



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Ανάπτυξη πρότυπης μεθόδου ελέγχου και παρακολούθησης φωτοβολταϊκών
πάρκων για βελτιστοποίηση της απόδοσης τους*

Χάμπας Αντώνης Α.Μ 4292

Κουτρομπές Γιάννης Α.Μ 4279

Επιβλέπων καθηγητής

Πλοκαμάκης Γεώργιος

Χανιά 2014

Ευχαριστούμε όσους βοήθησαν για την πραγματοποίηση της πτυχιακής μας εργασίας τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο και ιδιαίτερα τον επιβλέπων καθηγητή μας κ. Γ. Πλοκαμάκη για την άριστη συνεργασία μας

Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι η ανάπτυξη μιας πρότυπης μεθόδου ελέγχου και παρακολούθησης ηλιακών ιχνηλατών (solar trackers) και φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Οι λειτουργίες αυτές πραγματοποιούνται από μια κεντρική μονάδα, η οποία επικοινωνεί με επιμέρους μονάδες διαμέσου τοπικού δικτύου. Σκοπός της εργασίας είναι η εφαρμογή σε φωτοβολταϊκά πάρκα για βελτιστοποίηση της απόδοσης τους.

Summary

The object of this thesis is to develop a standard method of control and monitoring solar trackers and photovoltaic arrays. These functions are performed by a central unit which communicates with modular units via local network. The aim is the application in photovoltaic parks for optimizing their performance.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	σελ. 1
Summary.....	σελ. 2
Κεφάλαιο 1^ο : Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)	
1.1 Εισαγωγή στις ΑΠΕ.....	σελ. 5
1.2 Είδη Ήπιων Μορφών Ενέργειας.....	σελ. 6
1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	σελ. 9
Κεφάλαιο 2^ο : Ήλιος & Ηλιακή Ενέργεια	
2.1 Η Κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο.....	σελ. 11
2.2 Μέση, Ημερήσια Ενεργειακή Απολαβή από τον Ήλιο.....	σελ. 15
2.3 Ηλιοφάνεια.....	σελ. 17
2.4 Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος.....	σελ. 17
2.5 Προσανατολισμός του Συλλέκτη.....	σελ. 18
Κεφάλαιο 3^ο : Φωτοβολταϊκά	
3.1 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	σελ. 20
3.2 Αγωγοί - Μονωτές – Ημιαγωγοί.....	σελ. 21
3.3 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Πυριτίου (Si).....	σελ. 24
3.4 Επίδραση Ακτινοβολίας.....	σελ. 27
3.5 Φωτοβολταϊκές Κυψελίδες (ΦΒ Στοιχεία).....	σελ. 28
3.6 Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο.....	σελ. 31
3.7 Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες ΦΒ Πλαισίων.....	σελ. 32
3.8 Χαρακτηριστικά του Πλαισίου.....	σελ. 33
3.9 Φωτοβολταϊκή Συστοιχία.....	σελ. 35
Κεφάλαιο 4^ο : Βάσεις Συστοιχιών & Ηλιακοί Ιχνηλάτες	
4.1 Τρόποι Στήριξης των Συλλεκτών και Προσανατολισμός τους.....	σελ. 37
4.2 Στήριξη του Συλλέκτη με Σταθερή Γωνία Κλίσης. Γωνία Κλίσης Για Βέλτιστη Ενεργειακή Απολαβή Συλλέκτη.....	σελ. 38
4.3 Στήριξη με Δυνατότητα Εποχιακής Ρύθμισης της Κλίσης του Συλλέκτη.....	σελ. 39
4.4 Στήριξη με Δυνατότητα Στροφής του Συλλέκτη γύρω από ένα ή δύο Άξονες.....	σελ. 40
4.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των Ηλιακών Ιχνηλατών.....	σελ. 42
Κεφάλαιο 5^ο : Τα Ηλεκτρονικά των ΦΒ Συστημάτων	
5.1 Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές.....	σελ. 43
5.2 Χαρακτηριστικά των Συσσωρευτών.....	σελ. 44
5.3 Ο Ελεγκτής Φόρτισης Συσσωρευτή.....	σελ. 46
5.4 Μετατροπείς DC-DC, DC-AC και AC-DC.....	σελ. 47
Κεφάλαιο 6^ο : ΦΒ Συστήματα	
6.1 Εισαγωγή στα ΦΒ Συστήματα.....	σελ. 50
6.2 Εκτός Δικτύου ή Απομονωμένα ΦΒ Συστήματα.....	σελ. 50
6.3 ΦΒ Συστήματα Συνδεδεμένα στο Δίκτυο.....	σελ. 52
Κεφάλαιο 7^ο : CAN Bus (Controller Area Network)	
7.1 Γενική ιδέα.....	σελ. 54
7.2 Η Επιλογή του Δικτύου.....	σελ. 54
7.3 Εισαγωγή στο CAN Bus.....	σελ. 55
7.4 Πλαίσιο Δεδομένων (Data Frame).....	σελ. 62
7.4.1 Έναρξη του Πλαισίου (Start of Frame- SOF).....	σελ. 63
7.4.2 Πεδίο Διαιτησίας (Arbitration).....	σελ. 63

7.4.3 Πεδίο Ελέγχου (Data Field).....	σελ. 65
7.4.4 Πεδίο Δεδομένων (Data Field).....	σελ. 66
7.4.5 Πεδίο CRC (CRC Field).....	σελ. 66
7.4.6 Πεδίο ACK.....	σελ. 66
7.5 Πλαίσιο Remote (Remote Frame).....	σελ. 66
7.6 Πλαίσιο Σφάλματος (Error Frame).....	σελ. 67
7.7 Πλαίσιο Υπερφόρτωσης (Overload Frame).....	σελ. 67
7.8 Bit Stuffing.....	σελ. 68
7.9 Τύποι Σφαλμάτων.....	σελ. 68
7.10 Ονομαστικό Bit Timing (Nominal Bit Timing).....	σελ. 69
7.11 CAN Interface του Μικροελεγκτή PIC.....	σελ. 71
7.12 Ο μικροελεγκτής PIC18F258.....	σελ. 73
7.12.1 Κατάσταση Διαμόρφωσης.....	σελ. 75
7.12.2 Κατάσταση Απενεργοποίησης.....	σελ. 75
7.12.3 Κατάσταση Κανονικής Λειτουργίας.....	σελ. 75
7.12.4 Λειτουργία Ακρόαση-Μόνο (Listen-Only).....	σελ. 75
7.12.5 Loop Back-Λειτουργία.....	σελ. 76
7.12.6 Λειτουργία Αναγνώριση σφάλματος (Error Recognition).....	σελ. 76
7.12.7 Εκπομπή Μηνύματος CAN.....	σελ. 76
7.12.8 Λήψη Μηνύματος CAN.....	σελ. 77
7.12.9 Υπολογισμός των παραμέτρων χρονισμού.....	σελ. 78
7.13 mikroC PRO for PIC.....	σελ. 81
7.13.1 mikroC, Συναρτήσεις CAN.....	σελ. 82
7.13.2 CANSetOperationMode.....	σελ. 82
7.13.3 CANGetOperationMode.....	σελ. 83
7.13.4 CANInitialize.....	σελ. 83
7.13.5 CANSetBaudRate.....	σελ. 85
7.13.6 CANSetMask.....	σελ. 85
7.13.7 CANSetFilter.....	σελ. 85
7.13.8 CANRead.....	σελ. 86
7.13.9 CANWrite.....	σελ. 87
7.14 CAN Bus Προγραμματισμός.....	σελ. 88
Κεφάλαιο 8^ο : Πειραματική Διαδικασία Ελέγχου και Παρακολούθησης Φ/Β Πάρκων	
8.1 Μονάδα Ηλιακού Ιχνηλάτη (Solar Tracker).....	σελ. 89
8.2 Κεντρική μονάδα (Master).....	σελ. 92
8.3 Μελλοντική Ανάπτυξη του Συστήματος – Προσθήκες.....	σελ. 99
8.4 Συμπεράσματα.....	σελ. 101
8.5 Κόστος Κατασκευής.....	σελ. 102
Βιβλιογραφία	σελ. 103
Παράρτημα Α	
A1 Ανάπτυξη Φ/Β στην Ελλάδα και Ειδικότερα στην Κρήτη.....	σελ. 106
A2 Νομοθετικό Πλαίσιο στα Φ/Β Συστήματα.....	σελ. 121
Παράρτημα Β	
B1 Κώδικας Κεντρικής Μονάδας (Master).....	σελ. 127
B2 Κώδικας Ηλιακού Ιχνηλάτη (Solar Tracker).....	σελ. 141
Παράρτημα Γ	
Γ1 Φωτογραφικό Υλικό Project.....	σελ. 150

1. Κεφάλαιο 1^ο : Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

1.1 Εισαγωγή στις ΑΠΕ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές αιτίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, ο ήλιος, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη και τις μειώσεις των επιπτώσεων από τις υπόλοιπες μη ΑΠΕ αλλά και εξοικονόμηση αυτών.

Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος στάτους στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού.

1.2 Είδη Ήπιων Μορφών Ενέργειας

Αιολική ενέργεια

Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Σήμερα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο, με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα πτερυγίων, βρίσκεται σε θεαματική εξέλιξη. Το αιολικό δυναμικό, δηλαδή η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου, σε πολλά



Εικόνα 1.1

Πηγή:

<http://www.gr.all.biz/img/gr/catalog/11878.jpeg>

σημεία της χώρας μας βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα. Στα νησιά του Αιγαίου το αιολικό δυναμικό παρουσιάζει μια μέση τιμή, από 7 έως 11 m/s, το οποίο υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια των νησιών αυτών. Γι' αυτό τον λόγο, ο νησιωτικός χώρος αποτελεί ιδανικό πεδίο εφαρμογής της τεχνολογίας των αιολικών συστημάτων.

Υδραυλική ενέργεια

Είναι ένας από τους πιο φυσικούς τρόπους παραγωγής μεγάλης ισχύος ηλεκτρικής ενέργειας, με ανανεώσιμης μορφής. Έχει όμως περιορισμένη εφαρμογή. Σε αρκετές περιπτώσεις, η δημιουργία των κατάλληλων εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, καταστρέφει εύφορες εκτάσεις, που σχετίζονται με την ύπαρξη του υδάτινου αυτού πλούτου. Σε άλλες περιπτώσεις δημιουργούν τεράστιους φυσικούς ταμιευτήρες διαχείρισης νερού. Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά.



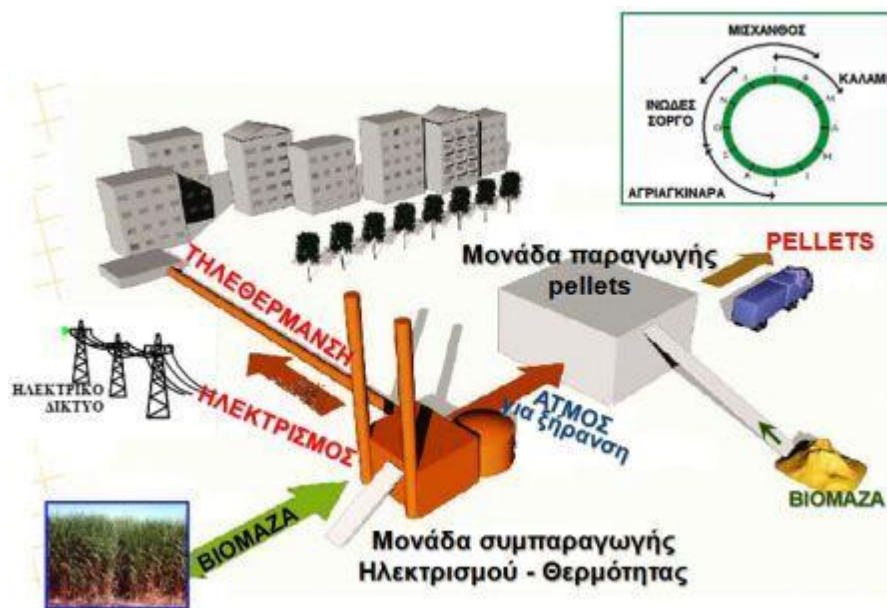
Εικόνα 1.2

Πηγή:

http://users.sch.gr/kpara/ape2009_10/ydrauliki.html

Βιομάζα

Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.



Εικόνα 1.3

Πηγή:

<http://bioenergynews.capitalblogs.gr/files/32262/image/82.jpg>

Ενέργεια από τη θάλασσα

- *Ενέργεια από παλίρροιες:* Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.
- *Ενέργεια από κύματα:* Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.

- *Ενέργεια από τους ωκεανούς:* Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της έρευνας.

Γεωθερμική ενέργεια

Πρόέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, και το 20%, όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, με γεωθερμική ενέργεια.

Ηλιακή ενέργεια

Η εκμετάλλευση της γίνεται με διάφορους τρόπους, που διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε εσωτερική ενέργεια δομικών κατασκευών (παθητικά ηλιακά συστήματα) και στην δεύτερη, αυτά που προκαλούν μετατροπή της, σε άλλης μορφής



Εικόνα 1.4

Πηγή:

http://www.newsbomb.gr/media/k2/items/cache/0db6fdf229d73bd847d794fd73ecf10f_XL.jpg

ενέργεια ή χρησιμοποιείται θερμικό ρευστό σε κίνηση (ενεργά ηλιακά συστήματα). Η εφαρμογή της παθητικής ηλιακής θέρμανσης στα κτίρια, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμομόνωσή τους, αποτελεί σήμερα πολύ σημαντικό στοιχείο της δομικής και θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου και λαμβάνεται υπόψη σε ενεργειακούς υπολογισμούς που αποβλέπουν σε

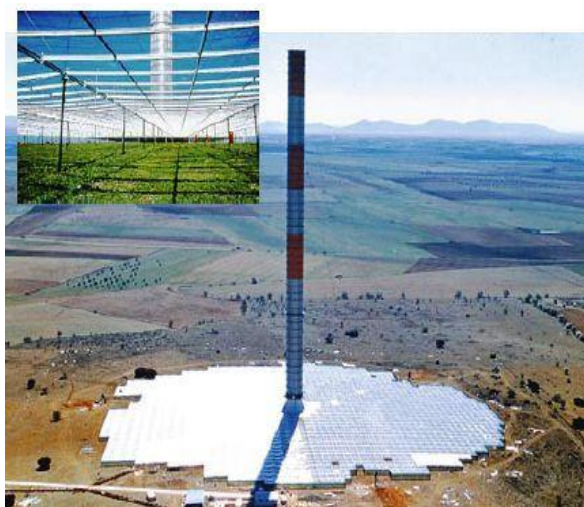
εξοικονόμηση και αποδοτική διαχείριση της ενέργειας. Στα ενεργά ηλιακά συστήματα συγκαταλέγονται αυτά που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε εσωτερική ενέργεια θερμικού ρευστού (θερμοσιφωνικά συστήματα) και αυτά που μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρισμό (φωτοβολταϊκά συστήματα). Τα τελευταία

έχουν αρχίσει να κερδίζουν έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Ηλιακή καμινάδα

Πλέον αναπτύσσονται τεχνολογίες που κάνουν φθηνή την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας (φθηνότερη και από τα ορυκτά καύσιμα σε πολλές περιπτώσεις). Σε αυτές συμπεριλαμβάνεται και η παραγωγή ενέργειας με την τεχνολογία της ηλιακής καμινάδας.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της, εκτός από το γεγονός ότι χρησιμοποιεί ως πρώτη ύλη την αστείρευτη ενέργεια του ήλιου (όπως και τα φωτοβολταϊκά), είναι ότι προσφέρεται ως λύση και για φτωχές χώρες (π.χ. Αφρικανικές – μετατροπή τους σε εξαγωγείς ενέργειας) καθώς και για αξιοποίηση ακόμη και των ερήμων οι οποίες μπορούν να μετατραπούν σε περιοχές παραγωγής φθηνής ενέργειας.



Εικόνα 1.5

Πηγή:

<http://bioenergynews.capitalblogs.gr/showArticle.asp?id=9469&blid=210>

1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Πλεονεκτήματα

- ✓ Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- ✓ Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- ✓ Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- ✓ Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες

μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.

- ✓ Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- ✓ Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

Μειονεκτήματα

- ✓ Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- ✓ Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- ✓ Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- ✓ Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- ✓ Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

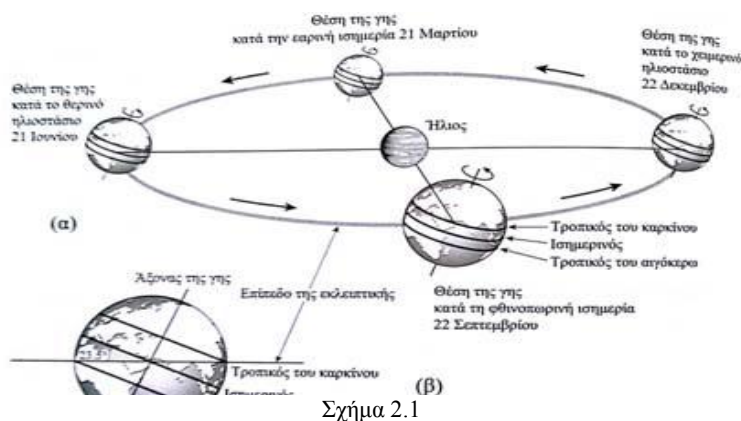
2. Κεφάλαιο 2° : Ήλιος & Ηλιακή Ενέργεια

2.1 Η Κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο

Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο μπορεί να αναλυθεί σε δύο κύριες συνιστώσες:

- 1) Περιφορά γύρω από τον ήλιο, σε ελλειπτική τροχιά, με τον ήλιο στη μια των δύο εστιών.
- 2) Περιστροφή της γης γύρω από τον άξονα της.

Στο Σχήμα 2.1 (α) δείχνεται η σύνθετη κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο. Κατά την περιφορά της διαγράφει ελλειπτική τροχιά η οποία ονομάζεται εκλειπτική. Μπορεί επίσης να παρατηρηθεί η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονα της, σε τέσσερις χαρακτηριστικές θέσεις κατά τη διάρκεια του έτους. Ο άξονας της γης μετατοπίζεται, περίπου παράλληλα με τον εαυτό του, σχηματίζοντας σχεδόν σταθερή γωνία με την εκλειπτική. Το επίπεδο του ισημερινού της γης, που είναι κάθετο στον άξονα της, σχηματίζει με το επίπεδο της εκλειπτικής γωνία, ίση με 23,45 μοίρες.



Σχήμα 2.1

Φυσικά, την ίδια γωνία σχηματίζει και κάθε άλλος παράλληλος της γης (παράλληλος προς τον ισημερινό), με την εκλειπτική. Έτσι, καθώς η γη αλλάζει θέση στην ετήσια τροχιά περί τον ήλιο, αλλάζει το ύψος μεσουράνησης του ήλιου σε κάθε τόπο στην επιφάνεια της γης. Για τόπο στο βόρειο ημισφαίριο, η θέση μεσουράνησης παίρνει την μικρότερη τιμή της το χειμώνα (22 Δεκεμβρίου) και τη μέγιστη το καλοκαίρι (21 Ιουνίου). Το αντίθετο ισχύει για τόπους του νοτίου ημισφαιρίου. Στις 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου, η ημέρα έχει ίση διάρκεια με τη νύκτα (Ισημερίες).

