



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

**ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ
ΣΤΕΓΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βησσάριος Ν. Σπαθής

Επιβλέπων : Μαρία-Παρασκευή Γ. Ιωαννίδου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ
ΣΤΕΓΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βησσάριος Ν. Σπαθής

Επιβλέπων : Μαρία-Παρασκευή Γ. Ιωαννίδου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

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

.....
Μαρία Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2016

.....
Βησάριος Ν. Σπαθής

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Βησάριος Ν. Σπαθής 2016
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται η μελέτη εσωτερικής ηλεκτρολογικής εγκατάστασης (ΕΗΕ) κατοικίας σε οικισμό της Σαλαμίνας με συνδυασμό τη χρήση φωτοβολταϊκής (Φ/Β) γεννήτριας τοποθετημένη στη στέγη της οικίας, ώστε να εξασφαλιστεί η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο με μηδενικό κόστος, σύμφωνα με υπουργική απόφαση σχετικά με την εγκατάσταση ΑΠΕ από αυτοπαραγωγούς με συμψηφισμό ενέργειας κατ' εφαρμογή του άρθρου 14Α του ν.3468/2006, για όλη την περίοδο λειτουργίας της Φ/Β εγκατάστασης.

Στην πρώτη ενότητα της εργασίας που αφορά την ΕΗΕ περιγράφεται αναλυτικά η μελέτη εγκατάστασης σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD και παρουσιάζονται τα μονογραμμικά διαγράμματα κάτοψης, παροχής και γενικού πίνακα, όπως και το πολυγραμμικό σχέδιο του γενικού πίνακα.

Στη δεύτερη ενότητα της εργασίας παρουσιάζεται αναλυτικά η λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων και αναλύεται η Φ/Β μονάδα 10kWp που θα εγκατασταθεί στην οικία. Πραγματοποιείται υπολογισμός της ενέργειας που αναμένεται να καταναλώνει η κατοικία σε ετήσια βάση, ώστε η παραγόμενη αντίστοιχη με τη μέθοδο συμψηφισμού ενέργειας από καταναλωτές, να επαρκεί και να επιτυγχάνεται 25ετή περίοδος χωρίς να χρειάζεται να πληρωθεί αντίστοιχο τίμημα στον πάροχο.

Το πρόγραμμα προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε είναι το RETScreen Expert, για τον υπολογισμό του μεγέθους της Φ/Β εγκατάστασης ώστε να καλύψει την απαιτούμενη ετήσια ενέργεια που απορροφά από το δίκτυο η οικία σε kWh.

Βησάριος Σπαθής,
Αθήνα, Δεκέμβριος 2016

Λέξεις κλειδιά:

Εσωτερική ηλεκτρολογική εγκατάσταση, διακόπτες, χαμηλή τάση, καλώδια, ηλεκτρική κατανάλωση, πτώση τάσης, μονογραμμικό διάγραμμα, φωτοβολταϊκό, πάνελ, συμψηφισμός ενέργειας.

ABSTRACT

In this project is described the internal electrical installation design of a house in Salamina settlement, by combining the use of photovoltaic (P/V) generator located on the roof of the house, to ensure the supply of electricity from the grid at no cost, according to Decree on installing RES with net metering energy system pursuant to article 14A of L.3468/2006, for the whole period of operation of the (P/V) installation.

In the first section of the project on the internal electrical installation is described the installation study in detail according to the ELOT HD and presented the monorail diagrams of floor plan, flow meter and general table, such as the polyline plan of the general table.

In the second section of the project in detail shows the operation of P/V systems and analyzing a P/V unit 10kWp which is going to be installed in the house. Calculation of the energy that will be consumed by the house every year, so the output corresponding to sufficient, using the method of net metering from consumers and to achieve a 25-years period without having to pay the corresponding price to the provider.

The simulation program used is RETScreen Expert for calculating the size of the P/V installation to cover the required annual energy input of the house from the grid in kWh.

Vissarios Spathis,
Athens, December 2016

Key words:

Internal electrical installation, switches, low voltage, cables, power consumption, voltage drop, monorail diagram, photovoltaic, panel, net metering.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτριά μου Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και μου πρόσφερε αυτήν την ευκαιρία ώστε να αναλάβω αυτήν την εργασία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συμπαράσταση και την υπομονή που έδειξε κατά τα φοιτητικά μου χρόνια και που μου συμπαραστάθηκαν σε όλες τις δυσκολίες που αντιμετώπισα.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου για τη βοήθεια που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή μελέτης εσωτερικής ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.....	14
1.1. Εισαγωγή	14
1.2. Σύνταξη μελέτης εσωτερικής ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.....	14
1.3. Βασικά μέρη οικιακής εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Διατάξεις προστασίας	16
2.1. Εισαγωγή	16
2.2. Γείωση.....	17
2.1.1. Εισαγωγή	17
2.2.2. Γείωση προστασίας.....	17
2.2.3. Λειτουργική γείωση	18
2.2.4. Τρίγωνο γείωσης.....	19
2.2.5. Αντικεραυνική προστασία.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Μέσα προστασίας	21
3.1. Διακόπτες.....	21
3.1.1. Ηλεκτρικές ιδιότητες διακοπών	22
3.1.2. Διακόπτες ηλεκτρικών κυκλωμάτων.....	23
3.2. Ασφάλειες.....	24
3.2.1. Αυτόματες ασφάλειες	24
3.3. Διακόπτες διαφυγής έντασης (Δ.Δ.Ε.).....	27
3.4. Διακόπτες φωτιστικών σημείων.....	29
3.5. Ρευματοδότες	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Καλώδια ΕΗΕ	30
4.1. Καλώδια – Ηλεκτρικοί Αγωγοί.....	30
4.2. Επιτρεπόμενη ένταση αγωγών	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Ηλεκτρολογική μελέτη εγκατάστασης.....	35
5.1. Εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς	35
5.2. Συμφωνημένη ηλεκτρική ισχύς.....	36
5.3. Συντελεστής ταυτοχρονισμού.....	36
5.4. Στοιχεία της ηλεκτρολογικής γραμμής εγκατάστασης	38
5.5. Πτώση τάσης σε ηλεκτρικές οικιακές εγκαταστάσεις.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Υπολογισμός γραμμών παροχής.....	40
6.1. Γραμμή ηλεκτρικής κουζίνας	40
6.2. Γραμμή φούρνου.....	42
6.3. Γραμμή θερμοσίφωνα	43
6.4. Γραμμή κλιματιστικού σαλονιού	43
6.5. Γραμμή πλυντηρίου πιάτων	44
6.6. Γραμμή πλυντηρίου ρούχων	45
6.7. Γραμμή στεγνωτήριου	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Υπολογισμός γραμμών φωτισμού.....	47
7.1. Γραμμή δωματίου κουζίνας	47

7.2. Γραμμή των δύο μπάνιων και καθαριστήριου	48
7.3. Γραμμή δωματίου 1	49
7.4. Γραμμή δωματίου 2	50
7.5. Γραμμή δωματίου 3	51
7.6. Γραμμή διαδρόμου και αποθήκης	53
7.7. Γραμμή Σαλονιού 1	54
7.8. Γραμμή Σαλονιού 2	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: Μετρητής παροχής ενέργειας	55
8.1. Υπολογισμός γραμμής μετρητή-πίνακα	56
8.2. Μονογραμμικό διάγραμμα γενικού πίνακα	60
8.3. Πολυγραμμικό διάγραμμα γενικού πίνακα	62
8.4. Μονογραμμικό διάγραμμα κάτοψης	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο: Ηλιακή ακτινοβολία	62
9.1. Εισαγωγή	62
9.2. Ηλιακή ενέργεια	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο: Φωτοβολταϊκό σύστημα	68
10.1. Εισαγωγή	68
10.2. Αρχή λειτουργίας Φ/Β φαινομένου	69
10.2.1. Ημιαγωγοί	69
10.2.2. Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών	70
10.2.3. Δημιουργία του ηλεκτρικού πεδίου	70
10.2.4. Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας	71
10.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων	72
10.4. Κύρια μέρη Φ/Β συστήματος	73
10.5. Το Φ/Β στοιχείο	73
10.5.1. Το Φ/Β στοιχείο πυριτίου (Si)	77
10.6. Το Φ/Β πλαίσιο	78
10.6.1. Εισαγωγή	78
10.6.2. Σύνδεση παράλληλα και εν σειρά	78
10.6.3. Επίδραση έντασης ακτινοβολίας και θερμότητας	80
10.6.4. Η επίδραση της σκίασης	82
10.6.5. Ενδεικτική απόδοση Φ/Β ανάλογα με προσανατολισμό και κλίση	85
10.7. Βάσεις στήριξης Φ/Β	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο: Τύποι Φ/Β συστημάτων	89
11.1. Φ/Β πυριτίου μεγάλου πάχους	89
11.1.1. Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου	89
11.1.2. Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου	90
11.1.3. Φ/Β στοιχεία ταινίας πυριτίου	91
11.2. Φ/Β υλικά λεπτών επιστρώσεων	91
11.2.1. Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός	91
11.2.2. Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου	92
11.2.3. Τελουριούχο κάδμιο	92
11.2.4. Αρσενικούχο γάλλιο	93
11.3. Υβριδικά Φ/Β στοιχεία	93
11.4. Άλλες τεχνολογίες	94

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο :Υπόλοιπα μέρη Φ/Β συστήματος.....	94
12.1. Αντιστροφείς.....	94
12.1.1. Εισαγωγή	94
12.1.2. Επιλογή χώρου εγκατάστασης ηλεκτρικών μετατροπέων	96
12.1.3. Μονοφασικός αντιστροφέας πλήρους γέφυρας	97
12.1.4. Τριφασικός αντιστροφέας.....	97
12.2. Καλώδια	98
12.2.1. Εισαγωγή	98
12.2.2. Θερμοκρασία.....	98
12.2.3. Πλευρά συνεχούς ρεύματος	99
12.2.4. Πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος	100
12.3. Γείωση και αντικεραυνική προστασία.....	101
12.3.1. Γείωση Φ/Β συστήματος	101
12.3.2. Αντικεραυνική προστασία Φ/Β συστήματος	102
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13^ο :Αυτοπαραγωγή με συμψηφισμό ενέργειας (Net Metering).....	103
13.1. Εισαγωγή	103
13.2. Πλεονεκτήματα	104
13.3. Μετρητική διάταξη παραγωγής (net metering).....	104
13.4. Χώρος εγκατάστασης μετρητικής διάταξης	106
13.5. Εξοπλισμός μετρητικής διάταξης	106
13.5.1. Κιβώτιο διακλάδωσης – Διάταξη ασφαλούς απομόνωσης.....	107
13.6. Υπολογισμός καταναλισκόμενης ενέργειας.....	108
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14^ο :Μελέτη Φ/Β συστήματος κατοικίας	111
14.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β πάνελ	111
14.2. Υπολογισμός Φ/Β γεννήτριας	112
14.2.1. Κλιματολογικές συνθήκες	112
14.3. Αντιστροφέας	113
14.4. Φ/Β συστοιχία και διαστασιολόγηση	115
14.5. Καλώδια DC	118
14.6. Καλώδια AC	121
14.7. Γείωση Φ/Β εγκατάστασης.....	122
14.7.1. Γείωση προστασίας.....	122
14.7.2. Διατάξεις προστασίας.....	123
14.7.3. Μονογραμμικό διάγραμμα Φ/Β συστήματος	124
14.7.4. Μονογραμμικό διάγραμμα κάτοψης Φ/Β συστήματος.....	126
Συμπεράσματα.....	128
Βιβλιογραφία	129

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: Επεξήγηση του κυκλώματος της γείωσης προστασίας (ή γείωσης μεταλλικών περιβλημάτων).....	18
Σχήμα 2: Σχηματική διάταξη αγωγών μετρητή – γενικού πίνακα	19
Σχήμα 3: Τυπική διάταξη γείωσης με τρία ηλεκτρόδια τοποθετημένα σε σχήμα ισόπλευρου τριγώνου	20
Σχήμα 4: Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης κουζίνας.....	41
Σχήμα 5: Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης φούρνου	42
Σχήμα 6: Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης θερμοσίφωνα.....	43
Σχήμα 7: Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης κλιματιστικού σαλονιού.....	44
Σχήμα 8: Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης πλυντηρίου πιάτων.....	45
Σχήμα 9: Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης πλυντηρίου ρούχων.....	44
Σχήμα 10: Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης στεγνωτηρίου.....	46
Σχήμα 11: Μονογραμμικό διάγραμμα κουζίνας.....	48
Σχήμα 12: Μονογραμμικό διάγραμμα μπάνιων, καθαριστηρίου	49
Σχήμα 13: Μονογραμμικό διάγραμμα δωματίου 1	50
Σχήμα 14: Μονογραμμικό διάγραμμα δωματίου 2	51
Σχήμα 15: Μονογραμμικό διάγραμμα δωματίου 3	52
Σχήμα 16: Μονογραμμικό διάγραμμα διαδρόμου και αποθήκης.....	54
Σχήμα 17: Μονογραμμικό διάγραμμα σαλόνι 1	55
Σχήμα 18: Μονογραμμικό διάγραμμα σαλόνι 2.....	56
Σχήμα 19: Μονογραμμικό διάγραμμα μετρητή – γενικού πίνακα	59
Σχήμα 20: Μονογραμμικό διάγραμμα γενικού πίνακα.....	60
Σχήμα 21: Πολυγραμμικό διάγραμμα γενικού πίνακα	62
Σχήμα 22: Μονογραμμικό διάγραμμα κάτοψης.....	64
Σχήμα 23: Μοντέλο ιδανικού Φ/Β στοιχείου	74
Σχήμα 24: Πραγματικό μοντέλο Φ/Β στοιχείου.....	75
Σχήμα 25: Παράλληλη σύνδεση κελιών.....	79
Σχήμα 26: Σε σειρά σύνδεση κελιών	80
Σχήμα 27: Δίοδος ρεύματος διαμέσου της διόδου παράκαμψης σε περίπτωση πλήρους σκίασης	83
Σχήμα 28: Περίπτωση μερικώς σκιασμένου κελιού.....	84
Σχήμα 29: Χαρακτηριστική I-V καμπύλη με ένα κελί μερικώς σκιασμένο με χρήση διόδων παράκαμψης.....	84
Σχήμα 30: Διάταξη μονοφασικού αντιστροφέα πλήρους γέφυρας	97
Σχήμα 31: Διάταξη τριφασικού αντιστροφέα	98
Σχήμα 32: Διάταξη γείωσης Φ/Β μέχρι τον αντιστροφέα.....	102
Σχήμα 33: Τοπολογία σε μετρητικές διατάξεις ενεργειακού συμψηφισμού.	105
Σχήμα 34: Μονογραμμικό Διάγραμμα τριφασικού μετρητή ΦΒ ισχύος έως 55 kWp.....	107
Σχήμα 35: Μονογραμμικό διάγραμμα Φ/Β συστήματος.....	124
Σχήμα 36: Διάγραμμα κάτοψης Φ/Β εγκατάστασης.....	126

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1:	Ενδεικτικές τιμές ειδικής αντίστασης ρ	21
Πίνακας 2:	Τυποποιημένα μεγέθη διακοπών για χρήση σε ηλεκτρικό πίνακα	24
Πίνακας 3:	Τυποποιημένα μεγέθη αυτόματων ασφαλειών για χρήση σε ηλεκτρικό πίνακα ..	26
Πίνακας 4:	Επιλογή αυτόματης ασφάλειας, ανάλογα με τη διατομή αγωγού και τη μεγιστη επιτρεπόμενη ένταση που τον διαρρέει	26
Πίνακας 5:	Μέγιστες θερμοκρασίες αγωγών κατά τη λειτουργία ανάλογα με το υλικό.....	32
Πίνακας 6:	Μέγιστα επιτρεπτά ρεύματα εντοιχισμένων (χωνευτών) ηλεκτρικών γραμμών με μόνωση από PVC σε σωλήνα (ΕΛΟΤ HD 384)	33
Πίνακας 7:	Συντελεστής διόρθωσης με τη θερμοκρασία (ΕΛΟΤ HD 384)	33
Πίνακας 8:	Συνολική διάμετρος καλωδίου NYM(re) ή A05VV-U	34
Πίνακας 9:	Επιτρεπτό μέγεθος καλωδίων, για τοποθέτηση σε προστατευτικούς σωλήνες, ορατούς ή χωνευτούς.....	34
Πίνακας 10:	Περιγραφή φορτίων οικίας	36
Πίνακας 11:	Τιμές συντελεστή ταυτοχρονισμού που λαμβάνονται στην τροφοδοσία ηλεκτρικών κυκλωμάτων, για τυποποιημένες παροχές Χ.Τ. (πηγή ΔΕΗ).....	37
Πίνακας 12:	Κωδικοποίηση 3Φ παροχής με βάση την Ισχύ Συμμετοχής (συμφωνημένη ισχύ) (πηγή ΔΕΔΔΗΕ).....	37
Πίνακας 13:	Κωδικοποίηση 3Φ τυποποιημένων παροχών	38
Πίνακας 14:	Περιλαμβάνει τις γραμμές που αναχωρούν από ηλεκτρικό πίνακα της οικίας με τα στοιχεία που τις αποτελούν	39
Πίνακας 15:	Συνολικό ρεύμα γραμμής κουζίνας	47
Πίνακας 16:	Συνολικό ρεύμα γραμμής μπάνιων	48
Πίνακας 17:	Συνολικό ρεύμα γραμμής δωματίου 1	49
Πίνακας 18:	Συνολικό ρεύμα γραμμής δωματίου 2	50
Πίνακας 19:	Συνολικό ρεύμα γραμμής δωματίου 3	52
Πίνακας 20:	Συνολικό ρεύμα γραμμής διαδρόμου	53
Πίνακας 21:	Συνολικό ρεύμα γραμμής σαλονιού 1	54
Πίνακας 22:	Συνολικό ρεύμα γραμμής σαλονιού 2	55
Πίνακας 23:	Προσδιορισμός ρευμάτων ανά φάση στο γενικό πίνακα.....	60
Πίνακας 24:	Απόδοση Φ/Β ανάλογα με κλίση και προσανατολισμό	86
Πίνακας 25:	Απαιτήσεις διασύνδεσης σύμφωνα και με τις οδηγίες του Διαχειριστή Δικτύου	95
Πίνακας 26:	Συντελεστής διόρθωσης εντάσεων φόρτισης.....	100
Πίνακας 27:	Χαρακτηριστικά καλωδίου H07RN-F.....	101
Πίνακας 28:	Τυπικός υπολογισμός φορτίων ΕΗΕ ημερήσιας κατανάλωσης	109
Πίνακας 29:	Ετήσια κατανάλωση ενέργειας της κατοικίας	110
Πίνακας 30:	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πάνελ SPR-E-19-320	111
Πίνακας 31:	Θερμικά χαρακτηριστικά πάνελ SPR-E-19-320	112
Πίνακας 32:	Διαστάσεις πάνελ SPR-E-19-320	112
Πίνακας 33:	Κλιματολογικά δεδομένα (Πηγή: NASA)	113
Πίνακας 34:	Χαρακτηριστικά εισόδου αντιστροφέα.....	114
Πίνακας 35:	Χαρακτηριστικά εξόδου αντιστροφέα	115
Πίνακας 36:	Βαθμός απόδοσης αντιστροφέα	115
Πίνακας 37:	Κλιματολογικές ανοχές αντιστροφέα.....	115
Πίνακας 38:	Περιγραφή παραγόμενης ενέργειας.....	116

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Μέσα προστασίας στην αρχή του γενικού πίνακα	29
Εικόνα 2: Τροχιά του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους	66
Εικόνα 3: Χάρτης ηλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα	67
Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας	68
Εικόνα 5: Περιγραφή ενός ατόμου πυριτίου.....	69
Εικόνα 6: Περιγραφή ενός ατόμου αρσενικού.....	70
Εικόνα 7: Περιγραφή ενός ατόμου βορίου	70
Εικόνα 8: Επαφή ημιαγωγού τύπου p-n	71
Εικόνα 9: Αρχή λειτουργίας του Φ/Β φαινόμενου.....	72
Εικόνα 10: Χαρακτηριστική $I-V$ ιδανικού Φ/Β στοιχείου	74
Εικόνα 11: Χαρακτηριστική $I-V$ πραγματικού Φ/Β στοιχείου ως προς R_s	75
Εικόνα 12: Χαρακτηριστική $I-V$ πραγματικού Φ/Β στοιχείου ως προς R_p	76
Εικόνα 13: Χαρακτηριστική $I-V$ πραγματικού Φ/Β στοιχείου με σημείο μέγιστης ισχύος..	77
Εικόνα 14: Χαρακτηριστική $I-V$ Φ/Β πάνελ σε παράλληλη σύνδεση	79
Εικόνα 15: Χαρακτηριστική $I-V$ Φ/Β πάνελ με σύνδεση σε σειρά.....	80
Εικόνα 16: Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην καμπύλη I-V ηλιακού πλαισίου.....	81
Εικόνα 17: Επίδραση της θερμοκρασίας στην καμπύλη I-V ηλιακού πλαισίου.....	82
Εικόνα 18: Χαρακτηριστική I-V καμπύλη με ένα κελί πλήρως σκιασμένο.....	83
Εικόνα 19: Χαρακτηριστική I-V καμπύλη με συνδυασμό εν σειρά και ένα κελί μερικώς σκιασμένο	85
Εικόνα 20: Περιγραφή ηλιοστατών Φ/Β πλαισίων	87
Εικόνα 21: Τυπική βάση Φ/Β πλαισίων σε επίπεδη επιφάνεια υπό γωνία κλίσης.....	87
Εικόνα 22: Τυπική βάση Φ/Β πλαισίων σε στέγη υπό κλίση	88
Εικόνα 23: Κεραμίδια αλουμινίου διαφόρων τύπων.....	89
Εικόνα 24: Φ/Β πλαίσιο της SUNPOWER	90
Εικόνα 25: Κιβώτιο διακλάδωσης (ΚΔ)	108
Εικόνα 26: Περιγραφή καλωδίων DC Solar	119
Εικόνα 27: Σύνδεσμοι DC καλωδίων Φ/Β	120

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή μελέτης εσωτερικής ηλεκτρολογικής εγκατάστασης

1.1. Εισαγωγή

Οι απαιτήσεις του ανθρώπου για άνεση σε συνδυασμό με τη βελτίωση ποιότητας ζωής είναι διαρκώς αυξανόμενες, παράλληλα πληθαίνουν οι ανάγκες εφαρμογών και διαχείρισης ενέργειας. Ως προς το αντικείμενο ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας, δηλαδή τη μελέτη και σχεδίαση εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης (ΕΗΕ) σε οικία, υπάρχουν απαιτήσεις λειτουργικότητας, μέγιστης ασφάλειας, εργονομίας, οικονομίας και αισθητικής.

Σκοπός των κτηριακών εσωτερικών ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων (ΕΗΕ) είναι η ασφάλεια των ανθρώπων καθώς και των ηλεκτρικών συσκευών, σε συνδυασμό με την εξυπηρέτηση του φωτισμού στους διάφορους χώρους της οικίας και η συνεχής παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις λοιπές ηλεκτρικές καταναλώσεις.

Η μελέτη και η κατασκευή των ΕΗΕ γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 (ΦΕΚ Αρ. 470, Τεύχος Β/5-3-2004), το οποίο αντικατέστησε τους προηγούμενους Κανονισμούς Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (ΚΕΗΕ) (ΦΕΚ Β/59/11-4-1955). Η αντικατάσταση του ΚΕΗΕ από το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 έγινε για την ανάγκη εναρμόνισης της χώρας μας προς τα ισχύοντα Ευρωπαϊκά Πρότυπα, που διέπουν τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

1.2. Σύνταξη μελέτης εσωτερικής ηλεκτρολογικής εγκατάστασης

Πριν από τη μελέτη ΕΗΕ οικίας πρέπει να συγκεντρώνονται όλες οι αναγκαίες πληροφορίες που έχουν να κάνουν με τις συνθήκες λειτουργίας της ηλεκτρικής εγκατάστασης, οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη σύνταξη της ΕΗΕ. Οι πληροφορίες που απαιτούνται είναι οι κάτωθι:

- Η κατηγορία του χώρου που εκπονείται η ΕΗΕ, όπως π.χ. το είδος του χώρου ως προς το συντελεστή υγρασίας ή την επικινδυνότητα σε πυρκαγιές.
- Η ισχύς της εγκατάστασης, η οποία προσδιορίζεται από το σύνολο και το είδος των συσκευών, των φωτιστικών σημείων και ρευματοδοτών, λαμβάνοντας υπόψη το συντελεστή ταυτοχρονισμού της εγκατάστασης. Επίσης απαιτείται πρόβλεψη για πιθανή μελλοντική επέκταση της ηλεκτρικής ισχύος της εγκατάστασης.

- Η θέση των μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ, ώστε να προσδιοριστεί η πορεία της γραμμής (παροχή) από το μετρητή ως τον γενικό πίνακα της ΕΗΕ της οικίας
- Τα σχέδια κάτοψης, συμπεριλαμβανομένου του μονογραμμικού σχεδίου. Δηλαδή το αρχιτεκτονικό σχέδιο σε συνδυασμό με τη θέση των ηλεκτρικών συσκευών, τη διαδρομή των ηλεκτρικών γραμμών, τη θέση των διακοπών, ρευματοδοτών, θερμοστατών, ανιχνευτών και του γενικού πίνακα.
- Οι συνθήκες λειτουργίας της ΕΗΕ όπως π.χ. θερμοκρασία περιβάλλοντος και υψόμετρο, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή του ηλεκτρολογικού υλικού της εγκατάστασης.
- Η σύνταξη τεύχους υπολογισμών, πρόκειται για αναλυτικούς υπολογισμούς ως προς την επιλογή κατάλληλου ηλεκτρολογικού υλικού για την ΕΗΕ (διατομές καλωδίων, διάμετροι σωληνώσεων, μέσα προστασίας)
- Η σύνταξη ηλεκτρολογικών σχεδίων της ΕΗΕ, δηλαδή του μονογραμμικού σχεδίου της κάτοψης μαζί με το μονογραμμικό διάγραμμα του γενικού πίνακα.
- Η σύνταξη της τεχνικής περιγραφής των ηλεκτρολογικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση της ΕΗΕ.

1.3. Βασικά μέρη οικιακής εσωτερικής ηλεκτρικής εγκατάστασης

1. Οι διατάξεις προστασίας της οικίας, χωρίζονται:
 - Στο σύστημα γείωσης.
 - Στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Εφόσον υπάρχει η ανάγκη για τέτοια εγκατάσταση.
 - Στα μέσα προστασίας, διακόπτες, ασφάλειες κ.α.
2. Τα ηλεκτρικά φορτία (οι καταναλώσεις), πρόκειται για κυκλώματα που συνδέουν τον κεντρικό πίνακα με τα διάφορα φορτία. Τέτοια κυκλώματα είναι:
 - Το κύκλωμα της ηλεκτρικής κουζίνας.
 - Το κύκλωμα του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα.
 - Τα κυκλώματα των υπόλοιπων ηλεκτρικών συσκευών, όπως πλυντήρια ρούχων και πιάτων, στεγνωτήριο και κλιματιστικό. Δηλαδή κυκλώματα ενισχυμένων ρευματοδοτών, λόγω ζήτησης αυξημένης ισχύος. Δηλαδή ισχύς μεγαλύτερη από 1,5kW.
 - Τα κυκλώματα φωτισμού και υπολοίπων ρευματοδοτών.

- Τα κυκλώματα ασθενών ρευμάτων όπως, τηλεφώνου, κεραίας, συναγερμού, θυροτηλεφώνων και θυροτηλεόρασης.
3. Το γενικό πίνακα και τους υποπίνακες διανομής εφόσον υπάρχουν. Στη συγκεκριμένη περιγραφή υπάρχει μόνο ένας γενικός πίνακας.
 4. Η κύρια γραμμή ή κεντρική γραμμή (ονομάζεται επίσης και παροχή), δηλαδή είναι η γραμμή που αναχωρεί από το μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ και καταλήγει στον πίνακα διανομής της οικίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Διατάξεις προστασίας

2.1. Εισαγωγή

Σε μία ηλεκτρική εγκατάσταση πρέπει να παρέχεται προστασία σε αυτούς που τη χρησιμοποιούν όσο και στις διάφορες ηλεκτρικές συσκευές που βρίσκονται μέσα σε αυτή. Σύμφωνα με τους κανονισμούς των Ε.Η.Ε. σε μία ηλεκτρική εγκατάσταση, ασφάλεια από ηλεκτροπληξία υπάρχει όταν η τάση λειτουργίας δεν ξεπερνά τα 50V στο AC. Για τάσεις λειτουργίας μεγαλύτερες από 50V πρέπει να αποκλείεται η τυχαία επαφή με στοιχεία της εγκατάστασης που βρίσκονται υπό τάση και ταυτόχρονα να ισχύει μία από τις ακόλουθες συνθήκες,

- Το ρεύμα που μπορεί να διαπεράσει το ανθρώπινο σώμα, συνεχές ή εναλλασσόμενο, συχνότητας 50Hz, να μην είναι μεγαλύτερο από 0,5mA.
- Η τάση επαφής να μη μπορεί να γίνει μεγαλύτερη από 50V
- Τάση επαφής μεγαλύτερη από 50V να μη μπορεί να διατηρηθεί περισσότερο από 5sec.

Τα διάφορα μέσα που χρησιμοποιούνται σε μία ΕΗΕ οικίας έχουν σαν στόχο να εξασφαλίζουν τη διακοπή της τάσης τροφοδοσίας στην εγκατάσταση αμέσως μετά την εμφάνιση κάποιου σφάλματος, παρέχοντας έτσι προστασία. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για αυτόν τον σκοπό είναι η γείωση, οι διακόπτες, οι ασφάλειες και οι διακόπτες διαφυγής. Περιγραφή των διατάξεων αυτών ακολουθεί παρακάτω.

2.2. Γείωση

2.1.1. Εισαγωγή

Στις συνήθεις κτηριακές εγκαταστάσεις διακρίνονται δύο είδη γειώσεων. Η γείωση λειτουργίας και η γείωση προστασίας ή αλλιώς γείωση μεταλλικών συσκευών. Επίσης όταν προβλέπεται προστασία από τους κεραυνούς, τότε υπάρχει ιδιαίτερη γείωση για το αλεξικέραυνο.

Η γείωση προστασίας εφαρμόζεται σε συσκευές με μεταλλικά μέρη και περιβλήματα, για να προστατέψουν το χρήστη από πιθανή διαρροή ρεύματος προς το μεταλλικό περίβλημα που έρχεται σε επαφή για την αποφυγή βραχυκυκλώματος.

Η γείωση λειτουργίας είναι απαραίτητη για την ασφαλή λειτουργία ενός κυκλώματος και των συσκευών που αποτελούν την ηλεκτρολογική εγκατάσταση, δηλαδή την εφαρμογή τάσης προς τη γη.

Αν η ίδια συσκευή χρειάζεται *λειτουργική γείωση* και *γείωση προστασίας*, τότε η συσκευή γειώνεται διπλά και τα δύο σημεία γείωσης θα πρέπει να απέχουν μεταξύ τους μέτρα.

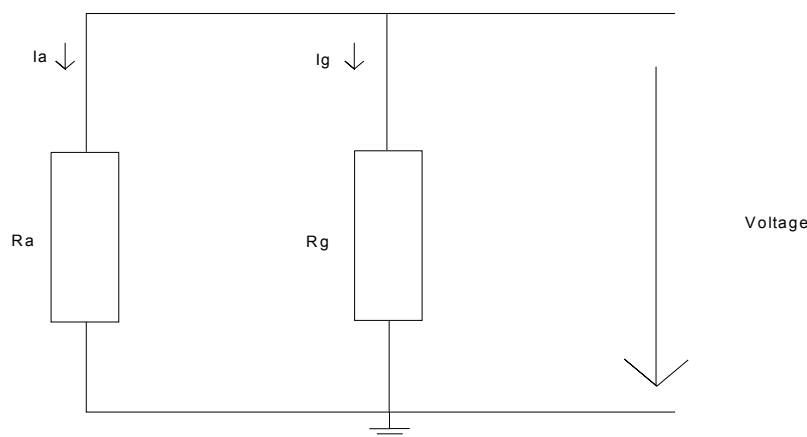
Η γείωση αποτελεί ουσιαστικά μία καταβόθρα φορτίου, πρακτικά άπειρου. Η σύνδεση με τη γείωση μπορεί να εξουδετερώσει οποιοδήποτε θετικό ή αρνητικό φορτίο, ενώ φορτίζει αγώγιμα αντικείμενα που βρίσκονται μέσα σε ηλεκτροστατικό πεδίο. Σημειωτέων ότι όλα τα σημεία που είναι γειωμένα συμπεριφέρονταν σαν να συνδέονται μεταξύ τους, γιατί το δυναμικό σε κάθε γειωμένο σημείο είναι το ίδιο.

2.2.2. Γείωση προστασίας

Ο τρόπος που επενεργεί η γείωση προστασίας φαίνεται σχήμα 1 που ακολουθεί. Ο άνθρωπος έχει ευμετάβλητη αντίσταση και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η υγρασία του δέρματος ή το είδος του εδάφους. Όταν έρθει σε επαφή με μεταλλικό περίβλημα γειωμένης ηλεκτρικής συσκευής, στο οποίο εκδηλώνεται ρεύμα διαρροής τότε η τιμή του ρεύματος που θα διαρρέει τον άνθρωπο (αντίσταση R_a) μειώνεται ανάλογα με τη συνολική τιμή της αντίστασης της γείωσης (αντίσταση R_g).

Πρέπει να ισχύει $R_g \ll R_a$, ώστε να ισχύει $I_g \gg I_a$. Επομένως η τιμή της αντίστασης γείωσης πρέπει να προσεγγίζει το μηδέν ώστε να μεγιστοποιεί το ρεύμα που τη διαρρέει και

να ελαχιστοποιεί το ρεύμα που διαρρέει τον άνθρωπο. Πρακτικά η αντίσταση γείωσης σε συνήθεις κτηριακές εγκαταστάσεις είναι μερικά Ω.



Σχήμα 1

Επεξήγηση του κυκλώματος της γείωσης προστασίας (ή γείωσης μεταλλικών περιβλημάτων)

Σύμφωνα με τα παραπάνω όταν δεν υπάρχει γείωση προστασίας σε μία συσκευή, η τιμή της αντίστασης γείωσης θα είναι μεγάλη και συγκριτικά με την αντίσταση του ανθρώπου που θα είναι μικρή, παρατηρείται υψηλός κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.

2.2.3. Λειτουργική γείωση

Η λειτουργική γείωση σε οικιακές εγκαταστάσεις πραγματοποιείται με τις ακόλουθες μεθόδους:

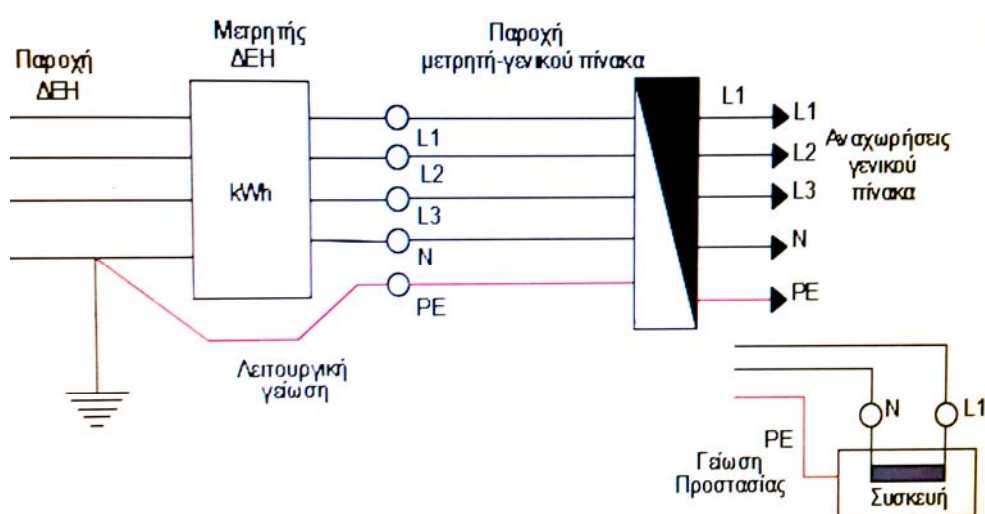
- Με ηλεκτρόδιο γείωσης
- Με γείωση στον ουδέτερο του δικτύου, όταν αυτός είναι γειωμένος
- Με ηλεκτρονόμους διαφυγής

Σε αυτήν την περίπτωση επιλέγεται ως μέθοδος προστασίας αυτή με γείωση στον ουδέτερο του δικτύου, όταν αυτός είναι γειωμένος. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος αναφέρεται αμέσως μετά. Σκοπός της κατασκευής γείωσης είναι η προστασία των ανθρώπων από ηλεκτροπληξία εξ επαφής.

