



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ 1,9MW

ΚΑΡΑΘΑΝΑΣΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ, ΑΜ:6383

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2021

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού 1,9MW σε γήπεδο. Στην μελέτη θα γίνουν όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί, ο ορισμός των υλικών και οι συνεργασίες μεταξύ τους αλλά και με βάση τα εθνικά πρότυπα, η βελτιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η ελαχιστοποίηση του κόστους εγκατάστασης, η δημιουργία ικανών προϋποθέσεων αναβαθμισμένης συντήρησης και αδιάλειπτης λειτουργίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται λεπτομερώς η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γή και οι εξισώσεις υπολογισμού της ηλιακής ενέργειας που δέχεται η Γη. Παρουσιάζεται μέθοδος υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο καθώς και κεκλιμένο επίπεδο. Επιπλέον δίνεται το ηλιακό δυναμικό της Ευρώπης και της Κύπρου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή και τεχνική ανάλυση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί (φ/β πλαίσια, αντιστροφείς, βάσεις στήριξης, γειώσεις κλπ.), και δίνονται τα σχέδια του έργου.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η μελέτη κατασκευής φωτοβολταϊκού πάρκου με οικίσκους ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ισχύος 1,9MWp. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα παρακάτω:

- Τοποθεσία Χωροθέτηση – Υπολογισμός στοιχείων φωτοβολταϊκού πάρκου
- Αντικεραυνική προστασία – Γειώσεις
- Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών πάνελ
- Μετατροπέας (Inverter)
- Φωτοβολταϊκά πάνελ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	I
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	II
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	IV
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	IV
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	V
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	3
ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	3
2.1 Ηλιακη ακτινοβολια.....	3
2.2 Μέτρηση και υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας	5
2.3 Υπολογισμός ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	12
Ο ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ.....	12
3.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ	12
3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	12
3.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ (INVERTER).....	12
3.3.1 Η χρήση μετασχηματιστή στους αντιστροφείς.....	15
3.3.2 Οικογένειες αντιστροφών	16
3.3.3 Βέλτιστο σημείο λειτουργίας των Φ/Β πάνελ.....	23
3.3.4 Το φαινόμενο της νησιδοποίησης	24
3.3.5 Αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος και συντελεστής ισχύος	25
3.3.6 Έγχυση DC ρεύματος	27
3.3.7 Λειτουργία με περιορισμό ισχύος.....	28
3.3.8 Άλλα χαρακτηριστικά	28
3.4 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ.....	29
3.5 ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ μετασχηματιστών	30
3.6 ΟΙΚΙΣΚΟΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ/ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ.....	30
3.7 ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΤ & ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	30
3.8 ΜΟΝΑΔΑ ΑΔΙΑΛΕΙΠΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	30

3.9	Οικίσκος ηλεκτρονικού εξοπλισμού & διανομής μ.Τ. (control room)	30
3.10	ΚΥΤΙΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ DC	31
3.11	ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ DC (STRING)	31
3.12	ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ DC	31
3.13	ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ AC Μ.Τ.	34
3.14	Ο Ελεγκτής Φόρτισης Εκφόρτισης	34
3.15	ΣΥΣΤΗΜΑ τηλεμετρίας	35
3.16	εργα οδευσης καλωδιωσεων	35
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	36
4.1	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ	36
4.2	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	39
4.3	ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ (INVERTER).....	40
4.4	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	41
4.5	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	41
4.6	Υπολογισμός διατομών καλωδίων	44
4.6.1	Καλωδιώσεις συστοιχιών DC (STRING)	44
4.6.2	Μέγιστο συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα.....	45
4.6.3	Υπολογισμός πτώσης τάσης.....	45
4.6.4	Κεντρικές καλωδιώσεις DC	46
4.6.5	ΚΑΛΩΔΙΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ (20kV)	49
4.6.6	Αντοχή σε βραχυκύκλωμα	53
4.6.7	Υπολογισμός πτώσης τάσης.....	53
4.7	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ (ΣΑΠ)	54
4.7.1	Εξωτερικό ΣΑΠ εκτεταμένων Φ/Β πάρκων	54
4.8	Γείωση εκτεταμένων Φ/Β πάρκων	55
4.8.1	Ισοδυναμικές συνδέσεις	56
4.8.2	Προστασία μέσω απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων (SPDs)	56
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ INTERNET	59

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1.1	Επιλεκτική απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας με βάση το φάσμα	4
Εικόνα 2.2.1	Τα είδη της ηλιακής ακτινοβολίας	6
Εικόνα 2.3.1	Διάφορες γωνίες πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο	10
Εικόνα 3.3.1	Κεντρικός μετατροπέας 15	
Εικόνα 3.3.2	Κεντρικός μετατροπέας	17
Εικόνα 3.3.3	Μετατροπείς κλάδων	19
Εικόνα 3.3.4	Αντιστροφέας πολλαπλών κλάδων	19
Εικόνα 3.3.5	Αντιστροφείς για ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ.....	20
Εικόνα 3.3.6	Παραδείγματα διαγραμμάτων βαθμού απόδοσης αντιστροφέων ..	21
Εικόνα 3.3.7	Μεταβολή του συντελεστή ισχύος και της ολικής αρμονικής.....	27
Εικόνα 3.12.1	Τυπικά καλώδια φωτοβολταϊκών πλαισίων	31
Εικόνα 3.12.2	Σύνδεσμοι DC φωτοβολταϊκών καλωδίων	33
Εικόνα 4.1.1	Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου του οίκου Yingli, 235 Wp	36
Εικόνα 4.2.1	Οι βάσεις στήριξης.....	39
Εικόνα 4.3.1	Ο αντιστροφέας Sunny Central 630CP.....	40
Εικόνα 4.5.1	Προτεινόμενη διάταξη των ΦΒ στοιχείων	42
Εικόνα 4.5.2	Η γωνία τοποθέτησης των πάνελ	42
Εικόνα 4.8.1	Ολοκληρωμένες λύσεις συστήματος γείωσης και εξωτερικού ΣΑΠ εκτεταμένων Φ/Β πάρκων	56
Εικόνα 4.8.2	Ολοκληρωμένες λύσεις συστήματος γείωσης και εξωτερικού ΣΑΠ εκτεταμένων Φ/Β πάρκων	57
Εικόνα 4.8.3	Ολοκληρωμένες λύσεις συστήματος γείωσης και εξωτερικού ΣΑΠ εκτεταμένων Φ/Β πάρκων με tracker.....	58

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.3-1	: Σύγκριση αντιστροφέων με μετασχηματιστή και χωρίς μετασχηματιστή... ..	16
Πίνακας 4.1-1	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πάνελ (1 ^η στήλη)	37
Πίνακας 4.1-2	Θερμικά χαρακτηριστικά του πάνελ.....	37
Πίνακας 4.1-3	Μηχανικά χαρακτηριστικά του πάνελ	38
Πίνακας 4.3-1	Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα.....	40
Πίνακας 4.6-1	Επιτρεπόμενες εντάσεις ρευμάτων (πηγή :Leoni Studer).....	45
Πίνακας 4.6-2	Συντελεστές διόρθωσης με βάση τη θερμοκρασία(πηγή :Leoni Studer)....	45
Πίνακας 4.6-3	Πίνακας 52-Δ2:Συντελεστές διόρθωσης για θερμοκρασία εδάφους διαφορετική από 20°C.....	46

Πίνακας 4.6-4	Πίνακας 52-Δ3: Συντελεστές διόρθωσης για ειδική θερμική αντίσταση εδάφους διαφορετική από 2.5km/W	47
Πίνακας 4.6-5	Πίνακας 52-E3: Συντελεστές διόρθωσης για περισσότερα από ένα κυκλώματα με καλώδια θαμμένα κατευθείαν στο έδαφος.....	47
Πίνακας 4.6-6	Μέγιστες επιτρεπόμενες φορτίσεις (20°C) (Πηγή: HES© Cablo)	48
Πίνακας 4.6-7	Συντελεστές διόρθωσης f_1	51
Πίνακας 4.6-8	Συντελεστές διόρθωσης f_2	52

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4.6-1	όδευση των υπόγειων καλωδίων	48
Σχήμα 4.6-2	όδευση καλωδίων μέσης τάσης	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ιστορία των φωτοβολταϊκών ξεκίνησε το 1839 από τον Γάλλο επιστήμονα Becquerel. Ήταν τότε μόλις 19 ετών. Κάνοντας πειράματα πάνω στις χημικές αντιδράσεις διαφόρων στοιχείων παρατήρησε ότι τα διάφορα μίγματα απέδιδαν μεγαλύτερη ηλεκτρική έξοδο όταν τα εξέθετε στο ηλιακό φως. Το επόμενο βήμα μπροστά έγινε το 1870 όταν ο Γερμανός φυσικός Χερτς μελέτησε το φαινόμενο στα στερεά υλικά και συγκεκριμένα στο Σελήνιο και βρήκε αποδόσεις του υλικού της τάξης του 1 -2 %.

Το 1937 κατασκευάστηκε φωτοβολταϊκό στοιχείο από θειούχο μόλυβδο (PbS) από τους Fischer & Godden. Το 1939 κατασκευάστηκε φωτοβολταϊκό στοιχείο από Σελήνιο (Se) με απόδοση 1 %. Το 1941 κατασκευάστηκε το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο από πυρίτιο (Si).

Στην δεκαετία 1940/1950 ο Τσοχράλσκι ανέπτυξε τη διαδικασία παραγωγής μονοκρυστάλλων πυριτίου υψηλής καθαρότητας που έφτανε σε απόδοση κοντά στο 4 %. Τα επόμενα χρόνια οι εξελίξεις ήταν ραγδαίες και έφεραν την επιστήμη των φωτοβολταϊκών πολύ κοντά στην σημερινή της κατάσταση. Το 1954 οι Fuller, Pearson, Chapin ανακοίνωσαν την πρώτη κατασκευή ΦΒ στοιχείου Si με σχηματισμό επαφής p n , με διάχυση και απόδοση 6 %. Εκείνη την περίοδο τα φωτοβολταϊκά βγήκαν ουσιαστικά από τα εργαστήρια και άρχισε να διαδίδεται η χρήση τους. Το 1956 έγιναν εμπορικές κατασκευές κυρίως από κρυσταλλικό πυρίτιο (cSi). Αυτές οι κατασκευές είχαν μικρή απόδοση της τάξης του 5 10 % και πολύ μεγάλο κόστος, περίπου 1000 \$ το Wp.

Η πρώτη εφαρμογή των φωτοβολταϊκών στοιχείων έγινε στην τεχνητή φωτογραφία και συγκεκριμένα στην υλοποίηση του φωτόμετρου. Το 1958 χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά φωτοβολταϊκά στοιχεία για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς στον αμερικάνικο διαστημικό δορυφόρο Vanguard. Την ίδια χρονιά εκτοξεύτηκε Ρώσικος δορυφόρος με μοναδική

πηγή ενέργειας τα ηλιακά στοιχεία. Σήμερα αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται σε όλους τους δορυφόρους.

Το 1959 κατασκευάστηκε φωτοβολταϊκό στοιχείο από CdS με απόδοση 5%, το 1972 έχουμε την κατασκευή ιώδους ηλιακού στοιχείου Si με απόδοση 14% από τους Lindmayer & Allison και το 1977 την κατασκευή ηλιακού στοιχείου από GaAs με απόδοση 16% από τον Kameth.

Το 1981 γίνεται η πτήση πάνω από την Μάγλη του αεροπλάνου Solar Challenger εξοπλισμένου με 16.128 φωτοβολταϊκά στοιχεία Si συνολικής ισχύος 2,7kW και το 1983 έχουμε την έναρξη λειτουργίας φωτοβολταϊκού σταθμού ισχύος 1MW στην Βικτροβίλ. Η χρήση φωτοβολταϊκών γεννητριών άνθισε κατά τη διάρκεια της κρίσης πετρελαίου το 73/74, και αυτό το γεγονός οδήγησε έκτοτε στην παρουσία πολυάριθμων ερευνητικών και αναπτυξιακών έργων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

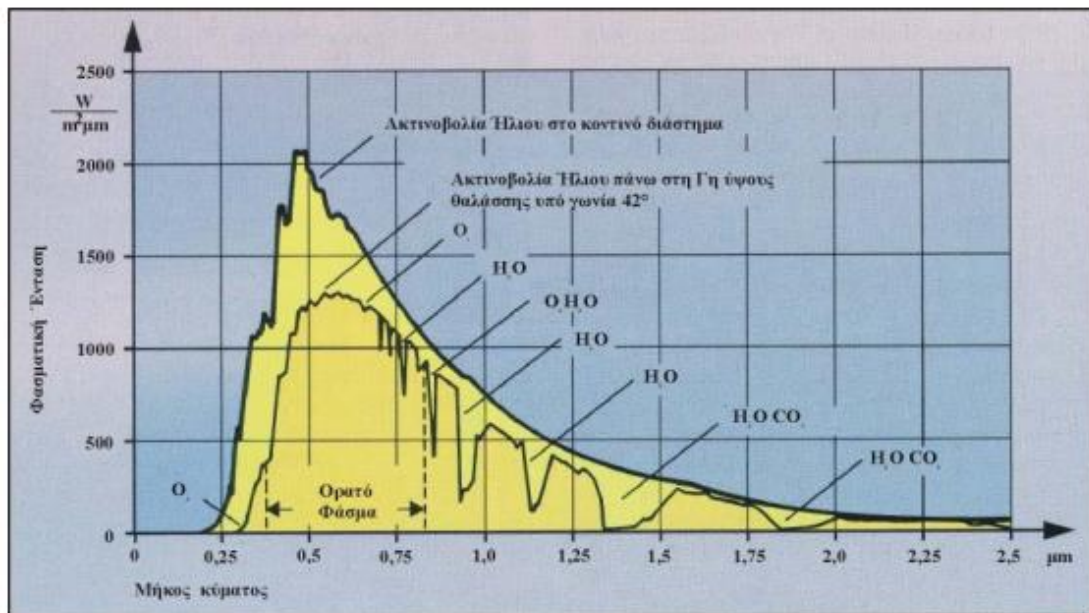
Ο ήλιος είναι μια πύρινη σφαίρα με ακτίνα 700.000km, είναι δηλαδή 300 φορές βαρύτερος από τη γη. Από τον ήλιο ακτινοβολείται συνεχώς προς το διάστημα τεράστια ενέργεια, διαφόρων μηκών κύματος, αποτελούμενη από φως και θερμότητα. Η ισχύς της ενέργειας αυτής φθάνει τα εκατοντάδες χιλιάδες δισεκατομμύρια kW, οφείλεται στην πυρηνική διάσπαση του υδρογόνου, καθώς σε χρόνο ενός δευτερολέπτου 600 εκατομμύρια τόνοι του στοιχείου αυτού μετατρέπονται σε 596 εκατομμύρια τόνους ηλίου. Τα υπόλοιπα 4 εκατομμύρια μετατρέπονται στην ακτινοβολούμενη ενέργεια. Η καύση αυτή είναι τόσο ισχυρή, ώστε κάθε τετραγωνικό μέτρο του ήλιου να εκπέμπει 70.000 Hp. Για να παραχθεί ενέργεια σε τέτοια κλίμακα θα πρέπει να καίγεται κάθε δευτερόλεπτο 11 δισεκατομμύρια φορές η ετήσια παραγωγή της γης σε κάρβουνο. Στη γη φτάνει μόλις το μισό του δισεκατομμυριοστού αυτής της ακτινοβολίας και επιπλέον η ιονόσφαιρα και ορισμένα τμήματα της ατμόσφαιρας απορροφούν ένα μέρος της. Το αποτέλεσμα είναι η ηλιακή ακτινοβολία να δρα ενεργητικά στη ζωή του πλανήτη, εκτός από κάποιες ανεπιθύμητες διαταραχές στις τηλεπικοινωνίες, στις κλιματολογικές συνθήκες και σε ορισμένους οργανισμούς. Έχει υπολογιστεί ότι από τα 4000Q (1Q = ενεργειακό ισοδύναμο με 25.000 τόνους πετρελαίου) της ηλιακής ενέργειας που φτάνει κάθε χρόνο στη γη, 1000 ανακλώνται στα εξωτερικά στρώματα της ατμόσφαιρας, 1000 απορροφούνται από την ατμόσφαιρα, ενώ τα υπόλοιπα θερμαίνουν την επιφάνεια της γης.

Ως ηλιακή σταθερά ορίζεται η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας: $I_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$ (οι τιμές στην βιβλιογραφία κυμαίνονται από 1353 έως 1395 W/m^2)

Λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης κατά την διάρκεια του έτους χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της διαχρονικής μεταβολής της ηλιακής σταθεράς:

$$I_{sc} = I_{sc'} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot dn}{365}\right) \right)$$

Η μεταβολή της απόστασης ηλίου-γης προκαλεί μεταβολή της έντασης κατά $\pm 3\%$ και η δράση των ηλιακών κηλίδων κατά $\pm 2\%$. Το ποσοστό της ελάττωσης της ακτινοβολίας, εξαρτάται από το μήκος της διαδρομής μέσα στην ατμόσφαιρα και από την κατάσταση της τελευταίας (συννεφιά, αιωρούμενα σωματίδια). Η ελάττωση αυτή οφείλεται στη σκέδαση από τα μόρια του αέρα, τους υδρατμούς και της σκόνης και την απορρόφηση από το O_3 , το H_2O και το CO_2 . Η απορρόφηση δεν γίνεται ομοιόμορφα, αλλά επιλεκτικά κατά ζώνες φάσματος.



