόγηση καλωδίων Φ/Β συστημάτων	44
5.1.3	Γείωση Φ/Β συστημάτων	44
5.1.4	Ειδικές συσκευές προστασίας από υπερτάσεις για το συνεχές ρεύμα φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	49
5.1.5	Παραδείγματα εφαρμογών	51
5.1.5.1	Κτίριο χωρίς εξωτερικό LPS – κατάσταση Α	51
5.1.5.2	Κτίριο με εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας και επαρκή απόσταση διαχωρισμού s (κατάσταση Β)	53
5.1.6	Μονωμένο αγωγός HVI, ανθεκτικός στην υψηλή τάση	55
5.1.6.1	Κτίριο με εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας με ανεπαρκείς αποστάσεις διαχωρισμού (κατάσταση Γ)	57
5.2	Φ/Β συστήματα με μικρομετατροπείς	58
5.3	Αντικεραυνική προστασία για φωτοβολταϊκά πάρκα	59
5.3.1	Εθνικά και διεθνή πρότυπα	60
5.3.2	Εξωτερικό ΣΑΠ	60

5.3.3	Συλλεκτήριο σύστημα	61
5.3.4	Σύστημα αγωγών καθόδου	61
5.3.5	Συστήματα γείωσης.....	61
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	63

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3-1	Αλεξικέραυνα τύπου Franklin.....	13
Εικόνα 3-2	Αλεξικέραυνα Κλωβού Faraday.....	15
Εικόνα 3-3	Αλεξικέραυνα Faraday Κτηρίου.....	15
Εικόνα 3-4	Κατασκευή Εγκατάστασης Αντικεραυνικής Προστασίας Κτηρίου (πλέγμα στην ταράτσα).....	16
Εικόνα 3-5	Αντικεραυνικά Συστήματα Προστασίας Κτηρίων Κλωβού Faraday	16
Εικόνα 3-6	Περιμετρική Γείωση Εγκατάστασης Αλεξικέραυνων Κλωβού Faraday Κτηρίου.....	17
Εικόνα 3-7	Αλεξικέραυνα Ιονισμού.....	19
Εικόνα 3-8	Κεφαλή Αλεξικέραυνου Ιονισμού.....	19
Εικόνα 3-9	Εγκαταστάσεις Αντικεραυνικών Συστημάτων Ιονισμού...20	
Εικόνα 3-10	Τρόπος υπολογισμού χώρου προστασίας μέσω κυλιόμενης σφαίρας.....	24
Εικόνα 4-1	Τυπική εφαρμογή της μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας.....	28
Εικόνα 4-2	Εφαρμογή της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας σε ανεμογεννήτρια.....	29
Εικόνα 4-3	Διαίρεση μιας ανεμογεννήτριας σε διαφορετικές ζώνες αντικεραυνικής προστασίας.....	31
Εικόνα 4-4	Σύστημα τερματισμού γείωσης.....	35
Εικόνα 5-1	Σφιγκτήρας γείωσης UNI.....	47
Εικόνα 5-2	Προσδιορισμός του προστατευμένου όγκου με χρήση του προστατευτικού.....	56

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2-1	Δυναμικό του εδάφους στην περιοχή πτώσης του κεραυνού σε σχέση με την απόσταση από το σημείο πλήγματος και βηματική τάση	8
Σχήμα 3-1	Τρόπος υπολογισμού κυκλικού κώνου.	23
Σχήμα 5-1	Λειτουργική γείωση των συστημάτων στερέωσης	46
Σχήμα 5-2	Αστραπιαία ισοδυναμική συγκόλληση για τα συστήματα στερέωσης	47

Σχήμα 5-3- Απόσταση μεταξύ της μονάδας και της ράβδου τερματισμού αέρα Σκιές πυρήνων σε ηλιακά κύτταρα	48
Σχήμα 5-4 Κτίριο χωρίς εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (κατάσταση Α)	51
Σχήμα 5-5 Κτίριο με εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας και επαρκή απόσταση διαχωρισμού s (κατάσταση Β)	54
Σχήμα 5-6 Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας έναντι μεθόδου προστατευτικής γωνίας για τον προσδιορισμό του προστατευμένου όγκου	56
Σχήμα 5-7 Κτίριο με εξωτερικό LPS και ανεπαρκή απόσταση διαχωρισμού – κατάσταση C (Συμπλήρωμα 5 του προτύπου DIN EN 62305-3)	57
Σχήμα 5-8 Παράδειγμα κτιρίου χωρίς εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, προστασία από υπερτάσεις για μικρομετατροπέα που βρίσκεται στο κουτί σύνδεσης	58

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2-1`Αθροιστική κατανομή χαρακτηριστικών παραμέτρων του κεραυνού. Πηγή: IEC 61024-1-1:1993, (p.43, Fig. A.1)	5
Διάγραμμα 3-1 Γωνία Προστασίας α ανάλογα με το ύψος της ακίδας και τη στάθμη προστασίας του ΣΑΠ. (EN 62305-3) 64.....	23
Διάγραμμα 5-1 Χαρακτηριστικό πηγής μιας συμβατικής πηγής συνεχούς ρεύματος έναντι	49

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3-1 Στάθμες προστασίας που εντάσσονται οι κατασκευές .	12
Πίνακας 3-2 Ακτίνα Κυλιόμενης Σφαίρας R σε σχέση με τη στάθμη Προστασίας. 24	24
Πίνακας 5-1 Επιλογή της ελάχιστης ικανότητας εκφόρτισης SPD τύπου 1 περιορισμού τάσης (βαρίστορ) ή συνδυασμένων SPD τύπου	50
Πίνακας 5-2 Επιλογή της ελάχιστης ικανότητας εκφόρτισης των SPD τύπου 1 μεταγωγής τάσης (κενά σπινθήρα) ή συνδυασμένων SPD τύπου 1	50

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αντικεραυνική προστασία είναι ένα σύνθετο αντικείμενο που συνδυάζει το φυσικό φαινόμενο του κεραυνού και τα μέσα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προστασία έναντι των πληγμάτων του. Το μεγαλύτερο ποσοστό των κεραυνών διοχετεύεται ασφαλώς προς τη γη χωρίς κινδύνους ωστόσο, πολλές φορές, ο κεραυνός μπορεί να έχει επικίνδυνες επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή και σε κατασκευές.

Ο κεραυνός αποτέλεσε μυστήριο για τους ανθρώπους για πολλούς αιώνες, στα αρχαία χρόνια αντιμετωπιζόνταν με σεβασμό και φόβο ως μήνυμα των θεών, και μόνο μετά τα πειράματα του Benjamin Franklin στα μέσα του 18ου αιώνα ξεκίνησε η έρευνα για την κατανόηση του φυσικού φαινομένου και κατά συνέπεια των βασικών αρχών προστασίας. Τα πρώτα σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τη φύση του κεραυνού διατυπώθηκαν στα τέλη του 19ου αιώνα όταν οι φωτογραφικές και φασματοσκοπικές μέθοδοι έγιναν διαθέσιμες για τη μελέτη του φαινομένου. Οι πρώτοι υπολογισμοί του ρεύματος του κεραυνού έγιναν από το Γερμανό επιστήμονα Rockels το 1897 μέσω ανάλυσης του επαγόμενου μαγνητικού πεδίου. Η έρευνα του φυσικού φαινομένου του κεραυνού στην εποχή μας οριοθετείται από τα πειράματα του C.T.R. Wilson ο οποίος διατύπωσε το 1956 την πρώτη ολοκληρωμένη θεωρία σχετικά με τον ατμοσφαιρικό ηλεκτρισμό. Το αντικείμενο της αντικεραυνικής προστασίας έγινε ιδιαίτερα δημοφιλές στην δεκαετία του 1960 κυρίως λόγω της ανάγκης προστασίας έναντι πληγμάτων κεραυνού των διαστημικών οχημάτων καθώς και λόγω των βελτιωμένων μέσων μέτρησης και παρατήρησης του φαινομένου που προσέφερε η διαρκώς αναπτυσσόμενη τεχνολογία. Η τελευταία έχει επιτρέψει στις μέρες μας τη τεχνητή πρόκληση κεραυνών για ερευνητικούς σκοπούς και έχει οδηγήσει σε ολοκληρωμένα συστήματα ανίχνευσης πτώσης κεραυνών, τα οποία έχουν εγκατασταθεί σε πολλές προηγμένες τεχνολογικά χώρες, ενώ ήδη σχεδιάζεται να τεθεί ανιχνευτής σε γεωστατική τροχιά με σκοπό να ανιχνεύει τις καταιγίδες που συνοδεύονται από κεραυνούς πάνω από μεγάλες περιοχές της επιφάνειας της γης.

Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν συσκευές ή μέθοδοι επιστημονικά αποδεδειγμένες, ικανές να εμποδίσουν το σχηματισμό κεραυνού ή να εμποδίσουν τον κεραυνό να πλήξει μία κατασκευή. Σκοπός ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας (ΣΑΠ) είναι εάν πληγεί από κεραυνό, άμεσα είτε έμμεσα, να διοχετεύσει το ρεύμα της εκκένωσης ελεγχόμενα στη γη και να περιορίσει στον ελάχιστο βαθμό τις επιζήμιες επιπτώσεις του.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΚΕΡΑΥΝΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ

2.1 Κεραυνός

Ο κεραυνός είναι μία ηλεκτρική εκκένωση ατμοσφαιρικής προέλευσης απλή ή πολλαπλή μεταξύ νέφους και γης. Κεραυνοί είναι δυνατόν να λάβουν χώρα και μεταξύ των σύννεφων, αλλά και εντός των σύννεφων, ωστόσο αυτοί δεν αποτελούν άμεσο κίνδυνο για μια περιοχή και κατ' επέκταση δεν λαμβάνονται υπόψη για την αντικεραυνική προστασία.

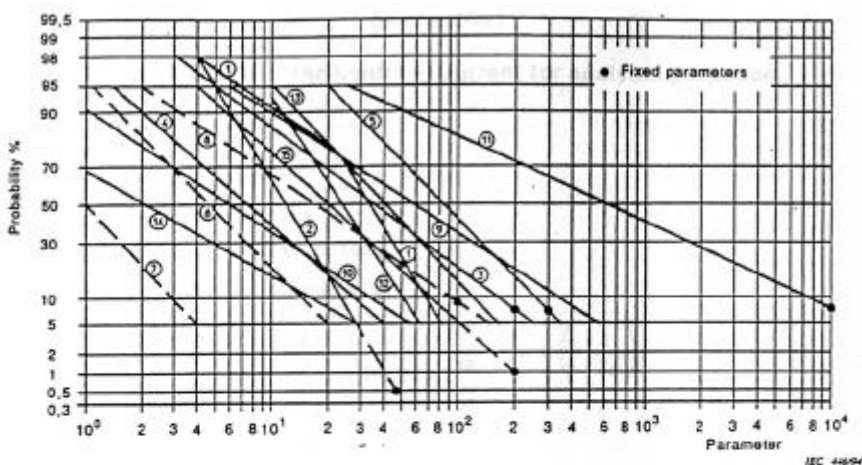
2.1.1 Παράμετροι κεραυνού

Χαρακτηριστικές παραμέτρους ενός κεραυνού αποτελούν:

- Η *πολικότητα*, η οποία καθορίζεται από το πρόσημο του φορτίου του κεραυνού και εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων (90%) το φορτίο του κεραυνού είναι αρνητικό (αρνητικοί κεραυνοί).
- Η *κατεύθυνση*, η οποία καθορίζεται από το μέσο εκκίνησης του κεραυνού, από το σύννεφο προς τη γη ή από τη γη προς το σύννεφο.
- Το *ρεύμα*, το οποίο εμφανίζεται υπό τη μορφή μίας ή περισσότερων κρούσεων με απότομο μέτωπο, που η κάθε μια τους μετά το μέγιστο εύρος μειώνεται με σχετικά αργό ρυθμό. Τυπική κυματομορφή του ρεύματος ενός κεραυνού αποτελεί αυτή με διάρκεια μετώπου τάξης 5 μs και διάρκεια ημίσεως εύρους της τάξης των 100 μs . Χαρακτηριστικά μεγέθη του ρεύματος κεραυνού αποτελούν:
 - το μέγιστο εύρος (I), το εύρος του ρεύματος ενός κεραυνού μπορεί να ποικίλει από μερικές εκατοντάδες αμπέρ μέχρι εκατοντάδες kA. Το μέγιστο εύρος του ρεύματος του κεραυνού σε συνδυασμό με την αντίσταση που θα αναγκαστεί να διαρρεύσει καθορίζουν τη μέγιστη αναπτυσσόμενη εξαιτίας του τάση. Επομένως σε ένα ηλεκτρικό σύστημα το μέγιστο εύρος του ρεύματος καθορίζει την πιθανότητα διάσπασης της μόνωσης,

- η μέση κλίση (di/dt), ο μέσος ρυθμός ανόδου του ρεύματος ο οποίος υπολογίζεται στο τμήμα του μετώπου της κυματομορφής του ρεύματος που βρίσκεται μεταξύ του 30% και 90% του μέγιστου εύρους, $di/dt=(I_{90}-I_{30})/(t_{90}-t_{30})$, kA/ μ s
- η διάρκεια, κατ' αντιστοιχία με το εύρος του ρεύματος του κεραυνού, η διάρκεια του ρεύματος σε συνδυασμό με την αντίσταση που θα αναγκαστεί ο κεραυνός να διαρρεύσει καθορίζουν την ενέργεια που παράγεται σ' αυτή, και κατά συνέπεια και τη θερμότητα την οποία εκλύεται κατά τη δίοδό του.
- – Το ολικό φορτίο (Q_{total}), το ολοκλήρωμα του ρεύματος του κεραυνού στο χρόνο, για όλη τη διάρκειά του.
- – Το κρουστικό φορτίο ($Q_{impulse}$), το ολοκλήρωμα της κρουστικής συνιστώσας του ρεύματος του κεραυνού στο χρόνο, για τη διάρκεια του πλήγματος.
- Η ειδική ενέργεια (SE), η ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη ροή του ρεύματος του κεραυνού σε μοναδιαία αντίσταση. Υπολογίζεται ως το ολοκλήρωμα του τετραγώνου του ρεύματος του κεραυνού στο χρόνο για όλη τη διάρκειά του. Εκφράζει την ενέργεια που συνοδεύει την ηλεκτρική εκκένωση του κεραυνού σε μονάδες $A^2 s$ ή ισοδύναμα σε J/Ω .
- Ο αριθμός διαδοχικών εκκενώσεων, ο κεραυνός μπορεί να αποτελείται από μία απλή εκκένωση ή από πολλαπλές διαδοχικές εκκενώσεις. Στις Η.Π.Α. για το έτος 1991 στο σύνολο των 7.9 εκατομμυρίων αρνητικών κεραυνών που παρατηρήθηκαν, περίπου το 50% του συνόλου ήταν απλής εκκένωσης, ενώ παρατηρήθηκε μόνο ένας κεραυνός με 16 και ένας με 20 διαδοχικές εκκενώσεις. Για το ίδιο έτος, στο σύνολο των 1.4 εκατομμυρίων θετικών κεραυνών που παρατηρήθηκαν, λιγότερο από 10% του συνόλου των κεραυνών είχαν πάνω από μία διαδοχικές εκκενώσεις. Ωστόσο, ο αριθμός των διαδοχικών εκκενώσεων που συνοδεύουν ένα κεραυνό καθορίζεται και από τα κριτήρια τα οποία θέτονται για τη μέτρησή τους όπως η πολικότητα καθώς και το χρονικό διάστημα και η απόσταση μεταξύ της πρώτης ή της προηγούμενης διαδοχικής εκκένωσης.

Οι παράμετροι του ρεύματος του κεραυνού συνήθως προκύπτουν από μετρήσεις σε υψηλά αντικείμενα και η στατιστική κατανομή τους θεωρείται ότι ακολουθεί τη λογαριθμική κανονική κατανομή. Με βάση αυτή την παραδοχή, η πιθανότητα εμφάνισης οποιαδήποτε τιμής κάθε πα-ραμέτρου μπορεί να υπολογίζεται από τις τιμές που δίνονται στο σχήμα της επόμενης σελίδας. Οι μεγαλύτερες τιμές των παραμέτρων του ρεύματος του κεραυνού εμφανίζονται σε θετικούς κεραυνούς



Parameter	Scale of abscissa	Positive flash	First positive stroke	Negative flash	First negative stroke	Negative subsequent strokes
I	kA		③ •		①	② •
Q	C	⑤ •		④		
Q_s	C		⑧ •		⑥	⑦
W/F	kJ/Ω		⑪ •		⑨	⑩
$(\Delta i \Delta t)_{max}$	kA/μs		⑭		⑫	⑬
$(\Delta i \Delta t)_{30\%,00\%}$	kA/μs					⑮ •

Διάγραμμα 2-1`Αθροιστική κατανομή χαρακτηριστικών παραμέτρων του κεραυνού. Πηγή: IEC 61024-1-1:1993, (p.43, Fig. A.1)

2.2 Είδη κεραυνικών πληγμάτων

Το μεγαλύτερο ποσοστό των κεραυνών διοχετεύεται ασφαλώς προς τη γη χωρίς κινδύνους. Ωστόσο, πολλές φορές, παρατηρούνται επικίνδυνες επιπτώσεις σε μία κατασκευή και/ ή στο περιεχόμενό της ως αποτέλεσμα άμεσου ή έμμεσου πλήγματος κεραυνού. Ως άμεσο πλήγμα θεωρείται η περίπτωση κατά την οποία ο

κεραυνός πλήττει κατ' ευθείαν την κατασκευή ή το Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας της. Το έμμεσο πλήγμα κεραυνού σε μία κατασκευή αναφέρεται στην περίπτωση που ο κεραυνός πλήττει την κοντινή περιοχή της (έδαφος ή γειτνιαζουσα κατασκευή) ή τις εισερχόμενες παροχές υπηρεσιών κοινής ωφέλειας (ηλεκτρισμού, τηλεπικοινωνιών, αερίου, ύδρευσης).

2.3 Επιπτώσεις κεραυνικών πληγμάτων

Σημαντικές μπορεί να είναι οι επιπτώσεις πλήγματος κεραυνού στην ανθρώπινη ζωή. Ειδικότερα για την Ελλάδα, κατά το διάστημα 1990-2001 σημειώθηκαν 65 θάνατοι από πλήγματα κεραυνών. Το πλήθος αυτό κρίνεται ιδιαίτερα μεγάλο, συγκρινόμενο με άλλες χώρες, και αποδίδεται κυρίως στην έλλειψη ενημέρωσης και επιμόρφωσης.

2.3.1 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή

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

- *άμεσο πλήγμα*, το ανθρώπινο σώμα δέχεται απευθείας τον κεραυνό αποτελώντας την άμεση διαδρομή όδευσης της εκκένωσης προς τη γη, αν και έχει παρατηρηθεί θεωρείται ιδιαίτερα σπάνια περίπτωση εφόσον η συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε έναν άνθρωπο, εκτεθειμένο συνεχώς σε επίπεδη περιοχή, μπορεί να υπολογιστεί περίπου ως ένα άμεσο πλήγμα κεραυνού ανά 2000 χρόνια.
- *άμεση επαφή*, το ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε επαφή με κάποιο αντικείμενο που πλήττεται από κεραυνό,
- *υπερπήδηση*, το ανθρώπινο σώμα ευρισκόμενο αρκετά κοντά σε κάποιο αντικείμενο που πλήττεται από κεραυνό παροχετεύει παράλληλα τμήμα της εκκένωσης προς τη γη ως αποτέλεσμα της ηλεκτρικής διάσπασης του διακένου αέρα που παρεμβάλλεται μεταξύ τους,
- *βηματική τάση*, το ανθρώπινο σώμα υπόκειται σε υψηλή τάση λόγω της εμφάνισης διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στα πόδια η οποία οφείλεται στην ακτινική διάχυση του ρεύματος του κεραυνού στο έδαφος. Το δυναμικό του εδάφους στην περιοχή πτώσης του κεραυνού φθίνει με την απόσταση

από το σημείο πλήγματος. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων στην επιφάνεια του εδάφους που απέχουν D και $D+d$ αντίστοιχα από το σημείο πλήγματος του κεραυνού μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\Delta V = I \cdot \frac{\rho}{2\pi} \cdot \frac{d}{D(D+d)}$$

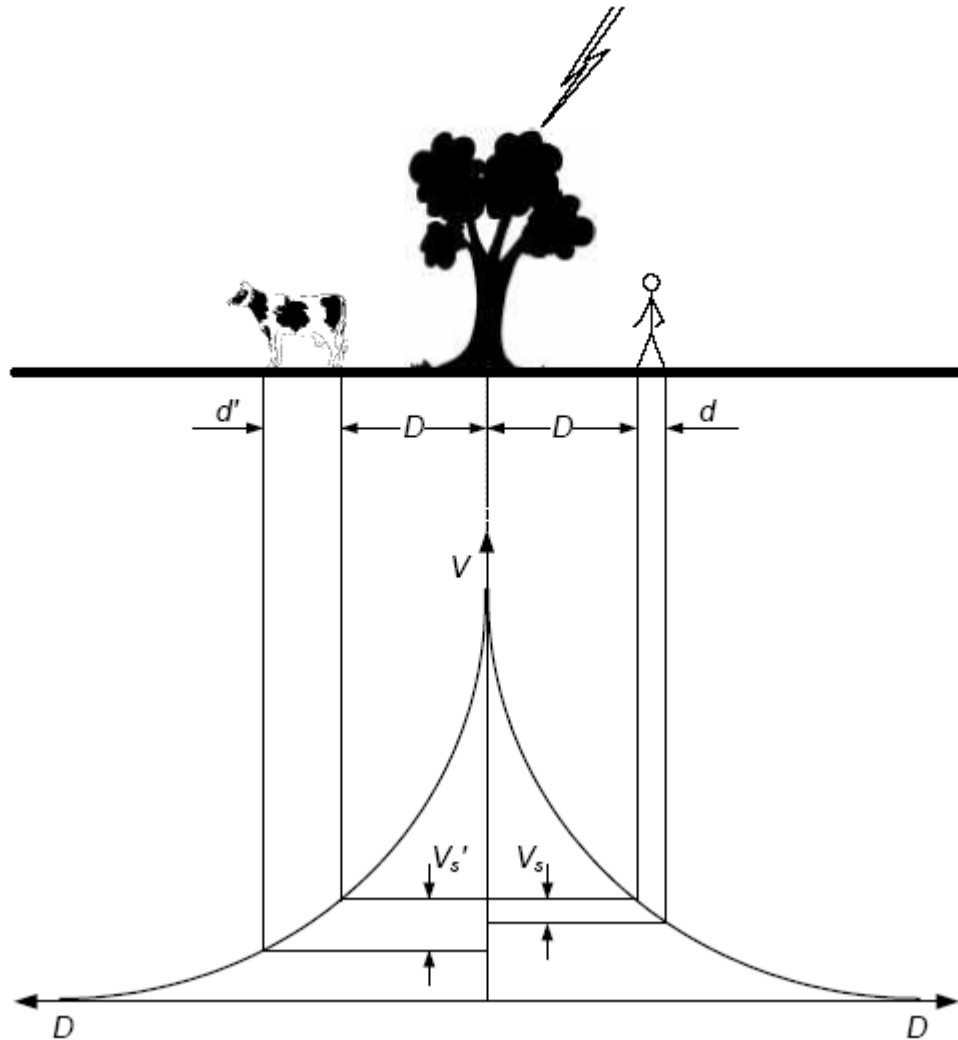
όπου:

I (A) το εύρος του ρεύματος του κεραυνού,

ρ (Ωm) η ειδική αντίσταση του εδάφους.

