



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

<<Σχεδίαση φωτοβοταϊκού συστήματος net metering>>

ΖΕΡΒΑΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ ΑΜ: 7029

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2023

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιείται η μελέτη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος net metering ισχύος 63,1 kW σε δώμα μικρής βιομηχανικής μονάδας στην περιοχή του Μεσολογγίου. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά και τα είδη των φωτοβολταϊκών πλαισίων καθώς και ο τρόπος συνδεσμολογίας τους. Ακολουθώντας στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα είδη και τα χαρακτηριστικά των αντιστροφών (inverters) που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους εφαρμογές. Κατόπιν το τρίτο κεφάλαιο αφορά τη μελέτη και τη σχεδίαση του φωτοβολταϊκού συστήματος που περιλαμβάνει τον εξοπλισμό, τη διαστασιολόγηση, τη χωροθέτηση της όλης εγκατάστασης και τελειώνει με την ανάλυση των αποτελεσμάτων με το ειδικό λογισμικό PVsyst. Σκοπός μου κατά της διάρκειας της συγγραφής, δεν ήταν μόνο η λεπτομερής και πληρέστερη διατύπωση του θέματος, αλλά έγινε προσπάθεια έτσι ώστε το περιεχόμενο της εργασίας να είναι κατανοητό και σαφές σε άτομα τα οποία δεν είναι γνώστες του αντικειμένου. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, χρησιμοποιήθηκε πληθώρα εικόνων και σχεδίων.

Περιεχόμενα

Πρόλογος/Περίληψη.....	i
------------------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια

1.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο	1
1.2 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φ/β στοιχείου.....	2
1.3 Χαρακτηριστικές εξόδου και παράμετροι φ/β συστημάτων.....	2
1.4 Επίδραση Μεταβαλλόμενης Ακτινοβολίας.....	4
1.5 Επίδραση Μεταβαλλόμενης Θερμοκρασίας.....	6
1.6 Φ/β πλαίσιο.....	6
1.7 Τρόποι σύνδεσης φ/β πλαισίων.....	8
1.8 Φαινόμενο σκίασης.....	10
1.9 Αντιμετώπιση φαινομένου σκίασης.....	11
1.10 Τυπικές Συνθήκες Δοκιμών (STC).....	14
1.11 Απόδοση φβ πλαισίων.....	15
1.12 Τύποι φ/β πλαισίων.....	16
1.13 Τεχνολογίες που αυξάνουν την απόδοση των φ/β πλαισίων.....	17
1.14 Τοποθέτηση φ/β πλαισίων.....	19
1.14.1 Γωνία κλίσης και τρόποι στήριξης φ/β πλαισίων.....	19
1.14.2 Ελάχιστη απόσταση μεταξύ συστοιχειών.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Αντιστροφείς (Inverters)

2.1 Αρχή λειτουργίας αντιστροφέων.....	22
2.2 Διαμόρφωση εύρους παλμών PWM.....	23
2.3 SPWM Ημιτονοειδή διαμόρφωση εύρους παλμών.....	25
2.4 Ανιχνευτής σημείου μεγίστης ισχύος MPPT.....	26
2.5 Τύποι μετατροπέων ανάλογα με τη συνδεσμολογία στο δίκτυο.....	26
2.6 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφών.....	30
2.7 Βαθμός απόδοσης.....	31
2.8 Αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος.....	32
2.9 Αντιστροφείς με ή χωρίς M/Σ και έγχυση DC ρεύματος.....	33
2.10 Φαινόμενο νησιδοποίησης.....	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μελέτη εγκατάστασης net metering 63,1 kW σε δώμα επιχείρησης

3.1	Ενεργειακός συμψηφισμός (net metering).....	35
3.1.1	Τρόπος λειτουργίας.....	36
3.1.2	Νομοθετικό πλαίσιο.....	38
3.2	Μελέτη εγκατάστασης net metering 63,1 kW.....	39
3.2.1	Περιγραφή – προϋποθέσεις.....	39
3.2.2	Τοποθεσία εγκατάστασης.....	39
3.2.3	Εκτίμηση απαιτούμενης ισχύος του φ/β συστήματος.....	40
3.2.4	Περιγραφή Εξοπλισμού.....	50
3.2.5	Διαστασιολόγηση.....	55
3.2.6	DC Πλευρά.....	58
3.2.7	AC Πλευρά.....	63
3.2.8	Χωροθέτηση φ/β σταθμού.....	66
3.2.9	Γωνία κλίσης – βάσεις στήριξης.....	66
3.2.10	Ελάχιστη απόσταση μεταξύ συστοιχειών.....	67
3.2.11	Τρισδιάστατη απεικόνιση εγκατάστασης.....	70
3.2.12	Εγκατάση μετρητικών διατάξεων.....	72
3.3	Αποτελέσματα ανάλυσης μελέτης με το λογισμικό PVSYST.....	75
	Βιβλιογραφία.....	89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια

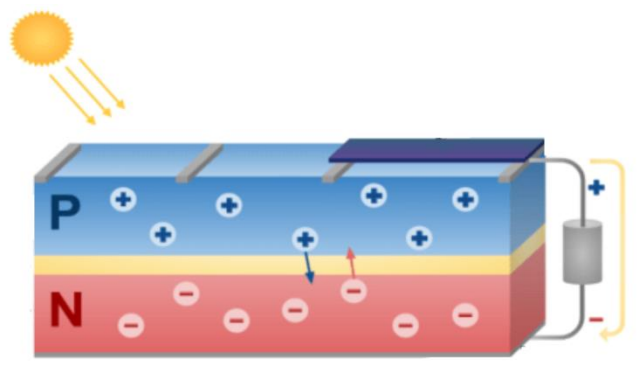
1.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Το φ/β στοιχείο το οποίο είναι γνωστό και ως φ/β κύτταρο ή φ/β κυψέλη (PV cell) είναι μια ηλεκτρονική διάταξη η οποία όταν δεχθεί ηλιακή ακτινοβολία λόγω του φωτοβολταϊκού φαινομένου παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Το υλικό το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή είναι το πυρίτιο (Si). Μια στοιχειώδες ηλιακή κυψέλη αποτελείται από στρώματα κρυσταλλικού πυριτίου και δύο μεταλλικές επιφάνειες. Οι κρύσταλλοι πυριτίου χαρακτηρίζονται από την υψηλή καθαρότητα και χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα στα οποία εισάγονται τα κατάλληλα άτομα προσμήςων και δημιουργούνται επαφές P-N.



Σχήμα 1.1: Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι στην πραγματικότητα μια ηλεκτρονική διάταξη από διόδους ημιαγωγών μεγάλης επιφάνειας.



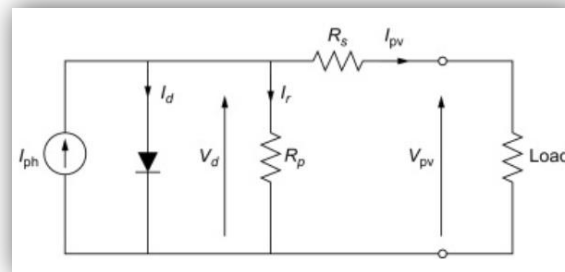
Σχήμα 1.2: Επαφή P-N

Τα στρώματα ημιαγωγών τύπου N διαθέτουν επιπλέον ηλεκτρόνια και συμβολίζονται με το σύμβολο (-) ενώ τα στρώματα τύπου P έχουν επιπλέον χώρο για ηλεκτρόνια, τις οπές και συμβολίζονται με το (+). Τα άτομα του πυριτίου συνδέονται μεταξύ τους με 4 ισχυρούς δεσμούς που κρατάνε τα ηλεκτρόνια στη θέση τους ώστε να μην μπορούν να κινηθούν και να παράγουν ρεύμα. Όταν οι κρύσταλλοι δεχθούν ηλιακή ακτινοβολία με αρκετή ενέργεια (ενέργεια φωτονίων) αφαιρούν ηλεκτρόνια από τα άτομα του πυριτίου αφήνοντας οπές. Τα ηλεκτρόνια και οι οπές που απελευθερώνονται κινούνται με συγκεκριμένη κατεύθυνση. Τα ηλεκτρόνια προς την πλευρά N και

οι οπές προς την πλευρά P όπου συλλέγονται από τις αντίστοιχες μεταλλικές επιφάνειες της κυψέλης δημιουργώντας έτσι ωφέλιμο συνεχές ρεύμα.

1.2 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φ/β στοιχείου

Ένα απλό μοντέλο ισοδύναμου κυκλώματος για ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από μια πραγματική δίοδο παράλληλα με μια ιδανική πηγή ρεύματος. Η ιδανική πηγή ρεύματος παρέχει ρεύμα ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία στην οποία εκτίθεται. Ένα ισοδύναμο φ/β κύκλωμα περιλαμβάνει ορισμένα στοιχεία αντίστασης που αντιστοιχούν στις απώλειες ισχύος (π.χ. σε περίπτωση σκίασης). Μία από αυτές είναι η εσωτερική αντίσταση R_p παράλληλα στην πηγή ρεύματος, η οποία εκφράζει τις απώλειες που εμφανίζονται λόγω των ρευμάτων διαρροής μεταξύ των άκρων του φ/β στοιχείου. Τέλος εμφανίζεται μια πτώση τάσης καθώς οι φορείς κινούνται από τον ημιαγωγό προς τις ηλεκτρικές επαφές. Αυτή η πτώση τάσης αντιπροσωπεύεται από την αντίσταση σε σειρά, R_s , η οποία είναι της τάξης των μερικών mΩ.



Σχήμα 1.3: Ισοδύναμο κύκλωμα φ/β στοιχείου

Υπάρχουν δύο συνθήκες ενδιαφέροντος για το πραγματικό φ/β και για το ισοδύναμο κύκλωμά του, οι οποίες είναι:

- Το **ρεύμα βραχυκυκλώματος (I_{sc})** που είναι το ρεύμα που ρέει όταν οι ακροδέκτες βραχυκυκλώνονται μεταξύ τους. Όταν οι ακροδέκτες του ισοδύναμου κυκλώματος για το φωτοβολταϊκό στοιχείο βραχυκυκλώνονται μεταξύ τους, δεν ρέει ρεύμα στην (πραγματική) δίοδο αφού $V_d = 0$, επομένως ολόκληρο το ρεύμα από την ιδανική πηγή ρέει μέσω των βραχυκυκλωμένων καλωδίων. Εφόσον το ρεύμα βραχυκυκλώματος πρέπει να είναι ίσο με I_{sc} , το μέγεθος της ίδιας της ιδανικής πηγής ρεύματος πρέπει να είναι ίσο με I_{sc} .
- Η **τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc})** που είναι η τάση που εμφανίζεται όταν οι ακροδέκτες από το φωτοβολταϊκό στοιχείο παραμένουν ανοικτοί, επομένως το ρεύμα φορτίου I είναι μηδενικό και η τάση V στο φορτίο είναι ίση με $V_{oc} = V_d$.

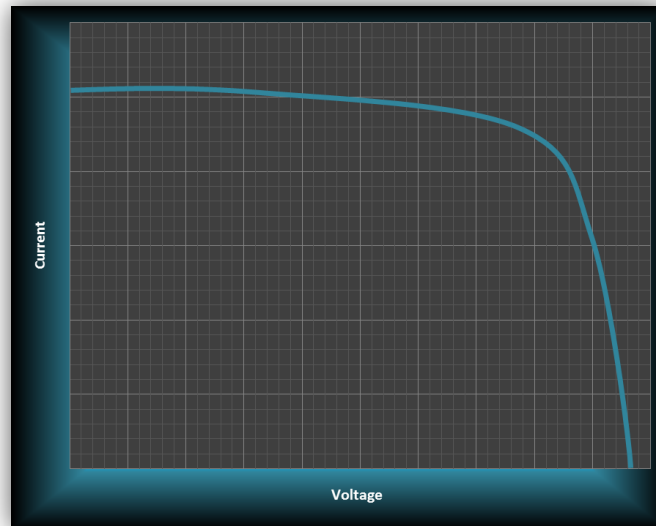
1.3 Χαρακτηριστικές εξόδου και παράμετροι φ/β συστημάτων

Τα ισοδύναμα μοντέλα κυκλωμάτων ορίζουν την καμπύλη I-V φ/β ως συνεχή συνάρτηση για ένα δεδομένο σύνολο συνθηκών λειτουργίας. Οι καμπύλες I-V και P-V είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος ανάλυσης των χαρακτηριστικών εξόδου ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Στη συνέχεια θα

εξετάσαμε τις διάφορες παραμέτρους ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, προκειμένου να δούμε πώς οι διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

Χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης (I-V):

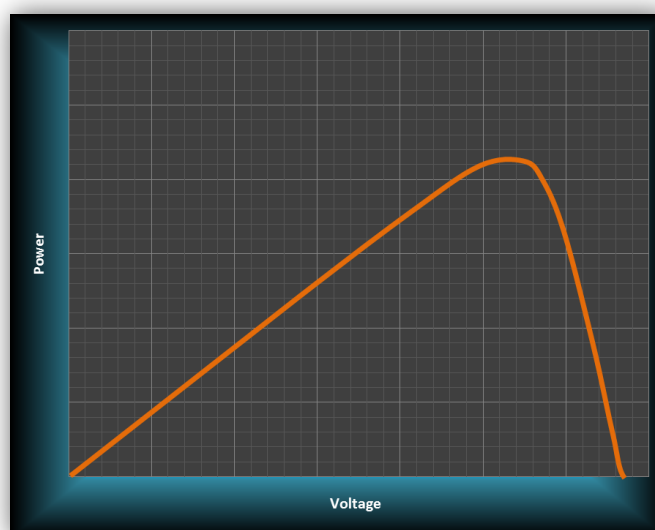
Είναι το ρεύμα εξόδου μιας φωτοβολταϊκής μονάδας ή συστήματος σε συνάρτηση με την τάση εξόδου και φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



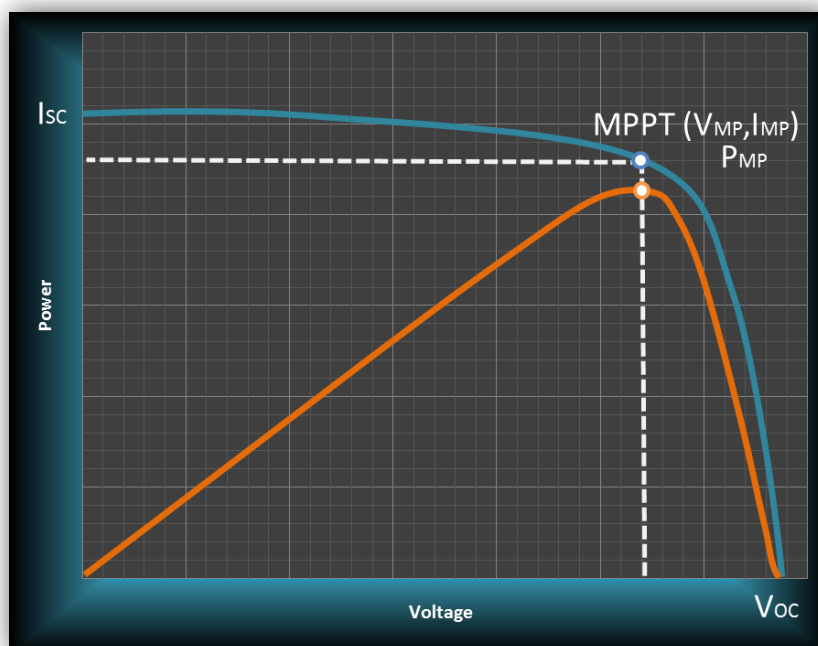
Σχήμα 1.4: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V

Χαρακτηριστική Ισχύος-Τάσης (P-V):

Η χαρακτηριστική P-V ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η ισχύς εξόδου του σε συνάρτηση με την τάση εξόδου του η οποία φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1.5: Χαρακτηριστική καμπύλη P-V



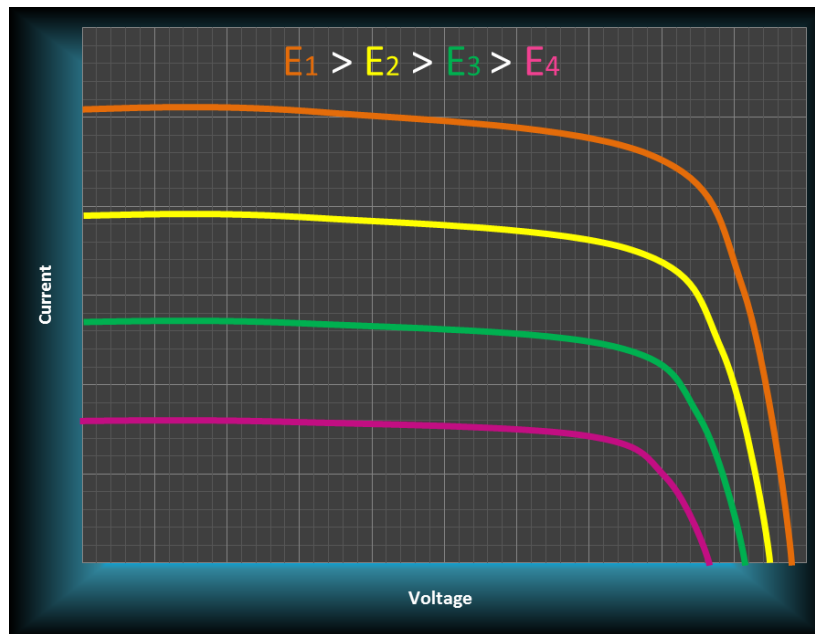
Σχήμα 1.6: Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V, P-V και σημείο MPP

Η καμπύλη I-V δείχνει την τάση και το ρεύμα σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, το μέγιστο ρεύμα στην καμπύλη I-V είναι το I_{sc} που εμφανίζεται όταν οι ακροδέκτες είναι βραχυκυκλωμένοι και η τάση είναι ίση με μηδέν. Η υψηλότερη τάση V_{oc} εμφανίζεται σε κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος όταν δηλαδή στο Φ/Β στοιχείο οι θετικοί και οι αρνητικοί ακροδέκτες δεν συνδέονται σε κανένα φορτίο, με αποτέλεσμα να μην περνάει ρεύμα. Ομοίως στην καμπύλη P-V, η υψηλότερη τάση εμφανίζεται στην κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος όταν το ρεύμα είναι μηδέν, ενώ, όταν το ρεύμα είναι μέγιστο η τάση βραχυκυκλώματος είναι μηδέν στην αρχή της καμπύλης. Δεδομένου ότι η ισχύς δεν είναι παρά η τάση επί το ρεύμα ($P=V \cdot I$), η ισχύς τόσο στις συνθήκες βραχυκυκλώματος όσο και σε συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος είναι ίση με μηδέν αφού είτε η τάση είτε το ρεύμα ισούται με μηδέν σε καθένα από αυτά τα σημεία. Αν παρατηρήσουμε την ισχύ και την τάση ξεκινώντας από την κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος, καθώς αυξάνουμε το φορτίο, η ισχύς αρχίζει να αυξάνεται και η τάση πέφτει μέχρι να φτάσει στην τιμή στο MPP όπου η ισχύς είναι μέγιστη. Το σημείο MPP (Maximum Power Point) στο γράφημα = σημαίνει Μέγιστο Σημείο Ισχύος. Αυτή είναι η μέγιστη ισχύς εξόδου ενός Φ/Β στοιχείου. Το σημείο Maximum Power Point είναι οι συντεταγμένες της καμπύλης I-V που δίνουν τη μέγιστη ισχύ εξόδου. Αυτές οι συντεταγμένες αναφέρονται ως τάση στο μέγιστο σημείο ισχύος V_{MPP} , και ρεύμα στο μέγιστο σημείο ισχύος I_{MPP} . Η ισχύς στο MPP αναφέρεται ως P_{MPP} .

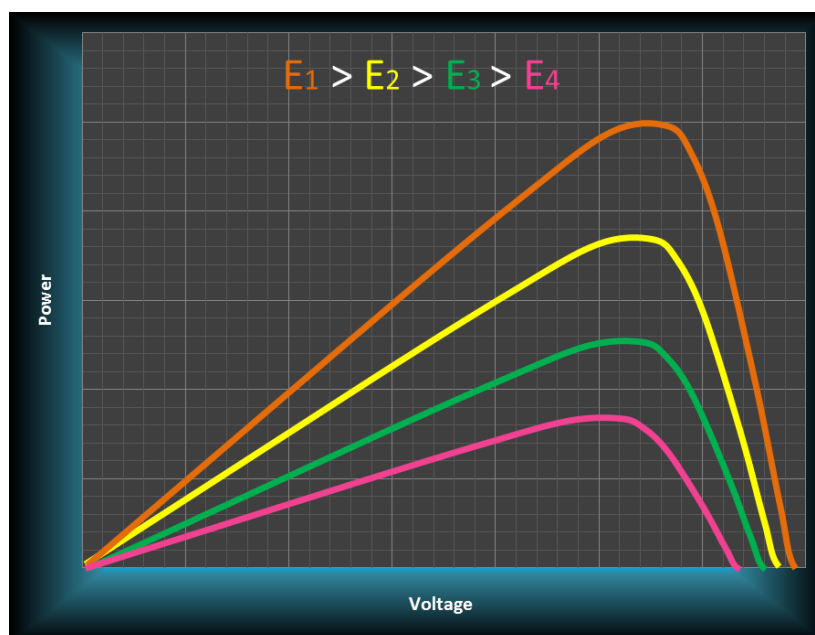
1.4 Επίδραση μεταβαλλόμενης ακτινοβολίας

Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει τη σχέση μεταξύ της τάσης της φωτοβολταϊκής μονάδας και του ρεύματος σε διαφορετικά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας. Το μέτρο της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει σε μια περιοχή για μια χρονική περίοδο και μετριέται σε W/m^2 . Καθώς μειώνεται η

ηλιακή ένταση το ρεύμα βραχycύκλωσης I_{sc} μειώνεται αναλογικά, ενώ η τάση ανοικτού κυκλώματος μειώνεται ελάχιστα.



Σχήμα 1.7: Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V για διάφορα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας



Σχήμα 1.8: Χαρακτηριστικές καμπύλες P-V για διάφορα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας

Ομοίως, μπορούμε να παρατηρήσουμε τη σχέση τάσης και ισχύος μιας φωτοβολταϊκής μονάδας σε διαφορετικά επίπεδα ακτινοβολίας. Η μέγιστη ισχύς εξόδου μειώνεται με τη μείωση της ακτινοβολίας. Υπάρχει επίσης μικρή μείωση στην V_{oc} της φ/β μονάδας.

Η σχέση μεταξύ ακτινοβολίας και ρεύματος και ισχύος των μονάδων μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{P_2}{P_1}$$

Όπου E_1 και E_2 είναι οι ακτινοβολίες (σε W/m^2), I_1 και I_2 είναι το αντίστοιχο ρεύμα των μονάδων και P_1 και P_2 είναι η προκύπτουσα ισχύς όταν αλλάζει η ακτινοβολία (σε W).

1.5 Επίδραση μεταβαλλόμενης θερμοκρασίας

Τα ηλιακά πάνελ είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία στην οποία λειτουργούν λόγω της ευαισθησίας των ημιαγωγικών υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένα.



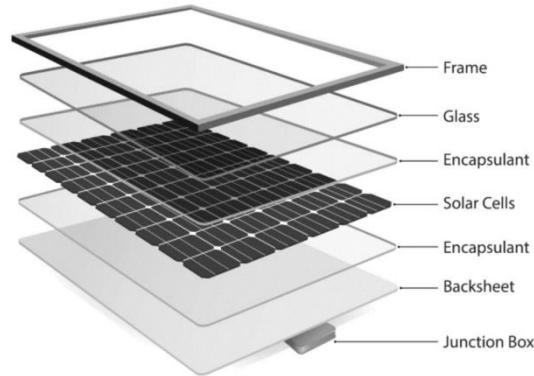
Σχήμα 1.9: Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V για διάφορα επίπεδα θερμοκρασίας

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, με αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται σημαντική μείωση της τάσης ανοικτού κυκλώματος V_{oc} . Υπάρχει επίσης μια αύξηση στο ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , ωστόσο, αυτή είναι πολύ μικρή. Για τα φ/β στοιχεία από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, η V_{oc} μειώνεται περίπου 0,25% - 0,4% ανά βαθμό Κελσίου αύξησης της θερμοκρασίας και το I_{sc} αυξάνεται περίπου κατά 0,05%.

1.6 Φ/β πλαίσιο

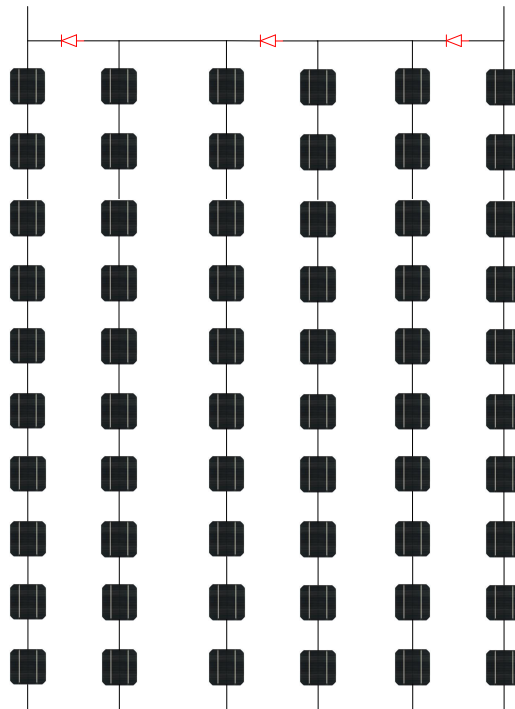
Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από πολλά φ/β στοιχεία τα οποία συνδέονται ηλεκτρικά σε σειρά ή και παράλληλα κυκλώματα για να παράγουν υψηλότερες τάσεις, ρεύματα και επίπεδα ισχύος. Το μπροστινό μέρος αποτελείται από μια επίπεδη γυάλινη πλάκα υψηλής διαφάνειας ώστε να απορροφάται όσο το δυνατόν περισσότερη ακτινοβολία. Μετά από αυτό έρχεται η μπροστινή

και πίσω ενθυλάκωση από υλικό EVA, η οποία καλύπτει και προστατεύει τις ηλιακές κυψέλες και τις συνδέσεις. Στη συνέχεια προσαρμόζονται σε μεταλλικό πλαίσιο υψηλής αντοχής συνήθως από αλουμίνιο ενώ το πίσω μέρος αποτελείται από ειδικό πλαστικό. Τέλος από το κουτί σύνδεσης εξέρχεται ο θετικός και ο αρνητικός ακροδέτης του πλαισίου. Η τελική κατασκευή πληροί ειδικές προδιαγραφές ώστε να διαθέτει την απαραίτητη μηχανική αντοχή τις κατάλληλες υποδοχές στήριξης και επιπλέον την αυξημένη στεγανότητα για την προστασία από την σκόνη και την υγρασία.



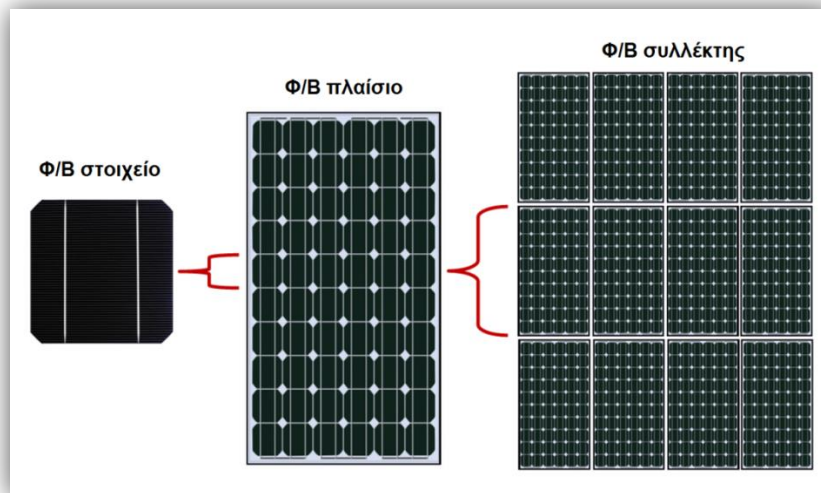
Σχήμα 1.10: Δομή φ/β πλαισίου

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι συνδέσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε ένα τυπικό πάνελ με 60 στοιχεία. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται σε τρεις ομάδες 20 στοιχείων η κάθε μία. Όλα τα φ/β στοιχεία είναι καλωδιωμένα σε σειρά για να σχηματίσουν το φ/β πλαίσιο και κάθε ομάδα έχει μια ειδική δίοδο παράκαμψης.



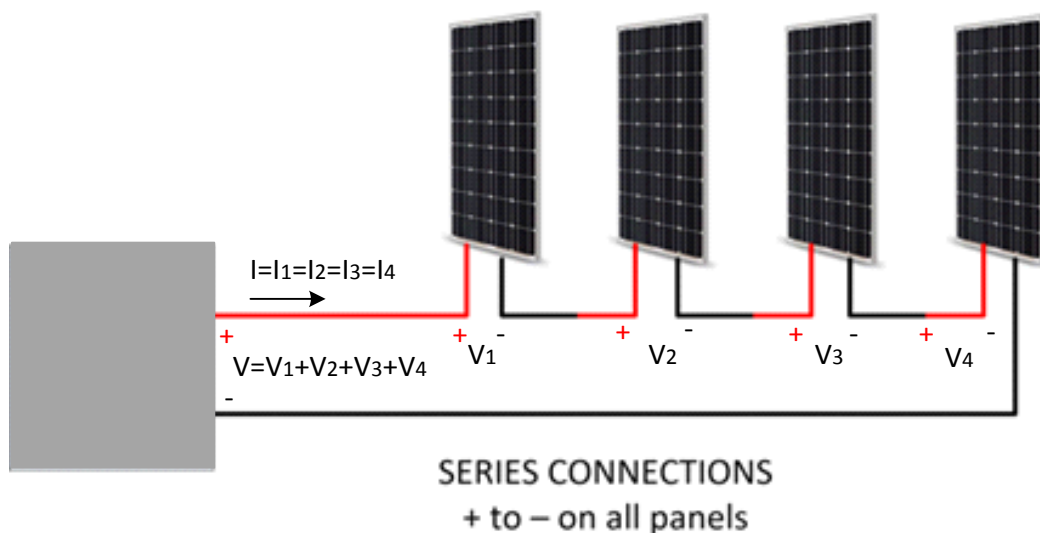
Σχήμα 1.11: Συνδεσμολογία φ/β πλαισίου 60 στοιχείων

1.7 Τρόποι σύνδεσης φ/β πλαισίων



Σχήμα 1.12: Από το φ/β πλαίσιο στον φ/β συλλέκτη

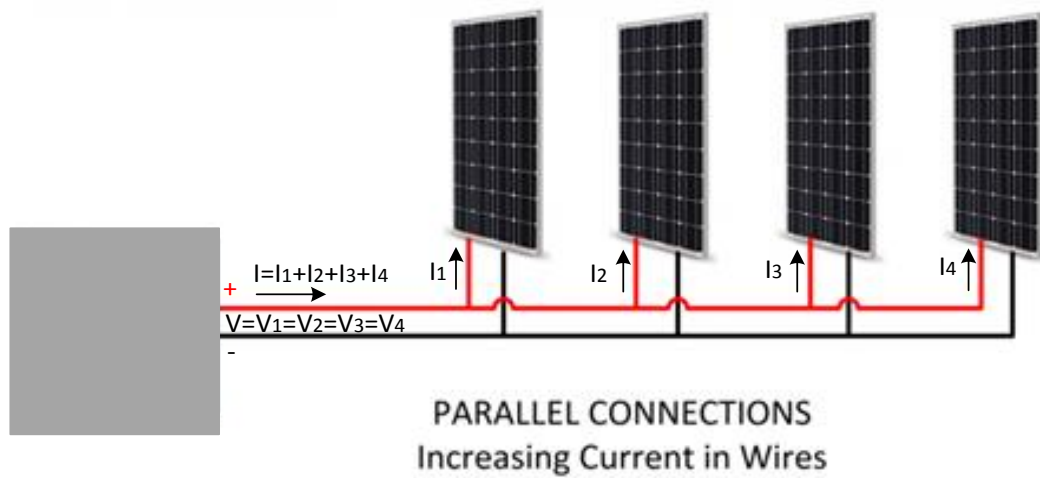
Η φωτοβολταϊκή συστοιχία ή φ/β συλλέκτης (PV array) είναι μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια καλωδιωμένων μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης. Για την καλωδίωση σε σειρά, συνδέουμε τον θετικό ακροδέκτη του πρώτου πάνελ με τον αρνητικό ακροδέκτη του επόμενου και ούτω καθεξής. Η προκύπτουσα τάση θα είναι το άθροισμα όλων των τάσεων των ατομικών φ/β πλαισίων ενώ, το συνολικό ρεύμα θα είναι ίσο με το ρεύμα εξόδου ενός μόνο πάνελ.



Σχήμα 1.13: Σύνδεση φ/β πλαισίων σε σειρά

Για την παράλληλη καλωδίωση των ηλιακών πάνελ, συνδέουμε όλους τους θετικούς ακροδέκτες σε κάθε πάνελ μαζί και στη συνέχεια κάνουμε το ίδιο για τους αρνητικούς ακροδέκτες. Το ρεύμα που

προκύπτει θα είναι το άθροισμα όλων των εντάσεων κάθε πάνελ στην παράλληλη διάταξη, ωστόσο, η συνολική τάση θα είναι ίση με την τάση εξόδου του ενός πάνελ.