Εικόνα 2.1.1 Επιλεκτική απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας με βάση το φάσμα

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας ισοδυναμεί με την εκπομπή μελανός σώματος $5762^\circ K$. Το φάσμα αυτό είναι συνεχές από 200 περίπου nm μέχρι 3000 nm με αιχμή γύρω στα 4800 nm. Η ατμόσφαιρα δεν μειώνει μόνο την ποσότητα, αλλά αλλάζει και τη φασματική σύνθεση της ακτινοβολίας.

Το 99% της ηλιακής ενέργειας εμφανίζεται σε μήκος κύματος από 0.25 έως 4.0 μm Σύμφωνα με την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας:

- Ορατό [λ : 0.39-0.77 μm] περιέχει το 46.41% της ενέργειας

- Υπεριώδες [$\lambda < 0.77 \mu\text{m}$] περιέχει το 46.4% της ενέργειας
- Υπόλοιπο [$\lambda > 0.77 \mu\text{m}$] περιέχει το 46.4% της ενέργειας

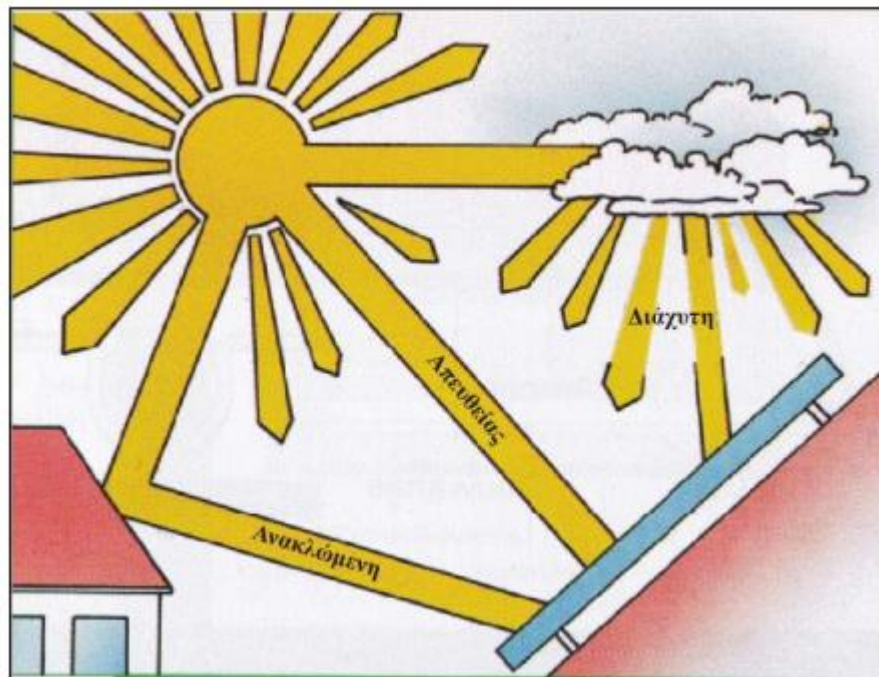
Το μεσημέρι μιας τυπικής μέρας, όταν δηλαδή ο ήλιος είναι στο ζενίθ, η ένταση της ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο είναι 1 kW/m^2 , τα 20% με 25% του οποίου οφείλονται στη διάχυτη ακτινοβολία. Η ένταση δεν είναι σταθερή, αλλά λόγω της περιστροφής της γης παρουσιάζει μεγάλη χρονική διακύμανση αφενός μεταξύ της μέγιστης τιμής την ημέρα και της μηδενικής τη νύχτα και αφετέρου διακύμανση ανάλογα με τη γεωγραφική θέση και την εποχή του έτους.

2.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Τα όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το πυρανόμετρο και το πυρηλιόμετρο. Το πυρανόμετρο (ακρίβεια: $\sim 1\%$) μετρά την ακτινοβολία με θερμοηλεκτρική στήλη ή με φωτοβολταϊκό στοιχείο που σκεπάζεται από ημισφαίριο με γυάλινα τοιχώματα. Το πυρηλιόμετρο (ακρίβεια: από 0,2% έως 2%) μετρά την ακτινοβολία επίσης με θερμοηλεκτρική στήλη, που είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος ενός κυλίνδρου, του οποίου ο άξονας διατηρείται παράλληλος με τις ηλιακές ακτίνες με βοήθεια αστροστάτη. Με το όργανο αυτό μπορεί να μετρηθεί και η φασματική κατανομή της ακτινοβολίας. Ωστόσο το πυρηλιόμετρο είναι σημαντικά ακριβότερο από το πυρανόμετρο. Εκτός από τα δύο αυτά όργανα χρήσιμες πληροφορίες παρέχουν οι ηλιογράφοι, που μετρούν τη διάρκεια της ηλιοφάνειας με ακρίβεια της τάξης των 10 λεπτών της ώρας.

Παρακάτω θα συμβολίζουμε με G τις στιγμιαίες τιμές της ακτινοβολίας, με I τις ωριαίες τιμές και με H τις μέσες ημερήσιες τιμές για κάθε μήνα της ακτινοβολίας. Οι μέσες ημερήσιες τιμές για κάθε μήνα είναι επαρκείς για τις προσεγγιστικές μεθόδους υπολογισμού των ηλιακών εγκαταστάσεων. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια απαρτίζεται από τρεις συνιστώσες: την άμεση που έρχεται κατευθείαν από τον ήλιο, την διάχυτη που προέρχεται από τον θόλο της ατμόσφαιρας, εξαιτίας της σκέδασης της άμεσης από άτομα, μόρια και αιρούμενα σωματίδια και την ανακλώμενη, που προκαλείται από διάφορες κοντινές επιφάνειες, όταν η συλλεκτική επιφάνεια

είναι κοντά σε κτίρια ή είναι κεκλιμένη, οπότε δέχεται ακτινοβολία από το έδαφος.



Εικόνα 2.2.1 Τα είδη της ηλιακής ακτινοβολίας

- Άμεση ηλιακή ακτινοβολία: είναι η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα.
- Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία: είναι η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα.
- Ολική ηλιακή ακτινοβολία: είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μία επιφάνεια.
- Πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας (irradiance, W/m^2): είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια που ακτινοβολείται πέφτει σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας.
- Πυκνότητα ενέργειας ακτινοβολίας (irradiation, J/m^2): είναι η προσπίπτουσα σε μία επιφάνεια ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και υπολογίζεται με την ολοκλήρωση της πυκνότητας ισχύος σε κάποιο χρονικό διάστημα (1 ώρα, 1 μέρα)

Για τον υπολογισμό της φασματικής κατανομής της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η φασματική κατανομή της διαπερατότητας κάθε ατμοσφαιρικού συστατικού που συνεισφέρει στην

μείωση της ακτινοβολίας. Έτσι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία (υπό ανέφελο ουρανό) που προσπίπτει κάθετα σε ένα επίπεδο ισχύει:

$$I_{d\lambda} = I_{o\lambda} \cdot T_{r\lambda} \cdot T_{a\lambda} \cdot T_{w\lambda} \cdot T_{o\lambda} \cdot T_{u\lambda}$$

όπου:

$I_{d\lambda}$: η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του εδάφους.

$T_{r\lambda}$: η διαπερατότητα λόγω μοριακής σκέδασης.

$T_{a\lambda}$: η διαπερατότητα λόγω αεροσόλ.

$T_{w\lambda}$: η διαπερατότητα λόγω υδρατμών.

$T_{o\lambda}$: η διαπερατότητα λόγω όζοντος.

$T_{u\lambda}$: η διαπερατότητα λόγω των λοιπών ατμοσφαιρικών αερίων.

Η φασματική κατανομή της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει επί οριζόντιας επιφάνειας στο έδαφος είναι αποτέλεσμα των σκεδάσεων και ανακλάσεων που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα, σε σχέση πάντα με το μήκος κύματος (διαφορετικοί συντελεστές για διαφορετικά μήκη κύματος). Η φασματική κατανομή της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας (υπό ανέφελο ουρανό) υπολογίζεται ως συνάρτηση 3 όρων:

$$I_{df\lambda} = I_{dr\lambda} + I_{da\lambda} + I_{dm\lambda}$$

όπου:

$I_{dr\lambda}$: η διάχυτη ακτινοβολία μήκους λ που προήλθε μετά από μοριακή σκέδαση χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν φαινόμενα πολλαπλών ανακλάσεων

$I_{da\lambda}$: η διάχυτη ακτινοβολία μήκους λ λόγω σκέδασης σε αεροσόλ

$I_{dm\lambda}$: η διάχυτη ακτινοβολία μήκους λ λόγω πολλαπλών ανακλάσεων

Η φασματική κατανομή της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος, σε οριζόντια επιφάνεια, υπό ανέφελο ουρανό, είναι δυνατόν να υπολογιστεί ως το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος:

$$I_{\lambda} = I_{d\lambda} \cdot \cos \theta_z + I_{df\lambda}$$

Σημαντική είναι η χρήση μοντέλων για τον υπολογισμό της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας όταν δεν υπάρχουν μετρήσεις για ένα τόπο. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις για την κατάσταση του ουρανού που απαιτούν δύο διαφορετικά μοντέλα:

- Καθαρός ουρανός
- Νεφοσκεπής ουρανός

Ο μέσος μηνιαίος δείκτης αιθριότητας ορίζεται ως το πηλίκο της μέσης μηνιαίας ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια προς την μέση μηνιαία ημερήσια ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας:

$$\langle K_T \rangle = \langle H \rangle / \langle H_o \rangle$$

Ο ημερήσιος δείκτης αιθριότητας ορίζεται με βάση τις ημερήσιες ακτινοβολίες:

$$K_T = H / H_o$$

Τέλος ο ωριαίος δείκτης αιθριότητας υπολογίζεται με βάση τις ωριαίες ακτινοβολίες:

$$k_T = I / I_o$$

Οι τιμές , H και I υπολογίζονται από τις μετρήσεις ενώ οι τιμές , H_o και I_o σε οριζόντια επιφάνεια υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 \cdot I_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.33 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \cdot \left[\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_s}{360} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta \right]$$

$$I_o = \frac{12 \cdot 3600 \cdot I_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.33 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \cdot \left[\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{2 \cdot \pi \cdot (\omega_2 - \omega_1)}{360} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta \right]$$

όπου

$$I_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2 ,$$

n η Ιουλιανή ημέρα,

φ το γεωγραφικό πλάτος,

δ η απόκλιση,

ω_s η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου,

ω_1 και ω_2 οι ωριαίες γωνίες στην αρχή και στο τέλος της ώρας.

Ο διαχωρισμός της ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια σε άμεση και διάχυτη είναι ιδιαίτερα χρήσιμη διαδικασία. Έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι για τον διαχωρισμό της ολικής ακτινοβολίας. Εκείνη των Orgill and Hollands χρησιμοποιεί την ωριαίο δείκτη αιθριότητας για υπολογισμούς σε ωριαίες τιμές της ακτινοβολίας:

$$\frac{I_d}{I} = 1 - 0.249 \cdot k_T \text{ [if : } k_T < 0.35 \text{]}$$
$$\frac{I_d}{I} = 1.557 - 1.84 \cdot k_T \text{ [if : } 0.35 < k_T < 0.75 \text{]}$$
$$\frac{I_d}{I} = 0.177 \text{ [if : } k_T > 0.75 \text{]}$$

Για τον υπολογισμό του κλάσματος της ημερήσιας διάχυτης ακτινοβολίας προτείνεται από τους Collares-Pereira and Rabl η χρήση του ημερισίου δείκτη αιθριότητας για τους υπολογισμούς:

$$\frac{H_d}{H} = 0.99 \text{ [if : } K_T \leq 0.17 \text{]}$$
$$\frac{H_d}{H} = 1.188 - 2.272K_T + 9.473K_T^2 - 21.865K_T^3 + 14.648K_T^4 \text{ [if : } 0.17 < K_T \leq 0.75 \text{]}$$
$$\frac{H_d}{H} = -0.54K_T + 0.632 \text{ [if : } 0.75 < K_T < 0.8 \text{]}$$
$$\frac{H_d}{H} = 0.2 \text{ [if : } K_T \geq 0.8 \text{]}$$

Για τον υπολογισμό του κλάσματος της μηνιαίας διάχυτης ακτινοβολίας προτείνεται από τους Collares-Pereira and Rabl η χρήση του μηνιαίου δείκτη αιθριότητας για τους υπολογισμούς:

$$\frac{\langle H_d \rangle}{\langle H \rangle} = 0.775 + 0.00653 \cdot (\omega_s - 90) -$$
$$- [0.505 + 0.00455 \cdot (\omega_s - 90)] \cdot \cos[115 \cdot \langle K_T \rangle - 103]$$

Στην περίπτωση όπου χρειάζεται να υπολογιστούν οι ωριαίες τιμές της ακτινοβολίας όταν υπάρχουν ημερήσια δεδομένα, είναι δυνατόν να υπολογιστεί το ημερήσιο της ωριαίας ακτινοβολίας προς την ημερήσια από την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} (a + b \cdot \cos \omega) \cdot \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - (2 \cdot \pi \cdot \omega_s / 360) \cdot \cos \omega_s}$$

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin(\omega_s - 60) \quad b = 0.6609 - 0.4767 \sin(\omega_s - 60)$$

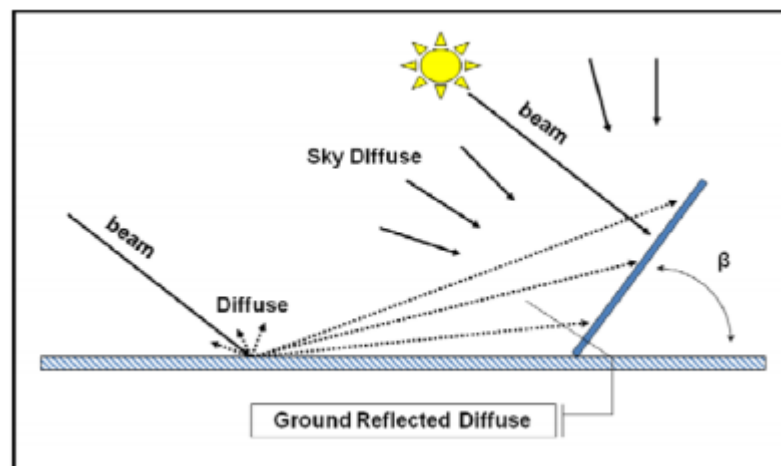
όπου ω η ωριαία γωνία για το μεσοδιάστημα της ώρας.

Στην περίπτωση της διάχυτης ακτινοβολίας, η συσχέτιση της ωριαίας διάχυτης προς την ημερήσια διάχυτη είναι δυνατόν να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{I_d}{H_d} = -\frac{\pi}{24} \cdot \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - (2 \cdot \pi \cdot \omega_s / 360) \cdot \cos \omega_s}$$

2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Συχνά είναι αναγκαίο να υπολογιστεί η ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια (π.χ. ενός συλλεκτή)



Εικόνα 2.3.1 Διάφορες γωνίες πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

Για τον υπολογισμό της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος και προσπίπτει σε επιφάνειες κλίσης β και αζιμουθίου γ :

$$I_{b\beta\gamma} = I_b \cdot r_b$$

όπου I_b είναι η άμεση ακτινοβολία που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο και r_b είναι ο διορθωτικός παράγοντας που δίνεται από την σχέση:

$$r_b = \frac{\cos \mathcal{G}_o}{\cos \mathcal{G}_z}$$

όπου θ_z είναι η ζενίθια γωνία και θ_o είναι η γωνία πρόσπτωσης στην κεκλιμένη επιφάνεια και υπολογίζεται από την σχέση:

$$\begin{aligned} \cos \mathcal{G}_o &= (\sin \varphi \cdot \cos \beta - \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma) \cdot \sin \delta + \\ &+ (\cos \varphi \cdot \cos \beta + \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \\ &+ \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ο ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

3.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Ο Σταθμός θα αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια τεχνολογίας πολυκρυσταλλικού πυριτίου του οίκου Yingli. Θα γίνει χρήση 8.140 τεμαχίων του τύπου YL 235P-29b, ονοματικής ισχύος 235Wp έκαστο.

3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (Γεννήτριες) θα εγκατασταθούν σε ομάδες (Συστοιχίες/Τραπέζια), με τη βοήθεια Συστημάτων Στήριξης του οίκου Schletter.

3.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ (INVERTER)

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε εναλλασσόμενο (AC), θα πραγματοποιείται με τη χρήση Αντιστροφέων (inverter) του οίκου SMA τύπου SC630CP. Θα γίνει χρήση 3 τεμαχίων του τύπου Sunny Central 630CP υψηλής απόδοσης, οι οποίοι θα τοποθετηθούν και προκαλωδιωθούν έκαστος εντός προκατασκευασμένου οικίσκου εκ σκυροδέματος στο οποίο θα περιλαμβάνεται ο εξοπλισμός μετασχηματισμού, διακοπής και προστασίας τους.