Η διαφορά δυναμικού μειώνεται με την αύξηση της απόστασης από το σημείο πλήγματος ενώ αυξάνει με απόσταση d (σχ.). Η ανύψωση του δυναμικού του εδάφους στην περιοχή πτώσης του κεραυνού αποτελεί τη συνηθέστερη αιτία απώλειας ζωής ζώων κάτι που γίνεται εύκολα αντιληπτό εάν θεωρηθεί ότι η απόσταση d είναι το άνοιγμα μεταξύ των άκρων τους.

- *επιφανειακή διάσπαση του εδάφους*, το ανθρώπινο σώμα ευρισκόμενο αρκετά κοντά στο σημείο πλήγματος του κεραυνού αποτελεί τμήμα της διαδρομής του ηλεκτρικού τόξου της επιφανειακής διάσπασης του εδάφους. Η επιφανειακή διάσπαση του εδάφους δεν παρατηρείται σε κάθε περίπτωση που ο κεραυνός πλήττει ένα αντικείμενο ή το έδαφος. Το φαινόμενο είναι συνάρτηση των παραμέτρων του κεραυνού καθώς και της κατάστασης της επιφάνειας του εδάφους όπως μορφολογία, φύση, ποσοστό υγρασίας. κ.α. Πειράματα μέσω ελεγχόμενης εκκίνησης κεραυνού έδειξαν ότι σχεδόν όλοι οι κεραυνοί με εύρος ρεύματος μεγαλύτερου των 15 kA δημιουργούν οπτικά ανιχνεύσιμη επιφανειακή διάσπαση του εδάφους.



Σχήμα 2-1 Δυναμικό του εδάφους στην περιοχή πτώσης του κεραυνού σε σχέση με την απόσταση από το σημείο πλήγματος και βηματική τάση

- τυφλό τραύμα, το ανθρώπινο σώμα εκτινάσσεται σε απόσταση είτε λόγω των έντονων μυϊκών συσπάσεων (οπισθοτονική σύσπαση) που προκαλούνται από τη ροή του ρεύματος διαμέσου του είτε λόγω του κρουστικού κύματος πίεσης που συνοδεύει την εκκένωση του κεραυνού.

Η απώλεια της ανθρώπινης ζωής από πλήγμα κεραυνού οφείλεται σε καρδιακή ανακοπή. Τα συμπτώματα που μπορεί να παρατηρηθούν σε επιζώντες είναι παρόμοια με αυτά που παρατηρούνται σε θύματα ηλεκτροπληξίας ωστόσο γενικότερα θεωρείται ότι είναι ασθενέστερα και μικρότερης χρονικής διάρκειας. Τα συμπτώματα διακρίνονται σε ψυχοσωματικά και οργανικά, παροδικά ή μόνιμα όπως διαταραχή ή απώλεια μνήμης, δυσκολία ή ανικανότητα συγκέντρωσης,

μειωμένη διανοητικότητα, διαταραχή ύπνου, ίλιγγος, κεφαλαλγία, ευερεθιστότητα, εύκολη ή χρόνια κόπωση, κατάθλιψη, αγοραφοβία, φωτοφοβία, ακαμψία στις αρθρώσεις, μυϊκές συσπάσεις, απώλεια ακοής, επιφανειακά εγκαύματα, μερική παράλυση.

2.3.2 Επιπτώσεις σε κατασκευές

Οι επιζήμιες επιπτώσεις του πλήγματος του κεραυνού σε μία κατασκευή οφείλονται είτε στο ίδιο το ηλεκτρικό τόξο της εκκένωσης είτε σε δευτερογενή φαινόμενα που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της εκκένωσης. Ανάλογα με τα φαινόμενα και τις επιπτώσεις που παρατηρούνται οι επιδράσεις του κεραυνού σε μία κατασκευή μπορεί να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες: θερμικές επιδράσεις, μηχανικές επιδράσεις, ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις

2.3.3 Θερμικές επιδράσεις

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

2.3.4 Μηχανικές επιδράσεις

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

ρεύματος του κεραυνού καθώς και της απότομης μεταφοράς ενέργειας μεταξύ του κεραυνού και της κατασκευής.

2.3.5 Ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις

Οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις σχετίζονται με το μέγιστο εύρος και την κλίση του μετώπου του ρεύματος του κεραυνού. Παρατηρούνται επικίνδυνες υπερτάσεις οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν στην ηλεκτρική διάσπαση μονώσεων ως προς γη ή μεταξύ κυκλωμάτων διαφορετικής τάσης, δευτερογενείς υπερπηδήσεις, με άμεσο κίνδυνο σημαντικής βλάβης ή απώλειας της ανθρώπινης ζωής, πυρκαγιάς ή έκρηξης καθώς και διαταραχής ή διακοπής της κανονικής λειτουργίας ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Ακόμη αναπτύσσονται ηλεκτρομαγνητικά και ηλεκτροστατικά πεδία με επιζήμιες συνέπειες υπό τη μορφή βλαβών σε ηλεκτρονικές συσκευές και διακοπών της λειτουργίας ηλεκτρονικών συστημάτων σε εγκαταστάσεις. Επικίνδυνες υπερτάσεις λόγω πλήγματος μίας κατασκευής από κεραυνό μπορούν να αναπτυχθούν μέσω αγωγίμης ζεύξης καθώς και μέσω μαγνητικής ή χωρητικής σύζευξης

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 –ΑΡΧΕΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Ως Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) ορίζεται το πλήρες σύστημα που χρησιμοποιείται για να προστατεύσει ένα χώρο από τις επικίνδυνες επιπτώσεις ενός κεραυνού. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν συσκευές ή μέθοδοι επιστημονικά αποδεδειγμένες, ικανές να εμποδίσουν το σχηματισμό κεραυνού ή να εμποδίσουν τον κεραυνό να πλήξει μία κατασκευή. Κατά συνέπεια, ένα ΣΑΠ δεν μπορεί να εμποδίσει το σχηματισμό κεραυνού ή να εμποδίσει τον κεραυνό να πλήξει μία κατασκευή. Σκοπός του ΣΑΠ είναι σε περίπτωση άμεσου ή έμμεσου κεραυνικού πλήγματος, να διοχετεύσει το ρεύμα της εκκένωσης ελεγχόμενα στη γη και να περιορίσει στον ελάχιστο βαθμό τις επιζήμιες επιπτώσεις του.

Η διάρκεια ενός κεραυνού είναι μικρότερη από ένα δευτερόλεπτο, ωστόσο οι ζημιές που μπορεί να προκαλέσει είναι σημαντικές ενώ πάντοτε ελλοχεύει ο κίνδυνος της φωτιάς και του ανθρώπινου τραυματισμού. Συνεπώς η προστασία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων από μεταβατικές υπερτάσεις και κεραυνικά πλήγματα, αποτελεί μία προληπτική κίνηση μείζονος σημασίας για τη σωματική ακεραιότητα του ανθρώπου και για την προστασία των κτιρίων και κάθε είδους εγκαταστάσεων

3.1 Είδη ΣΑΠ

3.1.1 Εξωτερικό ΣΑΠ

Το **Εξωτερικό ΣΑΠ** έχει σαν σκοπό την προστασία των δομικών τμημάτων μίας κατασκευής, καθώς και των ανθρώπων και ζώων που βρίσκονται μέσα στην κατασκευή αυτή, από άμεσα κεραυνικά πλήγματα. Εξωτερικό ΣΑΠ αποτελεί το **αλεξικέραυνο**. Αποτελείται από το συλλεκτήριο σύστημα, το σύστημα αγωγών καθόδου και το σύστημα της γείωσης.

3.1.2 Εσωτερικό ΣΑΠ

Το **Εσωτερικό ΣΑΠ** έχει σαν σκοπό την προστασία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών στοιχείων μίας κατασκευής, καθώς και των ανθρώπων και ζώων που βρίσκονται μέσα στην κατασκευή αυτή, από υπερτάσεις που θα εισέλθουν

είτε από άμεσα, είτε από έμμεσα κεραυνικά πλήγματα. Εσωτερικό ΣΑΠ αποτελούν οι **απαγωγοί υπερτάσεων**.

3.2 Στάθμες Προστασίας

Η στάθμη προστασίας στην οποία εντάσσεται κάθε κατασκευή, υπολογίζεται με την βοήθεια αλγόριθμου, στον οποίο λαμβάνονται ως παράμετροι οι ημέρες καταιγίδος, η θέση, το είδος, το περιεχόμενο, η χρήση της κατασκευής και οι περιβαντολλογικές συνέπειες από πιθανό κεραυνικό πλήγμα.

Η στάθμη προστασίας εξαρτάται από την τιμή του συντελεστή αποτελεσματικότητας E . Ο συντελεστής αυτός είναι συνάρτηση της αναμενόμενης συχνότητας ζημιών από κεραυνικό πλήγμα και της αναμενόμενης συχνότητας κεραυνοπληξίας σε μία κατασκευή. Οι στάθμες προστασίας είναι τέσσερις (4) με πιο αυστηρή την στάθμη I.

Πίνακας 3-1 Στάθμες προστασίας που εντάσσονται οι κατασκευές

Συντελεστής αποτελεσματικότητας E	Στάθμη προστασίας	Διάσταση βρόγχου (m)	Απόσταση καθόδων (m)	Ακτίνα κυλιόμενης σφαίρας (m)
$0,98 < E$	Στάθμη I + πρόσθετα μέτρα	5 x 5	10	20
$0,95 < E < 0,98$	Στάθμη I	5 x 5	10	20
$0,90 < E < 0,95$	Στάθμη II	10 x 10	10	30
$0,80 < E < 0,90$	Στάθμη III	15 x 15	15	45
$0 < E < 0,80$	Στάθμη IV	20 x 20	20	60

Κατά το Ισπανικό πρότυπο UNE 21.186 (06-1996) και το ισοδύναμο του Γαλλικό NF C 17 102 (07-1995) (τα οποία αναφέρονται στα αλεξικέραυνα ιονισμού) οι στάθμες προστασίας είναι τρεις (3) με αυστηρότερη πάλι την στάθμη I.

3.3 Αλεξικέραυνα

Τα αλεξικέραυνα είναι ένα σύστημα αγωγών του ηλεκτρισμού που ξεκινούν από τα υψηλότερα σημεία μιας κατασκευής και στην άλλη άκρη τους καταλήγουν στην γη. Ο σκοπός του αλεξικέραυνου είναι να παρέχει εύκολη δίοδο μέσα από την οποία θα περάσει ο κεραυνός και η οποία αν δεν υπάρχει, τότε αυτός θα βρει την ευκολότερη (με τη μικρότερη αντίσταση) και ενδεχομένως και τη συντομότερη οδό για φτάσει στην γη). Μια τέτοια διαδρομή μπορεί να είναι το κτήριο μας, μια κεραία, μια κολόνα, ένα δέντρο ή ακόμη και το σώμα ενός ανθρώπου με ότι όλα τα παραπάνω συνεπάγονται. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αλεξικέραυνων που εφαρμόζονται ανάλογα με την κατασκευή που επιθυμούμε να προστατέψουμε.

3.3.1 Αλεξικέραυνα τύπου Franklin για κατασκευή εξωτερικού Σ.Α.Π



Εικόνα 3-1 Αλεξικέραυνα τύπου Franklin

Τα αλεξικέραυνα τύπου Franklin είναι η πιο απλή μορφή αλεξικέραυνου που υπάρχει. Αποτελείται από μία ή δύο περισσότερες ειδικές ακίδες τύπου Franklin οι οποίες τοποθετούνται στα υψηλότερα σημεία της κατασκευής, ένα καθοδικό αγωγό (αγωγός χαλκού συνήθως) που συνδέει την ακίδα Franklin με την γη, τα ηλεκτρόδια γείωσης και τέλος το τερματικό ελέγχου της γείωσης που από την μια μεριά συνδέεται με τον καθοδικό αγωγό και από την άλλη μεριά με τα ηλεκτρόδια γείωσης

Το αλεξικέραυνο τύπου Franklin προστατεύει μια περιοχή σε σχήμα ανάποδου κώνου που έχει σαν κορυφή την ακίδα και σαν διάμετρο το ύψος της ακίδας από το έδαφος. Το σύστημα αυτό δεν μπορούμε να πούμε ότι δίνει πάρα πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Χρησιμοποιείται κυρίως σε κτήρια με μικρές διαστάσεις, σε καπνοδόχους εργοστασίων και επαγγελματικών εγκαταστάσεων, σε υδατόπυργους καθώς και σε κωδωνοστάσια ναών.

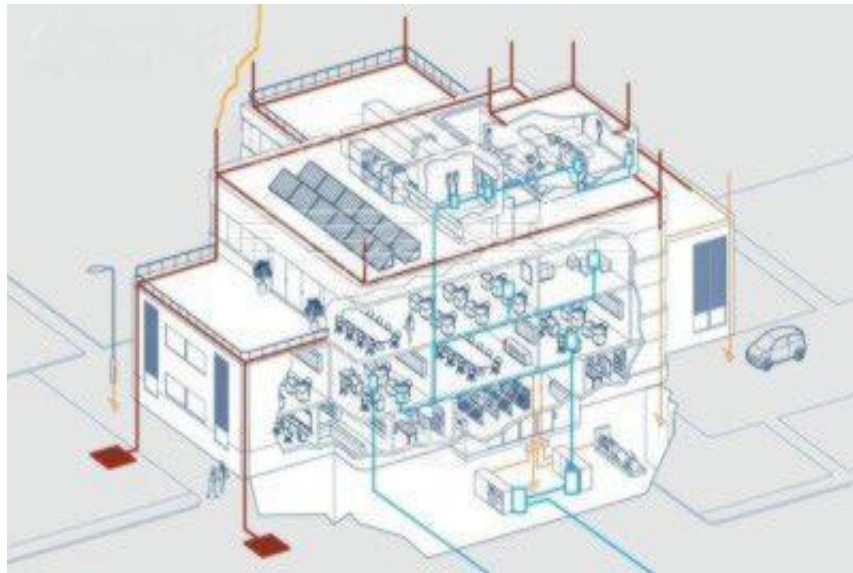
3.3.2 Αλεξικέραυνα τύπου κλωβού Faraday για κατασκευή εξωτερικού Σ.Α.Π

Τα αλεξικέραυνα κλωβού Faraday είναι πολύ περισσότερο αποτελεσματικά από τα αλεξικέραυνα τύπου Franklin, καθώς μπορούν να προστατέψουν ολόκληρο το κτήριο. Στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας κλωβού Faraday οι ακίδες είναι μικρότερες αλλά πολύ περισσότερες από το σύστημα τύπου Franklin και κατανέμονται στα υψηλότερα σημεία του κτηρίου σε καθορισμένες μεταξύ τους αποστάσεις.

Στο δώμα ή στην στέγη σχηματίζονται βρόγχοι από αγωγούς χαλκού ή χάλυβα με καθορισμένο κλάσσο, ανάλογα με την στάθμη προστασίας που έχει προκύψει με βάση την μελέτη. Οι βρόγχοι των αγωγών και οι ακίδες αποτελούν τον συλλέκτη του συστήματος που συνδέεται με πολλούς καθοδικούς αγωγούς οι οποίοι τοποθετούνται είτε μέσα στο σκελετό των υποστυλωμάτων του κτιρίου πριν την σκυροδέτηση, όταν πρόκειται για κατασκευή αντικεραυνικής προστασίας σε ένα νέο υπό κατασκευή κτίριο, είτε εξωτερικά αν πρόκειται για κατασκευή αντικεραυνικής προστασίας σε ένα υφιστάμενο κτήριο.



Εικόνα 3-2 Αλεξικέραυνα Κλωβού Faraday



Εικόνα 3-3 Αλεξικέραυνα Faraday Κτηρίου



Εικόνα 3-4 Κατασκευή Εγκατάστασης Αντικεραυνικής Προστασίας Κτηρίου (πλέγμα στην ταράτσα)



Εικόνα 3-5 Αντικεραυνικά Συστήματα Προστασίας Κτηρίων Κλωβού Faraday

Οι καθοδικοί αγωγοί συνδέονται με την σειρά τους με το σύστημα γειώσεων το οποίο μπορεί να είναι είτε ένα σύστημα θεμελιακής γείωσης, είτε ένα σύστημα περιμετρικής γείωσης είτε πολλά ηλεκτρόδια γείωσης στα οποία καταλήγουν οι καθοδικοί αγωγοί.



Εικόνα 3-6 Περιμετρική Γείωση Εγκατάστασης Αλεξικέραυνων Κλωβού Faraday Κτηρίου

3.3.3 Η Θεμελιακή Γείωση ως μέρος του κλωβού Faraday

Γείωση ονομάζεται η αγώγιμη σύνδεση ενός ακροδέκτη ηλεκτρικού κυκλώματος με το έδαφος ή άλλο αντικείμενο μηδενικού δυναμικού. Η σύνδεση ενός σημείου με τη γείωση συμβολίζεται με τρεις παράλληλες γραμμές μία μεγαλύτερη και δύο μικρότερες ανισες με τη μεσαία στη μέση ή σπανιότερα ισομηκείς. Οποιοδήποτε σημείο είναι συνδεδεμένο με τη γείωση έχει δυναμικό ίσο με το μηδέν, δηλαδή $V_{\text{γειωμένο}}=0$

Η θεμελιακή γείωση είναι το σύστημα γείωσης που τοποθετείται εντός των εκ σκυροδέματος θεμελίων μίας κατασκευής και χρησιμοποιείται ως γείωση προστασίας, λειτουργίας, ασθενών ρευμάτων, ηλεκτρονική, αλεξικέραυνου κλπ. Με βάση την Υπουργική Απόφαση Φ Α 50/12081/642/2006 (ΦΕΚ 1222/Β/5-9-2006) καθίσταται πλέον υποχρεωτική η θεμελιακή γείωση σε όλες τις νεοαναγειρόμενες εκ θεμελίων οικοδομές, οι οποίες διαθέτουν Εσωτερική Ηλεκτρική Εγκατάσταση (Ε.Η.Ε.), ανεξάρτητα από το σύστημα γείωσης του δικτύου από το οποίο τροφοδοτούνται. Από την υποχρέωση αυτή εξαιρούνται οι οικοδομές από προκατασκευασμένα στοιχεία ή οι λυόμενες κατασκευές οι οποίες δε διαθέτουν ειδική θεμελίωση. Σε κτίρια με φέροντα οργανισμό από χάλυβα

κατασκευών μπορεί να εφαρμόζεται η απ' ευθείας γείωση στο χάλυβα του φέροντος οργανισμού.

Η **θεμελιακή γείωση** τέθηκε σε πλήρη ισχύ το Μάρτιο του 2006 σύμφωνα με το Πρότυπο του ΕΛΟΤ HD-384 και θεωρείται ως η βασική γείωση λειτουργίας και προστασίας στις νέες οικοδομές. Η μελέτη της θεμελιακής γείωσης πρέπει να γίνεται πριν από την έναρξη των οικοδομικών εργασιών. Η κατασκευή της πρέπει να πραγματοποιείται από ειδικευμένο τεχνικό προσωπικό, ταυτόχρονα με τις εργασίες σκυροδέτησης στους πεδιλοδοκούς.

