

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	3
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	3
I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)	3
1. Αιολική ενέργεια.....	3
2. Γεωθερμία	4
3. Υδατόπτωση.....	5
4. Βιομάζα.....	6
5. Υδραυλική ενέργεια.....	6
6. Ενέργεια Θαλασσίων Κυμάτων	7
7. Ηλιακή - Φωτοβολταϊκή Ενέργεια	8
II. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	8
1. Ηλιακή Γεωμετρία	9
2. Γεωγραφικό πλάτος –γεωγραφικό μήκος	10
3. Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του εδάφους.....	12
4. Απόκλιση του ήλιου δ.....	14
5. Ύψος και αζιμούθιο ήλιου.....	15
III. ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	17
Πρακτικοί κανόνες για την συλλογή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας.....	19
Εξάντας	21
Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας.....	22
Μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας – Όργανα μέτρησης – Πυρανόμετρα	25
IV. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	26
Εκμετάλλευση Ηλιακής Ενέργειας.....	27
Φωτοβολταϊκά	28
Φωτοβολταϊκά Στοιχεία.....	29
V. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ	30
1. Ισοδύναμα Κυκλώματα Φωτοβολταϊκών Στοιχείων	30
2. Φωτοβολταϊκά Πλαίσια και Συνδεσμολογίες.....	32
3. Χαρακτηριστική I-V Φωτοβολταϊκού Πλαισίου	34
4. Επίδραση της θερμοκρασίας στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φβ στοιχείου	36
5. Συνθήκες κανονικής λειτουργίας.....	38
6. Επίδρασης της απόδοσης ενός Φ/Β υπό συνθήκες σκίασης.....	39
VI. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΦΒ.....	41
1. Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές (μπαταρίες)	42
2. Αρχή λειτουργίας και είδη συσσωρευτών	42
3. Εκφόρτιση και επιτρεπόμενος βάθος εκφόρτισης.....	45
4. Φόρτιση.....	45
VII. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	46
Βασικά είδη φβ συστημάτων	48
VIII. ΗΛΕΚΤΡΟΦΩΤΙΣΜΟΣ	49
1. Ορολογία φωτομετρικών στοιχείων	49
2. Ηλεκτροφωτισμός οδών.....	52
3. Πηγές φωτισμού.....	55
IX. ΜΙΚΡΟΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	60
ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	60
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	60
Εισαγωγή	60
Σύντομη περιγραφή της διάταξης.....	61

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες της διάταξης	61
Τρόπος ελέγχου λειτουργίας του φωτιστικού	62
I. ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	63
1. Επιλογή ύψους στύλου	63
2. Επιλογή του λαμπτήρα του φωτιστικού.....	64
3. Προσδιορισμός κατανομής φωτοβολίας φωτιστικού σώματος	66
II. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ	69
III. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	72
Καταγραφή και μελέτη μετρήσεων για το φωτοβολταϊκό πλαίσιο KC85T	74
IV.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΚΙΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΙΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΕΜΠΟΔΙΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ.....	78
V. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ- ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΤΗΣ	82
1. Μέθοδοι κατασκευής τυπωμένων κυκλωμάτων	82
2. Επιτηρητής φόρτισης	87
3. Ηλεκτρονικά ρύθμισης επιπέδου φωτισμού λαμπτήρα.	88
4. Αισθητήρες εντοπισμού κίνησης	94
5. Προγραμματισμός και λειτουργίες του μικροελεγκτή AT90S8515	94
6. Test λαμπτήρα οικονομίας	108
VI. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΙΣΤΟΥ.....	110
Φορτία ανέμου	110
1.Υπολογισμός φορτίων στον ιστό:	112
2.Υπολογισμός φορτίων από το ΦΒ πλαίσιο:.....	113
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	115
i. Διευκρίνιση για την επιλογή του S στη φωτοτεχνική μελέτη	115
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	116
i. Κώδικας μικροελεγκτή για λαμπτήρες που δεν αναγράφουν λειτουργία dimming.	116
ii. Κώδικας μικροελεγκτή για λαμπτήρες που αναγράφουν λειτουργία dimming. .	117
iii. Κώδικας μικροελεγκτή για λαμπτήρες που απαγορεύουν λειτουργία dimming.	119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.....	121
i. Πίνακας 1. Υπολογισμοί για την κατασκευή του διαγράμματος οπτικού πεδίου του χώρου, από το σημείο εγκατάστασης.....	121
Πίνακας 2. Μετρήσεις πλαισίου 19 Σεπτεμβρίου 13:40μμ.	122
Πίνακας 3. Μετρήσεις ΦΒ πλαισίου 6 Οκτωβρίου 12 μμ.	123
Πίνακας 4. Μετρήσεις ΦΒ πλαισίου 6 Οκτωβρίου 11 πμ.	124
Πίνακας 5. Μετρήσεις ΦΒ πλαισίου 24 Σεπτεμβρίου 11πμ.	125
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4.....	126
i. Πίνακας 1. Τυποποιημένες τιμές διαμέτρου, πάχους και ροπής αδράνειας για ιστούς κυκλικής διατομής.....	126
ii. Πίνακας 2 Μηχανικές ιδιότητες διαφόρων υλικών	127

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)

Ορισμός: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), ονομάζονται αυτές που από τη φύση τους ανανεώνονται και είναι διαρκώς και ασταμάτητα διαθέσιμες σε άφθονη ποσότητα, δηλαδή είναι ανεξάντλητες. Ο ήλιος για παράδειγμα δεν θα πάψει ποτέ (τουλάχιστον για αρκετά εκατομμύρια χρόνια) να λάμπει στον ουρανό και να μας προσφέρει τη φωτεινή και θερμική του ενέργεια. Ακόμη σε αυτή την κατηγορία συγκαταλέγονται η Αιολική ενέργεια, η Γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια Θαλασσίων Κυμάτων κ.α.

1. Αιολική ενέργεια

Οι μετακινήσεις του αέρα, ο άνεμος, προέρχονται από τις μεταβολές και τις διαφορετικές από τόπο σε τόπο, τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι διαφορετικές αυτές τιμές της πίεσης οφείλονται στη διαφορετική θέρμανση (απορρόφηση ενέργειας) της ατμόσφαιρας κάθε τόπου από τον Ήλιο.



Ο άνεμος, όπως από παλιά έχει διαπιστώσει ο άνθρωπος, είναι δυνατό να περιστρέψει ανεμόμυλους ή ανεμοτροχούς, να προωθήσει ιστιοφόρα πλοία και οχήματα ή να κινήσει αντικείμενα, να μας δώσει δηλαδή ενέργεια.

Αυτή η ενέργεια, η αιολική (ο Αίολος ήταν ο “διαχειριστής” των ανέμων, κατά τους αρχαίους Έλληνες), αξιοποιείται στις μέρες μας ολοένα και περισσότερο, σε περιοχές όπου συχνά φυσούν ισχυροί άνεμοι.

Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε σήμερα τις ανεμογεννήτριες, με τις οποίες μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Το πρώτο πράγμα που προσέχουμε σε μια ανεμογεννήτρια είναι τα πτερύγιά της, που περιστρέφονται όταν φυσάει. Η κίνηση αυτή των πτερυγίων μεταδίδεται σε έναν άξονα περιστροφής, ο οποίος χάρη σε ένα σύστημα προσανατολισμού, βρίσκεται πάντα παράλληλα προς την κατεύθυνση του ανέμου.

Η κινητική ενέργεια του άξονα περιστροφής μετατρέπεται από μία γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια. Όλο αυτό το σύστημα είναι τοποθετημένο πάνω σ’ ένα ψηλό πύργο.

Η σπουδαιότερη εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2. Γεωθερμία

Ένα παλιό όνειρο του ανθρώπου είναι η εκμετάλλευση της μεγάλης θερμοκρασίας που επικρατεί στο εσωτερικό της Γης. Η ιδέα προήλθε από την ανάβλυση μεγάλης ποσότητας θερμού νερού ή και ατμών ή, απλώς, θερμού αέρα (τα ονομαζόμενα γεωθερμικά ρευστά) σε πολλές περιοχές της Γης. Σε άλλες πάλι περιοχές, που δεν έχουν αυτό το προνόμιο, γίνονται γεωτρήσεις σε μεγάλα βάθη, για να βρεθούν τα γεωθερμικά αυτά ρευστά.

Η ενέργεια των γεωθερμικών ρευστών λέγεται γεωθερμική ενέργεια.

Η γεωθερμία είναι μια ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, που μπορεί, με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες, να καλύψει ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης, αλλά και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σε ορισμένες περιπτώσεις.

Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή και μπορεί να έχει τιμές από 25 °C μέχρι 350 °C.



Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150 °C), η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη, η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται για τη θέρμανση κατοικιών και άλλων κτιρίων ή κτιριακών εγκαταστάσεων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών κ.λπ.

3. Υδατόπτωση

Το νερό που κινείται με ταχύτητα από φυσικούς ή τεχνητούς υδατοταμιευτήρες μεγάλου υψόμετρου προς χαμηλότερες περιοχές, μας δίνει τη γνωστή μας υδραυλική ενέργεια.

Όμως, αυτόματα μας έρχεται στο μυαλό ο μεγάλος υδατοταμιευτήρας του πλανήτη μας, η θάλασσα.

Δυστυχώς το νερό της, όπως και το νερό των μεγάλων λιμνών που βρίσκονται σε μικρό υψόμετρο, δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας διότι δεν είναι δυνατό να κινηθεί με ταχύτητα προς χαμηλότερες περιοχές.

Κινείται, όμως αφού ανεβαίνει (πλημμυρίς) και κατεβαίνει (άμπωτις) λόγω της παλίρροιας, κυκλοφορεί ως ρεύματα (λόγω της διαφοράς της θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία του νερού, όπως ακριβώς συμβαίνει με τον άνεμο στην ατμόσφαιρα) ή κινείται παλινδρομικά (κύματα).

Αυτές τις κινήσεις μπορούμε να τις εκμεταλλευτούμε για να περιστρέψουμε τροχούς με πτερύγια και, στη συνέχεια, να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια.

Επίσης, είναι δυνατό να εκμεταλλευτούμε τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της επιφάνειας και των βαθύτερων στρωμάτων της θάλασσας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Όλες αυτές οι εφαρμογές βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο. Αν, όμως, οι επιστήμονες κατόρθωναν να κάνουν τις εφαρμογές αυτές και οικονομικά αποδοτικές, θα μπορούσαμε να αντλήσουμε ενέργεια από μια αστείρευτη δεξαμενή - πηγή, όπως είναι η θάλασσα και οι μεγάλες λίμνες, χωρίς καμία απολύτως επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

4. Βιομάζα

Ο πρωτόγονος άνθρωπος, για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) από την καύση των ξύλων.

Αλλά και μέχρι σήμερα, πολλοί φτωχοί αγροτικοί πληθυσμοί, ιδίως της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια....) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα...)

Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο, αλλά και μέρος από τα υγρά απόβλητα και τα σκουπίδια (υπολείμματα τροφών, χαρτί...) των πόλεων και των βιομηχανιών, τα ονομάζουμε βιομάζα.

Αλλά και οι κάτοικοι των ανεπτυγμένων χωρών σήμερα χρησιμοποιούν βιομάζα σε ολοένα μεγαλύτερες ποσότητες. Έτσι, η βιομάζα αποτελεί για όλη την ανθρωπότητα μια σημαντική πηγή ενέργειας.



5. Υδραυλική ενέργεια

Όπως όλα τα σώματα που κινούνται, έτσι και τα νερά που προέρχονται από την τήξη των πάγων και του χιονιού ή τη βροχή που έπεσε σε μεγάλο υψόμετρο, έχουν ενέργεια καθώς κατεβαίνουν προς χαμηλότερες περιοχές.

Όμως, όταν η κάθοδός τους γίνεται από πολλά σημεία και συνεχώς, δεν είναι εύκολο ή δυνατό να χρησιμοποιήσουμε αυτή την ενέργεια.

Αντίθετα, συγκεντρώνοντας τα νερά σε τεχνητές λίμνες (ταμιευτήρες) σε μεγάλο υψόμετρο, στην ουσία αποθηκεύουμε την ενέργειά τους. Αφήνοντας τα, στη συνέχεια, να ρέουν μέσα σε αγωγούς με ταχύτητα (λόγω της διαφοράς του υψομέτρου) προς χαμηλότερες περιοχές, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε αυτή την υποθηκευμένη ενέργεια,



μετατρέποντας τη σε άλλη μορφή ενέργειας. Πραγματικά, το νερό, πέφτοντας με ταχύτητα, είναι δυνατό να περιστρέψει μεγάλους τροχούς που έχουν πτερύγια στην περιφέρειά τους, τους υδροστρόβιλους.

Αυτή την περιστροφή είχε εκμεταλλευτεί από παλιά ο άνθρωπος για τη λειτουργία υδρόμυλων, κυρίως, που άλεθαν τα σιτηρά. Ακόμα και σήμερα υπάρχουν παραδοσιακές εγκαταστάσεις που λειτουργούν με το νερό μικρών ταμιευτηρίων ή/και το νερό υδατορευμάτων, που βρίσκονται σε κάποιο υψόμετρο.

Σήμερα το νερό των ταμιευτηρίων, που συνήθως δημιουργούνται με τεχνητά φράγματα, χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (υδροηλεκτρικοί σταθμοί).

Στη χώρα μας, όπου τα νερά δεν είναι άφθονα, οι υδατοταμιευτήρες δεν είναι δυνατό να τροφοδοτούν συνεχώς με νερό τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Συνήθως, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί λειτουργούν μόνο μερικές ώρες της ημέρας, τις ώρες αιχμής όπως λέγονται, όταν δηλαδή χρειαζόμαστε πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια.

6. Ενέργεια Θαλασσίων Κυμάτων

Η ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων προέρχεται από τις δύο κινήσεις των υδάτων της θαλάσσιας επιφάνειας, την κατακόρυφη και την οριζόντια. Η κατακόρυφη κίνηση προσδιορίζει το ύψος του κύματος, ενώ η οριζόντια προσδιορίζει την ταχύτητα με την οποία κινείται το κύμα.



Η ενέργεια που περιέχουν τα κύματα

υπολογίζεται να φτάνει ως τα 75 kW/m στις ακτές της Ιρλανδίας και τη Σκωτίας ενώ για τις Ευρωπαϊκές ακτές της Μεσογείου η ενέργεια υπολογίζεται από 4 έως και 11 kW/m με τις υψηλότερες τιμές να αναφέρονται για τις περιοχές του νοτιοδυτικού Αιγαίου.

Οι εγκαταστάσεις αυτές συνήθως εκμεταλλεύονται μόνο τη δυναμική ή μόνο την κινητική συνιστώσα της διαθέσιμης ενέργειας των κυμάτων. Ως παράδειγμα θα μπορώ να αναφέρω

το πρόσφατα εγκατεστημένο στον Ατλαντικό ωκεανό κοντά στις ακτές τις Πορτογαλίας πρόγραμμα PELAMIS.

7. Ηλιακή - Φωτοβολταϊκή Ενέργεια

Η ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται τόσο για την θέρμανση των κτιρίων με άμεσο ή έμμεσο τρόπο και με τη χρήση ενεργητικών ή και παθητικών συστημάτων, όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η



παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με δύο τρόπους: **α)** με τη χρησιμοποίηση Φωτοβολταϊκών συστημάτων τα οποία μετατρέπουν απευθείας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική και **β)** τα ηλιακά θερμικά συστήματα που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για να θερμάνουν ένα υγρό το οποίο παράγει ατμό ο οποίος τροφοδοτεί μία τουρμπίνα και μία γεννήτρια.

II. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Αν οι πρόγονοί μας του 1600 και 1700 ξαναγύριζαν σε μας, θα εύρισκαν ασφαλώς πολλά "φανταστικά" στον αιώνα μας, όπως τους κινητήρες, το ηλεκτρικό φως, το ραδιόφωνο, την τηλεόραση, τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τα ταξίδια με αυτοκίνητο, αεροπλάνο και σιδηρόδρομο, τις διαστημικές πτήσεις, κ.ά.

Όλα αυτά έχουν δημιουργηθεί με το ανθρώπινο μυαλό και επικρατεί σχεδόν η αντίληψη ότι η φύση μπορεί να δαμαστεί. Στην εξέλιξη αυτή, συντέλεσαν οι διάφορες τεχνικές μετατροπής της ενέργειας. Γνωρίζουμε τις φυσικές ενεργειακές πηγές, που κρύβονται στα σπλάχνα της γης, αλλά ελάχιστοι γνωρίζουν ότι ο ήλιος είναι βασικά η

πρωταρχική πηγή ενέργειας. Καίμε κάρβουνο, ξύλα ή προϊόντα πετρελαίου και δεν σκεπτόμαστε ότι και αυτές οι ύλες προέρχονται από την ηλιακή ενέργεια.

Μέσα σε 100 μόνο χρόνια καταναλώθηκε μεγάλο μέρος των γνωστών αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, πετρελαίου, φυσικών αερίων) τα οποία σχηματίστηκαν σε εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια από φυτικές ύλες που απανθρακώθηκαν με τους γεωλογικούς μετασχηματισμούς.

Επίσης η χρησιμότετη υδροδυναμική ενέργεια οφείλεται στην επίδραση του ήλιου, γιατί με το φυσικό κύκλο εξάτμισης που εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία, το νερό οδηγείται στα υψηλότερα σημεία της γης, απ' όπου τρέχει στους ποταμούς και στις λίμνες και από εκεί στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

Η γη δέχεται από τον ήλιο μια ποσότητα ενέργειας ίση περίπου με $7 \cdot 10^{17} \text{ kWh}$ το χρόνο. Η ποσότητα ακτινοβολίας που φθάνει στη γη, κυμαίνεται μεταξύ 80 και 300 Watt/m^2 , ανάλογα με την ώρα της ημέρας και τις καιρικές συνθήκες. Αντίθετα ο άνθρωπος μπορεί να παράγει με τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και με άλλες διατάξεις μόνο $4 \cdot 10^{13} \text{ kWh}$. Η ενέργεια αυτή δε μας στοιχίζει τίποτα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά πολλούς τρόπους: για θέρμανση σπιτιών, για παραγωγή και αποθήκευση ζεστού νερού, για μαγείρεμα, για απόσταξη νερού και οινόπνευματος, αφαλάτωση, κλιματισμό, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ.

1. Ηλιακή Γεωμετρία

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί περιγράφονται οι βασικές αρχές ηλιακής γεωμετρίας. Ως ηλιακή σταθερά ορίζεται η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας:

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

Όπως είναι γνωστό η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του 24-ώρου, λόγω περιστροφής της γης περί τον άξονά της, και κατά την διάρκεια του έτους, λόγω της περιστροφής της γης γύρω από τον ήλιο σε ελλειπτική τροχιά, το επίπεδο της οποίας ονομάζεται εκλειπτική. Η μεταβολή της απόστασης της γης από τον ήλιο έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της ακτινοβολίας εκτός

ατμόσφαιρας. Αν είναι G_{on} η ένταση της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας σε επίπεδο κάθετο προς τις ακτίνες του ήλιου και G_{sc} η μέση τιμή της ηλιακής σταθεράς, θα είναι:

$$G_{on} = G_{sc} \left[1 + 0,0033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right]$$

Όπου:

n : οι ημέρες του έτους $n=1,2,3,\dots,365$

G_{on} : η ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας και κάθετο στις ακτίνες του ήλιου.

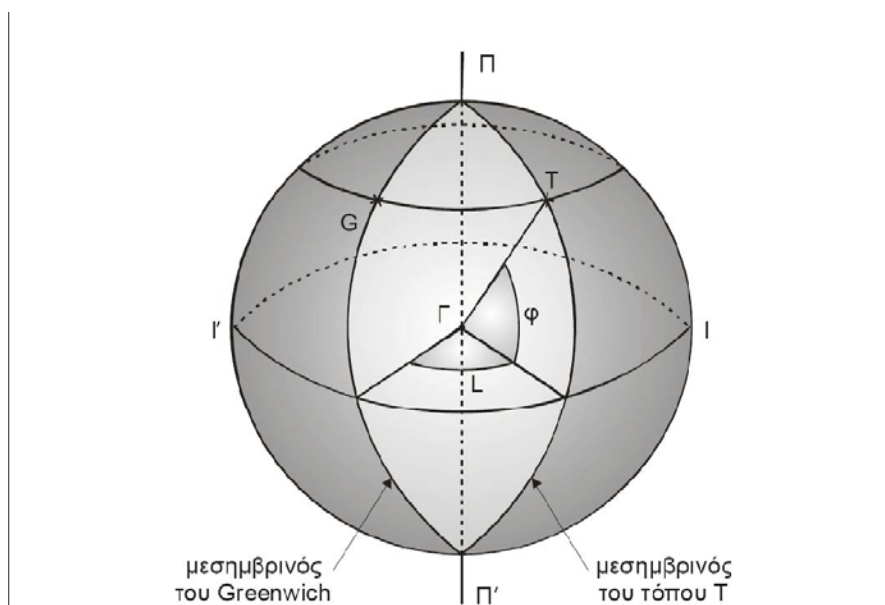
2. Γεωγραφικό πλάτος –γεωγραφικό μήκος

Οι κύκλοι που είναι παράλληλοι στον ισημερινό ονομάζονται παράλληλοι κύκλοι (Σχήμα 1). Τα ημικύκλια που διέρχονται από τους πόλους ονομάζονται μεσημβρινοί. Από κάθε σημείο της επιφάνειας της γης περνάει ένας παράλληλος κύκλος και ένας μεσημβρινός. Βασικός μεσημβρινός θεωρείται αυτός που περνάει από το αστεροσκοπείο του Greenwich(G). Προκειμένου να καθορισθεί η θέση ενός τόπου (T) στην επιφάνεια της γης απαιτείται να ορισθεί το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος.

Γεωγραφικό πλάτος (ϕ) ενός τόπου είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που ενώνει το κέντρο της γης με τον τόπο και του ισημερινού επιπέδου. Το γεωγραφικό πλάτος παίρνει τιμές από 0° μέχρι 90° για το βόρειο ημισφαίριο και από 0° μέχρι -90° για το νότιο ημισφαίριο.

$$-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$$

Γεωγραφικό μήκος (L) ενός τόπου είναι η γωνία που σχηματίζεται από το μεσημβρινό του Greenwich και το μεσημβρινό επίπεδο του τόπου. Το γεωγραφικό μήκος παίρνει τιμές από 0° μέχρι -180° για τόπους ανατολικά του Greenwich και από 0° μέχρι 180° για τόπους δυτικά του Greenwich.



Σχήμα 1. Γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος

Στον πίνακα 1 δίνονται τα γεωγραφικά πλάτη διαφόρων ελληνικών περιοχών, για την επιλογή της σωστής κλίσης του ηλιακού συλλέκτη. Υπάρχουν και εφαρμογές, όπου κρίνεται σκόπιμη η αναπροσαρμογή της κλίσης του συλλέκτη δύο ή περισσότερες φορές στη διάρκεια του έτους ώστε να παρακολουθεί κάπως την απόκλιση του ήλιου.

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Πόλη ή περιοχή	Γεωγραφικό πλάτος
Σιδηρόκαστρο, Διδυμότειχο, Ορεστιάδα, Φλώρινα, Έδεσσα, Γιαννιτσά, Κιλκίς, Σέρρες, Δράμα, Καβάλα	41 30'
Ξάνθη, Κομοτηνή, Αλεξανδρούπολη	41o
Καστοριά, Πτολεμαίδα, Κοζάνη, Νάουσα, Βέροια, Κατερίνη, Θεσσαλονίκη, Πολύγυρος, Σαμοθράκη	40 30'
Κόνιτσα, Γρεβενά, Λιτόχωρο, Κασσάνδρα, Δήμιος	40o
Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Ιωάννινα, Μέτσοβο, Τρίκαλα, Καρδίτσα, Λάρισα, Βόλος	39 30'
Λευκάδα, Πρέβεζα, Άρτα, Καρπενήσι, Λαμία, Σκύρος, Μυτιλήνη	39
Κεφαλληνία, Ιθάκη, Αγρίνιο, Μεσολόγγι, Πάτρα, Αμφιλοχία, Λιβαδειά, Θήβα, Χαλκίδα, Χίος	38 30'
Ζάκυνθος, Αμαλιάδα, Καλάβρυτα, Κόρινθος, Μέγαρα, Ελευσίνα, Αθήνα, Ραφήνα, Κάρυστος, Άνδρος, Ικαρία, Σάμος	38o
Πύργος, Μεγαλόπολη, Τρίπολη, Αργος, Ναύπλιο, Πόρος, Σύρος, Πάτιμος	37 30'
Πύλος, Καλαμάτα, Σπάρτη, Πάρος, Νάξος, Κάλυμνος, Κως	37
Γύθειο, Μήλος, Σαντορίνη, Ρόδος	36 30'
Κύθηρα, Καστελόριζο	36o
Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Κάσσοι, Κάρπαθος	35 30'
Χώρα Σφακίων, Ιεράπετρα, Αγ.Νικόλαος Κρήτης, Κύπρος	35

Πίνακας. 1

3. Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του εδάφους

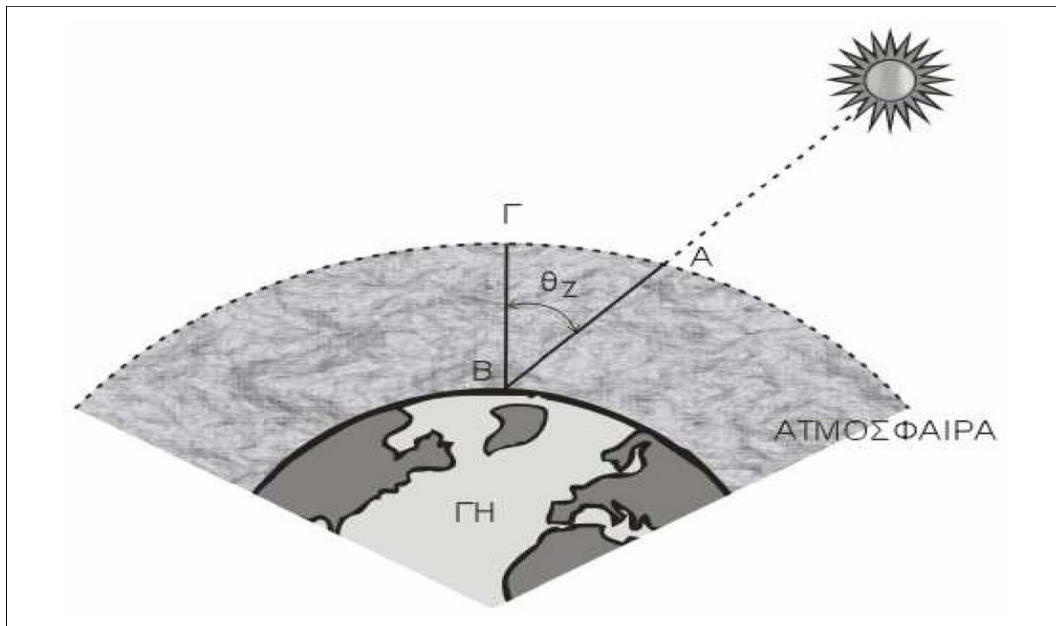
Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος επηρεάζεται από το μήκος της ατμόσφαιρας που διαπερνά. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η διαδρομή των ηλιακών ακτίνων στην ατμόσφαιρα τόσο μειωμένη είναι η ένταση της ηλιακής

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ακτινοβολίας. Η μεγαλύτερη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας για να φθάσει στην επιφάνεια της γης είναι νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα.

Για την μείωση αυτή της ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ο όρος της σχετικής μάζας του αέρα ή απλά όπως συνηθίζεται μάζα του αέρα. Μάζα του αέρα (m) συχνά χρησιμοποιείται και ο συμβολισμός AM από τα αρχικά του Air Mass, ορίζεται ο λόγος της μάζας της αερίου στήλης της διαδρομής των ηλιακών ακτινών, για ανέφελο ουρανό, προς την αντίστοιχη μάζα για κατακόρυφο ήλιο (Σχήμα 2). Όταν η ζενίθια γωνία του ήλιου δε έχει μεγάλες τιμές και αν δεν ληφθεί υπ' όψιν η καμπυλότητα της γης και η διάθλαση, που επηρεάζει ελαφρά το μήκος της πλάγιας διαδρομής AB , τότε το τόξο AB μπορεί να θεωρηθεί ευθύγραμμο τμήμα και κατά συνέπεια το τρίγωνο $AB\Gamma$ ορθογώνιο. Οπότε ο λόγος των αντίστοιχων μαζών θα είναι και ο λόγος των διαδρομών AB προς $B\Gamma$ και κατά συνέπεια η μάζα του αέρα (m) θα εξαρτάται από τη ζενίθια γωνία του ήλιου θ_z , οπότε:

$$m = \frac{1}{\cos \theta_z}$$

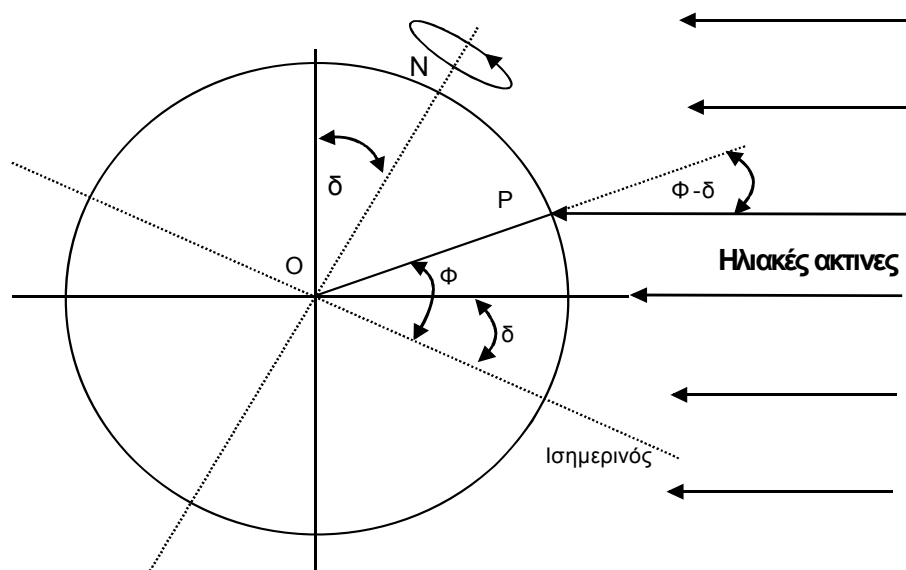


Σχήμα 2.Μάζα του αέρα

4. Απόκλιση του ήλιου δ

Κατά τη διάρκεια ενός έτους, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης (δ), δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στη ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού (Σχήμα 3). Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες τιμές είναι $+23,45$ στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και $-23,45$ στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο).

Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους είναι οι κυκλικές τροχιές που διαγράφονται βορειότερα στο ουρανό το καλοκαίρι, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ το χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο. Παράλληλα διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε διάφορες εποχές του έτους. Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για τη γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε ένα τόπο, είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, καθώς και η μέση πραγματική ηλιοφάνεια που δείχνει το μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα. Επίσης, ο αριθμός των ημερών με ηλιοφάνεια, στη διάρκεια των οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα, καθώς και των ανήλιων ημερών, που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα σε ολόκληρο το διάστημα της ημέρας.



Σχήμα 3. Η απόκλιση του ήλιου

Η απόκλιση του ήλιου

Η απόκλιση του ήλιου δίνεται από την εξίσωση:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right)$$

5. Ύψος και αζιμούθιο ήλιου

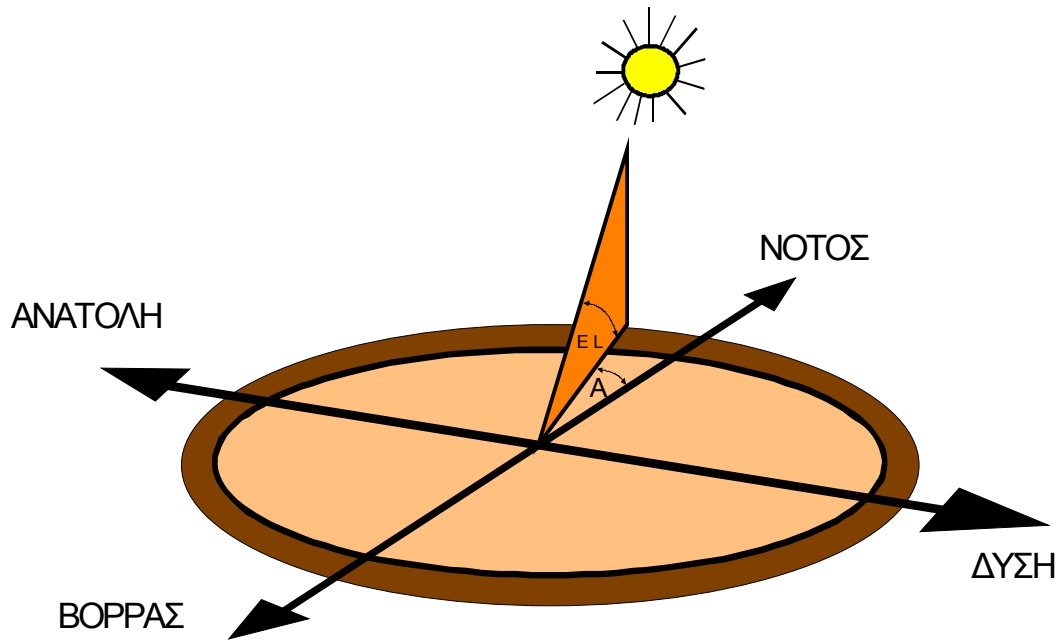
Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες : το ύψος του ήλιου (EL) και το αζιμούθιο του ήλιου (A). Το ύψος του ήλιου (EL) είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα (Σχήμα 4).

Αζιμούθιο γ είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στη προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά - νότου.

Ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη *as summut*, που σημαίνει κατεύθυνση.

Προς τα δεξιά από τον νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές τιμές. Κατά την διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό. Το αζιμούθιο είναι:

- Για νότιο προσανατολισμό $A = 0$
- Για γωνίες δυτικά από το νότο παίρνει θετικές τιμές.
- Για γωνίες ανατολικά από το νότο παίρνει αρνητικές τιμές.



Σχήμα 4. Το ύψος (EL) και το αζιμούθιο του ήλιου (A)

Ζενιθιακή γωνία του ήλιου

Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική του γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, που ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση (ή ζενιθιακή γωνία) του ήλιου (θ_z). Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου, και ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη Senit που σημαίνει ευθεία οδός.

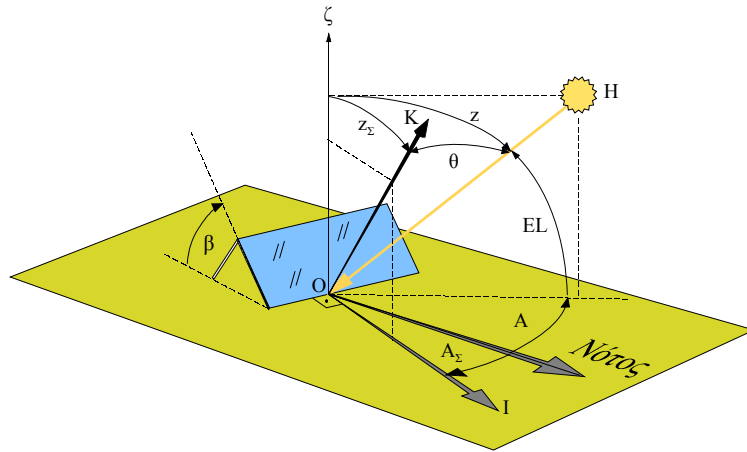
Ωριαία γωνία του ήλιου

Ορίζεται ως ωριαία γωνία (ω) του ήλιου η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία λόγω περιστροφής της γης περί τον άξονά της. Στην ηλιακή μεσημβρία $\omega=0^\circ$ ενώ κάθε ώρα η ω μεταβάλλεται κατά 15° . Τις πρωινές ώρες η ω είναι θετική (+) και κατά τις απογευματινές γίνεται αρνητική (-).

$$\omega = \pm 0,25 \cdot (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι})$$

III. ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής



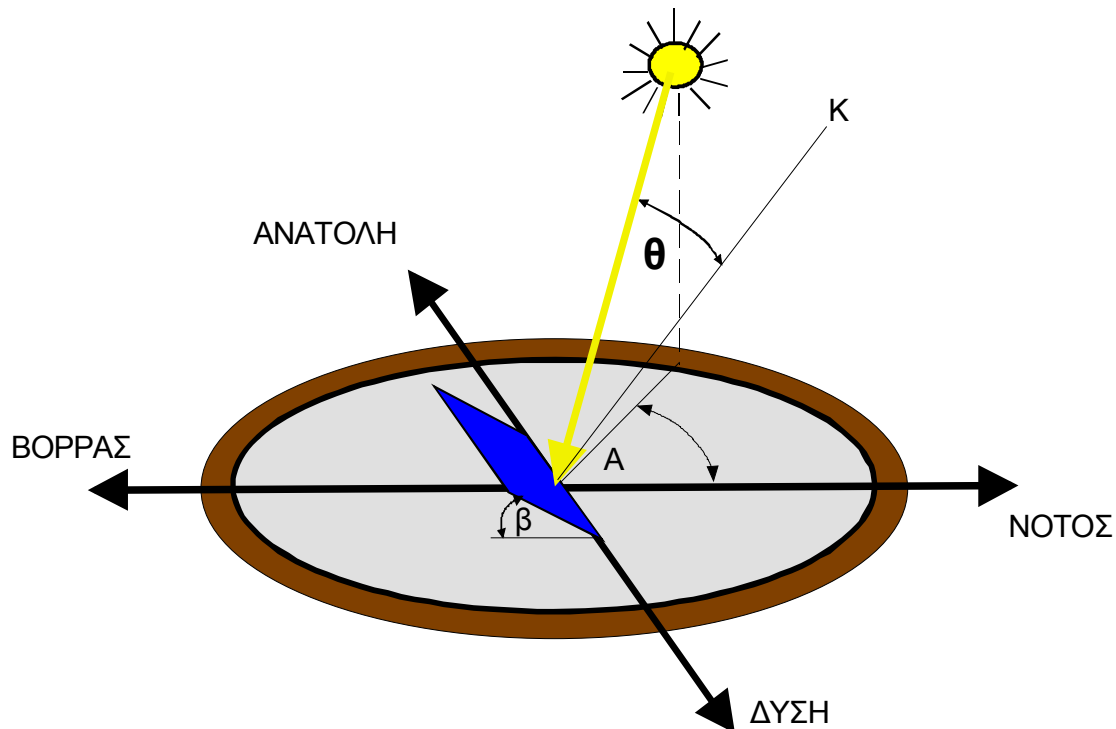
ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες : την κλίση και την αζιμούθια γωνία. Η κλίση του συλλέκτη (β) είναι η διεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0° μέχρι 180° . Για γωνίες $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω (διπλανό σχήμα).

