



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΠΟ
ΦΥΣΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ Ι. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Επιβλέπων: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Θ.ΔΕΡΒΟΣ

Καθ.ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχ/κων & Μηχ/κωνΥπολογιστών

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΠΟ

ΦΥΣΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ Ι. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Επιβλέπων: **ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Θ.ΔΕΡΒΟΣ**

Καθ.ΕΜΠ, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχ/κων & Μηχ/κων Υπολογιστών

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την.....

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017

.....
Κ.Θ. Δέρβος Π. Βασιλείου Ηρ.Αβραμόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ Καθηγήτρια ΕΜΠ Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Παναγιώτης Ι. Σταθόπουλος
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχ/κός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Παναγιώτης Ι. Σταθόπουλος

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των σωστών τρόπων προστασίας μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης από φυσικές υπερτάσεις.

Αρχικά γίνεται μια περιγραφή της τεχνολογίας και του τρόπου λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Στο επόμενο κεφάλαιο έχουμε μια γενική περιγραφή του τρόπου προστασίας ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων από φυσικές υπερτάσεις και γίνεται μια περιγραφή της αναγκαιότητάς του.

Ύστερα παρουσιάζεται εκτεταμένα ο τρόπος μελέτης και εγκατάστασης από το πρώτο έως το τελευταίο βήμα της προστασίας μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης τόσο σε Φ/Β πάρκα ,όσο και σε οικιακά συστήματα,δίνοντας και ένα παράδειγμα μελέτης αντικεραυνικής προστασίας ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 100kWp.

Τέλος,παρουσιάζεται μια έκθεση-επιθεώρηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου που επλήγει από κεραυνούς,με εκτενή παρουσίαση-ανάλυση των ζημιών και των αιτιών αυτών που προκάλεσε το φαινόμενο της υπέρτασης.Ο συγγραφέας της διπλωματικής συμμετείχε σε αυτή την επιθεώρηση που έγινε μαζί με άλλους έμπειρους μηχανικούς για λογαριασμό πιστοποιημένου φορέα.Τα ονόματα,τοπωνυμίες και άλλα ονομαστικά στοιχεία αποτελούν προσωπικά δεδομένα και επίτηδες έχουν αφαιρεθεί. Η χρήση της έκθεσης γίνεται καθαρά και μόνο για επιστημονικούς-ερευνητικούς σκοπούς.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, πλαίσιο, αναστροφέας, συστοιχία, ονομαστική ισχύς, τάση ανοικτού κυκλώματος, ρεύμα βραχυκύκλωσης, κεραυνός ,ζώνες αντικεραυνικής προστασίας (ΖΑΠ) , γείωση , ταινία ,ακίδα , αντικεραυνικά , εκτροπείς υπέρτασης , γεννήτρια , κυλιόμενη σφαίρα , γωνία προστασίας , πλέγματα αγωγών , μαγνητική θωράκιση , συλλεκτήριοι αγωγοί , αγωγοί καθόδου,έκθεση,επιθεώρηση

ABSTRACT

The subject of this thesis is to analyze the correct ways to protect a PV system from natural surges.

Initially there is a description of the technology and the operation of photovoltaic systems. In the next chapter, we have a general description of how to protect electrical installations from natural transients and becomes a description of the necessity of global lightning protection.

Afterwards, it is extensively presented the correct way of planning and installing, from the first to the last step, the lightning protection of a PV system, in both P / V parks, and residential systems.

Following, there is an example of a study of lightning protection for a photovoltaic park of 100kWp.

Finally, it is presented a report-audition of a photovoltaic park that was hit by lightning. It consists of extensive presentation-analysis of losses and their causes of the phenomenon of natural transients. The author of this paper participated in this audition, carried out together with other experienced engineers for a certified auditions company. The account names, place names and other nominal data are personal data and they are removed. The use of the report is purely for scientific-research purposes.

KEYWORDS

PV system, frame, inverter, battery pack, rated power, open circuit voltage, short circuit, lightning, lightning protection zones (LPZ), grounding, film, spike, lightning protectors, surge diverters, generator, rolling ball, corner protection, mesh conductors, magnetic shielding, collectors, descent lines, audition, report.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	10
1.1 Κύρια Χαρακτηριστικά ενός Φ/Β συστήματος	10
1.2 Ηλιακά κύτταρα	13
1.3 Αρχή λειτουργίας.....	14
1.4 Ισοδύναμο κύκλωμα Φ/Β κυττάρου	15
1.5 I-V Χαρακτηριστική	17
1.6 Δομή Φ/Β συστήματος	19
1.6.1 Φ/Β συστοιχίες.....	19
1.6.2 Συσσωρευτές	20
1.6.3 Μετατροπείς ισχύος	21
1.7 Ανάγκη Προστασίας Φ/Β Συστημάτων από Φυσικές Υπερτάσεις	22
1.7.1 Φυσικές υπερτάσεις και βλάβες που αυτές προκαλούν σε μια Φ/Β εγκατάσταση	22
1.7.2 Υπερτάσεις στη dc πλευρά της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.	23
1.7.3 Υπερτάσεις στην ac πλευρά της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2-ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ	25
2.1 Το φαινόμενο του κεραυνού.....	25
2.2 Μελέτη συστήματος αντικεραυνικής προστασίας	26
2.2.1 Αποτίμηση κινδύνου από κεραυνικό πλήγμα.....	26
2.2.2 Αποδεκτή συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων.....	27
2.3 Σχεδιασμός Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας	28

2.3.1	Στάθμες προστασίας.....	28
2.3.2	Συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή.	29
2.3.3	Μέση ετήσια πυκνότητα πλήγματος κεραυνού στο έδαφος.	30
2.3.4	Ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια.	31
2.3.5	Αποδεκτή συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή.	32
2.3.6	Επιλογή της στάθμης προστασίας.	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ		
ΣΕ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....		35
3.1	Ζώνες αντικεραυνικής προστασίας.....	35
3.2	Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας.	37
3.2.1	Αντικεραυνική προστασία της γεννήτριας της Φ/Β εγκατάστασης.....	39
3.2.2	Αντικεραυνική προστασία του κτιρίου ελέγχου της Φ/Β εγκατάστασης.	42
3.2.2.1.α	Μέθοδος της γωνίας προστασίας.	42
3.2.2.1.β	Μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας.....	43
3.2.2.1.γ	Μέθοδος του πλέγματος αγωγών.....	44
3.2.2.2	Επιλογή των στοιχείων του συλλεκτήριου συστήματος.	45
3.2.2.3	Σύστημα Αγωγών καθόδου.	45
3.2.2.4	Εγκατάσταση αγωγών καθόδου σε ΣΑΠ με μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ.	46
3.2.3.	Σύστημα γείωσης.....	47
3.2.3.1	Γείωση του dc Φ/Β εξοπλισμού.	52
3.2.3.2	Γείωση του κτιρίου ελέγχου.	53
3.3	Εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας.....	55
3.3.1	Ισοδυναμικές συνδέσεις.	55
3.3.2	Υπολογισμός ρεύματος κεραυνού που ρέει σε εξωτερικά αγωγίμα τμήματα και στα καλώδια εισερχομένων παροχών της κατασκευής.	57
3.4	Μαγνητική θωράκιση.....	59
3.5	Δρομολόγηση καλωδίων.	62
3.6	Διατάξεις προστασίας έναντι υπερτάσεων.....	63
3.6.1	Μέτρα προστασίας έναντι υπερτάσεων στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες.	63
3.6.2	Μέτρα προστασίας έναντι υπερτάσεων στον αντιστροφέα.	64
3.6.3	Μέτρα προστασίας έναντι υπερτάσεων στα συστήματα επεξεργασίας δεδομένων. ...	65

3.6.4 Επιλογή των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των εκτροπένων υπέρτασης.	66
3.6.5 Γενικά στοιχεία για την επιλογή των εκτροπένων υπέρτασης.....	68
3.6.6 Συντονισμός των εκτροπένων υπέρτασης.	69
3.7 Απαιτήσεις για προστασία ενάντια στην ηλεκτροπληξία στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.	69
3.7.1 Προστασία ενάντια στην άμεση επαφή.....	70
3.7.2 Προστασία ενάντια στην έμμεση επαφή (προστασία σφάλματος).	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ	74
4.1 Κτίρια χωρίς αντικεραυνική προστασία.	74
4.2 Κτίρια με σύστημα εξωτερικής ΕΑΠ και διατήρηση των αποστάσεων ασφαλείας.	76
4.3 Κτίρια με σύστημα εξωτερικής ΕΑΠ χωρίς διατήρηση των αποστάσεων ασφαλείας....	78
4.4 Γείωση φωτοβολταϊκής γεννήτριας που είναι τοποθετημένη στη στέγη μιας κατασκευής.	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5-ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	81
5.1 Πρότυπα Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας(ΣΑΠ).....	81
5.2 Πρότυπα Υλικών.....	82
5.3 Τεχνική Περιγραφή Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας	83
5.4 Τρόποι αντιμετώπισης των Κρουστικών Υπερτάσεων	86
5.5 Λειτουργία Απαγωγών Κρουστικών Υπερτάσεων.....	86
5.6 Επιλογή και τοποθέτηση των απαγωγών.	87
5.7 Εξωτερική αντικεραυνική προστασία Φ/Β πάρκου.....	88
5.8 Συλλεκτήριο Σύστημα	89
5.9 Αγωγοί Καθόδου.....	90
5.10 Σύστημα Γείωσης	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6-ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 1ΜWp ΠΟΥ ΥΠΕΣΤΗ ΚΕΡΑΥΝΙΚΟ

ΠΛΗΓΜΑ	94
6.1 Έκθεση Τεχνικού Ελέγχου-Επιθεώρηση Πιστοποίησης Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης ισχύος 1ΜWp	94
6.1.1 Σύγκριση με την Τεχνική Τεκμηρίωση	95
6.1.2 Συνολική επισκόπηση του έργου	98
6.1.3 Επιτόπιος έλεγχος	100
6.1.4 Ταξινόμηση Ευρημάτων.....	101
6.1.5 Ηλεκτρικοί έλεγχοι.....	102
6.1.6 Γενική αξιολόγηση και απολογισμός	103
6.2 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:Φωτογραφική τεκμηρίωση	104
6.3 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Ευρήματα	107
6.4 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: Ταξινόμηση ευρημάτων	108
6.5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: Τεχνική τεκμηρίωση	109
6.6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5: Ηλεκτρικές Μετρήσεις	111
6.7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: Καμπύλες I – V	117
6.8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7: Λίστα οργάνων ελέγχου	125
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	126
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	127

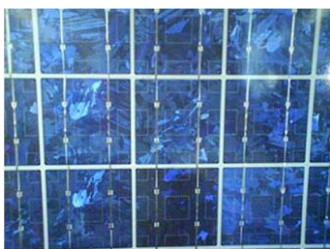
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1.1 Κύρια Χαρακτηριστικά ενός Φ/Β συστήματος

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πλαίσια φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών», ή «κυττάρων»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή. Σήμερα, στην αγορά καταγράφεται μεγάλος αριθμός τεχνολογιών Φ/Β πλαισίων. Οι κυριότερες εξ αυτών είναι δύο: Η πρώτη κατηγορία είναι τα κρυσταλλικά, τα οποία διακρίνονται σε πλαίσια από μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο. Η δεύτερη είναι η τεχνολογία λεπτού υμενίου, ή αλλιώς thin film, η οποία περιλαμβάνει το thinfilm πυρίτιο, το άμορφο πυρίτιο, τον ινδοδισεληνιούχο χαλκό, το τελουριούχο κάδμιο και το αρσενικούχο γάλλιο. Πρωταρχικό ρόλο στην αγορά κατέχουν τα Φ/Β πάνελ τεχνολογίας κρυσταλλικού πυριτίου με μερίδιο αγοράς της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β γεννητριών ύψους 86%.



Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο






Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο



Thin film

Είναι σκόπιμο να έχει κανείς υπόψη του τα γενικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών πάνελ. Ένας ενδεικτικός πίνακας δίνεται παρακάτω:

Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών (εξοπλισμός που κυκλοφορεί στην αγορά στις αρχές 2008)			
ΤΥΠΟΣ	'Λεπτού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση	a-Si: 4,2-6,6% μ-Si: 8,1-8,5% CIS-CIGS: 6-11% CdTe: 6-11,1%	11-14,8%	11-19,3%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	9-25 m ²	7-9 m ²	5,5-9 m ²
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	1.300-1.450	1.300	1.300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m ²) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	50-160	145-185	145-235
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO ₂ ανά kWp)	1.300-1.450	1.300	1.300

Σημαντικότερα χαρακτηριστικά τεχνολογιών πάνελ, ΠηγήΣΕΦ

Τα πλαίσια συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία (PVstring), η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από 2 έως και αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές γεννήτριες. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης: κλασικά παραδείγματα είναι ο υπολογιστής τσέπης («κομπιουτεράκι») και οι δορυφόροι. Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές – οι αναστροφείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φ/Β συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το Φ/Β σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη

εγκατάσταση (κατοικία, θερμοκήπιο, μονάδα παραγωγής κλπ.) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).

1.2 Ηλιακά κύτταρα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την βοήθεια ηλιακών κυττάρων με βάση όσα προαναφέρθηκαν, συνοδεύεται από μια σειρά πλεονεκτημάτων με βασικότερα τα εξής:

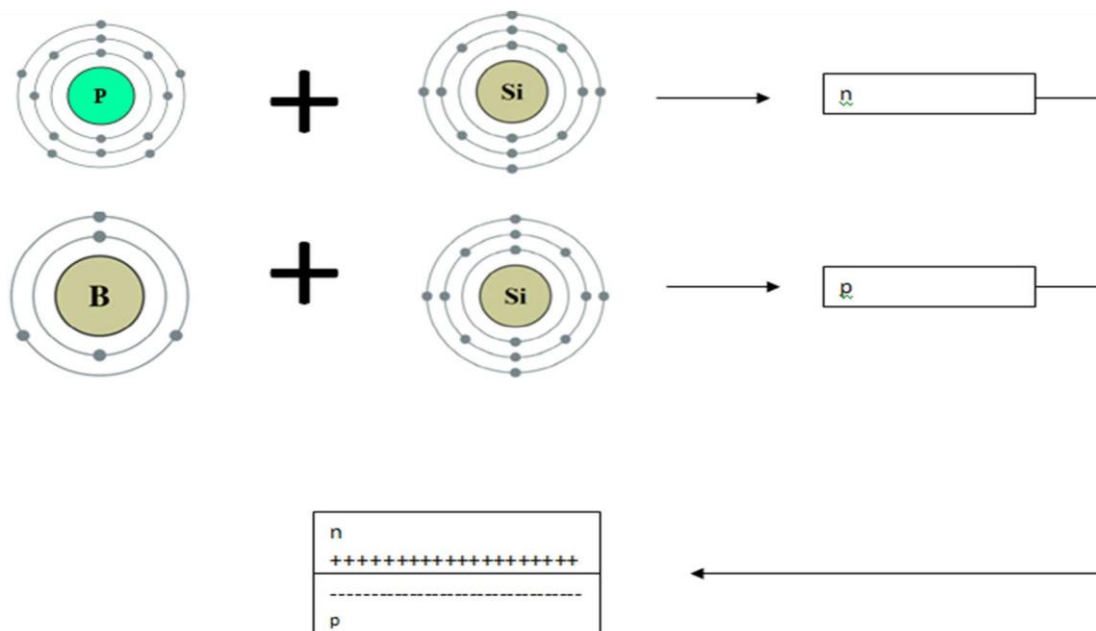
- λειτουργούν αθόρυβα, χωρίς κατάλοιπα, αποφεύγοντας τη μόλυνση του περιβάλλοντος
- λειτουργούν χωρίς κινητά μέρη, με ελάχιστη συντήρηση
- λειτουργούν χωρίς καύσιμα
- κατασκευάζονται από πυρίτιο, υλικό που μπορούμε να βρούμε εύκολα και σε αφθονία στη φύση
- έχουν γρήγορη απόκριση σε ξαφνικές μεταβολές της ηλιοφάνειας
- αν ένα κομμάτι πάθει βλάβη, το σύστημα εξακολουθεί να λειτουργεί μέχρι την αντικατάστασή του
- έχουν εφαρμογές σε μια ευρεία περιοχή ισχύων (από mW σε MW)
- είναι κατάλληλα για επιτόπιες εφαρμογές όπου ή δεν υπάρχει ή δεν συμφέρει η επέκταση του ηλεκτρικού δικτύου

1.3 Αρχή λειτουργίας

Η απευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική επιτυγχάνεται με την βοήθεια των ηλιακών κυττάρων, των οποίων την αρχή λειτουργίας αποτελείτο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η φωτοβολταϊκή μετατροπή στηρίζεται στις ιδιότητες των ημιαγωγικών υλικών όταν αυτά δεχτούν την ηλιακή ακτινοβολία. Αν η ενέργεια (E_{ph}) ενός φωτονίου που θα απορροφηθεί από τον ημιαγωγό είναι μεγαλύτερη από μία τιμή που καλείται ενεργειακό χάσμα (E_g), τότε δημιουργείται ένα ηλεκτρόνιο και μία οπή στον ημιαγωγό.

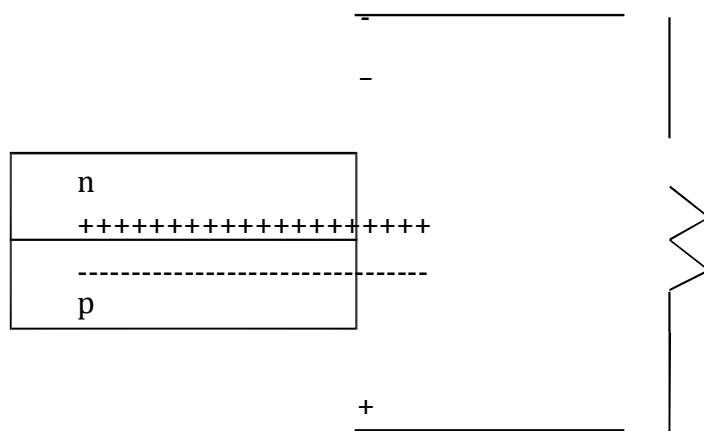
$E_{ph} = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$ $E_g = 1,1 eV$ για το Si

Το άτομο του πυριτίου Si αποτελεί τον κυριότερο εκπρόσωπο των ημιαγωγών. Έχει 14 ηλεκτρόνια τοποθετημένα κατά τρόπο ώστε τα 4 εξωτερικά, που λέγονται και ηλεκτρόνια σθένους, μπορούν να δοθούν, να γίνουν αποδεκτά ή να μοιραστούν με κάποιο άλλο άτομο. Αν προστεθεί σε κομμάτι πυριτίου φωσφόρος που έχει 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα, ενώνονται τα 4 με τα 4 ηλεκτρόνια σθένους του πυριτίου και περισσεύει 1 ηλεκτρόνιο. Άρα έχω αγωγό τύπου n. Αν σε κομμάτι πυριτίου προστεθεί βόριο που έχει 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα, ενώνονται με τα 3 ηλεκτρόνια σθένους του πυριτίου και περισσεύει 1 οπή και έχω αγωγό τύπου p. Αν ενωθούν τα δύο αυτά κομμάτια, αυτό που θα έχουμε στο σκοτάδι θα συμπεριφέρεται σαν δίοδος ενώ στο φως σαν φωτοβολταϊκό κύτταρο.



Διάγραμμα σχηματισμού Φ/B κυττάρου

Η διαχωριστική γραμμή που καλείται επαφή, αποτελεί την εστία δημιουργίας του φράγματος δυναμικού, βασικής προϋπόθεσης για την λειτουργία του ηλιακού κυττάρου. Σκοπός του φράγματος δυναμικού, είναι να κρατήσει την οπή στο τύπου p κομμάτι ενώ το ηλεκτρόνιο μπορεί, έχοντας την απαιτούμενη ενέργεια, να μεταβεί στο κομμάτι τύπου n με αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού, αφού πολλά φωτόνια δίνουν πολλά ηλεκτρόνια. Για να κινηθούν τα ηλεκτρόνια και να επιταχυνθούν προς την έξοδο, αρκεί να συνδεθεί μία αντίσταση και το αποτέλεσμα θα είναι η ροή ρεύματος.



Αναπαράσταση κλειστού κυκλώματος Φ/Β κυττάρου

1.4 Ισοδύναμο κύκλωμα Φ/Β κυττάρου

Όταν το κύτταρο δεν φωτίζεται τότε έχω τη βασική εξίσωση μίας διόδου επαφής

p-n:

$$I = I_0 * (e^{qV/kT} - 1)$$

όπου I = το ρεύμα του κυττάρου

V = η τάση του κυττάρου

I_0 = το ρεύμα κόρου της διόδου

q = το φορτίο του ηλεκτρονίου, $1,6 \cdot 10^{-19}$

k = η σταθερά Boltzmann, $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K

T = η απόλυτη θερμοκρασία [K]

Στην περίπτωση τώρα που το κύτταρο φωτίζεται η εξίσωση ρεύματος είναι της μορφής:

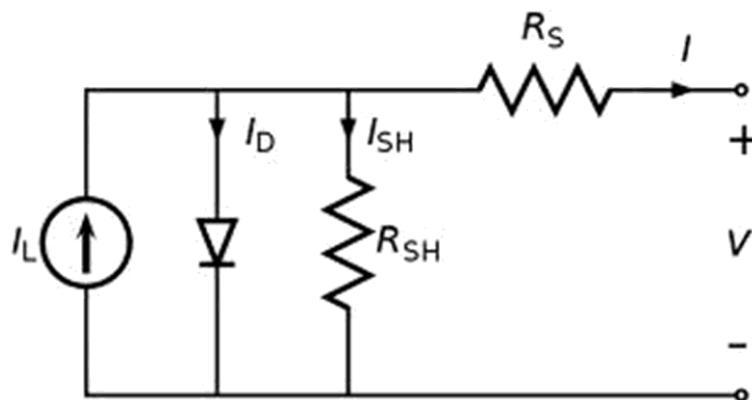
$$I = I_0 \cdot (e^{qV/kT} - 1) - I_L$$

Και I_L είναι το φωτόρρευμα, το ρεύμα δηλαδή που παράγεται λόγω του προσπίπτοντος ηλιακού φωτός.

Η βασική εξίσωση που προέκυψε θεωρητικά δεν αντικατοπτρίζει με ικανοποιητική ακρίβεια την I-V χαρακτηριστική ενός κυττάρου και από πειράματα έχει βελτιωθεί ώστε να καταλήξει στην μορφή:

$$I = I_L - I_0 \cdot \{ \exp[q(V + I \cdot R_S) / kT] - 1 \} - V / R_{SH}$$

Η οποία αναφέρεται στο πρώτο τεταρτημόριο του κυττάρου για λόγους κυκλωματικής ανάλυσης. Το ισοδύναμο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Αρχικό ισοδύναμο κύκλωμα Φ/Β κυττάρου

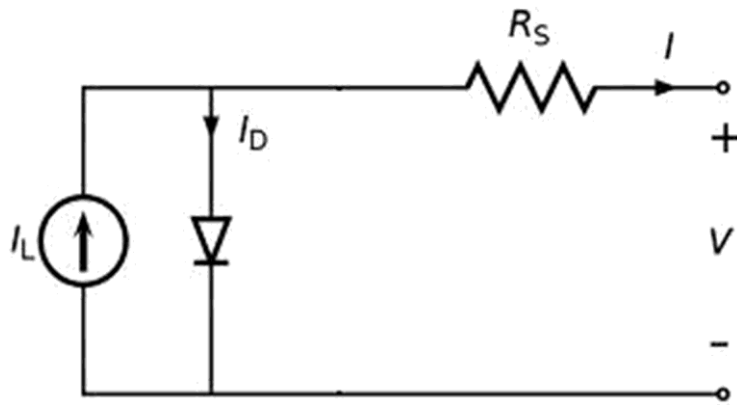
R_S = η αντίσταση όλων των κατανεμημένων στοιχείων

A = οφείλεται σε φαινόμενα επανασύνδεσης, παίρνει τιμές 1-2

R_{SH} = οφείλεται σε διαρροές των φορέων

Λαμβάνοντας υπόψη ότι $R_{SH} \geq 1k\Omega$ άρα πρακτικά $R_{SH} = \infty$, η εξίσωση ρεύματος του κυττάρου παίρνει την τελική της μορφή η οποία και χρησιμοποιείται στην πράξη:

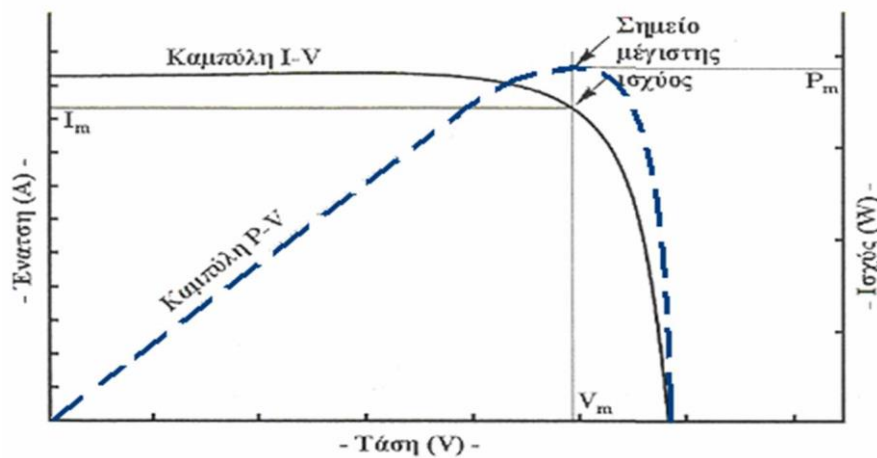
$$I = I_L - I_0 \cdot \{ \exp[q(V + I \cdot R_S) / kT] - 1 \}$$



Τελικό ισοδύναμο κύκλωμα Φ/B κυττάρου

1.5 I-V Χαρακτηριστική

Συνδέοντας μία μεταβλητή αντίσταση στην έξοδο του Φ/B κυττάρου και μεταβάλλοντας την από $R=0$ όπου $I_D=0$ και άρα στην έξοδο θα είναι $I=I_L$, μέχρι $R=\infty$ όπου όλο το ρεύμα περνά από τη δίοδο και στην έξοδο θα είναι $I=0$, παίρνουμε τιμές για την τάση V και ρεύμα I του κυττάρου. Η καμπύλη που σχηματίζεται ονομάζεται I-V χαρακτηριστική και ενδεικτικά για ένα τυχαίο κύτταρο είναι η εξής:



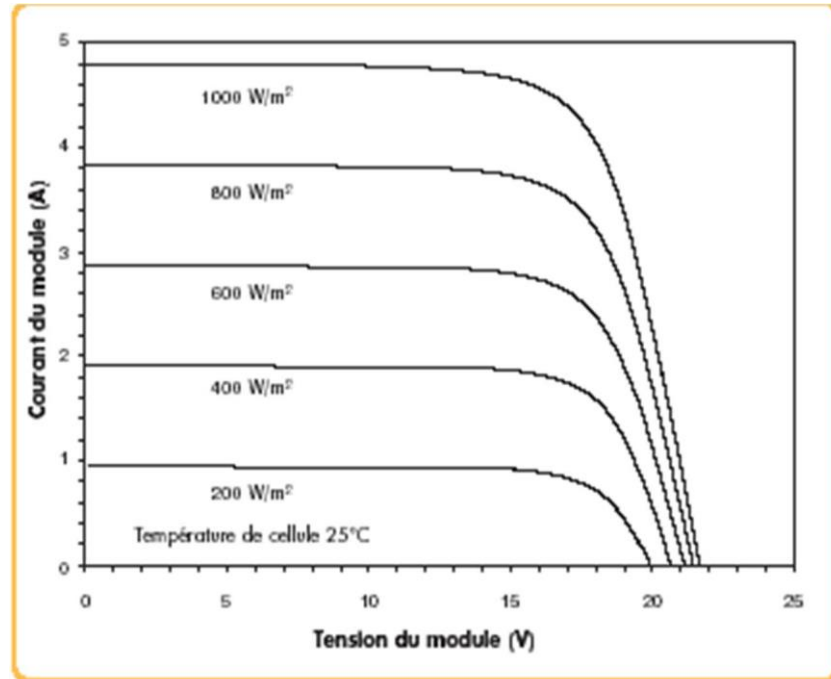
I-V χαρακτηριστική του Φ/B κυττάρου

I_{sc} =ρεύμα
βραχυκυκλώσεως

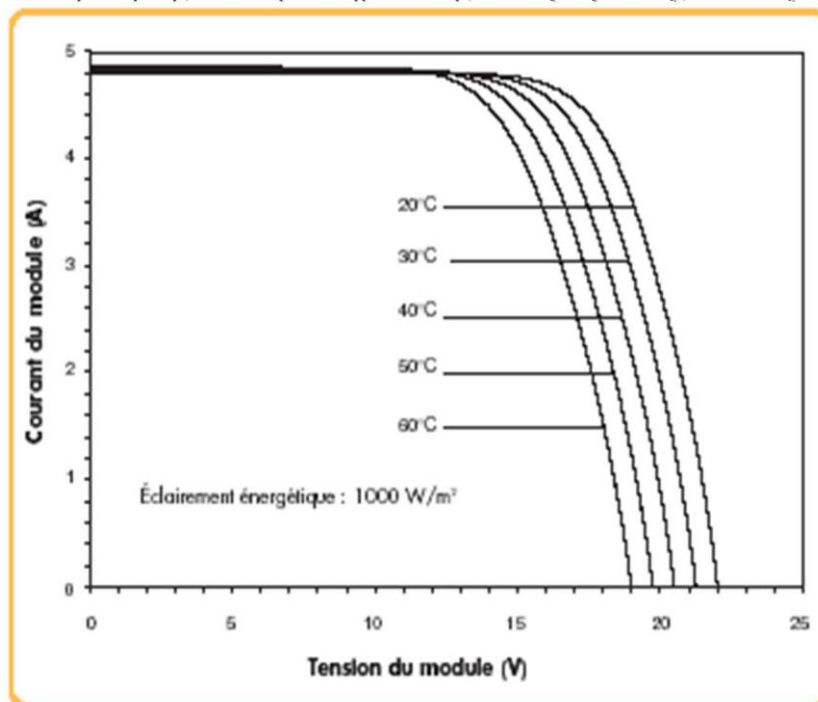
V_{oc} =τάση ανοικτού κυκλώματος,
περίπου 0,5V

P_{mp} = αντιστοιχεί στο σημείο
μέγιστης ισχύος

Η I-V χαρακτηριστική μεταβάλλεται σε μεταβολές της θερμοκρασίας ή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Αν η προσπίπτουσα στο Φ/Β κύτταρο ακτινοβολία μειωθεί, το ρεύμα μειώνεται αναλογικά ενώ η τάση αλγοριθμικά. Με αύξηση της θερμοκρασίας, μειώνεται η ισχύς σε αντιθεση με ένα θερμικό σύστημα.



Μεταβολή της I-V χαρακτηριστικής συναρτήσει της ακτινοβολίας



Μεταβολή της I-V χαρακτηριστικής συναρτήσει της θερμοκρασίας

1.6 Δομή Φ/Β συστήματος

Ένα Φ/Β σύστημα αποτελείται κυρίως από τις Φ/Β συστοιχίες που ουσιαστικά αποτελούν στο σύνολο τους τη Φ/Β γεννήτρια, από τους συσσωρευτές (όταν πρόκειται κυρίως για αυτόνομο σύστημα) και τις μονάδες αναστροφείς ισχύος.



Διάγραμμα Φ/Β συστοιχίας συνδεδεμένης στο δίκτυο

1.6.1 Φ/Β συστοιχίες

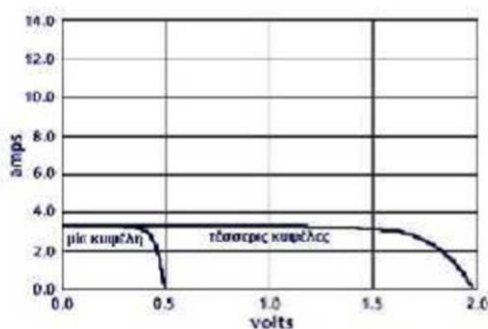
Η μικρότερη δομική μονάδα μιας συστοιχίας είναι το πλαίσιο. Αυτό αποτελείται από περίπου 36 κύτταρα σε σειρά και αν συνδεθεί αλυσιδωτά με άλλα πλαίσια δημιουργεί ένα πάνελ. Η σύνδεση όλων των πάνελ μεταξύ τους αποτελεί την συστοιχία. Εάν όλα τα κύτταρα ενός πλαισίου ή πάνελ ή μιας συστοιχίας έχουν ίδια I-V χαρακτηριστική, η συνολική ισχύς είναι ανεξάρτητη του τρόπου σύνδεσης.