3.3.4 Αλεξικέραυνα Ιονισμού

Η λειτουργία τους βασίζεται στην δυνατότητα να διαχέουν ιόντα μέσα στο κατώτερο στρώμα του διηλεκτρικού της ατμόσφαιρας και να δημιουργούν έναν δίαυλο μειωμένης ηλεκτρικής αντίστασης δια μέσω του οποίου προσκαλούν τον επερχόμενο κεραυνό. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούν μια ομπρέλα προστασίας διασφαλίζοντας ότι δεν θα πληγεί κάποιο άλλο σημείο της προστατευμένης περιοχής, εκτός από την κεφαλή του αλεξικέραυνου

Τα αλεξικέραυνα ιονισμού είναι συστήματα που ο βασικός τους εξοπλισμός είναι μια ειδική ακίδα σύλληψης του κεραυνού (κεφαλή ιονισμού), από ειδικό κράμα ορειχάλκου, με διάκενο ασφαλείας η οποία τοποθετείται σε ιστό κατάλληλου ύψους ανάλογα με την απαιτούμενη στάθμη προστασίας και την διάμετρο (ομπρέλα) προστασίας.



Εικόνα 3-7 Αλεξικέρανα Ιονισμού



Εικόνα 3-8 Κεφαλή Αλεξικέρανου Ιονισμού



Εικόνα 3-9 Εγκαταστάσεις Αντικεραυνικών Συστημάτων Ιονισμού

Η κεφαλή ιονισμού περιλαμβάνει ειδικό μεταλλάκτη παραγωγής υψηλής τάσης ιονισμού, Στον χώρο γύρω από την ακίδα του αλεξικεραύνου, δημιουργείται ισχυρότατος ιονισμός και λειτουργεί όταν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες κεραυνικού πεδίου. Η κεφαλή ιονισμού φέρει διάταξη ασφαλείας για την προστασία των κυκλωμάτων της, κατά την στιγμή της πτώσης και σύλληψης του κεραυνού. Όλος ο μηχανισμός του διακένου, του εξωτερικού σπινθηριστή και των κυκλωμάτων της κεφαλής, ευρίσκεται εντός υδατοστεγούς περιβλήματος, το οποίο είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση του φορτίου προς την κάθοδο του αλεξικεραύνου. Ταυτόχρονα, η διαμόρφωση της βάσης του περιβλήματος (σφαίρα) της κεφαλής, παίζει το ρόλο (εξωτερικού) σπινθηριστή ασφαλείας, μεταξύ κεφαλής και καθόδου

Από την κεφαλή ξεκινά ένας καθοδικός αγωγός που την συνδέει με το σύστημα γείωσης το οποίο είναι συνήθως τριγωνικές γειώσεις ή γειώσεις με πλάκες που τοποθετούνται κατά κύριο λόγο εντός του σκάμματος που κατασκευάζεται για την στήριξη του ιστού.

Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται σε κτήρια που δεν είναι δυνατή απο τεχνικής άποψης η κατασκευή συστήματος κλωβού Faraday καθώς και για την προστασία μεγάλων και εκτεταμένων εγκαταστάσεων όπως μεγάλα εργοστάσια με πολλά

κτήρια, στρατόπεδα, κατασκηνώσεις, διυλιστήρια, φωτοβολαϊκά πάρκα, ανεμογεννήτριες, κεραιές κινητής τηλεφωνίας κ.λ.π

3.4 Μη συμβατικές διατάξεις σύλληψης κεραυνού

Στην παραπάνω περιγραφή η διάταξη σύλληψης κεραυνού, ακίδα Franklin, θεωρείται ως ένα «παθητικό» στοιχείο που συλλαμβάνει τον κεραυνό κυρίως λόγω της χωροθέτησής του σε σχέση με τη κατασκευή που χρήζει προστασίας. Τις τελευταίες δεκαετίες υποστηρίζεται, από τμήμα της επιστημονικής κοινότητας και κατασκευαστών, ότι η αντικεραυνική προστασία μιας κατασκευής μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας τις λεγόμενες «ενεργές» διατάξεις σύλληψης κεραυνού οι οποίες υποτίθεται ότι αυξάνουν την παρεχόμενη ζώνη προστασίας. Τρεις τύποι τέτοιων διατάξεων σύλληψης έχουν προταθεί: τα ραδιενεργά αλεξικέραυνα, τα αλεξικέραυνα απώθησης κεραυνού και τα αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού. Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι οι διεθνείς κανονισμοί Αντικεραυνικής Προστασίας αναφέρονται ρητώς σε «παθητικές» διατάξεις σύλληψης κεραυνού και δεν προτείνουν τα αλεξικέραυνα με «ενεργές» διατάξεις σύλληψης. Ακόμη, οι ίδιοι κανονισμοί θεωρούν ότι η αποτελεσματικότητά τους δεν έχει ικανοποιητικά αποδειχθεί από την επιστημονική κοινότητα δεδομένης μάλιστα και της έλλειψης πληροφοριών σχετικά με τη σχεδίασή τους εφόσον καλύπτονται με ιδιοκτησιακά δικαιώματα.

3.4.1 Ραδιενεργά αλεξικέραυνα

Τα ραδιενεργά αλεξικέραυνα αποτελούν συλλεκτήριες διατάξεις τύπου ράβδου με ραδιενεργή ουσία στην απόληξη της ράβδου οι οποίες θεωρείται ότι επεκτείνουν την ακτίνα σύλληψης της ακίδας, διευκολύνουν την εκκίνηση θετικών λήντερ, μέσω πρόσθετου ιονισμού του αέρα. Ο ισχυρισμός αυτός έχει εξετασθεί τόσο πειραματικά όσο και θεωρητικά και έχει αποδειχθεί ότι τα ραδιενεργά αλεξικέραυνα δεν παρέχουν βελτιωμένη προστασία και επιπλέον έχουν απαγορευθεί με απόφαση της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας ως επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία.

3.4.2 Αλεξικέραυνα “απόθησης” κεραυνού

Τα αλεξικέραυνα “απόθησης” κεραυνού αποτελούν συλλεκτήριες διατάξεις τύπου ράβδου αλλά με πολλές ακίδες στην απόληξή της σφαιρικά κατανεμημένες. Υποστηρίζεται ότι οι πολλές ακίδες δημιουργούν χωρικό φορτίο γύρω από την απόληξη της ράβδου που εξουδετερώνει μέρος του φορτίου του σύννεφου που

προσεγγίζει την περιοχή της, παρεμποδίζοντας με τον τρόπο αυτό τη φάση του οχετού επιστροφής, επεκτείνοντας επομένως τη παρεχόμενη προστασία. Η χρήση των αλεξικέραυνων αυτών, συναντώνται και ως “Charge Transfer Systems”, δεν προβλέπεται από κανένα διεθνή κανονισμό.

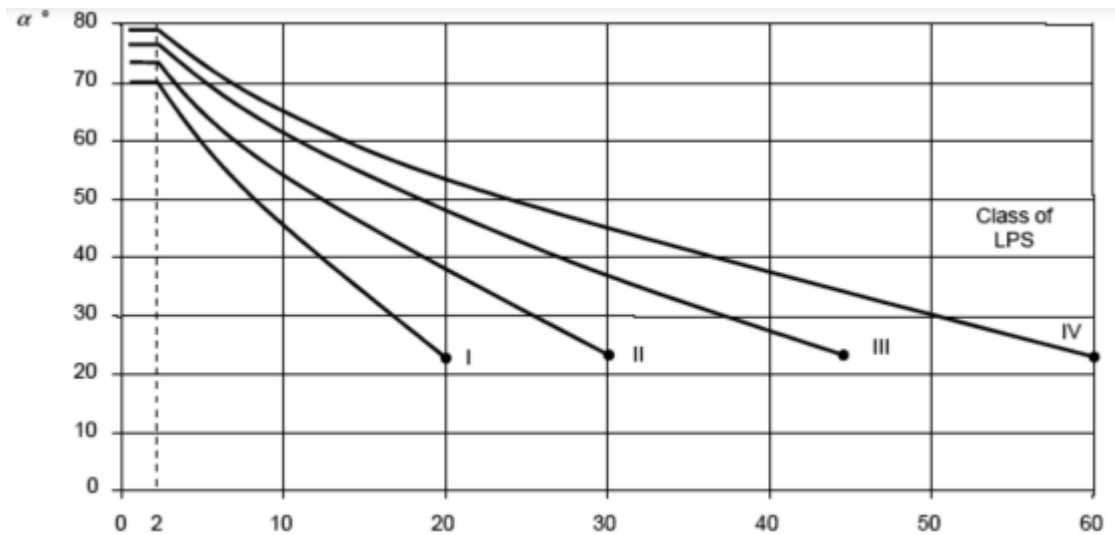
3.4.3 Αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού

Τα αλεξικέραυνα πρώιμου οχετού (Early Streamer Emission, ESE) είναι συλλεκτήριες διατάξεις τύπου ράβδου οι οποίες ενσωματώνουν ένα μηχανισμό σκανδαλισμού ο οποίος στέλνει παλμούς υψηλής τάσης στην απόληξη της ράβδου όταν φορτισμένα σύννεφα καταφθάνουν στην περιοχή εγκατάστασής τους. Υποστηρίζεται ότι με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας ανερχόμενος στρήμερ προς το σύννεφο που επεκτείνει την ακτίνα σύλληψης κεραυνού της ράβδου. Η χρήση τους προβλέπεται από τους κανονισμούς διαφόρων χωρών, Γαλλία, Ισπανία, και έχουν εγκατασταθεί ήδη σε πολλές κατασκευές ωστόσο η αποτελεσματικότητά τους ακόμη δεν έχει κριθεί ικανοποιητικά. Η πλειονότητα των επιστημόνων έχει εκφραστεί με ιδιαίτερη επιφύλαξη σε σχέση με την αποτελεσματικότητά τους.

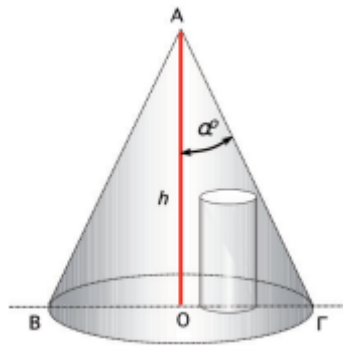
3.5 Υπολογισμός Χώρου Προστασίας Μέσω Ακίδας με τη μέθοδο Γωνίας Προστασίας και Κυλιόμενης Σφαίρας (EN62305-3)

3.5.1 Μέθοδος Γωνίας Προστασίας.

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο γωνίας προστασίας ο χώρος προστασίας ενός συλλεκτήριου συστήματος τύπου ακίδας έχει την μορφή κυκλικού κώνου. Λαμβάνοντας ως κορυφή το πάνω άκρο της ακίδας προστασίας, μια ευθεία γραμμή που σχηματίζει γωνία α με την κατακόρυφο και διερχόμενη από την κορυφή εκτελώντας μια πλήρη περιστροφή σχηματίζει τον κυκλικό κώνο (Σχήμα 3-1). Η γωνία α για κάθε στάθμη προστασίας του ΣΑΠ, ανάλογα με το ύψος h της ακίδας προστασίας, δίνεται από το πιο κάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 3-1 Γωνία Προστασίας α ανάλογα με το ύψος της ακίδας και τη στάθμη προστασίας του ΣΑΠ. (EN 62305-3) 64



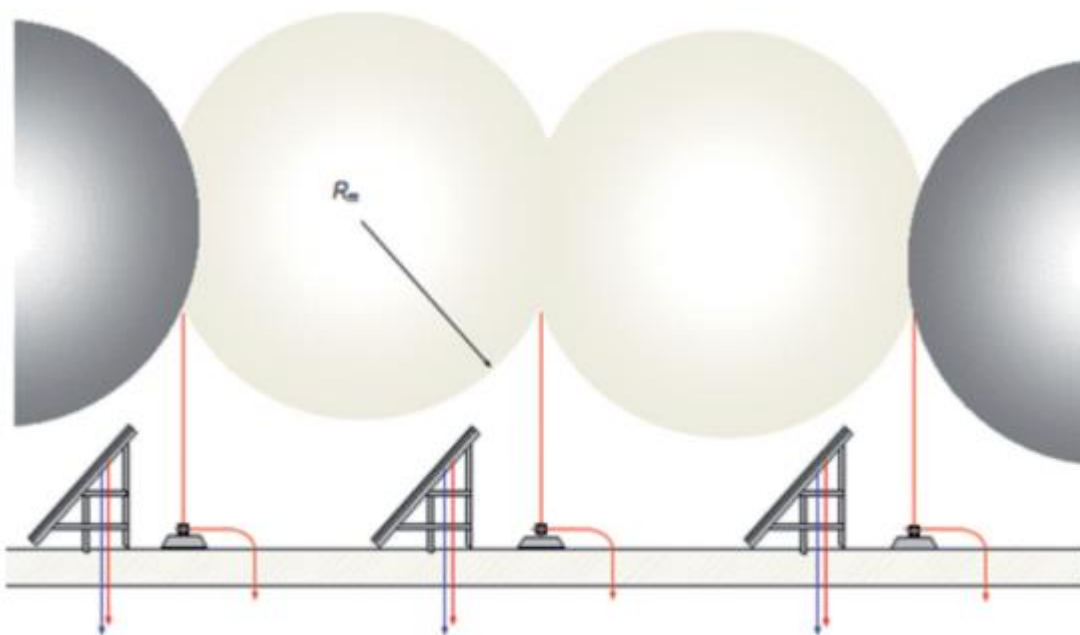
Σχήμα 3-1 Τρόπος υπολογισμού κυκλικού κώνου.

3.5.2 Μέθοδος Κυλιόμενης Σφαίρας.

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο κυλιόμενης σφαίρας ο χώρος προστασίας ενός συλλεκτήριου συστήματος τύπου ακίδας, μπορεί να διαφανεί κυλώντας προς όλες τις διευθύνσεις μια νοητή σφαίρα ακτίνας R από την εξωτερική περίμετρο του πάρκου προς την εγκατάσταση των Φ/B -στοιχείων. Τα σημεία στα οποία η σφαίρα δεν μπορεί να έρθει σε επαφή θεωρούνται ότι είναι προστατευμένα. Η ακτίνα της σφαίρας εξαρτάται από τη στάθμη προστασίας όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 13. Αυτή η μέθοδος συνιστάται όταν η εγκατάσταση περιλαμβάνει πολύπλοκα και ακανόνιστα στοιχεία.

Πίνακας 3-2 Ακτίνα Κυλιόμενης Σφαίρας R σε σχέση με τη στάθμη Προστασίας.

Στάθμη Προστασίας	Ακτίνα Κυλιόμενης Σφαίρας R
I	20
II	30
III	45
IV	60



Εικόνα 3-10 Τρόπος υπολογισμού χώρου προστασίας μέσω κυλιόμενης σφαίρας

Ανάλογα με την περιοχή που θέλουμε να προστατεύσουμε υπολογίζουμε τον αριθμό και το ύψος των ακίδων καθώς και τη θέση στην οποία πρέπει να εγκατασταθούν

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Οι ανεμόμυλοι υπάρχουν εδώ και αιώνες, λειτουργώντας ως μύλοι σιτηρών και αντλίες νερού. Η ιδέα και η τεχνολογία πίσω από τους ανεμόμυλους έχει προσαρμοστεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή αιολική ενέργεια. Η παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι πλέον μία από τις μεγαλύτερες πηγές στην παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες ψηλώνουν, για να ικανοποιήσουν τη ζήτηση, συλλαμβάνοντας τον άνεμο μέσω μιας μεγαλύτερης περιοχής σάρωσης. Λόγω αυτού, οι ανεμογεννήτριες είναι πλέον πιο επιρρεπείς σε κεραυνικά πλήγματα λόγω του αυξημένου τους ύψους.

Υπάρχουν περίπου 2000 καταιγίδες σε κάθε δεδομένο λεπτό και περίπου 100 κεραυνοί ανά δευτερόλεπτο παγκοσμίως. Αυτό δημιουργεί μεγάλο κίνδυνο για ψηλές κατασκευές, όπως οι ανεμογεννήτριες, να χτυπηθούν από κεραυνό, όπου το μέσο ηλεκτρικό ρεύμα από το πλήγμα είναι 30 kA. Αυτή η τεράστια ροή του ρεύματος μπορεί να θερμάνει τον αέρα του καναλιού-οδηγού του ρεύματος μεταξύ 25.000 C και 30.000 C (περίπου πέντε φορές την ενεργό θερμοκρασία του ήλιου) . Άρα αξίζει να προστατευθεί η ανεμογεννήτρια από κεραυνούς, επειδή η ζημιά που θα προκληθεί έχει ως επακόλουθο τη διακοπή της λειτουργίας του στροβίλου, μεγάλο κόστος αποκατάστασης της βλάβης συντήρησης και έλλειψη ηλεκτρικής ενέργειας.

4.1 Ανεμογεννήτριες και Πτερύγια

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι ανεμογεννητριών στην αγορά σήμερα: κάθετου άξονα και οριζόντιου άξονα. Οι περισσότερες σύγχρονες τουρμπίνες αποτελούνται κυρίως από μοντέλα οριζόντιου άξονα, αφού με το βήμα του πτερυγίου του ρότορα, η ταχύτητα περιστροφής και ως εκ τούτου η ισχύς εξόδου μπορούν να ελεγχθούν και η αεροδυναμική του πτερυγίου μπορεί να βελτιστοποιηθεί για μέγιστη απόδοση. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το μοντέλο με τα τρία πτερύγια χρησιμοποιείται καθώς έχει την υψηλότερη αποτελεσματικότητα σε σχέση με τον αριθμό των πτερυγίων και το συνολικό βάρος τους.

Στο σχεδιασμό των πτερυγίων, τα πραγματικά σχήματα είναι πολύ παρόμοια , αν και ελαφρώς διαφοροποιούνται από κάθε κατασκευαστή για την καλύτερη δυνατή αεροδυναμική σύμφωνα με τις προτιμήσεις της εταιρείας. Κοινά χαρακτηριστικά είναι ο κοίλος σχεδιασμός, για μείωση του βάρους και η περιστρεφόμενη άκρη του πτερυγίου του ρότορα για βοήθεια περιορισμού υπέρβασης ταχύτητας. Τα πτερύγια είναι γενικά κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά ενίσχυσης ινών όπως π.χ ανθρακονήματα και ίνες γυαλιού με υλικό σκελετού από πολυεστερικές ρητίνες ή εποξειδικές ρητίνες.

Τα ανθρακονήματα έχουν γενικά καλά χαρακτηριστικά θραύσης και ελαστικότητας, με ακαμψία παρόμοια με αυτή του χάλυβα, αν και είναι το πιο ακριβό συστατικό υλικού μεταξύ των πιθανών επιλογών. Επίσης, όσον αφορά για την αντικεραυνική προστασία, απαιτεί ιδιαίτερες εκτιμήσεις λόγω των ιδιοτήτων του υλικού που είναι παρόμοια με έναν ημιαγωγό, δημιουργώντας προβλήματα σε κεραυνικό πλήγμα στην επιφάνεια της λεπίδας.

Οι ίνες γυαλιού, από την άλλη πλευρά, έχουν χαμηλότερες επιδόσεις σε όλα σχεδόν τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως, αλλά είναι αρκετά φθηνότερο υλικό και λειτουργεί ως μονωτικό. Οι κατασκευαστές τείνουν να το χρησιμοποιούν με περισσότερα ακριβές αλλά υψηλής ποιότητας εποξειδικές ρητίνες για την ενίσχυση των απαιτούμενων φυσικών ιδιοτήτων του.

Αν και το πτερύγιο είναι μη αγωγίμο, εξακολουθεί να προσελκύει κεραυνούς λόγω του ύψους του. επομένως, η αντικεραυνική προστασία είναι απαραίτητη.

4.2 Αντικεραυνική προστασία γενικά

Τα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας για ανεμογεννήτριες βασίζονται στο πρότυπο IEC 61400-24. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, τα επίπεδα αντικεραυνικής προστασίας (Lighting protection levels -LPLs) έχουν ρυθμιστεί σύμφωνα με την ελάχιστη και μέγιστη πιθανότητα αναμενόμενου κεραυνού, I έως IV. Τα επίπεδα μέγιστης προστασίας, LPL I δεν πρέπει να ξεπερνιούνται με πιθανότητα 99% για τις αρνητικές αναλαμπές, εν τω μεταξύ, για τις θετικές αναλαμπές είναι κάτω από 10% . Οι παράμετροι για το LPLII και III-IV είναι οι μειωμένες τιμές του LPL I κατά 75% και 50%, αντίστοιχα.

4.3 Μέθοδοι Προστασίας Ανεμοπτερυγίων

Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τύποι μεθόδων αντικεραυνικής προστασίας που αναπτύχθηκαν όπως συνιστάται και περιγράφεται στο IEC 61400-24. Οι μέθοδοι είναι οι εξής:

(α) υποδοχείς τοποθετημένοι στο άκρο και ένα εσωτερικό καλώδιο (δηλαδή, αγωγός) χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του ρεύματος στο κέντρο

(β) μεταλλικός αγωγός τοποθετημένος γύρω από τις άκρες για να χρησιμεύσει ως τερματικός και κάτω αγωγός

γ) μεταλλικό πλέγμα που χρησιμοποιείται στο πλάι του ακροπτερυγίου

Ανεξάρτητα από τις μεθόδους, η κύρια λειτουργία της αντικεραυνικής προστασίας στα πτερύγια είναι:

1. Επιτυχής προσάρτηση του κεραυνού σε καθορισμένο ή προτιμώμενο σημείο.
2. Παροχή διέλευσης για το ρεύμα κεραυνού μέσω επαρκών αγωγών διατομής, εκτροπέων, και τερματιστών στη γη. Αποτροπή βλάβης στο σύστημα και ελαχιστοποίηση του υψηλού επιπέδου μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου λόγω υψηλών ρευμάτων.
3. Ελαχιστοποίηση του υψηλού επιπέδου των τάσεων που προκαλούνται και παρατηρούνται εντός και εκτός του στροβίλου.