Ειδικά τεχνικά θέματα: Η τάση του string δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 1000V εκτός και αν οι συνθήκες περιβάλλοντος είναι πολύ ακραίες

Με τον όρο αντιστροφέα νοείται η διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος η οποία μετατρέπει τη συνεχή τάση των Φ/Β πάνελ σε εναλλασσόμενη ονομαστικών τιμών 230V (ανά φάση) /50 Hz. Οι αντιστροφείς αποτελούν πάντα ένα κομβικό σημείο σε μία Φ/Β εγκατάσταση καθώς όλη η παραγόμενη ενέργειας διοχετεύεται μέσω αυτών στο δίκτυο. Κατά συνέπεια έχει ιδιαίτερη σημασία να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και υψηλή απόδοση.

Η ΔΕΗ, αναγνωρίζοντας το σημαντικό ρόλο των αντιστροφέων σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα θέτει συγκεκριμένες προδιαγραφές για αυτούς απαιτώντας την ύπαρξη σχετικών πιστοποιητικών. Επιπλέον κατά τη φάση παραλαβής του έργου, οι αντιστροφείς υποβάλλονται σε έλεγχο για να

διαπιστωθεί κατά πόσο τηρούνται αυτές οι προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αυτές αφορούν:

1. Την τάση και τη συχνότητα των αντιστροφών: οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων προστασιών ορίων τάσης και συχνότητας είναι από -20% έως +15% και +/-0,5Hz αντίστοιχα για σταθμούς στο διασυνδεδεμένο σύστημα και από -20% έως +15% και από 47,5Hz έως 51Hz για σταθμούς σε μη διασυνδεδεμένα νησιά. Σε περίπτωση ενεργοποίησης των παραπάνω προστασιών ο χρόνος αποσύνδεσης θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,5 sec και ο χρόνος επανασύζευξης τουλάχιστον 3 λεπτά.
2. Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion-THD) του ρεύματος των αντιστροφών δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 5%. Ο συντελεστής THD ορίζεται ως:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

Όπου

I_1 είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος στη θεμελιώδη συχνότητα και

I_h η ενεργός τιμή της αρμονικής ρεύματος τάξης h και συχνότητας $50 \times h$ Hz.

3. Εφόσον οι αντιστροφείς δε διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης η έγχυση συνεχούς ρεύματος (dc injection current) δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 0,5% του ονομαστικού ρεύματος.
4. Προστασία έναντι του φαινομένου νησιδοποίησης κατά το πρότυπο VDE 0126. Το σημείο αυτό πρόκειται να αναλυθεί περαιτέρω στις επόμενες παραγράφους.

Οι αντιστροφείς των διασυνδεδεμένων συστημάτων διαχωρίζονται ανάλογα με το είδος της τάσης που παράγουν σε:

- Μονοφασικούς αντιστροφείς, με τυπικά μεγέθη ισχύος έως 10-11kW.
- Τριφασικούς αντιστροφείς, με μεγέθη ισχύος από 6-7kW έως και 1MW.

Τονίζεται ότι η ΔΕΗ επιβάλλει τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα για εγκαταστάσεις άνω των 5kW, ενώ εγκαταστάσεις άνω των 100kW συνδέονται υποχρεωτικά στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) της ΔΕΗ.

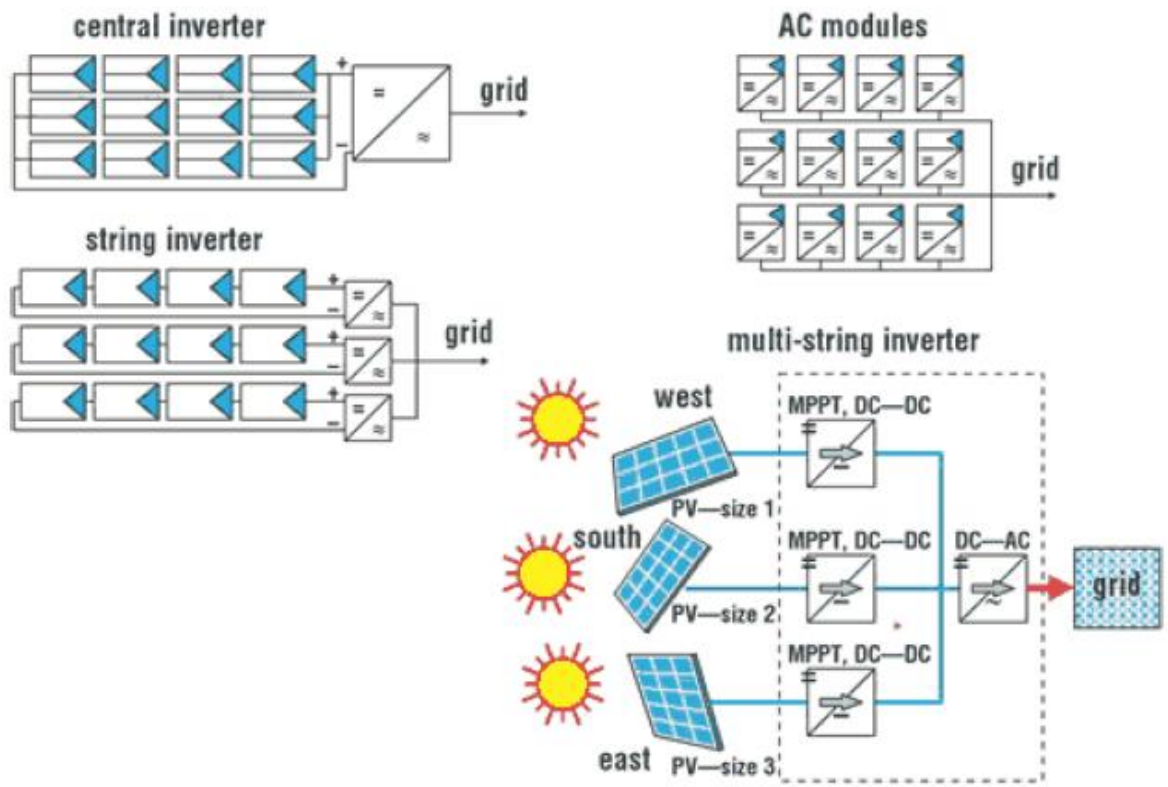
Οι αντιστροφείς ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν μετασχηματιστή για γαλβανική απομόνωση (χαμηλής ή υψηλής συχνότητας) ανάμεσα στην DC είσοδο και την AC έξοδο χωρίζονται σε :

- Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (inverters with transformer)
- Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless (TL) inverters)

Επιπλέον, ανάλογα της τεχνολογίας διασύνδεσης των Φ/Β πάνελ που χρησιμοποιείται οι αντιστροφείς χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)
- Αντιστροφείς κλάδων (string inverters)
- Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters)
- Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ (module integrated inverters).

Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει σχηματικά τις παραπάνω οικογένειες αντιστροφέων:



Εικόνα 3.3.1 Κεντρικός μετατροπέας

3.3.1 Η χρήση μετασχηματιστή στους αντιστροφείς

Ο κυριότερος λόγος της χρήσης μετασχηματιστή σε έναν αντιστροφέα είναι αυτός της απομόνωσης της DC πλευράς η οποία συνδέεται με τα φωτοβολταϊκά πάνελ με την AC πλευρά που συνδέεται στο δίκτυο. Οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι κατασκευασμένοι για συχνότητα 50Hz, ή για υψηλότερη συχνότητα (της τάξης των 10-15kHz) για μικρότερη ισχύ. Οι μετασχηματιστές χαμηλής συχνότητας εμφανίζουν μεγαλύτερες απώλειες, καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο και έχουν μεγαλύτερο βάρος. Αντιθέτως οι μετασχηματιστές υψηλής συχνότητας χαρακτηρίζονται από πιο εξειδικευμένη κατασκευή.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της χρήσης του μετασχηματιστή, πέραν του αυξημένου κόστους ανά μονάδα ισχύος, είναι αυτό της εισαγωγής επιπλέον απωλειών που κυμαίνονται μεταξύ 2-4%. Ωστόσο είναι πιθανόν και οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή να εμφανίζουν αυξημένες απώλειες αν χρησιμοποιούνται μετατροπείς ανύψωσης της DC τάσης των Φ/Β πάνελ

(DC/DC μετατροπείς ανύψωσης). Επιπλέον, η έλλειψη γαλβανικής απομόνωσης στους αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή, δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις αναφορικά με την ασφάλεια και την εμφάνιση διαρροών και ασυμμετριών. Σε ορισμένες περιπτώσεις δε, επιβάλλεται η χρήση αντιστροφών με μετασχηματιστή. Μία τέτοια περίπτωση είναι αυτή των πάνελ άμορφου πυριτίου όπου υποχρεωτικά συνδέονται σε αντιστροφείς με μετασχηματιστή απομόνωσης.

Μία σύγκριση των δύο οικογενειών αντιστροφών παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.3-1 : Σύγκριση αντιστροφών με μετασχηματιστή και χωρίς μετασχηματιστή

	Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (with transformer)	Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless-TL)
Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> - Οι τάσεις εισόδου και εξόδου είναι γαλβανικά απομονωμένες - Ευρεία χρήση - Κυρίως χρήση σε υψηλότερα επίπεδα ισχύος 	<ul style="list-style-type: none"> - Η τάση των Φ/Β πάνελ πρέπει είτε να είναι σημαντικά υψηλότερη από το πλάτης της τάσης δικτύου, ή να χρησιμοποιηθούν DC/DC μετατροπείς ανύψωσης
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> - Ασφάλεια - Πολλά χρόνια λειτουργίας - Μείωση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών 	<ul style="list-style-type: none"> - Μεγαλύτερη απόδοση (σε συσκευές χωρίς DC/DC μετατροπείς - Μικρότερος όγκος και βάρος
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> - Απώλειες μετασχηματιστή (μαγνητικές και ωμικές) - Αυξημένος όγκος και βάρος 	<ul style="list-style-type: none"> - Μεγαλύτερες απαιτήσεις ασφάλειας - Μεγαλύτερη ευαισθησία σε ασυμμετρίες - Μεταβολές του σημείου λειτουργίας

3.3.2 Οικογένειες αντιστροφών

3.3.2.1 Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)

Οι κεντρικοί αντιστροφείς αποτελούν το είδος των αντιστροφών που εμφανίζουν τα μεγαλύτερα επίπεδα ισχύος, της τάξης από 30-50kW έως και 1-2MW. Για το λόγο αυτό, η χρήση τους είναι περισσότερο διαδεδομένη σε σταθμούς μεγάλης ισχύος. Σε ορισμένες περιπτώσεις και σε επίπεδα ισχύος

των εκατοντάδων kW οι αντιστροφείς αυτοί συνοδεύονται από μετασχηματιστή ανύψωσης 0,4/20kV, ώστε να επιτρέπουν την απευθείας σύνδεση τους στο δίκτυο MT της ΔΕΗ.

Αρχικά στους κεντρικούς μετατροπείς χρησιμοποιήθηκαν θυρίστορ με χαμηλές συχνότητες μεταγωγής και αυξημένες ανάγκες χρήσης φίλτρων. Ωστόσο με την εξέλιξη της τεχνολογίας τα θυρίστορ αντικαταστάθηκαν από τρανζίστορ IGBT με μεγαλύτερες συχνότητες μεταγωγής, τα οποία, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη εξελιγμένων τεχνικών διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) υλοποιούμενων ψηφιακά, οδήγησαν τους κεντρικούς μετατροπείς στην δημιουργία σχεδόν ημιτονοειδών ρευμάτων εξόδου με χαμηλές απαιτήσεις χρήσης φίλτρων.

Οι κεντρικοί μετατροπείς χαρακτηρίζονται από το μικρό αριθμό εισόδων DC (συνήθως 1-2 εισόδους). Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό πάνελ τα οποία πρέπει να συνδεθούν στην είσοδο τους, επιβάλλει την εκτεταμένη χρήση DC καλωδίων σε αντίθεση με τις άλλες ομάδες αντιστροφέων όπου η καλωδίωση μπορεί να γίνει με AC.

Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει έναν κεντρικό μετατροπέα στα με μέγιστη ισχύ εισόδου τα 1,4kWp.



Εικόνα 3.3.2 Κεντρικός μετατροπέας

3.3.2.2 Αντιστροφείς κλάδων ή στοιχειοσειρών (stringinverters)

Αποτελούν αδιαμφισβήτητα την περισσότερο διαδεδομένη κατηγορία αντιστροφέων σε σταθμούς μικρής έως και μέσης ισχύος. Η βασική αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην παράλληλη σύνδεση ενός αριθμού κλάδων

(strings) σε αντίστοιχες εισόδους του αντιστροφέα (της τάξης των 2-8).

Οι αντιστροφείς αυτού του τύπου κυκλοφορούν στο εμπόριο με μετασχηματιστή ή χωρίς μετασχηματιστή καθώς επίσης και σε μονοφασική ή τριφασική σύνδεση (συνήθως πάνω από 10kW). Διαθέτουν αρκετή ευελιξία αναφορικά με τον αριθμό των πάνελ που μπορεί να συνδεθεί στις εισόδους τους, αρκεί φυσικά να μην παραβιάζονται οι μέγιστες ρυθμίσεις ασφαλείας τους. Επιπλέον είναι σκόπιμο να συνδέονται στις εισόδους τους με τον ίδιο τύπο και αριθμό πάνελ.

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ενδεικτικά ορισμένους αντιστροφείς αυτού του τύπου



3.3.2.3 Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων ή στοιχειοσειρών (**multistringinverters**)

Οι αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων χρησιμοποιούνται όταν σε έναν αντιστροφέα είναι απαραίτητο να συνδεθούν διαφορετικά πάνελ, όσον αφορά την ονομαστική ισχύ τους, τον αριθμό των πάνελ που αποτελούν τον κλάδο, τον κατασκευαστή κτλ. Στην περίπτωση αυτή στην ουσία κάθε είσοδος είναι ανεξάρτητη από τις άλλες και διαθέτει τους δικούς της ελεγκτές μέγιστης ισχύος και μετατροπείς.

Οι αντιστροφείς αυτοί χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου η διαθεσιμότητα πάνελ επιβάλλει τη σύνδεση διαφορετικών πάνελ ή σε περιπτώσεις όπου μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά εγκατάστασης που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας, όπως είναι η κλίση των πάνελ ή η ύπαρξη προβλημάτων σκίασης.

Λόγω του ειδικού χαρακτήρα της χρήσης τους, η διαθεσιμότητα μοντέλων multi-string είναι σαφώς πιο περιορισμένη απ' ό τι σε συμβατικούς string inverters.



Εικόνα 3.3.4 Αντιστροφέας πολλαπλών κλάδων

3.3.2.4 Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ (**Moduleintegratedinverters**)

Οι αντιστροφείς αυτοί αποτελούν μία σχετικά νέα κατηγορία χαμηλής ισχύος (έως περίπου 300W). Οι αντιστροφείς αυτοί ενσωματώνονται, δηλαδή δέχονται στην είσοδο τους, με ένα Φ/Β πάνελ. Σκοπός της χρήσης τους

αποτελεί η βέλτιστη λειτουργία της Φ/Β εγκατάστασης ανά κάθε πάνελ χωριστά. Οι αντιστροφείς αυτοί παρουσιάζουν ενδιαφέρον κυρίως για μικρές οικιακές εγκαταστάσεις με σημαντικά προβλήματα σκίασης.



Εικόνα 3.3.5 Αντιστροφείς για ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ

9.3 Σημαντικές παράμετροι λειτουργίας

9.3.1 Ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα

Ο (συνολικός) βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα, σε συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης ορίζεται ως το πηλίκο της (AC) ισχύος εξόδου προς την (DC) ισχύ εισόδου, δηλαδή:

$$n(\%) = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

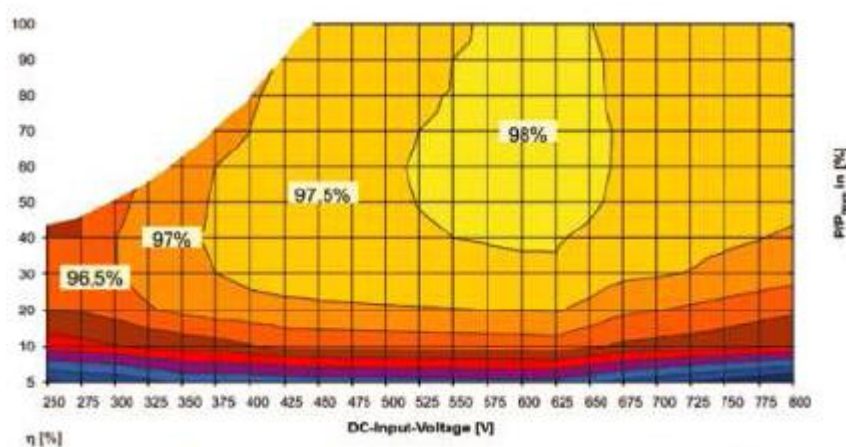
Ο βαθμός απόδοσης αντανακλά το ποσό της ισχύος που χάνεται ως απώλειες στον αντιστροφέα. Οι κυριότερες απώλειες εμφανίζονται στα ημιαγωγά στοιχεία ισχύος, ενώ άλλες πηγές απωλειών αποτελούν οι ωμικές αντιστάσεις των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, οι απώλειες αερισμού κτλ.