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη (A) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^\circ$. Η γωνία -180° (που συμπίπτει με την $+180^\circ$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς το νότο και η γωνία $+90^\circ$ προς τη δύση.

Προφανώς, η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας, πάνω σε ένα επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς τη κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης (θ) είναι 0° . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς τον συλλέκτη (π.χ. με τη βοήθεια υπολογιστή ή φωτοκύτταρων) ώστε η επιφάνεια του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

χρήση τους δικαιολογείται μόνον σε περιπτώσεις εφαρμογών, όπως στα συστήματα συγκεντρωμένης ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα.



Σχήμα 5 Η κλίση του συλλέκτη (β), το αζιμούθιο του συλλέκτη (A) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στο συλλέκτη (θ)

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη σχέση :

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \\ & + \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega \\ & + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\omega \cdot \sin\gamma \end{aligned}$$

Οι επίπεδοι συλλέκτες χρησιμοποιούν την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία και συνήθως τοποθετούνται υπό σταθερή κλίση και προσανατολισμό κατά τη διάρκεια του έτους. Η επιλογή του ευνοϊκού προσανατολισμού και της κλίσης του συλλέκτη είναι το σημαντικότερο μέτρο για τη βελτίωση του ηλιακού κέρδους. Η θέση του συλλέκτη (προσανατολισμός και κλίση) επηρεάζει την απόδοσή του κατά δύο τρόπους. Πρώτα επηρεάζει σημαντικά το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη. Ακόμα η θέση του συλλέκτη επηρεάζει τον συντελεστή διάβασης των διαφανών καλυμμάτων και τον συντελεστή απορρόφησης του απορροφητήρα, αφού οι δύο συντελεστές είναι συναρτήσεις της γωνίας, που η ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη.

Γενικά η μεγαλύτερη ποσότητα της ηλιακής ενέργειας, λαμβάνεται σε μία Νότια προσανατολισμένη κλίση. Εάν η επιφάνεια του συλλέκτη δεν αντικρίζει ακριβώς το νότο, το ποσό της ωφέλιμης ενέργειας, μειώνεται ελαφρά σε μία γωνία 30° ανατολικά, δυτικά ή νότια. Η κλίση για συστήματα που λειτουργούν όλο το χρόνο είναι 45° ενώ αντίθετα για συστήματα που λειτουργούν καλοκαιρινούς μήνες π.χ. ξενοδοχεία η κλίση λαμβάνεται μικρότερη περίπου 25° . Έτσι είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ορθά η εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων (π.χ. ηλιακοί συλλέκτες) ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοσή τους.

Πρακτικοί κανόνες για την συλλογή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια του έτους, είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι 0° (προς το νότο). Λόγων όμως της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή. Έτσι, αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου. Στο Σχήμα 6 δίνεται ένα παράδειγμα της βέλτιστης κλίσης για τον ηλιακό συλλέκτη στις χαρακτηριστικές ημερομηνίες του έτους.

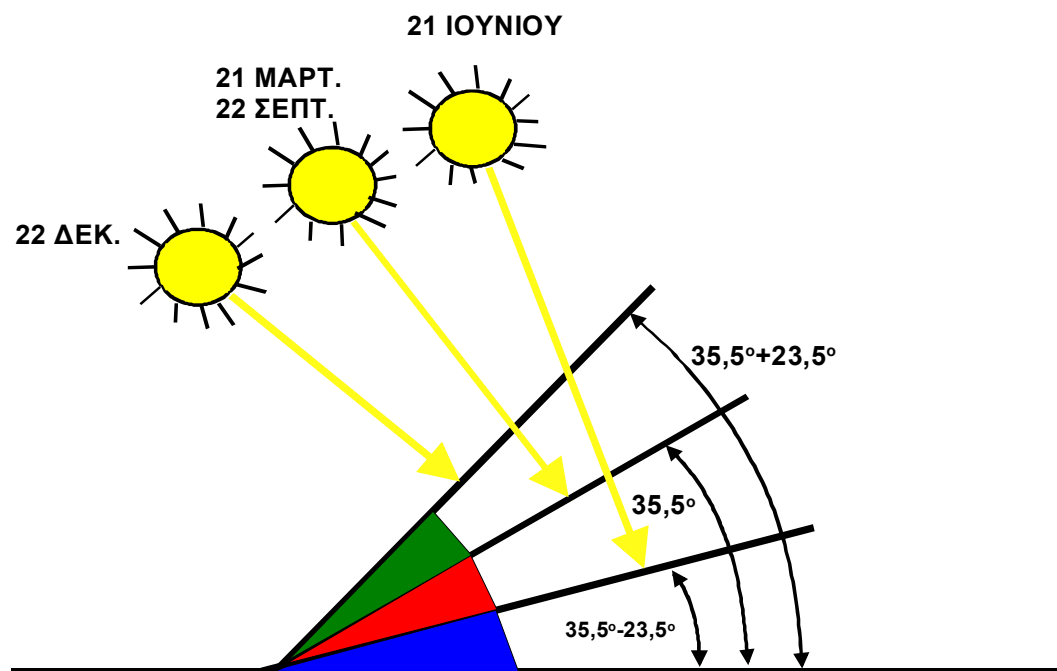
Συνοψίζοντας:

Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ).

Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ).

Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ). Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση.

Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο A) είναι νότιος ($A=0$), ενώ απόκλιση κατά 20° - 30° από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.



Σχήμα 6. Η βέλτιστη κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη.

Η βέλτιστη κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη στις χαρακτηριστικές μέρες του έτους, στη Κρήτη με γεωγραφικό πλάτος $35,5^{\circ}$. Τα ύψη του ηλίου αφορούν τα αντίστοιχα ηλιακά μεσημέρια.

Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου. Έτσι, όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.

Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10 - 15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση.

Εξάντας

Ο **ναυτικός εξάντας ή παλέστρα** αποτελεί είδος γωνιομετρικού οργάνου, με το οποίο μετρούμε στη θάλασσα τα ύψη των ουρανίων σωμάτων, καθώς και τις κατακόρυφες και οριζόντιες γωνίες των γήινων αντικειμένων.

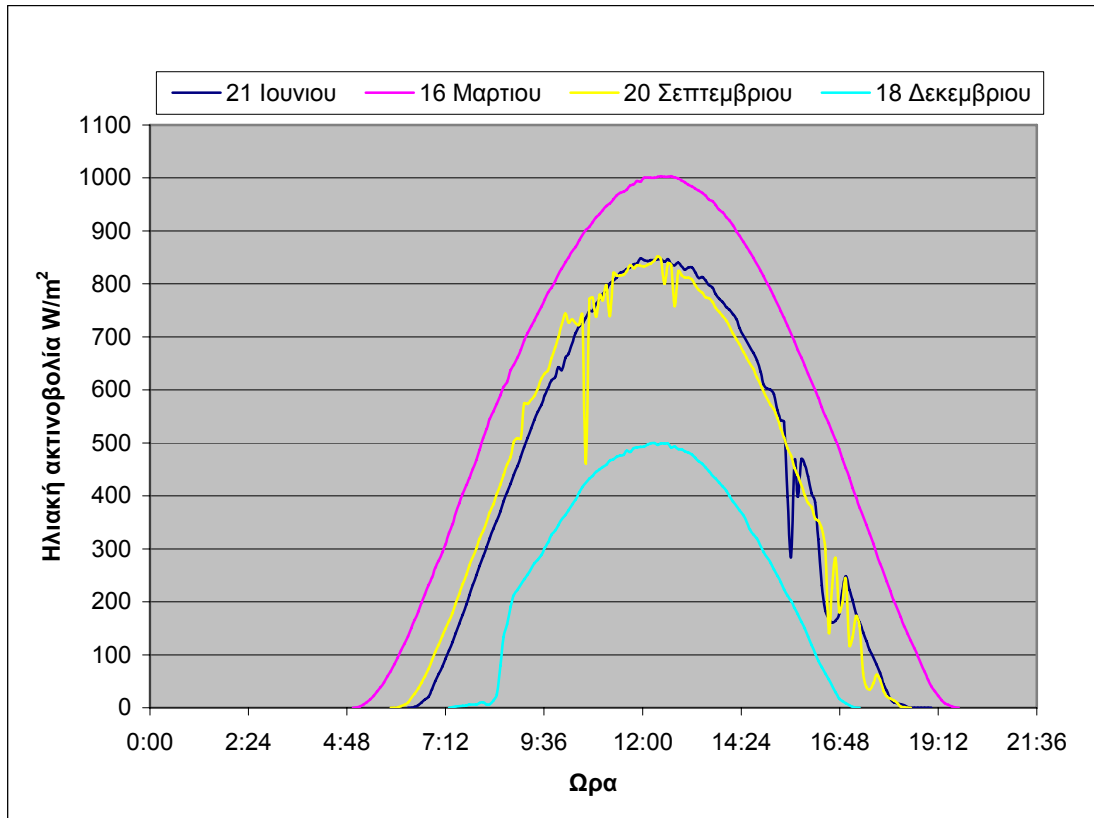
Η αρχή λειτουργίας του εξάντα **βασίζεται στο φαινόμενο της ανακλάσεως**. Είναι γνωστό από την οπτική ότι η γωνία προσπτώσεως που σχηματίζεται από την οπτική ακτίνα σε επίπεδο, είναι ίση με τη γωνία ανακλάσεως



Σχήμα 7. Εξάντας

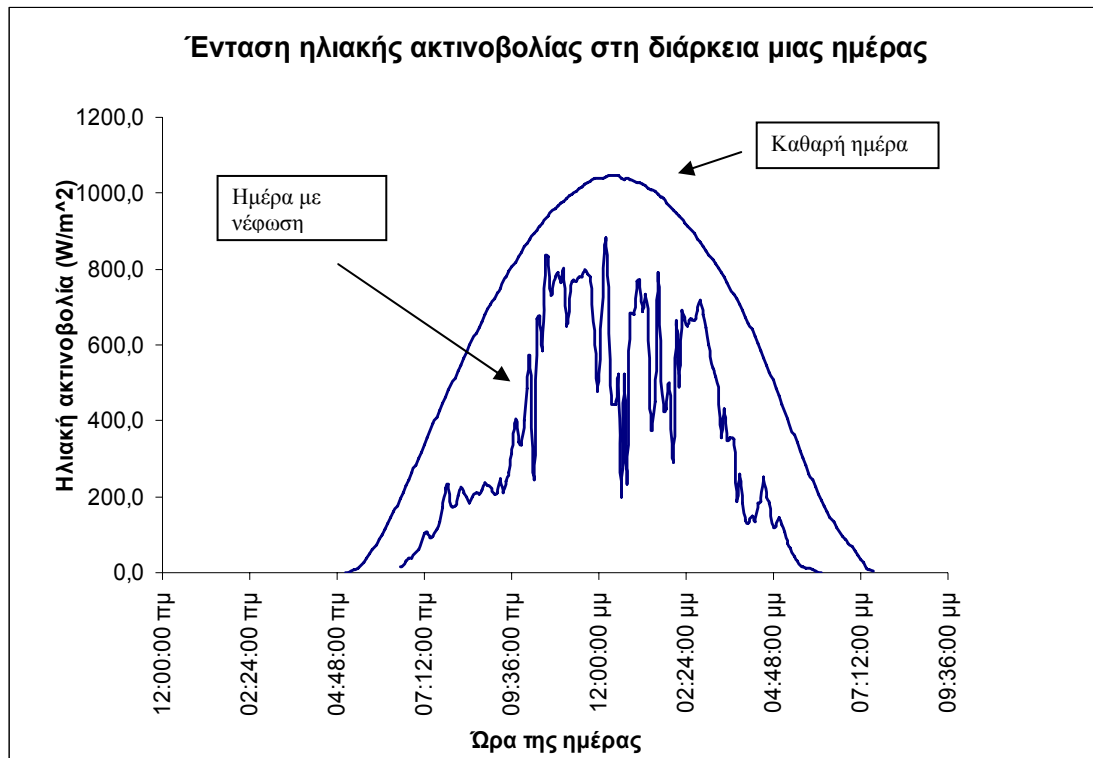
Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Στα Σχήμα 7 φαίνονται παραδείγματα της ομαλής μεταβολής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας για 3 ενδεικτικές ημερομηνίες (καλοκαίρι, άνοιξη και φθινόπωρο, χειμώνα) σε συνθήκες ιδανικά καθαρού ουρανού. Χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (ένταση αιχμής), που μετράται στο ηλιακό μεσημέρι, δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στο μεγαλύτερο ύψος του ορίζοντα, το οποίο δεν είναι αναγκαστικό να συμπίπτει με το ωρολογιακό μεσημέρι. π.χ. στην Αθήνα έχουμε ηλιακό μεσημέρι όταν το ρολόι δείχνει 12:25 τον χειμώνα, και 13:25 το καλοκαίρι, όταν ισχύει η θερινή ώρα.



Σχήμα 7. Μεταβολή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, στη διάρκεια τεσσάρων χαρακτηριστικών ημερών του έτους.

Έχουμε ήδη τονίσει ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επίπεδη επιφάνεια γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη όταν βρίσκεται σε κατάλληλη κλίση, ώστε η πρόσπτωση των ακτινών να γίνεται κάθετα. Στην περίπτωση αυτή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μέγιστη ισχύς της ακτινοβολίας το ηλιακό μεσημέρι στις ευνοϊκότερες ημέρες του έτους, δεν διαφέρει παρά πολύ από τόπο σε τόπο και η τιμή 1 kW/m^2 αποτελεί μια πολύ χονδρική, αλλά πάντως γενικά αποδεκτή προσέγγιση.



Σχήμα 8. Μεταβολή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια μιας αίθριας ημέρας και ημέρας με μερική νέφωση.

Όταν ο ουρανός έχει σύννεφα, η μεταβολή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης γίνεται ανώμαλη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8. Οι παρατηρούμενες απότομες πτώσεις της έντασης οφείλονται στην παρεμβολή ενός νέφους που μετακινεί ο άνεμος. Επίσης, το γρήγορο πέρασμα ενός σμήνους πουλιών ή ενός αεροπλάνου μέσα από τη δέσμη του ηλιακού φωτός που δέχεται ο συλλέκτης καταγράφεται σε μία πολύ οξεία στιγμιαία πτώση της έντασης της ακτινοβολίας.

Παρατηρούμε, ακόμη, εξάρσεις που ξεπερνούν τις κανονικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες καθαρού ουρανού. Προφανώς στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα θα συμβαίνει αθροιστική επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας από τον ήλιο, μέσα από ένα άνοιγμα των νεφών, και της ανακλώμενης από τα σύννεφα.

Στη διάρκεια του έτους, στο βόρειο ημισφαίριο, ο αριθμός των φωτεινών ωρών της ημέρας, η μέγιστη ισχύς καθώς και συνολική ημερήσια ενέργεια που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια, φτάνουν στις μέγιστες τιμές τους στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο) και πέφτουν στις αντίστοιχές ελάχιστες τιμές τους στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Στις επιφάνειες, όμως π.χ. που βρίσκονται σε κλίση ίση με

τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, η μέγιστη τιμή της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι στα ηλιακά μεσημέρια των ισημεριών (21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου), διότι τότε δέχονται κάθετα τις ακτίνες του ήλιου.

Μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας – Όργανα μέτρησης – Πυρανόμετρα



Σχήμα 9. Πυρανόμετρο

Τα σύγχρονα πυρανόμετρα αποτελούνται από δύο ομόκεντρους γυάλινους θόλους και στο εσωτερικό τους υπάρχει μία μαύρη επιφάνεια με κεραμικό υπόστρωμα κάτω από την οποία υπάρχουν εκατοντάδες θερμοστοιχεία . Το σήμα του πυρανομέτρου είναι της τάξης mV και οδηγείται σε κατάλληλη συσκευή μέτρησης η οποία ταυτόχρονα κάνει και ολοκλήρωση του σήματος . Τα όργανα αυτά λέγονται ηλιακοί ολοκληρωτές (Solar integrators).

Προκειμένου για μέτρηση της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας τα πυρανόμετρα εφοδιάζονται και με ένα δαχτυλίδι το οποίο τοποθετείται στην διεύθυνση του ήλιου για όλο το γεωγραφικό πλάτος των 0° - 90° Βορρά και Νότου έτσι ώστε να σκιάζεται ο γυάλινος θόλος συνεχώς κατά τη διάρκεια της ημέρας . Σκοπός του δαχτυλιδιού είναι να συλλάβει την απ' ευθείας ακτινοβολία του ήλιου κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας χωρίς επαναρίθμηση. Επίσης κάθε λίγες ημέρες η θέση του δαχτυλιδιού πρέπει να επαναπροσαρμόζεται στην κλίση του ήλιου.

Τα πυρανόμετρα υπάρχουν σε πολλούς τύπους, κυρίως για μετρήσεις στην περιοχή θερμοκρασιών από 700-3000 °C. Τα πυρανόμετρα τύπου αντίστασης είναι κατάλληλα μόνο για μετρήσεις θερμοκρασίας από 500-1500 °C.

IV. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η ενέργεια που παρέχει η ηλιακή ακτινοβολία δίδεται από το γινόμενο της μέσης ηλιακής πυκνότητας ισχύος πολλαπλασιασμένης με τον χρόνο (kWh/m²), ενώ εξαρτάται άμεσα από την θέση του ηλίου, την πιθανή συννεφιά αλλά και την εποχή του έτους.



Σχήμα 10. Προσεγγιστικές μέσες τιμές Ηλιακού Δυναμικού στην περιοχή της Ελλάδας.

Στο σχήμα 10 δίδονται προσεγγιστικές μέσες τιμές του ηλιακού δυναμικού για τον ελλαδικό χώρο, ενώ στο ακόλουθο πίνακα 2 παρατίθενται αναλυτικότερα τυπικές μέσες μηνιαίες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε τέσσερις (4) αντιπροσωπευτικές περιοχές (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Κρήτη και Ρόδο).

Μήνας	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Δεήνα [kwh/m ²]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Θεσσαλονίκη [kwh/m ²]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Κρήτη [kwh/m ²]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Ρόδος [kwh/m ²]
Ιανουάριος	91.99	85.160	92.59	91.53
Φεβρουάριος	103.74	94.492	107.72	105.99
Μάρτιος	138.94	128.34	146.85	144.58
Απρίλιος	156.97	144.38	171.17	168.03
Μάιος	179.01	166.69	197.67	194.27
Ιούνιος	176.60	166.03	195.51	192.45
Ιούλιος	184.75	176.44	200.81	198.52
Αύγουστος	184.19	176.86	195.57	193.84
Σεπτέμβριος	166.22	157.38	173.61	171.81
Οκτώβριος	139.06	131.02	141.68	140.32
Νοέμβριος	107.64	95.92	111.38	109.30
Δεκέμβριος	88.51	80.42	89.71	88.40
Μέση ετήσια	143.13	133.59	152.02	149.92

Πίνακας 2. Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ηλιακής Ακτινοβολίας

Ειδικότερα για την περίπτωση της **Κρήτης**, όταν επικρατεί υψηλή ηλιοφάνεια και ο ουρανός είναι καθαρός, η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει τα 1600 W/m². Αντίστοιχα, σε περιπτώσεις με αραιή ή πιο έντονη συννεφιά, η τιμή της ηλιακής έντασης κυμαίνεται από 800 έως 500 W/m², ενώ με απόλυτη συννεφιά η προσπίπτουσα ακτινοβολία δεν ξεπερνά τα 150 W/m². Συνεπώς, τους χειμερινούς μήνες με απόλυτη συννεφιά, η ηλιακή ακτινοβολία δίνει κατά μέσο όρο 1,2 kWh/m² ανά ημέρα, το φθινόπωρο και την άνοιξη περί των 3,5 kWh/m² ανά ημέρα, ενώ το καλοκαίρι στα επίπεδα των 5 kWh/ m² ανά ημέρα.

Εκμετάλλευση Ηλιακής Ενέργειας

Οι τρεις (3) βασικοί σύγχρονοι τρόποι αξιοποίησης της προσδιδόμενης ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία είναι:

- Με τη χρήση των θερμικών ηλιακών συστημάτων, τα οποία συλλέγουν την ακτινοβολία και τη μετατρέπουν μέσω εναλλακτών σε θερμότητα. Η θερμική

ενέργεια εν συνεχεία διαχέεται προς την κατανάλωση ή αποθηκεύεται σε θερμομονωμένες δεξαμενές. Η συγκεκριμένη τεχνολογία ορίζεται ως ενεργητικό ηλιακό σύστημα.

- Με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, όπου κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία οικοδομικών κατασκευών (κτηρίων), υποβοηθούν την καλύτερη άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, είτε για τη θέρμανση των χώρων το χειμώνα, είτε για το δροσισμό τους το καλοκαίρι.
- Με την απευθείας μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω φωτοβολταϊκών (Φ/Β). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία προκύπτουν από την σύνθεση πολλαπλών φωτοβολταϊκών στοιχείων (κυψελών) αποτελούν την πλέον σύγχρονη μέθοδο εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας με σημαντικά εξελισσόμενη τεχνολογία. Συνεπώς, κρίνεται σκόπιμη η αναλυτικότερη περιγραφή τους στην συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου.

Φωτοβολταϊκά

Η σύγχρονη τεχνολογία των ημιαγωγών δίνει μία επιπλέον δυνατότητα εκμετάλλευσης της ενέργειας που εμπεριέχεται στην ηλιακή ακτινοβολία, μέσω της χρήσης φωτοβολταϊκών ΦΒ στοιχείων ή κυψελών. Η λειτουργία τους στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, με το οποίο πραγματοποιείται άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση και κατά συνέπεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

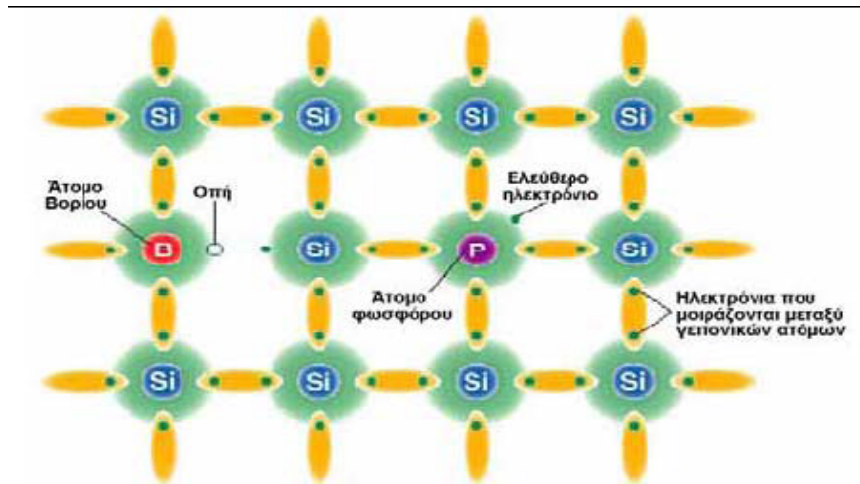
Ορισμένα υλικά, όπως το πυρίτιο με πρόσμιξη άλλων στοιχείων γίνονται ημιαγωγοί (άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα προς μια μόνο διεύθυνση), έχουν δηλαδή τη δυνατότητα να δημιουργούν διαφορά δυναμικού (ηλεκτρική τάση), όταν δέχονται φως. Συνδέοντας μεταξύ τους πολλά τέτοια στοιχεία (φωτοβολταϊκές κυψέλες ή στοιχεία), τοποθετώντας τα σε μία επίπεδη επιφάνεια (φωτοβολταϊκό πλαίσιο) και στρέφοντάς τα προς τον ήλιο είναι δυνατό να παραχθεί ικανοποιητική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μέγιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων ΦΒ, ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους κυμαίνεται από 5% (στοιχεία άμορφου πυριτίου) έως 12-16% (στοιχεία πολυκρυσταλλικού και μονοκρυσταλλικού πυριτίου). Ειδικότερη αναφορά τόσο στην συμπεριφορά όσο και στην εκμετάλλευση των φωτοβολταϊκών συστημάτων ακολουθεί στην συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου.

Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα αποτελούνται από ημιαγωγικά στοιχεία, εμπλουτισμένα με διάφορες προσμίξεις, τα οποία όταν δέχονται το φως απορροφούν μέρος της ενέργειας του. Η ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ελευθερώνει ηλεκτρόνια, τα οποία μπορούν να κινούνται ελεύθερα μέσα στον ημιαγωγό. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μέσω υφιστάμενων ηλεκτρικών πεδίων, υποχρεώνουν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να κινούνται προς μία κατεύθυνση. Με την τοποθέτηση μεταλλικών επαφών πάνω και κάτω από το κύτταρο, δημιουργείται η ζητούμενη πηγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η ένταση του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, σε συνδυασμό με την τάση του φωτοβολταϊκού κυττάρου καθορίζει την ισχύ του στοιχείου.

Τα κυριότερα ημιαγωγικά στοιχεία είναι το Γερμάνιο (Ge), το Πυρίτιο (Si) και το Σελήνιο (Se). Ειδικότερα, το πυρίτιο βρίσκεται σε μεγάλη αφθονία στη φύση της τάξης του 25% (μετά το οξυγόνο, 50%). Συνεπώς, το πλέον διαδεδομένο φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι το κύτταρο του κρυσταλλικού πυριτίου. Ένα άτομο πυριτίου έχει 14 ηλεκτρόνια κατανεμημένα σε τρεις διαφορετικές στοιβάδες. Οι πρώτες δύο, αυτές που είναι πιο κοντά στο κέντρο, είναι συμπληρωμένες (2 και 8). Η εξωτερική όμως έχει μόνο 4, ενώ θα έπρεπε να έχει 8. Συνεπώς, τα άτομα του πυριτίου συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς, σχηματίζοντας την κρυσταλλική δομή τους.



Σχήμα 11. Κρυσταλλικό Πλέγμα Πυριτίου με Προσμίξεις

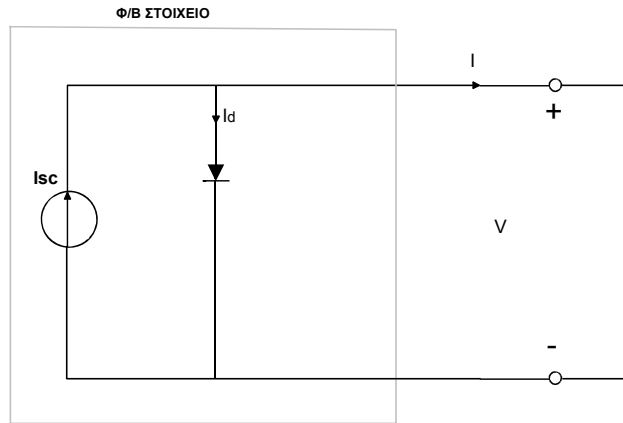
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από τους δύο προηγούμενους τύπους ημιαγωγικών υλικών (τύπου p και τύπου n). Σε συγκεκριμένα μήκη κύματος το φως είναι σε θέση να ιονίσει τα άτομα του πυριτίου, με αποτέλεσμα το προκαλούμενο πεδίο να διαχωρίσει τα θετικά (οπές) από τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) μέσα στο στοιχείο. Συνεπώς, με το κλείσιμο του κυκλώματος τα ελεύθερα ηλεκτρόνια θα διέλθουν από τον αγωγό και το αντίστοιχο φορτίο στην προσπάθεια επανασύνδεσης τους με τις θετικές οπές, δημιουργώντας ροή ηλεκτρικού ρεύματος.

V. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

1. Ισοδύναμα Κυκλώματα Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

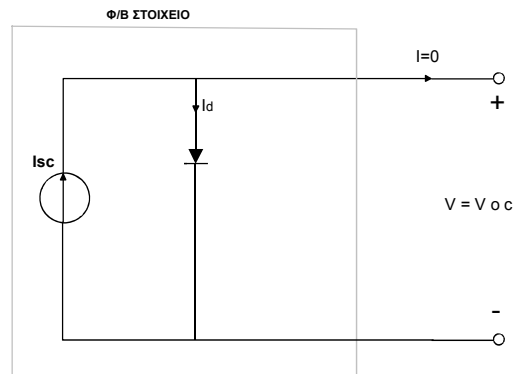
Το κυκλωματικό ισοδύναμο ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου αποτελείται από μία δίοδο συνδεδεμένη παράλληλα με μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, η ένταση της οποίας είναι ανάλογη της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Συνεπώς, στο επόμενο σχήμα 12 απεικονίζεται το απλό ισοδύναμο κύκλωμα που περιγράφει ένα ιδανικό Φ/Β στοιχείο.

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

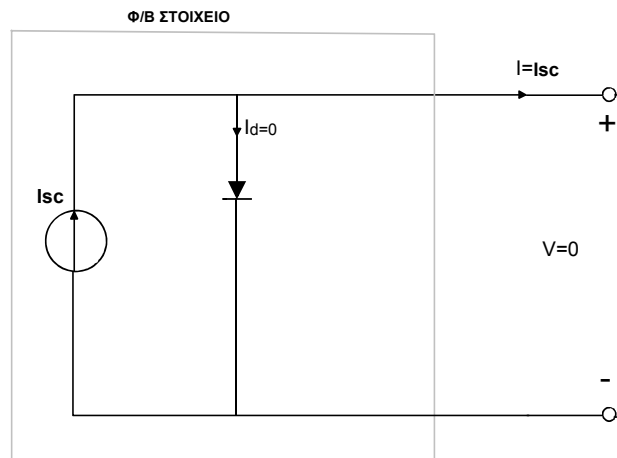


Σχήμα 12. Ισοδύναμο Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου

Γενικά, τα ΦΒ περιγράφονται από δύο χαρακτηριστικά ηλεκτρικά μεγέθη, τη τάση ανοικτοκύκλωσης V_{OC} και το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{SC} , όπως παρουσιάζονται στα επόμενα σχήματα 13-14. Η ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης μπορεί να θεωρηθεί ανάλογη της ηλιακής ακτινοβολίας.

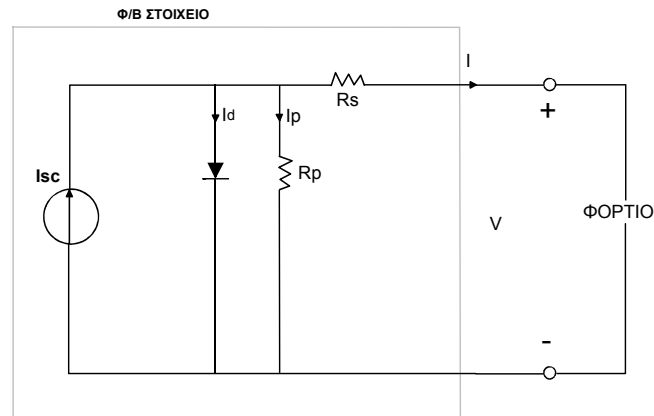


Σχήμα 13. Τάση Ανοικτοκύκλωσης και Φ/Β Στοιχείου



Σχήμα 14. Ρεύμα Βραχυκύκλωσης Φ/Β Στοιχείου

Όμως, σε πολλές περιπτώσεις αναλυτικών υπολογισμών και μελετών προκύπτει η ανάγκη ενός ακριβέστερου μοντέλου προσομοίωσης της συμπεριφοράς των Φ/Β στοιχείων, όπως αυτό απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα 15.



Σχήμα 15. Αναλυτικό Ισοδύναμο Κύκλωμα ΦΒ Στοιχείου

Στο αναλυτικό κυκλωματικό ισοδύναμο υπάρχει μία παράλληλη αντίσταση, η οποία ονομάζεται αντίσταση διαρροής R_p , και μία αντίσταση εν σειρά R_s . Το κύκλωμα, σε αυτή την περίπτωση, περιγράφεται από τις ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις:

$$I = I_{sc} - I_d - I_p \Rightarrow$$

$$I = I_{sc} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V_d}{k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V_d}{R_p} \Rightarrow$$

$$I = I_{sc} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V - I \cdot R_s}{R_p}$$

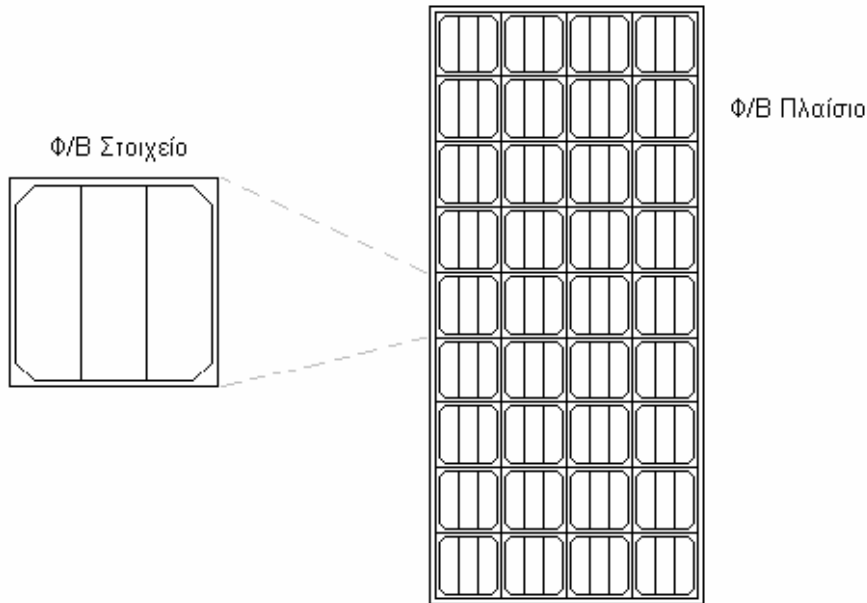
2. Φωτοβολταϊκά Πλαίσια και Συνδεσμολογίες

Οι μικρές τιμές τάσεων και ρευμάτων των ΦΒ δημιουργούν την ανάγκη σύνθεσης τους σε μεγαλύτερα συμπλέγματα, τα οποία ονομάζονται ΦΒ πλαίσια, προκειμένου να αποδίδουν εκμεταλλεύσιμα ηλεκτρικά μεγέθη. Συνεπώς, ένα τελικό ΦΒ πλαίσιο είναι δυνατό να έχει μεγαλύτερη τάση (μέσω σύνδεσης των ΦΒ στοιχείων εν σειρά), καθώς και υψηλότερο ρεύμα εξόδου (μέσω σύνδεσης των ΦΒ στοιχείων παράλληλα). Η τάση εξόδου ενός ΦΒ πλαισίου με εν σειρά διασυνδεδεμένα ΦΒ στοιχεία δίνεται

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

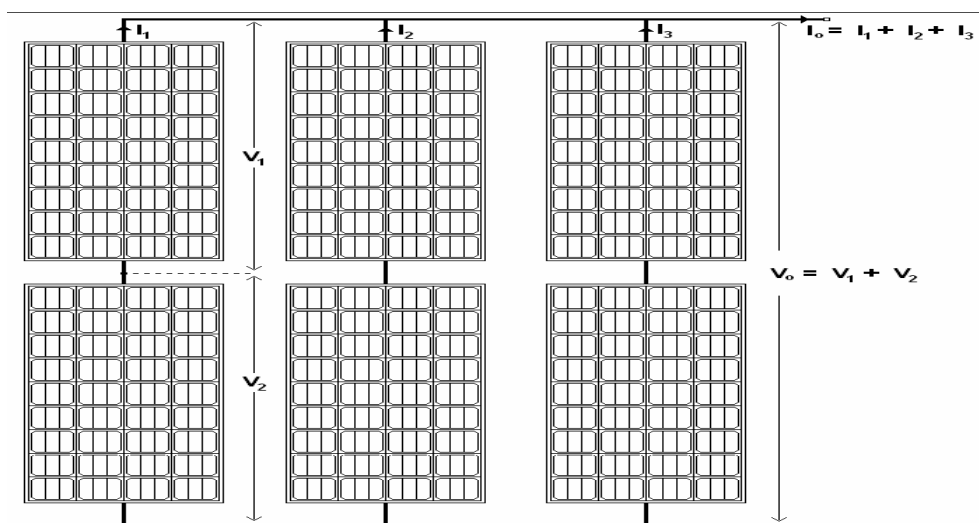
από την ακόλουθη σχέση (ένα τυπικό ΦΒ πλαίσιο διαθέτει 36, με συνολική τάση εξόδου της τάξης των 12V):

$$V_{\text{module}} = n \cdot (V_d - I \cdot R_s)$$



Σχήμα 16. ΦΒ Πλαίσιο

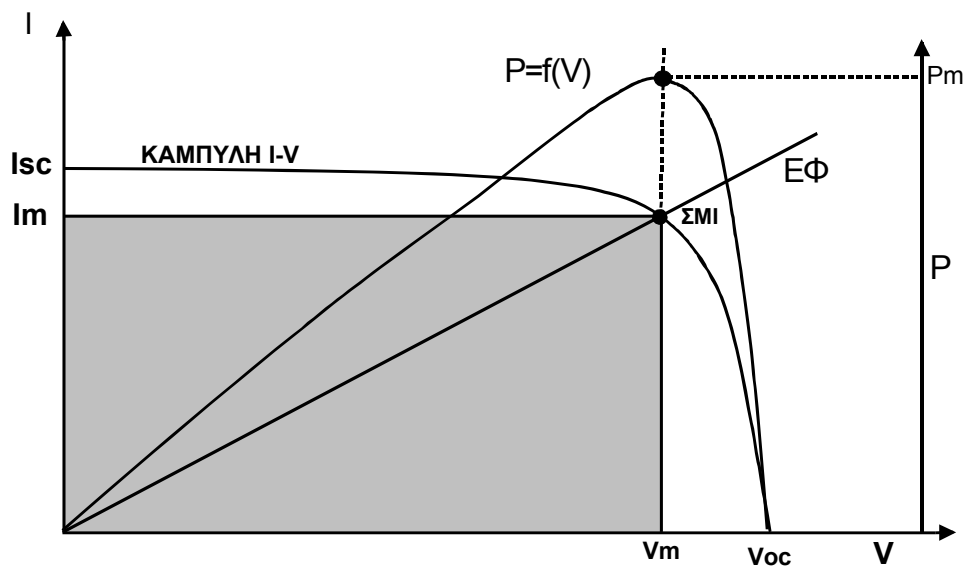
Προκειμένου να επιτευχθούν ακόμη υψηλότερες τιμές τάσης και ρεύματος, και προφανώς υψηλότερη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ, τα ΦΒ πλαίσια συνδέονται με την σειρά τους σε μεγαλύτερης μονάδες, η οποίες ονομάζονται ΦΒ συστοιχίες, όπως παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα 17.