Η μορφή του δικτύου που χρησιμοποιείται σήμερα από τη ΔΕΗ για την τροφοδοσία καταναλωτών ΧΤ (π.χ. οικιακών, βιομηχανικών κλπ) στην ελληνική επικράτεια, εκτός από κάποιες περιοχές στην Αττική που εφαρμόζεται η άμεση γείωση, είναι το ουδετερογειωμένο

δίκτυο, TN-S. Σε ένα δίκτυο TN-S, ο ουδέτερος γειώνεται μεταξύ του υποσταθμού παροχής ενέργειας και πριν από το μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας του καταναλωτή και από το σημείο γείωσης αναχωρούν ξεχωριστοί αγωγοί ουδέτερου και προστασίας. Επομένως η κύρια τριφασική γραμμή μετρητή – γενικού πίνακα πρέπει εκτός από τους αγωγούς φάσεων (L1,L2,L3) και τον ουδέτερο αγωγό (N), να περιλαμβάνει και τον αγωγό προστασίας, δηλαδή τη γείωση (PE).

Ο τρόπος εκτέλεσης της λειτουργικής γείωσης και της γείωσης προστασίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2 και αφορά στην περίπτωση καταναλωτών μικρής ισχύος και περιορισμένης έκτασης, όπου η γείωση του ουδέτερου αγωγού γίνεται πριν τον μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης και από αυτό το σημείο αναχωρεί και ο αγωγός προστασίας, όπου συνδέονται τα μεταλλικά μέρη των συσκευών της εγκατάστασης.



Σχήμα 2

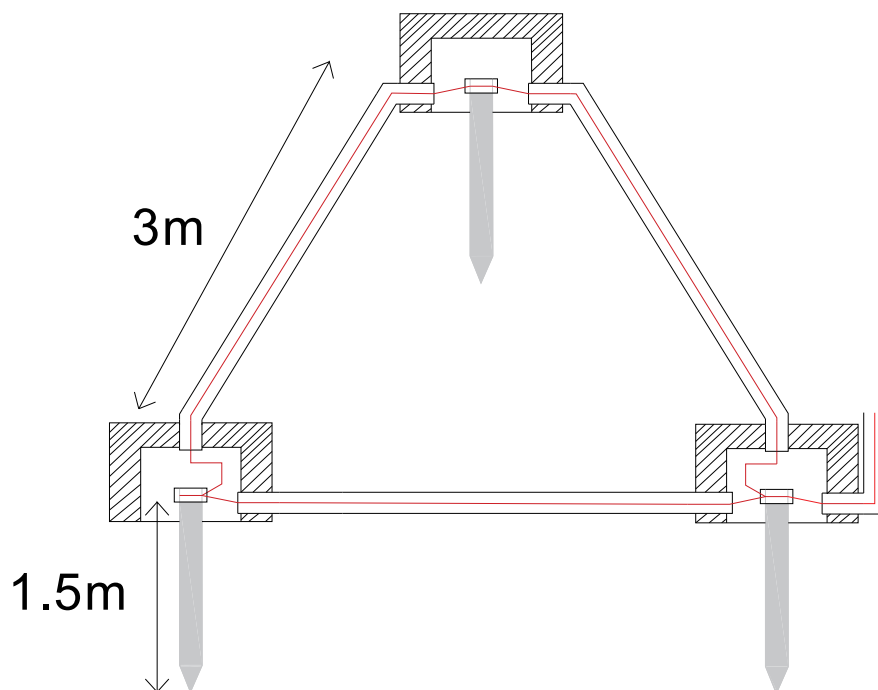
Σχηματική διάταξη αγωγών μετρητή – γενικού πίνακα

2.2.4. Τρίγωνο γείωσης

Όταν δεν είναι εφικτή η υλοποίηση θεμελιακής γείωσης τότε γίνεται γείωση με τη μέθοδο τριγώνων γείωσης. Επειδή είναι δυσκολότερο δημιουργία γείωσης μικρότερη του 1Ω απαιτούνται συνήθως περισσότερα του ενός τριγώνου. Εάν δε μπορεί να δημιουργηθεί αυτή η τιμή της αντίστασης, κατασκευάζονται χωριστές γειώσεις στη μέση και στη χαμηλή τάση με τιμή αντίστασης στη χαμηλή τάση μικρότερη των 10Ω. Επιπλέον οι δύο γειώσεις πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση τουλάχιστον 20m μεταξύ τους, συνήθως πρακτικά δύσκολο να επιτευχθεί. Ειδικά για παροχές τύπου Α, όπως οι οικιακές απαιτείται επιπλέον η κατασκευή

ισοδυναμικού πλέγματος στο χώρο του υποσταθμού για την αποφυγή τάσεων επαφής. Για το λόγο αυτό επιδιώκεται η κατασκευή κοινής γείωσης με αντίσταση μικρότερη του 1Ω .

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ηλεκτρόδια γείωσης που θα τοποθετηθούν σε τριγωνική διάταξη. Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το διπλάσιο του μήκους των ηλεκτροδίων. Τα ηλεκτρόδια γείωσης θα πρέπει να συνδέονται με χάλκινο αγωγό κατάλληλης διατομής και περιλαίμια (σφικτήρες). Ο αγωγός είναι προστατευμένος σε σωλήνα. Στο επάνω μέρος του κάθε ηλεκτροδίου κατασκευάζουμε φρεάτιο από σκυρόδεμα ή PVC με καπάκι ανάγλυφο χαραγμένο το σήμα της γείωσης.



Σχήμα 3

Τυπική διάταξη γείωσης με τρία ηλεκτρόδια

τοποθετημένα σε σχήμα ισόπλευρου τριγώνου

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τυπικές μέσες τιμές ειδικής αντίστασης ανάλογα με τον τύπο εδάφους που πρόκειται να τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια.

Έδαφος	Ειδική αντίσταση ρ ($\Omega \cdot m$)
Ελώδες υγρό	30
Αργιλώδες, πηλώδες ή αγρού	100
Υγρή άμμος	200
Υγρά χαλίκια	500
Ξηρή άμμος	1000
Πετρώδες και ξηρά χαλίκια	3000

Πίνακας 1

Ενδεικτικές τιμές ειδικής αντίστασης ρ

2.2.5. Αντικεραυνική προστασία

Η απαίτηση εγκατάστασης συστήματος αντικεραυνικής προστασίας (ΣΑΠ) και η επιλογή της κατάλληλης στάθμης προστασίας για το σχεδιασμό του, γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 1412/1998, όπου λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως κατασκευής, διαστάσεις, γεωγραφικής θέσης κ.α. Η κατασκευή κατατάσσεται σε στάθμη προστασίας από την πιο αυστηρή I έως την πιο χαλαρή IV. Η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πλήγματος σε μία κατασκευή, N_c , πρέπει να συγκρίνεται με την συχνότητα άμεσων πληγμάτων από κεραυνό, N_D .

- Εάν $N_D \leq N_c$ η κατασκευή δεν χρειάζεται προστασία.
- Εάν $N_D > N_c$ τότε πρέπει να εγκατασταθεί ΣΑΠ με αποτελεσματικότητα

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

Μετά τον υπολογισμό του E, η στάθμη προστασίας προκύπτει ως εξής:

- $E > 0.98$ Στάθμη I +επιπλέον προστατευτικά μέτρα
- $0.95 < E \leq 0.98$ Στάθμη I
- $0.90 < E \leq 0.95$ Στάθμη II
- $0.80 < E \leq 0.90$ Στάθμη III
- $0 < E \leq 0.80$ Στάθμη IV
- $E \leq 0$ Δεν χρειάζεται προστασία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Μέσα προστασίας

3.1. Διακόπτες

Οι διακόπτες είναι μηχανισμοί οι οποίοι ελέγχουν (διακόπτουν ή εξασφαλίζουν) τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος, σε ηλεκτρικά κυκλώματα από τα οποία τροφοδοτούνται πολλές ηλεκτρικές καταναλώσεις ή σε μεμονωμένες ηλεκτρικές καταναλώσεις μίας ηλεκτρικής εγκατάστασης, όπως για παράδειγμα τα φωτιστικά σώματα. Οι διακόπτες μπορεί να ελέγχουν τη ροή ρεύματος,

- όταν αυτό είναι επιθυμητό από αυτόν που χρησιμοποιεί την εγκατάσταση,
- όταν ρεύματα ή τάσεις σε αγωγούς υπερβούν τις κανονικές τους τιμές
- κατόπιν προγραμματισμένης λειτουργίας.

3.1.1. Ηλεκτρικές ιδιότητες διακοπών

Οι διακόπτες χαρακτηρίζονται από δύο καταστάσεις λειτουργίας. Όταν επιτρέπουν να περάσει ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από αυτούς και λέμε ότι είναι κλειστοί (ή σε κατάσταση λειτουργίας ON), ενώ στην αντίθετη περίπτωση λέμε ότι είναι ανοιχτοί (ή σε κατάσταση διακοπής, OFF). Είναι φανερό ότι από τις δύο προηγούμενες καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί ο διακόπτης, αλλά και από το ρόλο του μέσα στην εγκατάσταση θα πρέπει:

- Να μπορεί να κλείνει μία γραμμή παροχής ακόμα και όταν αυτή βρίσκεται υπό πλήρες φορτίο
- Να μπορεί να ανοίγει μία γραμμή με φορτίο ακόμα και με μικρή υπερφόρτωση
- Όταν είναι ανοιχτός να αντέχει στην πλήρη τάση του κυκλώματος
- Όταν είναι κλειστός να αντέχει, όταν διαρρέεται από το ονομαστικό του ρεύμα.
- Να μπορεί να αντέχει στις υψηλές θερμοκρασίες και στις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις, που οφείλονται στις υπερεντάσεις και στα ηλεκτρικά τόξα που εμφανίζονται στα σημεία που διακόπτει.

Για την εξασφάλιση των παραπάνω δυνατοτήτων οι διακόπτες κατασκευάζονται έτσι ώστε,

- Να αντέχουν την ονομαστική τάση λειτουργίας, όταν είναι ανοιχτοί
- Να αντέχουν το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας, όταν είναι κλειστοί
- Να έχουν συγκεκριμένη ικανότητα διακοπής ρεύματος, η οποία ορίζεται ως το μεγαλύτερο ρεύμα το οποίο είναι σε θέση να διακόψει χωρίς να καταστραφεί, όταν στο

ρεύμα εφαρμόζεται η ονομαστική τάση και συχνότητα. Η ικανότητα αυτή εκφράζεται σε Αμπέρ (A).

3.1.2. Διακόπτες ηλεκτρικών κυκλωμάτων

Οι διακόπτες ηλεκτρικών κυκλωμάτων ή αλλιώς διακόπτες πίνακα, είναι μηχανισμοί οι οποίοι τοποθετούνται στους πίνακες διανομής και ελέγχουν (διακόπτουν ή συνδέουν) τα κυκλώματα που αναχωρούν από αυτούς. Οι διακόπτες τοποθετούνται πριν από τις ασφάλειες των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Ποτέ δε τοποθετείται διακόπτης στον αγωγό γείωσης. Ανάλογα με τον αριθμό των αγωγών που διακόπτουν ή συνδέουν, διακρίνονται, σε μονοπολικούς, διπολικούς κ.λπ.

- Μονοπολικούς

Διακόπτουν μόνο έναν αγωγό και αυτός είναι η φάση, ενός μονοφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος που ελέγχουν. Τοποθετούνται επίσης σε διπολικές διακλαδώσεις, από τις οποίες τροφοδοτούνται ηλεκτρικές παροχές με ισχύ όχι μεγαλύτερη από 1,5 kW.

- Διπολικούς

Διακόπτουν δύο αγωγούς και αυτοί είναι η φάση και ο ουδέτερος, ενός μονοφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος που ελέγχουν. Χρησιμοποιούνται στην τροφοδοσία ηλεκτρικών καταναλώσεων με ισχύ μεγαλύτερη από 1,5kW (ηλεκτρικές κουζίνες, θερμοσίφωνες, πλυντήρια, κ.λπ.).

- Τριπολικούς

Διακόπτουν τρεις αγωγούς και αυτοί είναι οι τρεις φάσεις, ενός τριφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος που ελέγχουν, σε οικιακές ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις

- Τετραπολικούς

Διακόπτουν τέσσερις αγωγούς και αυτοί είναι οι τρεις φάσεις και ο ουδέτερος, ενός τριφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος που ελέγχουν, σε οικιακές ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Είδος	Μονοπολικός	Διπολικός	Τριπολικός	Τετραπολικός
Ονομαστική Ένταση (A)	20,32,40 ,63,100	20,25,32 ,40,63	20,32,40,50 ,63	40,63
Ονομαστική Τάση (V)	230/400	400	400	400

Πίνακας 2

Τυποποιημένα μεγέθη διακοπών για χρήση σε ηλεκτρικό πίνακα

3.2. Ασφάλειες

Οι ασφάλειες είναι μηχανισμοί οι οποίοι διακόπτουν την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη την ηλεκτρική εγκατάσταση ή σε επιμέρους κυκλώματα της εγκατάστασης, όταν εμφανιστούν μεγάλες τιμές ρεύματος που οφείλονται σε βραχυκυκλώματα ή σε υπερφόρτιση. Οι ασφάλειες τοποθετούνται πάντοτε μετά από διακόπτες των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Δεν τοποθετούνται ποτέ ασφάλειες σε αγωγούς γείωσης.

Ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους οι ασφάλειες διακρίνονται σε,

- Αυτόματες ασφάλειες
- Ασφάλειες τήξης

Χαρακτηριστικά γνωρίσματα των ασφαλειών είναι,

- Η ονομαστική τάση λειτουργίας
- Το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας
- Ικανότητα διακοπής ή αντοχής σε βραχυκύκλωμα
- Ο χρόνος ενεργοποίησης ή διακοπής

3.2.1. Αυτόματες ασφάλειες

Οι αυτόματες ασφάλειες είναι μηχανισμοί που μοιάζουν με τους ραγοδιακόπτες (μηχανισμοί τύπου ράγας) και τοποθετούνται με τον ίδιο τρόπο στον πίνακα διανομής της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Εσωτερικά φέρουν:

- Μηχανισμό στιγμιαίας λειτουργίας που ενεργοποιείται όταν έχουμε βραχυκύκλωμα. Αποτελείται από πηνίο με πυρήνα σιδήρου που μετακινείται στιγμιαία και με σκανδαλισμό ανοίγει τις επαφές του διακόπτη της ασφάλειας.
- Μηχανισμό διμεταλλικού ελάσματος για υπερφορτίσεις. Το διμεταλλικό έλασμα όταν υπερθερμανθεί λόγω ρεύματος μεγαλύτερου του ονομαστικού, για κάποιο χρονικό διάστημα, ενεργοποιεί τις επαφές του διακόπτη της ασφάλειας.

Τοποθετούνται μετά τους διακόπτες ηλεκτρικών κυκλωμάτων και προστατεύουν αυτά, διακόπτοντας στιγμιαία το κύκλωμα σε περίπτωση μεγάλων ρευμάτων. Σήμερα χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε όλες τις κατηγορίες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και τείνουν να εκτοπίσουν τις ασφάλειες τήξης. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι ότι μετά την αποκατάσταση της βλάβης που προκάλεσε την ενεργοποίησή τους, μπορούν να επαναλειτουργήσουν, χωρίς να χρειάζεται αντικατάστασή τους όπως συμβαίνει με τις ασφάλειες τήξης.

Η ασφάλεια μπαίνει πάντα στον αγωγό της φάσεως και στην αρχή του κυκλώματος, που προστατεύει, μετά τους διακόπτες ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Δεν επιτρέπεται να τοποθετηθεί στον αγωγό της γειώσεως και στον ουδέτερο. Ανάλογα με τον αριθμό των αγωγών που διακόπτονται ή συνδέονται, διακρίνονται σε μονοπολικές, διπολικές κ.λπ.

- Μονοπολικές

Προστατεύουν και διακόπτουν πάντα τον αγωγό της φάσης, ενός μονοφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος, για παροχή ισχύος όχι μεγαλύτερη από 1,5kW.

- Διπολικές

Προστατεύουν και διακόπτουν τη φάση και τον ουδέτερο, ενός μονοφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος για παροχή ισχύος μεγαλύτερη από 1,5kW (ηλεκτρικές κουζίνες, θερμοσίφωνες, πλύντρια, κ.λπ.)

- Μονοπολικές +N

Προστατεύουν και διακόπτουν μόνο τη φάση και διακόπτουν χωρίς να προστατεύουν τον ουδέτερο, ενός μονοφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος.

- Τριπολικές

Προστατεύουν και διακόπτουν τρεις αγωγούς και αυτοί είναι οι τρεις φάσεις, ενός τριφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος που ελέγχουν, σε οικιακές ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

- Τετραπολικές

Προστατεύουν και διακόπτουν τέσσερις αγωγούς δηλαδή τις τρεις φάσεις και τον ουδέτερο, ενός τριφασικού ηλεκτρικού κυκλώματος που ελέγχουν, σε οικιακές ή βιομηχανικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις.

Είδος	Μονοπολικές	Μονοπολικές +N	Διπολικές	Τριπολικές	Τετραπολικές
Ονομαστικό Ρεύμα (A)	6,10,16,20,25 ,32,40	6,10,16,20,32,40	6,10,16,20, 32,40	6,10,16,20,3 2,40,50,63	6,10,16,20,3 2,40
Ονομαστική Τάση (V)	230/400	400	400	400	400

Πίνακας 3

Τυποποιημένα μεγέθη αυτόματων ασφαλειών για χρήση σε ηλεκτρικό πίνακα

Η επιλογή των αυτόματων ασφαλειών γίνεται με βάση τη διατομή και τη μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος του αγωγού που πρόκειται να προστατέψουν.

Διατομή αγωγού σε mm ²	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος του αγωγού σε (A)	Ονομαστικό ρεύμα I^N αυτόματης ασφάλειας σε (A)
1,5	14	10
2,5	20	16
4	25	20
6	33	25
10	43	32 (40)
16	60	50 (63)

Πίνακας 4

Επιλογή αυτόματης ασφάλειας, ανάλογα με τη διατομή αγωγού

και τη μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση που τον διαρρέει

Επειδή στη συγκεκριμένη μελέτη πρόκειται να χρησιμοποιηθούν αυτόματες μονοπολικές και διπολικές ασφάλειας, οι μονοπολικοί και διπολικοί διακόπτες θα αντικατασταθούν και επομένως δεν απαιτείται ο συνδυασμός διακόπτη - αυτόματης ασφάλειας, αλλά καλυπτόμαστε μόνο με τη χρήση αυτόματης ασφάλειας καθώς διαθέτει τη δυνατότητα να χρησιμοποιείται για άνοιγμα, κλείσιμο και απομόνωση ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Ο συνδυασμός αυτός απαιτείται μόνο όταν θα χρησιμοποιηθούν τριπολικοί διακόπτες και τριπολικές ασφάλειας για τη σύνδεση της γραμμής μετρητή – πίνακα, όπως θα δούμε παρακάτω.

3.3. Διακόπτες διαφυγής έντασης (Δ.Δ.Ε.)

Οι διακόπτες διαφυγής έντασης, εμφανίζονται και με άλλα ονόματα όπως ρελέ διαρροής, ή αυτόματος διακόπτης διαρροής, ή αντιηλεκτροπληξιακός διακόπτης. Κατά την ομαλή λειτουργία μίας ηλεκτρικής εγκατάστασης, είτε μονοφασικής παροχής είτε τριφασικής παροχής, θα πρέπει αντίστοιχα το ρεύμα της φάσης, ή το άθροισμα των ρευμάτων των τριών φάσεων, να είναι πάντα ίσο με το ρεύμα που ρέει στον ουδέτερο αγωγό. Σε αυτή τη λογική στηρίζεται η αρχή λειτουργίας ενός ρελέ προστασίας.

Επομένως μπορούμε να πούμε ότι το ρελέ προστασίας είναι μηχανισμός ο οποίος παρακολουθεί το ρεύμα της φάσης και του ουδέτερου αγωγού σε μία μονοφασική εγκατάσταση, και εάν διαπιστώσει ότι αυτά δεν είναι ακριβώς ίδια, τότε σε πάρα πολύ μικρό χρόνο διακόπτει την παροχή τάσης στην εγκατάσταση. Με την ίδια λογική λειτουργεί και σε τριφασική εγκατάσταση. Βασικό στοιχείο του ρελέ προστασίας είναι ένας μετασχηματιστής έντασης με πρωτεύον τύλιγμα τον αγωγό της φάσης ή των φάσεων και τον ουδέτερο αγωγό. Το δευτερεύον τύλιγμα αποτελείται από ένα πηνίο που βρίσκεται πάνω σε δακτύλιο από σιδηρομαγνητικό υλικό, που περικλείει τη φάση και τον ουδέτερο αγωγό.

- Κατά την ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης, όταν το ρεύμα αγωγού της φάσης ή το άθροισμα των φάσεων είναι ίσο με το ρεύμα αγωγού του ουδέτερου, τότε τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στο πρωτεύον τύλιγμα είναι ίσα και αντίθετα, με αποτέλεσμα το συνολικό μαγνητικό πεδίο να είναι ίσο με το μηδέν και επομένως μέσα στο μαγνητικό δακτύλιο η μαγνητική ροή να είναι μηδέν, οπότε και η τάση εξ' επαγωγής στο πηνίο που βρίσκεται πάνω στο δακτύλιο να είναι μηδέν.
- Σε περίπτωση βλάβης, δηλαδή όταν υπάρχει κάποια διαρροή ρεύματος στην εγκατάσταση, το ρεύμα του αγωγού της φάσης ή το άθροισμα των φάσεων δεν είναι ίσο με το ρεύμα του ουδέτερου, τότε τα δύο μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στο πρωτεύον τύλιγμα είναι διαφορετικά με αποτέλεσμα το συνολικό μαγνητικό πεδίο να είναι διάφορο του μηδενός και επομένως μέσα στο μαγνητικό δακτύλιο αναπτύσσεται μαγνητική ροή που δημιουργεί τάση εξ' επαγωγής στο πηνίο. Αυτή η τάση μέσω ενός ηλεκτρομαγνήτη ενεργοποιεί το διακόπτη του ρελέ προστασίας και διακόπτεται η παροχή τάσης στην εγκατάσταση.

- Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς η διακοπή παροχής τάσης στην ηλεκτρική εγκατάσταση πρέπει να γίνεται μέσα σε 0,2sec, ώστε να μην έχουμε την εμφάνιση επικίνδυνων τάσεων επαφής, λόγω βλάβης της μόνωσης, που μπορεί να οδηγήσουν σε ηλεκτροπληξία ή πρόκληση πυρκαγιάς.

Οι ΔΔΕ χρησιμοποιούνται υποχρεωτικά, εγκαθίστανται εύκολα και είναι αποτελεσματικοί. Λέγονται επίσης και διαφορικοί γιατί η λειτουργία τους βασίζεται στη σύγκριση των εντάσεων που διαρρέουν τους τροφοδοτικούς αγωγούς. Οι διακόπτες αυτοί, συγκρίνουν συνεχώς την ένταση στον αγωγό της φάσης ή το άθροισμα των φάσεων με την ένταση στον ουδέτερο αγωγό. Όταν η διαφορά των εντάσεων αυτών γίνει μεγαλύτερη από 30mA (δηλαδή επικίνδυνη), τότε μέσω ενός ρελέ ανοίγουν οι επαφές του διακόπτη και γίνεται διακοπή.

Για να είναι αποτελεσματική η λειτουργία ενός τέτοιου διακόπτη ΔΔΕ πρέπει αυτός να βρίσκεται στην αρχή του κυκλώματος που προστατεύει. Για τον λόγο αυτόν τοποθετείται στην αρχή του πίνακα διανομής μίας ΕΗΕ αμέσως μετά τον γενικό διακόπτη και την γενική ασφάλεια (ή τις τρεις γενικές ασφάλειες στο τριφασικό) και έτσι προστατεύει και το μεγαλύτερο μέρος του πίνακα. Οι ΔΔΕ έχουν μέσο όρο ζωής 20.000 ζεύξεις – αποζεύξεις και η ευαισθησία τους είναι συνήθως 30mA με χρόνο απόζευξης 30msec. Το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας, δηλαδή το φορτίο σε A που μπορούν να διακόπτουν χωρίς πρόβλημα, είναι 40A ή 63A για ονομαστική τάση λειτουργίας εγκατάστασης 230V. Όταν τα φορτία είναι μεγαλύτερα, τότε μπορούμε να τοποθετήσουμε δύο ή περισσότερους και ο καθένας να προστατεύει μία ομάδα κυκλωμάτων.

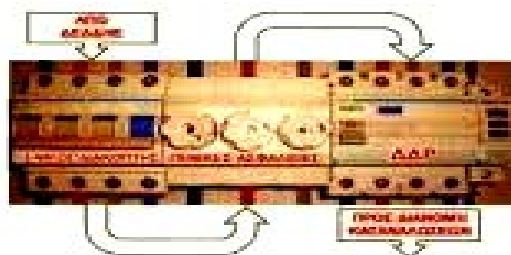
Οι ΔΔΕ διαθέτουν και ένα μπουτόν test το οποίο επιτρέπει τον έλεγχο της καλής λειτουργίας τους. Ο έλεγχος αυτός πρέπει να γίνεται συχνά (κάθε εξάμηνο) για να είναι ο διακόπτης πάντοτε σε ετοιμότητα. Στις εγκαταστάσεις που διαθέτουν ΔΔΕ πρέπει να προσέχουμε, ώστε να μην γίνεται πουθενά μετά τον διακόπτη σύνδεση του ουδέτερου με τον αγωγό γειώσεως, επειδή έτσι ο ΔΔΕ θα προκαλεί διακοπή.

Παρατηρήσεις

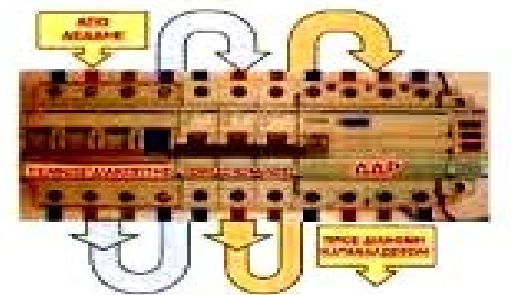
Ο Δ.Δ.Ε. δεν καλύπτει την περίπτωση βραχυκυκλώματος ή υπερφόρτωσης γι' αυτό πρέπει να προηγούνται πάντα ασφάλειες.

Τα ρελέ προστασίας δεν μπορούν να προστατέψουν από ηλεκτροπληξία το άνθρωπο αν ακουμπήσει ταυτόχρονα φάση και ουδέτερο.

Στην εικόνα που ακολουθεί περιγράφεται η σειρά τοποθέτησης των μέσων προστασίας σε έναν γενικό πίνακα, όπως έχει περιγραφεί στις ενότητες που προηγήθηκαν. Στις δύο εικόνες φαίνεται η διαφορά μεταξύ των ασφαλειών που έχουν τοποθετηθεί. Δηλαδή ασφάλειες τήξης στην πρώτη περίπτωση και μικροαυτόματοι στη δεύτερη..



Σχήμα 4.39 Διακόπτης - Ασφάλειες - Προστασίες για γενική ασφάλεια - τήξη



Σχήμα 4.40 Διακόπτης - Ασφάλειες - Προστασίες για γενική ασφάλεια - μικροαυτόματοι

Εικόνα 1

Μέσα προστασίας στην αρχή του γενικού πίνακα

3.4. Διακόπτες φωτιστικών σημείων

Οι διακόπτες φωτιστικών σημείων είναι διακόπτες που εξυπηρετούν κυκλώματα φωτισμού. Κατασκευάζονται με διεθνείς κανονισμούς και κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εμφανίζουν αντοχή στο χρόνο και ανθεκτικότητα σε μηχανικές καταπονήσεις. Επίσης παρέχουν υψηλό βαθμό προστασίας, αποκλείοντας οποιαδήποτε επαφή με το αγώγιμο μέρος. Κατασκευάζονται για ονομαστική τάση 250V και ονομαστικό ρεύμα 10A και σε σημεία όπου θέλουμε να ελέγχουμε το φωτισμό ενός χώρου. Συνδέονται πάντα στη φάση και ποτέ στον ουδέτερο του κυκλώματος τροφοδοσίας των φωτιστικών σημείων.

3.5. Ρευματοδότες

Για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες ηλεκτρικές καταναλώσεις μέσα σε μία εγκατάσταση, όπως είναι οι φορητές ηλεκτρικές συσκευές, χρησιμοποιούνται μηχανισμοί που συνδέουν κατάλληλα και με ασφάλεια τους αγωγούς που μεταφέρουν την ηλεκτρική

ενέργεια, με τις αντίστοιχες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Τέτοιοι μηχανισμοί είναι οι ρευματοδότες.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται οι μονοφασικοί ρευματοδότες (σούκο), πρόκειται για τριπολικούς ρευματοδότες, όπου ο ακροδέκτης της γείωσης καταλήγει σε ελάσματα που είναι εμφανή. Το πλεονέκτημα των ρευματοδοτών αυτών είναι ότι γειώνουν την ηλεκτρική κατανάλωση και κατόπιν την τροφοδοτούν. Κατασκευάζονται για ηλεκτρικές παροχές 10-16-32A/ 250V.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Καλώδια ΕΗΕ

4.1. Καλώδια – Ηλεκτρικοί Αγωγοί

Η μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ή τη μετάδοση ηλεκτρικών σημάτων γίνεται με τους αγωγούς. Οι αγωγοί χωρίζονται στις κάτωθι κατηγορίες:

- μονόκλωνοι, αυτοί που αποτελούνται από ένα συμπαγές σύρμα κυκλικής διατομής
- πολύκλωνοι, αυτοί που αποτελούνται από πολλά σύρματα ομοκεντρικά στριμμένα σε διαδοχικά στρώματα
- λεπτοπολύκλωνοι, πολύκλωνοι αλλά το κάθε στριμμένο σύρμα αποτελείται από αρκετά συρματίδια.

Όσο περισσότερους κλώνους έχει ένας αγωγός συγκεκριμένης διατομής, τόσο περισσότερη ευκαμψία παρουσιάζει. Το επικρατέστερο υλικό κατασκευής των αγωγών είναι ο χαλκός με διάφορες μορφές επεξεργασίας (μαλακός, σκληρός, ανωπτημένος). Οι αγωγοί μπορεί να είναι γυμνοί ή μονωμένοι. Η μόνωση των ηλεκτροφόρων αγωγών κατασκευάζεται με ομοιόμορφο πάχος, κυρίως από θερμοπλαστική ύλη με βάση το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC) και το πολυαιθυλένιο (PE) ή από ελαστικό (γόμα).

Το κυριότερο χαρακτηριστικό κάθε αγωγού είναι το μέγεθος της αγωγίμης διατομής του, π.χ. 6mm^2 , 10mm^2 . Καλώδιο ονομάζεται το σύνολο ενός ή περισσοτέρων μονωμένων αγωγών που βρίσκονται στο ίδιο περίβλημα. Ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται τα καλώδια κατασκευάζονται με ορισμένες προδιαγραφές και πάντα σύμφωνα

με ορισμένους κανόνες ή πρότυπα, όπως το ΕΛΟΤ. Ονομαστική τάση ενός καλωδίου είναι η τάση η οποία προσδιορίζει τα όρια συνεχούς λειτουργίας του και αποτελεί μέρος των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του καλωδίου.

Τάση λειτουργίας ενός καλωδίου είναι η τάση μεταξύ των αγωγών του κατά τη λειτουργία του σε δεδομένο σύστημα. Η τάση λειτουργίας ενός καλωδίου δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει το 10% της ονομαστικής τάσης. Όσο μεγαλύτερη ονομαστική τάση απαιτείται για ένα καλώδιο, τόσο αυξάνει το κόστος κατασκευής του. Για αυτό στην επιλογή καλωδίου, μεταξύ άλλων λαμβάνεται υπόψη και η τάση στην οποία θα λειτουργεί.

4.2. Επιτρεπόμενη ένταση αγωγών

Τα καλώδια εσωτερικών εγκαταστάσεων κατασκευάζονται από χάλκινους αγωγούς δύσκαμπτους (μονόκλωνους ή πολύκλωνους) όταν προορίζονται για μόνιμη εγκατάσταση. Ως μονωτικό υλικό χρησιμοποιείται κυρίως PVC ή ελαστικό αιθυλενιοπροπυλένιο ERP και ως προστατευτικός μανδύας, αντίστοιχα PVC ή ελαστικό. Για κάθε μονωμένο αγωγό υπάρχει ένα ανώτερο όριο έντασης ρεύματος που επιτρέπεται να διαρρέει αυτόν τον αγωγό συνεχώς. Αν το όριο αυτό ξεπεραστεί τότε φθείρονται οι μονώσεις των αγωγών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία βραχυκυκλώματος και αύξηση πιθανής πρόκλησης πυρκαγιάς.

Η μεγαλύτερη επιτρεπόμενη ένταση για έναν αγωγό εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- τη διατομή
- το είδος της μόνωσης
- της συνθήκης τοποθέτησης και λειτουργίας

Καθώς περνάει το ρεύμα μέσα από έναν αγωγό, λόγω της ωμικής αντίστασης R , μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα (φαινόμενο Joule, $Q = I^2 R t$). Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ρεύματος, τόσο περισσότερη είναι η ελκυσόμενη θερμότητα και κατά συνέπεια αυξάνεται η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στον αγωγό. Η αντίσταση R του αγωγού είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη διατομή σύμφωνα με τον τύπο $R = k\rho \frac{l}{S}$

k : συντελεστής πλέξης καλωδίων

ρ : ειδική αντίσταση αγωγού

l : μήκος του αγωγού

S : διατομή αγωγού

Συνεπώς όσο μικρότερη είναι η διατομή του αγωγού, τόσο υψηλότερη αναλογικά είναι η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στον αγωγό και αντιστρόφως, όσο μεγαλύτερη είναι η διατομή τόσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία αναλογικά με την αντίσταση R του αγωγού και το ρεύμα που θα τον διαρρέει. Η αντοχή της μόνωσης των αγωγών σε υψηλές θερμοκρασίες εξαρτάται από το υλικό της μόνωσης με το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι διάφοροι τύποι καλωδίων. Τα καλώδια ΕΗΕ αντέχουν σε θερμοκρασίες έως τους 60C ή 70C περίπου αντίστοιχα. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η μόνωση καταστρέφεται. Για αυτό επιδιώκουμε η ένταση του ρεύματος που περνάει μέσα από τους αγωγούς να μην προκαλεί άνοδο της θερμοκρασίας μεγαλύτερη από τα παραπάνω όρια.

Υλικό Μόνωσης	Θερμοκρασία C
Πολυβινυλιοχλωρίδιο (PVC)	70 ° C
Ελαστικό αιθυλενιοπροπυλένιο (ERP)	90 ° C

Πίνακας 5

Μέγιστες θερμοκρασίες αγωγών κατά τη λειτουργία ανάλογα με το υλικό

Η θερμοκρασία του χώρου που διέρχεται το καλώδιο επηρεάζει προφανώς την απαγωγή θερμότητας των αγωγών. Για αυτό αποφεύγουμε τη διέλευση των καλωδίων από ιδιαίτερα θερμά σημεία, όπως τις καμινάδες, ενώ σε περιπτώσεις που έχουμε καλώδια σε θερμαινόμενους χώρους με θερμοκρασία υψηλότερη των 25C όπως η κουζίνα, λαμβάνουμε υπόψη μας ορισμένους συντελεστές διόρθωσης για τη μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση, όπως θα δούμε παρακάτω.

Η απαγωγή της θερμότητας των αγωγών γίνεται δυσκολότερα όταν τα καλώδια βρίσκονται μέσα σε προστατευτικούς σωλήνες. Για αυτό το λόγο σε ΕΗΕ τα καλώδια τοποθετούνται σε σωλήνες και εσωτερικά στους τοίχους. Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις τιμές στην περίπτωση που τοποθετήσουμε πολυπολικά καλώδια, τριών το πολύ ενεργών αγωγών, μέσα σε προστατευτικό σωλήνα για περισσότερη προστασία, σε ορατές ή χωνευτές εγκαταστάσεις, σύμφωνα με το άρθρο 126 των Κ.Ε.Η.Ε. και για θερμοκρασία περιβάλλοντος 30 ° C.