Ο βαθμός απόδοσης αποτελεί ίσως το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός αντιστροφέα και κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει το σημείο αυτό. Ο λόγος είναι προφανής: απώλειες ισχύος μεταφράζονται σε απώλειες εισοδήματος σε διασυνδεδεμένα συστήματα. Για παράδειγμα

ανυποθεθεί ότι η μέση παραγωγή σε μία τοποθεσία είναι 1.300kWh/kWp τοέτος τότε η μεταβολή κατά 1% (επί της ονομαστικής ισχύος) των απωλειώνσε ένα Φ/Β σταθμό 100kWp, θα σήμαινε απώλειες εσόδων της τάξης των585€/έτος.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει το βαθμό απόδοσης,θεωρώντας ίδιο ποσό φόρτισης του αντιστροφέα, είναι η ύπαρξη ή μημετασχηματιστή απομόνωσης. Όπως αναφέρθηκε στην αγορά υπάρχουν οιτεχνολογίες αντιστροφέων με μετασχηματιστή ή χωρίς. Τυπικές τιμέςαπόδοσης αντιστροφέων με μετασχηματιστή είναι της τάξης του 92-94%με μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (LF) και 94-96% μεμετασχηματιστή υψηλής συχνότητας (HF). Αντίθετα, σε αντιστροφείς χωρίςμετασχηματιστή ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 96-98,5%.

Οι παραπάνω τιμές απόδοσης αναφέρονται στον καταγραφόμενο μέγιστοβαθμό απόδοσης (maximum efficiency). Η τιμή αυτή αναγράφεται πάνταστα τεχνικά φυλλάδια. 3στόσο θα πρέπει να γνωρίζει κανείς ότι κάθεαντιστροφέας λειτουργεί λίγες φορές στον απολύτως μέγιστο βαθμόαπόδοσης, καθώς αυτός εξαρτάται από το επίπεδο φόρτισης τουαντιστροφέα και την DC τάση λειτουργίας. 3ς βαθμός φόρτισης νοείται τοποσοστό της ισχύος εισόδου του αντιστροφέα, ως προς την ονομαστικήισχύ εισόδου ή η ισχύς εξόδου (ο ακριβής προσδιορισμός εξαρτάται απότον κατασκευαστή). Οι κατασκευαστές παρουσιάζουν τα στοιχεία αυτά μετη μορφή διαγραμμάτων, όπως για παράδειγμα στα παρακάτω σχήματα:



Εικόνα 3.3.6 Παραδείγματα διαγραμμάτων βαθμού απόδοσης αντιστροφέων

Όπως παρατηρείται στα παραπάνω διαγράμματα, ο βαθμός απόδοσης των αντιστροφών εμφανίζει μέγιστο σε μία περιοχή τιμών ισχύος και DC τάσεων. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση σε σχέση με την ονομαστική ισχύ των Φ/Β πάνελ, όπου ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει, ανάλογα με την περίπτωση, αν η λειτουργία του αντιστροφέα αντιστοιχεί σε περιοχές με υψηλό βαθμό απόδοσης.

Έτσι για υπέρ-διαστασιολογημένους αντιστροφείς (αναφορικά με τη συνολική ισχύ των Φ/Β πάνελ που συνδέονται στην είσοδο τους), είναι πιθανό να λειτουργούν σε σχετικά χαμηλά φορτία για τα οποία δεν εμφανίζουν το βέλτιστο βαθμό απόδοσης και επιπλέον στοιχίζουν περισσότερο. Από την άλλη πλευρά, αντιστροφείς που εμφανίζονται υπό-διαστασιολογημένοι σε σχέση με την ισχύ των Φ/Β πάνελ, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε απώλειες ενέργειας λόγω υπερφόρτισης: κάθε αντιστροφέας χαρακτηρίζεται από μία μέγιστη ισχύ η οποία δεν μπορεί να ξεπεραστεί για λόγους ασφαλείας, οπότε είναι πιθανόν πλεονάσματα ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ να χάνονται.

Συνήθως, ανάλογα και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης, το είδος των πάνελ, της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας στήριξης (σταθερές βάσεις ή τράκερ) και της καμπύλης απόδοσης του κάθε αντιστροφέα, η σχέση μεταξύ της ονομαστικής ισχύος εξόδου του αντιστροφέα και της ισχύος των Φ/Β πάνελ κυμαίνεται μεταξύ 90% και 115%.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης δεν επαρκεί για να χαρακτηρίσει τη λειτουργία ενός αντιστροφέα αναφορικά με τις απώλειες του. Μία καλύτερη προσέγγιση παρέχει ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης (euro efficiency), ο οποίος αποτελεί έναν μεσοσταθμισμένο βαθμό απόδοσης, βάσει αποδόσεων σε μερικά φορτία, εκφρασμένα σε ποσοστά της ονομαστικής ισχύος εξόδου. Ο βαθμός αυτός ορίζεται ως:

$$\eta_E = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.1\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.2\eta_{100\%}$$

όπου λαμβάνονται οι βαθμοί απόδοσης στο 5%, 10%, 20%, 30%, 50% και 100% της ονομαστικής ισχύος εξόδου με συντελεστές βαρών 3%, 6%, 13%,

10%, 48% και 20% αντίστοιχα. Ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης διαφέρει συνήθως από το μέγιστο βαθμό απόδοσης κατά 1-2% και δίνεται επίσης από τους κατασκευαστές.

3.3.3 Βέλτιστο σημείο λειτουργίας των Φ/Β πάνελ

Η παρακολούθηση του σημείου βέλτιστης λειτουργίας γνωστή και ως MPPT (Maximum Power Point Tracking) αναφέρεται στην τεχνική που χρησιμοποιείται ώστε να μεταβάλλεται το σημείο λειτουργίας (τάση-ρεύμα) των Φ/Β πάνελ ώστε να ανταποκρίνεται κάθε φορά στο σημείο που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ισχύς ενός Φ/Β πάνελ, η οποία προκύπτει από το γινόμενο της τάσης με την ένταση ρεύματος, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (irradiance, G) και της θερμοκρασίας. Οι κατασκευαστές των πάνελ δίνουν στα τεχνικά φυλλάδια τη μέγιστη ισχύ (Maximum Power Point, MPP) στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC) οι οποίες αντιστοιχούν σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ίση προς $G=1000\text{W/m}^2$, και θερμοκρασία πάνελ ίση προς 25 βαθμούς Κελσίου. Σε οποιαδήποτε άλλες συνθήκες, η μέγιστη ισχύς μεταβάλλεται και μειώνεται με τη μείωση της ακτινοβολίας και την αύξηση της θερμοκρασίας. Κατά συνέπεια είναι απαραίτητο κάθε αντιστροφέας να διαθέτει διατάξεις οι οποίες παρακολουθούν συνεχώς το σημείο λειτουργίας των πάνελ και το μεταβάλλουν, ώστε να αντιστοιχεί κάθε φορά στο σημείο της μέγιστης ισχύος.

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται διάφοροι αλγόριθμοι MPPT. Ένας απλός και διαδεδομένος αλγόριθμος είναι αυτός της μεθόδου P&O (perturbation and observe, διαταραχή και παρατήρηση). Στον αλγόριθμο αυτό το σημείο λειτουργίας μεταβάλλεται ελαφρά και παρατηρείται η μεταβολή στην ισχύ: αν η μεταβολή οδηγεί σε αύξηση της ισχύος (θετική παράγωγος), τότε επιβάλλεται νέα μεταβολή, έως το σημείο που η μεταβολή της ισχύος οδηγήσει σε μείωση ισχύος (αρνητική παράγωγος).

Τότε το τελικό σημείο λειτουργίας ταλαντώνεται μεταξύ αυτών των δύο σημείων θετικής και αρνητικής παραγωγού, που αντιστοιχεί σε μέγιστο. Τα τεχνικά φυλλάδια των αντιστροφέων αναφέρονται στο εύρος της DC τάσης

εισόδου στο οποίο μπορεί να επιτευχθεί έλεγχος της μέγιστης ισχύος. Είναι υποχρέωση του μελετητή να εξασφαλίζει ότι σε όλο το δυνατό εύρος λειτουργίας, η DC τάση των Φ/Β πάνελ κείται εντός των ορίων ελέγχου μέγιστης τάσης, ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτική λειτουργία του αντιστροφέα.

Επίσης, συχνά τα φυλλάδια των κατασκευαστών αναφέρονται στο βαθμό απόδοσης της παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT efficiency). Ο βαθμός απόδοσης ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας που λαμβάνει ο αντιστροφέας από τα Φ/Β πάνελ προς το (θεωρητικό) ποσό της μέγιστης ενέργειας που μπορεί να λάβει για μία προκαθορισμένη χρονική περίοδο. Δηλαδή ισχύει:

$$\eta_{MPPT} = \frac{\int_0^1 P_{DC}(t) dt}{\int_0^1 P_{MAX}(t) dt}$$

3.3.4 Το φαινόμενο της νησιδοποίησης

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης (islanding) αναφέρεται σε ένα τμήμα του δικτύου με φωτοβολταϊκά συστήματα που έχει αποκοπεί από την κεντρική τροφοδοσία (δηλαδή αυτή του δικτύου της 5EH). Στην περίπτωση αυτή, ο φωτοβολταϊκός σταθμός λειτουργεί ως νησί παραγωγής ενέργειας και αν οι αντιστροφείς παραμένουν συνδεδεμένοι ελλοχεύουν κίνδυνοι για την ασφάλεια του προσωπικού που πιθανόν να εκτελεί εργασίες στο σημείο σύνδεσης ή και για τον ίδιο τον εξοπλισμό από μεταβατικά φαινόμενα κατά την αυτόματη ή χειροκίνητη επαναφορά του δικτύου.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης χρήζει ειδικού χειρισμού από τον αντιστροφέα, ο οποίος πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσει μέσω κατάλληλων μετρήσεων την ύπαρξη του. Συνήθως για τον προσδιορισμό της κατάστασης νησιδοποίησης χρησιμοποιείται το πρότυπο VDE

0126-1-1

(Automatic disconnection device between a generator and the public low voltage grid) η συμμόρφωση προς το οποίο (ή αντίστοιχο ισοδύναμο του κατά τα πρότυπα άλλων χωρών πλην Γερμανίας ή χωρών που υιοθετούν τους Γερμανικούς κανονισμούς) είναι υποχρεωτική.

Η ανίχνευση της κατάστασης νησιδοποίησης γίνεται συνήθως με παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου μέσω μετρήσεων τάσης, συχνότητας και σύνθετης αντίστασης και αν προσδιοριστεί τότε ο αντιστροφείας αποσυνδέεται αυτόματα από το δίκτυο. Ωστόσο, μετά την επαναφορά του δικτύου, ο αντιστροφείας για λόγους προστασίας δε θα πρέπει να επανα-συνδέεται αυτόματα αλλά να αφήνει την πάροδο χρόνου τουλάχιστον 3 λεπτών.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης είναι αρκετά σοβαρό και η ΔΕΗ ζητά την προσκόμιση πιστοποιητικών συμμόρφωσης προς το πρότυπο VDE 0126-1-1 από τις εταιρείες κατασκευής των αντιστροφέων. Επιπλέον, αποτελεί έναν από τους κυριότερους ελέγχους της ΔΕΗ κατά τη δοκιμή ηλεκτρίσης του σταθμού και την παραλαβή του.

3.3.5 Αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος και συντελεστής ισχύος

Η αρμονική παραμόρφωση του παραγόμενου ρεύματος και ο συντελεστής ισχύος συνδέονται άμεσα με την ποιότητα της παρεχόμενης προς το δίκτυο ισχύος. Ιδανικά, η ισχύς θα πρέπει να μεταφέρεται με συντελεστή ισχύος ίσο προς τη μονάδα, ώστε η άεργος ισχύς του σταθμού να είναι μηδενική και επιπλέον οι κυματομορφές τάσης και ρεύματος θα πρέπει να είναι σχεδόν ημιτονοειδούς μορφής, ώστε να μην εγχέονται ανεπιθύμητες αρμονικές στο δίκτυο της ΔΕΗ.

Ως μέτρο της ποιότητας του ρεύματος αναφορικά με τις αρμονικές του χρησιμοποιείται ο ευρέως διαδεδομένος δείκτης της «ολικής αρμονικής παραμόρφωσης» περισσότερο γνωστός ως THD, από τα αρχικά των λέξεων Total Harmonic Distortion. Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως:

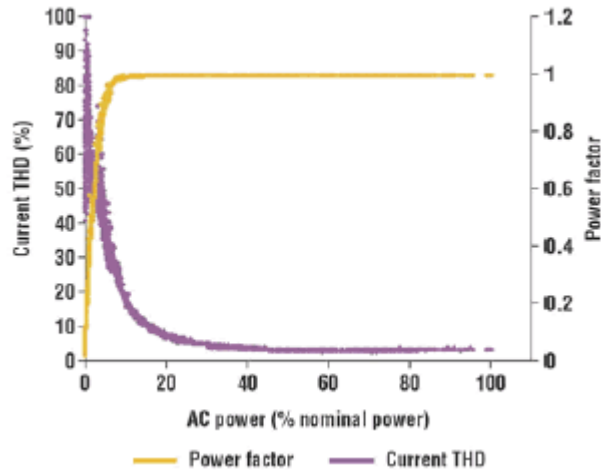
$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

Όπου I_h , $h=2,3,4,\dots$ είναι η ενεργός τιμή (rms) ή πλάτος της αρμονικής τάξης h (δηλαδή συχνότητας $50 \times h$) και I_1 , είναι η ενεργός τιμή (rms) ή πλάτος της αρμονικής τάξης 1, δηλαδή της θεμελιώδους των 50Hz.

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι για μία αμιγώς ημιτονοειδή κυματομορφή ο συντελεστής THD είναι ίσος με το μηδέν ενώ όσο μεγαλύτερα είναι τα πλάτη των αρμονικών τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή. Ο παραπάνω ορισμός έχει το μειονέκτημα ότι δεν ποσοτικοποιεί την επίδραση της συχνότητας της κάθε αρμονικής, παραμένει ωστόσο ένα διεθνώς αναγνωρισμένος δείκτης για την παρουσία αρμονικών.

Ο συντελεστής THD του ρεύματος που παράγεται από έναν αντιστροφέα φωτοβολταϊκών συστημάτων προσδιορίζεται στο πρότυπο IEC 61000-3-2. Θεωρώντας το φάσμα αρμονικών έως την αρμονική τάξης 49, ο συντελεστής THD του ρεύματος θα πρέπει να είναι μικρότερος από 5%. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι λόγω της υψηλής συχνότητας μεταγωγής των διακοπών ηλεκτρονικών ισχύος (τεχνολογίας IGBT) που χρησιμοποιούνται στις γέφυρες του αντιστροφέα και της χρησιμοποίησης της τεχνικής διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) οι κυριότερες αρμονικές εμφανίζονται σε πολλαπλάσια της συχνότητας αυτής, σε τάξεις συνήθως μεγαλύτερες από την τάξη 50. Η AC ισχύς για την οποία πρέπει να ισχύει η προδιαγραφή της αρμονικής παραμόρφωσης δεν αναφέρεται και έτσι συνήθως νοείται η ονομαστική ισχύς. Η ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος αυξάνεται σημαντικά σε φορτία πολύ μικρότερα του ονομαστικού. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ενδεικτικά τη μεταβολή του THD και του συντελεστή ισχύος με το φορτίο του αντιστροφέα, όπου φαίνεται ότι η συντελεστής THD είναι κάτω από 5% στο 50% του φορτίου και πάνω. Επιπλέον, παρατηρείται ότι ο συντελεστής ισχύος διατηρείται σχεδόν ίσος προς τη μονάδα ($>0,999$) για φορτία του αντιστροφέα από 20% και πάνω.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στη Γερμανία ισχύει από 1η Ιουλίου 2010 ότι οι αντιστροφείς που τροφοδοτούν ενέργειας στο δίκτυο μέσης τάσης, θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα υποστήριξης του με την παραγωγή ή κατανάλωση αέργου ισχύος. Έτσι εμφανίζονται στην αγορά εκδόσεις αντιστροφέων που έχουν τη δυνατότητα μεταβολής της αέργου ισχύος και εμφανίζουν συντελεστή ισχύος μικρότερο της μονάδας.



Εικόνα 3.3.7 Μεταβολή του συντελεστή ισχύος και της ολικής αρμονικής

παραμόρφωσης ρεύματος με το φορτίου του αντιστροφέα

3.3.6 Έγχυση DC ρεύματος

Μία σημαντική προδιαγραφή που τίθεται για τους αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο είναι αυτή της έγχυσης DC ρεύματος στο δίκτυο, γεγονός που σχετίζεται και με την ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου. Το δυσμενές αποτέλεσμα της έγχυσης DC ρεύματος στο δίκτυο είναι η μεταβολή του σημείου λειτουργίας των μετασχηματιστών του δικτύου προς τον κορεσμό, το οποίο οδηγεί σε υψηλό ρεύμα πρωτεύοντος το οποίο μπορεί να ενεργοποιήσει μέσα προστασίας. Επιπλέον επηρεάζεται αρνητικά ο χρόνος ζωής και ο βαθμός απόδοσης των μετασχηματιστών, ενώ καταπονούνται επίσης και οι καλωδιώσεις.