Σχήμα 17. ΦΒ Συστοιχία

3. Χαρακτηριστική I-V Φωτοβολταϊκού Πλαισίου

Ανάμεσα στις δύο ακραίες καταστάσεις λειτουργίας, όπως η ανοικτοκύκλωση και η βραχυκύκλωση, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο παρέχει ηλεκτρική ισχύ P , η οποία δίνεται από το γινόμενο της αποδιδόμενης τάσης V και του διαρρέοντος ρεύματος I . Στο σχήμα 18 απεικονίζεται μία χαρακτηριστική καμπύλη τάσης – ρεύματος (I-V), όπου αποτυπώνονται τα τρία (3) κύρια σημεία της, καθώς και η τυπική μορφή της. Όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα, οι μέγιστες τιμές τάσης και ρεύματος αντίστοιχα είναι η τάση ανοικτοκύκλωσης V_{OC} και το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{SC} .



Σχήμα 18. Χαρακτηριστική I-V και Καμπύλη Ισχύος ΦΒ Πλαισίου

Η μορφή τη χαρακτηριστικής I-V είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Εκτός όμως από την τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας, σημαντική παράμετρος επιρροής της συμπεριφοράς ενός ΦΒ πλαισίου και κατά συνέπεια της χαρακτηριστικής του, είναι η θερμοκρασία. Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει το ΦΒ στοιχείο υπό δεδομένη προσπίπτουσα ακτινοβολία P_m ισούται με:

$$P_m = V_m \cdot I_m$$

Γενικότερα, τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ΦΒ πλαισίου είναι η ενεργειακή απόδοση, η , ο παράγων πλήρωσης, FF , το ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_{sc} , και η τάση

ανοικτού κυκλώματος, V_{oc} , σε συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας του στοιχείου. Προκειμένου να είναι δυνατή η σύγκριση της συμπεριφοράς διαφορετικών πλαισίων, καθορίστηκαν πρότυπες συνθήκες δοκιμών (Standard Conditions, STC).

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πυκνότητας ισχύος : 1kW/m^2

Θερμοκρασία Πλαισίου: $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$

Λόγος Μάζας Αέρα Περιβάλλοντος: 1.5 Α.Μ. (κάθετη πρόσπτωση)

Με βάση τις πρότυπες συνθήκες, εισάγεται η έννοια της ισχύος αιχμής, P_p (peak power), ως χαρακτηριστικό του ΦΒ στοιχείου, η δε μονάδα της στο S.I είναι W_p (Peak watt, watt αιχμής).

Ισχύς αιχμής P_p ενός ΦΒ στοιχείου είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, που μπορεί να αποδώσει, κάτω από πρότυπες συνθήκες ελέγχου (S.T.C.)

Σε συνέχεια των προηγούμενων μεγεθών, προκύπτει ένας συντελεστής εκτίμησης της συμπεριφοράς ενός ΦΒ πλαισίου, ο οποίος ονομάζεται **συντελεστής πλήρωσης (fill factor)** και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

Απόδοση του ΦΒ στοιχείου είναι το πηλίκο της ηλεκτρικής ισχύος P_m που αποδίδεται από το ΦΒ στοιχείο, στο αντίστοιχο σημείο μέγιστης ισχύος, προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία, P_{in} , καθορίζει την απόδοση ενεργειακής μετατροπής, n_c του ΦΒ στοιχείου:

$$n_c = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m \cdot V_m}{E \cdot S} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{in}}$$

όπου: $P_{in} = E \cdot S$

S: εμβαδόν της επιφάνειας που προσπίπτει ΗΜ ακτινοβολία

E: πυκνότητα ισχύος

4. Επίδραση της θερμοκρασίας στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φβ στοιχείου

Όταν σε ένα ΦΒ στοιχείο πέφτει ηλιακή ακτινοβολία ένα μέρος της ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια κ ένα μεγάλο μέρος σε θερμική ενέργεια λόγω της αύξησης της εσωτερικής ενέργειας του υλικού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα της αύξησης της θερμοκρασίας του ΦΒ στοιχείου και συγκεκριμένα η σχέση μεταξύ πυκνότητας ολικής ακτινοβολίας κ διαφορά θερμοκρασιών(θερμοκρασία περιβάλλοντα αέρα και θερμοκρασία ΦΒ στοιχείου) είναι σχεδόν γραμμική.

Μαζί με την θερμοκρασία μεταβάλλονται και το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} και η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} . Συγκεκριμένα αυξάνεται ελαφρά το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} και η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} μειώνεται κ μάλιστα η ποσοστιαία ελάττωση της ανά βαθμό θερμοκρασίας είναι σχεδόν μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη της αντίστοιχης αύξησης του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

Για το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισχύει:

$$I_{sc} = \frac{E}{E_{STC}} \cdot I_{sc,STC} \cdot (1 + a_{I_{sc}} \cdot (\theta_c - \theta_{STC}))$$

Όπου:

$$a_{I_{sc}} = \frac{dI_{sc}}{I_{sc} dT} \text{ ο θερμοκός συντελεστής του ρεύματος βραχυκύκλωσης του ΦΒ}$$

στοιχείου

$I_{sc,STC}$ η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε STC

E η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας

E_{STC} η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας σε STC

Για την τάση ανοικτού κυκλώματος ισχύει:

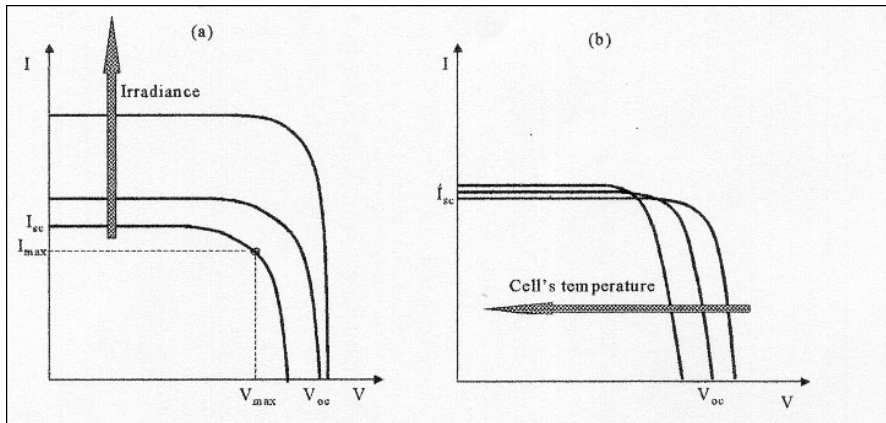
$$V_{oc} = V_{oc,STC} \cdot (1 + \beta_{V_{oc}} \cdot (\theta_c - \theta_{STC})) \cdot \left(1 + \delta(\theta_c) \cdot \ln \left(\frac{E}{E_{STC}} \right) \right)$$

Όπου:

$V_{oc,STC}$ τάση ανοικτού κυκλώματος σε S.T.C.

$\delta(\theta_c)$ Διορθωτικός παράγοντας της εξάρτησης της V_{oc} από την E

$\beta_{V_{oc}} = \frac{dV_{oc}}{V_{oc} dT}$ ο θερμικός συντελεστής τάσης ανοικτού κυκλώματος



Σχήμα 19.

Όταν ένα ΦΒ στοιχείο λειτουργεί στο σημείο μέγιστης λειτουργίας η ηλεκτρική ισχύς που αποδίδει είναι περίπου ίση με:

$$P_m = V_m \cdot I_m \approx \frac{E}{E_{STC}} \cdot P_P \cdot (1 + \gamma_{mP} \cdot (\theta_c - \theta_{STC}))$$

Όπου:

$\gamma_{mP} = \frac{dP}{P_m \cdot dT}$ ο θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος του φβ στοιχείου

$P_P = V_{m,STC} \cdot I_{m,STC}$ η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς σε S.T.C.

Μια τυπική τιμή του θερμικού συντελεστή ισχύος για συνήθεις συνθήκες είναι ίσος με $\gamma_{mP} = -0,0045 K^{-1}$

5. Συνθήκες κανονικής λειτουργίας

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά των πλαισίων. Γενικότερα, τα ΦΒ πλαίσια παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Πιο συγκεκριμένα, η τάση ανοικτοκύκλωσης V_{oc} μειώνεται κατά 0.37% για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας, ενώ αντίστοιχα η ένταση του ρεύματος αυξάνεται κατά 0.05%. Κατά συνέπεια, η τιμή της μέγιστης ισχύος μειώνεται κατά 0.05% ανά βαθμό °C (σχήμα 19).

Εκτός από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, η θερμοκρασία του ΦΒ πλαισίου επηρεάζεται και από την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Προκειμένου λοιπόν να εκτιμηθεί συνολικά η θερμοκρασία που αναπτύσσει ένα ΦΒ πλαίσιο, εισάγεται ένας δείκτης, ο οποίος ονομάζεται NOCT (**Nominal Operating Cell Temperature Conditions**) και παρέχεται ως τεχνικό χαρακτηριστικό του εκάστοτε πλαισίου.

Ειδικότερα, ο δείκτης NOCT περιγράφει την θερμοκρασία λειτουργίας ενός πλαισίου, όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 20°C, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας 0.8 kW/m² και η ταχύτητα του ανέμου 1m/s. Δεδομένου του προηγούμενου δείκτη, η θερμοκρασία λειτουργίας ενός πλαισίου υπό διάφορες συνθήκες δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$T_{cell} = T_E + \left(\frac{T_{NOCT} - 20^0}{0.8} \right) \cdot I_S$$

όπου

T_E , είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος

I_S , είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε kW/m²

6. Επίδρασης της απόδοσης ενός ΦΒ υπό συνθήκες σκίασης

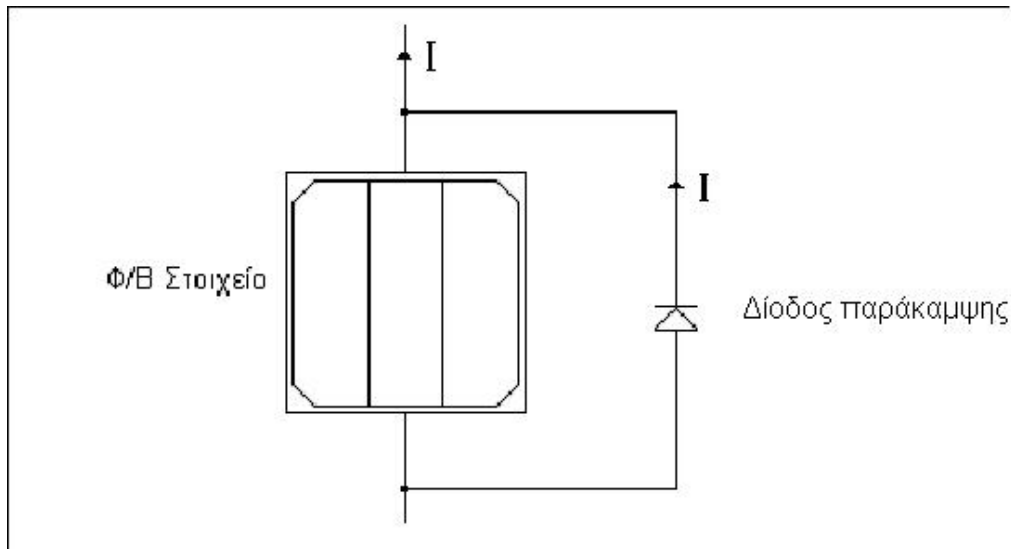
Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας επίδρασης της απόδοσης ενός ΦΒ πλαισίου είναι η συνθήκες σκίασης. Η έξοδος του πλαισίου μπορεί να μειωθεί δραματικά, ακόμα και όταν μόνο ένα από το σύνολο των στοιχείων είναι υπό σκιά. Ειδικότερα, σε ένα πλαίσιο με n στοιχεία, εκ των οποίων $n-1$ είναι υπό πλήρη ηλιοφάνεια και ένα (1) είναι υπό σκιά, η τάση εξόδου δίνεται από την επόμενη σχέση:

$$V_{sh} = V_{n-1} - I \cdot (R_p + R_s)$$

Από την προηγούμενη σχέση γίνεται φανερό ότι η αρχική τάση εξόδου του πλαισίου V , όχι μόνο μειώνεται στην τάση V_{n-1} που παράγουν τα υπόλοιπα $n-1$ ενεργά στοιχεία, αλλά επιπλέον επιβαρύνεται της πτώσης τάσης πάνω στις αντιστάσεις του υπό σκιά στοιχείου, το οποίο αντιλαμβάνεται πλέον ως φορτίο.

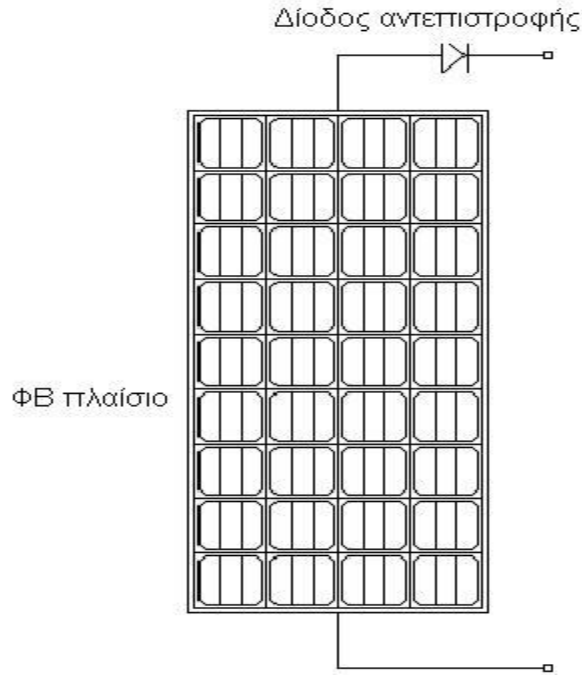
Από τα προηγούμενα, γίνεται φανερό ότι η σκίαση έχει εξαιρετικά αρνητική επίδραση στην απόδοση ενός ΦΒ πλαισίου. Το σκιασμένο στοιχείο παύει να συνεισφέρει στην συνολική παραγόμενη τάση, αλλά ακόμα χειρότερα, προκαλεί σημαντική πτώση τάσης στα άκρα του, πολύ μεγαλύτερη της αντίστοιχης συνεισφοράς του.

Το πρόβλημα της ανεπιθύμητης πτώσης τάσης στα εκάστοτε σκιασμένα στοιχεία ενός ΦΒ πλαισίου, αντιμετωπίζεται με την προσθήκη διόδων παράκαμψης, συνδεδεμένων παράλληλα με κάθε στοιχείο. Πιο συγκεκριμένα όταν το ΦΒ στοιχείο του πλαισίου είναι υπό πλήρη ηλιοφάνεια, η διόδος παράκαμψης πολώνεται αρνητικά, με αποτέλεσμα να βρίσκεται σε αποκοπή και να μην διαρρέεται από ρεύμα. Αντίθετα, όταν το στοιχείο είναι υπό σκιά, η προκαλούμενη πτώση τάσης πολώνει θετικά την διόδο παράκαμψης, με αποτέλεσμα να δέχεται το σύνολο της ροής του ρεύματος, όπως παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα 20. Συνεπώς, η διόδο παράκαμψης, συνδεδεμένη παράλληλα με το εκάστοτε σκιασμένο στοιχείο, ελέγχει την πτώση τάσης του, περιορίζοντας την στην σχετικά μικρή πτώση τάσης στα άκρα της διόδου της τάξης των 0.7V.



Σχήμα 20. Δίοδος Παράκαμψης

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, οι δίοδοι παράκαμψης εκτρέπουν τη δίοδο του ρεύματος του κλάδου των ΦΒ στοιχείων παράλληλα ενός σκιασμένου ή ακόμα και ελαττωματικού στοιχείου της σειράς, βελτιώνοντας την απόδοση του πλαισίου και εμποδίζοντας την δημιουργία θερμών σημείων. Αντίστοιχα, όταν συνδέονται παράλληλα πολλαπλά ΦΒ πλαίσια, προκύπτει ανάλογο πρόβλημα με την ελαττωματική ή μη λειτουργία ενός πλαισίου. Συνεπώς, στην περίπτωση μίας ΦΒ συστοιχίας, όπου ένα ή περισσότερα πλαίσια έχουν πρόβλημα, δημιουργείται ανάστροφο ρεύμα, το οποίο εισέρχεται πλέον στο κλάδο που έχει το ελαττωματικό πλαίσιο. Το πρόβλημα και σε αυτή την περίπτωση αντιμετωπίζεται με την σύνδεση μίας διόδου ανά κλάδο, η οποία ονομάζεται δίοδος φραγής ή απομόνωσης, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 21.



Σχήμα 21. Δίοδος αντεπιστροφής

VI. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΦΒ

Η ανάγκη για αποθήκευση

Ένα αξιόπιστο σύστημα πρέπει να παρέχει επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης και στα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία. Προφανώς, εννοούμε κυρίως τις νυχτερινές ώρες, τις συννεφιασμένες ημέρες και τις χρονικές αιχμές της κατανάλωσης.

Μια τέτοια λύση μπορούν να μας την δώσουν οι **συσσωρευτές(μπαταρίες)** οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν την περισσευούμενη ενέργεια και να μας την προσφέρουν οποία στιγμή την χρειαζόμαστε.



1. Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές (μπαταρίες)

Η στατιστική κατανομή της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας ενός τόπου και η δυνατότητα μετατροπής μέρους αυτής σε καθαρή για το περιβάλλον ηλεκτρική ενέργεια, δεδομένου του τρέχοντος επιπέδου της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, καθιστά όλο και πιο συχνά επιτακτική τη χρήση των ηλιακών κυττάρων ως γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος. Τα στατιστικά δεδομένα της ηλιοφάνειας ενός τόπου αντιπαρατιθέμενα στην ίδια τη φύση του φαινομένου, που χαρακτηρίζεται από τις έντονες και συχνά γρήγορες μεταβολές, τόσο κατά τη διάρκεια του έτους όσο και κατά τη διάρκεια της μέρας, θα περιόριζαν τρομερά το εύρος των δυνατών εφαρμογών χωρίς τη δυνατότητα της αποταμίευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τη λύση του προβλήματος της συχνής ασυμφωνίας ζήτησης και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της δυνατότητας της αποταμίευσης της, την παρέχουν οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες). Μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια, ο συσσωρευτής, την αποθηκεύει σε χημική μορφή, για να την αποδώσει στην αρχική της μορφή όταν υπάρξει ζήτηση. Εκτός από τα βασικά στοιχεία της τεχνολογίας των συσσωρευτών θα εξεταστούν και τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

2. Αρχή λειτουργίας και είδη συσσωρευτών

Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές είναι ουσιαστικά μετατροπείς χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική και, συνήθως, έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν αυτή τη μετατροπή και προς την αντίθετη κατεύθυνση παρέχοντας με άμεσο τρόπο τη δυνατότητα συσσώρευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η δυνατότητα να αποταμιεύουν ενέργεια ανά πάσα στιγμή ή όχι είναι αυτή που χωρίζει τους συσσωρευτές στις δύο κυριότερες κατηγορίες. Στην κατηγορία των πρωτευόντων (primary) συσσωρευτών ανήκουν αυτοί που έχουν αποθηκευμένη χημική ενέργεια την οποία και μπορούν να την αποδώσουν ως ηλεκτρική, δεν μπορούν όμως να επαναφορτιστούν. Οι τυπικές μπαταρίες λιθίου που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας

κατανάλωσης ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία και επειδή δεν μπορούν να επαναφορτιστούν δεν είναι λειτουργικές στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τέτοια συστήματα ανήκουν στην κατηγορία των δευτερευόντων (secondary) συσσωρευτών. Η δυνατότητα τους να επαναφορτίζονται είναι αυτή που τους κάνει κατάλληλους για φωτοβολταϊκά συστήματα και ο πιο συνηθισμένος τύπος τους είναι οι μπαταρίες μολύβδου-οξειδίου.

Ο τύπος των δευτερευόντων συσσωρευτών μπορεί να αναφέρεται ως Μολύβδου-Οξειδίου (lead-acid ή απλά Pb), Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd), Αργύρου-Ψευδαργύρου κτλ, ανάλογα με το υλικό κατασκευής των ηλεκτροδίων τους. Ειδικότερα, όσο αφορά τους συσσωρευτές μολύβδου, το κράμα του πλέγματος των ηλεκτροδίων τους, τους κατατάσσει σε υποκατηγορίες (Μολύβδου-Ασβεστίου Pb-Ca, Μολύβδου-Αντιμονίου Pb-Sb) και το κράμα αυτό μαζί με τον τρόπο κατασκευής του συσσωρευτή, καθορίζει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του και τις χρήσεις για τις οποίες αυτός προορίζεται.

Τύποι συσσωρευτών

Έχει ήδη αναφερθεί ότι τα υλικά του κράματος στο πλέγμα των πλακών κατηγοριοποιούν τους συσσωρευτές μολύβδου και νικελίου σε υποκατηγορίες. Αυτοί οι συνδυασμοί, μαζί με άλλα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών, καθορίζουν τις ιδιαιτερότητες των επιδόσεων τους και τις εφαρμογές για τις οποίες είναι περισσότερο κατάλληλοι. Γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών μολύβδου είναι:

- Οι συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb).
- οι συσσωρευτές μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca) οι οποίοι χωρίζονται σε υγρού καταλύτη με ανοικτή ή με σφραγισμένη βαλβίδα εξαέρωσης.
- οι υβριδικοί συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου / μολύβδου-ασβεστίου.
- οι μολύβδου με δεσμευμένο καταλύτη που μπορεί να είναι gelled ή absorbed glass material (AGM).

Για εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπου οι ανάγκες κατανάλωσης πολύ σπάνια συμβαδίζουν με τις ώρες παραγωγής και την παραγόμενη ποσότητα

ηλεκτρικής ενέργειας, περισσότερο κατάλληλοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν τη δυνατότητα να υποστούν βαθιά εκφόρτιση χωρίς να αλλοιώνεται η χωρητικότητα τους και να μειώνεται η διάρκεια ζωής. Αναλόγως του φορτίου, άλλοτε είναι απαραίτητη η δυνατότητα παροχής εντόνου ρεύματος για μικρά χρονικά διαστήματα και άλλοτε η παροχή μίας κανονικής τιμής ρεύματος για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Συχνά οι απαιτήσεις του φορτίου σε κατανάλωση δεν είναι τόσο μεγάλες όσο η ανάγκη η κατανάλωση να παρέχεται με αξιοπιστία και για μεγάλες χρονικές περιόδους και άλλες φορές ο τύπος της εγκατάστασης είναι τόσο δυσπρόσιτος που προτιμώνται συσσωρευτές με μικρές ανάγκες συντήρησης και επίβλεψης.

Ιδιαίτερα για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου δεν υπάρχει εναλλακτική λύση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και όπου οι μεταβολές της ηλιοφάνειας μπορούν να είναι έντονες και μακρόχρονες, απαραίτητοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν μεγάλη χωρητικότητα, μπορούν να υποστούν βαθιά εκφόρτιση και συχνά απαιτείται μία καλή σχέση κόστους και διάρκειας ζωής. Για ένα τέτοιο σύστημα, καλή επιλογή θα αποτελούσε ένας συσσωρευτής μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sd). Αυτοί είναι συσσωρευτές με εξαιρετικά χαρακτηριστικά, όσο αφορά τις δυνατότητες βαθιάς εκφόρτισης και υψηλού ρυθμού εκφόρτισης. Έχουν, επίσης, μεγάλη διάρκεια ζωής και υφίστανται μικρή διάχυση των ενεργών υλικών τους. Μειονέκτημα τους είναι ο μεγάλος βαθμός αυτοεκφόρτισης που υφίστανται και που οδηγεί στην ανάγκη να υπερφορτίζονται με αποτέλεσμα τη μεγάλη απώλεια υγρών που εξαρτάται και από τις θερμοκρασίες λειτουργίας. Είναι συνήθως συσσωρευτές υγρού ηλεκτρολύτη, με ανοικτή βαλβίδα εξαερισμού και για τον λόγο αυτό απαιτείται συχνή αναπλήρωση των υγρών. Η κατάσταση τους μπορεί εύκολα να ελεγχθεί μετρώντας την ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη.

Πολύ δημοφιλής επιλογή για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη (Captive Electrolyte Lead-Acid Batteries), λόγω της στεγανότητας τους και της ευκολίας μετακίνησης που παρουσιάζουν. Έχουν βαλβίδα εξαέρωσης, που ανοίγει σε ορισμένη πίεση όταν υπερφορτιστούν, για να απελευθερωθούν τα αέρια που δημιουργήθηκαν όμως, δεν υπάρχει δυνατότητα αναπλήρωσης του ηλεκτρολύτη. Το γεγονός ότι δεν έχουν απαιτήσεις συντήρησης (ούτε και δυνατότητα), σε συνδυασμό με την ευκολία στη μετακίνηση, τις καθιστά ιδανικές για συστήματα σε απομακρυσμένα ή δυσπρόσιτα

μέρη. Εκτός από το πρόβλημα της υπερφόρτισης, η απώλεια ηλεκτρολύτη μπορεί να επιταχυνθεί λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα της αναπλήρωσης του, ειδικά μέτρα πρέπει να ληφθούν. Είναι δυνατόν να γίνει θερμοκρασιακή αντιστάθμιση και ρύθμιση ακριβείας ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτιση και η υπερβολική εκφόρτιση και μέσω του περιορισμού του φορτίου να αποφευχθεί ο μεγάλος ρυθμός εκφόρτισης. Έτσι μειώνεται σημαντικά η απώλεια ηλεκτρολύτη και αυξάνεται αντιστοίχως η διάρκεια ζωής. Μέσω του αλγορίθμου φόρτισης αντιμετωπίζεται η ευαισθησία που παρουσιάζουν οι συσσωρευτές αυτοί στη διαδικασία φόρτισης. Οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη δεν αντιμετωπίζουν τόσο μεγάλο πρόβλημα μείωσης χωρητικότητας σε ψυχρότερο περιβάλλον όσο αυτοί του υγρού ηλεκτρολύτη, παρέχονται σε δύο τύπους (gelled electrolyte, AGM) και πάνω από τα μισά απομακρυσμένα μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα τους χρησιμοποιούν.

3. Εκφόρτιση και επιτρεπόμενος βάθος εκφόρτισης.

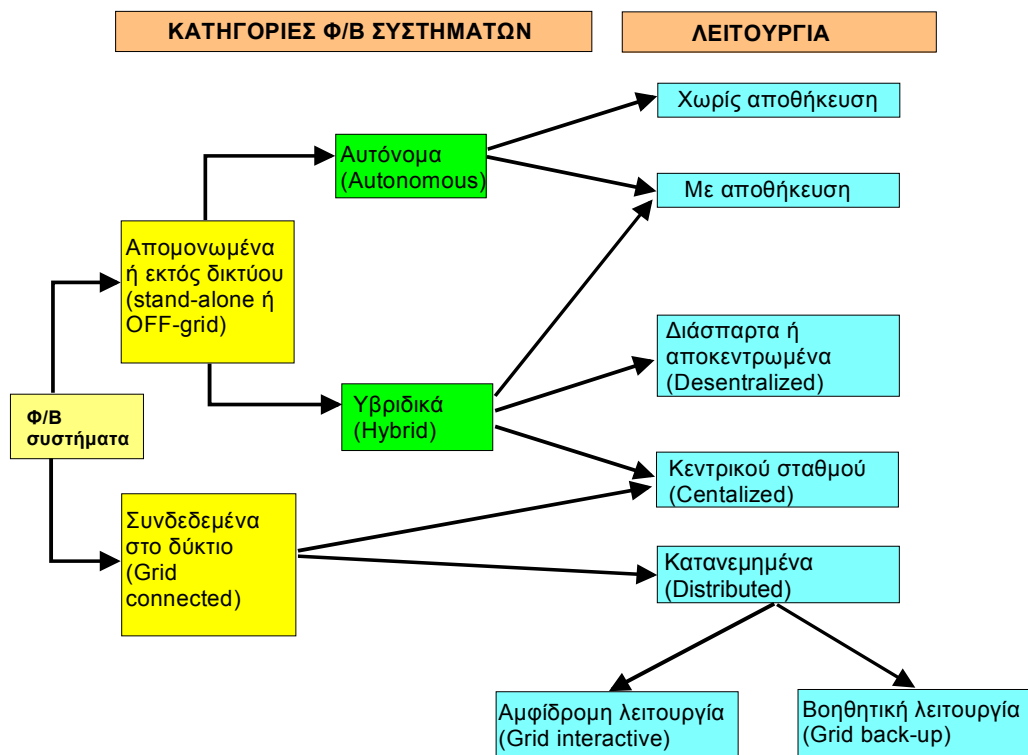
Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης (depth of discharge ή DOD) είναι το μέγιστο ποσοστό της χωρητικότητας το οποίο μπορεί να αποδοθεί από τη μπαταρία. Συνήθως καταδεικνύεται από την τάση αποκοπής ή τάση βάθους εκφόρτισης και από τον ρυθμό εκφόρτισης. Στα τυπικά φωτοβολταϊκά συστήματα, προβλέπεται μία τάση αποκοπής του φορτίου από τη συσκευή του ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών και έτσι καθορίζεται το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης για δεδομένο ρυθμό εκφόρτισης. Οι τιμές του επιτρεπόμενου DOD μπορούν να είναι από 80% έως και 15% της χωρητικότητας ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας.

4. Φόρτιση

Η φόρτιση του συσσωρευτή είναι η διαδικασία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος προς τον συσσωρευτή. Για σωστή φόρτιση του συσσωρευτή ένα σωστό σημείο ισορροπίας πρέπει να αναζητείται μεταξύ της μέγιστης δυνατής φόρτισης και της τάσης εκλύσεως αερίων, αφού και οι δύο είναι παράγοντες που σχετίζονται με τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή. Άλλος

παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για το επιδιωκόμενο **S.O.C.(state of charge)** είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται η χωρητικότητα του συσσωρευτή, μειώνεται όμως η τάση εκλύσεως αερίων. Έτσι, το μέγιστο SOC που μπορεί να επιτευχθεί σε δεδομένη θερμοκρασία, κατά κάποιο τρόπο φράσσεται από την τάση εκλύσεως αερίων.

VII. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



Σχήμα 22. Κατηγορίες και λειτουργία ΦΒ συστημάτων

- **Εκτός δικτύου ή Απομονωμένα ΦΒ συστήματα (off-grid ή stand alone systems)** χαρακτηρίζονται έτσι τα ΦΒ συστήματα τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Διακρίνονται σε αυτόνομα, στα οποία η ΦΒ συστοιχία αποτελεί την αποκλειστική πηγή ενέργειας και σε υβριδικά, στα οποία περιλαμβάνεται και άλλη πηγή Α.Π.Ε. ή συμβατική ηλεκτρική πηγή (π.χ Η/Ζ).

ο **Αυτόνομα ΦΒ συστήματα**

Η απαιτούμενη, από την εφαρμογή, ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται εξ ολοκλήρου από τη ΦΒ συστοιχία, χωρίς τη συμμετοχή άλλων Α.Π.Ε. ή Η/Ζ και μπορεί να περιλαμβάνονται ή όχι ηλεκτρικοί συσσωρευτές. Αφορούν εφαρμογές μη συνδεδεμένες στο εθνικό δίκτυο. Η παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι είτε συνεχούς (DC) είτε εναλλασσόμενης (AC) τάσεως. Τα αυτόνομα ΦΒ συστήματα διακρίνονται σε:

- **Αυτόνομα ΦΒ συστήματα άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου της εφαρμογής (Direct-Coupled PV systems)**, στα οποία η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στην κατανάλωση, όσο φωτίζεται η ΦΒ συστοιχία, χωρίς αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές. Τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άντληση καλλιεργειών που δεν απαιτούν αυστηρά τακτική λειτουργία του συστήματος, όπως π.χ κατά την άρδευση ορισμένων καλλιεργειών, που δεν απαιτούν πότισμα ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
- **Αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας**, π.χ αυτόνομα ΦΒ συστήματα φωτισμού οδών, αρχαιολογικών χώρων, αλσουλίων, υποστήριξη συστημάτων πυρανίχνευσης δασικών εκτάσεων, τηλεπικοινωνιακών αναμεταδοτών, διατάξεων καταγραφής δεδομένων (Loggers) κ.α. Σχεδιάζονται με πρόβλεψη ορισμένων ημερών αυτονομίας του συστήματος, με βάση το κατάλληλο μέγεθος των συσσωρευτών.

ο **Υβριδικά ΦΒ συστήματα (Hybrid pv systems)**

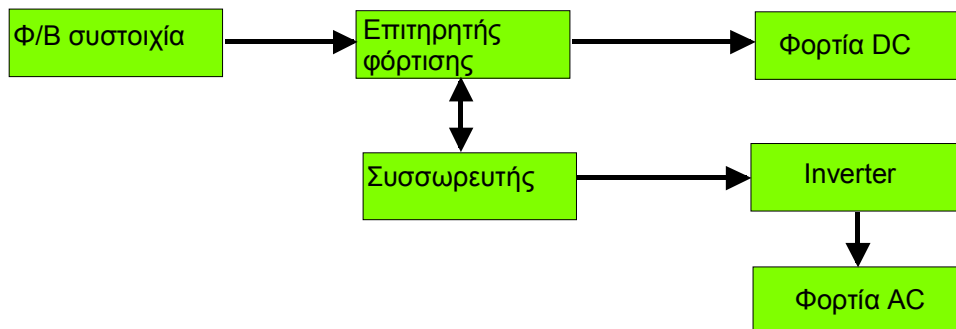
Στα υβριδικά ΦΒ συστήματα, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται από τον συνδυασμό ΦΒ συστοιχίας με άλλες πηγές ενέργειας, δηλαδή Α.Π.Ε ή πηγές συμβατικών καυσίμων.

- ΦΒ συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο(grid-connected systems)** τα συστήματα αυτά συνδέονται απ' ευθείας στο εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής παροχής (AC). Το δίκτυο αποτελεί για το ΦΒ σύστημα, μια τεράστια “ δεξαμενή ” ηλεκτρικής ενέργειας, σταθερής ηλεκτρικής τάσης. Συνεπώς στα συστήματα αυτά δεν απαιτείται αποθήκευση της παραγόμενης ΦΒ ηλεκτρικής. Διακρίνονται σε αυτά που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, ως καταναμημένα (Distributed) συστήματα και σε εκείνα που συνιστούν κεντρικούς ΦΒ σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο (Centralized Systems).

Βασικά είδη φβ συστημάτων

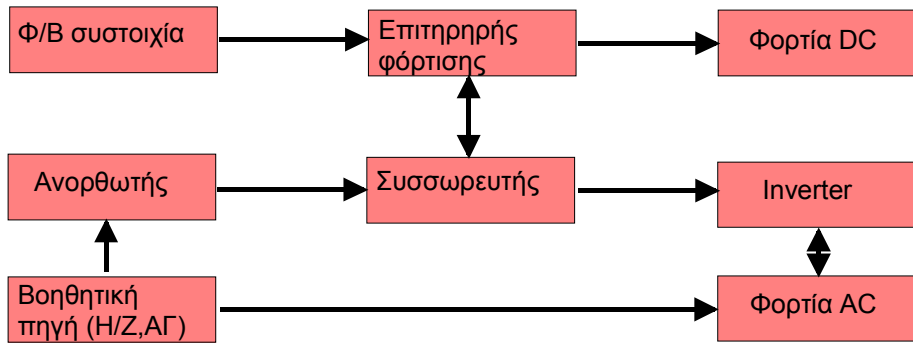


Σχήμα 23. Αυτόνομο ΦΒ σύστημα με συστοιχία συνδεδεμένη απευθείας στο φορτίο DC

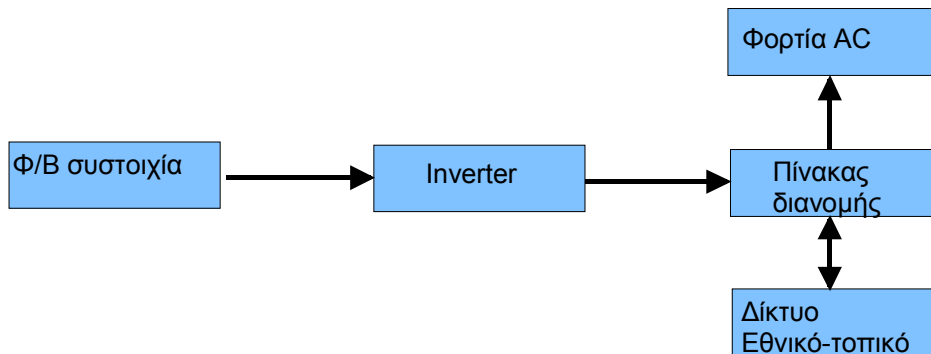


Σχήμα 24. Αυτόνομο ΦΒ σύστημα με αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και τροφοδοσία φορτίων συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσεως

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



Σχήμα 25. Αυτόνομο ΦΒυβριδικό σύστημα



Σχήμα 26. ΦΒ σύστημα συνδεδεμένο στο εθνικό ή τοπικό δίκτυο

VIII. ΗΛΕΚΤΡΟΦΩΤΙΣΜΟΣ

1. Ορολογία φωτομετρικών στοιχείων

Αν και σκοπός του παρόντος Κεφαλαίου δεν είναι η εκτεταμένη ανάλυση των φωτομετρικών χαρακτηριστικών του οδικού φωτισμού, ούτε η εμπάθυνση στις μεθόδους υπολογισμού του, στις επόμενες Παραγράφους θα παρουσιαστούν κάποια σχετικά στοιχεία, οπότε κρίνεται σκόπιμο να δοθούν μερικοί βασικοί ορισμοί χαρακτηριστικών φωτομετρικών στοιχείων. Έτσι, μερικά μεγέθη έχουν ως ακολούθως:

- **Φωτεινή Ένταση (Luminous Intensity, I):** Είναι η φωτεινή ροή ανά μονάδα στερεάς γωνίας, από μία δεδομένη πηγή σε μία δεδομένη κατεύθυνση. Περιγράφει τη δύναμη μίας πηγής να παρέχει φως (δύναμη κεριού) προς κάθεκατεύθυνση, ενώ υπάρχει και η μέση ένταση προς ένα σύνολο

κατευθύνσεων. Η μονάδα μέτρησης είναι το **candela (cd)**, όπου $1 \text{ cd} = 1 \text{ lumen/steradian}$.