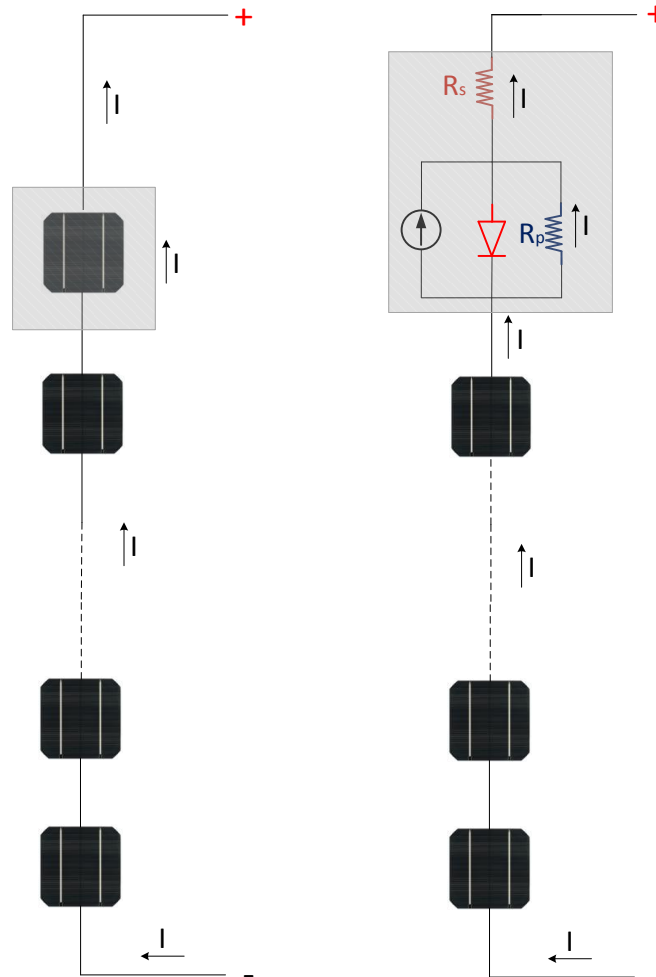


Σχήμα 1.14: Σύνδεση φ/β στοιχείων παράλληλα

Σε μια συστοιχία τα φ/β πλαίσια συνδιάζονται έτσι ώστε η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά να γίνεται όσο το δυνατόν με μικρότερες απώλειες, δηλαδή χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα μεγάλη τάση. Σε κάθε περίπτωση σε μια συστοιχία θα πρέπει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των πλαισίων να συμφωνούν με τα αντίστοιχα του προηγούμενου και του επόμενου του.

1.8 Φαινόμενο σκίασης

Όπως αναφέραμε, όλα τα φ/β στοιχεία είναι καλωδιωμένα σε σειρά για να φτάσουν στο επιθυμητό επίπεδο τάσης της φωτοβολταϊκής μονάδας. Ωστόσο, αυτή η σύνδεση σειράς υπάρχει ένα ζήτημα όταν ένα στοιχείο είναι σκιασμένο. Λόγω της σκίασης, στο στοιχείο που βρίσκεται υπό σκιά δεν θα μπορεί να παράγει ρεύμα όπως παράγουν τα υπόλοιπα στοιχεία, με αποτέλεσμα, αυτό να δημιουργήσει απώλειες ισχύος.

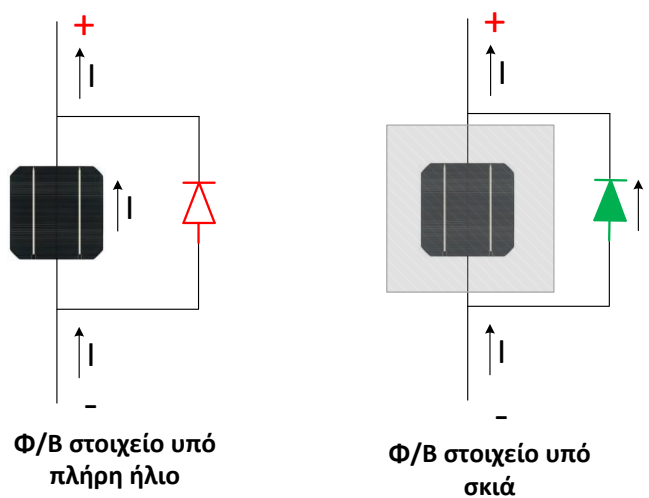


Σχήμα 1.15: Επίδραση φαινομένου σκίασης στο φ//β πλαίσιο

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μια πτώση τάσης κατά μήκος της R_p καθώς το ρεύμα I ρέει μέσα από αυτή. Η διόδος πολώνεται ανάστροφα, επομένως το ρεύμα της διόδου θα είναι μηδενικό. Έτσι η τάση του συγκεκριμένου φ/β στοιχείου αφαιρείται αντί να προσθήεται στην τάση του φ/β πλαισίου. Το σκιασμένο στοιχείο λειτουργεί σαν φορτίο και η θερμοκρασία του θα αυξηθεί, και αυτό οδηγεί σε ένα φαινόμενο γνωστό ως «hot spot». Τα hot spot προκαλούν βλάβες μέσα στο φ/β πλαίσιο, όπως λιωμένα κελιά, ραγισμένο γυαλί ή μεταβολές στα χαρακτηριστικά των στοιχείων.

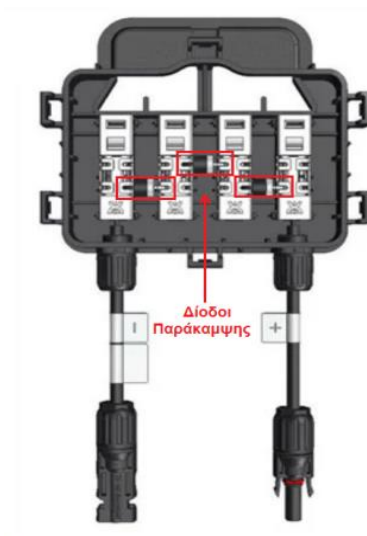
1.9 Αντιμετώπιση φαινομένου σκίασης

Το πρόβλημα της σκίασης μπορεί να επιλυθεί προσθέτοντας μια δίοδο παράκαμψης κατά μήκος του σκιασμένου στοιχείου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Όταν το στοιχείο δεν είναι σκιασμένο, παράγει τάση που θα εφαρμοστεί σε όλη τη δίοδο παράκαμψης με ανάστροφη πόλωση που θα οδηγήσει τη δίοδο σε αποκοπή, και δεν θα διαρρέεται ρεύμα μέσα από αυτήν. Όταν το στοιχείο είναι σκιασμένο, η πτώση τάσης που θα δημιουργηθεί, πολώνει ορθά τη δίοδο και αυτό θα οδηγήσει το ρεύμα στο να διέρχεται από τη δίοδο αντί από το σκιασμένο στοιχείο. Έτσι η πτώση τάσης περιορίζεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα της τάξης 0,6-0,7 V, αντί για μια μεγάλη πτώση τάσης που θα λάμβανε χώρα αν δεν πήρχε η δίοδος παράκαμψης.

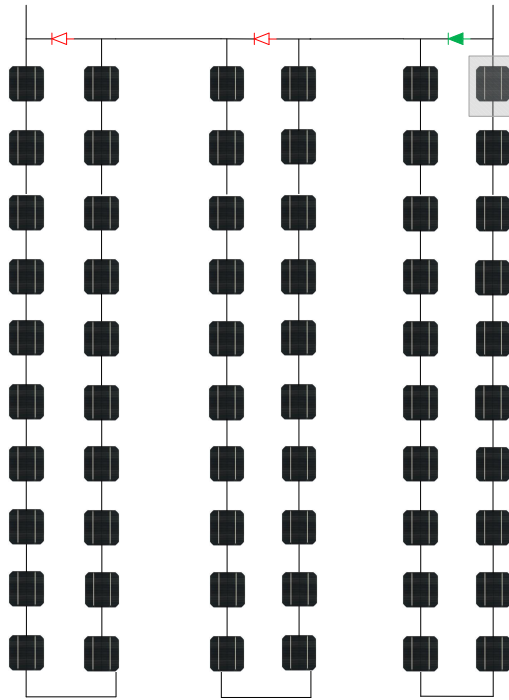


Σχήμα 1.16: Δίοδος παράκαμψης κατά μήκος του φ/β στοιχείου

Στην πραγματικότητα είναι μη πρακτικό να έχουμε μία δίοδο παράκαμψης σε κάθε φ/β στοιχείο. Ο αριθμός των διόδων παράκαμψης εξαρτάται από τον αριθμό των στοιχείων στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Συνήθως οι κατασκευαστές στο κουτί σύνδεσης παρέχουν μια δίοδο παράκαμψης γύρω από κάθε πλαίσιο ή τουλάχιστον μία για κάθε ομάδα φ/β στοιχείων. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, έχουμε 3 διόδους παράκαμψης για ένα φ/β πλαίσιο 60 στοιχείων.



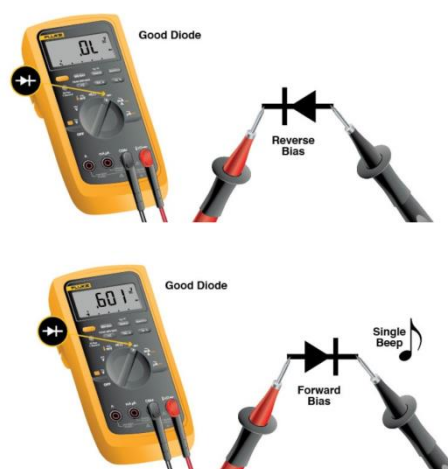
Σχήμα 1.17: Δίοδοι παράκαμψης στο κουτί σύνδεσης του φ/β πλαισίου



Σχήμα 1.18: Φ/β πλαίσιο αποτελούμενο από 3 διόδους παράκαμψης

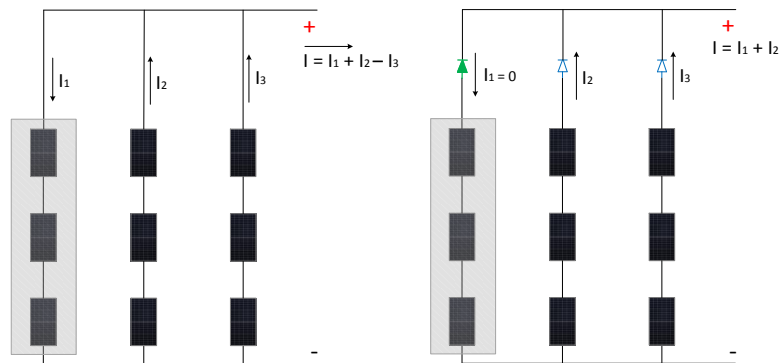
Σε αυτήν την περίπτωση, η ομάδα με το σκιασμένο στοιχείο δεν θα συμβάλει στη συνολική παραγωγή ισχύος, επομένως το Φ/β πλαίσιο να χάσει το 30% της ισχύος του.

Εάν κάποια δίοδος είναι καμμένη θα πρέπει να μεταφέρουμε το πάνελ σε μέρος με αρκετά χαμηλό φωτισμό και να σκεπάσουμε καλά την επιφάνειά του ώστε να μην δέχεται καθόλου το παραμικρό φως. Για τη μέτρηση θα πρέπει να έχουμε το πολύμετρο στην επιλογή μέτρησης διόδων. Η σωστή λειτουργία μιας διόδου θα πρέπει να μας δώσει ένδειξη ανοικτού κυκλώματος ή άπειρης αντίστασης από τη μία φορά μέτρησης και ελάχιστη αντίσταση από την άλλη φορά μέτρησης. Σε περίπτωση που μία από τις διόδους παρουσιάζει βραχυκύκλωμα ή άπειρη αντίσταση και στις δύο μετρήσεις, τότε θα πρέπει να αντικατασταθεί με μια νέα δίοδο με όμοια χαρακτηριστικά.



Σχήμα 1.19: Μέτρηση διόδου με πολύμετρο

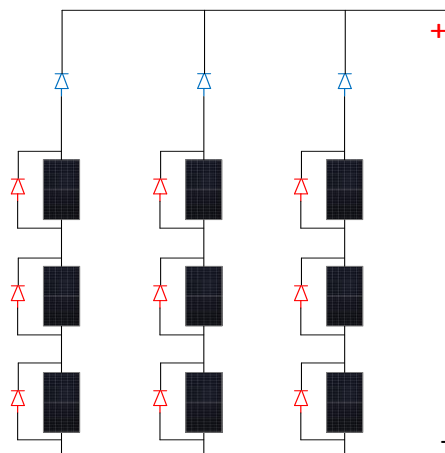
Οι δίοδοι φραγής (ή δίοδοι απομόνωσης) διαφέρουν από τις δίοδους παράκαμψης, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις οι δύο δίοδοι είναι ίδιες. Ωστόσο, εγκαθίστανται διαφορετικά και εξυπηρετούν διαφορετικό σκοπό. Αυτές οι δίοδοι, διασφαλίζουν ότι το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μόνο προς μία κατεύθυνση προς το φορτίο, τον ελεγκτή ή τις μπαταρίες. Χρησιμοποιούνται επίσης σε συστοιχίες φωτοβολταϊκών όταν υπάρχουν δύο ή περισσότεροι παράλληλοι κλάδοι καθώς υπάρχει πιθανότητα κάποιος κλάδος της συστοιχίας να κατά τη διάρκεια της ημέρας να βρεθεί υπό σκιά. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τις δίοδους φραγής σε μια στοιχειοσειρά και πώς επηρεάζεται η συνολική απόδοση από αυτήν. Κάθε μονάδα χρησιμοποιεί μια αποκλειστική δίοδο παράκαμψης που ενεργοποιείται όταν η μονάδα είναι σκιασμένη.



Σχήμα 1.20: Δίοδοι φραγής

Το μέγεθος και ο τύπος των δίοδων φραγής που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τον τύπο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Δύο τύποι δίοδων είναι διαθέσιμοι ως δίοδοι παράκαμψης σε ηλιακούς συλλέκτες και συστοιχίες: η δίοδος πυριτίου με σύνδεση PN και η δίοδος Schottky. Και τα δύο είναι διαθέσιμα με ένα ευρύ φάσμα τρέχουσες αξιολογήσεις. Η δίοδος φραγμού Schottky (δίοδοι επαφής ημιαγωγού-μεταλλου) έχουν πολύ χαμηλότερη πτώση τάσης περίπου 0,4 V σε αντίθεση με τις δίοδους PN που έχουν 0,7 V .

Οι περισσότεροι κατασκευαστές περιλαμβάνουν δίοδους φραγής και δίοδους παράκαμψης στα ηλιακά πάνελ τους, απλοποιώντας το σχεδιασμό. Οι δίοδοι παράκαμψης στα ηλιακά πάνελ συνδέονται παράλληλα με τις φωτοβολταϊκών στοιχείων ή του πάνελ για να διακλαδίσουν το ρεύμα γύρω του, ενώ οι δίοδοι φραγής συνδέονται σε σειρά με τα φωτοβολταϊκά πάνελ για να αποτρέψουν την επιστροφή ρεύματος σε αυτά.



Σχήμα 1.21: Δίοδοι παράκαμψης και δίοδοι φραγής

1.10 Τυπικές Συνθήκες Δοκιμών (STC)

Για τη σύγκριση των φ/β πλαισίων στο εμπόριο οι προδιαγραφές κατασκευής τους λαμβάνονται υπό τυπικές συνθήκες δοκιμών (STC). Οι τυπικές συνθήκες δοκιμών αναφέρονται σε ένα σύνολο συνθηκών υπό τις οποίες διεξάγονται δοκιμές και μετρήσεις των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των φ/β πλαισίων και είναι οι εξής:

- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 1 kW/m^2
- Θερμοκρασία φ/β στοιχείου 298 K (25°C)
- Λόγος μάζας αέρα 1,5

Αυτές οι συνθήκες δοκιμής προσομοιώνουν τη μέγιστη ηλιοφάνεια, τη μηδενική νεφοκάλυψη, τη χαμηλή θερμοκρασία αέρα για την αποφυγή υπερθέρμανσης των ηλιακών συλλεκτών και τη θέση του πάνελ που βλέπει απευθείας στον ήλιο.

Το κυριότερο ηλεκτρικό χαρακτηριστικό ενός φ/β πλαισίου με βάση το οποίο θα αναζητηθεί είναι η ισχύς αιχμής P_p (peak power). Η ισχύς αιχμής είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδώσει το πλαίσιο κάτω υπό STC συνθήκες. Έστω ότι η ισχύς αιχμής ενός φ/β πλαισίου είναι 500 Wp . Αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο φ/β πλαίσιο όταν δέχεται ηλιακή ακτινοβολία $E = 1 \text{ kW/m}^2$, φάσματος AM 1,5 και η θερμοκρασία του είναι 25°C , τότε παράγει ηλεκτρική ενέργεια με ισχύ 500 W .

Οι κατασκευαστές παρέχουν και τον δείκτη NOCT, που δείχνει την ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας του φ/β στοιχείου. Το NOCT σημαίνει Nominal Operating Cell Temperature και αναφέρεται σε συνθήκες δοκιμής που είναι πολύ πιο κοντά στις πραγματικές συνθήκες που αντιμετωπίζουν τα ηλιακά πάνελ καθημερινά:

- Ηλιακή ένταση $S = 800 \text{ W/m}^2$
- Ταχύτητα ανέμου 1 m/s
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C

Από την παρακάτω σχέση μπορούμε να υπολογίσουμε τη θερμοκρασία του φ/β στοιχείου:

$$T_{cell} = T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20^\circ\text{C}}{0,8} \right) s$$

1.11 Απόδοση φ/β πλαισίων:

Στην ιδανική περίπτωση, όλα τα στοιχεία του φ/β πλαισίου έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά χωρίς απώλειες αναντιστοιχίας. Σε αυτήν την περίπτωση, η απόδοση είναι μονάδα.

Η απόδοση είναι μία από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες παραμέτρους για τη σύγκριση των φ/β πλαισίων. Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που έχει μετατραπεί σε ηλεκτρική και ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται προς την προσπίπτουσα στο πλαίσιο ισχύ ηλιακής ακτινοβολίας.

$$n = \frac{P_M}{E \times S} = \frac{V \times I}{E \times S}$$

Όπου E (W/m^2) η ισχύς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανά m^2 , S (m^2) το εμβαδό της επιφάνειας του πλαισίου και P (W) η μέγιστη παραγόμενη ισχύς από το πλαίσιο. Ο βαθμός δεν επηρεάζεται σημαντικά από την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας διότι είναι ανάλογη με την ένταση του ρεύματος το οποίο παράγεται. Η τιμή αναφοράς καθορίζεται σε STC συνθήκες. Σε συνθήκες διαφορετικές από τις πρότυπες η τιμή του καθορίζεται από τη διαφορά $\theta - \theta_{(STC)}$ των θερμοκρασιών του πλαισίου στην δεδομένη κατάσταση φωτισμού και στην κατάσταση STC ($25^\circ C$). Επομένως, κάθε πλαίσιο στην πράξη αποδίδει λίγο διαφορετικά σε σύγκριση με την αναμενόμενη απόδοση των ιδανικών συνθηκών και τα κύρια αιτία είναι:

- Λόγω της μαζικής παραγωγής ενδέχεται να υπάρχει μικρή ανομοιογένεια (mismatch) από τον κατασκευαστή στα χαρακτηριστικά των στοιχείων που διασυνδέονται (όπως η αντίσταση σειράς που προκαλείται από τη συγκόλληση των επαφών μεταξύ τους). Σε αυτήν την περίπτωση, το στοιχείο με το χαμηλότερο ρεύμα στη σειρά μειώνει το ρεύμα του πλαισίου και ομοίως, το στοιχείο με τη χαμηλότερη τάση παράλληλα μειώνει την τάση.
- Ανομοιόμορφη κατανομή ακτινοβολίας στο φ/β πλαίσιο λόγω ανακλαστικότητας του υαλοπίνακα του πλαισίου.
- Απώλειες στη δίοδο παράκαμψης του φ/β πλαισίου.
- Αλλοίωση της δομής των φ/β πάνελ με την πάροδο του χρόνου (γήρανση του πλαισίου), λόγω καιρικών συνθηκών όπως υψηλές θερμοκρασίες, ή εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό τους. Η απόδοση των τα ηλιακών πάνελ υποβαθμίζεται με ρυθμό περίπου 0,5% ανά έτος.
- Η ρύπανση της επιφάνειας του φ/β πλαισίου (επικάθιση σκόνης, περσμένα φύλλα ή κλαδιά, χιόνι, περιττώματα από πουλιά) αυξάνει το ποσοστό απωλειών ανάκλασης και στην περίπτωση αυτή η μείωση της απόδοσης είναι ιδιαίτερα αισθητή.

Ένας άλλος καθοριστικός όρος στη συνολική συμπεριφορά και την ποιότητα ενός ηλιακού πάνελ είναι ο συντελεστής πλήρωσης FF. Ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος στο σημείο μέγιστης λειτουργίας P_{MPP} , με την τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{OC} και το ρεύμα βραχυκυκλώματος I_{SC} :

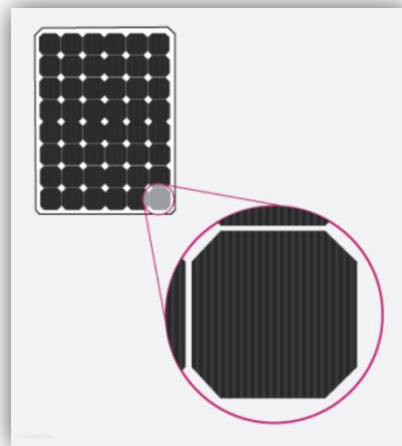
$$FF = \frac{P_{MPP}}{V_{OC} \times I_{SC}} = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{OC} \times I_{SC}}$$

Οι τιμές που παίρνει ο συντελεστής πλήρωσης είναι ανάμεσα στο 0 και στο 1. Όσο η τιμή του είναι πιο κοντά στο 1 τόσο περισσότερο η λειτουργία του φωτοβολταϊκού πλησιάζει στην ιδανική συμπεριφορά της πηγής ρεύματος στην περιοχή τάσεων $0 - V_{OC}$. Οι τυπικοί συντελεστές πλήρωσης κυμαίνονται από 50% έως 82%.

1.12 Τύποι φ/β πλαισίων

Μονοκρυσταλλικά

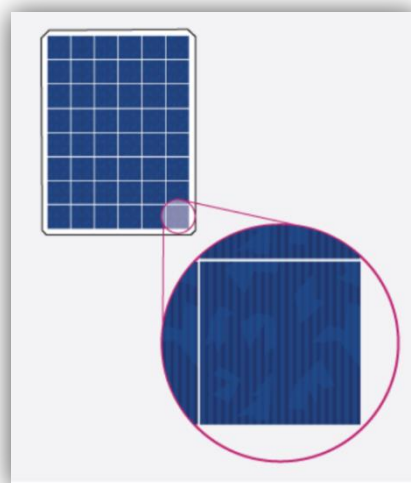
Τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά πάνελ κατασκευάζονται από το πιο καθαρό πυρίτιο και παρέχουν την υψηλότερη απόδοση σε τυπικές συνθήκες δοκιμής σε σύγκριση με τους άλλους 2 τύπους ηλιακών κυψελών. Η τρέχουσα απόδοση μονοκρυσταλλικού ηλιακού πάνελ είναι 22-27%. Ένα μονοκρυσταλλικό πάνελ διακρίνεται από τη στρογγυλεμένη άκρη και το σκούρο χρώμα. Είναι τα πιο διαδεδομένα στην αγορά σήμερα και η ονομαστική ισχύς τους έχει αυξηθεί σημαντικά.



Σχήμα 1.22: Μονοκρυσταλλικό φ/β πλαίσιο

Πολυκρυσταλλικά

Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά πάνελ, είναι ελαφρώς λιγότερο αποδοτικά από τα μονοκρυσταλλικά. Αυτό οφείλεται στη φύση της παραγωγής. Η απόδοση του πολυκρυσταλλικού ηλιακού πάνελ είναι περίπου 15-22%. Ένα πολυκρυσταλλικό ηλιακό πάνελ από το τετράγωνο κόψιμο και μπλε στίγματα.



Σχήμα 1.23: Πολυκρυσταλλικό φ/β πλαίσιο

Εύκαμπτα

Είναι ηλιακοί συλλέκτες λεπτής μεμβράνης οι οποίοι κατασκευάζονται καλύπτοντας ένα υπόστρωμα από γυαλί, πλαστικό ή μέταλλο με μία ή περισσότερες λεπτές στρώσεις φωτοβολταϊκού υλικού. Είναι συνήθως εύκαμπτα και χαμηλού βάρους. Η παραγωγή αυτού του είδους πάνελ είναι λιγότερο περίπλοκη, επομένως η απόδοση τους είναι 5% μικρότερη από την απόδοση μονοκρυσταλλικών ηλιακών πάνελ. Κανονικά, οι κυψέλες λεπτής μεμβράνης παρέχουν απόδοση μεταξύ 15-22% ηλιακών πάνελ.

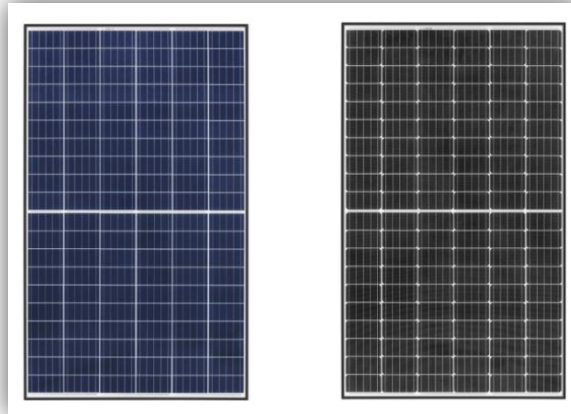


Σχήμα 1.24: Εύκαμπτο φ/β

1.13 Τεχνολογίες που αυξάνουν την απόδοση των φ/β πλαίσιων

Half cell φ/β πλαίσια

Τα half cell πλαίσια χρησιμοποιούν ηλιακές κυψέλες κομμένες στη μέση, συμπεριφέρονται ως δύο μισές μονάδες τοποθετημένες η μία πάνω από την άλλη. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα είναι ότι προσφέρουν καλύτερη απόδοση ιδιαίτερα σε εγκαταστάσεις με προβλήματα σκίασης. Όταν η κάτω μισή μονάδα είναι σκιασμένη, η επάνω υπομονάδα εξακολουθεί να λειτουργεί, με το μισό ρεύμα από τη συνολική μονάδα. Όταν οι ηλιακές κυψέλες μειώνονται στο μισό, το ρεύμα τους μειώνεται επίσης στο μισό, επομένως οι απώλειες μεταφοράς λόγω της εσωτερικής αντίστασης μειώνονται στο 1/4, και έτσι παράγουν λίγο περισσότερη ισχύ. Επιπρόσθετα λόγω του μικρού μεγέθους των κυψελών είναι πιο ανθεκτικά στις ρογμές και στις μηχανικές καταπονήσεις.



Σχήμα 1.25: Half cell φ/β πλαίσια

Φ/β πλαίσια διπλής όψης

Τα φ/β πάνελ διπλής όψης (Bifacial) έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ενέργεια και από την πίσω πλευρά τους, λαμβάνοντας ταυτόχρονα το ηλιακό φως στο μπροστινό μέρος και το ανακλώμενο φως στο πίσω μέρος. Συνεπώς, σε σύγκριση με τις συμβατικά πλαίσια μονής όψεως προσφέρουν μεγαλύτερη ισχύ εξόδου και μπορούν να αυξήσουν την παραγωγή ενέργειας από 11% έως και 30% ανάλογα με την τοποθεσία καθώς και τον τρόπο εγκατάστασης. Συνήθως εγκαθίστανται κοντά σε επιφάνειες υψηλής ανακλαστικότητας όπως αμμώδεις, πέτρινες ή χιονισμένες περιοχές. Αποδίδουν καλύτερα όταν βρίσκονται περίπου τέσσερα μέτρα από το έδαφος και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όσο πιο ψηλά είναι τοποθετημένο το πάνελ, τόσο περισσότερο φως μπορεί να περάσει από κάτω τους. Για τον λόγο αυτό είναι πιο διαδεδομένα σε έργα μεγάλης κλίμακας (πχ φ/β πάρκα σε αγροκτήματα, εμπορικά συστήματα ,κτλ) παρά σε οικιακά συστήματα.



Σχήμα 1.26: Φ/β πλαίσια διπλής όψεως

Επιπλέον είναι πιο ανθεκτικά καθώς καλύπτονται και από τις δύο πλευρές με γυαλί και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

1.14 Τοποθέτηση φ/β πλαισίων

1.14.1 Γωνία κλίσης και τρόποι στήριξης φ/β πλαισίων

Σταθερές βάσεις

Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον πιο αλπό τρόπο στήριξης των φ/β πάνελ. Κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα για την ώστε να εξασφαλίζουν αντοχή στη διάβρωση και αποτελούνται συνήθως από τεμάχια τα οποία συναρμολογούνται. Είναι εύκολο κατά το σχεδιασμό και είναι κατάλληλες και για έδαφος και για στέγη. Τοποθετούνται επί του εδάφους είτε με σκυροδέτηση είτε απευθείας με εδαφόμπτυξη. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται μέριμνα για τη δυνατότητα όδευσης καλωδίων καθώς και για τη στήριξη πινάκων ή αντιστροφών, σε περίπτωση που τεχνικά διαπιστωθεί ότι αυτή είναι η βέλτιστη λύση.



Σχήμα 1.27: Συστήματα σταθερών βάσεων

Ένα σταθερό σύστημα βάσεων μπορεί οικονομικά να είναι μια πιο αποδοτική επιλογή για έργο μεγάλης κλίμακας λόγω του μειωμένου κόστους εγκατάστασης και συντήρησης.

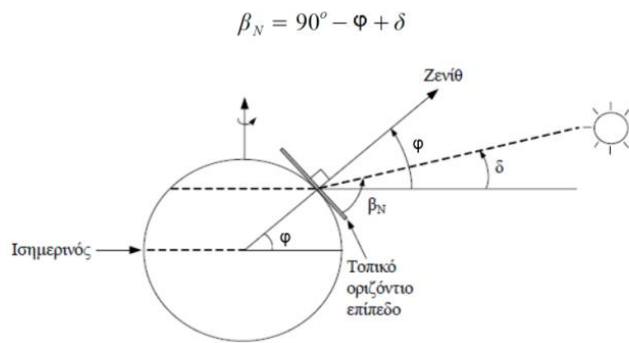
Για να έχουμε τη μέγιστη δυνατή απόδοση τα οι βάσεις θα πρέπει να τοποθετούνται με νότιο προσανατολισμό. Αποκλίσεις από το νότο είναι επιτρεπτές, μειώνουν όμως την απόδοση. Η γωνία θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν κάθετα στα πάνελ το ηλιακό μεσημέρι. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η γωνία ύψους ήλιου και του τοπικού οριζόντιου επιπέδου (β_N).

$$\beta_N = 90^\circ - \varphi + \delta$$

Όπου (φ) είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και (δ) η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του ημερινού και της ευθείας γραμμής που ενώνει το κέντρο του ήλιου και το κέντρο της γης ηλιακή απόκλιση (δ):

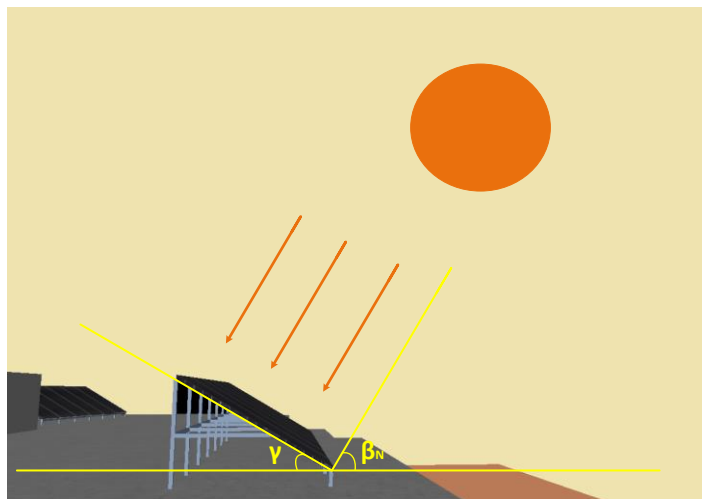
$$\delta = 23,45 * \sin \left[\frac{360 * (n - 81)}{365} \right],$$

και μεταβάλεται από $-23,45^\circ$ έως $23,45^\circ$, όπου n ο αριθμός της ημέρας του έτους.



Σχήμα 1.28: γωνία ύψους ήλιου και του τοπικού οριζώντιου επιπέδου (β_N).

Στις 21 Μαρτίου και στις 21 Σεπτεμβρίου όπου έχουμε ισημερία για να προσπίπτουν οι ακτίνες του ήλιου κάθετα στο συλλέκτη θα πρέπει να έχει γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος. Επομένως μια γωνία κλίσης ίση με το γεωγραφικό πλάτος εξασφαλίζει μια καλή ετήσια απόδοση. Αν όμως ληφθεί υπόψη ότι κατά το καλοκαίρι το ημερήσιο τόξο του ήλιου είναι είναι μεγαλύτερο του αντίστοιχου κατά το χειμώνα, προκύπτει ότι βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη πρέπει να είναι μικρότερη του ϕ του τόπου, δηλαδή με βαρύτητα την καλοκαιρινή περίοδο.



Σχήμα 1.29: Γωνία κλίσης γ ϕ/β συλλέκτη

Μπορούμε να προσδιορίσουμε προσεγγιστικά τη βέλτιστη γωνία κλίσης σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος ϕ από τη σχέση:

$$\gamma = 0,764 * \phi + 2,14^\circ.$$

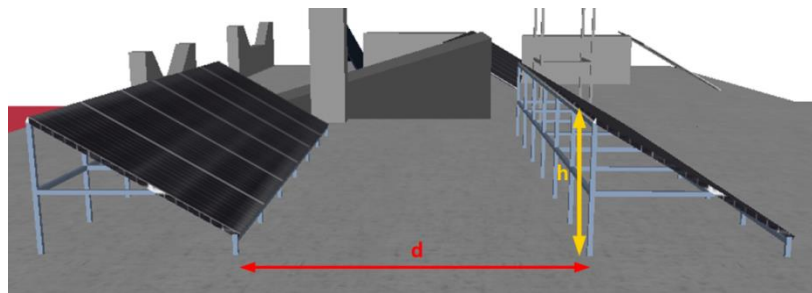
Η σχέση αυτή αντιμετωπίζεται ως εμπειρική, που αποτελούν προσεγγιστικούς κανόνες.

Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος κατασκευάζονται βάσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι συλλέκτες, με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης τους. Η μηχανολογική κατασκευή είναι σχετικά φθηνή και απλή ώστε όλοι οι χρήστες να μπορούν να κάνουν την εποχιακή ρύθμιση. Η ρύθμιση του συλλέκτη γίνεται δυο φορές τον χρόνο, μια κατά το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου - 21 Μαρτίου) και μια κατά το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου - 22 Σεπτεμβρίου). Η αλλαγή αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η κλίση μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και της επιφάνειας του συλλέκτη να πλησιάζει όσο το δυνατόν τις 90° . Για τον προσδιορισμό της σωστής γωνιάς του συλλέκτη πρέπει να

είναι γνωστά τα μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου (ηλιοφάνεια, άνεμος, θερμοκρασίας, κ.λ.π.), Κατά τη χειμερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία κλίσης είναι $\gamma = \phi + (10^\circ \text{ έως } 15^\circ)$, ενώ κατά τη θερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία είναι $\gamma = \phi - (10^\circ \text{ έως } 15^\circ)$.