Ονομαστική διατομή καλωδίων	Ένταση ρεύματος σε Amperes
1,5	14
2,5	20
4	25
6	33
10	43
16	60

Πίνακας 6

Μέγιστα επιτρεπτά ρεύματα εντοιχισμένων (χωνευτών) ηλεκτρικών γραμμών με μόνωση από PVC σε σωλήνα (ΕΛΟΤ HD 384)

Όταν η θερμοκρασία του χώρου που βρίσκονται τα καλώδια είναι διάφορη από 30C, για να υπολογίσουμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση, πολλαπλασιάζουμε την ένταση ρεύματος από τον πίνακα 6 με τον κατάλληλο συντελεστή διόρθωσης που φαίνεται στον πίνακα 7 που ακολουθεί, αφού λάβουμε υπόψη μας και το υλικό της μόνωσης του καλωδίου. Μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό από τους πίνακες 6 και 7 ότι αύξηση θερμοκρασίας περιβάλλοντος σημαίνει μείωση επιτρεπτής έντασης ρεύματος για κάθε αντίστοιχη διατομή καλωδίων.

Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε C	Μόνωση P.V.C.	Μόνωση ελαστικού(ERP)
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82

Πίνακας 7

Συντελεστής διόρθωσης με τη θερμοκρασία (ΕΛΟΤ HD 384)

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των φορτίων και καταναλώσεων, τα οποία θα συνδεθούν στο γενικό πίνακα της κατοικίας, ο υπολογισμό του ρεύματος που θα απαιτείται για κάθε

γραμμή φαίνεται σε επόμενη ενότητα που ακολουθεί. Αντίστοιχα ο υπολογισμός της διατομής του κάθε καλωδίου θα επιλέγεται από τον πίνακα 6.

Ονομαστική διατομή αγωγού (mm ²)	Πάχος μόνωσης (mm)	Μέγιστη εξωτερική διάμετρος καλωδίου (mm)
3 x 1,5	0,7	10,5
3 x 2,5	0,8	12
3 x 4	0,8	13
3 x 6	0,8	14,5
3 x 10	1,0	17,5
3 x 16	1,0	21,5

Πίνακας 8

Συνολική διάμετρος καλωδίου NYM(re) ή A05VV-U

Κάθε καλώδιο εντοιχισμένο ή ορατό πρέπει να καλύπτεται από σωλήνες με σκοπό την προστασία του καλωδίου από τις εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος και την αύξηση της μόνωσης. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η αντιστοιχία προστατευτικού σωλήνα με την διατομή των καλωδίων.

Διατομή αγωγών σε mm ²	Εσωτερική διάμετρος ορατών σωλήνων σε mm ²	Εσωτερική διάμετρος χωνευτών σωλήνων σε mm ²
1,5 x 3	11	13,5
2,5 x 3	13,5	16
4 x 3	13,5	16
6 x 3	16	16
10 x 3	23	23
16 x 3	23	23

Πίνακας 9

Επιτρεπτό μέγεθος καλωδίων, για τοποθέτηση σε προστατευτικούς σωλήνες, ορατούς ή χωνευτούς

Επιλέχθηκε για την εγκατάσταση που μελετάμε το καλώδιο τύπου A05VV-U ή NYM(re). Ονομαστικής τάση λειτουργίας 300/500V. Πρόκειται για ελαφρύ καλώδιο με μόνωση PVC και με μανδύα από PVC. Με δύσκαμπτο αγωγό (μονόκλωνο ή πολύκλωνο), H05VV-U,

H05VV-R και με εύκαμπτο αγωγό H05VV-F. Θεωρείται ιδανικό για σταθερές εγκαταστάσεις σε ξηρούς ή υγρούς χώρους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : Ηλεκτρολογική μελέτη εγκατάστασης

5.1. Εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς

Είναι το σύνολο της ονομαστικής ισχύος (KVA) των συσκευών και μηχανημάτων του καταναλωτή. Η ονομαστική ισχύς αναγράφεται στην πινακίδα της κάθε ηλεκτρικής συσκευής και είναι η ισχύς που μπορεί να αποδίδει η συσκευή συνεχώς δίχως πρόβλημα υπερφόρτισης. Αντί της φαινόμενης ισχύος πιθανόν να αναγράφεται η πραγματική ισχύς (kW) και ο συντελεστής ισχύος (cosφ). Από το γινόμενο των δύο μεγεθών προκύπτει η ονομαστική ή φαινόμενη ισχύς της συσκευής. Η ΔΕΗ πρέπει να γνωρίζει τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ μίας εγκατάστασης. Στην οικία τα φορτία που θα εξυπηρετούνται αναφέρονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στις λοιπές καταναλώσεις περιλαμβάνεται το μίξερ, η καφετιέρα, η αναμονή τηλεοράσεων, στερεοφωνικού, αποκωδικοποιητής, ηλεκτρικό γκριλ, τηλέφωνο κ.α.

A/A	Φορτία – Συσκευές	Ισχύς (W)
1	Φωτισμός (26)χ(20W)	520
2	Κουζίνα	6000
3	Φούρνος	2700
4	Μικροκυμμάτων	800
5	Θερμοσίφωνας	4000
6	Ψυγείο	90
7	Καταψύκτης	110
8	Πλυντήριο Πιάτων	3200
9	Πλυντήριο Ρούχων	3200
10	Στεγνωτήριο	3200
11	Ηλεκτρικό σίδερο	1200
12	Ηλεκτρική σκούπα	1200
13	Τηλεόραση (3)χ(50W)	150
14	Ραδιόφωνο	50
15	Ηλεκτρικό Πιστολάκι	1200
16	PC	250
17	Laptop(2)χ(100W)	200
18	Κλιματισμός(3)Χ(650W)	1950

19	Κλιματισμός	4000
20	Αερόθερμο(2)χ(1000W)	2000
21	Λοιπές Καταναλώσεις	1500
	Συνολική Ισχύς	34.822,7

Πίνακας 10

Περιγραφή φορτίων οικίας

Η συνολική εγκαταστημένη ισχύ προσεγγίζει τα 35KVA.

5.2. Συμφωνημένη ηλεκτρική ισχύς

Η συμφωνημένη ισχύς σε (KVA), είναι η ανώτατη φαινόμενη ισχύς που απαιτείται να παρέχει η ΔΕΗ στον καταναλωτή και με τον συντελεστή ισχύος που προσδιορίζει και οφείλει να διατηρεί στις τιμές που καθορίζει (ελάχιστη τιμή συντελεστή ισχύος μπορεί να είναι, Σ.Ι.: $\cos\phi = 0,85$). Η συμφωνημένη ισχύς αναφέρεται και στο συμβόλαιο παροχής που υπογράφει ο καταναλωτής με τον πάροχο και είναι η ισχύς με βάση την οποία υπολογίζεται ο μετρητής που θα τοποθετηθεί, τα στοιχεία προστασίας και η διατομή του αγωγού μετρητή – γενικού πίνακα της ΕΗΕ.

5.3. Συντελεστής ταυτοχρονισμού

Ο συντελεστής ταυτοχρονισμού είναι ίσος ή μικρότερος της μονάδας, διαφέρει για κάθε είδος καταναλωτή και εκφράζει το ποσοστό των φορτίων που είναι ενεργοποιημένα την ίδια χρονική στιγμή στην ΕΗΕ, ανάλογα με τον αριθμό των ηλεκτρικών κυκλωμάτων – εγκαταστάσεων μετρητικών διατάξεων ΗΕ. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι τιμές του συντελεστή ταυτοχρονισμού (g) που λαμβάνονται στην τροφοδοσία ηλεκτρικών κυκλωμάτων – εγκαταστάσεων (μετρητικών διατάξεων κλπ).

Αριθμός Τροφοδοτούμενων Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων	Τιμή Συντελεστή Ταυτοχρονισμού (g)	Αριθμός Τροφοδοτούμενων Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων	Τιμή Συντελεστή Ταυτοχρονισμού (g)
1-3	1	28-30	0,42
4-6	0,86	31-33	0,41
7-9	0,73	34-36	0,39
10-12	0,63	37-39	0,38
13-15	0,57	40-45	0,37
16-18	0,53	46-48	0,36

19-21	0,49	49-54	0,35
22-24	0,46	55-63	0,34
25-27	0,44	64-72	0,33

Πίνακας 11

Τιμές συντελεστή ταυτοχρονισμού που λαμβάνονται στην τροφοδοσία ηλεκτρικών κυκλωμάτων, για τυποποιημένες παροχές Χ.Τ. (πηγή ΔΕΗ)

Ο συντελεστής ταυτοχρονισμού μίας ΕΗΕ προσδιορίζεται επακριβώς μόνο αν γνωρίζουμε τα χρονικά διαστήματα λειτουργίας κάθε μίας συσκευής της εγκατάστασης, κάτι που φυσικά σπάνια συμβαίνει. Συνήθως λαμβάνονται εμπειρικές τιμές του συντελεστή ταυτοχρονισμού, οι οποίες έχουν επιβεβαιωθεί στην πράξη. Το μέγεθος της ηλεκτρικής παροχής επιλέγεται ανάλογα με τις ανάγκες της εγκατάστασης, όπως αναφέρονται στον πίνακα 12. Στον παρακάτω πίνακα 13 παρατίθενται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των τυποποιημένων παροχών των τριφασικών παροχών ΧΤ. Στο γνωμοκιβώτιο (κιβώτιο μετρητή ΔΕΗ) των παροχών τοποθετούνται, εκτός από τον μετρητή, γενικές ασφάλειες τήξης ή μικροαυτόματοι για την προστασία του μετρητή από βραχυκυκλώματα. Η προστασία του μετρητή από υπερφορτίσεις εξασφαλίζεται από τις γενικές ασφάλειες του πίνακα διανομής της ΕΗΕ.

Μέγεθος Παροχής	Ισχύς Παροχής (KVA)	Ισχύς Συμμετοχής (KVA)
No 1	15	10
No 2	25	21
No 3	35	30
No 4	55	45

Πίνακας 12

Κωδικοποίηση 3Φ παροχής με βάση την Ισχύ Συμμετοχής (συμφωνημένη ισχύ) (πηγή ΔΕΔΔΗΕ)

Τριφασικές Παροχές

Όνομασία Παροχής	Ισχύς Παροχής (KVA)	Συμφωνημένη Ισχύς (KVA)	Ασφάλεια (A)	Μικροαυτόματος (A)	Καλώδιο Παροχής Μετρητή	Γραμμή Πίνακα (mm ²)	Μετρητής (A)
No 1	15	10	3*25	3*25	4*6	5*10	3*10/40 3Φ
No 2	25	21	3*35	3*40	4*6	5*10	3*10/40 3Φ
No 3	35	30	3*50	3*50	4*16	5*16	3*20/60 3Φ
No 4	55	45	3*100	-	4*25	5*25 ή 5*35	3*50/100 3Φ

Πίνακας 13

Κωδικοποίηση 3Φ τυποποιημένων παροχών

Η κάθε χρήση ηλεκτρικού ρεύματος (οικιακή, επαγγελματική κλπ) χρεώνεται σε διαφορετικό τιμολόγιο από τη ΔΕΗ. Ο χαρακτηρισμός των διαφόρων τιμολογίων χρέωσης της ΔΕΗ σε σχέση με την κατηγορία των καταναλωτών αναφέρεται στον πίνακα που ακολουθεί.

5.4. Στοιχεία της ηλεκτρολογικής γραμμής εγκατάστασης

Σημαντικό είναι να γίνει η περιγραφή των ηλεκτρικών γραμμών που θα αναχωρούν από τον γενικό πίνακα της οικίας προς τις ηλεκτρικές συσκευές, τα φωτιστικά σημεία και τους ρευματοδότες.

A/A	Όνομασία ηλεκτρικής γραμμής	Στοιχεία που περιλαμβάνει η κάθε γραμμή
1	Ηλεκτρική Κουζίνα	Μονοφασική γραμμή σύνδεσης, 6KW κουζίνα
2	Φούρνος	Μονοφασική γραμμή σύνδεσης, 1 ενισχυμένος ρευματοδότης
3	Θερμοσίφωνας	Μονοφασική γραμμή σύνδεσης, 1 ενισχυμένος ρευματοδότης
4	Κλιματιστικό σαλονιού	Μονοφασική γραμμή σύνδεσης, 1

		ενισχυμένος ρευματοδότης
5	Πλυντήριο πιάτων	Μονοφασική γραμμή σύνδεσης, 1 ενισχυμένος ρευματοδότης
6	Πλυντήριο ρούχων	Μονοφασική γραμμή σύνδεσης, 1 ενισχυμένος ρευματοδότης
7	Στεγνωτήριο	Μονοφασική γραμμή σύνδεσης, 1 ενισχυμένος ρευματοδότης
8	Φωτισμός Κουζίνας Ρευματοδότες Κουζίνας	3 φωτιστικά σημεία 4 ρευματοδότες 2 απλοί διακόπτες
9	Φωτισμός Μπάνιο 1,2 Ρευματοδότες Μπάνιο 1,2 Καθαριστήριο	7 φωτιστικά σημεία 3 ρευματοδότες, 2 εξαερισμούς 2 διπλοί διακόπτες, 1 απλός διακόπτες
10	Φωτισμός Δωμάτιο 1 Ρευματοδότες Δωμάτιο 1	2 φωτιστικά σημεία 4 ρευματοδότες 2 αλέ ρετούρ, 1 απλός διακόπτης
11	Φωτισμός Δωμάτιο 2 Ρευματοδότες Δωμάτιο 2	2 φωτιστικά σημεία 4 ρευματοδότες 2 αλέ ρετούρ, 1 απλός διακόπτης
12	Φωτισμός Δωμάτιο 3 Ρευματοδότες Δωμάτιο 3	2 φωτιστικά σημεία 4 ρευματοδότες 2 αλέ ρετούρ, 1 απλός διακόπτης
13	Φωτισμός Αποθήκη/Διάδρομος Ρευματοδότες Αποθήκη/Διάδρομος	3 φωτιστικά σημεία 3 ρευματοδότες 2 αλέ ρετούρ, 1 απλός διακόπτης
14	Φωτισμός 1 ^{ος} Σαλόνι Ρευματοδότες 1 ^{ος} Σαλόνι	3 φωτιστικά σημεία 4 ρευματοδότες 3 απλοί διακόπτες
15	Φωτισμός 2 ^{ος} Σαλόνι Ρευματοδότες 2 ^{ος} Σαλόνι	3 φωτιστικά σημεία 6 ρευματοδότες 1 διπλός διακόπτης, 2 απλοί διακόπτες

Πίνακας 14

Περιλαμβάνει τις γραμμές που αναχωρούν από ηλεκτρικό

πίνακα της οικίας με τα στοιχεία που τις αποτελούν

5.5. Πτώση τάσης σε ηλεκτρικές οικιακές εγκαταστάσεις

Αν δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις αναφορικά με τη λειτουργία των συσκευών ή, ενδεχομένως ειδικών διατάξεων προστασίας, συνιστάται στην πράξη, η πτώση τάσης από την αρχή της ηλεκτρικής εγκατάστασης μέχρι το σημείο σύνδεσης οποιασδήποτε ηλεκτρικής συσκευής να μην υπερβαίνει το 4% της ονομαστικής τάσης της εγκατάστασης. Προσωρινές συνθήκες, όπως μεταβατικές τάσεις και μεταβολή τάσης λόγω αντικανονικής λειτουργίας μπορούν να μη λαμβάνονται υπόψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : Υπολογισμός γραμμών παροχής

6.1. Γραμμή ηλεκτρικής κουζίνας

Θα υπολογίσουμε την ένταση του ρεύματος που απαιτείται για την τροφοδότηση της ηλεκτρικής κουζίνας, η οποία λειτουργεί με ονομαστική ισχύ 6KW και υπό πολική τάση 400V. Η φασική τάση είναι 230V. Ο υπολογισμός της έντασης ρεύματος απαιτείται για την επιλογή του καλωδίου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Θεωρούμε συντελεστή ταυτοχρονισμού 1.

$$I = \frac{g * P}{V} \Rightarrow I = \frac{1 * 6000}{230} \Rightarrow I = 26,09 A$$

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 6 \text{mm}^2$.

Σημαντικό είναι να ελεγχθεί η πτώση τάσης της μη διακλαδιζόμενης γραμμής μήκους 12m, όπως προκύπτει από την κάτοψη. Βασικό κριτήριο σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ, η πτώση τάσης από την αρχή της ηλεκτρικής εγκατάστασης μέχρι το σημείο σύνδεσης οποιασδήποτε ηλεκτρικής συσκευής να μην υπερβαίνει το 4% της ονομαστικής τάσης της εγκατάστασης. Προσωρινές συνθήκες, όπως μεταβατικές τάσεις και μεταβολή τάσης λόγω αντικανονικής λειτουργίας μπορούν να μη λαμβάνονται υπόψη. Δηλαδή η τάση να μη ξεπερνά την τιμή 9,2V από την ονομαστική τιμή.

Ο υπολογισμός της πτώσης τάσης γίνεται με δύο τρόπους.

$$\Delta v = \frac{2 * \rho * l * I * \sigma \nu \phi}{S} \Rightarrow \Delta v = \frac{2 * 0,017 * 12 * 26,09}{6} \Rightarrow \Delta v = 1,77V$$

με ρ : η ειδική αντίσταση αγωγού, για το χαλκό $0,017 \frac{\Omega * mm^2}{m}$

l : το μήκος της γραμμής (m)

I : η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό (A)

$\sigma\upsilon\nu\phi$: ο συντελεστής ισχύος που θεωρείται μοναδιαίος

S : η διατομή του αγωγού (mm^2)

Η πτώση τάσης είναι επιτρεπτή επειδή $1,77V < 9,2V$ άρα και η διατομή του καλωδίου είναι αποδεκτή.

$$\text{και } \varepsilon(\%) = \frac{2 * l * P}{K * S * U^2} \Rightarrow \varepsilon(\%) = \frac{2 * 12 * (230 * 26,09)}{56 * 6 * 230^2} \Rightarrow \varepsilon(\%) = 0,81\%$$

με l : το μήκος της γραμμής (m)

P : την ονομαστική ισχύ της συσκευής (W)

K : η ειδική αγωγιμότητα χαλκού, σταθερή τιμή $56 \frac{m}{\Omega * mm^2}$

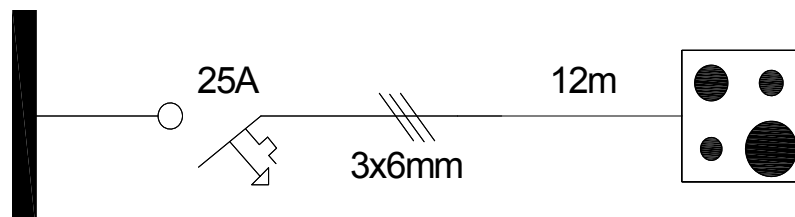
S : η διατομή του αγωγού (mm^2)

Αποδεκτή πτώση τάσης με $0,81\% < 4\%$.

Το καλώδιο που επιλέγεται είναι H05VV-U (NYM) $3 \times 6mm^2$, με μία φάση, ουδέτερο και γείωση. Από τον Πίνακα 9 βρίσκουμε τη συνολική διατομή του καλωδίου ώστε να επιλέξουμε την κατάλληλη χαλυβδοσωλήνα στην οποία θα τοποθετηθεί το καλώδιο. Προκύπτει χαλυβδοσωλήνα διαμέτρου $16mm^2$. Από τον πίνακα 3 και τον Πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 25A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης της ηλεκτρικής κουζίνας από τον κεντρικό πίνακα και τα στοιχεία που απαιτούνται για την υλοποίησή της.



Σχήμα 4

Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης κουζίνας

6.2. Γραμμή φούρνου

Αντίστοιχα για τον υπολογισμό της γραμμής αυτής προκύπτει,

$$I = \frac{g * P}{V} \Rightarrow I = \frac{1 * 2700}{230} \Rightarrow I = 11,73A$$

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 2,5\text{mm}^2$

Η πτώση τάσης μπορεί να υπολογίζεται πλέον από τον δεύτερο τύπο, με περιορισμό να μην υπερβαίνει τα 9,2V από την ονομαστική τάση,

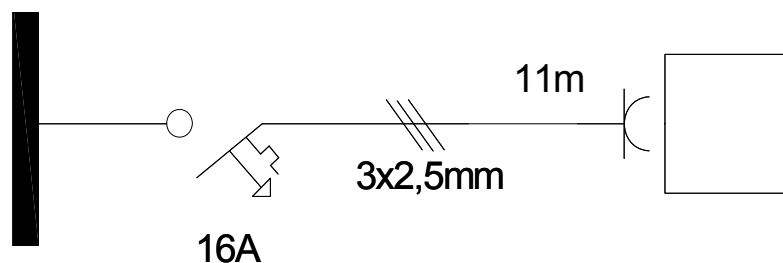
$$\Delta v = \frac{2 * \rho * l * I * \sigma \nu \phi}{S} \Rightarrow \Delta v = \frac{2 * 0,017 * 11 * 11,73}{2,5} \Rightarrow \Delta v = 1,75V$$

Αποδεκτή πτώση τάσης.

Από τον Πίνακα 9 βρίσκουμε τη συνολική διατομή του καλωδίου ώστε να επιλέξουμε τον κατάλληλο πλαστικό σωλήνα στον οποίο θα τοποθετηθεί το καλώδιο. Προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου 16mm^2 . Από τον πίνακα 3 και τον Πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 16A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης του φούρνου από τον κεντρικό πίνακα και τα στοιχεία που απαιτούνται για την υλοποίησή της.



Σχήμα 5

Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης φούρνου

6.3. Γραμμή θερμοσίφωνα

$$I = \frac{P}{V} \Rightarrow I = \frac{4000}{230} \Rightarrow I = 17,39A$$

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 4\text{mm}^2$

$$\Delta v = \frac{2 * \rho * l * I * \sigma \nu \nu \phi}{S} \Rightarrow \Delta v = \frac{2 * 0,017 * 7 * 21,74}{4} \Rightarrow \Delta v = 1,03V$$

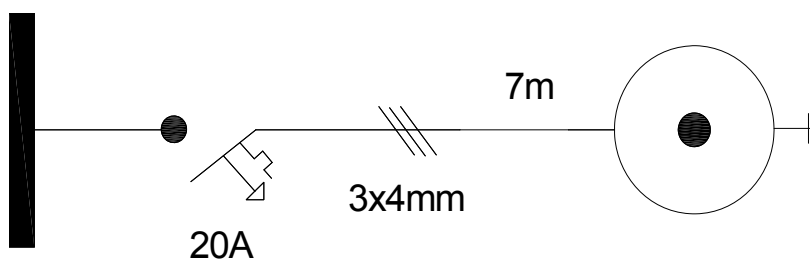
Αποδεκτή πτώση τάσης.

Από τον Πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου 16mm^2 .

Από τον πίνακα 3 και τον Πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 20A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης του θερμοσίφωνα από τον κεντρικό πίνακα και τα στοιχεία που απαιτούνται για την υλοποίησή της.



Σχήμα 6

Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης θερμοσίφωνα

6.4. Γραμμή κλιματιστικού σαλονιού

$$I = \frac{P}{V} \Rightarrow I = \frac{4000}{230} \Rightarrow I = 17,39A$$

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 4\text{mm}^2$

$$\Delta v = \frac{2 * \rho * l * I * \sigma \nu \nu \phi}{S} \Rightarrow \Delta v = \frac{2 * 0,017 * 4,5 * 17,39}{2,5} \Rightarrow \Delta v = 1,06V$$

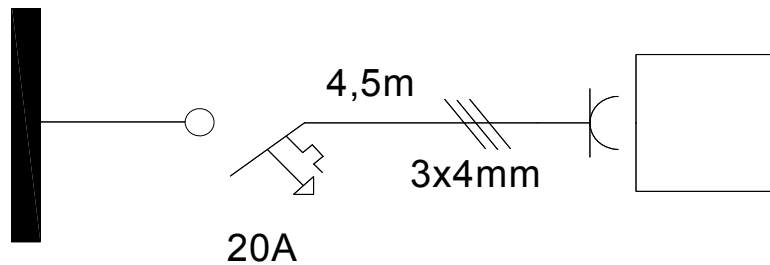
Αποδεκτή πτώση τάσης.

Από τον Πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου 16mm².

Από τον πίνακα 3 και τον Πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 20A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης του κλιματιστικού από τον κεντρικό πίνακα και τα στοιχεία που απαιτούνται για την υλοποίησή της.



Σχήμα 7

Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης κλιματιστικού σαλονιού

6.5. Γραμμή πλυντηρίου πιάτων

$$I = \frac{P}{V} \Rightarrow I = \frac{3200}{230} \Rightarrow I = 13,91A$$

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: S= 2,5mm²

$$\Delta v = \frac{2 * \rho * l * I * \sigma \nu \nu \phi}{S} \Rightarrow \Delta v = \frac{2 * 0,017 * 13 * 13,91}{2,5} \Rightarrow \Delta v = 2,45V$$

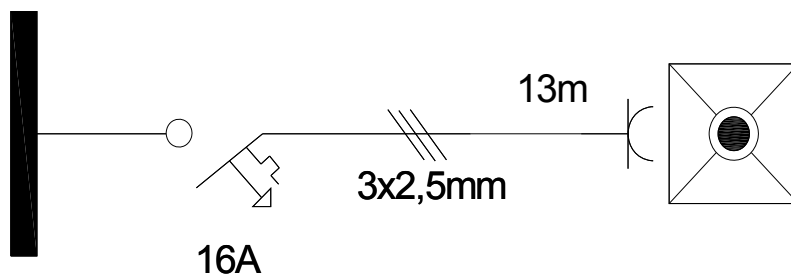
Αποδεκτή πτώση τάσης.

Από τον Πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου 16mm².

Από τον πίνακα 3 και τον Πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 16A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης του πλυντηρίου πιάτων από τον κεντρικό πίνακα και τα στοιχεία που απαιτούνται για την υλοποίησή της.



Σχήμα 8

Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης πλυντηρίου πιάτων

6.6. Γραμμή πλυντηρίου ρούχων

$$I = \frac{P}{V} \Rightarrow I = \frac{3200}{230} \Rightarrow I = 13,91A$$

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 2,5\text{mm}^2$

$$\Delta v = \frac{2 * \rho * l * I * \sigma \nu \nu \phi}{S} \Rightarrow \Delta v = \frac{2 * 0,017 * 9 * 13,91}{2,5} \Rightarrow \Delta v = 1,7V$$

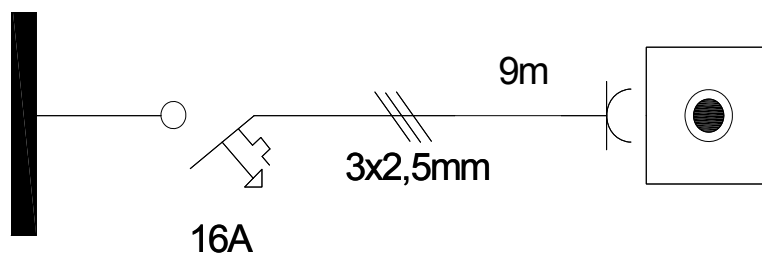
Αποδεκτή πτώση τάσης.

Από τον Πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου 16mm^2 .

Από τον πίνακα 3 και τον Πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 16A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης του πλυντηρίου ρούχων από τον κεντρικό πίνακα και τα στοιχεία που απαιτούνται για την υλοποίησή της.



Σχήμα 9

Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης πλυντηρίου ρούχων

6.7. Γραμμή στεγνωτήριου

$$I = \frac{P}{V} \Rightarrow I = \frac{3200}{230} \Rightarrow I = 13,91A$$

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 2,5\text{mm}^2$

$$\Delta v = \frac{2 * \rho * l * I * \sigma \nu \nu \phi}{S} \Rightarrow \Delta v = \frac{2 * 0,017 * 10 * 13,91}{2,5} \Rightarrow \Delta v = 1,89V$$

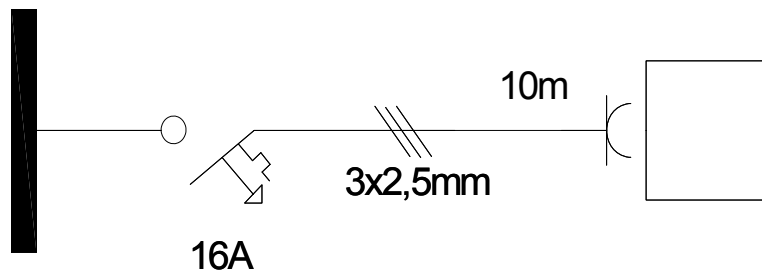
Αποδεκτή πτώση τάσης.

Από τον Πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου 16mm^2 .

Από τον πίνακα 3 και τον πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 16A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης του στεγνωτηρίου από τον κεντρικό πίνακα και τα στοιχεία που απαιτούνται για την υλοποίησή της.



Σχήμα 10

Μονογραμμικό διάγραμμα ηλεκτροδότησης στεγνωτηρίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Υπολογισμός γραμμών φωτισμού

7.1. Γραμμή δωματίου κουζίνας

Στη γραμμή πρόκειται να συνδεθούν 3 φωτιστικά σώματα 20W το κάθε ένα και 4 ρευματοδότες, συνεπώς ανήκει στην κατηγορία των διακλαδιζόμενων γραμμών. Το συνολικό ρεύμα που θα διαρρέει τη γραμμή από το γενικό πίνακα μέχρι την πρώτη διακλάδωση όταν εισέρχεται στο δωμάτιο της κουζίνας, υπολογίζεται ως εξής:

Ηλεκτρολογικά εξαρτήματα γραμμής	Ένταση ρεύματος[A]
3 φωτιστικά	$3*0,2=0,6$
5 ρευματοδότες	$5*1,5=7,5$
Συνολική ένταση ρεύματος γραμμής	8,1A

Πίνακας 15

Συνολικό ρεύμα γραμμής κουζίνας

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S= 1,5\text{mm}^2$, ώστε να υπερκαλύπτεται η ανάγκη κάλυψης φορτίων σε περίπτωση που εγκατασταθούν περισσότερα από αυτά που έχουν αρχικά υπολογιστεί. Πραγματοποιούμε έλεγχο πτώσης τάσης, με περιορισμό τα ίδια κριτήρια όπως και στις προηγούμενες γραμμές, δηλαδή να μην υπερβαίνει τα 9,2V της ονομαστικής τάσης, στη διακλαδιζόμενη γραμμή της κουζίνας από τον ακόλουθο τύπο:

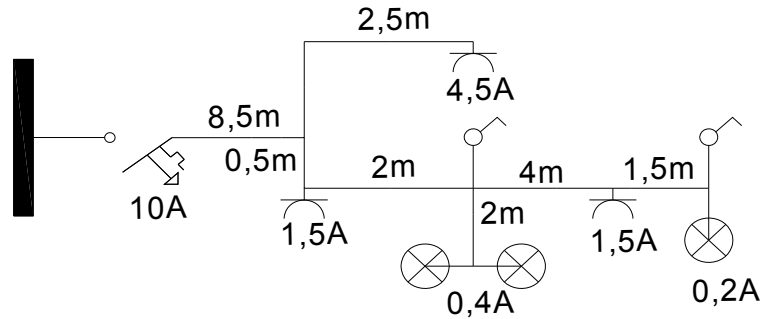
$$\Delta v = \frac{2 * \rho}{S} \sum l * I \Rightarrow \Delta v = \frac{2 * 0,017}{1,5} \sum (8,5 * 8,1 + 2,5 * 4,5 + 0,5 * 3,6 + 2 * 2,1 + 2 * 0,4 + 4 * 1,7 + 1,5 * 0,2) \Rightarrow \Delta v = 2,19V$$

Η πτώση τάσης είναι αποδεκτή

Από τον Πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου $13,5\text{mm}^2$. Από τον πίνακα 3 και τον πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 10A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης των φωτιστικών και των ρευματοδοτών της κουζίνας.



Σχήμα 11

Μονογραμμικό διάγραμμα κουζίνας

7.2. Γραμμή των δύο μπάνιων και καθαριστήριου

Στη γραμμή πρόκειται να συνδεθούν 7 φωτιστικά σώματα 20W το κάθε ένα, 3 ρευματοδότες και 2 εξαερισμοί, συνεπώς ανήκει στην κατηγορία των διακλαδιζόμενων γραμμών. Το συνολικό ρεύμα που θα διαρρέει τη γραμμή από το γενικό πίνακα μέχρι την πρώτη διακλάδωση του διαχωρίζει το μπάνιο 2 και το μπάνιο 1 με το καθαριστήριο, υπολογίζεται ως εξής:

Ηλεκτρολογικά εξαρτήματα γραμμής	Ένταση ρεύματος[A]
7 φωτιστικά	$7 \cdot 0,2 = 1,4$
3 ρευματοδότες	$3 \cdot 1,5 = 4,5$
2 εξαερισμούς	$2 \cdot 0,5 = 1$
Συνολική ένταση ρεύματος γραμμής	6,9A

Πίνακας 16

Συνολικό ρεύμα γραμμής μπάνιων

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 1,5 \text{mm}^2$, ώστε να υπερκαλύπτεται η ανάγκη μας. Πραγματοποιούμε έλεγχο πτώσης τάσης, με περιορισμό τα ίδια κριτήρια όπως και στις προηγούμενες γραμμές, δηλαδή να μην υπερβαίνει τα 9,2V της ονομαστικής τάσης, στη διακλαδιζόμενη γραμμή των δύο μπάνιων και του καθαριστηρίου, από τον ακόλουθο τύπο:

$$\Delta v = \frac{2 \cdot \rho}{S} \sum l \cdot I \Rightarrow \Delta v = \frac{2 \cdot 0,017}{1,5}$$

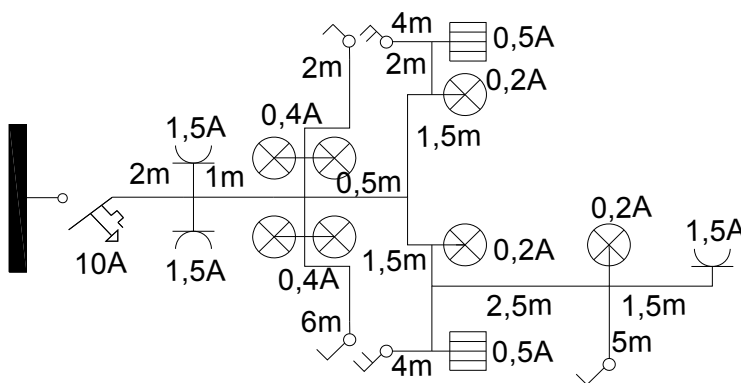
$$\sum (2 * 6,9 + 0,5 * 3,9 + 1,5 * 3,1 + 1,5 * 0,7 + 1,5 * 2,4 + 2,5 * 1,7 + 1,5 * 1,5) \Rightarrow \Delta v = 0,81V$$

Η πτώση τάσης είναι αποδεκτή

Από τον πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου 13,5 mm². Από τον πίνακα 3 και τον πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 10A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης των φωτιστικών και των ρευματοδοτών της γραμμής.



Σχήμα 12

Μονογραμμικό διάγραμμα μπάνιων, καθαριστηρίου

7.3. Γραμμή δωματίου 1

Στη γραμμή πρόκειται να συνδεθούν 2 φωτιστικά σώματα 20W το κάθε ένα και 4 ρευματοδότες, συνεπώς ανήκει στην κατηγορία των διακλαδιζόμενων γραμμών. Το συνολικό ρεύμα που θα διαρρέει τη γραμμή από το γενικό πίνακα μέχρι την πρώτη διακλάδωση όταν εισέρχεται στο δωμάτιο 1, υπολογίζεται ως εξής:

Ηλεκτρολογικά εξαρτήματα γραμμής	Ένταση ρεύματος[A]
2 φωτιστικά	2*0,2=0,4
4 ρευματοδότες	4*1,5=6
Συνολική ένταση ρεύματος γραμμής	6,4A

Πίνακας 17

Συνολικό ρεύμα γραμμής δωματίου 1

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 1,5 \text{ mm}^2$, ώστε να υπερκαλύπτεται η ανάγκη μας. Πραγματοποιούμε έλεγχο πτώσης τάσης, με περιορισμό τα ίδια κριτήρια όπως και στις προηγούμενες γραμμές, δηλαδή να μην υπερβαίνει τα 9,2V της ονομαστικής τάσης, στη διακλαδιζόμενη γραμμή του δωματίου 1, από τον ακόλουθο τύπο:

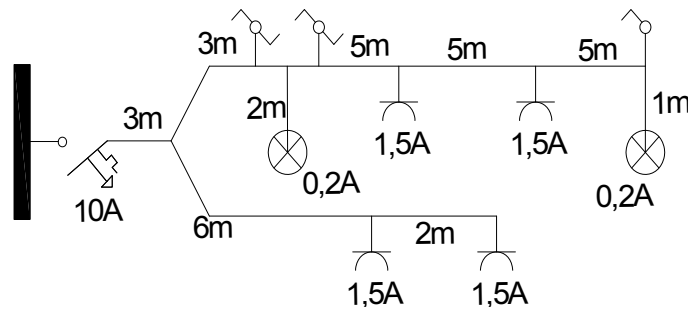
$$\Delta v = \frac{2 * \rho}{S} \sum l * I \Rightarrow \Delta v = \frac{2 * 0,017}{1,5} \sum (3 * 6,4 + 6 * 3 + 2 * 1,5 + 3 * 3,4 + 2 * 0,2 + 5 * 3,2 + 5 * 1,7 + 6 * 0,2) = 1,73V$$

Η πτώση τάσης είναι αποδεκτή

Από τον πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου $13,5 \text{ mm}^2$. Από τον πίνακα 3 και τον πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 10A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης των φωτιστικών και των ρευματοδοτών της γραμμής.