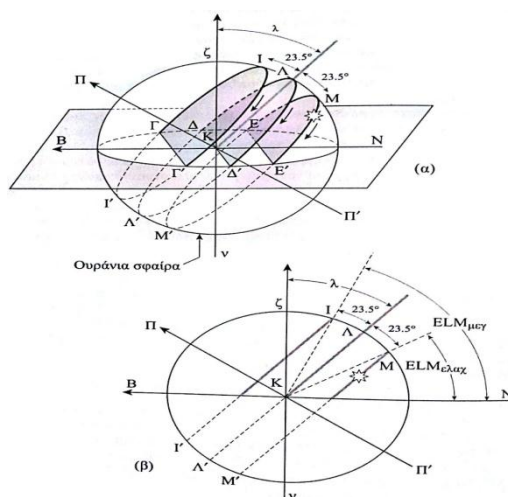
Ένας προσφιλής τρόπος για να περιγράψουμε την κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο, είναι να δούμε το φαινόμενο αυτό από τη θέση του τοπικού παρατηρητή. Αυτός ο παρατηρητής περιγράφει τα προηγούμενα, ως κίνηση του ήλιου γύρω από τη γη, που τη θεωρεί ακίνητη. Γι' αυτόν, όλα τα αστέρια και οι πλανήτες φαίνονται να είναι τοποθετημένα σε μια τεράστια σφαίρα, την ουράνια σφαίρα, η οποία φαίνεται να περιστρέφεται γύρω από τη γη, με φορά αντίθετη της περιστροφής της γης.

Στην τρισδιάστατη παράσταση του Σχήματος 2.2 (α), ο τοπικός παρατηρητής είναι στο κέντρο K , της ουράνιας σφαίρας. Η κατακόρυφη του τόπου, με κατεύθυνση προς τα πάνω προσδιορίζει, επί της ουράνιας σφαίρας, το ζενίθ (ζ), του τόπου. Το αντιδιαμετρικό σημείο λέγεται ναδίρ (ν) του τόπου. Ο παρατηρητής βλέπει τον ήλιο να ανατέλλει, τη μέρα του χειμερινού ηλιοστασίου, από το E και να δύει στο E' .

Καθώς περνάνε οι μέρες, ο ήλιος αλλάζει κύκλο, η θέση μεσουράνησης αυξάνει, το σημείο ανατολής μετατοπίζεται ανατολικότερα και η δύση δυτικότερα.

Έτσι την ημέρα της ισημερίας, ο ήλιος ανατέλλει από το Δ και δύει στο Δ' . Μετά από άλλους τρεις μήνες, η κυκλική τροχιά του ήλιου φτάνει στον κύκλο Π' .

Ανατέλλει από το Γ και δύει στο Γ' .



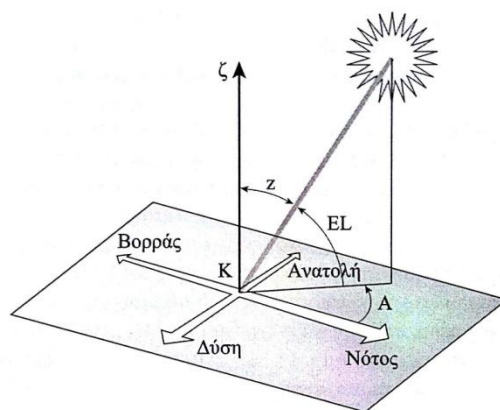
Σχήμα 2.2

Το Σχήμα 2.2 (β) αποτελεί τομή του Σχήματος 2.2 (α) και περιέχει τον άξονα της ουράνιας σφαίρας, την κατακόρυφη του τόπου, το ίχνος του επιπέδου τους με το οριζόντιο επίπεδο του τόπου καθώς επίσης και τον μεσημβρινό του τόπου. Το επίπεδο που περνά από τον τόπο (θέση K του παρατηρητή, Σχήμα 2.2) και είναι κάθετο στην κατακόρυφη του τόπου, αποτελεί το οριζόντιο επίπεδο του τόπου. Στο ίδιο σχήμα δείχνεται η κατεύθυνση Νότου-Βορρά. Η τροχιά του ήλιου γύρω από τη γη, κατά τις ισημερίες, είναι μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας, με ζενίθια γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος (λ), του τόπου (ή EL Μισημερίας= 90 μοίρες- λ , όπου η συμβολική γραφή ELM χαρακτηρίζει το ύψος του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι). Την ίδια μέρα, τα τόξα ημέρας και νύκτας είναι ίσα.

Η μεσουράνηση του ήλιου σε τόπους που βρίσκονται στον ίδιο μεσημβρινό (Μεσημβρινός: ημικύκλιο με διάμετρο στον άξονα περιστροφής της γης. Όλοι οι

τόποι πάνω στον ίδιο μεσημβρινό χαρακτηρίζονται από το ίδιο γεωγραφικό μήκος. Είναι η αντίστοιχη γωνία, της διέδρου μεταξύ του μεσημβρινού του τόπου και του μεσημβρινού του Greenwich, προαστίου του Λονδίνου, του οποίου το γ.μ. έχει οριστεί ως αναφορά, δηλαδή γ.μ. greenw=0) συμβαίνει προφανώς την ίδια στιγμή, ο ήλιος όμως βρίσκεται σε διαφορετικό ύψος στους διάφορους αυτούς τόπους. Μάλιστα, το μέγιστο ύψος του ήλιου, που συμβαίνει κατά τη μεσουράνησή του, για τους τόπους ενός μεσημβρινού, στο βόρειο ημισφαίριο, ελαττώνεται όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Η θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο, μια δεδομένη στιγμή, μπορεί να καθοριστεί ως προς το σύστημα του τοπικού παρατηρητή, με βάση δύο συντεταγμένες γωνίες που δείχνονται στο Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3

Οι γωνίες αυτές είναι:

- A) Το ύψος (Elevation) του ήλιου, (το οποίο εδώ συμβολίζεται με EL), είναι η γωνία μεταξύ της ευθείας από τον παρατηρητή ή τον τόπο, προς τον ήλιο, με το οριζόντιο επίπεδο. Ισούται με τη συμπληρωματική γωνία της ζενίθιας απόστασης του ήλιου, z , δηλαδή, της γωνίας της ευθείας παρατηρητή-ήλιου, με την κατακόρυφη του τόπου $K\zeta$, ($EL=90\text{μοίρες}-z$).
- B) Το αζιμούθιο ή η αζιμουθιακή γωνία του ήλιου, που αφορά στην αντίστοιχη γωνία μεταξύ του κατακόρυφου επιπέδου, που περιέχει τον ήλιο και του γεωγραφικού μεσημβρινού, συμβολίζεται συνήθως με A . Μετρείται κατά τη φορά κίνησης των δεικτών του ρολογιού (clockwise), με αναφορά την κατεύθυνση του βορρά, από 0 έως 360 μοίρες. Στα φωτοβολταϊκά συστήματα, συνηθίζεται η αναφορά του αζιμουθίου του ήλιου, ως προς την

κατεύθυνση του νότου, ανατολικά, από 0 έως 180 μοίρες και δυτικά από 0 έως -180 μοίρες. Το ύψος και το αζιμούθιο του ήλιου προσδιορίζονται από τις επόμενες σχέσεις:

$$\sin EL = \sin \lambda \times \cos \lambda \times \cos \delta \times \cos \omega$$

$$\sin A = -((\cos \delta \times \sin \omega) \div \cos EL)$$

Όπου,

λ : το γ .π. του τόπου

δ : η απόκλιση του ήλιου τη δεδομένη ημέρα και

ω : η ωριαία γωνία του ήλιου, τη στιγμή υπολογισμού των A και EL

Η γωνία που σχηματίζουν οι ακτίνες του ήλιου κατά τη μεσουράνηση του κάθε μέρα, με το επίπεδο του ισημερινού, δηλαδή, με την ευθεία ΚΛ (Σχήμα 2.2, α και β) ονομάζεται απόκλιση (Declination) του ήλιου την συγκεκριμένη μέρα και συμβολίζεται συνήθως με δ . Μεταβάλλεται (η απόκλιση του ήλιου, δ , δίδεται από τη σχέση:

$$\delta = 23.45^\circ \times \sin(2\pi \times ((284 + n) \div 365.24))$$

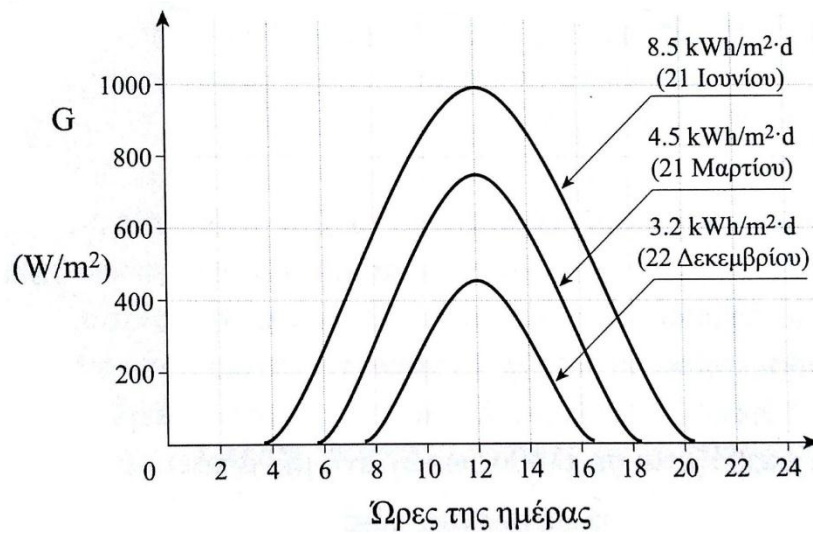
όπου n η μέρα του έτους, με n=1 την 1^η Ιανουαρίου και n=365 την 31^η Δεκεμβρίου) ημιτονικά, μεταξύ των τιμών $-23,5^\circ$ και $+23,5^\circ$, με το χρόνο, εκφρασμένο σε αριθμό ημερών, κατά τη διάρκεια του έτους. Κατά την ετήσια φαινόμενη κίνησή του ο ήλιος αλλάζει συνεχώς ημερήσιο κύκλο και το ύψος μεσουράνησής του ($ELM=(90^\circ-\lambda)+\delta$), αυξάνει μέρα με τη μέρα, από την ελάχιστη τιμή $ELM_{ελάχ}=(90^\circ-\lambda)-23,5^\circ$ (22 Δεκεμβρίου), μέχρι τη μέγιστη τιμή $ELM_{μεγ}=(90^\circ-\lambda)+23,5^\circ$ (21 Ιουνίου). Τότε έχουμε τη μέγιστη μέρα και αντίστοιχα την ελάχιστη νύκτα του έτους, για το συγκεκριμένο τόπο. Οι έννοιες ημέρας και νύκτας καθορίζονται από τα αντίστοιχα τόξα, πάνω και κάτω από το επίπεδο του ορίζοντα. Στις ισημερίες (Εαρινή, 21 Μαρτίου και Φθινοπωρινή, 22 Σεπτεμβρίου), η απόκλιση του ήλιου μηδενίζεται και το ύψος μεσουράνησής του γίνεται ίσο με $90^\circ-\lambda$.

2.2 Μέση, Ημερήσια Ενεργειακή Απολαβή από τον Ήλιο

Η ενέργεια ανά m^2 , που φτάνει στην επιφάνεια της γης μέσα σε μια μέρα, εξαρτάται από την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, τη μέρα του χρόνου και από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων αερίων, υγρών και στερεών συστατικών και αιωρημάτων της ατμόσφαιρας, κατά την ημέρα εκείνη, οι συλλεκτικές επιφάνειες των μετρητικών οργάνων (αισθητήρων), μπορεί να προσανατολιστούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πειράματος και τις προδιαγραφές των οργάνων αυτών.

Προκειμένου, όμως, να υπάρχουν συγκρίσιμα στοιχεία, σε διεθνή κλίμακα, αναφερόμαστε σε μετρήσεις με αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται με τη συλλεκτική τους επιφάνεια οριζόντια. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μέσες ημερήσιες τιμές πυκνότητας ισχύος και της πυκνότητας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντια επιφάνεια, μέσα σε κάθε μήνα και μέσα στο έτος. Για να αξιοποιηθούν αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία σε πρακτικές εφαρμογές (π.χ. σε ενεργειακές μελέτες), απαιτούνται μετρήσεις που να καλύπτουν περίοδο πολλών ετών (π.χ. 10 έως 30 ετών). Σε περιπτώσεις που λείπουν στοιχεία μακράς περιόδου για κάποιο τόπο, μπορούν να αξιοποιήσουν στοιχεία που έχουν συλλεχθεί σε μικρότερες χρονικές περιόδους, με την επιφύλαξη μικρότερης αξιοπιστίας (λόγω μεγαλύτερου σφάλματος).

Τυπικές μορφές εξέλιξης μέσα στην ημέρα, της πυκνότητας ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο ($G(Kw/m^2)$), απεικονίζονται στο Σχήμα 2.4. Στο ίδιο σχήμα αναγράφονται και οι αντίστοιχες ενεργειακές πυκνότητες H (σε kWh/m^2), οι οποίες προκύπτουν ως ολοκλήρωμα ή «εμβαδόν» κάτω απ' την αντίστοιχη καμπύλη. Σημειώνεται πάντως, ότι, κατά τη διάρκεια μερικής παρουσίας σύννεφων, γύρω απ την κατεύθυνση του ήλιου, μπορεί να παρατηρηθούν τιμές πυκνότητας ισχύος μεγαλύτερες (το παράδοξο αυτό φαινόμενο οφείλεται στο ότι, με την παρουσία συστάδων από σύννεφα, που δεν καλύπτουν τον ήλιο, πέφτουν στον αισθητήρα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας, εκτός απ' τις απευθείας και διάχυτες ακτίνες, που αφορούν σε μια ηλιοφανή μέρα και οι σχετικά ισχυρά σκεδαζόμενες στα σύννεφα) των τιμών που θα καταγράφονταν χωρίς την παρουσία τους. Οι συγκεκριμένες γραφικές παραστάσεις προέρχονται από μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο 'φωτοβολταϊκό πάρκο', στο Ηράκλειο της Κρήτης, με γεωγραφικό πλάτος 35.5° και γεωγραφικό μήκος $\sim 25^\circ$.



Σχήμα 2.4

Στον τόπο αυτό, η μέση, καθ' όλο το έτος, ημερήσια τιμή της ηλιακής ενέργειας, σε οριζόντιο επίπεδο, για μια σειρά πέντε ετών, έχει προκύψει ίση με $H=5\text{kWh/m}^2 \text{ d}$. Σημειώστε ότι τα ολοκληρώματα κάτω από τις καμπύλες του σχήματος, ισούνται με την αντίστοιχη ημερήσια ενέργεια που προσφέρει ο ήλιος στο συλλέκτη ανά μονάδα επιφάνειας. Η ημερήσια μέση πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας την συγκεκριμένη ημέρα, προκύπτει διαιρώντας το αντίστοιχο ολοκλήρωμα H (εκφρασμένο π.χ. σε $\text{kWh/m}^2 \text{ day}$), διά των 24h (G , όπου $T=24\text{h}$). Η μέση τιμή της πυκνότητας ισχύος αντιπροσωπεύει την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, σαν ο τόπος να φωτιζόταν όλο το εικοσιτετράωρο, με ηλιακή ακτινοβολία σταθερής πυκνότητας ισχύος. Αποτελεί τυπικό συγκριτικό στοιχείο ηλιακής, ακτινοβολίας, για διαφορετικούς τόπους.

Σε περιοχές κοντά στον Ισημερινό, η χαρακτηριστική αυτή τιμή είναι μεγαλύτερη (μέχρι και $7\text{kWh/m}^2 \text{ d}$). Ο χάρτης στο παράρτημα Δ, μέρος Ι, δείχνει την κατανομή της μέσης, ετησίως, ημερήσιας ενεργειακής απολαβής από τον ήλιο, ανά τον κόσμο. Άξιο παρατήρησης είναι η ελαττωμένη τιμή της σε περιοχές της τροπικής ζώνης (γύρω από τον Ισημερινό). Η υψηλή υγρασία των περιοχών αυτών, με την έντονη βλάστηση, έχει ως αποτέλεσμα την ισχυρή ελάττωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.

2.3 Ηλιοφάνεια

Εκτός από τη μέση ημερήσια ενέργεια από τον ήλιο σε μηνιαία και ετήσια βάση, σε οριζόντιο επίπεδο, χαρακτηριστικό στοιχείο μια περιοχής είναι η ηλιοφάνειά της. Αυτή εξαρτάται βεβαίως από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και από την θέση και τη διαμόρφωση της περιοχής. Τα χαρακτηριστικά αυτά πιθανόν να ευνοούν την ανάπτυξη νεφώσεων, με αποτέλεσμα την μείωση των ηλιόλουστων ημερών. Η ηλιοφάνεια εκφράζεται σε πλήθος ωρών ανά μήνα και ανά έτος, κατά τις οποίες ο ήλιος είναι ορατός στον ουρανό (ένα από τα πιο γνωστά ιστορικά όργανα προσδιορισμού της ηλιοφάνειας σ ένα τόπο, είναι ο ηλιογράφος. Αποτελείται από μια γυάλινη σφαίρα, η οποία συγκεντρώνει τις ηλιακές ακτίνες σε ορισμένο σημείο (είδωλο του ήλιου). Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το είδωλο αλλάζει θέση ακολουθώντας αντίστοιχη τροχιά με τον ήλιο. Ειδικό χαρτί τοποθετείται στην επιφάνεια κίνησης του ειδώλου του ήλιου. Όσο ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα, η ισχυρή ακτινοβολία στην επιφάνεια του ειδώλου προκαλεί κάψιμο του χαρτιού, κάτι που δεν συμβαίνει αν ο ήλιος σκιάζεται. Συνεπώς, πάνω στο χαρτί καταγράφεται ως μαύρη λωρίδα, το τμήμα του τόξου της ηλιακής τροχιάς κατά το οποίο αυτός δε σκιάζόταν, άρα και το ποσοστό των ωρών ηλιοφάνειας για την ημέρα εκείνη. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται και άλλη διάταξη, στην οποία συνδυάζονται δύο οπτικοί αισθητήρες, εκ των οποίων ο ένας σκιάζεται ώστε να μη δέχεται την απευθείας ακτινοβολία. Η διαφορά μεταξύ των ενδείξεων παρέχει την πληροφορία περί της ηλιοφάνειας. Στην Ελλάδα, η περιοχή με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, είναι η περιοχή της Ιεράπετρας, στο νοτιοανατολικό μέρος της Κρήτης (3108 ώρες ετησίως).