Το θέμα της έγχυσης DC ρεύματος αποκτά σημασία σε αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή. Οι αντιστροφείς που διαθέτουν μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (50Hz) πετυχαίνουν γαλβανική απομόνωση μεταξύ της DC και της AC πλευράς και έτσι αποφεύγεται η έγχυση DC ρεύματος. Αντίθετα, σε αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή, όπου το πρόβλημα μπορεί να εμφανιστεί, εφαρμόζονται εξελιγμένες τεχνικές για μέτρηση ρεύματος και ηλεκτρονικό έλεγχο. Οι αντιστροφείς που διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης σε υψηλή συχνότητα, αποτελούν μία ενδιάμεση κατάσταση στο βαθμό που επηρεάζεται ο τύπος του μέσου προστασίας που χρησιμοποιείται για έμμεσες επαφές στην DC πλευρά.

Σήμερα για τη σύνδεση ενός Φ/Β πάρκου η 5EH θέτει ως απαραίτητο όρο η έγχυση DC να είναι μικρότερη του 0,5% του ονομαστικού ρεύματος και πρέπει να προσκομιστούν τα ανάλογα πιστοποιητικά.

3.3.7 Λειτουργία με περιορισμό ισχύος

Η διαφορά ανάμεσα στην ονομαστική ισχύ και την ισχύ λειτουργίας από τα Φ/Β πάνελ προϋποθέτει ότι οι αντιστροφείς θα πρέπει να προστατευτούν από τη λειτουργία υπερφόρτισης, για παράδειγμα όταν η ισχύς που παράγεται από τα Φ/Β πάνελ είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη DC εισόδου του αντιστροφέα. Στην περίπτωση αυτή οι εσωτερικοί αλγόριθμοι ελέγχου μετατοπίζουν το σημείο λειτουργίας από το μέγιστο (MPP) ώστε να προστατευτεί ο αντιστροφέας από υπερθέρμανση. Ώςτυχώς, στην περίπτωση αυτή η επιπλέον αυτή ενέργεια των Φ/Β πάνελ δεν αξιοποιείται.

Υπάρχουν επίσης αντιστροφείς στους οποίους δεν εκτελείται η παραπάνω διαδικασία, αλλά απλά ο αντιστροφέας σταματά τη λειτουργία του και προσπαθεί να επανασυνδεθεί μετά από μικρό χρονικό διάστημα. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να γίνεται σωστή διαστασιολόγηση των αντιστροφέων και να ληφθεί υπόψη μία μέση εκτίμηση της πραγματικά παραγόμενης ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ. Το θέμα αυτό είναι σημαντικότερο σε Φ/Β πάρκα με τράκερ καθώς εμφανίζουν σημαντικά αυξημένη παραγωγή ενέργειας που επιφέρει τη λειτουργία αντιστροφέων σε υψηλότερα φορτία απ' ό τι για παράδειγμα σε συστήματα σταθερών βάσεων.

3.3.8 Άλλα χαρακτηριστικά

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή και τοποθέτηση των αντιστροφέα είναι ο βαθμός προστασίας του (IP class). Αν και αντιστροφείς με υψηλό δείκτη προστασίας (π.χ. IP 65) μπορούν να τοποθετηθούν στον εξωτερικό χώρο, γενικά συνιστάται να αποφεύγεται η απευθείας έκθεση τους στον ήλιο και να τοποθετούνται στο πίσω μέρος των σταθερών βάσεων ή στη βάση των τράκερ.

Αντιστροφείς με μικρότερο δείκτη προστασίας IP (π.χ. IP44) μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικό χώρο με πρόβλεψη κάποιου καλύμματος προστασίας από καιρικές συνθήκες. Αντίθετα αντιστροφείς με ακόμη μικρότερο δείκτη (π.χ. IP 21-23) θα πρέπει οπωσδήποτε να

τοποθετούνται σε εσωτερικό χώρο. Στην περίπτωση αυτή μέριμνα πρέπει να ληφθεί για τον επαρκή αερισμό του χώρου ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του αντιστροφέα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, σε ορισμένες περιπτώσεις αν θεωρείται σκόπιμο θα πρέπει να προβλεφθεί και η τοποθέτηση κλιματιστικού μηχανήματος.

Αναφορικά με την αξιοπιστία των αντιστροφέων, οι περισσότεροι κατασκευαστές εγγυώνται μία περίοδο της τάξης των 5 ετών. Είναι ωστόσο δυνατόν, με αντίστοιχη αύξηση του κόστους η περίοδος εγγύησης να επεκταθεί αρκετά, σε διάστημα ακόμη και 20 ετών. Το γεγονός ότι οι αντιστροφείς εμφανίζουν σημαντικά μειωμένους χρόνους εγγύησης σε σχέση με τα υπόλοιπα βασικά τμήματα της Φ/Β εγκατάστασης (π.χ. πάνελ, βάσεις, καλώδια κτλ), λόγω της ηλεκτρονικής φύσης τους, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τους χρηματοοικονομικούς υπολογισμούς καθώς είναι πολύ πιθανόν στο διάστημα της 20ετίας που προβλέπεται η αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας από το ΔΕΣΜΗΕ να χρειαστεί να γίνει αντικατάσταση τους επί πληρωμή.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι όλοι οι αντιστροφείς της αγοράς είναι εξοπλισμένοι με συστήματα που επιτρέπουν την παρακολούθηση της λειτουργίας τους, την καταγραφή των δεδομένων και της δυνατότητα επικοινωνίας ώστε να καταστεί δυνατή η τοπική και απομακρυσμένη παρακολούθηση της πραγματικής παραγωγής του Φ/Β σταθμού. Ειδικά στην απομακρυσμένη παρακολούθηση, σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές αντιστροφέων δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης μέσω διαδικτύου, μέσω αντίστοιχων ιστοσελίδων, ώστε να είναι δυνατή η επισκόπηση της λειτουργίας από απόσταση και η αναφορά σφαλμάτων.

3.4 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

Η ανύψωση της Χαμηλής Τάσης (315V) που παράγουν οι Αντιστροφείς σε Μέση Τάση (20kV), κατάλληλη για την τροφοδότηση του δικτύου ΜΤ της ΔΕΗ, θα πραγματοποιείται με τη χρήση Μετασχηματιστών του οίκου Schneider Electric. Θα γίνει χρήση 3 τεμαχίων France Transfo 0,315/20kV,

800kVA, 50Hz, ενός για κάθε inverter. Πρόκειται για μετασχηματιστές τύπου ελαίου, χαμηλών απωλειών και κατάλληλου σχεδιασμού για την λειτουργία τους εν σειρά με τους αντιστροφείς του Φ/Β Σταθμού.

3.5 ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ

Η διασύνδεση κάθε Μετασχηματιστή με το δίκτυο Μ.Τ. του Σταθμού τύπου βρόγχου, θα πραγματοποιείται με τη βοήθεια διακοπτικού υλικού Μ.Τ. του οίκου Schneider Electric που θα περιλαμβάνει πεδίο άφιξης με διακόπτη φορτίου, πεδίο αυτόματου διακόπτη προς τον Μ/Σ και πεδίο αναχώρησης προς τον επόμενο Μ/Τ με διακόπτη φορτίου.

3.6 ΟΙΚΙΣΚΟΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ/ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ

Αντιστροφέας μαζί με τον Μετασχηματιστή που τροφοδοτεί και τον αντίστοιχο Διακόπτη Μετασχηματιστή

3.7 ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΤ & ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Η διασύνδεση του Σταθμού με το δίκτυο Μ.Τ. της ΔΕΗ θα πραγματοποιείται με τη βοήθεια διακοπτικού υλικού Μ.Τ.. Θα χρησιμοποιηθεί ένα πεδίο άφιξης της ΔΕΗ

3.8 ΜΟΝΑΔΑ ΑΔΙΑΛΕΙΠΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Για την αδιάλειπτη τροφοδοσία των μέσων προστασίας θα εγκατασταθεί μονάδα αδιάλειπτης παροχής ηλεκτρικού ρεύματος τύπου SUA2200XLI + SUA48XLBP η οποία θα παρέχει αυτονομία στο 24 hrs 58 mins (μέγιστη κατανάλωση συσκευών = 50 W)

3.9 ΟΙΚΙΣΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ & ΔΙΑΝΟΜΗΣ Μ.Τ. (CONTROLROOM)

Το Control Room του Σταθμού θα είναι τύπου προκατασκευασμένου οικίσκου από λαμαρίνα βαρυτικής έδρασης εξωτερικών διαστάσεων ΜxΠxΥ=5,0x3,0x3,0m. Ο οικίσκος θα τοποθετηθεί επί βάσης σκυροδέματος η οποία θα είναι στατικά επαρκής για την ανάληψη του βάρους του (~3400 κιλά).

3.10 ΚΥΤΙΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ DC

Η παράλληλη σύνδεση των String καλωδίων πραγματοποιείται με τη χρήση Κυτίων Διασύνδεσης DC

3.11 ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ DC (STRING)

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια εκάστης Συστοιχίας θα συνδεθούν εν σειρά για την κατασκευή 370 String των 22 πλαισίων. Τα String θα οδηγηθούν με τη βοήθεια καλωδίων του οίκου Leoni Studer τύπου BETAflam 125-flex SOLAR FRNC, διατομής 6mm², στα Κυτία Διασύνδεσης DC.

3.12 ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ DC

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτεί τη χρήση καλωδίων DC και AC. DC καλώδια χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των πάνελ μεταξύ τους και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του αντιστροφέα ενώ AC καλώδια ισχύος, συμβατικού τύπου, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα και την τελική σύνδεση με τη ΔΕΗ.

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση εν σειρά των Φ/Β πάνελ είναι συνήθως κατασκευασμένα για χρήση στον εξωτερικό χώρο. Η διατομή τους είναι συνήθως 4mm² για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου και ακόμη μικρότερη (της τάξης του 1,5mm²) για πάνελ άμορφου πυριτίου, λόγω του σημαντικά μικρότερου ρεύματος τους. Τα καλώδια αυτά είναι συνήθως μονοπολικά και με διπλή μόνωση, ώστε να αποφεύγονται σφάλματα μεταξύ

του θετικού και του αρνητικού πόλου των Φ/Β πάνελ ή σφάλματα γης. Κατασκευάζονται επίσης πολύκλινα ώστε να διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για τη σύνδεση τους, ενώ το μήκος τους κυμαίνεται γύρω στο 1 μέτρο.



Εικόνα 3.12.1 Τυπικά καλώδια φωτοβολταϊκών πλαισίων

Το συχνά χρησιμοποιούμενο καλώδιο με μόνωση λάστιχο και μανδύα απόνεοπρένιο τύπου H07 RN-F, στην τυπική (standard) έκδοση του επιτρέπεται σε θερμοκρασίες έως 60.C και έτσι είναι κατάλληλο για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα σε περιορισμένο εύρος. Για το σκοπό αυτό οι κατασκευαστές προχώρησαν στη δημιουργία ειδικών καλωδίων για φωτοβολταϊκές εφαρμογές (solar cables). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους είναι ότι είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες και σε υπεριώδη (UV) ακτινοβολία με μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών (της τάξης από -55°C έως 125°C). Επιπλέον κάποιοι κατασκευαστές προσφέρουν καλώδια με μεταλλικό πλέγμα για μεγαλύτερη προστασία από τα τρωκτικά και καλύτερη προστασία από υπερτάσεις.

Οι διατομές των DC καλωδίων που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των Φ/Β πάνελ με τους αντιστροφείς κυμαίνονται συνήθως από 4-16mm². Ο ακριβής προσδιορισμός της διατομής εξαρτάται κυρίως από τις απώλειες του καλωδίου και όχι ιδιαίτερα από τη θερμική φόρτιση η οποία είναι μικρή, λόγω του μικρού σχετικά ρεύματος λειτουργίας των Φ/Β πάνελ. Έτσι, με δεδομένη την γραμμική αύξηση των απωλειών με το μήκος των καλωδίων, είναι σκόπιμο ο κάθε μελετητής να προβαίνει σε υπολογισμούς απωλειών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αποστάσεων αρκετών δεκάδων μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη και την αντίσταση των καλωδίων. Είναι επίσης σκόπιμο να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί χρωματισμοί καλωδίων για το θετικό και αρνητικό, συνήθως κόκκινο και μαύρο.

Είναι δυνατόν επίσης να χρησιμοποιηθούν και μεγαλύτερες διατομές DC καλωδίων της τάξης των 25-70mm², σε περιπτώσεις που δεν επαρκεί ο αριθμός των εισόδων ενός αντιστροφέα για την απευθείας σύνδεση όλων των επιμέρους DC καλωδίων των κλάδων. Η περίπτωση αυτή είναι αρκετά συνηθισμένη κυρίως σε κεντρικούς αντιστροφείς (της τάξης ονομαστικής

ισχύος των 100kW και άνω. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται κατάλληλα κιτία τα οποία ομαδοποιούν πολλά ζεύγη καλωδίων κλάδων σε ένα ζεύγος. Στις περιπτώσεις αυτές τα κιτία αυτά είναι επίσης συνήθως εφοδιασμένα με απαγωγείς υπερτάσεων και DC διακόπτες φορτίου.

Επιπλέον, σε κάποιες περιπτώσεις διαθέτουν και διατάξεις επιτήρησης κλάδων (string monitoring) ώστε να δίνεται πληροφορία στον αντιστροφέα και το σύστημα εποπτείας για τη δυσλειτουργία ενός κλάδου. Στις περιπτώσεις αυτές ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να λαμβάνει επίσης υπόψη του για τον υπολογισμό της διατομής, πέραν των απωλειών, και το θερμικό φορτίο, λόγω του παραλληλισμού σημαντικού αριθμού κλάδων.

Επιπλέον, κατά τη φάση κατασκευής του έργου, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την προσεκτική όδευση των καλωδίων κατά τις συνήθεις πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η γειτνίαση των καλωδίων, η χρήση σωλήνων και η ανάγκη προστασίας από τα τρωκτικά.

Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για τη σωστή διασύνδεση των καλωδίων τόσο μεταξύ των πάνελ (δηλαδή από το (+) ενός πάνελ στο (-) του επόμενου κτλ) όσο και μεταξύ των κλάδων των πάνελ και των εισόδων του αντιστροφέα. Σε περίπτωση χαλαρής σύνδεσης είναι πιθανόν να εμφανιστεί τόξο αυξάνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Επιπλέον, η ύπαρξη υψηλής σχετικά DC τάσης επιβάλλει ώστε η σύνδεση των καλωδίων να πραγματοποιείται από εξειδικευμένο προσωπικό με τη δέουσα προσοχή.

Έτσι οι παραπάνω απαιτήσεις οδήγησαν στην επικράτηση στην αγορά λύσεων τύπου “plug and play” με συνδέσμους καλωδίων που εξασφαλίζουν την απουσία επαφής με γυμνό αγωγό και τη μικρή ωμική αντίσταση (της τάξης των 5m³ και μικρότερη). Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει παραδείγματα συνδέσμων καλωδίων:



Εικόνα 3.12.2 Σύνδεσμοι DC φωτοβολταϊκών καλωδίων

Αναφορικά με τα καλώδια του εναλλασσομένου ρεύματος (AC) χρησιμοποιούνται οι συμβατικοί τύπου καλωδίων (π.χ. NYY, NYM, NYCWY)

εφαρμόζοντας τις συνήθειες πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας αναφορικά με τον υπολογισμό της διατομής τους, τον τρόπο τοποθέτησης και την προστασία τους.

3.13 ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ AC Μ.Τ.

Η διασύνδεση κάθε Οικίσκου Αντιστροφέα/Μετασχηματιστή με τους Διακόπτες Διασύνδεσης στο Control Room του Σταθμού και η σύνδεση του Σταθμού με τον αποξέυκτη του δικτύου ΜΤ της ΔΕΗ..

3.14 Ο ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η φόρτιση των ηλεκτρικών συσσωρευτών, μέσω μιας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας π.χ. ΦΒ σύστημα, ανεμογεννήτρια, Α/Γ ή ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, Η/Ζ, απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης τους, ώστε, όταν αυτοί φτάσουν στην κατάσταση μέγιστης φόρτισης, να διακόπτεται η διαδικασία. Έτσι, αποφεύγεται η υπέρταση του συσσωρευτή, που έχει ως συνέπεια την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου, λόγω ηλεκτρόλυσης. Αντίστοιχα, απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή όσο αυτός τροφοδοτεί την κατανάλωση, ώστε να προληφθεί η καταστροφική για τον συσσωρευτή, κατάσταση υπερεκφόρτισης.

Γενικά λοιπόν, ο ελεγκτής φόρτισης, στην πιο περιορισμένη του μορφή, εποπτεύει την διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης ώστε να είναι σε θέση να απομονώνει το σύστημα αποθήκευσης, αφ' ενός από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας, στην περίπτωση της υπερφόρτισης, αφ' ετέρου, από το σύστημα κατανάλωσης, στην περίπτωση της υπερεκφόρτισης. Και στις δύο περιπτώσεις, η διακοπή αυτή προκαλείται, όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει προς τα άνω και αντίστοιχα προς τα κάτω, ορισμένα όρια τάσης (setpoints), όπου ενεργοποιούνται οι ηλεκτρικοί διακόπτες.

Μια μονάδα ελέγχου φόρτισης - εκφόρτισης, περιλαμβάνει σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων είτε microcontrollers, που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, είτε ηλεκτρομηχανικούς (relays), είτε ηλεκτρονικούς ισχύος (transistors bipolar, MOSFET, thyristors, triacs κ.λ.π.). Σε κάθε περίπτωση,

στο κύκλωμα παρεμβάλλεται μια δίοδος για την προστασία του συστήματος αποθήκευσης από εκφόρτιση.