Σχήμα 13

Μονογραμμικό διάγραμμα δωματίου 1

7.4. Γραμμή δωματίου 2

Στη γραμμή πρόκειται να συνδεθούν 2 φωτιστικά σώματα 20W το κάθε ένα και 4 ρευματοδότες, συνεπώς ανήκει στην κατηγορία των διακλαδιζόμενων γραμμών. Το συνολικό ρεύμα που θα διαρρέει τη γραμμή από το γενικό πίνακα μέχρι την πρώτη διακλάδωση όταν εισέρχεται στο δωμάτιο 2, υπολογίζεται ως εξής:

Ηλεκτρολογικά εξαρτήματα γραμμής	Ένταση ρεύματος[A]
2 φωτιστικά	$2 * 0,2 = 0,4$

4 ρευματοδότες	4*1,5=6
Συνολική ένταση ρεύματος γραμμής	6,4A

Πίνακας 18

Συνολικό ρεύμα γραμμής δωματίου 2

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 1,5\text{mm}^2$, ώστε να υπερκαλύπτεται η ανάγκη μας. Πραγματοποιούμε έλεγχο πτώσης τάσης, με περιορισμό τα ίδια κριτήρια όπως και στις προηγούμενες γραμμές, δηλαδή να μην υπερβαίνει τα 9,2V της ονομαστικής τάσης, στη διακλαδιζόμενη γραμμή του δωματίου 2, από τον ακόλουθο τύπο:

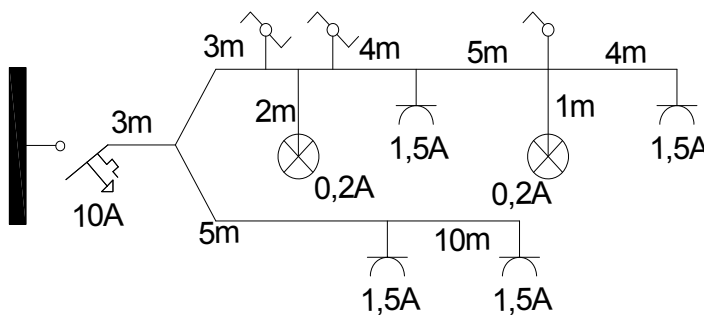
$$\Delta v = \frac{2 * \rho}{S} \sum l * I \Rightarrow \Delta v = \frac{2 * 0,017}{1,5} \sum (3 * 6,4 + 5 * 3 + 10 * 1,5 + 3 * 3,4 + 2 * 0,2 + 4 * 3,2 + 6 * 1,7 + 1 * 0,2 + 4 * 1,5) = 2,02V$$

Η πτώση τάσης είναι αποδεκτή

Από τον πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου $13,5\text{mm}^2$. Από τον πίνακα 3 και τον πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 10A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης των φωτιστικών και των ρευματοδοτών της γραμμής.



Σχήμα 14

Μονογραμμικό διάγραμμα δωματίου 2

7.5. Γραμμή δωματίου 3

Στη γραμμή πρόκειται να συνδεθούν 2 φωτιστικά σώματα 20W το κάθε ένα και 4 ρευματοδότες, συνεπώς ανήκει στην κατηγορία των διακλαδιζόμενων γραμμών. Το

συνολικό ρεύμα που θα διαρρέει τη γραμμή από το γενικό πίνακα μέχρι την πρώτη διακλάδωση όταν εισέρχεται στο δωμάτιο 3, υπολογίζεται ως εξής:

Ηλεκτρολογικά εξαρτήματα γραμμής	Ένταση ρεύματος[A]
2 φωτιστικά	2*0,2=0,4
4 ρευματοδότες	4*1,5=6
Συνολική ένταση ρεύματος γραμμής	6,4A

Πίνακας 19

Συνολικό ρεύμα γραμμής δωματίου 3

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 1,5 \text{mm}^2$, ώστε να υπερκαλύπτεται η ανάγκη μας. Πραγματοποιούμε έλεγχο πτώσης τάσης, με περιορισμό τα ίδια κριτήρια όπως και στις προηγούμενες γραμμές, δηλαδή να μην υπερβαίνει τα 9,2V της ονομαστικής τάσης, στη διακλαδιζόμενη γραμμή του δωματίου 3, από τον ακόλουθο τύπο:

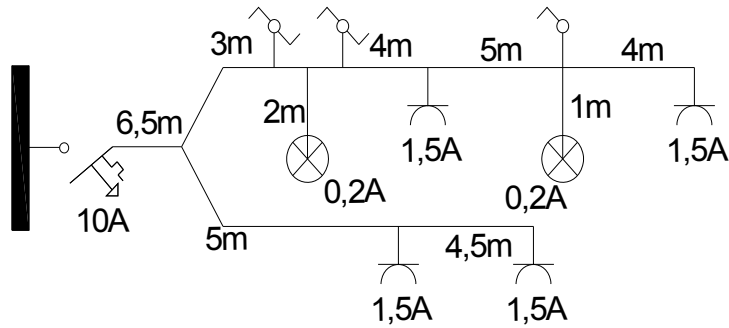
$$\varepsilon(\%) = \frac{2 * \rho}{S} \sum l * I \Rightarrow \varepsilon(\%) = \frac{2 * 0,017}{1,5} \sum (6,5 * 6,4 + 5 * 3 + 4,5 * 1,5 + 3 * 3,4 + 2 * 0,2 + 4 * 3,2 + 6 * 0,2 + 4 * 1,5) = 2,13\%$$

Η πτώση τάσης είναι αποδεκτή

Από τον πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου $13,5 \text{mm}^2$. Από τον πίνακα 3 και τον πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 10A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης των φωτιστικών και των ρευματοδοτών της γραμμής.



Σχήμα 15

Μονογραμμικό διάγραμμα δωματίου 3

7.6. Γραμμή διαδρόμου και αποθήκης

Στη γραμμή πρόκειται να συνδεθούν 3 φωτιστικά σώματα 20W το κάθε ένα και 3 ρευματοδότες, συνεπώς ανήκει στην κατηγορία των διακλαδιζόμενων γραμμών. Το συνολικό ρεύμα που θα διαρρέει τη γραμμή από το γενικό πίνακα μέχρι την πρώτη διακλάδωση όταν εισέρχεται στην αποθήκη, υπολογίζεται ως εξής:

Ηλεκτρολογικά εξαρτήματα γραμμής	Ένταση ρεύματος[A]
3 φωτιστικά	$3 \cdot 0,2 = 0,6$
3 ρευματοδότες	$3 \cdot 1,5 = 4,5$
Συνολική ένταση ρεύματος γραμμής	5,1A

Πίνακας 20

Συνολικό ρεύμα γραμμής διαδρόμου

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 1,5 \text{mm}^2$, ώστε να υπερκαλύπτεται η ανάγκη μας. Πραγματοποιούμε έλεγχο πτώσης τάσης, με περιορισμό τα ίδια κριτήρια όπως και στις προηγούμενες γραμμές, δηλαδή να μην υπερβαίνει τα 9,2V της ονομαστικής τάσης, στη γραμμή του διαδρόμου και της αποθήκης, από τον ακόλουθο τύπο:

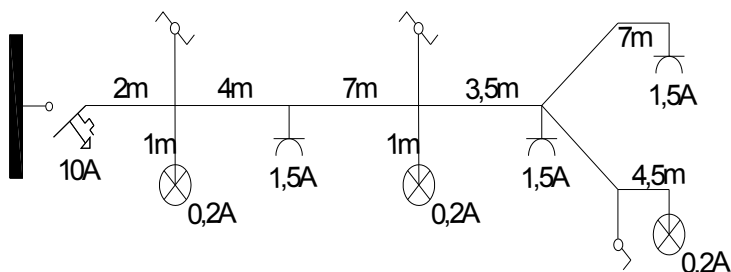
$$\Delta v = \frac{2 \cdot \rho}{S} \sum l \cdot I \Rightarrow \Delta v = \frac{2 \cdot 0,017}{1,5} \sum (2 \cdot 5,1 + 1 \cdot 0,2 + 4 \cdot 4,9 + 7 \cdot 3,4 + 3,5 \cdot 3,2 + 4,5 \cdot 0,2 + 7 \cdot 1,5) = 1,73V$$

Η πτώση τάσης είναι αποδεκτή

Από τον πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου $13,5 \text{ mm}^2$. Από τον πίνακα 3 και τον πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 10A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης των φωτιστικών και των ρευματοδοτών της γραμμής.



Σχήμα 16

Μονογραμμικό διάγραμμα διαδρόμου και αποθήκης

7.7. Γραμμή Σαλονιού 1

Στη γραμμή πρόκειται να συνδεθούν 3 φωτιστικά σώματα 20W το κάθε ένα και 3 ρευματοδότες, συνεπώς ανήκει στην κατηγορία των διακλαδιζόμενων γραμμών. Το συνολικό ρεύμα που θα διαρρέει τη γραμμή από το γενικό πίνακα μέχρι την πρώτη διακλάδωση όταν εισέρχεται στο σαλόνι 1, υπολογίζεται ως εξής.

Ηλεκτρολογικά εξαρτήματα γραμμής	Ένταση ρεύματος[A]
3 φωτιστικά	$3 \cdot 0,2 = 0,6$
4 ρευματοδότες	$4 \cdot 1,5 = 6$
Συνολική ένταση ρεύματος γραμμής	6,6A

Πίνακας 21

Συνολικό ρεύμα γραμμής σαλονιού 1

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 1,5 \text{ mm}^2$, ώστε να υπερκαλύπτεται η ανάγκη μας. Πραγματοποιούμε έλεγχο πτώσης τάσης, με περιορισμό τα ίδια κριτήρια όπως και στις προηγούμενες γραμμές, δηλαδή να μην

υπερβαίνει τα 9,2V της ονομαστικής τάσης, στη γραμμή του σαλονιού 1, από τον ακόλουθο τύπο:

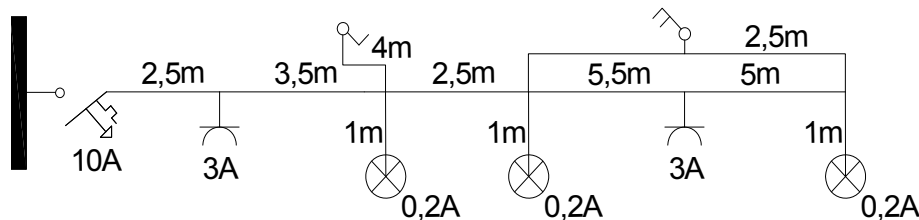
$$\Delta v = \frac{2 * \rho}{S} \sum I * I \Rightarrow \Delta v = \frac{2 * 0,017}{1,5} \sum (2,5 * 6,6 + 3,5 * 3,6 + 2,5 * 3,4 + 5,5 * 3,2 + 5 * 0,2) = 1,27V$$

Η πτώση τάσης είναι αποδεκτή

Από τον πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου 13,5 mm². Από τον πίνακα 3 και τον πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 10A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης των φωτιστικών και των ρευματοδοτών της γραμμής.



Σχήμα 17

Μονογραμμικό διάγραμμα σαλονι 1

7.8. Γραμμή Σαλονιού 2

Στη γραμμή πρόκειται να συνδεθούν 4 φωτιστικά σώματα 20W το κάθε ένα και 6 ρευματοδότες, συνεπώς ανήκει στην κατηγορία των διακλαδιζόμενων γραμμών. Το συνολικό ρεύμα που θα διαρρέει τη γραμμή από το γενικό πίνακα μέχρι την πρώτη διακλάδωση όταν εισέρχεται στο σαλονι 2, υπολογίζεται ως εξής:

Ηλεκτρολογικά εξαρτήματα γραμμής	Ένταση ρεύματος[A]
4 φωτιστικά	4*0,2=0,8
6 ρευματοδότες	6*1,5=9
Συνολική ένταση ρεύματος γραμμής	9,8A

Από τον πίνακα 6, επιλέγουμε καλώδιο διατομής: $S = 2,5\text{mm}^2$, ώστε να υπερκαλύπτεται η ανάγκη μας. Πραγματοποιούμε έλεγχο πτώσης τάσης, με περιορισμό τα ίδια κριτήρια όπως και στις προηγούμενες γραμμές, δηλαδή να μην υπερβαίνει τα 9,2V της ονομαστικής τάσης, στη διακλαδιζόμενη γραμμή του σαλονιού 2, από τον ακόλουθο τύπο:

$$\Delta v = \frac{2 * \rho}{S} \sum I * l \Rightarrow \Delta v = \frac{2 * 0,017}{1,5}$$

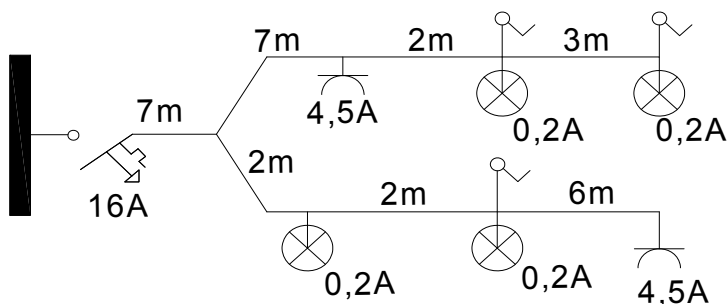
$$\sum (7 * 9,8 + 7 * 4,9 + 2 * 0,4 + 3 * 0,2 + 2 * 4,9 + 2 * 4,7 + 6 * 4,5) = 3,19V$$

Η πτώση τάσης είναι αποδεκτή

Από τον πίνακα 9 προκύπτει πλαστικός σωλήνας διαμέτρου 16mm^2 . Από τον πίνακα 3 και τον πίνακα 4 θα επιλέξουμε:

- Αυτόματη ασφάλεια των 16A

Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μονογραμμική σχεδίαση ηλεκτροδότησης των φωτιστικών και των ρευματοδοτών της γραμμής.



Σχήμα 18

Μονογραμμικό διάγραμμα σαλονιού 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: Μετρητής παροχής ενέργειας

8.1. Υπολογισμός γραμμής μετρητή-πίνακα

Είναι προφανές ότι η μέγιστη ένταση της κύριας γραμμής μετρητή – πίνακα, με βάση την οποία θα επιλεγεί και η διατομή των αγωγών καλωδίου, εξαρτάται από τη μέγιστη δυνατή

ισχύ που ο καταναλωτής θα απαιτήσει από το δίκτυο της ΔΕΗ. Στη μέγιστη αυτή ισχύ, η οποία ονομάζεται και μέγιστη ισχύς ζήτησης της εγκατάστασης (συμφωνημένη ισχύς), πρέπει να προβλέπεται και τυχόν μελλοντική επαύξηση της εγκατεστημένης ισχύος.

Η γραμμή (παροχή) μετρητή – πίνακα προστατεύεται μόνο από βραχυκυκλώματα, (εντάσεις ρεύματος πολλαπλάσιες της ονομαστικής) από τον μικροαυτόματο ή τις ασφάλειες του μετρητή, ενώ η προστασία από υπερφορτίσεις (εντάσεις ρεύματος λίγο μεγαλύτερες της ονομαστικής) εξασφαλίζεται από τις ασφάλειες του γενικού πίνακα διανομής της ΕΗΕ. Η κύρια γραμμή μετρητή – γενικού πίνακα και τα εξαρτήματά της (γενικός διακόπτης, ασφάλειες) υπολογίζονται βάσει της μέγιστης έντασης της γραμμής.

Πρώτος τρόπος υπολογισμού είναι με το άθροισμα των εντάσεων των ρευμάτων που υπάρχουν στις 15 γραμμές της εγκατάστασης. Σύμφωνα με τις τιμές ρεύματος που βρήκαμε στα δύο προηγούμενα κεφάλαια, προκύπτει ότι:

$$26,09+11,73+17,39*2+13,91*3+8,1+6,9+3*6,4+5,1+6,6+9,8= 170,03A$$

Δηλαδή το συνολικό ρεύμα ισούται με 170,03A. Αυτό που μας ενδιαφέρει είναι το ρεύμα ανά φάση για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε διατομές αγωγών και των μέσων προστασίας.

$$I\phi = \frac{170,03A}{3} \Rightarrow I\phi = 56,67A$$

$$S = 3 * V\phi * I\phi \Rightarrow S = 3 * 230 * 56,67 \Rightarrow S = 39,11KVA$$

Επειδή το μέγεθος αυτό είναι προσαρμοσμένο για συντελεστή ταυτοχρονισμού ίσο με τη μονάδα, θα χρειαστεί να υπολογίσουμε την ένταση ρεύματος της τελικής επιβάρυνσης του δικτύου με συντελεστή ταυτοχρονισμού ίσο με 0,7. Θεωρείται μέσος αποδεκτός για οικιακή εγκατάσταση Χ.Τ., συνεπώς το ρεύμα κάθε φάσης θα είναι:

$$S = 39,11 * 0,7 \Rightarrow S = 27,38KVA \text{ ή } I\phi = 56,78 * 0,7 \Rightarrow I\phi = 39,33A$$

Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει συμφωνημένη ισχύς περίπου 27,5KVA. Από τον πίνακα 12, επιλέγουμε μετρητή παροχής Νο3 με εγκατεστημένη ισχύ 35KVA και συμφωνημένη ισχύς 30KVA. Επίσης μας καλύπτει επειδή δίνεται και η δυνατότητα για μελλοντική προσαύξησης γραμμής εφόσον ζητηθεί. Ακόμα και αν θεωρήσουμε ότι από τον γενικό

πίνακα ο αριθμός τροφοδοτούμενων ηλεκτρικών κυκλωμάτων είναι 15 και επομένως από τον πίνακα 11 ο συντελεστής ταυτοχρονισμού θεωρηθεί 0,57, τότε θα ισχύει:

$$S = 39,11 * 0,57 \Rightarrow S = 22,29KVA \text{ ή } I\phi = 56,18 * 0,57 \Rightarrow I\phi = 32,02A$$

Είτε με συντελεστή ταυτοχρονισμού 0,7 ή 0,57 σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 12, για συμφωνημένη ισχύς 27,38KVA ή 22,29KVA αντίστοιχα, προκύπτει αντίστοιχα παροχή Νο3 με εγκατεστημένη ισχύ 35KVA και ισχύ συμμετοχής 30KVA.

Δεύτερος τρόπος, εάν είναι γνωστή η συμφωνημένη ισχύς (S) και η τάση (V) του καταναλωτή, τότε η μέγιστη ένταση της κύριας γραμμής μετρητή – πίνακα για μονοφασικό και τριφασικό καταναλωτή είναι:

$$I = \frac{S}{V} \quad \text{και} \quad I = \frac{S}{3 * V} \quad \text{αντίστοιχα.}$$

Για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση, από τα δεδομένα του πίνακα 10 με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 35KVA, προκύπτει από τον πίνακα 12 παροχή Νο3 και συμφωνημένη ισχύ στα 30KVA. Για τη συγκεκριμένη παροχή τριφασικής εγκατάστασης με συμφωνημένη ισχύ 30KVA, η συνολική ένταση του ρεύματος που θα περνά από τη γραμμή μετρητή – γενικού πίνακα ανά φάση υπολογίζεται από τον παραπάνω τύπο, δηλαδή:

$$I\phi = \frac{S}{3 * V\phi} \Rightarrow I\phi = \frac{30.000VA}{3 * 230V} \Rightarrow I\phi = 43,48A$$

Θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα που βρήκαμε από τον δεύτερο τρόπο υπολογισμού για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης, επειδή το φασικό ρεύμα είναι μεγαλύτερο και προσεγγίζει τις οριακές τιμές αντοχής της παροχής Νο3. Ελέγχουμε την πτώση τάσης του τμήματος της εγκατάστασης μεταξύ μετρητή – πίνακα που έχει μήκος 22m και θεωρείται μη διακλαδιζόμενη, με έναν από τους ακόλουθους τύπους,

- με το επιτρεπτό ποσοστό $\varepsilon(4\%)$

$$\varepsilon(\%) = \frac{2 * l * P}{K * S * U^2} \Rightarrow \varepsilon(\%) = \frac{2 * 22 * 230 * 43,48}{56 * 16 * 230^2} \Rightarrow \varepsilon(\%) = 0,93\%$$

Αποδεκτή πτώση τάσης

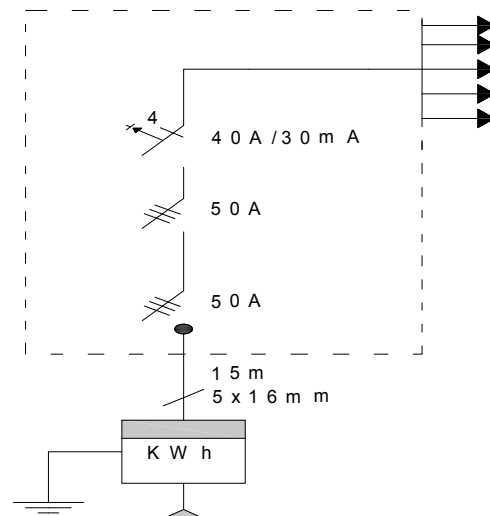
- με την επιτρεπόμενη τιμή Δu (9,2V)

$$\Delta u = \frac{2 * p * l * I}{S} \Rightarrow \Delta u = \frac{2 * 0,0175 * 43,48 * 22}{16} \Rightarrow \Delta u = 2,09$$

Αποδεκτή πτώση τάσης καθώς $2,09V \leq 9,2V$.

Από τον πίνακα 13, προκύπτει ότι για τη δεδομένη συμφωνημένη ισχύ, η ονομασία της παροχής θα είναι η Νο3, με παροχή ισχύος 35KVA και συμφωνημένη ισχύς 30KVA. Θα τοποθετηθεί τριφασικός μετρητής 3x20/60 με αυτόματη τριπολική ασφάλεια 3*50A, τριπολικό διακόπτη 3*50A και διαφορικός διακόπτη έντασης ρεύματος (αντιηλεκτροπληξιακό) με στοιχεία 40A/30mA. Το καλώδιο γραμμής παροχής θα επιλεγεί να είναι H05VV-U(NYM) 5x16mm² για (L1-L2-L3, N, PE).

Από τον πίνακα 9 επιλέγεται πλαστική σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 23mm². Ο χαρακτηρισμός τιμολογίου θεωρείται Γ1 για κατηγορία οικιακού καταναλωτή. Το μονογραμμικό διάγραμμα της γραμμής παροχής μετρητή – γενικού πίνακα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 19

Μονογραμμικό διάγραμμα μετρητή – γενικού πίνακα

Για τη σύνδεση των κυκλωμάτων στον τριφασικό πίνακα, απαιτείται να γίνει ίση κατανομή των ρευμάτων σε κάθε φάση. Ακολουθεί ο πίνακας που δείχνει τον προσδιορισμό ρεύματος της εγκατάστασης.

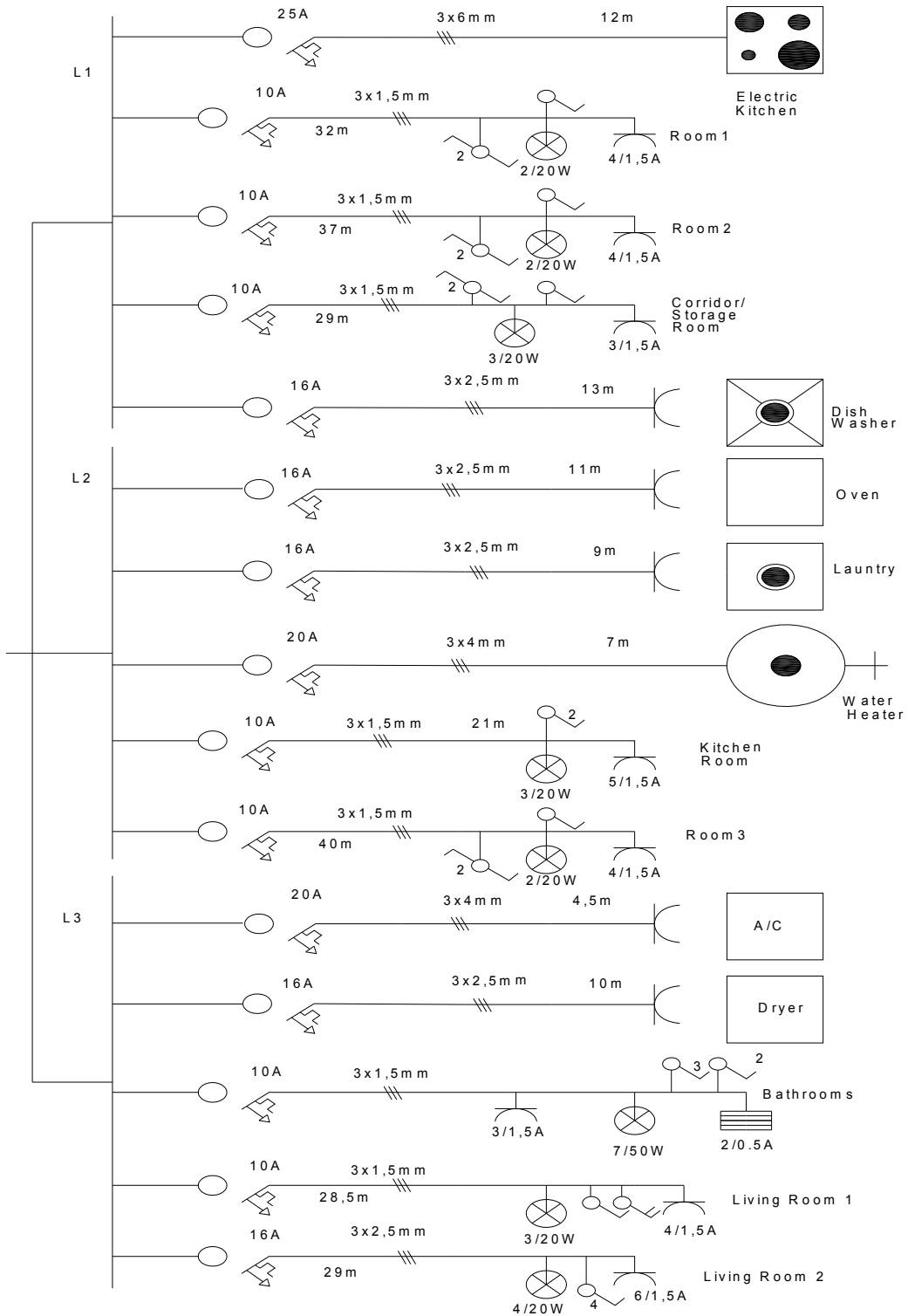
Ονομασία φάσης	Αριθμός γραμμών	Εντάσεις ρεύματος γραμμών (A)	Συνολική ένταση ρεύματος φάσης (A)
L1	1-5-10-11-13	26,09+13,91+6,4+6,4+5,1	57,9
L2	2-3-6-8-12	17,39+11,73+13,91+8,1+6	57,53
L3	4-7-9-14-15	17,39+13,91+9,8+6,9+6,6	54,6

Πίνακας 23

Προσδιορισμός ρευμάτων ανά φάση στο γενικό πίνακα

8.2. Μονογραμμικό διάγραμμα γενικού πίνακα

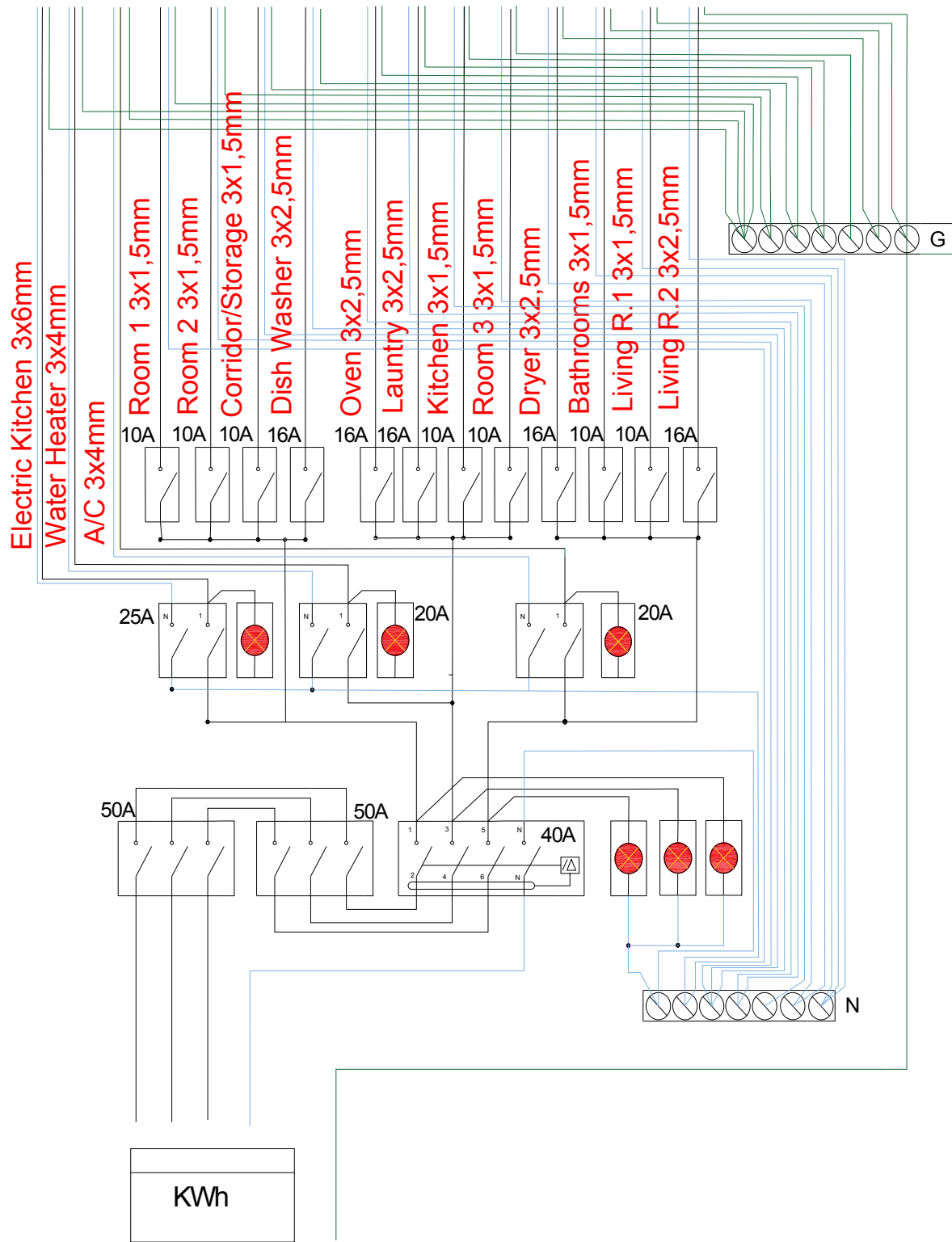
Παρακάτω ακολουθεί το μονογραμμικό διάγραμμα του γενικού πίνακα της οικίας με όλα τα τροφοδοτούμενα ηλεκτρικά φορτία και τα στοιχεία που αποτελείται η κάθε γραμμή.



Σχήμα 20

Μονογραμμικό διάγραμμα γενικού πίνακα

8.3. Πολυγραμμικό διάγραμμα γενικού πίνακα



Σχήμα 21

Πολυγραμμικό διάγραμμα γενικού πίνακα

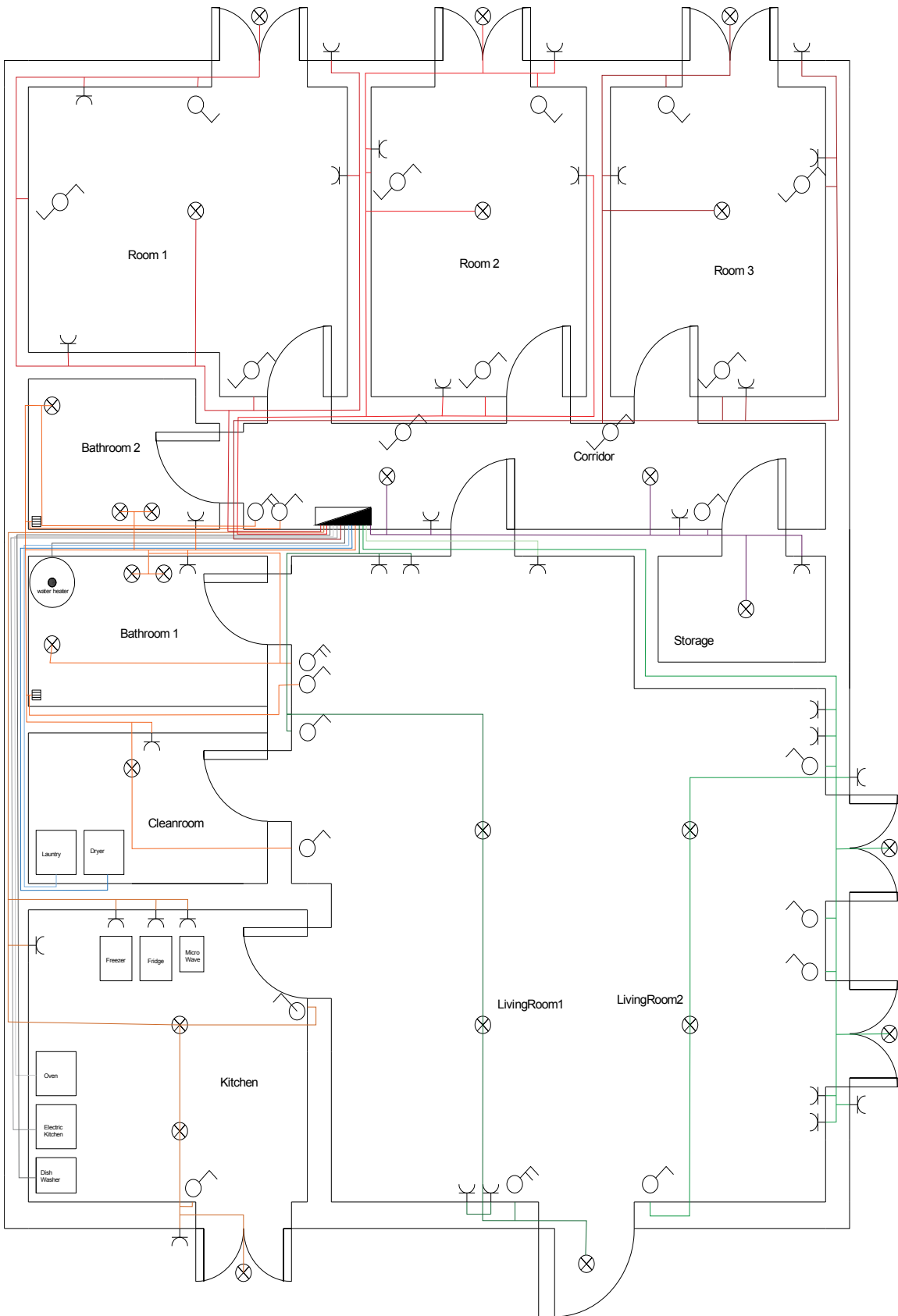
Όπως μπορούμε να δούμε από το πολυγραμμικό σχέδιο του γενικού πίνακα, από το μετρητή αναχωρούν οι 3 φάσεις και ο ουδέτερος όπως επίσης και ο αγωγός γείωσης. Οι φάσεις συνδέονται με τριπολικό γενικό διακόπτη φορτίου του πίνακα, έπειτα συνδέονται με τριπολική αυτόματη ασφάλεια δηλαδή το μικροαυτόματο διακόπτη και μετά ακολουθεί η σύνδεση με τον ΔΔΕ (ρελέ), όπου συνδέεται και ο ουδέτερος αγωγός. Με κόκκινο χρώμα περιγράφονται οι λυχνίες που ανάβουν στο εσωτερικό τους όταν το κύκλωμα θα είναι ενεργοποιημένο.. Τέτοιες τοποθετούνται για τα κυκλώματα του ηλεκτρικού μαγειρείου, του ηλεκτρικού θερμοσίφωνα και του κλιματιστικού σαλονιού, επειδή πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε αυτά τα κυκλώματα εάν είναι ενεργά, λόγω των αυξημένων απαιτήσεων σε ρεύμα. Για τις συνδέσεις όλων των γραμμών έχουν χρησιμοποιηθεί μονοπολικοί και διπολικοί μικροαυτόματοι.