- **Φωτεινή Ροή (Luminous Flux):** Είναι η ακτινοβολούμενη ενέργεια (φως) που εκπέμπεται από μία φωτεινή πηγή ή λαμβάνεται από μία επιφάνεια, ασχέτως των διευθύνσεων κατά τις οποίες αυτό κατανέμεται. Η μονάδα μέτρησης είναι το **lumen (lm)**, το οποίο ορίζεται ως η ροή που εκπέμπεται μέσω στερεάς γωνίας 1 steradian από μία σημειακή πηγή ομοιόμορφης φωτεινής έντασης 1 cd.
- **Φωτισμός ή Ισχύς Φωτισμού (Illuminance, E):** Ορίζεται ως η πυκνότητα της φωτεινής ροής, δηλαδή η φωτεινή ροή ανά μονάδα επιφάνειας. Η μονάδα μέτρησης είναι το **lux (lx)**, όπου $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$. Είναι το μέτρο της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο οδόστρωμα.
- **Λαμπρότητα (Luminance, L):** Ορίζεται ως το πηλίκο $L=I/S$, όπου I η ένταση της φωτεινής πηγής και S η επιφάνειά της. Είναι η φωτεινή ένταση που ανακλάται από μία μοναδιαία επιφάνεια σε μία καθορισμένη διεύθυνση. Η μονάδα μέτρησης είναι το **cd/m²**. Ουσιαστικά η λαμπρότητα θεωρείται το αντικειμενικό μέτρο και το πιο σημαντικό κριτήριο για τον οδικό φωτισμό, καθώς περιγράφει την κατάσταση ενός φωτιζόμενου οδοστρώματος εξετάζοντας την ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση στο οδόστρωμα και κατευθύνεται προς το μάτι του οδηγού, καθιστώντας το οδόστρωμα ορατό.
- **Ομοιομορφία Λαμπρότητας (Uniformity, U):** Για να είναι ένα αντικείμενο ορατό επάνω στο οδόστρωμα, πρέπει η κατανομή της λαμπρότητας στο οδόστρωμα να είναι ομοιόμορφη. Η ομοιομορφία εκφράζεται είτε για διεύθυνση κάθετη στη διεύθυνση του παρατηρητή (εγκάρσια ομοιομορφία), είτε για την ίδια τη διεύθυνση του παρατηρητή (διαμήκης ομοιομορφία) και εκφράζεται ως λόγος μεταξύ των L_{\min} , L_{\max} , L_{av} , ελάχιστης, μέγιστης και μέσης, αντίστοιχα, λαμπρότητας στο σύνολο του οδοστρώματος.
- **Αντίθεση Λαμπρότητας (Contrast, C):** Η αναγνώριση των αντικειμένων βασίζεται στη διαφορά λαμπρότητας μεταξύ αυτών και του περιβάλλοντός τους. Αυτή η διαφορά λαμπρότητας αποτελεί την Αντίθεση Λαμπρότητας και δίδεται από την εξίσωση $C=(L_o-L_b)/L_b$, όπου L_o η λαμπρότητα του αντικειμένου και L_b η λαμπρότητα του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο γίνεται

αυτό ορατό. Η τιμή της αντίθεσης κυμαίνεται από -1 έως $+\infty$. Στις θετικές τιμές το αντικείμενο εμφανίζεται σαν φωτεινή εικόνα μέσα σε σκοτεινό περιβάλλον, ενώ συνήθως ο οδηγός αναγνωρίζει ένα αντικείμενο σαν σκοτεινή φιγούρα μέσα στο φωτεινό περιβάλλον της επιφάνειας του οδοστρώματος, δηλαδή η αντίθεση λαμβάνει αρνητικές τιμές.

- **Φωτεινότητα (Luminosity):** Είναι η οπτική αίσθηση που υποδεικνύει ότι μία περιοχή φαίνεται ότι εκπέμπει περισσότερο ή λιγότερο φως.
- **Ακτινοβολία (Beam):** Είναι το τμήμα της φωτεινής ροής που εκπέμπεται από μία πηγή φωτός, όταν αυτή περιέχεται σε μία στερεά γωνία. Η στερεά γωνία εκτείνεται ως το λειτουργικό κέντρο του φωτός της πηγής, συμπεριλαμβανομένης της μέγιστης έντασης.
- **Φωτεινή Απόδοση:** Ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής φωτεινής ροής που εκπέμπεται από ένα ηλεκτρικό φωτιστικό σώμα, προς τη συνολική ηλεκτρική ισχύ της πηγής. Μονάδα μέτρησης είναι το **lumen/Watt**.
- **Συντελεστής Χρησιμοποίησης:** Είναι το ποσοστό της φωτεινής ροής ενός φωτιστικού σώματος που χρησιμοποιείται για το φωτισμό του οδοστρώματος.
- **Συντελεστής Συντήρησης:** Είναι ο λόγος της τρέχουσας φωτεινής απόδοσης σε lumens του συστήματος φωτισμού προς την αντίστοιχη αρχική, μετά από απώλεια φωτός από διάφορους παράγοντες, όπως η συσσώρευση σκόνης, η βλάβη κάποιων λαμπτήρων, η ρύπανση των τοιχωμάτων της σήραγγας κλπ.
- **Στάθμη Φωτισμού:** Είναι η φωτεινή ροή που δέχεται το οδόστρωμα ανά μονάδα επιφάνειάς του.
- **Θάμβωση:** Θάμβωση δημιουργείται όταν οι συνθήκες ορατότητας είναι τέτοιες ώστε να προκαλείται ενόχληση και μείωση της ικανότητας του παρατηρητή να διακρίνει αντικείμενα, εξαιτίας ακατάλληλης κατανομής της λαμπρότητας ή εξαιτίας υπερβολικών αντιθέσεων. Ένα από τα είδη θάμβωσης είναι η «φυσιολογική» θάμβωση, που προκαλείται από τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου πέπλου φωτός στο οπτικό πεδίο, μειώνοντας την αντίθεση μεταξύ αντικειμένου και περιβάλλοντος. Δείκτης της εν λόγω μορφής θάμβωσης είναι το ποσοστό κατά το οποίο πρέπει να αυξηθεί η λαμπρότητα του περιβάλλοντος για να αποκατασταθεί η ορατότητα του αντικειμένου (Threshold Increment, TI).

2. Ηλεκτροφωτισμός οδών

Ο φωτισμός δρόμων πρέπει να επιτρέπει στους οδηγούς και πεζούς να κυκλοφορούν με ασφάλεια και άνεση τη νύχτα. Οι οδηγοί πρέπει να εντοπίζουν έγκαιρα και με ακρίβεια τα όρια του δρόμου και τα εμπόδια ή τα ιδιάζοντα σημεία του δρόμου (όπως είναι η ενδεχόμενη ύπαρξη πεζών ή άλλων αυτοκινήτων) χωρίς τη χρήση φανών πορείας ή διασταυρώσεως. Για τον πεζό προέχουν η ορατότητα των εμποδίων, των αυτοκινήτων, των άκρων των πεζοδρομίων καθώς και η απουσία μεγάλων σκοτεινών κηλίδων. Είναι απαραίτητη επίσης η καλή ορατότητα και το ευανάγνωστο των πινακίδων σηματοδότησης (αυτό επιτυγχάνεται με τοπικό φωτισμό). Οι σκοποί αυτοί μπορούν να επιτευχθούν στο μέτρο των οικονομικών δυνατοτήτων.

Είναι αυτονόητο ότι διαφορετικά θα φωτιστούν μία διασταύρωση εθνικών δρόμων και μία διασταύρωση δύο αστικών δρόμων. Πρέπει λοιπόν να διαιρέσουμε το φωτισμό των δρόμων σε κατηγορίες:

Κατηγορία Δρόμου	Είδος και Πυκνότητα Κυκλοφορίας	Είδος Δρόμου	Παράδειγμα
A	Οποιαδήποτε πυκνότητα και μεγάλη ταχύτητα κυκλοφορίας	Δρόμος με διαχωριστική νησίδα χωρίς επίπεδο μόνο ανισόπεδες διασταυρώσεις, τελείως κλειστός εκατέρωθεν και χωρίς πεζούς	Αυτοκινητόδρομος Κορίνθου-Πατρών
B	Οποιαδήποτε πυκνότητα και μεγάλη ταχύτητα κυκλοφορίας	Κύριοι Δρόμοι αποκλειστικά για οχήματα με πιθανή ύπαρξη λωρίδων για βαρέα οχήματα μικρή πιθανότητα ύπαρξης πεζών	Αυτοκινητόδρομος Αθηνών-Λαμίας
C	Μεγάλη Πυκνότητα κυκλοφορίας ταχύτητες μέχρι 70 Km/h	Δρόμοι εντός και εκτός πόλεων πολλαπλής χρήσης	Περιφερειακοί Δακτύλιοι των πόλεων. Είσοδοι πόλεων
D	Μεσαία ως μεγάλη πυκνότητα Κυκλοφορίας διαφόρων τύπων οχημάτων.	Δρόμοι σε κατοικημένες περιοχές	Κύριοι δρόμοι πόλεων
E	Χαμηλή Πυκνότητα κυκλοφορίας κάθε είδους οχημάτων και πεζών	Προαστιακοί δρόμοι και δρόμοι μεταξύ συγκροτημάτων κατοικιών	

Τα θεμελιώδη κριτήρια για καλή εφαρμογή οδικού φωτισμού είναι:

- Η Μέση Λαμπρότητα L_{av} (cd/m^2).
- Η Ομοιομορφία Λαμπρότητας U_o .
- Ο Περιορισμός της Θάμβωσης G .

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

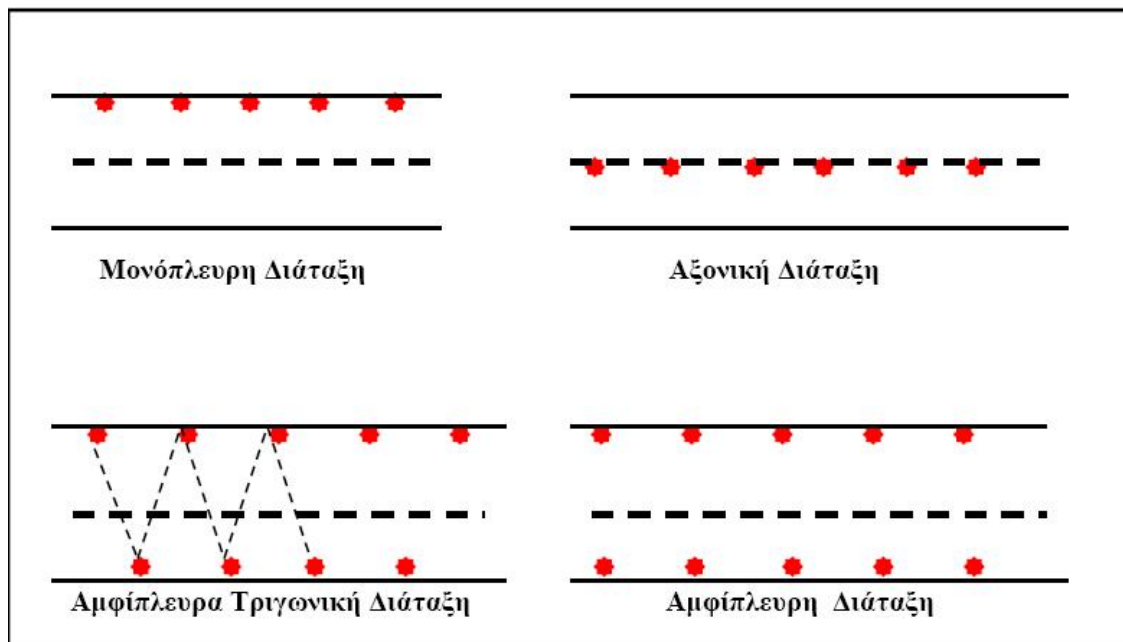
- Ο Φωτισμός του περιβάλλοντα χώρου.
- Η Οπτική καθοδήγηση.

Παρακάτω δίνονται οι τιμές που πρέπει να πληρούν οι παράμετροι αυτοί για κάθε κατηγορία δρόμου.

Κατηγορία	Μέση λαμπρότητα L_{av} (cd/m ²)	Γενικός Συντελεστής Ομοιομορφίας $U_{0\geq}$	Συντελεστής Διαμήκους Ομοιομορφίας $U_{l\geq}$	Θάμβωση G_{\geq}	Συντελεστής Προσαύξεσης του Κατωφλίου Λαμπρότητας $T1<$
A	2	0.4	0.7	6	10
B	2	0.4	0.7	6	10
C	2	0.4	0.5	6	20
D	2	0.4	0.5	5	20
E	1	0.4	0.5	4	20

Διατάξεις Φωτιστικών Σωμάτων

Διακρίνουμε τέσσερα είδη διατάξεως και στηρίξεως των φωτιστικών σωμάτων όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Η **μονόπλευρη διάταξη** επιτρέπει να φωτιστεί περισσότερο η μία πλευρά του δρόμου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δρόμο που έχει μικρό πλάτος ή που παρουσιάζει μία ασυμμετρία όπως:

- Κυκλοφορία μόνιμα μεγαλύτερη από τη μία πλευρά
- Κυκλοφορία προς τη μία μόνο κατεύθυνση (μονόδρομος).
- Καμπυλότητα του φωτισμένου τμήματος (στην περίπτωση αυτή συνίσταται η τοποθέτηση φωτιστικών σωμάτων στην πλευρά με τη μεγαλύτερη ακτίνα).
- Παρουσία δέντρων από τη μία πλευρά του δρόμου.

Άλλοι επίσης παράγοντες όπως η αισθητική ή η ευκολία τοποθέτησης μπορούν να οδηγήσουν στην εκλογή της διάταξης αυτής.

Η **αξονική διάταξη** παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα:

- Ο άνεμος προκαλεί την κίνηση των φωτιστικών σωμάτων στην περίπτωση που δεν είναι στερεωμένα.
- Οι εργασίες συντήρησης δυσχεραίνουν την κυκλοφορία.
- Προσελκύει τους οδηγούς στο κέντρο του δρόμου.

Επομένως χρησιμοποιείται μόνο όταν υπάρχουν επιτακτικοί λόγοι τοποθέτησης στον άξονα (δέντρα ή εμπόδια στα άκρα).

Στην **αμφίπλευρη τριγωνική διάταξη** τα φωτιστικά σώματα είναι υπολογισμένα έτσι ώστε καθένα από αυτά να φωτίζει όλο το πλάτος του δρόμου. Η χρήση της απαιτεί αυστηρό έλεγχο της ομοιομορφίας της λαμπρότητας για να μην δημιουργείται η εικόνα φωτεινών κηλίδων σε σκοτεινό κυματισμό.

Στην **αμφίπλευρη διάταξη** τα σώματα είναι τοποθετημένα στις δύο πλευρές του δρόμου, γενικά το ένα απέναντι απ' το άλλο και υπολογισμένα έτσι ώστε το κάθε ένα να φωτίζει το μισό πλάτος του δρόμου. Συνίσταται για δρόμους μεγάλου πλάτους.

Στους διπλούς δρόμους χρησιμοποιούνται συνήθως η αξονική και αμφίπλευρη διάταξη. Σημειώνεται ότι πρέπει να ληφθεί υπόψη η επίδραση της μίας πλευράς στην άλλη. Επίσης είναι δυνατή η χρησιμοποίηση φωτιστικών σωμάτων κάθετα στον άξονα του δρόμου, στα άκρα, στη νησίδα ή και στα δύο, καθώς και φωτιστικών σωμάτων παράλληλων προς τον άξονα πάνω στη νησίδα.

Τέλος, το **μήκος επανάληψης** των φωτιστικών σωμάτων, δηλαδή η μεταξύ των στύλων απόσταση, είναι ένα μέγεθος που καθορίζεται με βάση τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης. Οι αμερικανικές προδιαγραφές δίνουν τον εξής τύπο:

$$S = \frac{LL \cdot CU \cdot LLD \cdot LDD}{Eh \cdot W}$$

όπου:

- S μήκος επανάληψης φωτιστικών σωμάτων.
- LL (Lamp Lumens): η αρχική φωτεινή ροή του φωτιστικού σώματος, που δίνεται από τον κατασκευαστή (σε lumens).
- CU (Coefficient of Utilization): ο συντελεστής χρήσης.
- LLD (Lamp Lumen Depreciation factor): ο συντελεστής απαξίωσης του φωτισμού, που μπορεί να ληφθεί ίσος με 0,80.
- LDD (Luminaire Dirt Depreciation factor): ο συντελεστής απαξίωσης λόγω ρύπανσης και u963 σκόνης, ίσος με 0,90.
- Eh: το επιθυμητό επίπεδο φωτισμού, (σε lux).
- W: το πλάτος της οδού, μαζί με τα ερείσματα (σε m).

Τυπικές αποστάσεις προκύπτουν στα 50-80 m για υπεραστικές οδούς.

Τεχνικά στοιχεία φωτιστικών συνόλων

Ως φωτιστικό σύνολο νοείται η όλη διάταξη που περιλαμβάνει τη συσκευή ή τις συσκευές φωτισμού, μαζί με τη διάταξη στήριξης και προσανατολισμού τους, καθώς επίσης και την καλωδίωση και τα λοιπά ηλεκτρολογικά στοιχεία. Σε ένα δίκτυο φωτισμού υπάρχει, ακόμη, και το κουτί ελέγχου του δικτύου.

3. Πηγές φωτισμού

Οι πηγές φωτισμού αποτελούν ουσιαστικά το πιο σημαντικό στοιχείο ενός συστήματος ηλεκτροφωτισμού, καθώς καθορίζουν στο μεγαλύτερο βαθμό την οπτική

ποιότητα του φωτισμού, την οικονομία, την απόδοση, και γενικά την ενεργειακή θεώρηση του εφαρμοζόμενου συστήματος φωτισμού. Ως πηγές φωτισμού σε ένα σύστημα ηλεκτροφωτισμού χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών ηλεκτρικοί λαμπτήρες. Σήμερα έχουν



απομείνει ή χρησιμοποιούνται σε νέες εφαρμογές, λαμπτήρες *πυρακτώσεως*, *φθορισμού* και *εκκένωσης*.

Αναλυτικότερα, όλα τα χρησιμοποιούμενα είδη λαμπτήρων έχουν ως εξής:

- **Λαμπτήρες Πυρακτώσεως (Incandescent):** Οι λαμπτήρες αυτού του είδους ήταν κάποτε οι πιο δημοφιλείς, καθώς ήταν απλοί, φθηνοί και εύκολα εγκαταστάσιμοι. Αναπαρήγαγαν σωστά τα χρώματα και το μικρό τους μέγεθος επέτρεπε εύκολο έλεγχο του φωτός. Ωστόσο, η χαμηλή τους φωτεινή απόδοση και ο περιορισμένος τους χρόνος ζωής τις έχουν θέσει, πλέον, ανεπιθύμητες σε νέες εγκαταστάσεις.
- **Λαμπτήρες Φθορισμού (Fluorescent):** Ομοίως, δεν χρησιμοποιούνται πλέον ούτε αυτοί σε νέες εγκαταστάσεις, εξακολουθούν, ωστόσο, να χρησιμοποιούνται για φωτισμό σηράγγων και πινακίδων. Το μεγάλο τους μέγεθος δυσκολεύει τον έλεγχο του φωτισμού. Οι λαμπτήρες φθορισμού απαιτούν επιπλέον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό ελέγχου της τάσης, η δε φωτεινή τους απόδοση επηρεάζεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες περισσότερο από κάθε άλλο τύπο λαμπτήρα. Πλεονέκτημά τους είναι η απόδοση του φωτός τους επάνω σε βρεγμένο οδόστρωμα.
- **Λαμπτήρες Υδραργύρου (Mercury):** Οι λαμπτήρες υδραργύρου υποσκέλισαν τους λαμπτήρες πυρακτώσεως στις περισσότερες περιπτώσεις. Αν και το αρχικό τους κόστος είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των λαμπτήρων

πυρακτώσεως, καθότι είναι ακριβότεροι και απαιτούν και ελεγκτές τάσης, η πολύ καλή τους απόδοση και η μεγάλη διάρκεια ζωής τους καθιστούν πολύ πιο συμφέροντες. Το ελαφρά κυανό χρώμα που παράγουν είναι γενικά αποδεκτό, ενώ το μέγεθός τους επιτρέπει ικανοποιητικό φωτεινό έλεγχο. Μία πιο βελτιωμένη εκδοχή αυτό του τύπου είναι οι λαμπτήρες με επικάλυψη φωσφόρου.

- **Λαμπτήρες Μετάλλων Αλογονιδίων (Metal Halide):** Είναι μία μορφή λαμπτήρων υδραργύρου όπου μαζί με τον υδράργυρο συνυπάρχουν και στοιχεία ιωδίου, που αναβαθμίζουν τόσο τη φωτεινή απόδοση, όσο και τη χρωματική απόδοση των επιφανειών, ενώ οι λαμπτήρες αυτού του είδους επιτρέπουν και ικανοποιητικό φωτεινό έλεγχο. Μειονέκτημά τους είναι η σχετικά περιορισμένη διάρκεια ζωής.
- **Λαμπτήρες Νατρίου Υψηλής Πίεσης (High Pressure Sodium):** Υποσκέλισαν τους λαμπτήρες υδραργύρου. Χαρακτηρίζονται από το λευκόχρυσο φως που αποδίδουν, ενώ η χρωματική απόδοση των επιφανειών είναι μέτρια. Χρειάζονται συσκευές ελέγχου τάσης. Μερικοί κατασκευαστές παρέχουν διατάξεις με αναβαθμισμένη χρωματική απόδοση και βοηθητικούς λαμπτήρες που λειτουργούν μετά από στιγμιαίες πτώσεις τάσης, μέχρι να αποκατασταθεί ποσοστό της πλήρους λειτουργίας του κανονικού λαμπτήρα.
- **Λαμπτήρες Νατρίου Χαμηλής Πίεσης (Low Pressure Sodium):** Κύριό τους χαρακτηριστικό αποτελεί το έντονο φως που παράγουν, και στο οποίο οφείλεται και η φτωχή χρωματική απόδοση των επιφανειών, ωστόσο είναι ιδανικό για περιπτώσεις ομίχλης. Βασικό τους μειονέκτημα είναι το μεγάλο μήκος τους, που τους καθιστά δύσχρηστους.

Οι παράγοντες που συντελούν στην επιλογή του κατάλληλου τύπου λαμπτήρα είναι η φωτεινή απόδοση, δηλαδή ο βαθμός αξιοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας, η ικανότητα του λαμπτήρα να διατηρεί τα φωτεινά του χαρακτηριστικά σε βάθος χρόνου, η διάρκεια ζωής, το χρώμα και η διασπορά του φωτός. Στην Ελλάδα

χρησιμοποιούνται κυρίως λαμπτήρες *Νατρίου Υψηλής Πίεσης*, και σε μικρότερο βαθμό *Νατρίου Χαμηλής Πίεσης* και *Υδραργύρου*, ενώ δεν αποκλείονται περιπτώσεις άλλων τύπων που απέμειναν από το παρελθόν.

ΙΧ. ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΕΣ

Τα τελευταία είκοσι χρόνια η επανάσταση στον τομέα υπολογιστών συντέλεσε στην παραγωγή νέας γενιάς υπολογιστών που έχουν ταχύτητες και υπολογιστική ισχύ χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από εκείνη των πρώτων εμπορικών υπολογιστών. Αυτό ήταν αποτέλεσμα των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που συνδυάζουμε ένα μεγάλο αριθμό δυνατοτήτων πάνω σε μια φέτα πυριτίου(chip), ειδικότερα στην δημιουργία και αλματώδη εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών (microprocessors).



Επεξεργαστής ονομάζεται γενικά ένα προγραμματιζόμενο ψηφιακό ολοκληρωμένο κύκλωμα, το οποίο αφού δεχτεί κάποια δεδομένα και ένα πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να τα χρησιμοποιήσει για να εκτελέσει κάποιες εντολές ή λειτουργίες και να οδηγήσει στην λύση ενός προβλήματος

Όλες οι εταιρείες προσφέρουν αναπτυξιακά συστήματα (μικρό Hardware) που κατά κανόνα περιλαμβάνουν και εργαλεία (λογισμικό) για την εκμάθηση της λειτουργίας των αντίστοιχων μικροελεγκτών .

Όλα τα **αναπτυξιακά εργαλεία** για μικροελεγκτές χρησιμοποιούν ένα πρόγραμμα που τρέχει είτε μόνο του είτε σε συνεργασία με κάποιο άλλο, ή και σε συνδυασμό με το κατάλληλο υλικό μέρος στο οποίο θα αναφερθούμε αργότερα. Το λογισμικό λοιπόν που θα τρέχουν ' υποχρεωτικά τα εργαλεία αυτά μπορεί να αποτελείται από :

- μεταφραστές σε γλώσσα μηχανής (cross assemblers)
- συμβολομεταφραστές (cross compilers)

- κειμενογράφους πλήρους οθόνης (full screen editors)
- διασυνδετές (linkers)
- προσομοιωτές (simulators)
- ανιχνευτές σφαλμάτων (debuggers)
- μετατροπείς μορφής αρχείων (format converters)

τα περισσότερα από τα προγράμματα αυτά παρέχονται στους χρήστες τους σε παραλλαγές που μπορούν να τρέξουν σε περιβάλλον DOS ή Windows. Οι δυο ευρεία γνωστές γλώσσες που χρησιμοποιούνται για την συγγραφή των προγραμμάτων εφαρμογής είναι η C και η BASIC .

Οι μικροελεγκτές της Atmel έχουν υιοθετήσει σαν βολικότερη γλωσσά την C.

Στις περισσότερες το λογισμικό συνοδεύει ένα αναπτυξιακό πακέτο ενός συγκεκριμένου μικροελεγκτή που εξασφαλίζει τις παρακάτω λειτουργίες και δυνατότητες .

- επικοινωνία με τον κύριο υπολογιστή .
- μεταφορά του προγράμματος από τον κύριο υπολογιστή προς τον μικροελεγκτή και το αντίστροφο .
- εύρεση σφαλμάτων σε επίπεδο συμβολών .
- εύρεση σφαλμάτων τρέχοντας το πρόγραμμα εφαρμογής εντολή προς εντολή .
- τοποθέτηση σημείων στάσης μέσα στο πρόγραμμα , καταγραφή 'στιγμιότυπων' ,πάγωμα της τιμής ενός καταχώρηση ,τοποθέτηση σημείων παρατήρησης κ.λ.π.
- χρήση ενός on line assembler , η disassemble.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

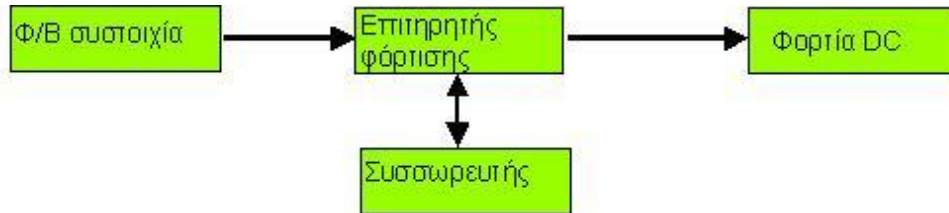
Εισαγωγή

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: αυτόνομα, τα συνδεδεμένα στο δίκτυο και τα υβριδικά. Η διάταξη που αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας εντάσσεται στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτές οι εγκαταστάσεις λειτουργούν αυτοδύναμα και τροφοδοτούν καθορισμένες καταναλώσεις χωρίς να συνδέονται με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο διανομής. Στις περισσότερες των περιπτώσεων απαιτούν αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, είτε με τη μορφή χημικής ενέργειας σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές, είτε με τη μορφή δυναμικής ενέργειας, όπως στην περίπτωση αποθήκευσης αντλούμενου νερού σε υπερυψωμένη δεξαμενή. Το μέγεθος της απαιτούμενης ισχύος αιχμής της ΦΒ συστοιχίας και της χωρητικότητας του συσσωρευτή ποικίλει, ανάλογα με τις ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Μπορούν να καλύπτουν εφαρμογές από πολύ μικρές τιμές ισχύος, όπως συμβαίνει σε υπολογιστές «τσέπης», σε μικρά αυτόνομα φωτιστικά κήπου κ.α., μέχρι εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας, όπως σε άντληση νερού, εκτεταμένο φωτισμό οδών, τηλεπικοινωνίες σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις και ενεργειακά αυτόνομες κατοικίες.

Το σύστημα της παρούσας εργασίας είναι ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα που έχει σκοπό να παρέχει το απαραίτητο επίπεδο φωτισμού σε χαμηλής κυκλοφορίας τοπικό δρόμο, σε αλσύλλια, πάρκα, αρχαιολογικούς χώρους, δασικούς δρόμους κ.α.. Αποτελείται από τα παρακάτω βασικά τμήματα, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, τον επιτηρητή φόρτισης, το συσσωρευτή και το φορτίο DC που στη περίπτωση μας είναι το φωτιστικό σώμα.

Σύντομη περιγραφή της διάταξης

Το επόμενο block διάγραμμα δίδει τα βασικά τμήματα της διάταξης.



Ως φορτία DC τροφοδοσίας νοούνται οποιαδήποτε φορτία DC εφόσον είναι στην ονομαστική ισχύ του συστήματος.

Ο ελεγκτής ή επιτηρητής φόρτισης εκτελεί δύο εργασίες:

- ελέγχει την κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή (αποκοπή του φορτίου όταν η κατάσταση φόρτισης φτάσει στο χαμηλότερο επιτρεπτό όριο και διακοπή της φόρτισης όταν η τάση του συσσωρευτή φτάσει το ανώτερο όριο και
- ελέγχει την έναρξη και λήξη λειτουργίας του φωτιστικού, κατά το σούρουπο και την αυγή, αντιστοίχως.

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες της διάταξης

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από την τισιμεντένια βάση με διαστάσεις 1,2m x 1m x 0,60m, που στο εσωτερικό της έχει αγκυρωθεί κατά την κατασκευή της, η βάση έδρασης του ιστού. Η βάση αυτή με διαστάσεις 0,4m x 0,4m x 0,6m, έχει κατασκευαστεί έτσι ώστε το κατώτερο τμήμα της να διασφαλίζει την αγκύρωση του ιστού στην τισιμεντένια βάση. Στο ανώτερο τμήμα των σιδερένιων ράβδων της βάσης αγκύρωσης βιδώνεται η βάση του ιστού, ύψους 5m, διαμέτρου 114 mm και πάχους 4,5mm. Οι διαστάσεις αυτές έχουν προκύψει



μετά από μελέτη της αντοχής του ιστού κάτω από συνθήκες ισχυρού ανέμου, με βάση την επιφάνεια του αναρτημένου ΦΒ πλαισίου. Στην κορυφή του ιστού έχουμε τοποθετήσει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο με διαστάσεις 1m x 0,65m x 0,06m. Κατά τη σχεδίασή του συστήματος προβλέφθηκε αφενός η δυνατότητα αζιμουθιακού προσανατολισμού του πλαισίου σε κάθε κατεύθυνση (0° έως 360°) αφετέρου η ρύθμιση της γωνίας κλίσης του πλαισίου. Στον ιστό και σε ύψος 4,5m έχουμε στερεώσει το φωτιστικό σώμα το οποίο επίσης έχει δυνατότητα αζιμουθιακού προσανατολισμού προς κάθε κατεύθυνση (0° έως 360°). Σε ύψος 2,3m έχουμε τοποθετήσει τα αισθητήρια κίνησης (αισθητήρες υπεθύρου), τα οποία προστατεύονται από την βροχή και από την ηλιακή ακτινοβολία με ένα επίπεδο γείσο, διαστάσεων 0,20m x 0,30m. Πάνω στην τσιμεντένια βάση τοποθετήθηκε σταθερά, μεταλλικό κιβώτιο, διαστάσεων 0,60m x 0,45m x 0,20m, που περιέχει το συσσωρευτή, τον ελεγκτή φόρτισης και τα ηλεκτρονικά της κατασκευής. Τα ηλεκτρονικά αυτά είναι: α) ο ελεγκτής φόρτισης, που ελέγχει τη φόρτιση-εκφόρτιση του συσσωρευτή και β) η ηλεκτρονική διάταξη που ελέγχει τη λειτουργία του φωτιστικού στα προεπιλεγμένα επίπεδα φωτισμού.

Τρόπος ελέγχου λειτουργίας του φωτιστικού

Κατά τη διάρκεια της ημέρας το φωτοβολταϊκό πλαίσιο φορτίζει το συσσωρευτή, ο οποίος, κατά τη διάρκεια της νύκτας, τροφοδοτεί το DC φορτίο, δηλαδή, το φωτιστικό σώμα.

Για την, όσο το δυνατόν, μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας του συστήματος, επιλέγεται λαμπτήρας εξοικονόμησης ενέργειας (Λαμπτήρας φθορισμού). Εκτός αυτού, στα πλαίσια πρόσθετης εξοικονόμησης ενέργειας για το σύστημα και άρα μείωσης του κόστους του (μικρότερης ισχύος αιχμής φωτοβολταϊκό πλαίσιο και μικρότερης χωρητικότητας συσσωρευτή), σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ηλεκτρονική διάταξη, που επιβάλλει πρόσθετο έλεγχο λειτουργίας του λαμπτήρα, κατά τη διάρκεια της νύκτας.

Υπήρχε η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί inverter για την μετατροπή της τάσης σε εναλλασσόμενη και με την βοήθεια ενός dimmer της αγοράς να επιτευχθεί ο έλεγχος φωτεινότητας του λαμπτήρα. Για λόγους, όμως, οικονομίας αφενός και ασφάλειας

χρήσης αφετέρου, επιλέχθηκε η λειτουργία όλης της διάταξης στο συνεχές ρεύμα (τροφοδοσία απευθείας από το συσσωρευτή). Σύμφωνα μ' αυτή την επιλογή, κατασκευάστηκε ηλεκτρονική διάταξη που δίνει τη δυνατότητα να ελεγχθεί το επίπεδο φωτεινότητας του λαμπτήρα.

Συγκεκριμένα, με τη διάταξη αυτή, ο λαμπτήρας μπορεί να λειτουργήσει σε δύο επίπεδα φωτισμού: α) σε επίπεδο πλήρους φωτισμού, κατά τις πρώτες βραδινές ώρες, όταν υπάρχει συχνή διέλευση διαβατών. Αν δεν διέλθει πεζός για χρονικό διάστημα περισσότερο ενός ορίου, π.χ. δύο λεπτών, μισής ώρας ή μιας ώρας, η λειτουργία του λαμπτήρα μεταπίπτει στο χαμηλότερο επίπεδο. Παραμένει εκεί όσο δεν υπάρχει κίνηση. Αν στο χρόνο που λειτουργεί στο χαμηλότερο επίπεδο φωτισμού, διέλθει κάποιος, το σύστημα των αισθητήρων τον αντιλαμβάνεται και ο λαμπτήρας μεταβαίνει στο επίπεδο πλήρους φωτισμού, όπου παραμένει για το προκαθορισμένο χρονικό διάστημα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διακριτά στάδια μελέτης για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των επιμέρους τμημάτων της διάταξης, όπως είναι η ισχύς κατανάλωσης φωτιστικού σώματος (φωτοτεχνική μελέτη), η ισχύς αιχμής του ΦΒ πλαισίου και η χωρητικότητα του συστήματος τροφοδοσίας (μελέτη ΦΒ συστήματος) και οι διαστάσεις του κατάλληλου ιστού για την τοποθέτηση του φωτιστικού.

I. ΦΩΤΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

1. Επιλογή ύψους στύλου

Η μελέτη φωτισμού ενός δεδομένου χώρου έχει ως πρωταρχικό στόχο τον προσδιορισμό της ισχύος του φωτιστικού σώματος που επιτυγχάνει την παροχή των ελαχίστων ορίων ομοιόμορφου φωτισμού στον υπό μελέτη χώρο. Τα όρια αυτά επιλέγονται από τον επόμενο πίνακα, με βάση τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

Πίνακας με τον ελάχιστο απαιτούμενο μέσο φωτισμό για διάφορους τύπους δρόμων

α/α	Τύπος δρόμου	Φωτισμός (Lux)
1	Αστικός δρόμος ταχείας κυκλοφορίας	10
2	Κόμβος δρόμων ταχείας κυκλοφορίας	14
3	Εμπορική αρτηρία	20
4	Κατοικημένη περιοχή	8
5	Τοπικός δρόμος	6
6	Χαμηλής κυκλοφορίας τοπικός δρόμος	5

Πίνακας 1 Ελάχιστος απαιτούμενος μέσος φωτισμός για διάφορους τύπους δρόμων

Η περίπτωση που μας αφορά, αντιστοιχεί στην κατηγορία 6, «Χαμηλής κυκλοφορίας τοπικός δρόμος», με ελάχιστο επίπεδο μέσου φωτισμού 5 Lx. Το επίπεδο αυτό φωτισμού πρέπει να συνδυαστεί με τα, διαθέσιμα αγορά, τυπικά ύψη στύλων: 5 m, 7 m, 9 m και 12 m. Στις περιπτώσεις περιμετρικού φωτισμού, φωτισμού δρόμων περιπάτου, αλσουλίων, αρχαιολογικών χώρων κ.λπ., ενδιαφέρουν οι στύλοι χαμηλού ύψους, 5 m. Το ΦΒ πλαίσιο αναγκαστικά θα τεθεί στο ψηλότερο σημείο του στύλου και κατά συνέπεια το φωτιστικό θα τεθεί λίγο χαμηλότερα, στο ύψος των 4,5 m.