Όταν σχεδιάζεται ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας για ανεμογεννήτριες, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όχι μόνο οι εκκενώσεις από σύννεφο σε γη, αλλά και οι εκκενώσεις από γη σε σύννεφο, οι λεγόμενοι ανοδικοί οδηγοί, για αντικείμενα με ύψος μεγαλύτερο από 60 μέτρα σε εκτεθειμένες θέσεις. Το υψηλό ηλεκτρικό φορτίο αυτών των ανοδικών οδηγών πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη για την προστασία των πτερυγίων του ρότορα και την επιλογή κατάλληλων απαγωγέων ρεύματος κεραυνού.

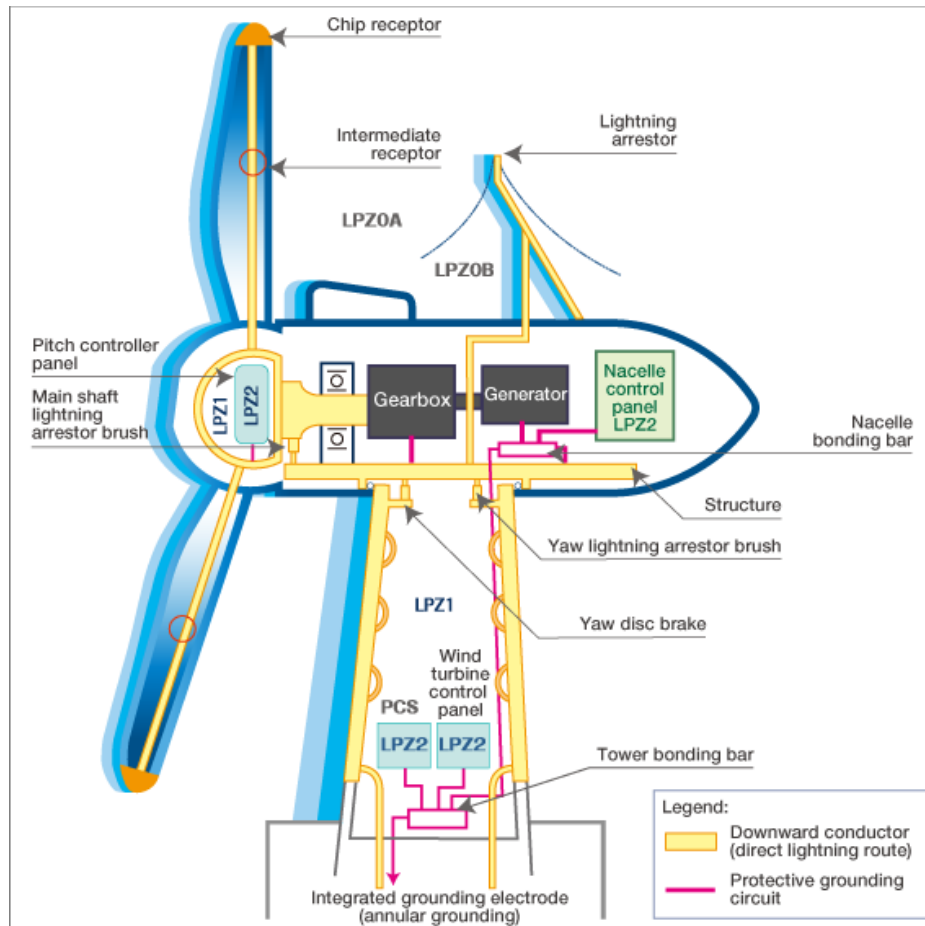
4.4 Προστασία από κεραυνούς και υπερτάσεις για σύστημα ανεμογεννητριών
Η ιδέα προστασίας θα πρέπει να βασίζεται στα διεθνή πρότυπα IEC 61400-24, IEC 62305 standard series και στις οδηγίες του προτύπου Germanischer Lloyd.



Εικόνα 4-1 Τυπική εφαρμογή της μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας

4.5 Μέτρα προστασίας

Το IEC 61400-24 συνιστά την επιλογή όλων των επιμέρους στοιχείων του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας μιας ανεμογεννήτριας σύμφωνα με το επίπεδο αντικεραυνικής προστασίας (Lightning protection level -LPL) I, εκτός εάν μια ανάλυση κινδύνου δείξει ότι αρκεί ένα χαμηλότερο LPL. Μια ανάλυση κινδύνου μπορεί επίσης να αποκαλύψει ότι διαφορετικά υποσυστατικά έχουν διαφορετικά LPLs. Το IEC 61400-24 συνιστά το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας να βασίζεται σε μια ολοκληρωμένη ιδέα αντικεραυνικής προστασίας.



Εικόνα 4-2 Εφαρμογή της μεθόδου της κυλιόμενης σφαίρας σε ανεμογεννήτρια

Η προστασία από κεραυνούς και υπερτάσεις για σύστημα ανεμογεννητριών αποτελείται από ένα εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (LPS) και μέτρα προστασίας από υπερτάσεις (surge protection measures SPMs) για την προστασία του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Για τον σχεδιασμό μέτρων προστασίας, είναι σκόπιμο να υποδιαιρεθεί η ανεμογεννήτρια σε ζώνες αντικεραυνικής προστασίας (lightning protection zones LPZ).

Η προστασία από κεραυνούς και υπερτάσεις για σύστημα ανεμογεννητριών προστατεύει δύο υποσυστήματα που μπορούν να βρεθούν μόνο σε ανεμογεννήτριες, δηλαδή τα περύγια του ρότορα και το μηχανικό σύστημα ισχύος.

Το IEC 61400-24 περιγράφει λεπτομερώς πώς προστατεύονται αυτά τα ειδικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας και πώς αποδεικνύεται η αποτελεσματικότητα των μέτρων αντικεραυνικής προστασίας. Σύμφωνα με αυτό το πρότυπο, συνιστάται η διεξαγωγή δοκιμών υψηλής τάσης για την επαλήθευση της ικανότητας αντοχής σε ρεύμα κεραυνού των σχετικών συστημάτων με την πρώτη διαδρομή και τη μεγάλη διαδρομή, εάν είναι δυνατόν, σε κοινή εκφόρτιση.

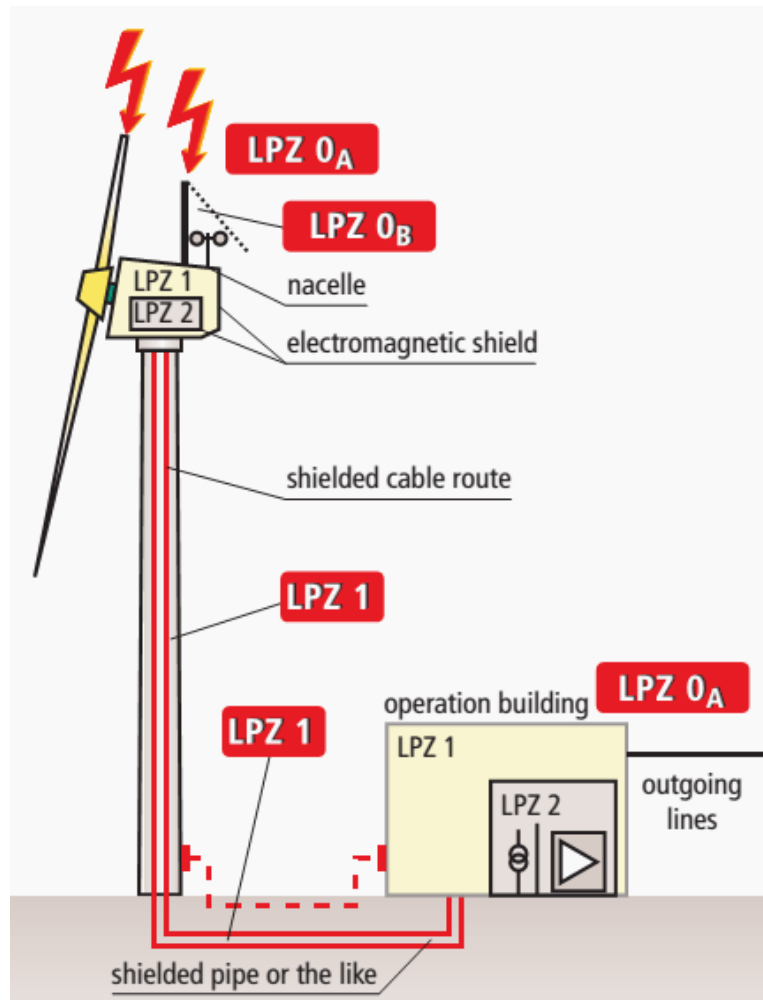
4.6 Έννοια της ζώνης αντικεραυνικής προστασίας

Η έννοια της ζώνης αντικεραυνικής προστασίας είναι ένα δομικό μέτρο για τη δημιουργία ενός καθορισμένου περιβάλλοντος (ElectroMagnetic Compatibility-EMC) σε ένα αντικείμενο. Το καθορισμένο περιβάλλον EMC καθορίζεται από την ανοχή του χρησιμοποιούμενου ηλεκτρικού εξοπλισμού. Η ιδέα της ζώνης αντικεραυνικής προστασίας επιτρέπει τη μείωση των παρεμβολών που πραγματοποιούνται και εκπέμπονται στα όρια σε καθορισμένες τιμές. Για το λόγο αυτό, το προς προστασία αντικείμενο υποδιαιρείται σε ζώνες προστασίας.

Η μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του LPZ 0_A, δηλαδή των τμημάτων μιας ανεμογεννήτριας που μπορούν να υποστούν απευθείας κεραυνούς, και του LPZ 0_B, δηλαδή των μερών μιας ανεμογεννήτριας που προστατεύονται από άμεσες κεραυνούς από εξωτερικό αέρα.

Σύμφωνα με το IEC 61400-24, η μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για τα πτερύγια του ρότορα. Για το λόγο αυτό, ο σχεδιασμός του συστήματος τερματισμού αέρα θα πρέπει να ελεγχθεί σύμφωνα με το κεφάλαιο 8.2.3 του προτύπου IEC 61400-24.

Η Εικόνα 4-1 δείχνει μια τυπική εφαρμογή της μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας, ενώ η Εικόνα 4-2 απεικονίζει την πιθανή διαίρεση μιας ανεμογεννήτριας σε διαφορετικές ζώνες αντικεραυνικής προστασίας. Η διαίρεση σε ζώνες αντικεραυνικής προστασίας εξαρτάται από τον σχεδιασμό της ανεμογεννήτριας. Επομένως, θα πρέπει να τηρείται η δομή της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 4-3 Διαίρεση μιας ανεμογεννήτριας σε διαφορετικές ζώνες αντικεραυνικής προστασίας

Ωστόσο, είναι αποφασιστικό ότι οι παράμετροι κεραυνού που εγχέονται από το εξωτερικό της ανεμογεννήτριας στο LPZ 0A μειώνονται με κατάλληλα μέτρα θωράκισης και διατάξεις προστασίας από υπερτάσεις σε όλα τα όρια της ζώνης, έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές και συστήματα μέσα στην ανεμογεννήτρια. με ασφάλεια.

4.7 Μέτρα θωράκισης

Το περίβλημα πρέπει να είναι σχεδιασμένο ως ενθυλακωμένη μεταλλική θωράκιση. Αυτό σημαίνει ότι στο περίβλημα επιτυγχάνεται ένας όγκος με ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που είναι σημαντικά χαμηλότερος από το πεδίο έξω από την ανεμογεννήτρια.

Σύμφωνα με το IEC 61400-24, ένας σωληνωτός πύργος από χάλυβα, που χρησιμοποιείται κυρίως για μεγάλες ανεμογεννήτριες, μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν τέλειος κλωβός Faraday, ο καταλληλότερος για ηλεκτρομαγνητική θωράκιση. Οι πίνακες διακοπών και χειριστηρίων στο περίβλημα ή στο «κέλυφος» και, εάν υπάρχουν, στο κτίριο λειτουργίας, θα πρέπει επίσης να είναι κατασκευασμένοι από μέταλλο. Τα καλώδια σύνδεσης πρέπει να διαθέτουν εξωτερική θωράκιση ικανή να μεταφέρει ρεύματα κεραυνού.

Τα θωρακισμένα καλώδια είναι ανθεκτικά σε παρεμβολές ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας μόνο εάν τα προστατευτικά είναι συνδεδεμένα στην ισοδυναμική σύνδεση και στα δύο άκρα. Οι ασπίδες πρέπει να έρχονται σε επαφή μέσω ακροδεκτών πλήρους επαφής (360°) χωρίς την εγκατάσταση μακρών καλωδίων σύνδεσης ασύμβατα με EMC στην ανεμογεννήτρια.

Η μαγνητική θωράκιση και η δρομολόγηση καλωδίων πρέπει να εκτελούνται σύμφωνα με την ενότητα 4 του IEC 62305-4. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι γενικές οδηγίες για μια πρακτική εγκατάστασης συμβατής με EMC σύμφωνα με το IEC/TR 61000-5-2.

Τα μέτρα θωράκισης περιλαμβάνουν, για παράδειγμα:

- Τοποθέτηση μεταλλικής πλεξούδας σε ατράκτους με επίστρωση GRP.
- Μεταλλικός πύργος.
- Μεταλλικά ντουλάπια διακοπών.
- Μεταλλικά ντουλάπια ελέγχου.
- Ρεύμα κεραυνού που μεταφέρει θωρακισμένα καλώδια σύνδεσης (μεταλλικός αγωγός καλωδίων, θωρακισμένος σωλήνας ή παρόμοια).
- Θωράκιση καλωδίων.
- Εξωτερικά μέτρα αντικεραυνικής προστασίας

Η λειτουργία του εξωτερικού LPS είναι να αναχαιτίζει απευθείας κεραυνούς, συμπεριλαμβανομένων των κεραυνών στον πύργο της ανεμογεννήτριας και να εκκενώνει το ρεύμα κεραυνού από το σημείο του χτυπήματος στο έδαφος. Χρησιμοποιείται επίσης για τη διανομή του ρεύματος κεραυνού στο έδαφος

χωρίς θερμικές ή μηχανικές βλάβες ή επικίνδυνους σπινθήρες που μπορεί να προκαλέσουν πυρκαγιά ή έκρηξη και να θέσουν σε κίνδυνο ανθρώπους.

Τα πιθανά σημεία πρόσκρουσης για μια ανεμογεννήτρια (εκτός από τα πτερύγια του ρότορα) μπορούν να προσδιοριστούν μέσω της μεθόδου κυλιόμενης σφαίρας που φαίνεται στο Σχ. 1. Για τις ανεμογεννήτριες, συνιστάται η χρήση της κλάσης LPS I. Επομένως, μια κυλιόμενη σφαίρα με μια ακτίνα $r = 20$ m κυλιέται πάνω από την ανεμογεννήτρια για να προσδιοριστούν τα σημεία πρόσκρουσης. Απαιτούνται συστήματα τερματισμού αέρα όπου η σφαίρα έρχεται σε επαφή με την ανεμογεννήτρια.

Η κατασκευή της ατράκτου/περιβλήματος θα πρέπει να ενσωματωθεί στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας για να διασφαλιστεί ότι οι κεραυνοί στην ατράκτου θα χτυπήσουν είτε φυσικά μεταλλικά μέρη που μπορούν να αντέξουν αυτό το φορτίο είτε ένα σύστημα τερματισμού αέρα σχεδιασμένο για αυτόν τον σκοπό. Τα αυλάκια με επίστρωση GRP θα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με σύστημα τερματισμού αέρα και αγωγούς προς τα κάτω που σχηματίζουν ένα κλωβό γύρω από το ατράκτο.

Το σύστημα τερματισμού αέρα, συμπεριλαμβανομένων των γυμνών αγωγών σε αυτόν τον κλωβό, θα πρέπει να είναι ικανό να αντέχει τους κεραυνούς σύμφωνα με το επιλεγμένο επίπεδο αντικεραυνικής προστασίας. Περαιτέρω αγωγοί στον κλωβό Faraday θα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν το μερίδιο του ρεύματος κεραυνού στο οποίο μπορεί να υποβληθούν. Σε συμμόρφωση με το IEC 61400-24, τα συστήματα τερματισμού αέρα για την προστασία του εξοπλισμού μέτρησης που είναι τοποθετημένα έξω από τον αυλό θα πρέπει να σχεδιάζονται σύμφωνα με τις γενικές απαιτήσεις του IEC 62305-3 και αγωγοί προς τα κάτω πρέπει να συνδέονται στον κλωβό που περιγράφεται παραπάνω.

«Φυσικά εξαρτήματα» κατασκευασμένα από αγωγίμα υλικά τα οποία είναι εγκατεστημένα μόνιμα σε/επί ανεμογεννήτριας και παραμένουν αμετάβλητα (π.χ. σύστημα αντικεραυνικής προστασίας των πτερυγίων του ρότορα, ρουλεμάν, mainframes, υβριδικός πύργος κ.λπ.) μπορούν να ενσωματωθούν στο LPS. Εάν οι

ανεμογεννήτριες είναι μεταλλικής κατασκευής, μπορεί να υποτεθεί ότι πληρούν τις απαιτήσεις για ένα εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας κατηγορίας LPS I σύμφωνα με το IEC 62305.

Αυτό απαιτεί την ασφαλή αναχαίτιση του κεραυνού από το LPS των πτερυγίων του ρότορα, έτσι ώστε να μπορεί να εκφορτιστεί στο σύστημα τερματισμού γείωσης μέσω φυσικών εξαρτημάτων όπως ρουλεμάν, κεντρικοί φορείς, ο πύργος και/ή συστήματα παράκαμψης (π.χ. ανοιχτά κενά σπινθήρα, βούρτσες άνθρακα).

4.8 Σύστημα τερματισμού αέρα/αγωγός καθόδου

Όπως φαίνεται στο Σχ. 1, τα πτερύγια του ρότορα συμπεριλαμβανομένων των υπερκατασκευών, η πλήμνη του ρότορα και ο πύργος της ανεμογεννήτριας μπορεί να χτυπηθούν από κεραυνό. Εάν μπορούν να αναχαιτίσουν το μέγιστο ρεύμα κεραυνικής ώθησης των 200 kA με ασφάλεια και μπορούν να το εκφορτίσουν στο σύστημα τερματισμού γης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως «φυσικά στοιχεία» του συστήματος τερματισμού αέρα του συστήματος εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας της ανεμογεννήτριας.

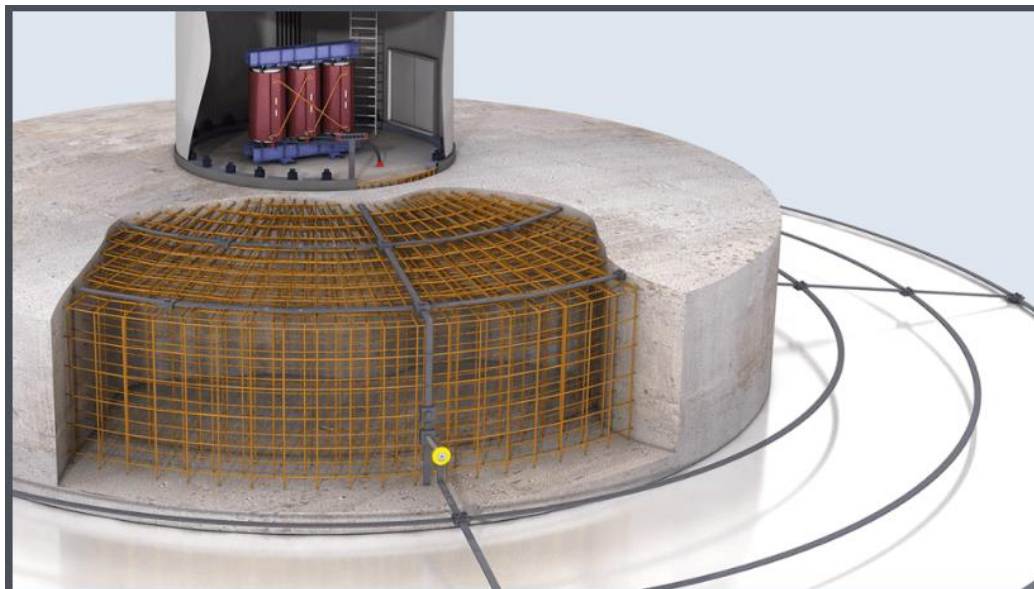
Μεταλλικοί υποδοχείς, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν καθορισμένα σημεία κρούσης για κεραυνούς, εγκαθίστανται συχνά κατά μήκος της λεπίδας GRP για να προστατεύουν τα πτερύγια του ρότορα από ζημιές λόγω κεραυνών. Ένας κάτω αγωγός κατευθύνεται από τον υποδοχέα στη ρίζα της λεπίδας. Σε περίπτωση κεραυνού, μπορεί να υποτεθεί ότι ο κεραυνός χτυπά το άκρο της λεπίδας (υποδοχέας) και στη συνέχεια εκφορτώνεται μέσω του αγωγού προς τα κάτω μέσα στη λεπίδα στο σύστημα τερματισμού γείωσης μέσω της ατράκτου και του πύργου.