Ο γενικός πίνακας αποτελείται από δύο μπάρες ουδετέρου και γείωσης, από όπου αναχωρούν αγωγοί για τις συνδέσεις με τα υπόλοιπα κυκλώματα. Για τη σύνδεση των κυκλωμάτων δεν υπάρχει λόγος να χρησιμοποιηθεί ξεχωριστά διακόπτης και αυτόματη ασφάλεια όπως συνηθίζονταν σε παλαιότερες εφαρμογές, γιατί οι σύγχρονοι μικροαυτόματοι διακόπτες αναφέρουν ξεκάθαρα στα τεχνικά τους χαρακτηριστικά ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άνοιγμα κλείσιμο και απομόνωση ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

8.4. Μονογραμμικό διάγραμμα κάτοψης

Σε επόμενο σχήμα ακολουθεί το μονογραμμικό διάγραμμα κάτοψης της οικίας. Φαίνονται οι διαδρομές που ακολουθούνται από το γενικό πίνακα προς τις διάφορες ηλεκτρικές συσκευές, όπως επίσης προς τους ρευματοδότες, τους διάφορους διακόπτες φωτιστικών, καθώς και προς τα φωτιστικά σώματα.

Για τον υπολογισμό του μήκους των καλωδίων σε όλες τις γραμμές όπως αυτές φαίνονται στα μονογραμμικά διαγράμματα που έχουν προηγηθεί, έχει θεωρηθεί ότι το ύψος του γενικού πίνακα είναι περίπου 1,5m, το ύψος της οροφής που περνάνε τα καλώδια είναι 3m, το ύψος των διακοπών είναι περίπου 1,4m και το ύψος των ρευματοδοτών είναι 0,4m. Όλα τα ύψη είναι υπολογισμένα συναρτήσει του δαπέδου της οικίας.



Σ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο :Ηλιακή ακτινοβολία

9.1. Εισαγωγή

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε μια οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια, έχει δυο συνιστώσες: την άμεση και την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι αυτή η οποία φτάνει απ' ευθείας από τον ηλιακό δίσκο στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση (αλλαγή κατεύθυνσης) κατά τη διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Εξαρτάται από:

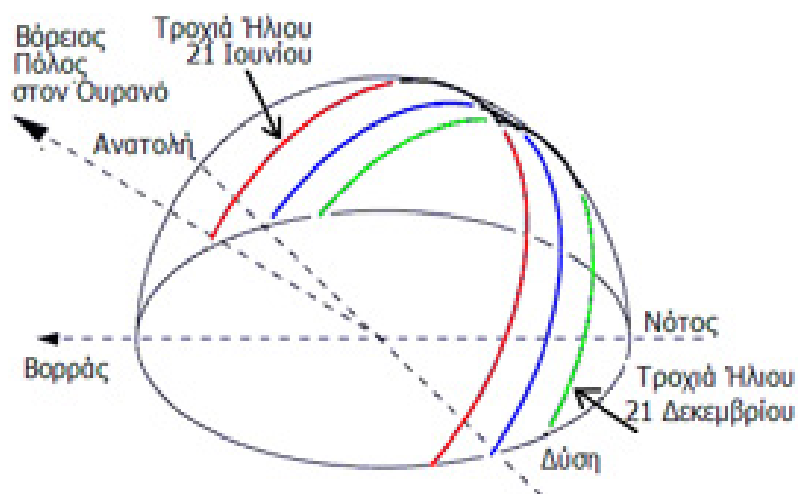
- την απόσταση Ήλιου-Γης
- την ηλιακή απόκλιση
- το ηλιακό ύψος
- το γεωγραφικό πλάτος του τόπου
- το υψόμετρο του τόπου
- την κλίση της επιφάνειας επί της οποίας προσπίπτει
- την απορρόφηση και διάχυση την οποία υφίσταται μέσα στην ατμόσφαιρα

Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι το ποσό της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους μετά την ανάκλαση ή σκέδαση μέσα στην ατμόσφαιρα, αλλά και μετά από ανάκλαση πάνω στην επιφάνεια της Γης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από:

- το ηλιακό ύψος
- το υψόμετρο του τόπου
- τη λευκαύγεια του εδάφους
- το ποσό και το είδος των νεφών
- την παρουσία διαφόρων κέντρων σκεδάσεως (αερολυμάτων, υδροσταγόνων κ.α.) που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα, τόσο μικρότερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην

επιφάνεια της Γης. Για το λόγο αυτό η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την θερινή περίοδο σε σχέση με τη χειμερινή. Τέλος, όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια στην Γη τόσο μεγαλύτερη είναι η έντασή της. Η Ελλάδα παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου $1,400-1,800 \frac{kWh}{m^2 * \acute{\epsilon}τος}$ ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας με σχεδόν σταθερή και προβλέψιμη ένταση $\frac{W}{m^2}$ στην διάρκεια του χρόνου και της ημέρας. Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει την μέγιστη ένταση της κατά την διάρκεια του μεσημεριού (μέγιστο ηλιακό ύψος), τόσο κατά τη θερινή όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο. Η ηλιακή ενέργεια είναι μεγαλύτερη κατά τη θερινή περίοδο, λόγω την θέσης του ήλιου, αλλά και λόγω της αύξησης των ωρών ηλιοφάνειας (μείωση των νεφώσεων).



Εικόνα 2

Τροχιά του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους

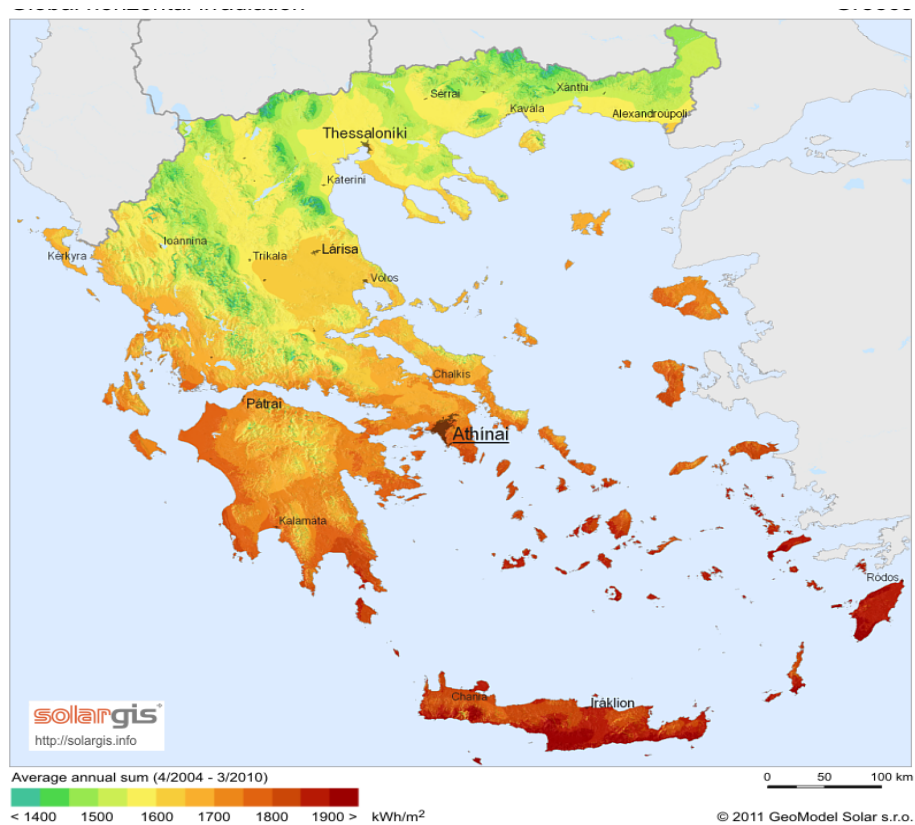
9.2. Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Με τον όρο ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζουμε το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Το φως ή φωτεινή ενέργεια που ακτινοβολείται, η θερμότητα που απορροφάται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας.

Η τεχνολογία σήμερα αξιοποιεί ένα μηδαμινό ποσοστό της προσπίπτουσας στην επιφάνεια του πλανήτη μας ηλιακής ενέργειας που χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες εφαρμογών:

- τα θερμικά-ενεργητικά ηλιακά (ηλιακός θερμοσίφωνας)
- τα παθητικά ηλιακά (σχεδιασμός κτηρίων)
- τα Φ/Β συστήματα (πάνελ, συστοιχίες)

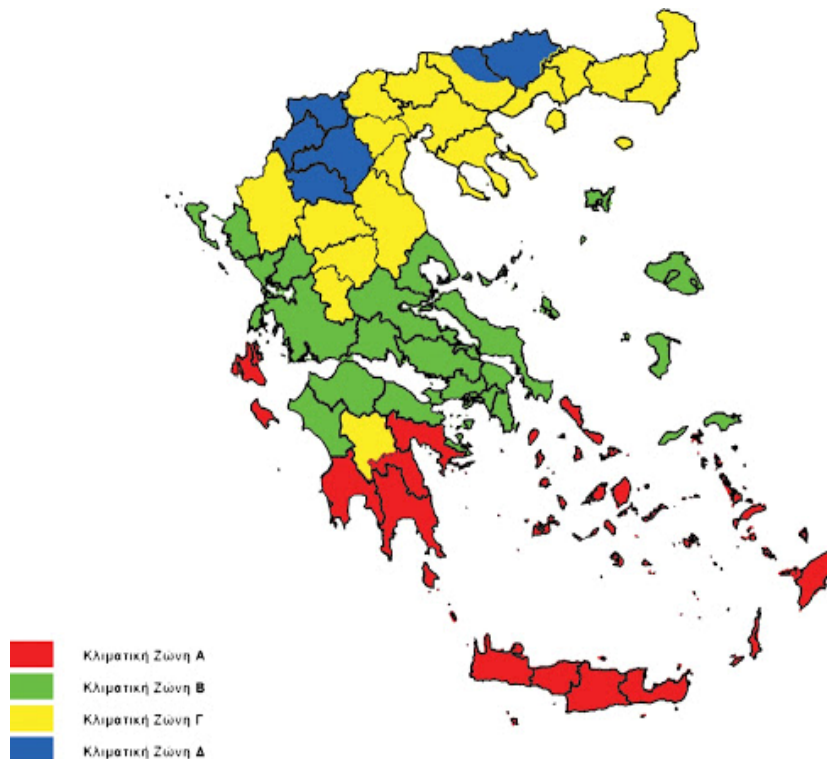
Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα Φ/Β συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του Φ/Β φαινομένου.



Εικόνα 3

Χάρτης ηλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα

Επίσης ένας χάρτης που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι αυτός με το διαχωρισμό κλιματολογικών ζωνών, που έχει οριστεί στον ελλαδικό χώρο και αφορά την ενεργειακή απόδοση από Φ/Β συστήματα.



Εικόνα 4

Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο :Φωτοβολταϊκό σύστημα

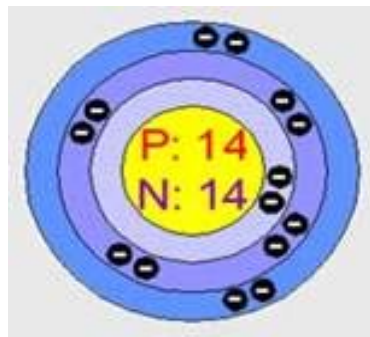
10.1. Εισαγωγή

Το Φ/Β φαινόμενο και η λειτουργία του Φ/Β συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε μία επιφάνεια μπορούν να παρατηρηθούν τα φαινόμενα της ανάκλασης, της διάθλασης και της απορρόφησης. Το φαινόμενο που μας απασχολεί σε αυτήν την περίπτωση είναι η απορρόφηση του φωτός, ουσιαστικά δηλαδή αυτό σημαίνει μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε άλλη μορφή ενέργειας, η οποία σύμφωνα με την αρχή διατήρησης ενέργειας συνήθως είναι η θερμότητα.

10.2. Αρχή λειτουργίας Φ/Β φαινόμενου

10.2.1. Ημιαγωγοί

Υπάρχουν υλικά με την ιδιότητα να μπορούν να μετατρέψουν την προσπίπτουσα ενέργεια των φωτονίων σε ηλεκτρική ενέργεια. Τέτοια υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται η τεχνολογική πρόοδος που έχει εμφανιστεί στο συγκεκριμένο τομέα. Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική στιβάδα. Ο πιο διαδεδομένος ημιαγωγός που χρησιμοποιείτε σε διατάξεις φωτοβολταϊκών είναι το πυρίτιο.



Εικόνα 5

Περιγραφή ενός ατόμου πυριτίου

Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 με 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα η περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στιβάδα. Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στιβάδα και κρυσταλλική δομή. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά.

Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

10.2.2. Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών

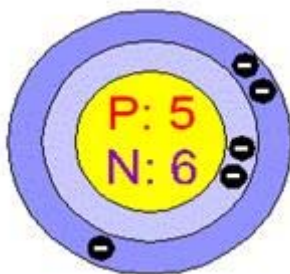
Τις ημιαγωγικές ιδιότητές του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό γίνεται με την πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα περισσότερο ή λιγότερο ηλεκτρόνιο στην εξωτερική στοιβάδα τους. Αυτή η πρόσμειξη κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (τύπου p), είτε σε αρνητικά φορτία (τύπου n). Για τη δημιουργία ημιαγωγού (τύπου n) απαιτείται η πρόσμειξη πυριτίου με άτομο με 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα όπως το αρσενικό.



Εικόνα 6

Περιγραφή ενός ατόμου αρσενικού

Αντίστοιχα για τη δημιουργία ενός ημιαγωγού (τύπου p) χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη πυριτίου με άτομο με 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα, όπως είναι το βόριο.



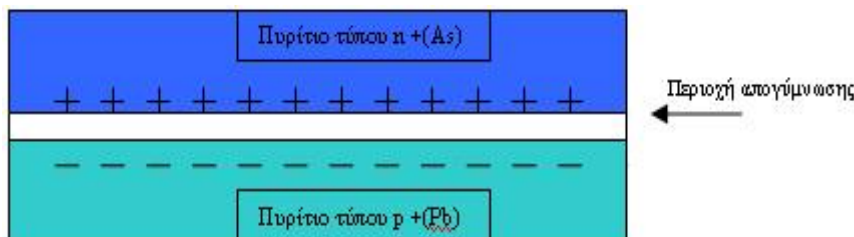
Εικόνα 7

Περιγραφή ενός ατόμου βορίου

10.2.3. Δημιουργία του ηλεκτρικού πεδίου

Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται στη θέση επαφής μία ζώνη όπου εναλλάσσονται οπές και ηλεκτρόνια. Ελεύθερα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού -n εισέρχονται στον ημιαγωγό -p και συμπληρώνουν αντίστοιχες οπές, ενώ ελεύθερες οπές από τον ημιαγωγό -p εισέρχονται στον ημιαγωγό -n και ενώνονται με ίσο αριθμό ηλεκτρονίων. Συνεπώς η πλευρά -n αποκτά θετικό δυναμικό

και η πλευρά $-p$ αποκτά αρνητικό δυναμικό, απαγορεύοντας πλέον την ανταλλαγή ηλεκτρονίων $-$ οπών στην περιοχή απογύμνωσης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μία δίοδος ή αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών που ονομάζεται δίοδος επαφής ή ημιαγωγική επαφή $p-n$, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



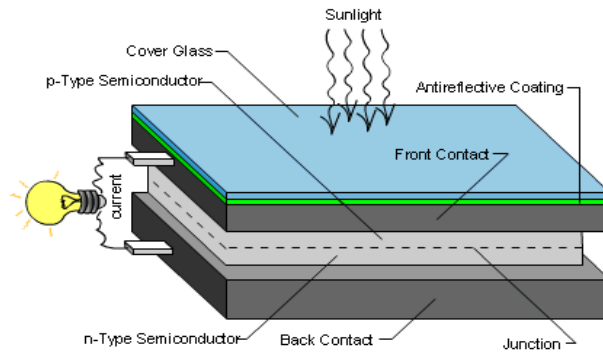
Εικόνα 8

Επαφή ημιαγωγού τύπου $p-n$

10.2.4. Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας

Κατά την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας, τα φωτόνια που προσπίπτουν στη διάταξη του Φ/Β κελιού περνούν αδιατάραχτα τη θετικά φορτισμένη επαφή τύπου p και προσπίπτουν στα άτομα της αρνητικά φορτισμένης επαφής τύπου n . Τα ηλεκτρόνια τύπου p αρχίζουν να κινούνται μεταξύ των οπών και ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της δίοδου και έλκονται από το αντίθετα φορτισμένο πεδίο.

Αφού ξεπεράσουν αυτό το ενεργειακό χάσμα της περιοχής τους είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής $-n$ δημιουργείται μία περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετήσουμε μία διάταξη μεταλλικού αγωγού στο πάνω μέρος της επαφής $-n$ και στο κάτω μέρος της επαφής $-p$, μαζί με ένα φορτίο ενδιάμεσα τοποθετημένο με τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι η βασική αρχή λειτουργίας του Φ/Β φαινόμενου.



Εικόνα 9

Αρχή λειτουργίας του Φ/Β φαινομένου

10.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων

Τα πλεονεκτήματα είναι τα ακόλουθα:

- Αθόρυβη λειτουργία
- Καθαρά χωρίς κατάλοιπα, αποφεύγοντας τη μόλυνση του περιβάλλοντος
- Λειτουργία χωρίς κινητά μέρη, με ελάχιστη συντήρηση
- Λειτουργία χωρίς καύσιμα
- Παραγωγή ενέργειας και με νεφελώδη ουρανό
- Κατασκευάζονται από πυρίτιο, στοιχείο που υπάρχει σε αφθονία στη φύση
- Αποδοτικά πλέον και σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Γρήγορη απόκριση σε μεταβολές της ηλιοφάνειας
- Εάν σε ένα Φ/Β πλαίσιο παρουσιαστεί βλάβη, το υπόλοιπο σύστημα λειτουργεί κανονικά
- Μεγάλο εύρος παραγωγής ισχύος (από mW μέχρι MW)
- Μεγάλος λόγος ισχύος/βάρους, δηλαδή κατάλληλα για εγκατάσταση σε στέγες
- Κατάλληλα για περιπτώσεις που δεν υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο
- Δυνατότητα μαζικής παραγωγής για οποιοδήποτε μέγεθος απαιτηθεί για κάλυψη διαφόρων ενεργειακών αναγκών

Τα μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων είναι:

- Σχετικά υψηλό κόστος αγοράς σε συνδυασμό την έλλειψη επιδοτήσεων

- Τα Φ/Β όπως όλες οι μορφές ΑΠΕ έχουν αρχικό υψηλό κόστος επένδυσης και χαμηλό λειτουργικό, σε σχέση με τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες που ισχύει συνήθως το αντίθετο.
- Απαιτείται συχνός καθαρισμός των Φ/Β επιφανειών από σκόνη κ.α. για τη διατήρηση μέγιστης αποδοτικότητας
- Υπάρχει ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω ετεροχρονισμού φορτίου και παραγωγής. Αύξηση του κόστους.

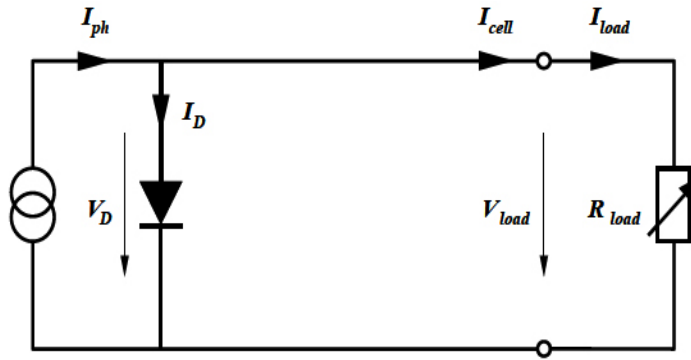
10.4. Κύρια μέρη Φ/Β συστήματος

Τα κύρια μέρη ενός Φ/Β συστήματος είναι τα ακόλουθα:

- Το Φ/Β στοιχείο (solar cell), είναι οι Φ/Β συλλέκτες που συλλέγουν το ηλιακό φως και το μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Το Φ/Β πλαίσιο (PV module), απαρτίζεται από πολλά Φ/Β στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους και αποτελούν τη βασική δομική μονάδα της Φ/Β γεννήτριας.
- Η μεταλλική δομή στήριξης η οποία μπορεί να είναι είτε σταθερή, είτε κινητή, δηλαδή να στρέφει τους συλλέκτες προς την κατεύθυνση του ήλιου.
- Αντιστροφάας τάσης, ώστε να μετασχηματίζεται το συνεχές ρεύμα που παράγει ή Φ/Β μονάδα σε εναλλασσόμενο ίδιας τάσης και συχνότητας με αυτή του δικτύου ώστε να απορροφάτε από αυτό.
- Τα καλώδια σύνδεσης της Φ/Β μονάδας
- Γείωση και αντικεραυνική προστασία

10.5. Το Φ/Β στοιχείο

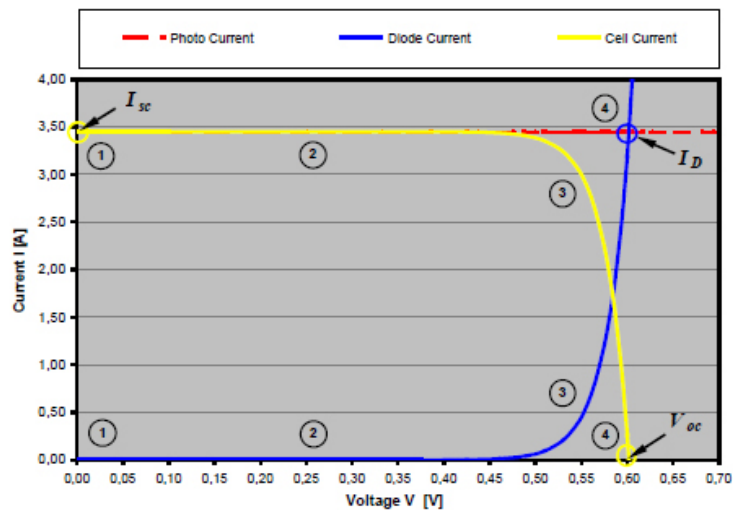
Θεωρητικά, το ηλεκτρικό κύκλωμα που αντιπροσωπεύει μία Φ/Β κυψέλη φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Αποτελείτε από μία δίοδο p-n, μία πηγή έντασης και μία αντίσταση ως φορτίο. Ουσιαστικά το Φ/Β στοιχείο δημιουργεί ελεύθερη μεταφορά φορτίου επιτρέποντας τη μεταφορά ρεύματος σε διασυνδεδεμένο φορτίο. Η παραγωγή ρεύματος εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας κατά αναλογία.



Σχήμα 23

Μοντέλο ιδανικού Φ/Β στοιχείου

Η χαρακτηριστική λειτουργία ρεύματος-τάσης του ιδανικού μοντέλου φαίνεται από το σχεδιάγραμμα που ακολουθεί. Με ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}) όταν $V = 0$, δηλαδή όταν δεν υπάρχει φορτίο στο κύκλωμα και τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc}) όταν $I = 0$, δηλαδή τα άκρα του κυκλώματος είναι ανοιχτοκυκλωμένα.



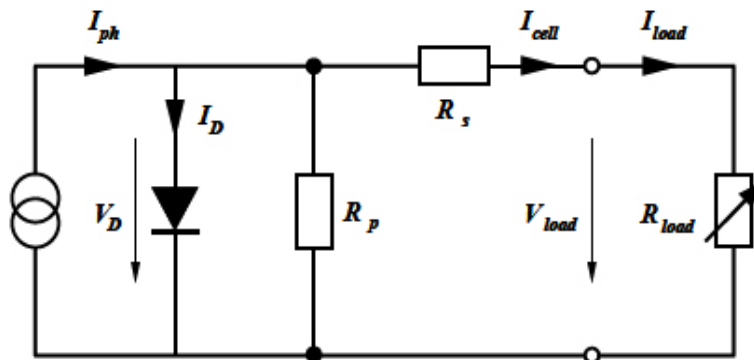
Εικόνα 10

Χαρακτηριστική $I - V$ ιδανικού Φ/Β στοιχείου

Πρακτικά, το Φ/Β στοιχείο συμπεριφέρεται εμφανίζοντας δύο παρασιτικές αντιστάσεις στο κύκλωμα, μία σε σειρά (R_s) και μία παράλληλα (R_p). Το ισοδύναμο κύκλωμα φαίνεται παρακάτω.

Η αντίσταση (R_s) αντιπροσωπεύει την αντίσταση που παρουσιάζει το πυρίτιο και οι μεταλλικές επαφές στην μπροστινή και στην πίσω όψη της επιφάνειας της κυψέλης, δηλαδή τις απώλειες που εμφανίζονται στο Φ/Β όταν αυτό συνδέεται με φορτίο.

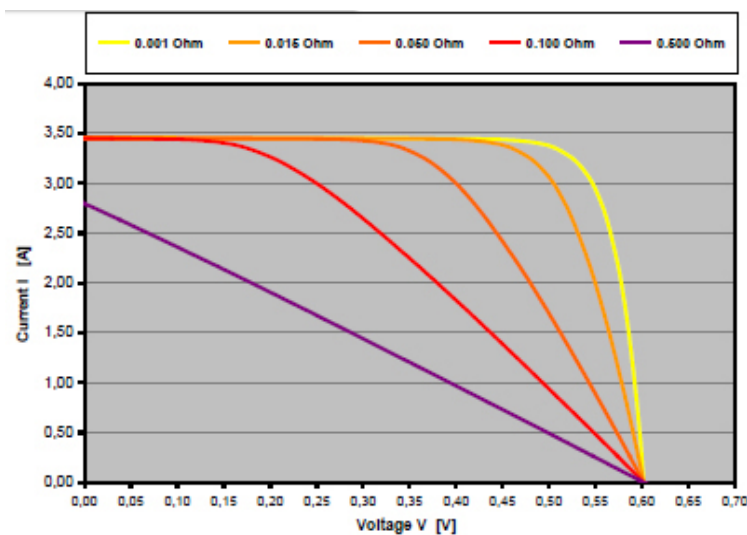
Η αντίσταση (R_p) προκαλείται από το **ρεύμα διαρροής** εξαιτίας της σύνδεσης p-n και τις μερικές συνδέσεις που υπάρχουν κυρίως στα άκρα των κυψελών, δηλαδή εκφράζει τις απώλειες του Φ/Β στοιχείου.



Σχήμα 24

Πραγματικό μοντέλο Φ/Β στοιχείου

Η χαρακτηριστική λειτουργία ρεύματος-τάσης του πραγματικού μοντέλου λειτουργίας συναρτήσει της αντίστασης (R_s) φαίνεται στο γράφημα που ακολουθεί.

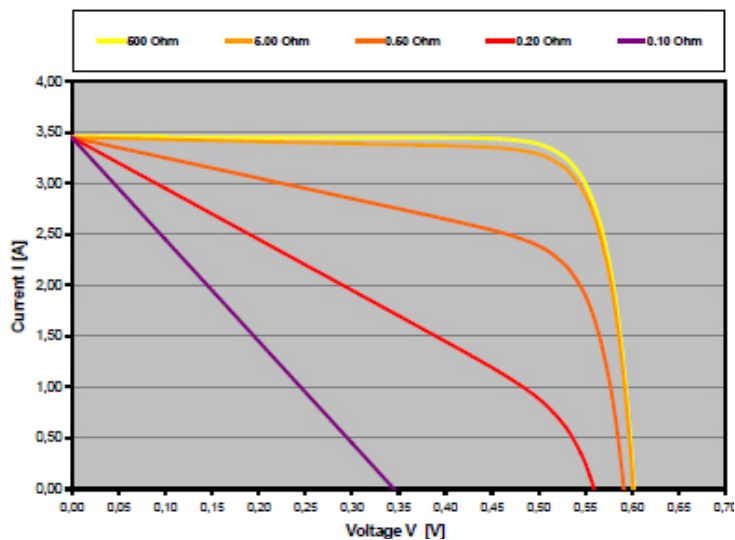


Εικόνα 11

Χαρακτηριστική $I - V$ πραγματικού Φ/Β στοιχείου ως προς R_s

Παρατηρούμε ότι η τιμή του ρεύματος εξαρτάται από την τιμή της αντίστασης (R_s), δηλαδή το ρεύμα μειώνεται όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της αντίστασης, αλλά όχι με αντίστροφη αναλογία.

Η χαρακτηριστική λειτουργία ρεύματος-τάσης του πραγματικού μοντέλου λειτουργίας συναρτησει της αντίστασης (R_p) φαίνεται στο γράφημα που ακολουθεί.

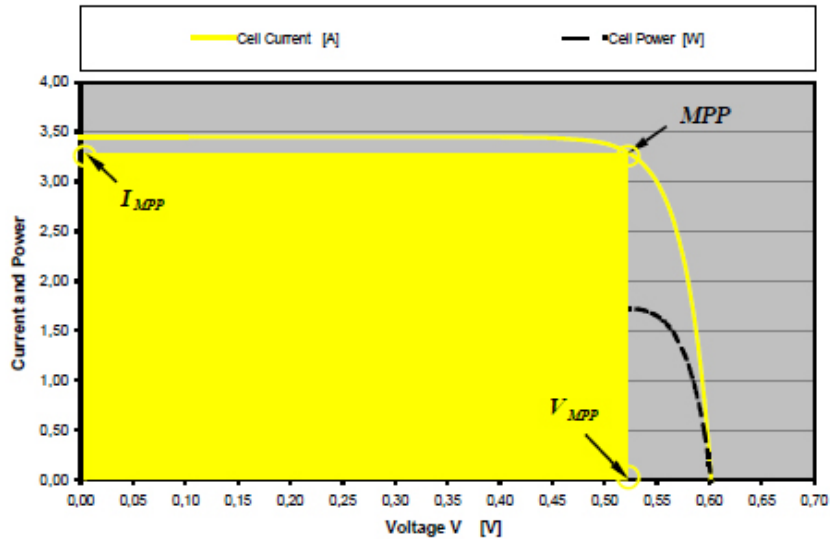


Εικόνα 12

Χαρακτηριστική $I - V$ πραγματικού Φ/Β στοιχείου ως προς R_p

Παρατηρούμε πάλι ότι η τιμή του ρεύματος εξαρτάται από τη τιμή της αντίστασης R_p , αλλά αυτή τη φορά το ρεύμα μειώνεται όσο μικρότερη είναι η τιμή της αντίστασης, χωρίς να υπάρχει αναλογία.

Επίσης αξίζει να παρατηρήσουμε από το διάγραμμα ρεύματος-τάσης που ακολουθεί, στη χαρακτηριστική καμπύλη με τη χρησιμοποίηση του πραγματικού μοντέλου του Φ/Β στοιχείου, το σημείο που εμφανίζεται η μέγιστη ισχύς (maximum power point, MPP).



Εικόνα 13

Χαρακτηριστική $I - V$ πραγματικού Φ/Β στοιχείου με σημείο μέγιστης ισχύος

10.5.1. Το Φ/Β στοιχείο πυριτίου (Si)

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή Φ/Β στοιχείων στη βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Οι μεγάλες (συγκριτικά) αποδόσεις των Φ/Β πλαισίων πυριτίου στο εμπόριο δίνουν και ένα σημαντικό πλεονέκτημα στο συγκεκριμένο υλικό. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των Φ/Β.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) ή κοινώς η άμμος και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125°C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη των Φ/Β στοιχείων τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των Φ/Β στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.
- Μια κατηγοριοποίηση για τα Φ/Β στοιχεία θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

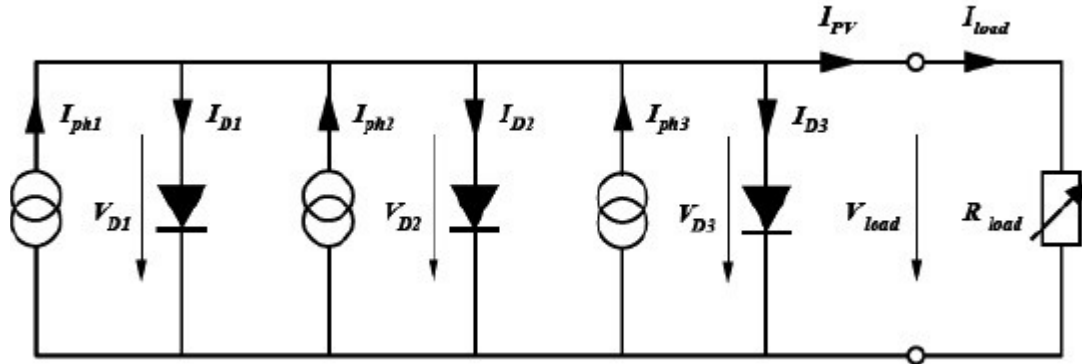
10.6. Το Φ/Β πλαίσιο

10.6.1. Εισαγωγή

Η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο Φ/Β στοιχείο πυριτίου σε κανονική ηλιακή λειτουργία, είναι 0,5Volts περίπου και η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μόλις 0,4Watts περίπου. Για αυτό, τα Φ/Β στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση Φ/Β γεννητριών τοποθετούνται ανά 10 έως 50 περίπου, σε ένα πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Δηλαδή ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων Φ/Β πλαισίων καθορίζει τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ της Φ/Β γεννήτριας, ενώ η εν σειρά και παράλληλη σύνδεση αυτών προσδιορίζει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (τιμές τάσης και ρεύματος) των υπολοίπων στοιχείων που απαιτούνται για την υλοποίηση της Φ/Β μονάδας, όπως καλώδια σύνδεσης, αντιστροφείς και μέσα προστασίας.

10.6.2. Σύνδεση παράλληλα και εν σειρά

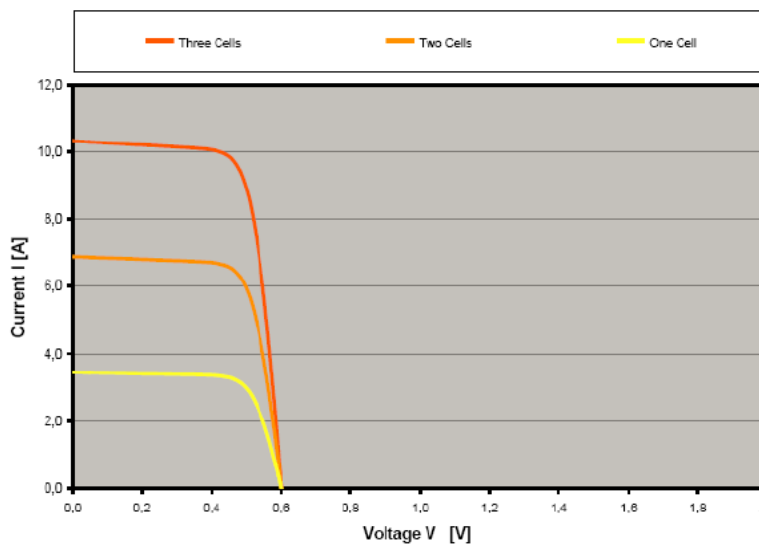
Τα Φ/Β πλαίσια συνδέονται σε σειρά ώστε να αυξηθεί η τάση σε επιθυμητό μέγεθος ή παράλληλα ώστε να αυξηθεί η ένταση του ρεύματος. Σε κάθε αντίστοιχο τρόπο σύνδεσης το άλλο μέγεθος τάσης-ρεύματος παραμένει σταθερό επειδή ισχύει ακριβώς ότι και στα κλασσικά κυκλώματα από το νόμο του Kirchhoff. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η σύνδεση τριών παράλληλων κελιών.



Σχήμα 25

Παράλληλη σύνδεση κελιών

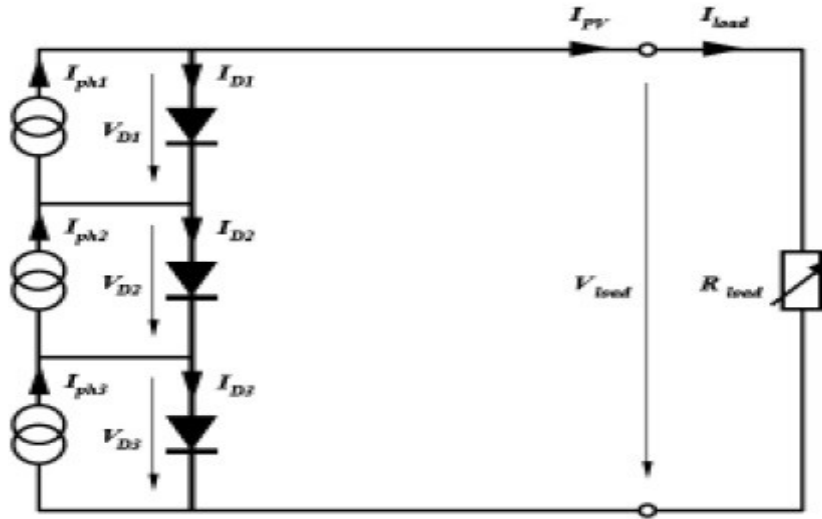
Στο γράφημα που ακολουθεί περιγράφεται η λειτουργία Φ/Β πλαισίων συνδεδεμένα ανά τρία παράλληλα.