Οι εν σειρά συνδέσεις κυττάρων διατηρούν το ρεύμα σταθερό ενώ η τάση μεγαλώνει τόσες φορές όσο είναι το πλήθος των κυττάρων. Οι παράλληλες συνδέσεις διατηρούν την τάση σταθερή ενώ πολλαπλασιάζουν το ρεύμα με το πλήθος των κυττάρων. Έτσι, ακόμα και σε περίπτωση block με συνδυασμό συνδέσεων, η I-V χαρακτηριστική ζωγραφίζεται εύκολα (βλέπε σχήμα επόμενη σελίδα).

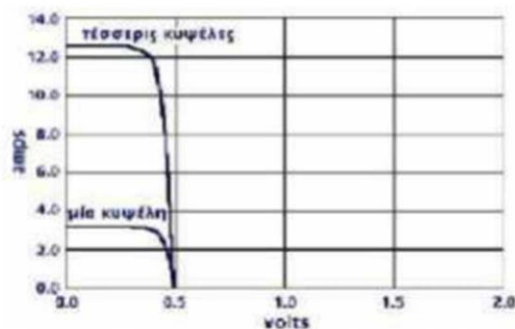
Δυστυχώς όμως, δεν έχουν όλα τα κύτταρα ίδια συμπεριφορά δημιουργώντας τα παρακάτω προβλήματα:

- δεν ζωγραφίζεται εύκολα η I-V χαρακτηριστική
- έχει σημασία η σύνδεση για να μην υπάρχει απώλεια ισχύος
- εμφάνιση φαινομένου hotspot

Οι μέθοδοι θεραπείας είναι με πλεονάζουσες συνδέσεις και διόδους παράκαμψης. Έτσι, ακόμα και με σκίαση κάποιου κυττάρου, που θα συμπεριφέρεται σαν ανάστροφα πολωμένη diόδο, δίνουμε δρόμο στο ρεύμα να συνεχίσει την πορεία του παρακάμπτοντας το με αποτέλεσμα να μην χάνεται ισχύς και από τα μη σκιασμένα.



(α)

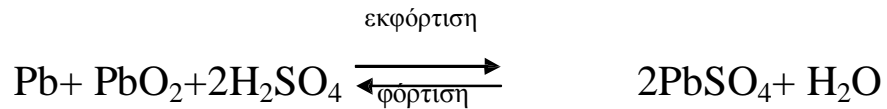


(β)

Ισοδύναμη χαρακτηριστική τεσσάρων Φ/Β κυττάρων (α) σε σειρά και (β)παρ/λα[10]

1.6.2 Συσσωρευτές

Οι συσσωρευτές χρησιμοποιούνται κυρίως στα αυτόνομα συστήματα, εν μέρει στα υβριδικά και σπάνια στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο. Χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένας συσσωρευτής είναι μεγάλη διάρκεια ζωής, μεγάλο βαθμό απόδοσης, μικρό ρυθμό αυτοεκφόρτισης και μικρές απαιτήσεις συντήρησης. Η υπερφόρτιση των συσσωρευτών πρέπει να αποφεύγεται γιατί γίνεται ηλεκτρόλυση του νερού σε οξυγόνο και υδρογόνο που είναι επικίνδυνο, χάνονται υγρά που πρέπει να συμπληρωθούν άρα απαιτείται συντήρηση και τέλος, δημιουργούνται αέρια που ανακατεύουν το υγρό με αποτέλεσμα να βραχυκυκλωθεί το στοιχείο και να καταστραφεί. Το σύνολο των αντιδράσεων φόρτισης/εκφόρτισης ενός συσσωρευτή συνοψίζεται ως εξής:



1.6.3 Μετατροπείς ισχύος

Οι ρυθμιστές τάσης είναι δύο ειδών. Οι γραμμικού τύπου που χρησιμοποιούν τρανζίστορ που λειτουργούν στη γραμμική περιοχή και οι διακοπτικού τύπου που χρησιμοποιούν ένα θυρίστορ ή τρανζίστορ σαν διακόπτη. Σε μεσαία ή μεγάλα συστήματα χρησιμοποιούνται οι ρυθμιστές διακοπτικού τύπου και ανάλογα με την εφαρμογή τους διακρίνονται στους DC/DC και DC/AC αναστροφείς.

Ο DC/DC έχει δύο περιοχές λειτουργίας. Μικραίνοντας τον χρόνο αγωγής του θυρίστορ με τη μέθοδο Pulse Width Modulation, μειώνεται το ρεύμα I_{\min} . Αν μειωθεί αρκετά, το ρεύμα θα είναι ασυνεχές. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να παρουσιαστεί κατά τη διάρκεια της ημέρας και ο μετατροπέας να μεταβεί από τη συνεχή στην ασυνεχή κατάσταση. Αφού επιδιώκεται μετατροπή συνεχούς σε συνεχή τάση, είναι επιθυμητή η λειτουργία με συνεχές ρεύμα που είναι πιο κοντά σε μια σταθερή κατάσταση. Επιπλέον εμφανίζονται λιγότερες αρμονικές οι οποίες διώχνονται εύκολα.

Οι DC/AC αναστροφείς χωρίζονται σε μονοφασικούς ή τριφασικούς και σε αυτούς που λειτουργούν με θυρίστορ ή τρανζίστορ. Η ρύθμιση της τάσης στον αντιστροφέα γίνεται με διαμόρφωση ενός ή πολλών παλμών ή με ημιτονοειδή παλμό. Η τελευταία μέθοδος διαμόρφωσης πλεονεκτεί όσον αφορά τις αρμονικές όμως έχει το μειονέκτημα των διακοπτικών απωλειών λόγω των πολλών ανοιγοκλεισιμάτων των διακοπών.

1.7 Ανάγκη Προστασίας Φ/Β Συστημάτων από Φυσικές Υπερτάσεις

Οι Φ/Β εγκαταστάσεις, τόσο λόγω της θέσης τους (στις στέγες των σπιτιών, στις προσόψεις των κτιρίων ή σαν ανεξάρτητες μονάδες) καθώς επίσης και εξαιτίας της μεγάλης έκτασης που καταλαμβάνουν, είναι περισσότερο ευάλωτες στα άμεσα κεραυνικά πλήγματα και στις εισερχόμενες υπερτάσεις από τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι βλάβες που παρατηρούνται τόσο στην dc όσο και στην ac πλευρά του συστήματος σε περίπτωση άμεσου κεραυνικού πλήγματος ποικίλουν. Για το λόγο αυτό, η μελέτη της αντικεραυνικής προστασίας στις εγκαταστάσεις αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντική

1.7.1 Φυσικές υπερτάσεις και βλάβες που αυτές προκαλούν σε μια Φ/Β εγκατάσταση

Οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις των κεραυνών σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες. Οι βλάβες χωρίζονται στους τρεις παρακάτω τύπους. Τραυματισμός ζωντανών οργανισμών (D1), υλική βλάβη(D2) και σφάλματα στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα (D3). Οι παραπάνω βλάβες μπορούν να προκαλέσουν διαφόρων τύπων απώλειες στο υπό προστασία αντικείμενο. Στους τύπους απωλειών περιλαμβάνονται:

1. η απώλεια ανθρώπινης ζωής (L1),
2. η απώλεια υπηρεσιών στους καταναλωτές(L2),
3. η απώλεια της πολιτιστικής κληρονομιάς (L3)
4. και τέλος οικονομικές απώλειες (L4).

Όσον αφορά στην προέλευση τους οι βλάβες εξαιτίας κεραυνικού πλήγματος μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. πλήγμα μέσα στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση (S1),
2. πλήγμα κοντά στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση(S2),
3. πλήγμα στις υπηρεσίες που συνδέονται στην εγκατάσταση(S3)
4. πλήγμα στις κοντινές υπηρεσίες που συνδέονται στη Φ/Β εγκατάσταση (S4).

1.7.2 Υπερτάσεις στη dc πλευρά της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Όλα τα σφάλματα στην dc πλευρά της εγκατάστασης (φωτοβολταϊκά πάνελ) πρέπει να εκκαθαρίζονται όσο το δυνατό γρηγορότερα. Οι υπερτάσεις λόγω πλήγματος κεραυνού επηρεάζουν με ποικίλους τρόπους την πλευρά αυτή. Κατά την ανάλυση των υπερτάσεων αυτών τα βασικά μοντέλα σύζευξης που εμφανίζονται είναι τα ακόλουθα:

- Γαλβανική σύζευξη: άμεσο πλήγμα κεραυνού σε εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα του φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να προκαλέσει καταστροφή της μόνωσης του Φ/Β εξοπλισμού.
- Επαγωγική σύζευξη: η ηλεκτρική εκκένωση προκαλεί ένα μαγνητικό πεδίο τόσο γύρω από το κανάλι της εκκένωσης όσο και από τους αγωγούς της εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας. Αυτή η αλλαγή του πεδίου προκαλεί υπερτάσεις σε όλους τους βρόχους των καλωδίων του συστήματος. Όχι μόνο τα άμεσα αλλά και τα έμμεσα πλήγματα στην εγκατάσταση επάγουν υπερτάσεις.
- Χωρητική σύζευξη: Το ηλεκτρικό πεδίο ενός συννέφου που προκαλεί καταιγίδα δημιουργεί ένα διαχωρισμό φορτίου στα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη και στους ημιαγωγούς της εγκατάστασης. Τη στιγμή της εκκένωσης το ηλεκτρικό πεδίο καταρρέει και μια νέα μεταφορά φορτίου εμφανίζεται. Το φορτίο διαρρέει όλους τους αγωγούς που συνδέονται με τη γη σαν μεταβατική υπέρταση.

1.7.3 Υπερτάσεις στην ac πλευρά της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Στην περίπτωση των Φ/Β εγκαταστάσεων που συνδέονται στο δίκτυο όλες οι εξωτερικές υπηρεσίες που εισέρχονται στην εγκατάσταση (παροχή ΧΤ/ΥΤ, γραμμές τηλεπικοινωνίας) ενδεχομένως να οδηγήσουν στην εμφάνιση υπερτάσεων.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερή η αναγκαιότητα της μελέτης της προστασίας από φυσικές υπερτάσεις σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

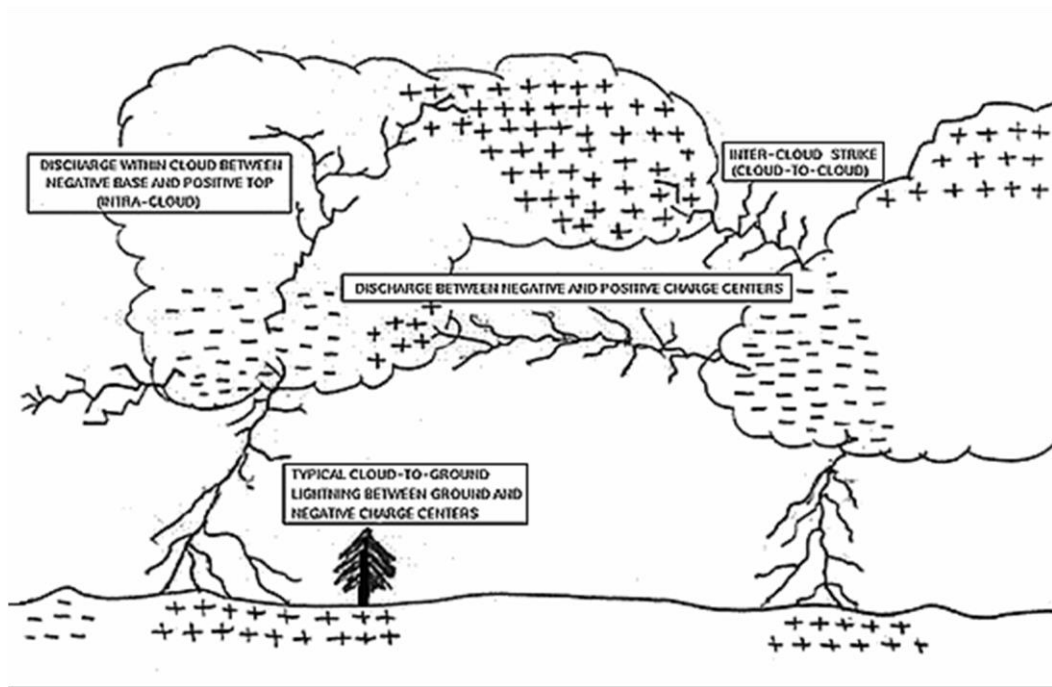
Η διαδικασία που ακολουθείται για το σχεδιασμό του φωτοβολταϊκού συστήματος προστασίας από φυσικές υπερτάσεις περιγράφεται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2-ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ

2.1 Το φαινόμενο του κεραυνού

Οι κεραυνοί είναι ηλεκτρικές εκκενώσεις που παρατηρούνται στην ατμόσφαιρα και αποτελούν ένα άστατο και απρόβλεπτο φαινόμενο. Κεραυνοί μπορεί να δημιουργηθούν ανάμεσα σε διαφορετικά νέφη, μέσα στο ίδιο νέφος, ανάμεσα σε ένα νέφος και στον αέρα ή από ένα νέφος προς το έδαφος. Οι κεραυνοί συνήθως δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των καταιγίδων, ή σπανιότερα κατά τη διάρκεια αμμοθυελλών ή εκρήξεων ηφαιστειών.

Ο σχηματισμός των κεραυνών οφείλεται στη συγκέντρωση σε διαφορετικές περιοχές θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων. Έτσι, δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο και όταν η ένταση του φτάσει σε μεγάλη τιμή, ξεσπά ο κεραυνός με διάτρηση του αέρα και δημιουργία σπινθήρα.



Αναπαράσταση δημιουργίας των κεραυνών

Στην εικόνα φαίνεται ο σχηματισμός διαφόρων ειδών κεραυνού. Η διάρκεια που κρατά ο κεραυνός είναι μικρότερη από ένα δευτερόλεπτο, αλλά η θερμοκρασία που αναπτύσσεται είναι $\approx 30.000^{\circ}\text{C}$, πέντε φορές μεγαλύτερη από εκείνη στην επιφάνεια του ήλιου.

Δημιουργεί έντονο ιονισμό των αερίων του αέρα, τα οποία εκπέμπουν φως κατά τη διάρκεια της εκκένωσης (το φαινόμενο της αστραπής).

Η υπερβολική θέρμανση του αέρα και η εκτόνωση του δημιουργεί τον δυνατό κρότο που ονομάζουμε βροντή Έχει υπολογιστεί ότι καθημερινά εκδηλώνονται στη γη περίπου καταιγίδες οι οποίες προκαλούν περισσότερους από κεραυνούς.

2.2 Μελέτη συστήματος αντικεραυνικής προστασίας

Ένα Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) δεν μπορεί να εμποδίσει το σχηματισμό κεραυνού. Γενικά ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος είναι πάντα ένας συμβιβασμός μεταξύ αποτελεσματικότητας και κόστους. Άρα, δεν εξασφαλίζει την απόλυτη προστασία της κατασκευής, ωστόσο μπορεί να μειώσει σε αποδεκτό βαθμό τις επιζήμιες επιπτώσεις του κεραυνού σε αυτή. Ο σχεδιασμός κάθε ΣΑΠ συνίσταται στην επιλογή της αποδεκτής στάθμης προστασίας. Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας είναι οι διαστάσεις, η θέση και το υλικό της κατασκευής, η κατηγορία στην οποία αυτή κατατάσσεται σύμφωνα με τη χρήση της, οι συνέπειες που θα έχει η καταστροφή της στον άνθρωπο ή στο περιβάλλον καθώς και η κεραυνική δραστηριότητα στην περιοχή.

2.2.1 Αποτίμηση κινδύνου από κεραυνικό πλήγμα

Η εκτίμηση του κινδύνου ζημιάς από κεραυνούς σε μία κατασκευή έχει σκοπό να βοηθήσει τον μελετητή μηχανικό αντικεραυνικής προστασίας στην απόφαση του εάν συνιστάται ή όχι η προστασία της κατασκευής και εάν ναι, να επιλέξει τα κατάλληλα μέτρα προστασίας.

Οι ζημιές που προκαλούνται από τους κεραυνούς είναι διαφόρων μορφών:

- βλάβη ή απώλεια της ανθρώπινης ζωής
 - ανεπιθύμητες απώλειες παροχών στο κοινό
 - απώλεια αναντικατάστατης πολιτιστικής κληρονομιάς
 - απώλειες μη συμπεριλαμβανομένων ανθρωπίνων, πολιτιστικών και κοινωνικών αξιών
- Αν ένας από τους τρεις πρώτους τύπους ζημιών εμφανιστεί σε μία κατασκευή, η απόφαση για τη λήψη ή όχι μέτρων προστασίας θα λαμβάνεται συγκρίνοντας την πραγματική τιμή της πιθανότητας ζημιάς της κατασκευής με την οριακή τιμή που καθορίζεται από τις Εθνικές Επιτροπές ή τις υπεύθυνες Αρχές.
- Αν οι ζημιές δεν περιλαμβάνουν ανθρώπινες, πολιτιστικές και περιβαλλοντικές απώλειες, η απόφαση εάν θα ληφθούν ή όχι μέτρα προστασίας μπορεί να ληφθεί στη βάση καθαρά οικονομικών κριτηρίων, συγκρίνοντας το ετήσιο κόστος των μέτρων προστασίας με το εκτιμώμενο ετήσιο κόστος των αναμενόμενων απωλειών λόγω κεραυνών.

Ανάλογα με τις παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη, η απόφαση για τη λήψη μέτρων προστασίας και την επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας λαμβάνεται μετά από ακριβή ανάλυση κινδύνου.

2.2.2 Αποδεκτή συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων

Η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων μιας κατασκευής, N_c , εκφράζει τη μέγιστη αποδεκτή τιμή του αριθμού των κεραυνών που μπορούν να πλήξουν άμεσα την κατασκευή ανά έτος και μπορούν να προκαλέσουν ζημιά. Η τιμή της μπορεί να εκτιμηθεί μέσω μελέτης αποτίμησης κινδύνου από πλήγμα κεραυνού λαμβάνοντας υπόψη κατάλληλους συντελεστές όπως:

- τύπος δόμησης
- παρουσία εύφλεκτων υλικών και εκρηκτικών ουσιών
- ληφθέντα μέτρα για μείωση των επιπτώσεων του πλήγματος
- πλήθος ανθρώπων που επηρεάζονται από την καταστροφή
- τύπος και σπουδαιότητα υπηρεσιών εξυπηρέτησης του κοινού που επηρεάζονται
- αξία αγαθών που ενδεχομένως καταστραφούν κ.α.

Κάποια παραδείγματα των συντελεστών αυτών, έχουν τυποποιηθεί και φαίνονται σε πίνακες του προτύπου ΕΛΟΤ 1197.

Σε μερικές περιπτώσεις οι τιμές του N_c επιβάλλονται από τοπικούς κανονισμούς.

2.3 Σχεδιασμός Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας

Όπως αναφέραμε και πριν ο σχεδιασμός ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας είναι πάντα ένας συμβιβασμός μεταξύ της αποτελεσματικότητας της προστασίας που αυτό παρέχει και του κόστους επένδυσης και συντήρησης του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που το συνιστά. Ένα τέτοιο σύστημα δεν μπορεί ποτέ να εξασφαλίσει την απόλυτη προστασία της κατασκευής, ωστόσο μπορεί να μειώσει σε αποδεκτό βαθμό τις επιζήμιες επιπτώσεις του κεραυνού σ' αυτή. Έτσι ο σχεδιασμός του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας συνίσταται στην επιλογή της αποδεκτής στάθμης προστασίας.

2.3.1 Στάθμες προστασίας

Η στάθμη προστασίας ενός συστήματος ΣΑΠ σχετίζεται με την πιθανότητα με την οποία αυτό απαιτείται να προστατεύει ένα χώρο από τις επιπτώσεις του κεραυνού, διαμορφώνει τα χαρακτηριστικά του, όπως τις διαστάσεις του, και κατατάσσει το ΣΑΠ σύμφωνα με την αποτελεσματικότητά του. Η σχέση μεταξύ στάθμης προστασίας και αποτελεσματικότητας του ΣΑΠ δίνεται από τον πίνακα 1 Η αποτελεσματικότητα του ΣΑΠ μειώνεται προχωρώντας από τη στάθμη I στη στάθμη IV .

Στάθμη προστασίας	Αποτελεσματικότητα ΣΑΠ
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Ακόμα στον πίνακα 2 φαίνονται οι τιμές των παραμέτρων του κεραυνού ανάλογα με τη στάθμη προστασίας.

Παράμετροι κεραυνού	Στάθμη προστασίας		
	I	II	III
Μέγιστο εύρος ρεύματος, kA	200	150	100
Ολικό φορτίο, C	300	225	150
Κρουστικό φορτίο, C	100	75	50
Ειδική ενέργεια, kJ/Ω	10000	5600	2500
Μέση κλίση, kA/μs	200	150	100

Πίνακας2

Παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας είναι οι διαστάσεις, η θέση και το υλικό της κατασκευής, η κατηγορία στην οποία αυτή κατατάσσεται σύμφωνα με τη χρήση της, οι συνέπειες που θα έχει η καταστροφή της στον άνθρωπο ή στο περιβάλλον καθώς και η κεραυνική δραστηριότητα στην περιοχή. Για την επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας θα ληφθούν υπόψη η συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων της κατασκευής και η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων της κατασκευής.

2.3.2 Συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή.

Η συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή, N_d , εκφράζει τον μέσο αριθμό άμεσων κεραυνικών πληγμάτων που μπορούν να συμβούν σε μια κατασκευή ανά έτος και μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη εξίσωση 1.:

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} \text{ πλήγματα κεραυνού ανά έτος} \quad (1)$$

όπου:

Ng είναι η μέση ετήσια πυκνότητα πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος, εκφράζει δηλαδή τον αναμενόμενο μέσο αριθμό κεραυνικών πληγμάτων

στο έδαφος ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και έτος στην περιοχή εγκατάστασης της προς μελέτη κατασκευής,

C1 ο περιβαλλοντικός συντελεστής, ο καθορισμός του οποίου γίνεται ανάλογα της θέσης της κατασκευής και οι τιμές που παίρνει φαίνονται στον πίνακα 3 και

Ae είναι η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια της κατασκευής, σε τετραγωνικά μέτρα, που ορίζεται ως μια επίπεδη επιφάνεια εδάφους που έχει την ίδια μέση ετήσια συχνότητα πληγμάτων κεραυνού με την κατασκευή.

2.3.3 Μέση ετήσια πυκνότητα πλήγματος κεραυνού στο έδαφος.

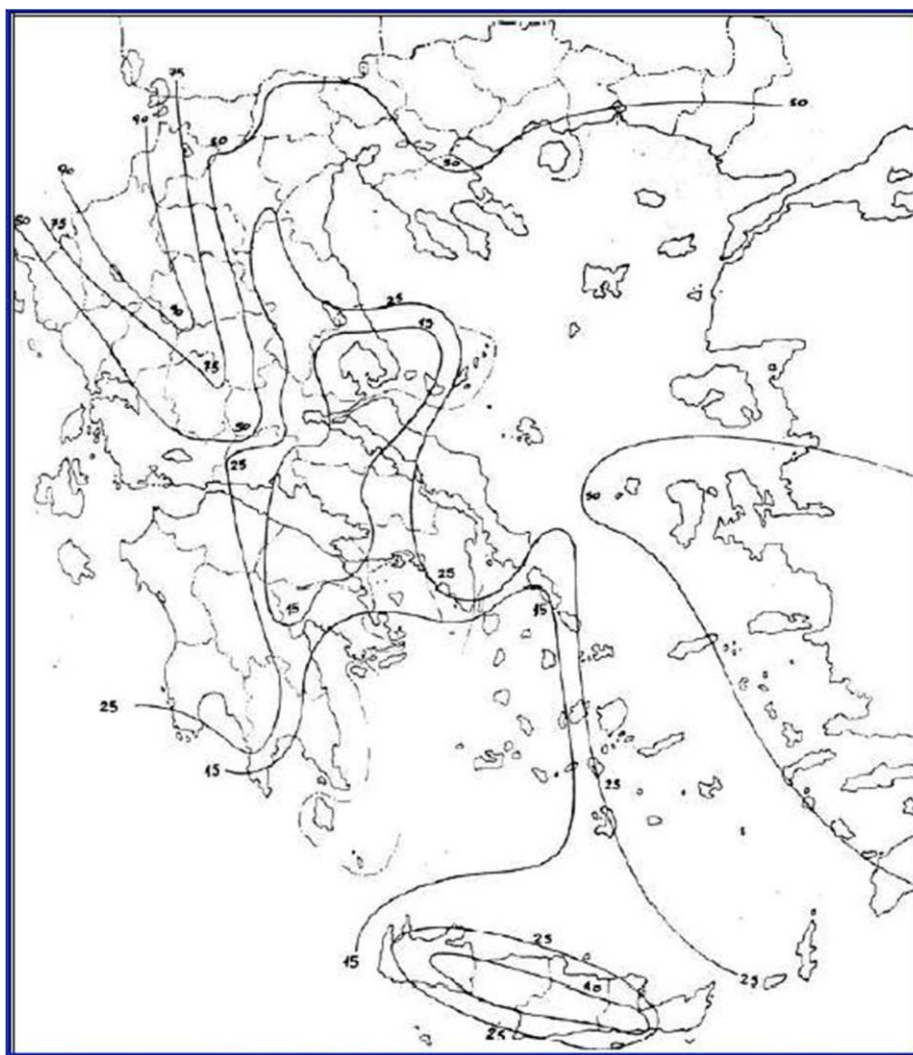
Η μέση ετήσια πυκνότητα πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος (**Ng**) δίνεται από ειδικούς χάρτες που δείχνουν την μέση συχνότητα πτώσεως κεραυνού ανά km^2 .

Σύμφωνα με την IEC, εάν η ακριβής τιμή της δεν είναι διαθέσιμη μπορεί να εκτιμηθεί προσεγγιστικά από την κάτωθι εξίσωση 2.2:

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} \text{ πλήγματα κεραυνού ανά } \text{km}^2 \text{ και έτος} \quad (2)$$

Όπου **Td** είναι ο αριθμός ημερών καταιγίδας ανά έτος.

Ο αριθμός ημερών καταιγίδας ανά έτος **Td** δίνεται από χάρτες ισοκεραυνικών καμπυλών που έχουν συντάξει για το σκοπό αυτό πολλές ώρες. Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται ο χάρτης ισοκεραυνικών καμπυλών της χώρας μας.

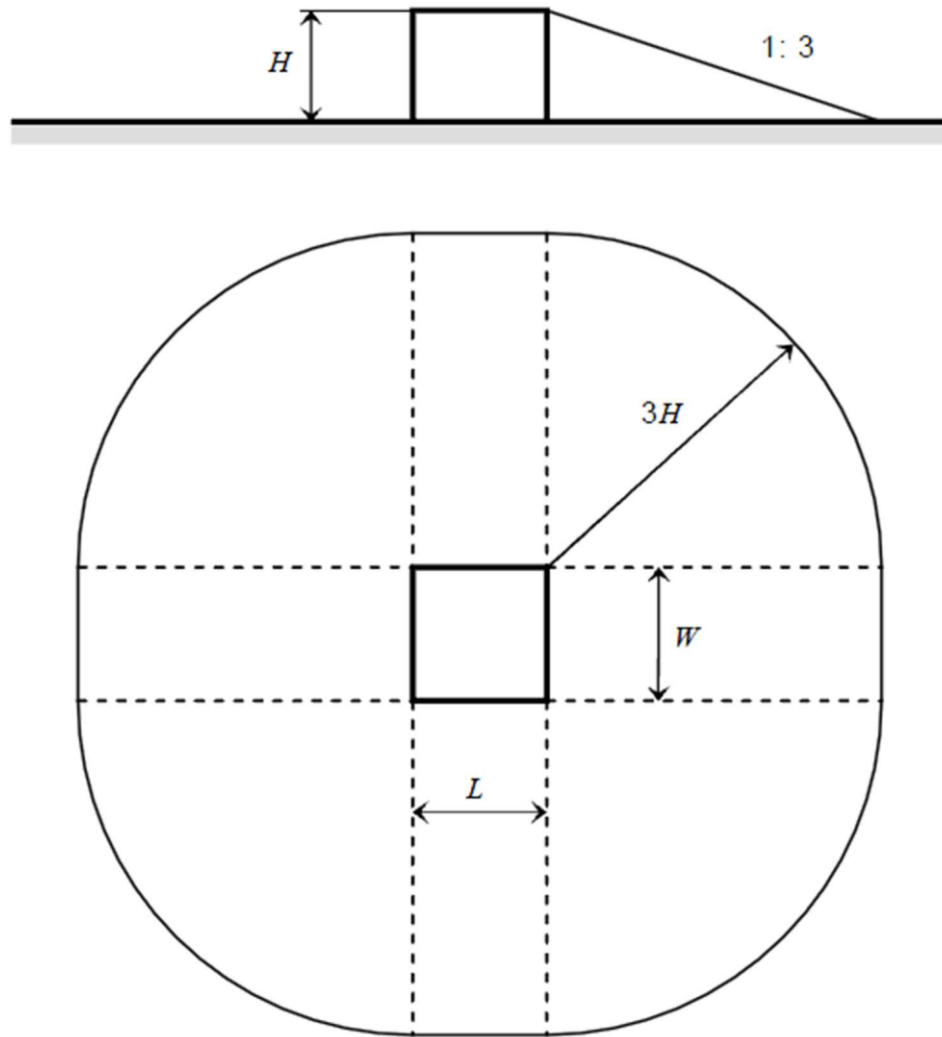


Σχήμα 4 Χάρτης ισοθερμικώνκαμπυλών Ελλάδας.

2.3.4 Ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια.

Για απομονωμένες κατασκευές, η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια του κτιρίου είναι η επιφάνεια που περικλείεται από το περίγραμμα που προκύπτει από την τομή της επιφάνειας του εδάφους και μιας ευθείας γραμμής με κλίση 1/3 η οποία διέρχεται από τα υψηλότερα τμήματα της κατασκευής (εφαπτόμενη στην κατασκευή και περιστρεφόμενη γύρω από αυτή). Η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια του κτιρίου, εφόσον πρόκειται για συνδυασμό ορθογωνίων κατασκευών υπολογίζεται από τη σχέση 3:

$A_e = L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times \pi \times H^2$ Όπου L το μήκος, W το πλάτος και H το ύψος της κατασκευής.



Διάγραμμα κατασκευής της ισοδύναμης επιφάνειας

2.3.5 Αποδεκτή συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή.

Η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων μιας κατασκευής, N_C , εκφράζει τη μέγιστη αποδεκτή τιμή του αριθμού άμεσων κεραυνικών πληγμάτων που μπορούν να συμβούν σε μια κατασκευή ανά έτος και μπορούν να προκαλέσουν ζημιά. Η τιμή N_C μπορεί να εκτιμηθεί μέσω μελέτης αποτίμησης κινδύνου από πλήγμα κεραυνού λαμβάνοντας υπόψη κατάλληλους συντελεστές όπως : τύπος δόμησης ,παρουσία εύφλεκτων υλικών και εκρηκτικών ουσιών, ειλημμένα μέτρα για μείωση των επιπτώσεων του πλήγματος, πλήθος ανθρώπων που επηρεάζονται από την καταστροφή, τύπος και σπουδαιότητα υπηρεσιών

εξυπηρέτησης του κοινού που επηρεάζονται, αξία αγαθώνπου ενδεχομένως καταστραφούν κ.α.

2.3.6 Επιλογή της στάθμης προστασίας.

