



Πανεπιστήμιο
Κύπρου



Αρχή
Ηλεκτρισμού
Κύπρου

Τεχνικό Εγχειρίδιο Αντικεραυνικής Προστασίας & Προστασίας από Υπερτάσεις για Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις Υπαίθριου Χώρου



Υπεύθυνοι Μελέτης:
Ανδρέας Δημητρίου
Χαράλαμπος Α. Χαράλαμπος

Πρόλογος

Η εκπόνηση του εγχειριδίου αυτού ανατέθηκε στο εργαστήριο Power System Modelling (PSM) Lab του Ερευνητικού Κέντρου Αειφόρου Ενέργειας «Φως» του Πανεπιστημίου Κύπρου, από την Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ).

Συνοπτικά, το παρόν κείμενο αποτελεί εγχειρίδιο οδηγιών για την ασφαλή και αξιόπιστη εγκατάσταση συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων εγκατεστημένων σε υπαίθριο χώρο, τα οποία είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι οδηγίες, που ακολουθούν, στοχεύουν κυρίως σε θέματα σχεδιασμού και υλοποίησης της προστασίας από κεραυνούς και υπερτάσεις των Φ/Β συστημάτων καθώς επίσης της προστασίας του συνόλου της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης. Συνεπώς, κύριος στόχος των οδηγιών που περιγράφονται είναι η ενημέρωση των ενδιαφερομένων με σκοπό την υιοθέτηση πρακτικών, που θα συμβάλουν στην προαγωγή της ενδεδειγμένης εγκατάστασης συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας διασυνδεδεμένων Φ/Β συστημάτων. Η ανάγκη υψηλής ποιότητας σχεδίασης και εγκατάστασης αυτών των συστημάτων αναδεικνύεται προκειμένου να εξασφαλίζεται αφ' ενός, η ασφάλεια του προσωπικού και αφ' ετέρου, η προστασία των υλικών στοιχείων. Θα πρέπει να τονιστεί με ιδιαίτερη έμφαση ότι μια ολοκληρωμένη προστασία ενός Φ/Β συστήματος απαρτίζεται από μια σειρά μέτρων προστασίας και δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να στηριχθεί σ' ένα και μόνο προϊόν. Τα μέτρα προστασίας λειτουργούν αλυσιδωτά και αρκεί ένας αδύναμος κρίκος να χαλάσει την ισορροπία αντιμετώπισης του κινδύνου. Οι παρούσες οδηγίες δεν μπορούν να θεωρηθούν ως δεσμευτικοί κανονισμοί, αλλά ως καθοδηγητικές συστάσεις και πρακτικές, που έχουν βασιστεί σε διεθνή πρακτική και εμπειρία. Καταγράφουν με λεπτομέρεια την ενδεδειγμένη μεθοδολογία, που ακολουθείται στη βάση διεθνών προτύπων και γίνεται αναφορά σε αυτά έτσι ώστε να μπορεί ο αναγνώστης να αναφερθεί αντίστοιχα.

Η ομάδα εργασίας συστάθηκε ως εξής:

Πανεπιστήμιο Κύπρου:

- Ανδρέας Δημητρίου, Ερευνητικός Συνεργάτης PSM LAB
- Χαράλαμπος Α. Χαραλάμπους, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών

Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου:

Ντίνος Χαραλαμπίδης, Σάββας Παπαδούρης, Μάριος Παππουτής, Γιαννάκης Ιωάννου, Βενιζέλος Ευθυμίου, Ανδρέας Σταύρου, Ζήνωνας Αχιλλίδης, Καμινारीδης Σοφοκλής.

Επικοινωνία

Χαράλαμπος Α. Χαραλάμπους

Επίκουρος Καθηγητής, Υπεύθυνος Εργαστηρίου Μοντελοποίησης Συστημάτων Ηλεκτρικής Ισχύος (PSM Lab)

Τμήμα HMMY & Ερευνητική Μονάδα Ενεργειακής Αειφορίας ΦΩΣ, Πανεπιστήμιο Κύπρου
Green Park 412, PO BOX 20537, TT134, 1167, Λευκωσία

Email: cchara@ucy.ac.cy

Ιστοσελίδα Εργαστηρίου: www.psm.ucy.ac.cy

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	5
2. Όροι και Ορισμοί	5
3. Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας ΣΑΠ φωτοβολταϊκής εγκατάστασης υπαίθριου χώρου	10
4. Αξιολόγηση Ρίσκου και προσδιορισμός απαιτούμενου επιπέδου προστασίας ΣΑΠ	11
4.1 Μελέτη αναγκαιότητας και οικονομική αξιολόγηση.....	11
4.2 Στάθμη προστασίας συστήματος αντικεραυνικής προστασίας.....	14
5. Επιλογή εξωτερικού Τύπου Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας	16
5.1 Εξωτερική εγκατάσταση συστήματος αντικεραυνικής προστασίας.....	16
5.2 Συλλεκτήριο σύστημα.....	16
5.3 Σύστημα Αγωγών Καθόδου.....	18
5.4 Θεμελίωση και Σύστημα Γείωσης.....	19
5.4.1 Διάταξη ηλεκτροδίων Τύπου Α.....	20
5.4.2 Διάταξη ηλεκτροδίων Τύπου Β.....	21
5.4.3 Υλικά και προδιαγραφές Ηλεκτροδίων.....	22
5.4.4 Εγκατάσταση των ηλεκτροδίων γείωσης.....	23
5.5 Σύστημα γείωσης σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις υπαίθριου χώρου με σύστημα ικνιλάτησης της πορείας του ήλιου.....	26
5.6 Στερέωση.....	28
6. Εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας	30
6.1 Ισοδυναμικές συνδέσεις.....	30
6.1.1 Ισοδυναμικές συνδέσεις σε μεταλλικές εγκαταστάσεις.....	31
6.1.2 Ισοδυναμικές συνδέσεις εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων.....	32
6.1.3 Ισοδυναμικές συνδέσεις για εσωτερικά συστήματα.....	33
6.1.4 Ισοδυναμικές συνδέσεις για εισερχομένων γραμμών.....	33
6.2 Άντοχή ηλεκτρολογικού εξοπλισμού έναντι υπερτάσεων.....	33
6.3 Συσκευές περιορισμού υπερτάσεων (SPDs).....	35
6.3.1 Βασικά χαρακτηριστικά.....	35
6.3.2 Διαχωρισμός συσκευών περιορισμού υπερτάσεων ανάλογα με την απόκριση τους σε ρεύμα υπερεντάσεως.....	36
6.3.3 Υπολογισμός επιπέδου τάσεως προστασίας U_p SPDs.....	36
6.3.4 Συνδεσμολογία εγκατάστασης SPDs στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος (AC-πλευρά).....	37
6.3.5 Συνδεσμολογία εγκατάστασης SPDs στην πλευρά συνεχούς ρεύματος (DC-πλευρά).....	39
6.3.6 Εσωτερική σχηματική σύνδεση συσκευών SPDs στην DC-πλευρά.....	41

6.3.7 Εγκατάσταση συσκευών SPDs στην πλευρά της συνεχούς ρεύματος.....	42
6.3.8 Επιλογή Τύπου SPDs σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση	42
6.3.9 Εγκατάσταση SPDs στον γενικό πίνακα της εγκατάστασης.....	44
6.3.10 Προστασία Φ/Β στοιχείων από υπερρεύματα και διακόπτης φορτίου.....	45
6.3.11 Συσκευές Προστασίας από υπερτάσεις SPDs για καλώδια ελέγχου και μεταφοράς δεδομένων.....	47
6.3.12 Εγκατάσταση συσκευών SPDs σε καλώδια μεταφοράς δεδομένων	47
6.4 Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις υπαίθριου χώρου με τοπικό υποσταθμό μέσης τάσης.....	48
6.4.1 Σύστημα γείωσης MT/XT.....	48
6.4.2 Περίφραξη Υποσταθμού και Φ/Β-πάρκου	50
6.4.3 Προσομιώσεις συστήματος γείωσης για υπολογισμό επικίνδυνων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής σε συνθήκες σφάλματος	52
6.4.4 Απαγωγοί Υπερτάσεων (surge arresters).....	56
Παράρτημα	
<u>Παράρτημα Α:</u> Απλουστευμένη διαδικασία εκτίμησης αναγκαιότητας εφαρμογής Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας ΣΑΠ.....	58
<u>Παράρτημα Β:</u> Υπολογισμός χώρου προστασίας μέσω ακίδας με τη μέθοδο γωνίας προστασίας και μέθοδο κυλιόμενης σφαίρας	64
<u>Παράρτημα Γ:</u> Διαδικασία Επιλογής Χαρακτηριστικών συσκευών περιορισμού υπερτάσεων	66
<u>Παράρτημα Δ:</u> Μέτρηση Αντίστασης Γείωσης.....	74
<u>Παράρτημα Ε:</u> Πίνακες Τιμών	77
Πίνακας 14 - Ελάχιστες Διαστάσεις συλλεκτήριων συστημάτων και αγωγών καθόδου ανάλογα με το υλικό και την διαμόρφωση τους.....	77
Πίνακας 15 - Ηλεκτρικά και, μηχανικά χαρακτηριστικά συλλεκτήριων συστημάτων και αγωγών καθόδου....	78
Πίνακας 16 - Τιμές Συντελεστών (K_i , K_c , K_m) για υπολογισμό απόστασης απομόνωσης	78
Πίνακας 17 - Τυπικές Αποστάσεις μεταξύ αγωγών καθόδου.....	78
Πίνακας 18 - Ελάχιστες διαστάσεις αγωγών συστήματος γείωσης ανάλογα με το υλικό και την διαμόρφωση τους ...	79-80
Πίνακας 19 - Ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά αγωγών συστήματος γείωσης ανάλογα με το υλικό και την διαμόρφωση τους.....	80-81
Πίνακας 20 - Επίπεδο προστασίας ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	81



Πίνακας 21 - Ελάχιστη Απαιτούμενη τιμή U_c για SPD ανάλογα με το σύστημα διανομής	82
Πίνακας 22 - Τυπικές Τιμές δοκιμών TOV	82
Πίνακας 23- Επιλογή υλικών ανάλογα με τη χρήση τους και αντοχή τους στη διάβρωση	83
Βιβλιογραφία	84

1. Εισαγωγή

Το παρόν κείμενο αποτελεί εγχειρίδιο οδηγιών για την ασφαλή και αξιόπιστη εγκατάσταση συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων εγκατεστημένων σε υπαίθριο χώρο, τα οποία είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

2. Όροι και Ορισμοί

Για λόγους πληρότητας του οδηγού, παρατίθενται οι πιο κάτω όροι και ορισμοί, όπως περιγράφονται μέσα από πρότυπα στα οποία γίνεται αναφορά, για διευκόλυνση του αναγνώστη.

2.1 Διάρκεια μετώπου κρουστικού ρεύματος T_1

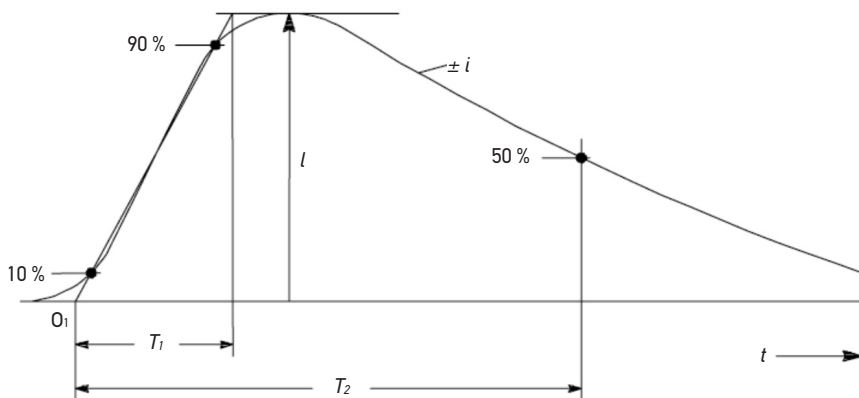
Ισοδυναμεί με 1,25 φορές τη διάρκεια T η οποία ορίζεται μεταξύ των στιγμών όπου στο μέτωπο το ρεύμα λαμβάνει τιμές από 10% μέχρι το 90% της μέγιστής του τιμής [EN 62305-1].

2.2 Συμβατική αρχή του κρουστικού ρεύματος O_1

Είναι το σημείο τομής του άξονα του χρόνου με την ευθεία που περνά από τα σημεία, της καμπύλης του κρουστικού ρεύματος, όπου παίρνει τιμές 10% και 90% της μέγιστης του τιμής [EN 62305-1].

2.3 Διάρκεια ημίσεως εύρους κρουστικού ρεύματος T_2

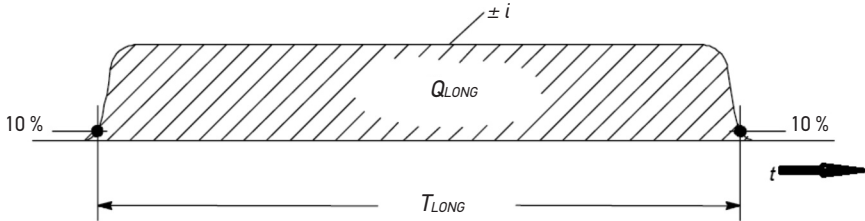
Ορίζεται ως η διάρκεια μεταξύ της συμβατικής αρχής του κρουστικού ρεύματος O_1 μέχρι τη στιγμή που το ρεύμα μειώνεται στο 50% της μέγιστής του τιμής [EN 62305-1].



Γράφημα 1: Χρονικές παράμετροι T_1 , T_2 και O_1 κρουστικού ρεύματος.

2.4 Διάρκεια κεραυνικού ρεύματος μακράς διάρκειας (LongStroke) T_{LONG} :

Ορίζεται ως η διάρκεια μεταξύ της στιγμής κατά την οποία το ρεύμα έχει τιμή ίση με το 10% της μέγιστης του τιμή κατά την αύξηση του ρεύματος έως τη στιγμή που λαμβάνει τιμή για δεύτερη φορά ίση με 10% της μέγιστης του τιμή κατά τη μείωση του ρεύματος [EN 62305-1].



Γράφημα 2: Γραφική ρεύματος μακράς διάρκειας.

2.5 Μέση κλίση κεραυνικού ρεύματος (di/dt)

Ο μέσος ρυθμός ανόδου του ρεύματος από το 30% στο 90% του πλάτους μετώπου.

$$\Delta i/\Delta t = (I_{90} - I_{30}) / (t_{90} - t_{30}) \quad [\text{EN } 62305-1].$$

2.6 Ειδική ενέργεια (SE)

Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη ροή του ρεύματος σε μοναδιαία αντίσταση.

$$SE = \int i^2 dt \quad [\text{EN } 62305-1].$$

2.7 Κρουστικό Φορτίο Q_{SHORT}

Χρονικό ολοκλήρωμα της κρουστικής συνιστώσας του ρεύματος κεραυνού [EN 62305-1].

2.8 Συνολικό Φορτίο Q_{FLASH}

Το χρονικό ολοκλήρωμα του ρεύματος κεραυνού [EN 62305-1].

2.9 Φορτίο κεραυνικού ρεύματος μακράς διάρκειας (LongStroke) Q_{LONG} :

Χρονικό ολοκλήρωμα της συνιστώσας του ρεύματος κεραυνού μακράς διάρκειας (LongStroke) [EN 62305-1].

2.10 Μέγιστη τιμή ρεύματος (I)

Μέγιστη τιμή ρεύματος κεραυνού [EN 62305-1].

2.11 Πλήγμα κεραυνού.

Ηλεκτρική εκκένωση που προέρχεται από πτώση κεραυνού [EN 62305-1].

2.12 Αναμενόμενη συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων N_d

Αναμενόμενη ετήσια συχνότητα προσβολής μιας κατασκευής από άμεσα και έμμεσα κεραυνικά πλήγματα [EN 62305-2].

2.13 Συνήθειες κατασκευές

Κατασκευές που χρησιμοποιούνται για συνήθειες χρήσεις όπως οικιστική, βιομηχανική, αγροτική χωρίς συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες [EN 62305-2].

2.14 Περιοχή προστασίας

Περιοχή που θεωρείται ότι προστατεύεται από άμεσο κεραυνικό πλήγμα [EN 62305-2].

2.15 Σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (ΣΑΠ)

Το ολοκληρωμένο σύστημα με εξωτερικές και εσωτερικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιείται για την προστασία κατασκευών από κεραυνικά πλήγματα [EN 62305-3].

2.16 Απομονωμένο ΣΑΠ

ΣΑΠ όπου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα αγωγών καθόδου τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε η διαδρομή διέλευσης κεραυνικού ρεύματος να είναι απομονωμένη από την υπό προστασία κατασκευή [EN 62305-3].

2.17 Μη απομονωμένο ΣΑΠ

ΣΑΠ όπου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα αγωγών καθόδου τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε η διαδρομή διέλευσης κεραυνικού ρεύματος να μην είναι απομονωμένη από την υπό προστασία κατασκευή [EN 62305-3].

2.18 Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας

Το σύνολο στοιχείων που εγκαθίστανται εξωτερικά στην υπό προστασία κατασκευή [EN 62305-3].

2.19 Εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας

Το σύνολο στοιχείων που εγκαθίστανται εσωτερικά στην υπό προστασία κατασκευή [EN 62305-3].

2.20 Συνδέσεις-Γεφυρώσεις για εξίσωση δυναμικού (Ισοδυναμικές συνδέσεις)

Δημιουργία αγωγίμης οδού μεταξύ δύο τμημάτων για μείωση της μεταξύ τους διαφοράς δυναμικού [EN 62305-3].

2.21 Συλλεκτήριο σύστημα

Το στοιχείο της εξωτερικής εγκατάστασης αντικεραυνικής προστασίας που προορίζεται για να υποδέχεται τους κεραυνούς [EN 62305-3].

2.22 Αγωγοί καθόδου

Το στοιχείο της εξωτερικής εγκατάστασης αντικεραυνικής προστασίας που διοχετεύει το ρεύμα κερανού από το συλλεκτήριο σύστημα στο σύστημα γείωσης [EN 62305-3].

2.23 Σύστημα γείωσης

Το στοιχείο της εξωτερικής εγκατάστασης αντικεραυνικής προστασίας που διοχετεύει και εκκαθαρίζει το ρεύμα κεραυνού στο έδαφος [EN 62305-3].

2.24 Ηλεκτρόδιο γείωσης

Στοιχείο ή σύνολο στοιχείων του συστήματος γείωσης που εξασφαλίζουν απευθείας ηλεκτρική σύνδεση με τη Γή και διοχετεύουν το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος [EN 62305-3].

2.25 Περιμετρικό ηλεκτρόδιο γείωσης

Ηλεκτρόδιο γείωσης εγκατεστημένο μέσα στο έδαφος που σχηματίζει κλειστό βρόχο γύρω από την κατασκευή [EN 62305-3].

2.26 Ηλεκτρόδιο θεμελιακής γείωσης

Ηλεκτρόδιο γείωσης ενσωματωμένο στο σκυρόδεμα (θεμέλια) μιας κατασκευής/κτιρίου [EN 62305-3].

2.27 Ισοδύναμη αντίσταση γείωσης

Ο λόγος των μέγιστων τιμών τάσης και ρεύματος που εμφανίζονται στο σύστημα γείωσης οι οποίες μέγιστες τιμές δεν εμφανίζονται ταυτόχρονα. Αυτός ο λόγος χρησιμοποιείται συμβατικά και χαρακτηρίζει την αποτελεσματικότητα του συστήματος γείωσης [ΕΛΟΤ 1197].

2.28 Ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός

Ο χαλύβδινος οπλισμός μιας κατασκευής από σκυρόδεμα που έχει προβλεφθεί να έχει ηλεκτρική συνέχεια με κατάλληλες συνδέσεις μεταξύ των επιμέρους μεταλλικών στοιχείων του [EN 62305-3].

2.29 Περιοριστής Κρουστικής υπέρτασης SPD (surge protective device)

Συσκευή που περιλαμβάνει τουλάχιστον ένα μη γραμμικό στοιχείο και έχει σχεδιαστεί για να περιορίζει τα κρουστικά ρεύματα και υπερτάσεις [EN 61643-12].

2.30 Ζώνες προστασίας από κεραυνικά πλήγματα

Ζώνες οι οποίες ορίζονται με βάση την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που προκαλεί το κεραυνικό πλήγμα [EN 62305-4].

2.31 Κρουστικό ρεύμα εκφόρτισης I_{imp}

Η μέγιστη τιμή ρεύματος εκφόρτισης που μπορεί να διέλθει διαμέσου ενός SPD για συγκεκριμένη φόρτιση Q, συγκεκριμένη ενέργεια W/R σε συγκεκριμένο χρόνο [EN 61643-11].

2.32 Ενέργεια W/R

Είναι η ενέργεια που διαχέεται από μια μοναδιαία αντίσταση με κρουστικό ρεύμα I_{imp} [TS 61643-11].

2.33 Μέγιστη Τάση ανοικτού κυκλώματος $U_{oc\ max}$

Η μέγιστη τάση ανοικτού κυκλώματος (χωρίς φορτίο) που μπορεί να εμφανιστεί στην DC-πλευρά του inverter [EN 50539-11].

2.34 Αντοχή σε κρουστική τάση U_w (impulse withstand voltage)

Η μέγιστη εκτιμώμενη διηλεκτρική αντοχή ηλεκτρολογικών στοιχείων έναντι κρουστικών υπερτάσεων [TS 61643-12].

2.35 Μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας του συστήματος U_{cs}

Η μέγιστη r.m.s τιμή τάσης του συστήματος ηλεκτροδότησης στην οποία μπορεί να υπόκειται μόνιμα η συσκευή SPD [TS 61643-12].

2.36 Μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας U_c

Η μέγιστη r.m.s τιμή τάσης που μπορεί να εφαρμόζεται συνεχόμενα στη συσκευή SPD και ισοδυναμεί με την ονομαστική τάση λειτουργίας [TS 61643-12].

2.37 Ελάχιστη διατομή μεταλλικού περιβλήματος καλωδίων που φέρουν θωράκιση S_{cmin}

Η ελάχιστη διατομή του μεταλλικού περιβλήματος για καλώδια με θωράκιση προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία επικίνδυνων σπινθήρων στο καλώδιο κατά τη διέλευση κεραυνικού ρεύματος μέσω της μεταλλικής θωράκισης [EN 62305-3].

2.38 Μεταλλικές Εγκαταστάσεις

Εκτεταμένα μεταλλικά στοιχεία της υπό προστασία κατασκευής που πιθανόν να δημιουργήσουν αγώγιμη δίοδο για το κεραυνικό ρεύμα (σωληνώσεις, κιγκλιδώματα, οδηγοί ανελκυστήρων, αεραγωγοί θέρμανσης, ενδοσυνδεδεμένος χαλύβδινος οπλισμός) [EN 62305-3].

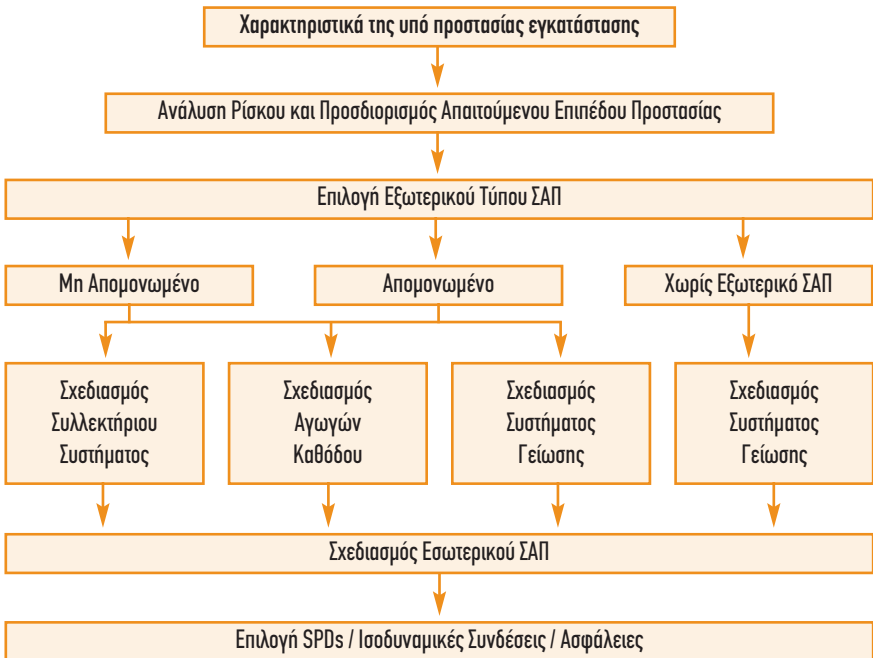
2.39 Εξωτερικά Αγωγή Τμήματα

Εκτεταμένα μεταλλικά στοιχεία εισερχόμενα ή εξερχόμενα της κατασκευής, όπως σωληνώσεις, θωρακίσεις καλωδίων, μεταλλικά κανάλια που θα μπορούσαν να μεταφέρουν μέρος του κεραυνικού ρεύματος [EN 62305-3].

3. Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης Υπαίθριου Χώρου

Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις υπαίθριου χώρου λόγω της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνουν, σε συνδυασμό με το πλήθος των ηλεκτρονικών στοιχείων που περιλαμβάνουν, είναι εξαιρετικά ευάλωτες σε κεραυνικά ρεύματα και κρουστικές υπερτάσεις.

Ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας ΣΑΠ έρχεται να επιλύσει αυτή την αδυναμία της Φ/Β εγκατάστασης. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι το ΣΑΠ είναι παθητικό σύστημα και κατά συνέπεια δεν εμποδίζει, ούτε ελκύει τον κεραυνό να πλήξει την κατασκευή. Σε περίπτωση πτώσης κεραυνού, το ΣΑΠ μειώνει τους κινδύνους στον ελάχιστο δυνατό βαθμό, χωρίς όμως να εξασφαλίζει απόλυτη προστασία σε αντικείμενα, άτομα και συσκευές. Ως εκ τούτου, η διαδικασία σχεδιασμού για αντικεραυνική προστασία αποτελείται από ένα σύνολο βημάτων τα οποία αναφέρονται περιληπτικά στο διάγραμμα 1.



Διάγραμμα 1: Σχεδιασμός Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας ΣΑΠ.

4. Αξιολόγηση Κινδύνου και Προσδιορισμός Απαιτούμενου Επιπέδου Προστασίας ΣΑΠ

4.1 Μελέτη Αναγκαιότητας και Οικονομική Αξιολόγηση

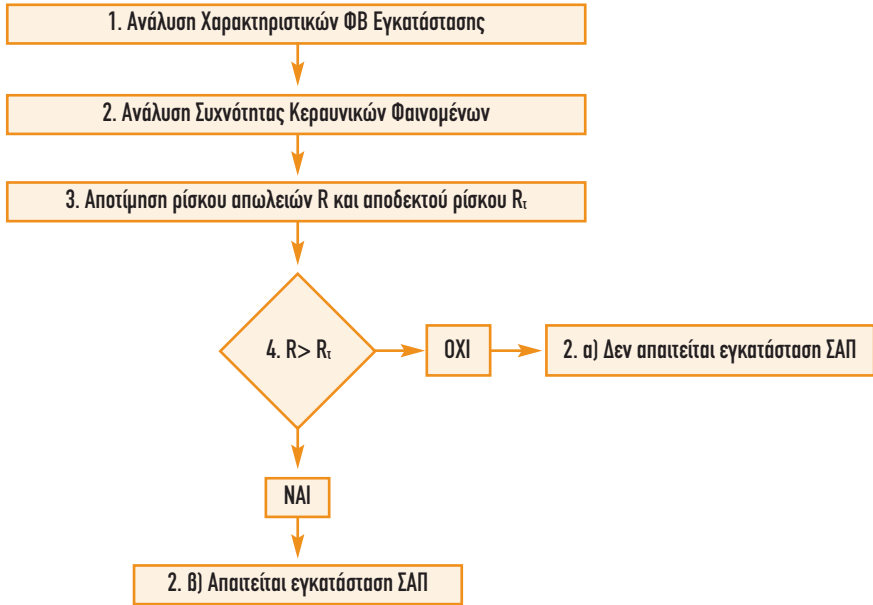
Προτού γίνει αναφορά στα ηλεκτρολογικά στοιχεία που αποτελούν ένα ΣΑΠ, θα παρουσιαστεί η διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να αποφασίσει ο μελετητής εάν κρίνεται αναγκαία ή όχι η εγκατάσταση ΣΑΠ. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 62305-2 "Protection Against Lightning-Risk Management", ένα σύνολο από παραμέτρους συνθέτουν την απόφαση αυτή.

Οι κίνδυνοι που πρέπει να περιοριστούν με ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, όπως ορίζονται στο EN 62305-2, είναι - 1. Κίνδυνος απώλειας ανθρώπινης ζωής, 2. Κίνδυνος απώλειας κοινωφελούς δικτύου (π.χ. Ενέργεια, Ύδρευση, Τηλεπικοινωνία κτλ), 3. Κίνδυνος απώλειας πολιτιστικής κληρονομιάς, 4. Κίνδυνος οικονομικών απωλειών. Η εκτίμηση του ολικού κινδύνου μιας κατασκευής από κεραυνικό πλήγμα ορίζεται τόσο με αντικειμενικά όσο και με υποκειμενικά κριτήρια επιλογής. Μερικά κριτήρια αναφέρονται πιο κάτω:

Αντικειμενικά κριτήρια	Υποκειμενικά κριτήρια
Διαστάσεις κατασκευής (Μ, Π, Υ)	Παρακείμενες δομές (π.χ. δέντρα, μεταλλικοί φράκτες)
Υπόγειες αγωγίμες παροχές	Μέτρα προστασίας από πυρκαγιά (π.χ. πυροσβεστήρες, συναγερμός, αυτοματισμοί πυρόσβεσης)
Εισερχόμενες παροχές από κοινό σημείο	Παρουσία ατόμων ανά 24ωρο (π.χ. μόνο ημέρα ή μέρα & νύχτα)
Θωράκιση εσωτερικών καλωδιώσεων	Επιπτώσεις περιβαλλοντικές (π.χ. από εκδήλωση πυρκαγιάς)

Πίνακας 1: Αντικειμενικά-Υποκειμενικά κριτήρια εκτίμησης κινδύνου

Στα δύο πιο κάτω απλοποιημένα διαγράμματα παρουσιάζονται τα βασικά βήματα που ακολουθούνται κατά τη λήψη απόφασης για την εγκατάσταση ΣΑΠ.