Εικόνα 14

Χαρακτηριστική $I - V$ Φ/Β πάνελ σε παράλληλη σύνδεση

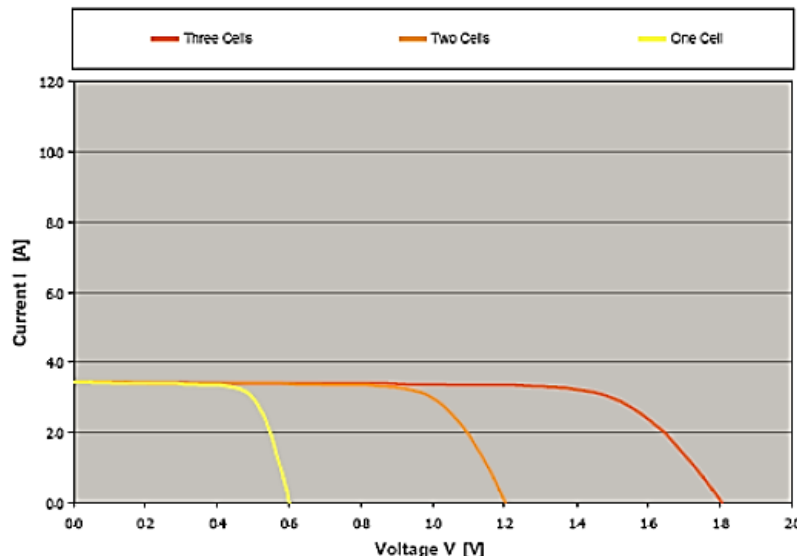
Μεγάλες συστοιχίες παράλληλων συνδέσεων δεν εφαρμόζεται στην πραγματικότητα διότι αυξάνεται η ένταση ρεύματος με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη διατομή αγωγών. Επίσης αυξάνεται και ο συντελεστής απωλειών καθώς η τάση διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η σύνδεση τριών κελιών σε σειρά.



Σχήμα 26

Σε σειρά σύνδεση κελιών

Στο γράφημα που ακολουθεί περιγράφεται η λειτουργία Φ/Β πλαισίων συνδεδεμένα ανά τρία σε σειρά.



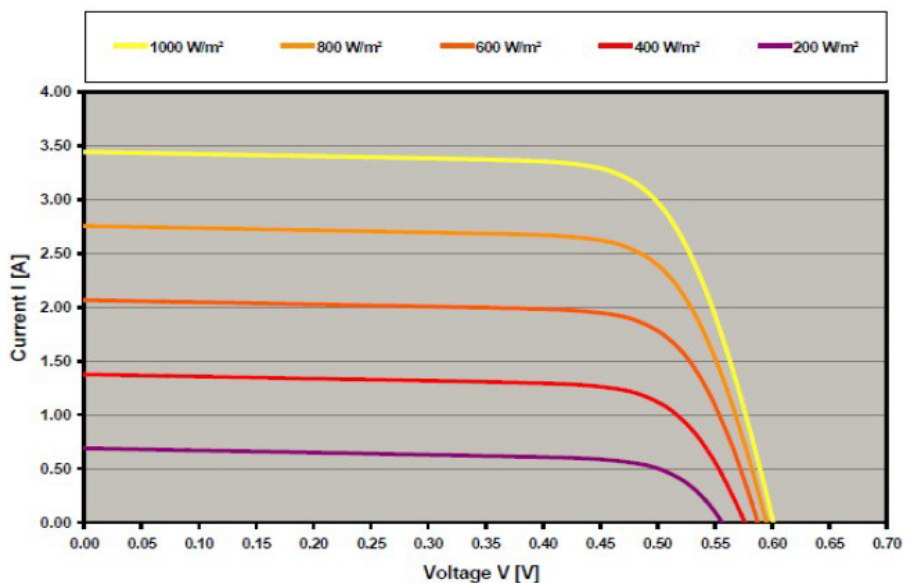
Εικόνα 15

Χαρακτηριστική $I - V$ Φ/Β πάνελ με σύνδεση σε σειρά

10.6.3. Επίδραση έντασης ακτινοβολίας και θερμότητας

Η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία αποτελούν τους δύο κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση στην παραγωγή ενέργειας από ένα ηλιακό

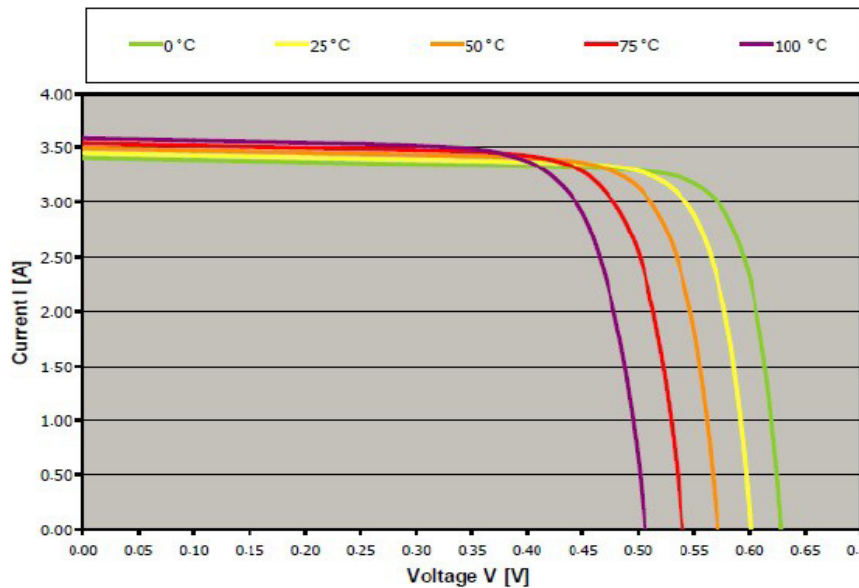
πλαίσιο. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η μεταβολή της I-V χαρακτηριστικής συναρτήσεως της μεταβολής της έντασης ακτινοβολίας.



Εικόνα 16

Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην καμπύλη I-V ηλιακού πλαισίου

Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η ένταση της ακτινοβολίας επιδρά σχεδόν ανάλογα στο ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , ενώ η τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} αυξάνεται ελάχιστα με την αύξηση της ακτινοβολίας. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η μεταβολή της χαρακτηριστικής I-V από την επίδραση της θερμοκρασίας σε ένα Φ/Β πλαίσιο.



Εικόνα 17

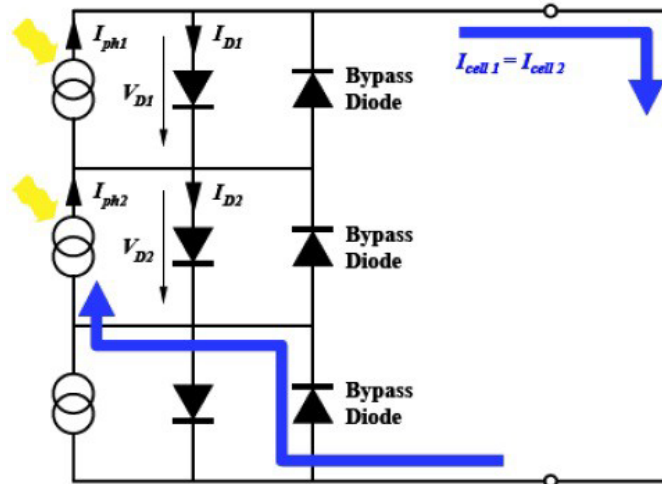
Επίδραση της θερμοκρασίας στην καμπύλη I-V ηλιακού πλαισίου

Παρατηρούμε ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας αφήνει σχεδόν ανεπηρέαστο το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , ενώ η τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

10.6.4. Η επίδραση της σκίασης

Η επίδραση της σκίασης, δηλαδή της έλλειψης ηλιακού φωτός κυρίως λόγω νέφωσης ή φυσικών εμποδίων (π.χ. δέντρα, στύλοι, κτήρια), ανάγεται στη μερική ή ολική απώλεια δημιουργίας φωτορεύματος. Για παράδειγμα ας θεωρήσουμε την περίπτωση τρία ηλιακά κελιά συνδεδεμένα σε σειρά. Αν υποθεθεί ότι ένα κελί σκιάζεται πλήρως τότε η παραγωγή ρεύματος από αυτό θα είναι μηδενική και κατά συνέπεια θα συμπεριφέρεται ως ανοικτό κύκλωμα, μηδενίζοντας τη συνολική παραγωγή ενέργειας.

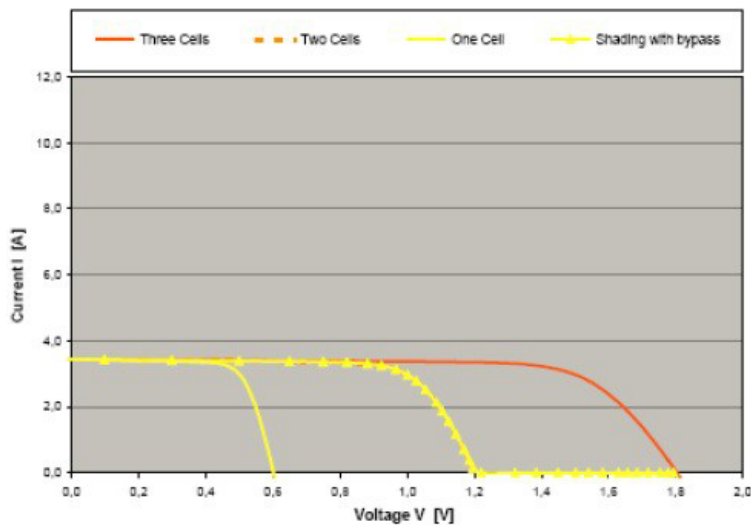
Μία λύση που εφαρμόζεται συνήθως είναι η προσθήκη διόδων παράκαμψης (bypass diodes) συνδεδεμένων αντιπαράλληλα προς τα ηλιακά κελιά. Σε κανονικές συνθήκες οι δίοδοι αυτοί είναι πολωμένες ανάστροφα και δεν επιδρούν στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, όταν ένα κελί σκιαστεί πλήρως, τότε το ρεύμα των υπόλοιπων ηλιακών κελιών ρέει διαμέσου της διόδου αυτής, η οποία πολώνεται ορθά, διατηρώντας έτσι τη ροή ενέργειας. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 27

Δίοδος ρεύματος διαμέσου της διόδου παράκαμψης
σε περίπτωση πλήρους σκίασης

Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V του συνδυασμού των κελιών μεταβάλλεται όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.

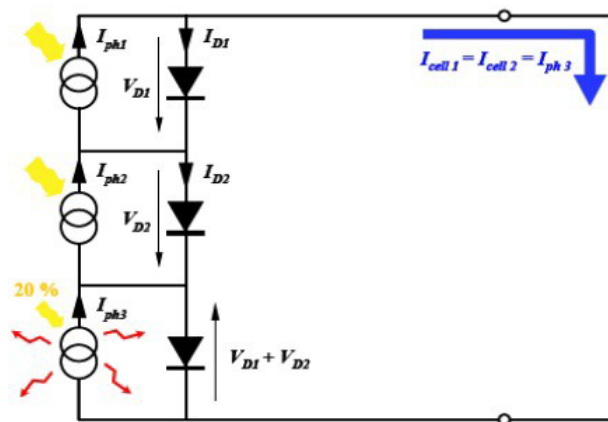


Εικόνα 18

Χαρακτηριστική I-V καμπύλη με ένα κελί πλήρως σκιασμένο

Ας θεωρηθεί τώρα η περίπτωση που ένα κελί είναι μερικώς σκιασμένο, π.χ. με μείωση της προσπίπτουσας έντασης ακτινοβολίας στο 20% σε σχέση με τα άλλα κελιά. Στην περίπτωση αυτή το συγκεκριμένο κελί θα παράγει περίπου το 20% του φωτορεύματος ενώ τα άλλα κελιά θα παράγουν το 100%. Λόγω της σύνδεσης σε σειρά, στο κύκλωμα θα ρέει μόνο το

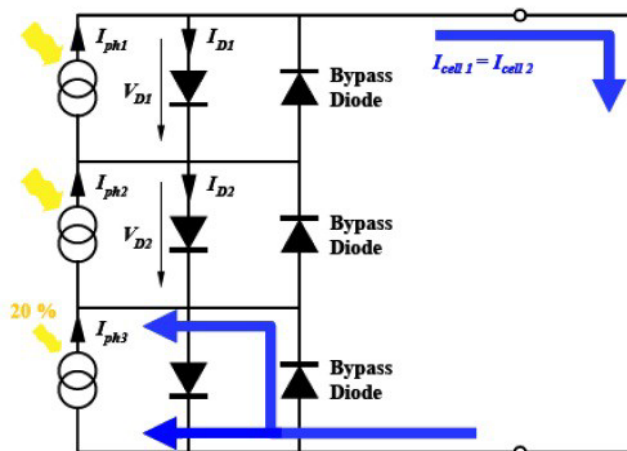
ρεύμα που θα παράγεται από το μερικώς σκιασμένο κελί. Αναφορικά με τα κελιά που δεν σκιάζονται το υπόλοιπο ρεύμα τους (δηλαδή το υπόλοιπο 80%) θα ρέει εσωτερικά σε αυτά, στις ενδογενείς διόδους τους. Επιπλέον στο μερικώς σκιασμένο κελί θα υφίσταται απώλεια ενέργειας καθώς η διόδος του θα είναι ανάστροφα πολωμένη από την τάση που παράγεται στα άλλα κελιά, το χαρακτηριστικό παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 28

Περίπτωση μερικώς σκιασμένου κελιού

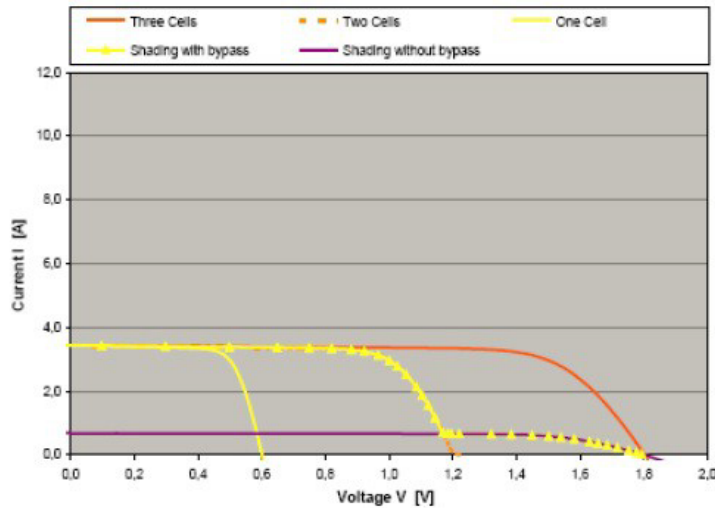
Πρακτικά, η περίπτωση αυτή οδηγεί στη δημιουργία “θερμών σημείων” (hot spots) τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε γρηγορότερη γήρανση και ενδεχόμενα καταστροφή του πάνελ. Ωστόσο, με τη βοήθεια των διόδων παράκαμψης αποφεύγονται τα προβλήματα των θερμών σημείων. Στην περίπτωση αυτή, η διαφορά των ρευμάτων μεταξύ των κελιών που δεν σκιάζονται και του μερικώς σκιασμένου κελιού ρέει διαμέσου της διόδου παράκαμψης, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 29

Χαρακτηριστική I-V καμπύλη με ένα κελί μερικώς σκιασμένο
με χρήση διόδων παράκαμψης

Η χαρακτηριστική I-V καμπύλη του συνδυασμού εν σειρά για την περίπτωση μερικής σκίασης όταν γίνεται χρήση ή μη χρήση διόδων παράκαμψης, δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 19

Χαρακτηριστική I-V καμπύλη με συνδυασμό εν σειρά
και ένα κελί μερικώς σκιασμένο

10.6.5. Ενδεικτική απόδοση Φ/B ανάλογα με προσανατολισμό και κλίση

Τα Φ/B έχουν τη μέγιστη απόδοση όταν έχουν νότιο προσανατολισμό. Αποκλίσεις από το νότιο είναι επιτρεπτές, μειώνουν όμως την απόδοση. Συνήθως επιλέγεται μία κλίση που να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Στην Ελλάδα, η βέλτιστη κλίση είναι γύρω στις 25° - 30° . Τη σωστή κλίση τη βρίσκει ο τεχνικός που κάνει την εγκατάσταση. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η απόδοση Φ/B ανάλογα συναρτήσει του προσανατολισμού και της κλίσης.

Κλίση ως προς οριζόντιο επίπεδο	Νότιος	Νοτιοανατολικός Νοτιοδυτικός	Ανατολικός Δυτικός
0°	90%	90%	90%
15°	98%	95%	88%
30°	100%	95%	85%
90°	60%	60%	50%

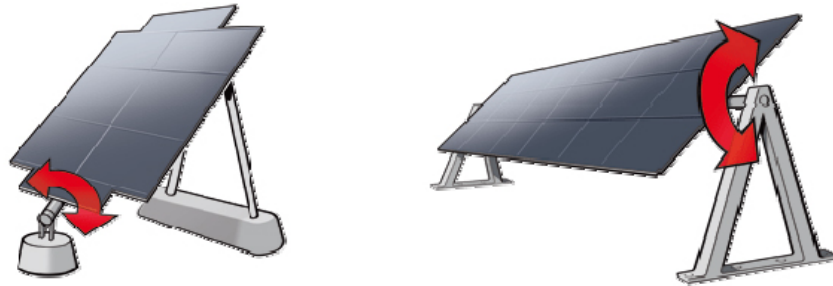
Πίνακας 24

Απόδοση Φ/Β ανάλογα με κλίση και προσανατολισμό

10.7. Βάσεις στήριξης Φ/Β

Η στήριξη των Φ/Β πλαισίων είναι συνήθως μεταλλικές με βάσεις αλουμινίου, γαλβανισμένου χάλυβα ή από πλαστικό. Στο εμπόριο διατίθενται τυποποιημένες βάσεις για διάφορους τύπους πλαισίων. Για τα κτήρια παρέχεται μία μεγάλη ποικιλία τυποποιημένων βάσεων στήριξης για όλες τις εφαρμογές. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να δίνεται προσοχή στη συμβατότητά τους με τα λοιπά στοιχεία του εξοπλισμού και κατ' επέκταση στην εγκυρότητα των πιστοποιητικών στατικής επάρκειας επί του συνόλου της εγκατάστασης.

Οι ηλιοστάτες (trackers) είναι συστήματα στήριξης επί του εδάφους που ακολουθούν την πορεία του ήλιου εκμεταλλευόμενοι περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης του συστήματος κατά 25% έως 40%. Παράλληλα αυξάνεται το κόστος εγκατάστασης και λειτουργικότητας της εγκατάστασης. Αυτά τα συστήματα διακρίνονται σε μονοαξονικά και διαξονικά σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών. Μειονέκτημα του συστήματος αυτού είναι η απαίτηση μεγαλύτερης έκτασης σε σχέση με τις σταθερές βάσεις για να αποφεύγονται οι σκιάσεις μεταξύ τους.



Παράδειγματα μονοαξονικών ηλιοστατών



Παράδειγματα διαξονικών ηλιοστατών

Εικόνα 20

Περιγραφή ηλιοστατών Φ/Β πλαισίων

Σε επίπεδες οροφές υπάρχει δυνατότητα στήριξης τόσο των πολυκρυσταλλικών, μονοκρυσταλλικών όσο και των άμορφων (thin film) Φ/Β πάνελ.



Εικόνα 21

Τυπική βάση Φ/Β πλαισίων σε επίπεδη επιφάνεια υπό γωνία κλίσης

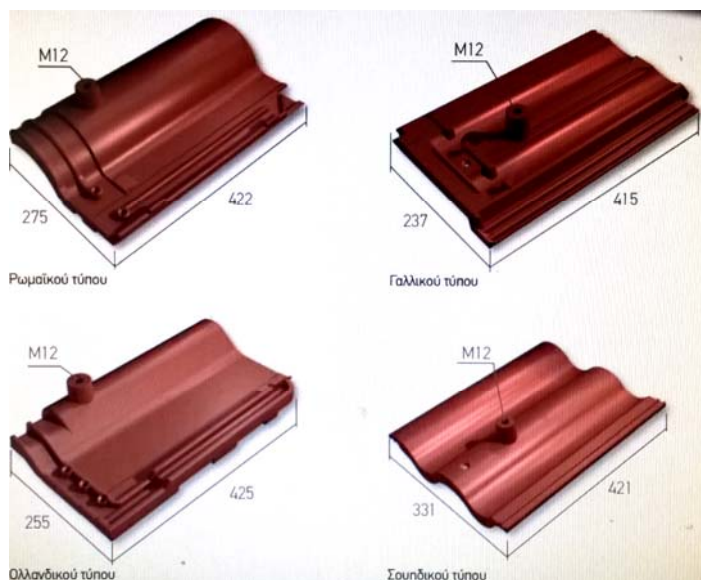
Σε περιπτώσεις εγκατάστασης Φ/Β πλαισίων σε σκεπές όταν υπάρχει ήδη η κλίση τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται σχεδόν εφαπτόμενα στη στέγη του οικήματος εκμεταλλευόμενα την υπάρχουσα κλίση της σκεπής.



Εικόνα 22

Τυπική βάση Φ/Β πλαισίων σε στέγη υπό κλίση

Σε κεραμοσκεπές υπάρχουν πλέον κεραμίδια αλουμινίου ειδικά για την εγκατάσταση των Φ/Β πλαισίων, τα οποία προσφέρουν ασφάλεια, ευκολία και ταχύτητα κατά την τοποθέτηση. Με την αποφυγή οπών στα κεραμίδια διασφαλίζεται άριστη υδατοστεγανότητα της συνολικής κατασκευής.



Εικόνα 23

Κεραμίδια αλουμινίου διαφόρων τύπων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο : Τύποι Φ/Β συστημάτων

11.1. Φ/Β πυριτίου μεγάλου πάχους

11.1.1. Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15-20% για το πλαίσιο. Σε εργαστηριακές δοκιμές έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών Φ/Β είναι η μέθοδος CZ (**Czochralski**) και η μέθοδος FZ (**float zone**). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου.

Το μονοκρυσταλλικό Φ/Β με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της **SunPower** με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 24

Φ/Β πλαίσιο της SUNPOWER

11.1.2. Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS, η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13-15% για τα Φ/Β πλαίσια (πάνελ).

11.1.3. Φ/Β στοιχεία ταινίας πυριτίου

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία Φ/Β στοιχείων. Αναπτύσσεται από την **Evergreen Solar**. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών Φ/Β κυψελών πυριτίου. Η απόδοση για το Φ/Β στοιχείο του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.

11.2. Φ/Β υλικά λεπτών επιστρώσεων

11.2.1. Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός

Ο δισεληνοϊνδιούχος χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των Φ/Β τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

11.2.2. Φ/B στοιχεία άμορφου πυριτίου

Τα Φ/B στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός *άμορφο Φ/B* προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκα thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το Φ/B στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦB, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά Φ/B στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

11.2.3. Τελουριούχο κάδμιο

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα Φ/B στοιχεία έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για Φ/B στοιχεία CdTe είναι η First Solar. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

11.2.4. Αρσενικούχο γάλλιο

Το Γάλλιο είναι ένα παραπρωϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα Φ/Β στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα Φ/Β στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

11.3. Υβριδικά Φ/Β στοιχεία

Ένα υβριδικό Φ/Β στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά Φ/Β στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Κατασκευάζεται από την Sanyo Solar. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα Φ/Β στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό Φ/Β είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά Φ/Β πλαίσια.

11.4. Άλλες τεχνολογίες

Η τεχνολογία των Φ/Β εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα Φ/Β στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

- Νανοκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία πυριτίου (nc-Si)
- Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο :Υπόλοιπα μέρη Φ/Β συστήματος

12.1. Αντιστροφείς

12.1.1. Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα Φ/Β πλαίσια παρέχεται υπό τη μορφή συνεχούς τάσης και ρεύματος. Για να καταστεί λοιπόν εφικτή η τροφοδότηση του ηλεκτρικού δικτύου AC από την ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β γεννήτρια, απαιτείται η διαμεσολάβηση κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων, των αντιστροφένων. Έχει επικρατήσει αυτές οι ηλεκτρονικές διατάξεις να ονομάζονται στο σύνολό τους ηλεκτρονικοί μετατροπείς ενώ το τμήμα τους που αναλαμβάνει τη διασύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο και μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη ονομάζεται αντιστροφέας.

Όπως όλες οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις παραγωγής ή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέονται στο δίκτυο E.P, έτσι και οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς των διασυνδεδεμένων με το ηλεκτρικό δίκτυο Φ/Β συστημάτων, οφείλουν να υπόκεινται στις προδιαγραφές που ορίζονται από τους κανονισμούς και τα πρότυπα που έχουν θεσπιστεί ή υιοθετηθεί από τους Διαχειριστές των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας και Δικτύων. Συγκεκριμένα, η σύνδεση μικρών διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο χαμηλής τάσης (Χ.Τ.), θεωρείται αποδεκτή όταν η ενέργεια που παρέχεται στο ηλεκτρικό δίκτυο μέσω των ηλεκτρονικών μετατροπένων δεν επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα ισχύος που παρέχεται στους άλλους συνδεδεμένους χρήστες (καταναλωτές ή παραγωγούς), δεν διαταράσσει την ορθή λειτουργία των μέσων ρύθμισης και προστασίας του δικτύου και δεν θέτει σε κίνδυνο πρόσωπα και εγκαταστάσεις.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς που διατίθενται στο εμπόριο είναι συνήθως εναρμονισμένοι με τους εν λόγω κανονισμούς και πρότυπα (π.χ. IEC61730) ενώ παράλληλα διαθέτουν και τις απαιτούμενες προστασίες προκειμένου να επιτυγχάνεται η απρόσκοπτη παράλληλη λειτουργία τους με το ηλεκτρικό δίκτυο. Οι απαιτήσεις οι οποίες πρέπει να καλύπτονται για την διασύνδεση ενός Φ/Β συστήματος με το δίκτυο Χ.Τ.,

σύμφωνα και με τις οδηγίες του Διαχειριστή Δικτύου, συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Παράμετρος	Απαιτήση
Τάση	<p>Η τιμή της εναλλασσόμενης τάσης στα άκρα του ηλεκτρονικού αντιστροφέα δεν πρέπει να υπερβαίνει το -20% (184V) ή το +15% (264.5V) της ονομαστικής τιμής της τάσης του δικτύου. Σε περίπτωση υπέρβασης των παραπάνω ορίων, η απόζευξη θα πρέπει να πραγματοποιείται εντός 0.5 s</p>
Συχνότητα	<p>Η συχνότητα των ηλεκτρικών μεγεθών εξόδου του αντιστροφέα δεν πρέπει να υπερβαίνει περισσότερο από $\pm 0.5\text{Hz}$ την ονομαστική τιμή της συχνότητας του δικτύου. Σε περίπτωση υπέρβασης των παραπάνω ορίων, η απόζευξη θα πρέπει να πραγματοποιείται εντός 0.5 s.</p>
Αυτόματη επανάζευξη	<p>Η επανάζευξη θα πρέπει να πραγματοποιείται μετά από τουλάχιστον 3 λεπτά.</p>
Αρμονικές	<p>Η ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5%.</p>
Έγχυση συνεχούς ρεύματος	<p>Η μέγιστη τιμή εγχεόμενου συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να είναι το πολύ ίση με το 0.5% του ονομαστικού ρεύματος της εγκατάστασης</p>

Πίνακας 25

Απαιτήσεις διασύνδεσης σύμφωνα και με τις
οδηγίες του Διαχειριστή Δικτύου

Ο συντελεστής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης του ρεύματος (THD- Total Harmonic Distortion) δίνεται από τον ακόλουθο τύπο.

$$THD_i(\%) = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} \sqrt{I_h^2}}{I_{0,1}}$$

Θεωρώντας ότι,

h : με τιμές 2,3,4...είναι η ενεργός τιμή (RMS) ή πλάτος της αρμονικής τάξης h

$I_{0,1}$: η ενεργός τιμή του ρεύματος στη θεμελιώδη συχνότητα

I_h : η ενεργός τιμή της αρμονικής ρεύματος τάξης h και συχνότητας $50 * h$, θεωρώντας 50Hz την ονομαστική τιμή της συχνότητας του δικτύου.

Οι αντιστροφείς των διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής που συνδέονται με το δίκτυο διαχωρίζονται ανάλογα με το είδος της τάσης που παράγουν σε:

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

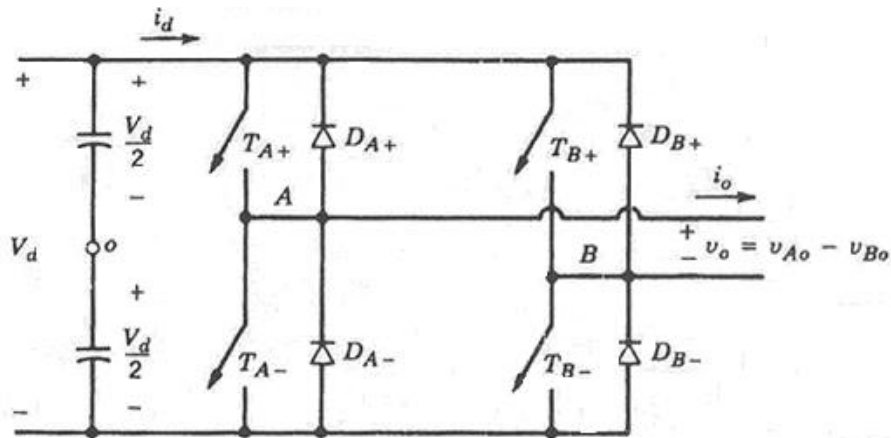
12.1.2. Επιλογή χώρου εγκατάστασης ηλεκτρικών μετατροπέων

Συνήθως, οι μετατροπείς των εν λόγω ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων τοποθετούνται είτε στο εσωτερικό των κτηρίων που εγκαθίστανται, είτε σε ειδικά διαμορφωμένο κλειστό χώρο ο οποίος μπορεί να βρίσκεται πλησίον του Φ/Β εξοπλισμού. Μάλιστα, στη δεύτερη περίπτωση μειώνεται σημαντικά το μήκος των DC ηλεκτρικών αγωγών με άμεσο αποτέλεσμα τον περιορισμό των ηλεκτρικών απωλειών, της πτώσης τάσης, αλλά και του κόστους καλωδίωσης.

Στο φυλλάδιο του κατασκευαστή θα πρέπει να αναζητείτε ο δείκτης προστασίας (IP-indicator protection) του μετατροπέα από σωματίδια σκόνης και νερού, καθώς και τα όρια της θερμοκρασίας μέσα στα οποία δεν επηρεάζεται η ασφαλής και απρόσκοπτη λειτουργία του. Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να επιφέρει μείωση του προσδόκιμου της διάρκειας ζωής του μετατροπέα.

12.1.3. Μονοφασικός αντιστροφέας πλήρους γέφυρας

Σε εγκαταστάσεις με Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται μονοφασικοί αντιστροφέες πλήρους γέφυρας. Ένας αναστροφέας με πλήρη γέφυρα φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Ο αντιστροφέας αυτός αποτελείται από δυο αντιστροφέες με μισή γέφυρα και προτιμάται σε σχέση με άλλες διατάξεις όταν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις σε ισχύ. Με την ίδια συνεχή τάση εισόδου, η μέγιστη τάση εξόδου του αντιστροφέα με πλήρη γέφυρα είναι διπλάσια, συγκριτικά με αυτή του αντιστροφέα με μισή γέφυρα. Αυτό σημαίνει πως για την παραγωγή της ίδιας ισχύς, το ρεύμα εξόδου και τα ρεύματα των διακοπών είναι το μισό εκείνων του αναστροφέα με μισή γέφυρα.

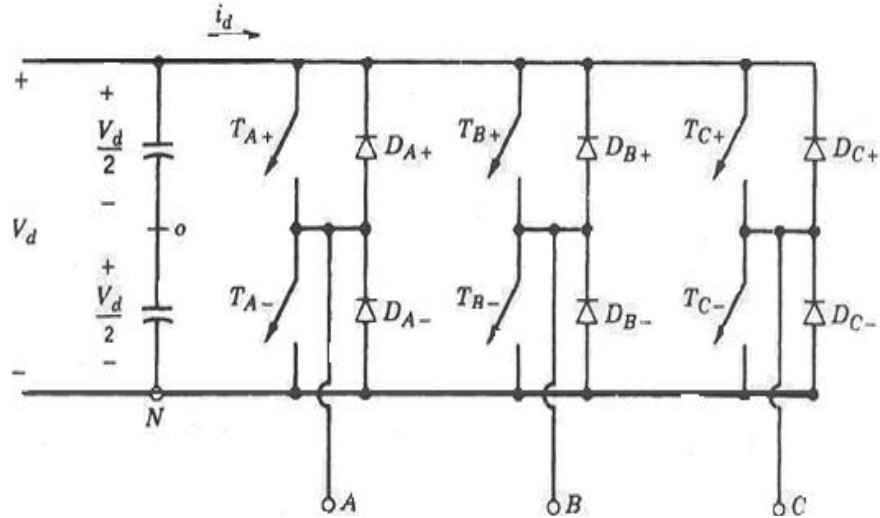


Σχήμα 30

Διάταξη μονοφασικού αντιστροφέα πλήρους γέφυρας

12.1.4. Τριφασικός αντιστροφέας

Οι τριφασικοί αντιστροφέες χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές μέσης και υψηλής τάσης, αλλά επίσης και σε εφαρμογές χαμηλής τάσης όταν αυτό απαιτείται. Σκοπός τους είναι να παρέχουν μια τριφασική πηγή τάσης ή έντασης, όπου το πλάτος, η φάση και η συχνότητα να είναι ανά πάσα στιγμή ελεγχόμενα. Επιπλέον, σε τριφασικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται συνήθως οι τριφασικοί αντιστροφέες, αφού η τροφοδοσία ενός τριφασικού φορτίου μέσω τριών ξεχωριστών μονοφασικών αναστροφέων είναι περίπλοκη. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο κύκλωμα τριφασικού αναστροφέα φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί και αποτελείται από τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.



Σχήμα 31

Διάταξη τριφασικού αντιστροφέα

12.2. Καλώδια

12.2.1. Εισαγωγή

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός Φ/Β συστήματος απαιτεί τη χρήση καλωδίων DC και AC. Τα DC καλώδια χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των πάνελ μεταξύ τους και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του αντιστροφέα, ενώ AC καλώδια ισχύος, συμβατικού τύπου, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση του αντιστροφέα, όπως για τη συγκεκριμένη εφαρμογή απαιτείται σύνδεση με τον τριφασικό μετρητή 1 και στη συνέχεια στην τριφασική γραμμή μετρητή 2 – γενικού πίνακα.

12.2.2. Θερμοκρασία

Η μέγιστη αναμενόμενη θερμοκρασία λειτουργίας των Φ/Β πλαισίων, όπως και των κιβωτίων σύνδεσης αυτών, μπορεί να φθάσει τους 70°C, σε κατασκευές που επιτρέπουν την ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα στην πίσω πλευρά των Φ/Β πλαισίων. Στις περιπτώσεις που εμποδίζεται η ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα αναμένονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες, έως και 80-90°C. Στην περίπτωση που οι αγωγοί διασύνδεσης των Φ/Β πλαισίων γειτνιάζουν με τα πλαίσια, η θερμοκρασία των τελευταίων θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη τόσο για την ορθή επιλογή της μόνωσης των αγωγών, όσο και για την κατάλληλη επιλογή της διατομής τους (επιλογή σωστού διορθωτικού συντελεστή αύξησης διατομής).

12.2.3. Πλευρά συνεχούς ρεύματος

Στην πλευρά της Φ/Β συστοιχίας ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της εγκατάστασης καλωδίωσης θα πρέπει να εξασφαλίζει προστασία ισοδύναμη με μόνωση κατηγορίας 2. Η καλωδίωση περιλαμβάνει τις συνδέσεις μεταξύ των Φ/Β πλαισίων, τις συνδέσεις από τα άκρα κάθε εν σειρά κλάδου, μέχρι τον αντιστροφέα. Όλα τα καλώδια τα οποία είναι εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία (αποκλείοντας έτσι τα κοινά καλώδια με μόνωση από PVC). Τα καλώδια τα οποία χρησιμοποιούνται για τις συνδέσεις των πλαισίων θα πρέπει να έχουν μόνωση ανθεκτική τουλάχιστον έως 70°C ή και περισσότερο αν δεν υπάρχει ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα.