Η επιλογή της στάθμης προστασίας μιας εγκατάστασης ακολουθεί μια διαδικασία αποτίμησης του συνολικού κινδύνου R. Ο κίνδυνος R ορίζεται ως η πιθανότητα ανά χρόνο να πραγματοποιηθεί απώλεια στη δομή ή στο περιεχόμενο της εγκατάστασής μας. Κάθε συνιστώσα κινδύνου (RA, RB, RC, RM, RU,RV,RW,RZ) μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση(4):

$$R_X = N_X * P_X * L_X \quad (4)$$

Όπου N_X είναι ο ετήσιος αριθμός επικίνδυνων γεγονότων

P_X είναι η πιθανότητα βλάβης σε ένα κτίριο

L_X είναι η συνεπακόλουθη απώλεια

Οι συνιστώσες RA, RB, RC, που σχετίζονται με τις βλάβες D1, D2, D3 αναφέρονται στον κίνδυνο λόγω πλήγματος κεραυνού στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση (S1), η RM που σχετίζεται με τη βλάβη D3 αναφέρεται στον κίνδυνο λόγω πλήγματος κεραυνού κοντά στο κτίριο(S2), η RU, RV, RW που σχετίζονται με τις βλάβες D1, D2, D3 αναφέρονται σε κίνδυνο λόγω πλήγματος κεραυνού στις υπηρεσίες που συνδέονται στην εγκατάσταση(S3) και η RZ που σχετίζεται με τη βλάβη D3 αναφέρεται σε κίνδυνο λόγω πλήγματος κεραυνού κοντά σε γραμμή συνδεδεμένη στο κτίριο (S4).

Ο μελετητής πρέπει να λάβει υπόψιν όλες τις διαστάσεις της εγκατάστασης, τα χαρακτηριστικά του κτιρίου (κίνδυνος υλικής ζημιάς, αποτελεσματικότητα θωράκισης κ.τ.λ) ,τις περιβαλλοντικές επιρροές, τα χαρακτηριστικά της γραμμής ισχύος και τηλεπικοινωνιών. Έτσι επιλέγει τα κατάλληλα μέτρα προστασίας

για να μειώσει τον κίνδυνο προκειμένου να καταστήσει το κτίριο προστατευμένο.

Συνήθως οι Φ/Β εγκαταστάσεις απαιτούν στάθμη προστασίας III ή τουλάχιστον III.

Τις περισσότερες φορές απαιτείται να χωρίσουμε την Φ/Β εγκατάσταση σε ζώνες για να είναι ευκολότερη η θεώρηση των διαφόρων χαρακτηριστικών των επιμέρους ζωνών, ο προσδιορισμός των στοιχείων κινδύνου και τελικά η επιλογή των κατάλληλων μέτρων προστασίας προσαρμοσμένων κατάλληλα για κάθε ζώνη προστασίας καθώς επίσης και η μείωση του συνολικού κόστους προστασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

3.1 Ζώνες αντικεραυνικής προστασίας.

Η αντικεραυνική προστασία μιας Φ/Β εγκατάστασης όπως περιγράφεται παρακάτω βασίζεται στην γενική αρχή του διαχωρισμού της σε ζώνες αντικεραυνικής προστασίας.

Οι Ζώνες Αντικεραυνικής Προστασίας (ΖΑΠ) είναι περιοχές εκτός και εντός της κατασκευής που χρίζει προστασίας όπου οι αναμενόμενες ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι καθορισμένες σε σχέση με την επικινδυνότητά τους, και επομένως μπορούν να περιοριστούν. Οι ΖΑΠ οριοθετούνται από σημαντικές αλλαγές των ηλεκτρομαγνητικών συνθηκών αποτελώντας περιοχές αυξανόμενης απαίτησης ηλεκτρομαγνητικής προστασίας βαίνοντας από την εξωτερική περιοχή της κατασκευής, όπου υπάρχει κίνδυνος άμεσου πλήγματος, προς το εσωτερικό της όπου πρέπει να εξασφαλίζεται η ηλεκτρομαγνητική ατρωσία των συσκευών. Κατά την προστασία της κατασκευής οριοθετούνται οι παρακάτω ΖΑΠ:

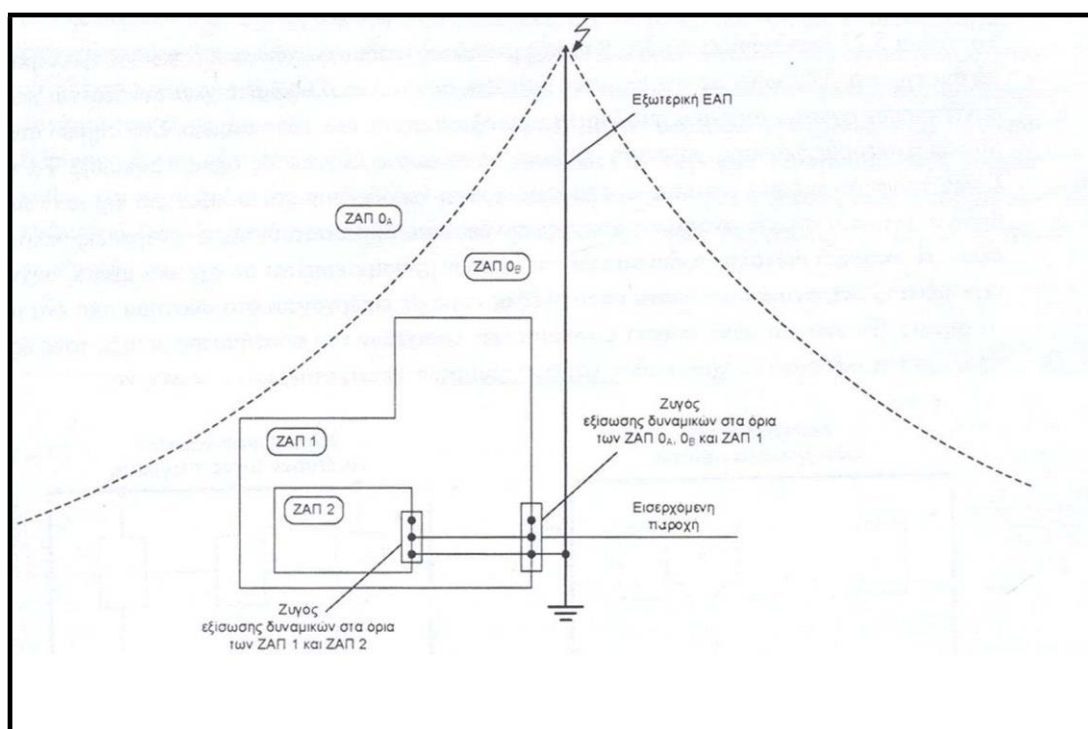
A) ΖΑΠ 0α-Ζώνη που περιέχει στοιχεία της κατασκευής που είναι εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα, οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι μη περιορισμένες

B) ΖΑΠ 0β-Ζώνη που περιέχει στοιχεία της κατασκευής που είναι μη εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα, οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι μη περιορισμένες

Γ) ΖΑΠ 0γ-Ζώνη που περιέχει στοιχεία της κατασκευής που είναι μη εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα, και όπου το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που μπορεί να διαρρεύσει είναι περιορισμένο σε σχέση με τη ΖΑΠ 0β. Στη ζώνη αυτή οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού μπορούν να περιοριστούν ανάλογα με τα μέτρα θωράκισης που λαμβάνονται.

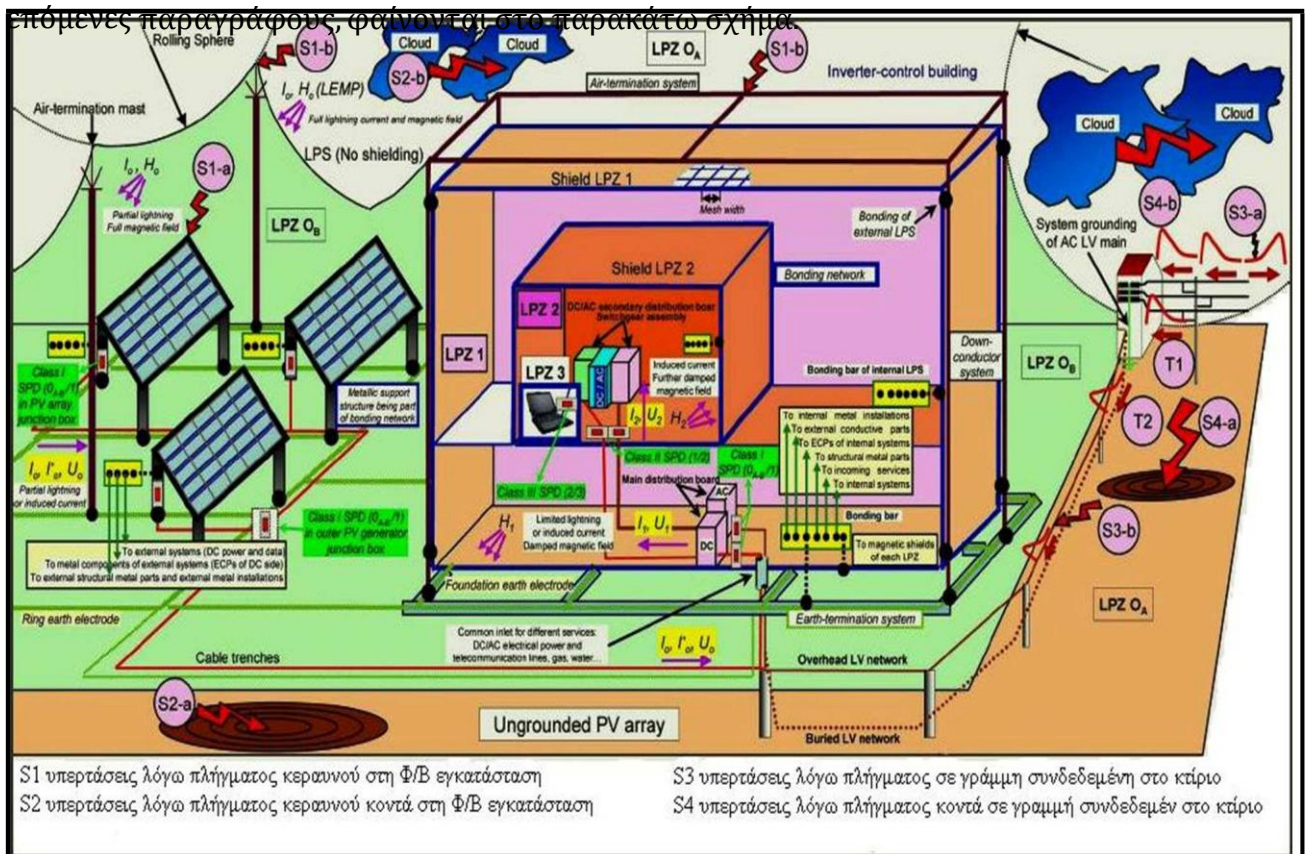
Δ) Ακόλουθες ζώνες (ΖΑΠ 2,1,...)-Ζώνες όπου απαιτείται περαιτέρω μείωση του τμήματος του ρεύματος του κεραυνού καθώς και περαιτέρω εξασθένιση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε σχέση με την αμέσως προηγούμενη ΖΑΠ.

Στο εσωτερικό καθώς και στα όρια των ΖΑΠ πρέπει να γίνονται ισοδυναμικές συνδέσεις είτε μέσω συνδετήριων αγωγών είτε μέσω εκτροπέων υπέρτασης. Στο σχήμα 1.1. φαίνεται ο διαχωρισμός μιας εγκατάστασης σε ΖΑΠ και οι ισοδυναμικές συνδέσεις.



Διαχωρισμός της περιοχής μιας κατασκευής σε ΖΑΠ και ισοδυναμικές συνδέσεις.

Πιο συγκεκριμένα για την περίπτωση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων ο διαχωρισμός τους σε ΖΑΠ καθώς επίσης και οι ισοδυναμικές συνδέσεις στα όρια των ζωνών αυτών και η θωράκιση, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά σε



ΖΑΠ ισοδυναμικές συνδέσεις και θωράκιση σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

3.2 Εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας.

Η εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας στόχο έχει να συλλάβει τον κεραυνό πριν αυτός πλήξει την υπό προστασία κατασκευή, να διοχετεύσει το ρεύμα του κεραυνού από το σημείο του πλήγματος στη γη και να το διαχέει στο έδαφος χωρίς αυτό να προκαλεί θερμικές και μηχανικές ζημιές στην κατασκευή και επικίνδυνες υπερτάσεις για τους ανθρώπους και το υλικό. Η εξωτερική ΕΑΠ αποτελείται από:

A)το συλλεκτήριο σύστημα που προορίζεται να δέχεται τους κεραυνούς

B)το σύστημα γείωσης που άγει και διαχέει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος

Γ)το σύστημα των αγωγών καθόδου το οποίο εξασφαλίζει την όδευση του ρεύματος του κεραυνού από το συλλεκτήριο σύστημα προς τη γή.

Η σχεδίαση του συλλεκτήριου συστήματος εξαρτάται από τη γεωμετρία της κατασκευής που χρίζει προστασίας, από τα μέγεθος της καθώς και από την απαιτούμενη στάθμη προστασίας. Για τον προσδιορισμό της ζώνης προστασίας που παρέχει το συλλεκτήριο σύστημα χρησιμοποιούνται η μέθοδος της γωνίας προστασίας, η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας για πιο σύνθετες μορφές κτιρίων και η μέθοδος του πλέγματος αγωγών κυρίως για την προστασία επίπεδων επιφανειών.

Ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης του συλλεκτήριου συστήματος και του συστήματος των αγωγών καθόδου η εξωτερική ΕΑΠ διακρίνεται σε δύο τύπους.

A) Τη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ, όπου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα των αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού να μην έρχεται σε επαφή με την κατασκευή και,

B) Τη μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ, όπου το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα των αγωγών καθόδου είναι τοποθετημένα έτσι ώστε η οδός ροής του ρεύματος του κεραυνού να μπορεί να έρχεται σε επαφή με την κατασκευή.

Στην περίπτωση της Φ/Β γεννήτριας η εξωτερική ΕΑΠ θα είναι μονωμένη ή μη ενώ στο κτίριο ελέγχου θα εγκαταστήσουμε μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ.

Στις Φ/Β εγκαταστάσεις το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε όλα τα στοιχεία του να βρίσκονται εντός της προστατευμένης περιοχής. Στη συνέχεια περιγράφονται τα μέτρα που πρέπει να

ληφθούν για την προστασία των μερών από τα οποία αποτελείται η Φ/Β εγκατάσταση.

3.2.1 Αντικεραυνική προστασία της γεννήτριας της Φ/Β εγκατάστασης.

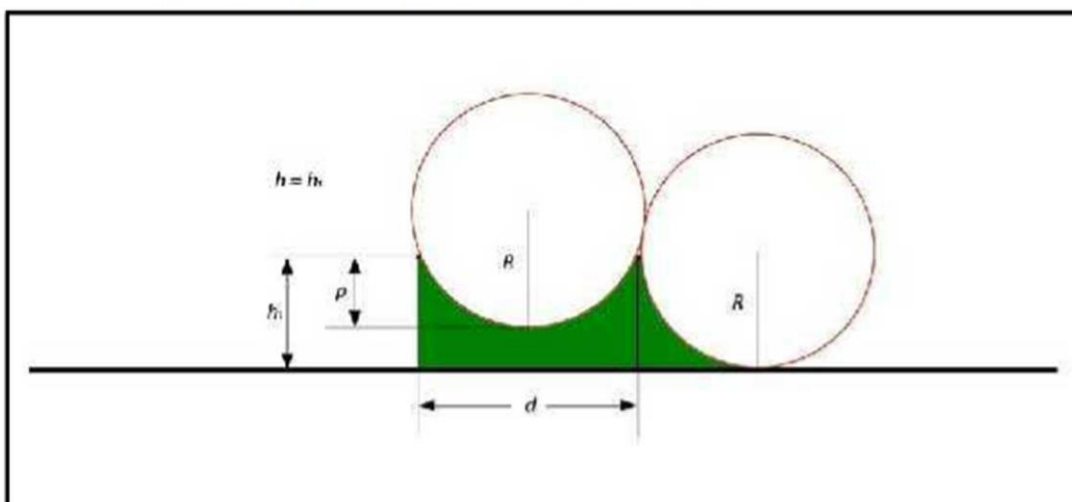
Η γεννήτρια (η dc πλευρά της Φ/Β εγκατάστασης) βρίσκεται συνήθως στην ΖΑΠΟΒ. Η Φ/Β γεννήτρια περιλαμβάνει τα Φ/Β στοιχεία, την dc καλωδίωση και τα κουτιά διασύνδεσης της γεννήτριας.

Γενικά, λαμβάνοντας υπόψη ότι η Φ/Β γεννήτρια είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένη εξ' αιτίας της θέσης της είναι και περισσότερο εκτεθειμένη στα κεραυνικά πλήγματα, για το λόγο αυτό η εγκατάσταση εξωτερικής ΕΑΠ είναι απαραίτητη. Τα στοιχεία της Φ/Β γεννήτριας τοποθετούνται μέσα στη ζώνη προστασίας ενός μονωμένου συλλεκτήριου συστήματος. Η σχεδίαση του βασίζεται στη στάθμη III αντικεραυνικής προστασίας για Φ/Β συστήματα μεγαλύτερα των 10kW(υπάρχουν τέσσερεις στάθμες ξεκινώντας από την I που παρέχει τη μεγαλύτερη προστασία και πηγαίνοντας προ της IV που παρέχει τη μικρότερη όπως αναφέραμε) σύμφωνα με τη στάθμη προστασίας το ύψος και ο αριθμός των κατακόρυφων ράβδων καθορίζονται με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας. Κανένα τμήμα της γεννήτριας δεν πρέπει να βρίσκεται εκτός της προστατευμένης περιοχής ενώ σε κάθε ράβδο αντιστοιχεί ένας αγωγός καθόδου.

Σε περίπτωση συστήματος δύο κατακόρυφων ράβδων ύψους h_t που απέχουν απόσταση d το βάθος εισχώρησης, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.1., της σφαίρας ακτίνας R εντός του χώρου μεταξύ των ράβδων μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$P=R-\sqrt{[R^2 - (d/2)^2]}$$

Ζώνη προστασίας δύο παράλληλων τεταμένων συρμάτων.



Εφόσον απαιτείται προστασία όλου του χώρου μεταξύ των διατάξεων σύλληψης του κεραυνού η απόσταση εισχώρησης της κυλιόμενης σφαίρας πρέπει να είναι μικρότερη από το ύψος h_t . Η παραπάνω σχέση ισχύει και στην περίπτωση τεσσάρων κατακόρυφων ράβδων ίσου ύψους τοποθετημένες στις γωνίες μιας τετράγωνης επιφάνειας όπου η απόσταση d είναι ίση με τη διαγώνιο του σχηματιζόμενου τετραγώνου από τις τέσσερις ράβδους.

Στην περίπτωση της Φ/B γεννήτριας ως επιφάνεια αναφοράς λαμβάνεται το ψηλότερο σημείο του Φ/B πάνελ καθώς συνήθως είναι τοποθετημένα με κλίση για την καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η εξωτερική ΕΑΠ της γεννήτριας μπορεί να είναι μονωμένη εμποδίζοντας έτσι την εμφάνιση υπερπηδήσεων (ηλεκτρικός σπινθήρας). Έτσι μεταξύ του συλλεκτήριου συστήματος και των μεταλλικών πλαισίων των Φ/B πάνελ πρέπει να τηρείται μια απόσταση ασφαλείας. Η διαχωριστική απόσταση S μεταξύ των αγωγών και των τμημάτων της Φ/B εγκατάστασης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από D :

$$S > D \text{ και } D = k_i * k_c / km * I, (m)$$

Όπου το k_i εξαρτάται από την επιλεχθείσα στάθμη προστασίας σύμφωνα με τον πίνακα 2:

Στάθμη προστασίας	k_i
I	0,1
II	0,075
III-IV	0,05

Πίνακας 2

Το k_c εξαρτάται από τον αριθμό και τη χωροθέτηση των αγωγών καθόδου από τους οριζόντιους περιμετρικούς δακτυλίους που διασυνδέουν ισοδυναμικά τους αγωγούς καθόδου, καθώς και από τον τύπο του συλλεκτήριου συστήματος και του συστήματος γείωσης. Λαμβάνει τιμές:

α) **1** για έναν αγωγό καθόδου,

β) **0.66** για δύο αγωγούς καθόδου,

γ) **0.44** για περισσότερους αγωγούς καθόδου συμμετρικά τοποθετημένους στις τρεις διαστάσεις της κατασκευής με απόσταση μεταξύ τους 20m.

Το k_m εξαρτάται από το διαχωριστικό μέσο που παρεμβάλλεται μεταξύ των εγκαταστάσεων που ελέγχεται η γειτνίασή τους. Στην περίπτωση των Φ/Β εγκαταστάσεων είναι 1 γιατί έχουμε αέρα.

L(m) το μήκος του αγωγού καθόδου από το σημείο που ελέγχεται η γειτνίαση μέχρι το πλησιέστερο σημείο ισοδυναμικής σύνδεσης.

Σε περίπτωση απομονωμένων Φ|Β εγκαταστάσεων, πρέπει να ισχύει $S > 50$ cm, ακόμα και αν το S που υπολογίζεται από τον τύπο βγαίνει μικρότερο, γιατί τα 50 cm είναι η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας που χρειάζεται.

Ένας άλλος τρόπος σχεδιασμού της εξωτερικής ΕΑΠ της γεννήτριας είναι με χρήση κατακόρυφων ράβδων οι οποίες είναι τοποθετημένες πάνω στο μεταλλικό μέρος των φωτοβολταϊκών πάνελ. Το ύψος των ράβδων αυτών είναι γύρω στο ένα μέτρο καθώς μεγαλύτερα ύψη καθιστούν δύσκολη τη στήριξη τους πάνω στα φωτοβολταϊκά πάνελ. Στην περίπτωση αυτή ο μεταλλικός σκελετός του πάνελ εκτελεί χρέη αγωγού καθόδου μαζί με τους επιπρόσθετους

αγωγούς καθόδου που ενδέχεται να τοποθετηθούν.

Ένας σωστός σχεδιασμός της εξωτερικής ΕΑΠ πρέπει επίσης να αποφεύγει τη δημιουργία σκιάς στα γειτονικά στοιχεία και να αυξάνει την απόσταση ανάμεσα στην πορεία του ρεύματος του κεραυνού και των ενδεχόμενων Φ/Β βρόχων έτσι ώστε να μειώσει τις βλάβες λόγω επαγόμενων τάσεων.

3.2.2 Αντικεραυνική προστασία του κτιρίου ελέγχου της Φ/Β εγκατάστασης.

Το κτίριο ελέγχου εξοπλίζεται και αυτό με εξωτερική ΕΑΠ στάθμης III. Ο προσδιορισμός της ζώνης προστασίας που παρέχει το συλλεκτήριο σύστημα στο κτίριο μετατροπών και ελέγχου μπορεί να προσδιοριστεί με τη χρήση μιας εκ των ακολούθων μεθόδων.

3.2.2.1.α Μέθοδος της γωνίας προστασίας.

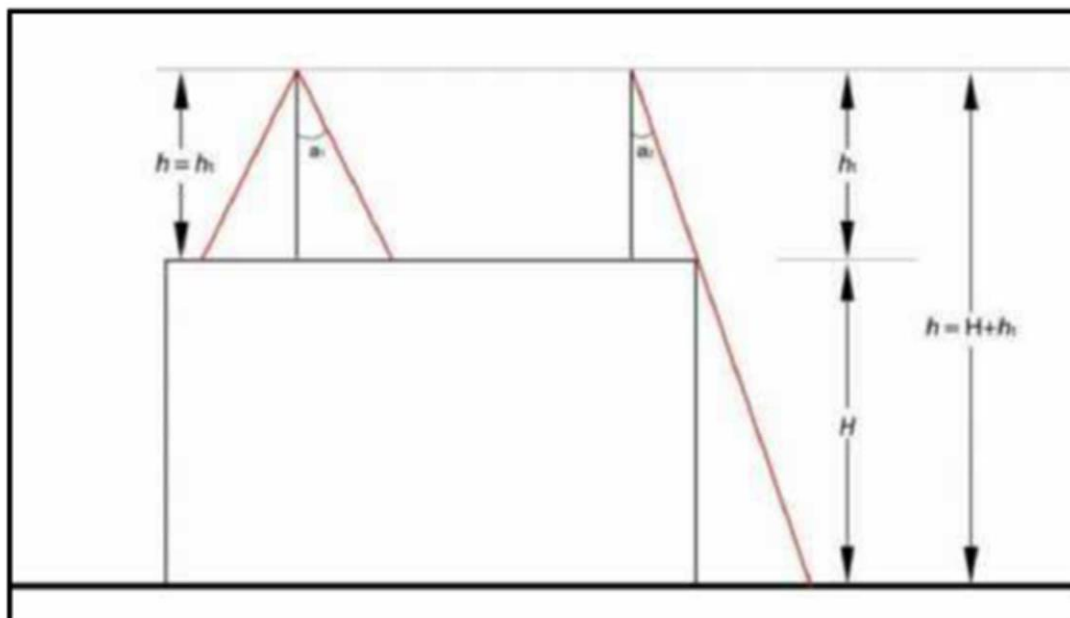
Το κτίριο μετατροπών και ελέγχου εξοπλίζεται και αυτό με εξωτερική ΕΑΠ στάθμης III. Ο προσδιορισμός της ζώνης προστασίας που παρέχει το συλλεκτήριο σύστημα στο κτίριο προστασίας και ελέγχου μπορεί εδώ να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο της γωνίας προστασίας στην περίπτωση που το υπό προστασία κτίριο είναι σχετικά απλής κατασκευής και το ύψος h δεν είναι μεγαλύτερο από το ύψος της κυλιόμενης σφαίρας R .

Η ημιγωνία προστασίας λαμβάνει τιμές σύμφωνα με τον πίνακα 3 και εξαρτάται από την απαιτούμενη στάθμη προστασίας και το υψος h πάνω από την επιφάνεια που χρίζει προστασίας.

Στάθμη Προστασίας	h(m) R(m)	20	30	45	60	Διάσταση Πλέγματος(m)
		$\alpha^{(0)}$	$A^{(0)}$	$\alpha^{(0)}$	$\alpha^{(0)}$	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

*Σ' αυτές τις περιπτώσεις εφαρμόζονται οι μέθοδοι της κυλιόμενης σφαίρας και πλέγματος αγωγών.(Πίνακας 3)

Ανάλογα με τη γεωμετρία της κατασκευής, το ύψος h μπορεί να είναι ίσο με το φυσικό μήκος της κατακόρυφης ράβδου ή ίσο με το άθροισμα του προηγούμενου και του ύψους της κατασκευής (σχήμα 2).

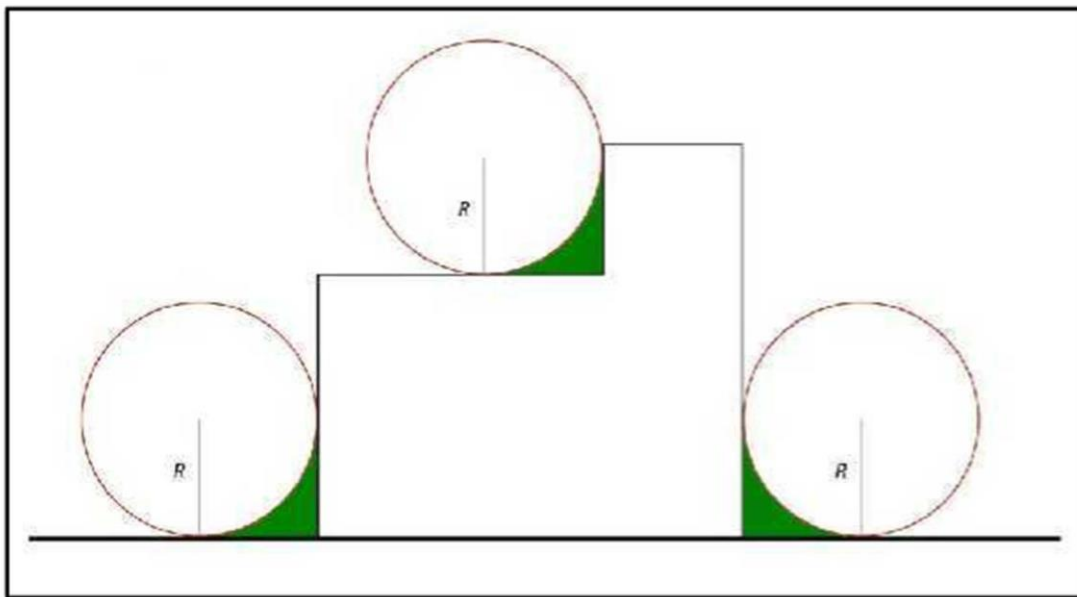


Σχήμα 2 Καθορισμός του ύψους h σύμφωνα με τη μέθοδο της γωνίας προστάσιας.

3.2.2.1.β Μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας.

Στην περίπτωση που η κατασκευή είναι πολύπλοκη ή στις περιπτώσεις που ο πίνακας αποκλείει την εφαρμογή της μεθόδου γωνίας προστάσιας τότε χρησιμοποιείται η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο σχεδιασμός του συλλεκτήριου συστήματος είναι κατάλληλος εάν κανένα σημείο της κατασκευής που χρήζει προστάσιας δεν έρχεται σε επαφή με μια σφαίρα ακτίνας R , εξαρτώμενης από τη στάθμη προστάσιας που κυλιέται στο έδαφος, γύρω και στην κορυφή της κατασκευής προς όλες τις διευθύνσεις όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Κατά την κύλιση της, η σφαίρα πρέπει να εφάπτεται μόνο στο έδαφος ή μόνο στο συλλεκτήριο σύστημα ή και στα δύο και τα σημεία που αυτή δεν αγγίζει είναι προστατευμένα. (χρώματος πράσινου). Επομένως πρέπει να εγκατασταθούν συλλεκτήριοι αγωγοί σε όλα τα σημεία επαφής της κυλιόμενης σφαίρας με το κτίριο

Στην περίπτωση συλλεκτήριου συστήματος δύο παράλληλων τεταμένων συρμάτων εγκατεστημένων σε ύψος h_t πάνω από την επιφάνεια αναφοράς εφόσον απαιτείται προστασία όλου του χώρου μεταξύ των διατάξεων σύλληψης του κεραυνού το ύψος h_t πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το βάθος εισχώρησης της κυλιόμενης σφαίρας όπως περιγράφηκε στην περίπτωση της γεννήτριας.



Σχήμα 3 Ζώνη προστασίας με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας.

3.2.2.1.γ Μέθοδος του πλέγματος αγωγών.

Στο κτίριο ελέγχου οι πλευρικές επιφάνειες σε ύψος μεγαλύτερο από την τιμή της επιλεγείσης ακτίνας της κυλιόμενης σφαίρας, στην περίπτωση που αυτή η μέθοδος έχει επιλεγεί ως η καταλληλότερη, εφοδιάζονται με συλλεκτήρια συστήματα σύμφωνα με τη μέθοδο του πλέγματος αγωγών. Οι αγωγοί του συλλεκτήριου συστήματος τοποθετούνται πάνω στις ακμές της οροφής, στις προεξοχές της οροφής, στις γραμμές της τομής των κεκλιμένων επιφανειών της οροφής εφόσον η κλίση υπερβαίνει το 1/10. Ακόμα οι πλευρικές επιφάνειες της κατασκευής σε ύψος μεγαλύτερο από την τιμή της επιλεγείσης ακτίνας της κυλιόμενης σφαίρας, εφοδιάζονται με συλλεκτήρια συστήματα ενώ κα μία μεταλλική εγκατάσταση δεν προεξέχει του προστατευόμενου χώρου.

Οι αγωγοί του συλλεκτήριου συστήματος ακολουθούν όσο το δυνατόν σύντομες και ευθείες οδεύσεις. Το δίκτυο του συλλεκτήριου συστήματος πρέπει να διαμορφώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το ρεύμα του κεραυνού να συναντά τουλάχιστον δύο χωριστές μεταλλικές οδεύσεις προς το σύστημα γείωσης.

3.2.2.2 Επιλογή των στοιχείων του συλλεκτήριου συστήματος.

Όσον αφορά στην επιλογή του συλλεκτήριου συστήματος οι διεθνείς κανονισμοί δεν προτείνουν συγκεκριμένα κριτήρια για την επιλογή των στοιχείων που το απαρτίζουν. Οι ράβδοι, τα τεταμένα σύρματα και το πλέγμα αγωγών θεωρούνται ισοδύναμα. Ο σχεδιασμός του συλλεκτήριου συστήματος είναι κατάλληλος εάν η κατασκευή που χρήζει προστασίας κείται εξ' ολοκλήρου μέσα στη ζώνη προστασίας που αυτό παρέχει.

Στη νπερίπτωση του κτιρίου ελέγχου και μετατροπών που είναι συνήθως απλής κατασκευής συνίσταται η χρήση ράβδων οι τεταμένων συρμάτων ενώ η εξωτερική ΕΑΠ είναι μη μονωμένη.