Διάγραμμα 2: Αξιολόγηση Αναγκαιότητας ΣΑΠ

Α) Διάγραμμα Αξιολόγησης Αναγκαιότητας Εγκατάστασης ΣΑΠ:

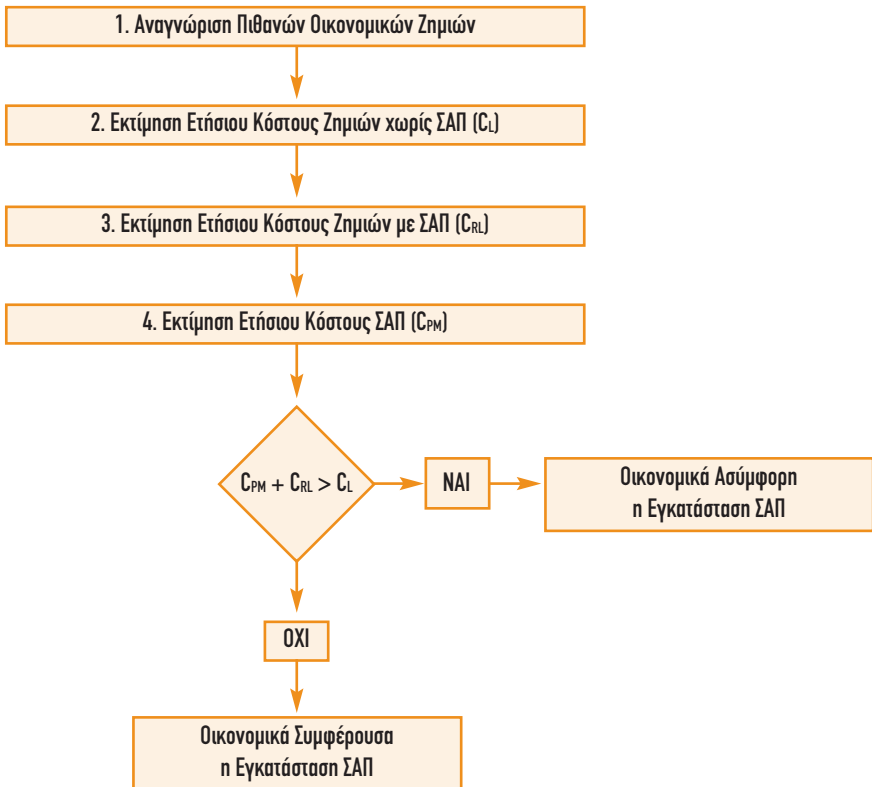
1. Ανάλυση χαρακτηριστικών Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης: επισημαίνονται βασικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης, όπως διαστάσεις, υλικά κατασκευής περιβάλλοντος χώρος, ηλεκτρολογικός εξοπλισμός και συνδεδεμένες παροχές (τηλεπικοινωνιακές, ηλεκτροδότησης).

2. Ανάλυση συχνότητας κεραυνικών φαινομένων: γίνεται εκτίμηση της αναμενόμενης συχνότητας άμεσων και έμμεσων κεραυνικών πληγμάτων, που μπορούν να πλήξουν την κατασκευή. Σημαντικές παράμετροι είναι ο ετήσιος αριθμός πτώσης κεραυνού, στην κατασκευή ή πλησίον αυτής και σε γραμμή τροφοδοσίας ή πλησίον αυτής.

3. Αποτίμηση ρίσκου απωλειών R και αποδεκτού ρίσκου R_t : Με τη χρήση των δύο πιο πάνω αναλύσεων γίνεται αποτίμηση του κινδύνου να πληγεί η κατασκευή. Το ρίσκο απώλειας ανθρώπινης ζωής, δημόσιας υπηρεσίας και πολιτιστικής κληρονο-

μιάς είναι πρωτεύουσας σημασίας. Το αποδεκτό ρίσκο είναι μια συγκρίσιμη τιμή η οποία μπορεί να επιβάλλεται από τη νομοθεσία, την εταιρεία που κατασκευάζει το έργο ή μπορεί να αναζητηθεί στο πρότυπο EN 62305-2.

4. Σύγκριση R με R_t : Εάν η τιμή του εκτιμώμενου ρίσκου R είναι μεγαλύτερη από R_t , τότε κρίνεται αναγκαία η εγκατάσταση ΣΑΠ, ενώ σε αντίθετη περίπτωση είναι προαιρετική. Επίσης ανάλογα με τη διαφορά αυτών των δύο τιμών, θα καθορισθεί στη συνέχεια σε ποια στάθμη προστασίας πρέπει να κατατάσσεται το ΣΑΠ. (Η στάθμη προστασίας αντικατοπτρίζει την αποτελεσματικότητα του ΣΑΠ).



Διάγραμμα 3. Αξιολόγηση Επένδυσης ΣΑΠ

B) Διάγραμμα Αξιολόγησης Επένδυσης:

1. Αναγνώριση πιθανών οικονομικών ζημιών: Σ' αυτό το στάδιο υπολογίζεται το ρίσκο απώλειας οικονομικών αξιών που μπορεί να προκαλέσει το κεραυνικό

πλήγμα, όπως καταστροφή ηλεκτρονικών- ηλεκτρολογικών στοιχείων ή διακοπή κάποιας δραστηριότητας που θα επιφέρει ζημιά.

2-3. Εκτίμηση ετήσιου κόστους ζημιών: Ανάλογα με το υπολογιζόμενο ρίσκο του σταδίου 1 εκτιμάται το ετήσιο κόστος ζημιών με ΣΑΠ (C_{RL}) και χωρίς ΣΑΠ (C_L).

4. Εκτίμηση ετήσιου κόστους ΣΑΠ: Ανάλογα με το αρχικό κόστος εγκατάσταση του ΣΑΠ καθώς και του επιπλέον κόστους συντήρησης κτλ, εκτιμάται το ετήσιο κόστος του ΣΑΠ (C_{PM}).

→ Εάν $C_{PM} + C_{RL} > C_L$ τότε η εγκατάσταση ΣΑΠ κρίνεται ασύμφορη ενώ στην αντίθετη περίπτωση συμφέρουσα.

Γ) Προπομπές:

Για να γίνει μια ολοκληρωμένη μελέτη εκτίμησης αναγκαιότητας εγκατάστασης ΣΑΠ θα πρέπει να μελετηθεί με λεπτομέρεια το πρότυπο EN 62305-2 "Protection Against Lightning-Risk Management".

- Προς διευκόλυνση των μελετητών υπάρχουν έτοιμα λογισμικά εργαλεία στα οποία ο χρήστης εισάγει τα αναγκαία δεδομένα που αφορούν στην κατασκευή (διαστάσεις, τοποθεσία, ηλεκτρολογικός εξοπλισμός κτλ) και υποδεικνύουν κατά πόσο χρειάζεται η εγκατάσταση ΣΑΠ.

- Για λόγους πληρότητας επισυνάπτεται στο Παράρτημα Α μια απλουστευμένη διαδικασία εκτίμησης αναγκαιότητας ΣΑΠ, η οποία μπορεί να δώσει στο μελετητή μια πρώτη εκτίμηση. Επισημαίνεται ότι για τη λήψη της τελικής απόφασης πρέπει να γίνει μια εμπεριστατωμένη μελέτη λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των χαρακτηριστικών της κατασκευής, όπως περιγράφεται μέσα από το ενδεικνυόμενο πρότυπο. Προς αυτή την κατεύθυνση, το εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ισχύος του Παν. Κύπρου έχει εκπονήσει λογισμικό εργαλείο εκτίμησης κινδύνου με βάση όλες τις πρόνοιες που περιγράφονται στο πρότυπο EN 62305-2 "Protection Against Lightning-Risk Management". Το λογισμικό εργαλείο παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α και βρίσκεται στη διάθεση όλων των μελετητών, Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, στην περίπτωση που κριθεί αναγκαία η χρήση του.

4.2 Στάθμη Προστασίας Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας

Ανάλογα με την απαιτούμενη αποτελεσματικότητα που πρέπει να εξυπηρετεί ένα ΣΑΠ κατατάσσεται σε συγκεκριμένη στάθμη προστασίας. Υπάρχουν τέσσερις στάθμες προστασίας που αντικατοπτρίζουν την αποτελεσματικότητα ενός ΣΑΠ, με τη στάθμη I να είναι η πιο αυστηρή/αποτελεσματική και τη στάθμη IV να είναι η λιγότερο αυστηρή/αποτελεσματική. Όσο μεγαλύτερη είναι η αποτελεσματικότητα του συστήματος τόσο μεγαλύτερες αντοχές επιδεικνύει σε κεραυνικά πλήγματα. Όπως είναι αναμενόμενο, όσο μεγαλώνει η αποτελεσματικότητα του ΣΑΠ τόσο αυξάνεται το

κόστος και η πολυπλοκότητα του. Για το λόγο αυτό κατά τη διαδικασία εκτίμησης της αναγκαιότητας του ΣΑΠ καθορίζεται και η αναγκαία στάθμη προστασίας στην οποία πρέπει να κατατάσσεται το ΣΑΠ, ώστε να διασφαλίζει την απαραίτητη προστασία.

Στον πίνακα 2 παρατίθενται οι μέγιστες τιμές που αφορούν τις παραμέτρους του κρουστικού ρεύματος για κάθε στάθμη προστασίας, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επιλογή των εξαρτημάτων προστασίας (διατομές αγωγών, τεχνικά χαρακτηριστικά SPDs, αποστάσεις προστασίας από επικίνδυνους σπινθήρες κτλ). Το ρεύμα κεραυνού μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις συνιστώσες, από ένα κρουστικό ρεύμα μια ακολουθία κρουστικού ρεύματος και ένα ρεύμα μακράς διάρκειας. Σημαντική παρατήρηση είναι ότι οι μέγιστες τιμές ρεύματος μειώνονται στο 75% για τη στάθμη προστασίας II και στο 50% για τις στάθμες προστασίας III & IV, συγκριτικά με τη στάθμη προστασίας I.

Πρώτο θετικό κρουστικό Πλήγμα						
Παράμετροι Ρεύματος	Σύμβολο	Μονάδα	I	II	III	IV
Μέγιστη τιμή ρεύματος	I	KA	200	150	100	
Κρουστικό φορτίο	Q_{SHORT}	C	100	75	50	
Ειδική Ενέργεια	W/R	MJ/Ω	10	5,6	2,5	
Χρονικές Παράμετροι	T1/T2	μs/μs	10/350			
Πρώτο αρνητικό κρουστικό Πλήγμα						
Παράμετροι Ρεύματος	Σύμβολο	Μονάδα	I	II	III	IV
Μέγιστη τιμή ρεύματος	I	KA	100	75	50	
Μέση Κλίση	di/dt	KA/μs	100	75	50	
Χρονικές Παράμετροι	T1/T2	μs/μs	1/200			
Ακολουθία κρουστικού Πλήγματος						
Παράμετροι Ρεύματος	Σύμβολο	Μονάδα	I	II	III	IV
Μέγιστη τιμή ρεύματος	I	KA	50	37,5	25	
Μέση Κλίση	di/dt	KA/μs	200	150	100	
Χρονικές Παράμετροι	T1/T2	μs/μs	0,25/100			
Μακράς Διάρκειας-Long Stroke						
Παράμετροι Ρεύματος	Σύμβολο	Μονάδα	I	II	III	IV
Φόρτιση Long Stroke	Q_{LONG}	C	200	150	100	
Χρονική Παράμετρος	T_{LONG}	s	0,5			
Κεραυνός						
Παράμετροι Ρεύματος	Σύμβολο	Μονάδα	I	II	III	IV
Φόρτιση αστραπής	Q_{FLASH}	C	300	225	150	

Πίνακας 2: Παράμετροι κεραυνικού ρεύματος ανάλογα της στάθμης προστασίας (EN62305-1).

5. Επιλογή Εξωτερικού Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ)

Εφόσον αποφασισθεί κατά πόσο η εγκατάσταση θα περιλαμβάνει ή όχι ΣΑΠ ακολουθεί ο σχεδιασμός του συστήματος. Για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις υπαίθριου χώρου υπάρχουν οι τρεις πιο κάτω περιπτώσεις:

Α. Χωρίς εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας

Β. Απομονωμένο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας

Γ. Μη-Απομονωμένο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας

Στην περίπτωση **Α**, η εγκατάσταση μπορεί να μην περιλαμβάνει εξωτερικό ΣΑΠ αλλά θα εφαρμοστούν ένα σύνολο από μέτρα προστασίας, που θα περιγραφούν στη συνέχεια και αφορούν στην προστασία της εσωτερικής ηλεκτρολογικής εγκατάστασης. Στην περίπτωση που θα εγκατασταθεί ΣΑΠ αυτό μπορεί να είναι απομονωμένο ή όχι. Το απομονωμένο ΣΑΠ χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις, όπου δεν είναι επιθυμητή η διέλευση κεραυνικού ρεύματος από τη μεταλλική κορνίζα υποστήριξης του φωτοβολταϊκού (panel), για μείωση κινδύνων από θερμικά και ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα.

5.1 Εξωτερική Εγκατάσταση Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας

Στόχος της εξωτερικής εγκατάστασης ΣΑΠ είναι να λαμβάνει τα άμεσα κεραυνικά πλήγματα και να μεταφέρει το ρεύμα τους, από το σημείο κρούσης προς τη γη, χωρίς να προκαλούνται φυσικές ζημιές στην εγκατάσταση ή τραυματισμοί σε φυσικά πρόσωπα. Αποτελείται από τα πιο κάτω τρία στοιχεία:

1. Συλλεκτήριο σύστημα

2. Σύστημα Αγωγών Καθόδου

3. Σύστημα Γείωσης

5.2 Συλλεκτήριο Σύστημα

Το συλλεκτήριο σύστημα που χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον σε υπαίθριες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις είναι η ακίδα προστασίας. Είναι ουσιαστικά μια μεταλλική ράβδος η οποία υποδέχεται τον κεραυνό όταν προσπέσει. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλου είδους συλλεκτήρια συστήματα, όπως τεταμένα συρματόσχοινα ή πλέγματα αγωγών τα οποία όμως δεν προτιμούνται γιατί μπορεί να προκαλέσουν σκίαση στα Φ/Β στοιχεία.

Η ακίδα προστασίας στα απομονωμένα ΣΑΠ (Εικ. 1), τοποθετείται σε συγκεκριμένη απόσταση "S" από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο η οποία υπολογίζεται πιο κάτω. Στα μη απομονωμένα ΣΑΠ (εικ. 2), η ακίδα προστασίας μπορεί να συνδεθεί απευθείας στη μεταλλική

κορνίζα υποστήριξης του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Στην περίπτωση που η ακίδα τοποθετηθεί σε μικρότερη από την απόσταση "S" τότε πρέπει να γεφυρώνεται με αγωγό με τη μεταλλική κορνίζα του Φ/Β και το σύστημα θεωρείται μη απομονωμένο.

Βασικές παράμετροι που χρήζουν μελέτης είναι:

- 1) Μήκος αριθμός και χωροθέτηση ακίδων προστασίας.
- 2) Υλικό και διατομή ράβδου.
- 3) Ηλεκτρικές Συνδέσεις.
- 4) Στερέωση

Προκειμένου να καθοριστεί το μήκος, η θέση και ο αριθμός των ακίδων προστασίας, χρησιμοποιούνται δύο βασικές μέθοδοι (μεθοδολογία Παράρτημα Β):

A. μέθοδος γωνίας προστασίας

B. μέθοδος κυλιόμενης σφαιρας

Επειδή τα Φ/Β-στοιχεία είναι τοποθετημένα συνήθως σε σειρές, για καλύτερη αποτελεσματικότητα του συλλεκτήριου συστήματος οι ακίδες προστασίας τοποθετούνται σε παράλληλες σειρές κατά μήκος των Φ/Β-στοιχείων. Οι μεταλλικές ράβδοι πρέπει να έχουν τις απαραίτητες ηλεκτρικές και μηχανικές ιδιότητες. Συνήθως τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι χαλκός, αλουμίνιο και ανοξείδωτος ή γαλβανισμένος χάλυβας. Η ελάχιστη διατομή ράβδου είναι 176mm^2 ανεξάρτητα από το υλικό και μπορεί να μειωθεί μέχρι τα 70mm^2 εάν δεν χρειάζεται ιδιαίτερη μηχανική αντοχή (συνήθως σε μικρού μήκους ακίδες μέχρι 1m). Τα υλικά και οι διαστάσεις πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές σύμφωνα με το πρότυπο EN 62561-2. Στον Πίνακα 14 (Παρ. Ε) φαίνονται οι αντίστοιχες διαστάσεις που πρέπει να τηρούνται, ενώ στον Πίνακα 15 (Παρ. Ε) φαίνονται οι ηλεκτρικές και μηχανικές ιδιότητες που πρέπει να έχουν τα υλικά. Η επιλογή του υλικού πρέπει να λαμβάνει υπόψη μέτρα προστασίας από τη διάβρωση σύμφωνα με τον Πίνακα 23 (Παρ. Ε).

Η ακίδα προστασίας μπορεί να στηρίζεται με τη βοήθεια ενός τσιμεντένιου μπλοκ ή άλλων υποδομών ικανών να το στηρίξουν. Η ράβδος διέρχεται από διατομή που υπάρχει στο μπλοκ ενώ στην περίπτωση που χρειάζεται επιπλέον στήριξη, χρησιμοποιούνται μη αγωγικά στηρίγματα που παρεμβάλλονται μεταξύ του φωτοβολταϊκού πλαισίου και της ακίδας.

Για την απομόνωση του ΣΑΠ από το φωτοβολταϊκό πρέπει να τηρείται μια απόσταση απομόνωσης S η οποία δίνεται από τη σχέση (1).

$$S \geq \frac{K_i}{K_m} \cdot K_c \cdot l \quad (1)$$

K_i : συντελεστής που εξαρτάται από την επιλεγόμενη στάθμη προστασίας του ΣΑΠ

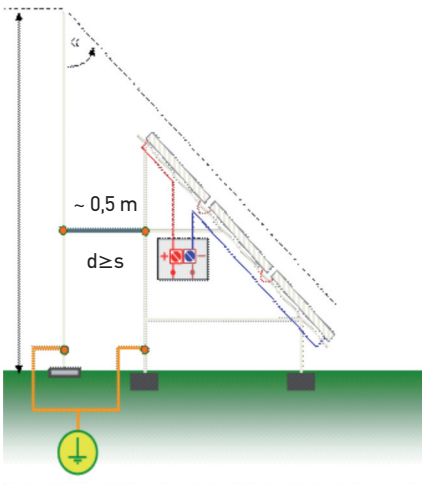
K_m : συντελεστής που εξαρτάται από το υλικό απομόνωσης μεταξύ ΣΑΠ και μεταλλικών στοιχείων της εγκατάστασης.

K: συντελεστής που εξαρτάται από τη διέλευση του κρουστικού ρεύματος

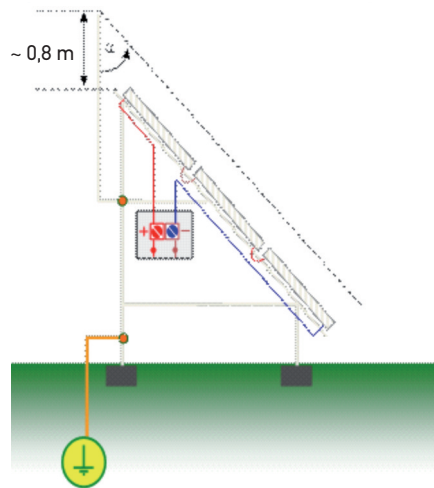
l: είναι το μήκος σε μέτρα από το σημείο υπολογισμού της απόστασης απομόνωσης, μέχρι το πλησιέστερο σημείο ισοδυναμικής σύνδεσης ή το σύστημα γείωσης σε περίπτωση που δεν υπάρχουν ισοδυναμικές συνδέσεις.

→ Οι τιμές των συντελεστών μπορούν να αναζητηθούν στον Πίνακα 16 (Παρ.Ε).

Στην περίπτωση του μη απομονωμένου ΣΑΠ η ακίδα προστασίας μπορεί να συνδέεται απευθείας στη μεταλλική κορνίζα υποστήριξης του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Η σύνδεση πρέπει να παρέχει απαραίτητη στήριξη στη ράβδο και μπορεί να επιτευχτεί με την παρουσία σφικτήρων, βιδών ασφαλείας, συγκόλλησης κτλ. Οι συνδέσεις πρέπει να ακολουθούν το πρότυπο EN 62561-1.



Εικόνα 1: Απομονωμένο ΣΑΠ σε Φ/Β-πάρκο με ακίδα προστασίας πάνω σε μπλοκ από μπετόν και βοηθητικό μη αγώγιμο στήριγμα.



Εικόνα 2: Μη απομονωμένο με ακίδα προστασίας συνδεδεμένη πάνω στη μεταλλική κορνίζα υποστήριξης του Φ/Β.

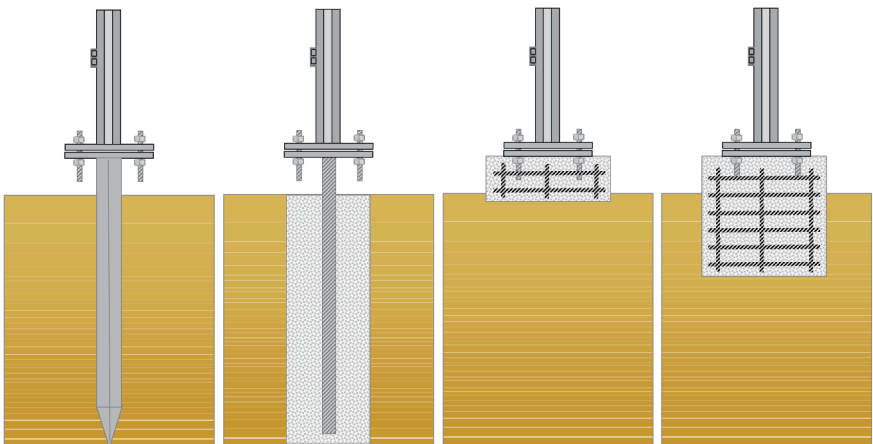
5.3 Σύστημα Αγωγών Καθόδου

Οι αγωγοί καθόδου πρέπει να παρέχουν τις απαραίτητες αγωγίμες διόδους για τη διέλευση του κεραυνικού ρεύματος από το σημείο κρούσης του κεραυνού. Παρεμβάλλονται μεταξύ συλλεκτήριου συστήματος και συστήματος γείωσης. Πρέπει να έχουν όσο το δυνατό μικρότερο μήκος για καλύτερη αποτελεσματικότητα.

Σε Φ/Β-πάρκα η ακίδα προστασίας μπορεί να επιτελεί επίσης και το ρόλο του αγωγού καθόδου νοουμένου ότι φτάνει στο έδαφος. Στην περίπτωση μη απομονωμένου ΣΑΠ όταν η ακίδα είναι συνδεδεμένη στη μεταλλική κορνίζα του φωτοβολταϊκού στοιχείου, η μεταλλική κορνίζα αναλαμβάνει το ρόλο του αγωγού καθόδου. Οι συνδέσεις πρέπει γίνονται βάση του πρότυπου EN 62561-1. Η σύνδεση με το σύστημα γείωσης μπορεί να γίνεται άμεσα αν είναι εφικτό ή με τη βοήθεια πολύκλωνου καλωδίου, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Πίνακα 14 (Παρ.Ε).

5.4 Θεμελίωση και Σύστημα Γείωσης

Το σύστημα γείωσης αποτελείται από ηλεκτρόδια ποικίλων σχημάτων και διαστάσεων. Σε Φ/Β-πάρκα το σύστημα γείωσης σχεδιάζεται ειδικά για τη Φ/Β-εγκατάσταση. Για τη διοχέτευση του κεραυνικού ρεύματος στη γη έχει ιδιαίτερη σημασία το σχήμα και οι διαστάσεις του συστήματος γείωσης. Επίσης σε Φ/Β-πάρκα για μείωση του κόστους και αύξηση της αποτελεσματικότητας και του χρόνου ζωής του συστήματος γείωσης, σημαντικό ρόλο παίζει ο τύπος των θεμελίων (εικ.3) στα οποία στηρίζεται ο μεταλλικός σκελετός των Φ/Β-στοιχείων ο οποίος στη συνέχεια συνδέεται με τα ηλεκτρόδια/σύστημα γείωσης. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τους ενδεδειγμένους συνδυασμούς προς αποφυγή πιθανής ηλεκτροχημικής διάβρωσης, η οποία μπορεί να προκληθεί λόγω της παρουσίας ανόμοιων μετάλλων (Φ/Β σκελετού και ηλεκτροδίου γείωσης).



Εικόνα 3: Τύποι θεμελίων μεταλλικής υποδομής στήριξης φωτοβολταϊκών με περιγραφή στον πίνακα 3 [9].

	Τύπος θεμελίου Φ/Β-σκελετού.	Επιτρεπόμενα υλικά για το σύστημα γείωσης
1	Γαλβανισμένος χάλυβας άμεσα θαμμένος στο έδαφος.	Γαλβανισμένος χάλυβας, ανοξείδωτος χάλυβας
2	Χάλυβας ενσωματωμένος σε μπετόν	Χαλκός, επικαλωμένος χάλυβας, ανοξείδωτος χάλυβας.
3	Μπλοκ από μπετόν με οπλισμένο σκυρόδεμα στο επίπεδο του εδάφους.	Χαλκός, επικαλωμένος χάλυβας, ανοξείδωτος χάλυβας, γαλβανισμένος χάλυβας
4	Μπλοκ από μπετόν με οπλισμένο σκυρόδεμα μέσα στο έδαφος.	Χαλκός, επικαλωμένος χάλυβας, ανοξείδωτος χάλυβας.

Σημ. το αλουμίνιο δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί στο έδαφος.

Πίνακας 3: Είδη θεμελίωσης και επιτρεπόμενα υλικά.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι διατάξεων των ηλεκτροδίων γείωσης που ακολουθούνται σε συστήματα γείωσης αντικεραυνικής προστασίας, ανάλογα με το είδος ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούν και τον τρόπο τοποθέτησής τους, όπως περιγράφονται πιο κάτω.

5.4.1 Διάταξη Ηλεκτροδίων Τύπου Α

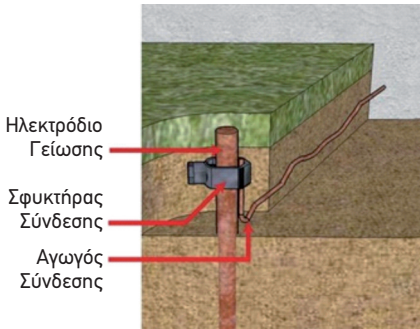
Αυτός ο τύπος διάταξης περιλαμβάνει κάθετα και οριζόντια ηλεκτρόδια σε σχήμα ράβδου (συνήθως ακολουθείται κάθετη διάταξη). Τουλάχιστον δύο ηλεκτρόδια πρέπει να συνδέονται με κάθε συλλεκτήριο σύστημα στην περίπτωση απομονωμένου ΣΑΠ ή με την κορνίζα του Φ/Β πλαισίου (που περιλαμβάνει ακίδα προστασίας) στην περίπτωση μη απομονωμένου ΣΑΠ με μήκος τουλάχιστον 2,5 m σε έδαφος που έχει ειδική αντίσταση μέχρι 500 Ωm.

Το ελάχιστο μήκος ηλεκτροδίου είναι:

l_1 - για οριζόντια ηλεκτρόδια

$0,5 \times l_1$ - για κάθετα ηλεκτρόδια

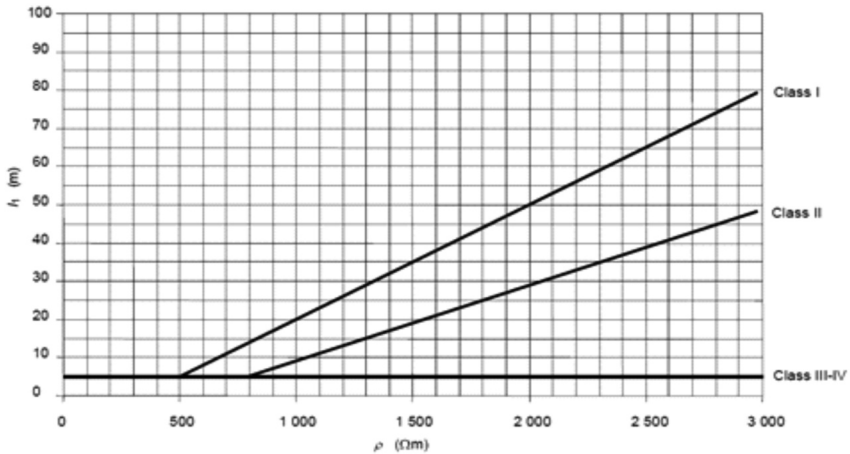
Στις περιπτώσεις όπου έχουμε βραχώδες έδαφος με χαμηλή αγωγιμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρόδια σε σχήμα πλάκας συνήθως σε διαμόρφωση E (εικ. 5).



Εικόνα 4: Ηλεκτρόδιο γείωσης σε σχήμα ράβδου κάθεται τοποθετημένο στο έδαφος.



Εικόνα 5: Εγκατάσταση ηλεκτροδίων γείωσης πλάκας σε διαμόρφωση E.



Γραφική 1: Ελάχιστο μήκος ηλεκτροδίου l_1 ανάλογα με τη στάθμη προστασίας του ΣΑΠ και την αντίσταση εδάφους EN 62305-3 5.4.2.