2.4 Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος

Η προηγούμενη διαδικασία καταγραφής στοιχείων, εφαρμόζεται και για άλλα χαρακτηριστικά του τόπου όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία κ.α. Ο σκοπός μιας τέτοιας εργασίας είναι να αποτελέσουν, οι συλλεγόμενες τιμές, χαρακτηριστικά δεδομένα του τόπου και να αξιοποιηθούν σε ενεργειακές μελέτες. Αυτές αφορούν σε κτιριακές κατασκευές, σε κλιματιστικά μηχανήματα, σε μελέτες εγκατάστασης ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού, ή ηλιακών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σε φωτοβολταϊκά συστήματα κ.α. Οι τιμές πρέπει να αναφέρονται σε

μακρά περίοδο μετρήσεων. Συνήθως χρησιμοποιούνται ωριαίες μετρήσεις στον συγκεκριμένο τόπο, των τελευταίων τριάντα ετών. Μ' αυτό τον τρόπο δημιουργείται η βάση δεδομένων της περιοχής. Δημιουργείται, δηλαδή, το λεγόμενο έτος αναφοράς, για τον τόπο. Δύο είναι οι βασικοί τρόποι δημιουργίας έτους αναφοράς, εκ των οποίων ο δεύτερος χρησιμοποιείται συνηθέστερα κατά τον υπολογισμό των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

I. Από τις μηνιαίες τιμές εκάστου μεγέθους π.χ. της μέσης ημερήσιας ηλιακής απολαβής, της ηλιοφάνειας, της θερμοκρασίας κ.λπ., για τριάντα συνεχόμενα έτη, προκύπτουν οι μέσες τιμές ανά μήνα για όλο το έτος. Ονομάζεται Μετεωρολογικό Έτος για Ενεργειακούς Υπολογισμούς (Weather Year for Energy Calculations, W.Y.E.C.)

II. Προσδιορίζεται ο στατιστικά πιο πιθανός μήνας μεταξύ των ομοίων του, των τελευταίων τριάντα ετών και αυτός αποτελεί τον αντίστοιχο μήνα αναφοράς. Το σύνολο των δώδεκα μηνών αναφοράς, για τον ορισμένο τόπο αποτελεί το έτος αναφοράς. Ονομάζεται ιδιαιτέρως Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος (Typical Meteorological Year, T.M.Y.).

Προτείνεται επίσης η χρήση ενός συντομευμένου έτους αναφοράς (Sort Reference Year, S.R.Y.), βασισμένου σε ωριαία δεδομένα μερικών αντιπροσωπευτικών εβδομάδων του έτους, π.χ. δεκατεσσάρων εβδομάδων.

2.5 Προσανατολισμός του Συλλέκτη

Σημαντικό ρόλο στη συλλογή από το ΦΒ συλλέκτη, όσο το δυνατόν μεγαλύτερων ποσοτήτων ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας, παίζει ο προσανατολισμός του, καθοριζόμενος ως προς τον ηλιακό νότο, ο οποίος αντιστοιχεί στη στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στον μεσημβρινό του συγκεκριμένου τόπου.

Στοιχεία προσδιορισμού του προσανατολισμού ενός συλλέκτη

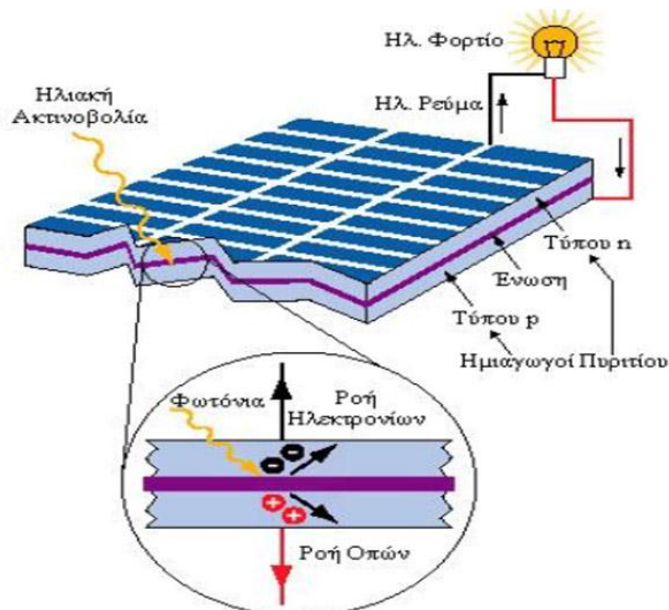
Κάθε τόπος πάνω στην επιφάνεια της γης, προσδιορίζεται από τις σφαιρικές συντεταγμένες του:

- Το γεωγραφικό μήκος, (L), που καθορίζεται από το τόξο ΟΓ, πάνω στον ισημερινό ή σε άλλο παράλληλο, με αναφορά το μεσημβρινό του Greenwich από $0 - 180^\circ$ Ανατολικά και $0 - 180^\circ$ Δυτικά.
- Το γεωγραφικό πλάτος, (λ), που καθορίζεται από το τόξο ΓΤ, πάνω στο μεσημβρινό του τόπου ΜΤ, με αναφορά τον ισημερινό από $0 - 90^\circ$ Βόρεια και $0 - 90^\circ$ Νότια.

3. Κεφάλαιο 3° : Φωτοβολταϊκά

3.1 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Όταν μία δίοδος επαφής δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια $h \cdot \nu$ μεγαλύτερη ή ίση από το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί από ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο, λοιπόν, διαρκεί η ακτινοβολία δημιουργείται μια



Εικόνα 3.1

Πηγή:

http://www.alifragis.com.gr/full_product.php?prod_id=Solar&page=1

πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτήν και το γεγονός αυτό ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η διάταξη αυτή, η οποία αποτελεί πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο.

Τέλος, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα λέγεται φωτόρευμα. Το φωτόρευμα είναι ευθέως ανάλογο της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας $P_{\text{ΗΛ}}$ που προσπίπτει στο ΦΒ στοιχείο και του εμβαδού της επαφής των δυο ημιαγωγών.

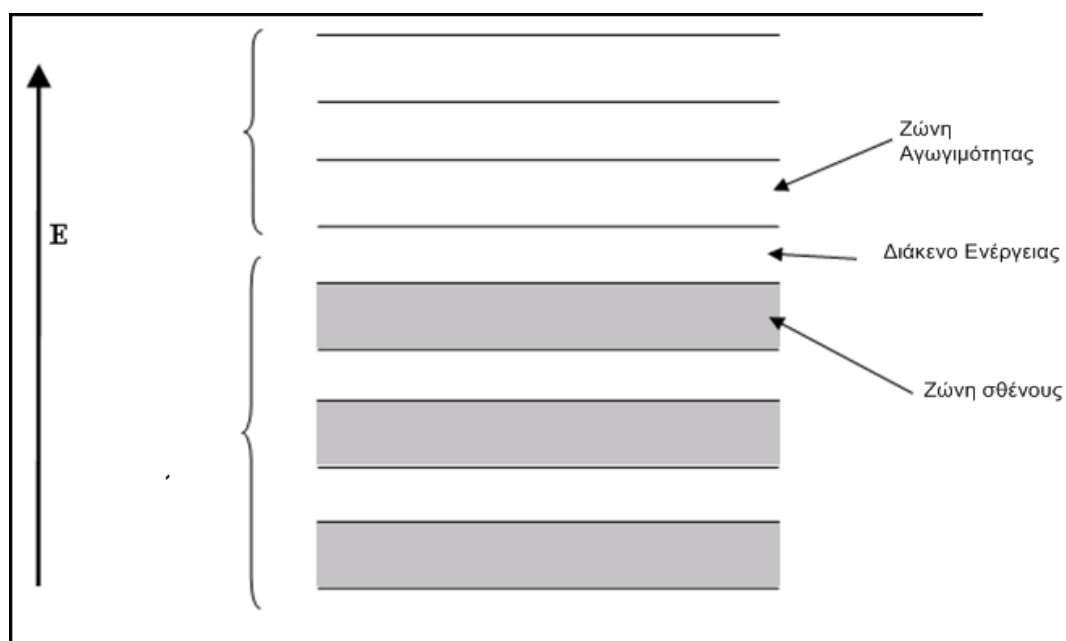
Είναι προφανές ότι είναι αδύνατη η μετατροπή όλης της ηλιακής ακτινοβολίας, που δέχεται το ΦΒ στοιχείο, σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του ΦΒ στοιχείου και διαχέεται προς την ατμόσφαιρα. Από την ακτινοβολία που διεισδύει στο ΦΒ στοιχείο δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο το οποίο αποτελείται από φωτόνια, που έχουν ενέργεια $h \cdot \nu$ μικρότερη από το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά, το ΦΒ στοιχείο, συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα, δηλαδή, η αντίστοιχη ακτινοβολία

το διαπερνά και απλά θερμαίνει το μεταλλικό ηλεκτρόδιο, που καλύπτει την πίσω όψη του. Ούτε όμως και το μέρος της ακτινοβολίας, που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού αξιοποιείται, γιατί μετατρέπεται σε θερμότητα. Τελικά, μόνο το μέρος της ακτινοβολίας της οποίας τα φωτόνια έχουν ενέργεια $h \cdot \nu = E_g$ αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα φωτόνια αυτά απορροφώνται και αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του ΦΒ στοιχείου να μετακινηθούν σε άλλη θέση. Και ως γνωστόν, ηλεκτρισμός σημαίνει κίνηση ηλεκτρονίων.

Κάθε υλικό χαρακτηρίζεται από ένα συντελεστή απορρόφησης α , ο οποίος εξαρτάται από το μήκος κύματος λ της ηλιακής ακτινοβολίας και το υλικό. Είναι προφανές ότι ο συντελεστής απορρόφησης μηδενίζεται για κρίσιμη τιμή λ_g μήκους κύματος πάνω από την οποία το υλικό γίνεται διαπερατό, δηλαδή, τα φωτόνια δεν απορροφώνται από τα ηλεκτρόνια της ζώνης σθένους.

3.2 Αγωγοί - Μονωτές - Ημιαγωγοί

Όπως είναι γνωστό από την φυσική, τα μέταλλα μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουν πολλά ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγής. Από την άλλη πλευρά, οι μονωτήρες, που δύσκολα μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια, δεν έχουν ηλεκτρόνια στο φάσμα αυτό.



Εικόνα 3.2
Ενεργειακές Ζώνες

Η ποσότητα της ενέργειας που έχει ένα ηλεκτρόνιο, βρίσκεται μέσα σε μια από τις διάφορες ενεργειακές «ζώνες». Τα ηλεκτρόνια που κρατούν τα άτομα ενός υλικού μαζί, είναι στη χαμηλότερη ζώνη από κατάσταση ενέργειας, γνωστή ως «ζώνη σθένους». Αν ένα ηλεκτρόνιο λάβει ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από αυτή της ζώνης αγωγιμότητας μείον τη ζώνη σθένους, είναι δυνατόν να προχωρήσει σε μια υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Αυτή η κατάσταση είναι γνωστή ως «φάσμα αγωγής». Η ενέργεια που χρειάζεται για την κίνηση αυτή ονομάζεται «ενεργειακό διάκενο» και το μέγεθος της ποικίλλει. Στη ζώνη αγωγιμότητας, τα ηλεκτρόνια έχουν μεγαλύτερη ελευθερία ταλάντωσης και ως αποτέλεσμα, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

Τα στερεά υλικά ανάλογα με τον βαθμό στον οποίο άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα κατατάσσονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: σε αγωγούς, σε μονωτές και σε ημιαγωγούς. Η διαφορά τους έγκειται στο πλήθος των ελεύθερων ηλεκτρονίων, δηλαδή αυτών που μπορούν να επιταχυνθούν υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου.

Καλοί αγωγοί

Τα στοιχεία που είναι καλοί αγωγοί έχουν άτομα με ένα ή δύο ηλεκτρόνια στη στοιβάδα σθένους τα οποία μπορούν να ελευθερωθούν στη στοιβάδα αγωγιμότητας και να κινούνται στον χώρο μεταξύ των ατόμων. Αυτά είναι τα ηλεκτρόνια (ελεύθερα ηλεκτρόνια) που συνεισφέρουν στο ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται στα μέταλλα.

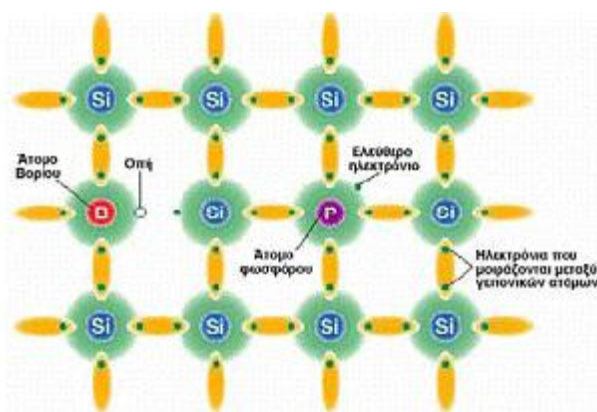
Μονωτές

Τα στοιχεία που ανήκουν στην κατηγορία αυτή έχουν άτομα με 6 ή 7 ηλεκτρόνια στη στοιβάδα σθένους. Τα ηλεκτρόνια αυτά παραμένουν δέσμια στο άτομο και έτσι δεν μπορούν να συνεισφέρουν στο ηλεκτρικό ρεύμα.

Ημιαγωγοί

Είναι στοιχεία που βρίσκονται από πλευράς ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεταξύ καλών αγωγών και μονωτών. Τα άτομα τους έχουν 3,4 ή 5 ηλεκτρόνια στην στοιβάδα σθένους και για αυτό μπορούν να συνεισφέρουν κατά μικρά μεταβλητά ποσά στο ηλεκτρικό ρεύμα ανάλογα τους δεσμούς που κάνουν με άλλα στοιχεία. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία

τετρασθενή με τετραεδρική κρυσταλλική δομή όπως το πυρίτιο (Si). Στα στοιχεία αυτά δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος και δε διαθέτουν ηλεκτρική αγωγιμότητα στην υποθετική περίπτωση που ο ημιαγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, δηλαδή είναι εντελώς υποβαθμισμένος ενεργειακά. Όταν όμως απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, π.χ. με τη μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας, πραγματοποιείται μια ριζική μεταβολή.



Εικόνα 3.3
Κρυσταλλικό Πλέγμα Πυριτίου με Άτομα Πρόσμιξης

Η ενέργεια που παρέχεται στο σώμα και κατανέμεται στα άτομά του, προκαλεί την ελευθέρωση πολλών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς. Τα ηλεκτρόνια αυτά απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους στο κρυσταλλικό πλέγμα, χάρη στην κινητική ενέργεια που απέκτησαν και γίνονται ευκίνητοι φορείς του ηλεκτρισμού, δίνοντας στον ημιαγωγό μια αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Είναι φανερό ότι το ενεργειακό διάκενο ανάμεσα στη ζώνη σθένους και στη ζώνη αγωγιμότητας εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους, ώστε να μετατραπεί σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο, με ταυτόχρονη δημιουργία μιας οπής.

Αν στα ηλεκτρόνια των δεσμών του κρυστάλλου προσφερθεί μια ποσότητα ενέργειας π.χ. αν δεχθούν μια δέσμη ακτινοβολίας που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια $h \cdot \nu$ μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο ($E_g > h \cdot \nu$), δε μπορούν να την απορροφήσουν και μένουν στη ζώνη σθένους. Αν όμως τα ενεργειακά κβάντα που προσφέρονται είναι ίσα με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού ($E_g < h \cdot \nu$), τότε κάθε κβάντο μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο σθένους και να διεγερθεί προς τη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας στη ζώνη σθένους μία οπή. Ο παραπάνω μηχανισμός διέγερσης εξαρτάται και από το αν ο ημιαγωγός είναι άμεσος ή έμμεσος.

Αν τώρα ο τετρασθενής ημιαγωγός Si, νοθευτεί με κάποιο πεντασθενές στοιχείο (φώσφορος, P) ή με κάποιο τρισθενές στοιχείο (βόριο, B), τότε παράγεται ημιαγωγός προσμίξεως τύπου-n και τύπου-p αντίστοιχα. Τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου P, θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς. Το πέμπτο ηλεκτρόνιο (φορέας πλειονότητας) θα συγκρατείται πολύ χαλαρά από το θετικό πυρηνικό φορτίο του P και με λίγη ενέργεια μπορεί να αποσπασθεί και να κινήσει σαν ελεύθερο ηλεκτρόνιο, αφήνοντας ένα ανιόν (P⁺) που μένει ακίνητο στο πλέγμα. Δηλαδή το πεντασθενές άτομο συμπεριφέρεται στο πλέγμα σαν δότης ηλεκτρονίων (τύπος-n ημιαγωγός). Αντίστοιχα, με την πρόσμιξη τρισθενών ατόμων B σε πλεγματικές θέσεις του Si, δημιουργούνται κενές θέσεις ηλεκτρονίων στους δεσμούς. Με την απορρόφηση ενός μικρού ποσού ενέργειας, ένα ηλεκτρόνιο από ένα γειτονικό πλήρη δεσμό μπορεί να καλύψει την κενή θέση, αφήνοντας παράλληλα στην προηγούμενη θέση του μια οπή και μετατρέποντας το άτομο B σε κατιόν (B⁻). Δηλαδή το τρισθενές άτομο συμπεριφέρεται σαν αποδέκτης ηλεκτρονίων (φορείς μειονότητας) ή δότης οπών (τύπος-p ημιαγωγός).

3.3 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Πυριτίου (Si)

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν φωτοβολταϊκά στοιχεία στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες

περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

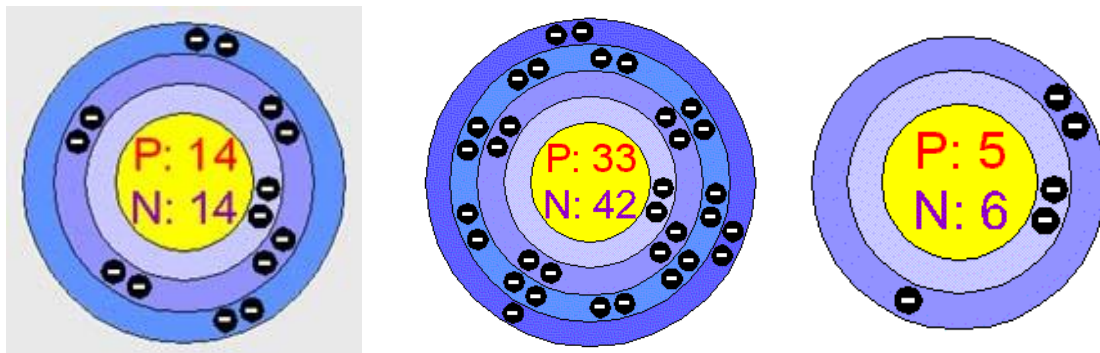
Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε **ανακλάται**, είτε την **διαπερνά** (διαπερατότητα) είτε **απορροφάται** από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.

Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (**πακέτα ενέργειας**) σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Γενικότερα τα υλικά στην φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους **αγωγούς** του ηλεκτρισμού, τους **μονωτές** και τους **ημιαγωγούς**. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.

Χαρακτηριστικά Ημιαγωγών

Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που τον διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην **εξωτερική του στοιβάδα** (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si) για αυτό και θα επικεντρωθούμε σε αυτό.



Εικόνα 3.4

Το πυρίτιο έχει **ατομικό αριθμό 14** και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα η περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι "γενικά" συμπληρωμένη με 8 e) ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.

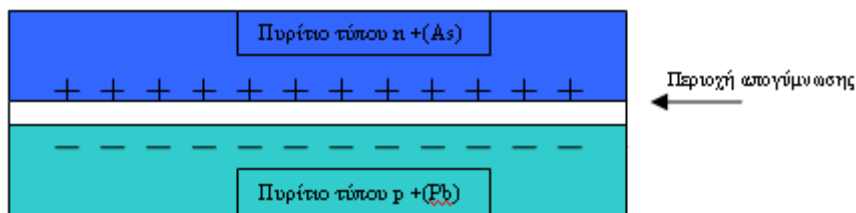
Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και **κρυσταλλική δομή**. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά.

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

Τις **ημιαγωγές ιδιότητες** του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται **με την πρόσμειξη** με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό **τύπου p**) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό **τύπου n**)

Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός **τύπου n** ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το **Αρσένιο (As)**.

Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό **τύπου p** η αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το **βόριο (B)** που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.



Εικόνα 3.5
Επαφή Ηλεκτρικού Πεδίου

Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου **τύπου n** και **τύπου p** το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια δίοδος η αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.

Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής **n** έλκονται από τις «οπές» τις επαφής **p**. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το **δομικό στοιχείο** του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

3.4 Επίδραση Ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη φβ κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή **τύπου n** και χτυπούν τα άτομα της περιοχής **τύπου p**. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής **τύπου p** αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της δίοδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής.

Αφού ξεπεράσουν το **ενεργειακό χάσμα** αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής **n** πλέον έχουμε μια περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων

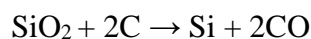
μπορεί να **παράγει ηλεκτρικό ρεύμα** εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής **n** και στο κάτω της επαφής **p** και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

3.5 Φωτοβολταϊκές Κυψελίδες (ΦΒ Στοιχεία)

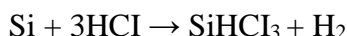
Οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες (ή φωτοβολταϊκά στοιχεία) μπορούν να χαρακτηρισθούν σαν το στοιχειώδες μέσον μετατροπής, άμεσα, της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Το υλικό κατασκευής τους ανήκει στους ημιαγωγούς. Στις πρακτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται περισσότερο, στοιχεία βασισμένα στο πυρίτιο (si). Το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός που κυριάρχησε μέχρι σήμερα σαν υλικό κατασκευής των ΦΒ στοιχείων. Το πυρίτιο (si) είναι από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία στη φύση, αφού αποτελεί το 25% του γήινου φλοιού. Το καθαρό πυρίτιο παράγεται από την άμμο, της οποίας το κύριο συστατικό είναι το οξείδιο του πυριτίου (SiO₂).

Η πρώτη φάση του καθαρισμού γίνεται με την ανάτηξη από την οποία προκύπτει πυρίτιο μεταλλουργικής ποιότητας.



Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει τη μετατροπή του μεταλλουργικού πυριτίου, με την βοήθεια υδροχλωρικού οξέος, σε αέριο τριχλωροσιλάνιο.



Στην τρίτη φάση γίνεται ο καθαρισμός του τριχλωροσιλανίου με κλασματική απόσταξη και η αναγωγή του με υδρογόνο, οπότε παράγεται πυρίτιο ηλεκτρονικής ποιότητας.

Στην τελευταία φάση το ηλεκτρονικό πυρίτιο τήκεται και ανακρυσταλλώνεται με ακόμη μεγαλύτερη καθαρότητα σε κυλινδρική μονοκρυσταλλική μορφή διαμέτρου 10 cm περίπου.

Στην συνέχεια από τον κύλινδρο κόβονται δίσκοι πάχους 0,5 mm, οι οποίοι αφού λειανθούν διαμορφώνονται σε διόδους επαφής p-n με διάχυση ή εμφύτευση των κατάλληλων προσμείξεων. Το ΦΒ στοιχείο αποκτά την τελική του μορφή με την

συγκόλληση των ηλεκτροδίων στις δύο όψεις του δίσκου, την κάλυψη της εμπρός επιφάνειας με αντανακλαστικό επίστρωμα και την στεγανοποίηση.

Ανάλογα με την δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο κατασκευής, τα ΦΒ στοιχεία πυριτίου διακρίνονται σε τέσσερις τύπους:

ΦΒ στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (c-Si)

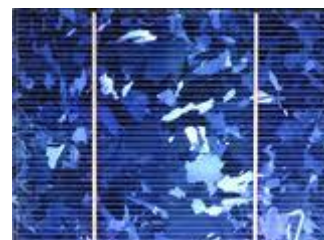
Αποτελούνται από μεγάλους κρυστάλλους, το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (~300μm) και έχουν χρώμα σκούρο μπλε. Σε εργοστασιακή μορφή το ΦΒ στοιχείο έχει απόδοση 21 - 24%, ενώ σε μορφή ΦΒ πλαισίων η απόδοση είναι 12 - 19%.



Εικόνα 3.6

ΦΒ στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (m-Si)

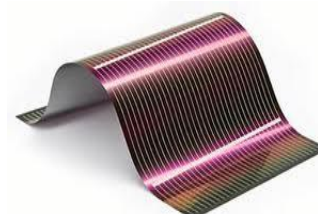
Κόβονται σε στοιχεία τετραγωνικής μορφής και αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα πάχους 10 – 50 μm. Έχουν χρώμα γαλάζιο και στην επιφάνεια του στοιχείου διακρίνονται διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Σε εργαστηριακή μορφή το ΦΒ στοιχείο έχει απόδοση 19 – 20%, ενώ σε μορφή ΦΒ πλαισίων η απόδοση είναι 12 – 19%. Τέλος το κόστος κατασκευής τους είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου.



Εικόνα 3.7

ΦΒ στοιχείο ταινίας

Είναι λεπτή ταινία πολυκρυσταλλικού πυριτίου, η οποία δημιουργείται από τηγμένο υλικό. Το ΦΒ στοιχείο έχει απόδοση 13% και περιορισμένη χρήση λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής.



Εικόνα 3.8

ΦΒ στοιχείο άμορφου πυριτίου (α-Si)

Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό πυρίτιο. Το ενεργειακό χάσμα του κυμαίνεται από 1,2 eV έως 1,6 eV, ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής του, ενώ το ενεργειακό χάσμα του κρυσταλλικού πυριτίου έχει σταθερή τιμή 1,1 eV. Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι έχει πολύ μεγαλύτερο συντελεστή απορρόφησης της



Εικόνα 3.9

ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να αρκεί ένα λεπτό στρώμα πάχους λίγων μμ για την κατασκευή των ΦΒ στοιχείων. Η μικρή ποσότητα χρησιμοποιούμενου υλικού μειώνει το κόστος παραγωγής. Το άμορφο πυρίτιο έχει στρεβλωμένους χημικούς δεσμούς με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μέτριες ηλεκτρικές ιδιότητες. Η βελτίωσή τους εξασφαλίζεται με την προσθήκη ατόμων υδρογόνου, που συμπληρώνουν τους ατελείς χημικούς δεσμούς. Το ΦΒ στοιχείο από υδρογονούχο άμορφο πυρίτιο έχει απόδοση 6 – 8%. Σήμερα κατασκευάζονται διατάξεις από δύο ή τρία ΦΒ στοιχεία, που τοποθετούνται το ένα πίσω από το άλλο, τα οποία είναι διαφορετικά κράματα άμορφου πυριτίου. Τα ΦΒ στοιχεία έχουν διαφορετικό ενεργειακό χάσμα και εμπρός τοποθετείται εκείνο που έχει το μεγαλύτερο. Τελευταίο τοποθετείται το ΦΒ στοιχείο με το μικρότερο ενεργειακό χάσμα. Έτσι, τα φωτόνια μικρής ενέργειας που διέρχονται από το πρώτο στοιχείο, απορροφούνται από το δεύτερο ή το τρίτο περιορίζοντας τη θερμική μετατροπή. Μια τέτοια διάταξη έχει απόδοση 10 – 12%.

Εκτός από τα ΦΒ στοιχεία πυριτίου, τα οποία αποτελούν και τα πιο διαδεδομένα σήμερα στον κόσμο, κατασκευάζονται ΦΒ στοιχεία και από άλλα υλικά, τα οποία προς το παρόν εμφανίζουν μειονεκτήματα που περιορίζουν τη χρήση τους. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι τα ακόλουθα:

ΦΒ στοιχεία αρσενικούχου γαλλίου (GaAs)

Παρουσιάζει την μεγαλύτερη απόδοση (25%) και το υψηλότερο κόστος κατασκευής και χρησιμοποιείται σε διαστημικές εφαρμογές.



Εικόνα 3.10

ΦΒ στοιχείο δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂)

Έχει χαμηλό κόστος κατασκευής και μικρή απόδοση σε μορφή ΦΒ πλαισίου η οποία μπορεί να φτάσει το 8 – 10% με την προσθήκη γαλλίου (Ga).



Εικόνα 3.11

ΦΒ στοιχεία τελουριούχου καδμίου (CdTe)

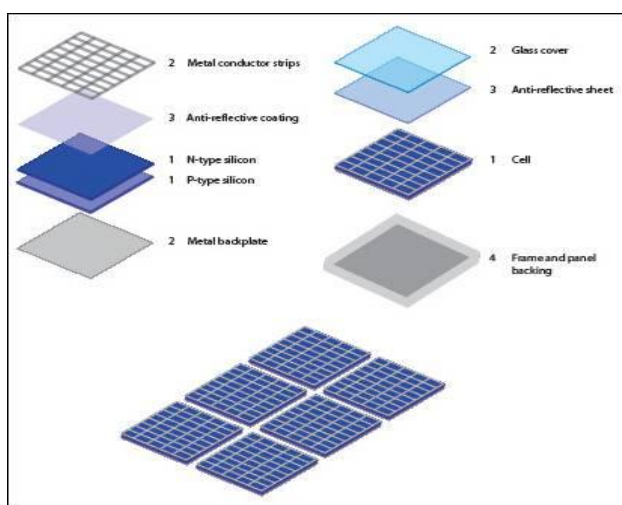
Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%.



Εικόνα 3.12

3.6 Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο

Η τάση που εκδηλώνει ένα ΦΒ στοιχείο πυριτίου σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία είναι έως 0,5 V και η ηλεκτρική ισχύς που παράγει δεν ξεπερνά τα 0,4 W περίπου. Είναι, λοιπόν, προφανές ότι οι τιμές αυτές θεωρούνται πολύ μικρές για την



Εικόνα 3.13

Πηγή:

<http://www.odec.ca/projects/2008/full8e2/background.html>

τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων. Λύση στο πρόβλημα αποτελεί η σύνδεση των ΦΒ σε σειρά, κατά τρόπο ανάλογο της σύνδεσης των ηλεκτρικών πηγών. Ένα σύνολο ΦΒ στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά έτσι ώστε να αποτελούν εύχρηστη σε μέγεθος μονάδα, ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο και για

λόγους ευκολίας γράφεται ΦΒ πλαίσιο. Από άποψη μηχανικής κατασκευής, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, αποτελούν

μια στιβαρή κατασκευή, ικανή να αντέχει σε ισχυρές καταπονήσεις, υπερθερμάνσεις, διάβρωση και υγρασία.

Αυτές τις ιδιότητες άλλωστε, πρέπει να τις έχουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια γιατί τοποθετούνται στην ύπαιθρο και ως εκ τούτου είναι εκτεθειμένα σε όλες τις καιρικές συνθήκες.

Καλή μηχανική κατασκευή των φωτοβολταϊκών πλαισίων σημαίνει μακροζωία και καλή λειτουργία του ενεργειακού συστήματος. Όλα αυτά αφ' ενός έχουν επιπτώσεις στο τελικό κόστος της ενέργειας που παρέχει το σύστημα και αφ' ετέρου στην αξιοπιστία του.

Εκτιθέμενο το φωτοβολταϊκό πλαίσιο στην ηλιακή ακτινοβολία, θα αρχίσει αμέσως να την μετατρέπει σε ηλεκτρική. Μέρος μόνο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπει σε ηλεκτρική. Σημαντικό, επίσης, μέρος της απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμότητα με επιπτώσεις στην απόδοση του.

3.7 Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες ΦΒ Πλαισίων

Τα ΦΒ πλαίσια κατασκευάζονται σε μορφή σάντουιτς. Τα ΦΒ στοιχεία συνδέονται σε σειρά και διατάσσονται σε κλάδους (στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου). Πάνω σε ένα φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμίνιο) ή από ενισχυμένο πλαστικό, στερεώνονται τα ΦΒ στοιχεία με κατάλληλη κολλητική ουσία. Το φύλλο αυτό αποτελεί την πλάτη του πλαισίου. Η εμπρός όψη των στοιχείων καλύπτεται από προστατευτικό φύλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Τα δύο φύλλα, εμπρός και πίσω, συγκρατούνται μεταξύ τους με τη βοήθεια ταινίας από συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Είναι προφανές ότι η κατασκευή αυτή εξασφαλίζει την απαραίτητη μηχανική αντοχή, τις υποδοχές στήριξης και την αυξημένη στεγανότητα για προστασία από την υγρασία.

Με στόχο την όσο το δυνατόν καλύτερη προσαρμογή των ΦΒ πλαισίων, οι εταιρίες κατασκευής τους προτείνουν πολλές ενδιαφέρουσες λύσεις. Στις στέγες των παραδοσιακών κτιρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ΦΒ πλαίσια με τη μορφή κεραμιδιών. Στις πλευρές μπορούν να τοποθετηθούν πλαίσια με τη μορφή ζωγραφικών πινάκων. Σε διαδρόμους μεγάλων κτιριακών συγκροτημάτων προτείνεται η χρήση ημιπερατών ΦΒ πλαισίων, τα οποία συνδυάζουν το ημερήσιο φυσικό

φωτισμό των διαδρόμων και το τεχνικό φωτισμό από φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια.

Τέλος, θα πρέπει και αναφέρουμε δύο πολύ σοβαρά προβλήματα, τα οποία μπορούν ακόμα και να καταστρέψουν ένα ΦΒ πλαίσιο. Πρόκειται για την υγρασία και την υπερθέρμανση ενός ΦΒ στοιχείου, η οποία ονομάζεται κατάσταση θερμικής κηλίδας.

Υγρασία

Επειδή η απόλυτη στεγανοποίηση ενός ΦΒ πλαισίου είναι πολύ δύσκολη, οι περισσότεροι κατασκευαστές πιστεύουν ότι είναι προτιμότερο να μπορεί να «αναπνέει» το πλαίσιο, έτσι ώστε να μην παγιδεύεται στο εσωτερικό του υγρασία.. Είναι προφανές ότι όσοι υδρατμοί εισέρχονται στο πλαίσιο συμπυκνώνονται σε νερό. Έτσι, για την απομάκρυνση του νερού προβλέπουν μια οπή στον πίνακα συνδέσεων, την οποία καλύπτουν με σήτα προκειμένου να αποτρέψουν την είσοδο μικρών ζώων.

Υπερθέρμανση ΦΒ στοιχείου

Όταν ένα ΦΒ στοιχείου δεν δέχεται την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σταματάει να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Επειδή όμως τα ΦΒ στοιχεία συνδέονται σε σειρά , που σημαίνει ότι το ΦΒ στοιχείο με το μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης επιβάλλει στο πλαίσιο το δικό του ρεύμα, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα από το πλαίσιο τείνει στο μηδέν. Παράλληλα, το σκιασμένο ΦΒ στοιχείο δέχεται το άθροισμα των τάσεων όλων των άλλων στοιχείων ανάστροφα και αρχίζει να υπερθερμαίνεται. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί την καταστροφή του ΦΒ στοιχείου αλλά μπορεί να προκαλέσει ακόμα και πυρκαγιά αν το Φβ πλαίσιο συνδέεται με ηλεκτρικό συσσωρευτή. Η προστασία της εγκατάστασης εξασφαλίζεται με την παράλληλη σύνδεση μίας διόδου παράκαμψης (ΔΠ) σε κάθε ομάδα ΦΒ στοιχείων.

3.8 Χαρακτηριστικά του Πλαισίου

Η μέγιστη ισχύς (peak power)

Είναι η ισχύς που θα δώσει το πλαίσιο όταν φωτίζεται με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 1000W σε κάθε τετραγωνικό μέτρο, όταν η θερμοκρασία του πλαισίου είναι 25°C. Είναι φανερό ότι η ισχύς που θα δώσει ένα πλαίσιο εξαρτάται από το

εμβαδό του, το είδος του που καθορίζει την απόδοση και από την θερμοκρασία. Βρέθηκε ότι όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, η ισχύς που δίνει το πλαίσιο ελαττώνεται κατά 0,4% για κάθε βαθμό κελσίου πάνω από τους 25°C.

Η τάση λειτουργίας του πλαισίου (operating voltage)

Τα περισσότερα πλαίσια που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά είναι κατασκευασμένα ώστε να παρέχουν τάση λίγο μεγαλύτερη από 12V. Για την κατασκευή των πλαισίων αυτών χρησιμοποιούνται 35 φωτοβολταϊκά στοιχεία για κάθε πλαίσιο. Εφόσον κάθε στοιχείο δίνει τάση 0,5V είναι επόμενο ότι η τάση του πλαισίου είναι γύρω στα 17V.

Το ρεύμα λειτουργίας του πλαισίου (operating current)

Είναι το ρεύμα που καθορίζει από την μέγιστη ισχύ που παρέχει το πλαίσιο και την τάση που δημιουργείται στα άκρα του όταν η ένταση της ακτινοβολίας είναι 1000W/m². Για ένα πλαίσιο με μέγιστη ισχύ 40W και τάση λειτουργίας 17V, το ρεύμα λειτουργίας θα είναι:

$$\frac{40 \text{ W}}{17 \text{ V}} = 2.3 \text{ A}$$

Για πιο μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται πλαίσια με τάση λειτουργίας 24V ή ακόμη και 48V. Κάθε στοιχείο, πλαίσιο ή ακόμη και σειρά πλαισίων έχει τη χαρακτηριστική καμπύλη που δίνει τη σχέση μεταξύ τάσης και έντασης του ρεύματος, για ορισμένη ένταση ακτινοβολίας.

Άλλα δυο χαρακτηριστικά μεγέθη είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση ανοιχτού κυκλώματος.