Επίσης μια τέτοια εγκατάσταση μπορεί να περιλαμβάνει και φυσικά συλλεκτήρια συστήματα. Με τον όρο «φυσικό» στοιχείο ΣΑΠ ορίζεται ένα στοιχείο μη εγκατεστημένο ειδικώς για αντικεραυνική προστασία, όπως τα μεταλλικά στοιχεία της κατασκευής της οροφής, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιπρόσθετα και ως στοιχείο του ΣΑΠ, ή σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να λειτουργήσει ως ένα ή περισσότερα τμήματα του ΣΑΠ.

3.2.2.3 Σύστημα Αγωγών καθόδου.

Οι αγωγοί καθόδου αποτελούν την απευθείας συνέχεια των στοιχείων του συλλεκτήριου συστήματος. Για την επιλογή και τον τρόπο εγκατάστασης τους πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι εάν το ρεύμα του κεραυνού επιμερίζεται σε πολλές οδούς όδευσης μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης δευτερογενών υπερπηδήσεων και περιορίζονται οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του στο εσωτερικό της κατασκευής. Επομένως οι αγωγοί αυτοί πρέπει να τοποθετηθούν κατά το δυνατό περιμετρικά του κτιρίου ελέγχου και σε διάταξη συμμετρική.

Ακόμη η τοποθέτηση τους πρέπει να γίνει με τρόπο τέτοιο ώστε να υπάρχουν αρκετές παράλληλες οδοί ροής ρεύματος από το σημείο του πλήγματος μέχρι τη γη, να εξασφαλίζεται η συντομότερη και συνεχής όδευση του ρεύματος του κεραυνού προς τη γη (κατά το δυνατόν ευθεία και κατακόρυφη όδευση) και τέλος να γίνονται ισοδυναμικές συνδέσεις οπουδήποτε είναι απαραίτητο.

Οι αγωγοί καθόδου, όπως και οι συλλεκτήριοι αγωγοί θα πρέπει να στερεώνονται καλά ώστε οι μηχανικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού να μην προκαλούν θραύση ή χαλάρωση των αγωγών. Ο αριθμός των συνδέσεων κατά μήκος των αγωγών πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός ενώ η τοποθέτηση τους εξαρτάται από την κατηγορία της εξωτερικής ΕΑΠ σε σχέση με το αν βρίσκονται σε επαφή ή όχι με την κατασκευή.

3.2.2.4 Εγκατάσταση αγωγών καθόδου σε ΣΑΠ με μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στο κτιρίου ελέγχου η εξωτερική ΕΑΠ είναι μη μονωμένη. Στην περίπτωση που το συλλεκτήριο σύστημα αποτελείται από ράβδους ή τεταμένα σύρματα, όπως συνήθως συμβαίνει στο κτίριο ελέγχου, απαιτείται τουλάχιστον ένας αγωγός καθόδου για κάθε ράβδο ή για κάθε άκρο των συρμάτων. Καθώς οι τοίχοι του κτιρίου ελέγχου είναι από μη εύφλεκτα υλικά οι αγωγοί καθόδου μπορούν να εγκαθίστανται στην επιφάνεια ή μέσα στο τοίχο. Οι αγωγοί καθόδου συνδέονται με το σύστημα θεμελιακής γείωσης.

Τμήματα της κατασκευής μπορούν να θεωρηθούν ως φυσικοί αγωγοί καθόδου, όπως:

Α) Μεταλλικές εγκαταστάσεις, οι οποίες μπορούν να επικαλύπτονται με μονωτικό υλικό, υπό την προϋπόθεση ότι η ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ των τμημάτων τους είναι αξιόπιστη και στιβαρή και ότι οι διαστάσεις τους είναι τουλάχιστον ίσες με αυτές που καθορίζονται για τους τυποποιημένους αγωγούς καθόδου χαλύβδινος οπλισμός του σκυροδέματος της κατασκευής, λαμβάνοντας υπ' όψη τον κίνδυνο ανεπιθύμητων μηχανικών επιδράσεων από τη ροή του ρεύματος του κεραυνού.

Β)Στοιχεία των όψεων και επιμέρους κατασκευές των μεταλλικών όψεων υπό προϋποθέσεις διαστάσεων και στιβαρούς ηλεκτρικής συνέχειας

3.2.3.Σύστημα γείωσης.

Σκοπός του συστήματος γείωσης είναι να διαχέεται το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος μέσω των ηλεκτροδίων γείωσης, χωρίς να αναπτύσσονται επικίνδυνες υπερτάσεις, να συνδέει ισοδυναμικά τους αγωγούς καθόδου όπου αυτό είναι εφικτό, να περιορίζει την ανύψωση του δυναμικού του εδάφους στην περιοχή του, καθώς και να αναχαιτίζει τον κεραυνό στην περίπτωση επιφανειακής διάσπασης του εδάφους.

Γείωση, γενικά, είναι η ευκολία ή δυσκολία που συναντά το ρεύμα στην προσπάθεια του να διοχετευτεί στην άπειρη γη. Είναι δηλαδή η αγωγήμη σύνδεση, σκόπιμη ή τυχαία, μέσω της οποίας ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ή συσκευή συνδέεται με τη γη ή με αγωγίμο σώμα τέτοιου μεγέθους που να θεωρείται γη. Σκοπός της είναι να εξασφαλίζει την ακεραιότητα του εξοπλισμού και τη συνέχεια της λειτουργίας του, σε περίπτωση εμφάνισης οποιουδήποτε σφάλματος, παρέχοντας διαδρομή απαγωγής και εκτόνωσης του ρεύματος στη γη. Προστατεύει από ηλεκτροπληξία άτομα που είτε δουλεύουν είτε κινούνται στον περιβάλλοντα χώρο και μειώνει τις πιθανότητες ανάπτυξης επικίνδυνων βηματικών τάσεων ή τάσεων επαφής.

Ένα σύστημα γείωσης πρέπει να ικανοποιεί τα παρακάτω κριτήρια:

- να παρέχει χαμηλή εμπέδηση για το ρεύμα
- να μειώνει τον κίνδυνο κατάρρευσης ηλεκτρονικού εξοπλισμού
- να μειώνει τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας για τον άνθρωπο
- να ελαχιστοποιεί το κόστος

Για να ικανοποιηθούν τα κριτήρια αυτά πρέπει το σύστημα γείωσης να είναι αρκετά μεγάλο ώστε να μειωθεί η μέγιστη αύξηση του δυναμικού όταν εισέρχονται απότομα ρεύματα, το κενό μεταξύ των ηλεκτροδίων να είναι προκαθορισμένο ώστε η δημιουργούμενη βηματική τάση να είναι μικρότερη από την τιμή ασφαλείας για το προσωπικό, οι αγωγοί καθόδου να συνδέονται με το σύστημα γείωσης σε σημεία ώστε να μειώνεται η αύξηση δυναμικού του έδαφος και τέλος να λαμβάνεται υπόψη ο αποτελεσματικός λόγος του μήκους προς το εμβαδόν ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη μεταβατική συμπεριφορά ενός συστήματος γείωσης είναι το σχήμα και οι διαστάσεις του καθώς επίσης και η ειδική αντίσταση του εδάφους που το περιβάλλει. Ανάλογα με το είδος του εδάφους, η ειδική αντίσταση μεταβάλλεται με αποτέλεσμα να πρέπει να ληφθεί υπόψη στις παραμέτρους του συστήματος γείωσης.

Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει κάποιες τιμές της αντίστασης του εδάφους σε σχέση με το είδος του.

Πίνακας Ειδική αντίσταση σε σχέση με τον τύπο εδάφους

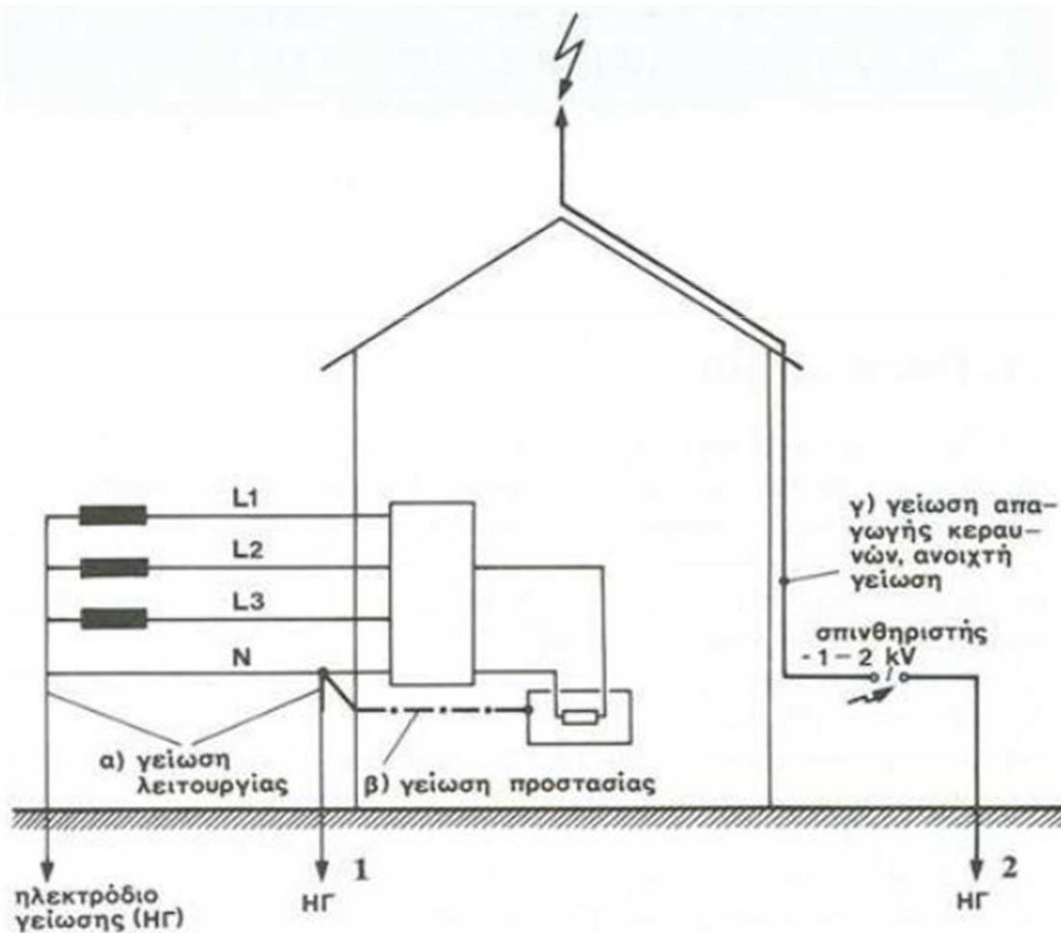
<i>Τύπος εδάφους</i>	<i>Ειδική αντίσταση ρ ($\Omega \cdot m$)</i>
Ελώδες έδαφος	30
Αργιλώδες, πηλώδες ή αγρού	100
Υγρή άμμος	200
Υγρά χαλίκια	500
Ξηρή άμμος,	1000
Πετρώδες και ξηρά χαλίκια	3000

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν είναι η κυματομορφή και το σημείο έγχυσης του ρεύματος και η ανάπτυξη ιονισμού ή όχι του εδάφους. Ο ιονισμός του εδάφους είναι το φαινόμενο που ενδέχεται να συμβεί όταν το ηλεκτρικό πεδίο στην πλευρική επιφάνεια των ηλεκτροδίων γείωσης ξεπεράσει το πεδίο ιονισμού του εδάφους. Έτσι, όταν υψηλά ρεύματα οδηγούνται μέσω του συστήματος γείωσης στη γη, η μελέτη του φαινομένου αυτού είναι απαραίτητη για κάθε μοντέλο που προσομοιώνει σύστημα γείωσης σε μεταβατικές συνθήκες.

Οι γειώσεις διακρίνονται στα παρακάτω τρία είδη ανάλογα με τον σκοπό ύπαρξής τους:

- γείωση λειτουργίας, έμμεση ή άμεση εφόσον περιλαμβάνει ή όχι άλλη αντίσταση πλην της αντίστασης γείωσης
- γείωση προστασίας
- γείωση ασφαλείας ή αντικεραυνικής προστασίας

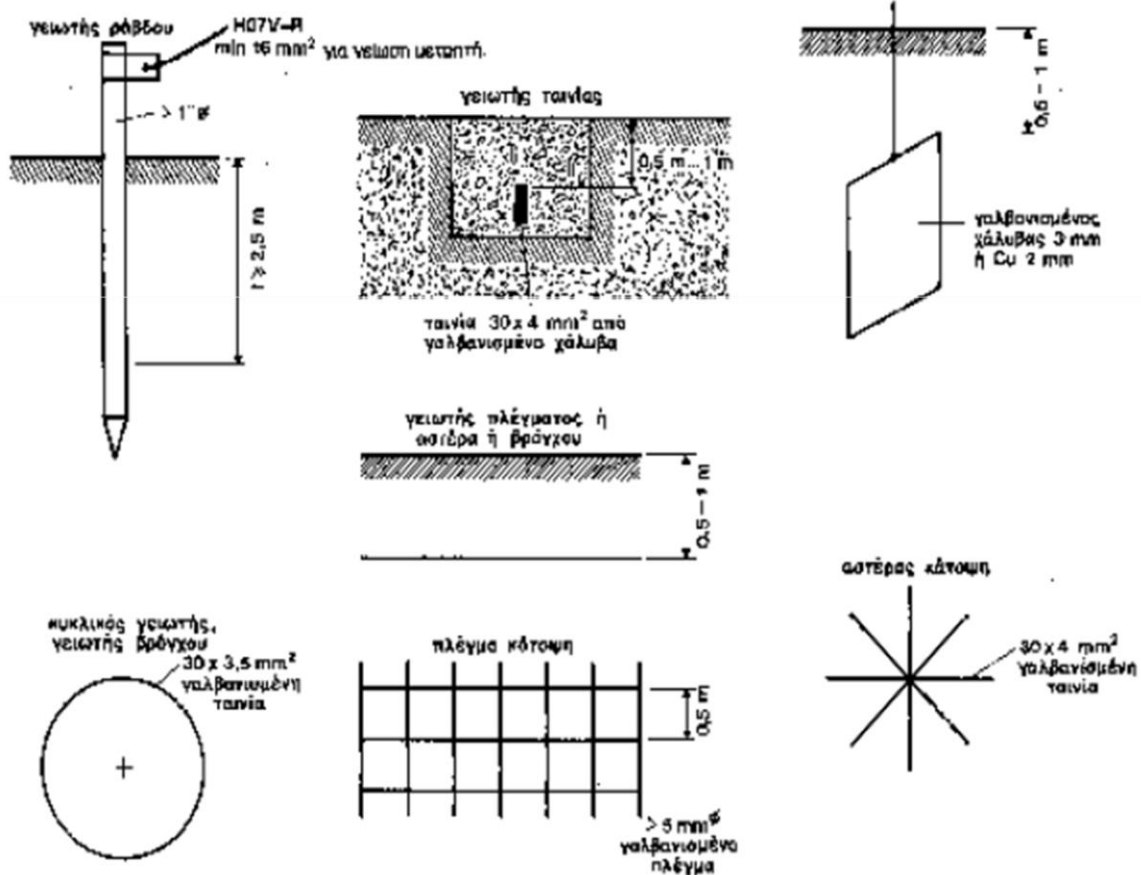
Στην εικόνα που ακολουθεί, φαίνονται τα τρία είδη γείωσης σε μία οικιακή εγκατάσταση.



Σχήμα Αναπαράσταση των διαφόρων ειδών γείωσης

Οι μέθοδοι γείωσης που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι η ουδετέρωση, η αγώγιμη δηλαδή σύνδεση με τον ουδέτερο ή άλλο γειωμένο αγωγό φάσης δικτύου, η άμεση γείωση και μέσω διακόπτη διαφυγής για την αυτόματη απομόνωση του προβληματικού μέρους της εγκατάστασης.

Τα κυριότερα είδη γειωτών παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα

Μια εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να αντέχει πολλά χρόνια. Σε όλο αυτό το χρονικό διάστημα, θα υπόκειται τις πιο δυσμενείς καιρικές συνθήκες, και παρόλα αυτά πρέπει να παρουσιάζει αντοχή στα πλήγματα κεραυνών. Αυτό σημαίνει πως όλα τα υλικά καθώς και ο τρόπος τοποθέτησης τους θα πρέπει να παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις και στη διάβρωση.

Στους πίνακες που ακολουθούν αναφέρονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα αντικεραυνικής προστασίας, οι συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν τους και οι ελάχιστες διαστάσεις τους σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 1197.

Πίνακας Ελάχιστο πάχος μεταλλικών φύλλων ή σωλήνων συλλεκτήριου συστήματος

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

Πίνακας Υλικά του ΣΑΠ και συνθήκες χρησιμοποίησής τους

Υλικό	Χρήση			Διάβρωση		
	Στον αέρα	Στο έδαφος	Στο σκυρόδεμα	Αντοχή	Κίνδυνος σε	Ηλεκτρολυτική με
Χαλκός	Συμπαγής Πολύκλωνος Ως περιβλήμα	Συμπαγής Πολύκλωνος Ως περιβλήμα	-	έναντι πολλών υλικών	-μεγάλη συγκέντρωση χλωριδίων -θεϊκές ενώσεις -οργανικά υλικά	-
Χάλυβας γαλβανισμένος εν θερμώ	Συμπαγής Πολύκλωνος	Συμπαγής	Συμπαγής	καλή ακόμα και σε όξινα εδάφη		χαλκό
Ανοξειδωτος χάλυβας	Συμπαγής Πολύκλωνος	Συμπαγής	-	έναντι πολλών υλικών	νερό με διαλυμένα χλωρίδια	-
Αλουμίνιο	Συμπαγής Πολύκλωνος	-	-	-	βασικά εδάφη	χαλκό
Μόλυβδος	Συμπαγής Ως περιβλήμα	Συμπαγής Ως περιβλήμα	-	σε εδάφη με μεγάλη συγκέντρωση σε σουλφίδια	όξινα εδάφη	χαλκό

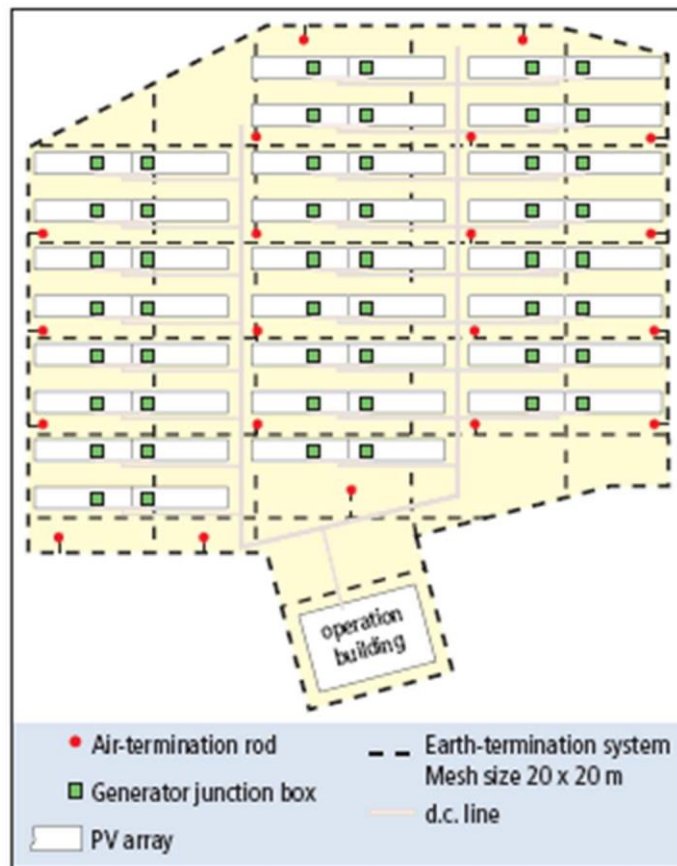
3.2.3.1 Γείωση του dc Φ/B εξοπλισμού.

Τόσο για την γείωση της dc πλευράς όσο και για το κτίριο ελέγχου προτιμάται μια μόνο ολοκληρωμένη δομή γείωσης. Εάν εγκατασταθεί ξεχωριστό ηλεκτρόδιο γείωσης στη dc πλευράς τότε αυτόπρέπει να είναι συνδεδεμένο με τη θεμελιακή γείωση του κτιρίου ώστε να μην είναι δυνατή η εμφάνιση διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δύο αυτών συστημάτων σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού. Η ένωση των δύο ξεχωριστών γειώσεων μειώνει σημαντικά την αντίσταση γείωσης.

Πιο συγκεκριμένα στο σχήμα 4 παρουσιάζεται το σύστημα γείωσης μιας Φ/B εγκατάστασης σαν ένα δακτυλιοειδές ηλεκτρόδιο γείωσης (επιφανειακό ηλεκτρόδιο γείωσης) με διαστάσεις πλέγματος 20m*20m. Τα μεταλλικά πλαίσια πάνω στα οποία τοποθετούνται τα Φ/B στοιχεία συνδέονται στο σύστημα γείωσης περίπου κάθε 10m. Με το σύστημα γείωσης συνδέονται ισοδυναμικά και οι ράβδοι.

Το σύστημα γείωσης πλέγματος εξασφαλίζει χαμηλή τιμή αντίστασης γείωσης και περιορίζει δραστικά τις επικίνδυνες επιδράσεις του κεραυνού λόγω υψηλών τιμών τάσης επαφής και βηματικής τάσης.

Τα επιφανειακά ηλεκτρόδια γείωσης τοποθετούνται σε βάθος τουλάχιστον 0.5 m μέσα στο έδαφος. Τα πλέγματα συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσμους τριών και τεσσάρων αγωγών. Οι σύνδεσμοι στο έδαφος πρέπει να τυλίγονται με ταινία κατά της διάβρωσης.



Σχήμα 4: Κάτοψη μεγάλης Φ/Β εγκατάστασης.

3.2.3.2 Γείωση του κτιρίου ελέγχου.

Από την άποψη της αντικεραυνικής προστασίας, την καλύτερη λύση αποτελεί μια ενιαία γείωση ενσωματωμένη στο κτίριο, η οποία μπορεί να προσφέρει πλήρη προστασία σε όλες τις εγκαταστάσεις της κατασκευής. Στην περίπτωση του κτιρίου θα χρησιμοποιήσουμε διάταξη ηλεκτροδίου γείωσης τύπου Β ή αλλιώς θεμελιακή γείωση. Η θεμελιακή γείωση εξασφαλίζει χαμηλή τιμή αντίστασης γείωσης, δημιουργία ισοδυναμικής επιφάνειας, προστασία του ηλεκτροδίου από τη διάβρωση λόγω εγκιβωτισμού στο μπετό, μείωση βηματικών τάσεων και τάσεων επαφής και ύπαρξη αναμονών για την άμεση γείωση παροχής ΔΕΗ, αλεξικέραυνου κ.λ.

Η διάταξη αυτή αποτελείται από ένα περιμετρικό ηλεκτρόδιο θεμελιακής γείωσης εγκιβωτισμένο στο σκυρόδεμα των θεμελίων του κτιρίου το οποίο μπορεί να είναι σε μορφή ταινίας ή κυλινδρικής διατομής ,τη λήψη της θεμελιακής και έναν αγωγό γείωσης. Κατά τη θεμελιακή γείωση το ηλεκτρόδιο γείωσης, ταινία ή αγωγός, τοποθετείται μέσα στο σκυρόδεμα, στη βάση των περιμετρικών θεμελίων της κατασκευής.

Το ηλεκτρόδιο θα πρέπει να αποτελείται από τμήματα σχετικά μεγάλου μήκους ώστε να απαιτούνται κατά το δυνατόν λίγες συνδέσεις. Ακόμα θα πρέπει να τοποθετείται έτσι ώστε να περιβάλλεται από όλες τις πλευρές του από τουλάχιστον 5 cm σκυροδέματος. Αν χρησιμοποιηθεί ηλεκτρόδιο γείωσης σε μορφή ταινίας, αυτή πρέπει να τοποθετηθεί με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής της κατακόρυφα. Δημιουργείται επομένως ένας γειωμένος κλειστός βρόχος ή γειωμένο πλέγμα αγωγών, ανάλογα με τις διαστάσεις της κατασκευής ,ο τρόπος εγκατάστασης του οποίου εξασφαλίζει ικανοποιητική προστασία έναντι της διάβρωσης και των μηχανικών καταπονήσεων και κατά κανόνα σχετικά μικρή αντίσταση γείωσης.

Στην περίπτωση πλήγματος κεραυνού στην εξωτερική ΕΑΠ, στα άκρα των αγωγών καθόδου αναπτύσσονται διαφορετικά δυναμικά λόγω της μη ομοιόμορφης κατανομής του ρεύματος του κεραυνού σε ολόκληρο το δίκτυο των αγωγών καθόδου αλλά και λόγω διαφορών στην τιμή της αντίστασης γείωσης. Τα δυναμικά αυτά εξισώνονται μέσω της διάταξης ηλεκτροδίων γείωσης τύπου Β, εφόσον συνιστά ένα περιμετρικό δακτύλιο ισοδυναμικής σύνδεσης των αγωγών καθόδου και κατά συνέπεια περιορίζεται η ανύψωση δυναμικού στην περιοχή της εγκατάστασης.

Η λήψη της θεμελιακής γείωσης είναι το συνδετικό στοιχείο της διάταξης γείωσης με την εγκατάσταση, τις ισοδυναμικές συνδέσεις, τα συστήματα επεξεργασίας πληροφοριών, την εγκατάσταση της αντικεραυνικής προστασίας κλπ. Μπορεί να είναι σε μορφή ακροδέκτη γείωσης ή ζυγού γείωσης ή σε μορφή στρογγυλού αγωγού ή ταινίας. Για τη σύνδεση της ηλεκτρικής εγκατάστασης, των ισοδυναμικών συνδέσεων κλπ. Με τη θεμελιακή γείωση κατασκευάζονται λήψεις όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις θέσεις εγκατάστασης πινάκων διανομής που προβλέπεται η άμεση σύνδεσή τους στη γείωση καθώς και όπου

θα πραγματοποιηθούν οι κύριες και συμπληρωματικές ισοδυναμικές συνδέσεις που προβλέπονται από το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 §413.1.2.1 και §413.1.2.2. Σε όλες τις περιπτώσεις, θα πρέπει οι λήψεις να συνδέονται στο ηλεκτρόδιο γείωσης με το μικρότερο δυνατό μήκος αγωγού γείωσης. Ο αγωγός γείωσης είναι ένας αγωγός που συνδέει τη λήψη θεμελιακής γείωσης με το ηλεκτρόδιο γείωσης.

Κύριος ακροδέκτης ή κύριος ζυγός γείωσης είναι ένας ακροδέκτης ή ζυγός που προορίζεται για την ηλεκτρική σύνδεση αγωγών για σκοπούς γείωσης. Στον κύριο ακροδέκτη ή κύριο ζυγό γείωσης μπορούν να συνδεθούν ο κύριος αγωγός προστασίας PE, οι αγωγοί των κύριων ισοδυναμικών συνδέσεων, ο αγωγός γείωσης και ενδεχομένως οι αγωγοί σύνδεσης μιας γείωσης λειτουργίας, αν υπάρχει.

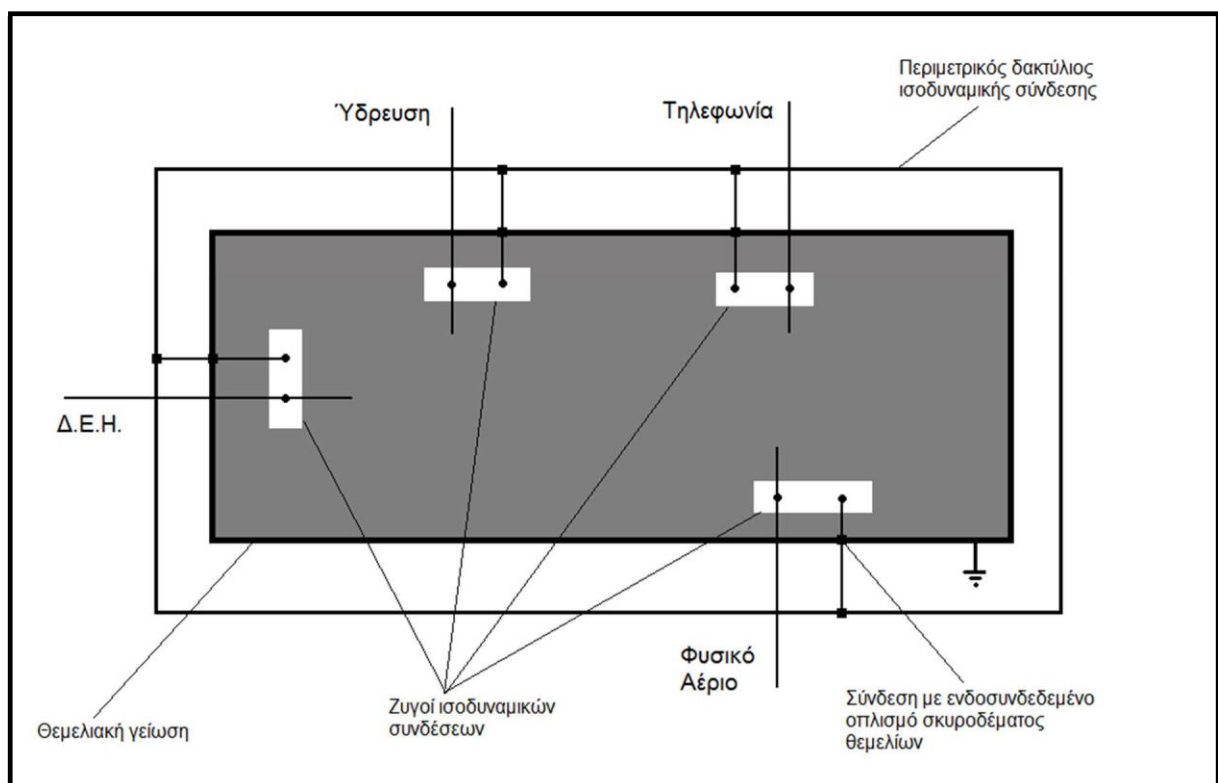
3.3 Εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας.

Η εσωτερική αντικεραυνική προστασία περιλαμβάνει όλα τα μέσα προστασίας που πρέπει να ληφθούν ώστε να περιοριστούν σε αποδεκτό βαθμό οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού στο εσωτερικό και στη γειτονιά της κατασκευής που χρήζει προστασίας.

3.3.1 Ισοδυναμικές συνδέσεις.

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις εξασφαλίζουν την εξίσωση του δυναμικού μεταξύ των σημείων ενός κυκλώματος ή διαφορετικών κυκλωμάτων περιορίζοντας κατά συνέπεια την πιθανότητα εμφάνισης επικίνδυνων υπερτάσεων σε περίπτωση πλήγματος κεραυνού ή σφάλματος σε μια ηλεκτρολογική εγκατάσταση. Ισοδυναμικές συνδέσεις πρέπει να γίνονται στην περίπτωση όπου δεν ικανοποιούνται οι αποστάσεις ασφαλείας μεταξύ της μονωμένης εξωτερικής ΕΑΠ και της ίδιας της κατασκευής. Οι ισοδυναμικές συνδέσεις υλοποιούνται μέσω συνδετήριων αγωγών και εκτροπέων υπέρτασης όπου δεν επιτρέπεται η άμεση αγωγή σύνδεση.

Αυτό το δίκτυο συνδέσεων συνδεδεμένο με το σύστημα γείωσης αποτελεί το ολοκληρωμένο σύστημα γείωσης. Στο υπόγειο ή περίπου στη στάθμη προστασίας του εδάφους θα εγκαταστήσουμε ένα ζυγό εξίσωσης δυναμικών στον οποίο καταλήγουν όλοι οι συνδετήριοι αγωγοί και οι ακροδέκτες γείωσης των εκτροπέων υπέρτασης. Στο ζυγό αυτό συνδέονται μέσω συνδετήριων αγωγών ο ενδοσυνδεδεμένος οπλισμός του σκυροδέματος της κατασκευής, οι εσωτερικές μεταλλικές εγκαταστάσεις της (υδραυλική ή θέρμανσης) ,τα εξωτερικά αγωγία τμήματα, οι μαγνητικές θωρακίσεις που αποτελούν το σύνορο κάθε ζώνης προστασίας και οι μεταλλικοί σωλήνες όδευσης των καλωδίων. Επιπλέον στο ζυγό συνδέονται, μέσω συνδετήριων αγωγών είτε εκτροπέων υπέρτασης, όλες οι παροχές κοινής ωφέλειας όσο το δυνατό πλησιέστερα στην είσοδο τους στην κατασκευή και τα εσωτερικά συστήματα μέσω εκτροπέων υπέρτασης. Γενικά για να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των ισοδυναμικών συνδέσεων θα πρέπει όλα τα μεταλλικά συστήματα να συνδέονται άμεσα και όλα τα ενεργά συστήματα μέσω εκτροπέων υπέρτασης.