3.15 ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ

Για την καταγραφή, συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων λειτουργίας του Σταθμού θα χρησιμοποιηθεί Σύστημα Τηλεμετρίας σε συνδυασμό με τα διάφορα αισθητήρια, Παράλληλα θα γίνει εγκατάσταση όλων των απαραίτητων υποδομών (καλωδιώσεις, modules) για την παράλληλη λειτουργία με το Weblog, του συστήματος παρακολούθησης και τηλεμετρίας της SMA τύπου Web Box

3.16 ΕΡΓΑ ΟΔΕΥΣΗΣ ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΩΝ

Θα διανοιχθούν χάνδακες για την όδευση των καλωδίων. Όλες οι οδεύσεις των κεντρικών καλωδιώσεων DC θα γίνουν χωρίς τη χρήση προστατευτικού σωλήνα, αλλά σε περιβάλλον αδρανούς υλικού (άμμος), ώστε να εξασφαλίζεται η απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας και να περιορίζεται ο κίνδυνος διάβρωσης και τραυματισμού των καλωδίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Ο Σταθμός θα αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια τεχνολογίας πολυκρυσταλλικού πυριτίου του οίκου Yingli. Θα γίνει χρήση 8.140 τεμαχίων του τύπου YL 235P-29b, ονοματικής ισχύος 235Wp έκαστο.



Εικόνα 4.1.1 Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου του οίκου Yingli, 235 Wp

Πίνακας 4.1-1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πάνελ (1^η στήλη)

Module type		YL235-29b	YL230P-29b	YL225P-29b	YL220P-29b	YL215P-29b	YL210P-29b
Power output	[W]	235.0	230.0	225.0	220.0	215.0	210.0
Power output tolerances	[%]	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/-3
Module Efficiency	[%]	14.4	14.1	13.8	13.5	13.2	12.9
Voltage at Pmax, V_{mpp}	[V]	29.5	29.5	29.5	29.0	29.0	28.5
Current at Pmax, I_{mpp}	[A]	7.97	7.80	7,63	7.59	7.41	7.37
Open circuit voltage V_{oc}	[V]	37.0	37.0	36.5	36.5	36.0	36.0
Short circuit current I_{sc}	[A]	8.54	8.40	8.28	8.15	8.10	7.95
Max. system Voltage	[V]	IEC: 1.000 V DC ; UL: 600 V DC					

Πίνακας 4.1-2 Θερμικά χαρακτηριστικά του πάνελ

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	[°C]	46 +/- 2
Temperature coefficient of the short circuit current I_{sc}	[%/K]	+ 0.06
Temperature coefficient of the open circuit voltage V_{oc}	[%/K]	- 0.37
Temperature coefficient of the MPP power P_{mpp}	[%/K]	- 0.45

Πίνακας 4.1-3 Μηχανικά χαρακτηριστικά του πάνελ

Dimensions (length [mm]/width [mm]/thickness [mm])	1650 / 990 / 50
Thickness with junction box [mm]	50
Weight [kg]	19.8
Junction box (manufacturer/protection degree/number of diodes)	CiXi / IP65 / 6
Junction box dimensions (length/width/thickness [mm])	151 / 122 / 25
Positive cable (manufacturer/length [mm]/cable cross-section [mm²])	TAIYO / 1200 / 4
Negative cable (manufacturer/length [mm]/cable cross-section [mm²])	TAIYO / 1200 / 4
Plug connector (manufacturer/type/protection degree)	MC4 / UV resistance and self-locking / IP65
Front cover (material/thickness [mm])	Tempered Glass, 3.2mm
Cell type (quantity/technology)	60 / polycrystalline / 156 x 156
Encapsulation materials	Ethylene Vinyl Acetate (EVA)
Rear cover (material/thickness [mm])	Le/PET/PVDF,0.287
Frame (material)	robust anodized aluminum alloy

4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα εγκατασταθούν σε ομάδες (Συστοιχίες/Τραπέζια), με τη βοήθεια Συστημάτων Στήριξης του οίκου Schletter. Θα χρησιμοποιηθούν 370 τεμάχια, καθένα ικανό να φέρει 22 φωτοβολταϊκά πλαίσια Yingli YL 235P-29b (2 σειρές των 11 panel σε διάταξη portrait) έκαστο. Η κλίση των συστημάτων στήριξης θα είναι 20°.



Εικόνα 4.2.1 Οι βάσεις στήριξης

4.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ (INVERTER)

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε εναλλασσόμενο (AC), θα πραγματοποιείται με τη χρήση Αντιστροφέων (inverter) του οίκου SMA τύπου SC630CP. Θα γίνει χρήση 3 τεμαχίων του τύπου Sunny Central 630CP υψηλής απόδοσης, οι οποίοι θα τοποθετηθούν και προκαλωδιωθούν έκαστος εντός προκατασκευασμένου οικίσκου εκ σκυροδέματος στο οποίο θα περιλαμβάνεται ο εξοπλισμός μετασχηματισμού, διακοπής και προστασίας τους.



Εικόνα 4.3.1 Ο αντιστροφέας Sunny Central 630CP

Πίνακας 4.3-1 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα

Technical data	Sunny Central 630CP-JP
Input (DC)	
Max. DC power (at $\cos \varphi = 1$)	713 kW
Max. input voltage	1000 V
MPP voltage range (50 Hz) / MPP voltage range (60 Hz)	500 V to 850 V ⁽¹⁾ / 505 V to 850 V ⁽¹⁾
DC voltage range (50 Hz) / DC voltage range (60 Hz)	500 V to 850 V / 500 V to 850 V
Rated input voltage	529 V
Max. input current	1350 A
Max. short-circuit current	2500 A
$V_{MPP} \text{ at } I_{MPP} < I_{DCmax}$	500 V (50 Hz) / 500 V (60 Hz)
Number of independent MPP inputs	1
Number of DC inputs	9

4.4 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ολική ισχύς του ΦΒ πάρκου:

$$P_{\text{πάρκου}} = 8140 \text{ πάνελ} \times 235 \text{ W} = 1912900 \text{ W} \text{ ή } 1,9 \text{ MW}$$

Η διάταξη περιλαμβάνει 370 σειρές (strings) των 22 πάνελ έκαστη

Θα χρησιμοποιηθούν 42 αντιστροφείς. Οι 35 αντιστροφείς θα παίρνουν ο καθένας 9 σειρές (strings), οι 6 αντιστροφείς θα δέχονται 6 σειρές και 1 αντιστροφείας θα δεχεται 7 σειρές. Κάθε αντιστροφείας έχει 9 DC εισόδους, άρα η παραπάνω συνδεσμολογία είναι εφικτή από άποψη συνδεσμολογίας.

Ακολουθεί ηλεκτρικός έλεγχος που θα δείξει και την εφικτή ηλεκτρολογική διασύνδεση.

$$\text{Πρέπει } V_{DC,m} = V_{mp} \times N_{\text{πάνελ}} = 29,85 \text{ V} \times 22 \text{ πάνελ} = 656,7 \text{ Volt,}$$

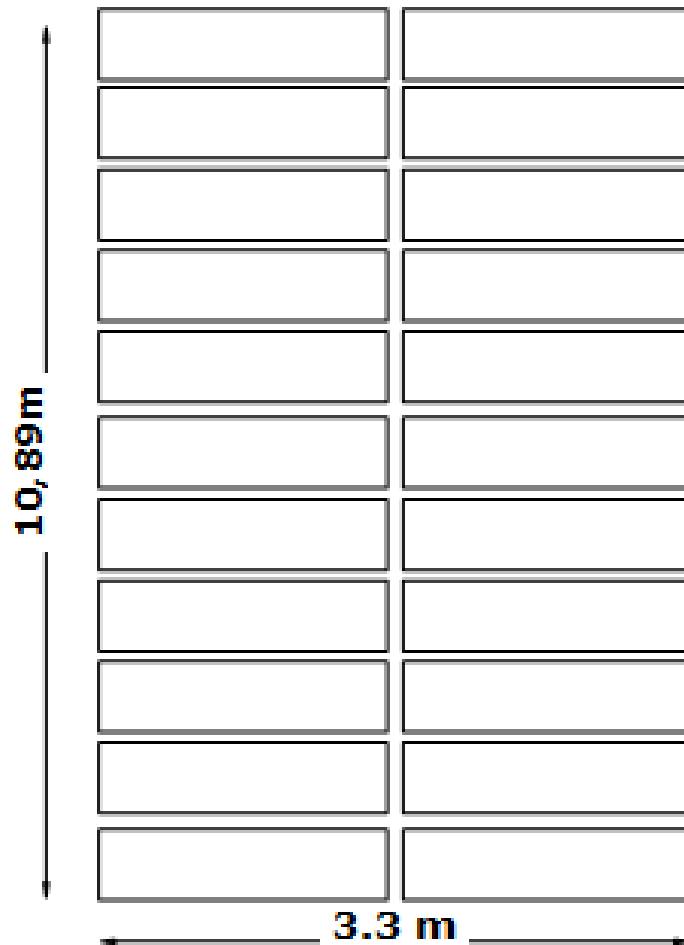
Τα όρια του inverter είναι $500 \text{ V} < V_{mpp} < 850 \text{ V}$, άρα η τάση του string είναι εντός ορίων

$$V_{DC,oc} = V_{oc} \times N_{\text{πάνελ}} = 37 \text{ V} \times 22 \text{ πάνελ} = 814 < V_{DC,max} = 1000 \text{ V} \text{ άρα το string δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τάση του inverter}$$

$$I_{DC} = 8.54 \text{ A} < 2500 \text{ A} \text{ άρα το string δεν υπερβαίνει το μέγιστο ρεύμα του inverter}$$

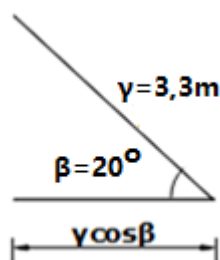
4.5 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Κάθε string αποτελείται από 2 σειρές των 11 panel σε διάταξη portrait. Οπότε η διάσταση κάθε συστοιχίας/τραπεζιού είναι $0,99 \text{ m} \times 11 = 10,89 \text{ m}$ μήκος και $1,65 \text{ m} \times 2 = 3,3 \text{ m}$ πλάτος όπως φαίνεται και στο σχήμα



Εικόνα 4.5.1 Προτεινόμενη διάταξη των ΦΒ στοιχείων

Επειδή τα πάνελ τοποθετούνται με κλίση 20° από το έδαφος, δεν καταλαμβάνουν 3,3 m αλλά όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα $\gamma \cdot \cos\beta = 3,3 \cdot \cos 20 = 3,1\text{m}$



Εικόνα 4.5.2 Η γωνία τοποθέτησης των πάνελ

Οπότε κάθε string θα καταλαμβάνει εμβαδό $E = 10,89\text{m} \times 3,1\text{m} = 33,76\text{m}^2$

Όπως έχει ειπωθεί και παραπάνω, θα χρησιμοποιηθούν 370 συστοιχίες/τραπέζια τα οποία θα τοποθετηθούν σε δέκα σειρές των 37 τραπεζιών έκαστη. Η απόσταση μεταξύ των σειρών θα είναι 2,5m.

Κάθε σειρά θα έχει διαστάσεις $10,89\text{m} \times 37 \text{ πάνελ/σειρά} = 402,93\text{m}$ μήκος και 3,1m πλάτος,

Αρα η συνολική συστοιχία έχει εμβαδό:

$$402,93\text{m} \times (3,1\text{m} \times 10 + 2,5 \times 9) = 402,93\text{m} \times 53,5\text{m} = 21556,755\text{m}^2$$

Όπου 2,5m είναι η απόσταση μεταξύ των σειρών

4.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Ο υπολογισμός των καλωδίων των κυκλωμάτων συνεχούς ρεύματος (ΣΡ) του σταθμού ακολουθεί το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384.5.523 που ισχύει για καλώδια ΣΡ έως 1500V.

Ο υπολογισμός των καλωδίων Μέσης Τάσης ακολουθεί το πρότυπο DIN VDE0298. Οι διατομές των καλωδίων θα υπολογισθούν έτσι ώστε η μέση ωμική απώλεια των DCκυκλωμάτων του Σταθμού να μην υπερβαίνει μαζί με αυτές των κυκλωμάτων AC το 1%, λαμβανομένης υπόψη και της πιθανότητας για αύξηση της ονομαστικής ισχύος του Σταθμού έως και 10%.

4.6.1 Καλωδιώσεις συστοιχιών DC (STRING)

Τα String θα οδηγηθούν με τη βοήθεια καλωδίων του οίκου *Leoni Studer* τύπου *BETAflam 125-flex SOLAR FRNC* στακυτία διασύνδεσης DC. Οι θέσεις των κυτίων διασύνδεσης επιλέχθηκαν στο κέντρο κάθε ομάδας 24 συστοιχιών ώστε να ελαχιστοποιείται το μήκος των καλωδίων συστοιχιών. Από την χωροθέτηση προκύπτει ότι κατά μέσο όρο το μήκος των αγωγών είναι $35 \times 2 = 70$ μέτρα.

Ακολουθεί ο υπολογισμός της διατομής των καλωδίων

Τάση συστήματος: $V_{mp} = 22 \times 29,5 = 649V$

Ονομαστικό Ρεύμα ΦΒ συστοιχίας: $I_{mp} = 7,97A$

Μέγιστο ρεύμα ΦΒ συστοιχίας: $I_{sc} = 8,40A$

Αγωγιμότητα καλωδίου: $G = 49,164 \frac{m}{\Omega \times mm^2} (20^\circ C)$

Στους $25^\circ C$ η αγωγιμότητα είναι

$$\frac{G}{1 + a \cdot \Delta T} = \frac{49,164}{1 + 0,004 \cdot (25 - 20)} = 48,2 \frac{m}{\Omega \times mm^2}$$

Στην περίπτωση που η διατομή επιλεχθεί $6mm^2$ η μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση του καλωδίου προκύπτει από τον Πίνακα 4.6-1 για την περίπτωση αγωγών μέσα σε σωλήνα, $I_o = 47A$.

Πίνακας 4.6-1 Επιτρεπόμενες εντάσεις ρευμάτων (πηγή :Leoni Studer)

Umgebungstemperatur 30 °C / 86 °F Ambient temperature 30 °C / 86 °F				
Kabelbauform Conductor	Frei in Luft Free in air	An Flächen ohne gegenseitige Berührung On surfaces without opposite contact	An Flächen mit gegenseitiger Berührung On surfaces with opposite contact	In Rohr, Kanal, Gehäuse In conduit, casing, duct
mm ²	A	A	A	A
1,5	39	37	26	21
2,5	51	48	34	27
4	68	65	45	36
6	88	84	59	47
10	121	115	80	64

Dauerbetrieb mit den Strombelastungen nach obers. Tabelle.
Dies ergibt rechtlich eine Leitertemperatur von 120 °C.
(Berechnungen nach IEC 60287)

Continuous duty with current loads as per above table.
This gives a conductor temperature of 120 °C.
(Calculation according IEC 60287)

Για θερμοκρασία περιβάλλοντος 50°C (δυσμενέστερη περίπτωση) προκύπτει ο συντελεστής διόρθωσης από τον πίνακα 3, $f = 0,88$

Πίνακας 4.6-2 Συντελεστές διόρθωσης με βάση τη θερμοκρασία (πηγή :Leoni Studer)

Umrechnungsfaktoren für abweichende Umgebungstemperaturen (Basis 30 °C) Conversion factors for deviating ambient temperatures (basis 30 °C)	
Temperatur Temperature	Strombelastbarkeit bei 120 °C Current rating at 120 °C
°C	Faktor / Factor
20	× 1,05
30	× 1,00
40	× 0,94
50	× 0,88
60	× 0,82
70	× 0,75
80	× 0,67
90	× 0,58

4.6.2 Μέγιστο συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα

Επομένως η μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση του αγωγού είναι:

$$I_m = I_o \times 0,88 = 41,36 > 8,40A$$

4.6.3 Υπολογισμός πτώσης τάσης

Η % πτώση τάσης κατά μήκος του αγωγού στην ονομαστική ισχύ (θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C) είναι:

$$\frac{\Delta U}{U} \times 100\% = \frac{I_{mpp} \times R_{con}}{U} \times 100\% = \frac{7,97A \times 70m \times \frac{1}{6mm^2} \times \frac{1}{48,2} \frac{\Omega \times mm^2}{m}}{649V} \times 100\%$$

$$= 0,297\%$$

Αυτή είναι η πτώση τάσης στα άκρα μίας μέσης συστοιχίας. Άρα οι ωμικές απώλειες στους αγωγούς που οδηγούν τις συστοιχίες στα κυτία διασύνδεσης είναι 0,297% της ονομαστικής ισχύος.

4.6.4 Κεντρικές καλωδιώσεις DC

Για τη σύνδεση των κυτίων διασύνδεσης DC με τους αντιστροφείς θα χρησιμοποιηθούν καλώδια αλουμινίου του οίκου *HES*, τύπου *AL/XLPE/SWA/PVC, NA2XRY, 0.6/1kV*.