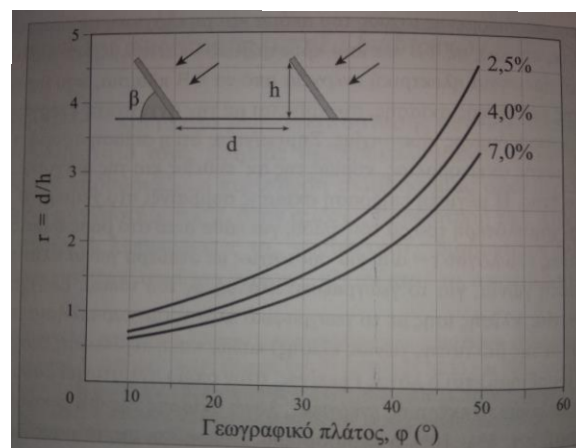
1.14.2 Ελάχιστη απόσταση μεταξύ συστοιχιών

Για να έχουμε τη σωστή απόδοση από τα ϕ/β θα πρέπει κατά την τοποθέτηση να έχουμε επαρκή ελεύθερο και ασκίαστο χώρο. Η παρουσία εμποδίων κοντά στους χώρους εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών συστημάτων μειώνει την αποδοτικότητά τους, εξαιτίας της προκαλούμενης σκιάσής τους. Η τοποθέτηση των συστοιχιών η μία πίσω απ'την άλλη, γίνεται λαμβάνοντας υπόψη κατά κύριο λόγο τη σκίαση που θα προκαλέσει η νοτιότερη στην αμέσως επόμενη. Μετά το θερινό ηλιοστάσιο (21 Ιουνίου), το ύψος του ήλιου μειώνεται άρα στις ίδιες ώρες κάθε επόμενη μέρα το μήκος της σκιάς πίσω από τη συστοιχία θα είναι μεγαλύτερο. Η σκιά ελατώνεται από την ανατολή προς το μεσημέρι και αυξάνεται καθώς ο ήλιος κινείται προς τη δύση. Η μεγαλύτερη επίδραση σκίασης συμβαίνει κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο όπου έχουμε τη χαμηλότερη τροχιά του ήλιου για κάθε τόπο στο βόρειο ημισφαίριο.



Σχήμα 1.30: Ελάχιστη απόσταση μεταξύ συστοιχιών

Το αποτέλεσμα της σκίασης εξαρτάται από το λόγο $r=d/h$, όπου d η απόσταση μεταξύ των συστοιχιών και h το ύψος τους. Στο παρακάτω διάγραμμα υπολογίζονται οι τιμές του λόγου $r=d/h$ για συστοιχίες με σταθερές γωνίες κλίσης, με την βέλτιστη γωνία, για το γεωγραφικό πλάτος ϕ του κάθε τόπου. Οι τρεις καμπύλες αφορούν σε μέσα ετήσια ποσοστά απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, λόγω σκίασης από την παρουσία της αμέσως νοτιότερης της, 2,5%, 4%, 7%.



Σχήμα 1.31: Γραφική παράσταση του λόγου r σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος

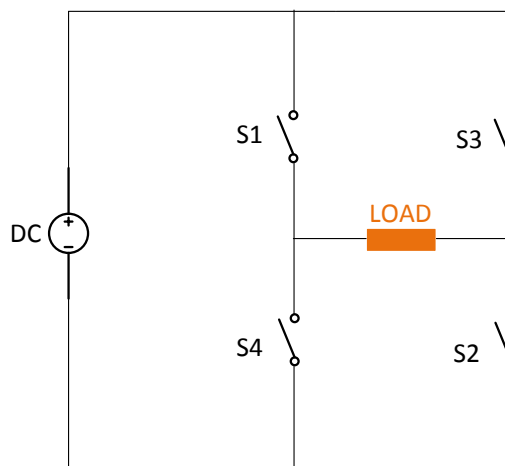
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Αντιστροφείς (Inverters)

2.1 Αρχή λειτουργίας αντιστροφέων

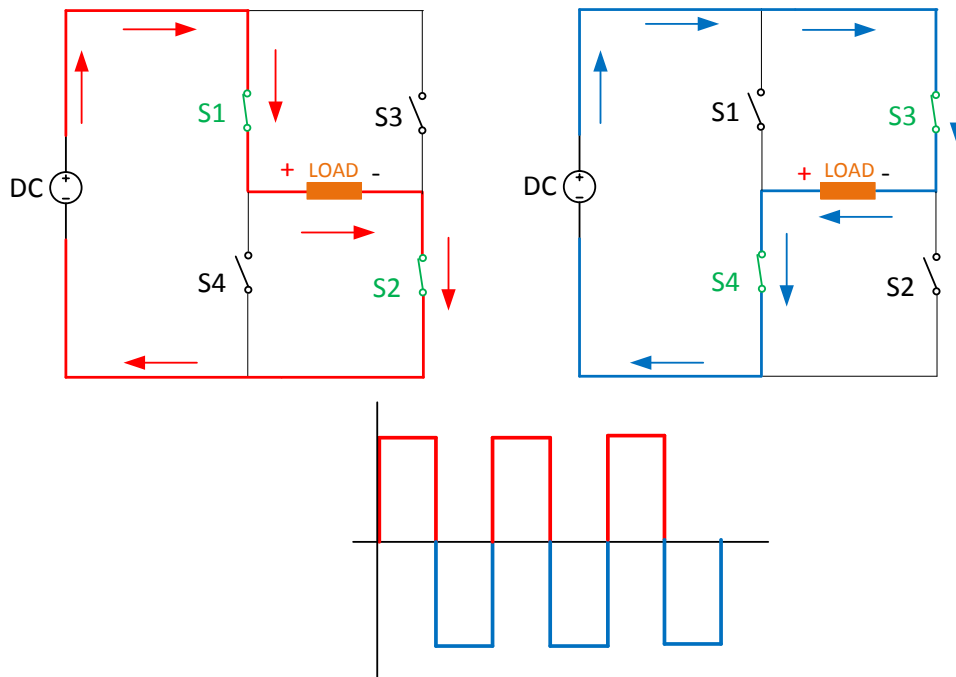
Ο αντιστροφέας (inverter) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή ισχύος ο οποίος δέχεται στην είσοδό του τη συνεχή τάση της φ/β γεννήτριας και την μετατρέπει σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική 230/400 V, 50 Hz) για να τροφοδοτήσει τα εναλλασσόμενα φορτία. Οι αντιστροφείς χωρίζονται ανάλογα με τον αριθμό φάσεων που εμπλέκουν αλλά και τον τύπο διαμόρφωσης της συνεχούς τάσης προς εναλλασσόμενη που δέχονται. Για οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα με εγκατεστημένη ισχύ έως 5 kWp μπορούν να υλοποιηθούν με μονοφασικό αντιστροφέα, ενώ για άνω των 5 kWp η ΔΕΗ είναι απαιτεί τριφασικό. Για εγκατασεις άνω των 100 kWp συνδέονται υποχρεωτικά στο δίκτυο Μέσης Τάσης.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα απλοποιημένο κύκλωμα ισχύος ενός μονοφασικού αντιστροφέα σε συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας.



Σχήμα 2.1: Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα αντιστροφέα

Η μετατροπή επιτυγχάνεται με το ανοίγμα – κλείσιμο των διακοπών ισχύος ανά δύο χιαστί. Όταν οι διακόπτες S1 και S2 είναι κλειστοί εφαρμόζεται η τάση της πηγής στο φορτίο η οποία είναι θετική. Κατά την αρνητική ημιπερίοδο είναι κλειστοί οι διακόπτες S3 και S4 εφαρμόζοντας αρνητική τάση στο φορτίο. Με τον τρόπο αυτό έχουμε σαν αποτέλεσμα στην έξοδο μια περιοδική εναλλασσόμενη τάση τετραγωνικής μορφής, της οποίας το πλάτος εξαρτάται από τη χρονική διάρκεια που μένει κλειστό το εκάστοτε ζεύγος.



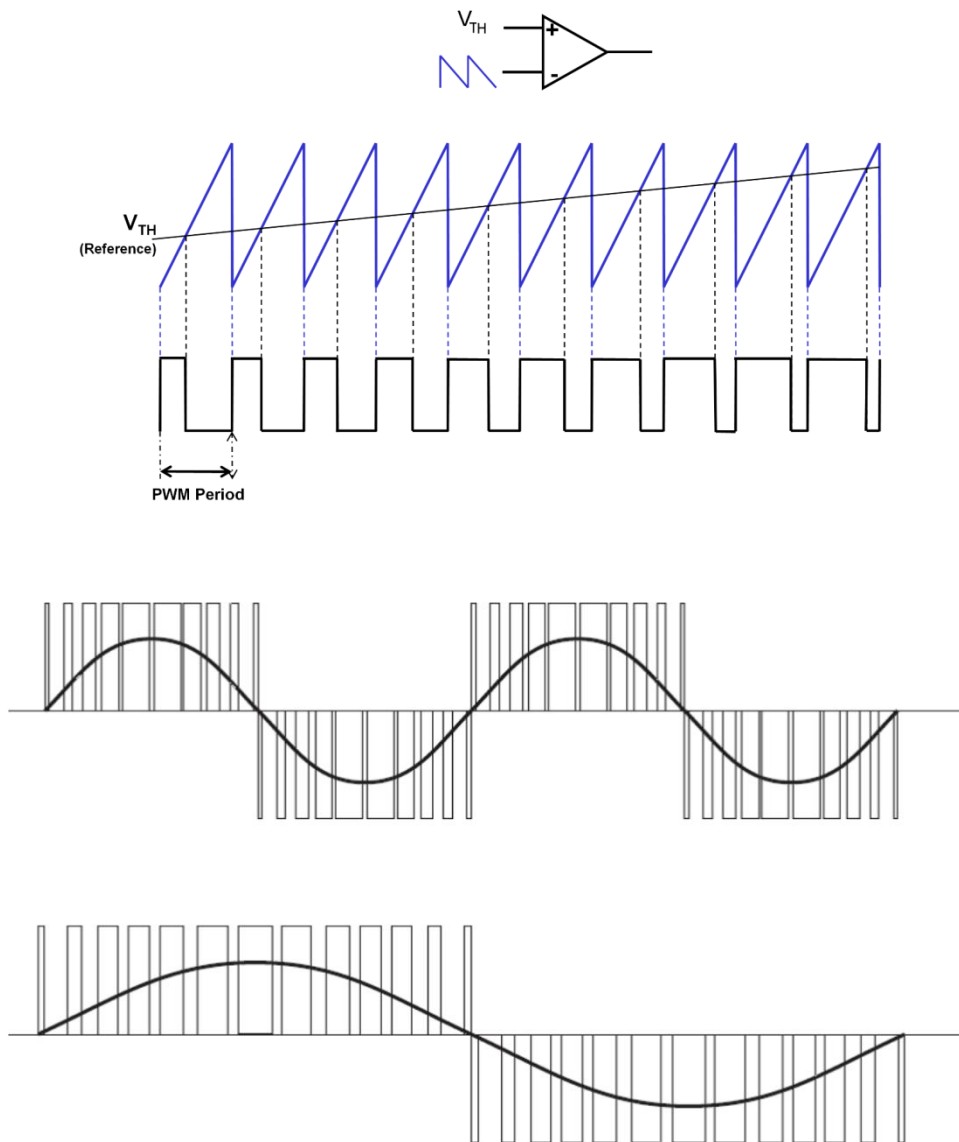
Σχήμα 2.2: Λειτουργία απλοποιημένου ισοδύναμου κυκλώματος

Ως διακόπτες S1, S2, S3 και S4, χρησιμοποιούνται ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος εξαναγκασμένης σβέσης και λειτουργούν σε υψηλή διακοπτική συχνότητα. Τέτοιοι είναι τα IGBT, MOSFET ή κάποιος άλλος ημιαγωγός ανάλογα με την απαιτούμενη ισχύ εξόδου. Οι αντιστροφείς διαθέτουν λογικά κυκλώματα για την οδήγηση των διακοπτικών στοιχείων. Με τον κατάλληλο προγραμματισμό του λογικού κυκλώματος το κάθε ζεύγος ανοίγει και κλείνει στους σωστούς χρόνους του κάθε παλμού ώστε να παράχθει το επιθυμητό σήμα. Για τη βελτίωση της ποιότητας του σήματος εξόδου και την επίτευξη μιας ημιτονοειδούς κυματομορφής χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικές διατάξεις που φιλτράρουν και εξομαλύνουν το σήμα. Για να επιτευχθεί ο έλεγχος της τάσης εξόδου του αντιστροφέα χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές παλμοδότησης. Οι επικατέστερες αυτών είναι οι PWM και SPWM.

2.2 Διαμόρφωση εύρους παλμών PWM

Η PWM (Pulse Width Modulation) είναι μια τεχνική με την οποία επιτυγχάνεται ο έλεγχος της τάσης εξόδου μέσω της αυξομείωσης του εύρους των παλμών. Το κύκλωμα ελέγχου παράγει ένα DC σήμα και μια τριγωνική τα οποία εφαρμόζονται στην είσοδο ενός συγκριτή. Από τη σύγκριση αυτή λαμβάνονται παλμοί σταθερού πλάτους και συχνότητας ίσης με του τριγωνικού σήματος οι οποίοι θα εφαρμοστούν στους ημιαγωγικούς διακόπτες ισχύος. Εάν η στιγμιαία στάθμη του DC σήματος είναι υψηλότερη από την τριγωνική κυματομορφή, η έξοδος του συγκριτή είναι μηδέν, ενώ εάν είναι χαμηλότερη είναι ένα. Από αυτούς τους παλμούς οι μισοί παλμοδοτούν το ένα ζεύγος της γέφυρας (S1 και S2), ενώ οι υπόλοιποι παράγονται από έναν επιπλέον συγκριτή και παλμοδοτούν το άλλο ζεύγος (S3 και S4). Το πλάτος DC του σήματος μεταβάλλεται από το μηδέν ως το πλάτος του τριγωνικού σήματος αυξομειώνοντας το πλάτος των. Η έξοδος είναι ένα διακριτό σήμα με συχνότητα που αντιστοιχεί στη συχνότητα του τριγωνικού σήματος παλμών η οποία είναι πολύ

μεγαλύτερη από τη συχνότητα του δικτύου. Όσο υψηλότερη είναι η διακοπτική συχνότητα των παλμών, τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα της κυματομορφής στην έξοδο.

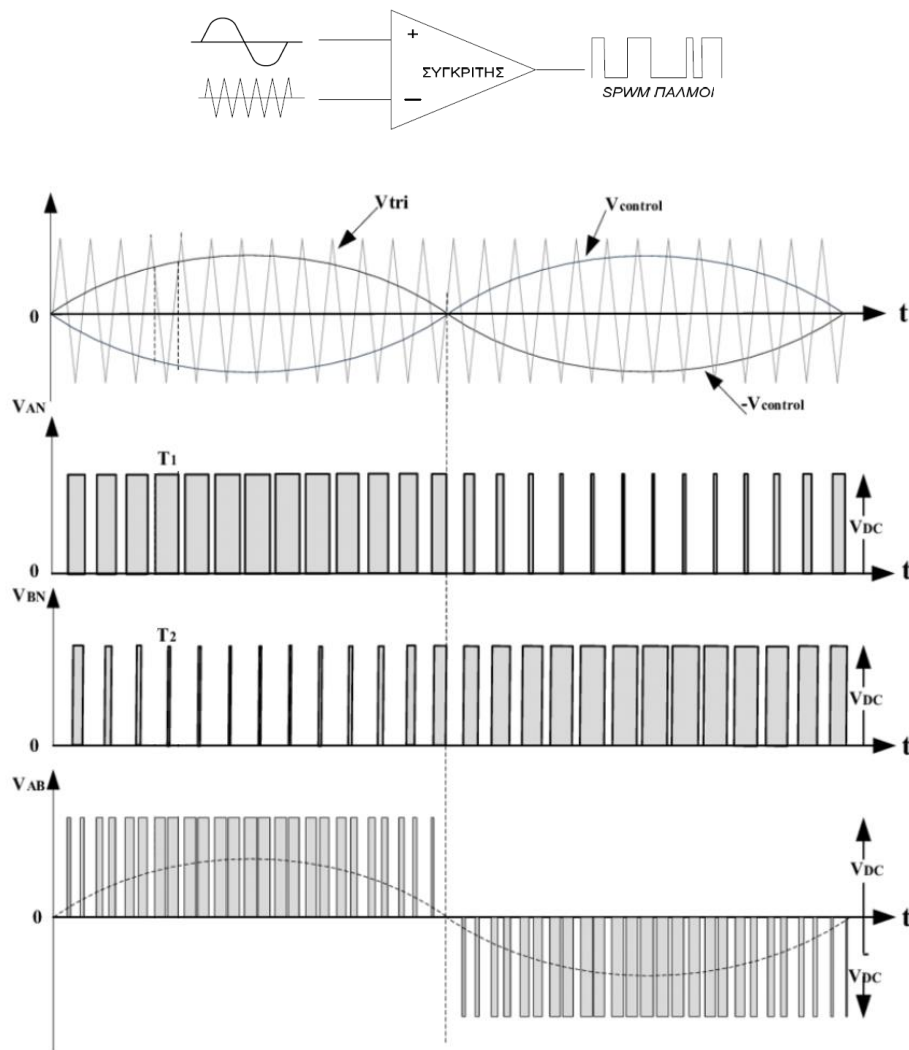


Σχήμα 2.3: Τεχνική PWM

Αν το πλάτος των παλμών αυξηθεί, αυξάνεται και η τάση του φορτίου, ενώ αν αυξηθεί ο αριθμός των παλμών που ανοίγει το κάθε ζεύγος αυξάνεται περίοδος τάσης του φορτίου αφού μειώνεται η συχνότητα.

2.3 SPWM Ημιτονοειδή διαμόρφωση εύρους παλμών.

Σ' αυτήν την τεχνική οι παλμοί λαμβάνονται όπως στην PWM μόνο που το DC σήμα αντικαθιστάται από ένα ημιτονοειδές σήμα. Από τη σύγκριση του τριγωνικού σήματος με το ημιτονοειδές λαμβάνονται παλμοί μεταβαλλόμενου πλάτους μέσα στην ημιπερίοδο. Ο παλμός του μέγιστου πλάτους εμφανίζεται στο μέσο της ημιπεριόδου ενώ στα άκρα εμφανίζονται οι παλμοί ελάχιστου πλάτους. Η διάρκεια των επιμέρους παλμών μεταβάλλεται ημιτονοειδώς μέσα σε μια περίοδο της τάσης του δικτύου. Έτσι αν υπάρχει φίλτρο στην έξοδο του αντιστροφέα το ρεύμα λαμβάνει σχεδόν ημιτονοειδή μορφή και παράλληλα ελαχιστοποιείται η αρμονική παραμόρφωση και επιτυγχάνεται υψηλός συντελεστής ισχύος.



Σχήμα 2.4: Τεχνική SPWM

2.4 Ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος MPPT

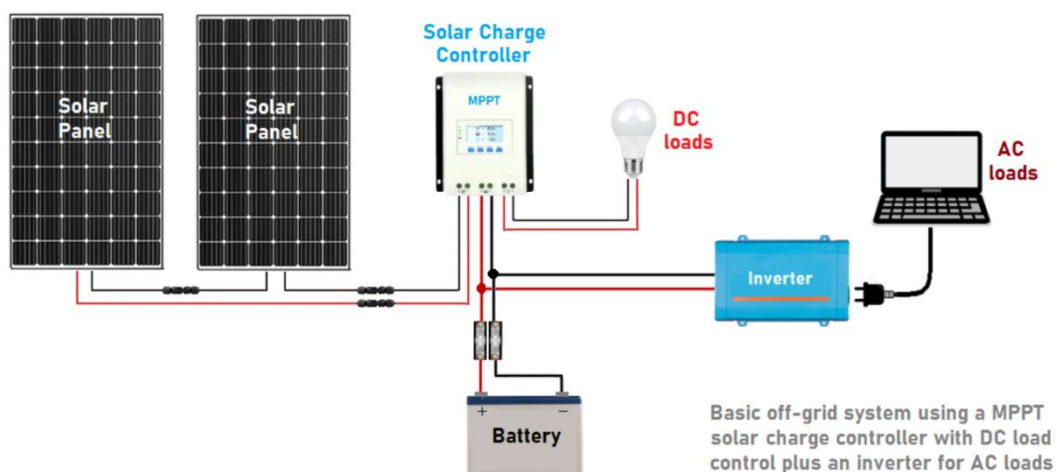
Ο ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος MPPT (Maximum Power Point Tracker) είναι μια σημαντική ηλεκτρονική διάταξη που χρησιμοποιείται στην πλειονότητα των σύγχρονων φωτοβολταϊκών αντιστροφών. Πρόκειται για ένα σύστημα το οποίο του μεγιστοποιεί τη διαθέσιμη ενέργεια από τις συνδεδεμένες φ/β συστοιχίες με στόχο την ελαχιστοποίηση των απωλειών και την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης οποιαδήποτε στιγμή κατά τη λειτουργία του. Είναι ένας DC/DC μετατροπέας ο οποίος ελέγχεται από έναν μικροελεγκτή και σαρώνει περιοδικά την καμπύλη της ισχύος. Καθώς η καμπύλη αλλάζει ανάλογα με τη θέση του ήλιου, τη θερμοκρασία πιθανές σκιάσεις, ή και τις καιρικές συνθήκες ο MPPT ανιχνεύει το σημείο MPP ώστε να εξάγεται πάντα η μέγιστη δυνατή ισχύς από τα φωτοβολταϊκά. Οι περισσότεροι σύγχρονοι μετατροπείς διαθέτουν ενσωματωμένους MPPT. Η παρουσία περισσότερων από έναν MPPT θεωρείται μεγάλο πλεονέκτημα και αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση σε εγκαταστάσεις με στοιχειοσειρές που λειτουργούν υπό διαφορετικές συνθήκες με μερικές σκιάσεις και σύνθετο προσανατολισμό ή κλίση.

2.5 Τύποι μετατροπών ανάλογα με τη συνδεσμολογία στο δίκτυο

Η κυριότερη διάκριση των αντιστροφών όσον αφορά τη χρήση τους σε φωτοβολταϊκά συστήματα είναι: Τα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο (on grid) και εκτός δικτύου ή αυτόνομα (off grid) ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα.

OFF GRID INVERTERS

Είναι αντιστροφείς που χρησιμοποιούνται σε φ/β συστήματα τα οποία είναι εγκατεστημένα μακριά από το ηλεκτρικό δίκτυο και λειτουργούν εντελώς ανεξάρτητα από αυτό (αυτόνομα φ/β συστήματα). Η φ/β ενέργεια που παράγεται μπορεί να δίνεται είτε απευθείας στις καταναλώσεις (εφόσον υπάρχει επαρκής ηλιοφάνεια) είτε αφού την αποθηκεύσουμε σε μπαταρίες. Στα περισσότερα συστήματα τα φ/β πλαίσια συνοδεύονται με έναν ελεγκτή φόρτισης ο οποίος φορτίζει τις μπαταρίες και στην συνέχεια ο αντιστροφέας με τη σειρά του τροφοδοτεί τις ηλεκτρικές συσκευές.



Σχήμα 2.5: Αυτόνομο φ/β σύστημα

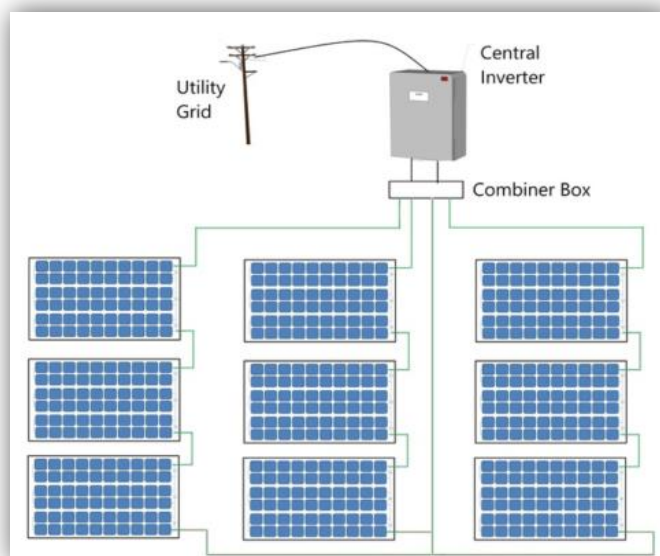
Όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής αντιστροφών αυτόνομων συστημάτων, η κυριότερη διάκριση είναι ανάμεσα σε αντιστροφείς καθαρού ημιτόνου και τροποποιημένου ημιτόνου. Οι αντιστροφείς τροποποιημένου ημιτόνου δεν παράγουν καθαρή ημιτονοειδή κυματομορφή στην έξοδο. Είναι απλοί στην κατασκευή και αποτελούν μια πολύ φθηνή λύση καθώς δεν απαιτείται περίπλοκο σύστημα για την εξομάλυνση και την απόδοση της κυματομορφής εξόδου. Λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων τους είναι κατάλληλοι να τροφοδοτήσουν μόνο συσκευές θερμικών στοιχείων (φωτισμος, βραστήρας, θερμάστρα, κ.λπ.). Οι αντιστροφείς καθαρού ημιτόνου παράγουν καθαρή ημιτονοειδή κυματομορφή ρεύματος στην έξοδο με υψηλότερο βαθμό απόδοσης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μεγαλύτερο. Είναι κατάλληλοι για όλες τις συσκευές. Τα χαρακτηριστικά του αντιστροφέα που θα επιλέξουμε για ένα τέτοιο σύστημα θα πρέπει να υποστηρίζουν τη συνολική ισχύ των AC καταναλώσεων που λειτουργούν ταυτόχρονα καθώς και τα ρεύματα εκκίνησης επαγωγικών φορτίων (πχ κινητήρες). Στην περίπτωση αυτή η ισχύς του αντιστροφέα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 30% πάνω από τη συνολική στιγμιαία ισχύ των καταναλώσεων.

OFF GRID INVERTERS

Είναι αντιστροφείς που χρησιμοποιούνται σε φ/β συστήματα τα οποία είναι συνδεδεμένα παράλληλα στο δίκτυο είτε για ιδιοκατανάλωση της παραγόμενης ενέργειας, είτε για πώλησή της στο πάροχο ηλεκτρικού δικτύου. Υπάρχουν πολλά είδη ON-GRID INVERTERS όπως:

Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)

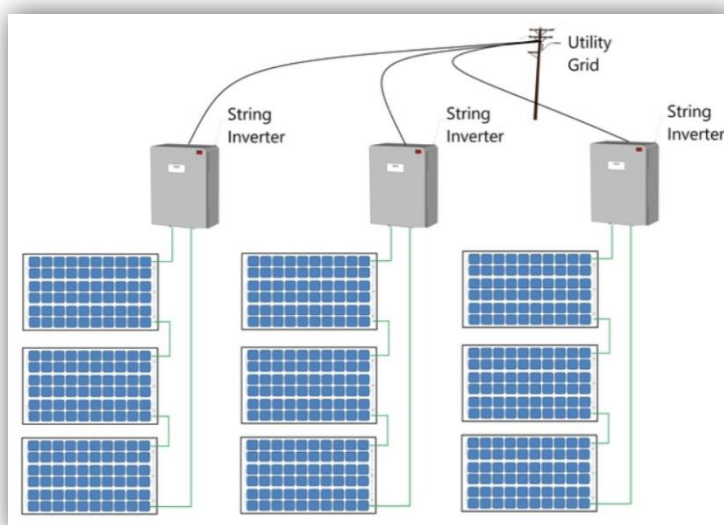
Οι κεντρικοί αντιστροφείς χρησιμοποιούνται σε συστήματα με ισχύ μεγαλύτερη των 30 kW έως και 1 έως 2 MW. Στην DC τους πλευρά διαθλονται πολλές εισόδους συνδεδεμένες παράλληλα για την είσοδο των φ/β string. Μερικά από τα πλεονεκτήματα των κεντρικών αντιστροφών αυτών είναι η ευκολία στο σχεδιασμό του συστήματος, το χαμηλό κόστος ανά watt, και εύκολη προσβασιμότητα για συντήρηση και αντιμετώπιση προβλημάτων. Έχουν όμως περιορισμένες δυνατότητες διότι συνήθως διαθέτουν έναν MPPT με αποτέλεσμα η απόδοση του φ/β συστήματος να μειωθεί δραστικά σε περίπτωση μερικής σκίασης των στοιχειοσειρών. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι διαθέτουν μεγάλο μήκος καλωδίων με αποτέλεσμα να έχουμε απώλειες ισχύος λόγω πτώσης τάσης και υψηλό κόστος της DC καλωδίωσης λόγω των μεγάλων διατομών. Επιπλέον είναι δύσκολη η προσθήκη στοιχειοσειρών για μελλοντική επέκταση και λόγω του τεράστιου μεγέθους τους απαιτείται περισσότερη γη κάτι το οποίο μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα σκίασης για τις συστοιχίες φωτοβολταϊκών.



Σχήμα 2.6: Κεντρικός αντιστροφέας

Αντιστροφέας κλάδων (string inverters)

Οι αντιστροφέας κλάδων (ή στοιχειοσειρών) χρησιμοποιούνται σε συστήματα με εύρος ισχύος από 1 kW έως μερικά MW. Τους βρίσκουμε στην αγορά σε μοντέλα ισχύος 1 kW έως 250 kW, είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί και με μετασχηματιστή ή χωρίς. Σε σχέση με τους κεντρικούς αντιστροφέας είναι πιο ευέλικτοι, αλλά έχουν υψηλότερο κόστος ανά watt. Στην DC τους πλευρά διαθέτουν πολλές εισόδους συνδεδεμένες παράλληλα για την είσοδο των φ/β string. Ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης, ενδέχεται να έχουμε πολλούς αντιστροφέας κλάδων που ο καθένας λαμβάνει ισχύ συνεχούς ρεύματος από τις αντίστοιχες στοιχειοσειρές οι έξοδοι AC συνδέονται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.7: Αντιστροφέας κλάδων

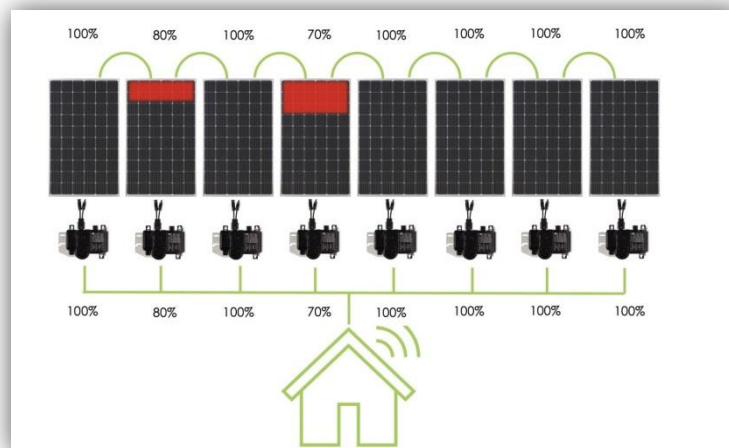
Σε σχέση με τους κεντρικούς αντιστροφείς είναι πιο εύκολη η επέκταση του φ/β συστήματος και έχουμε λιγότερες απώλειες στις DC καλωδιώσεις. Βασική προϋπόθεση είναι κάθε είσοδος να συνδέεται με τον ίδιο αριθμό πλαισίων με τα ίδια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά ίδια κλίση και προσανατολισμό.

Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters)

Το βασικό πλεονέκτημά αυτών των αντιστροφέων είναι ότι κάθε είσοδος είναι ανεξάρτητη από τις υπόλοιπες και κάθε μία έχει τον δικό της MPPT και έτσι μπορούν να διαχειριστούν με απόλυτα ικανοποιητική απόδοση πολλά string με διαφορετικούς προσανατολισμούς ή κλίσεις. Έτσι σε κάθε είσοδο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πλαίσια όσον αφορά την ονομαστική τους ισχύ και τον αριθμό που αποτελούν τη στοιχειοσειρά.

Μικρο-αντιστροφείς (micro-inverters)

Οι micro – inverters χρησιμοποιούνται σε μικρά συστήματα ισχύος καθώς συνδέονται σε κάθε φ/β πλαίσιο ξεχωριστά και παράγουν ενέργεια απευθείας στο δίκτυο. Βασικό πλεονέκτημά τους είναι ότι διαχειρίζονται ξεχωριστές ομάδες πλαισίων με ξεχωριστούς MPPT προσφέροντας μεγάλη απόδοση και φθηνότερη καλωδίωση, Τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι πιο αποδοτικά, αλλά αυτά συχνά κοστίζουν περισσότερο από τους αντιστροφείς στοιχειοσειρών, ένα άλλο βασικό τους μειονέκτημα είναι και η δυσκολία στη συντήρησή τους.



Σχήμα 2.8: Μικρο - αντιστροφείς

2.6 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφών

Πλευρά εισόδου DC

Μέγιστη Φ/β ισχύς: Είναι η μέγιστη Φ/β ισχύς που μπορούμε να εγκαταστήσουμε στον αντιστροφέα. Η συνολική ισχύς της Φ/β γεννήτριας δεν θα πρέπει να ξεπερνά το όριο αυτό.

Μέγιστη Φ/β ισχύς ανά είσοδο: Είναι η μέγιστη ισχύς των στοιχειοσειρών που πρόκειται να συνδέσουμε σε κάθε είσοδο και δεν θα πρέπει να ξεπερνά αυτό το όριο.

Ονομαστική τιμή τάσης εισόδου: Είναι η ιδανική τιμή τάσης DC των στοιχειοσειρών για την επίτευξη της μέγιστης ισχύος.

Μέγιστη τάση εισόδου: Είναι η μέγιστη DC τάση που μπορεί να δεχτεί στην είσοδό του ο αντιστροφέας. Η τάση ανοικτού κυκλώματος των στοιχειοσειρών δεν θα πρέπει να ξεπερνά την τιμή αυτή.

Τάση εκκίνησης: Είναι η ελάχιστη τάση που χρειάζεται για να ενεργοποιηθεί ο αντιστροφέας.

Εύρος τάσης MPPT: Είναι το εύρος DC τάσης ώστε να λειτουργεί σωστά ο MPPT. Τόσο η μέγιστη τιμή όσο και το εύρος της τάσης λειτουργίας ενός αντιστροφέα είναι δύο κύριες παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό της φωτοβολταϊκής γεννήτριας ώστε να διασφαλιστεί ότι ο αντιστροφέας θα λειτουργεί σωστά.

Μέγιστο ρεύμα εισόδου: Είναι το μέγιστο ρεύμα DC του κυκλώματος των string για να λειτουργεί ο αντιστροφέας χωρίς απώλειες.

Μέγιστο ρεύμα βραχύκυκλωσης: Είναι το μέγιστο DC ρεύμα που αντέχει ο αντιστροφέας.