Οι ισοδυναμικές συνδέσεις είναι προτιμότερο να πραγματοποιούνται κοντά στην είσοδο στην κατασκευή ώστε να εμποδίζεται μέρος του ρεύματος του κεραυνού να διαπεράσει το κτίριο. Έτσι στην περίπτωση που οι παροχές κοινής ωφέλειας εισέρχονται στην κατασκευή μας στο επίπεδο του εδάφους από διαφορετικά σημεία εγκαθιστούμε ένα ζυγό ισοδυναμικών συνδέσεων σε κάθε σημείο εισόδου των παροχών. Οι αυτοί ζυγοί συνδέονται άμεσα με τη θεμελιακή γείωση. Οι τέσσερις αυτοί ζυγοί συνδέονται μεταξύ τους επιπρόσθετα με ένα περιμετρικό δακτύλιο ισοδυναμικής σύνδεσης. Κατά τον τρόπο αυτόε ξασφαλίζουμε την αγωγήμη σύνδεση μεταξύ τους. Αν οι απαιτήσεις προστασίας έναντι ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων του ρεύματος του κεραυνού είναι υψηλές, ο δακτύλιος θα συνδέεται κάθε 5m με τον ενδοσυνδεδεμένο οπλισμό του σκυροδέματος. Στο παραπάνω σχημα παρουσιάζονται όσα περιγράφηκαν εδώ.

Είναι σημαντικό οι αγωγοί των ισοδυναμικών συνδέσεων να αντέχουν το ποσοστό του ρεύματος του κεραυνού που τους διαρρέει. Το ποσοστό αυτό θα καθορίσει τις ελάχιστες διαστάσεις των αγωγών ισοδυναμικών συνδέσεων και υπολογίζεται όπως ακολουθεί

3.3.2 Υπολογισμός ρεύματος κεραυνού που ρέει σε εξωτερικά αγωγήμια τμήματα και στα καλώδια εισερχομένων παροχών της κατασκευής.

Το ρεύμα του κεραυνού, κατά τη διαδρομή του προς τη γη, διαμοιράζεται στο σύστημα γείωσης, στα εξωτερικά αγωγήμια τμήματα καθώς και στα καλώδια των εισερχόμενων παροχών κοινής ωφέλειας, συνδεδεμένα στο ζυγό εξίσωσης των δυναμικών.

Το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που διαρρέει αντίστοιχα κάθε εξωτερικό αγωγήμιο τμήμα και κάθε παροχή κοινής ωφέλειας υπολογίζεται από τη σχέση 3:

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

όπου:

α) $I(kA)$: το ρεύμα του κεραυνού ανάλογα με τη στάθμη προστασίας πίνακα

β) $Z_e(\Omega)$: η ισοδύναμη αντίσταση γείωσης του συστήματος γείωσης

γ) $Z_i(\Omega)$ – η ισοδύναμη αντίσταση γείωσης κάθε εξωτερικού αγωγίμου τμήματος ή καλωδίου των εισερχόμενων παροχών κοινής ωφελείας, και

δ) n : ο συνολικός αριθμός των εξωτερικών αγωγίμων τμημάτων και των

Καλωδίων των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής.

Ο δεύτερος όρος της εξίσωσης μπορεί να παρασταθεί μέσω ενός συντελεστή K_p , οι τιμές του οποίου καθορίζονται από τον παρακάτω πίνακα:

ρ (Ωm)	K_p											
	$n=1$			$n=2$			$n=3$			$n=4$		
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III&IV</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III&IV</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III&IV</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III&IV</i>
100	0,33	0,33	0,33	0,25	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	0,17	0,17	0,17
200	0,32	0,32	0,32	0,24	0,24	0,24	0,19	0,19	0,19	0,16	0,16	0,16
500	0,38	0,38	0,38	0,28	0,28	0,28	0,22	0,22	0,22	0,18	0,18	0,18
1000	0,31	0,41	0,48	0,24	0,29	0,32	0,19	0,22	0,24	0,16	0,18	0,20
2000	0,26	0,35	0,59	0,21	0,26	0,37	0,17	0,21	0,27	0,15	0,17	0,21
3000	0,22	0,30	0,63	0,18	0,23	0,39	0,15	0,19	0,28	0,13	0,16	0,22

Πίνακας 4

3.4 Μαγνητική θωράκιση.

Η μαγνητική θωράκιση στόχο έχει να μειώσει το μαγνητικό πεδίο μέσα στη ζώνη προστασίας το οποίο προέρχεται από τα κεραυνικά πλήγματα μέσα ή κοντά στη Φ/Β εγκατάσταση. Με τον τρόπο αυτό το μη εξασθενημένο μαγνητικό πεδίο H_0 μειώνεται σε μια επαρκώς χαμηλότερη τιμή H_1, H_2 .

Η χωρική μαγνητική θωράκιση χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει χωριστές προστατευμένες περιοχές όπως περιγράφεται παρακάτω. Αρχικά ολόκληρο το κτίριο ελέγχου αποτελείτο πρώτο επίπεδο της θωράκισης (ΖΑΠ1) ενώ μέσα στο κτίριο δημιουργείται ένα ξεχωριστό δωμάτιο που περικλείει τον ευαίσθητο Φ/Β εξοπλισμό (π.χ. inverters) και αποτελεί το δεύτερο επίπεδο θωράκισης (ΖΑΠ2). Επίσης μια περιορισμένη, μέσω ενός προστατευτικού καλύμματος, περιοχή μέσα στο δωμάτιο αυτό περιέχει τη συσκευή ελέγχου και παρακολούθησης (ΖΑΠ2 ή ΖΑΠ3). Η χαλύβδινη ενίσχυση και οι μεταλλικές προσόψεις περιβάλλουν τα κτίρια και τα δωμάτια (πλάτος πλέγματος 5m).

Η θωράκιση των καλωδίων της φωτοβολταϊκής γεννήτριας είναι απαραίτητη όταν τα πάνελ είναι συνδεδεμένα με το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Ωστόσο στις εξωτερικές ζώνες αντικεραυνικής προστασίας συνίσταται πάντα η θωράκιση των καλωδίων για dc καλώδια με μήκος μεγαλύτερο από 15-20m.

Στις εσωτερικές ζώνες αντικεραυνικής προστασίας μαγνητική θωράκιση καλωδίων χρησιμοποιείται μόνο όταν αυτά τροφοδοτούν ευαίσθητο εξοπλισμό.

Η θωράκιση των καλωδίων περιορίζεται στην καλωδίωση με χρήση μεταλλικού καλύμματος καλωδίου ή με κλειστούς μεταλλικούς αγωγούς καλωδίων. Όταν τα καλώδια των εισερχόμενων παροχών της κατασκευής είναι θωρακισμένα και

η θωράκισή τους είναι γειωμένη και στα δύο άκρα τους, το ρεύμα του κεραυνού θεωρείται ότι διαρρέει την θωράκιση τους. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης υπέρτασης μεταξύ της θωράκισης και του ενεργού αγωγού του καλωδίου.

Η υπέρταση εξαρτάται από το υλικό και τις διαστάσεις της θωράκισης, καθώς και από το μήκος και τον τρόπο όδευσης του καλωδίου.

Η ελάχιστη διατομή που διασφαλίζει την αυτοπροστασία ενός καλωδίου από τις υπερτάσεις, χωρίς να απαιτείται εγκατάσταση εκτροπέα υπέρτασης, δίνεται από τη σχέση 4:

$$A_{\min} = \frac{I_f \times \rho_e \times L_c \times 10^6}{U_c} \text{ mm}^2$$

I_f :το ρεύμα του κεραυνού που ρέει τη θωράκιση,

ρ_e :η ειδική αντίσταση της θωράκισης με τιμή $1,7 \times 10^{-7}$

Ωm για το χαλκό

- L_c : το μήκος του καλωδίου σύμφωνα με τον πίνακα 5.8 είναι:

$$L_c \leq 8 \times \sqrt{\rho} \leq 8 \times \sqrt{200} \leq 113,14 m$$

Προσεγγιστικά θεωρούμε $L_c = 113,14 m$
ότι:

- U_c :η κρουστική τάση αντοχής του καλωδίου ανάλογα με την ονομαστική Τάση λειτουργίας του. Ο πίνακας 5 μας δίνει την κρουστική τάση αντοχής του καλωδίου ανάλογα με την ονομαστική τάση λειτουργίας του.

Ονομαστική τάση	U _c
≤0.0	5
0.22	15
10	75
15	95
20	125

Πίνακας 5- κρουστική τάση αντοχής του καλωδίου ανάλογα με την ονομαστική τάση λειτουργίας

Στις Φ/Β εγκαταστάσεις η θωράκιση των μονάδων της Φ/Β συστοιχίας με τη χρήση μεταλλικών πλαισίων και ελασμάτων αλουμινίου στην πίσω πλευρά είναι ιδιαίτερα σημαντική. Επίσης τα μεταλλικά στηρίγματα της Φ/Β συστοιχίας μπορούν να αποτελέσουν μέρος δικτύου συνδέσεων βοηθώντας στη θωράκιση της Φ/Β γεννήτριας.

Στις Φ/Β εγκαταστάσεις η θωράκιση των μονάδων της Φ/Β συστοιχίας με τη χρήση μεταλλικών πλαισίων και ελασμάτων αλουμινίου στην πίσω πλευρά είναι ιδιαίτερα σημαντική. Επίσης τα μεταλλικά στηρίγματα της Φ/Β συστοιχίας μπορούν να αποτελέσουν μέρος δικτύου συνδέσεων βοηθώντας στη θωράκιση της Φ/Β γεννήτριας.

3.5 Δρομολόγηση καλωδίων.

Η σωστή δρομολόγηση των καλωδίων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εγκατάσταση. Μια σωστά μελετημένη όδευση καλωδίων ελαχιστοποιεί τις περιοχές επαγόμενων τάσεων, που δημιουργούν οι βρόχοι που σχηματίζουν τα καλώδια, περιορίζοντας έτσι τις εσωτερικά επαγόμενες υπερτάσεις. Οι περιοχές των βρόχων είναι αναγκαίο να ελαχιστοποιηθούν και αυτό επιτυγχάνεται οδηγώντας τους αγωγούς όσο το δυνατό πιο κοντά στους προστατευτικούς αγωγούς συνδέσεων ή οδηγώντας τις ηλεκτρικές και γραμμές σήματος μαζί. Η όδευση των καλωδίων της Φ/Β γεννήτριας πρέπει να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις. Αρχικά τα καλώδια πρέπει να εγκαθίστανται με τρόπο που να ακολουθούν τις μικρότερες δυνατές διαδρομές, τα καλώδια στην dc πλευρά της Φ/Β εγκατάστασης πρέπει να οδεύουν μαζί. Το σχέδιο της όδευσης των καλωδίων είναι επίσης σημαντικό. Κλειστές περιοχές καλωδίων πρέπει να περιορίζονται κατά το δυνατό περισσότερο.

Η σωστά μελετημένη όδευση των καλωδίων και η θωράκιση τους, παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στις εξωτερικές ζώνες αντικεραυνικής προστασίας καθώς επίσης και στη ΖΑΠ 1 εάν η αποτελεσματικότητα της θωράκισής της είναι αμελητέα.

Τα μέτρα προστασίας που λαμβάνονται κατά την όδευση των καλωδίων καθώς επίσης και η θωράκιση των γραμμών αποτελούν μέτρα περισσότερο σημαντικά από τη χωρική θωράκιση για των περιορισμό των υπερτάσεων λόγω κεραυνικού πλήγματος.

3.6 Διατάξεις προστασίας έναντι υπερτάσεων.

Οι διατάξεις προστασίας έναντι υπερτάσεων συστημάτων χαμηλής τάσης κατατάσσονται σε τρεις κλάσεις I-III αναφορικά με το επίπεδο προστασίας που παρέχουν και διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους:

- **Κλάση I:**

Συμπεριλαμβάνει διατάξεις προστασίας που ενδέχεται να διαρρέονται από τμήμα ρεύματος του κεραυνού. Συνίσταται η εγκατάσταση τους σε σημεία υψηλού κινδύνου. Έτσι λοιπόν οι διατάξεις αυτές τοποθετούνται στα όρια των ΖΑΠ 0_A-0_B και ΖΑΠ 1 ($U_p < 4$ kV).

- **Κλάση II:**

Συμπεριλαμβάνει διατάξεις προστασίας που χρησιμοποιούνται ως Μέσα προστασίας έναντι υπερτάσεων από έμμεσα πλήγματα κεραυνού ή από χειρισμούς. Συνίσταται η εγκατάσταση τους σε σημεία μικρότερης απαίτησης προστασίας. Έτσι λοιπόν οι διατάξεις αυτές τοποθετούνται στα όρια των ΖΑΠ 1 και ΖΑΠ 2 ($U_p < 2$ kV).

- **Κλάση III:**

Συμπεριλαμβάνει διατάξεις που χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις μειωμένης απαίτησης προστασίας έναντι υπερτάσεων.

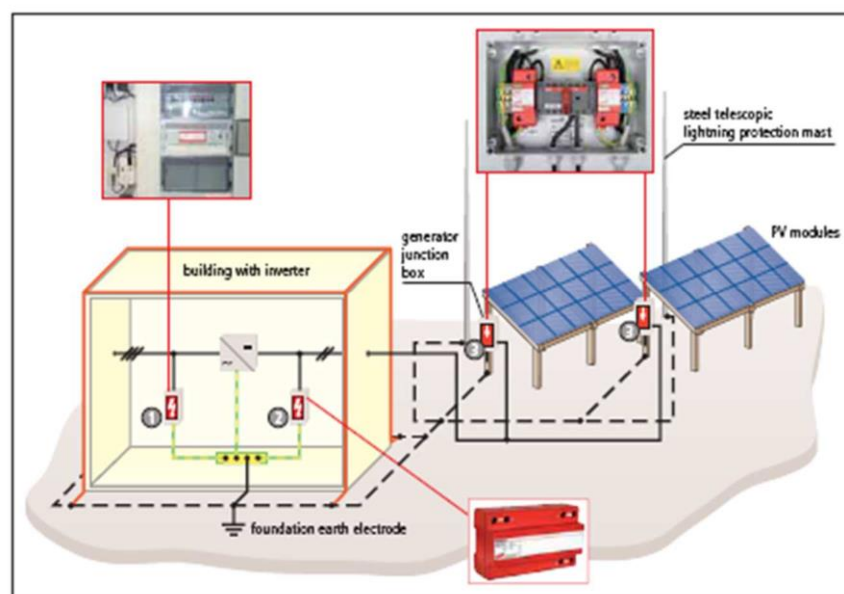
Οι διατάξεις αυτές τοποθετούνται στα όρια των ΖΑΠ 2 στη ΖΑΠ 3 ($U_p < 1$ kV).

3.6.1 Μέτρα προστασίας έναντι υπερτάσεων στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες.

Στα κιβώτια διασύνδεσης, κατά το δυνατό πλησιέστερα στη Φ/Β γεννήτρια, εγκαθίστανται εκτροπείς υπέρτασης. Στην περίπτωση αυτή εγκαθίστανται εκτροπείς υπέρτασης κλάσης I. Οι εκτροπείς υπέρτασης στα κουτιά διασύνδεσης της γεννήτριας προστατεύουν το πι κάτω Φ/Β στοιχεία και εμποδίζουν τις υπερπηδήσεις εξαιτίας των ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων στα στοιχεία.

3.6.2 Μέτρα προστασίας έναντι υπερτάσεων στον αντιστροφέα.

Εάν τα dc καλώδια που οδηγούνται από τα Φ/Β πάνελ στον αντιστροφέα έχουν μήκος μεγαλύτερο από 10m τότε η ύπαρξη εκτροπέα υπέρτασης στο κιβώτιο διασύνδεσης δίπλα στη Φ/Β συστοιχία δε μας καλύπτει. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να τοποθετήσουμε έναν επιπλέον εκτροπέα υπέρτασης κλάσης II στην dc είσοδο του αντιστροφέα. Ακόμα συσκευές προστασίας έναντι υπερτάσεων κλάσης II θα τοποθετήσουμε και στην ac έξοδο του αντιστροφέα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα βασικό κυκλωματικό διάγραμμα της σύνδεσης των εκτροπέων υπέρτασης.

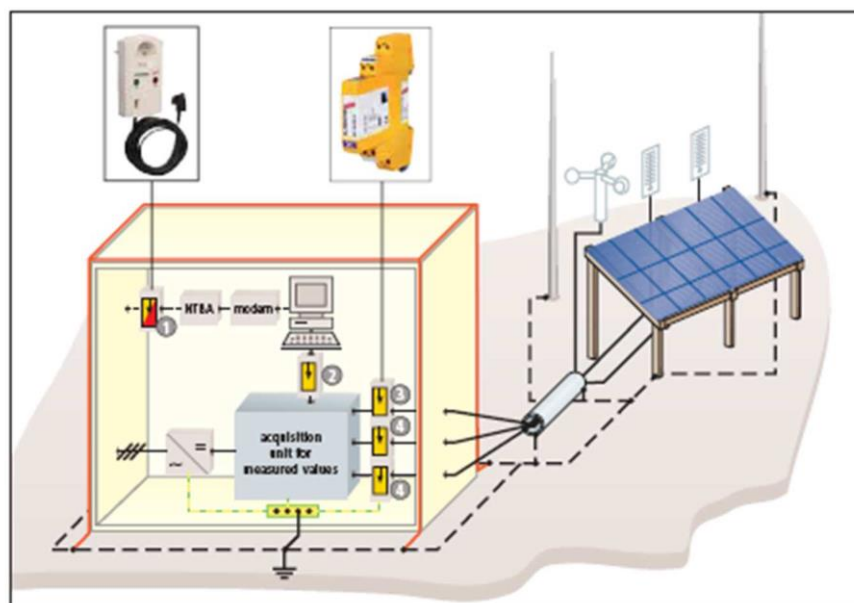


Βασικό κυκλωματικό διάγραμμα προστασίας έναντι υπερτάσεων.

3.6.3 Μέτρα προστασίας έναντι υπερτάσεων στα συστήματα επεξεργασίας δεδομένων.

Το κτίριο ελέγχου περιλαμβάνει ένα απομονωμένο διαγνωστικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για έναν απλό και γρήγορο έλεγχο λειτουργίας του συστήματος. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο χειριστή να αντιλαμβάνεται οποιαδήποτε δυσλειτουργία εγκαίρως.

Όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα, οι μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου, της θερμοκρασίας του Φ/Β στοιχείου και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος πραγματοποιούνται με εξωτερικούς αισθητήρες στο Φ/Β σύστημα. Οι αισθητήρες τοποθετούνται κι αυτοί μέσα στη ΖΑΠ όπως τα Φ/Β πάνελ. Παρ' όλα αυτά υπερτάσεις που προέρχονται από επαγωγικά φαινόμενα κατά την πραγματοποίηση ενός πλήγματος κεραυνού μπορεί να επηρεάσουν τα συστήματα μέτρησης. Προκειμένου να παρέχουμε μια συνεχή και χωρίς προβλήματα μεταφορά των δεδομένων στη μονάδα μέτρησης είναι απαραίτητο να συνδέσουμε τα καλώδια των αισθητήρων που εισέρχονται στο κτίριο μέσω εκτροπέων υπέρτασης κλάσης III όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σύστημα προστασίας για την απόκτηση και την εκτίμηση δεδομένων.

3.6.4 Επιλογή των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των εκτροπέων υπέρτασης.

Το είδος του εκτροπέα υπέρτασης που προτιμάται για τα κυκλώματα της Φ/Β γεννήτριας είναι οι διατάξεις **MOV** (MetalOxideVaristors). Πρόκειται για εκτροπείς υπέρτασης, ευρείας εφαρμογής, γρήγορης απόκρισης που περιορίζουν την υπέρταση σε αποδεκτή τιμή. Αποτελούνται από μη γραμμικές αντιστάσεις κατά κανόνα βαρύστορες μεταλλικών οξειδίων (συνήθως ZnO) των οποίων η Χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος είναι ισχυρά μη γραμμική σύμφωνα με τη γενική εξίσωση 5:

$$U = \alpha I^b$$

Χαρακτηριστικές παράμετροι των διατάξεων MOV που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή τους ανάλογα με την προστασία που απαιτείται αποτελούν:

A) Η συνεχής τάση λειτουργίας U_c : η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση εναλλασσόμενη ή συνεχής που μπορεί να υφίσταται συνεχώς στα άκρα της διάταξης κατά τη λειτουργία της. Η συνεχής τάση λειτουργίας της διάταξης πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας της εγκατάστασης .

B) Η τάση αντοχής σε προσωρινές υπερτάσεις U_T : σε περίπτωση σφάλματος μπορεί να εμφανιστούν προσωρινές υπερτάσεις διάρκειας από μερικά μs μέχρι την παρέλευση του σφάλματος και εύρους έως και 1200 V ανάλογα με το σύστημα γείωσης. Σε κάθε περίπτωση η τάση αντοχής σε προσωρινές υπερτάσεις της διάταξης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη τιμή της προσωρινής υπέρτασης που μπορεί να εμφανιστεί στην εγκατάσταση.

Γ) Το επίπεδο προστασίας U_p : πρόκειται για τιμή κορυφής τάσης που χαρακτηρίζει την ικανότητα περιορισμού της υπέρτασης στα άκρα της διάταξης. Συνήθως από τους κατασκευαστές δίδεται ο λόγος U_p/U_c . Τυπικές τιμές του

λόγου είναι 3/5 με τη μικρότερη τιμή να αντιστοιχεί σε καλύτερη προστασία. Το επίπεδο προστασίας U_p πρέπει να είναι μικρότερο από την διαβαθμισμένη κρουστική τάση αντοχής του εξοπλισμού και να ικανοποιεί ένα περιθώριο ασφάλειας τουλάχιστον 20% σε σχέση με τη μέγιστη πιθανή υπέρταση που μπορεί να εμφανιστεί στον εξοπλισμό.

Δ) Η παραμένουσα τάση U_{res} : η μέγιστη τιμή της τάσης που αναπτύσσεται στα άκρα της διάταξης κατά τη διαρροή της από το ρεύμα της εκκένωσης, η όποια τελικώς και καταπονεί τον εξοπλισμό όσο διαρκεί η υπέρταση.

Ε) Το ονομαστικό ρεύμα I_n : η μέγιστη τιμή ρεύματος κυματομορφής 8/20 μs

Ζ) Κρουστικό ρεύμα I_{imp} (διατάξεις κλάσης I) ή το μέγιστο ρεύμα εκκένωσης

I_{max} (διατάξεις κλάσης II), η μέγιστη τιμή ρεύματος κυματομορφής 10/350

μs ή 8/20 μs αντίστοιχα που μπορεί να διαρρεύσει τον εκτροπέα χωρίς να καταστραφεί. Χρησιμοποιείται κατά τις δοκιμές συνεχούς λειτουργίας της διάταξης για τον έλεγχο της θερμικής της ευστάθειας.

Η) Η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας: η παράμετρος δίδεται σε μονάδες

kJ/kV και αντιστοιχεί στην τιμή της ενέργειας καταπόνησης της διάταξης

κατά τις δοκιμές συνεχούς λειτουργίας της για τον έλεγχο της θερμικής της ευστάθειας. Καθορίζεται από το ονομαστικό ρεύμα της διάταξης I_n και από το κρουστικό ρεύμα I_{imp} για διατάξεις κλάσης I ή το μέγιστο ρεύμα εκκένωσης

I_{max} για διατάξεις κλάσεις II.

3.6.5 Γενικά στοιχεία για την επιλογή των εκτροπέων υπέρτασης.

Η μέγιστη τιμή dc τάσης της εγκατάστασης πρέπει να είναι μικρότερη της παραμένουσας τάσης των εκτροπέων αποκοπής της υπέρτασης ώστε να εξασφαλίζεται η σβέση τους μετά το πέρας της υπέρτασης.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι η παραμένουσα τάση ενός εκτροπέα υπέρτασης αποτελείται από δύο συνιστώσες, την πτώση τάσης στα άκρα του κατά τη διάρκεια που άγει U_A και την πτώση τάσης κατά μήκος των συνδέσεων λόγω της αυτεπαγωγής τους U_L . Οι μέγιστες τιμές των δύο αυτών συνιστωσών δεν παρατηρούνται ταυτόχρονα ωστόσο το άθροισμά τους πρέπει να είναι μικρότερο από τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της υπέρτασης, U_{max} του εξοπλισμού που χρήζει προστασίας. (μεταξύ του ενεργού αγωγού και του ζυγού εξίσωσης δυναμικών).

Η επίδραση των αγωγών συνδέσεων των εκτροπέων υπέρτασης είναι πολύ σημαντική στον καθορισμό της παραμένουσας τάσης τους ιδιαίτερα εάν ληφθεί υπόψη ότι η τελευταία χρησιμοποιείται στο συντονισμό των μονώσεων.

Το ονομαστικό ρεύμα των προστατευτικών διατάξεων που εγκαθίσταται στην είσοδο των παροχών κοινής ωφέλειας στην εγκατάσταση πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το τμήμα του ρεύματος του κεραυνού που ενδεχόμενα θα διαρρεύσει τα εισερχόμενα αγωγικά τμήματα και καλώδια στην κατασκευή. Καλώδια των οποίων η θωράκιση είναι ισοδυναμικά συνδεδεμένη στο ζυγό εξίσωσης δυναμικών και διατομής μεγαλύτερης από την ελάχιστη διατομή δεν απαιτούν προστασία με εκτροπείς υπέρτασης.

Οι διατάξεις προστασίας υπερτάσεων στα τροφοδοτικά χαμηλής τάσης πρέπει να εγκαθίστανται πάντα μετά από μια ασφάλεια ή έναν αυτόματο διακόπτη που να προστατεύει τη διάταξη από μεγάλα ρεύματα και να διεγείρεται αποσυνδέοντας τη συσκευή στην περίπτωση που αναπτύσσεται μεγάλο ρεύμα. Ωστόσο το μέσο προστασίας έναντι βραχυκυκλώματος πρέπει να αντέχει στα

ισχυρά στιγμιαία ρεύματα που αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία του εκτροπέα και ταυτόχρονα να προστατεύει τη συσκευή από μεγάλα θερμικά ρεύματα.

3.6.6 Συντονισμός των εκτροπέων υπέρτασης.

Οι Φ/Β γεννήτριες συχνά χρειάζονται δύο ή περισσότερες διατάξεις προστασίας σε σειρά ώστε να περιορίσουν την ηλεκτρική τάση στον υπό προστασία εξοπλισμό σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Για να πετύχουμε τον επιθυμητό καταμερισμό της τάσης στις διατάξεις προστασίας, ανάλογα με την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας της κάθε διάταξης, ο συντονισμός τους είναι απαραίτητος. Συμφωνά με τις αρχές συντονισμού απαιτείται γνώση των χαρακτηριστικών των εκτροπέων υπέρτασης και του υπό προστασία Φ/Β εξοπλισμού καθώς επίσης και της απειλής (κυματομορφής) στο σημείο της Φ/Β γεννήτριας: μέγιστο ρεύμα εκκένωσης (I_{10/350}) ή μέγιστη τιμή του ρεύματος της κυματομορφής (I_{8/20}).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε Φ/Β γεννήτριες χρησιμοποιούνται μόνο εκτροπείς περιορισμού τάσης, υπάρχουν δύο τρόποι συντονισμού : η παραμένουσα τάση όλων των διατάξεων να είναι η ίδια ή να αυξάνεται βηματικά από την εξωτερική διάταξη προς την εσωτερική.

3.7 Απαιτήσεις για προστασία ενάντια στην ηλεκτροπληξία στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.

Ο βασικός κανόνας προστασίας ενάντια στην ηλεκτροπληξία είναι ο ακόλουθος: τα επικίνδυνα ενεργά μέρη δεν πρέπει να είναι προσιτά και τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη δεν θα έπρεπε να είναι επικίνδυνα ενεργά είτε κάτω από κανονικές συνθήκες είτε κάτω από καταστάσεις μονού σφάλματος.

Σε κανονικές συνθήκες οι αγωγοί ή τα αγωγίμα τμήματα που έχουν την τάση να φέρουν επικίνδυνες τάσεις στην κανονική λειτουργία δεν πρέπει να είναι

προσιτά στην επαφή. Σε περίπτωση μονού σφάλματος απαιτείται επίσης προστασία ενάντια στην έμμεση επαφή. Το όριο της συμβατικής τάσης επαφής U_L είναι τα 60Vdc στις PV γεννήτριες. Εάν η τάση της Φ/Β γεννήτριας δεν υπερβαίνει τα 30V dc δεν είναι απαραίτητη η προστασία ενάντια στην άμεση επαφή ενώ για τάσεις μεγαλύτερες από τα 30V dc μέχρι τα 60V dc αυτή η προστασία είναι υποχρεωτική.

3.7.1 Προστασία ενάντια στην άμεση επαφή.

Η βασική μέθοδος προστασίας ενάντια στην άμεση επαφή είναι η προστασία μέσω μόνωσης. Σε περίπτωση αποτυχίας ή απροσεξίας των χειριστών μια επιπρόσθετη προστασία είναι η χρήση προστατευτικών συσκευών. Αυτές οι συσκευές αποτελούνται από ένα συνδυασμό συσκευών ελέγχου και διακοπτικών συσκευών εξαιτίας της ειδικής λειτουργικής ικανότητας να διακόπτει τη λειτουργία της Φ/Β γεννήτριας. Θεμιτές συσκευές ελέγχου θα μπορούσαν να είναι: α) σε γειωμένη Φ/Β γεννήτρια ένας διακόπτης διαφυγής έντασης, β) σε μη γειωμένα συστήματα μια συσκευή ελέγχου της μόνωσης.

3.7.2 Προστασία ενάντια στην έμμεση επαφή (προστασία σφάλματος).

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται κυρίως είναι η προστασία με αυτόματη διακοπή της παροχής. Αυτή η μέθοδος εμποδίζει, μέσω της αυτόματης διακοπής, την επαφή με μια επικίνδυνη τάση στην εγκατάσταση ή μετά από ένα σφάλμα γείωσης.

Στην μέθοδο αυτή είναι απαραίτητη η συνεργασία της γείωσης της Φ/Β γεννήτριας και των χαρακτηριστικών αγωγών προστασίας και των συσκευών προστασίας. Η dc πλευρά της Φ/Β γεννήτριας μπορεί να γειωθεί με τα ακόλουθα συστήματα γείωσης:

α) IT σύστημα (μη γειωμένα αγωγή μέρη και γειωμένα εκτεθειμένα αγωγή μέρη)

β) TN σύστημα (ενεργά μέρη και εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη γειώνονται μέσω ενός μόνο ηλεκτροδίου γείωσης)

γ) TT σύστημα (ενεργά μέρη και εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη γειώνονται σε διαφορετικά ηλεκτρόδια γείωσης). Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι:

- Τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα πρέπει να συνδέονται στη γείωση υπό τις κατάλληλες συνθήκες για κάθε σύστημα γείωσης.

- Στην περίπτωση σφάλματος ανάμεσα σε ένα ενεργό τμήμα και σε ένα εκτεθειμένο αγωγίμο τμήμα η συσκευή προστασίας πρέπει να εμποδίζει

μια επικίνδυνη τάση για χρόνο ικανό να προκαλέσει κίνδυνο σωματικής βλάβης.

Μια επικίνδυνη τάση για χρόνο ικανό να προκαλέσει κίνδυνο σωματικής βλάβης.

Τα προσαρμοσμένα μέτρα στις Φ/Β γεννήτριες ανάλογα με το σύστημα γείωσης είναι τα ακόλουθα:

α) Φ/Β γεννήτρια με TT σύστημα:

- Όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα που προστατεύονται μέσω συσκευών προστασίας πρέπει να συνδέονται μέσω αγωγών προστασίας σε ένα

ηλεκτρόδιο γείωσης.