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 αυτή της κατηγορίας 2. Για τις συνδέσεις μεταξύ των πλαισίων χρησιμοποιούνται συνήθως εύκαμπτα μονοπολικά καλώδια με ενισχυμένη μόνωση, με τις ανωτέρω τουλάχιστον απαιτήσεις. Ο συνδυασμός αυτός των απαιτήσεων είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί από κοινά τυποποιημένα καλώδια και απαιτεί τη χρήση ειδικών μειγμάτων πλαστικών για μόνωση. Τα καλώδια θα πρέπει να είναι μονοπολικά, με διπλή ή ενισχυμένη μόνωση. Σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει να τοποθετούνται σε διαφορετικά κανάλια.

Η διατομή του καλωδίου καθορίζεται από το μέγιστο αναμενόμενο ρεύμα σε ένα κλάδο. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη τουλάχιστον η διόρθωση λόγω θερμοκρασίας, η οποία για τα καλώδια πλησίον των Φ/Β πλαισίων μπορεί να φθάσει τους 70°C . Σημειώνεται ότι ο διορθωτικός συντελεστής για καλώδια με μόνωση ανθεκτική έως τους 90°C είναι 0,58. Οι συντελεστές αυτοί παρουσιάζονται στον πίνακα 3 που ακολουθεί. Ένα άλλο κριτήριο που εξετάζεται για τη διαστασιολόγηση των καλωδίων είναι αυτό της απώλειας ισχύος. Συνήθως θεωρείται ότι η απώλεια ισχύος στο συνολικό μήκος των DC καλωδίων υπό ονομαστικές τιμές λειτουργίας δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1% της ονομαστικής ισχύος του Φ/Β συστήματος. Το κριτήριο αυτό συνήθως οδηγεί σε επιλογή μεγαλύτερης διατομής.

Στην πλευρά του συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να εγκαθίσταται διακόπτης (όταν αυτός δεν εμπεριέχεται στον αντιστροφέα) ο οποίος θα απομονώνει τον αντιστροφέα από τη Φ/Β συστοιχία. Ο διακόπτης θα πρέπει να έχει την ικανότητα να απομονώνει τον αντιστροφέα

υπό φορτίο (συνεπώς οι ταχυσύνδεσμοι δεν καλύπτουν την απαίτηση αυτή σαν μέσο απομόνωσης). Ο διακόπτης πρέπει να είναι σχεδιασμένος για συνεχές ρεύμα και να απομονώνει και τους δύο πόλους (αγείωτο σύστημα). Οι παραπάνω εντάσεις φόρτισης δίνονται για θερμοκρασία περιβάλλοντος $30^{\circ}C$. Για άλλες θερμοκρασίες περιβάλλοντος ισχύει ο συντελεστής διόρθωσης.

Θερμοκρασία $^{\circ}C$	15	20	25	30	35	40	45	50 και άνω
Συντελεστής Διόρθωσης	1,22	1,15	1,08	1	0,91	0,82	0,71	0,58

Πίνακας 26

Συντελεστής διόρθωσης εντάσεων φόρτισης

Για παράδειγμα σε θερμοκρασία $50^{\circ}C$, η διατομή του καλωδίου θα πρέπει να διαστασιοποιηθεί με βάση τη τιμή του μέγιστου αναμενόμενου ρεύματος πολλαπλασιασμένη επί $\frac{1}{0,58} = 1,72$, για να μην υπερβούν τα όρια αντοχής της μόνωσης.

12.2.4. Πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος

Στην πλευρά Ε.Ρ. γενικά θα πρέπει να ακολουθούνται οι συνήθειες πρακτικές που απορρέουν από τον ΕΛΟΤ HD 384. Δηλαδή χρησιμοποιούνται οι συμβατικοί τύποι καλωδίων όπως σε αυτά των ΕΗΕ, εφαρμόζοντας τις ίδιες πρακτικές μεθόδους αναφορικά με τον υπολογισμό της διατομής τους, τον τρόπο τοποθέτησης και την προστασία τους.

Ο τύπος καλωδίου που χρησιμοποιείται κυρίως στις εγκαταστάσεις Φ/Β μονάδων είναι το H07RN-F, με ονομαστική τάση 450/750V, σύμφωνα με τις προδιαγραφές ΕΛΟΤ 623.4 HD 22.4. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χρήση σε ξηρούς, υγρούς ή βρεγμένους χώρους στο ύπαιθρο. Ακολουθεί ο πίνακας με τα χαρακτηριστικά του καλωδίου για διάφορες διατομές.

Ονομαστική διατομή καλωδίου (mm^2)	Εξωτερική διάμετρος (mm)	Βάρος καλωδίου (kg/km)	Μέγιστη ωμική αντίσταση σε DC $20^{\circ}C$ (Ω/km)	Επιτρεπόμενη συνεχής φόρτιση (A)
5x1,5	12,5	210	13,7	18
5x2,5	14,5	305	8,21	26
5x4,0	16,8	435	5,09	34
5x6,0	20,1	620	3,39	44
5x10	25,3	1030	1,95	61

Πίνακας 27

Χαρακτηριστικά καλωδίου H07RN-F

12.3. Γείωση και αντικεραυνική προστασία

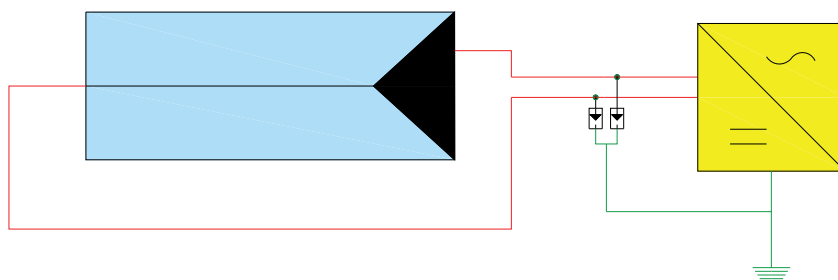
12.3.1. Γείωση Φ/Β συστήματος

Υπάρχουν τριών ειδών γειώσεις, ανάλογα με τη χρήση τους:

- Γείωση λειτουργίας: είναι η γείωση που γίνεται για λειτουργικούς λόγους και γειώνεται ένα ενεργό σημείο του κυκλώματος καθώς και ο ουδέτερος αγωγός (άμεση και έμμεση).
- Γείωση προστασίας: είναι η γείωση ενός μεταλλικού μέρους που δεν είναι στοιχείο ενεργού κυκλώματος π.χ. γειώνονται οι μεταλλικές βάσεις του Φ/Β συστήματος.
- Γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας: είναι η ανοιχτή ή συνεχής γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Οι γειώσεις αυτές διοχετεύουν το κεραυνικό ρεύμα προς τη γη.

Σκοπός της γείωσης ενός Φ/Β συστήματος είναι να προστατεύει τις Φ/Β συστοιχίες από τον κίνδυνο για άμεσο πλήγμα από κεραυνό, διαχέοντας το ρεύμα του αγωγού στο έδαφος μέσω των ηλεκτροδίων γείωσης. Επιπλέον, το σύστημα γείωσης προστατεύει τα ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά συστήματα (π.χ. αναστροφέα) από τα αποτελέσματα του κεραυνού, δηλαδή από την εμφάνιση επικίνδυνων υπερτάσεων. Επιπλέον, συνδέει ισοδυναμικά τους αγωγούς καθόδου καθώς και αναχαιτίζει τον κεραυνό σε περίπτωση επιφανειακής διάσπασης του εδάφους.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται μια μονογραμμική ενδεικτική μορφή εγκατάστασης των διατάξεων προστασίας από υπερτάσεις για την προστασία μόνο του Φ/Β συστήματος η οποία και συνιστάται. Συμπεριλαμβάνεται και η πρόβλεψη προστασίας των υφιστάμενων ηλεκτρικών εγκαταστάσεων που συμπεριλαμβάνονται στη μονάδα, όπως ο αντιστροφέας. Εκτενέστερη περιγραφή παρουσιάζεται σε επόμενη ενότητα.



Σχήμα 32

Διάταξη γείωσης Φ/Β μέχρι τον αντιστροφέα

12.3.2. Αντικεραυνική προστασία Φ/Β συστήματος

Η προστασία των κτηριακών Φ/Β συστημάτων από υπερτάσεις και κεραυνούς είναι ένα θέμα το οποίο αποσκοπεί στην προστασία των εγκαταστάσεων παραγωγής παράλληλα με την ασφάλεια των ανθρώπων και θα πρέπει να υλοποιείται μόνο σύμφωνα με τα ισχύοντα εθνικά (ΕΛΟΤ), ευρωπαϊκά (EN) και διεθνή (IEC) πρότυπα αλλά και την ισχύουσα νομοθεσία.

Σύμφωνα με το ΦΕΚ 470 (5 Μαρτίου 2004) Άρθρα 3 έως και 6, τα φαινόμενα εκδήλωσης υπερτάσεων, εφόσον πρόκειται για αρχικό έλεγχο (νέα ηλεκτρική εγκατάσταση ή σοβαρή τροποποίηση παλαιάς), θα πρέπει να αντιμετωπιστούν σύμφωνα με τα ισχύοντα εθνικά και ευρωπαϊκά πρότυπα, τα οποία είναι τα πρότυπα σειράς ΕΛΟΤ EN 61643. Επομένως η αναγκαιότητα εφαρμογής προστασίας από υπερτάσεις είναι πλέον απαραίτητη ανεξάρτητα με το εάν υπάρχει ή εάν προβλέπεται να υπάρξει σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας.

Με κάθε επιφύλαξη, στηριζόμενοι στην υπάρχουσα εμπειρία εκατοντάδων χιλιάδων Φ/Β συστημάτων μικρότερων των 10 kWp που εγκαταστάθηκαν σε ευρωπαϊκές χώρες και δεν

εξέχουν σημαντικά από το περίγραμμα του κτηρίου, όπως προβλέπεται στις Υπουργικές Αποφάσεις, θεωρείται ότι ο κίνδυνος από άμεσο κεραυνικό πλήγμα δεν αυξάνεται. Εντούτοις, για την ασφάλεια των ανθρώπων και την προστασία των κτηριακών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και συσκευών συνιστάται η εκτίμηση των κινδύνων από τους κεραυνούς και τις υπερτάσεις που προκαλούν (ΕΛΟΤ EN 62305).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13^ο :Αυτοπαραγωγή με συμψηφισμό ενέργειας (Net Metering)

13.1. Εισαγωγή

Σύμφωνα με το άρθρο 14Α του ν.3468/2006, είναι εφικτή η εγκατάσταση Φ/Β συστήματος στέγης στην οικία που έχει παρουσιαστεί στην προηγούμενη ενότητα, με σκοπό την κάλυψη ιδίων αναγκών, με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού. Η ισχύς του Φ/Β συστήματος μπορεί να ανέρχεται μέχρι 20KWp ή μέχρι το 50% της συμφωνημένης ισχύς κατανάλωσης. Εφόσον η παρεχόμενη ισχύς της κατοικίας είναι 35KVA, συνεπώς υπάγεται στην κατηγορία Νο 3, δηλαδή με συμφωνημένη ισχύς 30KVA, η ισχύς της Φ/Β γεννήτριας μπορεί να φτάσει έως τα 20KWp.

Ως ενεργειακός συμψηφισμός εννοείται ο συμψηφισμός της παραγόμενης ενέργειας από το Φ/Β σύστημα και της καταναλισκόμενης ενέργειας της εγκατάστασης του αυτοπαραγωγού, ο οποίος διενεργείται σε ετήσια βάση. Η εγχυθείσα στο δίκτυο ηλεκτρική ενέργεια, εφεξής εισερχόμενη ενέργεια στην εγκατάσταση, και η διαφορά εφόσον είναι θετική, αποδίδει την καθαρή ενέργεια που θα πρέπει να καταλογιστεί από τον προμηθευτή ως χρεωστέα ενέργεια στο ανταγωνιστικό σκέλος του λογαριασμού. Αν η διαφορά ενέργειας είναι αρνητική, δεν προκύπτει χρεωστέα ενέργεια και η διαφορά πιστώνεται σε επόμενο λογαριασμό, ως πρόσθετη εξερχόμενη ενέργεια από την εγκατάσταση (παραγόμενη από τη Φ/Β γεννήτρια). Η μεταφορά τυχόν πλεονάζουσας ενέργειας από παρελθούσες περιόδους καταμέτρησης συνεχίζεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Δηλαδή κατά τον ετήσιο ενεργειακό συμψηφισμό ενδέχεται να συμψηφιστεί και μέρος χρεωστέας ενέργειας προηγούμενων εκκαθαριστικών λογαριασμών εντός της θεωρούμενης ετήσιας περιόδου συμψηφισμού, για την οποία έχει ήδη καταβληθεί το τίμημα που αναλογείται από τον αυτοπαραγωγό. Αυτό θα ισχύει μετά την ενεργοποίηση του Φ/Β συστήματος και θα επαναλαμβάνεται για χρονικό διάστημα έως και 25 έτη.

Στο διασυνδεδεμένο σύστημα η μοναδιαία τιμή (€/MWh) υπολογίζεται από τον διαχειριστή του συστήματος ΑΔΜΗΕ ΑΕ ως μέση τιμή των 12 προηγούμενων μηνιαίων μεσοσταθμικών τιμών που διαμορφώνονται στην αγορά.

13.2. Πλεονεκτήματα

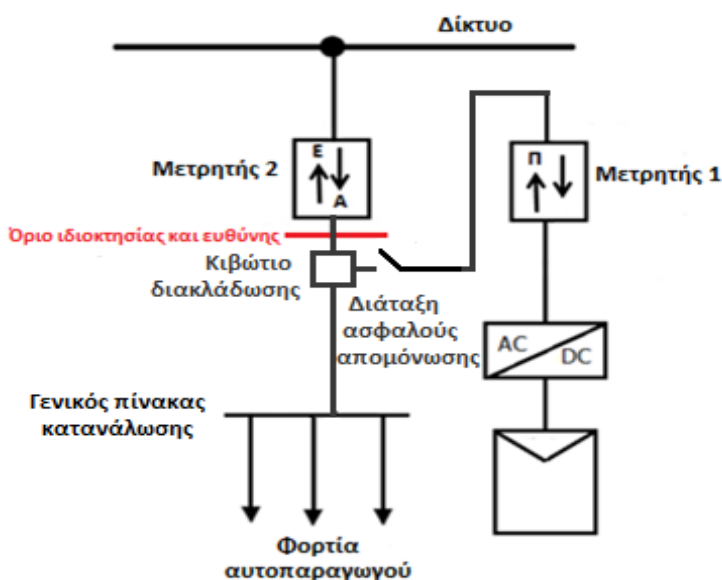
- Το κόστος της εγκατάστασης είναι χαμηλό, ιδίως σε σύγκριση με εναλλακτικά προγράμματα εγκατάστασης Φ/Β που απαιτούνται μπαταρίες.
- Σχεδόν μηδαμινό κόστος συντήρησης, καθώς οι περισσότεροι κατασκευαστές εγγυώνται 25 έτη λειτουργίας, όση είναι και η διάρκεια της σύμβασης. Χωρίς τις δαπάνες για αλλαγή μπαταριών, τα περιθώρια ζημιών και οι ανάγκες συντήρησης είναι εξαιρετικά περιορισμένα.
- Προστασία από αυξήσεις και φόρους, επειδή ο συμψηφισμός είναι ενεργειακός και όχι με βάση τις τιμές πώλησης και αγοράς της KWh, τυχόν μεταβολές αφήνουν ανεπηρέαστο τον αυτοπαραγωγό.
- Η υποδομή δε χάνει γρήγορα την αξία και μειώνεται το ρίσκο. Ο επενδυτής αυτοπαραγωγός θα έχει στα χέρια του μία υποδομή με μεγάλη διάρκεια ζωής και με υλική αξία, το οποίο σημαίνει μειωμένο ρίσκο.

13.3. Μετρητική διάταξη παραγωγής (net metering)

Για την υλοποίηση των συνδέσεων Φ/Β συστημάτων από αυτοπαραγωγούς με ενεργειακό συμψηφισμό στο δίκτυο ΧΤ απαιτείται αφενός η καταγραφή της απορροφώμενης και εγχεόμενης από και προς το Δίκτυο ενέργειας μέσω ενός μετρητή (Μετρητής 2) διπλής κατεύθυνσης-καταγραφής (εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας) και αφετέρου η καταγραφή της παραγόμενης από το ΦΒ σύστημα ενέργειας μέσω ενός πιστοποιημένου δεύτερου μετρητή (Μετρητής 1). Δηλαδή για την παρούσα μελέτη θεωρείται ο μετρητής του πρώτου μέρους της εργασίας ως ο μετρητής 2. Όσον αφορά το μετρητή 2, η ευθύνη αντικατάστασης ή τοποθέτησης ανήκει στο ΔΕΔΔΗΕ.

Η εγκατάσταση του μετρητή παραγωγής, δηλαδή μετρητή 1 υλοποιείται από τον αυτοπαραγωγό. Η τοπολογία των συνδέσεων διακρίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Τα στοιχεία που αποτελούν την τοπολογία είναι, η Φ/Β γεννήτρια (πάνελ), ο DC/AC αντιστροφείας, ο μετρητής 1 υπολογισμού της παραγωγής της Φ/Β μονάδας, η διάταξη

απομόνωσης της Φ/Β μονάδας, το κιβώτιο διακλάδωσης (σύνδεσης της Φ/Β μονάδας με τη γραμμή μετρητή 2-γενικού πίνακα και ο μετρητής 2 διπλής κατεύθυνσης (καταγραφής εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας) με το δίκτυο ΔΕΔΔΗΕ. DC καλώδιο στην πλευρά Φ/Β με αντιστροφέα και AC καλώδια σύνδεσης για το υπόλοιπο διασυνδεδεμένο κύκλωμα. Στην περίπτωση μας πρόκειται για τριφασικό.



Σχήμα 33

Τοπολογία σε μετρητικές διατάξεις ενεργειακού συμψηφισμού.

Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα παραπάνω, το ΦΒ σύστημα δεν συνδέεται στον γενικό πίνακα ΧΤ της εγκατάστασης του αυτοπαραγωγού αλλά σε σημείο πλησίον αυτού, με τέτοιο τρόπο ώστε η τροφοδότηση του γενικού πίνακα κατανάλωσης να γίνεται κατά την ίδια φορά από το δίκτυο και από το ΦΒ σύστημα. Η σύνδεσή του υλοποιείται μέσω κιβωτίου διακλάδωσης (ΚΔ) που τοποθετείται σε σημείο της γραμμής μετρητή 2 - πίνακα πριν τον γενικό πίνακα της εγκατάστασης κατανάλωσης και κατά το δυνατόν πλησίον στον μετρητή που βρίσκεται στο όριο δικτύου-καταναλωτή στον μετρητής 2. Ταυτόχρονα, ο αυτοπαραγωγός είναι υπεύθυνος για την εγκατάσταση διάταξης ασφαλούς απομόνωσης πλησίον του (ΚΔ) προς την πλευρά της παραγωγής, ώστε να είναι δυνατή η πλήρης απομόνωση της παραγωγής από το δίκτυο και η παράλληλη απρόσκοπτη λειτουργία των εγκαταστάσεων κατανάλωσης του αυτοπαραγωγού σε περιπτώσεις συντήρησης του κλάδου παραγωγής.

13.4. Χώρος εγκατάστασης μετρητικής διάταξης

Η μετρητική διάταξη παραγωγής, μετρητής 1 εγκαθίσταται σε χώρο ασφαλή, κατά κανόνα ακριβώς δίπλα ή πλησίον στον μετρητή 2 και σε σημείο ώστε εύκολα να είναι προσβάσιμο από το τεχνικό προσωπικό του ΔΕΔΔΗΕ. Ο χώρος εγκατάστασης της μετρητικής διάταξης πρέπει να πληροί τις εξής απαιτήσεις:

- Οι μετρητικές διατάξεις δεν θα πρέπει να τοποθετούνται σε χώρους υγρούς ή σε χώρους που θερμαίνονται υπερβολικά, ή σε διαδρόμους όπου υπάρχει κίνδυνος να προσκρούσουν επάνω τους μεταφερόμενα αντικείμενα
- Ο χώρος πρέπει να φωτίζεται και να αερίζεται καλά, να είναι εύκολα προσπελάσιμος τόσο για την λήψη των ενδείξεων, όσο και για την πραγματοποίηση διακοπής τροφοδοτήσεως της εγκατάστασης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης όπως πυρκαγιά κλπ.
- Πρέπει να εξασφαλιστεί διάδρομος με πλάτος τουλάχιστον 1,20m και ύψος 2,20m (επιθυμητό ύψος 2,40m). Όταν οι μετρητές τοποθετούνται σε εσοχή επιτρέπεται κατ' εξαίρεση πλάτος διαδρόμου 1m.

Η ακριβής θέση της μετρητικής διάταξης προσδιορίζεται κατόπιν συνεννόησης με την αρμόδια τοπική μονάδα του ΔΕΔΔΗΕ. Ο αυτοπαραγωγός έχει την ευθύνη διαφύλαξης και τήρησης σε καλή κατάσταση των οργάνων μέτρησης και προστασίας της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Για την οικία που μελετάμε ο μετρητής παραγωγής μπορεί να είναι κατασκευή από σκυρόδεμα με στυλίσκο. Σε τέτοιες περιπτώσεις μεμονωμένων παροχών ο μετρητής παραγωγής μαζί με το κιβώτιο διακλάδωσης και το μέσο απόζευξης θα τοποθετούνται ακριβώς δίπλα στον μετρητή ΔΕΔΔΗΕ μετρητής 2 σε υποδομή που θα κατασκευαστεί κατάλληλα από τον αυτοπαραγωγό.

13.5. Εξοπλισμός μετρητικής διάταξης

Στην παρούσα εργασία πρόκειται να τοποθετηθεί τριφασικός μετρητής (μετρητής 1) επειδή η σύνδεση της γραμμής μετρητή – γενικού πίνακα είναι τριφασική. Ανήκει στην κατηγορία 3Φ μετρητών για Φ/Β ισχύος έως 55KWp και μέγιστης έντασης ρεύματος έως 100Α. Στο σχήμα που ακολουθεί περιγράφεται το μονογραμμικό διάγραμμα της μετρητικής διάταξης.

κλάδου παραγωγής μετά το κιβώτιο διακλάδωσης, θα πρέπει να τοποθετηθεί δεύτερη διάταξη προστασίας για το εν λόγω τμήμα της γραμμής (βλ. HD 384 473.1.1 και 473.2.1).

Η διάταξη ασφαλούς απομόνωσης τοποθετείται πλησίον του κιβωτίου διακλάδωσης, σε σημείο εύκολα προσβάσιμο από το τεχνικό προσωπικό του ΔΕΔΔΗΕ. Το ερμάριο ή ο πίνακας είναι ξεχωριστός από το κιβώτιο του μετρητή, ώστε να είναι δυνατός ο χειρισμός του μέσου απόζευξης από το τεχνικό προσωπικό του ΔΕΔΔΗΕ ή τον αυτοπαραγωγό χωρίς την αποσφράγιση του κιβωτίου του μετρητή ή του ερμαρίου/πίνακα των Μ/Σ έντασης.



Εικόνα 25

Κιβώτιο διακλάδωσης (ΚΔ)

13.6. Υπολογισμός καταναλισκόμενης ενέργειας

Για τον υπολογισμό επιλογής Φ/Β μονάδας πρέπει να υπολογιστεί αρχικά η ετήσια αναμενόμενη καταναλισκόμενη ενέργεια της οικίας. Για τον υπολογισμό αυτό θα λάβουμε υπόψη τα φορτία της οικίας και σύμφωνα με τον αναμενόμενο χρόνο λειτουργίας, θα μπορέσουμε να προσεγγίσουμε την κατανάλωση KWh/έτος. Απαιτείται να πολλαπλασιάσουμε την (ωριαία κατανάλωση)×(αριθμό φορτίων)×(ώρες λειτουργίας). Για παράδειγμα στο φορτίο φωτισμού υπολογίζουμε:

$$\text{Φωτισμός}(kWh): 0,02*26*6 = 3,12kWh$$

Επομένως η ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εάν χρησιμοποιηθούν όλες οι λάμπες της κατοικίας για 6 ώρες ημερησίως θα είναι 3,12kWh.

Φορτία	Ισχύς (W)	Ωριαία Κατανάλωση(KWh)	Αριθμός	Ώρες λειτουργίας(h/d)	Συνολική Ημερήσια Κατανάλωση(KWh)
Φωτισμός	20	0,02	26	6	3,12
Κουζίνα	6000*0.7	4,2	1	1	4,2
Φούρνος	3000	3	1	1	3
Μικροκυμμάτων	800	0,8	1	5 λεπτά	0,07
Θερμοσίφωνα	4000	4	1	30 λεπτά	2
Ψυγείο	90	-	1	24	0,5
Καταψύκτης	110	-	1	24	1,1
Πλυντήριο Πιάτων	3200	0,8	1	30 λεπτά	0,4
Πλυντήριο Ρούχων	3200	1	1	30 λεπτά	0,5
Στεγνωτήριο	3200	1	1	30 λεπτά	1
Ηλεκτρικό σίδερο	1200	1,2	1	30 λεπτά	0,6
Ηλεκτρική σκούπα	1200	1,2	1	30 λεπτά	0,6
Τηλεόραση	50	0,05	3	4	0,6
Ραδιόφωνο	50	0,05	1	2	0,1
Ηλεκτρικό Πιστολάκι	1200	1,2	1	15 λεπτά	0,3
PC	250	0,25	1	4	1
Laptop	100	0,01	2	4	0,08
Κλιματισμός	650	0,65	3	4	7,8
Κλιματισμός	4000	4	1	2	8
Αερόθερμο	1000	1	2	2	4
Λοιπές Καταναλώσεις	1500	1,5	-	1	1,5

Πίνακας 28

Τυπικός υπολογισμός φορτίων ΕΗΕ ημερήσιας κατανάλωσης

Στον πίνακα 27 υπολογίστηκε η αναμενόμενη ημερήσια κατανάλωση των ηλεκτρικών φορτίων που θα χρησιμοποιούνται στην οικία. Στις λοιπές καταναλώσεις θεωρούνται φορτία όπως μίξερ, καφετιέρα, αναμονές τηλεοράσεων και ραδιόφωνου, αποκωδικοποιητής,

ηλεκτρικό γκριλ, τηλέφωνο κ.α.. Στον πίνακα 28 που ακολουθεί υπολογίζεται κατά προσέγγιση η συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας. Για τον υπολογισμό απαιτείται να πολλαπλασιάσουμε (τη συνολική ημερήσια κατανάλωση)×(μέρες χρήσεις ανά μήνα)×(μήνες ανά έτος).Για παράδειγμα στο φορτίο φωτισμού υπολογίζουμε:

$$\text{Φωτισμός}(kWh / \text{έτος}) : 3,12 * 30 * 12 = 1123,2kWh$$

Φορτία	Συνολική Ημερήσια Κατανάλωση(KWh)	Μέρες ανά μήνα	Μήνες ανά έτος	Συνολική ετήσια κατανάλωση (KWh)
Φωτισμός	3.12	30	12	1123,2
Κουζίνα	4.2	20	12	1008
Φούρνος	3	15	12	540
Μικροκυμμάτων	0.07	10	12	8,4
Θερμοσίφωνας	2	15	6	180
Ψυγείο	0.5	30	12	180
Καταψύκτης	1.1	30	12	396
Πλυντήριο Πιάτων	0.4	10	12	48
Πλυντήριο Ρούχων	0.5	10	12	60
Στεγνωτήριο	1	10	9	90
Ηλεκτρικό σίδερο	0.6	10	12	72
Ηλεκτρική σκούπα	0.6	10	6	36
Τηλεόραση	0.6	30	12	216
Ραδιόφωνο	0.1	30	12	36
Ηλεκτρικό Πιστολάκι	0.3	10	9	27
PC	1	30	12	360
Laptop	0.08	30	12	28.8
Κλιματισμός	7.8	30	12	2808
Κλιματισμός	8	30	12	2880
Αερόθερμο	4	30	6	720
Λοιπές Καταναλώσεις	1.5	30	12	540
			Συνολικά	11357.4
			Μέγιστη πιθανή	12000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14^ο :Μελέτη Φ/Β συστήματος κατοικίας

14.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β πάνελ

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθούν Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου της εταιρείας SunPower και μοντέλο πάνελ SPR-E19-320. Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση 90% για 10 χρόνια λειτουργίας και 87% για συνεχή λειτουργία 25 έτη. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πάνελ SPR-E19-320 παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε με συνθήκες: μάζας αέρα 1,5 και ακτινοβολία 1000W/m^2 με θερμοκρασία κυψέλης 25°C .

Μέγιστη παραγόμενη ισχύς (P_{\max})	320Wp
Τάση στη μέγιστη ισχύ (V_{mpp})	54,7V
Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (I_{mpp})	5,86A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc})	64,8V
Ρεύμα βραχυκυκλώσεως (I_{sc})	6,24A
Απόδοση πάνελ	19,8%
Ισχύς ανεκτικότητας	+5%

Πίνακας 30

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πάνελ SPR-E-19-320

Ακολουθεί ο πίνακας με τις θερμικές ιδιότητες του πάνελ

Εύρος λειτουργίας σε θερμοκρασία	-40 έως 85°C
----------------------------------	----------------------------

Συντελεστής θερμοκρασίας σε (P_{max})	-0,38%/° C
Συντελεστής θερμοκρασίας σε (V_{oc})	-0,27%/° C
Συντελεστής θερμοκρασίας σε (I_{sc})	0,05%/° C

Πίνακας 31

Θερμικά χαρακτηριστικά πάνελ SPR-E-19-320

Το Φ/Β σύστημα μπορεί να λειτουργήσει σε μέγιστη τάση 1000V. Οι διαστάσεις των πάνελ παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Μήκος	1558mm
Πλάτος	1046mm
Πάχος	46mm

Πίνακας 32

Διαστάσεις πάνελ SPR-E-19-320

14.2. Υπολογισμός Φ/Β γεννήτριας

Χρησιμοποιώντας το Λογισμικό Διαχείρισης Καθαρής Ενέργειας **RETScreen Expert**, προσδιορίστηκε το τεχνικό μέγεθος της Φ/Β γεννήτριας μέσω μοντελοποίησης.

14.2.1. Κλιματολογικές συνθήκες

Το πλησιέστερο σημείο στην τοποθεσία μας ώστε να πάρουμε ετήσια δεδομένα κλιματολογικών συνθηκών είναι με γεωγραφικό πλάτος 38,1 και μήκος 23,6 στην ευρύτερη περιοχή της Ελευσίνας, κλιματικής ζώνης Β. Το υψόμετρο είναι 35m. Ακολουθεί ο πίνακας των ετήσιων χαρακτηριστικών κλιματολογικών συνθηκών.

Μήνας	Θερμοκρασία Αέρα (°C)	Σχετική Υγρασία (%)	Ατμοσφαιρική Πίεση(kPa)	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία -οριζόντια (kWh/m ² /ημ)
Ιανουάριος	9,1	69,1	99,7	1,89
Φεβρουάριος	9,0	66,7	99,6	2,61
Μάρτιος	11,1	65,3	99,5	3,64
Απρίλιος	15,1	60,6	99,2	5,15
Μάιο	20,3	52,8	99,2	6,05
Ιούνιος	25,3	46,0	99,1	7,21
Ιούλιος	28,1	41,8	99,0	7,07
Αύγουστος	27,9	43,5	99,1	6,36
Σεπτέμβριος	24,0	51,5	99,3	4,94
Οκτώβριος	19,0	60,9	99,7	3,10
Νοέμβριος	14,0	68,8	99,7	1,94
Δεκέμβριος	10,3	70,5	99,7	1,51
Ετήσιο	17,8	58,1	99,4	4,30

Πίνακας 33

Κλιματολογικά δεδομένα (Πηγή: NASA)

Με δεδομένη ετήσια απαίτηση ισχύος 12kWh το 25^ο έτος λειτουργίας το μέγεθος της Φ/Β γεννήτριας που μπορεί να μας καλύψει υπολογίζεται ότι πρέπει να είναι 9,6kWp, με συνολικό αριθμό 30 πάνελ δηλαδή $30 * 320Wp = 9,6kWp$. Η αιτιολογία ακολουθεί στη συνέχεια.

14.3. Αντιστροφέας

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί ο αντιστροφέας Sunny Tripower 10000TL. Ο μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δίκτυα της κατηγορίας εγκατάστασης 3 ή χαμηλότερης κατά το πρότυπο IEC 60664-1. Ο μετατροπέας Sunny Tripower είναι ένας Φ/Β μετατροπέας πολλαπλών στοιχειοσειρών, ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα της Φ/Β γεννήτριας σε εναλλασσόμενο. Ο Sunny Tripower διαθέτει 2 ανεξάρτητους ανιχνευτές μέγιστης ισχύος (MPP-Tracker), στους οποίους μπορούν να συνδεθούν διαφορετικές Φ/Β μονάδες. Η τροφοδοσία του ρεύματος στο ηλεκτρικό δίκτυο πραγματοποιείται τριφασικά. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά ακολουθούν στους επόμενους πίνακες.

Είσοδος DC

Μέγιστη ισχύς DC με $\cos\phi=1$	10.200W
Μέγιστη τάση εισόδου	1000V
Εύρος τάσης μέγιστης ισχύος (MPP)	360V έως 800V
Ονομαστική τάση εισόδου	600V
Αρχική τάση εισόδου	188V
Ελάχιστη τάση εισόδου	150V
Μέγιστο ανάστροφο ρεύμα τροφοδοσίας	2A
Μέγιστο ρεύμα εισόδου A	22A
Μέγιστο ρεύμα εισόδου B	11A
Μέγιστο ρεύμα ανά είσοδο στοιχειοσειράς A	33A
Μέγιστο ρεύμα ανά είσοδο στοιχειοσειράς B	12,5A
Αριθμός ανεξάρτητων εισόδων σημείου μέγιστης ισχύος (MPP)	2
Στοιχειώσεις ανά είσοδο σημείου μέγιστης ισχύος (MPP), A	4
Στοιχειοσειρές ανά είσοδο σημείου μέγιστης ισχύος (MPP), B	1

Πίνακας 34

Χαρακτηριστικά εισόδου αντιστροφέα

Έξοδος AC

Ονομαστική ισχύς στα 230V, 50Hz	10.000W
Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC $\cos\phi =1$	10.000VA
Ονομαστική τάση ισχύος	3/N/PE, 230V/400V
Εύρος τάσης AC	160V έως 280V
Ονομαστικό ρεύμα AC στα 230V	14,5A
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	16A
Μέγιστο ρεύμα εξόδου σε περίπτωση σφάλματος	50A

Μέγιστο ρεύμα σφάλματος εξόδου	96mA
Εύρος λειτουργίας σε συχνότητα δικτύου 50Hz	44Hz έως 55Hz
Φάσεις τροφοδοσίας	3

Πίνακας 35

Χαρακτηριστικά εξόδου αντιστροφέα

Βαθμός απόδοσης

Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης η_{eu}	97,7%
--	-------

Πίνακας 36

Βαθμός απόδοσης αντιστροφέα

Κλιματικές συνθήκες σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60721-3-4

Διευρυμένο εύρος τιμών θερμοκρασίας	-25 ° C έως +70 ° C
Διευρυμένο εύρος τιμών ατμοσφαιρικής πίεσης	79,5kPa έως 106kPa
Διευρυμένο εύρος τιμών ατμοσφαιρικής υγρασίας	0% έως 100%

Πίνακας 37

Κλιματολογικές ανοχές αντιστροφέα

Διαθέτει πιστοποιήσεις όπως:

- **C10/11:** Ισχύει μόνο αν η τριφασική ονομαστική τάση εξωτερικού αγωγού ανέρχεται σε 400 V
- **IEC 62109-2:** Αυτό το πρότυπο επιβάλλει τη χρήση του ρελέ πολλαπλών λειτουργιών ως διάταξη σηματοδότησης σφαλμάτων ή την καταχώρηση του μετατροπέα στο Sunny Portal και την ενεργοποίηση του συναγερμού βλάβης στο Sunny Portal.