Πλευρά εξόδου AC

Ονομαστική AC ισχύς: Είναι η ισχύς εξόδου του αντιστροφέα σε ιδανικές συνθήκες. Κατά κανόνα, οι σχεδιαστές επιλέγουν το εύρος του λόγου ισχύος (ΛΙ) DC προς AC του αντιστροφέα να είναι στο εύρος από 80% έως 125% ανάλογα με τη θέση, τον προσανατολισμό, την ηλιακή ακτινοβολία, τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής και τον τύπο των Φ/β που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, για ένα σύστημα στην Βόρεια Ευρώπη, συνιστάται η υπερμεγέθυνση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, καθώς είναι πολύ απίθανο να υπερφορτωθεί ο αντιστροφέας, διότι η ακτινοβολία είναι μικρότερη από την ονομαστική STC (1000 W/m^2). Αντίθετα, στην Ελλάδα δεν μπορούμε να ξεπεράσουμε το 110% αφού η ακτινοβολία φτάνει στο επίπεδο STC και μπορεί να το ξεπεράσει. Για βέλτιστες επιλογές στοιχειοσειρών, χρησιμοποιούμε το data sheet του κατασκευαστή για να προσδιορίσουμε τα μέγιστα και ελάχιστα επιτρεπόμενα μεγέθη των φωτοβολταϊκών.

Ονομαστικό ρεύμα εξόδου: Είναι το ρεύμα εξόδου όταν έχει επιτευχθεί η ονομαστική ισχύς.

Επιπλέον χαρακτηριστικά

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που αναφέρεται στα τεχνικά φυλλάδια και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή και την εγκατάσταση των αντιστροφών είναι ο βαθμός στεγανότητας ο οποίος χαρακτηρίζεται από δυο αριθμούς πχ IP 65. Ο πρώτος αριθμός από το 0 μέχρι 6, να παρέχει την προστασία ενάντια στην διείσδυση στερεών σωματιδίων, ενώ ο δεύτερος αριθμός από το 0 μέχρι 8, να παρέχει την προστασία ενάντια στην διείσδυση υγρών. Ακόμη και για αντιστροφείς με υψηλό δείκτη στεγανότητας (πχ IP 65), το σημείο τοποθέτησης θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μην είναι εκτεθειμένοι στην ηλιακή ακτινοβολία ώστε να μην μειώνεται η απόδοση λόγω υψηλής θερμοκρασίας. Εάν δεν υπάρχει ο κατάλληλος χώρος μια καλή επιλογή για την τοποθέτηση στο πίσω μέρος των σταθερών βάσεων. Αντιστροφείς με μικρότερο δείκτη προστασίας IP (πχ IP44) μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικό χώρο με πρόβλεψη κάποιου καλύμματος ώστε να προστατεύεται από καιρικά φαινόμενα. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να τηρούνται οι ελάχιστες αποστάσεις έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ο ορθός αερισμός, Επιπλέον το σημείο τοποθέτησης θα πρέπει να επιτρέπει την εύκολη συντήρηση και αν χρειαστεί να αφαιρεθεί εύκολα ο αντιστροφέας. Αντίθετα αντιστροφείς με ακόμη μικρότερο δείκτη (π.χ IP 21-23) θα πρέπει οπωσδήποτε να τοποθετούνται σε εσωτερικό χώρο.

Επιπλέον οι αντιστροφείς διαθέτουν:

- Ηλεκτρονικές διατάξεις που τους επιτρέπουν να λειτουργούν ως υβριδικοί
- Data logger για την καταγραφή όλων των δεδομένων λειτουργίας τους και κάρτα επικοινωνίας για την αποστολή των δεδομένων αυτών σε τοπικό ή απομακρυσμένο δίκτυο επικοινωνίας (αναφορά σφαλμάτων, παρακολούθηση της παραγωγής του φ/β συστήματος).
- Θύρες Ethernet, wifi, RS485 και συμβατότητα με εφαρμογές smart home
- Διατάξεις ασφαλείας (DC διακόπτες και αντικεραυνικά)

2.7 Βαθμός απόδοσης

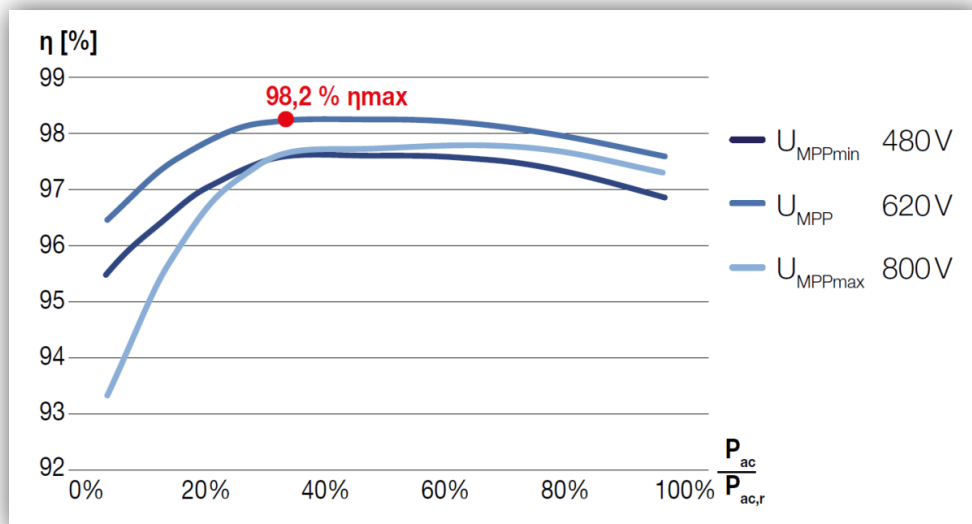
Ο βαθμός απόδοσης είναι το ποσοστό που αντιπροσωπεύει την απόδοση του αντιστροφέα και ορίζεται ως ο λόγος της ισχύς εξόδου προς την εισχύ εισόδου από τα φωτοβολταϊκά.

$$n = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} 100\%$$

Ο βαθμός απόδοσης αντανακλά το ποσό της ισχύος που χάνεται ως απώλειες στον αντιστροφέα. Οι κυριότερες απώλειες οφείλονται στους στους ημιαγωγικούς διακόπτες ισχύος λόγω της υψηλής διακοπτικής συχνότητας, στις ωμικές αντιστάσεις των ηλεκτρονικών διατάξεων, λόγω κακού αερισμού κτλ. Στα τεχνικά φυλλάδια αναφέρεται και ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης (European efficiency) είναι μια μέση λειτουργική απόδοση σε ετήσια κατανομή ισχύος που αντιστοιχεί στο μέσο κλίμα της Ευρώπης.

Για τον υπολογισμό του Ευρωπαϊκού διαβαθμισμένου βαθμού απόδοσης λαμβάνονται οι βαθμοί απόδοσης του μετατροπέα στο 5%, 10%, 20%, 30%, 50% και 100% της ονομαστικής ισχύος εξόδου με συντελεστές βαρών 3%, 6%, 13%, 10%, 48% και 20%, αντίστοιχα.

$$n_E = 0,03n_{5\%} + 0,06n_{10\%} + 0,13n_{20\%} + 0,1n_{30\%} + 0,4n_{50\%} + 0,2n_{100\%}$$



Σχήμα 2.9: Χαρακτηριστική καμπύλη απόδοσης αντιστροφέα

Η απόδοση του αντιστροφέα δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από την τάση λειτουργίας, τις καιρικές συνθήκες και ποσοστό της ονομαστικής ισχύος στο οποίο λειτουργεί ο αντιστροφέας. Ακόμη και για χαμηλή φόρτιση της τάξης του 20% η απόδοση ξεπερνά το 95%.

2.8 Αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος

Οι αντιστροφέες και γεικά όλοι οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος είναι μη γραμμικά ηλεκτρικά φορτία και τα ρεύματα λειτουργίας τους περιέχουν αρμονικές συνιστώσες. Η εμφάνιση αρμονικών συνιστωσών ρεύματος κατά τη λειτουργία των ηλεκτρικών φορτίων μπορεί να προκαλέσει σοβαρές δυσλειτουργίες, τόσο στα ηλεκτρικά φορτία, όσο και στα ηλεκτρικά δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας όπως αυξημένη θερμική καταπόνηση, δυσλειτουργία φορτίου κ.α. Ένα μέτρο της καθαρότητας μιας ημιτονοειδούς κύματομορφής είναι η ολική αρμονική παραμόρφωση THD (Total Harmonic Distortion) και ορίζεται ως ο λόγος του αθροίσματος όλων των αρμονικών συνιστωσών ($n \times 50 \text{ Hz}$) προς την ισχύ της θεμελιώδους συχνότητας (50 Hz).

$$THD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} 100\%$$

Όπου I_n , είναι η rms τιμή της n ($n=2,3,4,5,\dots$) αρμονικής τάξης του ρεύματος και I_1 είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος της θεμελιώδους συχνότητας. Η τιμή του συντελεστή THD είναι μηδενική για μια καθαρή ημιτονοειδή κυματομορφή, ενώ όσο μεγαλύτερα είναι τα πλάτη των αρμονικών τόσο μεγαλύτερη είναι και τιμή του. Ο THD επηρεάζεται από ποσοστό φόρτισης του συστήματος. Όσο το φορτίο ελαττώνεται σε σχέση με το ονομαστικό ο δείκτης THD αυξάνεται σημαντικά. Για τον περιορισμό των αρμονικών οι αντιστροφέες διαθέτουν ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις που φιλτράρουν και εξομαλύνουν το ρεύμα κάνοντάς το να πλησιάζει μια καθαρή ημιτονοειδή κυματομορφή. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61000-3-2, για τη σύνδεση ϕ/β συστημάτων στο δίκτυο

διανομής η ΔΕΗ επιβάλλει ως προϋπόθεση ο συντελεστής THD του ρεύματος εξόδου του αντιστροφέα να είναι μικρότερος του 5%.

2.9 Αντιστροφείς με ή χωρίς Μ/Σ και έγχυση DC ρεύματος

Οι πιο διαδεδομένοι αντιστροφείς στην αγορά είναι αυτοί χωρίς μετασχηματιστή (Transformless Inverters). Η μετατροπή γίνεται με ηλεκτρονικές διατάξεις μέσω μιας προγραμματισμένης διαδικασίας πολλαπλών βημάτων. Αρχικά μετατρέπουν το συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας, στη συνέχεια το μετατρέπουν ξανά σε συνεχές και τέλικά στο συμβατικό εναλλασσόμενο 230 V / 50 Hz. Αυτός ο τρόπος προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα όπως φθηνότερο κόστος κατασκευής, μεγαλύτερη απόδοση και μικρότερος όγκος και βάρος κατασκευής. Οι αντιστροφείς που διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης έχουν μικρότερη απόδοση αλλά έχουν μηδενική έγχυση DC ρεύματος στο ηλεκτρικό δίκτυο. Έγχυση DC ρεύματος έχουμε όταν στην έξοδο του αντιστροφέα η κυματομορφή δεν είναι καθαρά εναλλασσόμενη, αλλά υπάρχει και συνεχής συνιστώσα. Η υπερβολική έγχυση συνεχούς ρεύματος στο δίκτυο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα όπως ο κορεσμός του μετασχηματιστή δικτύου, με συνέπεια να έχουμε υψηλό ρεύμα στο πωτεύον και να ενεργοποιηθούν τα μέσα προστασίας. Αυτό μπορεί να μειώσει την απόδοση και τη διάρκεια ζωής του μετασχηματιστή καθώς και καταπόνηση των καλωδιώσεων λόγω επιπρόσθετων απωλειών. Στην περίπτωση που ο αντιστροφέας έχει μετασχηματιστή απομόνωσης δεν έχουμε έγχυση συνεχούς ρεύματος καθώς η DC και η AC πλευρά είναι γαλβανικά απομονωμένες μεταξύ τους. Αντιθέτως στην περίπτωση που ο αντιστροφέας που δεν διαθέτουν μετασχηματιστή, εφαρμόζονται εξελιγμένες τεχνικές για τον έλεγχο και την μέτρηση του συνεχούς ρεύματος και σε περίπτωση που ξεπεράσει την οριακή τιμή να διακόπτεται η λειτουργία του. Για τη σύνδεση φ/β συστημάτων στο δίκτυο διανομής η ΔΕΗ, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η έγχυση DC ρεύματος στην έξοδο να είναι μικρότερη του 0,5% του ονομαστικού ρεύματος του αντιστροφέα. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάμεσα σε αντιστροφείς με ή χωρίς μετασχηματιστή.

Πίνακας 2.1: Σύγκριση αντιστροφέων με και χωρίς Μ/Σ απομόνωσης

	Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (with transformer)	Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (without transformer)
Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> - Οι τάσεις εισόδου και εξόδου είναι γαλβανικά απομονωμένες - Ευρεία χρήση - χρήση σε όλα τα επίπεδα ισχύος 	<ul style="list-style-type: none"> - Η τάση των Φ/Β πάνελ πρέπει είτε να είναι σημαντικά υψηλότερη από το πλάτος 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

2.10 Φαινόμενο νησιδοποίησης

Η νησιδοποίηση είναι μια κρίσιμη και μη ασφαλής κατάσταση κατά την οποία το φ/β σύστημα συνεχίζει να παράγει ηλεκτρική ενέργεια ενώ το δίκτυο μεταφοράς και διανομής είναι εκτός λειτουργίας. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται όταν το δίκτυο τεθεί εκτός λειτουργίας είτε λόγω κάποιου σφάλματος (πχ σε περίπτωση βραχυκυκλώματος θα ενεργοποιηθούν τα μέσα προστασίας για το αντίστοιχο τμήμα του δικτύου), είτε λόγω προγραμματισμένων διακοπών για λόγους συντήρησης. Η ενδεχόμενη τροφοδότηση ενός τμήματος του δικτύου που είναι εκτός από τα φωτοβολταϊκά, δημιουργεί σοβαρές ανησυχίες για την ασφάλεια του προσωπικού που εκτελούν εργασίες στο δίκτυο καθώς θα μπορούσαν να τραυματιστούν. Εάν το δίκτυο διακοπεί για οποιονδήποτε λόγο, οι αντιστροφείς έχουν σχεδιαστεί να απενεργοποιούνται αυτόματα, ώστε να σταματήσει η τροφοδοσία ρεύματος πίσω στο δίκτυο. Η μέθοδος προστασίας έναντι του φαινομένου την νησιδοποίησης επιτυγχάνεται με μέτρηση της φαινόμενης αντίστασης του δικτύου. Η φαινόμενη αντίσταση είναι το άθροισμα των καλωδιώσεων της εγκατάστασης και του δικτύου. Ο μηχανισμός αυτόματης απόζευξης αποτελείται από δύο ανεξάρτητα τμήματα τα οποία λειτουργούν σε σειρά και ελέγχουν την κατάσταση των αγωγών τροφοδοσίας και τον ουδέτερο. Η λειτουργία του μηχανισμού βασίζεται στην έγχυση μικρής ποσότητας ρεύματος ώστε να γίνει η μέτρηση της φαινόμενης αντίστασης του δικτύου. Το κύκλωμα είναι σχεδιασμένο ώστε να αντιλαμβάνεται μεταβολές της αντίστασης σε μικρό χρονικό διάστημα. Όταν η μεταβολή της αντίστασης είναι μεγαλύτερη από $\Delta Z = 0,5 \Omega$ ενεργοποιείται η αυτόματη απόζευξη. Ο διακόπτης που χρησιμοποιείται στον μηχανισμό έχει ηλεκτρομηχανικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ εξόδου του αντιστροφέα.

Η ανίχνευση του φαινομένου νησιδοποίησης, αποτελεί μια από τις βασικότερες προϋποθέσεις που πρέπει να ικανοποιούνται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση του φ/β συστήματος με το δίκτυο και ελέγχεται αυτηρά κατά την παραλαβή του. Η προστασία έναντι του φαινομένου νησιδοποίησης ακολουθείται από το πρότυπο VDE 0126-1-1 και χρόνος επανασύνδεσης του αντιστροφέα μετά την επαναφορά του δικτύου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 180 sec.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μελέτη εγκατάστασης net metering 63,1 kW σε δώμα επιχείρησης

3.1 Ενεργειακός συμψηφισμός (net metering)

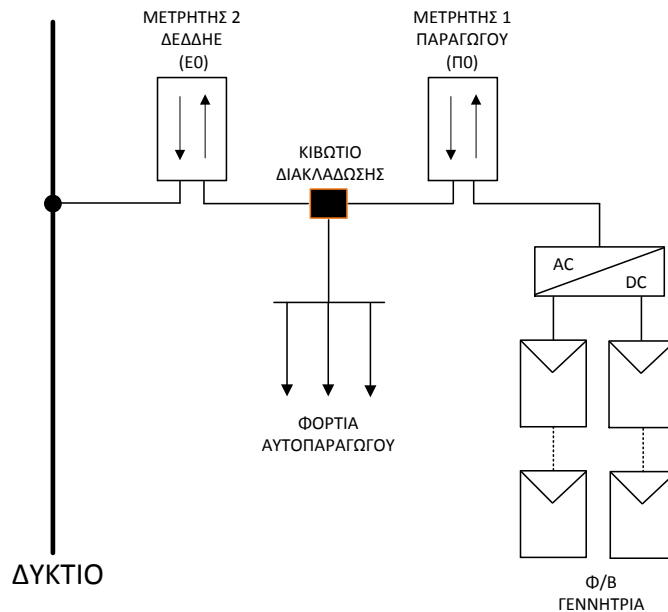
Με το net metering, ο κάθε ιδιοκτήτης ενός κτιρίου ή μίας επιχείρησης παράγει το δικό του ρεύμα με τη χρήση φωτοβολταϊκών συλλεκτών. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα Net Metering βασίζεται στην πολύ απλή φιλοσοφία του ενεργειακού συμψηφισμού. Αυτό σημαίνει ότι εγκαθιστούμε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα net metering στο κτίριο του καταναλωτή και μετράμε πόση ενέργεια παρήγαγε μέσα στο έτος και πόση κατανάλωσε. Στο τέλος του έτους, ο επενδυτής θα πληρώσει μόνο για τη διαφορά μεταξύ της παραγωγής και της κατανάλωσής του, επιτυγχάνοντας έτσι σημαντική εξοικονόμηση στους λογαριασμούς του ηλεκτρικού ρεύματος. Πλέον εφαρμόζεται και η απομακρυσμένη αυτοπαραγωγή (virtual net metering) από νομικά πρόσωπα δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου που επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλους δημοσίου ενδιαφέροντος σκοπούς, ή αγρότες που είναι εγκεγραμμένοι στο Μητρώο Αγροτών και Αγροτικών Εκμεταλλεύσεων. Με virtual net metering ο αυτοπαραγωγός μπορεί να εγκαταστήσει το φωτοβολταϊκό του σε απομακρυσμένο σημείο από εκείνο της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Πλεονεκτήματα του Net-Metering

- Το βασικότερο πλεονέκτημα είναι η τεράστια μείωση ή και ο μηδενισμός της κατανάλωσης ρεύματος για 25 χρόνια.
- Καθώς ο συμψηφισμός είναι ενεργειακός και όχι λογιστικός ο καταναλωτής δεν χρειάζεται να ανησυχεί για τυχόν μελλοντικές αυξήσεις στην τιμή της κιλοβατώρας.
- Ενεργειακή αναβάθμιση του ακινήτου η οποία συνεπάγεται αύξηση της πραγματικής αξίας του ακινήτου.
- Δυνατότητα αύξησης της ηλεκτρικής κατανάλωσης χωρίς επιβάρυνση καλύπτοντας ψύξη, θέρμανση και ζεστό νερό.
- Δυνατότητα αποθήκευσης ποσοστού ενέργειας σε μπαταρίες για αδιάκοπη ηλεκτροδότηση σε περίπτωση black out.
- Λιγότερο μελλοντικό ρίσκο φορολόγησης, κάτι το οποίο είναι εξίσου σημαντικό αφού η παραγόμενη ενέργεια δεν πωλείται με το σύστημα των εγγυημένων τιμών απλά συμψηφίζεται.
- Μικρός χρόνος απόσβεσης, ελάχιστος χρόνος εγκατάστασης.
- Ο Αυτοπαραγωγός είναι συνάμα και ιδιοκαταναλωτής χωρίς να επιβαρύνει το δίκτυο μεταφοράς.
- Άμεση ανάπτυξη και επαναδημιουργία χαμένων θέσεων εργασίας στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.
- Συνδυασμός με προηγμένα συστήματα θέρμανσης-ψύξης, όπως είναι οι αντλίες θερμότητας για ακόμη περισσότερη οικονομία και πλήρη απεξάρτηση από το πετρέλαιο και τις διακυμάνσεις των τιμών.
- Η μικρή περίσσεια ρεύματος που διοχετεύεται στο δίκτυο βοηθά στην εξισσορόπηση του συστήματος σε ώρες αιχμής.

3.1.1 Τρόπος λειτουργίας

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα (Παραγόμενη Ενέργεια), τροφοδοτεί αρχικά τις καταναλώσεις της εγκατάστασης, που είναι σε λειτουργία τη δεδομένη στιγμή και το μέρος της ενέργειας που, ενδεχομένως, περισσεύει διοχετεύεται στο δίκτυο (Εγχεόμενη Ενέργεια) ενώ αν απαιτείται επιπλέον ενέργεια, αυτή απορροφάται από το δίκτυο (Απορροφώμενη Ενέργεια).



Σχήμα 3.1: Φ/β σύστημα net metering

Αυτές οι τρεις ποσότητες ενέργειας καταγράφονται από δύο μετρητές. Ο ένας μετρητής είναι διπλής καταμέτρησης και τοποθετείται, με ευθύνη του ΔΕΔΔΗΕ, στη θέση του υφιστάμενου μετρητή, με σκοπό την καταμέτρηση της εγχεόμενης και της απορροφώμενης ποσότητας ηλεκτρικού ρεύματος. Ο δεύτερος μετρητής ο οποίος εγκαθίσταται με ευθύνη και δαπάνη του ιδιοκτήτη καταγράφει την παραγόμενη ενέργεια με σκοπό τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης της εγκατάστασης. Η ενέργεια που προμηθεύεται ο καταναλωτής από τον πάροχο (Χρεωστέα Ενέργεια) προκύπτει από τη διαφορά Απορροφώμενη - Εγχεόμενη. Στην περίπτωση που η Απορροφώμενη Ενέργεια είναι μικρότερη ή ίση από την Εγχεόμενη τότε η χρέωση για την ενέργεια είναι μηδενική.

Σε ένα φωτοβολταϊκό net metering επιτρέπεται και η χρήση μπαταριών. Με την αύξηση των συστημάτων net metering δημιουργήθηκε ένα κρίσιμο πρόβλημα στον διαχειριστή δικτύου. Η παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά ενέργεια το μεσημέρι άρχισε να καλύπτει την ζήτηση με αποτέλεσμα να υπάρχει περίσσεια ενέργειας κατά τις ώρες έντονης ηλιοφάνειας και έλλειψη κυρίως τις απογευματινές και νυχτερινές ώρες. Το παραπάνω φαινόμενο αναγκάζει τον διαχειριστή δικτύου να λειτουργεί μονάδες λινγίτη με τεράστιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις ή και φυσικού αερίου. Αν όμως την πλεονάζουσα αυτή ενέργεια την αποθηκεύσουμε σε μπαταρίες μπορούμε να μειώσουμε την ζήτηση κατά τις ώρες έλλειψης ηλιοφάνειας. Την λύση στο πρόβλημα αυτό έρχονται να δώσουν οι συσσωρευτές (μπαταρίες). Οι μπαταρίες δίνουν τη δυνατότητα βέλτιστης χρήσης της ενέργειας των φωτοβολταϊκών, καθώς η ενέργεια που περισσεύει μέσα στην ημέρα δεν διοχετεύεται στο δίκτυο ως πλεονάζουσα ενέργεια αλλά φορτίζει τις μπαταρίες ώστε τη νύχτα που θα ζητηθεί πίσω να μην ληφθεί ενέργεια από το δίκτυο. Η ισχύς του αντιστροφέα των μπαταριών πρέπει να είναι τέτοια ώστε μαζί με την μέγιστη ισχύ του φωτοβολταϊκού να μην υπερβαίνει την ισχύ της παροχής. Το μέγιστο όριο ισχύος του αντιστροφέα μπαταριών είναι τα 30 kVA, ενώ δεν υπάρχει περιορισμός στη χωρητικότητα των μπαταριών (ο περιορισμός φυσικά είναι οικονομικός

καθώς το κόστος των μπαταριών θα πρέπει να αποσβεστεί από το κέρδος μείωση του τέλους δικτύου λόγω ταυτοχρονισμού).

Η διαδικασία για τη σύνδεση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος net metering έχει τα εξής βήματα, τα οποία πραγματοποιούνται ηλεκτρονικά μέσω της πλατφόρμας που έχει ο ΔΕΔΔΗΕ.

Βήμα 1: Για την κατάθεση της αίτησης απαιτούνται συνοπτικά τίτλοι ιδιοκτησίας (ή μισθωτήριο) του ακινήτου και έγγραφο βεβαίωση από τους υπόλοιπους συνιδιοκτήτες (αν υπάρχουν) ότι επιτρέπουν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού από τον ενδιαφερόμενο (πχ σε περίπτωση πολυκατοικίας). Τα υπόλοιπα έγγραφα αφορούν τεχνικές εκθέσεις, σχέδια και τις σχετικές υπεύθυνες δηλώσεις του επιβλέποντος μηχανικού. Συνοπτικά τα απαραίτητα δικαιολογητικά παρατίθενται παρακάτω:

- Τίτλοι ιδιοκτησίας (συμβόλαιο με μεταγραφή στο υποθηκοφυλακείο ή μισθωτήριο
- Οικοδομική άδεια ή άλλα σχετικά έγγραφα που αποδεικνύουν τη νομιμότητα του κτιρίου
- Υπεύθυνες δηλώσεις του ενδιαφερόμενου
- Έγγραφο άδεια των συνιδιοκτητών του χώρου ή απόφαση γενικής συνέλευσης της πολυκατοικίας ή σχετικές υπεύθυνες δηλώσεις (σε περίπτωση συνιδιοκτησίας)
- Κάτοψη οροφής - δώματος - κεκλιμένης στέγης ή εδάφους με φωτοβολταϊκά
- Μονογραμμικό σχέδιο φωτοβολταϊκού συστήματος
- Τεχνικά φυλλάδια εξοπλισμού (φωτοβολταϊκών πλαισίων – αντιστροφών)
- Υπεύθυνες δηλώσεις μηχανικού

Βήμα 2: Εφόσον ο φάκελος της αίτησης είναι πλήρης και τα στοιχεία του είναι ορθά ο διαχειριστής εντός 15 ημερών ενημερώνει τον ενδιαφερόμενο σχετικά με την αποδοχή ή απόρριψη της αιτούμενης σύνδεσης. Σε περίπτωση αποδοχής ο ΔΕΔΔΗΕ αποστέλει στον ενδιαφερόμενο τη σύμβαση σύνδεσης στην οποία αναγράφεται το κόστος σύνδεσης, τα απαιτούμενα έργα σύνδεσης και ο χρόνος υλοποίησής τους.

Βήμα 3: Εφόσον υπογράφεται η σύμβαση και γίνει η καταβολή της σχετικής δαπάνης ο διαχειριστής προβαίνει στην κατασκευή των έργων σύνδεσης.

Βήμα 4: Υποβολή της αίτησης της σύμβασης συμψηφισμού προς τον προμηθευτή που εκπροσωπεί την παροχή με την οποία θα γίνει ο συμψηφισμός.

Βήμα 5: Υπογραφή της σύμβασης συμψηφισμού με τον προμηθευτή. Η σύμβαση υπογράφεται εντός 15 ημερών από την παραλαβή του αιτήματος.

Βήμα 6: Υποβολή της αίτησης ενεργοποίησης της σύνδεσης. Με την ολοκλήρωση της κατασκευής του σταθμού παραγωγής ο ενδιαφερόμενος δηλώνει ετοιμότητα και αιτείται στον διαχειριστή την ενεργοποίηση της σύνδεσης του σταθμού.

Βήμα 7: Ενεργοποίηση της σύνδεσης εντός 15 ημερών από την ημερομηνία υποβολής του αιτήματος.

3.1.2 Νομοθετικό πλαίσιο

Η ανάπτυξη φωτοβολταϊκών σταθμών από αυτοπαραγωγούς θεσπίστηκε με την ΥΑ ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.24461 (ΦΕΚ 3583B/31.12.2014) η οποία αντικαταστάθηκε αρχικά από την υπουργική απόφαση ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.175067 (ΦΕΚ 1547B/5.5.2017) και στη συνέχεια από την υπουργική απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/15084/382, (ΦΕΚ 759B/5.3.2019) και αφορά στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών για την κάλυψη ιδίων αναγκών από καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού.

- Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να εγκατασταθούν επί κτιρίων ή επί εδάφους, ή άλλων κατασκευών, όπως αγροτικές αποθήκες, κτηνοτροφικές μονάδες, κλπ. Τα συστήματα εγκαθίστανται στον ίδιο χώρο με τις εγκαταστάσεις κατανάλωσης που τροφοδοτούν ή σε όμορο χώρο.

- Η εγκατεστημένη ισχύς στην Ηπειρωτική χώρα τα Διασυνδεδεμένα Νησιά και την Κρήτη μπορεί να είναι έως 20 kW ή περισσότερα από 20 kW και έως το 50% της συμφωνημένης ισχύος της εγκατάστασης κατανάλωσης (kVA). Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά το όριο είναι 10 kW. Στην Ηπειρωτική Χώρα και στα Διασυνδεδεμένα Νησιά το όριο είναι 500 kW, στην Κρήτη 50 kW και στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά 20 kW, ανεξάρτητα αν η παροχή κατανάλωσης συνδέεται στη χαμηλή ή τη μέση τάση.

- Για την εγκατάσταση Φ/Β συστήματος Net Metering είναι απαραίτητα τα ακόλουθα:

- Η ύπαρξη ενεργής μόνιμης παροχής στο όνομα/επωνυμία του αυτοπαραγωγού, μέσω της οποίας θα τροφοδοτείται η εγκατάσταση κατανάλωσής του (οι εργοταξιακές παροχές δεν θεωρούνται μόνιμες).
- Ο ενδιαφερόμενος αυτοπαραγωγός να έχει εξοφλήσει τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας ή να έχει ρυθμίσει τις οφειλές του.
- Ο ενδιαφερόμενος αυτοπαραγωγός να έχει τη νόμιμη χρήση του χώρου εγκατάστασης του συστήματος. Ο σχετικός έλεγχος διενεργείται από το Δίκτυο, κατά τη σύναψη της Σύμβασης Σύνδεσης.
- Το Φ/Β σύστημα αντιστοιχίζεται αποκλειστικά με ένα μετρητή κατανάλωσης, δηλαδή με το μετρητή που ηλεκτροδοτείται το ακίνητο.
- Το Φ/Β σύστημα εγκαθίσταται στον ίδιο ή όμορο χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης προς την οποία αντιστοιχίζεται. Ο σχετικός έλεγχος διενεργείται από το Δίκτυο, κατά τη σύναψη της Σύμβασης Σύνδεσης.

- Η Σύμβαση Συμψηφισμού που υπογράφεται μεταξύ του προμηθευτή και του αυτοπαραγωγού έχει διάρκεια ισχύος 25 έτη, με έναρξη ισχύος την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του Φ/Β συστήματος.

- Κάθε φωτοβολταϊκό net metering πρέπει να αντιστοιχίζεται σε ένα και μόνο μετρητή

- Δικαίωμα εγκατάστασης έχουν τα φυσικά και νομικά πρόσωπα τα οποία έχουν την κυριότητα ή τη νόμιμη χρήση του χώρου εγκατάστασης (π.χ. με μίσθωση ή δωρεάν παραχώρηση). Οι μισθωτές απαιτείται να έχουν διασφαλίσει την έγγραφη συναίνεση του ιδιοκτήτη του χώρου.
- Σε κοινόχρηστο ή κοινόκτητο χώρο κτιρίου, επιτρέπεται η εγκατάσταση ενός ή περισσότερων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Δικαίωμα εγκατάστασης έχουν οι κύριοι οριζόντιων ιδιοκτησιών ή οι έχοντες τη νόμιμη χρήση αυτών μετά από παραχώρηση της χρήσης του κοινόχρηστου ή

κοινόκτητου χώρου ή μέρους αυτού από τους λοιπούς συνιδιοκτήτες η οποία αποδεικνύεται με πρακτικό απόφασης της γενικής συνέλευσης ή με άλλη έγγραφη συμφωνία.

3.2 Μελέτη εγκατάστασης net metering 63,1 kW

Σκοπός είναι η μελέτη και κατασκευή φωτοβολταϊκού συστήματος net metering, σε δώμα εργοστασίου το οποίο έχει τριφασική παροχή Νο5 85 kVA στην περιοχή του Δήμου Μεσολογγίου.

3.2.1 Περιγραφή - Προϋποθέσεις

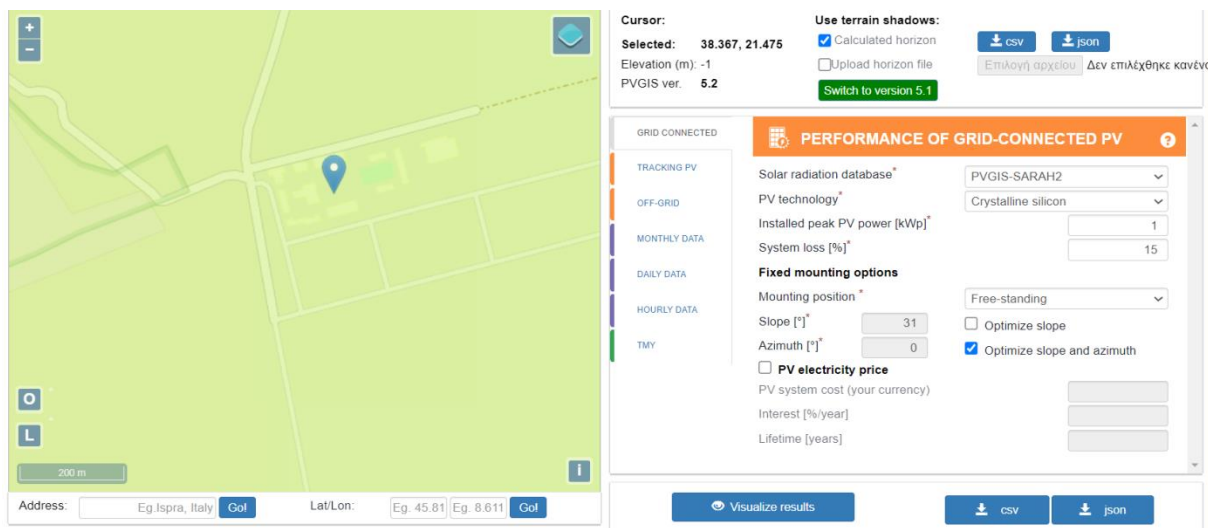
Η εγκατάσταση περιλαμβάνει τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τον μετατροπέα ισχύος από συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα, καλωδιώσεις και τις ηλεκτρικές συνδέσεις των συστημάτων, τις μετρητικές διατάξεις μέχρι και την τελική διασύνδεση της εγκατάστασης με τα μέσα προστασίας και τους πίνακες με το δίκτυο.