- Αρνητικοί ενεργοί αγωγοί σε άλλο ανεξάρτητο ηλεκτρόδιο γείωσης

Πρέπει να πληρείται η ακόλουθη συνθήκη: $R_A * I_A \leq U_L$ όπου R_A είναι η

σύνθετη αντίσταση του ηλεκτροδίου γείωσης και του αγωγού προστασίας

των εκτεθειμένων αγωγίμων τμημάτων, I_A είναι το ρεύμα που προκάλεσε την αυτόματη ενεργοποίηση της συσκευής προστασίας και U_L είναι το όριο της συμβατικής τάσης επαφής.

- Όταν χρησιμοποιούμε μια dc συσκευή ελέγχου παραμένουτος ρεύματος ο χρόνος κλεισίματος της Φ/Β γεννήτριας δεν πρέπει να ξεπεράσει το 1s.

β) Φ/Β γεννήτρια με TN σύστημα:

- Όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα πρέπει να γειώνονται.
- Όλοι οι αρνητικοί ενεργοί αγωγοί ή το ουδέτερο σημείο πρέπει να γειώνονται.

Στην Φ/Β γεννήτρια σε περίπτωση σφάλματος μονώσεως το δυναμικό που αποκτούν τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα είναι χαμηλότερο από την ονομαστική τάση. Η χαμηλή σύνθετη αντίσταση του αγωγού προστασίας μαζί με τη μικρή απόσταση σύνδεσης με τη γη απαιτούν ρεύμα βραχυκύκλωσης μεγαλύτερο από 1650 A για να φτάσουν επικίνδυνες τάσεις επαφής γι' αυτό καμία πρόνοια για τις συσκευές προστασίας δεν είναι απαραίτητη, εκτός από το ότι ο μέγιστος χρόνος διακοπής να μην υπερβαίνει τα 5s.

γ) Φ/Β γεννήτρια με IT σύστημα:

- Τα ενεργά τμήματα της γεννήτριας πρέπει να είναι απομονωμένα από τη γη.

Στην περίπτωση μικρού ρεύματος σφάλματος στα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη ή σφάλματος γείωσης η αποσύνδεση δεν είναι απαραίτητη σε περίπτωση που ικανοποιείται η ανισότητα: $R_A \cdot I_d \leq U_L$

Τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα πρέπει να γειώνονται και να ικανοποιείται η ακόλουθη συνθήκη: $R_A \cdot I_d \leq U_L$ όπου R_A είναι η αντίσταση του ηλεκτροδίου γείωσης και I_d είναι το ρεύμα σφάλματος του πρώτου σφάλματος ανάμεσα στον αγωγό φάσης και στο αγωγίμο τμήμα.

Η εγκατάσταση μιας συσκευής ελέγχου μόνωσης είναι υποχρεωτική για να υποδεικνύει την πραγματοποίηση του πρώτου σφάλματος .

Η συσκευή αυτή πρέπει να αποσυνδέει τη γεννήτρια ή να παράγει ένα

οπτικοακουστικό σήμα.

Τέλος όλος ο ηλεκτρικός εξοπλισμός καθώς και τα στοιχεία της γεννήτριας πρέπει να έχουν διπλή ή ενισχυμένη μόνωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΕΣ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ

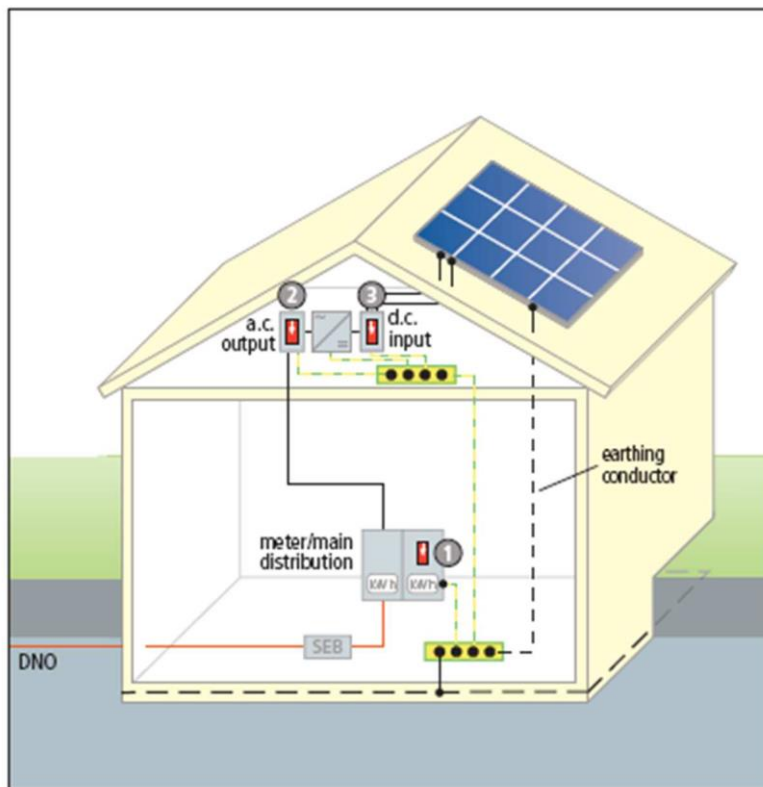
Η χρήση των Φ/Β γεννητριών είναι εκτεταμένη από ιδιοκτήτες κατοικιών καθώς επίσης και από ιδιωτικές εταιρίες οι οποίες τοποθετούν γεννήτριες στις στέγες των κτιρίων που διαθέτουν.

Η εγκατάσταση των Φ/Β στοιχείων στα κτίρια δεν αυξάνει τον κίνδυνο πλήγματος κεραυνού έτσι ώστε η απαίτηση για αντικεραυνική προστασία να μην απορρέει μόνο από την ύπαρξη του Φ/Β συστήματος. Παρ'όλα αυτά είναι πιθανό να υπάρξει ένας αυξανόμενος κίνδυνος για τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις σε περίπτωση πλήγματος. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι εξαιτίας της καλωδίωσης των Φ/Β γραμμών μέσα στο κτίριο στις ήδη υπάρχουσες οδεύσεις των καλωδίων το ρεύμα των εκκενώσεων μπορεί να προκαλέσει επιζήμιες επιδράσεις.

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τρεις περιπτώσεις. Όταν η εγκατάσταση της γεννήτριας γίνεται σε κτίριο που έχει ήδη αντικεραυνική προστασία και τηρούνται ή όχι οι απόστασεις ασφαλείας μεταξύ εξωτερικής ΕΑΠ και Φ/Β εγκατάστασης και όταν το κτίριο δεν έχει αντικεραυνική προστασία.

4.1 Κτίρια χωρίς αντικεραυνική προστασία.

Το σχήμα 4.1 δείχνει ένα πιθανό τρόπο προστασίας έναντι υπερτάσεων ενός Φ/Β συστήματος σε κτίριο χωρίς αντικεραυνική προστασία.



Σχήμα 4.1: Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο χωρίς εξωτερική ΕΑΠ.

Πιθανές τοποθεσίες εγκατάστασης εκτροπέων υπέρτασης είναι:

Η dc είσοδος του inverter.

Η ac έξοδος του inverter.

Η παροχή χαμηλής τάσης.

Εάν η απόσταση μεταξύ του inverter και της τοποθεσίας της εγκατάστασης του εκτροπέα υπέρτασης είναι όχι μεγαλύτερη από 5m (παροχή χαμηλής τάσης) η ac έξοδος του inverter είναι επαρκώς προστατευμένη. Για μεγαλύτερα μήκη αγωγών επιπλέον συσκευές προστασίας είναι απαραίτητες στην ac έξοδο του inverter.

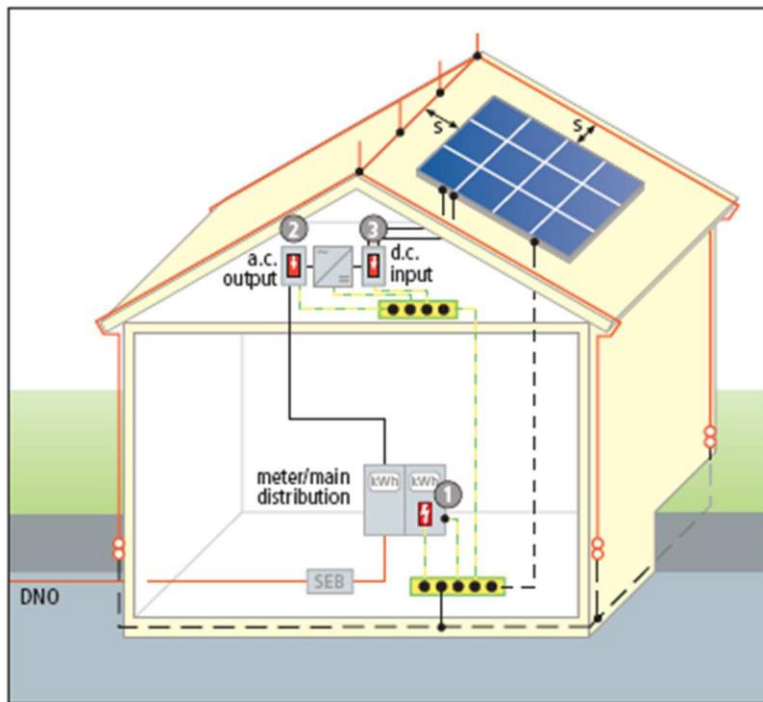
Στην dc είσοδο του inverter κάθε ένας από τους αγωγούς της Φ/Β συστοιχίας πρέπει να προστατεύεται με έναν εκτροπέα μεταξύ του συν(+) και του πλην(-). Αυτή η εγκατάσταση παρέχει προστασία για Φ/Β συστήματα με τάση μέχρι 1000 V dc.

Η τάση λειτουργίας της συσκευής προστασίας πρέπει να είναι 10% υψηλότερη από τη αναμενόμενη τάση ανοιχτού κυκλώματος της γεννήτριας κατά τη διάρκεια της μέγιστης ηλιοφάνειας μιας κρύας χειμωνιάτικης μέρας.

4.2 Κτίρια με σύστημα εξωτερικής ΕΑΠ και διατήρηση των αποστάσεων ασφαλείας.

Στην περίπτωση αυτή το Φ/Β σύστημα στην επιφάνεια της σκεπής πρέπει να σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη το ήδη υπάρχον σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Για το λόγο αυτό το Φ/Β σύστημα πρέπει να εγκατασταθεί μέσα στη ζώνη προστασίας του συστήματος της εξωτερικής ΕΑΠ για να εξασφαλίσει την προστασία του ενάντια στα άμεσα κεραυνικά πλήγματα. Με τη χρήση κατάλληλων συλλεκτήριων συστημάτων, όπως για παράδειγμα τεταμένα σύρματα, άμεσα κεραυνικά πλήγματα πάνω στα Φ/Β πάνελ μπορούν να αποφευχθούν. Τα επιπλέον τεταμένα σύρματα που πιθανόν μπορεί να τοποθετηθούν εκ των υστέρων πρέπει να τοποθετηθούν με τρόπο που να εμποδίζουν τα άμεσα πλήγματα στη γεννήτρια και επιπλέον να μην προκαλούν σκίαση στην επιφάνεια της.

Ακόμα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι απόσταση ασφαλείας πρέπει να διατηρείται ανάμεσα στα Φ/Β στοιχεία και στα μεταλλικά μέρη όπως το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Το Φ/Β σύστημα του σχήματος 2.1. είναι τοποθετημένο στην προστατευόμενη περιοχή του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας ενώ τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας. Στην περίπτωση αυτή ο αγωγός γείωσης πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 6mm^2 .



Σχήμα 4.2: Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο με εξωτερική ΕΑΠ και τήρηση των αποστάσεων ασφαλείας

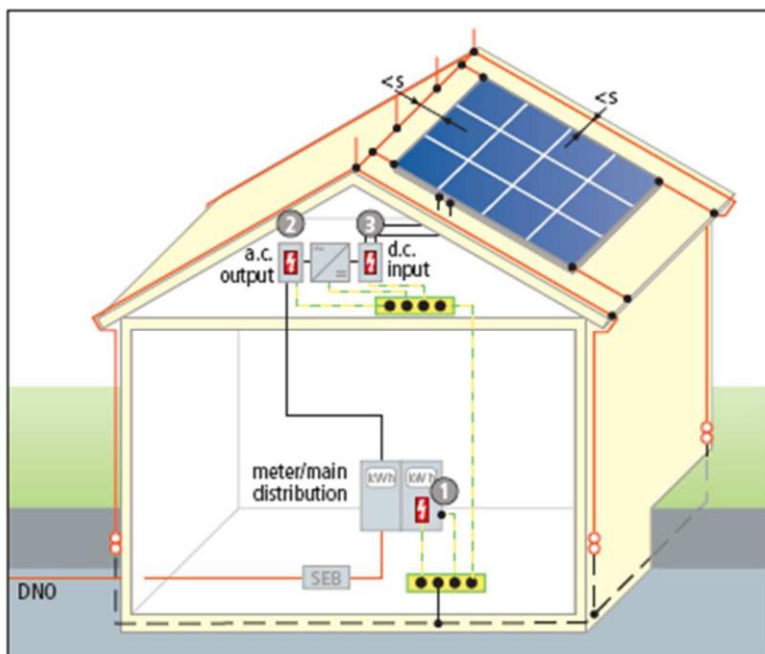
Ένα βασικό μέρος της αντικεραυνικής προστασίας είναι οι ισοδυναμικές συνδέσεις για όλα τα αγωγικά συστήματα που εισέρχονται στο κτίριο από έξω. Οι απαιτήσεις των ισοδυναμικών συνδέσεων ικανοποιούνται με άμεση σύνδεση όλων των μεταλλικών συστημάτων και έμμεση μέσω εκτροπέων υπέρτασης όλων των ενεργών συστημάτων στο ζυγό εξίσωσης δυναμικών. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι ισοδυναμικές συνδέσεις πρέπει να πραγματοποιούνται στην είσοδο της κατασκευής ώστε να εμποδίζεται η εισχώρηση του ρεύματος της εκκένωσης στο εσωτερικό του κτιρίου.

Και στην περίπτωση αυτή τοποθετούμε έναν εκτροπέα υπέρτασης στην παροχή χαμηλής τάσης. Εάν η απόσταση μεταξύ του inverter και της τοποθεσίας της εγκατάστασης του εκτροπέα υπέρτασης είναι όχι μεγαλύτερη από 5m (παροχή χαμηλής τάσης) η ac έξοδος του inverter είναι επαρκώς προστατευμένη. Για μεγαλύτερα μήκη αγωγών επιπλέον συσκευές προστασίας είναι απαραίτητες στην ac έξοδο του inverter.

Στην dc είσοδο του inverter κάθε ένας από τους αγωγούς της Φ/Β συστοιχίας πρέπει να προστατεύεται με έναν εκτροπέα.

4.3 Κτίρια με σύστημα εξωτερικής ΕΑΠ χωρίς διατήρηση των αποστάσεων ασφαλείας.

Συχνά ολόκληρη η σκεπή καλύπτεται από Φ/Β στοιχεία για την επίτευξη μεγαλύτερου κέρδους με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η τήρηση των αποστάσεων ασφαλείας. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να παρέχεται μια άμεση αγωγή σύνδεση μεταξύ του συστήματος της εξωτερικής ΕΑΠ και των μεταλλικών Φ/Β στοιχείων. Σε αυτή την περίπτωση οι επιδράσεις των ρευμάτων που μεταφέρονται μέσα στο κτίριο μέσω των dc αγωγών πρέπει να ληφθούν υπόψη και να εξασφαλιστεί η ισοδυναμική τους σύνδεση. Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα του κεραυνού πρέπει να επίσης να συμπεριληφθεί στην ισοδυναμική σύνδεση και να τοποθετηθούν εκτροπείς υπέρτασης στους dc αγωγούς. Για τον αγωγό των ισοδυναμικών συνδέσεων πρέπει η διατομή του να είναι μεγαλύτερη από 16 mm^2 . (σχήμα 4.3).



Σχήμα.4.3: Προστασία έναντι υπερτάσεων σε κτίριο με εξωτερική ΕΑΠ χωρίς τήρηση των αποστάσεων ασφαλείας.

Ισοδυναμικές συνδέσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν και για την είσοδο της χαμηλής τάσης. Εάν η απόσταση μεταξύ του inverter και της τοποθεσίας της εγκατάστασης του εκτροπέα υπέρτασης είναι όχι μεγαλύτερη από 5m (παροχή χαμηλής τάσης) η ac έξοδος του inverter είναι επαρκώς προστατευμένη.

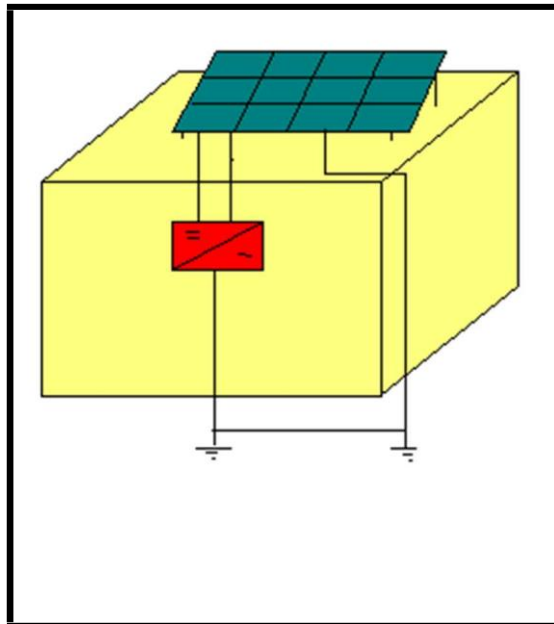
Τα μέτρα προστασίας έναντι υπερτάσεων είναι μόνο τοπικά αποδοτικά το οποίο ισχύει και για την περίπτωση του inverter. Όταν ο τελευταίος είναι τοποθετημένος στη σοφίτα επιπλέον προστασία είναι απαραίτητη για την ac έξοδο του.

4.4 Γείωση φωτοβολταϊκής γεννήτριας που είναι τοποθετημένη στη στέγη μιας κατασκευής.

Η γείωση του φωτοβολταϊκού πάνελ με τη γη μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους. Αρχικά μπορούμε να συνδέσουμε το πάνελ μέσω ενός αγωγού σύνδεσης με το ηλεκτρικό σύστημα το οποίο είναι γειωμένο. Η μέθοδος αυτή είναι απλή στη υλοποίηση αλλά σε περίπτωση πλήγματος όλο το ρεύμα του κεραυνού διοχετεύεται στη γη μέσα από το κτίριο. Αυτό είναι εξαιρετικά επικίνδυνο καθώς η αμοιβαία επαγωγή μεταξύ του αγωγού σύνδεσης και των γειτονικών αγωγών σε περίπτωση πλήγματος θα προκαλέσει έντονες υπερτάσεις οδηγώντας σε καταστροφή της μόνωσης και πρόκληση πυρκαγιάς.

Ακόμα μπορούμε να γειώσουμε το πάνελ απευθείας μέσω ενός ηλεκτροδίου γείωσης. Αυτή η απομόνωση των γειώσεων όμως δεν έχει καμία αξία. Η αντίσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων γείωσης είναι πιθανό να είναι αρκετά χαμηλή, τόσο ώστε να πραγματοποιηθεί μια σημαντική ροή ρεύματος στο σύστημα. Αυτή η ροή με τη σειρά της θα προκαλέσει μια μεγάλη διαφορά δυναμικού μεταξύ της γείωσης και του ενεργειακού συστήματος οδηγώντας σε εκκένωση μεταξύ των πάνελ και των τερματικών που αυτά τροφοδοτούν.

Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η μέθοδος που ενδείκνυται περισσότερο όσον αφορά στη γείωση τέτοιων εγκαταστάσεων.



Σχήμα 4.4. Σύνδεση φωτοβολταϊκού συστήματος στη γη.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένα ξεχωριστό ηλεκτρόδιο γείωσης ενώ τα δύο ξεχωριστά ηλεκτρόδια συνδέονται ισοδυναμικά στο επίπεδο της γης. Η μέθοδος αυτή διοχετεύει με ασφάλεια όλο το ρεύμα του κεραυνού στη γη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5-ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Η μελέτη αφορά την προστασία του πάρκου όσον αφορά το Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας.(ΣΑΠ)

Παράλληλα με την εξωτερική κεραυνική κάλυψη, επιβάλλεται, βάσει του Ευρωπαϊκού Προτύπου EN 62305, η προστασία των εντός των χώρων, ανθρώπων και εξοπλισμού από τις δευτερογενείς επιδράσεις του κεραυνού με την εσωτερική κεραυνική κάλυψη. Η προστασία αυτή σύμφωνα με τα Πρότυπα επιτυγχάνεται με ισοδυναμικές συνδέσεις μέσω γεφυρώσεων των εσωτερικών μεταλλικών εγκαταστάσεων όπως οι μηχανισμοί κίνησης και των ηλεκτρικών - ηλεκτρονικών συστημάτων μέσω ειδικών συσκευών περιορισμού κεραυνικών υπερτάσεων.

5.1 Πρότυπα Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας(ΣΑΠ)

1.1 Εξωτερικό ΣΑΠ

- Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3 : 2006, “Protection against lightning. Physical damage to structures and life hazard”.
- Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ 1412, “ Προστασία κατασκευών από κεραυνούς-
Οδηγία Α : Εκτίμηση κινδύνου κεραυνοπληξίας και επιλογή επιπέδου προστασίας του ΣΑΠ. Στην συγκεκριμένη περίπτωση με βάση τα στοιχεία του πάρκου που μας δώσατε, το επίπεδο προστασίας εκτιμήθηκε σε στάθμη I, όπως προκύπτει από την εκτίμηση κεραυνοπληξίας.

1.2 Εσωτερικό ΣΑΠ

- Διεθνές Πρότυπο IEC 61312-1, “Protection against Lightning Electromagnetic Impulse (LEMP)”.
- Διεθνές Πρότυπο IEC 664, “Insulation coordination for equipment within low-voltage systems”.

- Διεθνές Πρότυπο IEC 60364-4-443, “Electrical installations of buildings, Part 4: Protection for safety, Chapter 44: Protection against overvoltages, Section 443: Protection against overvoltages of atmospheric origin due to switching”.
- Διεθνές Πρότυπο IEC 61643 – 12, “Low voltage surge protective devices – Part 12: SPDs connected to low voltage power distribution systems – Selection and application principles”,

5.2 Πρότυπα Υλικών

2.1 Υλικά Εξωτερικής Αντικεραυνικής Προστασίας

Τα προϊόντα που θα χρησιμοποιηθούν έχουν υποστεί με επιτυχία τις εργαστηριακές δοκιμές όπως προβλέπονται από τα κάτωθι πρότυπα :

- Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164 – 1, “Lightning Protection Components (LPC), Part 1 : Requirements for connection components”.
- Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164
 - 2, “Lightning Protection Components (LPC), Part 2 : Requirements for conductors, and earth electrodes”.

Τα ανωτέρω πρότυπα έχουν αντικαταστήσει τα αντίστοιχα εθνικά πρότυπα όπως: DIN (Γερμανίας), BS (Βρετανίας) κλπ.

2.2 Απαγωγοί Κρουστικών Υπερτάσεων

- Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 61643 – 11, “Low voltage surge protective devices – Part 11: SPDs connected to low voltage power distribution systems – Performance requirements and testing methods”.
- Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 61643 – 21, “Low voltage surge protective devices – Part 22: SPDs connected to telecommunication and signaling networks – Performance requirements and testing methods”.

Η συμμόρφωση των προϊόντων με τα ανωτέρω πρότυπα αποτελεί εγγύηση ποιότητας, αξιοπιστίας και ασφάλειας για την προδιαγραφόμενη χρήση.

5.3 Τεχνική Περιγραφή Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας

Η ανάγκη εγκατάστασης Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) και η επιλογή της κατάλληλης Στάθμης Προστασίας για το σχεδιασμό του, γίνεται βάσει του Προτύπου ΕΛΟΤ 1412/1998, όπου λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παραμέτρους (χρήση της κατασκευής, διαστάσεις, γεωγραφική θέση κλπ) η κατασκευή κατατάσσεται σε κάποια Στάθμη Προστασίας από την πιο αυστηρή I έως την πιο χαλαρή IV.

Στην περίπτωση ανάγκης εγκατάστασης ΣΑΠ προβαίνουμε στον σχεδιασμό της Αντικεραυνικής Προστασίας σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3 : 2006 και στην υλοποίησή της με υλικά που πρέπει να ικανοποιούν τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα EN 50164 – 1 και EN 50164 – 2.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω πρότυπα, το ΣΑΠ περιλαμβάνει το εξωτερικό και το εσωτερικό σύστημα.

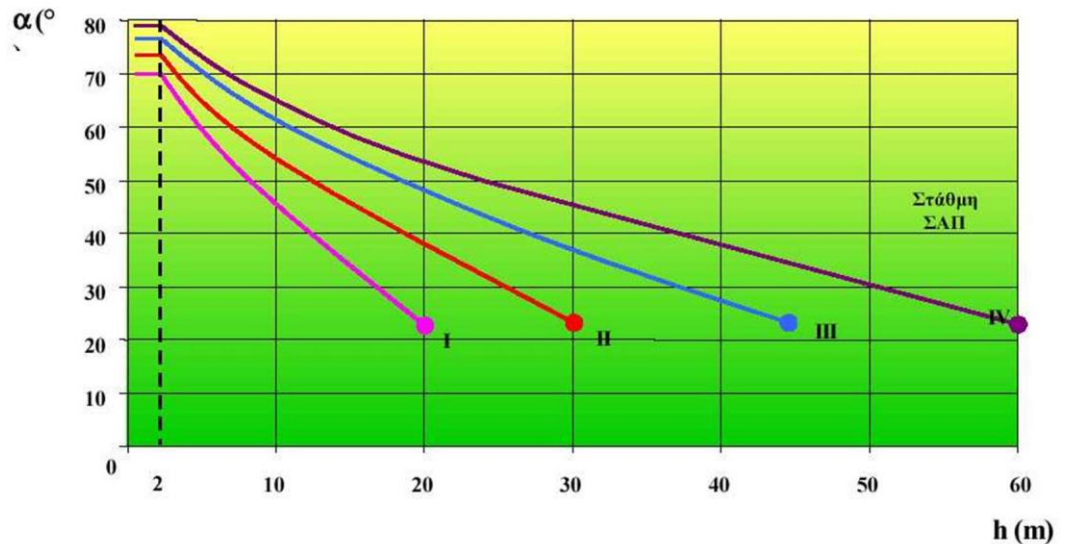
Το εξωτερικό σύστημα αποτελείται από :

1. Το συλλεκτήριο σύστημα που σκοπό έχει να συλλέξει το κεραυνικό ρεύμα και να το διοχετεύσει μέσω των αγωγών καθόδου στο σύστημα γείωσης με ασφάλεια. Αποτελείται από ράβδους (ακίδες), τεταμένα σύρματα, πλέγμα αγωγών (βρόχοι), μεμονωμένα ή σε συνδυασμό.
2. Τους αγωγούς καθόδου που σκοπό έχουν να οδηγήσουν το κεραυνικό ρεύμα από το συλλεκτήριο, με ασφάλεια στο σύστημα γείωσης. Αποτελείται από αγωγούς διατεταγμένους συνήθως περιμετρικά της κατασκευής ορατούς ή μη.
3. Το σύστημα γείωσης που σκοπός του είναι να επιτευχθεί η διάχυση του κεραυνικού ρεύματος μέσα στη γη, με ασφάλεια χωρίς να δημιουργούνται επικίνδυνες υπερτάσεις. Αποτελείται από οριζόντια ή κατακόρυφα ηλεκτρόδια γείωσης, τοποθετημένα εντός του εδάφους ή εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα.

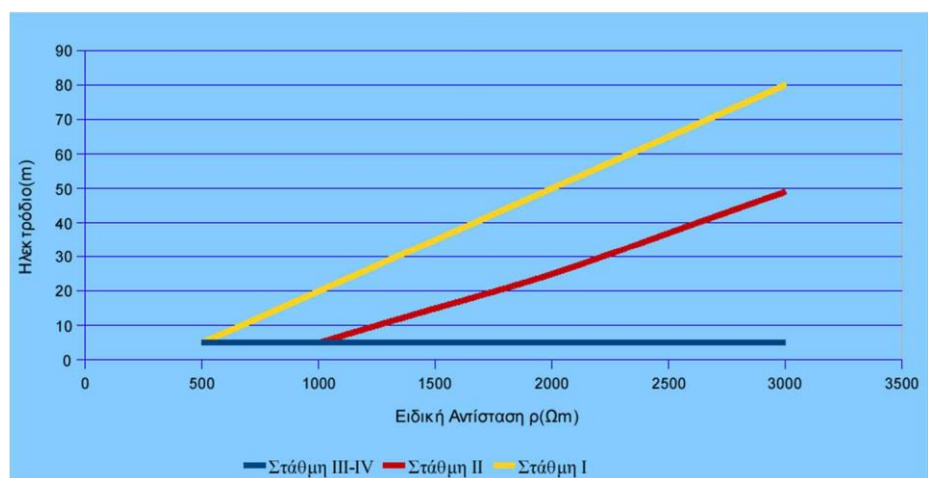
Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3 : 2006 :

α. Ανάλογα της απαιτούμενης στάθμης προστασίας οι διαστάσεις των βρόχων του συλλεκτηρίου συστήματος, η γωνία προστασίας ακίδος που πιθανόν να περιέχεται σε αυτό καθώς επίσης η μέση απόσταση των αγωγών καθόδου, ορίζονται στον πίνακα 1 και στο διάγραμμα 1.

ΣΤΑΘΜΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΒΡΟΧΩΝ (m)	ΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΚΑΘΟΔΟΥ (m)
I	5x5	10
II	10x10	10
III	15x15	15
IV	20x20	20



β. Ο σχεδιασμός του συστήματος γείωσης σε σχέση με την απαιτούμενη στάθμη προστασίας απαιτεί ελάχιστα μήκη ηλεκτροδίων που φαίνονται στο διάγραμμα 2. Τα ελάχιστα μήκη μπορούν να μη ληφθούν υπ' όψη με την προϋπόθεση ότι έχει επιτευχθεί μία αντίσταση γείωσης μικρότερη από 10Ω.



Ελάχιστο μήκος $L1$ οριζόντιων ηλεκτροδίων γείωσης, ανάλογα με τη στάθμη προστασίας και την ειδική αντίσταση του εδάφους, σύμφωνα με το Πρότυπο

ΕΛΟΤ EN62305-3:2006 .Οι στάθμες προστασίας *III* και *IV* είναι ανεξάρτητες από την ειδική αντίσταση του εδάφους. Για τα κατακόρυφα ηλεκτρόδια το ελάχιστο μήκος γειωτή είναι $0,5 L1$.

Το εσωτερικό σύστημα αποτελείται από:

A)Τις ισοδυναμικές συνδέσεις

Ο σκοπός των ισοδυναμικών συνδέσεων είναι να μειώσουν τις διαφορές δυναμικού μεταξύ των μεταλλικών μερών του υπό αντικεραυνική προστασία χώρου και να μειώσουν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται κατά την άμεση ή έμμεση κεραυνοπληξία, εντός αυτού.

B)Τους απαγωγούς κρουστικών υπερτάσεων

Με τον όρο Κρουστικές Υπερτάσεις εννοούμε τις απότομες αυξήσεις της απόλυτης τιμής του δυναμικού, η διάρκεια των οποίων κυμαίνεται από $\mu\text{seconds}$ μέχρι κάποια mseconds . Η αύξηση της απόλυτης τιμής δυναμικού, κυμαίνεται από μερικά Volts, μέχρι χιλιάδες Volts.

Γ)Οι πηγές των Κρουστικών Υπερτάσεων μπορεί να είναι φυσικές, όπως :

- Κεραυνοί (LEMP)
- Αστραπές
- Ηλεκτροστατικές εκφορτίσεις (DSD)

ή τεχνητές, όπως :

- Χειρισμοί διακοπών
- Βραχυκυκλώματα (SEMP) κλπ.

Αλλά και η έναυση των ημιαγωγικών στοιχείων όπως π.χ. των thiristors τα οποία με την σειρά τους δημιουργούν αρμονικές οι οποίες καταπονούν τα διηλεκτρικά των ευαίσθητων ηλεκτρονικών συσκευών.

Τα προβλήματα που δημιουργούν οι Κρουστικές Υπερτάσεις είναι :

- Πιθανή εστία επικίνδυνων καταστάσεων, σπινθήρες, πυρκαγιά, εκρήξεις, ηλεκτροπληξία
- Ολική καταστροφή συσκευών, καταστροφή των ηλεκτρικών μονώσεων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών – μηχανημάτων.
- Βαθμιαία φθορά συσκευών με καταπόνηση μονωτικών από υπερτάσεις, επίσπευση γήρανσης μονωτικών, μείωση ζωής συσκευών και μηχανημάτων.
- Απώλειες μνήμης “Πάγωμα” οθονών, επανεκκίνηση ηλεκτρονικών συσκευών κλπ.