- **Ρεύμα βραχυκύκλωσης** είναι το ρεύμα που δίνει το στοιχείο ή πλαίσιο, όταν τα άκρα του βραχυκυκλώνονται, δηλαδή ενώνονται με σύρμα μηδενικής αντίστασης.
- **Τάση ανοιχτού κυκλώματος** είναι η τάση που εμφανίζεται στα άκρα του στοιχείου ή πλαισίου, όταν δεν ενώνονται μεταξύ τους ή ενώνονται με τη βοήθεια μιας μεγάλης αντίστασης.

3.9 Φωτοβολταϊκή Συστοιχία

Τα ΦΒ πλαίσια μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό. Ένας μικρός αριθμός ΦΒ πλαισίων, που είναι συναρμολογημένα σε ένα μεταλλικό πλαίσιο (συνήθως από αλουμίνιο) και αποτελούν ενιαία κατασκευή έτοιμη για εγκατάσταση, ονομάζεται ΦΒ πανέλο. Ο αριθμός των πλαισίων ενός πανέλου πρέπει να επιτρέπει την εύκολη μεταφορά και εγκατάσταση του από ένα τεχνίτη και οι καλωδιώσεις του κάθε πλαισίου απολήγουν σε ένα ηλεκτρολογικό κιβώτιο.

Οι τρόποι που μπορούν να συνδεθούν τα ΦΒ πλαίσια μεταξύ τους είναι:

Σύνδεση Φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά

Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε τάση μεγαλύτερη από την τάση που περιέχει κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο χωριστά. Η σύνδεση γίνεται ως εξής:

Ο θετικός πόλος του ενός στοιχείου συνδέεται με τον αρνητικό πόλο του επόμενου και η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να συνδεθούν μεταξύ τους όλα. Έτσι προκύπτει μια συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά. Η συνολική τάση της συστοιχίας είναι το άθροισμα των τάσεων του κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου. Από το κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο κυκλοφορεί το ίδιο ρεύμα.

Σύνδεση Φωτοβολταϊκών πλαισίων παράλληλα

Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε ρεύμα μεγαλύτερο από το ρεύμα που παρέχει κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο χωριστά. Η σύνδεση γίνεται ως εξής:

Ο θετικός πόλος του ενός στοιχείου συνδέεται με τον θετικό πόλο του άλλου και ο αρνητικός πόλος με τον αρνητικό του άλλου. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να συνδεθούν μεταξύ τους όλα. Έτσι προκύπτει μια συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων συνδεδεμένων παράλληλα. Το συνολικό ρεύμα της συστοιχίας είναι το άθροισμα των ρευμάτων του κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου. Οι τάσεις ανοιχτού κυκλώματος και μέγιστη ισχύος της συστοιχίας είναι ίδιες με τις αντίστοιχες τάσεις των πλαισίων.

Μικτή σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Με αυτή τη σύνδεση πετυχαίνουμε να αυξήσουμε το ρεύμα και την τάση ταυτόχρονα, σε τιμές που δεν είναι διαθέσιμες από απλά φωτοβολταϊκά πλαίσια. Από τεχνικής απόψεως η μικτή σύνδεση είναι συνδυασμός της σύνδεσης σε σειρά και της παράλληλης σύνδεσης και κατά συνέπεια ισχύει ότι ισχύει σε αυτές τις συνδέσεις. Η τάση της συστοιχίας αυτής καθορίζεται από στοιχεία που είναι συνδεδεμένα σε σειρά ενώ το συνολικό ρεύμα από τις παράλληλες ομάδες.

Ο συνδυασμός πολλών ΦΒ πλαισίων ή πανέλων, συνδεδεμένων μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα, σε μία επίπεδη επιφάνεια ονομάζεται ΦΒ συστοιχία. Η επιφάνεια μπορεί να είναι σταθερή ή περιστρεφόμενη και οι καλωδιώσεις του κάθε πλαισίου ή πανέλου απολήγουν σε κεντρικό ηλεκτρολογικό κιβώτιο.

Τέλος ένα σύνολο από ΦΒ συστοιχίες ονομάζεται ΦΒ πάρκο, το οποίο μαζί με όλο τον υπόλοιπο εξοπλισμό και τις απαραίτητες διατάξεις ονομάζεται ΦΒ σταθμός.

4. Κεφάλαιο 4^ο : Βάσεις Συστοιχιών & Ηλιακοί Ιχνηλάτες

4.1 Τρόποι Στήριξης των Συλλεκτών και Προσανατολισμός τους

Η τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων ή πανελών γίνεται σε στέγες κτιρίων, σε στύλους, σε ικριώματα, σε πλαγίες λόφων και σε ελεύθερους χώρους. Για την σωστή λειτουργία της εγκατάστασης κάθε ΦΒ πλαίσιο πρέπει να έχει ανοιχτό ορίζοντα, δηλαδή, να μην σκιάζεται από κτίρια, δέντρα κτλ. Διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- I. Σταθερή τοποθέτηση ΦΒ συστοιχίας στο έδαφος
- II. Σταθερή τοποθέτηση ΦΒ συστοιχίας στο έδαφος με δυνατότητα εποχιακής ρύθμισης
- III.
 - a) Περιστροφή ως προς ένα κατακόρυφο άξονα, ενώ ο συλλέκτης τοποθετείται συνήθως, υπό κλίση ίση με το γ.π. του τόπου
 - b) Περιστροφή ως προς ένα (1) άξονα, τον $\chi\chi'$, ο οποίος συνήθως διατηρείται κεκλιμένος υπό γωνία ίση με το γ.π. του τόπου, έχοντας τότε την ίδια διεύθυνση με τον πολικό άξονα
 - c) Τυπική διάταξη παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου ηλιοτρόπιο δύο αξόνων (solar tracker)

4.2 Στήριξη του Συλλέκτη με Σταθερή Γωνία Κλίσης. Γωνία Κλίσης για Βέλτιστη Ενεργειακή Απολαβή Συλλέκτη

Με την απουσία κινητών μερών στη στήριξη της συστοιχίας με σταθερή κλίση, προσδίδουμε στη διάταξη περισσότερη μηχανική αντοχή, χαρακτηριστικό που συμβάλλει στην αναξιόπιστη συμπεριφορά της, ιδιαίτερα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Χρησιμοποιούνται επίσης στατικές συλλεκτικές επιφάνειες, ενσωματωμένες σε κτίρια.



Εικόνα 4.1

Την πιο απλή περίπτωση την έχουμε όταν ο χώρος εγκατάστασης της συστοιχίας των συλλεκτών δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όλο το έτος. Κατά κανόνα επιλέγουμε νότιο αζιμουθιακό προσανατολισμό για τη συστοιχία και κλίση κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης. Όταν η κλίση ισούται ακριβώς με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, οι ακτίνες του ηλίου πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη δύο φορές το χρόνο.

Σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της βέλτιστης γωνίας συλλέκτη με σταθερή κλίση, παίζουν οι επικρατούσες στην περιοχή μετεωρολογικές συνθήκες και η ανακλαστικότητα του εδάφους. Έτσι για να βρούμε τη βέλτιστη γωνία του συλλέκτη, χρειάζεται να συλλέξουμε στοιχεία σχετικά με τους παράγοντες αυτούς και ιδιαίτερα μετρήσεις της ολικής ακτινοβολίας, τουλάχιστον σε οριζόντια προσανατολισμένο αισθητήρα, για μια σειρά ετών για αυτή την περιοχή.

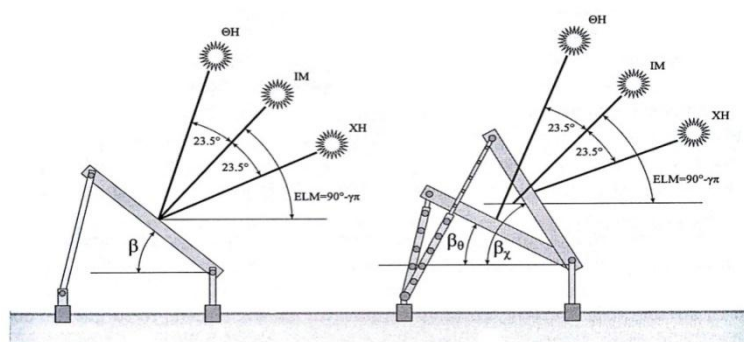
Μπορούμε επίσης να χρησιμοποιήσουμε μετρήσεις που έχουν συλλεχθεί στην πλησιέστερη προς αυτή περιοχή, εμπλουτισμένες με πρόσφατες μετρήσεις της περιοχής αυτής. Με βάση τώρα τις μετρήσεις αυτές αλλά και με χρήση κατάλληλων προγραμμάτων, προσδιορίζουμε την ολική ακτινοβολία σε κάθε γωνία κλίσης ενός συλλέκτη, απ' όπου προκύπτει η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη για συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι η κλίση του συλλέκτη για βέλτιστη ετήσια ενεργειακή απολαβή, για τόπους με μέσα ή μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, για παράδειγμα των 20° , είναι μέσα στην περιοχή: { γεωγραφικό πλάτος - $(10^\circ - 15^\circ)$ }. Για μικρά γεωγραφικά πλάτη, γύρω από τον Ισημερινό, η καλύτερη θέση για συλλέκτη είναι η οριζόντια ή ελάχιστα κεκλιμένη.

Η θέση της καλύτερης δυνατής εκμετάλλευσης της ημερήσιας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας ετησίως, κατά πάσα πιθανότητα είναι σε γεωγραφικό πλάτος 10 μοιρών. Για αυτό το λόγο, αν δεν διατίθενται δεδομένα για τον τόπο εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος, το καλύτερο που έχουμε να κάνουμε είναι να επιλέξουμε κλίση συλλέκτη ίση με το παραπάνω γεωγραφικό πλάτος. Αν επιπλέον ενδιαφερόμαστε για πλήρη κάλυψη των ηλεκτρικών απαιτήσεων μιας εφαρμογής την περίοδο του χειμώνα, κατά την οποία η ημερήσια ενεργειακή απολαβή από το συλλέκτη είναι η χαμηλότερη του έτους, τότε η καταλληλότερη κλίση για σταθερούς συλλέκτες είναι μέσα στην περιοχή γεωγραφικού πλάτους $(10^\circ - 15^\circ)$.

Τέλος, αν υπάρχουν φυσικά εμπόδια που σκιάζουν το συλλέκτη ορισμένη περίοδο της ημέρας, για παράδειγμα από το μεσημέρι και μετά, τότε προσανατολίζουμε το συλλέκτη αζιμουθιακά, μετά από σχετική μελέτη του κλίματος και των στοιχείων ηλιοφάνειας της περιοχής, σε ορισμένη νοτιοανατολική κατεύθυνση. Ενώ αν η σκίαση γίνεται το πρωί και από το μεσημέρι και μετά δεν υπάρχει πρόβλημα σκίασης, τότε η συστοιχία προσανατολίζεται νοτιοδυτικά.

4.3 Στήριξη με Δυνατότητα Εποχιακής Ρύθμισης της Κλίσης του Συλλέκτη

Υπάρχει μια διάταξη συλλεκτών με νότιο προσανατολισμό, η οποία από κατασκευής έχει τη δυνατότητα εποχιακής ρύθμισης της κλίσης της.



Εικόνα 4.2

Προσδιορίζονται οι κατάλληλες κλίσεις και ο χρόνος αλλαγών. Οι θέσεις του συλλέκτη είναι δύο : μια για το θερινό εξάμηνο, δηλαδή από 21 Μαρτίου έως 22 Σεπτεμβρίου, με κλίση ίση με $\alpha_\epsilon = (\text{γεωγραφικό πλάτος} - 10^\circ - 15^\circ)$ και μια για το χειμερινό, δηλαδή από 22 Σεπτεμβρίου έως 21 Μαρτίου, με κλίση ίση με $\alpha_\mu = (\text{γεωγραφικό πλάτος} + 10^\circ - 15^\circ)$. Όπως και στην περίπτωση συλλέκτη σταθερός

κλίσης όλο το έτος, έτσι και στην περίπτωση επιλογής χειμερινής και θερινής θέσης, η επιλογή της βέλτιστης γωνίας για το συλλέκτη σε κάθε περίοδο απαιτεί γνώση των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών και της μορφολογίας και κάλυψης του εδάφους, που καθορίζει την ανακλαστικότητα του.

4.4 Στήριξη με Δυνατότητα Στροφής του Συλλέκτη γύρω από ένα ή δύο Άξονες

Στροφή γύρω από ένα άξονα

Σε αυτό το παράδειγμα, η συστοιχία περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό γύρω από ένα άξονα και στο τέλος της ημέρας, ο συλλέκτης επιστρέφει σε θέση αναμονής που είναι συνήθως στα νότια. Με την ανατολή του ηλίου στρέφεται έτσι ώστε ο ήλιος να αποδίδει το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας.

Εδώ διακρίνουμε δυο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση, η περιστροφή γίνεται ως προς κατακόρυφο άξονα, ώστε να βρίσκεται ο ήλιος στο κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει την κάθετη στο συλλέκτη.



Εικόνα 4.3

Στην δεύτερη περίπτωση, η συστοιχία στρέφεται γύρω από ένα άξονα $\chi\chi$ ο οποίος έχει κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη και περιέχει τον άξονα $\chi\chi$. Η γωνία, μεταξύ των ακτινών του ηλίου και της κάθετης στο συλλέκτη, κατά τη διάρκεια ενός έτους, κυμαίνεται στο διάστημα $-23,5^\circ$ έως $+23,5^\circ$.



Εικόνα 4.4

Η περιστροφή του συλλέκτη μπορεί να βασίζεται στην αξιοποίηση της δράσης της ηλιακής ακτινοβολίας, με ή χωρίς τη χρήση ηλεκτρικών κινητήρων. Στην πρώτη περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπτικό σύστημα ανίχνευσης της θέσης του ηλίου χωρίς να είναι όμως αρκετά αξιόπιστο, ενώ στην δεύτερη περίπτωση, η κίνηση

προκύπτει από τη διατάραξη της ισορροπίας πνευματικού συστήματος με διαφορεική θέρμανσή του από τον ήλιο.

Στροφή γύρω από δύο άξονες

Για την παρακολούθηση του ήλιου με περιστροφή γύρω από δύο άξονες, χρησιμοποιούμε συνήθως δύο διαδοχικές κινήσεις του συλλέκτη, με ηλεκτρικούς κινητήρες, είτε κινητήρες συνεχούς περιστροφής, με μειωτήρες και έλεγχο στροφών το οποίο γίνεται με οπτική διάταξη καταμέτρησης οπών, για τον προσδιορισμό της αντίστοιχης στροφής. Ένα παράδειγμα χρήσης παρόμοιου



Εικόνα 4.5

μηχανικού συστήματος αλλά σε πολύ μικρότερες διαστάσεις, χρησιμοποιείται για την στροφή του πυρηλιομέτρου, το οποίο είναι οπτικό όργανο παρακολούθησης του ηλίου και καταγραφής της πυκνότητας ισχύος, της απ' ευθείας ηλιακής ακτινοβολίας.

Το ηλιοτρόπιο αφού κάνει την πλήρη παρακολούθηση του ηλίου μέσα στη διάρκεια της ημέρας, επιστρέφει σε θέση αναφοράς με την δύση του. Η κίνηση αυτή του ηλιοτροπίου χαρακτηρίζεται από νότιο προσανατολισμό και σχεδόν μηδενική κλίση προκειμένου να προφυλαχθεί από πιθανό ισχυρό άνεμο μέχρι την ανατολή.

Το μειονέκτημα αυτής της διάταξης, είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή των μηχανολογικών και ηλεκτρονικών τμημάτων της καθώς και η έκθεση της συστοιχίας στον κίνδυνο καταστροφής υψηλού κόστους επένδυσης λόγω ισχυρών ανέμων. Στην περίπτωση που έχουμε ισχυρούς ανέμους, οι συλλεκτικές επιφάνειες διατάσσονται οριζοντίως, έτσι ώστε να αποφύγουμε πιθανά καταστροφικά αποτελέσματα. Για αυτό, πρέπει πάντα να ελέγχεται η ταχύτητα του ανέμου σε τέτοια συστήματα.

Οι διατάξεις πλήρους παρακολούθησης του ηλίου, με επίπεδα ΦΒ πλαίσια, έχουν περιορισμένη χρήση και συνήθως για ερευνητικούς σκοπούς. Προτιμάτε η μερική παρακολούθηση με στροφή ως προς ένα άξονα. Τέλος, πολύ πιο αξιόπιστη είναι η στατική συστοιχία. Εκεί, το ενεργειακό κέρδος της

παρακολούθησης του ηλίου από ένα ηλιοτροπικό σύστημα, ισοσταθμίζεται από ένα στατικό σύστημα με ισχύ αιχμής περίπου κατά 30% μεγαλύτερη του ηλιοτροπίου.

4.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των Ηλιακών Ιχνηλατών

Στα πλεονεκτήματα του κινητού συγκαταλέγετε η περισσότερη ενέργεια που παράγει σε σχέση με αυτήν του σταθερού. Με την ημερήσια παρακολούθηση του ήλιου έχουμε μια βελτίωση της τάξεως του 40%. Επίσης, η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει καθ' όλη την διάρκεια τις μέρας κάθετα στο επίπεδο της επιφάνειας του πλαισίου. Αυτό, συγκαταλέγεται στα πλεονεκτήματα μιας και έτσι αποφεύγονται οι αντανάκλασεις που συνήθως δημιουργούνται με την υπό γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Ως μειονεκτήματα θεωρούνται οι απώλειες ενέργειας που έχουμε για την λειτουργία του κινητήρα καθώς και ότι απαιτείται η αγορά πολλών παραπάνω εξαρτημάτων σε σχέση με το σταθερό. Τα trackers λόγω των μηχανικών μερών τους είναι πιο ευπαθή σε ακραίες καιρικές συνθήκες.

5. Κεφάλαιο 5° : Τα Ηλεκτρονικά των ΦΒ Συστημάτων

5.1 Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές



Εικόνα 5.1

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να παρέχει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια, για την ικανοποίηση της ζήτησης κατά τις χρονικές περιόδους κατά τις οποίες δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία. Τέτοιες περιόδους είναι οι νυχτερινές ώρες και οι συννεφιασμένες ημέρες. Η ανάγκη αποθήκευσης της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν η παραγωγή δεν ανταποκρίνεται στη ζήτηση, καλύπτεται από ειδικές διατάξεις, που ονομάζονται ηλεκτρικοί συσσωρευτές ή μπαταρίες.

Είναι προφανές ότι η ποσότητα της αποθηκευόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, εξαρτάται κυρίως από το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχών ημερών συνεφιάς και τις αιχμές της κατανάλωσης. Συνήθως, απαιτείται μια αυτοδυναμία 3 – 10 ημερών περίπου.

Ένας ηλεκτρικός συσσωρευτής αποτελείται από ζεύγη μεταλλικών ηλεκτροδίων συνδεδεμένων μεταξύ τους σε σειρά, τα οποία έχουν τις περισσότερες φορές τη μορφή πλακών και είναι εμβαπτισμένα σε ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη. Κάθε ζεύγος ηλεκτροδίων ονομάζεται στοιχείο.