Ως προϋπόθεση για τη σύδεση, θα πρέπει να υλοποιηθούν από την πλευρά του καταναλωτή στην εσωτερική του ηλεκτρική εγκατάσταση τα ακόλουθα:

- Εγκατάσταση ενός ηλεκτρονικού μετρητή διπλής κατεύθυνσης – καταγραφής για την μέτρηση της παραγόμενης από το φωτοβολταϊκό σταθμό ενέργειας, τον οποίο θα πρέπει να προμηθευτεί επιλέγοντας μεταξύ των εγκεκριμένων από τον ΔΕΔΔΗΕ τύπων, στη θέση και τον χώρο που έχει αμοιβαία συμφωνηθεί κατά την προ μελέτη, καθώς και ο αναγκαίος εξοπλισμός για την τηλεμέτρηση.
- Εγκατάσταση ενός κιβωτίου διακλάδωσης σε σημείο επί της γραμμής πίνακα – μετρητή του ΔΕΔΔΗΕ και κατά το δυνατόν πλησιέστερα στον μετρητή αυτό, για την αποασύνδεση του φωτοβολταϊκού σταθμού με την εγκατάσταση της κατανάλωσης.
- Εγκατάσταση αποζευκτικού μέσου για την απομόνωση του φωτοβολταϊκού σταθμού, στο σημείο άφξης της διασυνδετικής γραμμής του φωτοβολταϊκού σταθμού στο κιβώτιο διακλάδωσης.

3.2.2 Τοποθεσία εγκατάστασης

Η μελέτη θα γίνει με βάση την θέση, τον προσανατολισμό και την ελεύθερη επιφάνεια προκειμένου να εξασφαλιστούν οι βέλτιστες συνθήκες εγκατάστασης και λειτουργίας. Το εργοστάσιο βρίσκεται στην περιοχή του Μεσολογγίου στο νομό Αιτωλοακαρνανίας και όπου παρατηρείται μεγάλη ηλιοφάνεια σύμφωνα με τα γεωγραφικά, μετεωρολογικά και ηλιακής ακτινοβολίας δεδομένα της πανευρωπαϊκής Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Η εγκατάσταση θα πραγματοποιηθεί στο δώμα του εργοστασίου όπου η συνολική έκταση είναι περίπου 1390 m², ενώ ο ωφέλιμος για την τοποθέτηση των πάνελ υπολογίζεται στα 990m².



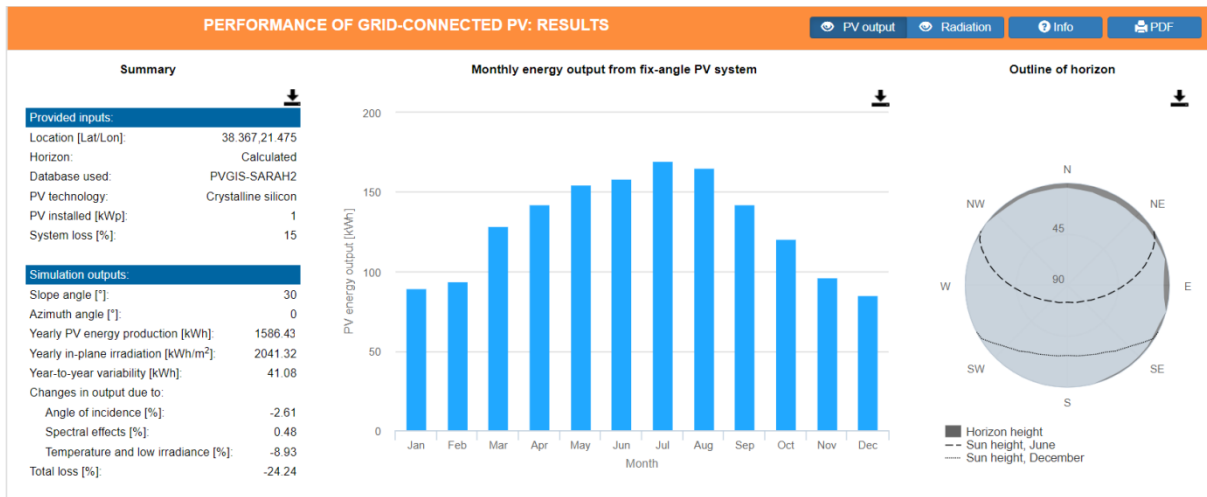
Σχήμα 3.2: Εισαγωγή δεδομένων στο PVGIS

Πίνακας 3.1: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο και στην κλίση των φ/β πλαίσιων

Global horizontal irradiation		Global irradiation at angle	
Month	2020	Month	2020
January	70.85	January	104.1
February	81.76	February	131.58
March	137.57	March	161.2
April	153.2	April	171.55
May	220.84	May	205.2
June	237.1	June	222.85
July	240.16	July	230.53
August	213.23	August	214.31
September	152.44	September	171.58
October	120.48	October	153.79
November	75.73	November	126.93
December	58.25	December	82.91

3.2.3 Εκτίμηση απαιτούμενης ισχύος του φ/β συστήματος

Για να προσδιορίσουμε την ισχύ του φ/β συστήματος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η ετήσια κατανάλωση της εγκατάστασης στην οποία αυτό θα συνδεθεί. Δεδομένου ότι ο ενεργειακός συμψηφισμός διενεργείται σε ετήσια βάση και τυχόν πλεόνασμα ενέργειας μετά τον ετήσιο συμψηφισμό δεν αποζημιώνεται, η ετήσια παραγόμενη από το φ/β σύστημα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την συνολική ετήσια κατανάλωση. Από τους λογαριασμούς του παρόχου προκύπτει ότι η ετήσια ενέργεια E(kWh/year) που χρειάζεται το εργοστάσιο είναι περίπου 95000 με 100000 kWh.



Σχήμα 3.3: Αποτελέσματα ανάλυσης από το λογισμικό PVGIS για κάθε εγκατεστημένο kW

Χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων PVGIS (PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM) εκτιμήθηκε ότι η ετήσια παραγωγή ενός φ/β σταθμού σταθερής κλίσης 31° με νότιο προσανατολισμό στην συγκεκριμένη περιοχή είναι 1586 kWh/kWp.

Προκειμένου λοιπόν να η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 100000 kWh να ισοσταθμηθεί με την ετήσια παραγωγή των φωτοβολταϊκών, θα πρέπει να σχεδιάσουμε ένα φ/β σύστημα εγκατεστημένης ισχύος 63 kWp.

Ένας άλλος τρόπος για να υπολογίσουμε την ισχύ του φ/β συστήματος είναι από τη σχέση $E = P_{AC(STC)} * h_{peak-sun} * 12$. Όπου: $h_{peak-sun}$ οι ώρες ηλίου αιχμής ανά μήνα, $P_{AC(STC)}$ η πραγματική ισχύς στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος, και 12 οι μήνες του έτους. Η ηλιακή ένταση ενός ηλίου ορίζεται ως $I_{1-SUN} = 1 \text{ kW/m}^2$. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι μια ηλιακή ένταση 230 kWh/m²-μήνα (Ιούλιος) είναι ίδια με 230 h/μήνα ηλιακή ένταση ενός ηλίου.

Για να υπολογίσουμε το $h_{peak-sun}$ θα πρέπει να υπολογίσουμε τη μέση μηνιαία ηλιακή ένταση στο συλλέκτη. Η μέση μηνιαία ηλιακή ένταση στο συλλέκτη υπολογίστηκε μέσω του προγράμματος PVGIS, στο οποίο εισάγουμε την μέση ηλιακή ένταση που έχουμε ανά μήνα στην περιοχή του Μεσολογγίου, το γεωγραφικό πλάτος και τη γωνία κλίσης στο συλλέκτη.

Από πίνακα 1 υπολογίσαμε την μέση ετήσια ηλιακή ένταση που θα έχουμε πάνω στον ηλιακό συλλέκτη η οποία είναι $I = 164 \text{ kW/m}^2$. Επομένως αυτό σημαίνει ότι αντιστοιχεί σε $h_{peak-sun} = 164 \text{ h/μήνα}$.

$$E = P_{AC(STC)} * h_{peak-sun} * 12 \Rightarrow 105000 = P_{AC(STC)} * 164 * 12 \Rightarrow P_{AC(STC)} = 53,3 \text{ kW}$$

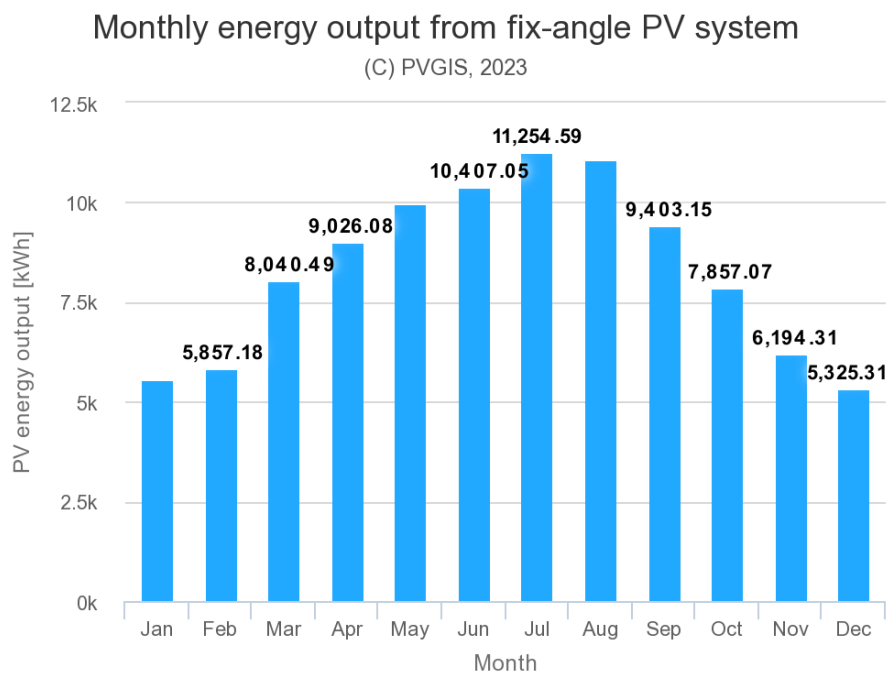
Στη συνέχεια θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τον συντελεστή μετατροπής CE. Ο συντελεστής μετατροπής οφείλεται στις απώλειες που θα έχουμε κατά τη μετατροπή του συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα (απόδοση αντιστροφέα, απώλειες στις καλωδιώσεις, απώλειες λόγω κακού ταιριάσματος των φ/β πλαισίων, απώλειες λόγω ρύπανσης και σκίασης...). Μια τυπική τιμή του συντελεστή για τέτοιες εφαρμογές είναι 0,85, δηλαδή συνολικές απώλειες του συστήματος 15%.

Άρα η ισχύς του φ/β συστήματος θα πρέπει να είναι:

$$P_{AC(STC)} = P_{DC(STC)} * CE \Rightarrow P_{DC(STC)} = 62,7 \text{ kW}$$

Επομένως η ισχύς του φ/β συστήματος θα είναι $P_{DC(STC)} = 63 \text{ kWp}$.

Μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το Φ/Β σύστημα [kWh].

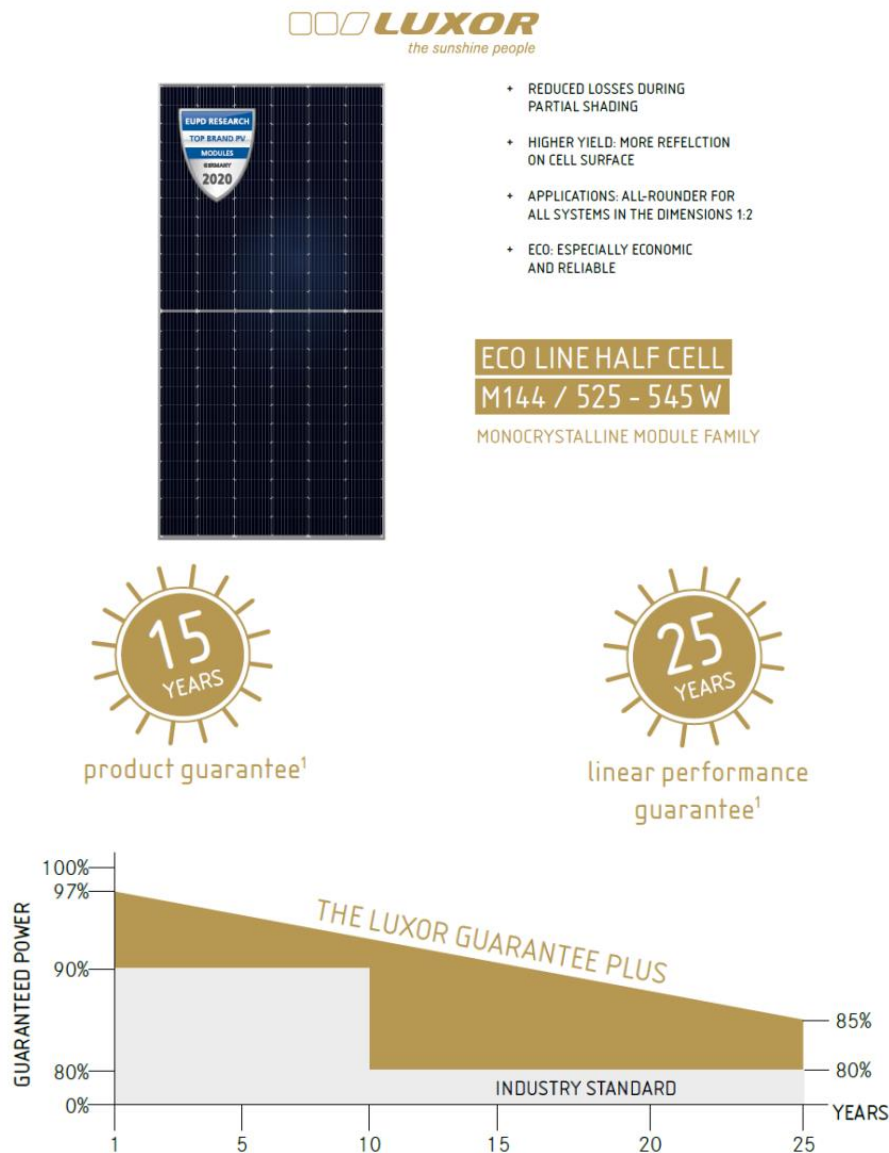


Σχήμα 3.4: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας

3.2.4 Περιγραφή Εξοπλισμού

Φ/β Πλαίσια

Για την κατασκευή της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, θα τοποθετηθούν σε σύστημα σταθερών βάσεων φωτοβολταϊκά πάνελ του κατασκευαστικού οίκου LUXOR, μονοκρυσταλλικού τύπου ECO LINE HALF CELL M144/535 και ονομαστικής ισχύος 535 Wp έκαστο. Οι διαστάσεις είναι 2279 x 1134 x 0,35 mm, ενώ το βάρος είναι 28,6 kg και ο βαθμός απόδοσης 21%.



Σχήμα 3.5: Φ/β πλαίσια LUXOR ECOLINE HALF CELL

Είναι γερμανικής προέλευσης και συνοδεύονται από:

- 15 έτη εγγύηση κατασκευής
- 25 έτη εγγύηση για τη γραμμική μείωση της απόδοσης στο 85%

ECO LINE HALF CELL M144 / 525 - 545 W

Monocrystalline module family

Module type LX - XXXM/182-144+ | XXX = Rated power P_{mp}

Electrical data at STC

Rated power P _{mp} [Wp]	525.00	530.00	535.00	540.00	545.00
P _{mp} range to	531.49	536.49	541.49	546.49	551.49
Rated current I _{mp} [A]	12.92	13.00	13.07	13.15	13.22
Rated voltage V _{mp} [V]	40.66	40.80	40.95	41.10	41.24
Short-circuit current I _{sc} [A]	13.64	13.73	13.80	13.89	13.96
Open-circuit voltage U _{oc} [V]	48.75	48.92	49.10	49.28	49.45
Efficiency at STC up to	20.57%	20.76%	20.95%	21.15%	21.34%
Efficiency at 200 W/m ²	20.07%	20.27%	20.45%	20.65%	20.83%

Electrical data at NOCT

Power at P _{mp} [Wp]	389.76	393.47	397.18	400.90	404.61
Rated current I _{mp} [A]	10.44	10.50	10.56	10.62	10.68
Rated voltage V _{mp} [V]	37.34	37.47	37.62	37.74	37.89
Short-circuit current I _{sc} [A]	11.01	11.08	11.14	11.21	11.28
Open-circuit voltage U _{oc} [V]	44.99	45.17	45.35	45.53	45.71

Specification as per STC (Standard test conditions): irradiance 1000W/m² | module temperature 25°C | Air Mass = 1.5
 NOCT (nominal operating cell temperature): irradiance 800W/m² | wind speed 1m/sec | ambient temperature 20°C | cell operating temperature 45 +/- 2°C | Air Mass = 1.5

Limiting values

Max. system voltage [V]	1500 V
Max. return current [I]	25 A
Operating Temperature	-40 to 85°C
Safety class	II
Max. tested pressure load [Pa] ²	5400
Max. tested tensile load [Pa] ²	2400

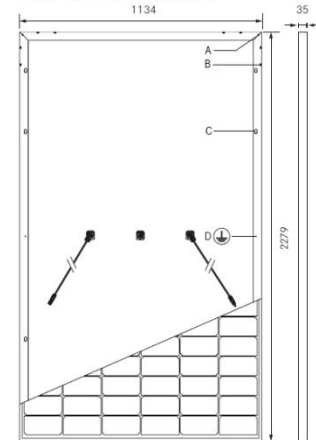
Temperature coefficient

Temperature coefficient [V] [I] [P]	-0.285% / °C 0.049% / °C -0.360% / °C
---	---

Specifications

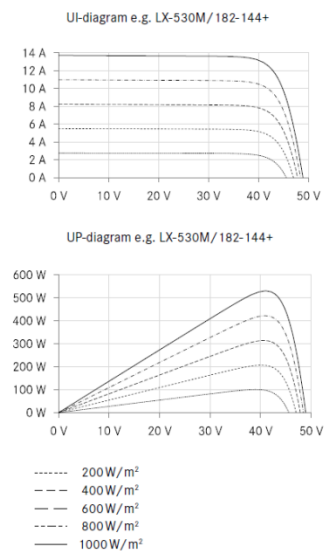
Number of cells (matrix)	144 (6 x 24) 182 mm x 91 mm
Module dimensions (L x W x H) ³ Weight	2279 mm x 1134 mm x 35 mm 28,6 kg
Front-side glass	3.2 mm tempered, highly transparent, anti-reflection solar glass
Frame	Stable, anodised aluminium frame
Junction Box	At least IP67
Cable	Symmetrical cable lengths > 1.3 m and 1.3 m, 4 mm ² solar cable
Diodes	3 Schottky Diodes
Connectors	MC4 or equivalent (IP67)
Hail test (max. hailstorm)	Ø 45 mm impact velocity 23 m/s ± 83 km/h

Back - /Front -/Side view³



Drilled holes⁴ A: 4 x drainage
 B: 8 x ventilation
 C: 12 x mounting
 D: 2 x earthing

Electrical characteristics



Σχήμα 3.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά των πάνελ

Απαιτούμενος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων:

$$N = \frac{P_{DC(STC)}}{P_{DC(STC),module}} = \frac{63000 W}{535 W} \Rightarrow N = 118$$

Επομένως η συνολική ισχύς της φ/β εγκατάστασης θα είναι:

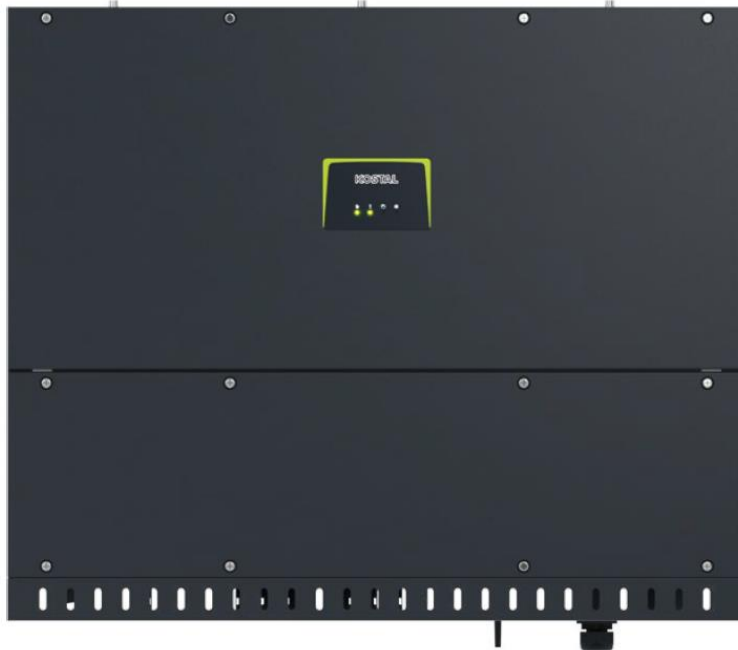
$$P_{MAX} = 118 \times 535 = 63130 kWp$$

Εμβαδό Φ/Β γεννήτριας:

$$S = 118 * 1,134 * 2,279 \Rightarrow S = 305 m^2$$

Αντιστροφέας (Inverter)

Σε κάθε περίπτωση χρειάζεται να ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα ώστε τα πλαίσια που έχουν επιλεγεί να μπορούν να συνεργαστούν με τον αντιστροφέα. Το φωτοβολταϊκό σύστημα θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση τριφασικού αντιστροφέα (inverter) του οίκου KOSTAL και συγκεκριμένα το μοντέλο PICO CI 60 με ονομαστική ισχύ εισόδου 60 kW. Το συγκεκριμένο φ/β σύστημα θα μπορούσε να υλοποιηθεί και με το μοντέλο PICO CI 50, αλλά για να υπάρχει δυνατότητα μελλοντικών επεκτάσεων θα καταλήγουμε στο μοντέλο CI 60.



Σχήμα 3.7: Αντιστροφέας KOSTAL PICO CI 60

Ο αντιστροφέας κανονίζει όλες τις απαιτήσεις ασφαλείας σύμφωνα με τον οδηγό σύνδεσης φωτοβολταϊκών σταθμών στο δίκτυο χαμηλής τάσης της ΔΕΗ οι οποίες είναι οι εξής:

Συνδέεται στο σημείο εισαγωγής ισχύος και αποσυνδέεται από αυτό με τη βοήθεια εσωτερικών ηλεκτρονόμων που ελέγχονται μέσω λογισμικού το οποίο πραγματοποιεί:

- Αυτόματη επανασύνδεση στο δίκτυο, εφόσον οι τιμές της τάσης και της συχνότητας εμπίπτουν εντός του εύρους τιμών $0,8V_{ON} - 1,15V_{ON}$. Η τάση του δικτύου με προεπιλεγμένη τιμή στα 230 V, μπορεί να έχει τιμές σε εύρος 184 έως 264 V. Αν η τιμή τάσης βρεθεί εκτός αυτού του εύρους τότε ο μετατροπέας αποσυνδέει την εγκατάσταση από το δίκτυο σε χρόνο $<0,5 \text{ sec}$.
- Η διακύμανση της συχνότητας του δικτύου μπορεί να είναι στο εύρος $50 \pm 0,5 \text{ Hz}$. Όταν η συχνότητα του δικτύου βρεθεί εκτός των ορίων αυτών τότε ο μετατροπέας αποσυνδέει την εγκατάσταση από το δίκτυο σε χρόνο $<0,5 \text{ sec}$.
- Ο χρόνος σύνδεσης και ο χρόνος επανασύνδεσης μετά την επαναφορά του δικτύου από σφάλμα είναι τουλάχιστον 180 sec.
- Η έγχυση συνεχούς ρεύματος στο δίκτυο είναι $< 0,5\%$ του ονομαστικού.
- Η συνολική αμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου (THD) είναι $<5\%$

- Εφαρμόζεται ενεργή μέθοδος προστασίας έναντι του φαινομένου νησιδοποίησης κατά το πρότυπο VDE 0126-1-1. Η σύμφωνη με το πρότυπο μέθοδος ανίχνευσης, αναλύει τη συμπεριφορά της συχνότητας ως αποτέλεσμα της έγχυσης παλμών άεργου ρεύματος. Ο χρόνος λειτουργείας της προστασίας έναντι της νησιδοποίησης είναι <5 sec.

Κατηγορία ισχύος		30	50	60	
Πλευρά εισόδου (DC)	Μέγ. Φ/Β ισχύς ($\cos \varphi = 1$)	kWp	45	75	90
	Ονομαστική ισχύς DC	kW	30	50	60
	Ονομαστική τάση εισόδου ($U_{DC,t}$)	V	620	620	620
	Τάση εισόδου εκκίνησης ($U_{DCstart}$)	V	250	250	250
	Εύρος τάσης εισόδου ($U_{DCmin} - U_{DCmax}$)	V	180...1.000	200...1.100	200...1.100
	Εύρος τάσης MPP για ονομαστική ισχύ ($U_{MPPmin} - U_{MPPmax}$)	V	480...800	540...800	540...800
	Εύρος τάσης λειτουργίας MPP ($U_{MPPworkmin} - U_{MPPworkmax}$)	V	180...960	200...960	200...960
	Μέγ. τάση λειτουργίας ($U_{DCworkmax}$)	V	960	960	960
	Μέγ. ρεύμα εισόδου (I_{DCmax}) ανά MPPT ³⁾	A	DC1-3: 40,5 DC 4-6: 40,5	DC 2-4: 39 DC 6-8: 39 DC 10-11: 26 DC 13-14: 26	DC 2-4: 39 DC 6-8: 39 DC 9-11: 39 DC 12-14: 39
	Μέγ. ρεύμα βραχυκύκλωσης DC ($I_{SC, PV}$)	A	90 (45/45)	150 (45/45/30/30)	180 (45/45/45/45)
	Μέγ. ρεύμα DC ανά βύσμα DC ³⁾	A	14	18	18
	Αριθμός εισόδων DC		6	10	12
	Αριθμός ανεξάρτητων MPP-Tracker		2	4	4

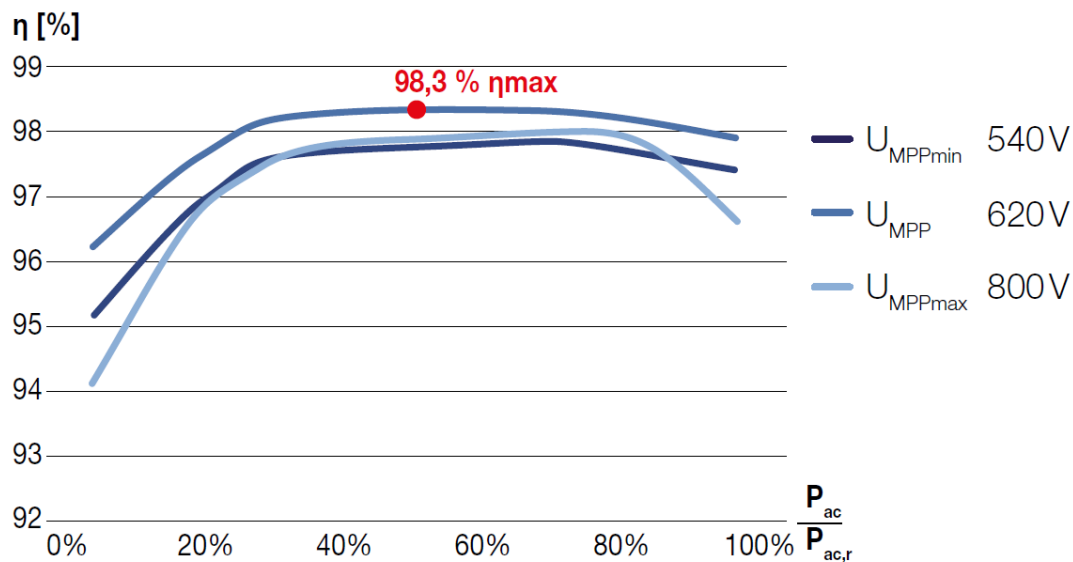
Πλευρά εξόδου (AC)	Ονομαστική ισχύς, $\cos \varphi = 1$ ($P_{AC,t}$)	kW	30	50	60
	Ονομαστική εμφανής ισχύς (S_{ACnom})	kW	30	50	60
	Μέγ. φαινόμενη ισχύς εξόδου (S_{ACmax})	kVA	33	55	66
	Ελάχ. τάση εξόδου (U_{ACmin})	V	277	277	277
	Μέγ. τάση εξόδου (U_{ACmax})	V	520	520	520
	Ονομαστικό ρεύμα (I_{nom})	A	43,3	72,2	86,6
	Μέγ. ρεύμα εξόδου (I_{ACmax})	A	48	83	92
	Ρεύμα βραχυκύκλωσης (RMS)	A	48	83	92
	Σύνδεση δικτύου		3N-, 400V, 50 Hz		
	Ονομαστική συχνότητα (f_r)	Hz	50		
	Συχνότητα δικτύου (f_{min}/f_{max})	Hz	47/53		
	Εύρος ρύθμισης του συντελεστή ισχύος ($\cos \varphi_{AC,t}$)		0,8...1...0,8		
	Συντελεστής ισχύος σε ονομαστική ισχύ ($\cos \varphi_{AC,t}$)		1		
Μέγ. συντελεστής παραμόρφωσης	%	<3			
Αναμονή (νυχτερινή κατανάλωση)	W	<1			
η	Μέγιστος βαθμός απόδοσης	%	98,2	98,3	98,3
	Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης	%	97,9	98,1	98,1
	Βαθμός απόδοσης προσαρμογής MPP	%	99,9	99,9	99,9

Σχήμα 3.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα

Κατηγορία ισχύος		30	50	60	
Δεδομένα συστήματος	Τοπολογία: Χωρίς γαλβανική απομόνωση – χωρίς μετασχηματιστή		✓		
	Βαθμός προστασίας κατά EN 60529		IP 65		
	Κατηγορία προστασίας κατά EN 62109-1		I		
	Κατηγορία υπέρτασης κατά IEC 60664-1 πλευρά εισόδου (Φ/Β γεννήτρια)		II		
	Κατηγορία υπέρτασης κατά IEC 60664-1 πλευρά εξόδου (σύνδεση με το δίκτυο)		III		
	Προστασία από υπέρταση DC/AC		τύπου 2		
	Βαθμός ρυπαρότητας		4		
	Περιβαλλοντική κατηγορία (εγκατάσταση σε εξωτερικό χώρο)		✓		
	Περιβαλλοντική κατηγορία (εγκατάσταση σε εσωτερικό χώρο)		✓		
	Αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία		✓		
	Διάμετρος καλωδίου AC (ελάχ.-μέγ.)	mm	22...32	35...50	
	Διατομή καλωδίου AC (ελάχ.-μέγ.)	mm ²	10...25	35...50	35...50
	Διατομή καλωδίου DC (ελάχ.-μέγ.)	mm ²	4...6		
	Μέγ. ασφάλεια πλευράς εξόδου		B63 / C63	B125 / C125	B125 / C125
	Προστασία ατόμων εσωτερικά κατά EN 62109-2		RCMU/RCCB τύπου B		
Ενσωματωμένος αυτόματος διακόπτης κατά VDE V 0126-1-1		✓			

Σχήμα 3.9: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα

Χαρακτηριστική καμπύλη βαθμού απόδοσης ΡΙΚΟ CI 50 / 60



Σχήμα 3.10: Χαρακτηριστική καμπύλη απόδοσης του αντιστροφέα

3.2.5 Διαστασιολόγηση

Η επιλογή του αριθμού των συστοιχιών και ο αριθμός των πλαισίων σε κάθε στοιχειοσειρά έγινε έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ισχύ και υψηλότερος βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα. Ο αντιστροφέας έχει 4 ανεξάρτητους MPPT και συνολικά 12 εισόδους (3 ανά MPPT). Για να πετύχουμε τη μέγιστη απόδοση του μετατροπέα θα πρέπει η τιμή της τάσης της κάθε στοιχειοσειράς να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην ονομαστική τάση εισόδου του αντιστροφέα (620 V). Συνολικά έχουμε 118 φ/β πλαίσια. Η τάση (stc) κάθε πλαισίου είναι 40,95 V. Επομένως θα έχουμε 6 στοιχειοσειρές με 15 πλαίσια σε σειρά η κάθε μία, και 2 στοιχειοσειρές με 14 πλαίσια αντίστοιχα. Για να δούμε ποιες εισόδους DC του αντιστροφέα θα χρησιμοποιήσουμε, θα συμβουλευτούμε τον παρακάτω πίνακα από το manual του αντιστροφέα. Συνολικά έχουμε 8 στοιχειοσειρές, οπότε στον MPPT1 θα χρησιμοποιήσουμε τις εισόδους DC2,C3, στον MPPT2 τις DC6,DC7, στον MPP3 τις DC10,DC11 και στον MPPT4 τις DC13,DC14.

Πίνακας 2.2: Στοιχειοσειρές ανά MPPT

Αντιστοίχιση συνδέσεων DC του PIKO CI 50/60

PIKO CI	Συνδεδε- μένες Φ/Β στοιχειο- σειρές	MPP-Tracker			
		1	2	3	4
		Χρησιμοποιούμενη είσοδος DC			
50/60	1	2...10/12			
	2	2	6		
	3	2	6	10	
	4	2	6	10	13
	5	2, 3	6	10	13
	6	2, 3	6, 7	10	13
	7	2, 3	6, 7	10, 11 ⁽²⁾	13
	8	2, 3	6, 7	10, 11 ⁽²⁾	13, 14 ⁽²⁾
	9	2, 3, 4 ⁽¹⁾	6, 7	10, 11 ⁽²⁾	13, 14 ⁽²⁾
	10	2, 3, 4 ⁽¹⁾	6, 7, 8 ⁽¹⁾	10, 11 ⁽²⁾	13, 14 ⁽²⁾
60	11	2, 3, 4 ⁽¹⁾	6, 7, 8 ⁽¹⁾	9,10, 11 ⁽¹⁾	12, 13 ⁽²⁾
	12	2, 3, 4 ⁽¹⁾	6, 7, 8 ⁽¹⁾	9,10, 11 ⁽¹⁾	12, 13, 14 ⁽¹⁾

Οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται κατά τη σύνδεση των στοιχειοσειρών στις εισόδους των αντιστροφέων είναι:

Η τάση κάθε στοιχειοσειράς θα πρέπει να είναι εντός του εύρους λειτουργίας του αντιστροφέα (200 – 1100 V). Επιπλέον θα πρέπει να είναι και εντός του εύρους τάσης MPP για ονομαστική ισχύ σε λειτουργία δύο tracker (540 – 800 V).