2. Επιλογή του λαμπτήρα του φωτιστικού

- ◆ Ύψος θέσης φωτιστικού σώματος: $h = 4,5 \text{ m}$
- ◆ $\Phi_{εκπ} = 900 \text{ lm}$ (από τον κατασκευαστή)
- ◆ Φωτεινή απόδοση λαμπτήρα:

$$\alpha = \frac{\Phi_{εκπ}}{P\lambda} = \frac{900}{15} = 60 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

- ◆ Ελάχιστος απαιτούμενος μέσος φωτισμός σε δρόμο χαμηλής κυκλοφορίας $E_{av} = 5 \text{ lux}$
- ◆ Η προσπίπτουσα φωτεινή ισχύς στην επιφάνεια S, όπου αναφέρεται ο μέσος φωτισμός, είναι:

$$\Phi_{προσπ} = E_{av} \cdot S = 5 \cdot 64 = 320 \text{ lumen}$$

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

όπου S^1 το εμβαδόν στη βάση της διάταξης που είναι προς μελέτη, και συγκεκριμένα 8 μέτρα κάθετα και 8 μέτρα παράλληλα ως προς το φωτιστικό σώμα.

$$S=8 \cdot 8=64 \text{ m}^2$$

- ◆ Συνεπώς η απαιτούμενη ισχύς λαμπτήρα προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$P_{\lambda} = \frac{\Phi_{\text{εκπ}}}{\alpha} = \frac{\Phi_{\text{προσπ}}}{\alpha \cdot CU \cdot LLF} = \frac{320}{60 \cdot 0,5 \cdot 0,8} = 13,33 \text{ W}^{-}$$

Όπου: LLF : Ο συντελεστής γήρανσης (Light Loss Factor) ο οποίος αφορά

- Στη μείωση της εκπεμπόμενης φωτεινής ισχύς από τον λαμπτήρα μετά από ώρες χρήσης.
- Στη γήρανση του διαφανούς υλικού του προστατευτικού καλύμματος του φωτιστικού σώματος
- Στην μείωση των συντελεστών ανάκλασης του χώρου με την πάροδο του χρόνου.
- Στην επικάθιση σκόνης.

CU: Συντελεστής αξιοποίησης φωτεινής ισχύος (coefficient of utilization) είναι ένα μέτρο της απόδοσης του φωτιστικού στη μεταφερόμενη φωτεινή ενέργεια στο επίπεδο εργασίας σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Τυπικές τιμές: CU=0,5 και LLF=0,8

Τελικά, η ισχύς του φωτιστικού σώματος, σύμφωνα με τα προηγούμενα, πρέπει να είναι το λιγότερο $P_{\lambda}=13,3 \text{ W}$.

¹ Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 έχει υπολογιστεί αναλυτικά το S

Από έλεγχο της αγοράς, διαπιστώθηκε ότι οι διαθέσιμοι λαμπτήρες 12 Vdc, αφορούν σε τρεις κατηγορίες:

- i. σ' αυτούς που επιδέχονται ρύθμιση φωτισμού (Dimming) και το αναφέρουν στις προδιαγραφές τους. Εντοπίσαμε μόνο ένα τέτοιο λαμπτήρα, της εταιρείας OSRAM ισχύος 11 W.
- ii. σ' αυτούς που δεν επιδέχονται ρύθμιση φωτισμού και το αναγράφουν στα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και
- iii. σε εκείνους που δεν αναφέρουν ότι δεν επιδέχονται αυτή τη ρύθμιση. Εντοπίστηκαν λαμπτήρες ισχύος 11 W, 15 W και 20 W.

Επειδή το κόστος των λαμπτήρων της πρώτης κατηγορίας είναι αρκετά μεγαλύτερο των λαμπτήρων της τρίτης κατηγορίας, αποφασίστηκε να ελεγχθεί, αρχικά, η πιθανότητα αξιόπιστης χρησιμοποίησης λαμπτήρα της τρίτης κατηγορίας.

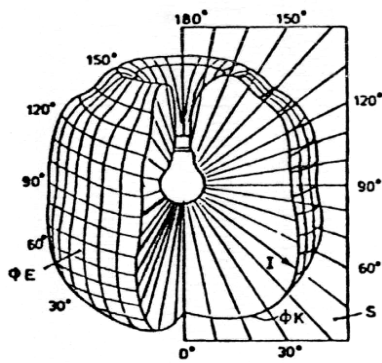
Στα πλαίσια αυτού του ελέγχου, η ηλεκτρονική διάταξη ελέγχου της λειτουργίας του λαμπτήρα, σε δύο επίπεδα φωτισμού, ρυθμίστηκε με βάση το λαμπτήρα αυτό, ισχύος 15 W. Οι υπολογισμοί που ακολουθούν γίνονται με βάση αυτήν την επιλογή. Στην περίπτωση που διαπιστωθεί ότι με αυτό το λαμπτήρα δεν επιτυγχάνεται αξιόπιστη ρύθμιση διαφορετικών επιπέδων φωτισμού θα γίνει αντικατάσταση του λαμπτήρα αυτού με το λαμπτήρα της OSRAM, με τις κατάλληλες προσαρμογές, όπως θα αναλυθεί στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 .

3. Προσδιορισμός κατανομής φωτοβολίας φωτιστικού σώματος

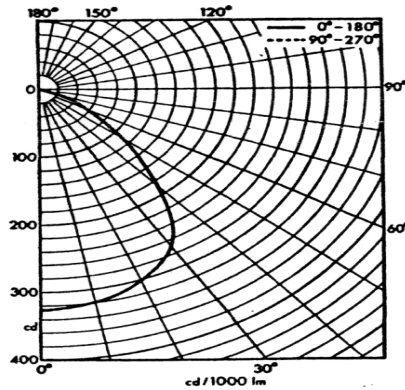
Για την ολοκλήρωση μιας φωτοτεχνικής μελέτης είναι αναγκαία η γνώση των φωτοτεχνικών χαρακτηριστικών των φωτιστικών σωμάτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Ιδιαίτερης σημασίας, είναι η γνώση του πολικού διαγράμματος κατανομής της φωτεινής έντασης των φωτιστικών σωμάτων. Η γνώση των χαρακτηριστικών των πολικών διαγραμμάτων είναι απαραίτητη για την ορθότερη αξιολόγηση των απαιτήσεων του φωτισμού και για την δυνατότητα στην επιλογή των βέλτιστων οικονομοτεχνικών χαρακτηριστικών ενός έργου.

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Αν παρασταθεί γραφικά η φωτεινή ένταση I με το διάνυσμα της προς κάθε κατεύθυνση τότε μορφοποιείται μια «Φωτομετρική επιφάνεια» (Σχήμα 1) ΦE η οποία περιγράφει την κατανομή της φωτεινής έντασης E στο χώρο, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η τομή της επιφάνειας αυτής με ένα επίπεδο Σ που διέρχεται από τον άξονα συμμετρίας της πηγής, παρέχει μια «Φωτομετρική καμπύλη» ΦK . Η καμπύλη αυτή ονομάζεται **διάγραμμα πολικής κατανομής της φωτεινής έντασης**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, επειδή δίνεται σε πολικές συντεταγμένες. Στο Σχήμα 2 φαίνεται το πολικό διάγραμμα κατανομής της φωτεινής έντασης I , φωτιστικού σώματος με λαμπτήρα ατμών υδραργύρου. Το πολικό διάγραμμα δίνεται μόνο για ένα ημιεπίπεδο της τομής της φωτομετρικής επιφάνειας ΦE με το επίπεδο S λόγω της παρουσιαζόμενης συμμετρίας.



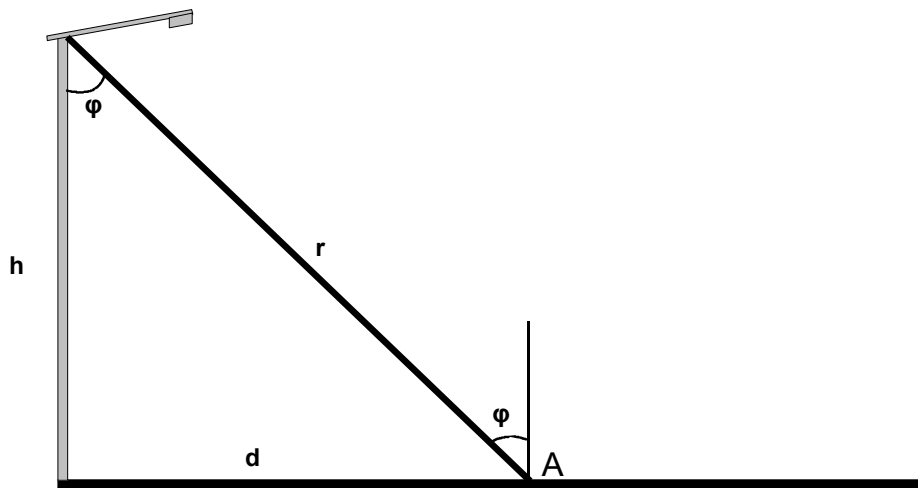
Σχήμα 1



Σχήμα 2

Από το σχήμα 3 προκύπτει η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας:

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{d}{h}\right)$$



Σχήμα 3

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Όπου h , η κατακόρυφη απόσταση του φωτιστικού από το έδαφος και d , η απόσταση του σημείου ελέγχου της έντασης ακτινοβολίας, από την προβολή του φωτιστικού στο έδαφος. Συνεπώς, ο φωτισμός στο σημείο A, ως συνάρτηση της γωνίας πρόσπτωσης της ακτινοβολίας, φ , δίδεται από τη σχέση:

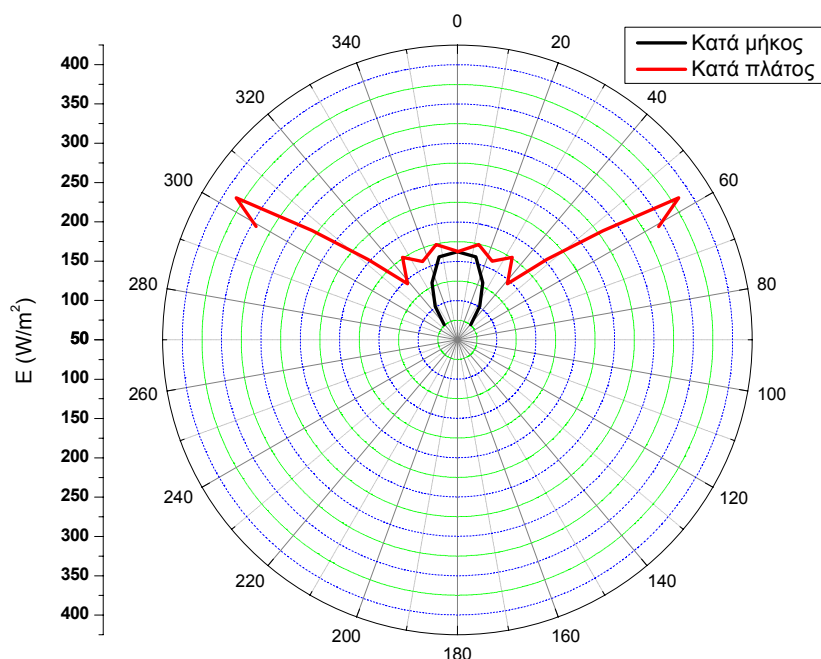
$$E(\varphi) = \frac{I(\varphi)}{r^2} \cdot \cos(\varphi) = \frac{I(\varphi)}{h^2} \cdot \cos^3(\varphi) \Rightarrow I(\varphi) = \frac{E(\varphi) \cdot h^2}{\cos^3(\varphi)}$$

Θέτοντας τα δεδομένα της διάταξης που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε: $h=4,5$ m και $d=0 \dots 8$ m, προκύπτει ο επόμενος πίνακας που βλέπουμε γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας φ , καθώς και ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο σημείο I.

α/α	Παράλληλα στο φωτιστικό		κάθετα στο φωτιστικό	
	φ (°)	I ()	φ (°)	I (⊥)
1	60,6	343,7	41,6	75,7
2	57,3	384,2	33,7	101,1
3	53,1	281,3	24	129,5
4	48,0	202,9	12,5	158,1
5	41,6	145,5	0	162
6	33,7	175,8	360	162
7	24,0	159,2	347,5	158,1
8	12,5	174,1	336	129,5
9	0	162,0	326,3	101,1
10	360,0	162,7	318,4	75,7
11	347,5	174,1		
12	336,0	159,2		
13	326,3	175,8		
14	318,4	145,5		
15	312,0	202,9		
16	306,9	281,3		
17	302,7	384,2		
18	299,4	343,7		

Πίνακας 2

Με βάση τα δεδομένα των στηλών του προηγούμενου πίνακα προκύπτει το πολικό διάγραμμα, σε πρόγραμμα ORIGIN 8:



II. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ

Σ' αυτή την παράγραφο υπολογίζουμε την απαραίτητη χωρητικότητα του συσσωρευτή προκειμένου να καλυφθεί η ενεργειακή απαίτηση της εφαρμογής, θεωρώντας αυτονομία συσσωρευτή 5 ημερών.

Σύμφωνα με την φωτοτεχνική μελέτη προσδιορίστηκε η ισχύς του λαμπτήρα για τον απαιτούμενο φωτισμό σε 13,3 W και με βάση την αιτιολόγηση που αναφέρεται στην αντίστοιχη παράγραφο, επιλέχθηκε, σε πρώτη φάση, να γίνουν οι υπολογισμοί και ο έλεγχος σε κατάσταση dimming, με λαμπτήρα οικονομικής λειτουργίας, 15 W.

Για τον υπολογισμό της χωρητικότητας του συσσωρευτή ισχύει ο επόμενος τύπος:

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

$$C = \frac{(n + b) \cdot m \cdot E_{\lambda}}{n_{\gamma} \cdot n_{\text{εκφ}} \cdot \beta_{\text{εκφ}} \cdot V_0}$$

Όπου:

Ισχύς φορτίου $P_{\lambda}=15 \text{ W}$

Συντελεστής περιθωρίου ενέργειας $m = 1$

Συντελεστής εκφόρτισης $\eta_{\text{εκφ}}= 0.97$

Βάθος εκφόρτισης $\beta_{\text{εκφ}}= 0,5$ ή 50%

Ονομαστική τάση συσσωρευτή $V_0= 12 \text{ V}$

Ποσοστό της αποθηκευόμενης ενέργειας κατανάλωσης $b = 1$ ή 100%

Συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή $\eta_{\gamma}= 0,9$

Μέρες συννεφιάς $n = 5$ μέρες

Χρόνος λειτουργίας φορτίου $t_{\lambda} = 13 \text{ h}$ (το μήνα Δεκέμβριο ως δυσμενέστερη κατάσταση)

Χρόνος λειτουργίας φορτίου με μισή ισχύ $t_1 = 8 \text{ h}$

Χρόνος λειτουργίας φορτίου με ονομαστική ισχύ $t_2 = 5 \text{ h}$

Με βάση τον προβλεπόμενο τρόπο λειτουργίας του λαμπτήρα, με δυνατότητα dimming, υπολογίζεται η ηλεκτρική ενέργεια E_{λ} , που απαιτείται για λειτουργία του, κατά τη διάρκεια της μεγαλύτερης νύχτας του χειμώνα:

$$E_{\lambda} = P_{\lambda} \cdot t_1 + \frac{P_{\lambda} \cdot t_2}{2} = 135 \text{ Wh}$$

Υπολογίζουμε τη χωρητικότητα του συσσωρευτή:

$$C = \frac{(5 + 1) \cdot 1 \cdot 135}{0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,5 \cdot 12} = 154,6 \text{ Ah}$$

Στην εφαρμογή μας χρησιμοποιήσαμε συσσωρευτή της EFFEKTA BTL 12V με χωρητικότητα 150 Ah. Ο συσσωρευτής είναι



ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

κατηγορίας AGM (Absorbed Glass Mat) και είναι πιο εξελιγμένες τεχνολογικά. Ο τύπος αυτός έχει το πλεονέκτημα ότι αυτό-αποφορτίζονται πολύ αργά, δεν χάνουν υγρά, και μπορούν να δώσουν μεγάλο ποσοστό του φορτίου τους χωρίς να υποστούν μόνιμη βλάβη ενώ παράλληλα αφού είναι κλειστού τύπου δεν χρειάζεται να ελέγχουμε το συσσωρευτή για συμπλήρωση υγρών.

Προκειμένου να αναδειχθεί η εξοικονόμηση σε κόστος αγοράς συσσωρευτή, που προκύπτει με τη χρησιμοποίηση της ρύθμισης της λειτουργίας του λαμπτήρα σε δύο επίπεδα φωτισμού, προσδιορίζεται το αποτέλεσμα στη χωρητικότητα του συσσωρευτή αν ο λαμπτήρας λειτουργούσε συνεχώς στην ονομαστική ισχύ του:

Ελέγχουμε δύο περιπτώσεις:

α) Κρατώντας την απαίτηση των 5 ημερών συννεφιάς (αυτονομία συσσωρευτή 6 ημέρες) προσδιορίζουμε τη χωρητικότητα του αντίστοιχου συσσωρευτή:

Υπολογίζουμε αρχικά την ενέργεια που καταναλώνει σε ένα 24ωρο:

$$E_{\lambda} = P_{\lambda} \cdot t_{\lambda} = 15 \cdot 13 = 195 \text{ Wh}$$

Έπειτα υπολογίζουμε την χωρητικότητα του συσσωρευτή:

$$C = \frac{(5+1) \cdot 1 \cdot 195}{0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,5 \cdot 12} = 224 \text{ Ah}$$

Άρα με έλεγχο ισχύος φορτίου χρειαζόμαστε συσσωρευτή 150 Ah ενώ χωρίς έλεγχο 224 Ah. Δηλαδή απαιτείται συσσωρευτής μεγαλύτερης χωρητικότητας κατά ~ 50%. Ανάλογα αυξημένο είναι το κόστος του συσσωρευτή.

β) Κρατώντας τη χωρητικότητα του συσσωρευτή όπως την υπολογίσαμε, δηλαδή, 150 Ah, προσδιορίζουμε, στην περίπτωση αυτή, τις αντίστοιχες μέρες κάλυψης συννεφιάς.

Λύνοντας τη σχέση προσδιορισμού της C, ως προς το n, έχουμε:

$$n = \frac{C \cdot \eta_{\gamma} \cdot \eta_{\text{εκφ}} \cdot \beta \cdot V_0}{m \cdot E_{\lambda}} - b \Leftrightarrow$$

Με δεδομένη την ενέργεια κατανάλωσης του λαμπτήρα ανά 24ωρο, στην ονομαστική ισχύ κατανάλωσης, $E_{\lambda} = 195 \text{ Wh}$, προκύπτει:

$$n = \frac{150 \cdot 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,5 \cdot 12}{1 \cdot 195} - 1 \approx 3 \text{ μέρες}$$

Συνεπώς, αν ο λαμπτήρας λειτουργεί στο επίπεδο ονομαστικής κατανάλωσης και όχι με τη δυνατότητα dimming, οι μέρες κάλυψης συνεφιά. από 5 μειώνονται σε 3.

III. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Έχοντας υπολογίσει στα προηγούμενα την ισχύ κατανάλωσης του χρησιμοποιούμενου λαμπτήρα και την ελάχιστη χωρητικότητα του συσσωρευτή προχωρούμε στον υπολογισμό της ισχύος αιχμής του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Ισχύς αιχμής ενός ΦΒ πλαισίου είναι η ισχύς που αποδίδει κάτω από τις πρότυπες συνθήκες. Δηλαδή:

- Μάζα αέρα(Air mass)=1,5 με κάθετη πρόσπτωση
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος 25 °C
- Πυκνότητα ισχύος $G_{\text{STC}}=1000 \text{ W/m}^2$

Για τον προσδιορισμό της ισχύος αιχμής του Φωτοβολταϊκού πλαισίου χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπου:

$$P_P = \frac{G_{\text{STC}} \cdot m \cdot \left(\frac{N}{N-n} \right) \cdot E_{\lambda}}{PR_{\sigma} \cdot H_t \cdot n_{\text{μετ}}}$$

όπου:

$$E_{\lambda}=135 \text{ Wh}$$

$$m=1 \text{ συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών φορτίων}$$

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

$N=31$ μέρες του μήνα

$n=5$ μέρες συννεφιάς

$\eta_{\text{μετ}}=0,78$ συντελεστής μετατροπής κ μεταφοράς

$H_t=3100 \text{ Wh/m}^2\text{day}$ μέση ημερήσια ενεργειακή απολαβή στο επίπεδο του συλλέκτη

$PR_{\sigma}=0,867$ Λόγος επίδοσης

Οι τιμές των H_t και PR_{σ} αντιστοιχούν στον δυσμενέστερο μήνα (Δεκέμβριο) στο Ηράκλειο Κρήτης και όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα.

Μήνες	$\overline{H_t}$ (kWh/m ²)	PR_{σ}
Ιανουάριος	3,96	0,854
Φεβρουάριος	4,41	0,845
Μάρτιος	5,06	0,830
Απρίλιος	5,93	0,806
Μάιος	6,76	0,786
Ιούνιος	6,58	0,787
Ιούλιος	6,70	0,781
Αύγουστος	6,68	0,795
Σεπτέμβριος	6,21	0,820
Οκτώβριος	4,90	0,840
Νοέμβριος	3,84	0,855
Δεκέμβριος	3,10	0,867

Πίνακας 3

Εφόσον έχουμε υπολογίσει την ενέργεια που χρειάζεται για ένα 24ωρο ο λαμπτήρας, εφαρμόζουμε την προηγούμενη σχέση:

$$P_p = \frac{1000 \cdot 1 \cdot \left(\frac{31}{31-5} \right) \cdot 135}{0,867 \cdot 3100 \cdot 0,78} \Rightarrow$$

$$P_p = 76,78 \text{ W}$$

Άρα το πλαίσιο το οποίο πρέπει να επιλέξουμε πρέπει να έχει ισχύ αιχμής τουλάχιστον 77 W.

Με βάση τις δυνατότητες που υπήρχαν, επιλέχθηκε το ΦΒ πλαίσιο πολυκρυσταλλικού Πυριτίου KC85T, της εταιρίας Kyocera, με τα επόμενα χαρακτηριστικά:

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε πρότυπες συνθήκες

Ισχύς αιχμής (P_p)	87 W (+10% -5%)
Τάση μέγιστης ισχύος (V_{mpp})	17,4 V
Ρεύμα μέγιστης ισχύος (I_{mpp})	5,02 A
Τάση ανοικτοκύκλωσης (V_{oc})	21,7 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc})	5,34 A
Μέγιστη τάση συστήματος	600V

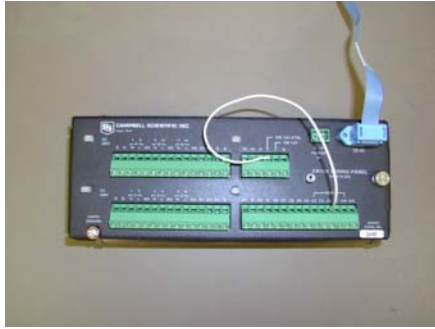


Καταγραφή και μελέτη μετρήσεων για το φωτοβολταϊκό πλαίσιο KC85T

Προκειμένου να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του ΦΒ πλαισίου και συγκεκριμένα η ισχύς αιχμής P_p και ο θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος γ_{Pm} ελήφθησαν πειραματικές μετρήσεις της χαρακτηριστικής I-V, σε διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος, στο χώρο του φωτοβολταϊκού πάρκου. Οι μετρήσεις έγιναν κατά τη διάρκεια τριών (3) αιθριών ημερών, διάρκειας 20 λεπτών, με επανάληψη μέτρησης ανά 1 min και με συνεχή προσανατολισμό του πλαισίου, ώστε να έχουμε κάθετη πρόσπτωση της απ' ευθείας συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας στο πλαίσιο. Η ρύθμιση αυτή γινόταν παρακολουθώντας τη σκιά μιας ράβδου κάθετης στο πλαίσιο, έτσι ώστε η σκιά να παραμένει συνεχώς στη βάση της ράβδου. Επίσης πριν από κάθε μέτρηση λαμβανόταν μέριμνα ώστε η αρχική θερμοκρασία του πλαισίου να βρίσκεται όσο το δυνατόν στους 25 °C, ώστε οι μετρήσεις να περιλαμβάνουν και την κατάσταση της θερμοκρασίας των πρότυπων συνθηκών.

Οι μετρήσεις καταγράφονταν σε υπολογιστή. Συγκεκριμένα η θερμοκρασία πλαισίου μετριόταν σε 2 σημεία της πλάτης του πλαισίου και καταγραφόταν σε **logger CR10X**, ενώ όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά και την μέγιστη ισχύ, που μας ενδιαφέρει στην συγκεκριμένη παράγραφο, καταγράφονταν μέσω του **I-V tracer PVPM2540C**

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

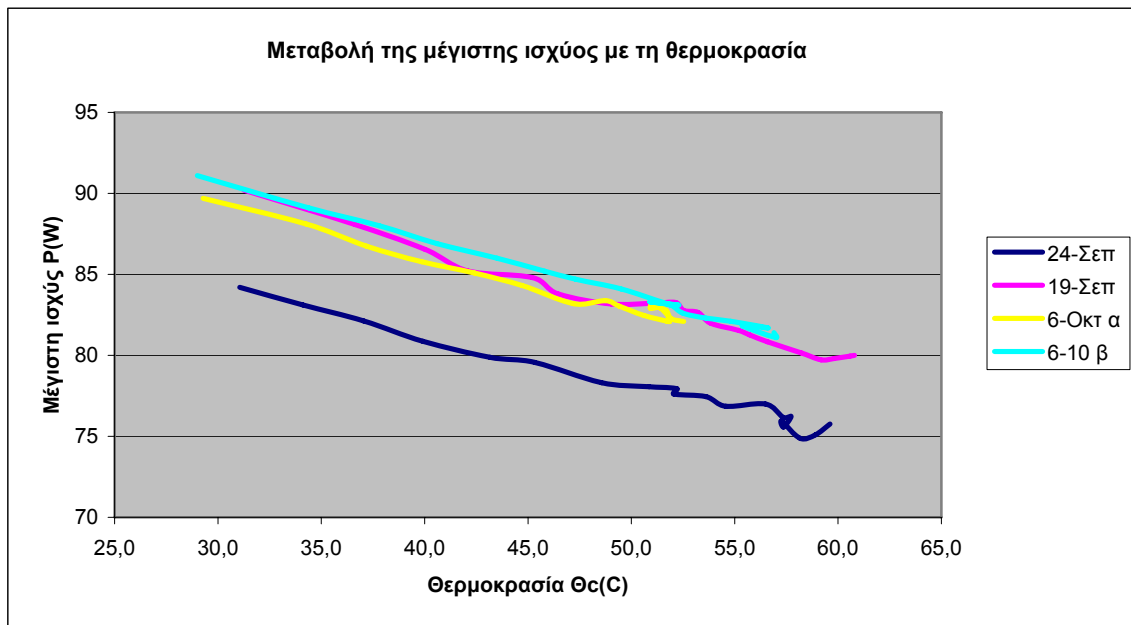


Logger CR10X



tracer PVPM2540C

Αφού επεξεργαστήκαμε τις μετρήσεις προκύπτει το παρακάτω γράφημα που μας δείχνει πως επηρεάζει ο παράγοντας θερμοκρασία τη μέγιστη ισχύ του πλαισίου.



Γράφημα 1

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Για να βρούμε τη μέγιστη ισχύ του πλαισίου κάτω από ορισμένη πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, σε διάφορες θερμοκρασίες λειτουργίας κυψελίδας, εφαρμόζουμε την προσεγγιστική σχέση:

$$P_m(\theta_c, E) = \frac{E}{E_{STC}} \cdot P_{Peak} \cdot \left[1 + \gamma_{mP} (\theta_c - \theta_{STC}) \right]$$

Όπου:

γ_{mP} = Θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος.

E = πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.

E_{STC} = πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας σε πρότυπες συνθήκες.

θ_{STC} = Θερμοκρασία σε πρότυπες συνθήκες (25 °C).

θ_c = θερμοκρασία κυψελίδας,

Τα πειραματικά σημεία της γραφικής παράστασης προσεγγίζονται με ευθεία γραμμή, από την κλίση K της οποίας, προσδιορίζεται η μέγιστη ισχύς που αντιστοιχεί στους 25 °C.

$$Y = -0,3473 \cdot X + 101,1$$

$$K = -0.3473 \cdot x + 101.1 \Rightarrow P_m = -0.3473 \cdot \theta_c + 101,1 \Rightarrow \theta_c = 25 \text{ }^\circ\text{C} \text{ \acute{e}\pi\epsilon\tau\alpha\iota}$$

$$P_m = 92,417 \text{ W}$$

Έχοντας γνωστό τώρα το P_m λύνουμε τον τύπο ως προς P_p :

$$P_p = \frac{P_m \cdot E_{STC}}{E}$$

Άρα το μετρούμενο P_p είναι:

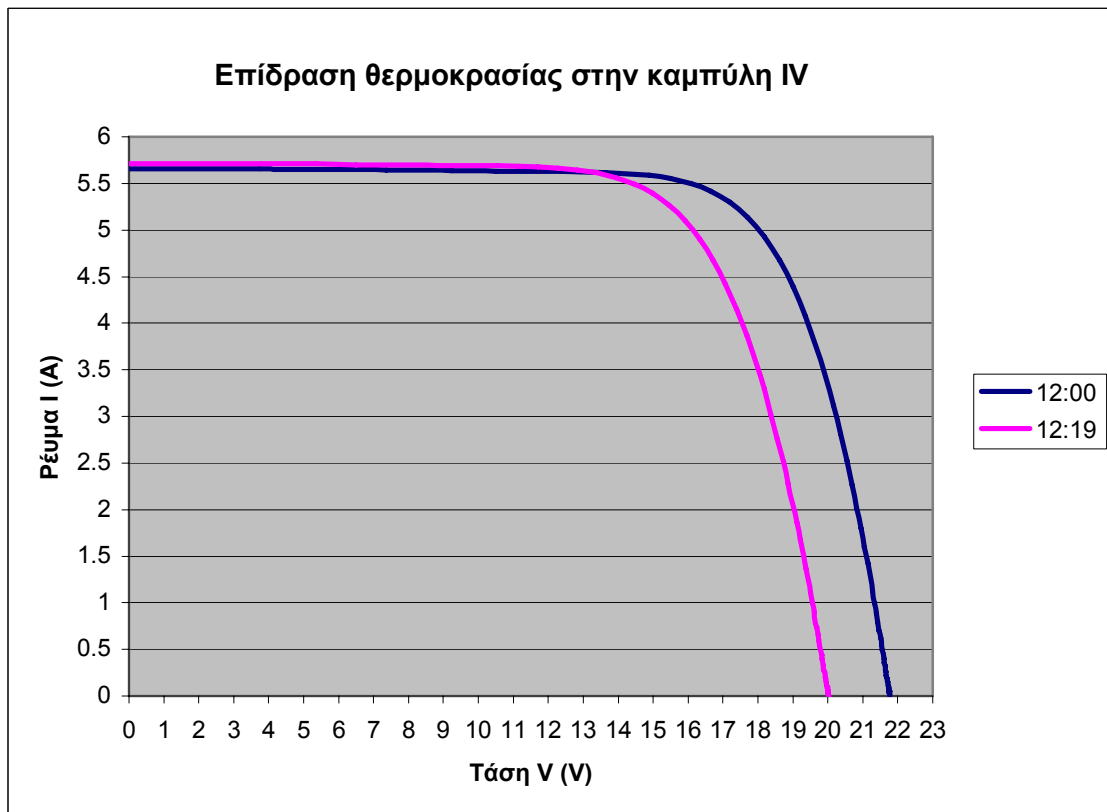
$$P_{Peak} = \frac{92,417 \cdot 1000}{1054} = 87,683 \text{ W}$$

$$\gamma_{mP} = \frac{E_{stc} \cdot P_m}{P_{peak} \cdot E} \Rightarrow \gamma_{mP} = \frac{1000 \cdot 92,417}{87,683 \cdot 1054} \Rightarrow \gamma_{mP} = -3,854 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Άρα ο πειραματικά προσδιορισμένος θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος είναι:

$$\gamma_{mP} = -3,854 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Στη παρακάτω γραφική παράσταση φαίνονται δυο χαρακτηριστικές καμπύλες I-V που τις πήραμε στις 6-10-08 και συγκεκριμένα την ίδια ώρα που παίρναμε μετρήσεις για το πώς επηρεάζεται η μέγιστη ισχύς του πλαισίου από την θερμοκρασία. Τις χαρακτηριστικές καμπύλες I-V τις πήραμε στο πρώτο και στο τελευταίο λεπτό των μετρήσεων για να δούμε και την επηρέαση της θερμοκρασίας στις χαρακτηριστικές καμπύλες.



Γράφημα 2

IV.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΚΙΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΚΙΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΕΜΠΟΔΙΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ

Η σκίαση επηρεάζει σημαντικά την απόδοση των ΦΒ πλαισίων. Ακόμα και ένα μικρό τμήμα σκιάς μπορεί να μειώσει την απόδοση τους έως και 80%. Απαιτείται λοιπόν σχολαστική αξιολόγηση της περιοχής και προσεκτική επιλογή του τύπου εγκατάστασης προκειμένου να εξασφαλίσουμε την βέλτιστη απόδοση.

Ανεπιθύμητη σκίαση μπορούμε να έχουμε από δέντρα, θάμνους, κτίρια γειτονικά ΦΒ πλαίσια κολώνες κ.λ.π. Η σκίαση αποτελεί μεγαλύτερο πρόβλημα κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών όταν το ύψος του ηλίου είναι χαμηλό και οι σκιές γίνονται μακρύτερες. Για τις περιοχές στο βόριο ημισφαίριο οι υπολογισμοί της χειρότερης σκίασης γίνονται για την 22^η Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο).

Ένας **πρακτικός τρόπος** για να αποφύγουμε τη σκίαση των πλαισίων είναι να εξασφαλίσουμε ότι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ αυτών και του εμποδίου είναι διπλάσια του ύψους του εμποδίου.

Μία σωστά επιλεγμένη περιοχή εγκατάστασης θα πρέπει να μη σκιάζεται, τουλάχιστον, από τις 9:00 π.μ. έως τις 03:00 μ.μ., για οποιαδήποτε μέρα του χρόνου. Το χρονικό αυτό περιθώριο των 6 ωρών ονομάζεται **ηλιακό παράθυρο**.

Η αξιολόγηση μίας περιοχής μπορεί να γίνει εύκολα με την βοήθεια του ηλιακού χάρτη της περιοχής, μιας πυξίδας και ενός εξάντα που είναι όργανο μέτρησης του ύψους ενός εμποδίου (σε μοίρες). Για τον σκοπό αυτό ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία.

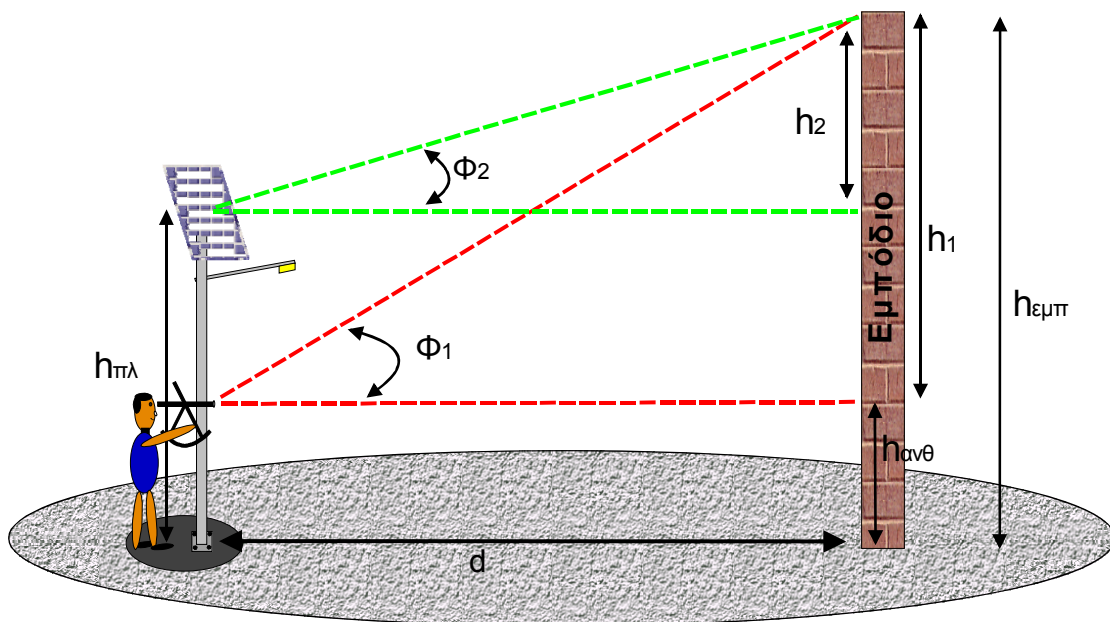
- **Βήμα 1:** Τοποθετούμαστε στο σημείο της επιλεγμένης θέσης εγκατάστασης της ΦΒ συστοιχίας.
- **Βήμα 2:** Χρησιμοποιούμε την πυξίδα που δείχνει πάντοτε το μαγνητικό Βορρά και προσδιορίζουμε την ευθεία Βορρά – Νότου. Τοποθετούμε σε όσο γίνεται πιο μεγάλη απόσταση από την προτεινόμενη θέση, μια ράβδο η οποία μας υποδηλώνει τον Νότο.
- **Βήμα 3:** Χρησιμοποιώντας τον εξάντα, προσδιορίζουμε για καθένα από τα εμπόδια από την Ανατολή μέχρι τη Δύση, την αζιμουθιακή γωνία των χαρακτηριστικών του σημείων από τη ράβδο. Θεωρούμε τα εμπόδια ανατολικά της ράβδου με αρνητική αζιμουθιακή γωνία και τα εμπόδια δυτικά της ράβδου με θετική γωνία.

- **Βήμα 4:** Χρησιμοποιώντας πάλι τον εξάντα και ξεκινώντας από την Ανατολή προς την Δύση μετράμε από το επίπεδο του ματιού, το ύψος (Elevation) των ίδιων σημείων κάθε εμποδίου, των οποίων τις αζιμουθιακές γωνίες προσδιορίσαμε προηγουμένως.
- **Βήμα 5:** Μετράμε την απόσταση των προηγούμενων σημείων των εμποδίων από το σημείο της επιλεγμένης θέσης.

Στη συνέχεια κατασκευάζουμε το διάγραμμα οπτικού πεδίου, σε συντεταγμένες αζιμουθίου-ύψους, στο οποίο αποτυπώνουμε τα σημεία των εμποδίων που αναφερθήκαμε προηγουμένως, με αναγωγή των αποτελεσμάτων από τη θέση του ματιού στη θέση του ΦΒ πλαισίου, δηλαδή, στα 5 m. Επειδή οι αζιμουθιακές γωνίες των μετρήσεων είχαν αναφορά το νότο, γίνεται αναγωγή τους ως προς το Βορρά, με βάση την απλή σχέση

$$\alpha_{\text{Βορρά}} = 180 + \alpha_{\text{Νότου}} \quad (1)$$

Στο ίδιο διάγραμμα ενσωματώνουμε τις χαρακτηριστικές ημερήσιες τροχιές του ηλίου σε χαρακτηριστικές ημέρες μέσα στο έτος και συγκεκριμένα, αυτές που αντιστοιχούν στις θέσεις των ισημεριών και ηλιοστασίων (22 Δεκεμβρίου-21 Ιουνίου-21 Μαρτίου-22 Σεπτεμβρίου). Η σημαντική περίοδος που ενδιαφέρει για την εξέταση της επίπτωσης της σκίασης των εμποδίων στο ΦΒ πλαίσιο (θεωρώντας το σημειακό), είναι περί το χειμερινό ηλιοστάσιο.