Μέγιστο συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα

Ισχύει:

$$I = I_o \times f_{\theta} \times f_c \times f_i$$

Όπου:

I : το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα φόρτισης στις συνθήκες της εγκατάστασης

I_o : το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα φόρτισης για θερμοκρασία $20^{\circ}C$ (απόκατασκευαστή)

f_{θ} : συντελεστής εξαρτώμενος από την θερμοκρασία του εδάφους (ΠΙΝΑΚΑΣ 52-Δ2)

f_c : συντελεστής εξαρτώμενος από ειδική αγωγιμότητα του εδάφους. (ΠΙΝΑΚΑΣ 52-Δ3)

f_i : συντελεστής εξαρτώμενος από το πλήθος των συστημάτων που γειτνιάζουν (ΠΙΝΑΚΑΣ 52-Ε3)

Πίνακας 4.6-3 Πίνακας 52-Δ2: Συντελεστές διόρθωσης για θερμοκρασία εδάφους διαφορετική από $20^{\circ}C$

Θερμοκρασία εδάφους °C	Μόνωση	
	PVC	EPR ή XLPE
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,56	0,71
60	0,48	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

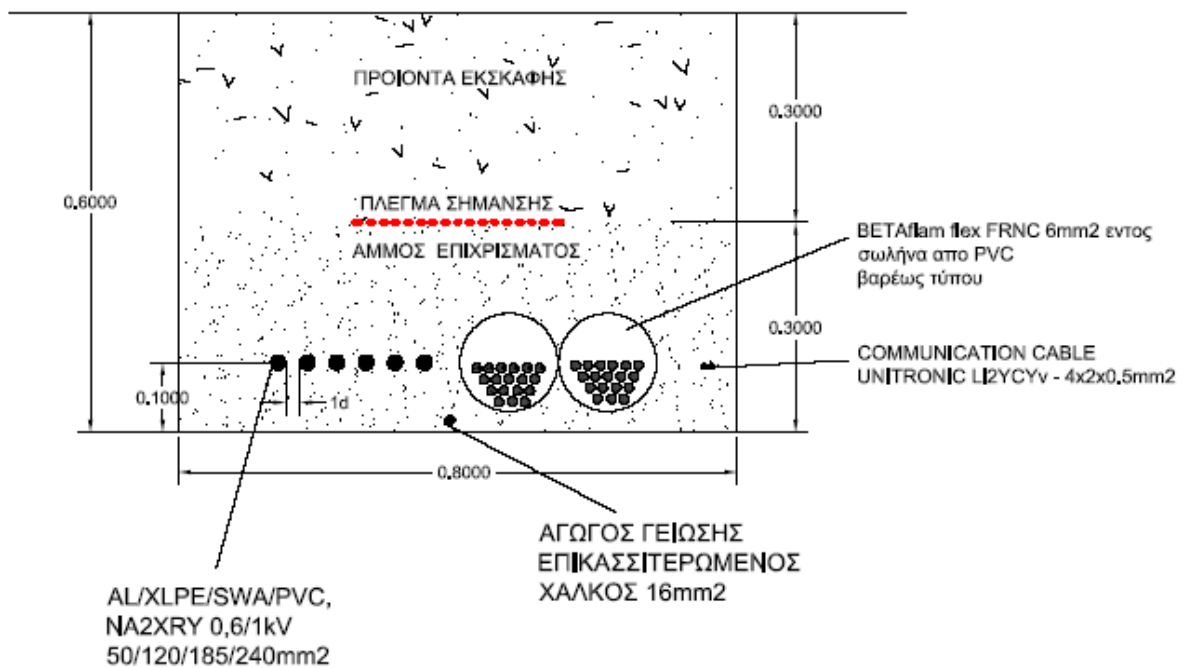
Πίνακας 4.6-4 Πίνακας 52-Δ3: Συντελεστές διόρθωσης για ειδική θερμική αντίσταση εδάφους διαφορετική από 2.5km/W

Ειδική θερμική αντίσταση K.m/W	1	1.5	2	2.5	3
Συντελεστής διόρθωσης	1,18	1,10	1,05	1	0,96

Πίνακας 4.6-5 Πίνακας 52-Ε3: Συντελεστές διόρθωσης για περισσότερα από ένα κυκλώματα με καλώδια θαμμένα κατευθείαν στο έδαφος

Πλήθος κυκλω- μάτων	Μονοπολικά ή πολυπολικά καλώδια				
	Απόσταση μεταξύ καλωδίων (α)*				
	Μηδενική (σε επαφή)	Μια διάμετρος καλωδίου	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

Τα καλώδια θα τοποθετηθούν στο έδαφος σε βάθος 0,7μ και θα περιβάλλονται από άμμο. Στην συνέχεια θα καλυφθούν με χώμα. Τα τμήματα στις δυο άκρες των καλωδίων που βρίσκονται στον αέρα είναι μικρότερα από 1μ επομένως παραλείπονται στους υπολογισμούς.



Σχήμα 4.6-1 όδευση των υπόγειων καλωδίων

Από τον ΠΙΝΑΚΑ 52-Δ2 προκύπτει για θερμοκρασία εδάφους 30°C για βάθος 0,7μ και υποτροπικό κλίμα (IEC60287) συντελεστής $f_{\theta} = 0,93$

Από τον ΠΙΝΑΚΑ 52-Δ3 προκύπτει για ξηρό κλίμα και θερμική αντίσταση 2,5 Km/W, $f_c = 1$

Τα καλώδια θα οδεύουν από τα Κυτία διασύνδεσης μέχρι τους αντιστροφείς σε κοινό αύλακα, ο οποίος στην δυσμενέστερη περίπτωση θα περιέχει 3 κυκλώματα, τοποθετημένα σε απόσταση μίας διαμέτρου καλωδίου. Άρα ο συντελεστής $f_i = 0,7$

Πίνακας 4.6-6 Μέγιστες επιτρεπόμενες φορτίσεις (20°C) (Πηγή: HES© Cabo)

DIMENSION AND WEIGHTS				ELECTRICAL PROPERTIES				
Nominal Cross-Section	Overall Diameter (approx)	Net Weight (approx)	Delivery Length	DC Conductor Resistance at 20C	Current Carrying Capacity			
mm ²	mm	kg/km	m	ohm/km	In ground at 20 °C A ^{***}	In ground at 20 °C A ^{**^*}	In air at 30 °C A ^{***}	In air at 30 °C A ^{**^*}
1x25	15.5	400	1000	1.2000	-	-	-	-
1x35	17.5	600	1000	0.8680	164	137	163	131
1X50	19.5	700	1000	0.6410	195	163	200	161
1X70	21.0	850	1000	0.4430	238	201	254	205
1X95	23.5	1100	1000	0.3200	204	240	313	253
1x120	25.0	1250	1000	0.2530	323	274	366	296
1x150	27.0	1450	1000	0.2060	361	308	420	341
1x185	29.5	1650	1000	0.1640	408	350	486	395
1x240	32.0	1950	1000	0.1250	476	408	585	475
1x300	35.5	2500	1000	0.1000	537	462	675	548
1x400	39.5	3050	1000	0.0778	616	531	798	647
1x500	43.0	3550	1000	0.0605	699	601	926	749

Οι διατομές που χρησιμοποιήθηκαν είναι 120, 185 και 240mm². Από τον Πίνακα 4.6-β προκύπτουν οι μέγιστες επιτρεπόμενες φορτίσεις (20°C) και λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω συντελεστές προκύπτει το μέγιστο ρεύμα φόρτισης.

Διατομή (mm ²)	I ₀ (A)	I ₀ ×f _θ ×f _c ×f _i (A)	I _{PVmax} (A)
120	323	210	135
185	408	265	191
240	476	309	191

Επομένως οι διατομές που επιλεχθήκαν, είναι ικανές να φορτίζονται με το μέγιστο ρεύμα των ΦΒ γεννητριών.

4.6.5 ΚΑΛΩΔΙΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ (20kV)

Μέγιστο συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα

Τα καλώδια **N2XS(YR(AL)Y, CU/XLPE/SC/PVC/AWA/PVC, 12/20kV** διατομής **70mm²** ακολουθούν τα πρότυπα TS IEC 60502, VDE 0276, BS 6622. Ο υπολογισμός θα γίνει με βάση το πρότυπο VDE 0276-1000.

Μέγιστο συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα

Ισχύει:

$$I = I_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5$$

Όπου:

I: το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα φόρτισης στις συνθήκες της εγκατάστασης

I₀: το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα φόρτισης για θερμοκρασία 20°C (από κατασκευαστή)

Συντελεστής φορτισης (μέση/μέγιστη ισχύ) $m=0,7$

Ειδική θερμική αντίσταση του εδάφους $\sigma=1\text{Km/W}$

Ένα ενταφιασμένο τριφασικό σύστημα

Τα καλώδια είναι γειωμένα στα δύο άκρα, δηλαδή έχουν συμπεριληφθεί ρευματα μανδύων σε μονοπολικά καλώδια

f₁: συντελεστής για διαφορετικά θ, m και σ

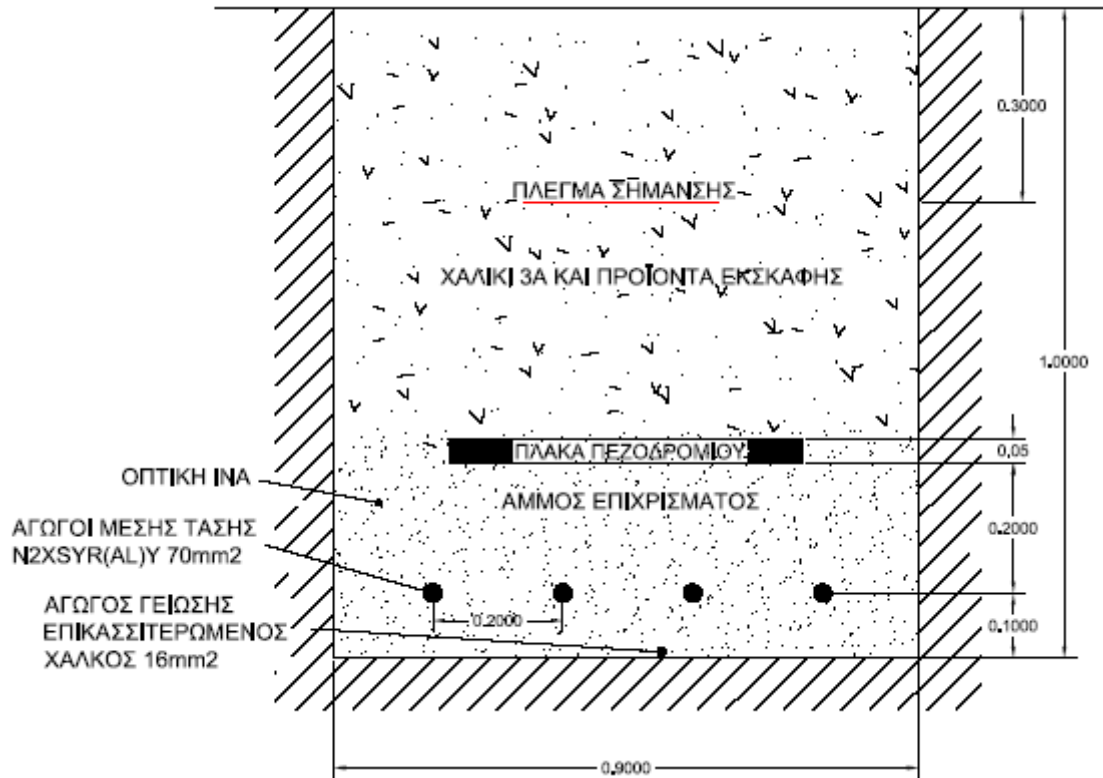
f₂: συντελεστής για περισσότερα του ενός συστήματα

f₃: 0,85 όταν το καλώδιο βρίσκεται σε σωλήνα πάνω από 6m μήκος. Αν όχι f₃=1

f₄: 0,9 αν υπάρχουν προστατευτικά ή σκεπάσματα που εγκλείουν αέρα. Αν όχι f₄=1

f₅: συντελεστής για πολυπολικά καλώδια με περισσότερους των τριών αγωγών

Βάσει του προτύπου VDE 0276 λαμβάνουμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση καλωδίων μέσης τάσης 12/20kV N2XSΥ διατομής 70mm² : **I₀=304A**



Σχήμα 4.6-2 όδευση καλωδίων μέσης τάσης

Λαμβάνουμε το συντελεστή διόρθωσης f_1 από τον Πίνακα 4.6-7 (*DIN VDE 0276-1000 Tabelle 4*). Θεωρώντας τη δυσμενέστερη περίπτωση όπου $\sigma = 2,5 \text{ Km/W}$, $m=1$, και $\theta=30^\circ\text{C}$ και για επιτρεπόμενη θερμοκρασία μόνωσης 90°C λαμβάνουμε $f_1=0,75$

Πίνακας 4.6-7 Συντελεστές διόρθωσης f_1

1 Zulässige Betriebs-temperatur °C	2 Erdboden-temperatur °C	3 Spezifischer Erdbodenwärmewiderstand in K · m/W															6 Belastungsgrad 0,5 bis 1,00	
		0,7 Belastungsgrad					1,0 Belastungsgrad					1,5 Belastungsgrad						
		0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00		
90	5	1,24	1,21	1,18	1,13	1,07	1,11	1,09	1,07	1,03	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,89	
	10	1,23	1,19	1,16	1,11	1,05	1,09	1,07	1,05	1,01	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91		0,86
	15	1,21	1,17	1,14	1,08	1,03	1,07	1,05	1,02	0,99	0,95	0,95	0,93	0,92	0,91	0,89		0,84
	20	1,19	1,15	1,12	1,06	1,00	1,05	1,02	1,00	0,96	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,86		0,81
	25	-	-	-	-	-	1,02	1,00	0,98	0,94	0,90	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84		0,78
	30	-	-	-	-	-	-	-	0,95	0,91	0,88	0,87	0,86	0,84	0,83	0,81		0,75
	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,82	0,80	0,78		0,72
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68		
80	5	1,27	1,23	1,20	1,14	1,08	1,12	1,10	1,07	1,04	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,88	
	10	1,25	1,21	1,17	1,12	1,06	1,10	1,07	1,05	1,01	0,97	0,97	0,95	0,94	0,92	0,91		0,85
	15	1,23	1,19	1,15	1,09	1,03	1,07	1,05	1,03	0,99	0,95	0,94	0,93	0,92	0,90	0,88		0,82
	20	1,20	1,17	1,13	1,07	1,01	1,05	1,03	1,00	0,96	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85		0,78
	25	-	-	-	-	-	1,03	1,00	0,97	0,93	0,89	0,88	0,87	0,86	0,84	0,82		0,75
	30	-	-	-	-	-	-	-	0,95	0,91	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81	0,78		0,72
	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,80	0,77	0,75		0,68
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,64		
70	5	1,29	1,26	1,22	1,15	1,09	1,13	1,11	1,08	1,04	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,86	
	10	1,27	1,23	1,19	1,13	1,06	1,11	1,08	1,06	1,01	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,89		0,83
	15	1,25	1,21	1,17	1,10	1,03	1,08	1,06	1,03	0,99	0,94	0,93	0,92	0,91	0,88	0,86		0,79
	20	1,23	1,18	1,14	1,08	1,01	1,06	1,03	1,00	0,96	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,83		0,76
	25	-	-	-	-	-	1,03	1,00	0,97	0,93	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,79		0,72
	30	-	-	-	-	-	-	-	0,94	0,89	0,85	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76		0,68
	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77	0,74	0,72		0,63
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,59		

(fortgesetzt)

Λαμβάνουμε το συντελεστή διόρθωσης f_2 από τον Πίνακα 4.6-8(DIN VDE 0276-1000 Tabelle 8) . Θεωρώντας και πάλι τη δυσμενέστερη περίπτωση ($\sigma = 2,5\text{Km/W}$, $m=1$) λαμβάνουμε για τρία συστήματα $f_2=0,62$

Πίνακας 4.6-8 Συντελεστές διόρθωσης f_2

Tabelle 8: Umrechnungsfaktoren f_2 , Verlegung in Erde, einadrige Kabel in Drehstromsystemen, Anordnung nebeneinander, lichter Abstand 7 cm