MPPT1, MPPT2, MPPT3: $V_{MPP} = 15 \times 40,95 = 614,25 \text{ V}$

MPPT4: $V_{MPP} = 14 \times 40,95 = 573,3 \text{ V}$

Η μέγιστη τάση ανοικτού κυκλώματος κάθε στοιχειοσειράς θα πρέπει πάντα να είναι μικρότερη από τη μέγιστη DC (1100 V) τάση λειτουργίας του αντιστροφέα.

Η τάση ανοικτού κυκλώματος σε κάθε είσοδο θα είναι:

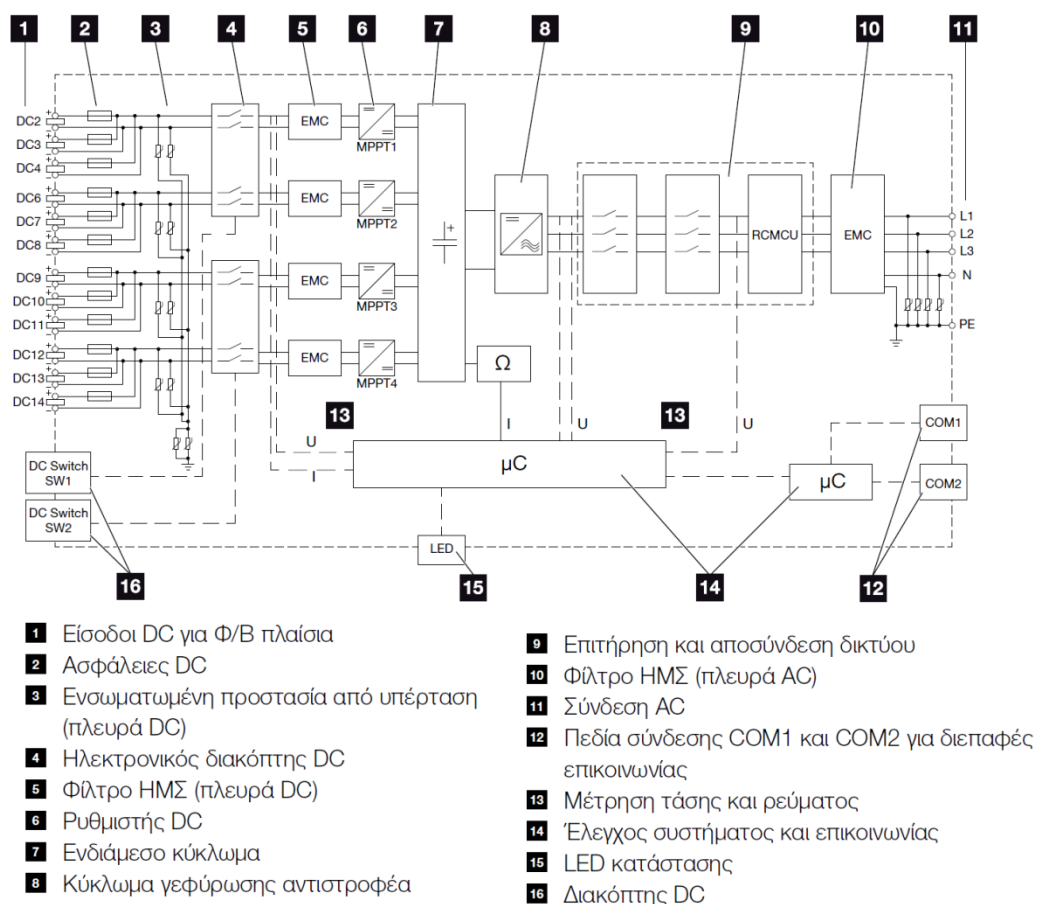
$$\text{MPPT1, MPPT2, MPPT3: } V_{OC} = 15 \times 49,1 = 736,5 \text{ V}$$

$$\text{MPPT4: } V_{OC} = 14 \times 49,1 = 687,4 \text{ V}$$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος αυξάνεται κατά 0,285% για κάθε °C κάτω από την τιμή στις πρότυπες συνθήκες δοκιμής STC (25 °C). Για παράδειγμα αν υποθέσουμε ότι η μικρότερη θερμοκρασία στην περιοχή του Μεσολογγίου μπορεί να φτάσει τους -4°C τότε η τάση ανοικτού κυκλώματος θα είναι:

$$\text{MPPT1, MPPT2, MPPT3: } V_{OC,max} = 736,5 [1 + 0,00285(25 - (-4))] \Rightarrow V_{OC,max} = 797,4 \text{ V}$$

$$\text{MPPT4: } V_{OC,max} = 687,4 [1 + 0,00285(25 - (-4))] \Rightarrow V_{OC,max} = 744,2 \text{ V}$$



Σχήμα 3.11: Σχέδιο αντιστροφέα

Τέλος, θα πρέπει το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης της στοιχειοσειράς να είναι μικρότερο από το μέγιστο ρεύμα DC του αντιστροφέα. Η μέγιστη αναμενόμενη τιμή του ρεύματος κάθε

στοιχειοσειράς, προκύπτει από την πολλαπλασιασμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης του ενός φ/β στοιχείου με τον συντελεστή 1,25. Ο συντελεστής ασφαλείας 1,25 καλύπτει ειδικές συνθήκες ατμόσφαιρας και ανακλάσεων, οι οποίες μπορούν να παρουσιάσουν σε καθαρό ουρανό μετά από βροχή ένταση ακτινοβολίας μεγαλύτερη από 1000 W/m².

Επομένως για κάθε στοιχειοσειρά έχουμε:

$$I_{SC,MAX} = 2 * 13,8 * 1,25 = 34,5 A$$

Το οποίο είναι μικρότερο από το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης του αντιστροφέα $I_{SC,MAX} = 45 A$.

Τέλος επαληθεύουμε τα αποτελέσματα με το λογισμικό KOSTAL SOLAR PLAN.

Αντιστροφέας		Φ/Β πλαίσιο			
Συνημίτονο φ	Υπερδιέγε 1,00	Μέγιστη/ ελάχιστη θερμοκρασία πλαι...	0	70	°C
Χώρα	Greece	Θερμοκρασία μονάδας Usc		-4	°C
Βάση δεδομένων αντ. / Αριθμός φάσ...	Όλα	Βάση δεδομένων	Πρότυπα		
Σειριακά	PIKO CI	Φίλτρο κατασκευαστή Φ / Β πλαισίων			
Αντιστροφέας	PIKO CI 60 Item No. 1	Κατασκευαστής	Luxor Solar GmbH		
Ελαχ./Μεγ. συντελεστής φόρτισης	0,80 1,45	Μοντέλο	LX-535M/182-144+ (1)		
Ασυμμετρία φάσεων	<input type="checkbox"/>				
Τάση δικτύου	230 V				

Σύνδεση	MPPT A	MPPT B	MPPT C	MPPT D
Αριθμός string	2	2	2	2
Αριθμός πλαισίων	15	15	15	14
Συνολικός αριθμός πλαισίων	30	30	30	28
Ισχύς Φ/Β γεννήτριας	16,05 kW	16,05 kW	16,05 kW	14,98 kW
Ποσοστό απόδοσης		0,96		OK
Ελάχιστη τάση MPP αντιστροφέα	200,00 V	200,00 V	200,00 V	200,00 V
Ελάχιστη τάση MPP της Φ/Β γεν. (70 °C)	519,79 V	519,79 V	519,79 V	485,14 V OK
Μέγιστη. τάση MPP του μετατροπέα	800,00 V	800,00 V	800,00 V	800,00 V
Max. Τάση MPP της φωτοβολταϊκής γεννήτριας (0 °C)	666,73 V	666,73 V	666,73 V	622,28 V OK
Μέγιστη τάση μετατροπέα	1.100,00 V	1.100,00 V	1.100,00 V	1.100,00 V
Μέγιστη τάση λειτουργίας inverter	960,00 V	960,00 V	960,00 V	960,00 V
Μέγιστη τάση συστήματος Φ/Β πλαισίου	1.500,00 V	1.500,00 V	1.500,00 V	1.500,00 V
Μέγιστη τάση ανοιχτού κυκλώματος Φ/Β γεννήτριας (-4 °C)	797,37 V	797,37 V	797,37 V	744,21 V OK
Μέγιστος μετατροπέας ρεύματος εισόδου	39,00 A	39,00 A	39,00 A	39,00 A
Μέγ. ρεύμα MPP Φ/Β γεννήτριας	26,14 A	26,14 A	26,14 A	26,14 A OK
Μέγιστος μετατροπέας ρεύματος βραχυ.PV	45,00 A	45,00 A	45,00 A	45,00 A
Μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος Φ/Β γεν.	28,20 A	28,20 A	28,20 A	28,20 A OK
Μέγ. ρεύμα στοιχειοσειράς ανά είσοδο αντιστροφέα	18,00 A	18,00 A	18,00 A	18,00 A
Μέγ. ρεύμα MPP Φ/Β στοιχειοσειράς	13,07 A	13,07 A	13,07 A	13,07 A OK

Σχήμα: 3.12: Σχεδιασμός φ/β συστήματος με το λογισμικό KOSTAL Solar Plan

3.2.6 DC ΠΛΕΥΡΑ

DC Καλωδίωση

Η επιλογή του κατάλληλου είδους καλωδίου είναι σημαντική για την ασφάλεια και τη διάρκεια της εγκατάστασης όπως και την ικανοποίηση της απαίτησης για μόνωσης ισοδύναμης με κλάση II

Για την επιλογή των DC καλωδίων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής:

- Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60364-7-712, το μέγιστο ρεύμα κάθε στοιχειοσειράς υπολογίζεται προσαυξάνοντας κατά 25% το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , των Φ/Β πλαισίων που συνδέονται σε σειρά.
- Οι διατομές των καλωδίων σύνδεσης μεταξύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων της συστοιχίας επιλέγονται έτσι ώστε οι απώλειες σ' αυτά να μην ξεπερνούν το 1%.
- Το αποδεκτό ποσοστό πτώσης τάσης στη γραμμή μεταφοράς φροντίζουμε να είναι μικρότερο από το 2%.
- Για την επιλογή της διατομής των DC καλωδίων που θα χρησιμοποιηθούν, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η θερμοκρασία λειτουργίας τους μπορεί να φτάσει έως τους 70 °C. Ο συντελεστής διόρθωσης στους 70 °C για καλώδια με ανθεκτική μόνωσης έως τους 90 °C είναι 0.58, άρα η τιμή του μέγιστου αναμενόμενου ρεύματος πολλαπλασιάζεται επί $1/0.58=1.72$, έτσι ώστε με τη διαστασιολόγηση του καλωδίου να μην υπερβαίνονται τα όρια αντοχής της μόνωσης.
- Οι πολικότητες των ηλεκτρικών συνδέσεων να είναι σωστές στην πλευρά εισόδου DC. Οι θετικοί και αρνητικοί ακροδέκτες μιας φωτοβολταϊκής στοιχειοσειράς συνδέονται με τους αντίστοιχους θετικούς και αρνητικούς ακροδέκτες εισόδου DC του μετατροπέα.

Για την ελαχιστοποίηση των απωλειών θα χρησιμοποιήσουμε εύκαμπτα μονοπολικά καλώδια solar με ενισχυμένη διπλή μόνωση, κατάλληλο για εξωτερικούς χώρους διατομής 6 mm².



Σχήμα 3.13: Καλώδιο solar 1x6mm²

Για τις συνδέσεις των καλωδίων μεταξύ τους συνιστάται να χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι ειδικοί σύνδεσμοι ταχείας σύνδεσης MC4. Οι ακροδέκτες αυτοί έχουν εσωτερικά ένα μεταλλικό στέλεχος το οποίο πρεσάρεται στον γυμνό αγωγό του πάνελ και διευκολύνει τη σύνδεση μεταξύ τους.



Σχήμα 3.14: Σύνδεσμοι ταχείας σύνδεσης MC4

DC Πίνακας και μέσα προστασίας

Τα μέσα προστασίας θα πρέπει να είναι διαστασιολογημένα για τιμές ρευμάτων όχι μικρότερες από το $1,25 \times I_{SC}$ και όχι μεγαλύτερες από την τιμή που δίνει ο κατασκευαστής για την προστασία των Φ/Β πλαισίων. Το μέγιστο ρεύμα που διαρρέει τα καλώδια συνεχούς ρεύματος είναι ίσο με το ρεύμα βραχυκύκλωσης, οπότε τα καλώδια και τα μέσα προστασίας της κάθε στοιχειοσειράς θα πρέπει να αντέχουν ρεύμα ίσο με $I_{SC,MAX} = 14,23 \text{ A}$.

Προτείνεται επίσης η εγκατάσταση μίας συσκευής απομόνωσης, έτσι ώστε να μπορεί να επιθεωρείται για τυχόν βλάβες και να συντηρείται χωρίς να χρειάζεται η απενεργοποίηση άλλων μερών του συστήματος. Επομένως σε κάθε στοιχειοσειρά θα τοποθετηθούν ασφαλειοαποζεύκτες με ασφάλεις τήξεως 16 A οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να απομονώνουν το κύκλωμα σε περίπτωση σφάλματος (υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα).



E90 PV

E90 PV: Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Όνομαστική τάση (U_n)	1.000 VDC
Όνομαστική ένταση (I_n)	32 A
Κατηγορία χρήσης	DC-20B
Διαστάσεις φυσιγγίων	10,3 x 38 mm
Πρότυπα	IEC/EN 60947-3



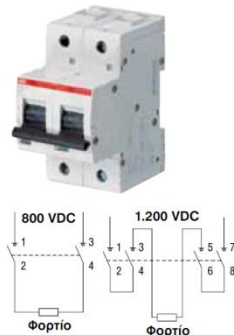
E9F PV

E9F PV: Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Όνομαστική τάση (U_n)	1.000 VDC
Όνομαστική ένταση (I_n)	1 ... 30 A
Ικανότητα απόξευξης σε βραχυκύκλωμα	50 kA
Πρότυπα	IEC 60269-6, ROHS 2002/98/CE

Ένδειξη καμμένης ασφάλειας

Σχήμα 3.15: Ασφαλειοαποζεύκτες ABB E90 PV και φυσίγγια τήξεως

Για τη ζεύξη ή απόζευξη ενός κυκλώματος υπό φορτίο, θα χρησιμοποιηθούν διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων συνεχούς με ονομαστική τάση λειτουργίας έως και 1.200 VDC. Ο εύκολος χειρισμός τους διευκολύνει τις εργασίες συντήρησης ή επέκτασης ενός κυκλώματος, αυξάνοντας τη χρηστικότητα της εγκατάστασης.



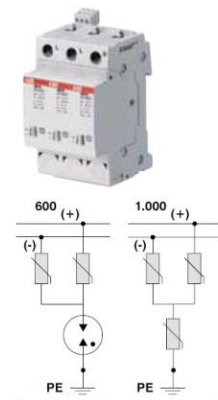
S800PV-M. Διακόπτες φορτίου

S800PV-M: Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ονομαστική ένταση (I_n)	32 – 63 – 125 A
Ονομαστική τάση (U_n)	2P: έως 800 VDC (γειωμένο και αγειώτο σύστημα) 3P: έως 1.200 VDC (γειωμένο σύστημα) 4P: έως 1.200 VDC (αγειώτο σύστημα)
Ικανότητα διακοπής βραχυκυκλώματος (I_{sc})	1,5 kA
Αριθμός πόλων	2, 3, 4
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-25...+60 °C
Αριθμός μηχανικών χειρισμών	8.500 (32-63 A), 7.000 (125 A)
Αριθμός ηλεκτρικών χειρισμών	1.500 (32-63 A), 1.000 (125 A)
Πρότυπα	IEC/EN 60947-3

Σχήμα 3.16: Διακόπτης φορτίου ABB S800PV-M

Τα φ/β πλαίσια και ο αντιστροφέας είναι πολύ ευαίσθητα σε μεταβατικές υπερτάσεις και κρουστικά ρεύματα που προκαλούνται από κεραυνούς ή χειρισμούς μεγάλων διακοπών ισχύος. Για το λόγο αυτό θα τοποθετηθούν απαγωγοί υπερτάσεων, για κυκλώματα συνεχούς τάσης, ώστε να περιορίζουν αυτές τις υπερτάσεις, προστατεύοντας τον εξοπλισμό και αποτρέποντας περαιτέρω ζημιές στην εγκατάσταση.



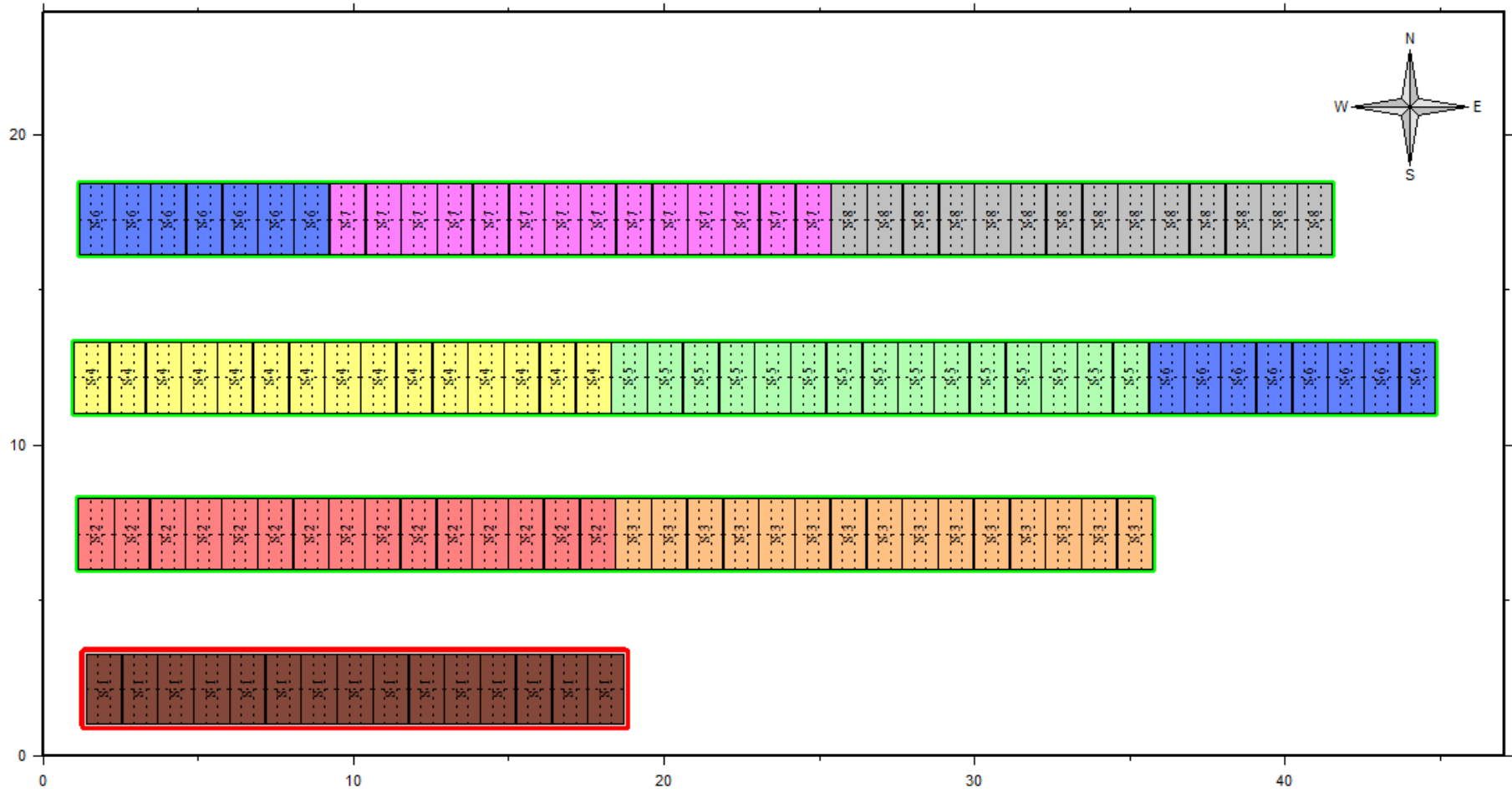
OVR PV. Απαγωγοί υπερτάσεων

OVR PV: Τεχνικά χαρακτηριστικά

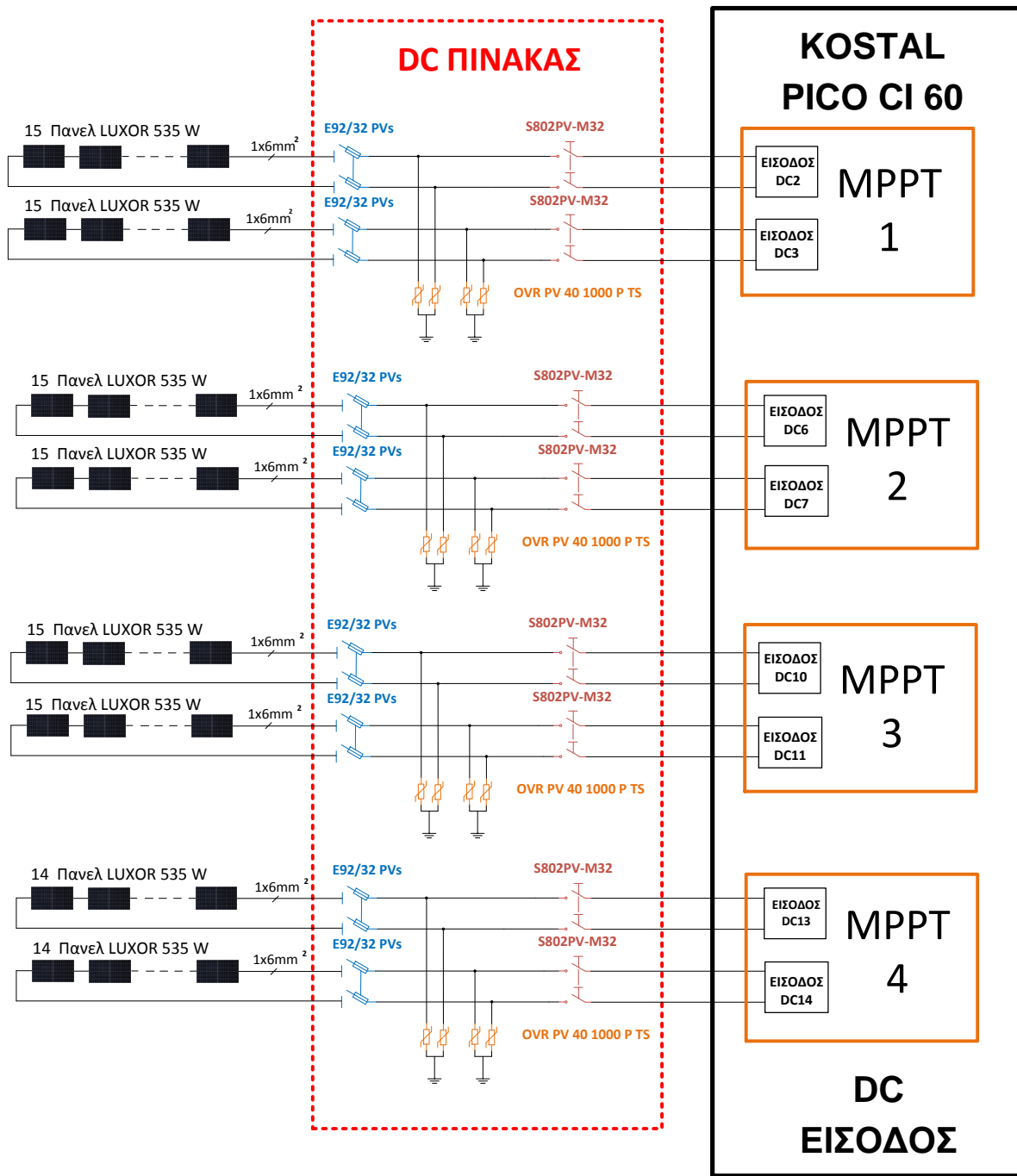
Ονομαστική τάση (U_n)	600... 1.000 VDC
Τάση προστασίας (U_p)	1,4 kV (600 VDC) 3,8 kV (1.000 VDC)
Μέγιστο ρεύμα παροχέτευσης (I_{max})	40 kA
Κλάση	T2
Εφεδρική προστασία	$I_{sc} < 100 A$: Δεν απαιτείται $I_{sc} > 100 A$: E92PV και E9F 10 PV
Αριθμός πόλων	3 (+/-/PE)
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-40... +80 °C
Διατομή καλωδίων	Μονόκλωνο: 2,5 ... 25 mm ² Πολυκλωνο: 2,5 ... 16 mm ²
Πρότυπα	IEC 61643-1/EN 61643-11

Σχήμα 3.17: Αντικεραυνικά ABB OVR PV

Όλα τα εκτεθειμένα αγωγικά μέρη του εξοπλισμού του φ/β συστήματος θα πρέπει να συνδέονται ισοδυναμικά με κοινό αγωγό γείωσης, με στόχο την προστασία των χειριστών της εγκατάστασης από έμμεσες επαφές με αγωγούς υπό τάση.



Σχήμα 3.18: Διαστασιολόγηση εγκατάστασης



Σχήμα 3.19: Ηλεκτρολογικό σχέδιο φ/β συστήματος από την DC πλευρά

3.2.7 ΑΣ ΠΛΕΥΡΑ

ΑC Καλωδίωση

Στην πλευρά Ε.Ρ. γενικά θα πρέπει να ακολουθούνται οι συνήθειες πρακτικές που απορρέουν από τον ΗD384. Η έξοδος του αντιστροφέα συνδέεται σε ξεχωριστό ηλεκτρικό πίνακα, όπου εγκαθίστανται τα μέσα προστασίας και χειρισμού. Η τροφοδοσία του ηλεκτρικού πίνακα θα πρέπει να προέρχεται κατευθείαν από την παροχή που έχει προμηθεύσει ο Διαχειριστής του Δικτύου στο κτήριο.

Η μέγιστη ισχύς στην έξοδο του μετατροπέα είναι 10000 W. Επομένως το μέγιστο ρεύμα γραμμής στο ανά φάση θα είναι :

$$I_{ON} = \frac{P_{AC}}{\sqrt{3} * V_{\Pi}} = \frac{60000}{\sqrt{3} * 400} = 86,6 \text{ A}$$

Και με έναν συντελεστή διόρθωσης της τάξης του 0,8 θα είναι:

$$I_{ACMAX} = 1,25 * I_{ON} = 1,25 * 86,6 = 108,25 \text{ A}$$

Η ελάχιστη διατομή καλωδίου στην έξοδο του μετέα στην ΑC πλευρά είναι 35 mm². Θα τοποθετηθεί πολύκλωνο καλώδιο J1VV-R 5x35mm²



ΤΥΠΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ: J1VV-U (μονόκλωνος στρογγυλός αγωγός)
J1VV-R (πολύκλωνος στρογγυλός αγωγός)
J1VV-S (πολύκλωνος αγωγός κυκλικού τομέα)

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ: 600/1000 V
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ: IEC 60502-1

Χρήσεις
Καλώδια ισχύος για σταθερή εγκατάσταση σε ξηρούς ή υγρούς χώρους στον αέρα ή στο έδαφος.

Χρώματα

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΟΛΩΝ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΧΩΡΙΣ ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ
1	ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ	ΜΑΥΡΟ
2	-	ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ
3	ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ, ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ	ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ
4	ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ, ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ	ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ
5	ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ, ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ	ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ, ΜΑΥΡΟ
>5	ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ, ΜΑΥΡΟΙ ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΜΑΥΡΟΙ ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΣΗ

Electrical Data

Nom. Cross Sect. (mm ²)	Conductor		Inductance (mH/km)	Current - Carrying Capacity at 30°C *		Short circuit current at 1 sec (kA)
	DC Resistance at 20°C (Ω/km)	AC Resistance at 70°C (Ω/km)		Capacity		
				in air (A)	in ground (A)	
1.5	12.1	14.478	0.328	23	27	0.17
2.5	7.41	8.866	0.304	30	36	0.29
4	4.61	5.516	0.303	41	47	0.46
6	3.08	3.685	0.288	52	59	0.69
10	1.83	2.190	0.269	71	78	1.15
16	1.15	1.376	0.255	94	101	1.84
25	0.727	0.870	0.255	126	131	2.88
35	0.524	0.627	0.246	155	157	4.03
50	0.387	0.464	0.247	189	185	5.75

Σχήμα 3.20: Καλώδιο NYJ J1VV-R

AC Πίνακας και μέσα προστασίας

Η έξοδος του μετατροπέα θα συνδεθεί σε ξεχωριστό ηλεκτρικό πίνακα, όπου εγκαθίστανται τα μέσα προστασίας και χειρισμού.

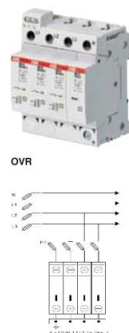
Το μέγιστο ρεύμα εξόδου του inverter είναι $I_{ACMAX} = 18 \text{ A}$ και η διατομή του καλωδίου είναι 35mm^2 . Επομένως θα τοποθετηθεί τετραπολικός μικροαυτόματος ABB S804B-C125 για την προστασία των καλωδίων εξόδου από υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα.



Τύπος τάσης	AC	Χαρακτηριστικό απόζευξη	C
Βαθμός προστασίας (IP)	IP20	Συχνότητα	50Hz
Βάθος ενσωμάτωσης	88,5mm	Ονομαστικό ρεύμα	125A
Ονομαστική τάση	230V	Κατηγορία περιορισμού ρεύματος	3
Κατηγορία υπέρτασης	3	Βαθμός ρύπανσης	3
Αριθμός στοιχείων πλατ. 17,5mm	6	L+N	OXI
Βραχυκύκλωμα διακοπής EN 60898	16kA	Ικανότητα διακοπής IEC60947-2	16kA
Δυνατότητα πρόσθ. εξοπλισμού	NAI	Αριθμός πόλων (σύνολο)	4

Σχήμα 3.21: Τετραπολικός μικροαυτόματος ABB S804B-C125

Θα τοποθετηθούν απαγωγές υπερτάσεων οι οποίες είναι απαραίτητοι για την προστασία ηλεκτρικών κυκλωμάτων από έμμεσα χτυπήματα κεραυνών ή από την ενεργοποίηση μεγάλων διακοπών ισχύος στο δημόσιο δίκτυο μεταφοράς.



OVR T1+2: Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ονομαστική τάση (U_n)	230 VAC (Μέγιστη τάση: 255 VAC)
Αριθμός πόλων	1
Μέγιστο ρεύμα παραγέτευσης (I_{max} , 10/350)	15 kA
Ονομαστικό ρεύμα παραγέτευσης (I_n , 8/20)	15 kA
Μέγιστο ρεύμα παραγέτευσης (I_{max} , 8/20)	60 kA
Τάση προστασίας (U_p)	1,5 kV
Κλάση	T1 + 2
Σύστημα γείωσης	TN-S, TN-C
Πρότυπα	IEC 61643-1, EN 61643-11

Σχήμα 3.22: Αντικεραυνικά ABB OVR T1+2

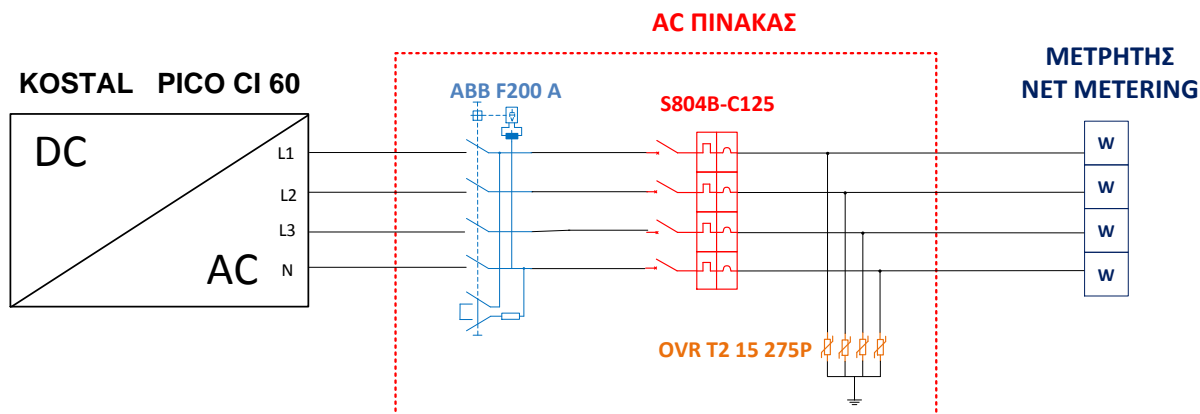
Τέλος για τον εντοπισμό σφαλμάτων διαρροής ως προς γη θα τοποθετηθεί και ένας διακόπτης διαρροής ABB F200 A .



F200 A: Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ονομαστική ένταση (I_n)	40 ... 125 A
Ονομαστική τάση (U_n)	230... 400 VAC
Μέγιστη τάση λειτουργίας κυκλώματος δοκιμής (test)	254 VAC
Ρεύμα διαρροής	30 – 100 – 300 mA
Αριθμός Πόλων	2 – 4
Κατηγορία	A
Μηχανικοί χειρισμοί	20.000
Ηλεκτρικοί χειρισμοί	10.000
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-25... +55 °C
Πρότυπα	IEC/EN 61008

Σχήμα 3.23: Διακόπτης διαρροής ABB F200 A



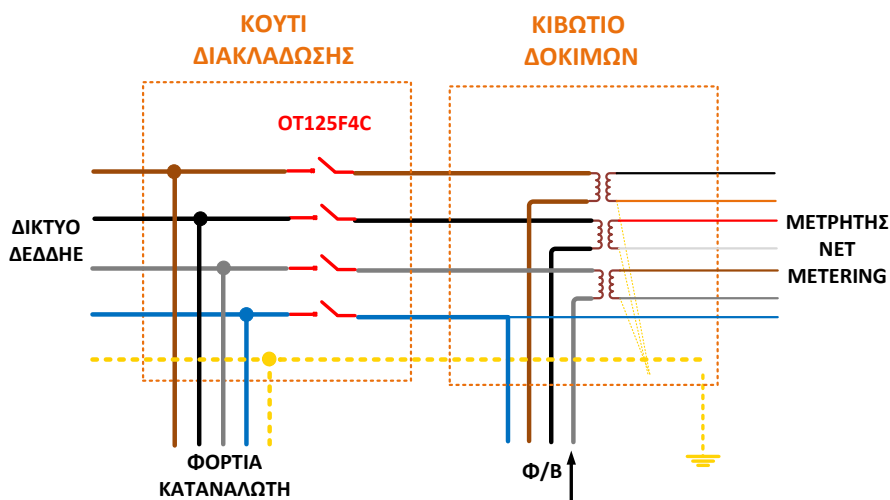
Σχήμα 3.24: Ηλεκτρολογικό σχέδιο φ/β συστήματος από την AC πλευρά

Διακλάδωση

Για την απομόνωση του φωτοβολταϊκού σταθμού με την εγκατάσταση της κατανάλωσης θα εγκατασταθεί 4-πολικός διακόπτης φορτίου ABB 125 A τύπου OT125F4C μέσα σε ένα κιβώτιο διακλάδωσης σε σημείο επί της γραμμής πίνακα – μετρητή του ΔΕΔΔΗΕ.