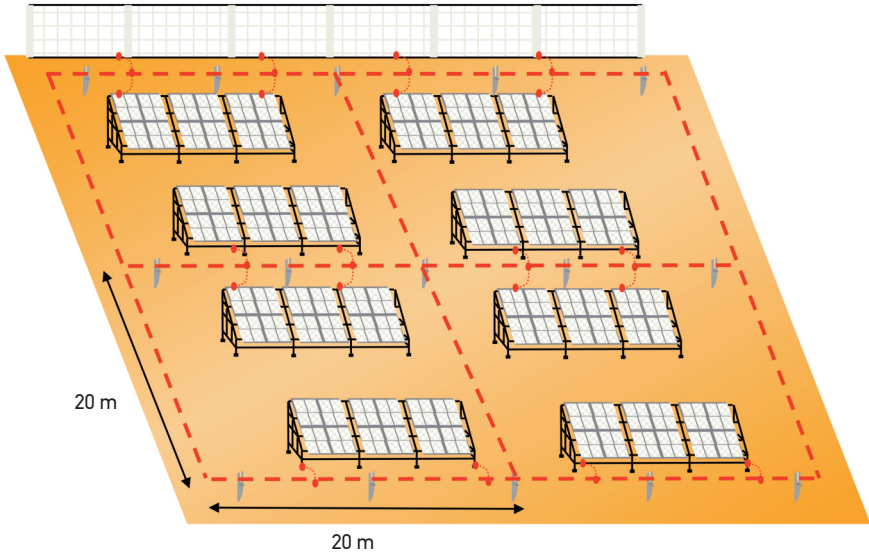
5.4.2 Διάταξη Ηλεκτροδίων Τύπου Β

Αυτός ο τύπος διάταξης δημιουργεί ένα είδος περιμετρικής γείωσης στα φωτοβολταϊκά πάνελα της εγκατάστασης και συνιστάται σε Φ/Β-πάρκα γιατί διευκολύνει τη γείωση συλλεκτήριου συστήματος και μεταλλικής κορνίζας. Επίσης δημιουργεί ισοδυναμική σύνδεση μεταξύ ανεξάρτητων μεταλλικών σκελετών-κορνιζών προς αποφυγή επικίνδυνων τάσεων επαφής.

Η ακτίνα "r" του δακτυλίου που δημιουργεί ο αγωγός γείωσης δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την τιμή l_1 (Γραφ. 1).

$$r \geq l_1$$

Συνήθως δημιουργούνται ορθογώνια πλέγματα διατάσεων 20m x 20m (εικ. 6) ή και μεγαλύτερα ειδικά εάν το σύστημα γείωσης ενισχύεται με ηλεκτρόδια Τύπου Α κοντά στα ευάλωτα σημεία.



Εικόνα 6: Τύπος Β συστήματος γείωσης σε Φ/Β-πάρκο [9].

5.4.3 Υλικά και Προδιαγραφές Ηλεκτροδίων

Συνήθως τα ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα από χαλκό ή χάλυβα. Στον Πίνακα 18 (Παρ. Ε) παρουσιάζονται οι ελάχιστες διατομές αγωγών ηλεκτροδίων γείωσης σε σχέση με το υλικό και τη διαμόρφωση τους. Επίσης στον Πίνακα 19 (Παρ. Ε) παρουσιάζονται οι μηχανικές και ηλεκτρικές προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται. Η επιλογή του υλικού πρέπει να λαμβάνει υπόψη μέτρα προστασίας από τη διάβρωση σύμφωνα με τον Πίνακα 23 (Παρ. Ε).

Τα ηλεκτρόδια γείωσης σε σχήμα ράβδου Τύπου Α πρέπει να έχουν την ικανότητα να σφυρηλατηθούν χωρίς να παραμορφωθούν κατά την εγκατάστασή τους στο έδαφος. Σημαντικό είναι να έχουν αιχμή στο κάτω άκρο, ώστε να εισχωρούν εύκολα στο έδαφος κατά την εγκατάστασή τους. Επίσης μπορεί να επωφελούνται από βιδωτούς συνδέσμους για να επιτρέπουν τη χρήση εργαλείων (υδραυλικά σφυριά, δοκάρια έμπηξης κτλ) που βοηθούν στην έμπηξη τους σε μεγαλύτερο βάθος τα οποία στη συνέχεια αποσυνδέονται.

Τα ηλεκτρόδια γείωσης **Τύπου Β** είναι σύρματα μονόκλωνα ή πολύκλωνα ή σε σχήμα ταινίας. Οι αγωγοί πρέπει να παρουσιάζουν αντοχή στη διάβρωση, ενώ στην περίπτωση που είναι επικαλωμένοι ή γαλβανισμένοι πρέπει να είναι καλά προσκολλημένοι με το βασικό μέταλλο.

Τέλος τα υλικά που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι πιστοποιημένα και να ανταποκρίνονται σε δοκιμές όπως περιγράφονται στο πρότυπο EN 62561-2 §5.

5.4.4 Εγκατάσταση των Ηλεκτροδίων Γείωσης

ΤΥΠΟΥ Α

Τα ηλεκτρόδια Τύπου Α πρέπει να εγκαθίστανται κοντά στην περίμετρο των Φ/Β σειρών σε μια απόσταση μεταξύ 1m-3m όσο το δυνατό καλύτερα κατανεμημένα στο έδαφος για ελαχιστοποίηση φαινομένων ηλεκτρικής σύζευξης. Πρέπει να τηρείται μια απόσταση μεταξύ ηλεκτροδίων τυπικά ίση με το διπλάσιο του μήκους τους.

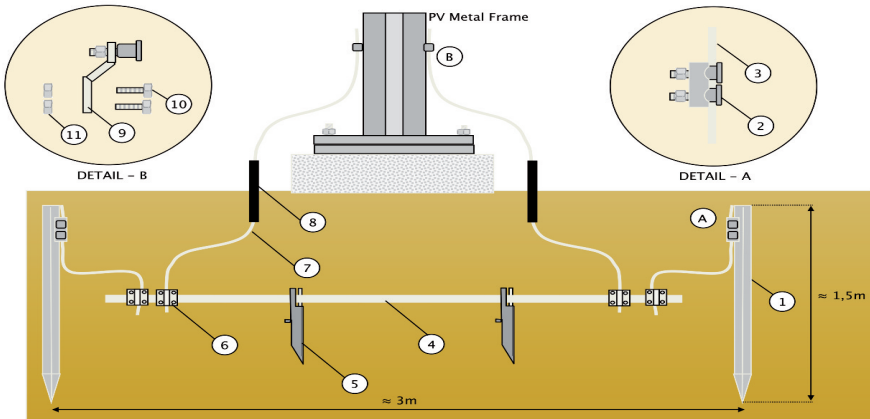
Ο τύπος και το βάθος έμψησης των ηλεκτροδίων πρέπει να γίνεται με τρόπο, ώστε να διασφαλίζεται όσο το καλύτερο δυνατό ακεραιότητα της τιμής της αντίστασης χωρίς να επηρεάζεται από φαινόμενα διάβρωσης/ξήρασης και παγετού στο έδαφος. Συνήθως όταν τα ηλεκτρόδια βρίσκονται στο υψίπεδο του εδάφους τα πρώτα 20cm-30cm δεν λαμβάνονται υπόψη στο ενεργό μήκος, λόγω των φαινομένων ξήρασης και παγετού του εδάφους για αυτό και συνίσταται να εγκαθίστανται σε βάθος 50cm.

Κάθε ηλεκτρόδιο πρέπει να τοποθετείται σε φρεάτιο με καπάκι (Εικ. 7) για σκοπούς προστασίας και πρόσβασης σε περίπτωση επιθεώρησης. Επίσης πρέπει να διαθέτει σύνδεσμο απόζευξης, ώστε να απομονώνεται από το υπόλοιπο σύστημα για μέτρηση της αντίστασης του κατά τη συντήρηση. Ο τρόπος μέτρησης της αντίστασης γείωσης περιγράφεται στο Παράρτημα Δ.



Εικόνα 7: Προστατευτικό Φρεάτιο.

Επιπρόσθετα η Εικόνα 8 παρουσιάζει με λεπτομέρειες την εφαρμογή συστήματος γείωσης Τύπου Α σε Φ/Β πάρκο.



Αριθμός στοιχείου	Περιγραφή
1	Ηλεκτρόδιο τετραγωνικής διατομής από χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο μήκους 1,5 m.
2	Σφικτήρας σύνδεσης από χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο
3	Στρογγυλός αγωγός από χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο διαμέτρου 10mm
4	Αγωγός σε σχήμα ταινίας από χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο διαστάσεων 30mm x 3mm
5	Στήριγμα για κάθετη τοποθέτηση αγωγού ταινίας από χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο
6	Σφικτήρας σύνδεσης από χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο
7	Στρογγυλός αγωγός από χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο διαμέτρου 10mm
8	Ταινία για προστασία από τη διάβρωση (πρέπει να καλύπτει τον αγωγό τουλάχιστο 20 cm πάνω και κάτω από το έδαφος)
9	Σφικτήρας σύνδεσης από αλουμίνιο
10, 11	2 x βίδες από ανοξείδωτο χάλυβα η θερμά επιψευδαργυρωμένο με περικάλυψη

Εικόνα 8: Παράδειγμα συστήματος γείωσης με ηλεκτρόδια Τύπου Α από χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία από χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο σε θεμελίο με Μπλοκ από μπετόν με οπλισμένο σκυρόδεμα στο επίπεδο του εδάφους [9].

ΤΥΠΟΥ Β

Ο αγωγός σε σχήμα ορθογωνίου (Τύπος Β) πρέπει να τοποθετείται μέσα σε τάφρο που διανοίγεται στο έδαφος με βάθος 0,5m και άνοιγμα 0,5m. Ο πιο συνηθισμένος τύπος ηλεκτροδίου που χρησιμοποιείται είναι σε σχήμα ταινίας. Η τοποθέτηση του αγωγού σε σχήμα ταινίας πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε η μεγάλη επιφάνεια του αγωγού να τοποθετείται κάθετα στο χώμα. Είναι βασικό να επιτυγχάνεται όσο το δυνατό καλύτερη επαφή του αγωγού με το χώμα κάτι το οποίο δεν διασφαλίζεται εάν το ηλεκτρόδιο τοποθετηθεί με τη μεγάλη επιφάνεια οριζόντια στο έδαφος, αφού υπάρχει η πιθανότητα να δημιουργηθούν κενά μεταξύ ηλεκτροδίου και εδάφους. Για να εξασφαλισθεί η καλύτερη δυνατή τοποθέτηση του ηλεκτροδίου σε κάθετη διάταξη, υπάρχουν ειδικά στηρίγματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Η σύνδεση του μεταξύ συστήματος γείωσης και συλλεκτήριου συστήματος πρέπει να γίνεται σε όσο το δυνατό μικρότερη απόσταση. Για μια καλή απόδοση του συστήματος η απόστασή αυτή πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1m-3m.

Στην περίπτωση μη απομονωμένου ΣΑΠ (εικ. 9) όπου ο μεταλλικός σκελετός των Φ/Β-στοιχείων χρησιμοποιείται ως αγωγός καθόδου, δύο σειρές Φ/Β-στοιχείων μπορούν να συνδέονται στην ίδια πλευρά του πλέγματος γείωσης.



Εικόνα 9:Εγκατάσταση ηλεκτροδίου γείωσης σε μη απομονωμένο ΣΑΠ με σύνδεση δύο σειρών φωτοβολταϊκών στοιχείων σε κοινή πλευρά του πλέγματος γείωσης [9].

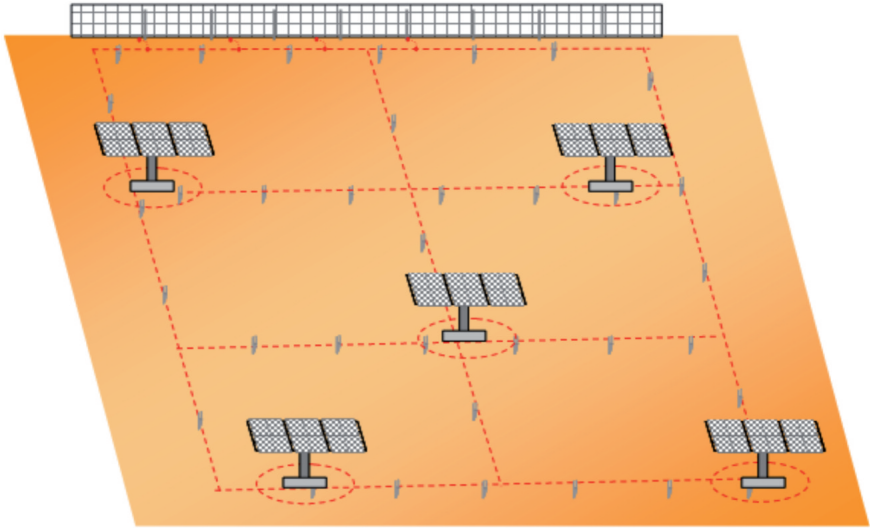
Στην περίπτωση απομονωμένου ΣΑΠ (εικ. 10) όπου το συλλεκτήριο σύστημα συνδέεται απευθείας με το σύστημα γείωσης κάθε σειρά Φ/Β-στοιχείων συνδέεται σε ξεχωριστή πλευρά του πλέγματος γείωσης. Το μεταλλικό πλαίσιο των Φ/Β-στοιχείων γειώνεται με ξεχωριστό αγωγό σύνδεσης.



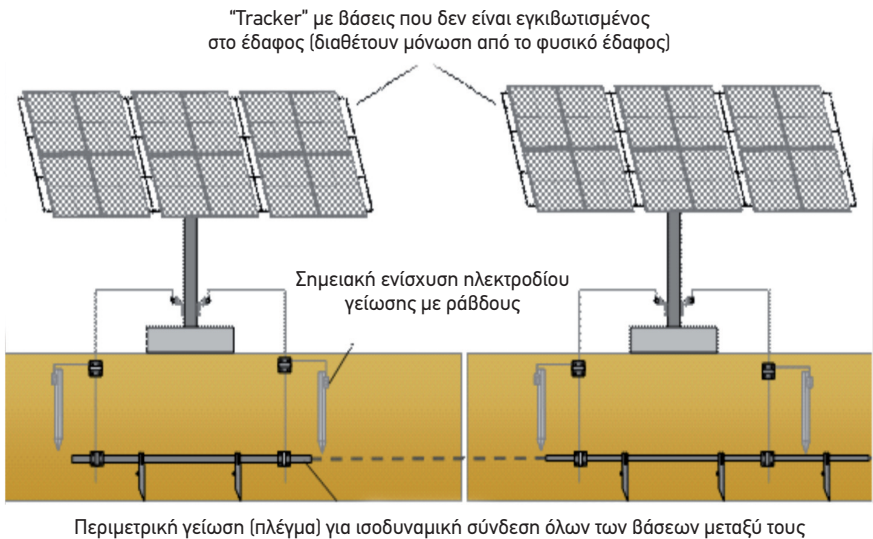
Εικόνα 10: Εγκατάσταση ηλεκτροδίου γείωσης σε απομονωμένο ΣΑΠ με σύνδεση κάθε σειρά συλλεκτήριων συστημάτων συνδέεται σε ξεχωριστή πλευρά του συστήματος γείωσης. Το μεταλλικό πλαίσιο των Φ/Β-στοιχείων γειώνεται με ξεχωριστό αγωγό σύνδεσης [9].

5.5 Σύστημα Γείωσης σε Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις Υπαίθριου Χώρου με Σύστημα Ιχνηλάτησης της Πορείας του Ήλιου

Τα σύστημα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου γνωστά και ως ηλιοπαρακολουθητές ή "trackers" δεν έχουν άμεση μεταλλική σύνδεση μεταξύ τους όπως συμβαίνει στα συστήματα με σταθερή βάση. Είναι λοιπόν σημαντικό να εγκατασταθεί ένα σύστημα γείωσης το οποίο θα παρέχει ισοδυναμική σύνδεση σε ολόκληρη την εγκατάσταση και θα διανέμει το κεραυνικό ρεύμα σε διάφορα μονοπάτια βοηθώντας στην ομαλή εκκαθάριση του στην περίπτωση πτώσης κεραυνού σε κάποιο "tracker". Η καλύτερη πρακτική που ακολουθείται είναι η διασύνδεση των Φ/Β-"trackers" με ηλεκτρόδιο Τύπου Β (με τυπικές διαστάσεις πλέγματος 20 x 20) όπως φαίνεται στην εικόνα 11. Επίσης το σύστημα γείωσης μπορεί να ενισχυθεί με ηλεκτρόδια Τύπου Α (ράβδοι, πλάκες) σε σημεία κοντά σε κάθε "tracker" (εικ. 12).



Εικόνα 11: Διασύνδεση των Φ/Β- "trackers" μέσω συστήματος γείωσης για καλύτερη διανομή του κεραυνικού ρεύματος και ισοδυναμική σύνδεση των μεταλλικών στοιχείων ολόκληρης της εγκατάστασης [9].

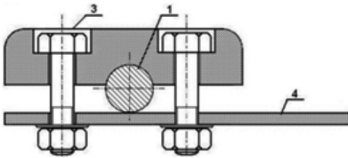


Εικόνα 12: Ενδυνάμωση του συστήματος γείωσης Τύπου Β με εγκατάσταση ηλεκτροδίων Τύπου Α πληθίων των "trackers" [9].

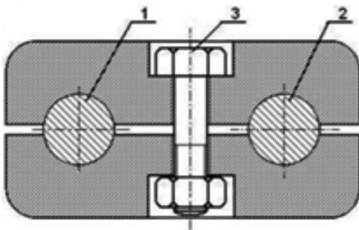
5.6 Στερέωση

Τα τρία συστατικά στοιχεία ενός ΣΑΠ αγωγού καθόδου, αγωγού του συλλεκτήριου συστήματος και αγωγού του συστήματος γείωσης πρέπει να είναι καλά στερεωμένοι, ώστε να αντέχουν σε ηλεκτροδυναμικές και μηχανικές καταπονήσεις, που πιθανόν να εμφανιστούν (από δονήσεις, θερμική διαστολή, συσσώρευση χιονιού κτλ) χωρίς να παρατηρείται χαλάρωση ή καταστροφή των αγωγών (παράρτημα Δ EN 62305-1).

Τα εξαρτήματα όπως στηρίγματα, σφικτήρες, συνδετήρες και γενικά τα στοιχεία που έρχονται σε άμεση επαφή με τους αγωγούς του ΣΑΠ, πρέπει να είναι από το ίδιο υλικό ή ηλεκτροχημικά συμβατά, για αποφυγή ηλεκτροχημικής διάβρωσης. Εάν δεν είναι εφικτή η χρήση ίδιου υλικού, τότε θα πρέπει να παρεμβάλλεται διμεταλλικό περίβλημα (εικ. 14) μεταξύ των δύο ανόμοιων υλικών ή θα χρησιμοποιείται στήριγμα με υλικό συμβατό με αυτό του αγωγού. Επίσης στο σημείο σύνδεσης δύο ανομοιογενών υλικών μπορεί κάτω από προϋποθέσεις να γίνει χρήση θερμής μονωτικής πίσσας. Προτείνεται ο Πίνακας 4 συμβατότητας υλικών:



Συνδετικός σφικτήρας για σύνδεση μεταξύ αγωγού γείωσης σε σχήμα ταινίας και μεταλλικών ράβδων αγωγών καθόδου.



Συνδετικός σφικτήρας για σύνδεση μεταξύ αγωγών γείωσης σε σχήμα ράβδου και μεταλλικών αγωγών καθόδου.

1. μεταλλικός αγωγός καθόδου.
2. μεταλλικός αγωγός γείωσης σε σχήμα ράβδου
3. βίδα
4. μεταλλικός αγωγός γείωσης σε σχήμα ταινίας.

Εικόνα 13: Παραδείγματα Συνδετικών Σφικτήρων.

Χαλκός	Χάλκινο, χάλκινο επικασσιτερωμένο, πλαστικό
Επικασσιτερωμένος Χαλκός	Χάλκινο, χάλκινο επικασσιτερωμένο, πλαστικό
Χάλυβας θερμά επιψευδαργυρωμένος	Χαλύβδινο θερμά επιψευδαργυρωμένο, ανοξείδωτο, πλαστικό
Αλουμίνιο	Χαλύβδινο θερμά επιψευδαργυρωμένο, ανοξείδωτο, πλαστικό
Ανοξείδωτος Χάλυβας	Χαλύβδινο θερμά επιψευδαργυρωμένο, ανοξείδωτο, πλαστικό
<p>■ Τα πλαστικά εξαρτήματα χρησιμοποιούνται σε στοιχεία όπου δεν χρειάζεται να επιτελείται ηλεκτρική συνέχεια (συνήθως στρίγματα).</p>	

Πίνακας 4: Πίνακας συμβατότητας υλικών-εξαρτημάτων σε ΣΑΠ.



Εικόνα 14: Διμεταλλικός Σύνδεσμος Αγωγών τριών πηκιδίων με ενδιάμεσο ανοξείδωτο πηκιδίο για αποφυγή ηλεκτροχημικής διάβρωσης.

6. Εσωτερική Εγκατάσταση Αντικεραυνικής Προστασίας

Η εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας χρησιμοποιείται για την πρόληψη επικίνδυνων σπινθήρων στην υπό προστασία κατασκευή, που πιθανό να προκαλέσει η ροή του κεραυνικού ρεύματος στο εξωτερικό ΣΑΠ ή στα αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης. Σε ένα Φ/Β-πάρκο η εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας προστατεύει τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, όπως inverters, πίνακες-υποπίνακες, όργανα μέτρησης, συσκευές προστασίας, Φ/Β-στοιχεία, αισθητήρια όργανα και προλαμβάνει τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας και εκδήλωσης πυρκαγιάς.

Δημιουργία ηλεκτρικού τόξου-σπινθήρων μπορεί να εμφανιστεί μεταξύ εξωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας και των πιο κάτω στοιχείων:

- μεταλλικών εγκαταστάσεων
- ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών, τηλεπικοινωνιακών συστημάτων
- εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων και συνδεδεμένων γραμμών

Επίσης μπορεί να δημιουργηθεί σπινθήρας μεταξύ των πιο πάνω στοιχείων σε περίπτωση που διαρρέονται από μέρος του ρεύματος κερανού.

Οι επικίνδυνοι σπινθήρες αποφεύγονται με μια σειρά μέτρων προστασίας που περιλαμβάνουν:

- Α. Ισοδυναμικές συνδέσεις (γεφύρωση δύο τμημάτων ή εγκατάσταση συσκευών περιορισμού υπερτάσεων).
- Β. δημιουργία ηλεκτρικής μόνωσης μεταξύ τμημάτων.

6.1 Ισοδυναμικές Συνδέσεις

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις επιβάλλεται να δημιουργηθούν μεταξύ τμημάτων της εγκατάστασης προς αποφυγή ανάπτυξης επικίνδυνου δυναμικού μεταξύ δύο τμημάτων. Το πρότυπο EN 62305-3 [6] αναφέρεται στη δημιουργία ισοδυναμικών συνδέσεων σε εγκαταστάσεις. Μια ισοδυναμική σύνδεση προϋποθέτει τη δημιουργία αγωγίμης οδού μεταξύ του εξωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας και:

- Α. μεταλλικών εγκαταστάσεων
- Β. εσωτερικών συστημάτων
- Γ. εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων και συνδεδεμένων στο Φ/Β-πάρκο γραμμών

Επίσης πρέπει δημιουργούνται ισοδυναμικές συνδέσεις μεταξύ των πιο πάνω στοιχείων εάν υπάρχει πιθανότητα ανάπτυξης επικίνδυνων σπινθήρων.

Τα μέσα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία αγωγίμης οδού σε ισοδυναμικές συνδέσεις είναι:

- A. συνδετικοί αγωγοί όπου η ηλεκτρική συνέχεια δεν παρέχεται από τον ουδέτερο
- B. συσκευές περιορισμού υπερτάσεων (SPDs), όπου δεν είναι εφικτή η άμεση γεφύρωση.
- Γ. μονωμένο διάκενο σπινθηρισμού (isolating spark gaps ISGs), όπου δεν επιτρέπεται η άμεση γεφύρωση.

6.1.1 Ισοδυναμικές Συνδέσεις σε Μεταλλικές Εγκαταστάσεις

Τα μεταλλικά στοιχεία που κυριαρχούν σε ένα Φ/Β-πάρκο είναι οι μεταλλικές βάσεις των Φ/Β-στοιχείων και πιθανόν κάποια μεταλλικά κουτιά ηλεκτρολογικών πινάκων ή κουτιά διασύνδεσης. Το σύνολο αυτών των στοιχείων πρέπει να παρουσιάζει αγωγήμη σύνδεση με το σύστημα γείωσης.

Όσον αφορά στις μεταλλικές βάσεις, παρατίθεται ο πιο κάτω πίνακας που περιγράφει τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, ανάλογα με το τύπο του ΣΑΠ, τον τύπο γείωσης και το τύπο βάσης των πλαισίων. Τα Φ/Β-πλαίσια σε μια σειρά, μπορεί να βρίσκονται τοποθετημένα σε μια ενιαία βάση ή σε ξεχωριστές μεμονωμένες (Πίνακας 5).

Τύπος ΣΑΠ	Τύπος Γείωσης	Βάση Πλαισίων	Μέτρα
Απομονωμένο ή Χωρίς Εξωτερικό ΣΑΠ	Τύπος Α	Ενιαία	Γ
		Ξεχωριστή	A&Γ
	Τύπος Β	Ενιαία	Β
		Ξεχωριστή	Β ή A&B
Μη Απομονωμένο	Τύπος Α	Ενιαία	- ή Γ
		Ξεχωριστή	A ή A&Γ
	Τύπος Β	Ενιαία	- ή Β
		Ξεχωριστή	A ή A&B

Πίνακας 5: Συνιστώμενα μέτρα ισοδυναμικής σύνδεσης μεταλλικών βάσεων Φ/Β-στοιχείων.

Μέτρο Α: σύνδεση ανεξάρτητων βάσεων. Στην περίπτωση που τα Φ/Β-πλαίσια είναι τοποθετημένα σε ξεχωριστές βάσεις δημιουργούνται ισοδυναμικές συνδέσεις γεφυρώνοντας τον κάθε μεταλλικό σκελετό της βάση με τον αμέσως επόμενο, ούτως ώστε να υπάρχει αγωγήμη οδός κατά μήκος των σειρών των Φ/Β-στοιχείων.

Μέτρο Β: σύνδεση βάσεων με το πλέγμα περιμετρικής γείωσης (Τύπου Β). Γίνεται γεφύρωση της μεταλλικής βάσης με το πλέγμα γείωσης. Στην περίπτωση μη απομονωμένου ΣΑΠ η σύνδεση αυτή εμπεριέχεται από το ΣΑΠ, αλλά μπορεί να ενισχυθεί και από σημεία του μεταλλικού σκελετού που δεν περιλαμβάνουν ακίδες προστασίας.

Μέτρο Γ: σύνδεση βάσεων με το πλησιέστερο σύστημα γείωσης (Τύπου Α). Γίνεται γεφύρωση της μεταλλικής βάσης με το ηλεκτρόδιο γείωσης. Επίσης μπορεί να συνδυαστεί με την περιμετρική γείωση Τύπου Β. Τα επιμέρους κάθετα ηλεκτρόδια γείωσης μπορούν να διασυνδεθούν περιμετρικά με ένα αγωγό σε σχήμα ταινίας πάνω στον οποίο θα ενωθούν οι ισοδυναμικές συνδέσεις.

Στον πίνακα 6 παρουσιάζεται η ελάχιστη διατομή αγωγών, ανάλογα με το υλικό του, που πρέπει να τηρείται σε ισοδυναμικές συνδέσεις μεταξύ μεταλλικού σκελετού και συστήματος γείωσης, σε απομονωμένα ΣΑΠ.

Στάθμη προστασίας	Υλικό	Διατομή mm ²
I έως IV	Χαλκός	6
	Χάλυβας	16

Πίνακας 6: Ελάχιστη διατομή αγωγών μεταξύ μεταλλικού σκελετού και συστήματος γείωσης για απομονωμένα ΣΑΠ.

Στον πίνακα 7 παρουσιάζεται η ελάχιστη διατομή αγωγών ανάλογα, με το υλικό του, που πρέπει να τηρείται σε ισοδυναμικές συνδέσεις μεταξύ μεταλλικού σκελετού και συστήματος γείωσης, σε μη απομονωμένα ΣΑΠ.

Στάθμη προστασίας	Υλικό	Διατομή mm ²
I έως IV	Χαλκός	16
	Χάλυβας	50

Πίνακας 7: Ελάχιστη διατομή αγωγών μεταξύ μεταλλικού σκελετού και συστήματος γείωσης για μη απομονωμένα ΣΑΠ.

6.1.2 Ισοδυναμικές Συνδέσεις Εξωτερικών Αγωγίμων Τμημάτων

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων αφορούν στη μεταλλική περιφραξη του Φ/Β-πάρκου. Είναι πολύ σημαντικό να γειωθεί η περιφραξη του πάρκου γιατί είναι προσβάσιμη από ανθρώπους και ζώα. Γι' αυτό το λόγο, πρέπει να αποφευχθούν πιθανοί κίνδυνοι ηλεκτροπληξίας από ενδεχόμενες τάσεις επαφής, που μπορεί να αναπτυχθούν στην περιφραξη. (Στην περίπτωση που το Φ/Β-πάρκο περιλαμβάνει υποσταθμό μέσης τάσης βλ. §6.4.2). Επίσης, εάν υπάρχουν μεταλλικές σωλήνες υδρορροών τότε πρέπει και για αυτές να λαμβάνονται μέτρα ισοδυναμικών συνδέσεων.

6.1.3 Ισοδυναμικές Συνδέσεις για Εσωτερικά Συστήματα

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις εσωτερικών συστημάτων αφορούν ηλεκτρικά και τηλεπικοινωνιακά συστήματα της Φ/Β εγκατάστασης (inverters, συστήματα ελέγχου, αισθητήρια όργανα).

Εάν τα καλώδια των συστημάτων φέρουν μεταλλική θωράκιση ή είναι τοποθετημένα σε μεταλλικό περίβλημα, τότε η ισοδυναμική σύνδεση με το σύστημα γείωσης γίνεται στο περίβλημα ή στη θωράκιση.

Στην περίπτωση που τα καλώδια δεν φέρουν μεταλλική θωράκιση, ούτε υπάρχει μεταλλικό περίβλημα, τότε πρέπει να συνδεθούν μέσω συσκευών περιορισμού υπέρτασης.