1 Bauart	2 Anzahl Systeme	3 Spezifischer Erdbodenwärmewiderstand in K · m/W															6 Belastungsgrad 0,5 bis 1,00					
		0,7 Belastungsgrad					1,0 Belastungsgrad					1,5 Belastungsgrad										
		0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00						
VPE-Kabel 0,6/1 kV Ø/10 kV 12/20 kV 18/30 kV	1	1,08	1,05	0,99	0,91	0,85	1,13	1,07	1,00	0,92	0,85	1,18	1,09	1,01	0,92	0,85	1,19	1,11	1,03	0,93	0,85	
	2	1,01	0,93	0,86	0,77	0,71	1,03	0,94	0,87	0,78	0,71	1,05	0,95	0,88	0,78	0,71	1,06	0,96	0,88	0,79	0,71	
	3	0,92	0,84	0,77	0,69	0,62	0,93	0,85	0,77	0,69	0,62	0,95	0,86	0,78	0,69	0,62	0,96	0,86	0,79	0,69	0,62	
	4	0,88	0,80	0,73	0,65	0,58	0,89	0,80	0,73	0,65	0,58	0,90	0,81	0,74	0,65	0,58	0,91	0,82	0,74	0,65	0,58	
	5	0,84	0,76	0,69	0,61	0,55	0,85	0,77	0,70	0,61	0,55	0,87	0,78	0,70	0,62	0,55	0,87	0,78	0,71	0,62	0,55	
	6	0,82	0,74	0,67	0,59	0,53	0,83	0,75	0,68	0,60	0,53	0,84	0,75	0,68	0,60	0,53	0,85	0,76	0,69	0,60	0,53	
	8	0,79	0,71	0,64	0,57	0,51	0,80	0,71	0,65	0,57	0,51	0,81	0,72	0,65	0,57	0,51	0,81	0,72	0,65	0,57	0,51	
	10	0,77	0,69	0,62	0,55	0,49	0,78	0,69	0,63	0,55	0,49	0,78	0,70	0,63	0,55	0,49	0,79	0,70	0,63	0,55	0,49	
	PVC-Kabel 0,6/1 kV 3,6/6 kV Ø/10 kV	1	0,96	0,97	0,98	0,91	0,85	1,01	1,01	1,00	0,92	0,85	1,07	1,05	1,01	0,92	0,85	1,18	1,10	1,02	0,93	0,85
		2	0,92	0,89	0,86	0,77	0,71	0,96	0,94	0,87	0,78	0,71	1,00	0,95	0,88	0,78	0,71	1,05	0,97	0,89	0,79	0,71
3		0,88	0,84	0,77	0,69	0,62	0,91	0,85	0,78	0,69	0,62	0,95	0,86	0,79	0,69	0,62	0,96	0,87	0,79	0,69	0,62	
4		0,86	0,80	0,73	0,65	0,58	0,89	0,81	0,74	0,65	0,58	0,90	0,82	0,74	0,65	0,58	0,91	0,82	0,75	0,65	0,58	
5		0,84	0,76	0,70	0,61	0,55	0,85	0,77	0,70	0,61	0,55	0,87	0,78	0,71	0,62	0,55	0,87	0,79	0,71	0,62	0,55	
6		0,82	0,74	0,68	0,59	0,53	0,83	0,75	0,68	0,60	0,53	0,83	0,76	0,69	0,60	0,53	0,85	0,76	0,69	0,60	0,53	
8		0,79	0,71	0,65	0,57	0,51	0,80	0,72	0,65	0,57	0,51	0,81	0,72	0,65	0,57	0,51	0,81	0,73	0,66	0,57	0,51	
10		0,77	0,69	0,63	0,55	0,49	0,78	0,70	0,63	0,55	0,49	0,79	0,70	0,63	0,55	0,49	0,79	0,71	0,64	0,55	0,49	

(fortgesetzt)

Καθώς το καλώδιο δεν βρίσκεται σε σωλήνα ο συντελεστής διόρθωσης f_3 λαμβάνεται $f_3=1$

Επίσης, επειδή δεν υπάρχουν προστατευτικά ή σκεπάσματα που εγκλείουν αέρα $f_4=1$

Τέλος, δεν πρόκειται για σύστημα πολυπολικών καλωδίων με περισσότερους των τριών αγωγών οπότε λαμβάνουμε $f_5=1$

Συνδυάζοντας λοιπόν όλα τα παραπάνω το μέγιστο συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα για την εγκατάστασή μας προκύπτει $I_{\max}=141,36A$

4.6.6 Αντοχή σε βραχυκύκλωμα

Σημαντική, ειδικά στα καλώδια μέσης τάσης είναι και η αντοχή σε βραχυκύκλωμα. Επομένως πρέπει στη συνέχεια να εξετάσουμε αν η επιλεγμένη διατομή μας καλύπτει και για την περίπτωση βραχυκυκλώματος.

$$\text{Ο παρακάτω τύπος: } A = \frac{1000 \cdot S_k \cdot \sqrt{t}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot k}$$

μας δίνει την κατάλληλη διατομή για αντοχή σε βραχυκύκλωμα. Λαμβάνοντας $S_k=250MVA$ (η οποία είναι και η μέγιστη τιμή της ισχύος βραχυκύκλωσης δίπλα σε υποσταθμό της ΔΕ.Η.),

$$k=134A \cdot \sqrt{s/mm^2},$$

$$U_n=20kV \text{ και}$$

διάρκεια βραχυκυκλώματος $t=1sec$

προκύπτει ότι $A=50,47mm^2$.

Επομένως η διατομή που επιλέξαμε μας καλύπτει και στην περίπτωση βραχυκυκλώματος.

4.6.7 Υπολογισμός πτώσης τάσης

Ο τελευταίος αλλά εξίσου σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τη διατομή που θα επιλέξουμε είναι η πτώση τάσης, η οποία πρέπει να περιορίζεται για λόγους λειτουργικούς και ενεργειακής κατανάλωσης.

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{I \cdot \Psi \cdot P}{U^2}$$

Λαμβάνοντας

- $\ell=380m$

• $P=S \times \cos\varphi = 1,1(3 \times 630) \times 0,9 = 1,871 \times 10^6 \text{ W}$. Να σημειώσουμε εδώ ότι λαμβάνουμε υπόψη και την πιθανή αύξηση της ισχύος κατά 10% και συντελεστή ισχύος 0,9 (δυσμενέστερη περίπτωση).

• $U = 20 \times 10^3 \text{ V}$

• $\Psi' = R' + X' \tan\varphi = 3,3306 \times 10^{-4} \Omega/\text{m}$

$R' = 1/(\kappa A)$ για 40°C και για χαλκό είναι $\kappa = 60,48 \Omega^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2}$ και $A = 70 \text{ mm}^2$.

Επομένως $R' = 2,362 \times 10^{-4} \Omega/\text{m}$

$X' = 2 \times 10^{-4} \Omega/\text{m}$ για καλώδιο 20kV και διατομή 70 mm^2 .

$\tan\varphi = 0,4843$

Συνδυάζοντας λοιπόν όλα τα παραπάνω η πτώση τάσης υπολογίζεται ίση με $\Delta U/U = 0,058\%$ στην ονομαστική ισχύ

4.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ (ΣΑΠ)

4.7.1 Εξωτερικό ΣΑΠ εκτεταμένων Φ/Β πάρκων

Η εγκατάσταση του εξωτερικού ΣΑΠ περιλαμβάνει την προστασία των συλλεκτών και του οικίσκου.

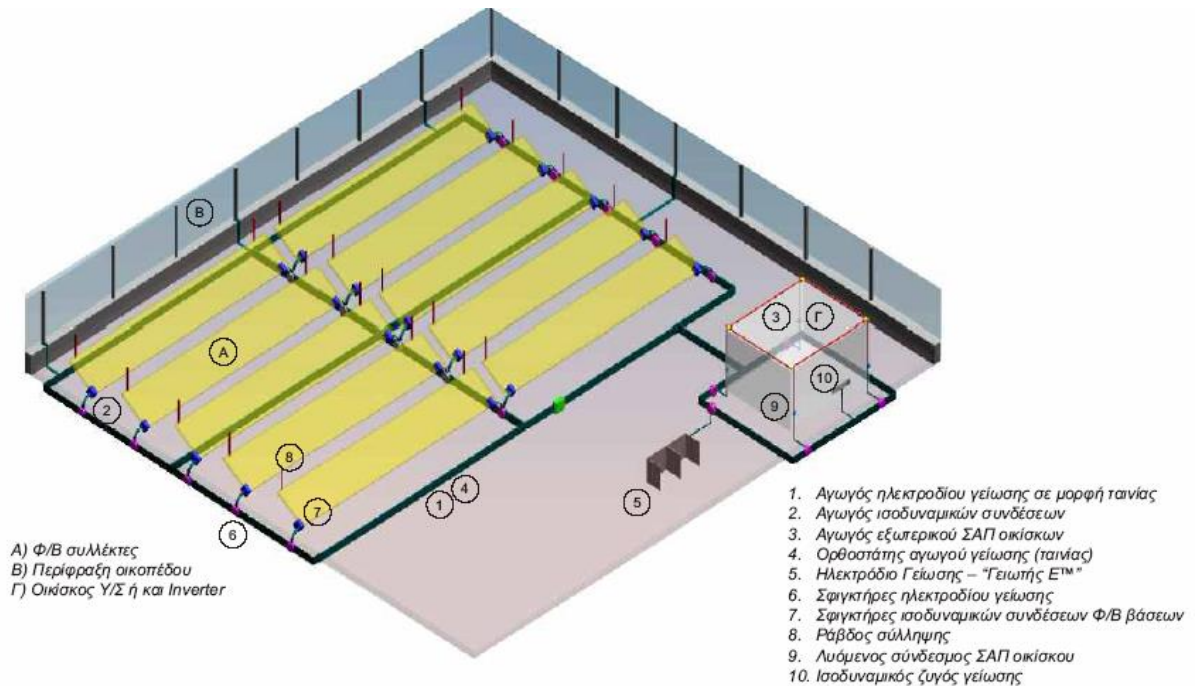
Το εξωτερικό ΣΑΠ των συλλεκτών αποτελείται συνήθως από σύστημα ανεξάρτητων ιστών ή ράβδων σύλληψης επί των βάσεων των συλλεκτών σε επιλεγμένες θέσεις ώστε οι συλλέκτες να βρίσκονται εντός του χώρου του ορθού κυκλικού κώνου που σχηματίζουν, με ημιγωνία προστασίας, εξαρτώμενη από την κλάση προστασίας του ΣΑΠ (I, II, III ή IV) και του ύψους της κάθε ράβδου από τους υπό προστασία συλλέκτες.

Ως εξωτερικό ΣΑΠ του οικίσκου συνιστάται να εφαρμόζεται η μέθοδος των βρόχων με τις απαιτούμενες καθόδους, ο σχεδιασμός των οποίων να ικανοποιεί

τις απαιτήσεις του Ευρωπαϊκού Προτύπου ΕΛΟΤ EN 62305-3. Το σύστημα γείωσης συνιστάται να είναι κοινό με το σύστημα των συλλεκτών.

Όλα τα εξαρτήματα και οι αγωγοί του ΣΑΠ θα πρέπει να έχουν υποστεί με επιτυχία τις εργαστηριακές δοκιμές σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα σειράς

ΕΛΟΤ EN 50164.



4.8 ΓΕΙΩΣΗ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΩΝ Φ/Β ΠΑΡΚΩΝ

Γι' αυτής της κατηγορίας εγκαταστάσεις, εκτεταμένες μεταλλικές κατασκευές, συνιστάται ο τύπος "B" (περιμετρική θεμελιακή γείωση ή πλέγμα γείωσης) ωστο πλέον ενδεδειγμένο σύστημα γείωσης όπως προδιαγράφεται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3. Το σύστημα γείωσης θα πρέπει να είναι κοινό για κάθε εφαρμογή στην εγκατάσταση.

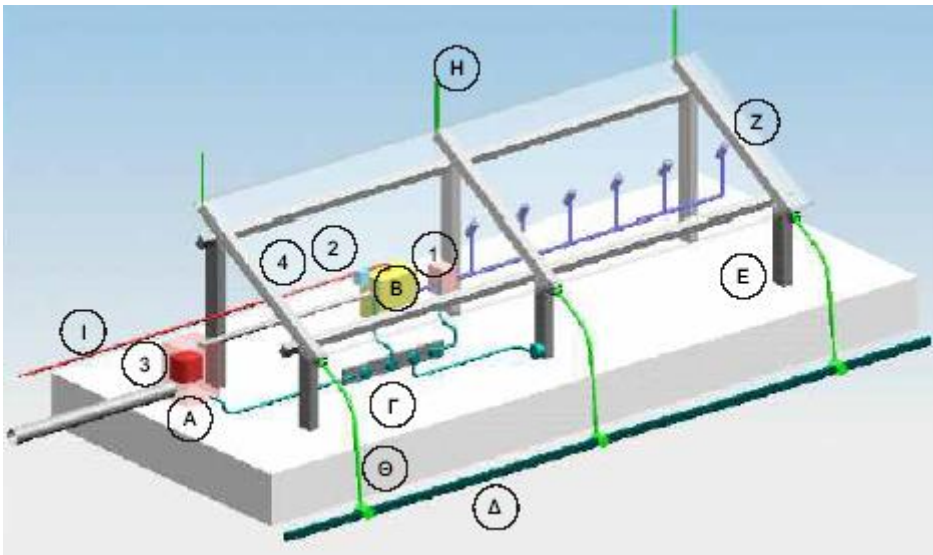
Όλα τα εξαρτήματα και οι αγωγοί της γείωσης θα πρέπει να έχουν υποστεί με επιτυχία τις εργαστηριακές δοκιμές σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα σειράς ΕΛΟΤ EN 50164.

4.8.1 Ισοδυναμικές συνδέσεις

Οι ισοδυναμικές συνδέσεις τόσο εκτός όσο και εντός του οικίσκου των μηχανημάτων θα πρέπει να εκτελούνται σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 62305-4. Γενικά όλες οι μεταλλικές βάσεις θα πρέπει να έχουν μεταλλική και ηλεκτρική συνέχεια τόσο μεταξύ τους όσο και το σύστημα γείωσης, αυτό μπορεί να επιτευχθεί αφήνοντας αναμονές από το σύστημα γείωσης τουλάχιστον κάθε 10-20m όπου θα συνδέονται απευθείας οι μεταλλικές βάσεις & η περίφραξη και όλοι όλος ο μεταλλικός εξωτερικός εξοπλισμός (π.χ. πίνακες, inverter κτλ). Στο εσωτερικό των οικίσκων οι ισοδυναμικές συνδέσεις εξαρτώνται από το πλήθος και το είδος των μηχανημάτων (π.χ. ηλεκτρονικός εξοπλισμός, Υ/Σ κτλ).

4.8.2 Προστασία μέσω απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων (SPDs)

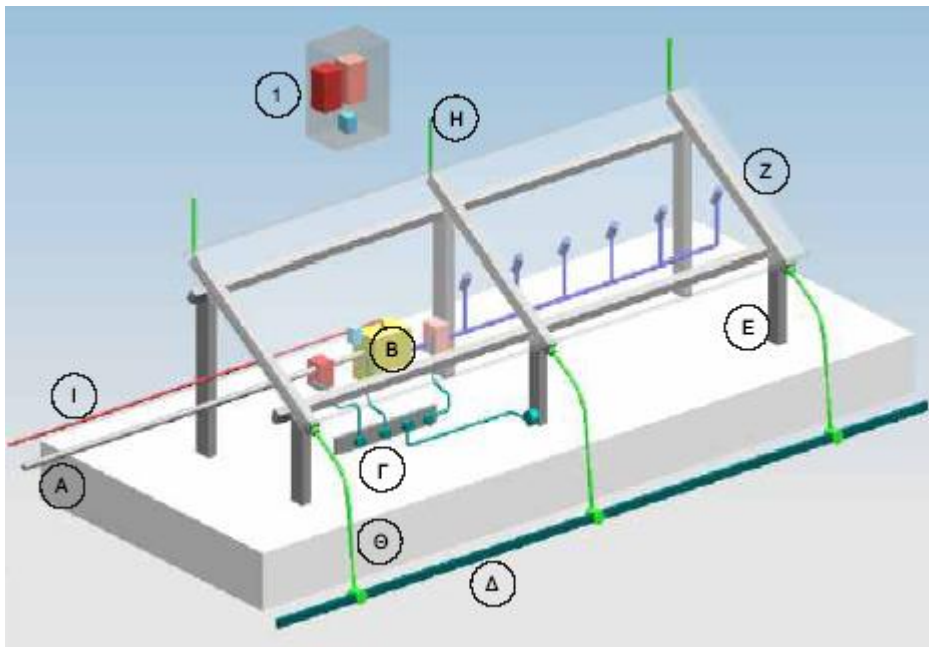
Η προστασία των φωτοβολταϊκών συστημάτων από κεραυνικά ρεύματα & κρουστικές υπερτάσεις αποτελεί το σημαντικότερο μέρος του εσωτερικού ΣΑΠ, διότι προστατεύει τον ακριβό και ευαίσθητο ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό από τις καταστροφικές συνέπειές τους.



Εικόνα 4.8.1 Ολοκληρωμένες λύσεις συστήματος γείωσης και εξωτερικού ΣΑΠ εκτεταμένων Φ/Β πάρκων

A) Κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας παραγωγής AC

- B) Μετατροπέας (Inverter DC/AC)
- Γ) Ζυγός γείωσης
- Δ) Σύστημα γείωσης Φ/Β πάρκου
- Ε) Σταθερή βάση Φ/Β
- Ζ) Φ/Β συλλέκτες / πλαίσια
- Η) Ακίδες εξωτερικού ΣΑΠ
- Θ) Αγωγοί καθόδου / ισοδυναμική σύνδεση βάσης με σύστημα γείωσης
- Ι) Γραμμή μεταφοράς δεδομένων – DATA



Εικόνα 4.8.2 Ολοκληρωμένες λύσεις συστήματος γείωσης και εξωτερικού ΣΑΠ εκτεταμένων Φ/Β πάρκων

- A) Γραμμή AC προς γενικό πίνακα παραγωγής
- B) Μετατροπέας (Inverter DC/AC)
- Γ) Ζυγός γείωσης
- Δ) Σύστημα γείωσης Φ/Β πάρκου
- Ε) Σταθερή βάση Φ/Β
- Ζ) Φ/Β συλλέκτες / πλαίσια

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΙΝΤΕΡΝΕΤ

- <https://pv.hmu.gr/>
- http://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/02/fwtovoltaika_ergwn.pdf