5.4 Τρόποι αντιμετώπισης των Κρουστικών Υπερτάσεων

Τοποθετώντας σε κατάλληλη θέση στο ηλεκτρικό δίκτυο κατάλληλους απαγωγούς κρουστικών υπερτάσεων επιτυγχάνεται η προστασία των ηλεκτρικών – ηλεκτρονικών συσκευών με την εξομάλυνση του φαινομένου.

5.5 Λειτουργία Απαγωγών Κρουστικών Υπερτάσεων.

Οι απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων είναι συσκευές που σε ονομαστικές τάσεις του δικτύου ή σε μικρές υπερτάσεις αυτού, παρουσιάζουν εσωτερική αντίσταση σχεδόν άπειρη ενώ όταν η τιμή της τάσης του δικτύου υπερβεί κάποια τιμή, όπως συμβαίνει στην περίπτωση διέλευσης κρουστικής τάσης, τότε η εσωτερική αντίσταση μικραίνει ακαριαία και τείνει στο μηδέν, οδηγώντας την επικίνδυνη υπέρταση στη γείωση καθ’ όλη την χρονική διάρκεια που εφαρμόζεται στο δίκτυο.

Μετά την παρέλευση του φαινομένου και επαναφορά της τάσης του δικτύου στα φυσιολογικά επίπεδα, ο απαγωγός ανακτά την αρχική του άπειρη

αντίσταση προστατεύοντας την εγκατάσταση από το καταστροφικό κεραυνικό ρεύμα ενώ παράλληλα εξασφαλίζει την αδιάλειπτη λειτουργία της εγκατάστασης.

Τα βασικά χαρακτηριστικά για την επιλογή ενός απαγωγού Κρουστικών Υπερτάσεων είναι :

1. Ur: Παραμένουσα τάση ή τάση διάσπασης που πρέπει να είναι χαμηλότερη από την στάθμη μόνωσης της συσκευής.
2. UN: Ονομαστική τάση συνεχούς λειτουργίας που πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τάση του δικτύου. IN : Κρουστικό ονομαστικό ρεύμα διέλευσης.
3. Iimp ή Imax: Το μέγιστο κρουστικό ρεύμα διέλευσης που εξαρτάται από το αναμενόμενο κρουστικό ρεύμα διέλευσης στην θέση εγκατάστασης του Απαγωγού το οποίο υπολογίζεται με βάση το Διεθνές Πρότυπο IEC1312-1 και το Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ 1412. (Με το 1412 υπολογίζουμε την στάθμη και το αναμενόμενο κεραυνικό ρεύμα στην κατασκευή και με το 1312 την τιμή του ρεύματος που θα διαρρεύσει τους αγωγούς κλπ)

5.6 Επιλογή και τοποθέτηση των απαγωγών.

Οι απαγωγοί επιλέγονται σύμφωνα με το IEC 61312 λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχει καταμερισμός του κεραυνικού ρεύματος και ότι ένα μικρό ποσοστό αυτού τελικά οδεύει μέσα από καλωδιώσεις. Συγκεκριμένα σύμφωνα με το παραπάνω Πρότυπο το 50% του κεραυνικού ρεύματος οδεύει στη γείωση και το υπόλοιπο καταμερίζεται σε καλωδιώσεις και μεταλλικές σωληνώσεις που υπάρχουν.

Η τοποθέτησή τους πρέπει να γίνεται όσο δυνατόν πλησιέστερα στην υπό προστασία συσκευή. Η γείωση των απαγωγών που λαμβάνουν μέρος στην προστασία κάποιας συσκευής θα πρέπει να είναι κοινή.

Η καλωδίωση της γείωσης θα πρέπει να ακολουθεί την συντομότερη διαδρομή και να είναι όσο το δυνατό πιο ευθύγραμμη από τον απαγωγό προς τη γείωση.

5.7 Εξωτερική αντικεραυνική προστασία Φ/Β πάρκου .

Εξετάζοντας την ανάγκη εγκατάστασης ΣΑΠ και την επιλογή της Στάθμης Προστασίας στη συγκεκριμένη κατασκευή, σύμφωνα με τα ανωτέρω προκύπτει ότι:

Απαιτείται αντικεραυνική προστασία και η απαιτούμενη Στάθμη είναι III.

Η επιλογή Στάθμης με μεγαλύτερο βαθμό προστασίας, μειώνει το κόστος σε βάρος της ασφάλειας των εγκαταστάσεων. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305, χρησιμοποιώντας πολλαπλές ακίδες σύλληψης θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψη το βάθος διείσδυσης της κυλιομένης σφαίρας στην μεταξύ τους απόσταση. Πιο ακριβής υπολογισμός δίδεται από τη σχέση-

$$p = R - \sqrt{[R^2 - (d/2)^2]}$$

Οπού

p: Βάθος διείσδυσης

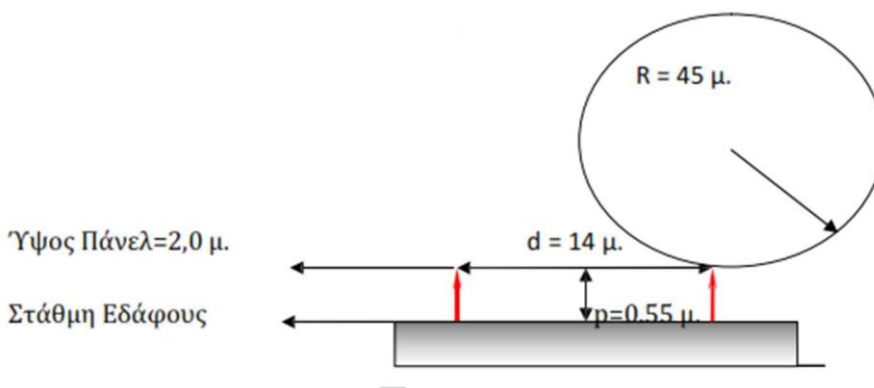
R: Ακτίνα κεραυνικής σφαίρας

d: Απόσταση ακίδων

Για

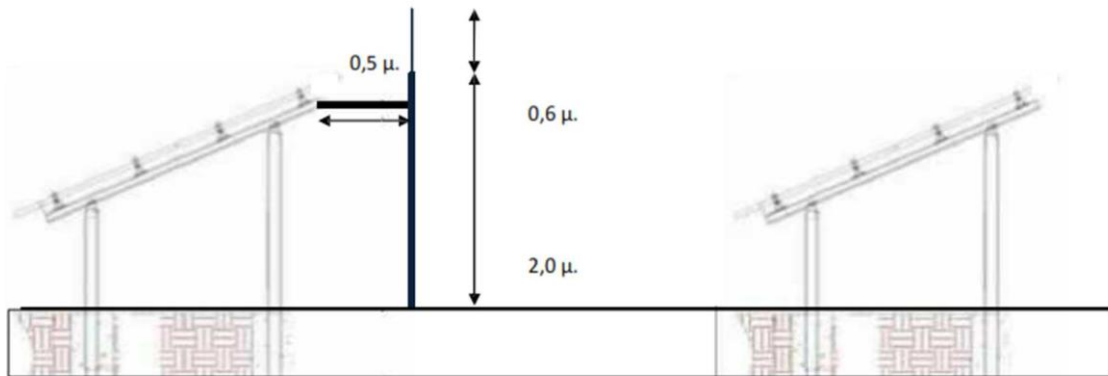
$R = 45 \mu.$, $d = 14 \mu.$

Προκύπτει $p = 0,55 \mu.$



5.8 Συλλεκτήριο Σύστημα

Επιλέγεται εγκατάσταση **ακίδων σύλληψης(αλεξικέραυνο Franklin)** αλουμινίου **Φ16/Φ10x2.600mm Al** με ειδικό σύστημα στήριξης της ακίδας στο πίσω τμήμα της βάσης των panel από ηλεκτρομονωτικό υλικό (0,5μ.) και σύνδεσμο βαρέως τύπου. Συνίσταται η εγκατάσταση αποχετευτών κρουστικών υπερτάσεων κλάσης προστασίας T2 στο DC και T1+T2 στο AC καθώς και διαφορετική διάταξη γείωσης σχηματίζοντας πλέγμα διαστάσεων 20x20 μέτρα. Δεν απαιτείται αγωγός καθόδου από την ακίδα έως την βάση του Ιστού. Η κάθε ακίδα θα τοποθετείτε σε βάση από μπετόν 16Kg. Ως γείωση θα χρησιμοποιηθεί το σύστημα γείωσης που θα εγκατασταθεί. Θα απαιτηθούν 24 ακίδες.Το παραπάνω σχήμα δείχνει το σωστό τρόπο τοποθέτησης.



5.9 Αγωγοί Καθόδου

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305 – 3 (§ 5.3.5 & 5.5.2), τα μεταλλικά μέρη των Φ/Β πάνελ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φυσικοί αγωγοί καθόδου εφόσον πληρούν τις κάτωθι προϋποθέσεις:

- Η ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ των διαφόρων τμημάτων τους είναι αξιόπιστη.
- Οι διαστάσεις τους είναι τουλάχιστον ίσες με αυτές που καθορίζονται για τους τυποποιημένους συλλεκτήριους αγωγούς και τους αγωγούς καθόδου.

5.10 Σύστημα Γείωσης

Το σύστημα γείωσης κατασκευάζεται με ταινία σύμφωνα με τα EN 50164-2 σε μορφή κλειστού δακτυλίου περιμετρικά της κατασκευής σε απόσταση περίπου 2m από την άκρη των βάσεων στήριξης των πάνελ εντός χάνδακος καθώς και ανάμεσα στις σειρές των panels σε ίδια απόσταση από αυτές, κατά EN50164-1 & EN 50164-2.

Η σύνδεση των γειωτών με το μεταλλικό πλαίσιο πραγματοποιείται με γωνιακούς ακροδέκτες κατά EN50164 – 1 (100KA, 10/350μs) και αντίστοιχους αγωγούς.

Η ταινία τοποθετείται επί ορθοστατών ανά 2m περίπου με τη μεγάλη της επιφάνεια κάθετη. Η γείωση συνδέεται με τις καθόδους με σφικτήρες κατά EN 50164 – 1 (100KA, 10/350μs)

Επίσης περιμετρικά του πάρκου, εφόσον θα υπάρχουν ιστοί φωτισμού και κάμερες ασφαλείας τοποθετείται ακίδα Franklin κατά EN 50164 – 1 και EN 50164 – 2, μήκους σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 62305 – 3 : 2006 η οποία συνδέεται με κατάλληλο σφικτήρα με τον αγωγό γείωσης Φ10 mm St/tZn, ο οποίος καταλήγει στο ηλεκτρόδιο γείωσης τύπου St/tZn διατομής σταυρού 50x1500 mm.

5.10 Πίνακας Υλικών για την αντικεραυνική προστασία της εγκατάστασης

α/α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Ταινία (λάμα) St/tZn, διαστ. 30x3,5 mm, επιψευδαργυρωμένη εν θερμώ (500gr/m ²), σε coils ,DIN 48801
2	Στηρίγματα κατακορ. συγκρατ. ταινιών St/tZn μήκους 250mm τύπου «πασσάλου»
3	Αγωγός αναμονών κυκλικής διατομής,Φ10mm χαλύβδινος επιψευδαργυρωμένος εν θερμώ, σε coils, DIN 48801
4	Σύνδεσμοι Β.Τ. ταινιών 30X3,5mm St/tZn , 30/30 τριών πλακιδίων, διαστ. 60X60X4mm (ενδιάμεσο πλακίδιο πάχους
5	Σύνδεσμοι Β.Τ. St/tZn , Φ8-10/30 τριών πλακιδίων, διαστ. 60X60X4mm (ενδιάμεσο πλακίδιο πάχους 2mm), DIN 48845K
6	Σύνδεσμοι /ακροδέκτες γεφύρωσης , Φ8-10 ,γωνιακοί St/tZn ,επιψευδαργυρωμένοι εν θερμώ, DIN 48837D
7	Αγωγός πολύκλωνος 50 # Cu ,DIN 48801
8	Ηλεκτρόδια γείωσης St/E-Cu, , Φ14X1500mm με 250 μm
9	Σύνδεσμοι σύσφιξης ηλεκτροδίου με αγωγό γείωσης , από χυτό ορείχαλκο με κοχλία ηλεκτρολυτικά επιχαλκωμένοι Φ14
10	Φρεάτιο γείωσης 30X30X30 cm
11	Διμεταλλικοί σύνδεσμοι ταινιών 30 St-tZn με Φ8-10 Cu , με παρεμβολή ενδιάμεσου ανοξειδωτου πλακιδίου
12	Εξισωτικός ζυγός εξωτερικού χώρου INOX OBO

Παρακάτω παρατείθονται φωτογραφίες της συγκεκριμένης εγκατάστασης





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6-ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 1ΜWp ΠΟΥ ΥΠΕΣΤΗ ΚΕΡΑΥΝΙΚΟ ΠΛΗΓΜΑ.

6.1 Έκθεση Τεχνικού Ελέγχου-Επιθεώρηση Πιστοποίησης Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης ισχύος 1ΜWp

Για να εξασφαλιστεί ένας λεπτομερής έλεγχος πιστοποίησης, εξετάστηκε ολόκληρο το φωτοβολταϊκό πάρκο, ξεκινώντας από τα Φ/Β πλαίσια μέχρι την σύνδεση της εγκατάστασης με το δίκτυο με ειδική μέριμνα στην ασφάλεια κατά την λειτουργία της εγκατάστασης. Βάση αυτής της επιθεώρησης είναι οι κανόνες της τεχνικής καθώς και η αντίστοιχη εθνική και διεθνής νομοθεσία που διέπει αυτού του είδους τις εγκαταστάσεις.

Μέρος της επιθεώρησης είναι η ανασκόπηση της τεχνικής τεκμηρίωσης του έργου, όπως παρασχέθηκε από τον κατασκευαστή. Εξετάζεται η ορθότητα της μελέτης καθώς και η σχέση της με το κατασκευασθέν έργο.

Κατά την επιθεώρηση έγιναν συγκεκριμένα οι παρακάτω έλεγχοι:

- Εξέταση του συνολικού σχεδιασμού βάσει των υποβληθέντων εγγράφων (**Παράρτημα 4**).
- Εξέταση της ασφάλειας και της ορθής λειτουργίας της εγκατάστασης, ταυτοποίηση και καταγραφή των ελαττωμάτων (**Παραρτήματα 2,3**).
- Ηλεκτρικές μετρήσεις για να αποδειχθεί η ορθή και ασφαλή λειτουργία του Φ/Β πάρκου. (**Παραρτήματα 5 & 6**)
- Μετρήσεις στα μηχανολογικά μέρη της εγκατάστασης

Μέρος της επιτόπου (on site) επιθεώρησης είναι ένας ολοκληρωμένος οπτικός έλεγχος της εγκατάστασης με έμφαση στα ακόλουθα στοιχεία:

- Φωτοβολταϊκά πάνελ
- Σύστημα στήριξης
- Σύστημα γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας
- Καλωδιώσεις
- Αναστροφείς

- Σύστημα τηλεμετρίας και μετεωρολογικός σταθμός
- Εξοπλισμός ασφαλείας

Τα αποτελέσματα της επιθεώρησης και των μετρήσεων παρουσιάζονται στη συνέχεια. Η παρούσα έκθεση αποτελεί το αποτέλεσμα του ελέγχου βασισμένο στα διαθέσιμα έγγραφα στις ΧΧ/ΧΧ/2014.

Η εγκατάσταση είναι **1MWp** Φωτοβολταϊκό πάρκο, συνδεδεμένο με Τάση τροφοδοσίας **20kV**(μέση τάση).

6.1.1 Σύγκριση με την Τεχνική Τεκμηρίωση

Γενικά

Τα επιμέρους στοιχεία του φωτοβολταϊκού συστήματος αναφέρονται και περιγράφονται στα σχέδια και στα φύλλα δεδομένων. Η εξέταση των εγγράφων μας δείχνει ότι:

Τα υπό εξέταση μέρη της Φ/Β εγκατάστασης δοκιμάστηκαν και συγκρίθηκαν σε σχέση με τα διαθέσιμα έγγραφα και είναι συνεπή με την καθορισμένη και τεκμηριωμένη πληροφορία. Οι διατομές των καλωδίων αντιστοιχούν, στο βαθμό που ήταν δυνατό να ελεγχθούν, στα σχέδια.

Όσον αφορά όμως το εξωτερικό Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας, ενώ υπάρχει αναλυτική μελέτη και τεκμηρίωση η οποία έχει ακολουθηθεί στο σύνολο της εγκατάστασης (πίνακες, Υποσταθμός, Μέση Τάση κτλ) δεν έχουν εγκατασταθεί οι ακίδες του συλλεκτηρίου συστήματος για τα Φ/Β πάνελ (έχει εγκατασταθεί πλήρως το ΣΑΠ στους οικίσκους).

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο ελέγχου έγιναν στο σύνολο της DC εγκατάστασης οι μετρήσεις τάσης ανοικτού κυκλώματος και τάσης mpp λειτουργίας, ρεύματος βραχυκύκλωσης και ρεύματος mpp λειτουργίας καθώς και αντίστασης μόνωσης. Σε μεμονωμένες συστοιχίες πανέλων έγιναν και μετρήσεις καμπύλων I – V. Όπου είναι δυνατόν λόγω συνθηκών, οι μετρήσεις παρουσιάζονται ανηγμένες και σε συνθήκες STC (Standard Test Conditions).

Σε αρκετά μέρη της εγκατάστασης έγιναν και μετρήσεις της τιμής της γείωσης ώστε να εξασφαλιστεί ότι όλα τα βαρύστρω μπορούν (ή μπορούσαν) να δουλέψουν σωστά.

Λεπτομερής περιγραφή

Φ/Β πανέλο

	Τεκμηρίωση	Εγκατάσταση	Συμμόρφωση
Είδος :	STP280-24/Vd	STP280-24/Vd	OK
Κατασκευαστής:	Suntech	Suntech	OK
Εγκαταστάτης:			OK

Οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν πιστοποιηθεί σύμφωνα με τα φύλλα δεδομένων IEC/IEC 61215 και IEC/IEC 61730 και είναι κατάλληλοι για τη συγκεκριμένη περιοχή εφαρμογής.

Σύμφωνα με τα στοιχεία, οι ηλιακοί συλλέκτες είναι επίσης εξοπλισμένοι με μια μηχανική ικανότητα φορτίου μέχρι 5400 Pa, μια ολοκληρωμένη πιστοποίηση διαχείρισης ποιότητας (κατά ISO: 9001:2008, OHSAS18001:2007 και ISO 14001:2004) και εγγύηση απόδοσης 10 έτη.

Βάση στήριξης

	Τεκμηρίωση	Εγκατάσταση	Συμμόρφωση
Κατασκευαστής:	HILTI	HILTI	OK
Εγκαταστάτης:	HILTI	HILTI	OK

Για το σύστημα στήριξης παρασχέθηκαν η γεωλογική και η στατική μελέτη. Τα pull out test έγιναν με επιτυχία και έχει εκδοθεί και πιστοποιητικό για την συγκεκριμένη εγκατάσταση από τον κατασκευαστή των βάσεων.

Καλώδια και γραμμές

	Τεκμηρίωση	Εγκατάσταση	Συμμόρφωση
Καλώδιο Solar:	-	-	
Εγκαταστάτης:			OK
Διατομή:	6 mm ²	6 mm ²	OK

AC Καλώδιο	NYΥ (J1VV-R)	NYΥ (J1VV-R)	
Εγκαταστάτης:			OK
Διατομή:	3x(2x240) mm ²	3x(2x240) mm ²	OK
Παροχικό Καλώδιο	XLPE 20Kv	XLPE 20kV	
Εγκαταστάτης:			OK
Διατομή:	3x1x50 mm ²	3x1x50 mm ²	OK

Όλα τα καλώδια (DC και AC) κατάλληλα για την αντίστοιχη εφαρμογή τους και σχεδιασμένα για 20-ετή διάρκεια ζωής. Τα καλώδια έχουν σχεδιαστεί για την υψηλότερη ονομαστική τάση, η οποία προκύπτει από τη διορθωμένη τάση ανοικτού κυκλώματος στο αντίστοιχο σημείο σύνδεσης.

Η επιλογή των διατομών έγινε βασιζόμενη στους υπολογισμούς απωλειών. Οι υπολογισμοί είναι ακριβείς και σύμφωνα με τα πρότυπα και τους κανονισμούς.

Αναστροφείς

	Τεκμηρίωση	Εγκατάσταση	Συμμόρφωση
Είδος :	2x Xantrex GT500E	2x Xantrex GT500E	Not OK
Κατασκευαστής:	Schneider Electric	Schneider Electric	OK
Εγκαταστάτης:			OK

Οι αναστροφείς είναι κατάλληλοι για τον τύπο πλαισίων που χρησιμοποιούνται στην εγκατάσταση. Οι αναστροφείς φέρουν όλα τα απαραίτητα πιστοποιητικά για την σύνδεσή τους στο εθνικό δίκτυο.

Εγκαταστάσεις ασφαλείας

Για την αποτροπή κλοπής ή εισβολής στο χώρο εγκαταστάθηκε ένα σύστημα ασφαλείας, που αποτελείται από ζώνες ανίχνευσης κίνησης (beams) και κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης (CCTV) ο οποίος περιβάλλει ολόκληρη την εγκατάσταση. Επιπλέον, υπάρχουν ετικέτες προειδοποίησης που αναρτώνται στο φράχτη, οι οποίες προειδοποιούν για την ύπαρξη συστήματος παρακολούθησης βίντεο.

6.1.2 Συνολική επισκόπηση του έργου

Γενικά

Στην Φ/Β διάταξη είναι τοποθετημένοι 2 αναστροφείς. Η κλίση των πλαισίων και ο προσανατολισμός τους (αζιμούθιο) είναι επιλεγμένα με σκοπό τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και τις δυνατότητες χωροθέτησης εντός του συγκεκριμένου οικοπέδου. Η διασύνδεση των πλαισίων οδηγεί σε ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που αντιστοιχούν στις παραμέτρους εισόδου του αναστροφέα.

Λεπτομερής περιγραφή

Χώρος εγκατάστασης: Γήπεδο

Κλίση πλαισίων: 25°

Προσανατολισμός: Νότιος

Αριθμός πλαισίων συνολικά: 3564

Αριθμός πλαισίων σε σειρά: 18

Αριθμός συστοιχιών: 198

Αριθμός αναστροφέων: 2

Τάση σύνδεσης: 20kV

Λεπτομέρειες διαστασιολόγησης:

Συστοιχία με 18 πλαίσια

V_{MPP} στους -10°C [V]	666,9
V_{MPP} στους $+70^{\circ}\text{C}$ [V]	590,8
V_{OC} στους -10°C [V]	848,7
I_{sc} στους $+70^{\circ}\text{C}$ [A]	8,3

Για αναστροφή Xantrex GT500E

$U_{DC, MPP}$ [V]	633,6
$U_{DC, Max}$ [V]:	806,4
$I_{DC, Max}$ [A]:	826,5
Βαθμός απόδοσης AC/DC (EURO/CEC):	97,6% / 98,1%

Εκτίμηση: OK

6.1.3 Επιτόπιος έλεγχος

Τα αποτελέσματα των ελέγχων και των μετρήσεων συνοψίζονται παρακάτω και απεικονίζονται στα παραρτήματα. Κατά την διάρκεια του επιτόπιου ελέγχου το Φ/Β πάρκο ήταν ήδη συνδεδεμένο στο δίκτυο και παρήγαγε ηλεκτρική ενέργεια.

Γενικά

Η τωρινή κατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος εξετάστηκε στο χώρο εγκατάστασης δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην ασφάλεια και τις λειτουργικές πτυχές του. Η ανάλυση καταλήγει στα ακόλουθα συμπεράσματα:

Το έργο γενικά έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με τους ισχύοντες νόμους και κανόνες της τεχνικής, εκτός από μία παράλειψη στην κατασκευή του εξωτερικού Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας που ενώ είχε προβλεφθεί στις μελέτες και το συμφωνητικό, δεν ολοκληρώθηκε η κατασκευή του. Επιπλέον, μετά από **ισχυρές κεραυνοπληξίες** στην περιοχή λόγω επαγωγικών ρευμάτων υπήρξε εμφάνιση ισχυρότατης υπέρτασης εντός των υποπινάκων DC με αποτέλεσμα να εδηλωθεί **πυρκαϊά** σε τρεις (3) από αυτούς.

Δεν εγκαταστάθηκε το εξωτερικό ΣΑΠ πλήρως σύμφωνα με τη μελέτη αντικεραυνικής προστασίας (απουσία εγκατάστασης ακίδων) (F1)

3 υποπίνακες DC έχουν δεχθεί έμμεσο κεραυνικό πλήγμα με αποτέλεσμα την εκδήλωση πυρκαϊάς στο εσωτερικό τους. (F2)

Με την εξάλειψη αυτών των αστοχιών η εγκατάσταση θα φτάσει σε ένα υψηλό επίπεδο ποιότητας που θα επιφέρει καλά αποτελέσματα για όλη τη διάρκεια της ζωής του έργου.

6.1.4 Ταξινόμηση Ευρημάτων

Στην ακόλουθη λίστα συνοψίζονται και κατηγοριοποιούνται όλα τα ευρήματα από την on-site επιθεώρηση. Τα ευρήματα απαριθμούνται και επιπλέον δίδεται η συχνότητα επανάληψής τους καθώς και η κατάταξή τους. Οι «Μη συμμορφώσεις» είναι σφάλματα τα οποία πρέπει να διορθώνονται άμεσα καθώς θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια της εγκατάστασης και των ανθρώπων που βρίσκονται στο Φ/Β πάρκο. Τα «Ουσιώδη σφάλματα» είναι σχετικά με την ορθή λειτουργία της εγκατάστασης και την ασφάλεια των χειρισμών και πρέπει να αντιμετωπίζονται το συντομότερο δυνατόν. Τα «Δευτερεύοντα ευρήματα» δεν επηρεάζουν την απόδοση ή την ασφάλεια της εγκατάστασης. Πρέπει ωστόσο κατά τη διάρκεια της συντήρησης της εγκατάστασης να επιδιορθωθούν ώστε να αποκλειστεί το μελλοντικό ενδεχόμενο αρνητικής επίδρασης στη λειτουργία του έργου. Τέλος επισημαίνονται κάποια ευρήματα ως «Κριτικά σχόλια» τα οποία δεν ταξινομούνται ως ελαττώματα καθώς δεν επηρεάζουν την ασφάλεια και τη λειτουργία της εγκατάστασης. Επειδή όμως ενδέχεται να παίξουν ρόλο στην διαχείριση ή την συντήρηση της εγκατάστασης άπτεται στην κρίση του κυρίου του έργου η αντιμετώπισή τους.

α/α	ΕΥΡΗΜΑ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΚΑΤΑΤΑΞΗ	Παράδειγμα	
				Φωτο.	Σειρά
F1	Δεν εγκαταστάθηκε το εξωτερικό ΣΑΠ πλήρως σύμφωνα με τη μελέτη αντικεραυνικής προστασίας (απουσία εγκατάστασης ακίδων)	Γενικό	Μη συμμόρφωση	3308	Σύστημα στήριξης
F2	3 υποπίνακες DC έχουν δεχθεί έμμεσο κεραυνικό πλήγμα με αποτέλεσμα την εκδήλωση πυρκαϊάς στο εσωτερικό τους	Συχνό	Μη συμμόρφωση	3253	DC πίνακας

6.1.5 Ηλεκτρικοί έλεγχοι

Ο σχεδιασμός της γείωσης και των ισοδυναμικών αντιστοιχούν σε ένα υψηλό επίπεδο ποιότητας. Επίσης μετρήθηκαν τυχαία δείγματα αντιστάσεων γείωσης τα οποία παρατίθενται στο παράρτημα 5.

Έγιναν στο σύνολο της DC εγκατάστασης οι μετρήσεις τάσης ανοικτού κυκλώματος και τάσης μηρρ λειτουργίας, ρεύματος βραχυκύκλωσης και ρεύματος μηρρ λειτουργίας καθώς και αντίστασης μόνωσης. Σε μεμονωμένες συστοιχίες πανέλων έγιναν και μετρήσεις καμπύλων I – V. Σε όλο το μέρος της AC εγκατάστασης έγιναν οι μετρήσεις αντίστασης μόνωσης, βρόχου σφάλματος και διάταξης διαφορικού ρεύματος (RCD). Σε διάφορα μέρη της εγκατάστασης έγιναν και μετρήσεις της τιμής της γείωσης.

Οι μετρήσεις (V_{oc} , I_{sc} , V_{mrr} , I_{mrr} , R_{iso}) έχουν μια ομοιογενή κατανομή των τιμών.

Οι μετρούμενες τιμές για V_{oc} και I_{sc} λαμβάνουν υπόψη τις διακυμάνσεις ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.

Οι μετρήσεις της αντίστασης μόνωσης υπερβαίνουν την ελάχιστη τιμή που απαιτείται για φωτοβολταϊκά συστήματα.

Στου πίνακες όπου εμφανίστηκε το επαγωγικό κεραυνικό πλήγμα, οι μετρήσεις έδειξαν ότι τα πανέλα δεν είχαν υποστεί οποιαδήποτε φθορά καθώς όντως με την εκτόνωση του κεραυνού μέσω του βαρύστρωρ δεν «πέρασε» υπέρταση στις συστοιχίες. Ωστόσο επειδή η φωτιά έχει δημιουργήσει μεγάλη επικάθιση κάπνας πάνω σε όλες τις επαφές και η εργοστασιακή εγγύηση δεν ισχύει πλέον, οι πίνακες πρέπει να αντικατασταθούν.

Η ισχυρή εκτόνωση του κεραυνικού πλήγματος μέσω του βαρύστρωρ συνέβει λόγω της ισχύος των επαγωγικών ρευμάτων και όχι λόγω αστοχίας της γείωσης ή του βαρύστρωρ καθώς όλες οι μετρήσεις στους κατεστρεμμένους πίνακες έδειξαν ότι η γείωση είχε τιμή χαμηλότερη του 1 Ohm.

Με τις δειγματοληπτικές μετρήσεις καμπύλων I – V που έγιναν στις συστοιχίες αποδεικνύεται ότι δεν υπάρχει βλάβη των πανέλων καθώς η, κατά μέσο όρο, απόκλιση από την ονομαστική τιμή είναι μικρότερη του 3% και η μορφή των καμπύλων είναι πάντα ομαλή.

6.1.6 Γενική αξιολόγηση και απολογισμός

Στο συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό πάρκο έγινε αξιολόγηση του σχεδιασμού, της τεχνικής τεκμηρίωσης και της εγκατάστασης.

Η εγκατάσταση δοκιμάστηκε για την ασφάλειά της και την λειτουργικότητά της και η συνολική εκτίμηση έχει ως ακολούθως:

Τα σημαντικά ευρήματα πρέπει να διορθωθούν ώστε μετά τον επανέλεγχο που θα ακολουθήσει να είναι δυνατή η έκδοση πιστοποιητικού ορθής εγκατάστασης και λειτουργίας. Ειδική μέριμνα πρέπει να ληφθεί για την αντικατάσταση των DC υποπινάκων καθώς η ασφάλεια και η λειτουργικότητά τους δεν εξασφαλίζεται λόγω της πυρκαϊάς που εκδηλώθηκε εντός τους.

Για να διασφαλιστεί η συνεχής καλή λειτουργία του Φ/Β πάρκου πρέπει να εξασφαλιστεί συμβόλαιο συντήρησης της εγκατάστασης με περιοδικούς ελέγχους σε επαρκή χρονικά διαστήματα των ρευμάτων βραχυκύκλωσης, των τάσεων ανοιχτού κυκλώματος και της αντίστασης μόνωσης σε όλες τις γραμμές.