4.9 Σύστημα τερματισμού γείωσης

Το σύστημα τερματισμού γείωσης μιας ανεμογεννήτριας πρέπει να εκτελεί διάφορες λειτουργίες όπως προσωπική προστασία, προστασία ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και αντικεραυνική προστασία.

Ένα αποτελεσματικό σύστημα τερματισμού γείωσης (βλ. Εικόνα 4-4) είναι απαραίτητο για τη διανομή των ρευμάτων κεραυνού και για την πρόληψη της

καταστροφής της ανεμογεννήτριας. Επιπλέον, το σύστημα τερματισμού γείωσης πρέπει να προστατεύει τους ανθρώπους και τα ζώα από ηλεκτροπληξία. Σε περίπτωση κεραυνού, το σύστημα τερματισμού γείωσης πρέπει να εκφορτώνει υψηλά ρεύματα κεραυνού στο έδαφος και να τα διανέμει στο έδαφος χωρίς επικίνδυνες θερμικές ή/και ηλεκτροδυναμικές επιπτώσεις.



Εικόνα 4-4 Σύστημα τερματισμού γείωσης

Γενικά, είναι σημαντικό να δημιουργηθεί ένα σύστημα τερματισμού γείωσης για μια ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιείται για την προστασία της ανεμογεννήτριας από κεραυνούς και για τη γείωση του συστήματος τροφοδοσίας ισχύος.

Σημείωση: Οι ηλεκτρικοί κανονισμοί υψηλής τάσης όπως το Cenelec HO 637 S1 ή τα ισχύοντα εθνικά πρότυπα καθορίζουν τον τρόπο σχεδίασης ενός συστήματος τερματισμού γείωσης για την αποφυγή υψηλών τάσεων αφής και βήματος που προκαλούνται από βραχυκυκλώματα σε συστήματα υψηλής ή μέσης τάσης. Όσον αφορά την προστασία των προσώπων, το πρότυπο IEC 61400-24 αναφέρεται στα IEC//TS 60479-1 και IEC 60479-4.

4.10 Διάταξη ηλεκτροδίων γείωσης

Το IEC 62305-3 περιγράφει δύο βασικούς τύπους διατάξεων ηλεκτροδίων γείωσης για ανεμογεννήτριες:

- Τύπος Α: Σύμφωνα με το Παράρτημα I του IEC 61400-24, αυτή η διάταξη δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για ανεμογεννήτριες, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραρτήματα (για παράδειγμα, κτίρια που περιέχουν εξοπλισμό μέτρησης ή υπόστεγα γραφείων σε σχέση με αιολικό πάρκο). Οι διατάξεις ηλεκτροδίων γείωσης τύπου Α αποτελούνται από οριζόντια ή κατακόρυφα ηλεκτρόδια γείωσης που συνδέονται με τουλάχιστον δύο κάτω αγωγούς στο κτίριο.
- Τύπος Β: Σύμφωνα με το Παράρτημα I του IEC 61400-24, αυτή η διάταξη πρέπει να χρησιμοποιείται για ανεμογεννήτριες. Αποτελείται είτε από ένα εξωτερικό ηλεκτρόδιο δακτυλιοειδούς γείωσης εγκατεστημένο στο έδαφος είτε από ένα ηλεκτρόδιο γείωσης θεμελίωσης. Τα ηλεκτρόδια δακτυλιοειδούς γείωσης και τα μεταλλικά μέρη στο θεμέλιο πρέπει να συνδέονται με την κατασκευή του πύργου.

Ο οπλισμός της θεμελίωσης του πύργου θα πρέπει να ενσωματωθεί στην έννοια της γείωσης μιας ανεμογεννήτριας. Το σύστημα τερματισμού γείωσης της βάσης του πύργου και του κτιρίου λειτουργίας θα πρέπει να συνδέονται μέσω ενός δικτυωτού δικτύου ηλεκτροδίων γείωσης για να αποκτήσουν ένα σύστημα τερματισμού γείωσης που να κυμαίνεται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη περιοχή. Για την αποφυγή υπερβολικών βηματικών τάσεων ως αποτέλεσμα κεραυνού, πρέπει να τοποθετηθούν ηλεκτρόδια δακτυλιοειδούς γείωσης ελέγχου του δυναμικού και ανθεκτικά στη διάβρωση (από ανοξείδωτο χάλυβα) γύρω από τη βάση του πύργου για να διασφαλίζεται η προστασία των προσώπων ((βλ. Εικόνα 4-4).

4.11 Ηλεκτρόδια θεμελίωσης γείωσης

Τα ηλεκτρόδια θεμελιώδους γείωσης έχουν τεχνικό και οικονομικό νόημα και, για παράδειγμα, απαιτούνται στις Γερμανικές Τεχνικές Συνθήκες Σύνδεσης (TAB) των εταιρειών παροχής ρεύματος. Τα ηλεκτρόδια θεμελίωσης γείωσης

αποτελούν μέρος της ηλεκτρικής εγκατάστασης και εκπληρώνουν βασικές λειτουργίες ασφαλείας. Για το λόγο αυτό, πρέπει να τοποθετούνται από ηλεκτρολόγους ή υπό την επίβλεψη ηλεκτρολόγων.

Τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται για τα ηλεκτρόδια γείωσης πρέπει να συμμορφώνονται με τα υλικά που αναφέρονται στον Πίνακα 7 του IEC 62305-3. Πρέπει πάντα να τηρείται η συμπεριφορά διάβρωσης του μετάλλου στο έδαφος. Τα ηλεκτρόδια θεμελιώδους γείωσης πρέπει να είναι κατασκευασμένα από γαλβανισμένο ή μη γαλβανισμένο χάλυβα (στρογγυλό ή λωρίδα χάλυβα). Ο στρογγυλός χάλυβας πρέπει να έχει ελάχιστη διάμετρο 10 mm. Οι λωρίδες χάλυβα πρέπει να έχουν ελάχιστες διαστάσεις 30 x 3,5 mm. Σημειώστε ότι αυτό το υλικό πρέπει να καλύπτεται με σκυρόδεμα τουλάχιστον 5 cm (αντιδιαβρωτική προστασία). Το ηλεκτρόδιο γείωσης θεμελίωσης πρέπει να συνδεθεί με την κύρια ράβδο εξισορρόπησης δυναμικού στην ανεμογεννήτρια. Οι ανθεκτικές στη διάβρωση συνδέσεις πρέπει να πραγματοποιούνται μέσω σταθερών σημείων γείωσης ακροδεκτών από ανοξείδωτο χάλυβα. Επιπλέον, ένα ηλεκτρόδιο δακτυλιοειδούς γείωσης από ανοξείδωτο χάλυβα πρέπει να εγκατασταθεί στο έδαφος.

4.12 Προστασία κατά τη μετάβαση από το LPZ 0A στο LPZ 1

Για να διασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, τα όρια των LPZ πρέπει να θωρακίζονται έναντι ακτινοβολούμενης παρεμβολής και να προστατεύονται από αγωγίμες παρεμβολές (βλ. Εικόνα 4-1 και Εικόνα 4-3). Κατά τη μετάβαση από το LPZ 0A στο LPZ 1 πρέπει να εγκατασταθούν προστατευτικές συσκευές από υπερτάσεις ικανές να εκφορτίζουν υψηλά ρεύματα κεραυνού χωρίς καταστροφή (αναφέρεται επίσης ως «αστραπιαία ισοδυναμική σύνδεση»). Αυτές οι συσκευές προστασίας από υπερτάσεις αναφέρονται ως αλεξικέραυνα κλάσης I και δοκιμάζονται με παλμικά ρεύματα κυματομορφής 10/350 μs. Κατά τη μετάβαση από LPZ 0B σε LPZ 1 και LPZ 1 και υψηλότερα, πρέπει να αντιμετωπιστούν μόνο παλμικά ρεύματα χαμηλής ενέργειας που προκαλούνται από τάσεις που προκαλούνται έξω από το σύστημα ή υπερτάσεις που δημιουργούνται στο σύστημα. Αυτές οι συσκευές προστασίας

από υπερτάσεις αναφέρονται ως απαγωγείς υπερτάσεων κατηγορίας II και δοκιμάζονται με παλμικά ρεύματα κυματομορφής 8/20 μ s.

Σύμφωνα με την ιδέα της ζώνης αντικεραυνικής προστασίας, όλα τα εισερχόμενα καλώδια και γραμμές πρέπει να ενσωματωθούν στην αντικεραυνική ισοδυναμική σύνδεση χωρίς εξαίρεση μέσω αλεξικέραυνων κλάσης I στο όριο από LPZ 0A έως LPZ 1 ή από LPZ 0A έως LPZ 2.

Μια άλλη τοπική ισοδυναμική σύνδεση, στην οποία πρέπει να ενσωματωθούν όλα τα καλώδια και οι γραμμές που εισέρχονται σε αυτό το όριο, πρέπει να εγκατασταθεί για κάθε περαιτέρω όριο ζώνης εντός του προς προστασία όγκου.

Οι απαγωγείς υπέρτασης τύπου 2 πρέπει να εγκατασταθούν κατά τη μετάβαση από το LPZ 0B στο LPZ 1 και από το LPZ 1 στο LPZ 2, ενώ οι απαγωγείς υπέρτασης κατηγορίας III πρέπει να εγκατασταθούν κατά τη μετάβαση από το LPZ 2 στο LPZ 3. Η λειτουργία της κατηγορίας II και κατηγορίας III Οι απαγωγείς υπερτάσεων είναι για τη μείωση της υπολειπόμενης παρεμβολής των σταδίων προστασίας ανάντη και για τον περιορισμό των υπερτάσεων που προκαλούνται ή δημιουργούνται εντός της ανεμογεννήτριας.

4.12.1 Επιλογή SPD με βάση το επίπεδο προστασίας τάσης (U_p) και την ατρωσία του εξοπλισμού

Για να περιγραφεί το U_p σε ένα LPZ, πρέπει να καθοριστούν τα επίπεδα ατρωσίας του εξοπλισμού μέσα σε ένα LPZ, π.χ. για γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας και συνδέσεις εξοπλισμού σύμφωνα με το IEC 61000-4-5 και το IEC 60664-1. για τηλεπικοινωνιακές γραμμές και συνδέσεις εξοπλισμού σύμφωνα με τα IEC 61000-4-5, ITU-T K.20 και ITU-T K.21, και για άλλες γραμμές και συνδέσεις εξοπλισμού σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Οι κατασκευαστές ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων θα πρέπει να είναι σε θέση να παρέχουν τις απαιτούμενες πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο ατρωσίας σύμφωνα με τα πρότυπα EMC. Διαφορετικά, ο κατασκευαστής της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να πραγματοποιήσει δοκιμές για τον προσδιορισμό του επιπέδου ατρωσίας. Το καθορισμένο επίπεδο ατρωσίας των εξαρτημάτων σε

ένα LPZ καθορίζει άμεσα το απαιτούμενο επίπεδο προστασίας τάσης για τα όρια LPZ. Η ατρωσία ενός συστήματος πρέπει να αποδεικνύεται, όπου ισχύει, με όλα τα SPD εγκατεστημένα και τον εξοπλισμό που πρέπει να προστατεύεται.

4.13 Προστασία τροφοδοσίας

Ο μετασχηματιστής μιας ανεμογεννήτριας μπορεί να εγκατασταθεί σε διαφορετικές τοποθεσίες (σε ξεχωριστό σταθμό διανομής, στη βάση του πύργου, στον πύργο, στο αυλάκι). Σε περίπτωση μεγάλων ανεμογεννητριών, για παράδειγμα, το μη θωρακισμένο καλώδιο 20 kV στη βάση του πύργου δρομολογείται στις εγκαταστάσεις μεταγωγής μέσης τάσης που αποτελούνται από διακόπτη κενού, μηχανικά κλειδωμένο αποζεύκτη διακόπτη επιλογέα, διακόπτη εξερχόμενης γείωσης και προστατευτικό ρελέ.

Τα καλώδια MV δρομολογούνται από την εγκατάσταση διακοπών MV στον πύργο της ανεμογεννήτριας στον μετασχηματιστή που βρίσκεται στο αυλάκι. Ο μετασχηματιστής τροφοδοτεί το ερμάριο ελέγχου στη βάση του πύργου, το ερμάριο του εξοπλισμού διανομής στο αυλάκι και το σύστημα βήματος στην πλήμνη μέσω ενός συστήματος TN-C (L1; L2; L3; αγωγός PEN; 3PhY; 3 W+G). Ο πίνακας διακοπών στο αυλάκι τροφοδοτεί τον ηλεκτρικό εξοπλισμό με τάση AC 230/400 V.

Σύμφωνα με το IEC 60364-4-44, όλος ο ηλεκτρικός εξοπλισμός που είναι εγκατεστημένος σε μια ανεμογεννήτρια πρέπει να έχει μια συγκεκριμένη ονομαστική τάση αντοχής σε παλμούς σύμφωνα με την ονομαστική τάση της ανεμογεννήτριας. Αυτό σημαίνει ότι οι απαγωγείς υπέρτασης που πρόκειται να εγκατασταθούν πρέπει να έχουν τουλάχιστον το καθορισμένο επίπεδο προστασίας τάσης ανάλογα με την ονομαστική τάση του συστήματος. Οι απαγωγείς υπέρτασης που χρησιμοποιούνται για την προστασία των συστημάτων τροφοδοσίας 400/690 V πρέπει να έχουν ελάχιστο επίπεδο προστασίας τάσης Πάνω $\leq 2,5$ kV, ενώ οι απαγωγείς υπέρτασης που χρησιμοποιούνται για την προστασία συστημάτων τροφοδοσίας 230/400 V πρέπει να έχουν επίπεδο προστασίας τάσης Πάνω $\leq 1,5$ kV για τη διασφάλιση της προστασίας του ευαίσθητου ηλεκτρικού/ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Για την εκπλήρωση αυτής της

απαίτησης, Πρέπει να εγκατασταθούν συσκευές προστασίας από υπερτάσεις για συστήματα τροφοδοσίας 400/690 V που είναι ικανά να μεταφέρουν ρεύματα κεραυνού κυματομορφής 10/350 μs χωρίς καταστροφή και να διασφαλίζουν επίπεδο προστασίας τάσης Πάνω $\leq 2,5$ kV.

4.13.1 Συστήματα τροφοδοσίας 230/400 V

Η τροφοδοσία τάσης του πίνακα ελέγχου στη βάση του πύργου, του πίνακα διακοπών στο αυλάκι και του συστήματος βήματος στην πλήμνη μέσω συστήματος 230/400 V TN-C (3PhY, 3W+G) πρέπει να προστατεύονται από την κατηγορία II απαγωγείς υπερτάσεων όπως SLP40-275/3S.

4.13.2 Συστήματα τροφοδοσίας 400/690 V

Πρέπει να εγκατασταθούν συντονισμένοι μονοπολικοί απαγωγείς κεραυνού με υψηλό περιορισμό ρεύματος παρακολούθησης για συστήματα τροφοδοσίας 400/690 V όπως το SLP40-750/3S για την προστασία του μετασχηματιστή 400/690 V, μετατροπείς, φίλτρα δικτύου και εξοπλισμός μέτρησης.

4.14 Προστασία των γραμμών γεννήτριας

Λαμβάνοντας υπόψη τις ανοχές υψηλών τάσεων, πρέπει να εγκατασταθούν απαγωγείς υπέρτασης κατηγορίας II για ονομαστικές τάσεις έως 1000 V για την προστασία της περιέλιξης του ρότορα της γεννήτριας και της γραμμής τροφοδοσίας του μετατροπέα. Ένας πρόσθετος αλεξικέραυνος με βάση το διάκενο σπινθήρα με τάση αντοχής ονομαστικής συχνότητας ισχύος $UN/AC = 2,2$ kV (50 Hz) χρησιμοποιείται για την απομόνωση πιθανού και για την πρόληψη της πρόωρης λειτουργίας των απαγωγέων που βασίζονται σε βαρίστορ λόγω διακυμάνσεων τάσης που μπορεί να συμβούν κατά τη λειτουργία του μετατροπέα. Ένας αρθρωτός τριπολικός απαγωγέας υπερτάσεων κατηγορίας II με αυξημένη ονομαστική τάση του βαρίστορ για συστήματα 690 V είναι εγκατεστημένος σε κάθε πλευρά του στάτη της γεννήτριας.

Οι αρθρωτοί τριπολικοί απαγωγείς υπέρτασης κατηγορίας II τύπου SLP40-750/3S είναι σχεδιασμένοι ειδικά για ανεμογεννήτριες. Έχουν ονομαστική τάση

του βαρίστορ Umov 750 V AC, λαμβάνοντας υπόψη τις διακυμάνσεις της τάσης που μπορεί να συμβούν κατά τη λειτουργία.

4.15 Απαγωγείς υπερτάσεων για συστήματα πληροφορικής

Οι απαγωγείς υπερτάσεων για την προστασία ηλεκτρονικού εξοπλισμού σε δίκτυα τηλεπικοινωνιών και σηματοδότησης από τις έμμεσες και άμεσες επιπτώσεις των κεραυνών και άλλων παροδικών υπερτάσεων περιγράφονται στο IEC 61643-21 και είναι εγκατεστημένοι στα όρια της ζώνης σύμφωνα με την ιδέα της ζώνης αντικεραυνικής προστασίας.

Οι απαγωγείς πολλαπλών σταδίων πρέπει να σχεδιάζονται χωρίς τυφλά σημεία. Πρέπει να βεβαιωθείτε ότι τα διαφορετικά στάδια προστασίας συντονίζονται μεταξύ τους, διαφορετικά δεν θα ενεργοποιηθούν όλα τα στάδια προστασίας, προκαλώντας σφάλματα στη διάταξη προστασίας από υπερτάσεις.

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, τα καλώδια από γυάλινες ίνες χρησιμοποιούνται για τη δρομολόγηση των γραμμών πληροφορικής σε μια ανεμογεννήτρια και για τη σύνδεση των ντουλαπιών ελέγχου από τη βάση του πύργου στο αυλάκι. Η καλωδίωση μεταξύ των ενεργοποιητών και των αισθητήρων και των ντουλαπιών ελέγχου υλοποιείται με θωρακισμένα χάλκινα καλώδια. Εφόσον αποκλείονται οι παρεμβολές από ηλεκτρομαγνητικό περιβάλλον, τα καλώδια από γυάλινες ίνες δεν χρειάζεται να προστατεύονται με απαγωγείς υπερτάσεων εκτός εάν το καλώδιο από ίνες γυαλιού έχει μεταλλικό περίβλημα το οποίο πρέπει να ενσωματωθεί απευθείας στη σύνδεση ισοδυναμικού ή μέσω διατάξεων προστασίας από υπερτάσεις.

Γενικά, οι ακόλουθες θωρακισμένες γραμμές σήματος που συνδέουν τους ενεργοποιητές και τους αισθητήρες με τους θαλάμους ελέγχου πρέπει να προστατεύονται από συσκευές προστασίας από υπερτάσεις:

- Γραμμές σήματος του μετεωρολογικού σταθμού στον ιστό αισθητήρα.
- Γραμμές σήματος που δρομολογούνται μεταξύ της ατράκτου και του συστήματος βήματος στην πλήμνη.
- Γραμμές σήματος για το σύστημα γηπέδου.

- Γραμμές σήματος του μετεωρολογικού σταθμού

Οι γραμμές σήματος (διασυνδέσεις 4 – 20 mA) μεταξύ των αισθητήρων του μετεωρολογικού σταθμού και του πίνακα διακοπών δρομολογούνται από το LPZ 0B στο LPZ 2 και μπορούν να προστατεύονται μέσω του FLD2-24. Αυτοί οι συνδυασμένοι απαγωγείς εξοικονόμησης χώρου προστατεύουν δύο ή τέσσερις μεμονωμένες γραμμές με κοινό δυναμικό αναφοράς καθώς και μη ισορροπημένες διεπαφές και διατίθενται με άμεση ή έμμεση γείωση θωράκισης. Για τη γείωση θωράκισης χρησιμοποιούνται δύο εύκαμπτοι ακροδέκτες ελατηρίου για μόνιμη επαφή θωράκισης χαμηλής σύνθετης αντίστασης με την προστατευμένη και απροστάτευτη πλευρά του απαγωγέα.

4.16 Εργαστηριακές δοκιμές σύμφωνα με το IEC 61400-24

Το IEC 61400-24 περιγράφει δύο βασικές μεθόδους για την εκτέλεση δοκιμών ατρωσίας σε επίπεδο συστήματος για ανεμογεννήτριες:

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών παλμικού ρεύματος υπό συνθήκες λειτουργίας, παλμικά ρεύματα ή μερικά ρεύματα κεραυνού εγχέονται στις επιμέρους γραμμές ενός συστήματος ελέγχου ενώ υπάρχει τάση τροφοδοσίας. Με αυτόν τον τρόπο, ο εξοπλισμός που πρόκειται να προστατευτεί, συμπεριλαμβανομένων όλων των SPD, υποβάλλεται σε δοκιμή παλμικού ρεύματος.