14.4. Φ/Β συστοιχία και διαστασιολόγηση

Σύμφωνα με την προσομοίωση RETScreen Expert χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα δεδομένα όπως φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί για την οριζόμενη τοποθεσία και το αποτέλεσμα της παραγόμενης ενέργειας από τη Φ/Β γεννήτρια είναι τα εξής:

Αξιολόγηση πηγών

Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου	Σταθεροποιημένα
Κλίση	30°

Φ/Β σύστημα

Τύπος Φ/Β	μονο-Si
Ηλεκτρική ισχύς Φ/Β	9,6kW
Κατασκευαστής	Sunpower
Μοντέλο	μονο-Si – SRP-E19-320
Αριθμός μονάδων	30
Βαθμός απόδοσης	19,8%
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας πάνελ	45° C
Συντελεστής θερμοκρασίας % /° C	0,4%
Επιφάνεια Φ/Β συστοιχιών	48,5m ²
Λοιπές απώλειες (λόγω σκόνης)	0,5%

Μετατροπέας

Βαθμός απόδοσης	97,8%
Ισχύς	10kW

Περίληψη

Λοιπές απώλειες (καλωδιώσεων)	2%
Συντελεστής ισχύος	17,2%
Εκτιμώμενη ετήσια παραγόμενη ενέργεια	14.478kWh

Πίνακας 38

Περιγραφή παραγόμενης ενέργειας

Με δεδομένο ότι το 1^ο έτος λειτουργίας η παραγωγή είναι 14.478kWh και ότι ο βαθμός απόδοσης της Φ/Β μονάδας μειώνεται σε 87% το 25^ο έτος λειτουργίας, τότε η εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή κατά το τελευταίο έτος του προγράμματος αναμένεται να είναι:

$$14.478 * 0,87 = 12.595,86kWh$$

Με δεδομένη τη ζήτηση ενέργειας για την κατοικία, ώστε να είναι 12.000kWh ετησίως, το μέγεθος της Φ/Β γεννήτριας μας υπερκαλύπτει ώστε το κόστος ενέργειας για όλη τη διάρκεια του προγράμματος των 25 ετών να είναι μηδενικό.

1^{ος} πιθανός τρόπος σύνδεσης Φ/Β πάνελ

Τα Φ/Β πάνελ θα τοποθετηθούν σε σειρά ανά 10 ώστε, η τάση στη μέγιστη ισχύ να είναι το άθροισμα των πάνελ, δηλαδή $V_{mmp} = 54,7V * 10 \Rightarrow V_{mmp} = 547V$ και η τάση ανοιχτοκύκλωσης αντίστοιχα να είναι $V_{oc} = 64,8V * 10 \Rightarrow V_{oc} = 648V$. Ο υπολογισμός αυτός ισχύει για θερμοκρασία πάνελ στους $25^{\circ}C$. Αν εξετάσουμε την περίπτωση θερμοκρασίας πάνελ στους $0^{\circ}C$ τότε θα ισχύει από τους πίνακες 30 και 31 ότι:

$$V_{new_{mmp}} = (((0,27\% * V_{mmp}) * 25) + V_{mmp}) * 10 \Rightarrow V_{new_{mmp}} = 583,93V$$

Συνεπώς μας καλύπτει για την περίπτωση λειτουργίας ελάχιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Το ρεύμα των Φ/Β συστοιχιών παραμένει το ίδιο για κάθε μία από τις 3 εν σειρά συστοιχίες των πάνελ. Δηλαδή $I_{sc} = 6,24A$ ανά στοιχειοσειρά εισόδου στη DC πλευρά του αντιστροφέα, με το συνολικό ρεύμα στοιχειοσειράς A να είναι $6,24 * 2 = 12,48A$. Κάθε συστοιχία μπορεί να συνδεθεί σε μία είσοδο στοιχειοσειράς A, ώστε να αξιοποιηθούν τελικά οι 2 από τις 4 συνολικά και υποχρεωτικά η τρίτη σειρά των πάνελ να συνδεθεί στη στοιχειοσειρά B, σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Δεν επιλέγουμε σύνδεση σε περισσότερες στοιχειοσειρές στον αντιστροφέα στην DC πλευρά για το λόγο ότι πρέπει να διατηρείται η τάση σε υψηλά επίπεδα. Η λειτουργία του αντιστροφέα δεν εκκινεί έως η τάση των Φ/Β γίνει μεγαλύτερη από 188V που είναι η οριακή τιμή εκκίνησης λειτουργίας του αντιστροφέα. Δηλαδή το Φ/Β σύστημα θα αποδίδει μηδενική ενέργεια όταν η απόδοση θα είναι μικρότερη από $\frac{188V}{648V} * 100\% = 29,01\%$ της μέγιστης απόδοσης για θερμοκρασία πάνελ $25^{\circ}C$.

2^{ος} πιθανός τρόπος σύνδεσης Φ/Β πάνελ

Τα Φ/Β πάνελ θα τοποθετηθούν σε σειρά ανά 15 ώστε, η τάση στη μέγιστη ισχύ να είναι το άθροισμα των πάνελ, δηλαδή $V_{mmp} = 54,7V * 15 \Rightarrow V_{mmp} = 820,5V$ και η τάση ανοιχτοκύκλωσης αντίστοιχα να είναι $V_{oc} = 64,8V * 15 \Rightarrow V_{oc} = 972V$. Θεωρώντας ότι στην περίπτωση που η θερμοκρασία προσεγγίσει τους $0^\circ C$, τότε από τους πίνακες 30 και 31 υπολογίζουμε ότι:

$$V_{new_{mmp}} = (((0,27\% * V_{mmp}) * 25) + V_{mmp}) * 15 \Rightarrow V_{new_{mmp}} = 875,88V$$

Συνεπώς μας καλύπτει για την περίπτωση λειτουργίας ελάχιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Το ρεύμα των Φ/Β συστοιχιών παραμένει το ίδιο για κάθε μία από τις 2 εν σειρά συστοιχίες των πάνελ. Δηλαδή $I_{sc} = 6,24A$ ανά στοιχειοσειρά εισόδου στη DC πλευρά του αντιστροφέα, με το συνολικό ρεύμα στοιχειοσειράς A να είναι $6,24A$. Κάθε συστοιχία μπορεί να συνδεθεί σε μία είσοδο στοιχειοσειράς A, ώστε να αξιοποιηθεί τελικά η 1 από τις 4 συνολικά και υποχρεωτικά η δεύτερη σειρά των πάνελ να συνδεθεί στη στοιχειοσειρά B, σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Δεν επιλέγουμε σύνδεση με μία σειρά 30 πάνελ στον αντιστροφέα στην DC πλευρά για το λόγο ότι εύκολα γίνεται αντιληπτό πως η τάση θα υπερβεί τα επιτρεπτά όρια λειτουργίας του αντιστροφέα. Η λειτουργία του αντιστροφέα δεν εκκινεί έως η τάση των Φ/Β γίνει μεγαλύτερη από 188V που είναι η οριακή τιμή εκκίνησης λειτουργίας του αντιστροφέα. Δηλαδή το Φ/Β σύστημα θα αποδίδει μηδενική ενέργεια όταν η απόδοση θα είναι μικρότερη από $\frac{188}{820,5} * 100\% = 22,91\%$ της μέγιστης απόδοσης για θερμοκρασία πάνελ $25^\circ C$.

Συμπέρασμα

Ο 2^{ος} πιθανός τρόπος σύνδεσης φαίνεται καλύτερος επειδή η τάση στην DC πλευρά λειτουργίας του αντιστροφέα βρίσκεται σε επιτρεπτές και πιο υψηλές τιμές, πιο συγκεκριμένα βρίσκεται στο εύρος ονομαστικής λειτουργίας (εύρος τάσης μέγιστης ισχύος του αντιστροφέα) για περισσότερες περιπτώσεις ηλιοφάνειας. Επίσης το Φ/Β σύστημα θα παράγει ενέργεια ακόμα και σε πιο μικρή απόδοση λειτουργίας.

14.5. Καλώδια DC

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση εν σειρά των Φ/Β πάνελ είναι συνήθως κατασκευασμένα για χρήση στον εξωτερικό χώρο. Τα καλώδια αυτά είναι συνήθως μονοπολικά και με διπλή μόνωση, ώστε να αποφεύγονται σφάλματα μεταξύ του θετικού και του αρνητικού πόλου των Φ/Β πάνελ ή σφάλματα γης. Κατασκευάζονται επίσης πολύκλινα ώστε να διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για τη σύνδεση τους, ενώ το μήκος τους κυμαίνεται γύρω στο 1m.

Για το σκοπό αυτό οι κατασκευαστές προχώρησαν στη δημιουργία ειδικών καλωδίων για Φ/Β εφαρμογές (solar cables). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους είναι ότι είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες και σε υπεριώδη (UV) ακτινοβολία με μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών (της τάξης από -55°C έως 125°C). Επιπλέον κάποιοι κατασκευαστές προσφέρουν καλώδια με μεταλλικό πλέγμα για μεγαλύτερη προστασία από τα τρωκτικά και καλύτερη προστασία από υπερτάσεις.

Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για τη σωστή διασύνδεση των καλωδίων τόσο μεταξύ των πάνελ (δηλαδή από το (+) ενός πάνελ στο (-) του επόμενου κοκ) όσο και μεταξύ των κλάδων των πάνελ και των εισόδων του αντιστροφέα. Σε περίπτωση χαλαρής σύνδεσης είναι πιθανόν να εμφανιστεί τόξο αυξάνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Επιπλέον, η ύπαρξη υψηλής σχετικά DC τάσης επιβάλλει ώστε η σύνδεση των καλωδίων να πραγματοποιείται από εξειδικευμένο προσωπικό με τη δέουσα προσοχή. Έτσι οι παραπάνω απαιτήσεις οδήγησαν στην επικράτηση στην αγορά λύσεων τύπου “plug and play” με συνδέσμους καλωδίων που εξασφαλίζουν την απουσία επαφής με γυμνό αγωγό και τη μικρή ωμική αντίσταση (της τάξης των $5\text{m}\Omega$ και μικρότερη).

Για τη σύνδεση κάθε σειράς Φ/Β στοιχείων με τον αντιστροφέα θα χρησιμοποιηθεί καλώδιο τύπου DC Solar 10mm^2 . Ο λόγος που επιλέχτηκε αυτή η διατομή καλωδίου είναι ότι ικανοποιεί το κριτήριο ώστε η πτώση τάσης να μην υπερβαίνει το 2% της ονομαστικής τάσης. Ο υπολογισμός πραγματοποιείται με τον ακόλουθο τύπο.

$$\varepsilon(\%) = \frac{2 * L * I}{K * S} \Rightarrow \varepsilon(\%) = \frac{2 * 25\text{m} * (2 * 1,25 * 6,24\text{A})}{56 * 10} \Rightarrow \varepsilon(\%) = 1,39\%$$

Ο υπολογισμός του μήκους της γραμμής έγινε μέσω της κάτοψης που υπάρχει το σχέδιο στο AutoCad και ως ρεύμα χρησιμοποιήθηκε το ρεύμα βραχυκύκλωσης από τα δεδομένα του τύπου πάνελ που εγκαταστάθηκε υπολογίζοντας την προσαύξηση της έντασης ρεύματος κατά 25%.

Πρόκειται για εύκαμπτα καλώδια με μόνωση και μανδύα από ελαστικό υψηλής αντοχής. Τα καλώδια ακολουθούν τις προδιαγραφές ΕΛΟΤ HD 623.4 και 22.4. Ενδείκνυνται για χρήση σε ξηρούς, υγρούς ή βρεγμένους χώρους στο ύπαιθρο. Για την καλύτερη διάκριση των καλωδίων θα χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί χρωματισμοί ανάλογα με την πολικότητα των ισχύων που μεταφέρουν. Συγκεκριμένα RED/BLACK για τον θετικό πόλο και BLACK/BLACK για τον αρνητικό.



Εικόνα 26

Περιγραφή καλωδίων DC Solar

Στα άκρα της κάθε στοιχειοσειράς θα υπάρχουν απολήξεις τύπου MCT4 κατάλληλες για εγκαταστάσεις Φ/Β συστημάτων. Η στήριξη των καλωδίων θα γίνει με δεματικά από πλαστικό υλικό για την αποφυγή επαγωγικών ρευμάτων. Οι προδιαγραφές του καλωδίου είναι οι εξής:

- Εύρος θερμοκρασίας από -40°C ως 120°C
- Επιτρεπτή τάση λειτουργίας 2 KV DC
- Αναμενόμενη διάρκεια ζωής >25 έτη.
- Ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV protection).
- Δυνατότητα εγκατάστασης τόσο σε εξωτερικούς χώρους όσο και εντός σωλήνων ή καναλιών
- Μανδύας και μόνωση από μείγμα ελεύθερων αλογόνων με εξαιρετική αντοχή στη θερμοκρασία.



Εικόνα 27

Σύνδεσμοι DC καλωδίων Φ/Β

Η DC καλωδίωση θα ακολουθεί την φορά είτε της μιας είτε της άλλης πολικότητας. Τα καλώδια θα οδεύουν ανά ζευγάρια, διασυνδέοντας το ένα μετά το άλλο πλαίσιο προτού οδεύσουν προς την είσοδο του αντιστροφέα. Έτσι η επιφάνεια του βρόγχου μειώνεται στο ελάχιστο με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση του κίνδυνου δημιουργίας υπερτάσεων από πτώση κεραυνού στα άκρα της στοιχειοσειράς.

14.6. Καλώδια AC

Το συχνά χρησιμοποιούμενο καλώδιο με μόνωση λάστιχο και μανδύα από νεοπρένιο τύπου H07 RN-F, στην τυπική (standard) έκδοση του επιτρέπεται σε θερμοκρασίες από -30° C έως 60° C διατηρώντας σε κάθε περίπτωση τις απώλειες από την μεταφορά της ενέργειας χαμηλότερα από το 2% της μεταφερόμενης ισχύος. και έτσι είναι κατάλληλο για χρήση σε Φ/Β συστήματα σε περιορισμένο εύρος. Για τον υπολογισμό διατομής του καλωδίου απαιτείται να υπολογίσουμε το μέγιστο ρεύμα που πρόκειται να διαρρέει τον αγωγό. Επειδή είναι τριφασικός αγωγός θα χρησιμοποιήσουμε τον ακόλουθο τύπο.

$$P = 3 * V * I \Rightarrow I = \frac{P}{3 * V} \Rightarrow I = \frac{10.000}{3 * 230} \Rightarrow I = 14,49 A$$

Κάνοντας χρήση του συντελεστή διόρθωσης από τον πίνακα 26 για θερμοκρασίες άνω των 50° C θα ισχύει ότι

$$\frac{1}{0,58} * 14,49 = 24,99 A$$

Από τον πίνακα 27 θα χρησιμοποιήσουμε καλώδιο με διατομή 5x4mm². Η συνολική διάμετρος του αγωγού προκύπτει να είναι 16,8mm, όπου μας καλύπτει και για σύνδεση με την πλευρά AC του αντιστροφέα. Αρκεί να διαπιστώσουμε ότι η πτώση τάσης κατά μήκος

της γραμμής μεταξύ του αντιστροφέα και του μετρητή 1, ο οποίος βρίσκεται πλησίον της γραμμής μετρητή 2- γενικού πίνακα, διατηρεί τα κριτήρια διατήρησης τάσης για σύνδεση με το δίκτυο. Ελέγχουμε την πτώση τάσης του τμήματος της εγκατάστασης μεταξύ μετρητή 1 και αντιστροφέα που έχει μήκος 7m και θεωρείται μη διακλαδιζόμενη, με έναν από τους ακόλουθους τύπους,

- με το επιτρεπτό ποσοστό πτώσης τάσης $\varepsilon(4\%)$

$$\varepsilon = \frac{2 * l * P}{K * S * U^2} \Rightarrow \varepsilon = \frac{2 * 7 * (230 * 24,99)}{56 * 4 * 230^2} \Rightarrow \varepsilon = 0,67\%$$

Αποδεκτή πτώση τάσης

- με την επιτρεπόμενη τιμή διακύμανσης τάσης $\Delta u (9,2V)$

$$\Delta u = \frac{2 * p * l * I}{S} \Rightarrow \Delta u = \frac{2 * 0,0175 * 7 * 24,99}{4} \Rightarrow \Delta u = 1,53V$$

Αποδεκτή πτώση τάσης καθώς $1,53V \leq 9,2V$

14.7. Γείωση Φ/Β εγκατάστασης

14.7.1. Γείωση προστασίας

Σκοπός της γείωσης προστασίας είναι να μηδενιστεί η πιθανότητα να τεθεί υπό κατάσταση ηλεκτρικού δυναμικού οποιαδήποτε αγώγιμη επιφάνεια με την οποία δύναται να έρθει σε επαφή ο άνθρωπος. Δημιουργώντας μια κατασκευή στην οποία όλες οι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα επιφάνειες είναι συνδεδεμένες έμμεσα ή άμεσα με το σύστημα γείωσης απομακρύνουμε τον κίνδυνο ατυχήματος. Για τον λόγο αυτό όλες οι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα κατασκευές οι οποίες είναι αγώγιμες θα συνδεθούν με απόληξη γείωσης.

Οι μεταλλικές επιφάνειες της ίδιας σειράς θα είναι ισοδυναμικά συνδεδεμένες, ενώ όλες οι σειρές θα διασυνδεθούν με αγωγό διατομής $1 \times 50 \text{mm}^2$ (κιτρινοπράσινο) προκειμένου να διασφαλιστεί η ισοδυναμική γείωση μεταξύ όλων των σειρών της Φ/Β γεννήτριας. Τα πάνελ θα είναι και αυτά συνδεδεμένα από κατάλληλη οπή και μέσω αγωγού διατομής $1 \times 6 \text{mm}^2$ (κιτρινοπράσινο) με τις μεταλλικές βάσεις. Οι μεταλλικές σχάρες μέσα στις οποίες θα οδεύουν τα καλώδια θα είναι συνδεδεμένες και αυτές με την ισοδυναμική γείωση των σειρών της Φ/Β γεννήτριας μέσω αγωγού διατομής $1 \times 6 \text{mm}^2$ (κιτρινοπράσινο).

Η μπάρα γείωσης στην οποία θα συνδέονται, οι απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων εντός αυτού, καθώς επίσης και η ισοδυναμική γείωση των σειρών του πάρκου θα συνδεθούν με ένα τρίγωνο γείωσης που θα κατασκευαστεί πλησίον της κατοικίας μέσω αγωγού διατομής $1 \times 50 \text{mm}^2$ (κιτρινοπράσινο). Το τρίγωνο θα αποτελείται από 3 ηλεκτρόδια $\Phi 20 \times 150 \text{cm}$ πακτωμένα κάθετα στην γη 120cm , σχηματίζοντας ισόπλευρο τρίγωνο πλευράς 2.5m , το οποίο θα συμπληρώνεται με λάμα $30 \times 3 \text{mm}$ από θερμογαλβανισμένο χάλυβα.

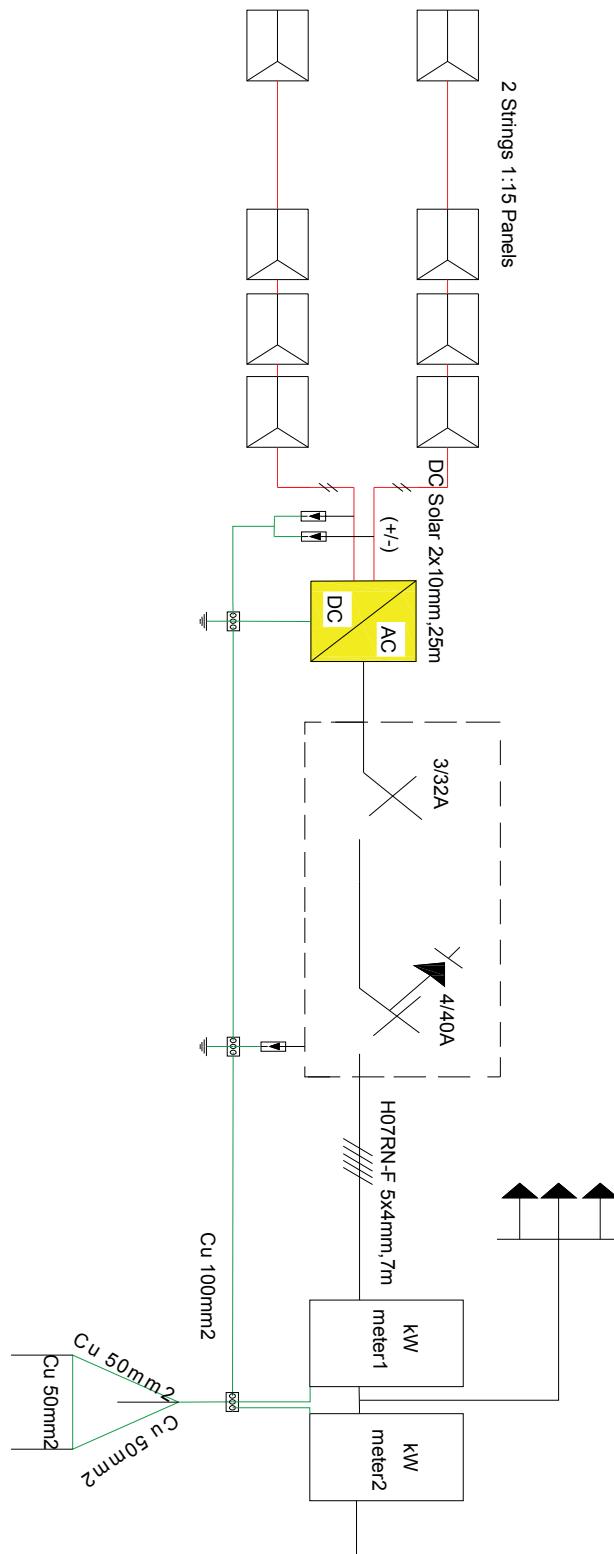
Το τρίγωνο αυτών των διαστάσεων θα κατασκευαστεί ανάμεσα στους δύο μετρητές από το οποίο θα εκκινεί γυμνός αγωγός χαλκού διατομής 100mm^2 και θα συνδέεται σε μπάρα γείωσης που θα είναι τοποθετημένη στο παράθυρο των δύο ερμαρίων και εν συνεχεία θα συνδέεται με μπάρα γείωσης στον πίνακα ελέγχου του Φ/Β συστήματος και επίσης με μπάρα γείωσης στον αντιστροφέα. Δεύτερο τρίγωνο γείωσης δεν απαιτείται καθώς η απόσταση μεταξύ των τριγώνων γείωσης δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 20m .

14.7.2. Διατάξεις προστασίας

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του αντιστροφέα συνίσταται να ασφαλίσετε ο μετατροπέας με ανεξάρτητο διακόπτη προστασίας αγωγού ώστε να είναι εφικτή η απομόνωση με ασφάλεια του μετατροπέα υπό φορτίο. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί ένας τριπολικός διακόπτης προστασίας αγωγών. Αν χρησιμοποιηθεί μονοπολικός διακόπτης προστασίας αγωγών, ενδέχεται να υπάρχει στο αντίστοιχο καλώδιο μετά τη σύνδεση υπολοίπιση τάση από το μετατροπέα.

Για την προστασία του αντιστροφέα κατά το πρότυπο IEC62103, επιβάλλεται η χρήση του ρελέ πολλαπλών λειτουργιών ως διάταξη σηματοδότησης σφαλμάτων ή την καταχώρηση του μετατροπέα για ενεργοποίηση ειδοποίησης βλάβης.

14.7.3. Μονογραμμικό διάγραμμα Φ/Β συστήματος

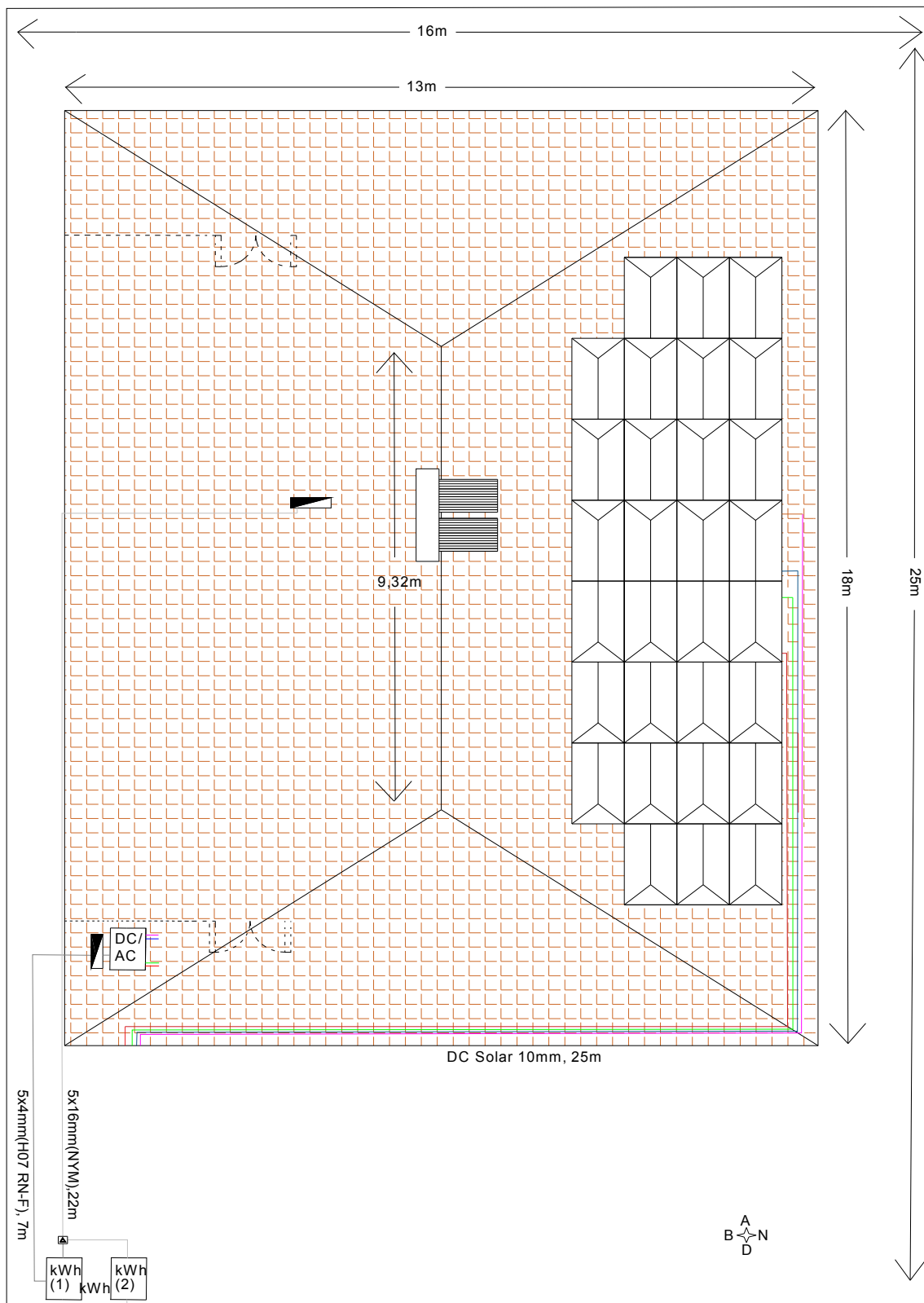


Σχήμα 34

Μονογραμμικό διάγραμμα Φ/Β μονάδας

Από το μονογραμμικό διάγραμμα διακρίνουμε τις δύο σειρές πάνελ με 15 πάνελ ανά σειρά. Μετά τον αντιστροφέα συνδέεται ο πίνακας ελέγχου που αποτελείται από τριπολικό διακόπτη 32Α, ώστε να είναι εφικτή η διακοπή ρεύματος και επίσης έχει τοποθετηθεί και ρελέ ή ΔΔΕ 40Α. Επίσης φαίνεται ο τρόπος που έχει τοποθετηθεί το τρίγωνο γείωσης μεταξύ των δύο μετρητών. Τέλος παρουσιάζεται η γραμμή που συνδέεται με το γενικό πίνακα της κατοικίας.

14.7.4. Μονογραμμικό διάγραμμα κάτοψης Φ/Β συστήματος



Σχήμα 35

Διάγραμμα κάτοψης Φ/Β εγκατάστασης

Η οροφή της οικίας είναι κεραμοσκεπή με κλίση 30° και σύμφωνα με τον προσανατολισμό του οικήματος, η Φ/Β γεννήτρια έχει τοποθετηθεί στην οροφή χωρίς να προεξέχει σημαντικά από αυτή με νότιο προσανατολισμό και με τρόπο όπως φαίνεται στο σχήμα. Το μέγιστο ύψος που φτάνει η κορυφή της κεραμοσκεπής από το ύψος του εδάφους είναι 7m. Το εμβαδόν που καταλαμβάνει η Φ/Β γεννήτρια είναι $48,89\text{m}^2$ από το συνολικό εμβαδόν της πλευράς που είναι $102,51\text{m}^2$.

Από το διάγραμμα κάτοψης μπορούμε να κατανοήσουμε τον τρόπο που έχει συνδεθεί η Φ/Β γεννήτρια με τον αντιστροφέα, ο οποίος λόγω των ιδιοτήτων της χωροθέτησης της Φ/Β γεννήτριας, είναι τοποθετημένος στη βεράντα της οικίας από την πλευρά της κουζίνας μαζί με τον πίνακα ελέγχου κάτω από τη σκεπή, διασφαλίζοντας συνθήκες προστασίας. Είναι εύκολη η πρόσβαση σε περίπτωση που απαιτηθεί για τεχνικούς λόγους. Το ίδιο ισχύει και για τους μετρητές καθώς είναι εύκολα προσβάσιμοι. Βλέπουμε ότι έχει τοποθετηθεί και ηλιακός θερμοσίφωνας που απαιτείται για την έγκριση εγκατάστασης Φ/Β σε στέγη και με τέτοιο τρόπο τοποθετημένος ώστε να μη προκαλεί σκίαση στις επιφάνειες των πάνελ. Με διακεκομμένες γραμμές φαίνεται η επιφάνεια που αντιστοιχεί στο εσωτερικό της οικίας.

Συμπεράσματα

Για την υλοποίηση εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων παρατηρούμε ότι η επιλογή κατάλληλου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού όπως οι διατομές των καλωδίων και οι διατάξεις προστασίας είναι τα πλέον σημαντικότερα στοιχεία της εγκατάστασης. Πρέπει να επιλέγεται πάντα διατομή καλωδίου μεγαλύτερη από την αναμενόμενη υπολογισμένη ώστε να μπορεί να καλύψει την ανάγκη αυξημένου ρεύματος αν ζητηθεί από κάποια γραμμή παροχής και επίσης να μην υπάρχει περίπτωση για τα υλικά να φτάσουν στις οριακές τιμές λειτουργίας τους και να θέσουν σε κίνδυνο την εγκατάσταση, θεωρώντας ότι οι αγωγοί είναι εντοιχισμένοι και η διαδικασία συντήρησης ή αλλαγής είναι δύσκολη. Οι διατάξεις προστασίας πρέπει να επιλέγονται με ονομαστική λειτουργία όχι μικρότερη από την αναμενόμενη ζήτηση ρεύματος για το λόγο ότι θα διακόπτεται η παροχή ρεύματος συχνά και θα αναγκαστούμε να ρυθμίζουμε τα φορτία που θα έχουμε σε ταυτόχρονη χρήση. Επίσης δεν πρέπει να είναι και πολύ μεγαλύτερης ονομαστικής λειτουργίας από αυτή που αναμένουμε για την προστασία των αγωγών.

Η επιλογή περισσότερων γραμμών από το γενικό πίνακα από τον πιθανό ελάχιστο που θα μπορούσαν να επιλεγθούν έχει ως σκοπό να βελτιώσει την ποιότητα της εγκατάστασης (εργονομίας) και να ελαχιστοποιήσει σε περίπτωση βλάβης κάποιου στοιχείου ή εφόσον τεθεί εκτός λειτουργίας κάποια γραμμή της εγκατάστασης, να περιορίζεται η διακοπή σε όσο μικρότερη έκταση γίνεται. Για παράδειγμα, στο δωμάτιο του καθαριστηρίου επιλέχτηκαν δύο ξεχωριστές γραμμές για να καλύψουν τις ανάγκες πλυντηρίου και στεγνωτηρίου.

Η αναμενόμενη ετήσια κατανάλωση ενέργειας προκύπτει συνήθως 2.000kWh ανά άτομο. Η ζήτηση που υπολογίστηκε είναι μεγαλύτερη από την πιθανή αναμενόμενη, αλλά στην εγκατάσταση δεν παρέχεται θέρμανση από άλλη πηγή ενέργειας, συνεπώς για την κάλυψη των αναγκών θα χρησιμοποιηθεί ηλεκτρική ενέργεια. Δε θεωρείται ότι υπάρχει ιστορικό κατανάλωσης συνεπώς για αυτές τις ανάγκες η Φ/Β γεννήτρια που θεωρητικά παράγει περισσότερη ενέργεια, θα καλύψει τη ζήτηση.

Τέλος σημαντικά χαρακτηριστικά για μία Φ/Β μονάδα μικρής ισχύος, όπως αυτή στη στέγη οικίας είναι η επιλογή κατάλληλου αντιστροφέα καθώς κάνει τη σημαντικότερη διαδικασία. Πρέπει να είναι προστατευμένος από παράγοντες που επηρεάζουν την ιδανική λειτουργία του και αυξάνουν τον κίνδυνο να υποστεί βλάβη με αποτέλεσμα να τεθεί η εγκατάσταση

εκτός λειτουργίας και να απαιτηθεί χρηματική δαπάνη για την αντικατάστασή του. Τέτοιοι παράγοντες είναι οι κλιματολογικές συνθήκες και οι υπερεντάσεις, που αντιμετωπίζονται με την τοποθέτηση της συσκευής σε κατάλληλο χώρο και με εγκατάσταση κατάλληλων μέσων προστασίας αντίστοιχα. Επίσης ο τρόπος σύνδεσης των Φ/Β πάνελ και η τοποθέτηση είναι επίσης πολύ σημαντικοί παράγοντες διότι από αυτό θα εξαρτάται η παραγωγή ενέργειας για όλη τη διάρκεια του προγράμματος.

Η επιλογή του Φ/Β πάνελ ήταν τυχαία όπως επίσης και του μετατροπέα, θεωρώντας ότι κάθε πάνελ έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα συγκριτικά με κάποιο άλλο, όπως επίσης το ίδιο ισχύει και για τους αντιστροφείς. Τέλος για την υλοποίηση της εργασίας δεν πραγματοποιήθηκε οικονομοτεχνική μελέτη, παράγοντας που πιθανό να επηρέαζε την τελική επιλογή αποφάσεων ως προς την υλοποίηση της ΕΗΕ και της Φ/Β μονάδας.

Βιβλιογραφία

1. “Αγωγοί και καλώδια”
<http://www.jimkava.com/>
2. “Υλικά εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων”
<http://www.jimkava.com/>
3. “Εσωτερικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις”
<http://papers.uth.gr/>
4. “Εσωτερικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις”, Μωυσής Μόσχοβιτς,
Ηλεκτ. Μηχανολόγος Ε.Μ.Π.
5. “ΔΕΗ”
<http://www.dei.gr>
6. “Καταναλώσεις διαφόρων ηλεκτρικών συσκευών”
www.acdc.com.gr/
7. “Μηχανισμοί ελέγχου, διακοπής και προστασίας ηλεκτρικών εγκαταστάσεων”
<http://www.jimkava.com/>
8. “Θεμελιακή γείωση”
<http://www.pittas.gr/>
9. “Ηλεκτρολογικό σχέδιο”
<https://eclass.upatras.gr>
10. “Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384”

- <http://1epal-serron.ser.sch.gr/>
11. "Σύστημα υπολογισμού συμμετοχών καταναλωτών Χ.Τ."
<http://www.deddie.gr/>
 12. "Οδηγός μελέτης και υλοποίησης Φ/Β έργων"
<http://portal.tee.gr/>
 13. "Πρακτικός τεχνικός οδηγός Φ/Β"
<http://www.helapco.gr/>
 14. "Αντικεραυνική προστασία Φ/Β συστημάτων"
<http://www.elemko.gr/>
 15. "Φωτοβολταϊκός μετατροπέας"
<http://files.sma.de>
 16. "Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών"
<http://helapco.gr/>
 17. "Τεχνικό εγχειρίδιο (net metering)
<http://www.deddie.gr/>
 18. "Οδηγός εγκατάστασης Φ/Β σε κτηριακές εγκαταστάσεις"
<http://www.cres.gr>
 19. "Net metering"
<http://www.mechanicalsolutions.gr/>
 20. <http://www.wikipedia.gr>
 21. "Νομοθεσία net metering"
<http://www.helapco.gr/>
 22. Διπλωματική εργασία Ε.Μ.Π. "Τεχνική σχεδίαση Φ/Β πάρκου"
Ελισάβετ Γκιρίτση, 2015
 23. Διπλωματική εργασία Ε.Μ.Π. "Τεχνοοικονομική αξιολόγηση Φ/Β συστήματος σε οικιακή εγκατάσταση", Κολοβός Αιμίλιος-Σταύρος, 2014
 24. Διπλωματική εργασία Ε.Μ.Π. "Έλεγχος & πιστοποίηση ποιότητας στα Φ/Β συστήματα", Φίλιππος Ρήγας, 2016
 - 25 "Φωτοβολταϊκό φαινόμενο"
<http://www.selasenergy.gr/>
 26. "Φ/Β πάνελ Sunpower E19-320"
<http://www.revolusun.com/>
 27. "AutoCAD 2016"
<http://www.autodesk.com/>

28. "RETScreen expert"

<http://retscreen.software.informer.com/>

29. "Εφαρμογές κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων"

Π. Μπούρκας, ΕΜΠ 1998