6.2 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Φωτογραφική τεκμηρίωση

ΕΡΓΟ: 1MWp



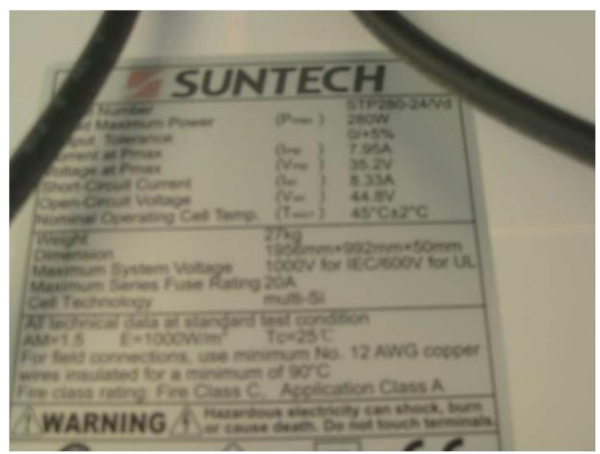
Φωτογραφία 1: Γενική άποψη



Φωτογραφία 2: Σύστημα στήριξης



Φωτογραφία 3: Φωτοβολταϊκό πάνελ



Φωτογραφία 4: Πινακίδα στοιχείων Φ/Β πάνελ



Φωτογραφία. 5: DC υποπίνακας



Φωτογραφία. 6: Πινακίδα στοιχείων DC υποπίνακα



Φωτογραφία. 7: Inverter



Φωτογραφία. 8: Πινακίδα inverter



Φωτογραφία. 9: Μετασχηματιστής ιδιοκαταναλώσεων



Φωτογραφία. 10: Πινακίδα Μετασχηματιστή ιδιοκαταναλώσεων



Φωτογραφία. 11: Υποσταθμός



Φωτογραφία. 12: Σταθμός εκπομπής



Φωτογραφία. 13: Αισθητήρας ακτινοβολίας



Φωτογραφία. 14: Αισθητήρας θερμοκρασίας
Φ/Β πάνελ





Φωτογραφία. 15: Αισθητήρας ατμοσφαιρικής
θερμοκρασίας



Φωτογραφία. 16: Σύστημα ασφαλείας

6.3 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Ευρήματα

F1 Δεν εγκαταστάθηκε το εξωτερικό ΣΑΠ πλήρως σύμφωνα με τη μελέτη αντικεραυνικής προστασίας (απουσία εγκατάστασης ακίδων)			
Εύρημα	Σύστημα στήριξης	Φωτογραφία: 3308	
F2 3 υποπίνακες DC έχουν δεχθεί έμμεσο κεραυνικό πλήγμα με αποτέλεσμα την εκδήλωση πυρκαϊάς στο εσωτερικό τους			
Εύρημα	DC Πίνακας	Φωτογραφία: 3253	

6.4 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: Ταξινόμηση ευρημάτων

α/α	ΕΥΡΗΜΑ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΚΑΤΑΤΑΞΗ	Παράδειγμα	
				Φωτο.	Σημείο
F1	Δεν εγκαταστάθηκε το εξωτερικό ΣΑΠ πλήρως σύμφωνα με τη μελέτη αντικεραυνικής προστασίας (απουσία εγκατάστασης ακίδων)	Γενικό	Μη συμμόρφωση	3308	Σύστημα στήριξης
F2	3 υποπίνακες DC έχουν δεχθεί έμμεσο κεραυνικό πλήγμα με αποτέλεσμα την εκδήλωση πυρκαϊάς στο εσωτερικό τους	Συχνό	Μη συμμόρφωση	3253	DC πίνακας

6.5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: Τεχνική τεκμηρίωση

Τα παρακάτω έγγραφα παραδόθηκαν για την υποστήριξη της επιθεώρησης:

	Τίτλος του εγγράφου
Φωτοβολταϊκά πλαίσια	3.564 x Suntech STP280-24/Vd, 1.1 PV
Σύστημα στήριξης	Hilti MSP-AL, 1.2 HILTI
Αναστροφείας	2 x Xantrex GT500E, 1.3 Inv
Υποπίνακες DC	6 x SMA SSM24-21 & 4 x SMA SSM16-21, 1.4 JB-SSM
Καλώδιο συστοιχίας	1.5 String cable
Κύριο καλώδιο DC	1.6 SSM cable
AC καλώδιο χαμηλής τάσης	1.7 AC LV
AC καλώδιο μέσης τάσης	1.8 AC MV
Μετασχηματιστής	1.9 MV
Διακόπτης μέσης τάσης	1.10 MV Switch
Οικίσκος	1.11 Kiosk
Τηλεμετρία	PHX Control Center, 1.12 Monitoring
Αισθητήρας ακτινοβολίας	ISETmonocrystalline sensor, 1.13 irrS
Αισθητήρας θερμοκρασίας πλαισίων	ISET PT100, 1.14 Tmod
Αισθητήρας εξωτερικής θερμοκρασίας	ISET PT100, 1.15 Tamb
Πλαίσια	2.1 PV
Αναστροφείας	2.2 Inv
Φωτοβολταϊκά πλαίσια	3.1 PV
Σύστημα στήριξης	3.2 HILTI
Αναστροφείας	3.3 INV
Υποπίνακες DC	3.4 JB-SSM
Ηλεκτρικό διάγραμμα AC	4.1 AC
Ηλεκτρικό διάγραμμα DC	4.2 DC

Χωροθέτηση πλαισίων	4.3 PV Layout Σχέδιο
συστοιχιών	4.4 String Survey Σχέδιο
όδευσης καλωδίων	4.5 OdeushKalwdiwn Σχέδιο
γείωσης	4.6 SxedioGeiwshs Προφίλ
συστήματος στήριξης	4.7 Profil HILTI
Σχέδιο συστήματος ασφαλείας	4.8 CCTV
Σχέδιο σύνδεσης στοδίκτυο	4.1 AC and 4.2 DC
Χαρακτηριστικά υποσταθμού	4.11 Ypostathmos
Γεωλογική Μελέτη	5.1 Geo
Στατική Μελέτη Συστήματος Τοποθέτησης	5.2 Statics
Εκτίμηση Απόδοσης	5.3 Yield
Υπολογισμός απωλειών καλωδίων DC	6.1 Cable Losses
Πρωτόκολλο μετρήσεων συστοιχιών	6.2 I-V string
Μετρήσεις γείωσης	6.3 MetrhseisGeiwshs
Μέτρα προστασίας	6.4 Metra Prostasias
Περιγραφή συντήρησης	6.5 OM
Τεχνική Περιγραφή	6.6 Tech Description

6.6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5: Ηλεκτρικές Μετρήσεις

Κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης έγιναν μετρήσεις τιμής της γείωσης σε διάφορα σημεία του πάρκου και μετρήσεις διαφορικού ρεύματος (RCD), μετρήσεις βρόχου σφάλματος καθώς και μετρήσεις αντίστασης μόνωσης καλωδίων στο σύνολο της AC εγκατάστασης. Επίσης στο σύνολο της DC εγκατάστασης έγιναν μετρήσεις αντίστασης μόνωσης και τάσης ανοιχτού κυκλώματος και ρεύματος βραχυκύκλωσης οι οποίες παρατίθενται αναλυτικά με τις τιμές των παραμέτρων τους (και ανηγμένες σε συνθήκες STC). Τέλος δίδονται και οι μετρήσεις των καμπύλων I – V για κάποιες από τις συστοιχίες της εγκατάστασης

1 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING1 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

10.07.2014 11:30

Uoc/Isc

STC MEAS

Uoc 777V 721V

Isc 9.01A 8.26A

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 904W/m2

Tcell: 46.8°C

Module settings:

Module: SUNTECH280

Pmax: 280W

Umpp: 35.2V

Imp: 7.95A

Uoc: 44.8V

Isc: 8.33A

NOCT: 45.0°C

4.98mA/°C

0.149V/°C

-0.05%/°C

0.01Ohm (Ω)

Measurement settings:

Test std: IEC_60891

Irr. sens.: Pyran.

Irr. min.: 500

T. sensor: Tπαν.

Mod.Ser.: 21

Mod.Par.: 1

2 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING1 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

10.07.2014 11:35

RISO + ΑΠΟΔΕΚΤΟ

R: 20.5MΩ (Ω) Um: 1050V

Uiso: 1000V

Όριο: 1MΩ (Ω)

3 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING2 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

10.07.2014 11:30

Uoc/Isc

STC	MEAS
-----	------

Uoc 774V	718V
----------	------

Isc 8.94A	8.21A
-----------	-------

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 906W/m²

Tcell: 46.8°C

Module settings:

Measurement settings:

Module: SUNTECH280

Test std: IEC_60891

Pmax: 280W

Irr. sens.: Pyran.

Umpp: 35.2V

Irr. min.: 500

Imp: 7.95A

T. sensor: Τταν.

Uoc: 44.8V

Mod.Ser.: 21

Isc: 8.33A

Mod.Par.: 1

NOCT: 45.0°C alpha:

4.98mA/°C beta: -

0.149V/°C gamma:

-0.05%/°C Rs:

0.01Ω (Ω)

4 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING2 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

10.07.2014 11:35

RISO + ΑΠΟΔΕΚΤΟ

R: 43.6MΩ (Ω) Um: 1050V

Uiso: 1000V

Όριο: 1MΩ (Ω)

5 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING3 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

10.07.2014 11:30

Uoc/Isc

STC	MEAS
-----	------

Uoc 767V	711V
----------	------

Isc 9.02A	8.28A
-----------	-------

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 906W/m²

Tcell: 46.8°C

Module settings:

Module: SUNTECH280

Pmax: 280W

Umpp: 35.2V

Imp: 7.95A

Uoc: 44.8V

Isc: 8.33A

NOCT: 45.0°C

4.98mA/°C

0.149V/°C

-0.05%/°C

0.01Ω

Measurement settings:

Test std: IEC_60891

Irr. sens.: Pyran.

Irr. min.: 500

T. sensor: Τταν.

Mod.Ser.: 21

Mod.Par.: 1

6 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING3 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

10.07.2014 11:36

RISO + ΑΠΟΔΕΚΤΟ

R: 41.2MΩ Um: 1050V

Uiso: 1000V

Όριο: 1MΩ

7 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING4 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

10.07.2014 11:31

Uoc/Isc

STC MEAS

Uoc 776V 720V

Isc 8.92A 8.20A

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 906W/m²

Tcell: 46.8°C

Module settings:

Module: SUNTECH280

Pmax: 280W

Umpp: 35.2V

Measurement settings:

Test std: IEC_60891

Irr. sens.: Pyran.

Irr. min.: 500

Imp: 7.95A T. sensor: Τταν.
 Uoc: 44.8V Mod.Ser.: 21
 Isc: 8.33A Mod.Par.: 1
 NOCT: 45.0°C alfa:
 4.98mA/°C beta: -
 0.149V/°C gamma:
 -0.05%/°C Rs:
 0.01Ohm (Ω)

8 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING5 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*
 10.07.2014 11:31

Uoc/Isc

STC	MEAS
Uoc 770V	714V
Isc 9.01A	8.27A

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 906W/m2
 Tcell: 46.8°C

Module settings:	Measurement settings:
Module: SUNTECH280	Test std: IEC_60891
Pmax: 280W	Irr. sens.: Pyran.
Ump: 35.2V	Irr. min.: 500
Imp: 7.95A	T. sensor: Τταν.
Uoc: 44.8V	Mod.Ser.: 21
Isc: 8.33A	Mod.Par.: 1
NOCT: 45.0°C alfa:	
4.98mA/°C beta: -	
0.149V/°C gamma:	
-0.05%/°C Rs:	
0.01Ohm (Ω)	

9 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING5 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*
 10.07.2014 11:36

RISO + ΑΠΟΔΕΚΤΟ

R: 47.2MΩ (Ω) Um: 1050V
 Uiso: 1000V
 Όριο: 1MΩ (Ω)

10 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING6 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

10.07.2014 11:31

Uoc/Isc

STC	MEAS
Uoc 768V	712V
Isc 8.90A	8.18A

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 907W/m2

Tcell: 46.8°C

Module settings:

Measurement settings:

Module: SUNTECH280 Test std: IEC_60891

Pmax: 280W

Irr. sens.: Pyran.

Ump: 35.2V

Irr. min.: 500

Imp: 7.95A

T. sensor: Τταν.

Uoc: 44.8V

Mod.Ser.: 21

Isc: 8.33A

Mod.Par.: 1

NOCT: 45.0°C alfa:

4.98mA/°C beta: -

0.149V/°C gamma:

-0.05%/°C Rs:

0.01Ohm (Ω)

11 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING6 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

10.07.2014 11:38

RISO + ΑΠΟΔΕΚΤΟ

R: 50.3M Ω (Ω) Um: 1050V

Uiso: 1000V

Όριο: 1M Ω (Ω)

12 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING7 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

10.07.2014 11:31

Uoc/Isc

STC	MEAS
Uoc 770V	714V
Isc 9.01A	8.28A

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 907W/m2

Tcell: 46.8°C

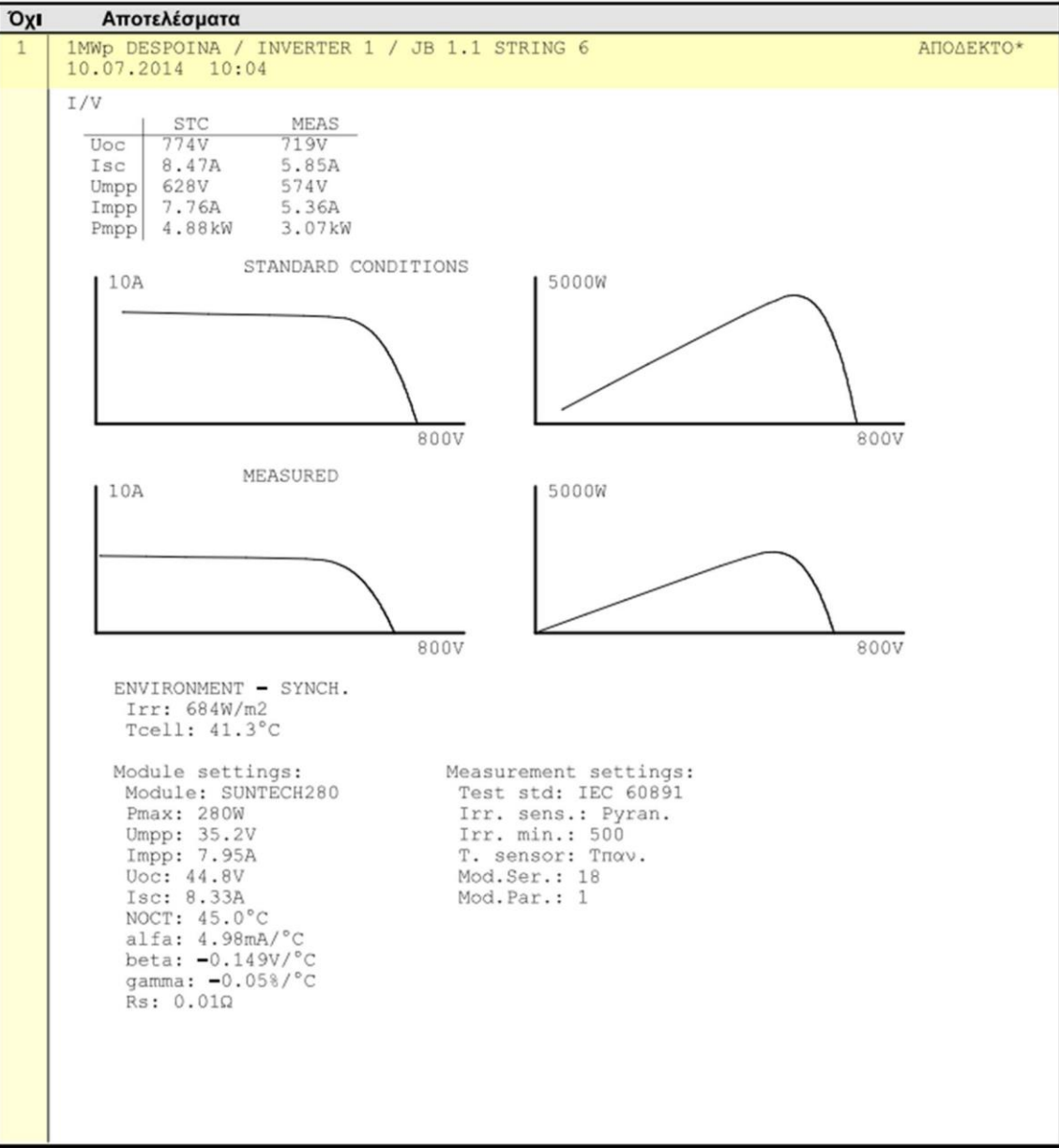
Module settings:	Measurement settings:
Module: SUNTECH280	Test std: IEC_60891
Pmax: 280W	Irr. sens.: Pyran.
Umpp: 35.2V	Irr. min.: 500
Imp: 7.95A	T. sensor: Τπαν.
Uoc: 44.8V	Mod.Ser.: 21
Isc: 8.33A	Mod.Par.: 1
NOCT: 45.0°C alfa:	
4.98mA/°C beta: -	
0.149V/°C gamma:	
-0.05%/°C Rs:	
0.01Ohm (Ω)	

- 13 1MW_p DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING7 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*
10.07.2014 11:38
RISO + ΑΠΟΔΕΚΤΟ
R: 17.32MΩ (Ω) Um: 1050V
Uiso: 1000V
Όριο: 1MΩ (Ω)
- 14 1MW_p DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 / STRING8 ΑΠΟΔΕΚΤΟ*
10.07.2014 11:31
Uoc/Isc
- | | |
|-----------|-------|
| STC | MEAS |
| Uoc 766V | 709V |
| Isc 8.97A | 8.22A |

6.7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: Καμπύλες I – V

(ΛΟΓΩ ΠΟΛΛΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΠΑΡΑΘΕΤΩ ΤΙΣ ΠΡΩΤΕΣ 5 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ-1.5.15)

String	Date	Time	P _{STC} [W] measured	P _{STC} [W] Nameplate	Deviation
1.1.6	10/07/2014	10:04	4.880	5.040	-3,17%
1.1.15	10/07/2014	10:05	5.020	5.040	-0,40%
1.1.22	10/07/2014	10:06	4.990	5.040	-0,99%
1.2.4	10/07/2014	11:42	4.770	5.040	-5,36%
1.2.7	10/07/2014	11:31	4.980	5.040	-1,19%
1.5.15	10/07/2014	12:19	4.590	5.040	-8,93%



ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

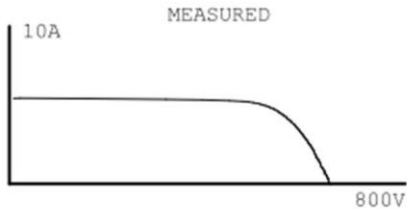
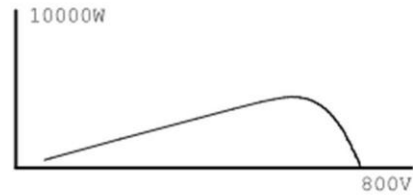
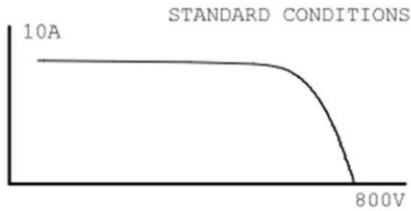
Όχι Αποτελέσματα

2 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.1 STRING 15
10.07.2014 10:05

ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

I/V

	STC	MEAS
Uoc	774V	719V
Isc	8.71A	6.04A
Ump	621V	567V
Imp	8.08A	5.60A
Pmp	5.02kW	3.17kW



ENVIRONMENT - SYNCH.
Irr: 686W/m²
Tcell: 41.3°C

Module settings:
Module: SUNTECH280
Pmax: 280W
Ump: 35.2V
Imp: 7.95A
Uoc: 44.8V
Isc: 8.33A
NOCT: 45.0°C
alfa: 4.98mA/°C
beta: -0.149V/°C
gamma: -0.05%/°C
Rs: 0.01Ω

Measurement settings:
Test std: IEC 60891
Irr. sens.: Pyran.
Irr. min.: 500
T. sensor: Tnov.
Mod.Ser.: 18
Mod.Par.: 1

3 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.1 STRING 22
10.07.2014 10:06

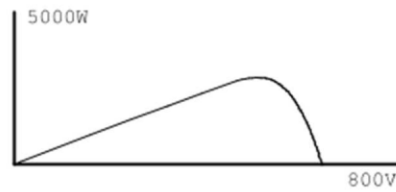
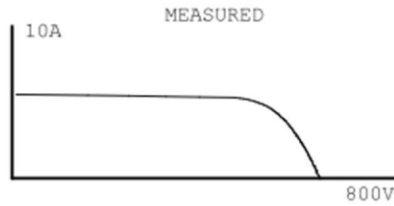
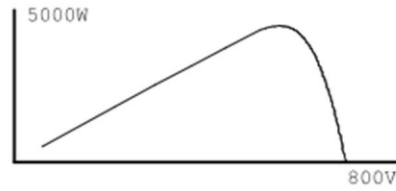
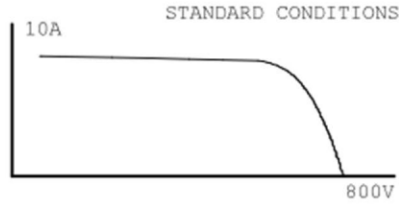
ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Όχι Αποτελέσματα

I/V

	STC	MEAS
Uoc	769V	713V
Isc	8.76A	6.12A
Umpp	616V	561V
Impp	8.09A	5.65A
Pmpp	4.99kW	3.17kW



ENVIRONMENT - SYNCH.
Irr: 691W/m2
Tcell: 41.8°C

Module settings:
Module: SUNTECH280
Pmax: 280W
Umpp: 35.2V
Impp: 7.95A
Uoc: 44.8V
Isc: 8.33A
NOCT: 45.0°C
alfa: 4.98mA/°C
beta: -0.149V/°C
gamma: -0.05%/°C
Rs: 0.01Ω

Measurement settings:
Test std: IEC 60891
Irr. sens.: Pyran.
Irr. min.: 500
T. sensor: Tnov.
Mod.Ser.: 18
Mod.Par.: 1

4 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 STRING 4
10.07.2014 11:42

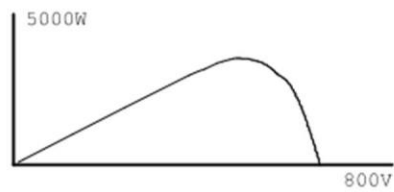
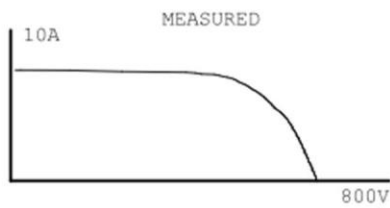
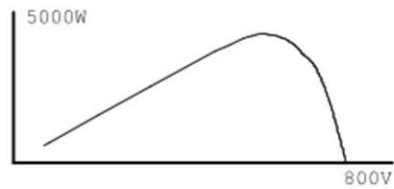
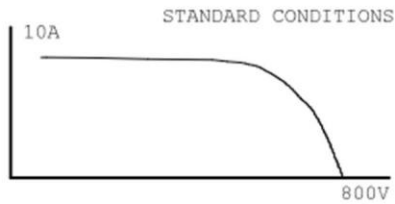
ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Όχι Αποτελέσματα

I/V

	STC	MEAS
U _{oc}	779V	718V
I _{sc}	8.89A	8.18A
U _{mpp}	585V	524V
I _{mpp}	8.15A	7.50A
P _{mpp}	4.77kW	3.93kW



ENVIRONMENT - SYNCH.
Irr: 907W/m²
T_{cell}: 48.8°C

Module settings:
Module: SUNTECH280
P_{max}: 280W
U_{mpp}: 35.2V
I_{mpp}: 7.95A
U_{oc}: 44.8V
I_{sc}: 8.33A
NOCT: 45.0°C
alpha: 4.98mA/°C
beta: -0.149V/°C
gamma: -0.05%/°C
R_s: 0.01Ω

Measurement settings:
Test std: IEC 60891
Irr. sens.: Pyran.
Irr. min.: 500
T. sensor: T_{nov}.
Mod.Ser.: 18
Mod.Par.: 1

5 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 STRING 7
10.07.2014 11:31

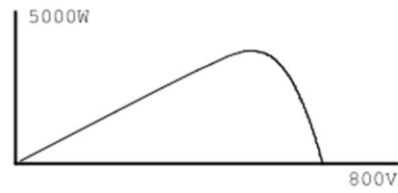
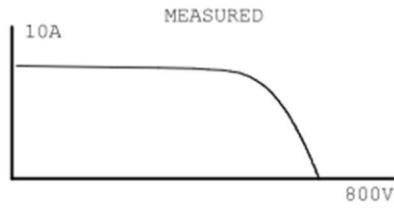
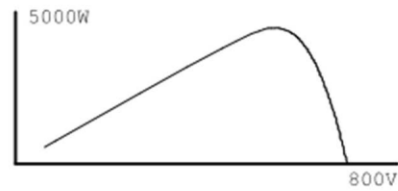
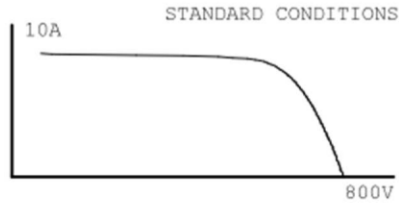
ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Όχι **Αποτελέσματα**

I/V

	STC	MEAS
Uoc	771V	713V
Isc	9.04A	8.28A
Ump	609V	552V
Imp	8.17A	7.49A
Pmp	4.98kW	4.13kW



ENVIRONMENT - SYNCH.
Irr: 904W/m²
Tcell: 47.3°C

Module settings:
Module: SUNTECH280
Pmax: 280W
Ump: 35.2V
Imp: 7.95A
Uoc: 44.8V
Isc: 8.33A
NOCT: 45.0°C
alfa: 4.98mA/°C
beta: -0.149V/°C
gamma: -0.05%/°C
Rs: 0.01Ω

Measurement settings:
Test std: IEC 60891
Irr. sens.: Pyran.
Irr. min.: 500
T. sensor: Tnov.
Mod.Ser.: 18
Mod.Par.: 1

6 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.2 STRING 15
10.07.2014 11:33

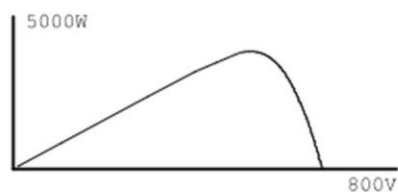
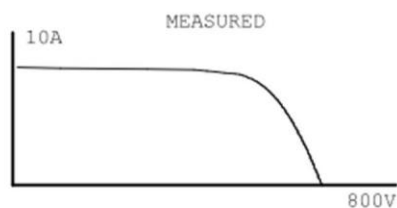
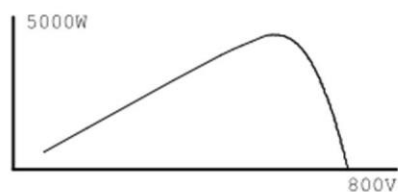
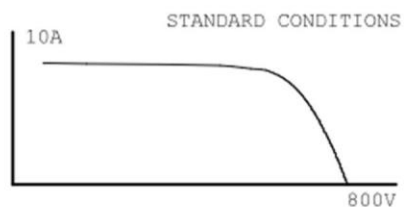
ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Όχι Αποτελέσματα

I/V

	STC	MEAS
Uoc	775V	715V
Isc	8.84A	8.56A
Ump	615V	555V
Imp	7.99A	7.73A
Pmp	4.91kW	4.29kW



ENVIRONMENT - SYNCH.
Irr: 954W/m²
Tcell: 49.3°C

Module settings:
Module: SUNTECH280
Pmax: 280W
Ump: 35.2V
Imp: 7.95A
Uoc: 44.8V
Isc: 8.33A
NOCT: 45.0°C
alfa: 4.98mA/°C
beta: -0.149V/°C
gamma: -0.05%/°C
Rs: 0.01Ω

Measurement settings:
Test std: IEC 60891
Irr. sens.: Pyran.
Irr. min.: 500
T. sensor: Tnov.
Mod.Ser.: 18
Mod.Par.: 1

15 1MWp DESPOINA / INVERTER 1 / JB 1.5 STRING 15
10.07.2014 12:19

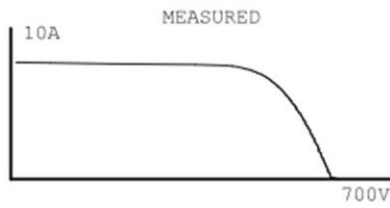
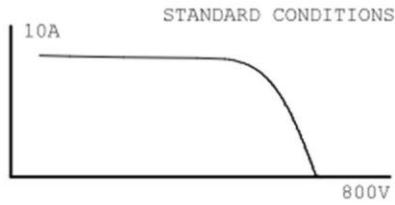
ΑΠΟΔΕΚΤΟ*

ΑΝΑΦΟΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Όχι **Αποτελέσματα**

I/V

	STC	MEAS
U _{oc}	728V	671V
I _{sc}	8.95A	8.61A
U _{mpp}	566V	509V
I _{mpp}	8.10A	7.80A
P _{mpp}	4.59kW	3.97kW



ENVIRONMENT - SYNCH.
Irr: 948W/m²
T_{cell}: 49.8°C

Module settings:
Module: SUNTECH280
P_{max}: 280W
U_{mpp}: 35.2V
I_{mpp}: 7.95A
U_{oc}: 44.8V
I_{sc}: 8.33A
NOCT: 45.0°C
alfa: 4.98mA/°C
beta: -0.149V/°C
gamma: -0.05%/°C
R_s: 0.01Ω

Measurement settings:
Test std: IEC 60891
Irr. sens.: Pyran.
Irr. min.: 500
T. sensor: T_{nov}.
Mod.Ser.: 18
Mod.Par.: 1

6.8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7: Λίστα οργάνων ελέγχου

Συσκευές Μέτρησης

1: Παράμετρος Μέτρησης	2: Συσκευή
<i>Τάση – V</i>	<i>Πολύμετρο Fluke 289</i>
<i>Ένταση – I</i>	<i>Αμπεροσιμπίδα Mastec, MS2138</i>
<i>Κλίση πανέλων</i>	<i>GemRed, Digital Level</i>
<i>Αντίσταση Γείωσης</i>	<i>Metrel, Eurotest PV MI 3108</i>
<i>Voc – Isc</i>	
<i>Καμπύλη I – V</i>	
<i>Αντίσταση Μόνωσης</i>	
<i>Βρόχος Σφάλματος</i>	
<i>Διατάξεις διαφορικού ρεύματος (RCD)</i>	

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στη μεγάλη πλειοψηφία τους βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές, καταλαμβάνοντας μεγάλες εκτάσεις, με τα φωτοβολταϊκά πάνελ εγκατεστημένα στην ύπαιθρο και τις αναγκαίες ευαίσθητες ηλεκτρονικές συσκευές προστασίας και ελέγχου εγκατεστημένες εντός του κτιρίου ελέγχου. Υπό τις συνθήκες αυτές οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις είναι εκτεθειμένες σε άμεσα ή έμμεσα κεραυνικά πλήγματα και στις σχετικές υπερτάσεις που αναπτύσσονται. Για το λόγο αυτό ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας στη φωτοβολταϊκή γεννήτρια αλλά και στο κτίριο ελέγχου κρίνεται απαραίτητη.

Η επιλογή της απαιτούμενης στάθμης προστασίας είναι αυτή που θα καθορίσει την εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας που έχει ως στόχο να συλλάβει τον κεραυνό και να περιορίσει στον ελάχιστο βαθμό τις επιζήμιες επιπτώσεις του. Η στάθμη III είναι αυτή που συνήθως απαιτείται. Ακόμα προκειμένου να περιοριστούν σε αποδεκτό βαθμό οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματος του κεραυνού είναι απαραίτητη και η εσωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας, ενώ σημαντικό ρόλο παίζουν η σωστή δρομολόγηση των καλωδίων και η μαγνητική θωράκιση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ICE 61024-1:1993 Protection of structures against lightning – Part 1: General principles- Section 1: Guide A: Selection of protection levels for lightning protection systems
- ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΣΤΗ ΠΡΑΞΗ- Κ.ΔΕΡΒΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΜΠ
- ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ ,Ι.Α.ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΕΩΝ
- IEC 61312-1: 1995 Protection against lightning electromagnetic impulse – Part 1: General principles.
- GLOBAL LIGHTING PROTECTION SOLUTIONS FOR SOLAR APPLICATIONS, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΕΛΕΜΚΟ
- IEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”, ANSI/IEE Std 80-2000
- ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ Διπλωματική Εργασία Διπλ.Ηλ.Μηχανικού Νικήτα Πεφάνη
- www.elemko.gr/documents/sap.asp
- www.elemko.gr/productioninfo.asp?langid=1&pageid
- www.shenh.gr/site/index.php?view=article&catid