Σχήμα 3.25: Διακόπτης φορτίου ABB OT125F4C 125 A



Σχήμα 3.26: Σχέδιο διακλάδωσης της εγκατάστασης

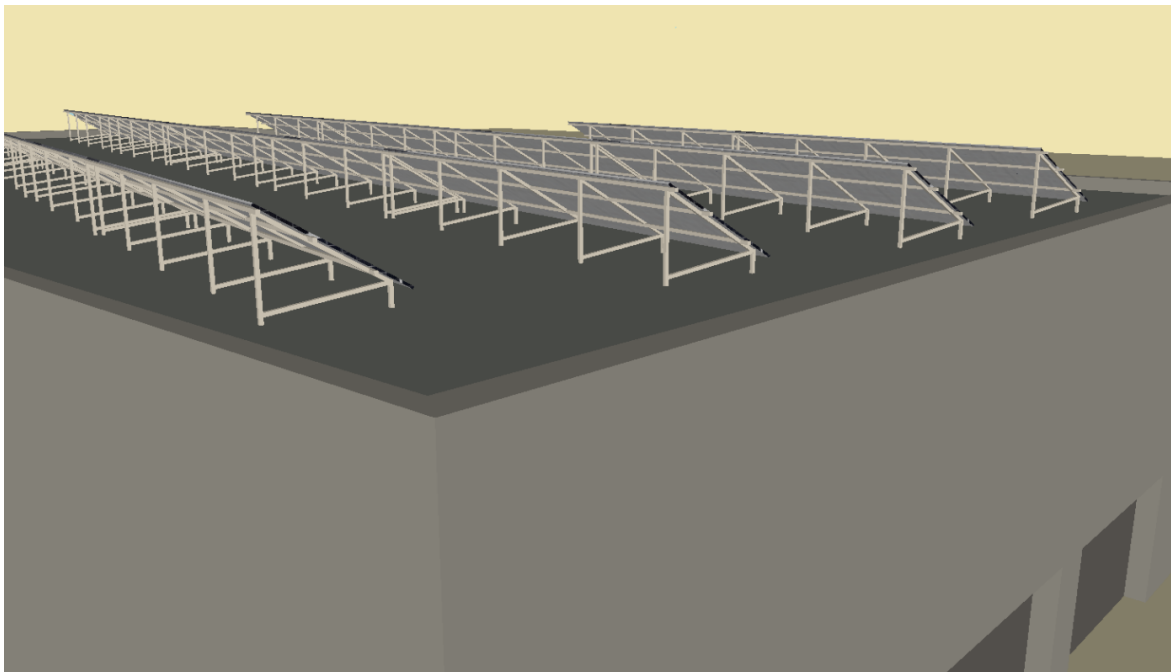
3.2.8 Χωροθέτηση φ/β σταθμού

Τα βασικά στοιχεία για τη χωροθέτηση και τη σχεδίαση του Φ/Β συστήματος είναι:

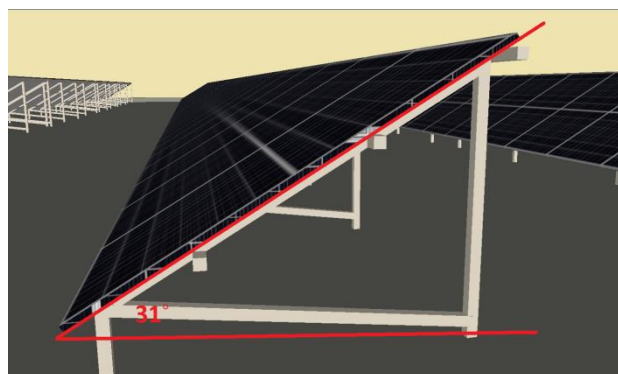
- Η αποφυγή σκιασμών της εγκατάστασης από μόνιμα εμπόδια.
- Η επιμελής εγκατάσταση του κάθε συστήματος ώστε να μην προκληθεί καμία ζημία ή ελάττωμα στο δώμα του κτιρίου.
- Για λόγους ασφαλείας η ελάχιστη απόσταση που θα τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά από το στηθαίο του δώματος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον μισό μέτρο.

3.2.9 Γωνία κλίσης – Βάσεις στήριξης

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα στηριχθούν σε μεταλλικά στηρίγματα σταθερής κλίσης, κατασκευασμένα από αλουμίνιο ώστε να εξασφαλίζουν αντοχή στη διάβρωση.



Σχήμα 3.27: Σταθερές βάσεις αλουμινίου



Σχήμα 3.28: Γωνία κλίσης φ/β πλαισίων

Για τη μέγιστη απόδοση του συστήματος το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) προτείνει τα πάνελ να έχουν προσανατολισμό προς το νότο (αζιμουθιο 0°). Η βέλτιστη γωνία που θα έχουν τα πάνελ μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

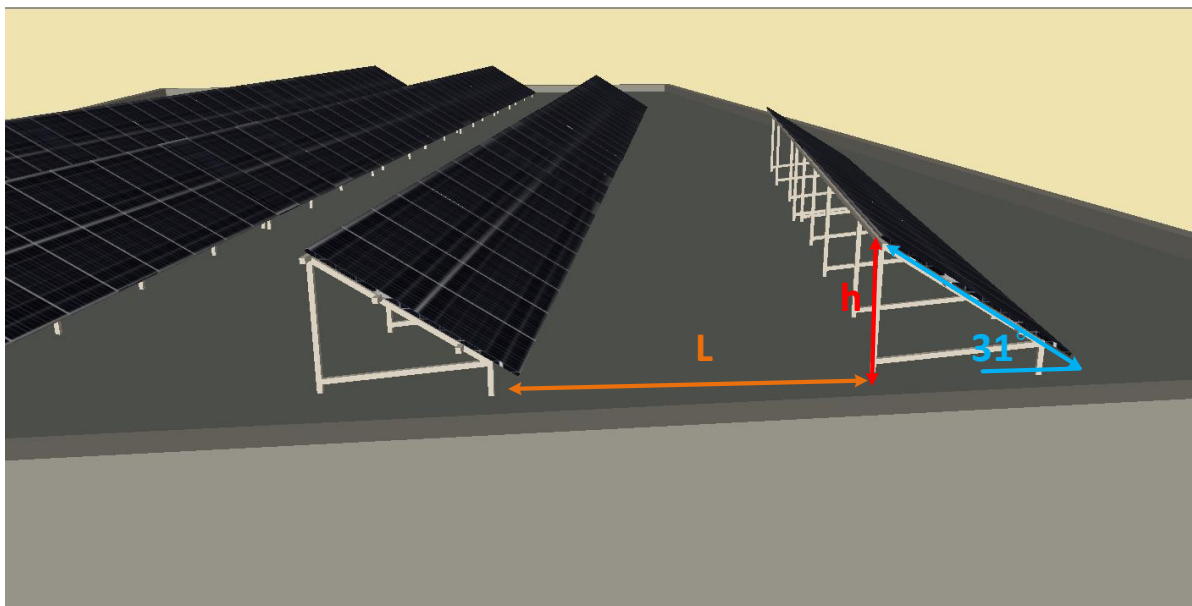
$$\gamma = 0,764 * \varphi + 2,14^\circ$$

Όπου φ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Για την περιοχή του Μεσολόγγιου με γεωγραφικό πλάτος 38,4° η βέλτιστη που προκύπτει είναι:
 $\gamma = 31^\circ$

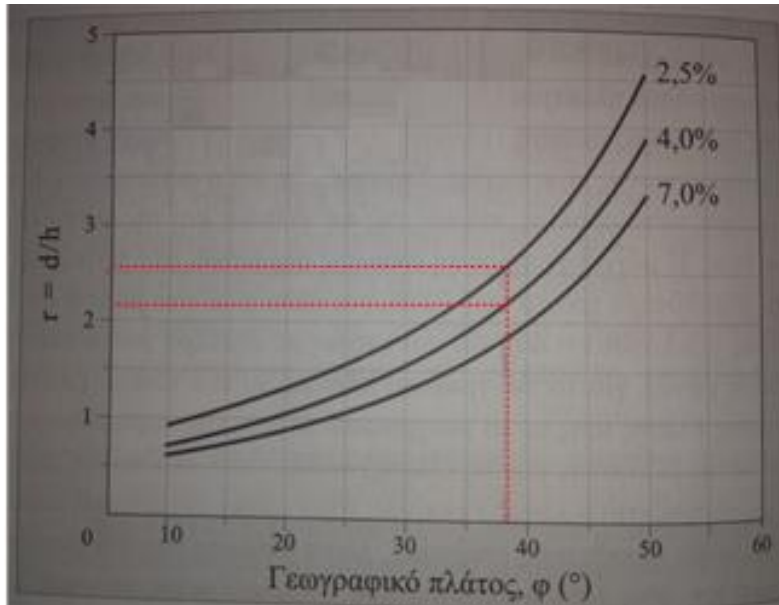
3.2.10 Ελάχιστη απόσταση μεταξύ συστοιχειών

Η τοποθέτηση των πάνελ, πρέπει να γίνει με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο, ώστε να αξιοποιείται πλήρως ο διαθέσιμος χώρος, να έχουν την μεγαλύτερη δυνατή παραγωγή αλλά και να μην δημιουργείται σκίαση είτε μεταξύ των σειρών είτε από εξωτερικούς παράγοντες.



Σχήμα 3.29: Ελάχιστη απόσταση μεταξύ συστοιχειών

Από το σχήμα 3.30 προσδιορίζουμε τις τιμές του λόγου $r = L/h$ ως προς το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, όπου L είναι η απόσταση μεταξύ των συστοιχειών και h ύψος.



Σχήμα 3.30: Γραφική παράσταση του λόγου r σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος

Για την περιοχή του Μεσολογγίου ($\phi=38,4^\circ$), για να έχουμε απώλειες λόγω σκίασης μικρότερες της τάξης του 2,5% , από το σχήμα προκύπτει ότι ο λόγος r θα πρέπει να είναι: $r = 2,55$

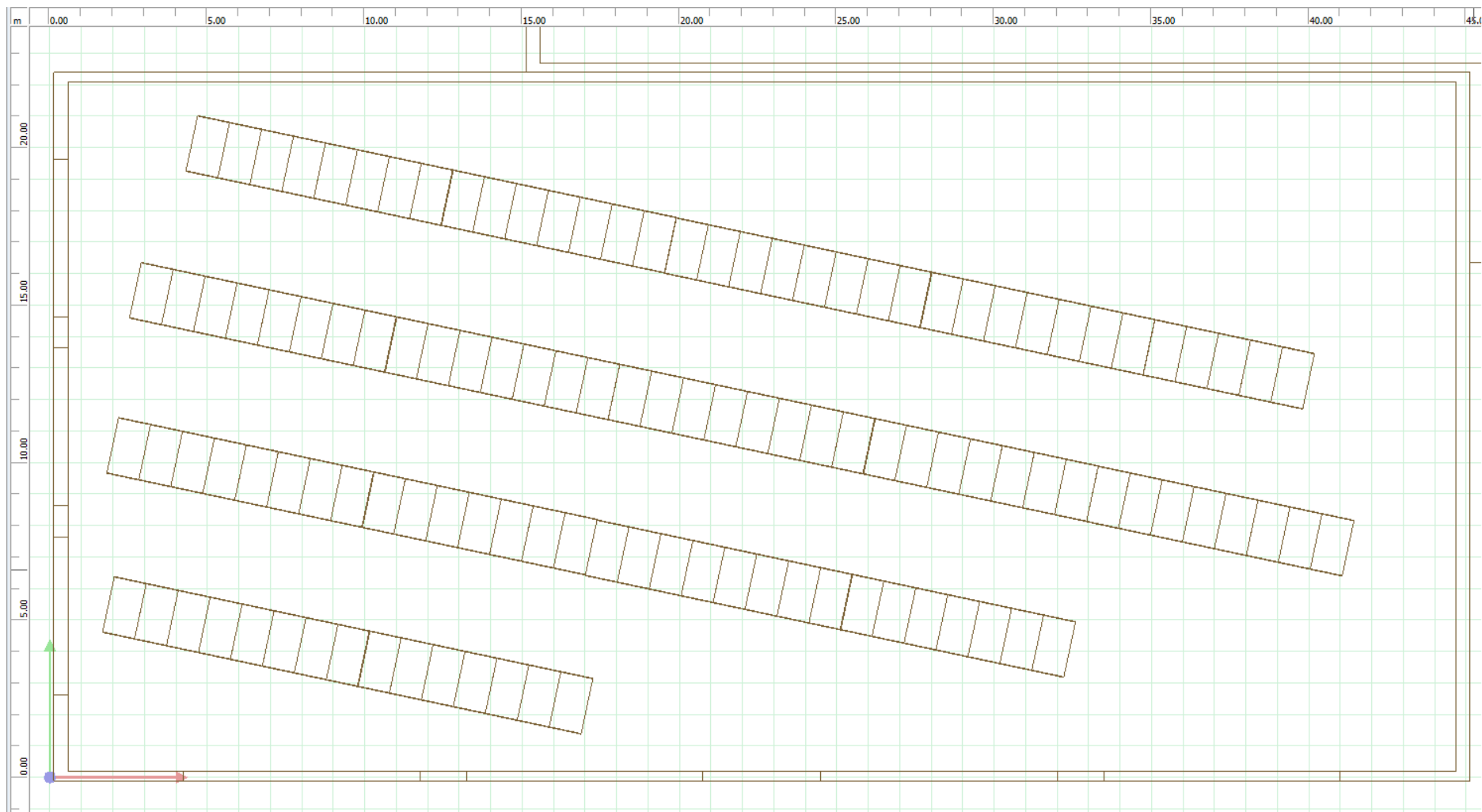
Το κάθε πάνελ έχει μήκος 2,094 m και 0,2m απόσταση από το δάπεδο. Επομένως:

$$\sin 31 = \frac{h}{2.094 + 0,2} \Rightarrow h = 1,18 \text{ m}$$

Η ελάχιστη απόσταση θα είναι:

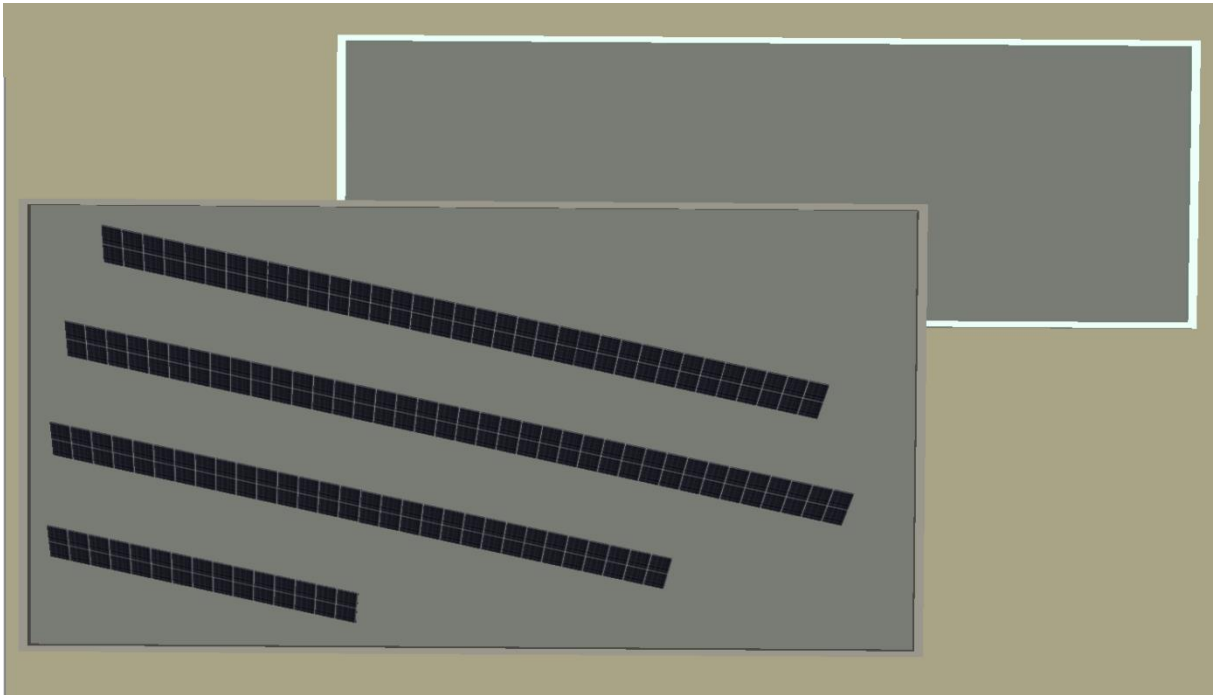
$$d = rh \Rightarrow d = 3 \text{ m}$$

Δηλαδή περίπου 2,5 φορές το ύψος της φ/β συστοιχίας.

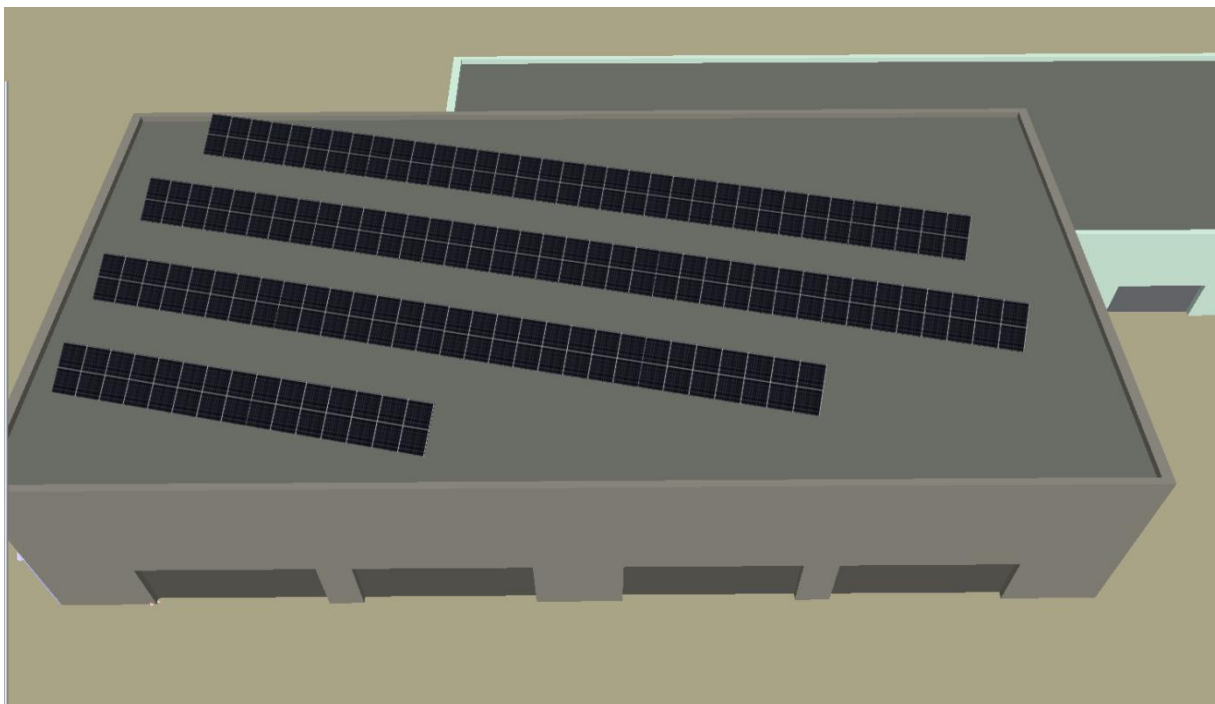


Σχήμα 3.31: Κάτοψη εγκατάστασης

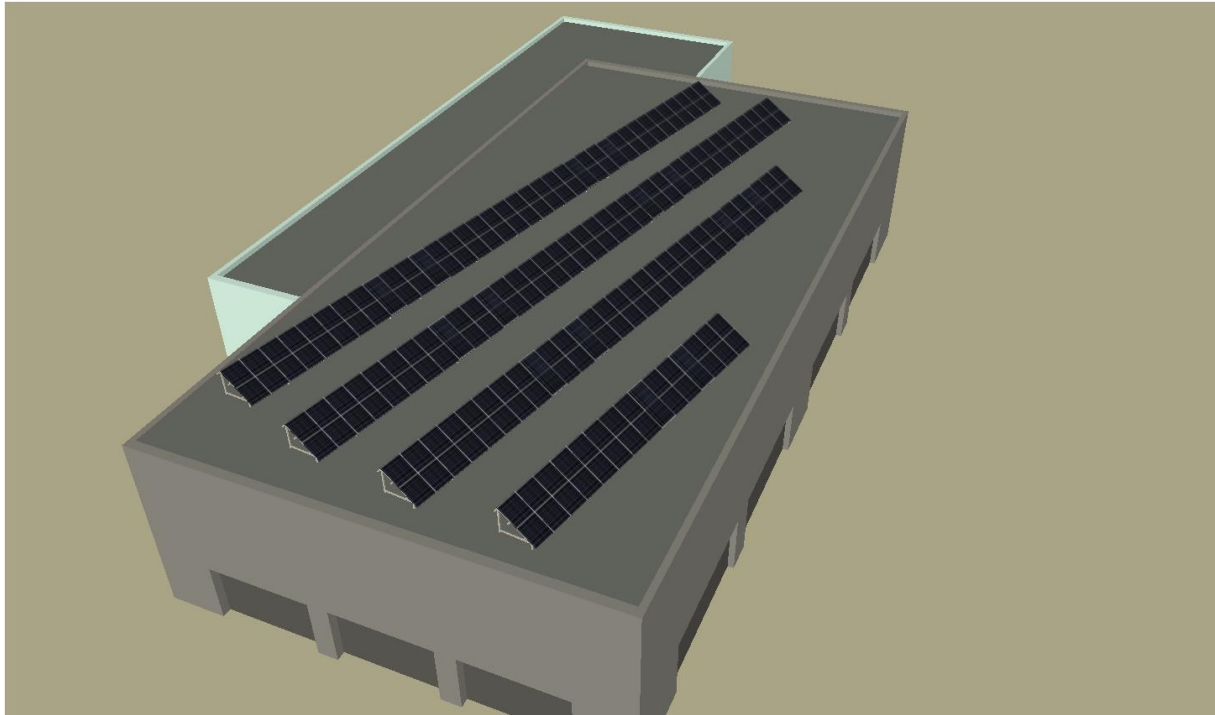
3.2.11 Τρισδιάστατη απεικόνιση εγκατάστασης



Σχήμα 3.32: Κάτοψη



Σχήμα 3.33: Κάτοψη



Σχήμα 3.34: Πλευρική όψη

3.2.12 Εγκατάσταση μετρητικών διατάξεων

Η μετρητική διάταξη παραγωγής του φ/β συστήματος αποτελείται από:

1. τον μετρητή

Από την πλευρά του καταναλωτή θα τοποθετηθεί τριφασικός μετρητής GAMA 300 του οίκου ELGAMA ELEKTRONIKA και τύπου G3B144 με με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Τριών φάσεων και τεσσάρων αγωγών
- Ονομαστική τάση 400 V και συχνότητα 50 Hz
- Κλάση ακρίβειας 0,05 A και ονομαστικό ρεύμα 5-(10) A



Σχήμα 3.35: Τριφασικός μετρητής GAMA 300 G3B144

Η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πάνελ αφαιρείται από την καταναλισκόμενη μειώνοντας έτσι το κόστος ενέργειας για τον χρήστη. Συνοπτικά με τον δεύτερο μετρητή καταμετράται η ενέργεια που παράγει το φωτοβολταϊκό net metering η οποία αφαιρείται από την ενέργεια που καταμέτρησε ο ήδη υπάρχοντας μετρητής κατανάλωσης.

2. Τρεις μετασηματιστές έντασης μέτρησης, εφόσον η ισχύς του ΦΒ είναι μεγαλύτερη των 55 kWp με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ονομαστική τάση 400 V και συχνότητα 50 Hz
- τύπου μπάρας
- ονομαστική φόρτιση 10 VA
- κλάση ακριβείας 0,5S και σχέση 200/5 A
- κατασκευασμένοι σύμφωνα με το πρότυπο EN/IEC 60044-1

3. το κιβώτιο δοκιμών, το οποίο θα πρέπει να είναι:

- τριών φάσεων, τεσσάρων αγωγών,
- σύμφωνα με την Τεχνική Προδιαγραφή ΔΕΗ Α.Ε. GR-107/Αναθεώρηση 7ος/1964 (βλ. παράρτημα) και
- με διαφανές κάλυμμα με δυνατότητα σφράγισης (σύρμα σφράγισης και σφραγίδα ΔΕΔΔΗΕ).

4. τον εξοπλισμό επικοινωνίας στις περιπτώσεις τηλεμέτρησης

Θα τοποθετηθεί και μοντεμ τηλεμετρίας τύπου MCL GSM/GPRS



Σχήμα 3.36 : Modem MCL

5. το λοιπό υποστηρικτικό εξοπλισμό, όπως καλωδιώσεις, κιβώτια μετρητών και κιβώτια μετασχηματιστών οργάνων μέτρησης.

Το κιβώτιο του μετρητή περιλαμβάνει τον μετρητή και το μέσο επικοινωνίας, ενώ το κιβώτιο δοκιμών, ο τριφασικός μικροαυτόματος με ονομαστική ένταση 2 Α. Τα καλώδια της μέτρησης είναι συνεχή χωρίς ενδιάμεσους τερματισμούς και η όδυσή τους εύκολα επιθεωρήσιμη. Το μέγιστο αποδεκτό μήκος καλωδίου σύνδεσης μετρητή με κάθε μετασχηματιστή έντασης είναι 4 m. Τα καλώδια είναι πολύκλινα, χαλκού, τύπου NYAF, διατομής 2,5 mm² για τα κυκλώματα τάσης και 4 mm² για τα κυκλώματα έντασης, γείωσης και ουδετέρου. Σε κάθε τερματισμό καλωδίου (ακροδεκτών των Μ/Σ έντασης, γείωσης, ουδετέρου, κιβωτίου δοκιμών, ακροδεκτών μετρητή) χρησιμοποιούνται κατάλληλα ακροχιτώνια ευθύγραμμα ή ακροχιτώνια (ΚΟΣ) με οπή κατά περίπτωση. Τα τυλίγματα των μετασχηματιστών έντασης και τα καλώδια σύνδεσης των τυλιγμάτων με τον μετρητή εξυπηρετούν αποκλειστικά τις συνδέσεις που αναφέρονται στην μετρητική διάταξη του ΦΒ.

Η καλωδίωση ακολουθεί υποχρεωτικά τον χρωματικό κώδικα κατά ΕΛΟΤ HD 308 S2 του παρακάτω σχήματος.

L1 Φάση: καφέ

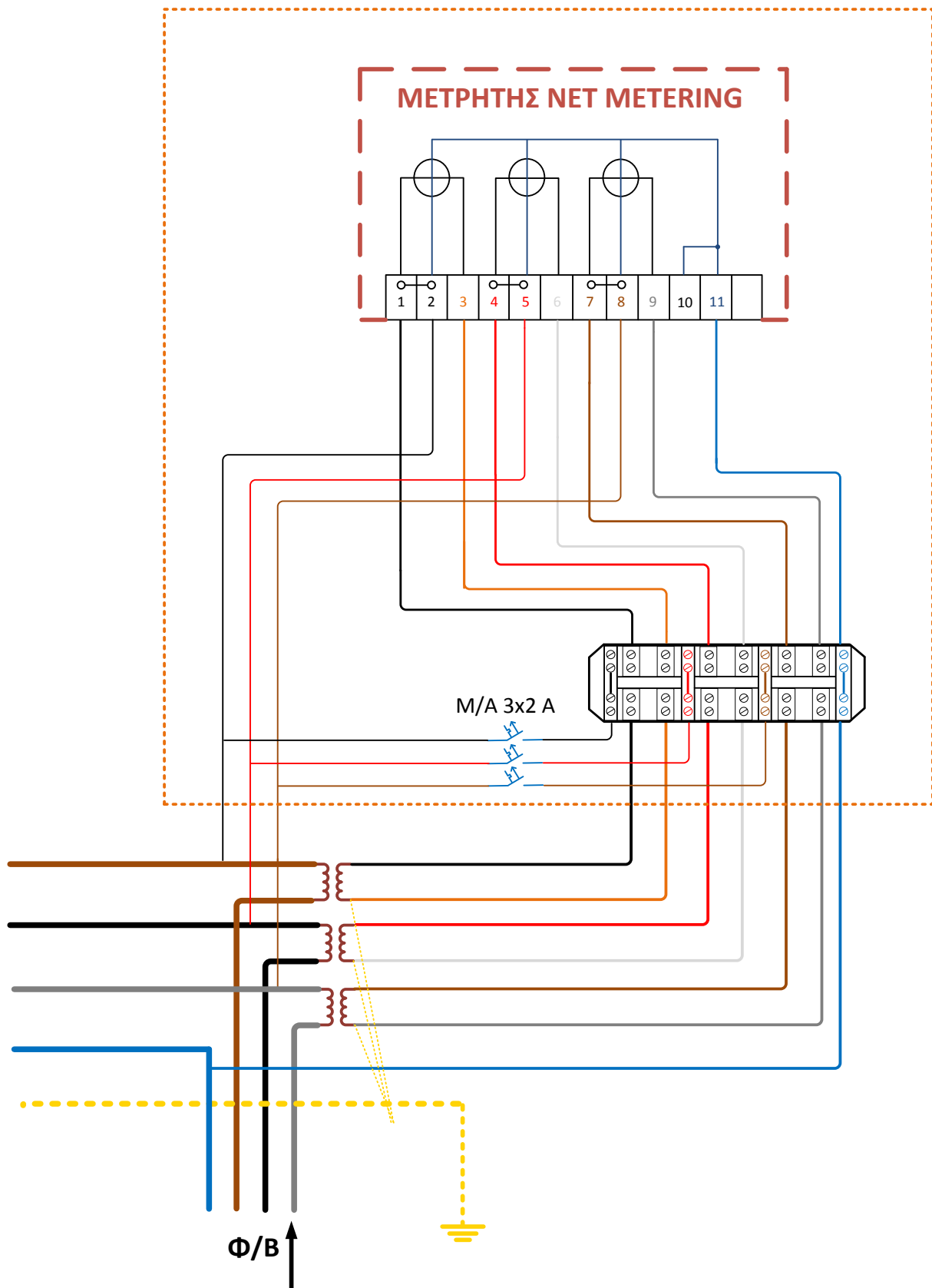
L2 Φάση: μαύρο

L3 Φάση: γκρι

Ουδέτερος : μπλε

Στο κάλυμμα του κιβωτίου του μετρητή θα πρέπει να υπάρχει ανεξίτηλη και ευδιάκριτη σήμανση <<Μετρητής αυτοπαραγωγής με συμψηφισμό>> και ο αριθμός παροχής του αυτοπαραγωγού, για να είναι διακριτό από τα κιβώτια μετρητών του ΔΕΔΔΗΕ.

ΚΙΒΩΤΙΟ ΜΕΤΡΗΤΗ



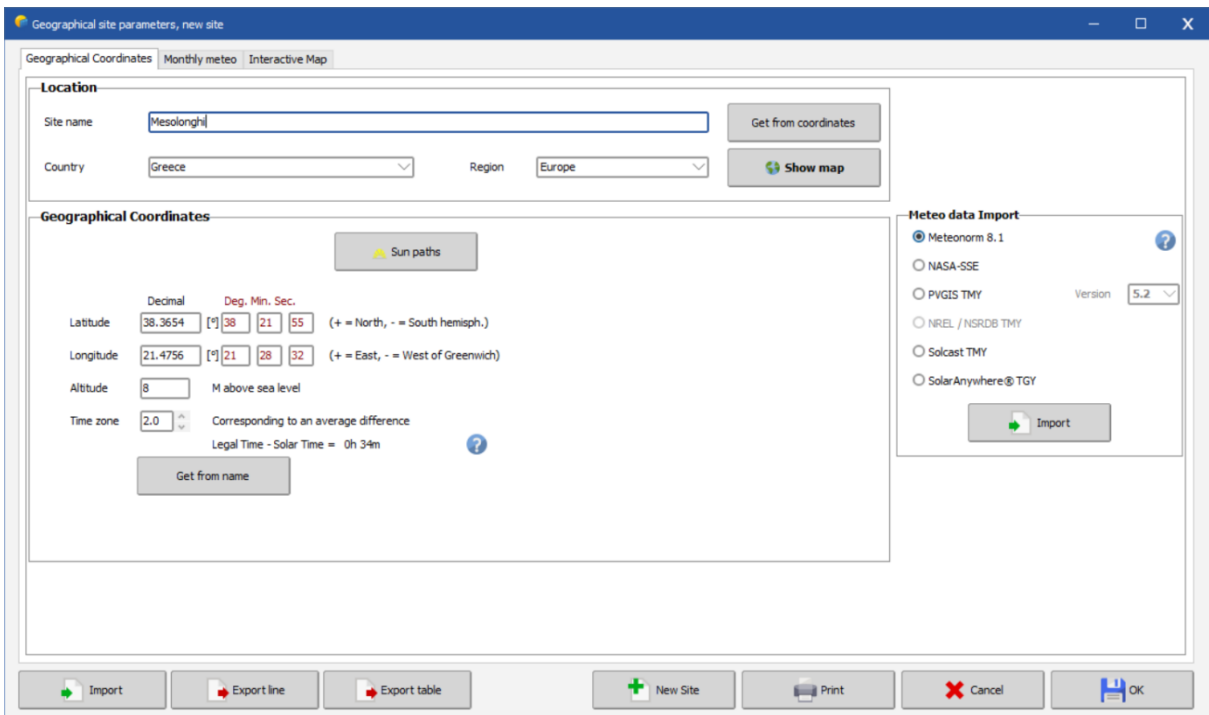
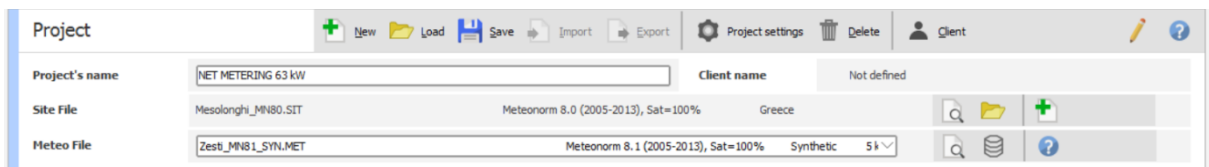
Σχήμα 3.37: Σχέδιο μετρητικής διάταξης

3.3 Μελέτη με το PVSYST



Βήμα 1: Προσανατολισμός (Orientation)

Ξεκινώντας το project εισάγουμε την χώρα και τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής αυτής με το ενσωματωμένο Meteornorm DLL.