Η δεύτερη μέθοδος δοκιμής προσομοιώνει τα ηλεκτρομαγνητικά αποτελέσματα των ηλεκτρομαγνητικών παλμών του κεραυνού (LEMPs). Το πλήρες ρεύμα κεραυνού εγχέεται στη δομή που εκκενώνει το ρεύμα κεραυνού και η συμπεριφορά του ηλεκτρικού συστήματος αναλύεται μέσω της όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικής προσομοίωσης της καλωδίωσης υπό συνθήκες λειτουργίας. Η απότομη τάση του κεραυνικού ρεύματος είναι μια αποφασιστική παράμετρος δοκιμής.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

5.1 Αντικεραυνική προστασία για φωτοβολταϊκά συστήματα ταράτσας

Με βάση το γεγονός ότι η αυτοπαραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι γενικά φθηνότερη και παρέχει υψηλό βαθμό ηλεκτρικής ανεξαρτησίας από το δίκτυο, τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα γίνουν αναπόσπαστο μέρος των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων στο μέλλον. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα είναι εκτεθειμένα σε όλες τις καιρικές συνθήκες και πρέπει να τις αντέχουν για δεκαετίες.

Τα καλώδια των φωτοβολταϊκών συστημάτων εισέρχονται συχνά στο κτίριο και εκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις μέχρι να φτάσουν στο σημείο σύνδεσης του δικτύου. Οι εκκενώσεις κεραυνών προκαλούν ηλεκτρικές παρεμβολές. Αυτό το φαινόμενο αυξάνεται με την αύξηση του μήκους των καλωδίων και των αγώγιμων βρόχων. Οι υπερτάσεις δεν καταστρέφουν μόνο τις φωτοβολταϊκές μονάδες, τους μετατροπείς και τα ηλεκτρονικά συστήματα παρακολούθησης αλλά και τις συσκευές στην κτιριακή εγκατάσταση. Οι εγκαταστάσεις παραγωγής βιομηχανικών κτιρίων μπορεί επίσης να υποστούν εύκολα ζημιές και η παραγωγή μπορεί να σταματήσει.

5.1.1 Η αναγκαιότητα ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας ταράτσας

Η ενέργεια που απελευθερώνεται από μια εκκένωση κεραυνού είναι μια από τις πιο συχνές αιτίες πυρκαγιάς. Ως εκ τούτου, η αντικεραυνική προστασία είναι υψίστης σημασίας σε περίπτωση άμεσου κεραυνού στο κτίριο.

Οι οικοδομικοί κανονισμοί ορισμένων χωρών απαιτούν τα δημόσια κτίρια (π.χ. χώροι δημόσιας συγκέντρωσης, σχολεία και νοσοκομεία) να είναι εξοπλισμένα με σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Σε περίπτωση βιομηχανικών ή ιδιωτικών κτιρίων, εξαρτάται από τη θέση, τον τύπο κατασκευής και τη χρήση τους εάν πρέπει να εγκατασταθεί σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.

Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί ο κίνδυνος που προκύπτει από έναν κεραυνό σύμφωνα με το IEC 62305-2 (EN 62305-2) και να ληφθούν υπόψη

τα αποτελέσματα από αυτήν την ανάλυση κινδύνου κατά την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Η ενότητα 4.5 (Διαχείριση κινδύνου) του Συμπληρώματος 5 του γερμανικού προτύπου DIN EN 62305-3 περιγράφει ότι ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας που έχει σχεδιαστεί για την κατηγορία LPS III (LPL III) πληροί τις συνήθεις απαιτήσεις για Φ/Β συστήματα. Επιπλέον, τα επαρκή μέτρα αντικεραυνικής προστασίας αναφέρονται στη γερμανική κατευθυντήρια γραμμή VdS 2010 (Προστασία από κεραυνούς και υπερτάσεις προσανατολισμένη στον κίνδυνο) που δημοσιεύτηκε από τη Γερμανική Ένωση Ασφαλίσεων. Αυτή η κατευθυντήρια γραμμή απαιτεί επίσης να εγκατασταθεί το LPL III και, επομένως, ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας σύμφωνα με την κατηγορία του LPS III για φωτοβολταϊκά συστήματα στέγης ($> 10 \text{ kW p}$) και να ληφθούν μέτρα προστασίας από υπερτάσεις. Κατά γενικό κανόνα, τα φωτοβολταϊκά συστήματα ταράτσας δεν πρέπει να παρεμβαίνουν στα υφιστάμενα μέτρα αντικεραυνικής προστασίας.

5.1.2 Δρομολόγηση καλωδίων Φ/Β συστημάτων

Τα καλώδια πρέπει να δρομολογούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται οι μεγάλοι βρόχοι αγωγών. Αυτό πρέπει να τηρείται όταν συνδυάζονται τα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος για να σχηματίσουν μια χορδή και κατά τη διασύνδεση πολλών χορδών. Επιπλέον, οι γραμμές δεδομένων ή αισθητήρων δεν πρέπει να δρομολογούνται σε πολλές σειρές και να σχηματίζουν μεγάλους βρόχους αγωγών. Αυτό πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη κατά τη σύνδεση του μετατροπέα στη σύνδεση δικτύου. Για το λόγο αυτό, οι γραμμές ισχύος (dc και ac) και δεδομένων (π.χ. αισθητήρας ακτινοβολίας, παρακολούθηση απόδοσης) πρέπει να δρομολογούνται μαζί με τους αγωγούς ισοδυναμικής σύνδεσης σε όλη τη διαδρομή τους.

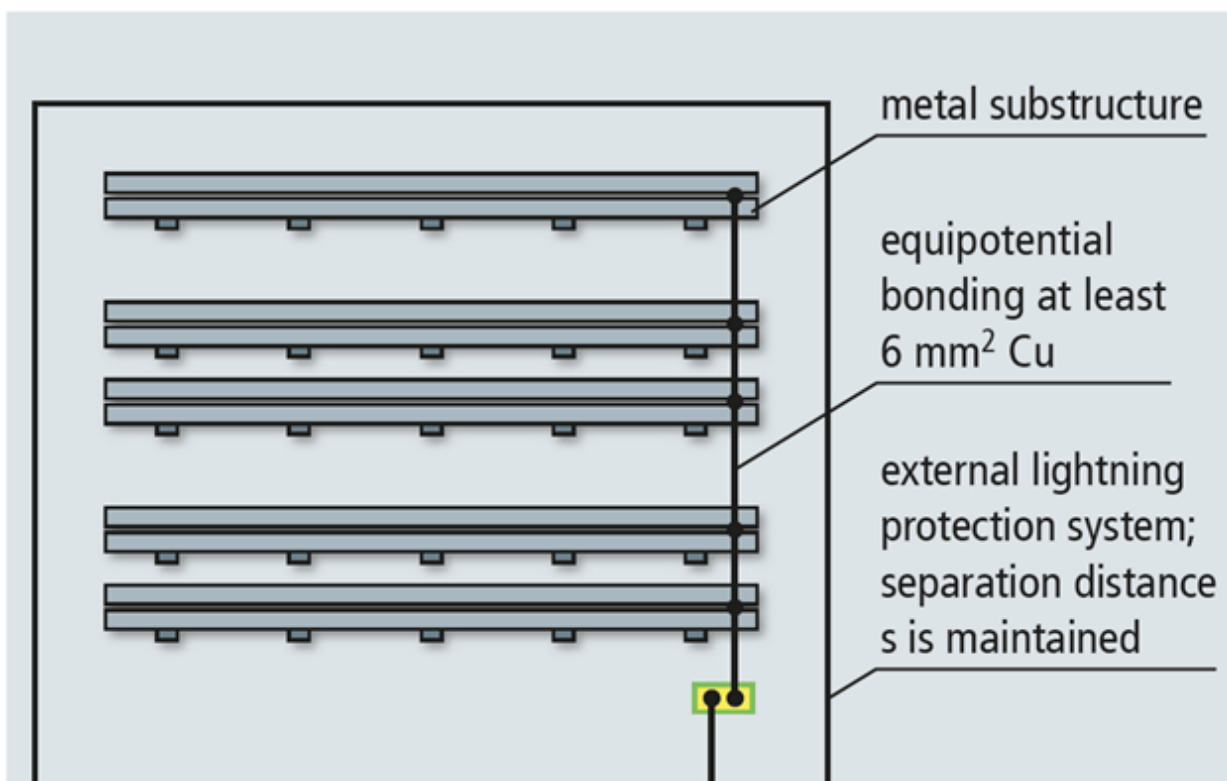
5.1.3 Γείωση Φ/Β συστημάτων

Οι φωτοβολταϊκές μονάδες συνήθως στερεώνονται σε μεταλλικά συστήματα στερέωσης. Τα ηλεκτροφόρα φωτοβολταϊκά εξαρτήματα στην πλευρά συνεχούς

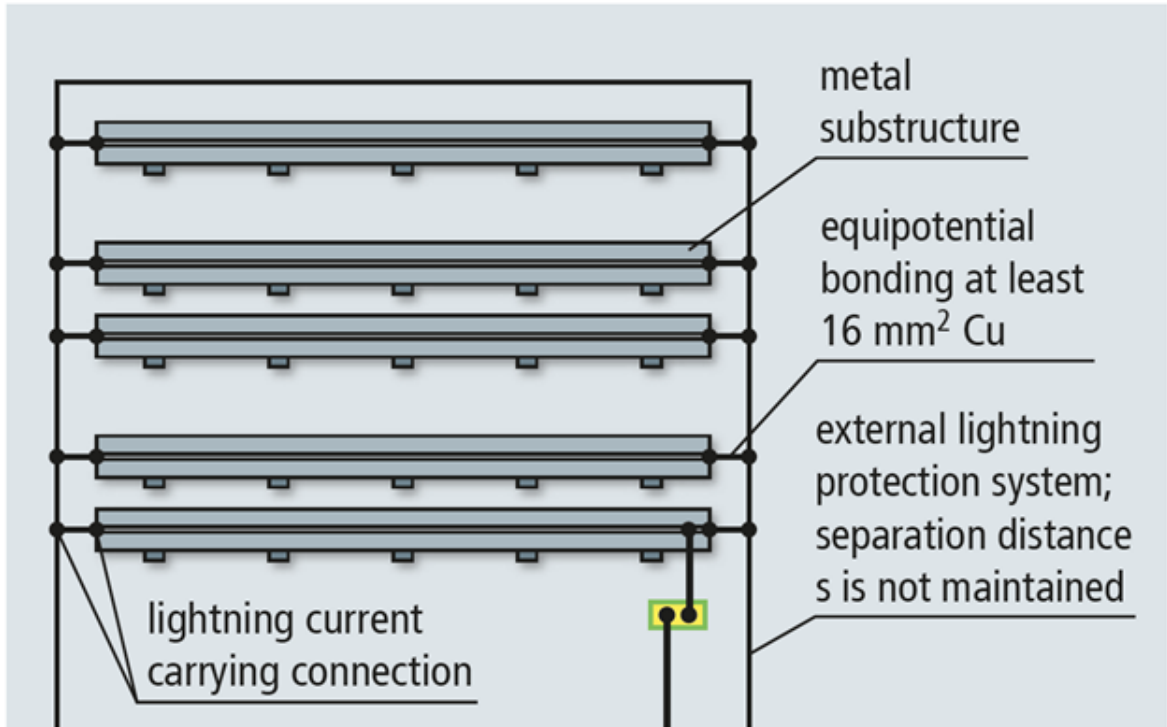
ρεύματος διαθέτουν διπλή ή ενισχυμένη μόνωση (συγκρίσιμη με την προηγούμενη προστατευτική μόνωση) όπως απαιτείται στο πρότυπο IEC 60364-4-41. Ο συνδυασμός πολυάριθμων τεχνολογιών στην πλευρά της μονάδας και του μετατροπέα (π.χ. με ή χωρίς γαλβανική μόνωση) έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικές απαιτήσεις γείωσης. Επιπλέον, το σύστημα παρακολούθησης μόνωσης που είναι ενσωματωμένο στους μετατροπείς είναι μόνιμα αποτελεσματικό μόνο εάν το σύστημα τοποθέτησης είναι συνδεδεμένο στη γείωση. Πληροφορίες για την πρακτική εφαρμογή παρέχονται στο Συμπλήρωμα 5 του γερμανικού προτύπου DIN EN 62305-3. Η μεταλλική υποδομή γειώνεται λειτουργικά εάν το φωτοβολταϊκό σύστημα βρίσκεται στον προστατευμένο όγκο των συστημάτων τερματισμού αέρα και διατηρείται η απόσταση διαχωρισμού.2 ή ισοδύναμο για λειτουργική γείωση (Σχήμα 5-1). Οι ράγες στερέωσης πρέπει επίσης να συνδέονται μόνιμα με αγωγούς αυτής της διατομής. Εάν το σύστημα στερέωσης είναι απευθείας συνδεδεμένο με το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας λόγω του γεγονότος ότι η απόσταση διαχωρισμού s δεν μπορεί να διατηρηθεί, αυτοί οι αγωγοί γίνονται μέρος του συστήματος αντικεραυνικής εξισορρόπησης δυναμικού. Κατά συνέπεια, αυτά τα στοιχεία πρέπει να είναι ικανά να μεταφέρουν ρεύματα κεραυνού. Η ελάχιστη απαίτηση για ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας σχεδιασμένο για κατηγορία LPS III είναι ένας χάλκινος αγωγός με διατομή 16 mm^2 ή ισοδύναμο. Επίσης, σε αυτή την περίπτωση, οι ράγες στερέωσης πρέπει να συνδέονται μόνιμα με αγωγούς αυτής της διατομής (Σχήμα 5-2). Ο λειτουργικός αγωγός εξισορρόπησης δυναμικού γείωσης / κεραυνού θα πρέπει να δρομολογείται παράλληλα και όσο το δυνατόν πιο κοντά στα καλώδια / γραμμές dc και ac.

Οι σφιγκτήρες γείωσης UNI (Εικόνα 5-1) μπορούν να στερεωθούν σε όλα τα κοινά συστήματα στερέωσης. Συνδέονται, για παράδειγμα, χάλκινους αγωγούς με διατομή 6 ή 16 mm^2 και σύρματα γυμνής γείωσης με διάμετρο από 8 έως 10 mm στο σύστημα στερέωσης με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να μεταφέρουν ρεύματα κεραυνού. Η ενσωματωμένη πλάκα επαφής από ανοξείδωτο χάλυβα (V4A) εξασφαλίζει αντιδιαβρωτική προστασία για τα συστήματα στερέωσης αλουμινίου.

Απόσταση διαχωρισμού s σύμφωνα με το IEC 62305-3 (EN 62305-3) Πρέπει να τηρείται μια συγκεκριμένη απόσταση διαχωρισμού s μεταξύ ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας και ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Καθορίζει την απόσταση που απαιτείται για την αποφυγή ανεξέλεγκτου φλας σε παρακείμενα μεταλλικά μέρη που προκύπτουν από κεραυνό στο εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Στη χειρότερη περίπτωση, μια τέτοια ανεξέλεγκτη αναρρόφηση μπορεί να βάλει φωτιά σε ένα κτίριο. Σε αυτήν την περίπτωση, η ζημιά στο φωτοβολταϊκό σύστημα καθίσταται άσχετη.



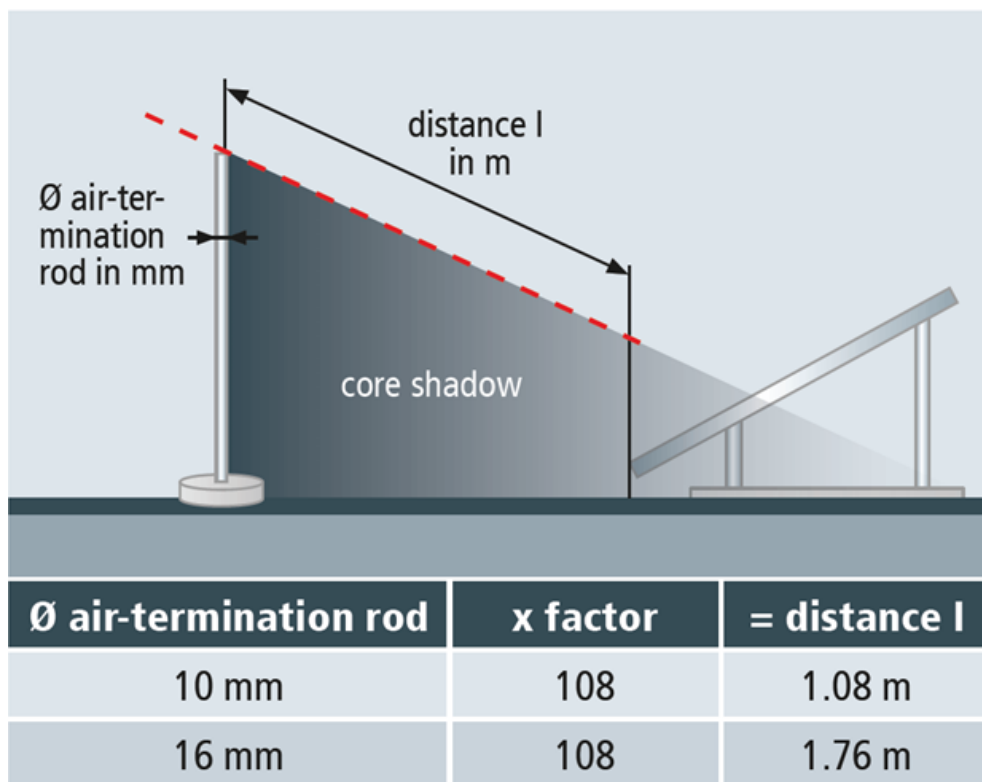
Σχήμα 5-1 Λειτουργική γείωση των συστημάτων στερέωσης



Σχήμα 5-2 Αστραπιαία ισοδυναμική συγκόλληση για τα συστήματα στερέωσης



Εικόνα 5-1 Σφιγκτήρας γείωσης UNI

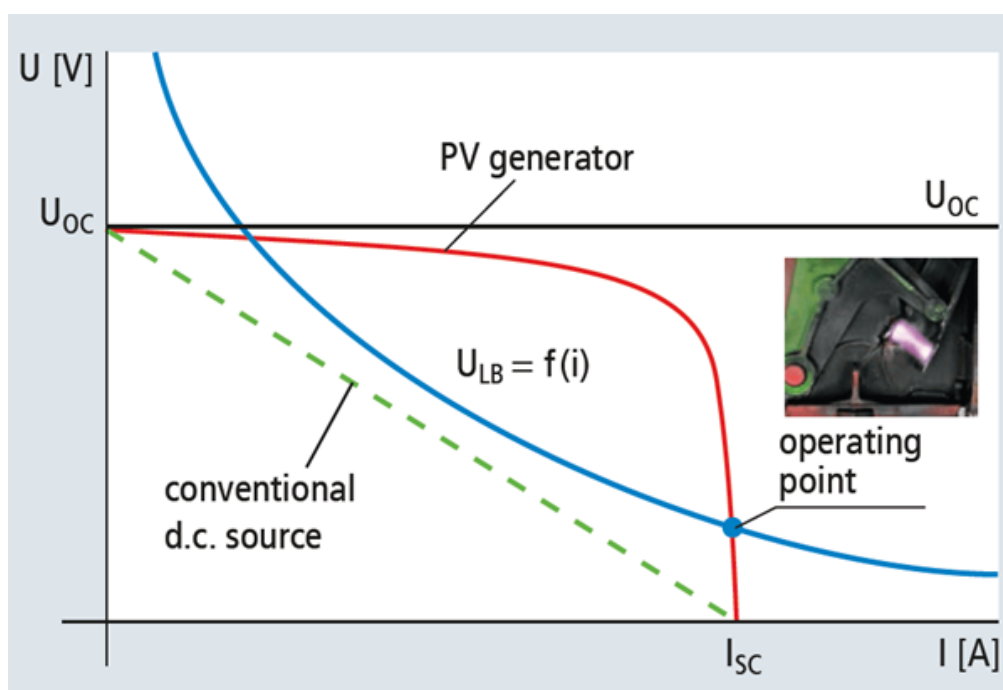


Σχήμα 5-3 Απόσταση μεταξύ της μονάδας και της ράβδου τερματισμού αέρα Σκιές πυρήνων σε ηλιακά κύτταρα

Η απόσταση μεταξύ της ηλιακής γεννήτριας και του εξωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας είναι απολύτως απαραίτητη για την αποφυγή υπερβολικής σκίασης. Οι διάχυτες σκιές που δημιουργούνται από, για παράδειγμα, εναέριες γραμμές, δεν επηρεάζουν σημαντικά το φωτοβολταϊκό σύστημα και την απόδοση. Ωστόσο, στην περίπτωση των σκιών του πυρήνα, μια σκοτεινή σκιά με ξεκάθαρο περίγραμμα ρίχνεται στην επιφάνεια πίσω από ένα αντικείμενο, αλλάζοντας το ρεύμα που ρέει μέσω των φωτοβολταϊκών μονάδων. Για το λόγο αυτό, τα ηλιακά κύτταρα και οι σχετικές διόδους παράκαμψης δεν πρέπει να επηρεάζονται από τις σκιές του πυρήνα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη διατήρηση επαρκούς απόστασης. Για παράδειγμα, εάν μια ράβδος τερματισμού αέρα με διάμετρο 10 mm σκιάζει μια μονάδα, η σκιά του πυρήνα μειώνεται σταθερά καθώς αυξάνεται η απόσταση από τη μονάδα. Μετά από 1,08 m μόνο μια διάχυτη σκιά ρίχνεται στη μονάδα (Σχήμα 5-3).