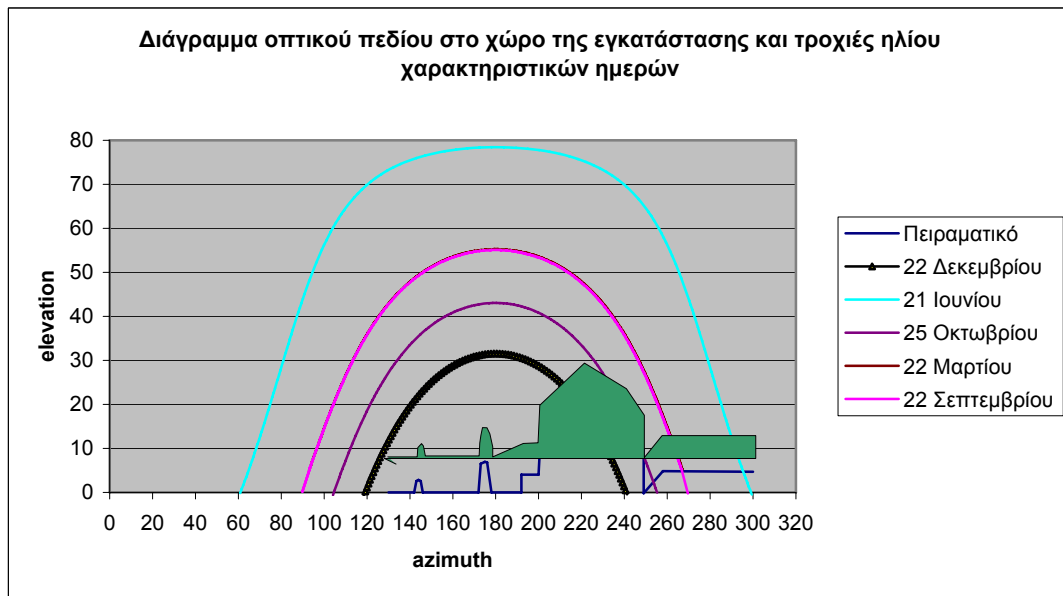
Σχήμα 5

Με βάση το σχήμα 5 κάνουμε την αναγωγή των μετρήσεων από τον ύψος του ματιού μας στο ύψος του ΦΒ πλαισίου χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις:

$$h_1 = d \cdot \tan(\Phi_1) \quad (2)$$

$$\Phi_2 = \tan^{-1}\left(\frac{h_2}{d}\right) \quad (3)$$

Με την κορδέλα μετράμε την απόσταση d και με τον εξάντα μετράμε την γωνία Φ_1 . Υπολογίζουμε το h_1 με τη σχέση (2) και προσθέτουμε το ύψος που μετράμε με τον εξάντα δηλαδή από το ύψος του ματιού του ανθρώπου $h_{ανθ}$ και βρίσκουμε το ολικό ύψος του εμποδίου. Αφαιρώντας το ύψος που είναι τοποθετημένο το ΦΒ πλαίσιο $h_{πλ}$ βρίσκουμε το h_2 και χρησιμοποιώντας την σχέση (3) βρίσκουμε το ύψος του εμποδίου από το ύψος του ΦΒ πλαισίου.



Χαρακτηριστικές ημερήσιες τροχιές του ηλίου και διάγραμμα οπτικού πεδίου

Από το προηγούμενο διάγραμμα προκύπτουν οι χρονικές στιγμές που προσδιορίζουν τη διάρκεια σκίασης του πλαισίου. Παρατηρούμε ότι η επίδραση των εμποδίων αρχίζει από τις 25 Οκτωβρίου μέχρι στις 25 Φεβρουαρίου, με μέγιστη επίδραση στις 22 Δεκεμβρίου. Επίσης βλέπουμε ότι η χρονική στιγμή που αρχίζει η σκίαση στις 22 Δεκεμβρίου είναι στις 14:57. Στη συνέχεια θέλουμε να υπολογίσουμε τι ποσοστό της ενέργειας που χάνουμε λόγω σκίασης των εμποδίων. Πήραμε πραγματικές μετρήσεις

ολικής πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας στις 18 Δεκεμβρίου στο οριζόντιο επίπεδο. Επειδή το ΦΒ πλαίσιο θα τοποθετηθεί σε γωνία κλίσης 45° κάναμε αναγωγή των μετρήσεων από οριζόντιο στο κεκλιμένο αυτό επίπεδο, χρησιμοποιώντας το μοντέλο των Hay and Davies².

Αφού αναγάγαμε τις μετρήσεις υπολογίσαμε την ημερήσια ενεργειακή απολαβή ηλιακής ακτινοβολίας της συγκεκριμένης ημέρας χωρίς την επίδραση των εμποδίων και την ημερήσια ενεργειακή απολαβή ηλιακής ακτινοβολίας που χάνουμε λόγω των εμποδίων. Αφού κάνουμε τον λόγο αυτών των δυο ενεργειών βρίσκουμε το ποσοστό της ενέργειας που χάνουμε λόγω της σκίασης του πλαισίου από τα εμπόδια.

$$E_{\text{loss}} \% = \frac{E_{\text{loss}}}{E} \cdot 100\% = 18,2\%$$

Το παραπάνω ποσοστό αναφέρεται στην ενέργεια που χάνουμε από την απευθείας ηλιακή ακτινοβολία λόγω των εμποδίων. Αν θέλουμε να εκφράσουμε και το ποσοστό της διάχυτης ακτινοβολίας που χάνουμε λόγω των εμποδίων προσεγγιστικά είναι περίπου 2% της ολικής.

Άρα προσεγγιστικά το ολικό ποσοστό που χάνουμε από την επίδραση των εμποδίων είναι:

$$\alpha = 20\%$$

Για να υπολογίσουμε τις μέρες συννεφιάς που καλύπτει το ΦΒ σύστημα, λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση που προκύπτει με την επίδραση των εμποδίων χρησιμοποιούμε τη γνωστή σχέση για τον υπολογισμό του P_p όπως αυτό αναφέρθηκε στη παράγραφο III, θέτοντας όπου H_t το $(1-\alpha) \cdot H_t$ και όπου $P_p=87W$:

$$n = N \cdot \left(1 - \frac{G_{\text{stc}} \cdot m \cdot E_{\lambda}}{n_e \cdot PR_{\sigma} \cdot P_p \cdot H_t \cdot (1-\alpha)} \right) = 31 \cdot \left(1 - \frac{1000 \cdot 1 \cdot 135}{0,78 \cdot 0,867 \cdot 87 \cdot 3100 \cdot 0,8} \right) \Rightarrow$$

$$n=2,3 \text{ μέρες συννεφιάς}$$

Άρα συμπεραίνουμε ότι στην δυσμενέστερη ημέρα του έτους οι καλυπτόμενες μέρες συννεφιάς μειώθηκαν από 5 σε 2,3, λόγω της επίδρασης των εμποδίων.

² Βιβλίο Φωτοβολταϊκα Συστήματα 2^η έκδοση Ι.Ε. Φραγκιαδάκης παράρτημα Α, Αναγωγή μετρήσεων από το οριζόντιο σε κεκλιμένο επίπεδο.

V. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ- ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΤΗΣ

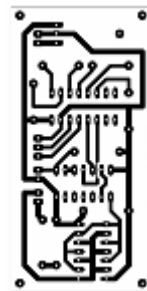
1. Μέθοδοι κατασκευής τυπωμένων κυκλωμάτων

Εδώ θα περιγράψουμε πως σχηματίζονται οι απαραίτητοι χαλκοδιαδρόμοι μέσω των οποίων πραγματοποιούνται οι ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων. Θα αναφερθούμε εκτενώς στα στάδια που πρέπει να ακολουθήσει ο ερασιτέχνης αλλά και επαγγελματίας ηλεκτρονικός, ώστε ξεκινώντας από το θεωρητικό διάγραμμα που έχει σχεδιάσει σε ένα χαρτί να καταλήξει σε αυτό που είναι γνωστό ως τυπωμένο κύκλωμα. Θα μάθετε ακόμη πως να κατασκευάζεται οποιαδήποτε πλακέτα μονής ή διπλής όψης με απλό και εύκολο τρόπο. Και όλα αυτά ακολουθώντας τις οδηγίες που σας δίνουμε παρακάτω.

Για να υλοποιηθεί ένα οποιοδήποτε τυπωμένο κύκλωμα θα πρέπει να ξεκινήσουμε από την σχεδίαση των γραμμών διασύνδεσης των εξαρτημάτων, να προχωρήσουμε στην μεταφορά τους σε φιλμ και να τελειώσουμε με την αποχάλκωση και το τρύπημα της πλακέτας. Καταρχήν θα μιλήσουμε συνοπτικά για τα στάδια κατασκευής της πλακέτας. Στην συνέχεια θα αναλύσουμε το κάθε ένα από αυτά εκτενέστερα χρησιμοποιώντας φωτογραφίες και σχέδια.

Η σχεδίαση του τυπωμένου κυκλώματος μπορεί να γίνει με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- Με ειδικό λεπτό μαρκαδόρο ή ραπιδογράφο επάνω σε ριζόχαρτο ή απλό λευκό χαρτί.
- Με ειδικά σχεδιαστικά εργαλεία (στένσιλ) που περιέχουν νησίδες και γραμμές επάνω σε ριζόχαρτο η από λευκό χαρτί.
- Με ειδικά σχεδιαστικά αυτομεταφερόμενα αυτοκόλλητα (letraset, magictype κλπ) σε ριζόχαρτο, λευκό χαρτί, και σε ειδική διαφανή ζελατίνα.
- Με την βοήθεια σχεδιαστικών προγραμμάτων που τρέχουν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, τα γνωστά προγράμματα CAD, τα οποία προσφέρουν σημαντικές ευκολίες και πλήθος δυνατοτήτων.



Η μεταφορά του σχεδίου

Η μεταφορά του σχεδίου του τυπωμένου κυκλώματος επάνω στην πλακέτα μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους οι κυριότεροι από τους οποίους είναι:

- Με απευθείας σχεδίαση των γραμμών με ειδικό μαρκαδόρο ανεξίτηλης μελάνης πάνω στην χαλκωμένη επιφάνεια της πλακέτας. Ο τρόπος αυτός κρίνεται ιδανικός για απλές και μικρών διαστάσεων πλακέτες ή πρόχειρα δοκίμια που πρέπει να εκτυπωθούν αμέσως.
- Με ειδικά αυτομεταφερόμενα αυτοκόλλητα στοιχεία όπως ταινίες και νησίδες που κολλιούνται πάνω στην χαλκωμένη επιφάνεια.
- Με ειδικές αυτοκόλλητες μακέτες τυπωμένων που προσφέρονται από ορισμένα περιοδικά.
- Με την μέθοδο που προβλέπει χρήση φωτοευαίσθητου ειδικού σπρέι επικάλυψης της πλακέτας (όπως το γνωστό Positiv 20 της γερμανικής εταιρίας Kodakt Chemie ή το Photoresist της αγγλικής εταιρίας Electrolube) και φιλμ.
- Με ειδικές έτοιμες φωτοευαίσθητες πλακέτες όπως π.χ της γερμανικής εταιρίας Bungard. Οι πλακέτες αυτές αν και είναι ακριβότερες από τις απλές πλακέτες έχουν το πλεονέκτημα της τέλει και ομοιόμορφης επικάλυψης της πλακέτας με φωτοευαίσθητο υλικό, πράγμα που εγγυάται την τέλεια μεταφορά του σχεδίου.

Οι δύο τελευταίες μέθοδοι σε συνδυασμό με την σχεδίαση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή δίνουν πλακέτες υψηλών τεχνικών προδιαγραφών.

Έκθεση της πλακέτας στο φως

Η έκθεση της πλακέτας σε υπεριώδες φως γίνεται για να καούν τα σημεία εκείνα που αποτελούν το τελικό σχέδιο του τυπωμένου κυκλώματος και θα πρέπει να αποτυπωθούν στην πλακέτα. Πρόκειται για μια διαδικασία παραπλήσια με εκείνη της εμφάνισης φωτογραφικού φιλμ. Η έκθεση της πλακέτας στο υπεριώδες φως γίνεται στο εσωτερικό ενός



ειδικά διαμορφωμένου κουτιού όπου μια ειδική λυχνία ατμών υδραργύρου ισχύος 125 W αναλαμβάνει να μεταφέρει το σχέδιο του τυπωμένου στην επιφάνεια της πλακέτας. Για να γίνει δυνατό αυτό θα πρέπει η φωτοευαίσθητη πλακέτα που επάνω της εφάπτεται το φιλμ με την βοήθεια ενός κομματιού τζαμιού να τοποθετηθεί σε απόσταση 30 εκατοστών από την λάμπα υπεριώδων.

Στην συνέχεια θα πρέπει να εκτεθεί για 4 έως 10 λεπτά ανάλογα με το είδος του φιλμ (ζελατίνα, ριζόχαρτο ή άλλο διαφανές χαρτί) και ανάλογα την φωτοευαίσθητη επιφάνεια της πλακέτας. Σημειώστε ότι η υπεριώδης ακτινοβολία είναι **ΠΟΛΥ ΒΛΑΒΕΡΗ** για τα μάτια και **δεν πρέπει ποτέ να την κοιτάτε.**

Εμφάνιση

Η εμφάνιση είναι η πιο λεπτή διαδικασία γιατί απαιτεί πείρα και υπομονή. Γίνεται με την βοήθεια ειδικού διαλύματος 7-10 gr καυστικής σόδας (NaOH) σε ένα λίτρο νερού. Μέσα σε αυτό εμβαπτίζεται η προς εμφάνιση πλακέτα για 1-2 λεπτά της ώρας. Μετά από αυτόν τον χρόνο γίνεται ορατό το σχέδιο που θα αποτελέσει το τελικό ηλεκτρονικό διάγραμμα των συνδέσεων. Το διάλυμα αυτό γίνεται πυκνότερο αν προστεθεί παραπάνω καυστική σόδα. Φυσικά αυτό θα το κάνετε εφόσον το πάχος της φωτοευαίσθητης επιφάνειας είναι μεγαλύτερο από το συνηθισμένο. Προσοχή: η εργασία αυτή επιβάλλεται να γίνεται με πλαστικά γάντια και μεγάλη προσοχή. Η καυστική σόδα είναι επικίνδυνη όταν έρχεται σε επαφή με το δέρμα.



Η αποχάλκωση

Η ώρα της αποχάλκωσης είναι η πιο ιερή για το ερασιτέχνη που φτιάχνει την πρώτη του πλακέτα, αφού αυτήν την στιγμή βλέπει τους κόπους του να ανταμείβονται. Σίγουρα δεν είναι λίγο το να βλέπεις την πλακέτα να δημιουργείται μπροστά στα μάτια σου. Η αποχάλκωση μπορεί να γίνει με τέσσερις τρόπους:

- Με διάλυμα άνυδρου χλωριούχου σιδήρου σε αναλογία 1:2 σε νερό
- Με διάλυμα ένυδρου χλωριούχου σιδήρου σε αναλογία 1:1 σε νερό

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

- Με διάλυμα υπερθειϊκού άλατος αμμωνίας σε αναλογία 4:10 σε νερό σε θερμοκρασία 40°C
- Με διάλυμα υδροχλωρικού οξέως (2 μέρη) υπεροξειδίου του υδρογόνου (περιντρόλ 1 μέρος) και νερό (4 μέρη)

Προσοχή: το διάλυμα εκλύει επικίνδυνους ατμούς για τα μάτια αλλά και για την αναπνοή. Για αυτόν τον λόγο η αποχάλκωση επιβάλλεται να γίνεται σε ανοικτό χώρο (αυλή, ταράτσα κλπ.) και ποτέ σε υπόγειο ή σε χώρο χωρίς καλό εξαερισμό. Η πιο ασφαλής αν και αργή μέθοδος είναι η δεύτερη. Παρουσιάζει το μειονέκτημα όμως ότι όπου πέσει αυτό το διάλυμα λερώνει και δεν φεύγει με τίποτα ή μάλλον μέχρι πρόσφατα δεν καθάριζε με τίποτα διότι πλέον υπάρχει στην αγορά μια σκόνη της εταιρία Bungard που θα σώσει το αγαπημένο σας πουκάμισο από την μετατροπή του σε ξεσκονόπανο. Ανεξάρτητα από αυτό είναι καλό να φοράτε παλιά ρούχα και να αποφύγετε να χυθεί το διάλυμα στο πάτωμα ή στο δέρμα σας. Όλα τα παραπάνω υλικά μπορείτε να τα βρείτε σε οποιοδήποτε κατάστημα χημικών προϊόντων. Μερικά ίσως τα βρείτε και σε καταστήματα ηλεκτρονικών.

Το τρύπημα της πλακέτας

Γίνεται με ειδικά μικροδράπανα που δέχονται μικρά τρυπανάκια 0,5 - 3mm. Στην πράξη χρησιμοποιούνται τρυπανάκια 0,8 mm για τα IC ολοκληρωμένα και τους αγωγούς των εξαρτημάτων, τρυπανάκια 1mm για ακροδέκτες μεγάλων εξαρτημάτων, 1,2 - 1,3 για τα pins, 1,5 για ρελέ, διακόπτες κλπ και 3mm για τρύπες στήριξης της πλακέτας. Για καλύτερα αποτελέσματα, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ειδική βάση στήριξης για να κεντράρεται καλύτερα τις οπές. Επίσης μπορείτε να χρησιμοποιήσετε ειδικό τροφοδοτικό που έχει την δυνατότητα ρύθμισης των στοφών του δραπάνου αλλά και της ισχύς του.



Τεχνική των κολλήσεων

Το σημαντικότερο στοιχείο για μία επιτυχημένη κατασκευή είναι η κόλληση των εξαρτημάτων επάνω στην πλακέτα. Η εργασία αυτή απαιτεί ταχύτητα, ακρίβεια και επιδεξιότητα που για να αποκτηθούν χρειάζεται εξάσκηση και κάποιο χρόνο. Η ιδέα της συγκόλλησης μεταλλικών ακροδεκτών εξαρτημάτων και καλωδίων πάνω στις χάλκινες πίστες τυπωμένων κυκλωμάτων είναι πολύ απλή: Χρησιμοποιώντας ένα σύρμα από κράμα μολύβδου και ψευδαργύρου την γνωστή μας κόλληση, που λιώνει, με τη βοήθεια της θερμότητας που εκλύεται στη μύτη ενός κολλητηριού και «αγκαλιάζει» τα σημεία συγκόλλησης πετυχαίνουμε μια σταθερή μόνιμη και άριστη ηλεκτρική επαφή.



Αφού πρόκειται να συναρμολογήσουμε τυπωμένα κυκλώματα αρχικά στερεώνουμε την πλακέτα στην κατάλληλη μέγγενη – αναλόγιο, τοποθετούμε τα εξαρτήματα στην πλευρά των εξαρτημάτων - δηλαδή στην επάνω μεριά της πλακέτας - ενώ λυγίζουμε (ανοίγουμε) λίγο τους ακροδέκτες τους στην πλευρά των κολλήσεων – δηλαδή την πλευρά του χαλκού - ώστε να μην μετακινούνται από τη θέση τους. Στη συνέχεια προχωράμε στη κόλληση όλων των εξαρτημάτων στις αντίστοιχες νησίδες του τυπωμένου και κατόπιν κόβουμε τους ακροδέκτες που περισσεύουν με έναν ειδικό κόφτη. Εξαρτήματα που ζεσταίνονται κατά τη λειτουργία του κυκλώματος (αντιστάσεις, δίοδοι κλπ) τοποθετούμε έτσι ώστε το «σώμα» τους να απέχει 2- 5 χιλιοστά από το τυπωμένο κύκλωμα ανάλογα βέβαια με το μέγεθος και την ισχύ τους. Βαριά εξαρτήματα όπως οι μεγάλοι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές πρέπει είτε να στερεώνονται με βιδωτά κολάρα στο τυπωμένο είτε με βενζινοκόλλα, είτε με ειδικές πλαστικές ταινίες στερέωσης τα γνωστά “tie wrap” πριν κολληθούν οι ακροδέκτες τους. Τα τρανζίστορ ισχύος πρώτα στερεώνονται στις κατάλληλες ψήκτρες και κατόπιν γίνεται η κόλληση των ακροδεκτών τους.

Γενικά για την σωστή συγκόλληση θα πρέπει:

- Όλα τα προς συγκόλληση μέρη πρέπει να είναι καθαρά από βρωμίες και οξείδωση.

- Τα εξαρτήματα και το τυπωμένο κύκλωμα πρέπει να είναι σταθερά στερεωμένα.
- Η «μύτη» του κολλητηριού πρέπει να καθορίζεται στον ειδικό σπόγγο πριν από κάθε κόλληση. Προηγουμένως λιώνουμε λίγη κόλληση στη μύτη του κολλητηριού και κατόπιν σκουπίζουμε ελαφρά στον σπόγγο.
- Όλα τα προς συγκόλληση μέταλλα προθερμαίνονται πριν κολληθούν.
- Συνεχίζοντας τη θέρμανση λειώνουμε σύρμα κόλλησης σε τέτοια ποσότητα ώστε να αγκαλιαστεί ολόκληρη η επιφάνεια συγκόλλησης.
- Απομακρύνουμε το κολλητήρι τοποθετώντας το στη βάση του.
- Δεν κινούμε την πλακέτα μέχρι να παγώσει η κόλληση.

2. Επιτηρητής φόρτισης

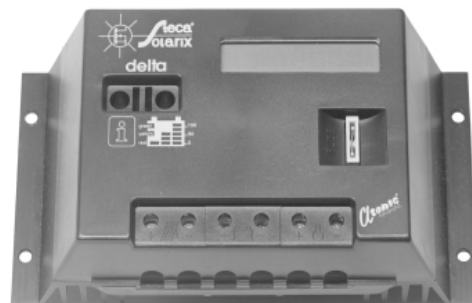
Ο ρόλος του επιτηρητή φόρτισης σ' ένα ΦΒ σύστημα είναι να ελέγχει το επίπεδο φόρτισης του συσσωρευτή. Συγκεκριμένα αναλαμβάνει:

- να σταματάει την φόρτιση του συσσωρευτή όταν αυτός είναι πλήρως φορτισμένη για προστασία από υπερφόρτιση
- να σταματάει την παροχή ενέργειας στο φορτίο από τον συσσωρευτή όταν το επίπεδο φόρτισης αυτής είναι κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο.

Ελέγχοντας αυτούς τους δυο παράγοντες επιτυγχάνουμε μεγάλη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή.

Ο επιτηρητής φόρτισης που χρησιμοποιήσαμε εμείς είναι ο **Steca** ο οποίος έχει δυο καταστάσεις λειτουργίας:

- **Απλή λειτουργία:** Το φορτίο είναι μόνιμα συνδεδεμένο με τον συσσωρευτή και ο επιτηρητής ελέγχει μόνο το επίπεδο φόρτισης. Δηλαδή προστατεύει το συσσωρευτή από πλήρη εκφόρτιση κ από υπερφόρτιση.



- **Νυχτερινή λειτουργία (night function):** Σε αυτή την περίπτωση ο επιτηρητής φόρτισης κάνει κ ότι στην απλή λειτουργία όσον αφορά το συσσωρευτή αλλά επιπλέον μέσω ενός εσωτερικού κυκλώματος αναλαμβάνει να μετράει το

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ρεύμα που βγάζει το ΦΒ πλαίσιο. Όταν η τιμή του ρεύματος κατέβει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο που αυτή τιμή αντιστοιχεί περίπου σε 150W/m² τότε ο επιτηρητής φόρτισης συνδέει το συσσωρευτή με το φορτίο, ενώ όταν είναι πάνω από αυτό το όριο το αποκόπτει.

Εμείς τον επιτηρητή φόρτισης τον ρυθμίσαμε σε **νυχτερινή λειτουργία**. Με αυτή την ρύθμιση μέσω του επιτηρητή αντιλαμβανόμαστε την ανατολή κ την δύση του ηλίου κάθε 24ώρου του χρόνου. Όταν έχουμε μετάβαση από την κατάσταση στην άλλη το αισθητήριο του επιτηρητή σκανδαλίζεται μεταξύ μέρα κ νύχτας κ αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει βλάβη στο φορτίο. Για αυτό το λόγο μας δημιουργήθηκε η ανάγκη κατασκευής εξωτερικής χρονοκαθυστέρησης για την επιβράδυνση της μετάβασης από μέρα σε νύχτα και αντίστροφα.

With LCD	Solarix Alpha Solarix Zeta
Max. Charge Current at 50° C	8 A
Max. Load Current at 50° C	8 A
Max. self consumption	7 mA
Admissable ambient Temperature	-25°... +50° C
Connection Terminal (fine/single wire)	16/25 mm ²
Weight	300 g
Dimensions	188x106x49 mm
Protection	IP 22
System Voltage	12/24 V

Τεχνικά χαρακτηριστικά επιτηρητή φόρτισης STECA ZETA.

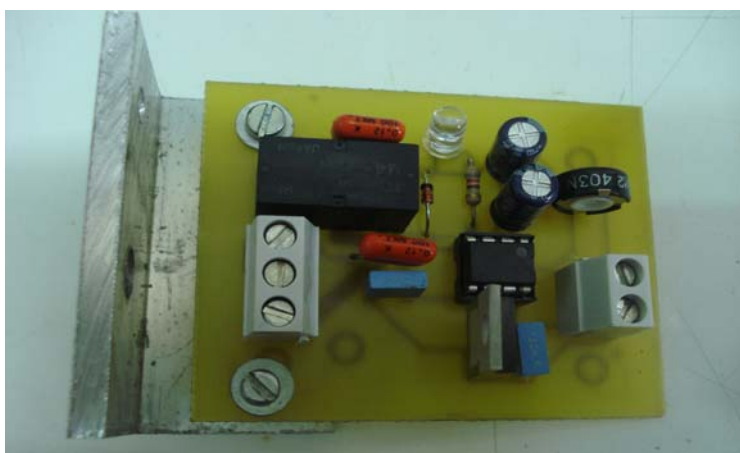
3. Ηλεκτρονικά ρύθμισης επιπέδου φωτισμού λαμπτήρα.

Περιγραφή λειτουργίας κυκλώματος χρονοκαθυστέρησης

Η έξοδος του επιτηρητή φόρτισης είναι συνδεδεμένη με την είσοδο του κυκλώματος χρονοκαθυστέρησης. Όταν ο επιτηρητής αντιληφθεί αλλαγή κατάστασης από μέρα σε νύχτα ενεργοποιεί το κύκλωμα χρονοκαθυστέρησης και αρχίζει να “μετράει” τον

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

χρόνο που του έχουμε ορίσει που στην περίπτωση μας είναι 10 λεπτά. Όταν περάσει ο συγκεκριμένος χρόνος τότε ενεργοποιεί το ρελε του κυκλώματος κλείνει τις επαφές του και συνδέει το συσσωρευτή με την πλακέτα διαμόρφωσης τάσης. Εάν ενώ έχει γίνει μια αλλαγή κατάστασης και αρχίζει να “μετράει” ο χρόνος γίνει και άλλη αλλαγή κατάστασης μέρας νύχτας από τον επιτηρητή τότε το κύκλωμα χρονοκαθυστέρησης αρχίζει να “μετράει” το χρόνο από την αρχή. Άρα με αυτό τον τρόπο το φορτίο θα τροφοδοτηθεί 10 λεπτά μετά τον τελευταίο σκανδαλισμό μέρας νύχτας του επιτηρητή φόρτισης.

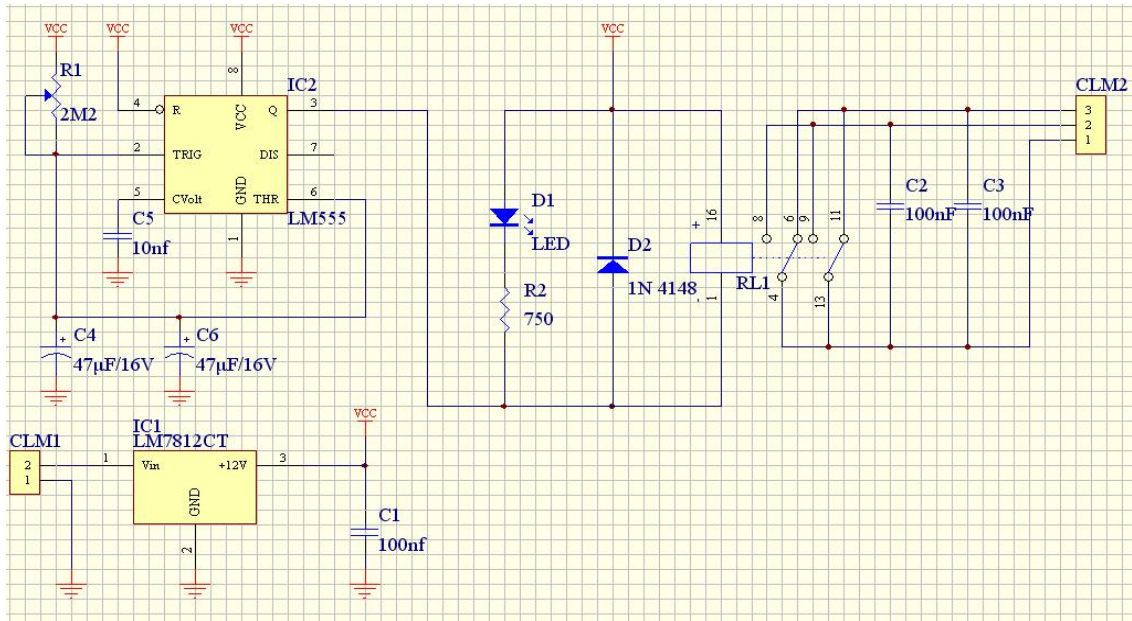


Τελική μορφή πλακέτας χρονοκαθυστέρησης.

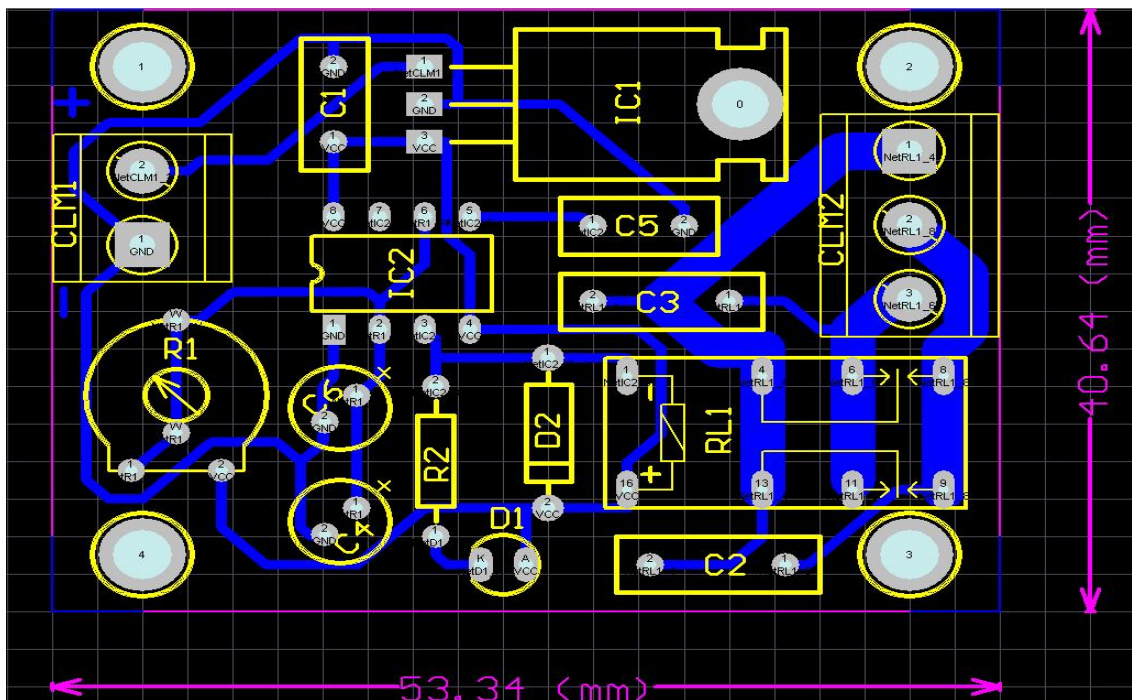
Κατασκευή κυκλώματος χρονοκαθυστέρησης

Παρακάτω βλέπουμε το SCHEMATIC και το PCB του κυκλώματος χρονοκαθυστέρησης όπως αυτά δημιουργήθηκαν από το πρόγραμμα PROTEL99.

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



Schematic κυκλώματος χρονοκαθυστέρησης.



Pcb κυκλώματος χρονοκαθυστέρησης.

◆ Κύκλωμα διαμόρφωσης τάσης

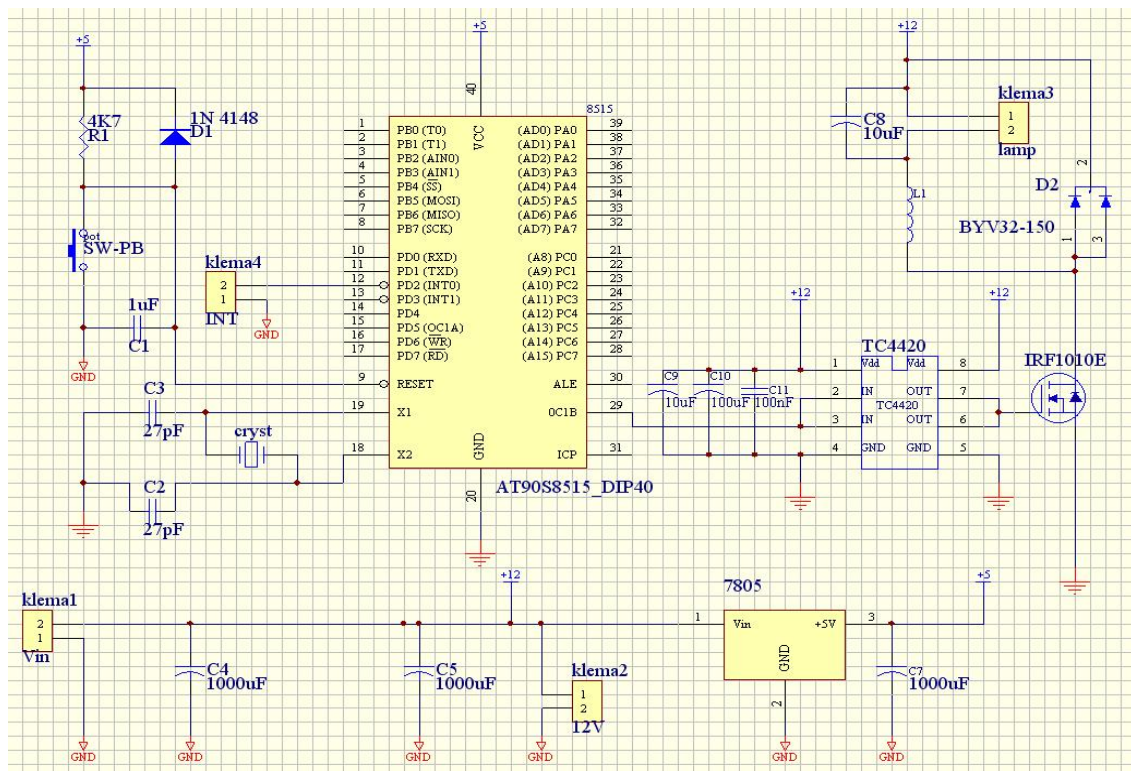
Αυτή η πλακέτα αναλαμβάνει τον έλεγχο της φωτεινότητας του λαμπτήρα. Συγκεκριμένα αφού δεχθεί τροφοδοσία η πλακέτα ανάβει το λαμπτήρα με φωτεινότητα 100% κ αφού περάσει ένα χρονικό διάστημα που εμείς έχουμε

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ορίσει δηλαδή στα 30 sec³ επανέρχεται σε φωτεινότητα 50% χρησιμοποιώντας την P.W.M.(διαμόρφωση του εύρους των παλμών) έξοδο του μικροελεγκτή. Αυτή η κατάσταση θα εξακολουθεί να υπάρχει μέχρι να ενεργοποιηθεί κάποιο από τα δυο αισθητήρια κίνησης. Όταν κάποιο από τα δυο αισθητήρια ενεργοποιηθεί τότε δίνει εντολή στο μικροελεγκτή να επαναφέρει τη φωτεινότητα στο 100% και να τη κρατήσει εκεί για 30 sec από το τελευταίο παλμό των αισθητηρίων θεωρώντας ότι τόσος χρόνος χρειάζεται για να απομακρυνθεί ένας περαστικός. Τώρα σε περίπτωση που κατά την διάρκεια της μέτρησης των 30sec περάσει και δεύτερος περαστικός ο χρόνος των 30sec ξεκινάει από την αρχή.

Έχουμε βάλει και ένα εξωτερικό **RESET** (button) σε περίπτωση “κολλήματος” του μικροελεγκτή το οποίο τον επαναφέρει στην αρχική του κατάσταση.

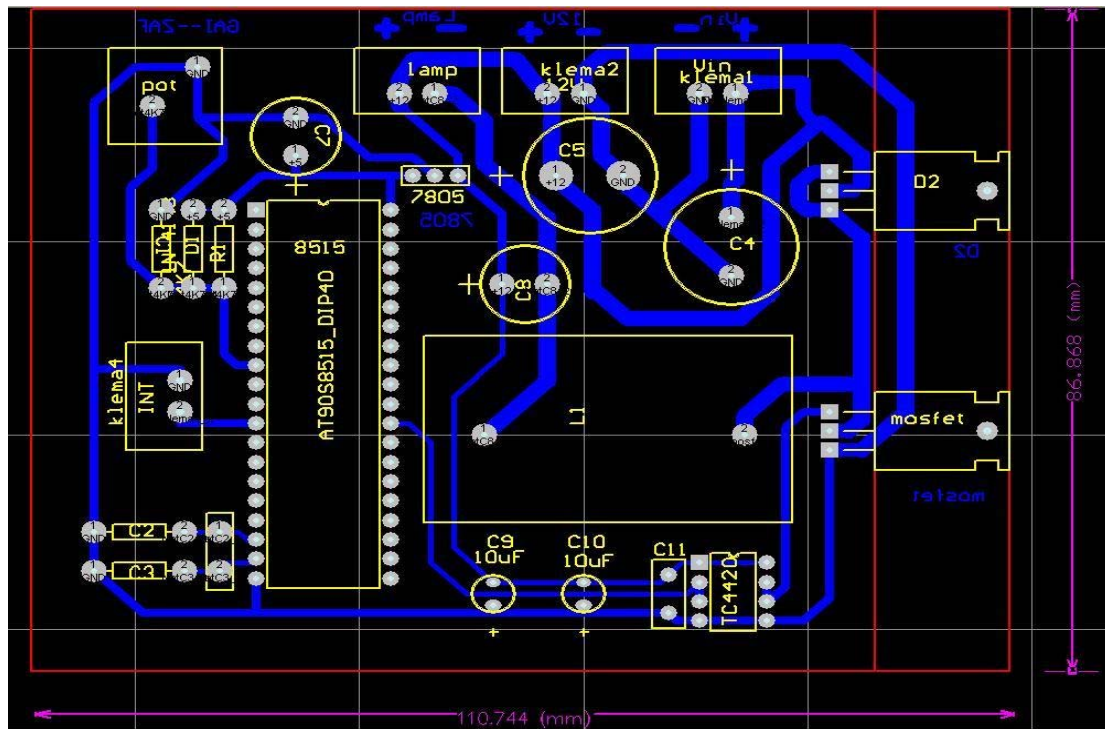
Παρακάτω βλέπουμε το SCHEMATIC και το PCB του κυκλώματος διαμόρφωσης τάσης όπως αυτά δημιουργήθηκαν από το πρόγραμμα **PROTEL 99**.