6.1.4 Ισοδυναμικές Συνδέσεις Εισερχομένων Καλωδίων στο ΦΒ-Πάρκο

Οι αγωγοί ηλεκτρικών και τηλεπικοινωνιακών γραμμών πρέπει να γεφυρώνονται απευθείας ή μέσω περιοριστών υπερτάσεων σε συμφωνία με τις προδιαγραφές που παρατίθενται στην παράγραφο 6.1.2. Οι ενεργοί αγωγοί πρέπει να συνδέονται στους ζυγούς εξίσωσης δυναμικού αποκλειστικά μέσω συσκευών περιορισμού υπερτάσεων. Σε συστήματα TN ο αγωγός προστασίας PE ή ο ουδέτερος αγωγός προστασίας PEN μπορούν να συνδέονται απευθείας στο ΣΑΠ ή μέσω συσκευής περιορισμού υπέρτασης.

Εάν τα καλώδια των συστημάτων φέρουν μεταλλική θωράκιση ή είναι τοποθετημένα σε μεταλλικό περίβλημα, τότε η ισοδυναμική σύνδεση δεν είναι αναγκαία εάν η διατομή των θωρακίσεων ξεπερνά την τιμή S_{cmin} η εκτίμηση της οποίας μπορεί να γίνει μέσω του προτύπου EN 62305-3 Παράρτημα Β.

Σημαντικό είναι να επιτυγχάνεται σύνδεση της μεταλλικής θωράκισης ή του μεταλλικού περιβλήματος των καλωδίων όσο πιο κοντά γίνεται στο σημείο εισόδου των γραμμών στο πάρκο (συνήθως υπάρχει κάποιος οικίσκος που στεγάζει μεγάλο ποσοστό του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και σε αυτό το σημείο καταλήγουν τα καλώδια).

6.2 Αντοχή Ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού έναντι Υπερτάσεων

Για τη λήψη μέτρων προστασίας από υπερτάσεις σε ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις γίνεται διαχωρισμός του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού σε κατηγορίες, οι οποίες αντικατοπτρίζουν την αντοχή του σε φαινόμενα υπερτάσεων. Βασικές παράμετροι για την κατηγοριοποίηση κάθε στοιχείου είναι η ονομαστική τάση λειτουργίας του στοιχείου, το σημείο εγκατάστασης του και η διηλεκτρική αντοχή του βάσει του EN 60664-1.

Σε συστήματα χαμηλής τάσης (230/400 Vac) διακρίνουμε τις τέσσερις πιο κάτω κατηγορίες με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά:

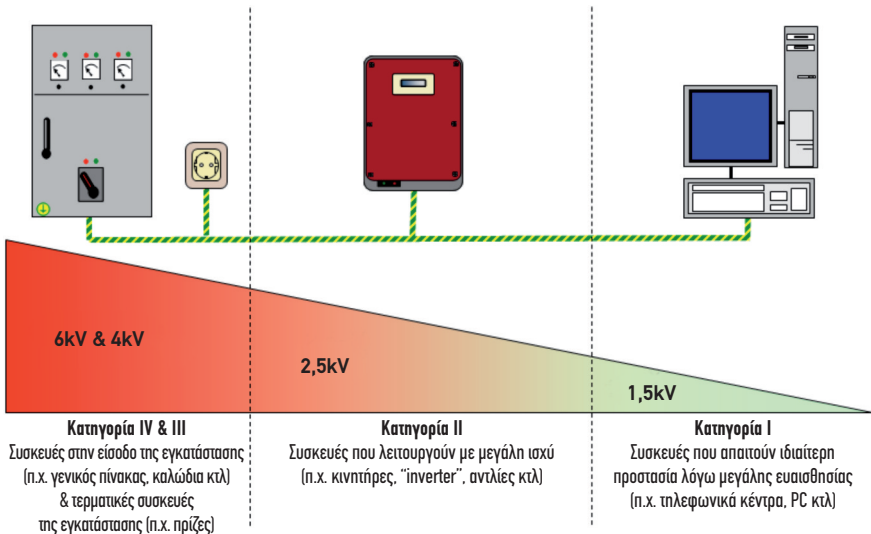
Κατηγορία IV: συσκευές που χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρολογική εγκατάσταση, όπως ηλεκτρολογικοί πίνακες, ασφάλειες, καλώδια όργανα μέτρησης κτλ.

Κατηγορία III: συσκευές μόνιμα συνδεδεμένες στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό για τη διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος όπως υποπίνακες.

Κατηγορία II: συσκευές μόνιμα συνδεδεμένες στον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό υψηλής ισχύος, όπως γεννήτριες, κινητήρες, αντλίες νερού κτλ.

Κατηγορία I: ηλεκτρονικές συσκευές χαμηλής ισχύος που περιέχουν ευαίσθητα ηλεκτρονικά κυκλώματα και χρειάζονται ειδική προστασία.

Στο Πίνακα 20 (Παρ. Ε) παρουσιάζονται οι απαιτούμενες αντοχές έναντι κρουστικών υπερτάσεων, που πρέπει να παρουσιάζει ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός ανάλογα με την κατηγορία στην οποία κατατάσσεται. Όσον αφορά στα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, οι αποδεκτές τιμές των φωτοβολταϊκών στοιχείων υπολογίζονται βάσει της αντοχής σε ρεύμα ανάστροφης πόλωσης και αντιστοιχούν σε μερικές εκατοντάδες βολτ.



Εικόνα 15: Κατηγοριοποίηση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σε Φ/Β εγκαταστάσεις ανάλογα με τη διηλεκτρική τους αντοχή [9].

Η αντοχή που επιδεικνύουν οι "inverters" στην DC- πλευρά εξαρτάται από τη μέγιστη τάση ανοικτού κυκλώματος και συνήθως αυτή καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Στην περίπτωση που δεν δίνονται πληροφορίες από τον κατασκευαστή για την αντοχή έναντι υπερτάσεων, η τιμή αυτή εκτιμάται περίπου στο πενταπλάσιο της μέγιστης τάσης ανοικτού κυκλώματος της DC-πλευράς του inverter. Επίσης μπορεί να γίνει αναδρομή στον πίνακα 8 που προτείνεται από το TS 50539-12, όπου παρουσιάζεται η διηλεκτρική αντοχή του εξοπλισμού σε σχέση με την τάση ανοικτού κυκλώματος. Για την πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος η αντοχή του "inverter" κατατάσσεται στην κατηγορία II.

U _{σε MAX} (V)	U _w (V)		
	Φ/Β-γεννήτρια	Inverter	Υπόλοιπος Εξοπλισμός
100	800	2500 (ελάχιστο απαιτούμενο)	800
150	1500		1500
300	2500		2500
424	4000		4000
600	4000	4000	4000
800	5000		5000
849	6000		6000
1000	6000	6000	6000
1500	8000	8000	8000

Πίνακας 8: Πίνακας αντοχής ηλεκτρικού εξοπλισμού στην DC πηθευρά.

6.3 Συσκευές Περιορισμού Υπερτάσεων (SurgeProtectiveDevices – SPDs)

6.3.1 Βασικά Χαρακτηριστικά

Οι συσκευές περιορισμού υπερτάσεων χρησιμοποιούνται ευρέως σε συστήματα χαμηλής τάσης για προστασία του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και τη δημιουργία ισοδυναμικών συνδέσεων στους αγωγούς ηλεκτροδότησης. Στόχος τους είναι η προστασία των ηλεκτρικών συστημάτων και του εξοπλισμού από ανεπιθύμητες υπερτάσεις και κρουστικά ρεύματα, που πιθανόν να εμφανιστούν από κεραυνικά πλήγματα ή διακοπτικές υπερτάσεις (switching overvoltages). Περιλαμβάνουν τουλάχιστο ένα μη γραμμικό στοιχείο (βαρίστορ μεταλλικού οξειδίου ή σπινθηριστή διακένου).

Η λειτουργία τους περιγράφεται ως εξής:

- στην περίπτωση απουσίας υπέρτασης στο σύστημα ηλεκτροδότησης οι συσκευές υπερτάσεων δεν επηρεάζουν το σύστημα.
- στην περίπτωση εμφάνισης υπέρτασης η συσκευή ανταποκρίνεται και μειώνοντας την αντίσταση της αφήνει το ρεύμα να εκτονωθεί διαμέσου της, μέχρι η τάση να φτάσει σε ασφαλή επίπεδο.
- μετά την απόσβεση της υπέρτασης, η αντίσταση της συσκευής ανεβαίνει σε υψηλά επίπεδα ώστε να μην υπάρχει διαρροή ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι συσκευές περιορισμού υπερτάσεων ταξινομούνται βάσει του EN 61643-12 ως εξής:

Αριθμός θυρών: 2 ή 3

Σχεδιαστική τοπολογία: μεταβολή τάσης, τάση καταφλίου ή συνδυασμός

Κλάση: I, II, III και II & III

Τοποθέτηση: εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου

Μέθοδος τοποθέτησης: σταθερή ή κινητή

Προσβασιμότητα: προσβάσιμο, μη προσβάσιμο

Αποζεύκτης: τοποθετημένος εσωτερικά ή εξωτερικά με λειτουργίες προστασίας (θερμική, ρεύματος διαρροής, υπερέντασης).

Προστασία υπερεντάσεως: καθορισμένη ή όχι

6.3.2 Διαχωρισμός Συσκευών Περιορισμού Υπερτάσεων ανάλογα με την Απόκριση τους σε Ρεύμα Υπερεντάσεως

Υπάρχουν δυο βασικοί τύποι συσκευών περιορισμού υπερτάσεων που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα αντικεραυνικής προστασίας, ανάλογα με την απόκριση τους σε ρεύμα υπερεντάσεως.

- α) **Τύπος 1 (T₁)** που προσφέρει πρωτεύουσα προστασία από κεραυνικά πλήγματα και ανταποκρίνεται σε κυματομορφές ρεύματος 10/350μs. Αυτός ο τύπος τοποθετείται στα σημεία που ενδέχεται να έχουν τη μεγαλύτερη συμφόρηση από το κεραυνικό πλήγμα δηλαδή στα σημεία πτώσης του κεραυνού.
- β) **Τύπος 2 (T₂)** που προσφέρει δευτερεύουσα προστασία από υπερεντάσεις και ανταποκρίνεται σε κυματομορφές ρεύματος 8/20μs. Αυτός ο τύπος τοποθετείται στα σημεία που δέχονται έμμεσα το κεραυνικό πλήγμα (σημεία όπου το κεραυνικό πλήγμα είναι πιο εξασθενημένο λόγω εκτόνωσης του από πολλαπλές διόδους).

6.3.3 Υπολογισμός Στάθμης Προστασίας U_p SPDs

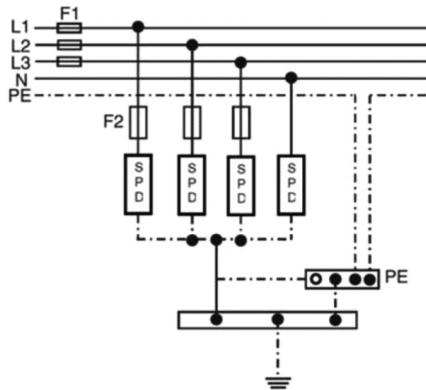
Η σημαντικότερη παράμετρος στην επιλογή μιας συσκευής SPD είναι η στάθμη προστασίας. Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός έχει συγκεκριμένη αντοχή σε υπερτάσεις (βλ. Παρ.6.4), ανάλογα με το σημείο εγκατάστασης και την ονομαστική τάση λειτουργίας του. Η τιμή της τάσης U_p πρέπει να είναι πιο χαμηλά από τα όρια αντοχής του εξοπλισμού προκειμένου να τον προστατεύει. Η τιμή U_p καθορίζεται από τον κατασκευαστή.

Η επιλογή των τεχνικών χαρακτηριστικών που πρέπει να περιλαμβάνει η εκάστοτε συσκευή περιορισμού υπερτάσεων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του σημείου εγκατάστασης της, περιγράφεται στο [Παράρτημα Γ](#).

6.3.4 Συνδεσμολογία Εγκατάστασης SPDs στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος (AC-Πλευρά)

Οι συσκευές SPD που βρίσκονται στον κεντρικό πίνακα της εγκατάστασής (ή κοντά από αυτό), πρέπει να συνδέονται τουλάχιστον μεταξύ των πιο κάτω στοιχείων (TS 61643-12):

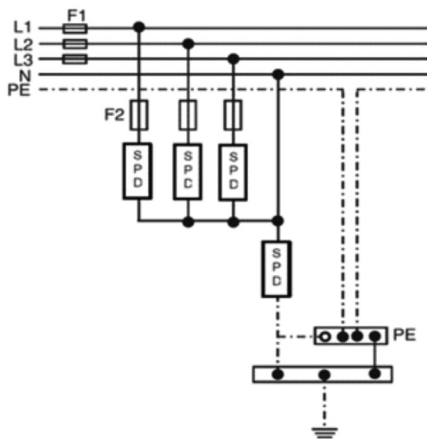
- A.** Εάν υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ ουδετέρου και αγωγού προστασίας (PE) στον κεντρικό πίνακα της εγκατάστασης (ή κοντά από αυτό) ή δεν υπάρχει ουδέτερος; τότε πρέπει να τοποθετείται συσκευή SPD μεταξύ κάθε γραμμής φάσης και τερματικού γείωσης ή του βασικού αγωγού προστασίας (σε όποιο βρίσκεται πλησιέστερα).
- B.** Εάν δεν υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ ουδετέρου και αγωγού προστασίας (PE) στον κεντρικό πίνακα της εγκατάστασης (ή κοντά από αυτό) τότε:
- α) Πρέπει να τοποθετείται συσκευή SPD μεταξύ κάθε γραμμής φάσης και τερματικού γείωσης ή του βασικού αγωγού προστασίας (σε όποιο βρίσκεται πλησιέστερα) και μεταξύ του ουδετέρου και τερματικού γείωσης ή του βασικού αγωγού προστασίας (σε όποιο βρίσκεται πλησιέστερα). [Τύπος Συνδεσμολογίας 1-Διάγραμμα 4]



Διάγραμμα 4: Συνδεσμολογία συσκευών SPD Τύπου 1 (TS 61643-12).

ή

- β) Πρέπει να τοποθετείται συσκευή SPD μεταξύ κάθε γραμμής φάσης και ουδετέρου και μεταξύ του ουδετέρου και τερματικού γείωσης ή του βασικού αγωγού προστασίας (σε όποιο βρίσκεται πλησιέστερα). [Τύπος Συνδεσμολογίας 2-Διάγραμμα 5]



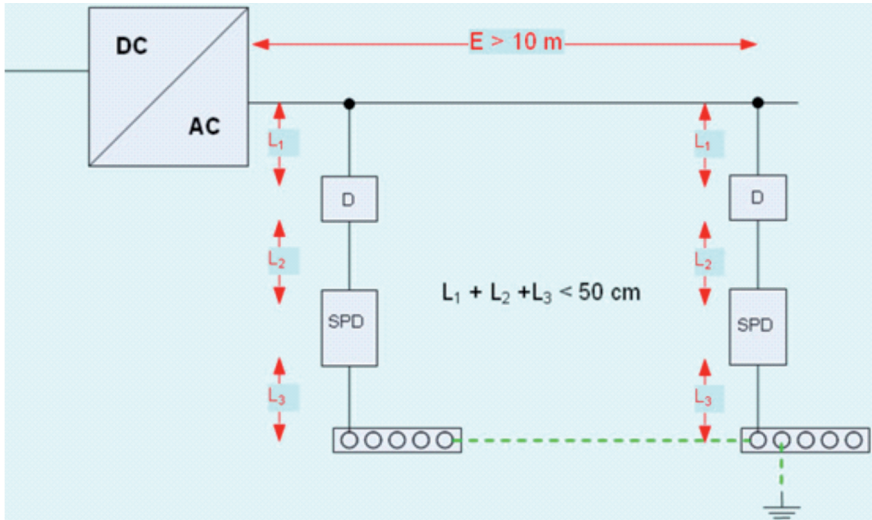
Διάγραμμα 5: Συνδεσμολογία συσκευών SPD Τύπου 2 (TS 61643-12).

→ Στον πίνακα 9 παρουσιάζονται οι πιθανοί τρόποι σύνδεσης των συσκευών SPD σε εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης (AC-πλευρά).

Σύνδεση συσκευών SPD μεταξύ:	Είδος συστήματος τροφοδοσίας εγκατάστασης							
	TT		TN-C	TN-S		IT με παροχή ουδετέρου		IT χωρίς παροχή ουδετέρου
	Εγκατάσταση βάση τύπου σύνδεσης			Εγκατάσταση βάση τύπου σύνδεσης		Εγκατάσταση βάση τύπου σύνδεσης		
	TΣ-1	TΣ-2		TΣ-1	TΣ-2	TΣ-1	TΣ-2	
Κάθε αγωγού φάσης και ουδετέρου αγωγού	+	√	☒	+	☒	+	√	☒
Κάθε αγωγού φάσης και αγωγού προστασίας PE	√	☒	☒	√	☒	√	☒	√
Ουδετέρου και αγωγού προστασίας PE	√	√	☒	√	√	√	√	☒
Κάθε αγωγού φάσης και ουδετέρου αγωγού προστασίας PEN	☒	☒	√	☒	☒	☒	☒	☒
Αγωγών φάσης	+	+	+	+	+	+	+	+
√: υποχρεωτικό, +: προαιρετικό								
TΣ: Τύπος Σύνδεσης, ☒: μη εφαρμοσμένο								

Πίνακας 9: Ενδεικτικοί τρόποι σύνδεσης SPDs σε εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης (TS61643-12).

Επιπρόσθετα, η εικόνα 16 υποδεικνύει ότι πριν από την κάθε συσκευή πρέπει να υπάρχουν διακόπτες απομόνωσης (για αντικατάσταση, επιθεώρηση συσκευών) ενώ οι επιμέρους καλωδιώσεις δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 50cm.



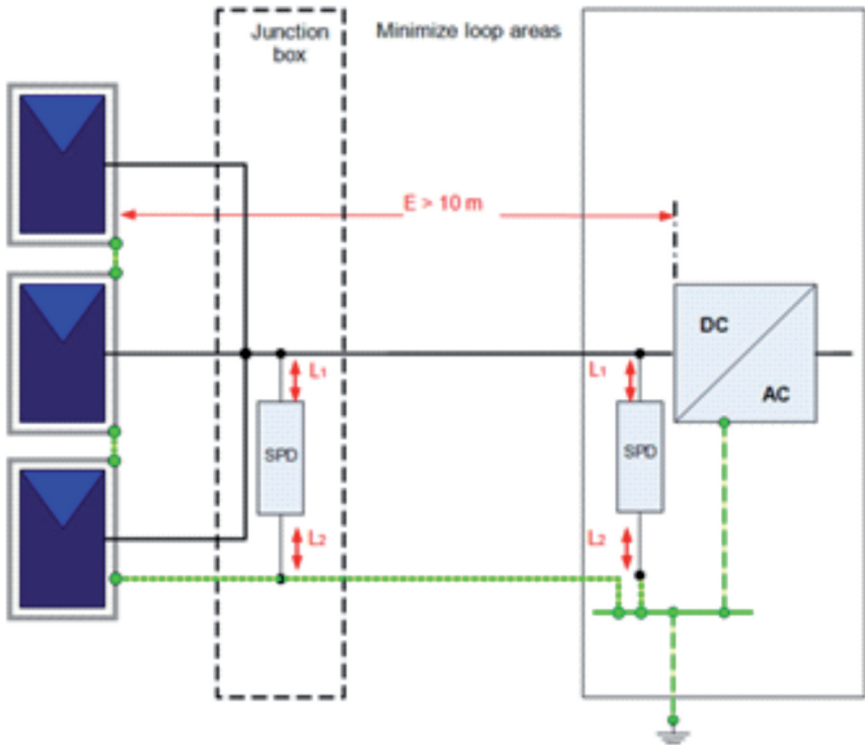
Εικόνα 16: Εγκατάσταση συσκευών SPDs στην AC-πλευρά (TS 50539-12).

6.3.5 Συνδεσμολογία Εγκατάστασης SPDs στην πλευρά συνεχούς ρεύματος (DC-Πλευρά)

Η εγκατάσταση των συσκευών SPD πρέπει να γίνεται όσο το δυνατό πιο κοντά στον "inverter". Στην περίπτωση που η απόσταση μεταξύ inverter και φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι μεγαλύτερη των 10m, τότε χρειάζεται να εγκατασταθεί ακόμα ένα συμπληρωματικό σετ SPD πλησίον των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Το μήκος των καλωδίων σύνδεσης L1, L2 πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερο. (εικ.17)

Σημείωση: Η καλωδίωση κάθε σειράς φωτοβολταϊκών πρέπει να περιλαμβάνει ανεξάρτητη προστασία (SPD) πριν από τη σύνδεση της στον "inverter". Δηλαδή, για παράδειγμα, εάν υπάρχουν εγκατεστημένες τρεις σειρές Φ/Β-στοιχείων με τρεις ανεξάρτητες καλωδιώσεις πρέπει να εγκατασταθούν τρία σετ συσκευών (ή περισσότερα αν δεν ικανοποιούνται οι αποστάσεις των 10m).

Εάν η τεχνολογία του "inverter" επιτρέπει την παράλληλη σύνδεση των επιμέρους καλωδιώσεων, τότε μέσω ενός κουτιού διακλάδωσης (junction box) γίνεται παραλληλισμός της καλωδίωσης και έτσι η προστασία περιορίζεται σε ένα μόνο σετ (ή δύο αν δεν ικανοποιούνται οι αποστάσεις των 10m).



Εικόνα 17: Εγκατάσταση SPDs στην DC-πλευρά με τη βοήθεια κουτιού διακλάδωσης (η απόσταση μεταξύ Φ/Β-στοιχείων και "inverter" ξεπερνά τα 10m).

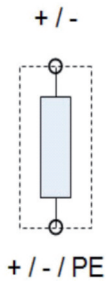
- Τα καλώδια σύνδεσης μεταξύ SPD και ισοδυναμικού ζυγού (L_2) πρέπει να έχουν ελάχιστη διατομή 16mm^2 χαλκού ή ισοδύναμου αγωγού ή να είναι μεγαλύτερης διατομής των ενεργών αγωγών (αν αυτοί ξεπερνούν τα 16mm^2) αν πρόκειται για Τύπου 1 SPD.
- Τα καλώδια σύνδεσης μεταξύ SPD και ισοδυναμικού ζυγού (L_2) πρέπει να έχουν ελάχιστη διατομή 6mm^2 χαλκού ή ισοδύναμου αγωγού ή να είναι μεγαλύτερης διατομής των ενεργών αγωγών (αν αυτοί ξεπερνούν τα 6mm^2) αν πρόκειται για Τύπου 2 SPD.
- Τα καλώδια σύνδεσης μεταξύ SPD και ενεργών αγωγών (L_1) πρέπει να έχουν ελάχιστη διατομή ίση με αυτή των ενεργών αγωγών.

- Για να εξασφαλιστεί η αντοχή των ενεργών αγωγών της DC-πλευράς από κρουστικά ρεύματα, πρέπει η ενεργός διατομή τους να ξεπερνά τα 16 mm² ή τα 6mm², εάν έχουν εγκατεστημένες συσκευές SPDs Τύπου1 και Τύπου 2 αντίστοιχα.

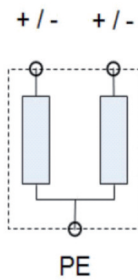
6.3.6 Εσωτερική Σχηματική Σύνδεση SPDs στην DC-Πλευρά

Πιο κάτω παρουσιάζονται (εικ.18-23) οι πιο επικρατέστεροι τρόποι σύνδεσης των συσκευών SPD στην DC-πλευρά. Οι συνδέσεις μπορεί να επιτευχθούν είτε με συσκευές δύο ακροδεκτών (single mode) είτε με συσκευές πολλαπλών ακροδεκτών (multipole).

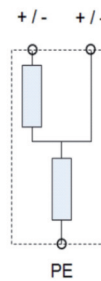
Σημείωση: Συνήθως προτιμάται η συνδεσμολογία Υ, γιατί σε περίπτωση σφάλματος το ρεύμα σφάλματος διέρχεται από δύο συσκευές σε σειρά, έτσι επεκτείνεται η διάρκεια ζωής των συσκευών (εκτίθενται σε μικρότερα επίπεδα τάσεων).



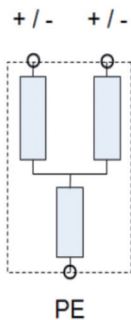
Εικόνα 18: I-Διαμόρφωση



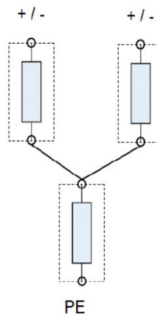
Εικόνα 19: U-Διαμόρφωση



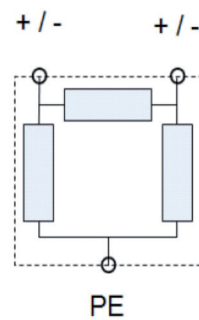
Εικόνα 20: Λ-Διαμόρφωση



Εικόνα 21: Υ-Διαμόρφωση



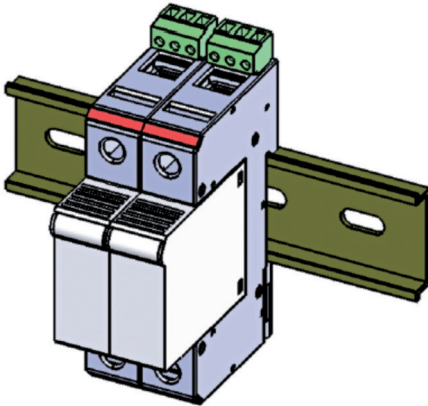
Εικόνα 22: Υ-Διαμόρφωση με την Χρήση Διπολικών SPDs.



Εικόνα 23: Δ-Διαμόρφωση

6.3.7 Εγκατάσταση SPDs στην DC-Πλευρά

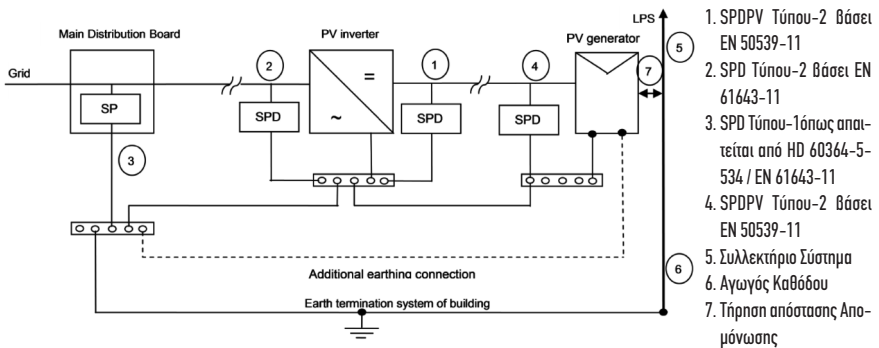
Η εγκατάσταση των συσκευών SPD στην πλευρά συνεχούς ρεύματος μπορεί να γίνει σε υποπίνακες πάνω σε ράγες (DINrails) για εύκολη προσαρμογή. Σημαντικό είναι να παρέχεται η απαραίτητη προστασία στις συσκευές και το σημείο εγκατάστασής τους να είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπει επιθεώρηση και συντήρηση.



Εικόνα 24: Εγκατάσταση συσκευών SPDs πάνω σε ράγα.

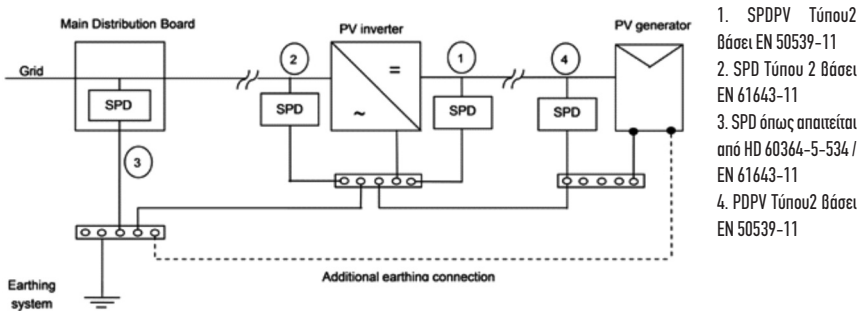
6.3.8 Επιλογή τύπου SPD σε Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση [50539-12]

■ Εάν το Φ/Β-πάρκο διαθέτει απομονωμένο ΣΑΠ τότε στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος AC, πρέπει να εγκατασταθεί στον πίνακα ηλεκτροδότησης ένα σετ SPDs τύπου T₁. Τα υπόλοιπα SPDs μπορεί να είναι τύπου T₂ (εικ.25).



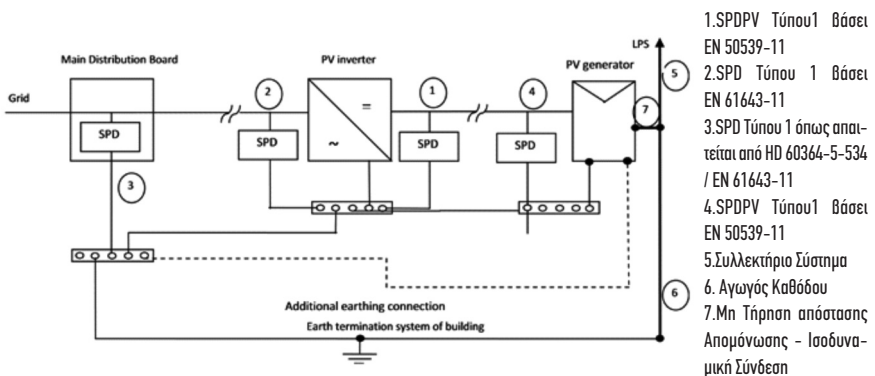
Εικόνα 25: Εγκατάσταση συσκευών SPDs σε εγκατάσταση με απομονωμένο ΣΑΠ.

- Εάν το Φ/Β-πάρκο δεν διαθέτει εξωτερικό ΣΑΠ τότε στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος AC πρέπει να εγκατασταθεί στον πίνακα ηλεκτροδότησης ένα σετ SPDs τύπου T₁, εάν η τροφοδοσία γίνεται με εναέρια γραμμή ή ένα σετ SPDs τύπου T₂, εάν η τροφοδοσία γίνεται με υπόγειο καλώδιο. Τα υπόλοιπα SPDs μπορεί να είναι τύπου T₂ (εικ.26).