Ανάλογα με το υλικό των ηλεκτροδίων τους, οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές διακρίνονται σε πολλούς τύπους (μολύβδου, νικελίου – καδμίου, νικελίου ψευδαργύρου κ.λπ.). Ο πιο δημοφιλής συσσωρευτής, γνωστός ήδη από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, με ευρεία χρήση στα υποβρύχια και τα αυτοκίνητα που συγχρόνως είναι ο οικονομικότερος για χρήση στα ΦΒ συστήματα, είναι ο συσσωρευτής μολύβδου – θειικού οξέος. Δηλαδή, ο συσσωρευτής του οποίου τα ηλεκτρόδια μολύβδου είναι εμβαπτισμένα σε διάλυμα θειικού οξέος. Σε περιπτώσεις, όμως, μεγάλων αυξομειώσεων της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του έτους, χρησιμοποιούνται αλκαλικές νικελίου - καδμίου.

Λόγω των χημικών αντιδράσεων, στα άκρα ενός στοιχείου αναπτύσσεται ονομαστική τάση 2,35V. Έτσι ένας συσσωρευτής μολύβδου – θειικού οξέος με 6 στοιχεία έχει ονομαστική τάση 12V και με 12 στοιχεία 24V. Αυτές είναι οι τυπικές ονομαστικές τάσεις με τις οποίες κυκλοφορούν, με τη γνωστή εμπορική τους μορφή,

οι συγκεκριμένοι συσσωρευτές. Πάντως συχνά στα ΦΒ συστήματα χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί συσσωρευτές με δεκάδες στοιχεία σε σειρά, ώστε να έχουν ονομαστική τάση 200 - 300V.

5.2 Χαρακτηριστικά των Συσσωρευτών

Ολική χωρητικότητα

Δείχνει το συνολικό φορτίο που είναι αποθηκευμένο στη μπαταρία και μετρείται σε αμπερώρια (Ah). Αν μια μπαταρία είναι φορτισμένη πλήρως και μπορεί να δώσει ρεύμα έντασης 5A για χρόνο (συνεχόμενο ή μη) 20h, έχει χωρητικότητα 100A.h.

Η τάση

Η τάση της μπαταρίας όταν είναι φορτισμένη εξαρτάται από το είδος του ηλεκτρολύτη που περιέχει, το είδος και τον αριθμό των πλακών. Οι μπαταρίες περιέχουν πολλά ζεύγη πλακών στη σειρά και δίνουν ανάλογα αυξημένη τάση.

Το βάθος εκφόρτισης

Είναι το ποσοστό της εκφόρτισης, στο οποίο μπορεί να φθάνει καθημερινά η μπαταρία, για να διατηρείται σε καλή κατάσταση και να μην ελαττωθεί ο κανονικός χρόνος ζωής της. Το βάθος εκφόρτισης εξαρτάται από την κατασκευή της μπαταρίας. Οι πλάκες μπορεί να κατασκευασθούν με διαφορετικό πάχος και από διάφορα κράματα μετάλλων, όπως μολύβδου – ασβεστίου, μολύβδου – αντιμονίου, για να ανταποκριθούν σε ορισμένες εφαρμογές. Γενικά όσο πιο χοντρές είναι οι πλάκες τόσο περισσότερο μπορεί να εκφορτιστεί μια μπαταρία και μετά να ξαναφορτισθεί. Υπάρχουν μπαταρίες για τις οποίες συστήνεται από τον κατασκευαστή η δυνατότητα να εκφορτίζονται καθημερινά κατά 10 – 20% μετά από καθημερινή πλήρη φόρτιση. Υπάρχουν άλλες που μπορεί να εκφορτίζονται μέχρι και 80% του αρχικού φορτίου τους. Οι πρώτες είναι ελαφρές ενώ οι δεύτερες είναι βαρύτερες, πιο ακριβές και προτιμούνται σε ΦΒ συστήματα. Μια κατηγορία μπαταριών που μπορούν να εκφορτιστούν πλήρως χωρίς καμία βλάβη και να ξαναφορτισθούν είναι εκείνες που έχουν πλάκες από νικέλιο – κάδμιο. Οι τελευταίες προτιμούνται, στα ΦΒ συστήματα, διότι με την πλήρη φόρτιση και εκφόρτωση τους εξυπηρετούν με όλο το φορτίο τους.

Εφόσον μάλιστα δεν επηρεάζεται ο χρόνος ζωής τους και η κατάσταση τους, είναι δυνατόν να αποφευχθεί και η χρησιμοποίηση ρυθμιστή τάσης. Κάθε μπαταρία εκτός από την ολική χωρητικότητα της, έχει και τη χρήσιμη χωρητικότητα της, που είναι το γινόμενο του βάθους επί την ολική χωρητικότητα.

Το κόστος για κάθε KWh

Για να βρεθεί η ολική ηλεκτρική ενέργεια που θα δώσει μια μπαταρία για όλη τη διάρκεια της ζωής της, πρέπει να πολλαπλασιαστεί η χρήσιμη χωρητικότητα με την τάση και το συνολικό αριθμό φορτίσεων – εκφορτίσεων. Όταν διαιρεθεί η τιμή της μπαταρίας με την ολική ηλεκτρική ενέργεια, βρίσκεται το κόστος κάθε KWh που δίνει η μπαταρία. Είναι φανερό ότι όσο χαμηλότερο είναι το κόστος αυτό τόσο πιο συμφέρουσα θα είναι η αγορά της μπαταρίας.

Θερμοκρασία λειτουργίας

Η χωρητικότητα της μπαταρίας ελαττώνεται με την ελάττωση της θερμοκρασίας. Πολλοί κατασκευαστές μαζί με τις άλλες προδιαγραφές δίνουν και την καμπύλη διόρθωσης της μπαταρίας. Η διόρθωση γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να έχει η μπαταρία κατά την διάρκεια του χρόνου και τον ρυθμό εκφόρτισης υπό μορφή ρεύματος που θα έχει στο συγκεκριμένο ΦΒ σύστημα.

Χρόνος ζωής

Ο χρόνος ζωής μιας μπαταρίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι ο ρυθμός φόρτισης, και εκφόρτισης, ο αριθμός φορτίσεων και εκφορτίσεων και οι ακραίες θερμοκρασίες λειτουργίας. Σε ένα ΦΒ σύστημα μια μπαταρία μολύβδου έχει διάρκεια ζωής που δεν ξεπερνά τα 5 – 6 χρόνια, ενώ οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου διαρκούν πολύ περισσότερο όταν λειτουργούν με τις ίδιες συνθήκες.

Η διαχείριση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒ συστοιχία, απαιτεί την παρεμβολή κατάλληλων ηλεκτρονικών συσκευών, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της μεταφοράς της ενέργειας κατά τον οικονομικότερο τρόπο, καθώς και την προστασία του συσσωρευτή από υπερφόρτιση ή από υπερεκφόρτιση. Από λειτουργικής πλευράς, δύο είναι οι βασικές ηλεκτρονικές διατάξεις: Ο ελεγκτής ή

επιτηρητής της διαδικασίας φόρτισης – εκφόρτισης και οι μετατροπείς τάσεων. Ο ελεγκτής φόρτισης τοποθετείται συνήθως σε χωριστή μονάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις, μπορεί όμως να βρίσκεται ενσωματωμένος με τον inverter, σε μια ολοκληρωμένη μορφή.

5.3 Ο Ελεγκτής Φόρτισης Συσσωρευτή

Η φόρτιση των ηλεκτρικών συσσωρευτών, μέσω μιας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΦΒ συστοιχία) απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης τους, ώστε όταν αυτοί φτάσουν στην κατάσταση μέγιστης φόρτισης, να διακόπτεται η διαδικασία. Έτσι, αποφεύγεται η υπέρταση του συσσωρευτή, η οποία θα έχει ως συνέπεια την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου, λόγω ηλεκτρόλυσης και συνακόλουθα μείωση της στάθμης του διαλύματος. Αντίστοιχα, απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή όσο αυτός τροφοδοτεί την κατανάλωση, ώστε να προληφθεί η καταστροφική για τον συσσωρευτή, κατάσταση υπερεκφόρτισης. Μια μονάδα ελέγχου φόρτισης – εκφόρτισης, περιλαμβάνει σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων, είτε μικροελεγκτές, που έχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, είτε ηλεκτρομηχανικούς, είτε ηλεκτρονικούς ισχύος. Σε κάθε περίπτωση στο κύκλωμα παρεμβάλλεται μια διόδος, για την προστασία του συστήματος αποθήκευσης από εκφόρτιση, μέσω των κυκλωμάτων της διάταξης ή του υπόλοιπου συστήματος. Στην ειδική περίπτωση ενός ΦΒ συστήματος, το οποίο χαρακτηρίζεται ως πηγή σταθερού ρεύματος, χρησιμοποιούνται διατάξεις οι οποίες χαρακτηριστικό τους είναι ότι το ελεγχόμενο στοιχείο είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το ΦΒ σύστημα, με δυνατότητα να λειτουργεί, είτε μεταβαλλόμενο γραμμικά, ανάλογα με την μέγιστη φόρτιση, είτε ως διακόπτης ON/OFF. Στην περίπτωση του παράλληλου ρυθμιστή, όταν επιτευχθεί η μέγιστη φόρτιση, το ελεγχόμενο στοιχείο βραχυκυκλώνει το ΦΒ σύστημα, χωρίς να προκαλείται καμία απολύτως βλάβη σ' αυτό. Έτσι, απομονώνεται το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα αποθήκευσής της.

5.4 Μετατροπείς DC-DC, DC-AC και AC-DC

Οι μετατροπείς είναι ηλεκτρονικές διατάξεις μετατροπής :

- A) Του συνεχούς ρεύματος σε συνεχές σε οποιαδήποτε τάση (DC - DC)
- B) Του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο σε οποιοδήποτε πλάτος (DC - AC)
- C) Της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC - DC)

Αν έχουμε ένα μετατροπέα, αυτός μπορεί να αποτελεί χωριστή μονάδα ή να αποτελεί τμήμα ελεγκτή φόρτισης αν είναι μόνος του ή σε συνδυασμό με άλλους τύπους αντίστοιχα. Στην περίπτωση μας η λειτουργία του είναι να προσαρμόζει την τάση του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με την τάση του συστήματος αποθήκευσης έτσι ώστε να εκμεταλλευτούμε στο έπακρο την διαθέσιμη ΦΒ ηλεκτρική ενέργεια.

Η παραπάνω διαδικασία θυμίζει αυτή της μετατροπής του εναλλασσομένου ρεύματος σε εναλλασσόμενο διαφορετικού πλάτους μέσω μετασχηματιστή, όπου η παρουσία του δεν είναι απαραίτητη στην περίπτωση του μετατροπέα και η οποία βασίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής. Εκεί το κύκλωμα εξόδου είναι ηλεκτροστατικά μονωμένο από το κύκλωμα εισόδου.

A) Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή (DC - DC)

Με τη χρήση υψίσυχνων διακοπικών κυκλωμάτων, τα οποία μετατρέπουν συνεχή τάση σε συνεχή, μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής ανάλογα με τις απαιτήσεις, επιτυγχάνουμε τη μετατροπή μιας συνεχούς τάσης V_I , σε συνεχή V_O . Με την παραπάνω μονάδα έχουμε και μείωση των καταναλώσεων στη γραμμή μεταφοράς από τον χώρο της παραγωγής, στο χώρο της αποθήκευσης. Όπως γνωρίζουμε, τα ΦΒ πλαίσια συνδέονται σε σειρά και παράλληλα αν υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις, ώστε η παραγόμενη σε αυτά ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται με την υψηλότερη δυνατή τάση σε επιτρεπτά όρια, με αποτέλεσμα να έχουμε χαμηλό ρεύμα στη γραμμή μεταφοράς και αντίστοιχα χαμηλές απώλειες μεταφοράς ενέργειας. Οι τάσεις εξόδου μεγαλύτερες των 600 V, δεν επιτρέπονται.

Όταν ο μετατροπέας βρίσκεται στο χώρο των συσσωρευτών, προσαρμόζει την τάση της συστοιχίας, στην τάση του συσσωρευτή. Έτσι έχουμε πλήρη

εκμετάλλευση της ενέργειας και επιπροσθέτως δεν δημιουργούνται συνθήκες υπέρτασης του συσσωρευτή. Στα συστήματα αυτά έχουμε απόδοση συνήθως μεταξύ 85% και 95%. Η διάταξη παρακολούθησης σημείου μέγιστης ισχύος όπως ονομάζεται, είναι στην ουσία ένας μικροελεγκτής, ο οποίος ενσωματώνεται στη παραπάνω διάταξη, ελέγχοντας και επιβάλλοντας την προσαρμογή του σημείου λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ενέργειας με το σημείο μέγιστης ισχύος το οποίο το καθορίζουν οι επικρατούσες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

B) Μετατροπείας συνεχούς τάσεως σε εναλλασσόμενη (DC - AC)

Το εναλλασσόμενο ρεύμα έχει επικρατήσει σε κάθε είδους οικιακές χρήσεις και εφαρμογές, καθώς και στη βιομηχανία. Τρεις είναι οι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να μετατρέψουμε το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο :

- ✓ Με συνδυασμό κινητήρα συνεχούς ρεύματος και γεννήτριας εναλλασσομένου
- ✓ Με χρήση μηχανικού ή ηλεκτρονικού διακοπτικού συστήματος μαζί με μετασχηματιστή
- ✓ Με τον καθαρά ηλεκτρονικό μετατροπέα

Ο μετατροπέας χρησιμοποιείται ευρέως σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και χρήσης εναλλασσόμενης, όπως στις ΦΒ εφαρμογές οικιακής χρήσεως. Η συνδυασμένη λειτουργία των ηλεκτρονικών του διακοπών έχει ως αποτέλεσμα, τη δημιουργία σειράς τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και ανεστραμμένων.

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η εναλλασσόμενη τετραγωνική τάση (κέντρο διαγράμματος). Στο προηγούμενο κύκλωμα προστίθεται, σε κάθε διακοπτικό στοιχείο, από μία διόδος, ώστε να αποκόπτεται η επιστρεφόμενη ισχύς από μη ωμικά φορτία κατανάλωσης.

Η απόδοσή τους είναι αρκετά υψηλή, από 93% - 96%, η οποία εξαρτάται από το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτεί. Η υψηλή αυτή απόδοση απαιτείται όχι μόνο όταν τροφοδοτείται το πλήρες φορτίο, αλλά και όταν αυτό είναι μειωμένο. Γενικά το χαρακτηριστικό ενός μετατροπέα είναι η υψηλή απόδοση ακόμα και όταν το φορτίο είναι μόνο 10% του πλήρους.

Γ) Μετατροπέας εναλλασσομένου ρεύματος σε συνεχές (AC - DC)

Η διάταξη αυτή συνδυάζει ένα σύστημα ανόρθωσης της παρεχόμενης από την ενεργειακή πηγή, ηλεκτρικής τάσης, μονοφασικής ή τριφασικής μορφής, χωρίς την παρεμβολή μετασχηματιστή, με μια διάταξη μετατροπής συνεχούς ρεύματος σε συνεχές. Η διάταξη αυτή περιλαμβάνει μια ανορθωτική μονάδα σε συνδυασμό με ένα μετατροπέα DC - DC .

6. Κεφάλαιο 6° : ΦΒ Συστήματα

6.1 Εισαγωγή στα ΦΒ Συστήματα

Τα ΦΒ στοιχεία μπορούν να αξιοποιηθούν σε πλήθος ηλεκτρονικών εφαρμογών. Καλύπτουν ευρεία περιοχή ισχύος, από πολύ χαμηλή ισχύ ευρείας χρήσεως καταναλωτικών προϊόντων, όπως είναι οι αριθμητικοί υπολογιστές, τα μικρά φωτιστικά σώματα κήπου κ.α., έως συστήματα μεγάλης ισχύος, για την τροφοδοσία νησιών ή πρότυπων μεγάλων κτιριακών συγκροτημάτων, συνδεδεμένων ή όχι στο δίκτυο.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τα απομονωμένα ή εκτός δικτύου συστήματα και τα συνδεδεμένα στο δίκτυο. Τα απομονωμένα ΦΒ συστήματα διακρίνονται επίσης σε αυτόνομα και υβριδικά. Το κριτήριο για τον προσδιορισμό της σύνθεσης του καταλληλότερου ΦΒ συστήματος στις κατηγορίες αυτές, προκύπτει με βάση την απαίτηση για πλήρη ή μερική κάλυψη των ενεργειακών καταναλώσεων της εφαρμογής, μηνιαίως ή ετησίως, από το ΦΒ σύστημα.

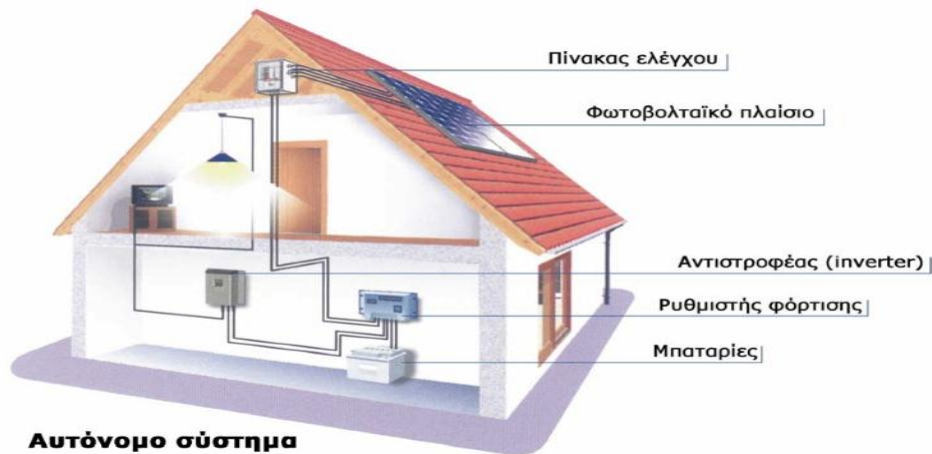
6.2 Εκτός Δικτύου ή Απομονωμένα ΦΒ Συστήματα

Χαρακτηρίζονται έτσι τα ΦΒ στοιχεία 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.