Schematic κυκλώματος διαμόρφωσης τάσης.

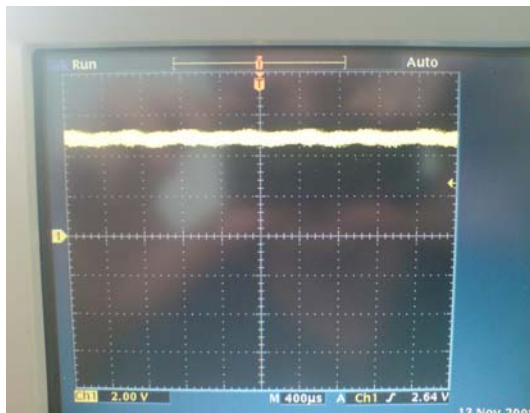
³ Αρχικά χρειαζόμαστε τον λαμπτήρα με 100% φωτεινότητα δηλαδή τροφοδοσία 12V για να καταφέρουμε την έναυση του.

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



Pcb κυκλώματος διαμόρφωσης τάσης

Χρησιμοποιώντας τον παλμογράφο πήραμε τις παρακάτω δύο κυματομορφές για τις δύο χαρακτηριστικές καταστάσεις της P.W.M. εξόδου του μικροελεγκτή.



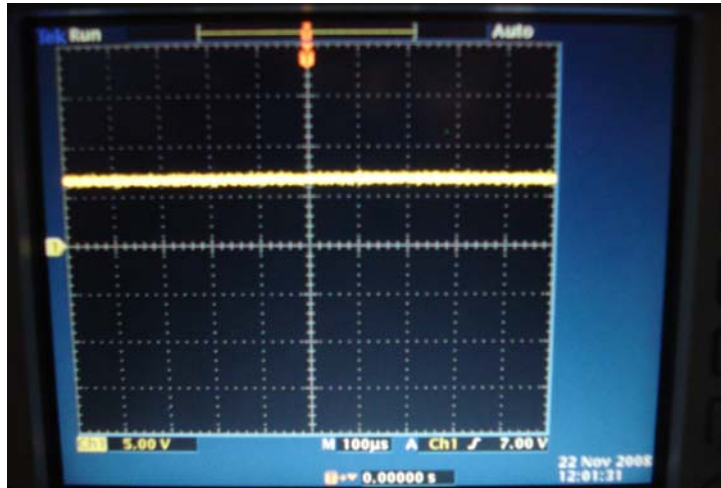
100% φωτεινότητα



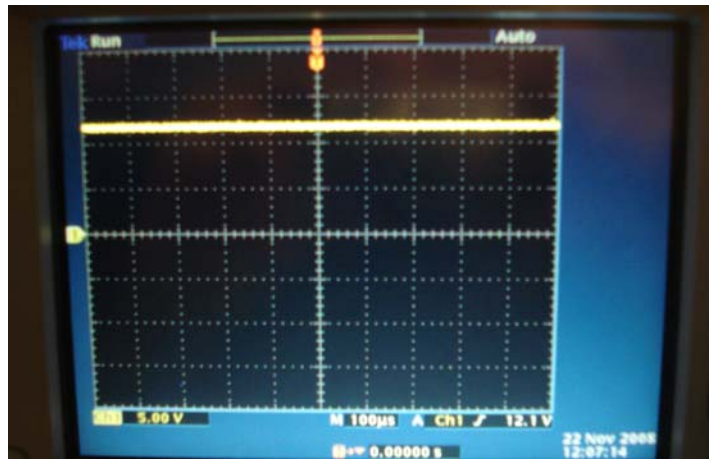
50% φωτεινότητα

Παρακάτω φαίνονται οι κυματομορφές που πήραμε στα άκρα του φορτίου

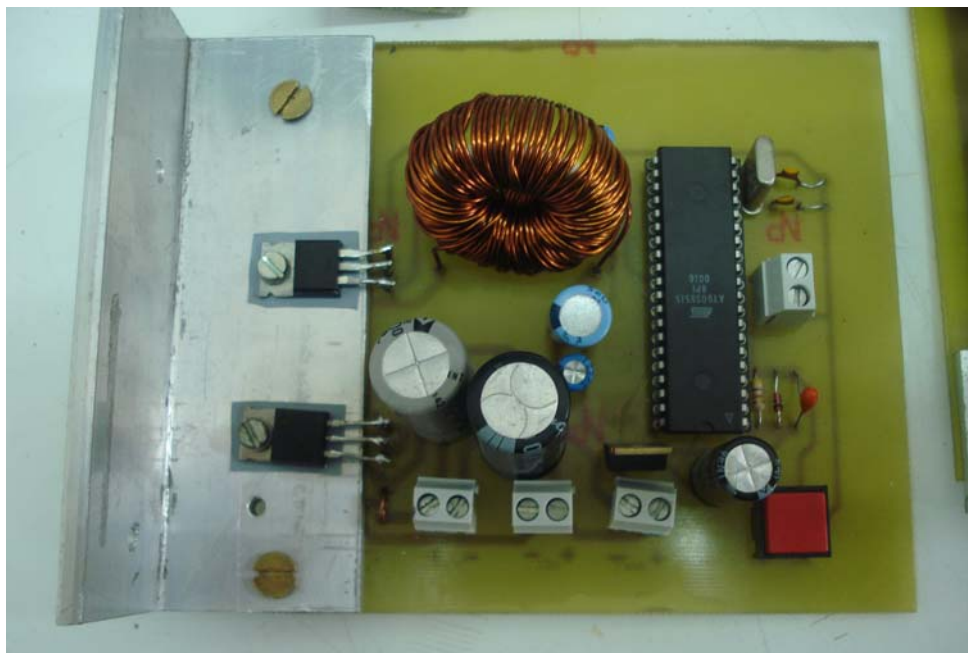
ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



50% φωτεινότητα



100% φωτεινότητα



Τελική μορφή πλακέτας διαμόρφωσης τάσης

4. Αισθητήρες εντοπισμού κίνησης

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήσαμε είναι οι Scantronic 420 οι οποίοι είναι αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ο κάθε ένας είναι ανιχνευτές 90 μοιρών κ με τη διάταξη που τους έχουμε βάλει εμείς ελέγχουμε 180 μοίρες μπροστά από το χώρο της όλης διάταξης και σε ακτίνα 12 μέτρων. Ανιχνεύει οποιοδήποτε αντικείμενο μάζας μεγαλύτερο των 15 κιλών. Ο αισθητήρας διαθέτει μια επαφή κανονικά κλειστή (NC) την οποία την συνδέουμε στο ποδαράκι interrupt του μικροελεγκτή και στο Ground. Οπότε όταν ενεργοποιηθεί ο αισθητήρας το ποδαράκι του μικροελεγκτή το αντιλαμβάνεται και πραγματοποιεί την συνθήκη που έχουμε θέσει στο interrupt. Παρακάτω βλέπουμε το αισθητήριο κίνησης καθώς και το εσωτερικό του μέρος .



Αισθητήριο κίνησης

5. Προγραμματισμός και λειτουργίες του μικροελεγκτή AT90S8515

Ο Μικροελεγκτής AT90S8515 της Atmel

Περιγραφή

Ο AT90S8515 είναι ένας χαμηλής κατανάλωσης COMS, 8-bit μικροελεγκτής βασισμένος στην AVR τεχνολογία και στην αρχιτεκτονική. Εκτελώντας τις περισσότερες από τις 120 εντολές του σε ένα κύκλο ρολογιού ο AT9S08515 επιταχύνει να προσεγγίζει ταχύτητα 1 MIPS (Millions Instructions Per Second) για κάθε MHz επιτρέποντας στους σχεδιαστές να επιτυγχάνουν την καλύτερη δυνατή σχέση ταχύτητας/κατανάλωσης.

Διαθέτει 32 καταχωρήσεις γενικής χρήσης (general purpose registers). Όλοι αυτοί οι καταχωρητές είναι απευθείας συνδεδεμένοι με την αριθμητική λογική μονάδα (ALU Arithmetic Logic Unit), επιτρέποντας την πρόσβαση σε δυο ανεξαρτήτους καταχωρητές με μια εντολή που εκτελείται σε ένα κύκλο ρολογιού. Το αποτέλεσμα εδώ είναι περισσότερος αποδοτικός κώδικας, επιτυγχάνοντας απόδοση μέχρι και δέκα φορές γρηγορότερη από τους συμβατικούς μικροελεγκτές τεχνολογίας CISC (Complex Instruction Set Computer).

Ο AT90S8515 παρουσιάζει τα παρακάτω γενικά χαρακτηριστικά:

8 K μνήμη προγράμματος, 512 bytes μνήμη δεδομένων, μνήμη EEPROM 512 bytes 32 ακίδες εισόδου / εξόδου, 32 καταχωρητές γενικής χρήσης, δυο ευέλικτοι χρονιστές / μετρητές με δυνατότητα σύλληψης και σύγκρισης, διαχείρισης εσωτερικών και εξωτερικών σημάτων διακοπής (interrupts), προγραμματιζόμενο UART, χρονιστής επιτήρησης με δικό του ταλαντωτή και τέλος μια θύρα SPI για τον προγραμματισμό της Flash μνήμης.

Στην κατάσταση αναμονής (Idle mode), η CPU διακόπτει την λειτουργία της διατηρώντας όμως σε ετοιμότητα την SRAM, την θύρα SPI, τους μετρητές / χρονιστές, το UART και την βαθμίδα διαχείρισης σημάτων διακοπής. Στην κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης (Power Down mode) διατηρούνται μονό τα περιεχόμενα των καταχωρητών. Όλες οι υπόλοιπες βαθμίδες τίθενται εκτός λειτουργίας, έως ότου φθάσει ένα σήμα διακοπής ή σήμα εκκίνησης (Reset).

Ο AT90S8515 αποτελεί το προϊόν της συγκατοίκησης μιας CPU τύπου RISC των 8 και μιας μη πτητικής μνήμης Flash. Η κατασκευή του είναι δυνατή με την βοήθεια της τεχνολογίας ολοκλήρωσης υψηλής πυκνότητας μη πτητικών μνημών, που έχει επινοήσει η Atmel. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την εγγραφή της μνήμης Flash πάνω στην πλακέτα που βρίσκεται ο μικροελεγκτής ή εναλλακτικά μέσω ενός οποιουδήποτε προγραμματιστή ικανού να εγγράψει μνήμες αυτής της κατηγορίας.

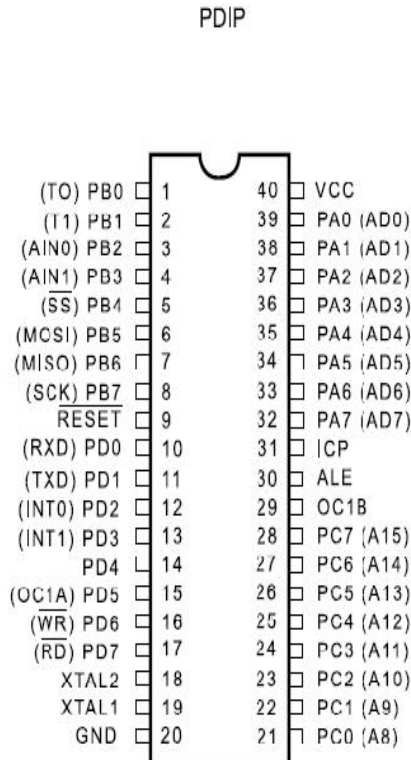
Το αποτέλεσμα του συνδυασμού είναι ένα πανίσχυρο ολοκληρωμένο κύκλωμα, ικανό να ανταποκριθεί σε ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών.

Ο μικροελεγκτής συνοδεύεται από αρκετά εργαλεία ανάπτυξης και προγραμματισμού, μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονται μεταφραστές από γλωσσά C (compilers), συμβολομεταφραστές με ικανότητα μακροεντολών,

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

προσομοιωτές σε επίπεδο λογισμικού ,εξομοιωτές πραγματικού χρόνου και kit αξιολόγησης.

Παρακάτω βλέπουμε το pin-out του AT90S8515:



Τεχνικά χαρακτηριστικά

- AVR Υψηλής απόδοσης και χαμηλής κατανάλωσης , αποτέλεσμα της αρχιτεκτονικής .
- 120 ισχυρές εντολές που οι περισσότερες εκτελούνται σε ένα κύκλο ρολογιού.
- 8K bytes flash μνήμης ,προγραμματιζόμενης πάνω στην πλακέτα .
 - SPI σειριακή διασύνδεση για τον προγραμματισμό της .
 - Διάρκεια: 1000 κύκλοι εγγραφής / διαγραφής.
- 512 bytes μνήμης EEPROM -Διάρκεια 100.000 κύκλοι εγγραφής / διαγραφής
- 512 bytes εσωτερικής SRAM (Static RAM)
- 32 γενικής χρήσης καταχωρητές 1-byte
- 32 προγραμματιζόμενες ακίδες εισόδου / εξόδου
- Προγραμματιζόμενο σειριακό UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) πλήρως αμφίδρομο (full duplex)
- SPI σειριακή διασύνδεση

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

- Τροφοδοσία Vcc: 2.7-6.0 V
- Πλήρης στατική λειτουργία 0-20 MHz
- Ταχύτητα 4 MIPS με κρύσταλλο 4 MHz
- Ένα 8-bit χρονιστή / μετρητή με ανεξάρτητο προδιαιρέτη
- Ένα 16-bit χρονιστή /μετρητή με ανεξάρτητο προδιαιρέτη και λειτουργίες σύγκρισης και σύλληψης
- Διπλή γεννήτρια PWM με επιλεγόμενη ακρίβεια 8 , 9 ή 10 bit
- Υποστήριξη εσωτερικών και εξωτερικών σημάτων διακοπής (interrupt)
- Προγραμματιζόμενος χρονιστής επιτήρησης (Watchdog timer) με ενσωματωμένο ταλαντωτή
- Αναλογικός συγκριτής
- Μικρό ρεύμα σε κατάσταση αναμονής και χαμηλής ισχύος
- Προστασία περιεχομένων μνήμης προγράμματος

Σημασία των ακίδων του 8515:

VCC: Ακίδα τροφοδοσίας GND: Ακίδα αναφοράς (γη)

PortA (PA7.....PA0):

Η θύρα αυτή περιλαμβάνει 8 αμφίδρομες (in/out) ακίδες. Οι ακίδες αυτές μπορούν κατά επιλογή να συνδεθούν εσωτερικά στην τροφοδοσία μέσω αντιστάσεων πρόσδεσης (pull-up resistor) όταν λειτουργούν σαν είσοδοι. Όλες οι ακίδες όταν συμπεριφέρονται σαν έξοδοι έχουν την δυνατότητα να απορροφήσουν ρεύμα 20mA στην LOW κατάσταση και να δώσουν 10mA στην HIGH.

Όταν σεττάρονται σαν είσοδοι και πρέπει να δούν το LOW ενεργοποιούμε τις εσωτερικές αντιστάσεις .Ενώ για να δούν HIGH τοποθετούμε εξωτερικά αντιστάσεις PULL-DOWN. Τέλος η θύρα A χρησιμοποιείτε σαν πολυπλέκτης διευθύνσεων / δεδομένων in / out όταν χρησιμοποιούμε εξωτερική μνήμη.

PORTB (PB7....PB0):

Η θύρα αυτή περιλαμβάνει 8 αμφίδρομες ακίδες. Οι ακίδες αυτές μπορούν κατά επιλογή να συνδεθούν εσωτερικά στην τροφοδοσία μέσω αντιστάσεων πρόσδεσης (pull-up resistor) όταν λειτουργούν σαν είσοδοι. Όλες οι ακίδες όταν συμπεριφέρονται u963 σαν έξοδοι έχουν την δυνατότητα να απορροφήσουν

ρεύμα 20mA στην LOW κατάσταση και να δώσουν 10mA στην HIGH. Όταν σεττάρονται σαν είσοδοι και πρέπει να δούν το LOW ενεργοποιούμε τις εσωτερικές αντιστάσεις .Ενώ για να δούν HIGH τοποθετούμε εξωτερικά αντιστάσεις PULL-DOWN.Οι PB2 και PB3 οδηγούνται επίσης και στις εισόδους του ενσωματωμένου αναλογικού συγκριτή (μη αναστρέφουσα και αναστρέφουσα αντίστοιχα).Τέλος πολλές από τις ακίδες της θύρας B έχουν και άλλες λειτουργίες που αναφέρονται στο data sheet του μικροελεγκτή.

PORTC (PC7....PC0):

Η θύρα αυτή περιλαμβάνει 8 αμφίδρομες ακίδες. Οι ακίδες αυτές μπορούν κατά επιλογή να συνδεθούν εσωτερικά στην τροφοδοσία μέσω αντιστάσεων πρόσδεσης (pull-up resistor). Όλες οι ακίδες όταν συμπεριφέρονται σαν έξοδοι, έχουν την δυνατότητα να απορροφήσουν ρεύμα 20mA στην LOW κατάσταση και να δώσουν 10mA στην HIGH. Όταν σεττάρονται σαν είσοδοι και πρέπει να δούν το LOW ενεργοποιούμε τις εσωτερικές αντιστάσεις. Ενώ για να δούν HIGH τοποθετούμε εξωτερικά αντιστάσεις PULL-DOWN.Η θύρα C επίσης εξυπηρετεί λειτουργίες σαν έξοδος διευθύνσεων όταν χρησιμοποιείται εξωτερική SRAM.

PORTD (PD7....PD0):

Η θύρα αυτή περιλαμβάνει 8 αμφίδρομες ακίδες. Οι ακίδες αυτές μπορούν κατά επιλογή να συνδεθούν εσωτερικά στην τροφοδοσία μέσω αντιστάσεων πρόσδεσης (pull-up resistor). Όλες οι ακίδες όταν συμπεριφέρονται σαν έξοδοι, έχουν την δυνατότητα να απορροφήσουν ρεύμα 20mA στην LOW κατάσταση και να δώσουν 10mA στην HIGH. Όταν σεττάρονται σαν είσοδοι και πρέπει να δούν το LOW ενεργοποιούμε τις εσωτερικές αντιστάσεις. Ενώ για να δούν HIGH τοποθετούμε εξωτερικά αντιστάσεις PULL-DOWN. Η θύρα D επίσης εξυπηρετεί τις λειτουργίες κάποιων ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που αναφέρονται στο data sheet του μικροελεγκτή.

RESET:

Ακίδα επανεκκίνησης. Ο μικροελεγκτής αρχικοποιείται, όταν επιβληθεί σε αυτήν χαμηλή στάθμη για χρόνο ίσο με δύο κύκλους μηχανής τουλάχιστον, (ο ταλαντωτής της CPU οφείλει να βρίσκεται σε λειτουργία).

XTAL1:

Είσοδος στον εσωτερικό αναστρέφοντα ταλαντωτή και ταυτόχρονα στο σύστημα χρονισμού του μικροελεγκτή.

XTAL2:

Έξοδος του αναστρέφοντα ταλαντωτή.

ICP:

Είναι η ακίδα εισόδου για την λειτουργία της σύλληψης για τον χρονιστή / μετρητή 1.

OC1B:

Είναι η ακίδα εξόδου για την λειτουργία της σύγκρισης για τον χρονιστή / μετρητή 1.

ALE:

Χρησιμοποιείται όταν η εξωτερική μνήμη είναι ενεργοποιημένη. Η ενεργοποίηση του ALE για την μανδάλωση της χαμηλής (low order) στη σειρά διεύθυνσης (8 bits) μέσα σε ένα μανδαλωτή διεύθυνσης κατά τον πρώτο κύκλο προσπέλασης. Τα ίδια pins χρησιμοποιούνται για τα δεδομένα AD0-AD7 κατά την διάρκεια του δεύτερου κύκλου προσπέλασης.

Εξωτερικό reset

Ένα εξωτερικό reset μπορεί να επιτευχθεί εάν δώσουμε Low στο reset pin του μικροελεγκτή, και το διατηρήσουμε εκεί για περίπου δύο κύκλους ρολογιού. Όταν ανερχόμενο στην θετική του ακμή φτάσει την τιμή της Threshold voltage-VRST, ο timer καθυστέρησης που είδαμε προηγουμένως, ενεργοποιείται και πάλι και ο μικροελεγκτής ενεργοποιείται μετά από χρονικό διάστημα tout.

Εξωτερικά Interrupt του μικροελεγκτή AT90S8515 (INT1, INTO)

SREG(STATUS REGISTER)

Bit 7-I (Global Interrupt Enable)

Τοποθετείται στο <<1>> αν θέλουμε να ενεργοποιήσουμε τα Interrupt του μικροελεγκτή. Ο έλεγχος τότε για τα εξωτερικά Interrupt εκτελείται στους Interrupt Mask Register: GIMSK (και αντίστοιχα TIMSK για τα χρονικά Interrupt των timers). Το I bit γίνεται “0” από το Hardware μετά που θα συμβεί ένα Interrupt και σετάρεται <<1>> με την εντολή RETI για να μπορεί να δεχθεί νέα Interrupts. Για να μην πειράζουμε τα υπόλοιπα bit του SREG δίνουμε (SREG |=OX80;)

GIMSK (General Interrupt Mask Register):

7	6	5	4	3	2	1	0
INT1	INT0	-	-	-	-	-	-

Bit 7-INT1 (External Interrupt Request 1 enable):

Όταν το INT 1 Bit τοποθετηθεί <<1>> και το 1 bit του SREG είναι και αυτό <<1>> τότε είναι ενεργοποιημένη η είσοδος εξωτερικού INT 1 που βρίσκεται στην πόρτα D (D3).

GIMSK \ = 0X80 or 0X40 for INTO Input.

MCUCR (MCU General control register):

Ο παλμός που εισέρχεται στο πόδι αυτό μπορεί να επιδράσει στον μικροελεγκτή σαν διακοπή, με την αιχμή ανόδου, καθόδου ή και με επίπεδο τάσης του. Για το λόγο αυτό σετάρουμε με '1s' τον καταχωρητή MCUCR στα bit ISC11 και ISC10 για το INT1 και στα ISC01 και ISC00 για το INTO.

7	6	5	4	3	2	1	0
SRE	SRW	SE	SM	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00

ISC 11 ISC 1 0

0	0	low level of INT 1
0	0	not used
1	1	Falling edge of INT1
1	1	Rising edge of INT1

Στην πραγματικότητα μπορεί να συμβεί Interrupt σε ένα πόδι (INT1, INTO) ακόμα και αν το pin έχει τοποθετηθεί σαν έξοδος.

Bit6-INT0 (External Interrupt Request 1 enable): Όμοια με το INT1 παραπάνω .

Χρονιστές / Μετρητές (Timers / counters)

Ο AT90S8515 παρέχει δύο γενικής χρήσης χρονιστές / μετρητές (timers / counters). Έναν 8 bit και έναν 16 bit. Ο καθένας ξεχωριστά διαθέτει ρύθμιση με την χρήση του ίδιου 10 bit timer που λειτουργεί ως προδιαιρέτης (prescaler). Έτσι ο χρονισμός με τον οποίο μετράνε ως timers μπορεί να είναι CK, CK/8, CK/64, CK/256, CK/1024.

Ο 16-bit χρονιστής έχει επιπλέον λειτουργίες σύλληψης και σύγκρισης ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν 8, 9 και 10 bit διαμορφωτής εύρους παλμών (Pulse Width Modulator) και μάλιστα διπλός, δηλαδή έχουμε δύο διαμορφωτές εύρους παλμών .

Οι συχνότητες που μπορούμε να πάρουμε για την διαμόρφωση του εύρους παλμών είναι συγκεκριμένες και φαίνονται παρακάτω . Βέβαια με την βοήθεια

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

προγραμματισμού μπορούμε να ρυθμίσουμε εμείς και λειτουργία , σε άλλες συχνότητες.

8-bit

	CK	CK/8	CK/64	CK/256	CK/1024
F pwm	7,843KHz	980,392Hz	122,549Hz	30,637Hz	7,659Hz
Ts	127,5μsec	1020μsec	8160μsec	32,64msec	3056msec

9-bit

	CK	CK/8	CK/64	CK/256	CK/1024
F pwm	3,914KHz	489,237Hz	61,155Hz	15,289Hz	3,822Hz
Ts	255,433μsec	2043,999msec	16,352msec	65,407ms	261,643msec

10-bit

	CK	CK/8	CK/64	CK/256	CK/1024
F pwm	1,955KHz	244,379Hz	30,547Hz	7,637Hz	1,909Hz
Ts	511,590μsec	4092,044μsec	32,736msec	135,74msec	523,834msec

Ts: η συνολική περίοδος του κάθε παλμού.

Ως counters μπορούν να μετρήσουν εξωτερικά γεγονότα , με την βοήθεια των εξωτερικών pin (T1, T0) που βρίσκονται στην θύρα B. Εάν θέλουμε να μετρήσουμε εξωτερικούς παλμούς ή όπως αλλιώς λέμε «εξωτερικό ρολόϊ » τότε για να πετύχουμε σωστή δειγματοληψία θα πρέπει ο ελάχιστος χρόνος μεταξύ δύο μεταβάσεων του « εξωτερικού ρολογιού » να είναι το λιγότερο ίσος με μια περίοδο ρολογιού με το οποίο χρονίζεται η CPU του μικροελεγκτή μας. Το σήμα από το « εξωτερικό ρολόϊ » δειγματοληπτείται στην ανερχόμενη ακμή του ρολογιού που χρονίζει τον μικροελεγκτή μας .

Χρονικά Interrupt του μικροελεγκτή AT90S8515 με TIMERS

Ο Timer/Counter1 TCNT1 (16-Bit)

Ο Timer/Counter1 μπορεί να μετρά χρόνο (λειτουργία timer) ή να απαριθμεί γεγονότα (παλμούς) που έρχονται στο εξωτερικό πόδι T1 του μικροελεγκτή (λειτουργία counter). Όταν λειτουργεί σαν χρονιστής μπορεί να πάρει Clock από τον

κρύσταλλο του μικροελεγκτή ή και μικρότερο Clock (prescaled CK) Μετά από 65535 βήματα αύξησης γεμίζει και λέμε ότι υπερχειλίζει . Τη στιγμή αυτή μπορεί να δώσει ένα Interrupt στον μικροελεγκτή , οπότε διαπιστώνουμε ότι έχει περάσει ένα υπολογισμένο χρονικό διάστημα . Βέβαια μπορεί να σταματήσει να μετρά (ή και να ξεκινήσει να μετρά από κάποια τιμή > 0) αν χρησιμοποιήσουμε τους καταχωρητές ελέγχου του TCCR1A και TCCR1B .Η ενεργοποίηση / απενεργοποίηση του timer / counter1 εξαρτάται από τον TIMSK.

SREG (Status Register): Ενεργοποιούμε όμοια με τα εξωτερικά Interrupt

TIMSK (Timer/counter Interrupt Mask Register):

7	6	5	4	3	2	1	0
TOIE1	OCIE1A	OCIE1B	-	TICIE1	-	TOIE0	-

Bit7/TOIE1 (Timer/counter1 Overflow Interrupt Enable)

Όταν το bit αυτό σεταριστεί στο «1» και το 1-bit του SRG είναι 1 τότε το Interrupt της υπερχειλίσσης του timer/counter1 υπερχειλίζει μετρώντας χρόνο ή γεγονότα από το πόδι τότε εκτελείται το Interrupt που βρίσκεται στη διεύθυνση \$006 της Flash memory και σετάρεται αυτόματα η σημαία TOV1 (BIT7) του καταχωρητή σημαιών TIFR.

Bit1-TOIE0 (Timer/counter0 Overflow Interrupt Enable)

Παρόμοια με το προηγούμενο bit 7, αλλά για τον Timer/counter0.

TCCR1B (Timer / Counter1 Control Register B):

7	6	5	4	3	2	1	0
ICNC1	ICES1	-	-	CTC1	CS12	CS11	CS10

Bits 2,1,0-CS12, CS11, CS10: Επιλογή συχνότητας ρολογιού

Κάθε Timer είναι με βάση το CLK του ρολογιού του μικροελεγκτή .Αν το CLK του ρολογιού είναι 4MHz τότε το βήμα αύξησης του Timer είναι: $1/(4\text{MHz})=0,25\mu\text{sec}$. Επομένως αν ο Timer είναι 16 bit, για να υπερχειλίζει θα κάνει 65535 βήματα αύξησης x

Στη περίπτωση που θέλουμε να υπερχειλίζει πιο αργά , επιλέγουμε χαμηλότερη συχνότητα ρολογιού οπότε με CK/64 το βήμα είναι πιο αργό , δηλαδή 16 μsec και θα υπερχειλίσει αργότερα , δηλαδή σε 1,048576 sec.

Ο TCNT1 είναι ένας Up-Counter 16 Bit με δυνατότητα Read/Write. Αν του έχουμε γράψει μια τιμή και τον ενεργοποιήσουμε, τότε συνεχίζει από την τιμή α΄θη να μετρά μέχρι να υπερχειλίσει . Στην πραγματικότητα αποτελείται από δύο 8bit READ/WRITE Registers (TCNT1L και TCNT1H) που γράφονται ξεχωριστά από τον μικροελεγκτή με πρώτο πάντα τον TCNT1H ενώ διαβάζονται με πρώτο πάντα τον TCNT1L.

Όταν λειτουργεί σαν counter το εξωτερικό σήμα λαμβάνεται από το Pin T1 στην ανερχόμενη αιχμή του παλμού εισόδου.

Ο Timer/Counter0 (TCNT0) 8 -Bit

Ο Timer/counter 0 μπορεί να μετρά χρόνο (λειτουργία timer) ή να απαριθμεί γεγονότα (παλμούς) που έρχονται στο εξωτερικό πόδι T0 του μικροελεγκτή (λειτουργία counter).

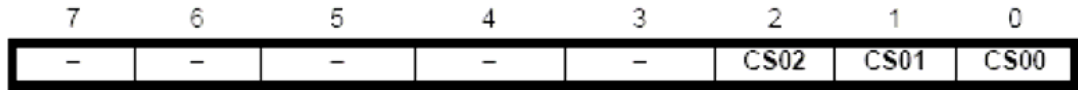
Όταν λειτουργεί σαν χρονιστής μπορεί να πάρει Clock από τον κρύσταλλο του μικροελεγκτή, ή και μικρότερο (prescaled CK) . Μετα από 256 βήματα αύξησης γεμίζει και λέμε ότι υπερχειλίζει . Τη στιγμή αυτή μπορεί να δώσει ένα Interrupt στον μικροελεγκτή, οπότε διαπιστώνουμε ότι έχει περάσει ένα υπολογισμένο χρονικό διάστημα .

Βέβαια μπορεί να σταματήσει να μετρά (ή και να ξεκινήσει να μετρά από κάποια τιμή >0) αν χρησιμοποιήσουμε τον καταχωρητή ελέγχου TCCR0. η σημαία Overflow βρίσκεται στον TIFR (TOV0) ενώ τα σήματα βρίσκονται στον TCCR0.

Η ενεργοποίηση / απενεργοποίηση του εξαρτώνται από την τοποθέτηση του TIMSK (TOIE0) .

Όταν λειτουργεί σαν counter το εξωτερικό σήμα λαμβάνεται στην ανερχόμενη αιχμή του παλμού ρολογιού.

TCCR0 (Timer / Counter0 Control Register)



Bits 2,1,0-CS02, CS01, CS00 : Επιλογή συχνότητας ρολογιού

CS02	CS01	CS00	Description	Βήμα (μsec)	Υπερχείλιση (msec)
0	0	0	Stop, the Timer/Counter 0 is stopped		
0	0	1	CK (4MHz)	0,25	0,064
0	1	0	CK/8 (500KHz)	2	1,024
0	1	1	CK/64 (62,5 KHz)	16	4,096
1	0	0	CK/256 (15,625KHz)	64	16,384
1	0	1	CK/1024 (3,92625KHz)	256	65,536
1	1	0	External pin T0, Falling edge		
1	1	1	External pin T0, Rising edge		

Η κατάσταση **stop** δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε Enable/Disable τον Timer 1 ενώ οι δύο τελευταίες περιπτώσεις του πίνακα αφορούν την εξωτερική πηγή παλμού ρολογιού που τροφοδοτεί τον Counter από το πόδι T0, με falling ή rising edge.

Ο TCNT0 είναι ένας Up-Counter 8 BIT με δυνατότητα Read/write. Αν του έχουμε γράψει αρχικά μια τιμή >0 και τον ενεργοποιήσουμε να μετρήσει, τότε συνεχίζει από την τιμή αυτή να μετρά. Το ίδιο ισχύει και για τον 16 bit TCNT1.

Παράδειγμα υπολογισμού χρόνου 1 sec υπερχείλισης του TIMER1:

Από τον πίνακα παίρνουμε την περίπτωση CK/64 οπότε:

$$4\text{MHz}/64 = 62,5\text{KHz} \Rightarrow 1/f = 1 / 62,5\text{KHz} = 16\mu\text{sec}$$

$$\Rightarrow 16\mu\text{sec} \times 65535 = 1,048576 \text{ sec (η μία υπερέλιση)}$$

Για να επιτύχουμε ακριβώς 1 sec πρέπει να προφορτώσουμε τον Timer1 με κάποια τιμή ώστε να μην ξεκινά από την τιμή 0. Ο χρόνος λοιπόν των 0,048576 sec πρέπει να αφαιρεθεί. Ο χρόνος αυτός αντιστοιχεί σε βήματα αύξησης του TIMER1:

$$48576 / 16\mu\text{sec} = 3036 \text{ βήματα λιγότερα (αρχική τιμή φόρτωσης) ή 0BDC}$$

Οπότε ο Timer θα κάνει 65536-3036 = 62500 βήματα .

$$(62500 \times 16 = 1,000000 \text{ sec})$$

Ο Timer λοιπόν θα ξεκινάει από την τιμή 3036 και θα τελειώνει στην τιμή 65535 ή από 0BDC μέχρι την FFFF.

Προφορτώνουμε λοιπόν τον TCNTH=0x0B και τον TCNTL=0xDC

Θύρες εισόδου – εξόδου (I/O Ports)

Ένας μικροελεγκτής χρησιμοποιεί τα ψηφιακά στοιχεία I/O που διαθέτει για να ανταλλάσσει ψηφιακά δεδομένα με τον εξωτερικό κόσμο .Σε σύγκριση με μια σειριακή θύρα ,η οποία μεταφέρει δεδομένα σειριακά ένα bit κάθε φορά ,τα δεδομένα σε μια παράλληλη ψηφιακή θύρα εισόδου / εξόδου ανταλλάσσονται με την μορφή bytes συνήθως .

Όλοι οι μικροελεγκτές της σειράς AVR διαθέτουν κάποια ποσότητα ακροδεκτών εισόδου /εξόδου που ξεκινούν από 3 στον μικροελεγκτή AT90S2323 και καταλήγουν σε 48 στον Mega 103 .Ο AT90S8515 διαθέτει 4 θύρες (Ports) των 8 bits έκαστη .Τα ονόματά τους είναι PortA ,PortB ,PortC και PortD .Όλοι οι ακροδέκτες στις θύρες του, σαν έξοδοι ,μπορούν να βυθίσουν (sink) ρεύμα περίπου 20mA και με αυτόν τον τρόπο μπορούν να οδηγήσουν κατευθείαν leds χωρίς την χρησιμοποίηση εξωτερικών απομονωτών όπως τρανζίστορ .Και αυτό στην περίπτωση που βρίσκονται σε κατάσταση low .

Όταν βρίσκονται σε κατάσταση high τότε το ρεύμα που άγουν (source) είναι 10mA . Κάθε θύρα έχει τρεις διευθύνσεις στην μνήμη δεδομένων σχετικές με αυτήν . Η μια διεύθυνση είναι για τον καταχωρητή δεδομένων PORTx ,όπου x το όνομα της θύρας .Π.χ για την θύρα A είναι PORTA .Η διεύθυνση αυτή χρησιμοποιείται για να τοποθετήσουμε δεδομένα σε εκείνα τα bit τα οποία έχουμε καθορίσει σαν έξοδο . Η δεύτερη διεύθυνση είναι για τον καταχωρητή κατεύθυνσης δεδομένων DDRx .Η διεύθυνση αυτή χρησιμοποιείται για να καθορίσουμε ποιά pin σε μια θύρα θα χρησιμοποιηθούν σαν είσοδοι και ποια σαν έξοδοι .Γράφοντας ένα 1 σε ένα bit του συγκεκριμένου καταχωρητή DDRx το αντίστοιχο pin στον καταχωρητή PORTx γίνεται έξοδος ,ενώ εάν του γράψουμε ένα 0 γίνεται είσοδος .

Η τρίτη και τελευταία διεύθυνση έχει το όνομα PINx και η χρήση της είναι για ανάγνωση των ακροδεκτών της αντίστοιχης θύρας . Στις δύο πρώτες διευθύνσεις του καταχωρητή δεδομένων μπορούμε και να διαβάσουμε και να γράψουμε . Από την τρίτη διεύθυνση μπορούμε μονό να διαβάσουμε δεδομένα (read – only address) .