Εικόνα 26: Εγκατάσταση συσκευών SPDs σε εγκατάσταση χωρίς εξωτερικό ΣΑΠ

- Εάν το Φ/Β-πάρκο διαθέτει μη-απομονωμένο ΣΑΠ τόσο στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος AC όσο και στην πλευρά συνεχούς ρεύματος DC των φωτοβολταϊκών στοιχείων, χρειάζεται να γίνει εγκατάσταση συσκευών τύπου T₁ (εικ.27).



Εικόνα 27: Εγκατάσταση συσκευών SPDs σε εγκατάσταση με μη απομονωμένο ΣΑΠ.

AC-Πλευρά

- Στις περιπτώσεις απομονωμένου ΣΑΠ ή χωρίς εξωτερικό ΣΑΠ, εάν η καλωδίωση από τον "inverter" στον πίνακα ηλεκτροδότησης είναι μικρότερη των 10m, τότε ένα σετ SPDs στο σημείο (3) είναι αρκετό. Εάν όμως η καλωδίωση μεταξύ "inverter" και πίνακα ηλεκτροδότησης είναι μεγαλύτερη των 10m τότε χρειάζεται ακόμα ένα επιπλέον σετ SPDs στην AC πλευρά κοντά στον "inverter" (Εικ. 25 - σημείο 2).
- Για μη-απομονωμένα ΣΑΠ πρέπει να γίνεται εγκατάσταση συσκευών SPDs και στον κεντρικό πίνακα καθώς επίσης κοντά στον "inverter" ανεξάρτητα από την απόσταση απομόνωσης. Εξαιρούνται πολύ μικρές Φ/Β-εγκαταστάσεις όπου ο "inverter" και ο κεντρικός πίνακας συνδέονται στον ίδιο ζυγό γείωσης, έτσι ένα σετ SPDs είναι αρκετό.

DC-Πλευρά

- Στις περιπτώσεις απομονωμένου ΣΑΠ ή χωρίς εξωτερικό ΣΑΠ, εάν η καλωδίωση από τον "inverter" στη Φ/Β-γεννήτρια είναι μικρότερη των 10m τότε ένα σετ SPDs πλησίον του "inverter", (Εικ. 25 - σημείο 2), είναι αρκετό. Εάν όμως η καλωδίωση μεταξύ "inverter" και πίνακα ηλεκτροδότησης είναι μεγαλύτερη των 10m, τότε χρειάζεται ακόμα ένα επιπλέον σετ SPDs στην AC πλευρά πλησίον της Φ/Β-γεννήτριας (Εικ. 25 - σημείο 4).
- Για μη-απομονωμένα ΣΑΠ πρέπει να γίνεται εγκατάσταση συσκευών SPDs και κοντά στον "inverter" και κοντά στη Φ/Β-γεννήτρια ανεξάρτητα από την απόσταση απομόνωσης.
- Εάν το μήκος E (εικ. 17) είναι μεγαλύτερο από 10m και η στάθμη προστασίας της συσκευής SPD είναι μικρότερη του μισού της διηλεκτρικής αντοχής της Φ/Β-γεννήτριας ($0,5 \cdot U_w$), τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ένα σετ SPDs πλησίον του "inverter". (Η συγκεκριμένη πρόταση δεν είναι εφαρμόσιμη σε μη απομονωμένα ΣΑΠ)

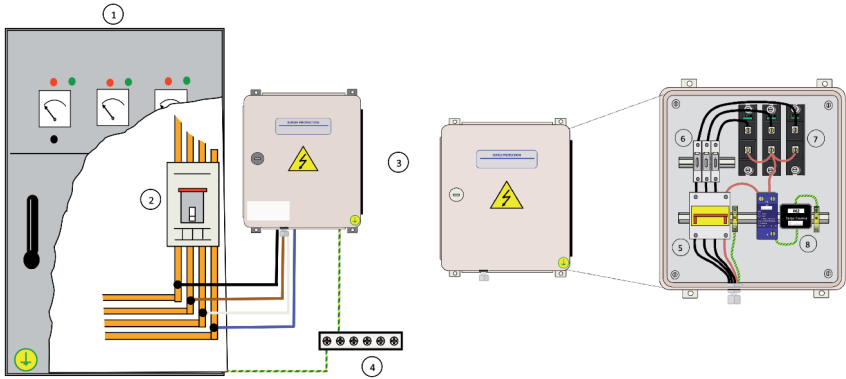
6.3.9 Εγκατάσταση SPDs σε Πίνακες Υποπίνακες της Εγκατάστασης – AC Πλευρά

Σε Φ/Β-πάρκα οι καλωδιώσεις της ac-πλευράς των "inverter" συνδέονται σε υποπίνακες της εγκατάστασης και στη συνέχεια το σύνολο των καλωδιώσεων από τους επιμέρους υποπίνακες ομαδοποιούνται (ανά φάση) σε ένα κεντρικό πίνακα. Τόσο οι υποπίνακες όσο και ο κεντρικός πίνακας είναι ειδικά σχεδιασμένοι για εξωτερικό χώρο ικανοί να αντέχουν αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Στους υποπίνακες η εγκατάσταση των συσκευών SPDs στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος, γίνεται συνήθως πάνω σε ράγες (DINrail) και συνιστάται να γίνεται πριν από το Διακόπτη Διαφυγής Ρεύματος (RCD) για προστασία του RCD από κρουστικά ρεύματα.

Όσον αφορά στον κεντρικό πίνακα, η εγκατάσταση των συσκευών SPDs συνιστάται να γίνεται πριν από τον κεντρικό διακόπτη ισχύος (main circuit breaker), αφού ο εν λόγω διακόπτης περιλαμβάνει ευαίσθητα ηλεκτρονικά στοιχεία που χρειάζονται προστασία. Η εγκατάσταση των SPDs μπορεί να γίνει μέσα στον κεντρικό πίνακα λαμβάνοντας όμως τα απαραίτητα μέτρα για υψηλό επίπεδο ρεύματος σφάλματος (σε μεγάλα Φ/Β-πάρκα ο κεντρικός πίνακας μπορεί να εκτίθεται σε ρεύματα μεγαλύτερα των 1000A).

Μια καλή πρακτική που παρουσιάζεται στην Εικ. 28, είναι η εγκατάσταση των συσκευών σε ξεχωριστή μονάδα μαζί με τα συμπληρωματικά εξαρτήματα προστασίας από υπερεντάσεις (ασφάλειες) και διακόπτη απομόνωσης.



Εικόνα 28: Εγκατάσταση SPDs σε ξεχωριστή μονάδα πριν από τον κεντρικό διακόπτη φορτίου. [1: κεντρικός πίνακας εγκατάστασης, 2: κεντρικός διακόπτης φορτίου, 3: ξεχωριστή μονάδα, 4: ισοδυναμική σύνδεση, 5: διακόπτης απομόνωσης, 6: ασφάλειες, 7: SPDs βαρέας χρήσης 8: μετρητής εμφάνισης κρουστικών επεισοδίων] [9]

6.3.10 Προστασία Φ/Β-στοιχείων από Υπερρεύματα και Διακόπτης Φορτίου

Ασφάλειες gPV

Για την προστασία των Φ/Β-στοιχείων από υπερεντάσεις που πιθανόν να εμφανιστούν είτε λόγω κάποιου βραχυκυκλώματος ή απότομης αλλαγής της τιμής του ρεύματος, υπάρχουν ειδικές ασφάλειες για Φ/Β-εγκαταστάσεις που φέρουν τη σήμανση "gPV". Επειδή το ρεύμα που παράγεται από τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες έχει ρυθμό αύξησης της τάσης από το μηδέν στη μέγιστή του τιμή, πέντε φορές πιο γρήγορα από ότι στις συνηθισμένες πηγές DC ρεύματος, οι παραδοσιακές ασφάλειες δεν μπορούν να ανταποκριθούν επαρκώς.

Επίσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, ότι όταν γίνεται παραλληλισμός των καλωδιώσεων υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας ανάστροφου ρεύματος στα άκρα κάποιου string, π.χ. στην περίπτωση που εμφανιστεί παροδική σκίαση τμήματος της Φ/Β-εγκατάστασης. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιφέρει ζημιά στα Φ/Β-στοιχεία αφού πρόκειται για ένα ρεύμα διόλου αμελητέο. Έτσι είναι αναγκαίο όταν υπάρχει παραλληλισμός περισσότερων από δύο κλάδων (strings) να τοποθετούνται ασφάλειες προστασίας "gPV". (Σημ. μπορεί να γίνει και χρήση διόδων κάτι το οποίο δεν συνιστάται, γιατί οι δίοδοι δεν αποτελούν εν γένει συσκευές προστασίας και επιπλέον προκαλούν απώλειες στο κύκλωμα).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ασφαλειών υπολογίζονται βάσει του EN 60269-6 και περιλαμβάνουν τις πιο κάτω παραμέτρους:

Όνομαστική τιμή τάσης λειτουργίας (rated)

Όνομαστική τιμή ρεύματος λειτουργίας (rated)

Ικανότητα διακοπής-Αντοχή σε ρεύμα βραχυκυκλώματος.

Ρυθμός ανόδου θερμοκρασίας σε κανονική λειτουργία.

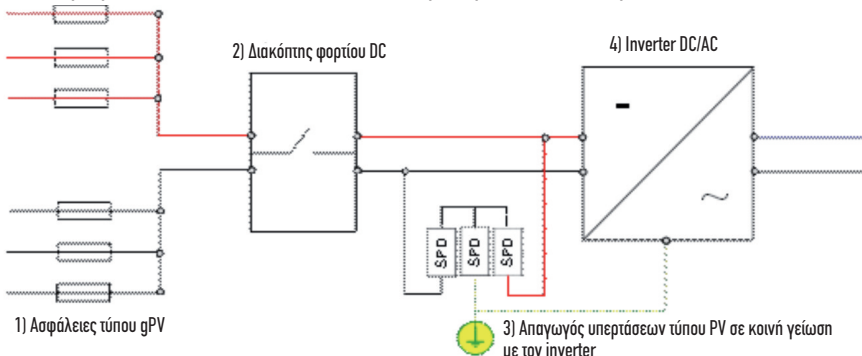
Χαρακτηριστική ρεύματος-χρόνου.

Διαστάσεις-Μέγεθος.

Οι ασφάλειες τοποθετούνται σε σειρά με την καλωδίωση κάθε σειράς Φ/Β-στοιχείων και πρέπει να είναι τοποθετημένες σε ασφαλειοθήκες ικανές να αντέξουν καταπόνηση ακόμα και στις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας (εικ. 29). (Σημ. αντί ασφαλειών μπορεί να γίνει χρήση μικροαυτομάτων (MCB) μια λύση τεχνικά ανώτερη αλλά με σημαντικά μεγαλύτερο κόστος.)

Διακόπτης Φορτίου

Είναι αναγκαίο να υπάρχει ένας διακόπτης φορτίου πριν από κάθε σετ από SPDs ούτως ώστε να απομονώνει την εγκατάσταση σε περιπτώσεις ανάγκης αντικατάστασης των SPDs. Ο συγκεκριμένος διακόπτης φορτίου πρέπει να είναι ικανός να διακόπτει το κύκλωμα ακόμα και αν είναι υπό φορτίο για αυτό πρέπει να έχει τα κατάλληλα τεχνικά χαρακτηριστικά. Υπάρχουν ειδικοί διακόπτες για αυτή τη χρήση με την ονομασία DC-απομονωτές (DC-isolators) που είναι σχεδιασμένοι για συνεχή ρεύματα (εικ. 29). Ως επί το πλείστον περιλαμβάνουν ένα θάλαμο σβέσης του ηλεκτρικού τόξου για καλύτερη αποτελεσματικότητα. Σε αντίθεση με του κοινούς διακόπτες φορτίου οι DC-απομόνωσες επιδεικνύουν πολικότητα για αυτό πρέπει να εξετάζονται τα φύλλα των κατασκευαστών πριν συνδεθούν στην εγκατάσταση. Λανθασμένη σύνδεση εγκυμονεί κινδύνους πυρκαγιάς από πιθανή ανάφλεξη-καταστροφή της συσκευής κάτι το οποίο παρατηρήθηκε στο παρελθόν.



Εικόνα 29: Παράδειγμα σχηματικής διαμόρφωσης προστασίας στην DC-πλευρά. (κάθε string περιλαμβάνει ασφάλεια gPV ενώ στη συνέχεια αφότου παραλληλιστεί η καλωδίωση τοποθετείται DC-isolator και στη συνέχεια ένα σετ SPDs)

6.3.11 Συσκευές Προστασίας από Υπερτάσεις SPDs για Καλώδια Ελέγχου και Μεταφορά Δεδομένων

Για τον έλεγχο εξ αποστάσεως και την εποπτεία του "inverter" αλλά και γενικότερα της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, υπάρχει ένα σύνολο από ηλεκτρονικά στοιχεία και αισθητήρια όργανα. Αυτά τα στοιχεία συνδέονται μέσω καλωδίων μεταφοράς δεδομένων στον "inverter" ή στο σύστημα εποπτείας-ελέγχου (scada system) - εικ. 30. Επίσης σε περίπτωση που η εγκατάσταση έχει περισσότερους από ένα "inverter", τότε αυτοί μπορεί να είναι επίσης διασυνδεδεμένοι μέσω καλωδίων για ανταλλαγή δεδομένων. Το σύνολο αυτών των ηλεκτρονικών στοιχείων καθώς και οι είσοδοι λήψης δεδομένων των "inverter" παρουσιάζουν ευαισθησία στις επιβλαβείς υπερτάσεις του δικτύου. Τα εγκατεστημένα SPDs ισχύος αδυνατούν να προστατεύσουν, για αυτό και πρέπει να γίνει εγκατάσταση συγκεκριμένων SPDs για γραμμές μεταφοράς δεδομένων.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των συσκευών SPDs για γραμμές μεταφοράς δεδομένων πρέπει να καθορίζονται βάσει του TS 61643-22 και να αντεπεξέρχονται στις δοκιμές του TS 61643-21.

Βασικά Τεχνικά Χαρακτηριστικά SPDs:

Μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας U_c

Επίπεδο τάσης προστασίας U_p

Επαναφορά

Μονωτική ικανότητα (ρεύμα διαρροής)

Εκτιμώμενο ρεύμα (rated current)

Επίσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στοιχεία των καλωδίων μεταφοράς δεδομένων όπως:

Χωρητικότητα

Αντίσταση

Σύνδεση με ηλεκτρικό εξοπλισμό-Βύσματα

Η επιλογή των συσκευών SPDs για γραμμές μεταφοράς δεδομένων εξαρτάται από το είδος των σημάτων που μεταφέρουν τα καλώδια όπως:

Τηλεπικοινωνιακά Σήματα: Τύπος γραμμής (PSTN ADSL)

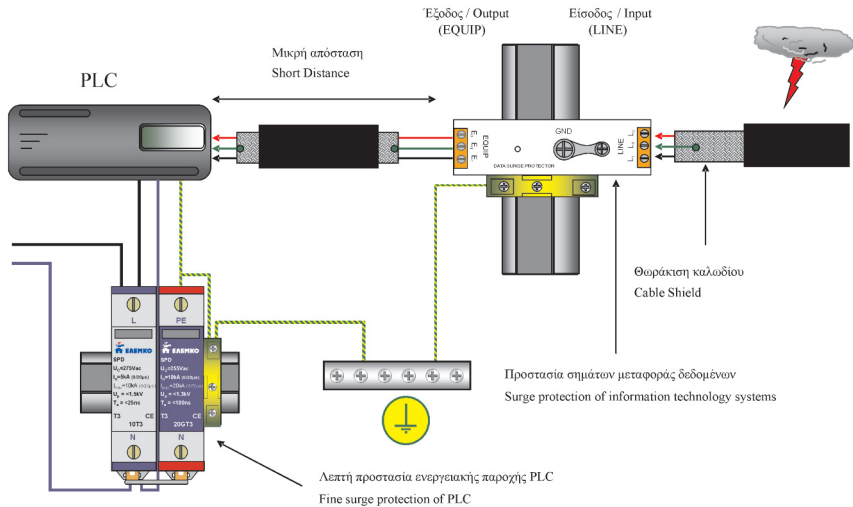
Αναλογικά/Ψηφιακά Σήματα: Συχνότητα, πλάτος τάσης και ρεύματος σήματος.

RF σήματα: Συχνότητα, ισχύς, αντίσταση καλωδίου

6.3.12 Εγκατάσταση Συσκευών SPDs σε Καλώδια Μεταφοράς Δεδομένων

Τα SPDs που χρησιμοποιούνται για μεταφορά δεδομένων πρέπει να συνδέονται με τους κλώνους του καλωδίου (corewires), αλλά και με την θωράκιση του καλωδίου (shielding). Η εγκατάσταση του εξοπλισμού πρέπει να γίνεται όσο το δυνατό

πιο κοντά στον υπό προστασία εξοπλισμό και κατά προτίμηση σε απόσταση μικρότερη του 0.5m. Στα καλώδια μεταφοράς δεδομένων που συνδέουν δύο "inverter", στην περίπτωση που το μήκος του καλωδίου είναι μικρότερο των 10m, τότε ένα σετ SPDs είναι αρκετό. Στην περίπτωση που το μήκος του καλωδίου ξεπερνά τα 10m, τότε χρειάζονται δύο σετ SPD τα οποία συνδέονται πλησίον του κάθε "inverter".



Εικόνα 30. Εγκατάσταση SPD σε καλώδια ελέγχου και μεταφοράς δεδομένων [9].

6.4. ΦΒ Εγκαταστάσεις Υπαίθριου Χώρου με Τοπικό Υποσταθμό Μέσης Τάσης

6.4.1 Σύστημα Γείωσης MT/XT

Σε μεγάλα φωτοβολταϊκά πάρκα (συνήθως εγκατεστημένης ισχύς πέραν των 100KWp), η σύνδεση τους στο δίκτυο επιβάλλεται να γίνεται μέσω τοπικών υποσταθμών MT/XT. Το σύστημα γείωσης του υποσταθμού πρέπει να είναι σχεδιασμένο, ώστε να εξασφαλίζει προστασία από βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής, που πιθανόν να αναπτυχθούν σε περίπτωση σφάλματος στον υποσταθμό. (Τα σφάλματα βραχυκυκλώματος στην πλευρά της μέσης τάσης περιλαμβάνουν μεγάλα ρεύματα βραχυκυκλώματος που μπορεί να ξεπερνούν τα 10KA).

Ένα βασικό θέμα που χρήζει εξέτασης είναι κατά πόσο τα δύο συστήματα γείωσης, μέσης και χαμηλής τάσης, θα είναι συνδεδεμένα δημιουργώντας ένα ενιαίο σύστημα γείωσης ή θα είναι δύο ανεξάρτητα συστήματα γείωσης. Η χαμηλή αντίσταση γείωσης δεν εγγυάται πάντα απόλυτη ασφάλεια από τις επαγόμενες τάσεις. Ως εκ τούτου, ανά-

λογα με τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης (υποσταθμού & Φ/Β-πάρκου) πρέπει να γίνεται μελέτη και μοντελοποίηση, ώστε να εκτιμηθούν οι προδιαγραφές που πρέπει να πληροί. Για παράδειγμα ένας υποσταθμός με χαμηλή αντίσταση γείωσης που συνδέεται με εναέρια γραμμή χωρίς ουδέτερο ή αγωγό προστασίας (γείωση), επιδεικνύει μεγαλύτερη επικινδυνότητα από ένα υποσταθμό με μεγαλύτερη αντίσταση γείωσης που όμως συνδέεται με υπόγειο καλώδιο που φέρει μεταλλική θωράκιση (shieldwire). Αυτό συμβαίνει επειδή μέρος του ρεύματος σφάλματος εκκαθαρίζεται μέσω της θωράκισης του καλωδίου. Στους ιδιωτικούς σταθμούς θα πρέπει να ακολουθούνται οι κανόνες του διαχειριστή συστήματος μεταφοράς. Επίσης συνίσταται να γίνει μια αναδρομή στον οδηγό IEEE Std 80:2000 «Guide for safety in AC substation grounding» καθώς και στο πρότυπο EN50522 «Earthing of power installation exceeding 1kV AC».

Οι μετασχηματιστές υποβιβασμού τάσης που χρησιμοποιούνται σε ιδιωτικούς υποσταθμούς είναι ως επί το πλείστον συνδεσμολογίας Dy, ενώ σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδεσμολογία Yz κατόπιν συνεννόησης με την αρμόδια αρχή.

Στην περίπτωση ενιαίου συστήματος γείωσης ο ουδέτερος του μετασχηματιστή είναι συνδεδεμένος με το πλέγμα γείωσης του υποσταθμού. Η αδυναμία αυτού του συστήματος είναι ότι σε περίπτωση σφάλματος στον υποσταθμό, η ροή ρεύματος σφάλματός στη Γη έχει ως επακόλουθο την άνοδο του δυναμικού του πλέγματος γείωσης και κατά συνέπεια την αύξηση του δυναμικού στον ουδέτερο του Μ/Χ. Επίσης μέρος του ρεύματος σφάλματος μπορεί να μεταφερθεί μέσω του ουδετέρου στις εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης προκαλώντας επικίνδυνες καταστάσεις.

Γενικά συνιστάται η ύπαρξη ενιαίας γείωσης μεταξύ χαμηλής και μέσης τάσης, λόγω και της εγγύτητας των δύο συστημάτων γείωσης. Για να γίνει αποδεκτή όμως η δημιουργία ενιαίας γείωσης πρέπει να εξασφαλίζεται ότι στην πλευρά της χαμηλής τάσης, σε περίπτωση σφάλματος στην πλευρά μέσης τάσης, η αύξηση της τάσης μεταξύ ουδετέρου και παρακείμενης Γης δεν υπερβαίνει τις πιο κάτω τιμές:

A. για χρόνο σφάλματος $t_{\text{fault}} > 5\text{s}$ η μέγιστη τάση $\text{EPR} < 1200\text{V}$

B. για χρόνο σφάλματος $t_{\text{fault}} > 5\text{s}$ η μέγιστη τάση $\text{EPR} < 250\text{V}$

Επίσης η τιμή αντίστασης του ενιαίου συστήματος γείωσης πρέπει να είναι μικρότερη του 1Ω .

Στην περίπτωση που δεν ικανοποιούνται οι πιο πάνω απαιτήσεις, τότε προτείνεται η δημιουργία δύο ανεξάρτητων συστημάτων γείωσης. Ο ουδέτερος του μετασχηματιστή απομονώνεται από την εγκατάσταση του υποσταθμού για αυτό και πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν ενεργός αγωγός και στη συνέχεια γειώνεται στο σύστημα γείωσης χαμηλής τάσης του φωτοβολταϊκού πάρκου. Σε περίπτωση σφάλματος στην πλευρά της μέσης τάσης επάγεται τάση μεταξύ του γειωμένου κελύφους του μετασχηματιστή και των ενεργών αγωγών συμπεριλαμβανομένου και του ουδετέρου, προκαλώντας

φθορά στη μόνωση του Μ/Χ. Για να αποφευχθεί αυτή η φθορά μπορεί να εγκατασταθεί απαγωγός υπέρτασης μεταξύ ουδετέρου χαμηλής τάσης και συστήματος γείωσης του υποσταθμού μέσης τάσης. Πρακτικά για να θεωρούνται ανεξάρτητες οι δύο γειώσεις πρέπει να υπάρχει μεταξύ τους μια απόσταση μεγαλύτερη των 20m.

6.4.2 Περιφραξη Υποσταθμού και Φ/Β-Πάρκου

Περιφραξη Υποσταθμού:

Είναι πολύ σημαντικό να οριοθετούνται οι ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις υψηλών τάσεων όπως υποσταθμοί ΜΤ/ΧΤ, ώστε να μην είναι προσβάσιμες σε μη εξουσιοδοτούμενα άτομα για λόγους ασφαλείας. Μια καλή πρακτική, που ακολουθείται σε υποσταθμούς, είναι η περίφραξη του υποσταθμού με μεταλλικά κιγκλιδώματα.

Επειδή η περίφραξη είναι προσβάσιμη από το κοινό, πρέπει να ληφθούν υπόψη πιθανοί κίνδυνοι ηλεκτροπληξίας από ενδεχόμενες τάσεις επαφής που μπορεί να αναπτυχθούν στην περίφραξη.

Οι πρακτικές που ακολουθούνται είναι:

Α. η περίφραξη βρίσκεται εντός του πλέγματος γείωσης και είναι συνδεδεμένη με αυτό.

Β. η περίφραξη βρίσκεται εκτός του πλέγματος γείωσης και είναι συνδεδεμένη με αυτό.

Γ. η περίφραξη βρίσκεται εκτός του πλέγματος γείωσης και είναι δεν συνδεδεμένη με αυτό. Η περίφραξη συνδέεται σε ξεχωριστό σύστημα γείωσης.

Δ. η περίφραξη βρίσκεται εκτός του πλέγματος γείωσης και είναι συνδεδεμένη με αυτό. Η περίφραξη δεν συνδέεται σε ξεχωριστό σύστημα γείωσης. Οι μεταλλικοί δοκοί που χρησιμοποιούνται για να συγκρατούν τα μεταλλικά κιγκλιδώματα διαπερνούν το σκυρόδεμα της βόσης και εκτείνονται στο έδαφος δημιουργώντας ένα αυτούσιο σύστημα γείωσης.

**Σημ. Πρέπει να συνδέεται και η πύλη της περίφραξης με το σύστημα γείωσης της.*

Συνήθως ακολουθούνται οι δύο πρώτες πρακτικές, ενώ στην περίπτωση που επιλεγούν οι δύο τελευταίες πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τρεις πιο κάτω παράγοντες επικινδυνότητας, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος ανάπτυξης επικίνδυνων δυναμικών στην περίφραξη.

Παράγοντες Επικινδυνότητας που χρήζουν μελέτης.

1. Ανάπτυξη επικίνδυνων δυναμικών στη μεταλλική περίφραξη στην περίπτωση σφάλματος σε υποσταθμό λόγω επαγόμενων τάσεων:

Το δυναμικό της περίφραξης δεν ακολουθεί τις ισοδυναμικές καμπύλες που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια σφάλματος στην επιφάνεια του εδάφους, κατά την διέλευση ρεύματος από και προς το πλέγμα γείωσης του υποσταθμού. Έτσι, σε κάποιο σημείο με επαρκή ηλεκτρική αγωγιμότητα, μεταξύ εδάφους και φράχτη, μπορεί να αναπτυχθεί επικίνδυνο δυναμικό σε σχέση με κάποιο άλλο σημείο του φράχτη, που δεν παρουσιάζει επαρκή ηλεκτρική αγωγιμότητα με το έδαφος.

2. Μεταλλική απομόνωση μεταξύ φράχτη και πλέγματος γείωσης υποσταθμού:

Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ανέφικτο να υπάρξει καθολική απομόνωση μεταξύ περίφραξης και πλέγματος γείωσης, γιατί έστω και κάποια μικρή μεταλλική σύζευξη θα υπάρχει από τις διάφορες σωληνώσεις (π.χ. υδρορροές). Έτσι είναι δυνατόν να εμφανιστούν στην περίφραξη τάσεις του πλέγματος γείωσης του υποσταθμού, οι οποίες σε συνθήκες σφάλματος μπορεί να είναι επικίνδυνες, για αυτό και το σύστημα γείωσης της περίφραξης πρέπει να εξασφαλίζει προστασία από πιθανές τάσεις επαφής.

3. Περίπτωση πτώσης εναέριας γραμμής ηλεκτροδότησης στην περίφραξη.

Οι γραμμές ηλεκτροδότησης υψηλών και μέσων τάσεων που περνούν πάνω από ιδιωτικές εγκαταστάσεις, είναι κάτι σύνηθες και αξιόπιστο για αυτό και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν λαμβάνεται υπόψη το ενδεχόμενο πτώσης γραμμής στην περίφραξη. Εντούτοις εάν υπάρχει ένα τέτοιο ενδεχόμενο, συνιστάται η ύπαρξη στενής σύνδεσης της περίφραξης με την παρακείμενη Γή σε όλο το μήκος της περίφραξης. Επίσης πρέπει να εξεταστούν οι βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής, ώστε να είναι εντός των επιτρεπτών τιμών και στις δύο πλευρές της περίφραξης. Φυσικά κάτι τέτοιο μπορεί να μην είναι εφικτό λόγω του γεγονότος ότι αν η περίφραξη δεν συνδέεται με το πλέγμα γείωσης του υποσταθμού θα είναι δύσκολο για το σύστημα γείωσης της περίφραξης να εκκαθαρίσει αποτελεσματικά το ρεύμα σφάλματος.

Περίφραξη Φ/Β-Πάρκου:

Τα Φ/Β-πάρκα, όπως οι υποσταθμοί ΜΤ/ΧΤ, οριοθετούνται ώστε να μην μπορούν να εισέλθουν σε αυτά μη εξουσιοδοτούμενα άτομα για λόγους ασφάλειας. Η πιο συνηθισμένη πρακτική είναι η περίφραξη της Φ/Β-εγκατάστασης με μεταλλικά κιγκλιδώματα. Επειδή η περίφραξη είναι προσβάσιμη από το κοινό, πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας από επαγόμενες τάσεις στα μεταλλικά κιγκλιδώματα σε περίπτωση σφάλματος, τόσο στην πλευρά της μέσης τάσης όσο και στην πλευρά της χαμηλής τάσης. Τα μέτρα αυτά αφορούν στη γείωση της περίφραξης.

Στην περίπτωση που υπάρχει ένα ενιαίο σύστημα γείωσης μέσης και χαμηλής τάσης, τότε συνιστάται η σύνδεση περίφραξης με το ενιαίο σύστημα γείωσης. Στην περίπτωση που υπάρχουν δύο ανεξάρτητα συστήματα μέσης και χαμηλής τάσης, συνιστάται η σύνδεση της περίφραξης να γίνεται στην πλευρά της χαμηλής τάσης και να λαμβάνονται υπόψη οι τρεις παράγοντες επικινδυνότητας που περιγράφονται πιο πάνω.