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:

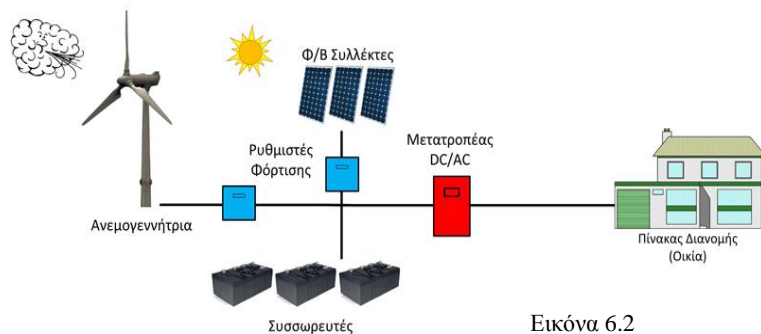
- Αυτόνομα ΦΒ στοιχεία άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου της εφαρμογής , στα οποία η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στην κατανάλωση, όσο φωτίζεται η ΦΒ συστοιχία, χωρίς αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές. Τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άντληση καλλιεργειών που δεν απαιτούν αυστηρά τακτική λειτουργία του συστήματος.
- Αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, π.χ. αυτόνομα ΦΒ συστήματα φωτισμού οδών, αρχαιολογικών χώρων, υποστήριξη συστημάτων πυρανίχνευσης δασικών εκτάσεων κ.α. σχεδιάζονται με πρόβλεψη ορισμένων ημερών αυτονομίας του συστήματος, με βάση το κατάλληλο μέγεθος των συσσωρευτών.



Εικόνα 6.1

Υβριδικά ΦΒ συστήματα

Στα υβριδικά ΦΒ συστήματα, στα οποία θα αναφερθούμε η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται από το συνδυασμό ΦΒ συστοιχίας με άλλες πηγές ενέργειας. Ο προσδιορισμός των συνιστωσών Α.Π.Ε. προκύπτει με ολοκληρωμένη οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος, με κριτήριο το βαθμό συμμετοχής του Η/Ζ στη διασφάλιση της κάλυψης των ενεργειακών

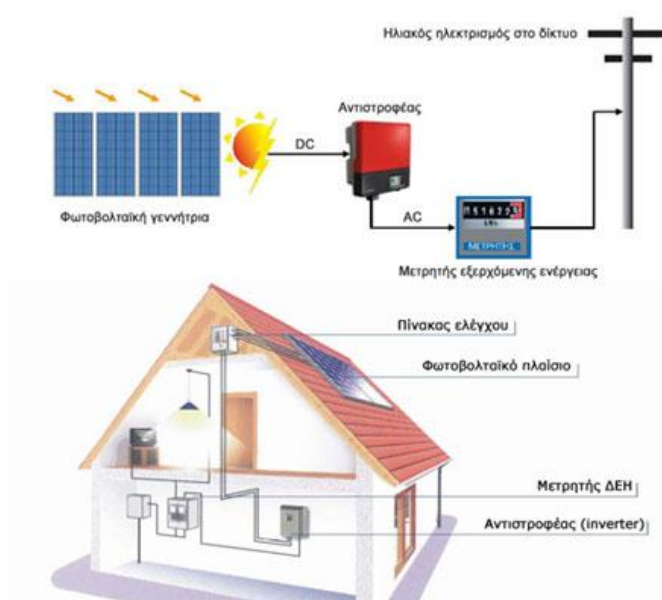


Εικόνα 6.2

απαιτήσεων της εφαρμογής. Στις περισσότερες των περιπτώσεων στο σύστημα προβλέπεται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές.

6.3 ΦΒ Συστήματα Συνδεδεμένα στο Δίκτυο

Τα συστήματα αυτά συνδέονται απ' ευθείας στο εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής παροχής. 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 ενέργειας. Διακρίνονται σε αυτά που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, ως καταναμημένα



Εικόνα 6.3

συστήματα και σε εκείνα που συνιστούν κεντρικούς ΦΒ σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο. Στην κατηγορία των κεντρικών ΦΒ συστημάτων ανήκουν και τα μεγάλα ΦΒ συγκροτήματα, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται κατ' ευθείαν στο δίκτυο.

Τα καταναμημένα ΦΒ συστήματα, διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας και σε εκείνα που λειτουργούν σε συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο, διοχετεύοντας την επιπλέον παραγόμενη ενέργεια σ' αυτό. Στην πρώτη περίπτωση το ΦΒ σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύπτει κατά μέσο όρο τις μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Το δίκτυο καλύπτει έκτατη ενεργειακή ζήτηση ή καταστάσεις αστοχίας του ΦΒ συστήματος. Στη δεύτερη περίπτωση, το βασικό κριτήριο αφορά στην επιλογή εκείνης της ΦΒ συστοιχίας η οποία καλύπτει, κατά μέσο όρο, τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Στις χρονικές περιόδους που το ΦΒ σύστημα υστερεί στην κάλυψη των καταναλώσεων της εφαρμογής, η απαιτούμενη ενέργεια παρέχεται από το δίκτυο.

Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, μέσα στο έτος, η συνολική ενέργεια από το δίκτυο στην εφαρμογή, προβλέπεται να είναι ίση με την συνολική ενέργεια από το ΦΒ σύστημα στο δίκτυο. Αν η επιδίωξη μας είναι το ετήσιο οικονομικό ισοζύγιο μεταξύ παραγωγού και ΔΕΗ, κατά τη σχεδίαση του συστήματος λαμβάνεται υπ' όψη η διαφοροποίηση των τιμολογίων παραγωγής και κατανάλωσης.

7. Κεφάλαιο 7^ο : CAN Bus (Controller Area Network)

7.1 Γενική ιδέα

Θέλοντας να ελέγξουμε ένα ΦΒ πάρκο τόσο στο σύνολο του όσο και κάθε μονάδα του ξεχωριστά, σκεφτήκαμε την ανάπτυξη ενός συστήματος βασισμένο σε μια διάταξη τοπικού δικτύου, όπου όλες οι μονάδες του θα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους. Πηγαίνοντας την ιδέα αυτή παραπέρα, θα έπρεπε να μετατρέψουμε κάθε ηλιακό ιχνηλάτη σε δικτυακή συσκευή, καθώς και να σχεδιάσουμε μια συσκευή η οποία θα λειτουργεί ως κεντρική μονάδα όλου του συστήματος. Λίγο πιο συγκεκριμένα, η μονάδα του κάθε ηλιακού ιχνηλάτη θα είναι υπεύθυνη για τις κινήσεις του, την ανίχνευση μηχανικών και ηλεκτρικών του σφαλμάτων και για την επικοινωνία του με το δίκτυο. Ενώ η κεντρική μονάδα θα είναι υπεύθυνη να στέλνει εντολές κίνησης στους ηλιακούς ιχνηλάτες και να συλλέγει δεδομένα σφαλμάτων και απόδοσης κάθε ηλιακού ιχνηλάτη ξεχωριστά. Αλλά και άλλες επιπρόσθετες λειτουργίες ανάλογα με τις υπομονάδες που θα βρίσκονται είτε ολοκληρωμένες μέσα στην κεντρική μονάδα είτε σε μορφή δικτυακών συσκευών όπου θα μπορούν να προσθαφαιρούνται στο δίκτυο και ανάλογα να επικοινωνούν με αυτή.

7.2 Η Επιλογή του Δικτύου

Για να επιλέξουμε τον τύπο του δικτύου καθώς και το πρωτόκολλο επικοινωνίας έπρεπε να θέσουμε πρώτα τους περιορισμούς που προκύπτουν από την βασική ιδέα του συστήματος. Οι περιορισμοί αυτοί είναι οι εξής:

- *Απόσταση:* Εφόσον το σύστημα αυτό απευθύνεται για χρήση σε ΦΒ πάρκα ανεξαρτήτου μεγέθους θα πρέπει να εξασφαλίσουμε ένα διάυλο επικοινωνίας ικανό για επικοινωνία σε εκατοντάδες μέτρα απόστασης.
- *Αριθμός δικτυακών συσκευών:* Για τον λόγο ότι το σύστημα απευθύνεται για χρήση σε ΦΒ πάρκα ανεξαρτήτου μεγέθους και επειδή κάθε ηλιακός ιχνηλάτης αποτελεί μια δικτυακή συσκευή το πρωτόκολλο επικοινωνίας του θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό δικτυακών συσκευών.

- *Αξιοπιστία:* Σε εφαρμογές υψηλών προδιαγραφών που στηρίζονται στη σωστή επικοινωνία για την ορθή τους λειτουργία θα πρέπει ο δίαυλος όσο και το πρωτόκολλο επικοινωνίας να είναι αξιόπιστα.
- *Κατανάλωση:* Εφόσον μιλάμε για ΑΠΕ η κατανάλωση του συστήματος πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερη ακόμη και στο δίκτυο.
- *Κόστος:* Για να κρατήσουμε χαμηλά το κόστος αλλά και για να έχουμε αξιοπιστία στο δίκτυο μας απορρίψαμε τα ασύρματα modules και προτιμήσαμε την ενσύρματη λύση .

7.3 Εισαγωγή στο CAN Bus

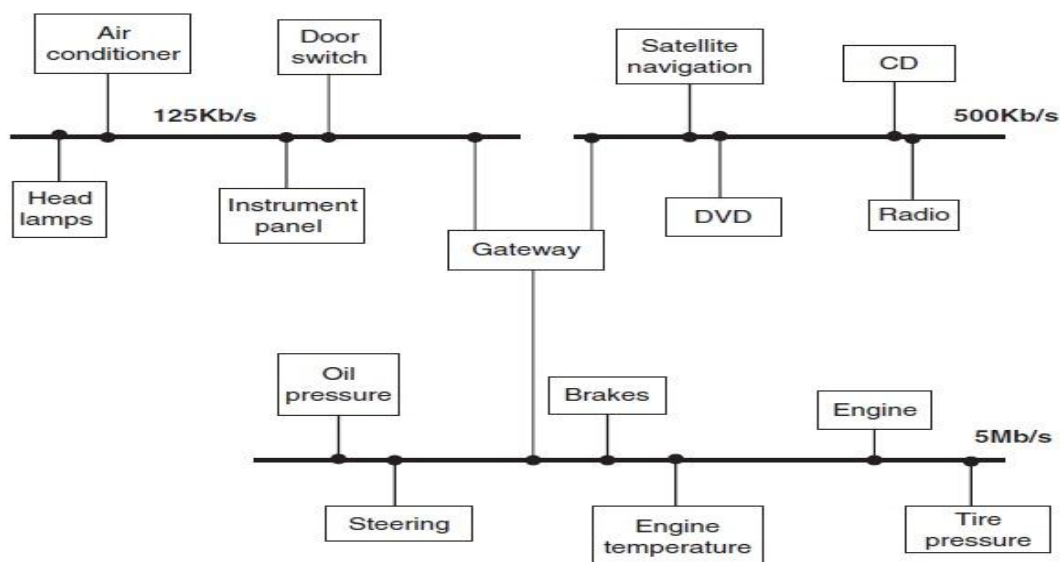
Το CAN bus (Controller Area Network) είναι ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας που αναπτύχθηκε από την Bosch (κατασκευάστρια εταιρεία ηλεκτρολογικού εξοπλισμού στη Γερμανία) στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Στη συνέχεια, το CAN τυποποιήθηκε με ISO-11898 και ISO-11519, εδραιώνοντάς το έτσι ως το πρότυπο πρωτόκολλο για τη δικτύωση μέσα σε οχήματα στη βιομηχανία των αυτοκινήτων. Τον πρώτο καιρό της αυτοκινητοβιομηχανίας είχαν χρησιμοποιηθεί τοπικοί αυτόνομοι ελεγκτές για τη διαχείριση ενεργοποιητών και άλλων ηλεκτρομηχανικών υποσυστημάτων. Με τη δικτύωση μέσω CAN των ηλεκτρονικών στα οχήματα, ωστόσο, μπορούν να ελέγχονται από ένα κεντρικό σημείο, τον 'εγκέφαλο'(engine control unit- ECU), αυξάνοντας έτσι την λειτουργικότητα, προσθέτοντας τη δυνατότητα για σπονδυλωτή κατασκευή, και κάνοντας τις διαγνωστικές διαδικασίες πιο αποτελεσματικές.

Αρχικά η ανάπτυξη του CAN υποστηρίχθηκε κυρίως από την αυτοκινητοβιομηχανία, καθώς χρησιμοποιήθηκε στην επιβατικά αυτοκίνητα, σκάφη, φορτηγά, και άλλους τύπους οχημάτων. Σήμερα το πρωτόκολλο CAN χρησιμοποιείται σε πολλούς άλλους τομείς σε εφαρμογές που απαιτούν ενσωματωμένο δικτυακό έλεγχο, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανικών αυτοματισμών, ιατρικές εφαρμογές, αυτοματισμούς κτιρίων, μηχανές ύφανσης και μηχανήματα παραγωγής. Το CAN προσφέρει ένα αποτελεσματικό πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ

αισθητήρων, ενεργοποιητών, ελεγκτών και άλλους κόμβους σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, και είναι γνωστό για την απλότητα, την αξιοπιστία και την υψηλή απόδοση του.

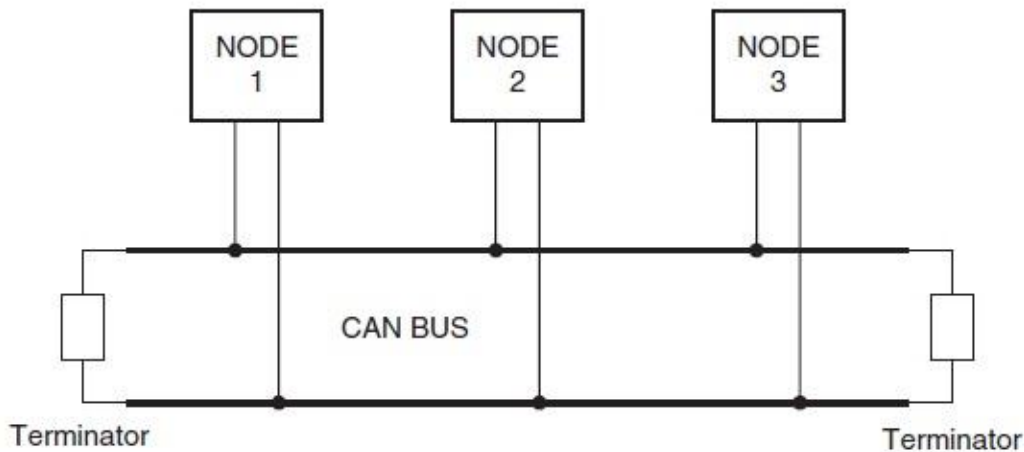
Το πρωτόκολλο CAN βασίζεται σε μια τοπολογία διαύλου, όπου μόνο δύο σύρματα απαιτούνται για επικοινωνία σε ένα CAN bus. Έχει δομή multimaster όπου κάθε συσκευή πάνω στον δίαυλο μπορεί να στείλει ή να λάβει δεδομένα. Μόνο μία συσκευή μπορεί να στείλει δεδομένα, ανά πάσα στιγμή, ενώ όλες οι άλλες ακούνε. Εάν δύο ή περισσότερες συσκευές επιχειρήσουν να στείλουν δεδομένα ταυτόχρονα, επιτρέπεται σε αυτή με την υψηλότερη προτεραιότητα να στείλει τα δεδομένα της, ενώ οι άλλες επιστρέφουν σε λειτουργία λήψης.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7.1, σε μία τυπική εφαρμογή σε όχημα υπάρχουν συνήθως περισσότεροι από ένας δίαυλοι CAN, και λειτουργούν σε διαφορετικές ταχύτητες. Βραδύτερες συσκευές, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος της πόρτας, ο έλεγχος του κλίματος, και οι μονάδες πληροφόρησης του οδηγού, μπορούν να συνδεθούν σε ένα δίαυλο με αργή ταχύτητα. Οι συσκευές που απαιτούν ταχύτερη απόκριση, όπως το ABS(σύστημα αντί-μπλοκαρίσματος των τροχών), η μονάδα ελέγχου μετάδοσης, και η ηλεκτρονική μονάδα για το γκάτσι, είναι συνδεδεμένα σε έναν ταχύτερο δίαυλο CAN.



Σχήμα 7.1
Τυπική Εφαρμογή CAN bus σε Όχημα

Η χρήση του CAN από την αυτοκινητοβιομηχανία προκάλεσε μαζική παραγωγή ελεγκτών CAN. Οι τρέχουσες εκτιμήσεις λένε ότι 400 εκατομμύρια CAN μονάδες πωλούνται κάθε χρόνο, ενώ ελεγκτές CAN έχουν ενσωματωθεί σε πολλούς μικροελεγκτές, και είναι διαθέσιμοι σε χαμηλό κόστος.



Σχήμα 7.2
Παράδειγμα CAN bus

Το Σχήμα 7.2 δείχνει ένα δίκτυο CAN με τρεις κόμβους. Το πρωτόκολλο CAN βασίζεται στο CSMA /CD+AMP (Carrier-Sense Multiple Access / Collision Detection με έλεγχο της προτεραιότητας των μηνυμάτων) πρωτόκολλο, το οποίο είναι παρόμοιο με το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στα τοπικά δίκτυα Ethernet. Όταν το Ethernet ανιχνεύει μια σύγκρουση (collision), οι κόμβοι που στέλνουν απλά σταματάνε τη μετάδοση και περιμένουν ένα τυχαίο χρονικό διάστημα πριν προσπαθήσουν να στείλουν ξανά. Το CAN, ωστόσο, λύνει το πρόβλημα αυτό με τον έλεγχο της προτεραιότητας, όπου μόνο στον κόμβο με την υψηλότερη προτεραιότητα δίνεται το δικαίωμα να στείλει τα δεδομένα του.

Υπάρχουν βασικά δύο τύποι πρωτόκολλων CAN: 2.0A και 2.0B. Το CAN 2.0A είναι το παλιότερο πρότυπο με 11 bit αναγνωριστικού αριθμού (id), ενώ το CAN 2.0B είναι το νέο εκτεταμένο πρότυπο με 29bit id. Οι 2.0B ελεγκτές είναι πλήρως προς-τα-πίσω-συμβατοί με τους 2.0A ελεγκτές και μπορεί να λαμβάνουν και να μεταδίδουν μηνύματα σε οποιαδήποτε μορφή.