Επιπροσθέτως πρέπει να πούμε ότι στους ακροδέκτες μιας θύρας που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι , υπάρχει η επιλογή να ενεργοποιηθούν εσωτερικές αντιστάσεις πρόσδεσης δηλ . Pull-up με τιμές μεταξύ 35 KΩ και 120 KΩ .Στην περίπτωση που δεν ενεργοποιήσουμε τις αντιστάσεις πρόσδεσης τότε οι ακροδέκτες

εισόδου βρίσκονται στον <<αέρα >> ,σε κατάσταση Tri-state (Hi-Z) ή όπως αλλιώς το λεμέ σε κατάσταση υψηλής εμπέδησης . Τότε οι ακροδέκτες και τελικώς και το ολοκληρωμένο γίνονται ευαίσθητα σε εξωτερικά παράσιτα γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την λειτουργία του ρολογιού και ίσως την γενική λειτουργία του προγράμματος .

Τι είναι ένα πρόγραμμα σε γλώσσα C

Ένα πρόγραμμα C αποτελείται από οδηγίες προς τον *preprocessor* (*preprocessor directives*), από δηλώσεις δεδομένων (*data declarations*) και από συναρτήσεις (*functions*). Οι συναρτήσεις δεν πρέπει να συγχέονται με τις συναρτήσεις που συναντάμε στα μαθηματικά. Στην πραγματικότητα πρόκειται για κομμάτια κώδικα, δηλαδή για ακολουθίες εντολών της C και, πιθανώς, κάποιες δηλώσεις δεδομένων, τα οποία έχουν όνομα, μπορούν να δέχονται παραμέτρους και να επιστρέφουν αποτελέσματα. Τα ονόματα των συναρτήσεων θα πρέπει να είναι διαφορετικά μεταξύ τους, έτσι ώστε να είναι σαφές σε ποια συνάρτηση αναφερόμαστε όταν χρησιμοποιούμε κάποιο όνομα, ενώ μία από τις συναρτήσεις θα πρέπει να έχει το όνομα *main* και αντιπροσωπεύει το σημείο από το οποίο ξεκινάει και τελειώνει η εκτέλεση του προγράμματός μας. Με άλλα λόγια, η πρώτη εντολή στη συνάρτηση *main* είναι η πρώτη εντολή του προγράμματος που θα εκτελεστεί, ενώ με την εκτέλεση της τελευταίας εντολής της συνάρτησης *main* τελειώνει και η εκτέλεση του προγράμματος. Σε ένα πρόγραμμα C μπορούμε να έχουμε και σχόλια: Η αρχή των σχολίων δηλώνεται με `/*` και το τέλος τους με `*/`. Οτιδήποτε βρίσκεται ανάμεσα στην αρχή και το τέλος των σχολίων αγνοείται.

Γραφή ενός προγράμματος σε γλώσσα C

Η γλώσσα προγραμματισμού "C" είναι σχεδιασμένη για να τρέχει κάτω από όλα τα λειτουργικά συστήματα, και έτσι δεν βασίζεται σε κάποιες ειδικές ευκολίες που μπορεί να παρέχει το λειτουργικό σύστημα. Για να γράψουμε έτσι ένα πρόγραμμα C απαιτούνται:

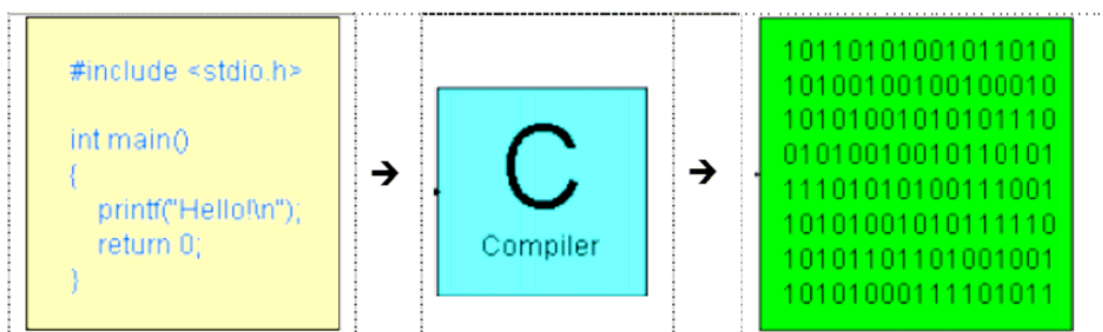
- ένας text editor στον οποίο θα γράψουμε το πρόγραμμά μας. Τέτοιοι editors υπάρχουν σε όλα τα λειτουργικά συστήματα
- ο μεταγλωττιστής της γλώσσας C που θα αναλάβει να μεταφράσει το πρόγραμμά μας σε κώδικα μηχανής. Ο μεταγλωττιστής της C αποτελείται από

τον C preprocessor και τον C-compiler. Στα επόμενα με τον όρο "compiler" θα αναφερόμαστε και στα δύο αυτά τμήματα, εκτός αν καθορίζεται διαφορετικά. Ο C-preprocessor επεξεργάζεται τα αρχεία που περιέχουν κώδικα C, με τρόπο που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο, και παράγει ενδιάμεσα αρχεία, από τα οποία ο C-compiler παράγει αρχεία με κώδικα μηχανής (.obj) αρχεία

- ο linker, που είναι κομμάτι του λειτουργικού συστήματος, αν και κάποια υλοποίηση ενός C-compiler μπορεί να παρέχει τον δικό της. Ο linker αναλαμβάνει να συνδέσει τον κώδικα μηχανής του προγράμματος μας (αυτόν που βρίσκεται στα .obj αρχεία) με κώδικα που υπάρχει σε βιβλιοθήκες (αρχεία .lib) και άλλα αρχεία με κώδικα μηχανής (.obj), παράγοντας τελικά ένα εκτελέσιμο αρχείο. Ο κώδικας που βρίσκεται στις βιβλιοθήκες συμπεριλαμβάνει κώδικα που υλοποιεί υψηλού επιπέδου λειτουργίες μέσα από διαδικασίες πιο χαμηλού επιπέδου, απαλλάσσοντας μας έτσι από την υποχρέωση να κάνουμε εμείς την υλοποίηση αυτή.

Στα περισσότερα λειτουργικά συστήματα δεν είναι απαραίτητο να ασχοληθούμε με τη διαδικασία αυτή μια και υπάρχει κάποιο πρόγραμμα που την αναλαμβάνει . Σε μερικά μάλιστα συστήματα και ο text editor παρέχεται σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον, στο οποίο μπορούμε να γράψουμε τα προγράμματά μας, να τα μεταφράσουμε και να τα συνδέσουμε παράγοντας έτσι το εκτελέσιμο αρχείο χωρίς να χρειαστεί να ασχοληθούμε καθόλου με την ενδιάμεση διαδικασία.

Η όλη διαδικασία παραγωγής ενός εκτελέσιμου αρχείου από τα c, .obj και .lib αρχεία φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα:

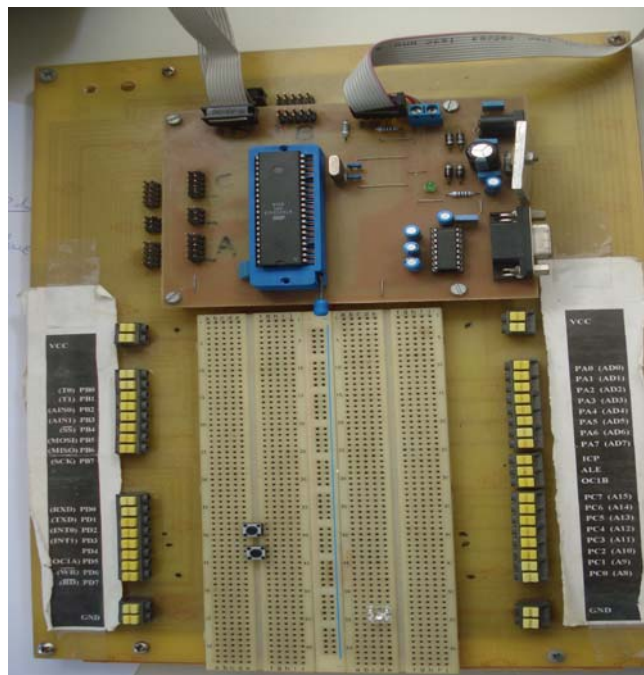


Για να προγραμματίσουμε τον μικροελεγκτή χρησιμοποιήσαμε τον **Compiler IAR Embedded Workbench 3.2** και στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 υπάρχει ο κώδικας που προγραμματίστηκε ο μικροελεγκτής για λειτουργία λαμπτήρα που δεν αναγράφει αν

δέχεται dimming. Στο ίδιο παράρτημα επίσης υπάρχει ο κώδικας για λαμπτήρα που δεν δέχεται λειτουργία dimming καθώς και για λαμπτήρα που κάτω από προϋποθέσεις δέχεται λειτουργία dimming.

Αφού δημιουργήσω το hex αρχείο το κατεβάζω στο μικροελεγκτή με το **PONYPROG**.

Παρακάτω βλέπουμε την αναπτυξιακή πλακέτα με την οποία μέσω αυτής και του προγράμματος **PONYPROG** “κατεβάζαμε” το πρόγραμμα στον μικροελεγκτή.



6. Test λαμπτήρα οικονομίας

Σε αυτό το κεφάλαιο θέλουμε να εξετάσουμε την αντοχή και την διάρκεια ζωής του λαμπτήρα κάτω από τις συνθήκες λειτουργίας που εμείς το έχουμε ορίσει να λειτουργεί.

Η αρχική μας σκέψη ήταν με κάποιο τρόπο να μπορέσουμε να ελέγξουμε την φωτεινότητα του λαμπτήρα με απότερο σκοπό την μείωση της ισχύς που

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

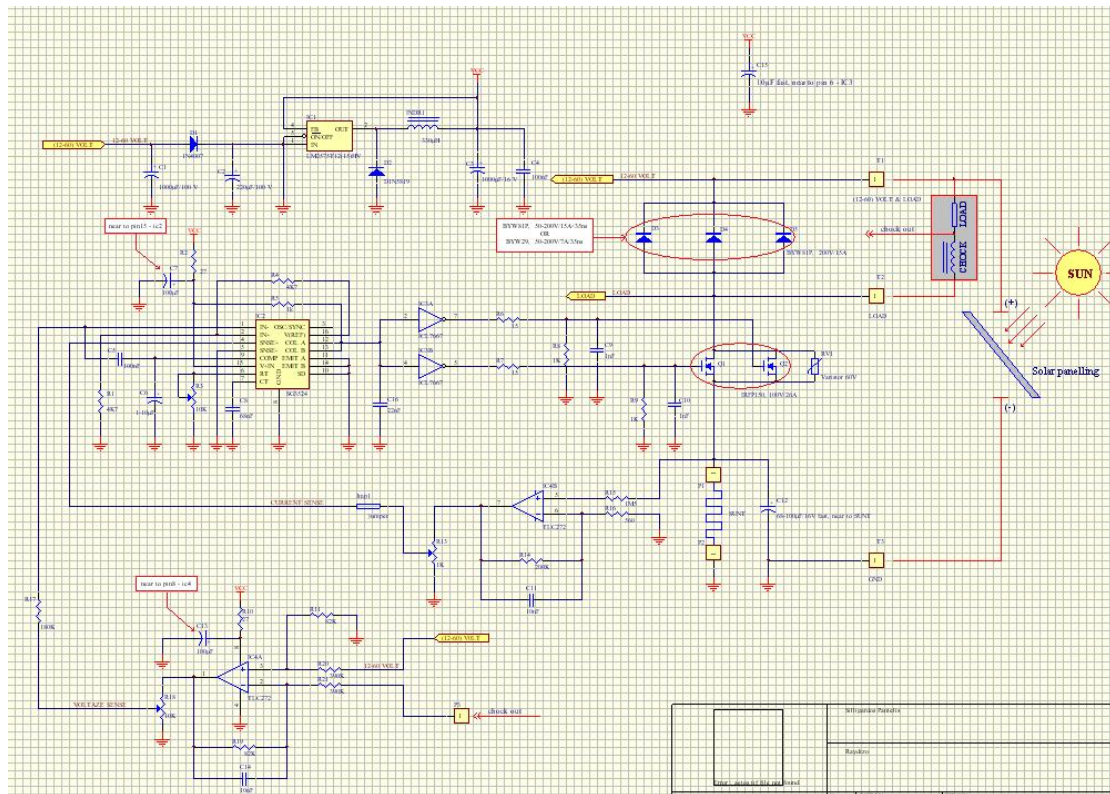
καταναλώνει. Παρατηρήσαμε μετά από διάφορα πειράματα ότι με περιορισμό του ρεύματος εισόδου πετυχαίνουμε το επιθυμητό.

Στο πρώτο μέρος του πειράματος, από 27/8/08 έως 29/9/08, η αλλαγή της λειτουργίας του λαμπτήρα από 0% σε 50% και αντίστροφα, γινόταν ανά 10 λεπτά κάθε μεταβολή (512 h, κύκλοι λειτουργίας: 2304).

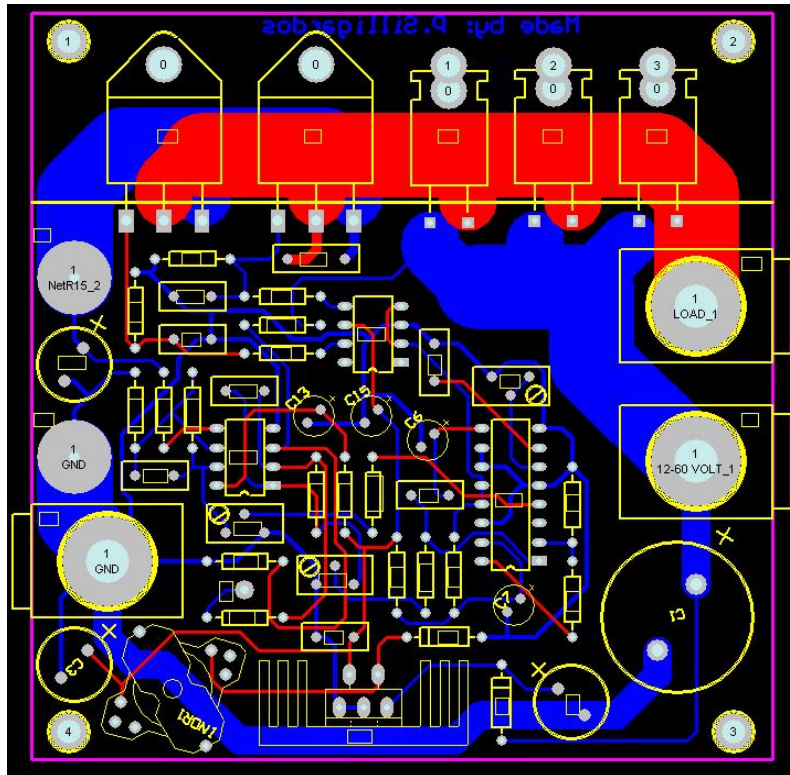
Στο δεύτερο μέρος, από 29/9/08 έως 28/1/2009, η αντίστοιχη αλλαγή αφορούσε στη μετάβαση ανά 1λεπτο σε κάθε μεταβολή, μεταξύ των επιπέδων ισχύος τροφοδοσίας από 50% σε 100% και αντίστροφα (1452 h, κύκλοι λειτουργίας: 87120).

Από τον πειραματικό αυτό έλεγχο προέκυψε ότι ο λαμπτήρας συνέχισε να λειτουργεί σ' αυτές τις συνθήκες χωρίς να παρουσιάσει έντονα σημάδια γήρανσης.

Για τη πραγματοποίηση του παραπάνω πειράματος χρησιμοποιήσαμε το παρακάτω κύκλωμα.



Schematic κυκλώματος για το test του λαμπτήρα



PCB κυκλώματος για το test του λαμπτήρα

VI. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΙΣΤΟΥ

Για τον υπολογισμό της αντοχής μιας μεταλλικής κατασκευής όπως είναι ένα υπόστεγο, μια γέφυρα ή ένας ιστός είναι απαραίτητη η γνώση των φορτίων που δρουν πάνω στην κατασκευή. Το κύριο φορτίο που δρα πάνω στη κατασκευή μας είναι ο άνεμος τον οποίο κ θα εξετάσουμε.

Φορτία ανέμου

Ανεμοπίεση. Φόρτιση ανέμου ή ανεμοπίεση είναι η οριζόντια φόρτιση η οποία οφείλεται στην προσβολή της κατασκευής από τον άνεμο, με ένταση q εξαρτώμενη από την ταχύτητα του ανέμου κ κλιμακούμενη ανάλογα με το ύψος της κατασκευής πάνω από το έδαφος όπως φαίνεται στο δίπλα πίνακα.

A/A	Ύψος h (m)	Ένταση ανέμου q (Kp/m ²)
1	0-8	50
2	8-20	80
3	20-100	110
4	>100	130

Πίνακας 1

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η ανεμοπίεση δρα μόνο από την μια πλευρά της κατασκευής δηλαδή εκείνη που θεωρείται δυσμενέστερη, η δε διεύθυνση του ανέμου θεωρείται πάντοτε οριζόντια. Οι υπόλοιπες πλευρές θεωρούνται είτε αφόρτιστες είτε ότι σε αυτές δρουν υποπίεσεις.

Το πραγματικό φορτίο ανέμου ή φορτίο υπολογισμού **W** το οποίο δρα σε μια κατασκευή εξαρτάται όχι μόνο από το ύψος αλλά και από την μορφή και την κλίση των εξωτερικών επιφανειών της κατασκευής δηλαδή εάν αυτή είναι επίπεδη, κυλινδρική κ.λ.π.

Για τον λόγο αυτόν η ισχύουσα τιμή έντασης ανέμου πολλαπλασιάζεται με τον **συντελεστή μορφής c**, οι τιμές του οποίου καθορίζονται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

A/A	Είδος δομικού έργου	Συντελεστής μορφής c
1	Κλειστές κατασκευές όπως κτίρια κ.λ.π. -Για $H/B \leq 5$ -Για $H/B > 5$	1,2 1,6
2	Ανοικτές κατασκευές από μια, δύο ή περισσότερες πλευρές, ή τουλάχιστον κατά το 1/3 όπως υπόστεγα κ.λ.π.	1,2
3	Κατασκευές με κυκλική ή περίπου κυκλική διατομή, όπως διάφορες κυλινδρικές ή σφαιρικές κατασκευές, δηλαδή καπνοδόχοι, δεξαμενές, ιστοί, σχοινιά, σύρματα κ.λ.π. Κυλινδρικής μορφής: για $d\sqrt{q} < 1$ για $d\sqrt{q} > 1$ Σφαιρικής μορφής: για $d\sqrt{q} < 1$ $d\sqrt{q} > 1$	1,2 0,7 0,6 0,35

Πίνακας 2

Όπου: H=ύψος κτιρίου (m) B= πλάτος κτιρίου (m) d=διάμετρος (m)
q=ένταση ανέμου (Kp/m^2)

Επομένως σύμφωνα με τον κανονισμό ο υπολογισμός του πραγματικού φορτίου ανέμου W γίνεται με τους παρακάτω τύπους:

-Για κατακόρυφες επιφάνειες: $W = c \cdot q$

-Για κεκλιμένες επιφάνειες: $W = c \cdot q \cdot \sin a$

Όπου: W=πραγματικό φορτίο ανέμου ανά μονάδα επιφάνειας (Kp/m^2).

ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

c = συντελεστής μορφής επιφάνειας.

q = ένταση ανέμου (Kp/m^2).

α = γωνία επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Η δική μας κατασκευή αποτελείται από τον ιστό κυλινδρικής μορφής που στην κορυφή του είναι στερεωμένο ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Θα υπολογίσουμε ξεχωριστά τα φορτία ανέμου στον ιστό και στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

1. Υπολογισμός φορτίων στον ιστό:

Ύψος ιστού $h = 5\text{m}$

Διάμετρος ιστού $d = 0,108\text{m}$ σταθερή καθ' όλο το ύψος

Η ένταση ανέμου σύμφωνα με τον πίνακα 1 είναι $q = 50 \text{ Kp/m}^2$

Ο συντελεστής μορφής σύμφωνα με τον πίνακα 2 είναι:

$$d\sqrt{q} = 0,11\sqrt{50} = 0,778 \rightarrow 0,778 < 1 \text{ άρα } c = 1.2$$

Στη συνέχεια προσδιορίζουμε το πραγματικό φορτίο ανέμου το οποίο προκύπτει ως εξής:

$$W = c \cdot q = 1,2 \cdot 50 = 60 \text{ Kp/m}^2$$

Λόγω της συμμετρικής διατομής του ιστού είναι αδιάφορο από ποια κατεύθυνση γίνεται η προσβολή του ανέμου. Σύμφωνα με τους κανονισμούς για τον υπολογισμό της δράσης της ανεμοπίεσης λαμβάνεται ως προσβαλλόμενη επιφάνεια του ιστού η προβολή της κυλινδρικής επιφάνειας. Δηλαδή είναι:

$$S = d \cdot L = 0,108 \cdot 5 = 0,54 \text{ m}^2$$

Το φορτίο W δρα ως κατανεμημένο φορτίο και αναπτύσσει μια δύναμη την οποία εμείς θεωρούμε ότι ασκείται στην κορυφή του ιστού ως δυσμενέστερη κατάσταση η οποία είναι:

$$F_1 = W \cdot S = 60 \cdot 0,54 = 32,4 \text{ Kp} \rightarrow 317,844 \text{ N}$$

2.Υπολογισμός φορτίων από το ΦΒ πλαίσιο:

Χαρακτηριστικά στοιχεία πλαισίου:

L=1m Μήκος πλαισίου

H=0,65m Ύψος πλαισίου

$\kappa=45^\circ$ = Γωνία κλίσης του πλαισίου

c=1,2 = συντελεστής οπισθέλκουσας για την επιφάνεια του πλαισίου

$A = L \cdot H = 0,65 \text{ m}^2$ εμβαδόν πλαισίου

$\rho=1,293 \text{ kg/m}^3$ πυκνότητα αέρα

V=150 Km/h => V=42 m/sec Ταχύτητα αέρα

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c \cdot A \cdot V^2 \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot 1,293 \cdot 1,2 \cdot 0,65 \cdot 42^2 \Rightarrow$$

Άρα η δύναμη από το πλαίσιο είναι: $F_2 = 467,291 \text{ N}$

Προσθέτουμε τις δυνάμεις από το πλαίσιο και από τον ιστό και βρίσκουμε την ολική δύναμη που ασκείται σαν δυσμενέστερη κατάσταση στην κορυφή του ιστού.

$$F_{ολικο} = F_1 + F_2 = 317,844 + 467,291 = 785,135 \text{ N} \Rightarrow$$

$$F_{ολικο} = \frac{785,135}{9,81} = 80,034 \text{ kp}$$

Λόγω της ανεμοπίεσης ο ιστός καταπονείται κατά συνέπεια θα εξεταστεί η μέγιστη ροπή κάμψης στη βάση του ιστού όπου είναι η δυσμενέστερη. Η ροπή κάμψης στη βάση του ιστού είναι:

$$M_{\max} = F_{ολικο} \cdot L = 80,034 \cdot 5 \Rightarrow$$

$$M_{\max} = 400,171 \text{ kp} \cdot \text{m}$$

Από τον πίνακα 2 στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4 τα παρακάτω:

$$\sigma_{\Delta} = \text{τάση διαρροής } \sigma_{\Delta} = 240 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$E_y = \text{μέτρο ελαστικότητας } E_y = 189 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Υπολογίζουμε την μέγιστη ροπή αδράνειας του συστήματος:

$$I_z = \sqrt{\frac{(M_{\max} \cdot F_{\text{ολικο}} \cdot L^3)}{(3 \cdot E_y \cdot \sigma_{\Delta})}}$$

$$I_{za} = I_z \cdot 10^8$$

$$I_{za} = 168,26 \text{ cm}^4$$

Για την επιλογή ιστού πρέπει .

Οπου I_x η ροπή αδράνειας του εκάστοτε ιστού ανάλογα την διατομή του.

Άρα με αυτά τα χαρακτηριστικά από το πίνακα 1 του παραρτήματος 4 επιλέγουμε ιστό κυλινδρικής διατομής διαμέτρου 114mm και πάχους 4,5mm για το σύστημα μας καθώς η ροπή αδράνειας του είναι $I_x = 236 \text{ cm}^4$.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ι. Διευκρίνιση για την επιλογή του S στη φωτοτεχνική μελέτη

Για την επιλογή του εμβαδού S έχουμε:

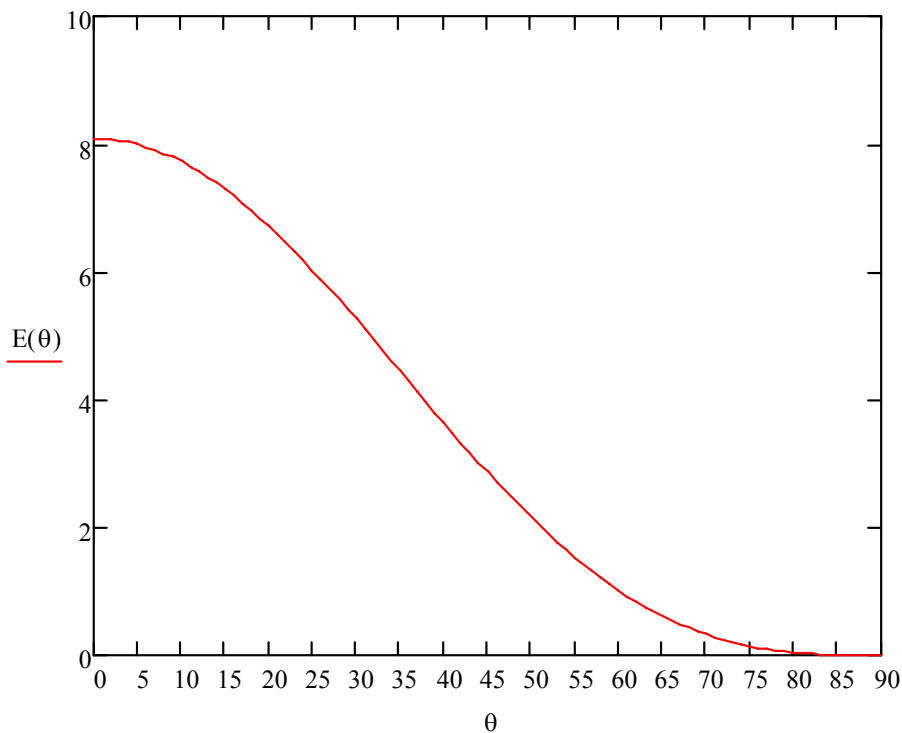
Ύψος φωτιστικού $h=4,5$ m

Φωτεινή ροή λαμπτήρα $I=900$ lm

Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $\theta=0\dots90^\circ$

Ο φωτισμός ελαττώνεται ανάλογα με το $\cos^3(\theta)$ όπως φαίνεται στον παρακάτω τύπο:

$$E(\theta) = \frac{I \cdot (\cos^3(\theta))}{h^2}$$



Από το παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε ότι για τιμές του θ κάτω του 45° ο φωτισμός είναι κάτω από το $1/3$ του φωτισμού που αποδίδει ο λαμπτήρας στη βάση της διάταξης. Άρα από τον τύπο υπολογίζουμε την απόσταση από το φωτιστικό που μας ενδιαφέρει.

$$d = h \cdot \tan(\theta) \Rightarrow d = 4,5 \cdot \tan(45) \Rightarrow d = 4m$$

Άρα ο χώρος που μας ενδιαφέρει είναι 4m γύρω από την κατασκευή και αν το παρομοιάσουμε για λόγους ευκολίας με τετράγωνο είναι προσεγγιστικά εμβαδού $S=8 \cdot 8=64$ m²

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ι. Κώδικας μικροελεγκτή για λαμπτήρες που δεν αναγράφουν λειτουργία dimming.

Ο παρακάτω κώδικας είναι για **stand-by** λειτουργία του λαμπτήρα στο οποίο έχει ενδιάμεσο επίπεδο φωτεινότητας το οποίο επιτυγχάνεται μέσω του **κυκλώματος διαμόρφωσης τάσης**. Στο ενδιάμεσο επίπεδο βρίσκεται συνεχώς ο λαμπτήρας και επανέρχεται στο υψηλό επίπεδο εφόσον ανιχνεύσουν τα αισθητήρια κίνησης περαστικό. Παραμένει στο υψηλό επίπεδο 1 λεπτό μετά τον τελευταίο περαστικό.

```
#include<io8515.h>
int J,k,a;
#pragma vector=INT0_vect // συνθήκη interrupt 2
__interrupt void plictro0(void)
{
OCR1B=255;
k=0;
TCNT0=0;//μηδενίζω timer 0
TCCR0=0X05;//clock/1024 ενεργοποίηση timer 0
}
#pragma vector=INT1_vect //συνθήκη interrupt 1
__interrupt void plictro1(void)
{
OCR1B=255;
k=0;
TCNT0=0;//μηδενίζω timer 0
TCCR0=0X05;//clock/1024 ενεργοποίηση timer 0
}
#pragma vector=TIMER0_OVF0_vect // συνθήκη υπερχείλισης interrupt timer 0
__interrupt void XRONOS0(void)
{
k=k+1;
if((k>500)&&(a==0xF3))
{
OCR1B=160;
TCCR0=0X00;// σβήσιμο timer 0
PORTA=0xFF;
}
}
void main(void)
{
k=0;
DDRD&=0xF3;// διαλέγω είσοδο
PORTD|=0xFF;//pull up
DDRA=0xFF;//διαλέγω έξοδο
```

```

PORTA=0XFF;//αρχική κατάσταση πόρτας
GIMSK=0xC0;//ενεργοποίηση εξωτερικών int
MCUCR=0x0F;//RE
SREG|=0x80;//γενική επίτρευση int
//ρυθμίσεις PWM
TCCR1B=0x02;//clck/8
TCCR1A=0x21;//αρχίζει με HI και ενεργοποίηση 8bit PWM
// ρυθμίσεις timer 0
OCR1B=255;
k=0;
TCNT0=0;//μηδενίζω timer 0
TCCR0=0X05;//clock/1024 και ενεργοποίηση timer 0
TIMSK=0X02;// ενεργοποίηση overflow int
while(1)
{
a=PIND;
if(a==0xF3)
{
PORTA=0xAA;
}
}
}

```

ii. Κώδικας μικροελεγκτή για λαμπτήρες που αναγράφουν λειτουργία dimming.

Λαμπτήρα που να αναγράφει λειτουργία dimming βρήκαμε μόνο 1 στο εμπόριο της εταιρίας OSRAM και διαθέτει 2 επίπεδο φωτεινότητας 100% και 50%. Ο συγκεκριμένος λαμπτήρας αρχικά ανάβει 100% φωτεινότητα και παραμένει σε αυτό το επίπεδο εφόσον δεν τον σβήσουμε. Για να μεταβεί στο χαμηλό επίπεδο πρέπει να τον σβήσεις και να τον ανάψεις μετά από 3 sec και έτσι λειτουργεί με μισή ισχύ και αποδίδει μισή φωτεινότητα. Παρακάτω είναι ο κώδικας του μικροελεγκτή που ανάβει αρχικά το λαμπτήρα 100% και μετά από μία ώρα από το τελευταίο διαβάτη που θα περάσει από την διάταξη σβήνει τον λαμπτήρα και τον ανάβει μετά από 3 sec ώστε να μεταβεί στο χαμηλό επίπεδο φωτισμού μέχρι το ξημέρωμα.

```

#include<io8515.h>
int J,k,a;
#pragma vector=INT0_vect // συνθήκη interrupt 2
__interrupt void plictro0(void)
{
OCR1B=255;
k=0;
TCNT0=0;//μηδενίζω timer 0

```

```

    TCCR0=0X05;//clock/1024 ενεργοποίηση timer 0
}
#pragma vector=INT1_vect //συνθήκη interrupt 1
__interrupt void plictr01(void)
{
    OCR1B=255;
    k=0;
    TCNT0=0;//μηδενίζω timer 0
    TCCR0=0X05;//clock/1024 ενεργοποίηση timer 0
}
#pragma vector=TIMER0_OVF0_vect // συνθήκη υπερχείλισης interrupt timer 0
__interrupt void XRONOS0(void)
{
    if(g==1)
    {
        u=u+1;
        if(u==46)
        {PORTA=0x90;
        OCR1B=255;
        g=0;
        TCCR0=0X00;
        u=0;
        }
    }
    else
    {
        k=k+1;
        if(k==13740)
        {
            k=0;
            j=j+1;
            if(j==4)
            {
                g=1;
                OCR1B=0;
                k=0;
                PORTA=0xaa;
            }
        }
    }
}
}

void main(void)
{
    k=0;
    DDRD&=0xF3;// διαλέγω είσοδο
    PORTD|=0xFF;//pull up
    DDRA=0xFF;//διαλέγω έξοδο
    PORTA=0xFF;//αρχική κατάσταση πόρτας
    GIMSK=0xC0;//ενεργοποίηση εξωτερικών int
    MCUCR=0x0F;//RE

```

```

SREG|=0x80;//γενική επίτρεψη int
//ρυθμίσεις PWM
TCCR1B=0x02;//clck/8
TCCR1A=0x21;//αρχίζει με HI και ενεργοποίηση 8bit PWM
// ρυθμίσεις timer 0
OCR1B=255;
k=0;
u=0;
g=0;
k=0;
j=0;
TCNT0=0;//μηδενίζω timer 0
TCCR0=0X05;//clock/1024 και ενεργοποίηση timer 0
TIMSK=0X02;// ενεργοποίηση overflow int
while(1)
{
a=PIND;
if(a==0xF3)
{
PORTA=0xAA;
}
}
}

```

iii. Κώδικας μικροελεγκτή για λαμπτήρες που απαγορεύουν λειτουργία dimming.

Δημιουργήσαμε ένα εναλλακτικό κώδικα για λειτουργία του λαμπτήρα στον οποίο δεν έχει ενδιάμεσο επίπεδο φωτεινότητας αλλά σβήνει εντελώς τον λαμπτήρα μετά από μία ώρα από τον τελευταίο περαστικό από την διάταξη μας.

```

#include<io8515.h>
int J,k,a;
#pragma vector=INT0_vect // συνθήκη interrupt 2
__interrupt void plictro0(void)
{
OCR1B=255;
k=0;
i=0;
TCNT0=0;//μηδενίζω timer 0
TCCR0=0X05;//clock/1024 ενεργοποίηση timer 0
}
#pragma vector=INT1_vect //συνθήκη interrupt 1
__interrupt void plictro1(void)
{
OCR1B=255;
k=0;

```

```

i=0;
TCNT0=0;//μηδενίζω timer 0
TCCR0=0X05;//clock/1024 ενεργοποίηση timer 0
}
#pragma vector=TIMER0_OVF0_vect // συνθήκη υπερχείλισης interrupt timer 0
__interrupt void XRONOS0(void)
{
k=k+1;
if (k>13740) // 13740 είναι το τέταρτο
{
i=i+1;
k=0;
if((i==4)&&(a==0xF3))
{
OCR1B=0;
TCCR0=0X00;// σβήσιμο timer 0
PORTA=0xFF;
i=0;
}
}
}
}
void main(void)
{
k=0;
DDRD&=0xF3;// διαλέγω είσοδο
PORTD|=0xFF;//pull up
DDRA=0xFF;//διαλέγω έξοδο
PORTA=0xFF;//αρχική κατάσταση πόρτας
GIMSK=0xC0;//ενεργοποίηση εξωτερικών int
MCUCR=0x0F;//RE
SREG|=0x80;//γενική επίτρευση int
//ρυθμίσεις PWM
TCCR1B=0x02;//clck/8
TCCR1A=0x21;//αρχίζει με HI και ενεργοποίηση 8bit PWM
// ρυθμίσεις timer 0
OCR1B=255;
k=0;
TCNT0=0;//μηδενίζω timer 0
TCCR0=0X05;//clock/1024 και ενεργοποίηση timer 0
TIMSK=0X02;// ενεργοποίηση overflow int
while(1)
{
a=PIND;
if(a==0xF3)
{
PORTA=0xAA;
}
}
}
}

```


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

ι. Πίνακας 1. Υπολογισμοί για την κατασκευή του διαγράμματος οπτικού πεδίου του χώρου, από το σημείο εγκατάστασης.

Εμπόδιο α/α	Elevation	Azimuth	d	h_1	$h_{\text{εμπ}}$	h_2	Φ_2
1	10	144	26	4,58	6,28	1,28	2,83
2	12	175	36,5	7,76	9,46	4,46	6,96
3	7	192	63,5	7,80	9,50	4,50	4,05
4	17	201	49	14,98	16,68	11,68	13,41
5	25	221	41	19,12	20,82	15,82	21,10
6	19	240	49,5	17,04	18,74	13,74	15,52
7	12	249	77,5	16,47	18,17	13,17	9,65
8	8	249	23	3,23	4,93	-0,07	-0,17
9	13	258	22,5	5,19	6,89	1,89	4,81

Πίνακας 2. Μετρήσεις πλαισίου 19 Σεπτεμβρίου 13:40μμ.

Πίνακας 3. Μετρήσεις ΦΒ πλαισίου 6 Οκτωβρίου 12 μμ.

Πίνακας 4. Μετρήσεις ΦΒ πλαισίου 6 Οκτωβρίου 11 πμ.

Πίνακας 5. Μετρήσεις ΦΒ πλαισίου 24 Σεπτεμβρίου 11πμ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

ι. Πίνακας 1. Τυποποιημένες τιμές διαμέτρου, πάχους και ροπής αδράνειας για ιστούς κυκλικής διατομής.

Διάμετρος	Πάχος	Ροπή αδράνειας, I_z
D mm	s mm	J cm^4
21.3	2.0	0.57
	2.6	0.68
	3.2	0.76
26.9	2.0	1.22
	2.6	1.48
	3.2	1.70
33.7	2.6	3.09
	3.2	3.60
	4.0	4.19
42.4	2.6	6.46
	3.2	7.42
	4.0	8.99
48.3	2.6	9.78
	3.2	11.60
	4.0	13.80
60.3	2.9	21.60
	3.6	25.90
	4.0	28.20
	5.0	33.50
76.1	2.9	44.70
	3.6	54.00
	4.0	59.10
	5.0	70.90
88.9	3.2	79.20
	3.6	87.90
	4.0	96.30
	5.0	116.0
	6.3	140.0
101.6	3.6	133.0
	4.5	162.0
	5.6	195.0
	6.3	237.0
108.0	3.6	161.0
	4.5	196.0
	5.6	237.0
114.3	3.6	192.0
	4.5	236.0
	5.6	283.0
	7.1	345.0

ii. Πίνακας 2. Μηχανικές ιδιότητες διαφόρων υλικών

Υλικό	Μέτρο ελαστικότητας GPa	Εφελκυσμός MPa
Αλουμίνιο	70	95
Χαλκός	119	266
Χάλυβας	200	400
Χυτοσίδηρος	70	170
Σίδηρος	189	240
Τιτάνιο	114	825
Κράμα μαγνησίου	45	275