Επειδή κάθε εγκατάσταση παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς τη δυναμικότητα, τη χωροθέτηση, τα συστήματα προστασίας κτλ, του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, εάν υπάρχει η δυνατότητα, ο μελετητής μπορεί να κάνει προσομοιώσεις των ακραίων σεναρίων σφάλματος, για να διαφανεί κατά ποσό οι επαγόμενες τάσεις στην περίφραξη βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων.

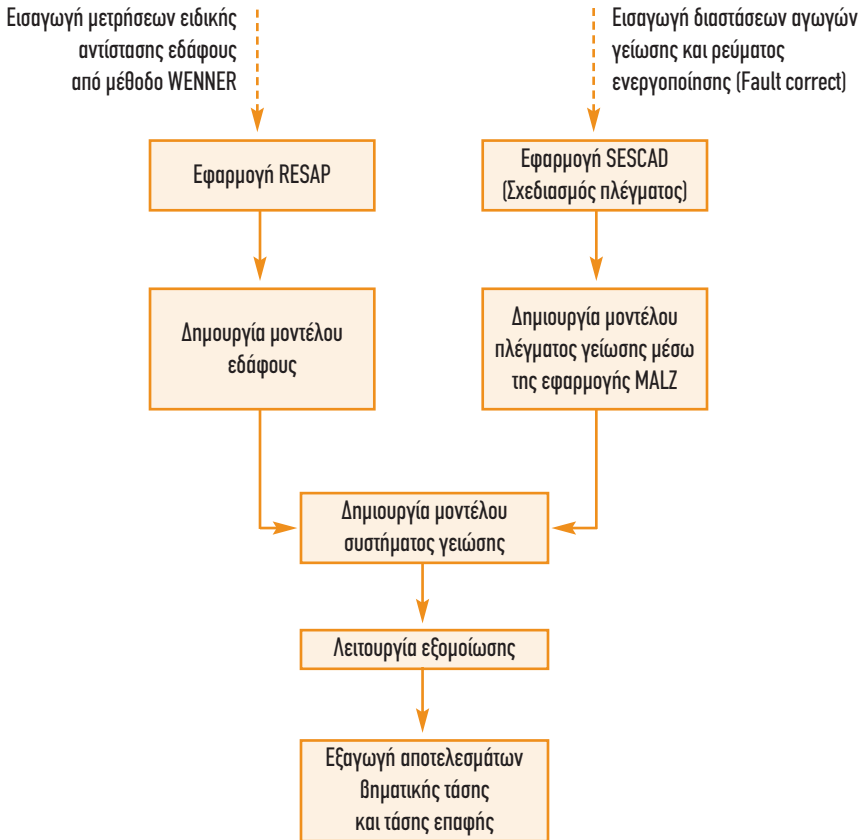


Εικόνα 31: Μεταλλικό κιγκλίδωμα για την περιφράξη Φ/Β-πάρκου

6.4.3 Προσομοιώσεις Συστήματος Γείωσης για Υπολογισμό Βηματικών Τάσεων και Τάσεων Επαφής σε Συνθήκες Σφάλματος

Στην περίπτωση όπου ένα Φ/Β-πάρκο περιλαμβάνει τοπικό υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ είναι εξαιρετικά ευάλωτο σε επικίνδυνες βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής, λόγω πιθανών σφαλμάτων στην πλευρά της μέσης τάσης που μπορεί ξεπεράσουν τα 10ΚΑ. Για αποφυγή αυτών των κινδύνων πρέπει το σύστημα γείωσης να είναι ικανό να καθαρίζει τέτοια σφάλματα μέσα σε αποδεκτά χρονικά πλαίσια, διατηρώντας τις επαγόμενες τάσεις στα επιτρεπτά επίπεδα. Λόγω της πολυπλοκότητας του συστήματος γείωσης υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν σημεία που να μην πληρούν τις απαιτήσεις ασφάλειας, θέτοντας εγκαταστάσεις και προσωπικό σε κατάσταση κινδύνου. Για αποφυγή τέτοιων φαινομένων συνιστάται η προσομοίωση του συστήματος γείωσης πριν αυτό εγκατασταθεί, ώστε να πληροί τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Στην περίπτωση υφιστάμενης εγκατάστασης μπορεί να γίνει προσομοίωση του συστήματος γείωσης προκειμένου να εντοπιστούν τα τρωτά σημεία και να τύχουν κατάλληλης ενίσχυσης.

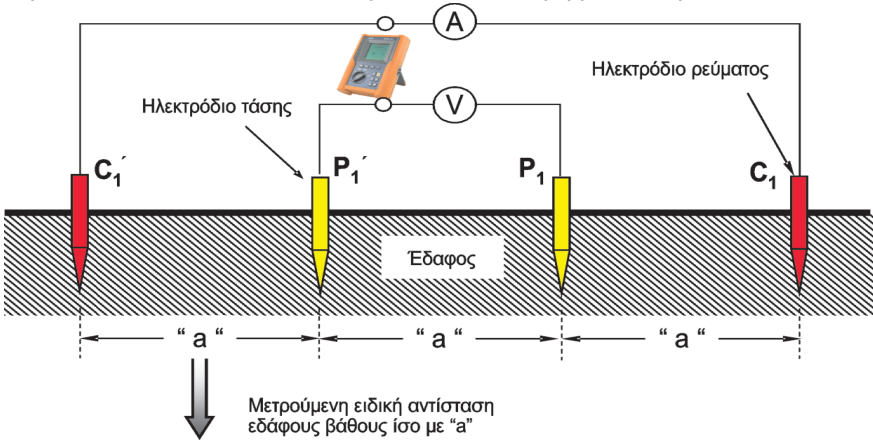
Η διαδικασία προσομοίωσης, η οποία εφαρμόζεται στο εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας του Πανεπιστημίου Κύπρου (www.psm.ucy.acy), εστιάζεται στα βήματα που περιγράφονται στο Διάγραμμα 6.



Διάγραμμα 6: Διαδικασία προσομοίωσης συστήματος γείωσης και ελέγχου επαγόμενων βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής.

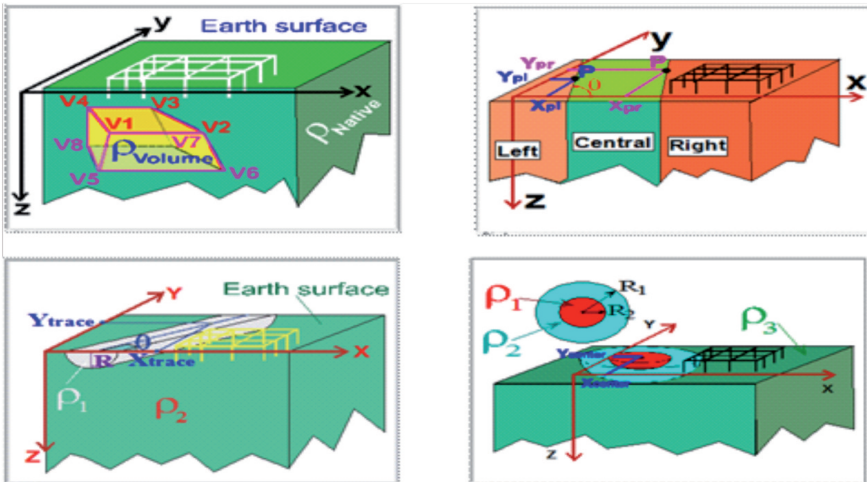
Η διαδικασία έχει ως εξής:

1. Λαμβάνονται μέτρησης του εδάφους βάσει συγκεκριμένης μεθοδολογίας και υπολογίζεται η ειδική αντίσταση του εδάφους (συνήθως εφαρμόζεται η μέθοδος Wenner).



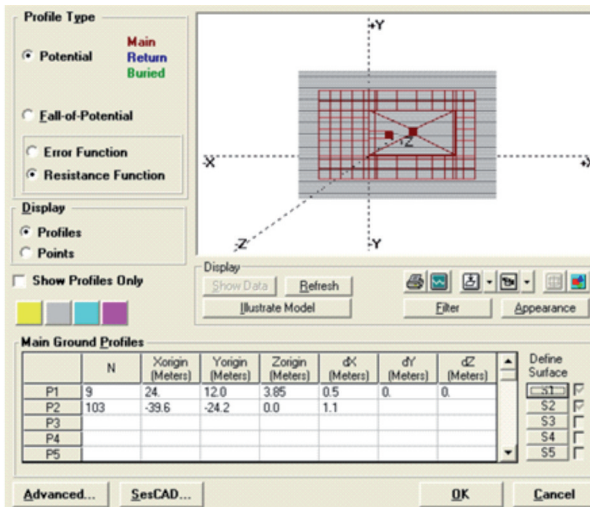
Εικόνα 32: Μέτρηση ειδικής αντίστασης εδάφους.

2. Με την βοήθεια λογισμικών εργαλείων τύπου RESAP (Soil Resistivity Analysis) δημιουργείται ένα ισοδύναμο μοντέλο του εδάφους βασισμένο στις μετρήσεις της ειδικής αντίστασης εδάφους.



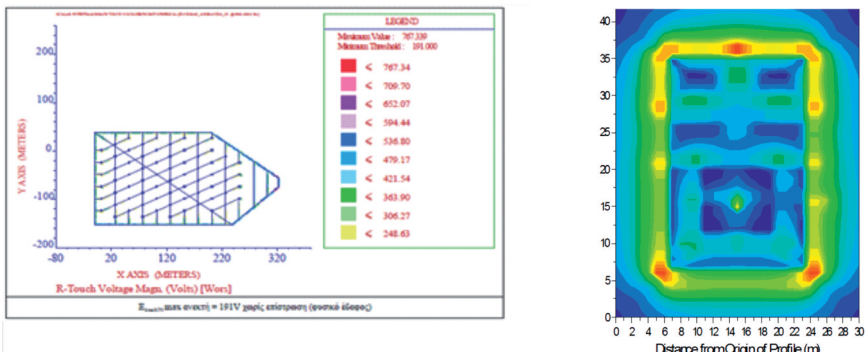
Εικόνα 33: Μοντελοποίηση εδάφους με χρήση λογισμικού.

3. Εξετάζονται τα χαρακτηριστικά των αγωγών του συστήματος γείωσης (διαστάσεις- διατομές αγωγών, χωροθέτηση κτλ) και με τη βοήθεια λογισμικού εργαλείου τύπου CAD δημιουργείται ένα ισοδύναμο μοντέλο συστήματος γείωσης.



Εικόνα 34: Μοντελοποίηση αγωγών συστήματος γείωσης με χρήση λογισμικού.

4. Στη συνέχεια δημιουργείται ένα ενιαίο μοντέλο του συστήματος γείωσης βασιζόμενο στα δύο προηγούμενα μοντέλα, όπου προσομοιώνονται τα διάφορα σενάρια σφάλματος και εξάγονται αποτελέσματα για τις αναπτυσσόμενες βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής.



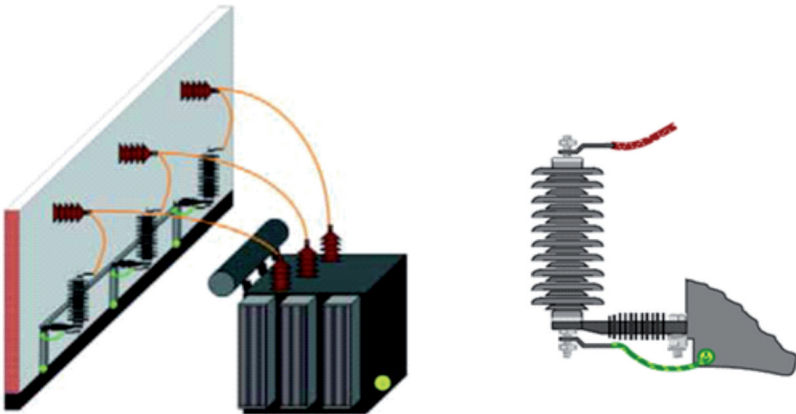
Εικόνα 35: Μοντελοποίηση αγωγών συστήματος γείωσης με χρήση λογισμικού.

6.4.4 Απαγωγοί Υπερτάσεως (Surge Arresters)

Για την προστασία του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού έναντι κεραυνικών υπερτάσεων στην πλευρά της μέσης τάσης, συνιστάται η χρήση απαγωγών υπερτάσεων (surge arresters). Οι συσκευές αυτές αποτελούνται από σπινθηριστή με διάκενο αέρα σε σειρά με μη γραμμικές αντιστάσεις. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας η συσκευή λειτουργεί ως ανοικτό κύκλωμα. Στην περίπτωση διαταραχής όταν δηλαδή εμφανιστεί υπέρταση πέραν κάποιας τιμής, το διάκενο διασπάται και βραχυκυκλώνεται το δίκτυο (φάση-γη) διαμέσου των μη γραμμικών αντιστάσεων. Με το πέρας της υπέρτασης, το ηλεκτρικό τόξο στο σπινθηριστή αποσβένεται και σταματά η διαρροή ρεύματος προς τη Γή, μέσω του απαγωγέα. Η εγκατάσταση αυτών των στοιχείων πρέπει να γίνεται σε ευάλωτα στοιχεία του υποσταθμού, όπως πίνακες μέσης τάσης και μετασχηματιστές υποβιβασμού τάσης.

Στην περίπτωση που η σύνδεση του υποσταθμού με το δίκτυο μέσης τάσης της ΑΗΚ γίνεται μέσω εναέριων γραμμών, τότε είναι αναγκαίο να εγκατασταθούν απαγωγείς υπερτάσεων στο σημείο παροχής μέσης τάσης, ώστε να διασφαλίζεται προστασία από υπερτάσεις που πιθανόν να προκληθούν από πτώση κεραυνού ή από σφάλματα στο δίκτυο. Στην περίπτωση που η σύνδεση του υποσταθμού γίνεται μέσω υπόγειων καλωδίων, δεν υπάρχει ο κίνδυνος πτώσης κεραυνού και δεν απαιτείται η λήψη μέτρων αντικεραυνικής προστασίας.

Σημαντική είναι η εγκατάσταση συσκευών απαγωγής υπερτάσεων (surge arresters) πλησίον του μετασχηματιστή του υποσταθμού. Συνιστάται η εγκατάσταση των απαγωγών υπερτάσεων να γίνεται σε απόσταση μικρότερη των 20m από τον μετασχηματιστή ή αν είναι εφικτό να γίνεται στο σημείο εγκατάστασης του μετασχηματιστή. Μεταξύ κάθε φάσης και γείωσης παρεμβάλλεται μια συσκευή απαγωγής υπέρτασης.



Εικόνα 36. Εγκατάσταση απαγωγών υπερτάσεων στην πλευρά μέσης τάσης του μετασχηματιστή σε υποσταθμό μέσης τάσης [9].

Οι απαγωγείς υπερτάσεων μπορεί να είναι εγκατεστημένοι είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά για αυτό και πρέπει να αντεπεξέρχονται στις πιθανές μηχανικές και περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Το εξωτερικό του περίβλημα είναι μονωτικό και είναι κατασκευασμένο από αιθυλένιο, προπυλένιο και άλλα πολυμερή συνθετικά υλικά.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των απαγωγέων υπερτάσεων είναι:

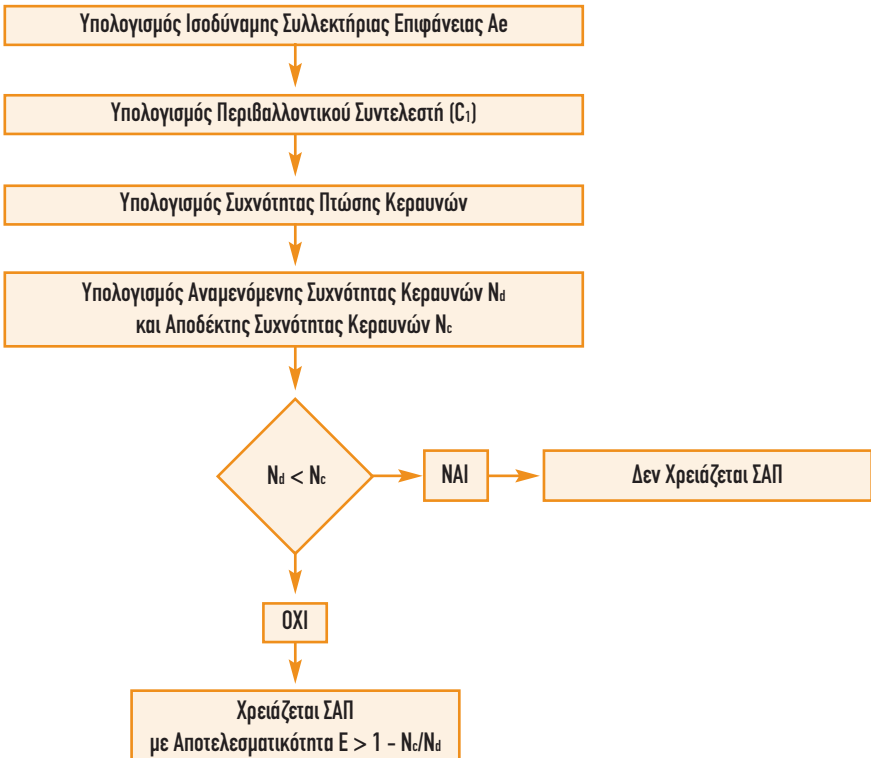
Χαρακτηριστικά απαγωγέων υπερτάσεων	Σχόλια
Όνομαστική Τάση δικτύου	Στην Κύπρο το δίκτυο μέσης τάσης είναι στα 11KVκαι 22KV
Συχνότητα λειτουργίας	συνήθως 50Hz
Μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης I_{max}	μέγιστο πλάτος κρουστικού ρεύματος διάρκειας 4/10μs
Όνομαστικό ρεύμα εκφόρτισης I_n	μέγιστο πλάτος κρουστικού ρεύματος διάρκειας 8/20μs
Παραμένουσα Τάση	Η τάση που εμφανίζεται στα άκρα της συσκευής κατά τη διάρκεια εκφόρτισης
Τάση Αφής	τάση ενεργοποίησης απαγωγέων
Τάση Σβέσης	τάση απενεργοποίησης απαγωγέων

** Σημαντικό είναι να γίνεται επιθεώρηση των συσκευών ανά τακτά χρονικά διαστήματα και να αντικαθίστανται όταν μειώνεται η αποτελεσματικότητα τους λόγω φθοράς*

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά Απαγωγέων Υπερτάσεων.

Παράρτημα Α - Απλουστευμένη Διαδικασία Αναγκαιότητας Εφαρμογής Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας

Για να αποφασισθεί κατά πόσο κρίνεται αναγκαία η εγκατάσταση ΣΑΠ στο φωτοβολταϊκό πάρκο μπορούν να ακολουθηθούν τα πιο κάτω βήματα.



Διάγραμμα 7: Διαδικασία εκτίμησης αναγκαιότητας ΣΑΠ.

Αναμενόμενη Συχνότητα Πληγμάτων από Κεραυνό σε μια Κατασκευή, N_d

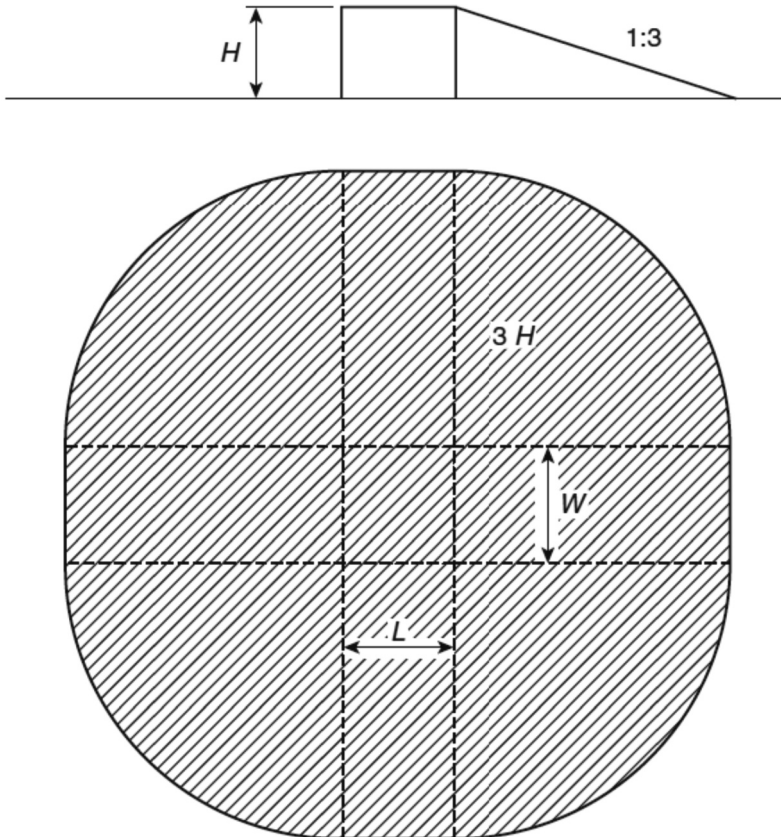
Ο ετήσιος αριθμός κεραυνικών πληγμάτων, που μπορούν να πλήξουν μια κατασκευή, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6}$$

- **N_g** : μέσος όρος κεραυνικών πληγμάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο στη γεωγραφική τοποθεσία που βρίσκεται η κατασκευή (κεραυνοί/έτος. km^2).
- **A_e** : ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια (m^2).
- **C_i** : περιβαλλοντικός συντελεστής.

Ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια A_e .

Η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια της υπό προστασία κατασκευής αντιστοιχεί σε μια ισοδύναμη επίπεδη επιφάνεια εδάφους, η οποία έχει ίδια ετήσια συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων με την κατασκευή. Για ορθογώνιες απομονωμένες κατασκευές, η επιφάνεια της συλλεκτήριας επιφάνειας μπορεί να υπολογιστεί από το εμβαδόν του περιγράμματος, που προκύπτει από την περιστροφή γύρω από την κορυφογραμμή της κατασκευής, μιας ευθείας γραμμής με κλίση 1:3 και του εδάφους.



Εικόνα 37: Ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια.

Το συνολικό εμβαδόν που προκύπτει για μια ορθογωνική κατασκευή πλάτους W , μήκους L και ύψους H δίνεται από τη σχέση:

$$A_c = LW + 6H(L+W) + \pi 9H^2$$

*** Σημειώσεις:**

1. Για ύψος λαμβάνουμε το μέγιστο ύψος στο οποίο φτάνουν τα Φ/Β-στοιχεία από το έδαφος.
2. Όταν η συλλεκτική επιφάνεια μιας κατασκευής καλύπτει πλήρως τη συλλεκτική περιοχή μιας άλλης, τότε η δεύτερη δεν λαμβάνεται υπόψη.
3. Όταν οι συλλεκτικές επιφάνειες δύο η περισσότερων υποδομών της κατασκευής αλληλεπικαλύπτονται, οι αντίστοιχες κοινές επιφάνειες λαμβάνονται μόνο μια φορά υπόψη.
4. Σε περίπτωση που η κατασκευή έχει ακανόνιστο σχήμα με διαφορετικά υψίπεδα υπάρχουν αριθμητικές και γραφικές μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (EN 62305-2 Παρ. Α).

Περιβαλλοντικός συντελεστής C_1 .

Η τοπογραφία της περιοχής και τα αντικείμενα που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 3H από την κατασκευή, επηρεάζουν τον υπολογισμό του αριθμού των αναμενόμενων κεραυνικών πληγμάτων.

Συσχετισμός με την υπό προστασία κατασκευή.	C_1
Κατασκευή που περιβάλλεται από υψηλότερες δομές ή δέντρα σε απόσταση μικρότερη των 3H.	0.25
Κατασκευή που περιβάλλεται από δομές ίσου ή μικρότερου ύψους σε απόσταση μικρότερη των 3H.	0.5
Απομονωμένη κατασκευή χωρίς να υπάρχουν άλλες δομές σε απόσταση μικρότερη των 3H.	1
Απομονωμένη κατασκευή στην κορυφή λόφου.	2

Πίνακας 11: Περιβαλλοντικός συντελεστής C_1 .

Πυκνότητα Κεραυνών N_g .

Η πυκνότητα κεραυνών N_g εκφράζει το μέσο όρο των κεραυνικών πληγμάτων ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο για μια περιοχή στη διάρκεια ενός έτους. Για την τιμή του N_g μπορούμε να ανατρέξουμε σε κεραυνικούς χάρτες, ενώ στην περίπτωση που δεν υπάρχουν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την πιο κάτω προσεγγιστική σχέση.

$$N_g = 0.04T_d^{1.25}$$

Το αποτέλεσμα της εξίσωσης προσεγγίζει την πυκνότητα κεραυνών σε μια περιοχή ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Ο όρος T_d αντιστοιχεί στον αριθμό ημερών καταιγίδας ανά έτος και υπολογίζεται από χάρτες ισοκεραυνικών καμπύλων, που μπορούν να αναζητηθούν από το Τμήμα Μετεωρολογικής Υπηρεσίας.

Αποδεκτή συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων N_c .

Η αποδεκτή συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων N_c εκφράζει το μέγιστο αριθμό κεραυνικών πληγμάτων, που μπορούν να πλήξουν άμεσα την κατασκευή στην διάρκεια ενός έτους και να προκαλέσουν ζημιά.

Η τιμή N_c μπορεί να υπολογιστεί μέσω μελέτης αποτίμησης κινδύνου λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως:

- τύπος δόμησης.
- παρουσία εύφλεκτων και εκρηκτικών ουσιών
- τύπος και σπουδαιότητα των υπηρεσιών για εξυπηρέτηση του κοινού.
- αξία αγαθών που ενδεχομένως να καταστραφούν.

Προσεγγιστικά η τιμή της αποδεκτής συχνότητας άμεσων κεραυνικών πληγμάτων είναι:

$$N_c = 1.5 \times 10^{-3} \text{ events/year}$$

Διαδικασία επιλογής στάθμης προστασίας ΣΑΠ.

Συγκρίνοντας την αναμενόμενη συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων N_d με την αποδεκτή συχνότητα ζημιών από κεραυνό N_c , μπορούμε να αποφασίσουμε κατά πόσο χρειάζεται σύστημα αντικεραυνικής προστασίας και σε ποιά στάθμη προστασίας πρέπει να βρίσκεται.

Εάν $N_d \leq N_c$ δεν χρειάζεται σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.

Εάν $N_d > N_c$ τότε πρέπει να εγκατασταθεί σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, η στάθμη προστασίας E του οποίου πρέπει να ανταποκρίνεται στην πιο κάτω σχέση.

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

Αποτελεσματικότητα ΣΑΠ (E)	Στάθμη Προστασίας ΣΑΠ
$E > 0.98$	Στάθμη I+ επιπλέον προστατευτικά μέτρα
$0.95 < E \leq 0.98$	Στάθμη I
$0.90 < E \leq 0.95$	Στάθμη II
$0.80 < E \leq 0.90$	Στάθμη III
$0 < E \leq 0.8$	Στάθμη IV
$E \leq 0$	Δεν χρειάζεται προστασία.

Πίνακας 12: Επιλογή Στάθμης προστασίας ΣΑΠ.

Ο σχεδιασμός ενός ΣΑΠ πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του προτύπου βάσει της υπολογιζόμενης στάθμης προστασίας. Σε περίπτωση που εγκατασταθεί ΣΑΠ με αποτελεσματικότητα μικρότερη της υπολογιζόμενης, τότε θα πρέπει να προβλεφθούν επιπλέον μέτρα προστασίας.

Παραδείγματα επιπλέον μέτρων προστασίας όπως:

- Μέτρα περιορισμού των βηματικών και τάσεων επαφής.
- Μέτρα περιορισμού της διάδοσης φωτιάς.
- Μέτρα μείωσης της τάσης εξ επαγωγής σε ευαίσθητες συσκευές.



Επισημαίνεται ότι η πιο πάνω διαδικασία αξιολόγησης είναι απλουστευμένη και γίνεται για να δώσει μια πρώτη εκτίμηση στο μελετητή του συστήματος. Για τη λήψη της τελικής απόφασης πρέπει να προηγηθεί μια εμπειριστατωμένη μελέτη αξιολόγησης αναγκαιότητας λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των χαρακτηριστικών της κατασκευής, όπως περιγράφεται μέσα από το πρότυπο EN 62305-2. Επίσης συνιστάται να γίνεται και τεχνοοικονομική μελέτη ώστε να διαφανεί η οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος. Λόγω της πολυπλοκότητας της συγκεκριμένης διαδικασίας έχουν αναπτυχθεί έτοιμα λογισμικά εργαλεία προς διευκόλυνση των μελετητών.

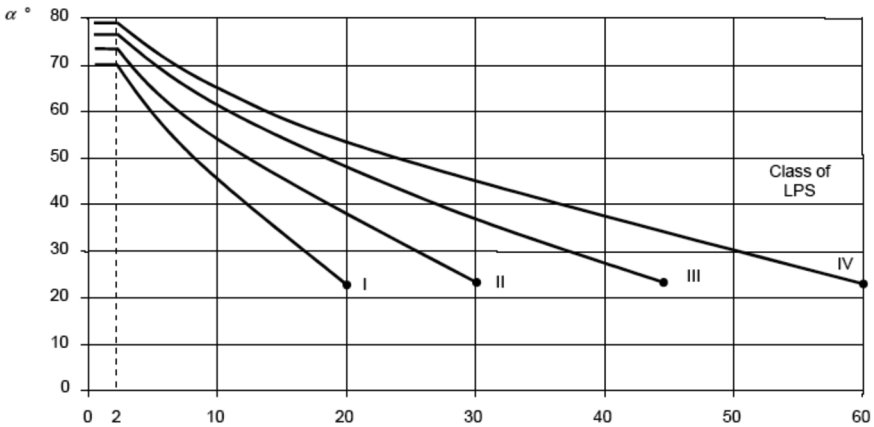
Λογισμικό Εργαλείο Εκτίμησης Κινδύνου με βάση τις Πρόνοιες του EN 62305-2.