5.1.4 Ειδικές συσκευές προστασίας από υπερτάσεις για το συνεχές ρεύμα φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα χαρακτηριστικά U/I των πηγών φωτοβολταϊκού ρεύματος είναι πολύ διαφορετικά από αυτά των συμβατικών πηγών συνεχούς ρεύματος: Έχουν ένα μη γραμμικό χαρακτηριστικό (Διάγραμμα 5-1) και προκαλούν μακροχρόνια παραμονή των αναφλεγόμενων τόξων. Αυτή η μοναδική φύση των φωτοβολταϊκών πηγών ρεύματος δεν απαιτεί μόνο μεγαλύτερους φωτοβολταϊκούς διακόπτες και φωτοβολταϊκές ασφάλειες, αλλά και έναν αποζεύκτη για τη διάταξη προστασίας από υπερτάσεις που είναι προσαρμοσμένη σε αυτή τη μοναδική φύση και ικανή να αντιμετωπίσει τα φωτοβολταϊκά ρεύματα. Το συμπλήρωμα 5 του γερμανικού προτύπου DIN EN 62305-3 (υποενότητα 5.6.1, Πίνακας 1) περιγράφει την επιλογή των κατάλληλων SPD (surge protective devices)



Διάγραμμα 5-1 Χαρακτηριστικό πηγής μιας συμβατικής πηγής συνεχούς ρεύματος έναντι

Για τη διευκόλυνση της επιλογής των SPD τύπου 1, οι πίνακες 1 και 2 δείχνουν την απαιτούμενη ικανότητα μεταφοράς ρεύματος κεραυνού I_{imp} ανάλογα με την κατηγορία LPS, έναν αριθμό κάτω αγωγών των εξωτερικών συστημάτων

αντικεραυνικής προστασίας καθώς και τον τύπο SPD (τάση- περιοριστικό απαγωγέα με βάση βαρίστορ ή αλεξικέραυνο με εναλλαγή τάσης με βάση το διάκενο σπινθήρα). Πρέπει να χρησιμοποιούνται SPD που συμμορφώνονται με το ισχύον πρότυπο EN 50539-11. Η υποενότητα 9.2.2.7 του CENELEC CLC/TS 50539-12 αναφέρεται επίσης σε αυτό το πρότυπο.

Πίνακας 5-1 Επιλογή της ελάχιστης ικανότητας εκφόρτισης SPD τύπου 1 περιορισμού τάσης (βαρίστορ) ή συνδυασμένων SPD τύπου

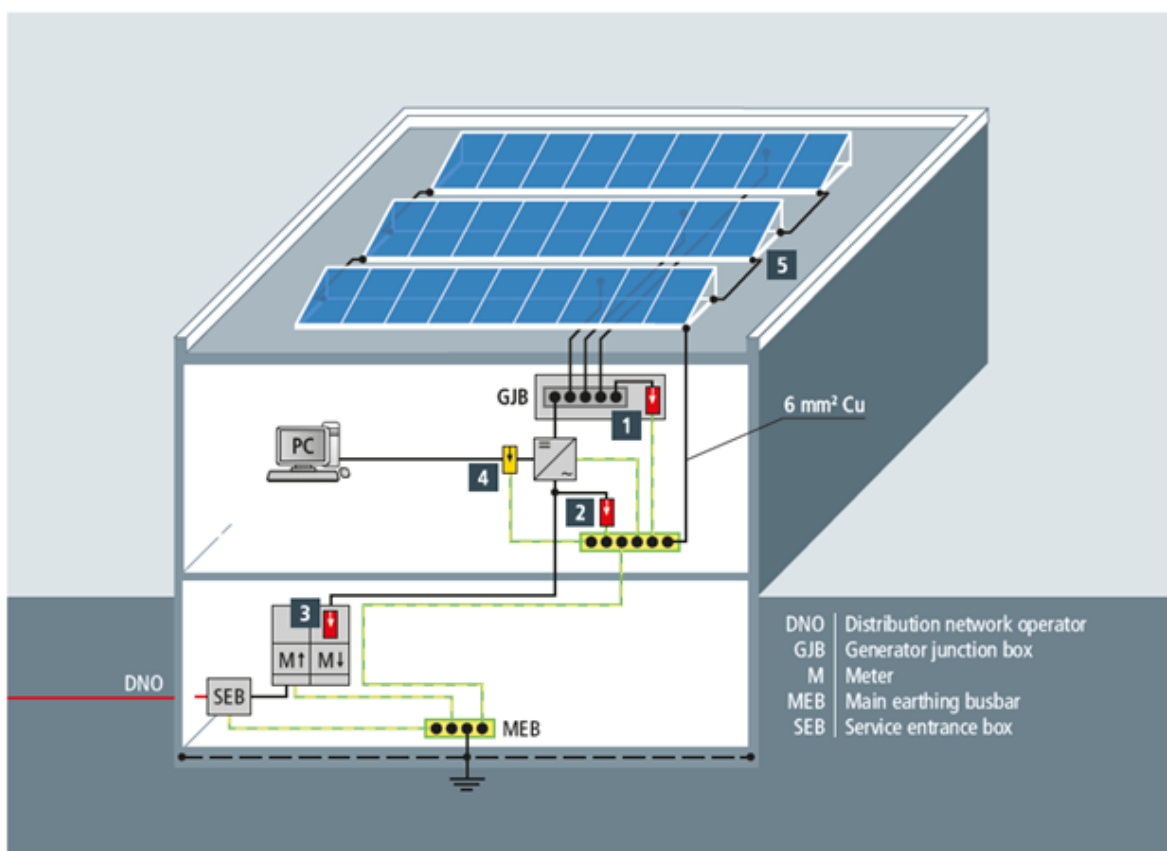
Class of LPS and max. lightning current (10/350 μ s)		Number of down conductors of the external lightning protection system			
		< 4		≥ 4	
		Values for the voltage-limiting type 1 SPDs or type 1 combined SPDs (series connection) based on a selection of $I_{8/20}$ (8/20 μ s) and $I_{10/350}$ (10/350 μ s)			
		$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ $I_{8/20}/I_{10/350}$	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{total}$ $I_{8/20}/I_{10/350}$	$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ $I_{8/20}/I_{10/350}$	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{total}$ $I_{8/20}/I_{10/350}$
I or unknown	200 kA	17/10	34/20	10/5	20/10
II	150 kA	12.5/7.5	25/15	7.5/3.75	15/7.5
III and IV	100 kA	8.5/5	17/10	5/2.5	10/5

Πίνακας 5-2 Επιλογή της ελάχιστης ικανότητας εκφόρτισης των SPD τύπου 1 μεταγωγής τάσης (κενά σπινθήρα) ή συνδυασμένων SPD τύπου 1

Class of LPS and max. lightning current (10/350 μ s)		Number of down conductors of the external lightning protection system			
		< 4		≥ 4	
		Values for the voltage-switching type 1 SPDs or type 1 combined SPDs (parallel connection)			
		$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ I_{imp}	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{total}$ I_{imp}	$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ I_{imp}	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{total}$ I_{imp}
I or unknown	200 kA	25	50	12.5	25
II	150 kA	18.5	37.5	9	18
III and IV	100 kA	12.5	25	6.25	12.5

5.1.5 Παραδείγματα εφαρμογών

5.1.5.1 Κτίριο χωρίς εξωτερικό LPS - κατάσταση A



No. in Fig.		SPD	* FM = Floating remote signalling contact	Part No.
d.c. input of the inverter				
1	Per MPPT	DEHNguard DG M YPV SCI 1000 FM *		952 515
	For 1 MPPT	DEHNcube DCU YPV SCI 1000 1M		900 910
	For 2 MPPTs	DEHNcube DCU YPV SCI 1000 2M		900 920
a.c. output of the inverter				
2	TN-S system	DEHNguard DG M TNS 275 FM *		952 405
Low-voltage input				
3	TN-C system	DEHNguard DG M TNC CI 275 FM *		952 309
	TN-S system	DEHNguard DG M TNS CI 275 FM *		952 406
	TT system	DEHNguard DG M TT CI 275 FM *		952 327
Data interface				
4	Two pairs, even with different operating voltages up to 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML4 BD 0-180 + BXT BAS base part		920 349 + 920 300
Functional earthing				
5	Functional equipotential bonding	UNI earthing clamp		540 250

Σχήμα 5-4 Κτίριο χωρίς εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (κατάσταση A)

Το Σχήμα 12 δείχνει την ιδέα της προστασίας από υπερτάσεις για ένα Φ/Β σύστημα εγκατεστημένο σε κτίριο χωρίς εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Επικίνδυνες υπερτάσεις εισέρχονται στο φωτοβολταϊκό σύστημα λόγω επαγωγικής σύζευξης που προκύπτουν από κοντινούς κεραυνούς ή μετακινούνται από το σύστημα παροχής ρεύματος μέσω της εισόδου σέρβις στην εγκατάσταση του καταναλωτή. Τα SPD τύπου 2 πρέπει να εγκατασταθούν στις ακόλουθες θέσεις:

- dc πλευρά των μονάδων και των μετατροπέων
- Έξοδος εναλλασσόμενου ρεύματος του μετατροπέα
- Κύριος πίνακας διανομής χαμηλής τάσης
- Ενσύρματες διεπαφές επικοινωνίας

Κάθε είσοδος συνεχούς ρεύματος (MPP) του μετατροπέα πρέπει να προστατεύεται από μια διάταξη προστασίας από υπερτάσεις τύπου 2, για παράδειγμα, της σειράς SLP40-PV, που προστατεύει αξιόπιστα την πλευρά συνεχούς ρεύματος των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το πρότυπο CENELEC CLC/TS 50539-12 απαιτεί την εγκατάσταση πρόσθετου απαγωγέα συνεχούς ρεύματος τύπου 2 στην πλευρά της μονάδας εάν η απόσταση μεταξύ της εισόδου του μετατροπέα και της φωτοβολταϊκής γεννήτριας υπερβαίνει τα 10 m.

Οι έξοδοι εναλλασσόμενου ρεύματος των μετατροπέων προστατεύονται επαρκώς εάν η απόσταση μεταξύ των φωτοβολταϊκών μετατροπέων και του τόπου εγκατάστασης του απαγωγέα τύπου 2 στο σημείο σύνδεσης του δικτύου (εισαγωγή χαμηλής τάσης) είναι μικρότερη από 10 m. Σε περίπτωση μεγαλύτερου μήκους καλωδίου, μια πρόσθετη συσκευή προστασίας από υπερτάσεις τύπου 2, για παράδειγμα, σειράς SLP40-275, πρέπει να εγκατασταθεί ανάντη του εναλλασσόμενου ρεύματος της εισόδου του μετατροπέα σύμφωνα με το CENELEC CLC/TS 50539-12.

Επιπλέον, πρέπει να εγκατασταθεί μια συσκευή προστασίας από υπερτάσεις της σειράς 2 SLP40-275 ανάντη του μετρητή της τροφοδοσίας χαμηλής τάσης. Το CI (Circuit Interruption) σημαίνει μια συντονισμένη ασφάλεια ενσωματωμένη στην προστατευτική διαδρομή του απαγωγέα, επιτρέποντας στον απαγωγέα να

χρησιμοποιείται στο κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίς πρόσθετη εφεδρική ασφάλεια. Η σειρά SLP40-275 είναι διαθέσιμη για κάθε διαμόρφωση συστήματος χαμηλής τάσης (TN-C, TN-S, TT).

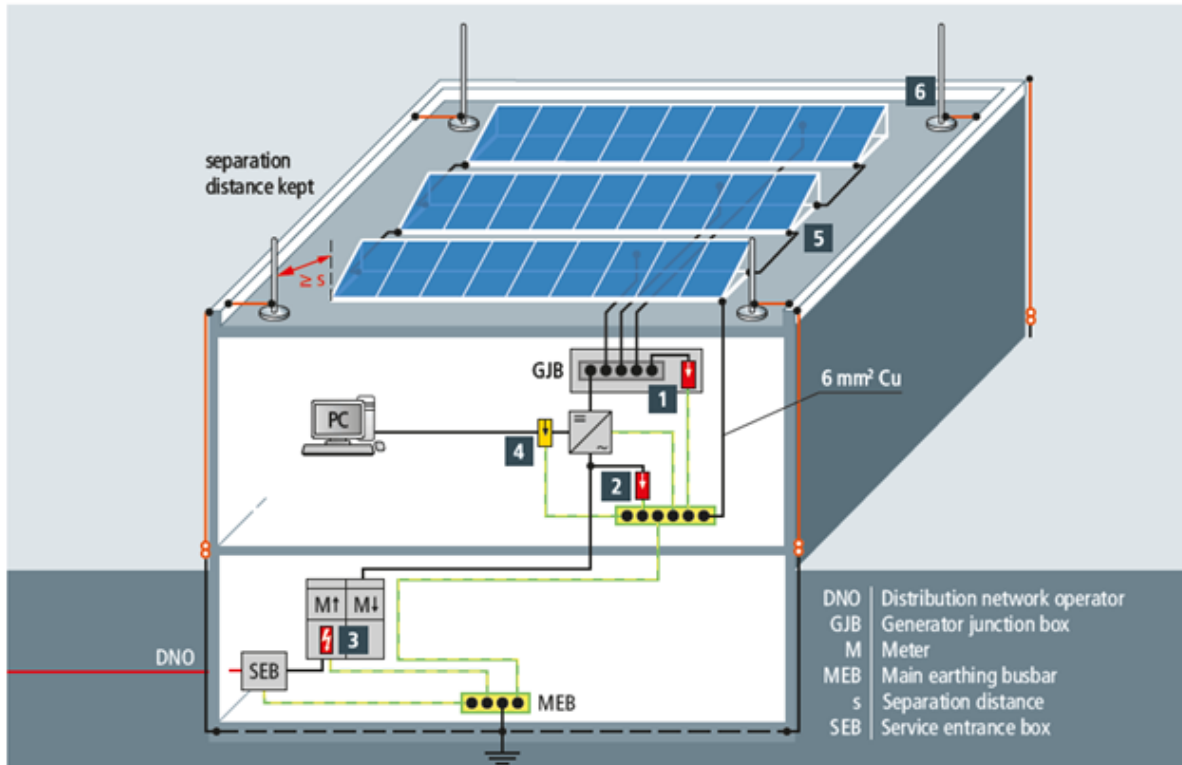
Εάν οι μετατροπείς είναι συνδεδεμένοι σε γραμμές δεδομένων και αισθητήρων για την παρακολούθηση της απόδοσης, απαιτούνται κατάλληλες συσκευές προστασίας από υπερτάσεις. Η σειρά FLD2, η οποία διαθέτει τερματικά για δύο ζεύγη, για παράδειγμα για εισερχόμενες και εξερχόμενες γραμμές δεδομένων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συστήματα δεδομένων που βασίζονται στο RS 485.

5.1.5.2 Κτίριο με εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας και επαρκή απόσταση διαχωρισμού s (κατάσταση B)

Το Σχήμα 5-5 Κτίριο με εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας και επαρκή απόσταση διαχωρισμού s (κατάσταση B) δείχνει την ιδέα της προστασίας από υπερτάσεις για ένα Φ/Β σύστημα με εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας και επαρκή απόσταση διαχωρισμού μεταξύ του φωτοβολταϊκού συστήματος και του εξωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας.

Ο πρωταρχικός στόχος προστασίας είναι η αποφυγή ζημιών σε πρόσωπα και περιουσίες (πυρκαγιά κτιρίου) ως αποτέλεσμα κεραυνού. Σε αυτό το πλαίσιο, είναι σημαντικό το ΦΒ σύστημα να μην παρεμβαίνει στο εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Επιπλέον, το ίδιο το Φ/Β σύστημα πρέπει να προστατεύεται από άμεσους κεραυνούς. Αυτό σημαίνει ότι το Φ/Β σύστημα πρέπει να εγκατασταθεί στον προστατευμένο όγκο του εξωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Αυτός ο προστατευμένος όγκος σχηματίζεται από συστήματα τερματισμού αέρα (π.χ. ράβδοι τερματισμού αέρα) που αποτρέπουν απευθείας κεραυνούς στις φωτοβολταϊκές μονάδες και τα καλώδια. Η μέθοδος προστατευτικής γωνίας (Εικόνα 5-2) ή μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας (Σχήμα 5-6) όπως περιγράφεται στην υποενότητα 5.2.2 του προτύπου IEC 62305-3 (EN 62305-3) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό αυτού του προστατευμένου όγκου. Πρέπει να τηρείται μια ορισμένη απόσταση διαχωρισμού μεταξύ όλων των αγωγίμων τμημάτων του φωτοβολταϊκού συστήματος και του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Σε αυτό το πλαίσιο, οι σκιές του

πυρήνα πρέπει να αποτρέπονται, για παράδειγμα, με τη διατήρηση επαρκούς απόστασης μεταξύ των ράβδων τερματισμού αέρα και της φωτοβολταϊκής μονάδας.



No. in Fig.		SPD	* FM = Floating remote signalling contact	Part No.
d.c. input of the inverter				
1	Per MPPT	DEHNguard DG M YPV SCI 1000 FM *		952 515
	For 1 MPPT	DEHNCube DCU YPV SCI 1000 1M		900 910
	For 2 MPPTs	DEHNCube DCU YPV SCI 1000 2M		900 920
a.c. output of the inverter				
2	TN-S system	DEHNguard DG M TNS 275 FM *		952 405
Low-voltage input				
3	TN-C system	DEHNventil DV M TNC 255 FM *		951 305
	TN-S system	DEHNventil DV M TNS 255 FM *		951 405
	TT system	DEHNventil DV M TT 255 FM *		951 315
Data interface				
4	Two pairs, even with different operating voltages up to 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML4 BD 0-180 + BXT BAS base part		920 349 + 920 300
Functional earthing / External lightning protection system				
5	Functional equipotential bonding	UNI earthing clamp		540 250
6	Air-termination system	Air-termination rod with concrete base (8.5 kg)		101 000 + 102 075

Σχήμα 5-5 Κτίριο με εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας και επαρκή απόσταση διαχωρισμού s (κατάσταση Β)

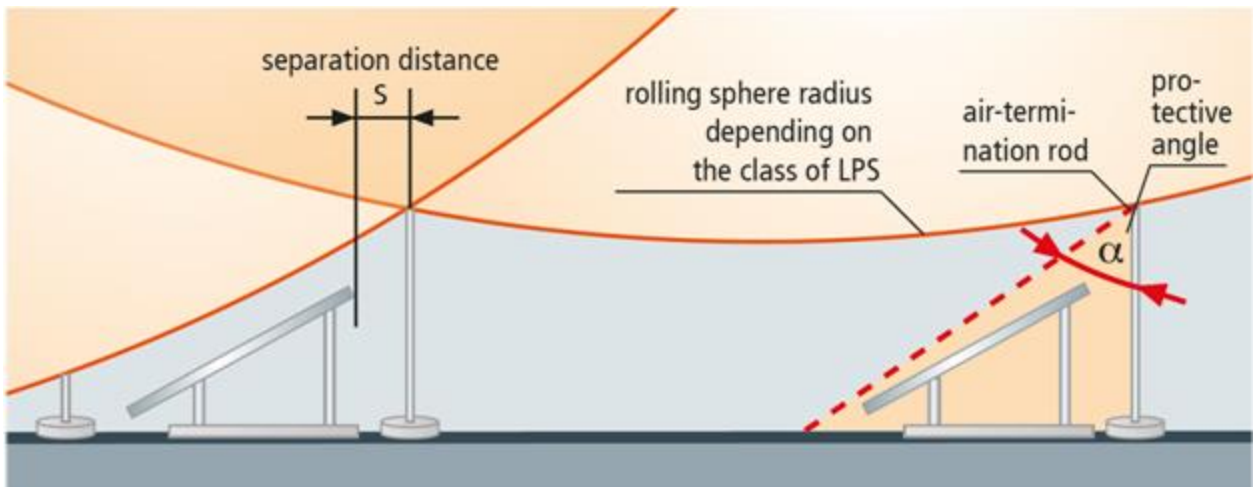
Η αντικεραυνική ισοδυναμική συγκόλληση είναι αναπόσπαστο μέρος ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Πρέπει να εφαρμόζεται για όλα τα αγωγήματα συστήματα και τις γραμμές που εισέρχονται στο κτίριο που ενδέχεται να μεταφέρουν ρεύματα κεραυνού. Αυτό επιτυγχάνεται με την απευθείας σύνδεση όλων των μεταλλικών συστημάτων και την έμμεση σύνδεση όλων των συστημάτων που ενεργοποιούνται μέσω αλεξικέραυνων τύπου 1 με το σύστημα τερματισμού γείωσης. Η ισοδυναμική συγκόλληση κεραυνών θα πρέπει να εφαρμόζεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο εισόδου στο κτίριο για να αποτραπεί η είσοδος μερικών ρευμάτων κεραυνού στο κτίριο. Το σημείο σύνδεσης του δικτύου πρέπει να προστατεύεται από ένα πολυπολικό SPD τύπου 1 με βάση το διάκενο σπινθήρα, για παράδειγμα, έναν συνδυασμένο απαγωγέα. Αυτός ο απαγωγέας συνδυάζει έναν αλεξικέραυνο ρεύματος και έναν αλεξικέραυνο σε μία μόνο συσκευή. Εάν τα μήκη καλωδίων μεταξύ του απαγωγέα και του μετατροπέα είναι μικρότερα από 10 m, παρέχεται επαρκής προστασία. Σε περίπτωση μεγαλύτερου μήκους καλωδίου, πρέπει να εγκατασταθούν πρόσθετες συσκευές προστασίας από υπερτάσεις τύπου 2 ανάντη του εναλλασσόμενου ρεύματος της εισόδου των μετατροπέων σύμφωνα με το CENELEC CLC/TS 50539-12.