Generation of Synthetic Hourly Meteo Values

Source data (site, monthly values)

Country / Region: Europe Site: Zesti Meteororm 8.1 (2005-2013), Sat=100% Open

Meteo file to be created (hourly data)

Type: Synthetic Site: Zesti Source: Meteororm 8.1 (2005-2013), Sat=100% File name: Zesti_MN81_SYN.MET Initial random seed: 1

	Global [kWh/m ² /day]	Diffuse [kWh/m ² /day]	Temper. [°C]
January	2.11	1.08	9.3
February	2.88	1.41	10.1
March	4.10	1.71	12.4
April	5.21	2.42	15.2
May	6.55	2.76	19.8
June	7.51	2.60	24.0
July	7.32	2.46	27.1
August	6.62	2.26	27.5
September	4.99	1.81	23.1
October	3.53	1.55	19.0
November	2.33	1.07	14.6
December	1.80	0.86	10.8
Year	4.59	1.83	17.7

Irradiation units:

- kWh/m²/day
- kWh/m²/mth
- MJ/m²/day
- MJ/m²/mth
- W/m²
- Clearness Index Kt

PVsyst will apply the synthetic generation and use the monthly diffuse to renormalise the hourly output values of diffuse.

Generation options

- Use Monthly Diffuse
- Region typology (for temperatures): Open site, open terrain, small incline, no raised skyline. Applies to m

Execute Generation Close

Βήμα 2: Προσανατολισμός (Orientation)

Αφού επιλεγεί η γεωγραφική θέση και το αρχείο κλίματος, ορίζουμε το αζιμούθιο και την κλίση των φ/β πάνελ. Τα ηλιακά πάνελ στο παράδειγμά μας θα εγκατασταθούν με σταθερή κλίση (Fixed Titled Plane). Ορίζουμε τη γωνία κλίσης και αζιμουθίου (31° και 0° δυτικά αντίστοιχα). Το αζιμούθιο ορίζεται από τη γωνία μεταξύ της νότιας κατεύθυνσης και της κατεύθυνσης όπου βλέπουν τα πάνελ. Οι γωνίες προς τα δυτικά θεωρούνται θετικές, ενώ οι γωνίες προς τα ανατολικά θεωρούνται αρνητικές.

The screenshot displays the 'Orientation' dialog box for a 'Fixed Titled Plane' field. The 'Field parameters' section shows a plane tilt of 31.0 degrees and an azimuth of 0.0 degrees. The 'Quick optimization' section is set to optimize for 'Yearly irradiation yield'. The 'Yearly meteo yield' is 1901 kWh/m², with a Transposition Factor FT of 1.14 and a loss of 0.0%. Two graphs show the irradiation yield versus plane tilt and plane orientation. The 'Cancel' button is red and the 'OK' button is green.

Parameter	Value
Field type	Fixed Titled Plane
Plane tilt	31.0
Azimuth	0.0
Optimization with respect to	Yearly irradiation yield
Yearly meteo yield	1901 kWh/m²
Transposition Factor FT	1.14
Loss with respect to optimum	0.0%

Βήμα 3: Σύστημα (System)

Εδώ ορίζουμε τις κύριες παραμέτρους του συστήματος, όπως τα φ/β πλαίσια, τον αντιστροφέα, στοιχειοσειρές, κτλ. Επιλέξαμε τα πάνελ LUXOR 535M/182-144, τον αντιστροφέα KOSTAL PICO CI 60, και φτιάξαμε 6 στοιχειοσειρές με 15 πλαίσια σε σειρά η κάθε μία οι οποίες θα τοποθετηθούν σε 3 MPPT, και στον 2 στοιχειοσειρές με 14 πλαίσια σε σειρά για τον τέταρτο MPPT.

The screenshot shows the configuration for 'Sub-array #1'. The 'Design the array' section is highlighted with a red box. It shows 15 modules in series and 6 strings, resulting in 90 modules and 233 m² area. The array nominal power is 48.2 kWp. The inverter is a Kostal PICO CI 60 with 4 MPPT inputs. The global system summary shows 118 modules, 305 m² area, 1 inverter, and a nominal PV power of 63.1 kWp.

Nb. of modules	118
Module area	305 m²
Nb. of inverters	1
Nominal PV Power	63.1 kWp
Maximum PV Power	66.2 kWDC
Nominal AC Power	60.0 kWAC
Prom ratio	1.052

The screenshot shows the configuration for 'Sub-array #2'. The 'Design the array' section is highlighted with a red box. It shows 14 modules in series and 2 strings, resulting in 28 modules and 72 m² area. The array nominal power is 15.0 kWp. The inverter is a Kostal PICO CI 60 with 4 MPPT inputs. The global system summary shows 118 modules, 305 m² area, 1 inverter, and a nominal PV power of 63.1 kWp.

Nb. of modules	118
Module area	305 m²
Nb. of inverters	1
Nominal PV Power	63.1 kWp
Maximum PV Power	66.2 kWDC
Nominal AC Power	60.0 kWAC
Prom ratio	1.052

Βήμα 4: Καθορισμός απωλειών (Detailed losses)

Ωμικές απώλειες λόγω της αντίστασης των καλωδίων στην DC και AC πλευρά του συστήματος

Concerned sub-array: PV Array

Thermal parameter: Ohmic Losses | Module quality - LID - Mismatch | Soiling Loss | IAM Losses | Auxiliaries | Aging | Unavailability | Spectral correction

DC circuit: ohmic losses for the subfield

Specified by:

- Global wiring resistance: 36.6 mΩ Calculated Default
- Loss fraction at STC: 0.47 % Default

Voltage Drop across series diode: 0.9 V Default

AC losses after the inverter

AC circuit: inverter to injection point (per inverter)

- Uses AC circuit ohmic loss
- per inverter Whole system
- Length inverter to injection: 10.0 m
- Loss fraction at STC: 0.23 %
- Wire section: 35 mm²
- Copper Alu
- Uses one or several MV transformers
- Uses a HV transformer

STC: Pac = 63.1 kW, Vac = 380 V Tr1, I = 95.9 A
Voltage drop at STC: 0.9 V (0.23%)

Buttons: System overview, Single-line diagram, Losses graph, Cancel, OK

Wiring layout

	Aver. length m/circuit	Section mm ²
One string : 15 modules		
String module connections	40	6 mm ²
Main box to inverter	10	4 mm ²

Please specify the total wire length for each circuit ("Sketch" button)

Per circuit		Global array
Current A	Resistance mΩ	Resistance mΩ
13.1	125	6 strings : 20.9
26.2	47	3 inverters : 15.7

Field global wiring resistance: 36.6 mΩ
MPP loss fraction at STC: 0.5 %
Total copper mass: 12 kg
Total wire cost: 0 EUR

Wiring layout

- Parallel strings
- Groups of parallel strings

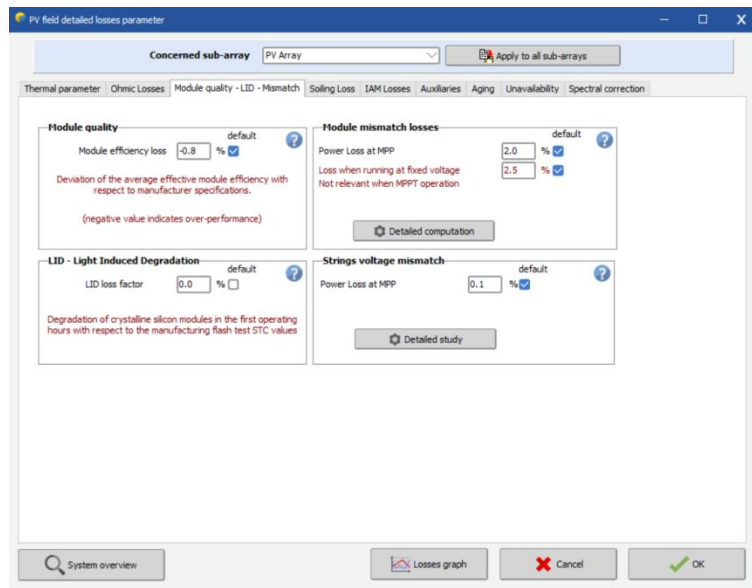
Optimization

Target loss fraction: 1.5 %

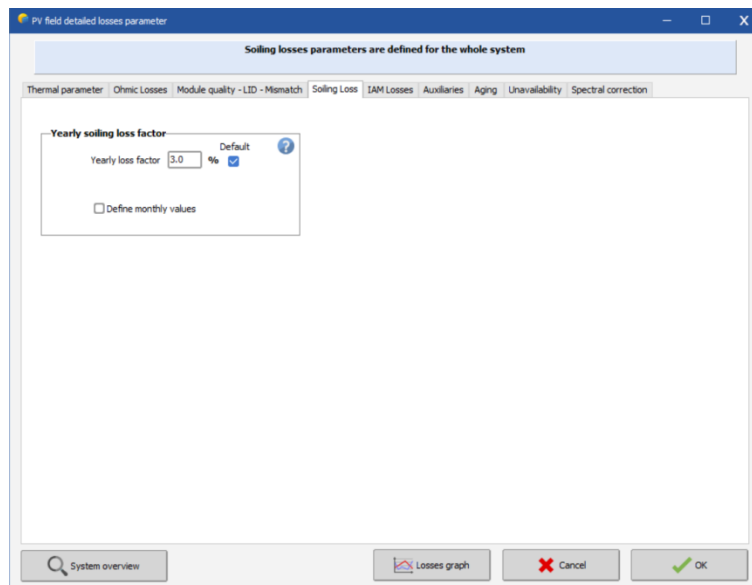
- Minimize copper mass
- Minimize cost

Buttons: Sketch, Wires, Cancel, OK

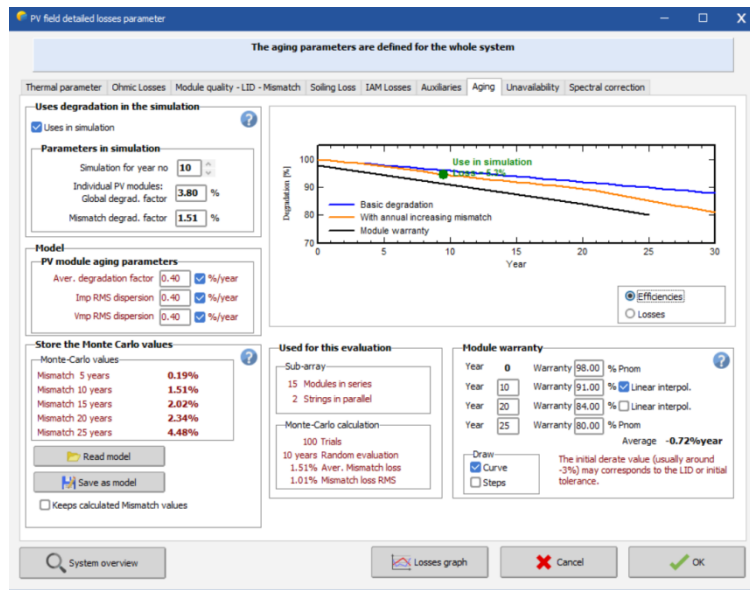
Απώλειες λόγω κακού ταιριάσματος των φ/β πλαισίων.



Απώλειες λόγω ρύπανσης των φ/β πλαισίων.



Συντελεστής γήρανσης φ/β πλαισίων



Variant

New
 Save
 Import
 Delete
 Manage

Variant n° : New simulation variant

Main parameters

- Orientation
- System
- Detailed losses
- Self-consumption
- Storage

Optional

- Horizon
- Near Shadings
- Module layout
- Energy management
- Economic evaluation

Simulation

- Run Simulation
- Advanced Simul.
- Report
- Detailed results

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: NET METERING 63 kW

Variant: New simulation variant

Sheds on ground

System power: 63.1 kWp

Mesolonghi - Greece



Project: NET METERING 63 kW

Variant: New simulation variant

PVsyst V7.3.1

VC0, Simulation date:
21/01/23 22:04
with v7.3.1

Project summary

Geographical Site	Situation	Project settings
Mesolonghi	Latitude 38.37 °N	Albedo 0.20
Greece	Longitude 21.55 °E	
	Altitude 21 m	
	Time zone UTC+2	
Meteo data		
Zesti		
Meteonorm 8.1 (2005-2013), Sat=100% - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System	Sheds on ground	User's needs
Simulation for year no 10	Near Shadings	Unlimited load (grid)
PV Field Orientation	Linear shadings	
Fixed plane		
Tilt/Azimuth 30 / 0 °		
System information		
PV Array	Inverters	
Nb. of modules 118 units	Nb. of units 1 unit	
Pnom total 63.1 kWp	Pnom total 60.0 kWac	
	Pnom ratio 1.052	

Results summary

Produced Energy	98953 kWh/year	Specific production	1567 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	82.61 %
-----------------	----------------	---------------------	-------------------	----------------	---------

PV Array Characteristics

PV module		Generic	Inverter		Generic
Manufacturer		Generic	Manufacturer		Generic
Model	LX-535M/182-144+		Model	Piko CI 60	
(Original PVsyst database)			(Original PVsyst database)		
Unit Nom. Power	535 Wp		Unit Nom. Power	60.0 kWac	
Number of PV modules	118 units		Number of inverters	1 unit	
Nominal (STC)	63.1 kWp		Total power	60.0 kWac	
Array #1 - PV Array					
Number of PV modules	90 units		Number of inverters	3 * MPPT 25% 0.8 unit	
Nominal (STC)	48.2 kWp		Total power	45.0 kWac	
Modules	6 Strings x 15 In series				
At operating cond. (25°C)					
Pmpp	48.2 kWp		Operating voltage	200-960 V	
U mpp	612 V		Max. power (=>25°C)	66.0 kWac	
I mpp	79 A		Pnom ratio (DC:AC)	1.07	
Array #2 - Sub-array #2					
Number of PV modules	28 units		Number of inverters	1 * MPPT 25% 0.3 unit	
Nominal (STC)	14.98 kWp		Total power	15.0 kWac	
Modules	2 Strings x 14 In series				
At operating cond. (25°C)					
Pmpp	14.99 kWp		Operating voltage	200-960 V	
U mpp	571 V		Max. power (=>25°C)	66.0 kWac	
I mpp	26 A		Pnom ratio (DC:AC)	1.00	
Total PV power					
Nominal (STC)	63 kWp		Total inverter power		
Total	118 modules		Total power	60 kWac	
Module area	305 m ²		Number of inverters	1 unit	
Cell area	280 m ²		Pnom ratio	1.05	
			Power sharing defined		

Array losses

Array Soiling Losses

Loss Fraction 3.0 %

Thermal Loss factor

Module temperature according to irradiance
 U_c (const) 20.0 W/m²K
 U_v (wind) 0.0 W/m²K/m/s

Serie Diode Loss

Voltage drop 0.7 V
 Loss Fraction 0.1 % at STC

Module Quality Loss

Loss Fraction -0.8 %

Module mismatch losses

Loss Fraction 2.0 % at MPP

Strings Mismatch loss

Loss Fraction 0.1 %

Module average degradation

Year no 10
 Loss factor 0.4 %/year

Mismatch due to degradation

Imp RMS dispersion 0.4 %/year
 Vmp RMS dispersion 0.4 %/year

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

DC wiring losses

Global wiring resistance 10 mΩ
 Loss Fraction 0.5 % at STC

Array #1 - PV Array

Global array res. 37 mΩ
 Loss Fraction 0.5 % at STC

Array #2 - Sub-array #2

Global array res. 94 mΩ
 Loss Fraction 0.4 % at STC

AC wiring losses

Inv. output line up to injection point

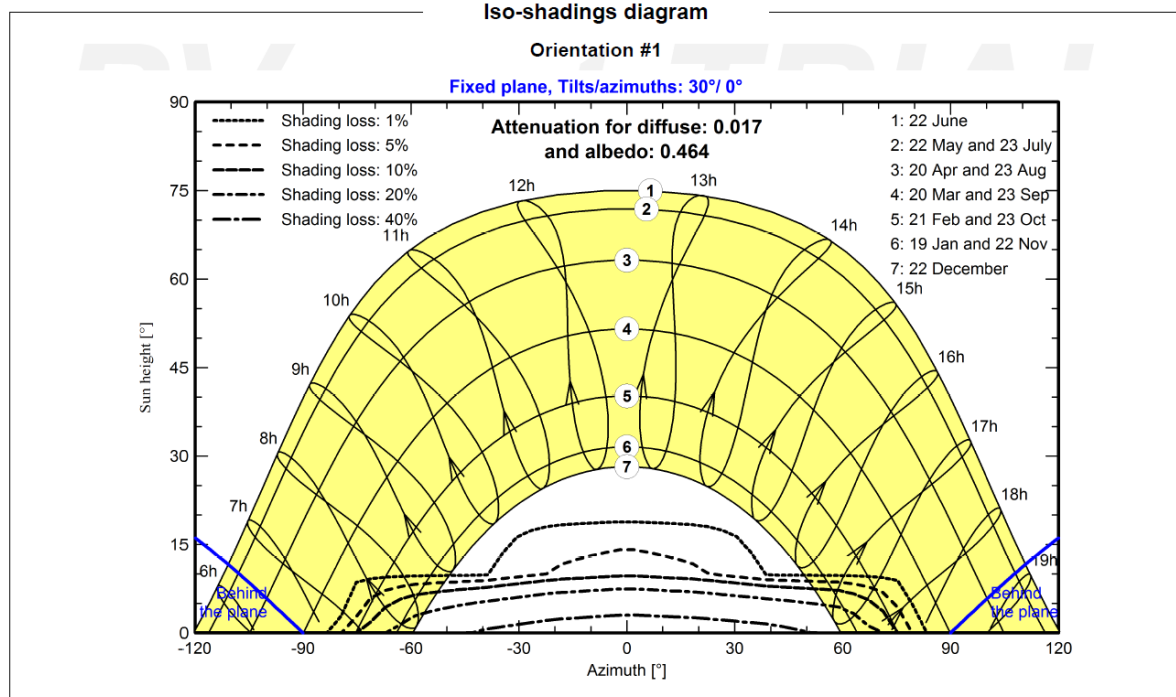
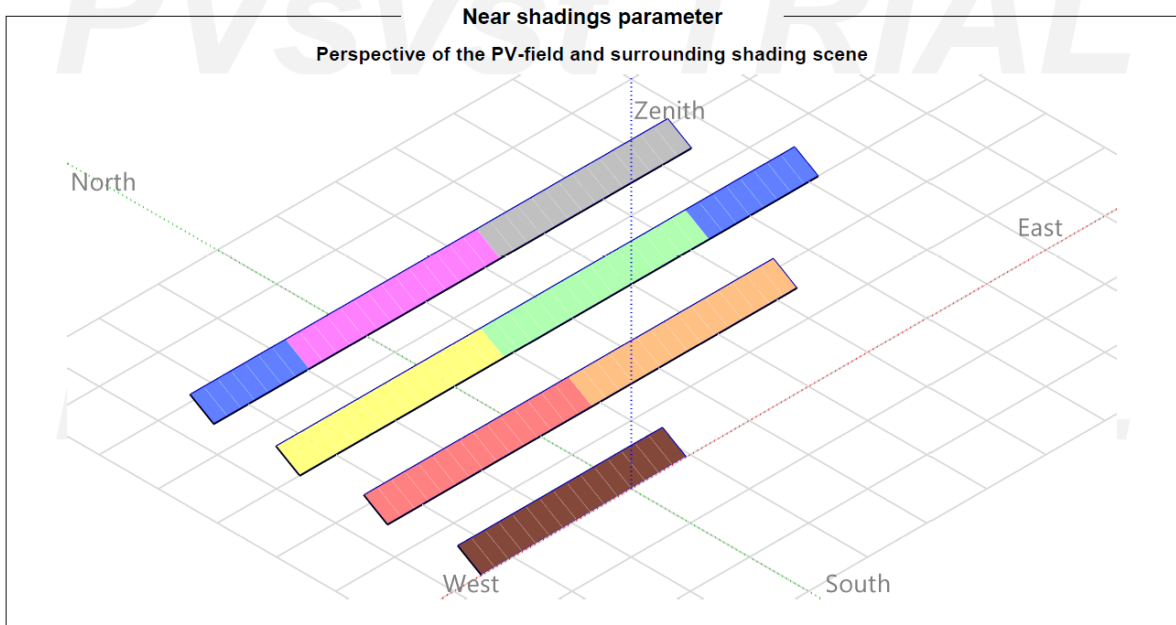
Inverter voltage 380 Vac tri
 Loss Fraction 0.13 % at STC

Inverter: Piko CI 60

Wire section (1 Inv.) Copper 1 x 3 x 50 mm²
 Wires length 10 m

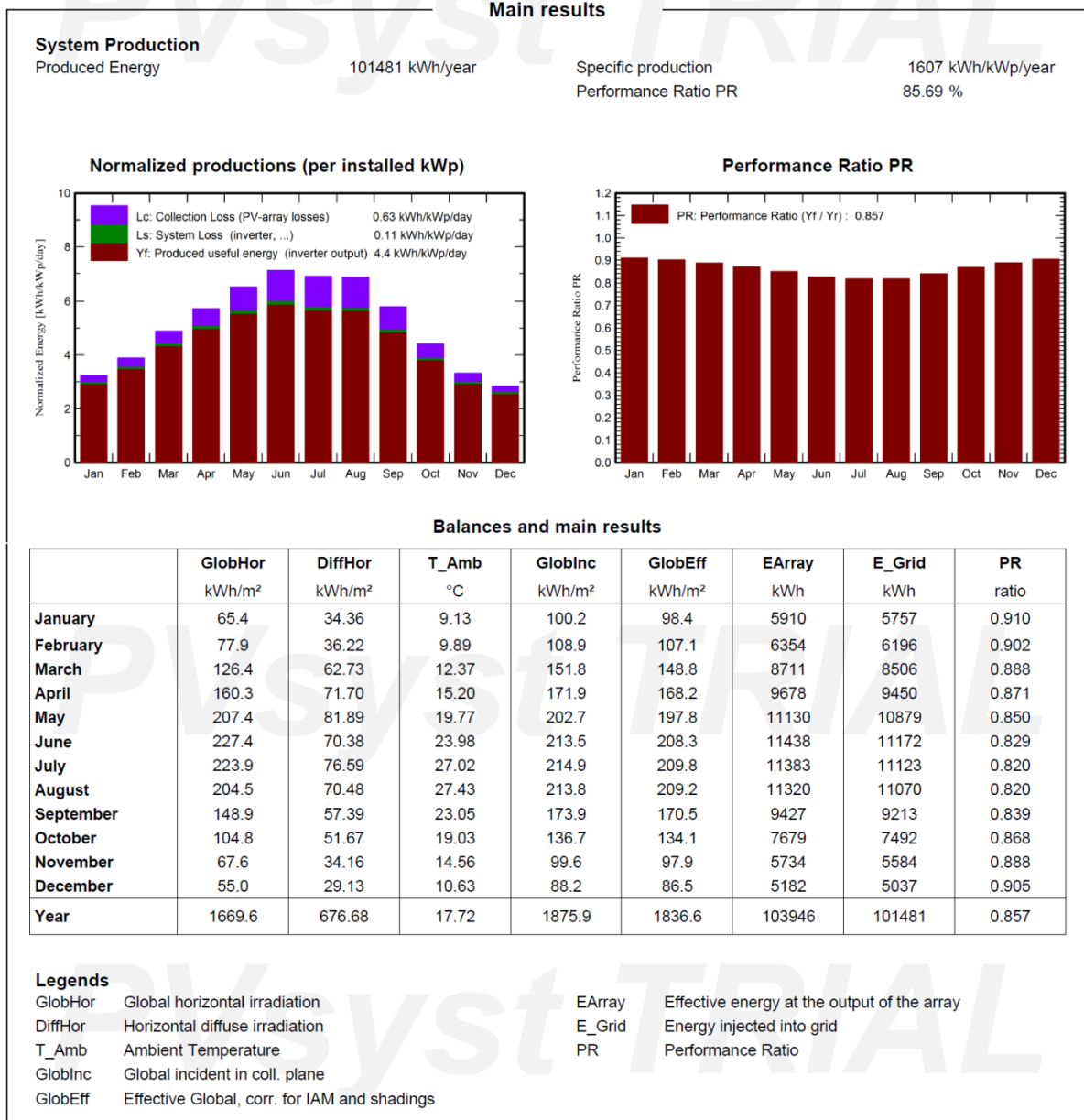
Inverter: Piko CI 60

Wire section (1 Inv.) Copper 1 x 3 x 25 mm²
 Wires length 0 m



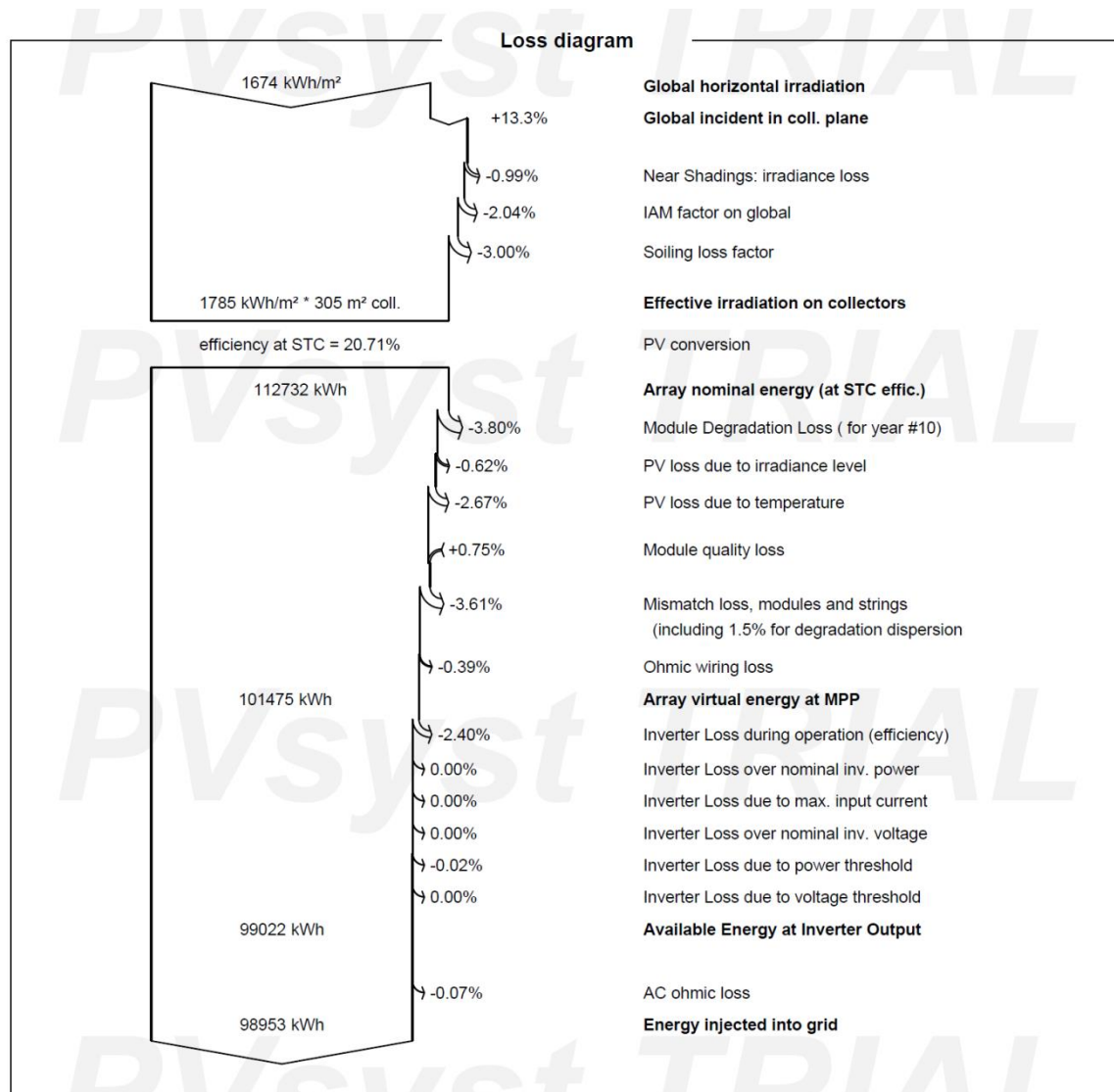
ζ

Κύρια αποτελέσματα προσομοίωσης



Εδώ απεικονίζονται τα υπόλοιπα και τα βασικά αποτελέσματα, τα οποία περιλαμβάνουν μεταβλητές όπως η συνολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος, η συνολική ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη και η ακτινοβολία μετά από ρύπανση και σκίαση απώλειες.

Διάγραμμα απωλειών ισχύος



Global Horizontal Irradiation: είναι η συνολική ηλιακή ακτινοβολία και της συνολικής ακτινοβολίας που υπολογίζεται ανά ώρα για ένα έτος σε μια οριζόντια επιφάνεια.

Global incident in collection plane: είναι η πραγματική ακτινοβολία που φτάνει στις φ/β μονάδες.

Near Shading: απώλειες σκίασης λόγω άμεσης σκίασης που θα προκαλέσει η νοτιότερη στην αμέσως επόμενη.

IAM factor on global: σχετίζεται με τη μείωση της ακτινοβολίας που φτάνει στο φωτοβολταϊκό στοιχείο λόγω της διάθλασης των ακτίνων του ήλιου όταν διέρχεται από την αντανάκλαστική επιστροφή και το γυαλί της φωτοβολταϊκής μονάδας. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία πρόσπτωσης (σε σχέση με τη θέση του ήλιου), τόσο μεγαλύτερη είναι η απώλεια.

Soiling Loss Factor: οποιαδήποτε αναμενόμενη απώλεια λόγω ρύπανσης (σκόνη, κ.λπ.).

PV Conversion: απόδοση της φ/β μονάδας σε συνθήκες STC.

Module Degradation Loss: γήρανση των μονάδων.

Array nominal energy (at STC efficiency): the PV conversion efficiency multiplied by the effective irradiance on collectors.

PV loss due to irradiance level: η μειωμένη απόδοση των φ/β μονάδων σε συνθήκες χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας.

PV loss due to temperature: εκφράζει τη μειωμένη απόδοση λόγω αλλαγής θερμοκρασίας.

Mismatch loss modules and strings: Απώλειες λόγω κακού ταιριάσματος των φ/β πλαισίων

Ohmic wiring loss: Ωμικές απώλειες λόγω πτώση τάσης στις DC καλωδιώσεις του φ/β συστήματος

Inverter loss during operation (efficiency): Η απόδοση μετατροπής από DC σε AC του μετατροπέα

Inverter loss over nominal inv. power: Απώλειες ισχύος σε συνθήκες υπερφόρτωσης όπου η φ/β γεννήτρια παράγει περισσότερη ισχύ συνεχούς ρεύματος από τη μέγιστη έξοδο AC του μετατροπέα.

Inverter loss due to power threshold: Η απώλεια ενέργειας όταν η φ/β γεννήτρια λειτουργεί κάτω από το ελάχιστο όριο ισχύος του μετατροπέα.

Inverter loss over nominal inverter voltage: Η απώλεια ενέργειας όταν η φ/β γεννήτρια παράγει τάση μικρότερη από το εύρος τάσης MPP του μετατροπέα.

Inverter loss due to voltage threshold: Η απώλεια ενέργειας όταν η φ/β γεννήτρια παράγει τάση πάνω από το εύρος τάσης MPP του μετατροπέα.

AC ohmic loss: Ωμικές απώλειες λόγω πτώση τάσης στις AC καλωδιώσεις

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Ν. Σχοινάς**, *Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Ισχύος, σημειώσεις θεωρίας*
2. **Η. Σταθάτος**, *Φωτοβολτικά Συστήματα και Εφαρμογές, σημειώσεις θεωρίας*
3. **Ε. Φραγκιαδάκης**, *Φωτοβολτικά Συστήματα 3^η έκδοση 2009*
4. **Β. Μπιτζιώνης**, *Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις 2^η έκδοση 2015*
5. **Σ. Μανιάς**, *Ηλεκτρονικά Ισχύος 2014*
6. **Κ. Σαββάκης**, *Τεχνολογία Υλικών 3^η έκδοση 2010*
7. **ΚΑΠΕ**, *Οδηγίες για την εγκατάσταση φ/β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις*
8. **Σύνδεσμος εταιριών φωτοβολταϊκών**, https://helapco.gr/pdf/HELAPCO_Net_Metering.pdf
9. **ΔΕΔΔΗΕ**, [https://deddie.gr/Documents2/net%20metering/T%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%B5%CE%B3%CF%87%CE%B5%CE%B9%CF%81%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF%20%CE%B3%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82%20%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CF%84%CE%B1%CE%BE%CE%B7%CF%82%20%CF%83%CF%84%CE%B9%CF%82%20%CE%B5%CF%83%CF%89%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CF%8E%CE%BD%20%CE%BC%CE%B5%20%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%20%CF%83%CF%85%CE%BC%CF%88%CE%B7%CF%86%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C\(%20%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B8.4%CE%BF%CF%82%202016\).pdf](https://deddie.gr/Documents2/net%20metering/T%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CE%B5%CE%B3%CF%87%CE%B5%CE%B9%CF%81%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%BF%20%CE%B3%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B7%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82%20%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CF%84%CE%B1%CE%BE%CE%B7%CF%82%20%CF%83%CF%84%CE%B9%CF%82%20%CE%B5%CF%83%CF%89%CF%84%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CF%8E%CE%BD%20%CE%BC%CE%B5%20%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%20%CF%83%CF%85%CE%BC%CF%88%CE%B7%CF%86%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C(%20%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B8.4%CE%BF%CF%82%202016).pdf)
10. **ΔΕΗ**, <https://www.dei.gr/el/oikiakoi-pelates/xrisimes-plirofories-gia-to-logariasmo-sas/net-metering>
11. <https://www.kostal-solar-electric.com>
12. <https://www.luxor.solar/en/>
13. **ABB**, *Λύσεις για φωτοβολταϊκά Έλεγχος και Προστασία*
[https://library.e.abb.com/public/9a42596531ab463793c5219d28234f38/CTLG%20SOLAR%20GR%202012%20\(1\).pdf](https://library.e.abb.com/public/9a42596531ab463793c5219d28234f38/CTLG%20SOLAR%20GR%202012%20(1).pdf)
14. <https://www.mp-energy.gr/>
15. <https://www.pvsyst.com/>

16. <https://www.e-education.psu.edu/ae868/node/904>
17. <https://www.altestore.com/blog/2018/11/grid-tied-solar-breaker-box-120-percent-rule/#.ZA494nZBypp>
18. <https://new.selasenergy.gr/fotovoltaika/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%AF%CF%83%CE%B9%CE%B1/>
19. <https://pvcase.com/blog/fixed-tilt-vs-tracker-system-comparison-for-ground-mounted-pv-systems/>