Το εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ισχύος του Παν. Κύπρου (www.psm.ucy.ac.cy) έχει εκπονήσει λογισμικό εργαλείο (Εικ. 38) εκτίμησης κινδύνου, με βάση όλες τις πρόνοιες που περιγράφονται στο πρότυπο EN 62305-2 "Protection against Lightning-Risk management". Το λογισμικό εργαλείο βρίσκεται στη διάθεση όλων των μελετητών, Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, στην περίπτωση που κριθεί αναγκαία η χρήση του. Η χρήση του λογισμικού επιτρέπει την εύκολη εισαγωγή δεδομένων που αφορούν στην εγκατάσταση. Ακολούθως το πρόγραμμα ενημερώνει το μελετητή για το αν κρίνεται αναγκαία η εγκατάσταση ΣΑΠ και σε ποία στάθμη προστασίας πρέπει να βρίσκεται – απαλλάσσοντάς τον έτσι από μια χρονοβόρα και πολύπλοκη διαδικασία.

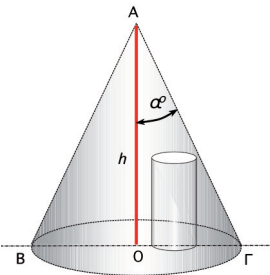
Παράρτημα Β - Υπολογισμός Χώρου Προστασίας Μέσω Ακίδας με τη μέθοδο Γωνίας Προστασίας και Κυλιόμενης Σφαιράς (EN 62305-3)

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(εικ.39). Η γωνία α για κάθε στάθμη προστασίας του ΣΑΠ, ανάλογα με το ύψος h της ακίδας προστασίας, δίνεται από το πιο κάτω διάγραμμα.



Γραφική 2: Γωνία Προστασίας α ανάλογα με το ύψος της ακίδας και τη στάθμη προστασίας του ΣΑΠ. (EN 62305-3)



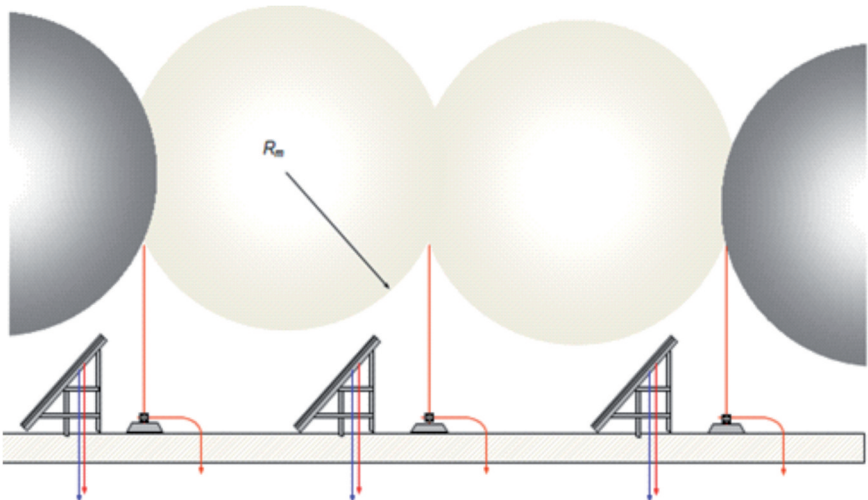
Εικόνα 39: Τρόπος υπολογισμού κυκλικού κώνου.

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 νοπή σφαίρα ακτίνας R από την εξωτερική περίμετρο του πάρκου προς την εγκατάσταση των Φ/Β-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.

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

Πίνακας 13: Ακτίνα Κυλιόμενης Σφαίρας R σε σχέση με τη στάθμη Προστασίας.



Εικόνα 40: Τρόπος υπολογισμού χώρου προστασίας μέσω κυλιόμενης σφαίρας [9].

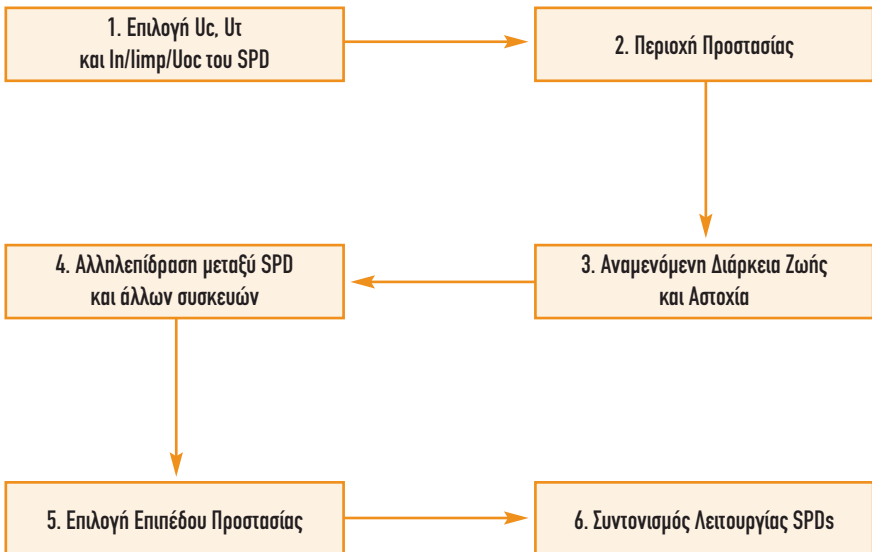
Ανάλογα με την περιοχή που θέλουμε να προστατεύσουμε υπολογίζουμε τον αριθμό και το ύψος των ακίδων καθώς και τη θέση στην οποία πρέπει να εγκατασταθούν.

Παράρτημα Γ - Διαδικασία Επιλογής Χαρακτηριστικών Συσκευών Περιορισμού Υπερτάσεων (61643-12/50539-12)

Η πιο κάτω λίστα περιέχει τις ηλεκτρικές παραμέτρους που πρέπει να καθοριστούν προκειμένου να γίνει ορθή επιλογή των συσκευών περιορισμού υπερτάσεων SPDs. (η λίστα δεν είναι εξωαπλητική, υπάρχουν SPDs με περισσότερες ή λιγότερες παραμέτρους).

- 1) U_c : μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας
- 2) Χαρακτηριστικά προσωρινών υπερτάσεων
- 3) I_n : ονομαστικό ρεύμα εκκένωσης
- 4) I_{max} , I_{imp} , U_{oc}
- 5) U_p
- 6) Περιπτώσεις αστοχίας
- 7) Αντοχή στο βραχυκύκλωμα

Για την επιλογή της συσκευής περιορισμού υπερτάσεων SPD ακολουθούνται τα πιο κάτω 6 βήματα (TS 61643-12).



Διάγραμμα 7: Επιλογή τεχνικών χαρακτηριστικών συσκευών περιορισμού υπερτάσεων.

Επιλογή Συσκευών SPDs στην Πλευρά AC

1. Επιλογή U_c , U_t και $I_n/I_{imp}/U_{oc}$

$U_c > U_{cs}$: Η μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας της συσκευής πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας του συστήματος. Στον Πίνακα 21 (Παρ. Ε) παρουσιάζονται οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές του U_c , ανάλογα με το σύστημα διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος.

$U_T > U_{TON, LV}$: Όσον αφορά στις προσωρινές υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας, η τιμή U_T της συσκευής πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τις ενδεχόμενες υπερτάσεις μακράς διάρκειας, που μπορεί να παρατηρηθούν στο σύστημα. Αυτό το είδος υπερτάσεων δεν έχει κρουστική μορφή και εάν ο απαγωγός υπερτάσεων λειτουργήσει για να τις μειώσει υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να καταστραφεί, καθώς καταπονείται για μεγάλη χρονική διάρκεια από το ρεύμα του συστήματος που ρέει μέσα σε αυτόν. Στο Πίνακα 22 (Παρ. Ε) φαίνονται τυπικές τιμές δοκιμών $U_{TON, LV}$ που πρέπει να αντέχουν οι συσκευές.

Στις περιπτώσεις όπου το πλάτος των $U_{TON, LV}$ είναι αρκετά μεγάλο, είναι δύσκολο να βρεθούν συσκευές που να ανταποκρίνονται σε τέτοιες τιμές. Εάν η πιθανότητα εμφάνισης τέτοιων περιπτώσεων είναι αρκετά χαμηλή, τότε μπορεί να επιλεγεί μια συσκευή που να μην επιδεικνύει την απαραίτητη αντοχή στην καταπόνηση από προσωρινές υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας. Σε μια τέτοια περίπτωση, πρέπει να εγκατασταθούν κατάλληλες συσκευές αποσύνδεσης της συσκευής SPD που να την απομονώνουν από το δίκτυο σε συνθήκες σφάλματος (προστασίας υπερεντάσεως, θερμικής προστασίας).

Επιλέγοντας ένα χαμηλό επίπεδο στάθμης προστασίας U_p επιτυγχάνεται καλύτερη προστασία του εξοπλισμού, όμως σε αυτή την επιλογή πρέπει να συνηγορούνται και οι προσωρινές υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας.

Εγκατάσταση στον κεντρικό πίνακα:

Για τις παραμέτρους των SPDs που εγκαθίστανται στον κεντρικό πίνακα πρέπει να γίνεται αναδρομή στο HD 60364-5-534.

Η τιμή του I_n συνδέεται με το επίπεδο προστασίας U_p ενώ οι τιμές I_{max} και I_{imp} συνδέονται με το μέγεθος της ενέργειας καταστολής.

Εάν χρειάζεται να εγκατασταθεί συσκευή SPD Τύπου 2 στον κεντρικό πίνακα τότε ισχύουν τα ακόλουθα:

Η ονομαστική τιμή ρεύματος εκφόρτισης I_n δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 5KA (8/20μs) για κάθε τρόπο σύνδεσης (L-N, L-PE, N-PE).

Στην περίπτωση που η σύνδεση της συσκευής στο γενικό πίνακα γίνεται με τον Τύπο σύνδεσης 2 (βλ. § 6.3.4), τότε η συσκευή που παρεμβάλλεται μεταξύ ουδετέρου και αγωγού προστασίας (PE) πρέπει να έχει ελάχιστη τιμή $I_n=20\text{KA}$ (8/20 μs) για τριφασικά συστήματα και ελάχιστη τιμή $I_n=10\text{KA}$ (8/20 μs) για μονοφασικά συστήματα.

Οι τιμές των I_{max} , I_{imp} , U_{oc} υπολογίζονται μέσω διαδικασίας ανάλυσης ρίσκου που λαμβάνει υπόψη την πιθανότητα κρουστικών υπερτάσεων, το κόστος του εξοπλισμού που προστατεύεται, την αναμενόμενη συχνότητα αστοχίας και τις συνθήκες συντονισμού στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται πέραν της μιας συσκευής (EN 62305-2).

Εάν χρειάζεται να εγκατασταθεί συσκευή SPD Τύπου 1 στο κεντρικό πίνακα ή υποπίνακα, τότε ισχύουν τα ακόλουθα:

Ο υπολογισμός του κρουστικού ρεύματος εκφόρτισης I_{imp} πρέπει να υπολογίζεται κατόπιν αξιολόγησης που λαμβάνει υπόψη το σύνολο των στοιχείων, που είναι εγκατεστημένα πριν από τη συσκευή και ενδέχεται να μειώσουν το αναμενόμενο κρουστικό ρεύμα εκφόρτισης. Για τη μεθοδολογία αξιολόγησης μπορεί να ακολουθηθεί η μεθοδολογία TS 61643-12 [AnnexC].

Στην περίπτωση που δεν μπορεί να γίνει μια τέτοια αξιολόγηση, η τιμή του I_{imp} δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 12,5KA για κάθε τρόπο σύνδεσης (L-N, L-PE, N-PE).

Στην περίπτωση που η σύνδεση της συσκευής στον κεντρικό πίνακα γίνεται με τον Τύπο σύνδεσης 2 (βλ. § 6.3.4), τότε η τιμή I_{imp} της συσκευής που παρεμβάλλεται μεταξύ ουδετέρου και αγωγού προστασίας (PE) πρέπει να υπολογίζεται βάσει του EN 61312-4. Εάν δεν μπορεί να υπολογιστεί η τιμή I_{imp} τότε επιλέγεται $I_{\text{imp}} \geq 50\text{KA}$ σε τριφασικά συστήματα και $I_{\text{imp}} \geq 25\text{kA}$ σε μονοφασικά συστήματα.

Εγκατάσταση Πλησίων inverter:

Εάν απαιτείται εγκατάσταση Τύπου 2 SPD κοντά στον "inverter", τότε για κάθε τύπο σύνδεσης η ελάχιστη τιμή ονομαστικού ρεύματος εκφόρτισης I_n πρέπει να είναι 5kA 8/20. Μεγαλύτερες τιμές μπορεί να προσδώσουν περισσότερο χρόνο ζωής στη συσκευή.

Εάν απαιτείται εγκατάσταση Τύπου 1 SPD κοντά στον "inverter" τότε για κάθε τύπο σύνδεσης η ελάχιστη τιμή κρουστικού ρεύματος εκφόρτισης I_{imp} πρέπει να είναι 12,5kA 10/350.

2. Περιοχή Προστασίας.

Ανάλογα με τον υπό προστασία εξοπλισμό γίνεται χωροθέτηση των συσκευών περιορισμού υπερτάσεων στην εγκατάσταση, ώστε να έχουν την καλύτερη δυνατή ανταπόκριση. Σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις η χωροθέτηση γίνεται βάσει του προτύπου TS 50539-12 και περιγράφεται στην παράγραφο 6.3.8.

3. Διάρκεια Ζωής και Αστοχία

3.1 Διάρκεια ζωής

Η διάρκεια ζωής της συσκευής δεν είναι ίση με την αναμενόμενη διάρκεια που καθορίζει ο κατασκευαστής, αλλά μπορεί να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη ανάλογα με την συχνότητα εμφάνισης υπερτάσεων το μέγεθος και τη διάρκεια που θα έχουν.

Συνοπτικά η επιλογή του SPD, όσον αφορά, στη διάρκεια ζωής του, πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις αναμενόμενες προσωρινές υπερτάσεις του δικτύου $U_{\text{TON, LV}}$, τη δυνατότητα παράλληλης λειτουργίας με άλλα SPD και τον αποκλεισμό κινδύνου πυρκαγιάς ή ηλεκτροπληξίας σε περίπτωση αστοχίας.

3.2 Αστοχία

Υπάρχει περίπτωση, ανάλογα με το είδος του κρουστικού κύματος ή της υπέρτασης, η συσκευή να αστοχήσει. Εάν εγκυμονεί κίνδυνος αστοχίας, για αποφυγή των μεταβολών ή διακοπής στην ηλεκτροδότηση, χρειάζεται να γίνει εγκατάσταση επιπλέον συσκευών SPDs και να ληφθούν μέτρα επιπλέον προστασίας πριν από τις συσκευές.

4. Αλληλεπίδραση μεταξύ SPD και άλλων συσκευών

4.1 Κανονικές Συνθήκες

Υπό κανονικές συνθήκες το ρεύμα συνεχούς λειτουργίας I_c (το ρεύμα που ρέει διάμεσου του SPD όταν εφαρμοστεί η τάση U_c στα άκρα του) δεν πρέπει να προκαλεί οποιοδήποτε κίνδυνο ασφάλειας (από έμμεση επαφή κτλ) ή διαταραχές στον υπόλοιπο εξοπλισμό (π.χ RCDs).

4.2 Συνθήκες σφάλματος

Στις συσκευές SPDs προσαρμόζονται κατάλληλες συσκευές αποσύνδεσης ώστε να μην αλληλεπιδρούν με άλλες συσκευές προστασίας όπως RCDs, ασφάλειες, διακόπτες φορτίου.

Σε συνθήκες σφάλματος, η αντοχή του SPD σε ρεύμα βραχυκύκλωσης σε συνδυασμό με τη (εσωτερική ή εξωτερική) συσκευή προστασίας υπερεντάσεων πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από τη μέγιστη αναμενόμενη τιμή βραχυκυκλώματος στο σημείο της εγκατάστασης του.

Επιπλέον, εάν δίνεται από τον κατασκευαστή τιμή I_{fi} τότε αυτή πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με τη μέγιστη αναμενόμενη τιμή βραχυκυκλώματος στο σημείο της εγκατάστασης του SPD. Η τιμή I_{fi} αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή ρεύματος ακολουθίας που είναι ικανή η συσκευή να διακόψει, όπου το ρεύμα ακολουθίας I_f ορίζεται ως το ρεύμα που διέρχεται από τη συσκευή μετά την από εκκαθάριση κρουστικού ρεύματος και έχει τιμή σημαντικά μεγαλύτερη από την τιμή I_c .

Επίσης σε συστήματα TT και TN, το SPD που παρεμβάλλεται μεταξύ ουδετέρου και αγωγού προστασίας (PE) πρέπει να ισχύει $I_{fi} \geq 100A$.

Σε συστήματα IT, το SPD που παρεμβάλλεται μεταξύ ουδέτερου και αγωγού προστασίας (PE), η τιμή του ρεύματος I_{fi} πρέπει να είναι ίδια με την τιμή του SPD που παρεμβάλλεται μεταξύ ουδέτερου και φάσης.

4.3 Συντονισμός κρουστικού κύματος μεταξύ SPDs και RCDs ή άλλων συσκευών προστασίας υπερεντάσεων (ασφάλειες, circuit-breakers)

Όσον αφορά στις συσκευές RCD, αυτές δεν έχουν καθορισμένη αντοχή σε ρεύματα υπερεντάσεως, με εξαίρεση τις συσκευές RCD τύπου S που βάσει των προτύπων τους (EN61008-1, EN61009-2) επιδεικνύουν αντοχή 3kA 8/20 χωρίς να ενεργοποιούνται.

Όταν η εγκατάσταση προστατεύεται από το συνδυασμό SPD και RCD ή άλλων συσκευών προστασίας υπερεντάσεων, στην περίπτωση υπερέντασης με τιμή ρεύματος στο ονομαστικό ρεύμα εκκένωσης I_n , το RCD ή οι συσκευές προστασίας υπερεντάσεων δεν πρέπει να ενεργοποιούνται.

Όσοο στην περίπτωση που το ρεύμα υπερεντάσεως είναι μεγαλύτερο του I_n , τότε είναι αποδεκτή η ενεργοποίηση των συσκευών υπερεντάσεως. Συσκευές που δεν είναι μιας χρήσης, όπως διακόπτες φορτίου, δεν πρέπει να καταστρέφονται από το κρουστικό κύμα. Σε αυτή την περίπτωση λόγω του χρόνου ανταπόκρισης των συσκευών προστασίας υπερεντάσεων, η εκτόνωση της υπερέντασης θα γίνει μέσω του SPD για αυτό πρέπει να έχει επαρκή αντοχή για καταστολή της ενέργειας του κύματος. Πιθανή ενεργοποίηση του RCD δεν θεωρείται ως αποτυχία του συστήματος SPD γιατί η εγκατάσταση είναι προστατευμένη.

5. Επιλογή επιπέδου προστασίας U_p του SPD

Η επιλογή του επιπέδου προστασία U_p πρέπει να είναι μικρότερη της στάθμης μόλωσης της συσκευής που προστατεύει. Για την επιλογή του επιπέδου προστασίας των συσκευών περιορισμού υπερτάσεων πρέπει να γίνει έλεγχος της αντοχής που επιδεικνύει ο εξοπλισμός:

- ηλεκτρικές γραμμές και εξοπλισμός βάσει του EN61000-4-5, HD60364-4-443, EN60664-1
- τηλεπικοινωνιακές γραμμές και εξοπλισμός βάσει του EN61000-4-5 ITU-TK.20, ITU-TK.21

Στην περίπτωση που δεν εξεταστεί η αντοχή του εξοπλισμού τότε αυτός κατατάσσεται στην κατηγορία II και αντιστοιχεί σε 2,5KV για δίκτυο χαμηλής τάσης 230/400V.

Η τιμή του U_p πρέπει να είναι χαμηλότερη από τη διηλεκτρική αντοχή του εξοπλισμού και συνιστάται να τηρείται ένα περιθώριο τουλάχιστον 20% (CLC/TS 61643-12). Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του U_p τόσο καλύτερη προστασία επιδεικνύει, όμως όπως γίνεται αντιληπτό η τιμή αυτή περιορίζεται από τις τιμές U_c και U_T .

6. Συντονισμός συσκευών περιορισμού υπερτάσεων SPDs

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου επιβάλλεται η παράλληλη χρήση δύο (ή περισσότερων) SPDs ώστε να γίνει εφικτή η καταστολή της υπερέντασης στον υπό προστασία εξοπλισμό σε ένα αποδεκτό επίπεδο (χαμηλότερο επίπεδο προστασίας σε σχέση με τη χρήση μόνο ενός SPD). Για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις πρέπει να τοποθετείται ένα σετ SPDs κοντά στον κεντρικό πίνακα και εάν η απόσταση καλωδίωσης μέχρι τον "inverter" είναι μεγαλύτερη των 10m, τότε συνιστάται η τοποθέτηση δεύτερου σετ SPDs πλησίον του "inverter". Σε μη απομονωμένα ΣΑΠ συνιστάται η εγκατάσταση δύο σετ SPDs ανεξάρτητα της απόστασης μεταξύ "inverter" και κεντρικού πίνακα (TS 50539-12).

Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την παράλληλη χρήση δύο συσκευών μπορεί να γίνει αναδρομή στο TS 61643-12 §6.2.6.

Επιλογή Συσκευών SPDs στην Πλευρά DC

1. Επιλογή U_{CPV} και $I_n/I_{imp}/U_{oc}$

$U_{CPV} > U_{cs}$: Η μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας της συσκευής πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη τάση ανοικτού κυκλώματος των Φ/Β-γεννητριών U_{ocmax} , κάτω από όλες τις συνθήκες (ακτινοβολίας, θερμοκρασίας).

Η τιμή του U_{ocmax} εάν δεν είναι διαθέσιμη, μπορεί να υπολογιστεί από τη διαδικασία που περιγράφεται στο TS 50539 [AnnexB].

I_n/I_{imp} : Εάν χρειάζεται να εγκατασταθεί συσκευή SPD Τύπου 2 στην d.c πλευρά της Φ/Β εγκατάστασης, τότε η ονομαστική τιμή ρεύματος εκφόρτισης I_n δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 5 kA (8/20μs) για κάθε τρόπο σύνδεσης (L_{+ve-PE} , L_{-ve-PE} , $L_{+ve-L_{-ve}}$).

Εάν χρειάζεται να εγκατασταθεί συσκευή SPD Τύπου 1 στην d.c πλευρά της Φ/Β-εγκατάστασης, τότε ο υπολογισμός του κρουστικού ρεύματος εκφόρτισης I_{imp} πρέπει να υπολογίζεται κατόπιν αξιολόγησης που λαμβάνει υπόψη το σύνολο των στοιχείων, που είναι εγκατεστημένα πριν από τη συσκευή και ενδέχεται να μειώσουν το αναμενόμενο κρουστικό ρεύμα εκφόρτισης. Για την αξιολόγηση μπορεί να ακολουθηθεί η μεθοδολογία του TS50539-12 [AnnexA].

Στην περίπτωση που δεν μπορεί να γίνει μια τέτοια αξιολόγηση, η τιμή του I_{imp} δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 12,5kA για κάθε τρόπο σύνδεσης (L_{+ve-PE} , L_{-ve-PE} , $L_{+ve-L_{-ve}}$).

2. Περιοχή Προστασίας

Ανάλογα με τον υπό προστασία εξοπλισμό, γίνεται χωροθέτηση των συσκευών περιορισμού υπερτάσεων στην εγκατάσταση ώστε να έχουν την καλύτερη δυνατή ανταπόκριση. Σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις η χωροθέτηση γίνεται βάση του προτύπου TS 50539-12 και παρουσιάζεται στην παράγραφο 6.3.8.

3. Διάρκεια Ζωής και Αστοχία

3.1 Διάρκεια ζωής

Η διάρκεια ζωής της συσκευής δεν είναι ίση με την αναμενόμενη διάρκεια που καθορίζει ο κατασκευαστής, αλλά μπορεί να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνιση υπερτάσεων, το μέγεθος και τη διάρκεια που θα έχουν.

3.2 Αστοχία

Υπάρχει περίπτωση ανάλογα με το είδος του κρουστικού κύματος ή της υπέρτασης η συσκευή να αστοχήσει. Για την αποφυγή μεταβολών ή διακοπής στην ηλεκτροδότηση, χρειάζεται να γίνει εγκατάσταση επιπλέον συσκευών SPDs και να ληφθούν μέτρα επιπλέον προστασίας πριν από τις συσκευές.

4. Αλληλεπίδραση μεταξύ SPD και άλλων συσκευών

4.1 Κανονικές Συνθήκες

Υπό κανονικές συνθήκες το ρεύμα συνεχούς λειτουργίας I_{CPV} (το ρεύμα που ρέει διαμέσου του SPD όταν εφαρμοστεί η τάση U_{CPV} στα άκρα του) δεν πρέπει να προκαλεί οποιοδήποτε κίνδυνο ασφάλειας (από έμμεση επαφή κτλ).

4.2 Συνθήκες σφάλματος

Σε συνθήκες σφάλματος, η αντοχή του SPD σε ρεύμα βραχυκύκλωσης σε συνδυασμό με τη (εσωτερική ή εξωτερική) συσκευή προστασίας υπερεντάσεων, πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από τη μέγιστη αναμενόμενη τιμή βραχυκυκλώματος στο σημείο της εγκατάστασής του.

Επιπλέον, εάν δίνεται από τον κατασκευαστή τιμή I_{fi} , τότε αυτή πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με τη μέγιστη αναμενόμενη τιμή βραχυκυκλώματος στο σημείο της εγκατάστασης του SPD. Η τιμή I_{fi} αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή ρεύματος ακολουθίας που είναι ικανή η συσκευή να διακόψει, όπου το ρεύμα ακολουθίας I_f ορίζεται ως το ρεύμα που διέρχεται από τη συσκευή μετά από την εκκαθάριση κρουστικού ρεύματος και έχει τιμή σημαντικά μεγαλύτερη από την τιμή I_{CPV} .

4.3 Συντονισμός κρουστικού κύματος μεταξύ SPDs και συσκευών προστασίας υπερεντάσεων (ασφάλειες, circuit-breakers)

Όταν η εγκατάσταση προστατεύεται από τον συνδυασμό SPD και συσκευών προστασίας υπερεντάσεων, στην περίπτωση υπερέντασης με τιμή ρεύματος στο ονομαστικό ρεύμα εκκένωσης I_n , οι συσκευές προστασίας υπερεντάσεων δεν πρέπει να ενεργοποιούνται.

Όσotόσο στην περίπτωση που το ρεύμα υπερεντάσεως είναι μεγαλύτερο του I_n , τότε είναι αποδεκτή η ενεργοποίηση των συσκευών υπερεντάσεως. Συσκευές που δεν είναι μιας χρήσης, όπως διακόπτες φορτίου, δεν πρέπει να καταστρέφονται από το κρουστικό κύμα. Σε αυτή την περίπτωση, λόγω του χρόνου ανταπόκρισης των συ-

σκευών προστασίας υπερεντάσεων, η εκτόνωση της υπερέντασης θα γίνει μέσω του SPD γι' αυτό πρέπει να έχει επαρκή αντοχή για καταστολή της ενέργειας του κύματος.

5. Επιλογή επίπεδου προστασίας Up του SPD

Η τιμή του U_p πρέπει να είναι χαμηλότερη από τη διηλεκτρική αντοχή του εξοπλισμού και συνιστάται να τηρείται ένα περιθώριο τουλάχιστον 20% (CLC/TS 61643-12). Εάν δεν υπάρχουν πληροφορίες για τη μονωτική ικανότητα του εξοπλισμού τότε η τιμή της μπορεί να επιλεγεί από τον Πίνακα 8.

6. Συντονισμός συσκευών περιορισμού υπερτάσεων

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου επιβάλλεται η παράλληλη χρήση δύο (ή περισσότερων) SPDs, ώστε να γίνει εφικτή η καταστολή της υπερέντασης στον υπό προστασία εξοπλισμό σε ένα αποδεκτό επίπεδο (χαμηλότερο επίπεδο προστασίας σε σχέση με την χρήση μόνο ενός SPD). Για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις πρέπει να τοποθετείται ένα σετ SPDs κοντά στον "inverter" και εάν η απόσταση καλωδίωσης μέχρι την Φ/Β-γεννήτρια είναι μεγαλύτερη των 10m, τότε συνιστάται η τοποθέτηση δεύτερου σετ SPDs πλησίον της Φ/Β-γεννήτριας. Σε μη απομονωμένα ΣΑΠ, συνιστάται η εγκατάσταση δύο σετ SPDs ανεξάρτητα της απόστασης μεταξύ "inverter" και Φ/Β-γεννήτριας (TS 50539-12). Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την παράλληλη χρήση δύο συσκευών μπορεί να γίνει αναδρομή στο TS 61643-12 §6.2.6.

Παράρτημα Δ - Μέτρηση Αντίστασης Γείωσης

Για τη μέτρηση αντίστασης γείωσης υπάρχουν ειδικά όργανα τα γειωσόμετρα, τα οποία πρέπει να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του προτύπου EN 61557-5. Στο τεχνικό φυλλάδιο του κατασκευαστή κάθε οργάνου, περιγράφεται η μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθήσει ο τεχνικός για τη λήψη αξιόπιστων μετρήσεων. Τα όργανα αυτά έχουν κοινή αρχή λειτουργίας βασισμένη στη μέθοδο βολτόμετρου-αμπερόμετρου, όπως περιγράφεται στο πρότυπο (HD 60364-6).

Κατά τη διαδικασία μέτρησης της αντίστασης γείωσης, η γείωση πρέπει να αποσυνδέεται από την υπόλοιπη εγκατάσταση λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα προκειμένου να μην τεθούν υπό τάση αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης.

Επίσης, ο τεχνικός πρέπει να έχει υπόψη του τους παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις όπως:

- τη μέθοδο που ακολουθείται (πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μεθόδου).
- την ποιότητα την ακρίβεια και την καλή κατάσταση του οργάνου μέτρησης.
- την υγρασία του εδάφους.
- την πιθανή ύπαρξη υπόγειων μεταλλικών στοιχείων (υπόγεια καλώδια, μεταλλικοί σωλήνες ύδρευσης).