5.1.6 Μονωμένο αγωγός HVI, ανθεκτικός στην υψηλή τάση

Μια άλλη δυνατότητα διατήρησης των αποστάσεων διαχωρισμού είναι η χρήση αγωγών HVI με αντοχή σε υψηλή τάση, με μόνωση που επιτρέπουν τη διατήρηση μιας απόστασης διαχωρισμού έως και 0,9 m στον αέρα. Οι αγωγοί HVI μπορούν να έρθουν απευθείας σε επαφή με το Φ/Β σύστημα κατάντη της τελικής περιοχής στεγανοποίησης. Λεπτομερέστερες πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή και την εγκατάσταση αγωγών HVI παρέχονται σε αυτόν τον Οδηγό Αντικεραυνικής Προστασίας ή στις σχετικές οδηγίες εγκατάστασης.

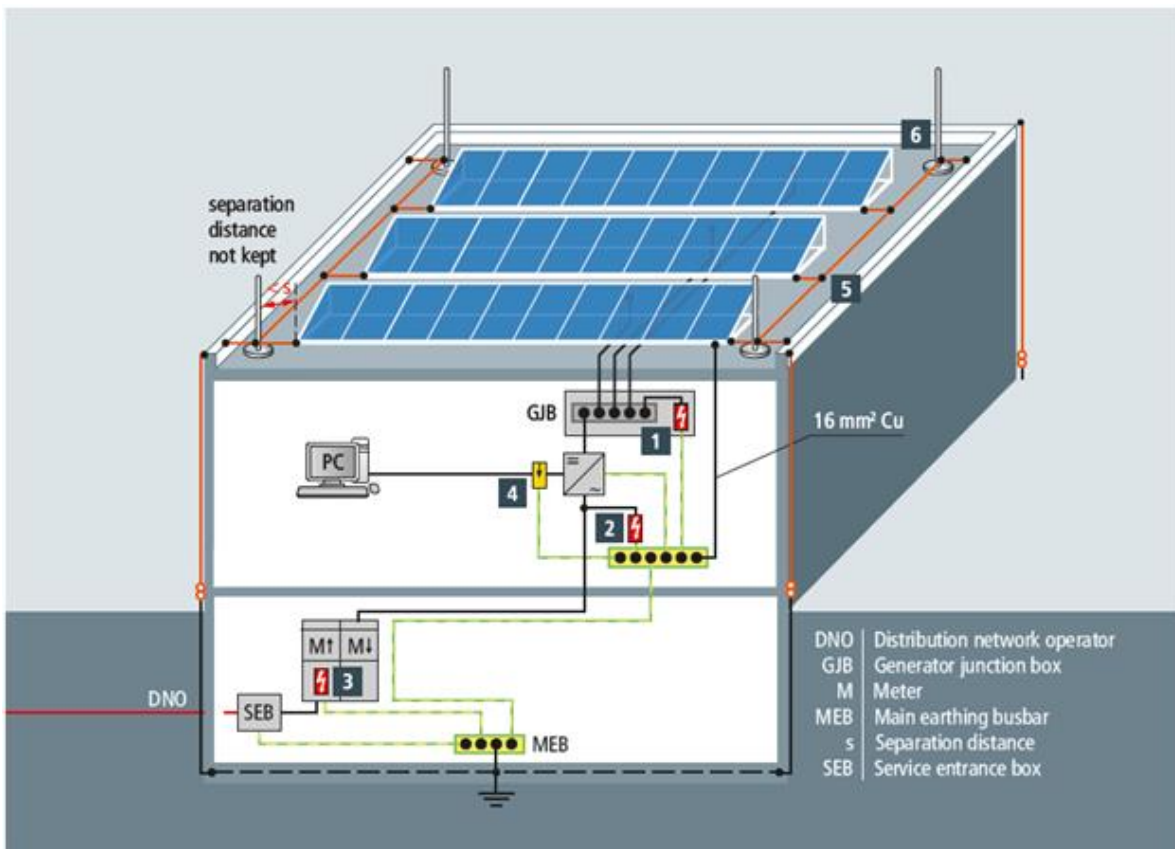


Εικόνα 5-2 Προσδιορισμός του προστατευμένου όγκου με χρήση του προστατευτικού



Σχήμα 5-6 Μέθοδος κυλιόμενης σφαίρας έναντι μεθόδου προστατευτικής γωνίας για τον προσδιορισμό του προστατευμένου όγκου

5.1.6.1 Κτίριο με εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας με ανεπαρκείς αποστάσεις διαχωρισμού (κατάσταση Γ)

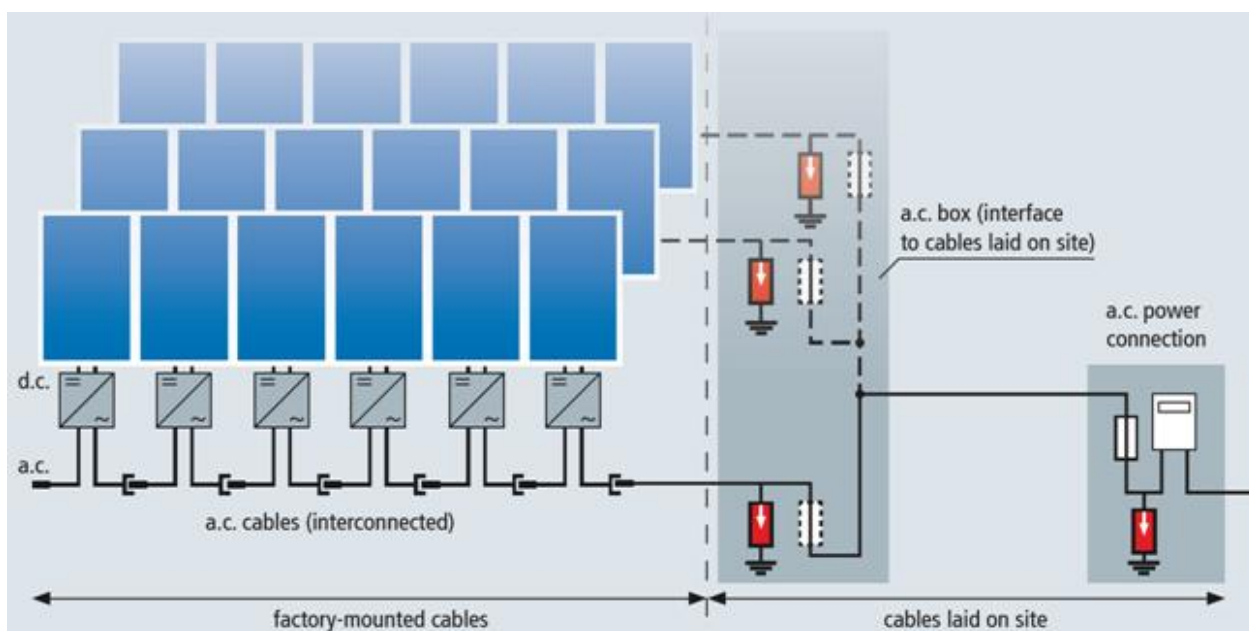


No. in Fig.		SPD	* FM = Floating remote signalling contact	Part No.
d.c. input of the inverter				
1	Per MPPT	DEHNcombo DCB YPV SCI 1000 FM *		900 066
a.c. output of the inverter				
2	TN-S system	DEHNshield DSH TNS 255		941 400
Low-voltage input				
3	TN-C system	DEHNventil DV M TNC 255 FM *		951 305
	TN-S system	DEHNventil DV M TNS 255 FM *		951 405
	TT system	DEHNventil DV M TT 255 FM *		951 315
Data interface				
4	Two pairs, even with different operating voltages up to 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML4 BD 0-180 + BXT BAS base part		920 349 + 920 300
Functional earthing / External lightning protection system				
5	Functional equipotential bonding	UNI earthing clamp		540 250
6	Air-termination system	Air-termination rod with concrete base (8.5 kg)		101 000
				+ 102 075

Σχήμα 5-7 Κτίριο με εξωτερικό LPS και ανεπαρκή απόσταση διαχωρισμού – κατάσταση C (Συμπλήρωμα 5 του προτύπου DIN EN 62305-3)

Εάν η οροφή είναι κατασκευασμένη από μέταλλο ή διαμορφώνεται από το ίδιο το Φ/Β σύστημα, η απόσταση διαχωρισμού s δεν μπορεί να διατηρηθεί. Τα μεταλλικά εξαρτήματα του φωτοβολταϊκού συστήματος στήριξης πρέπει να συνδέονται με το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να μεταφέρουν ρεύματα κεραυνού (χάλκινος αγωγός διατομής τουλάχιστον 16 mm^2 ή ισοδύναμο). Αυτό σημαίνει ότι η ισοδυναμική συγκόλληση πρέπει να εφαρμοστεί και για τις φωτοβολταϊκές γραμμές που εισέρχονται στο κτίριο από το εξωτερικό (Σχήμα 5-7). Σύμφωνα με το Συμπλήρωμα 5 του γερμανικού προτύπου DIN EN 62305-3 και το πρότυπο CENELEC CLC/TS 50539-12, οι γραμμές συνεχούς ρεύματος πρέπει να προστατεύονται με SPD τύπου 1 για Φ/Β συστήματα.

5.2 Φ/Β συστήματα με μικρομετατροπείς



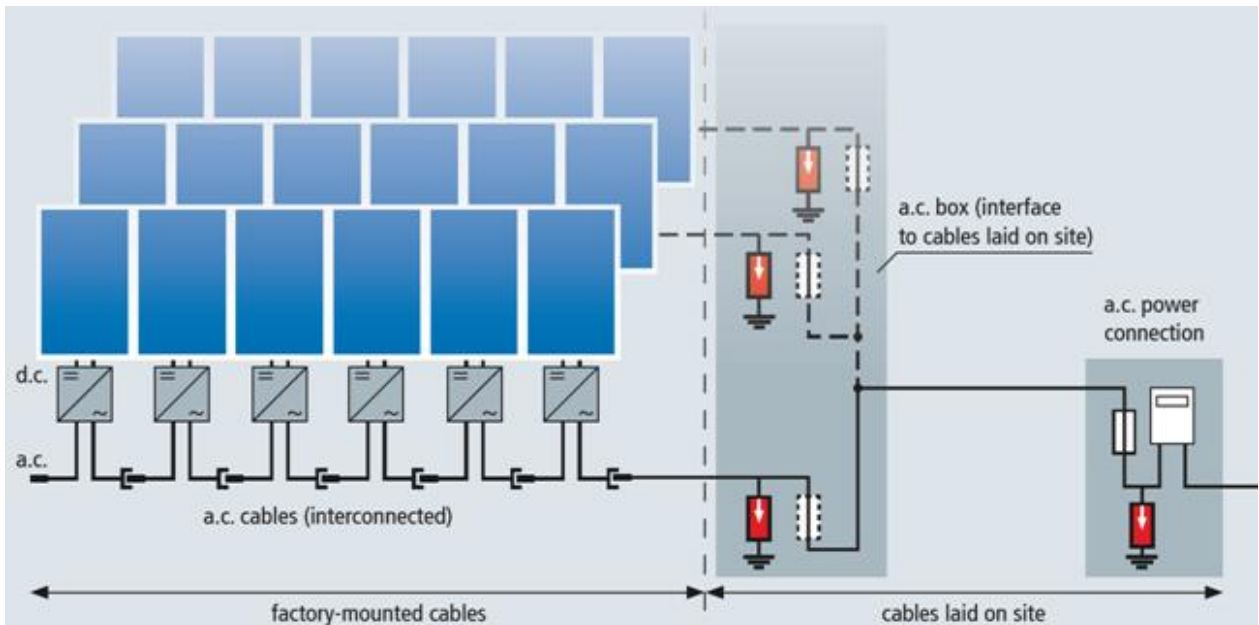
Σχήμα 5-8 Παράδειγμα κτιρίου χωρίς εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, προστασία από υπερτάσεις για μικρομετατροπέα που βρίσκεται στο κουτί σύνδεσης

Οι μικρομετατροπείς απαιτούν διαφορετική ιδέα προστασίας από υπερτάσεις. Για το σκοπό αυτό, η γραμμή συνεχούς ρεύματος μιας μονάδας ή ενός ζεύγους μονάδων συνδέεται απευθείας με τον μικρού μεγέθους μετατροπέα. Σε αυτή τη διαδικασία, οι περιττοί βρόχοι αγωγού πρέπει να αποφεύγονται. Η εκτεταμένη καλωδίωση ενός Φ/Β συστήματος με μικρομετατροπείς βρίσκεται στην πλευρά

εναλλασσόμενου

ρεύματος

(



Σχήμα 5-8). Εάν ο μικρομετατροπέας είναι τοποθετημένος απευθείας στη μονάδα, οι συσκευές προστασίας από υπερτάσεις επιτρέπεται να εγκατασταθούν μόνο στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος:

- Κτίρια χωρίς εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας = απαγωγείς για εναλλασσόμενο / τριφασικό ρεύμα σε κοντινή απόσταση από τους μικρομετατροπείς.
- Κτίρια με εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας και επαρκή απόσταση διαχωρισμού s = απαγωγείς τύπου 2, σε άμεση γειτνίαση με τους μικρομετατροπείς και αλεξικέραυνο που φέρουν απαγωγείς τύπου 1 στην τροφοδοσία χαμηλής τάσης.
- Κτίρια με εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας και ανεπαρκή απόσταση διαχωρισμού s = απαγωγείς τύπου 1, σε άμεση γειτνίαση με τους μικρομετατροπείς και τους απαγωγείς κεραυνικού ρεύματος τύπου 1 στην τροφοδοσία χαμηλής τάσης.

Ανεξάρτητα από συγκεκριμένους κατασκευαστές, οι μικρομετατροπείς διαθέτουν συστήματα παρακολούθησης δεδομένων. Εάν τα δεδομένα διαμορφώνονται στις γραμμές εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω των μικρομετατροπέων, πρέπει να παρέχεται μια διάταξη προστασίας από υπερτάσεις στις ξεχωριστές μονάδες

λήψης (εξαγωγή δεδομένων/επεξεργασία δεδομένων). Το ίδιο ισχύει για τις συνδέσεις διασύνδεσης με συστήματα διαύλου κατάντη και την παροχή τάσης τους (π.χ. Ethernet, ISDN).

5.3 Αντικεραυνική προστασία για φωτοβολταϊκά πάρκα

Τα φωτοβολταϊκά πάρκα αποτελούνται από πολλά πάνελ που στηρίζονται σε μεγάλες μεταλλικές κατασκευές, που βρίσκονται σε ανοιχτό χώρο και συνήθως είναι πολύ εκτεθειμένες στις ηλεκτροστατικές διαταραχές που προκαλούνται από κεραυνούς. Τέτοιες εγκαταστάσεις είναι δαπανηρές και για το λόγο αυτό θα πρέπει να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Επομένως, και για λόγους κανονισμών και ασφάλειας, κάθε έργο σχεδιασμού φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων πρέπει να περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο σύστημα για την προστασία του ενάντια σε κεραυνούς και υπερτάσεις ρεύματος.

5.3.1 Εθνικά και διεθνή πρότυπα

Κάθε φωτοβολταϊκό πάρκο διέπεται από μια σειρά προτύπων και κανονισμών, που φαίνονται παρακάτω

- IEC 62305-2: Αντικεραυνική προστασία Μέρος 2: Διαχείριση κινδύνου
- IEC 62305-3: Αντικεραυνική προστασία Μέρος 3: Φυσική βλάβη σε κατασκευές και κίνδυνος ζωής
- IEC 62305-4: Αντικεραυνική προστασία Μέρος 4: Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα εντός κατασκευών
- UNE 21186:2011: Αντικεραυνική προστασία: Συστήματα προστασίας κεραυνών με ακίδες κορυφής
- NF C 17-102:2011: Αντικεραυνική προστασία: Συστήματα αντικεραυνικής προστασίας με συστήματα ακίδας κορυφής
- IEC 61643-11: Συσκευές προστασίας από υπέρταση χαμηλής τάσης
- IEC 62793-2020: Συστήματα προειδοποίησης καταιγίδας. Προστασία από κεραυνούς
- BS EN IEC 62793:2018: Προστασία από κεραυνούς. Συστήματα προειδοποίησης για καταιγίδες

5.3.2 Εξωτερικό ΣΑΠ

Ένα εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας αποτελείται από ένα συλλεκτήριο σύστημα, ένα σύστημα αγωγώνκαθόδου και ένα σύστημα γείωσης. Το σύστημα εξωτερικής προστασίας πρέπει να προστατεύει τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τα στηρίγματα, τα κτίρια και όλα τα αντικείμενα, τον εξοπλισμό ή τα άτομα που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους και επιρρεπείς σε άμεσους κεραυνούς.

Οι αριθμοί και τα μοντέλα των αλεξικέραυνων για τη σωστή προστασία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος καθορίζονται από τον υπολογισμό του επιπέδου προστασία με χρήση των υπολογισμών αξιολόγησης κινδύνου που δημοσιεύθηκαν στο NF C 17-102 2011 Παράρτημα A / IEC 62305-2..

5.3.3 Συλλεκτήριο σύστημα

Τοποθετούνται ένα ή περισσότερα αλεξικέραυνα ακίδων, ανάλογα με την προς προστασία περιοχή. Τα αλεξικέραυνα τοποθετούνται πάνω σε υπάρχουσες κατασκευές (υπόστεγα, πύργοι φωτισμού κ.λπ.) ή σε δικούς τους στύλους περιμετρικά του πάρκου. Και στις δύο περιπτώσεις, τα αλεξικέραυνα πρέπει να είναι τουλάχιστον 2 μέτρα ψηλότερα από το υψηλότερο σημείο των ηλιακών συλλεκτών και δεν πρέπει να σκιάζει τα πάνελ.

5.3.4 Σύστημα αγωγών καθόδου

Το αλεξικέραυνο πρέπει να συνδέεται με δύο αγωγούς καθόδου με υλικά και διατομές τυποποιημένες σύμφωνα με το IEC 62561-2. Εάν χρησιμοποιούνται ελεύθεροι στύλοι για την εγκατάσταση αλεξικέραυνων ακίδων, τότε σύμφωνα με το σημείο 5.3.2 του NF C 17-102 2011, θα χρειαστεί μόνο ένας αγωγός καθόδου για κάθε αλεξικέραυνο..

5.3.5 Συστήματα γείωσης

Ο κύριος σκοπός των συστημάτων γείωσης είναι ο περιορισμός της τάσης σε σχέση με τη γείωση που μπορεί να έχουν οι μεταλλικές μάζες σε οποιαδήποτε

δεδομένη στιγμή και για την αποφυγή επικίνδυνων διαφορών δυναμικού, επιτρέποντας την εκκένωση ρευμάτων σφάλματος ή ατμοσφαιρικής εκκένωσης στη γείωση.

Τα πρότυπα IEC 62305-3, NF C 17-102:2011 και UNE 21186:2011 αναφέρουν ότι τα συστήματα γείωσης πρέπει να έχουν ωμική τιμή κάτω από 10Ω όταν μετριέται σε χαμηλή συχνότητα και απομονώνεται από οποιοδήποτε αγωγίμο στοιχείο.

Συνιστάται ιδιαίτερα η θωράκιση των καλωδίων DC που εκτελούνται από τις φωτοβολταϊκές μονάδες προς τους μετατροπείς, για να μειωθεί η επαγωγή στο σύστημα DC. Εάν τα καλώδια είναι θωρακισμένα, η θωράκιση πρέπει να είναι ικανή να μεταφέρει μερικά ρεύματα κεραυνού. Η θωράκιση πρέπει να συνδεθεί και στα δύο άκρα σε ισοδυναμικές ράβδους συγκόλλησης. Επιπλέον, συνιστάται επίσης να υπάρχει ισοδυναμική σύνδεση στο επίπεδο του εδάφους μεταξύ των συστημάτων γείωσης του αλεξικέραυνου και τα συστήματα γείωσης του φωτοβολταϊκού πίνακα.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

<https://anadrasi.com/alexikerafna-antikerafniki-prostasia.php>

https://www.ingesco.com/sites/default/files/catalog/Photovoltaic_plants_EN.pdf

<https://www.windpowerengineering.com/real-time-detection-and-analysis-of-lightning-risks-in-wind-turbines/>

<https://www.lsp-international.com/lightning-and-surge-protection-for-wind-turbine-system/>

<https://www.ingesco.com/en/soluciones/proteccion/photovoltaic-power-plants>

<https://www.lsp-international.com/category/surge-protection-devices/>

<https://www.yumpu.com/en/document/view/36049407/isolated-lightning-protection-for-pv-systems-shade-optimised>

<https://www.yumpu.com/en/document/view/11594101/lightning-and-surge-protection-of-photovoltaic-leutron-gmbh>