Μέτρηση Σημειακής Γείωσης

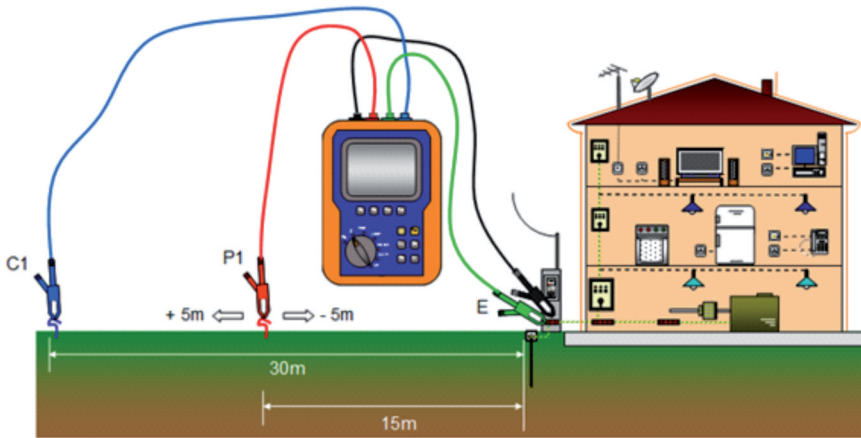
Στην περίπτωση που η γείωση της εγκατάστασης είναι σημειακή, δηλαδή εστιάζεται σημειακά (πχ ράβδος, τρίγωνο γείωσης, πλάκα κτλ), ακολουθείται η μεθοδολογία που φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα (εικ. 41). Μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος διοχετεύει στο έδαφος, μέσω ενός βοηθητικού ηλεκτροδίου **C1**, ηλεκτρικό ρεύμα **Ia** το οποίο «κλείνει» τον κύκλο του μέσω του ηλεκτροδίου γείωσης. Η τοποθέτηση του ηλεκτροδίου **C1** πρέπει να γίνεται σε μεγάλη απόσταση (30m-50m), ώστε να θεωρείται ότι έχει πρακτικά δυναμικό μηδέν ως προς την γείωση σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Επίσης, μέσω ενός δεύτερου βοηθητικού ηλεκτροδίου **P1**, γίνονται τρεις μετρήσεις της διαφοράς τάσης μεταξύ ηλεκτροδίου γείωσης και βοηθητικού ηλεκτροδίου **P1**. Για τη λήψη των μετρήσεων, το **P1** τοποθετείται σε τρεις διαφορετικές θέσεις πάνω στη νοτιή ευθεία **E**, που ενώνει το ηλεκτρόδιο γείωσης με το βοηθητικό ηλεκτρόδιο **C1**. Οι θέσεις είναι α) το μέσο της ευθείας **E β) 5m** από το μέσο της ευθείας προς το ηλεκτρόδιο γείωσης και γ) **5m** από το μέσο της ευθείας προς το βοηθητικό ηλεκτρόδιο **C1**.

Εάν η απόκλιση μεταξύ των τριών μετρήσεων είναι μικρότερη του 5%, τότε οι μετρήσεις θεωρούνται αποδεκτές. Σε αντίθετη περίπτωση εάν η απόκλιση μεταξύ των μετρήσεων ξεπερνά το 5%, τότε επαναλαμβάνεται η όλη διαδικασία αυξάνοντας την

απόσταση του ηλεκτροδίου **C1** μέχρις ότου οι μετρήσεις κυμανθούν εντός του εύρους ανοχής του 5%.

Όταν επιτύχουμε αποδεκτές μετρήσεις, τότε διαιρούμε το μέσο όρο τους με την τιμή του ρεύματος **I_a**, που ρέει μέσω του ηλεκτροδίου **C1** και θεωρούμε αυτή την τιμή ως την αντίσταση γείωσης.

* κάποιες φορές μπορεί να γίνουν αποδεκτές τιμές μετρήσεων με εύρος ανοχής μέχρι και 20% ιδιαίτερα αν πρόκειται για μικρές τιμές.



Εικόνα 41: Μέτρηση σημειακής γείωσης [9].

Μέτρηση Εκτεταμένης Γείωσης

Για τον υπολογισμό της αντίστασης σε συστήματα εκτεταμένης γείωσης όπως θεμελιακή γείωση, περιμετρική, πλέγμα κτλ, χρησιμοποιείται η ίδια διαδικασία όπως προηγουμένως με μεγαλύτερη όμως πολυπλοκότητα.

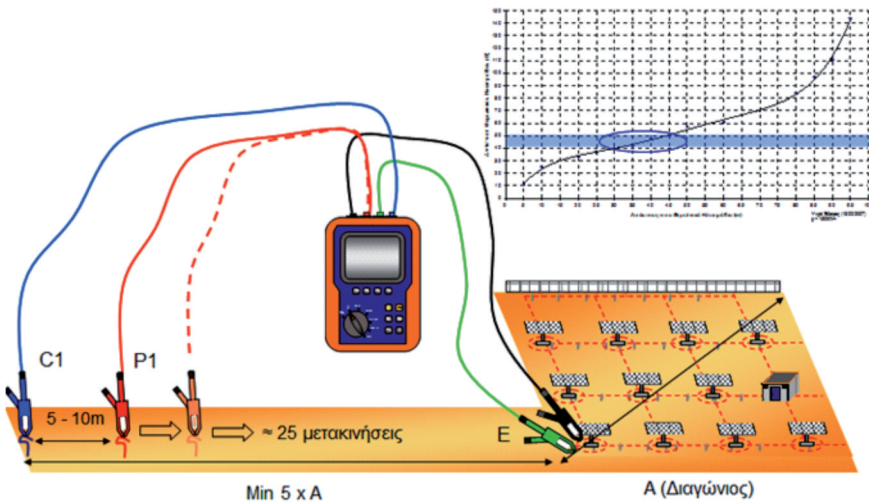
Σε πρώτη φάση υπολογίζεται το μήκος της μέγιστης διαγώνιου **A** του κλειστού γεωμετρικού σχήματος, που σχηματίζουν οι κορυφές των ράβδων γείωσης ή το περιμετρικό ηλεκτρόδιο.

Το βοηθητικό ηλεκτρόδιο **C1** τοποθετείται σε απόσταση 5 έως 10 φορές του μήκους **A** από την περίμετρο του συστήματος γείωσης. Το ηλεκτρόδιο **C1** διοχετεύει εναλλασσόμενο ρεύμα **I_a** στο έδαφος στο σημείο έμπηξης του, το οποίο «κλείνει» τον κύκλο του μέσω του ηλεκτροδίου γείωσης.

Μέσω του δεύτερου ηλεκτροδίου **P1**, λαμβάνεται ένα σύνολο από μετρήσεις της διαφοράς τάσης μεταξύ του ηλεκτροδίου γείωσης και της τάσης που εμφανίζεται στο **P1**. Λαμβάνονται περίπου 25 μετρήσεις κατά μήκος της νοτιής ευθείας **E**, που ενώνει το ηλεκτρόδιο γείωσης με το βοηθητικό ηλεκτρόδιο **C1**, τοποθετώντας διαδοχικά το ηλεκτρόδιο **P1** σε ίσα διαστήματα από την αρχή μέχρι το τέλος της ευθείας.

Από τις τιμές που λαμβάνονται κατά τη μετακίνηση του ηλεκτροδίου κατά μήκος της ευθείας **E**, προκύπτει μια καμπύλη, η οποία περιλαμβάνει ένα ευθύγραμμο τμήμα (σχεδόν οριζόντιο). Από τις τιμές του οριζώντιου αυτού τμήματος, που παρουσιάζουν απόκλιση μεταξύ τους μέχρι 5%, υπολογίζεται ο μέσος τους όρος **U_{mo}**.

Η αντίσταση γείωσης αντιστοιχεί στη διαίρεση του μέσου όρου **U_{mo}** δια του ρεύματος **I_a**.



Εικόνα 42: Μέτρηση εκτεταμένης γείωσης [9].

Σημείωση. Κάποιες φορές δεν είναι πρακτικά δυνατή η τοποθέτηση των δύο βοηθητικών ηλεκτροδίων μέτρησης (πχ μέσα σε πόλεις), γι' αυτό χρησιμοποιούνται εναλλακτικές μέθοδοι, όπως η μέθοδος μέτρησης αντίστασης βρόχου σφάλματος που με κάποιες παραδοχές μπορούν να προσεγγίσουν την τιμή αντίστασης γείωσης (HD 60364-6).

Παράρτημα Ε – Πίνακες

Υλικό	Μορφή	Ελάχιστη Διατομή ^a mm ²	Σημειώσεις
Χαλκός Χαλκός επικασσιτερωμένος ^b	Ταινία	≥50	Ελάχιστο πάχος 2mm
	Στρογγυλός ^d	≥50	8mm διάμετρος
	Πολύκλωνος ^{d,g}	≥50	Ελάχιστη διάμετρος κλώνου 1,7mm
	Στρογγυλός ^h	≥176	15mm διάμετρος
Αλουμίνιο	Ταινία	≥70	Ελάχιστο πάχος 2mm
	Στρογγυλός	≥50	8mm διάμετρος
	Πολύκλωνος ^g	≥50	Ελάχιστη διάμετρος κλώνου 1,63mm
Κράμα αλουμινίου με επικάλυψη χαλκού ^e	Στρογγυλός	≥50	8mm διάμετρος
Κράμα Αλουμινίου	Ταινία	≥50	Ελάχιστο πάχος 2mm
	Στρογγυλός	≥50	8mm διάμετρος
	Πολύκλωνος ^g	≥50	Ελάχιστη διάμετρος κλώνου 1,7mm ^f
	Στρογγυλός ^h	≥176	15mm διάμετρος
Χάλυβας θερμά επιφειδουργωμένος	Ταινία	≥50	Ελάχιστο πάχος 2,5mm
	Στρογγυλός	≥50	8mm διάμετρος
	Πολύκλωνος ^g	≥50	Ελάχιστη διάμετρος κλώνου 1,7mm
	Στρογγυλός	≥176	15mm διάμετρος
Χάλυβας με επικάλυψη Χαλκού ^e	Στρογγυλός	≥50	8mm διάμετρος
	Ταινία	≥50	Ελάχιστο πάχος 2,5mm
Ανοξειδωτος Χάλυβας ^e	Ταινία	≥50	Ελάχιστο πάχος 2mm
	Στρογγυλός	≥50	8mm διάμετρος
	Πολύκλωνος ^g	≥70	Ελάχιστη διάμετρος κλώνου 1,7mm
	Στρογγυλός ^h	≥176	15mm διάμετρος

^a εργοστασιακό όριο ανοχής: -3%

^b Εν θερμώ ηλεκτρολυτικά με ελάχιστο πάχος 1μm. Επικασσιτέρωση για αισθητικούς μόνο λόγους

^c Ανοξειδωτος Χάλυβας με περιεκτικότητα: Χρόμιο ≥ 16%, νικέλιο ≥ 8%, άνθρακας ≤ 0,08%

^d 50mm² (8mm διάμετρος) μπορούν να μειωθούν στα 25mm² (6mm διάμετρος) σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται ιδιαίτερη μηχανική αντοχή

^e Ελάχιστη ακτινική επικάλυψη χαλκού 70μm με περιεκτικότητα 99,9% σε χαλκό

^f Σε κάποιες χώρες πιθανόν να χρησιμοποιείται διάμετρος κλώνου 1,14mm

^g Η διατομή του πολύκλωνου αγωγού καθορίζεται από την αντίσταση του αγωγού βάσει του IEC 60228

^h Η διατομή των 176mm² εφαρμόζεται σε ακίδες προστασίας, ενώ στην περίπτωση που δεν χρειάζεται ιδιαίτερη μηχανική αντοχή μπορεί να μειωθεί μέχρι τα 70mm².

Πίνακας 14: Ελάχιστες Διαστάσεις συλλεκτήριων συστημάτων αγωγών καθόδου και συνδετικών αγωγών [EN 62561-2].



Υλικό	Μέγιστη ηλεκτρική αντίσταση μΩm	Αντοχή στον εφελκυσμό N/mm ²
Χαλκός	0,019	200 έως 450
Αλουμίνιο	0,03	≤150
Κράμα Αλουμινίου	0,036	120 έως 280
Χάλυβας	0,15	290 έως 510
Ανοξείδωτος Χάλυβας	0,8	400 έως 770

Πίνακας 15: Ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά συλλεκτήριων συστημάτων και αγωγών καθόδου (EN 62561-2).

Στάθμη προστασίας ΣΑΠ	Ki
I	0,08
II	0,06
III & IV	0,04
Υλικό	Km
Αέρας	1
Μπετόν, τούβλα, ξύλο	0,5
Αριθμός αγωγών καθόδου n	Kc
1 (μόνο στην περίπτωση απομονωμένου ΣΑΠ)	1
2	0,66
3 και περισσότεροι	0,44

Σημειώσεις:

- Εάν παρεμβάλλονται διάφορα μονωτικά υλικά σε σειρά καλύτερα να επιλέγεται η χαμηλή τιμή του Km
- Οι τιμές του συντελεστή Kc εφαρμόζονται για όλα τα συστήματα γείωσης Τύπου A και Τύπου B υπό την προϋπόθεση ότι η τιμή της αντίστασης γεωπονικών ηλεκτροδίων δεν διαφέρει περισσότερο από το διπλάσιο. Εάν υπάρχει μια τέτοια διαφορά τότε το Kc παίρνει τιμή τη μονάδα.

Πίνακας 16: Τιμές Συντελεστών (Ki, Kc, Km) για υπολογισμό απόστασης απομόνωσης (EN 62305-3).

Στάθμη Προστασίας ΣΑΠ	Τυπικές αποστάσεις m
I	10
II	10
III	15
IV	20

Πίνακας 17: Τυπικές Αποστάσεις μεταξύ αγωγών καθόδου (EN 62305-3).

**Τεχνικό Εγχειρίδιο Αντικεραυνικής Προστασίας & Προστασίας
από Υπερτάσεις για Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις Υπαίθριου Χώρου**

Υλικό	Μορφή	Διατομή ^a mm ²			Παρατηρήσεις
		ράβδος	αγωγός	πλάκα	
Χαλκός Χαλκός Επικασσιτερωμένος^f	Πολύκλωνος	-	≥50 ⁱ	-	1,7mm διάμετρος για κάθε κλώνο
	Στρογγυλός	-	≥50	-	8mm διάμετρος
	Ταινία	-	≥50	-	2mm πάχος
	Στρογγυλός	≥176	-	-	15mm διάμετρος
	Σωλήνα	≥110	-	-	20mm διάμετρος με 2mm πάχος τοιχώματος
	Πλάκα	-	-	≥2500	500mmx500mm με 3mm πάχος ^g
	Επίπεδο πλέγμα ^g	-	-	≥3600	600mmx600mm αποτελούμενο από 30mmx3mm τμήματα για ταινία ή 10mm για στρογγυλό αγωγό.
Χάλυβας θερμά επιψευδαργυρωμένος	Στρογγυλός	-	≥78	-	10mm διάμετρο
	Στρογγυλός	≥150 ^b	-	-	14mm διάμετρο
	Σωλήνα	≥140 ^b	-	-	25mm διάμετρος με 2mm πάχος τοιχώματος
	Ταινία	-	≥90	-	3mm πάχος
	Πλάκα	-	-	≥2500	500mmx500mm με 3mm πάχος
	Επίπεδο πλέγμα ^d	-	-	≥3600	600mmx600mm αποτελούμενο από 30mmx3mm τμήματα για ταινία ή 10mm για στρογγυλό αγωγό.
	Profile ^e	-	-	-	3mm πάχος
Χάλυβας	Πολύκλωνος	-	≥70	-	1,7mm διάμετρος για κάθε κλώνο
	Στρογγυλός	-	≥78	-	10mm διάμετρο
	Ταινία	-	≥75	-	3mm πάχος
Χάλυβας με επικάλυψη Χαλκού^c	Στρογγυλός	≥150 ^h	-	-	14mm διάμετρος για ελάχιστη επικάλυψη χαλκού 70μm με περιεκτικότητα 99,9% σε χαλκό
	Στρογγυλός	-	≥50	-	8mm διάμετρος για ελάχιστη επικάλυψη χαλκού 70μm με περιεκτικότητα 99,9% σε χαλκό
	Στρογγυλός	-	≥78	-	10mm διάμετρος για ελάχιστη επικάλυψη χαλκού 70μm με περιεκτικότητα 99,9% σε χαλκό
	Ταινία	-	≥90	-	3mm πάχος για ελάχιστη επικάλυψη χαλκού 70μm με περιεκτικότητα 99,9% σε χαλκό
Ανοξείδωτος Χάλυβας	Στρογγυλός	-	≥78	-	10mm διάμετρο
	Στρογγυλός	≥176 ^h	-	-	15mm διάμετρο
	Ταινία	-	≥100	-	2mm πάχος

^a εργοστασιακό όριο ανοχής: -3%

^b τα απειρώματα πρέπει να δημιουργούνται πριν από την επιψευδαργύρωση.

^c ο χαλκός πρέπει να είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με το χάλυβα.

^d το επίπεδο πλέγμα κατασκευάζεται με ελάχιστο μήκος αγωγού 4.8m.

^e διαφορετικά προφίλ αγωγών επιτρέπονται με ελάχιστη διατομή 290mm² και ελάχιστο πάχος 3mm.

^f θερμά εμβατισμένα ή μέσω ηλεκτρόλυσης, ελάχιστο πάχος επικάλυψης 1μm. Η επικασιαιτέρωση είναι μόνο για αισθητικούς λόγους.

^g Σε κάποιες χώρες χρησιμοποιείται ελάχιστη διατομή 1800cm² και πάχος 0,8mm.

^h Σε κάποιες χώρες χρησιμοποιείται ελάχιστη διατομή 125mm².

¹ Η διατομή του πολύκλωνου αγωγού καθορίζεται από την αντίσταση του αγωγού βάσει του IEC 60228.

Πίνακας 18: Ελάχιστες διαστάσεις αγωγών συστήματος γείωσης ανάλογα με το υλικό και τη διαμόρφωση τους (EN 62561-2).

Υλικό	Μορφή	Ανοχή στον εφελκυσμό N/mm ²			Μέγιστη ηλεκτρική αντίσταση μΩm
		ράβδος	αγωγός	πλάκα	
Χαλκός	Πολύκλωνος	M/E	200 έως 450	M/E	0.019
	Στρογγυλός	200 έως 450	200 έως 450	M/E	
	Ταινία	M/E	-	M/E	
	Σωλήνας	200 έως 450	M/E	M/E	
	Πλάκα	M/E	M/E	200 έως 450	
	Επίπεδο πλέγμα	M/E	M/E	200 έως 450	
Χάλυβας	Επιψευδαργυρωμένος στρογγυλός	350 έως 770	290 έως 510	M/E	0.25
	Επιψευδαργυρωμένος Σωλήνας	350 έως 770	M/E	M/E	
	Επιψευδαργυρωμένη Ταινία	M/E	290 έως 510	M/E	
	Επιψευδαργυρωμένη πλάκα	M/E	M/E	290 έως 510	
	Επιψευδαργυρωμένο επίπεδο πλέγμα	M/E	M/E	290 έως 510	
	Στρογγυλός	M/E	290 έως 510	M/E	
	Ταινία	M/E	290 έως 510	M/E	
	Επιψευδαργυρωμένος πολύκλωνος	M/E	290 έως 510	M/E	
	Επιψευδαργυρωμένος ορθογωνικός	300 έως 770	M/E	M/E	
	Στρογγυλός με επικάλυψη χαλκού	600 έως 770 ^g	290 έως 510 ^c	M/E	

**Τεχνικό Εγχειρίδιο Αντικεραυνικής Προστασίας & Προστασίας
από Υπερτάσεις για Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις Υπαίθριου Χώρου**

Υλικό	Μορφή	Αντοχή στον εφελκυσμό N/mm ²			Μέγιστη ηλεκτρική αντίσταση μΩm
		ράβδος	αγωγός	πλάκα	
Ανοξείδωτος Χάλυβας	Στρογγυλός ^α	500 έως 770	400 έως 730	M/E	0,80
	Ταινία ^β	M/E	400 έως 730	M/E	




^α ποσοστό απόδοσης/εφελκυσμό από 0,8 έως 0,95

^β χρώμιο ≥ 16%, νικέλιο ≥ 5%, μολυβδαίνο ≥ 2%, άνθρακας ≤ 0,08%

^γ υπολογισμός βάσει ολόκληρης της διαμέτρου συμπεριλαμβανομένης και της χάλκινης επικάλυψης.

M/E= μη εφαρμοσίμο.

Πίνακας 19: Ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά αγωγών συστήματος γείωσης ανάλογα με το υλικό και τη διαμόρφωση τους (EN 62561-2).

Ονομαστική τάση φύσης-ουδετέρου για a.c/d.c	Ονομαστική τάση δικτύου (V)			Εκτιμώμενη κρουστική τάση εξοπλισμού (U _w) ανάλογα με την κατηγορία κατάταξης του (I-IV)			
	Τριφασικό σύστημα με τέσσερις αγωγούς Με γειωμένο τον ουδέτερο	Τριφασικό σύστημα με τρεις αγωγούς γειωμένο ή όχι	Μονοφασικό σύστημα δύο καλωδίων a.c/d.c				
				I	II	III	IV
50	-	-	12,5-48	330	500	800	1500
100	66/115	66	60	500	800	1500	2500
150	120/208, 127/220	115-127	100-120	800	1500	2500	4000
300	220/380, 230/400, 240/415	200-277	220	1500	2500	4000	6000
600	380/660, 400/690, 480/830	347-600	480	2500	4000	6000	8000
1000		660-1000	1000	4000	6000	8000	12000

* Το δίκτυο χαμηλής τάσης της ΑΗΚ είναι 230/400

Πίνακας 20: Επίπεδο προστασίας ηλεκτρολογικού εξοπλισμού (EN 60664-1).

SPDs συνδεδεμένα μεταξύ	Διαμόρφωση συστήματος δικτύου διανομής				
	TN-C	TN-S	ουδέτερο	IT με προσβάσιμο ουδέτερο	IT με μη προσβάσιμο
Γραμμής και ουδέτερου	1,1 U ₀	M/E	1,1 U ₀	1,1 U ₀	M/E
Κάθε γραμμής και αγωγού PE	1,1 U ₀	M/E	1,1 U ₀	$\sqrt{3} \cdot U_0$	Τάση μεταξύ γραμμών
Ουδέτερου και αγωγού PE	U ₀	M/E	U ₀	U ₀	M/E
Κάθε γραμμής και αγωγού PE	M/E	1,1U ₀	U ₀	M/E	M/E

M/E= μη εφαρμόσιμο.

U₀: ονομαστική τάση δικτύου μεταξύ φάσης-ουδέτερου

Πίνακας 21: Ελάχιστη Απαιτούμενη τιμή U_c για SPD ανάλογα με το σύστημα διανομής (TS 61643-12).

SPDs συνδεδεμένα σε:	Τιμές TOV U _c	
	Για 5s (σφάλματα σε συστήματα χαμηλής τάσης)	Για 200ms (σφάλματα σε συστήματα χαμηλής τάσης)
TN-σύστημα		
L-(PE)N ή L-N	1,32xU _c	-
TT-σύστημα		
L-PE	1,55xU _c	1200+U _c
L-N	1,32xU _c	-
N-PE	-	1200
IT-σύστημα		
L-PE	-	1200+U _c
L-N	1,32xU _c	-
N-PE	-	1200
TN, TT & IT συστήματα		
L-PE	1,55xU _c	1200+U _c
L-(PE)N	1,32xU _c	-
N-PE	-	1200

• Ο πίνακας ικανοποιεί τις απαιτήσεις του EN 60364-5-53. Για αυτό το σκοπό U_c=1,1 U₀

• U₀: ονομαστική τάση δικτύου μεταξύ φάσης-ουδέτερου

Πίνακας 22: Τυπικές Τιμές δοκιμών TOV (TS 61643-12).

Υλικό	Χρήση			Διάβρωση		
	Σε ατμοσφαιρικό αέρα	Στο έδαφος	Στο μετόν	Αντίσταση	Επιτάχυνση από	Μπορεί να καταστρέψει μέσω γαλβανικής σύζευξης με
Χαλκός	Συμπαγές Πολύκλωνος	Συμπαγές Πολύκλωνος Ως επένδυση	Συμπαγές Πολύκλωνος Ως επένδυση	Καλός σε διάφορα περιβάλλοντα	Οργανικά στοιχεία Χημικές ενώσεις θείου	-
Θερμά επιψευδαργυρωμένος χάλυβας ^{c,d,e}	Συμπαγές Πολύκλωνος ^b	Συμπαγές	Συμπαγές Πολύκλωνος ^b	Αποδεκτός στον αέρα στο μετόν και σε ευνοϊκό έδαφος	Υψηλές συγκεντρώσεις χλωριδίων	Χαλκό
Χάλυβας ηλεκτρολυτικά επικαλυμμένος	Συμπαγές	Συμπαγές	Συμπαγές	Καλός σε διάφορα περιβάλλοντα	Χημικές ενώσεις θείου	-
Ανοξείδωτος χάλυβας	Συμπαγές Πολύκλωνος	Συμπαγές Πολύκλωνος	Συμπαγές Πολύκλωνος	Καλός σε διάφορα περιβάλλοντα	Υψηλές συγκεντρώσεις χλωριδίων	-
Αλουμίνιο	Συμπαγές Πολύκλωνος	Ακατάλληλο	Ακατάλληλο	Καλός σε ατμόσφαιρα με χαμηλά επίπεδα θείου και χλωριδίων	Αλκαλικά διαλύματα	Χαλκό
Μόλυβδος ^f	Συμπαγές Ως επένδυση	Συμπαγές Ως επένδυση	Ακατάλληλο	Καλός σε ατμόσφαιρα με υψηλά επίπεδα θείου	Έδαφος με οξέα	Χαλκό Ανοξείδωτο χάλυβα

^a Αυτός ο πίνακας δίνει γενικές κατευθυντήριες γραμμές. Σε ειδικές περιπτώσεις πρέπει να γίνεται πιο προσεγμένη ανάλυση των παραμέτρων διάβρωσης (βλ. Annex E EN 62305-3)

^b Οι πολύκλωνοι αγωγοί είναι πιο εύλωτοι στη διάβρωση σε σχέση με τους συμπαγείς αγωγούς. Οι πολύκλωνοι αγωγοί παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στα σημεία που μπαίνουν ή βγαίνουν από το έδαφος ή το μετόν

^c Ο επιψευδαργυρωμένος χάλυβας μπορεί να διαβρωθεί σε υγρό έδαφος.

^d Ο επιψευδαργυρωμένος χάλυβας μέσα στο μετόν δεν πρέπει να εκτείνεται μέσα στο έδαφος γιατί υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροχημικής διάβρωσης.

^e Ο επιψευδαργυρωμένος χάλυβα σε επαφή το σκυρόδεμα δεν πρέπει να γίνεται σε παράκτιες περιοχές που υπάρχουν άλατα στο έδαφος

^f Χρήση εντός του εδάφους μπορεί να απαγορεύεται ή να περιορίζεται λόγω περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Πίνακας 23: Επιλογή υλικών ανάλογα με τη χρήση τους και αντοχή τους στη διάβρωση.

Βιβλιογραφία

[1] EN 62305:

- EN 62305-1: 2010 Protection against lightning –Part1: General Principals
- EN 62305-2: 2010 Protection against lightning –Part2: Risk management
- EN 62305-3: 2010 Protection against lightning –Part3: Physical Damage to Structure and life hazard
- EN 62305-4: 2010 Protection against lightning Part4: Electrical and electronic systems within structures

[2] EN 50539:

- EN 50539-11: 2013 Low-Voltage surge protective devices–Surge protective devices for specific application including d.c- Part11: Requirements and test for SPDs in photovoltaic applications
- TS 50539-12:2013 Low-Voltage surge protective devices–Surge protective devices for specific application including d.c- Part12: Selection and application principles – SPDs connected to photovoltaic installations.

[3] EN 61643:

- EN 61643-11: 2012 Low-voltage surge protective devices- Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems- Requirements and test methods.
- TS 61643-12: 2009 Low-voltage surge protective devices- Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power systems–Selection and application principles
- EN 61643-21: 2001 Low-voltage surge protective devices- Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signaling networks- Performance requirements and test methods
- TS 61643-22: 2006 Low-voltage surge protective devices- Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signaling networks- Selection and application principles

[4] EN 62561:

- EN 62561-1: 2012 Lightning Protection System Components(LPSC)- Part1: Requirements for connection components
- EN 62561-2: 2012 Lightning Protection System Components(LPSC)- Part2: Requirements for conductors and earth electrodes
- EN 62561-3: 2012 Lightning Protection System Components(LPSC)- Part3: Requirements for isolating spark gaps.

- EN 62561-4: 2012 Lightning Protection System Components(LPSC)- Part4: Requirements for conductors fasteners

[5] HD 60364:

- HD 60364-1: 2008 Low-voltage electrical installations- Part1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions
- HD 60364-4-443: 2006 Electrical installations of buildings-Part4-44: Protection for safety-Protection against voltage disturbances and end electromagnetic disturbances- Clause 443: Protection against overvoltages of atmospheric origin or due to switching
- HD 60364-4-444: 2010 Low-Voltage installations-Part4-444: Protection for safety-Protection against voltage disturbances and end electromagnetic disturbances
- HD 60364-5-534: 2008 Low-Voltage installations-Part5-53: Selection and erection of electrical equipment- Isolation, switching and control- Clause 534: Devices for protection against overvoltages.
- HD 60364-5-54: 2011 Low-Voltage installations-Part5-54: Selection and erection of electrical equipment- Earthing arrangements and protective conductors

[6] IEEE:

- IEEE Std 80-2000: Guide for Safety in AC Substation Grounding

[7] EN 50522:

- EN 50522: 2010 Earthing of power installations exceeding 1KV a.c

[8] EN 60269:

- EN 60269-6: 2011 Low-voltage fuses - Part 6: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of solar photovoltaic energy systems.

[9] "Global Lightning Protection Solutions for Solar Applications" Publisher EL-EMKO SA, First Edition, June 2011. (www.elemko.gr)



PSM LAB

Πανεπιστήμιο Κύπρου
Τμήμα ΗΜΜΥ & Ερευνητική Μονάδα Ενεργειακής Αειφορίας ΦΩΣ

Green Park 412, PO BOX 20537,

ΤΤ134, 1167, Λευκωσία

Email: cchara@ucy.ac.cy

Ιστοσελίδα Εργαστηρίου: www.psm.ucy.ac.cy



ΦΩΣ

Ερευνητική Μονάδα
Ενεργειακής Αειφορίας