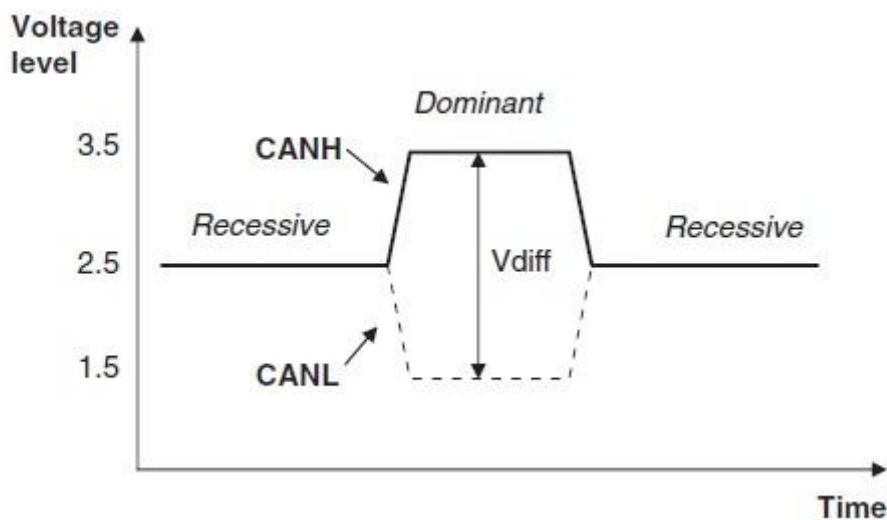
Υπάρχουν δύο τύποι ελεγκτών 2.0A. Ο 1^{ος} είναι σε θέση να στέλνει και να λαμβάνει μόνο 2.0A μηνύματα, και η λήψη ενός μηνύματος 2.0B θα επισημανθεί ως σφάλμα. Ο 2^{ος} τύπος ελεγκτή 2.0A (γνωστός και ως 2.0B passive) στέλνει και λαμβάνει μηνύματα 2.0A, αλλά αναγνωρίζει επίσης και επιβεβαιώνει την παραλαβή μηνυμάτων 2.0B και στη συνέχεια τα αγνοεί.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου CAN είναι:

- ✓ Το CAN-bus είναι multimaster. Όταν ο δίαυλος είναι ελεύθερος, κάθε συσκευή που είναι συνδεδεμένη στον δίαυλο μπορεί να ξεκινήσει την αποστολή ενός μηνύματος.
- ✓ Το πρωτόκολλο του CAN είναι ευέλικτο. Οι συσκευές που συνδέονται με τον δίαυλο δεν έχουν διευθύνσεις, το οποίο σημαίνει ότι τα μηνύματα δεν μεταδίδονται από τον ένα κόμβο στον άλλο βάση διευθύνσεων. Αντίθετα, όλοι οι κόμβοι στο σύστημα λαμβάνουν κάθε μήνυμα που μεταδίδεται στον δίαυλο, και εναπόκειται σε κάθε κόμβο να αποφασίσει αν το λαμβανόμενο μήνυμα θα πρέπει να κρατηθεί ή να απορριφθεί. Ένα μήνυμα μπορεί να προορίζεται για έναν συγκεκριμένο κόμβο ή για πολλούς κόμβους, ανάλογα με το πώς έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί το σύστημα. Ένα άλλο πλεονέκτημα του να μην έχουν διευθύνσεις είναι ότι όταν μια συσκευή προστίθεται ή αφαιρείται από τον δίαυλο, δεν χρειάζεται να αλλάξουν κάποιες ρυθμίσεις-στοιχεία διαμόρφωσης.
- ✓ Το CAN-bus προσφέρει απομακρυσμένη αίτηση μετάδοσης (RTR-remote transmit request), πράγμα που σημαίνει ότι ένας κόμβος πάνω στον δίαυλο είναι σε θέση να ζητήσει πληροφορίες από τους άλλους κόμβους. Έτσι, αντί να περιμένει από έναν κόμβο συνεχώς να στέλνει πληροφορίες, μπορεί να στείλει στον κόμβο ένα αίτημα για να του στείλει τις πληροφορίες που θέλει. Για παράδειγμα, σε ένα όχημα, όπου η θερμοκρασία του κινητήρα είναι μία σημαντική παράμετρος, το σύστημα μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε η θερμοκρασία να αποστέλλεται περιοδικά πάνω στον δίαυλο. Ωστόσο, μια πιο κοινή λύση είναι να ζητήσει τη θερμοκρασία, όποτε απαιτείται, δεδομένου ότι ελαχιστοποιεί έτσι την κίνηση στον δίαυλο, διατηρώντας παράλληλα την ακεραιότητα του δικτύου.
- ✓ Η ταχύτητα επικοινωνίας του CAN-bus δεν είναι σταθερή. Οποιαδήποτε ταχύτητα επικοινωνίας μπορεί να οριστεί για τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε ένα δίαυλο CAN.
- ✓ Όλες οι συσκευές στον δίαυλο μπορούν να ανιχνεύσουν ένα σφάλμα. Η συσκευή που εντόπισε ένα σφάλμα ειδοποιεί αμέσως όλες τις άλλες συσκευές.

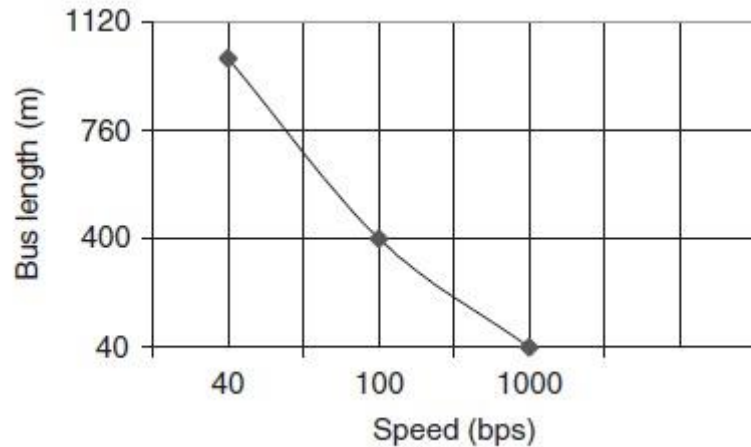
- ✓ Μπορούν να συνδεθούν στον δίαυλο πολλές συσκευές ταυτόχρονα και δεν υπάρχουν λογικά όρια στον αριθμό των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν. Στην πράξη, ο αριθμός των μονάδων που μπορούν να συνδεθούν σε ένα δίαυλο περιορίζεται από τον χρόνο καθυστέρησης του διαύλου και το ηλεκτρικό φορτίο.

Τα δεδομένα που μεταδίδονται στον δίαυλο CAN είναι διαφορικά και μπορεί να είναι σε δύο λογικές καταστάσεις: dominant (high) και recessive (low). Το Σχήμα 7.3 δείχνει την κατάσταση των τάσεων στον δίαυλο. Ο δίαυλος καθορίζει το λογικό 1 bit ως dominant bit και λογικό 0 ως recessive. Όταν υπάρχει 'διατησία' στον δίαυλο, ένα dominant bit κερδίζει πάντα ένα recessive. Στην recessive κατάσταση, η διαφορική τάση CANH και CANL είναι μικρότερη από το ελάχιστο κατώφλι (δηλ., λιγότερο από 0.5V είσοδος δέκτη και λιγότερο από 1.5V έξοδος του πομπού). Στην κυρίαρχη κατάσταση (dominant) η διαφορική τάση CANH και CANL είναι μεγαλύτερη από το ελάχιστο κατώφλι.



Σχήμα 7.3
Κατάσταση Τάσεων Διαύλου

Το πρότυπο ISO-11898 για τον δίαυλο CAN ορίζει ότι μια συσκευή στον δίαυλο πρέπει να είναι σε θέση να οδηγήσει ένα καλώδιο 40μ στο 1Mb/s. Ένας δίαυλος πολύ μεγαλύτερου μήκους μπορεί να επιτευχθεί με μείωση της ταχύτητας. Το Σχήμα 7.4 παρουσιάζει την μεταβολή του μήκους του διαύλου σε συνάρτηση με την ταχύτητα επικοινωνίας. Για παράδειγμα, για δίαυλο μήκους χιλίων μέτρων μπορούμε να έχουμε μέγιστη ταχύτητα 40kb/s.

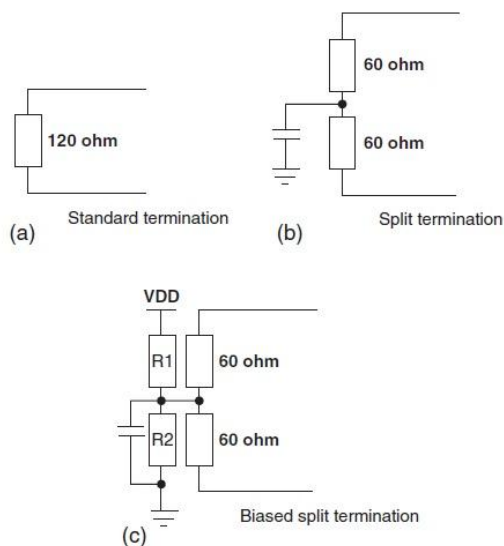


Σχήμα 7.4
Μεταβολή του Μήκους του Διαύλου σε Συνάρτηση με την Ταχύτητα Επικοινωνίας

Ένας διάυλος CAN τερματίζεται για να ελαχιστοποιήσει τις αντανακλάσεις του σήματος στον διάυλο. Το ISO-11898 προϋποθέτει ότι ο διάυλος έχει μια χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση 120 Ohm. Ο διάυλος μπορεί να τερματιστεί με μία από τις ακόλουθες μεθόδους:

- Πρότυπος τερματισμός
- Τερματισμός Split
- Τερματισμός Biased split

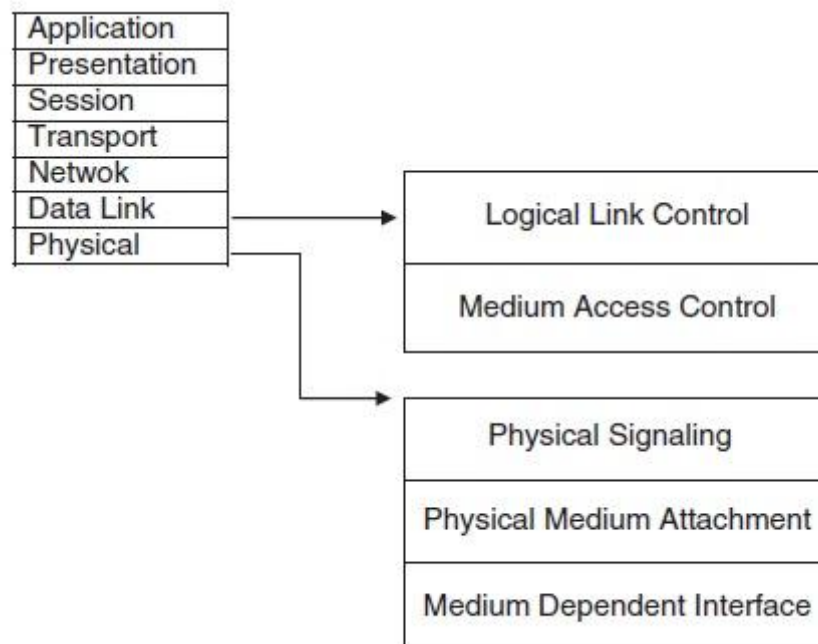
Στον πρότυπο τερματισμό, όπου είναι η πιο κοινή μέθοδος τερματισμού, χρησιμοποιείται μία αντίσταση 120-ohm αντιστάτη σε κάθε άκρο του διαύλου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.5 (a). Στον split τερματισμό, τα άκρα του διαύλου χωρίζονται και χρησιμοποιούνται αντιστάσεις των 60-ohm όπως φαίνεται στο σχήμα 7.5 (b). Ο split τερματισμός επιτρέπει την εφαρμογή μειωμένων εκπομπών, και αυτή η μέθοδος κερδίζει δημοτικότητα.



Σχήμα 7.5
Μέθοδος Τερματισμού του Διαύλου

Ο τερματισμός Biased split είναι παρόμοιος με τον split εκτός από το ότι ένα κύκλωμα διαιρέτη τάσης και ένας πυκνωτής χρησιμοποιείται σε κάθε άκρο του διαύλου. Η μέθοδος αυτή αυξάνει την EMC απόδοση του διαύλου (Σχήμα 7.5 (c)).

Πολλά πρωτόκολλα δικτύου περιγράφονται χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο επτά επιπέδων που ονομάζεται OSI (Open Systems Interconnection). Το πρωτόκολλο CAN περιλαμβάνει το επίπεδο ζεύξης δεδομένων, και το φυσικό επίπεδο του μοντέλου αναφοράς OSI (βλέπε σχήμα 7.6). Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (Data Link Layer- DLL) αποτελείται από την Λογική ελέγχου σύνδεσης (Logical Link Control- LLC) και την MAC (Medium Access Control). Η LLC διαχειρίζεται την ειδοποίηση υπερφόρτωσης, το φιλτράρισμα της αποδοχής, και την διαχείριση ανακτήσεων. Η MAC διαχειρίζεται την ενθυλάκωση των δεδομένων, την κωδικοποίηση των frames, τον εντοπισμό σφαλμάτων, και το αλληλουχία των δεδομένων. Το φυσικό επίπεδο αποτελείται από το επίπεδο PSL (Physical Signaling Layer), το PMA (Physical Medium Attachment), και το Medium Independent Interface (MDI). Το PSL διαχειρίζεται την κωδικοποίηση / αποκωδικοποίηση των bit και τους χρόνους. Το PMA διαχειρίζεται τα χαρακτηριστικά του οδηγού/δέκτη, και το MDI είναι οι συνδέσεις και τα καλώδια.



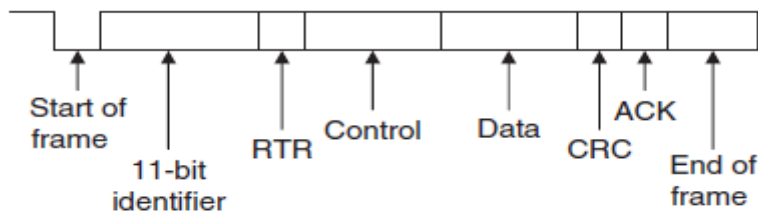
Σχήμα 7.6
CAN και το Μοντέλο OSI

Υπάρχουν βασικά τέσσερα frame μηνυμάτων στο CAN: data (δεδομένα), remote (απομακρυσμένο), error (λάθος), και overload (υπερφόρτωση). Τα πλαίσια (frames) δεδομένων καθώς και τα απομακρυσμένα πλαίσια πρέπει να ορίζονται από τον χρήστη, ενώ τα άλλα δύο ορίζονται από το hardware του CAN.

7.4 Πλαίσιο Δεδομένων (Data Frame)

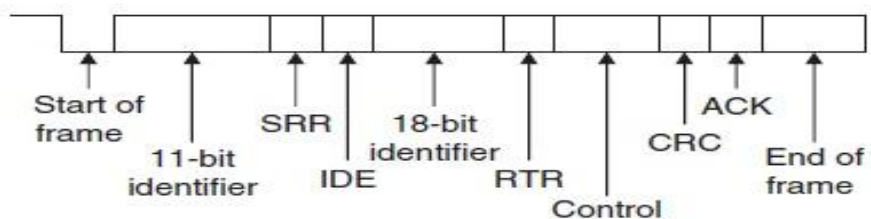
Το πλαίσιο δεδομένων είναι σε δύο μορφές: το πρότυπο (που έχει 11-bit ID) και το εκτεταμένο (με 29-bit ID). Το πλαίσιο δεδομένων χρησιμοποιείται από την συσκευή μετάδοσης για την αποστολή δεδομένων προς τη συσκευή λήψης, καθώς επίσης το πλαίσιο δεδομένων είναι το πιο σημαντικό πλαίσιο το οποίο χειρίζεται ο χρήστης.

Στο Σχήμα 7.7 παρουσιάζεται η δομή του πλαισίου δεδομένων. Ένα πρότυπο πλαίσιο δεδομένων ξεκινάει με το bit έναρξης πλαισίου (start of frame -SOF), το οποίο ακολουθείται από ένα αναγνωριστικό(ID) μεγέθους 11-bit και το bit απομακρυσμένου αιτήματος αποστολής (remote transmission request -RTR). Το ID και το RTR bit σχηματίζουν το πεδίο διαιτησίας (arbitration) μεγέθους 12-bit. Το πεδίο ελέγχου(control bit) είναι μεγέθους 6 bit και δείχνει πόσα bytes δεδομένων είναι στο πεδίο δεδομένων. Το πεδίο δεδομένων μπορεί να είναι 0 έως 8 bytes. Το πεδίο δεδομένων ακολουθείται από το πεδίο CRC, το οποίο ελέγχει κατά πόσο είναι κατεστραμμένη ή όχι η ληφθείσα ακολουθία των bit.



Σχήμα 7.7
Πρότυπο Πλαίσιο Δεδομένων

Το πεδίο ACK είναι 2 bits και χρησιμοποιείται από τον πομπό για να λάβει απόδειξη πως ένα έγκυρο πλαίσιο παραλήφθηκε από κάποιο δέκτη. Το τέλος του μηνύματος υποδεικνύεται από ένα πεδίο των 7-bit, το end of frame (EOF). Σε ένα εκτεταμένο πλαίσιο δεδομένων, το πεδίο arbitration είναι 32 bits (29-bit ID, 1-bit IDE για να καθορίσει το μήνυμα ως εκτεταμένο πλαίσιο δεδομένων, 1-bit SRR το οποίο δε χρησιμοποιείται και 1-bit RTR) (βλέπε σχήμα 7.8).



Σχήμα 7.8
Εκτεταμένο Πλαίσιο Δεδομένων

7.4.1 Έναρξη του Πλαισίου (Start of Frame- SOF)

Το πεδίο Start of Frame δείχνει την αρχή ενός πλαισίου δεδομένων και είναι κοινό τόσο για το πρότυπο πλαίσιο όσο και για την εκτεταμένη μορφή πλαισίου.

7.4.2 Πεδίο Διαιτησίας (Arbitration)

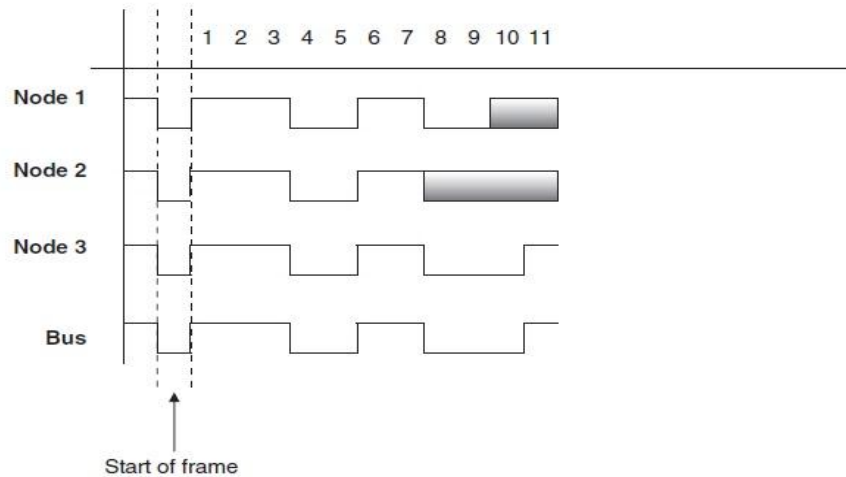
Η διαιτησία χρησιμοποιείται για την επίλυση των συγκρούσεων στον δίαυλο που συμβαίνουν όταν περισσότερες από μία συσκευές αρχίσουν ταυτόχρονα να στέλνουν μηνύματα στον δίαυλο. Το πεδίο arbitration δείχνει την προτεραιότητα ενός πλαισίου, και είναι διαφορετικό στην πρότυπη μορφή και στην εκτεταμένη. Στην πρότυπη μορφή εκεί είναι 11 bits, και μπορούμε να ρυθμίσουμε έως 2032 ταυτότητες(id). Η εκτεταμένη μορφή ID αποτελείται από 11 αναγνωριστικά βάσης συν 18 εκτεταμένης ταυτότητας. Μπορούν να ρυθμιστούν έως $2032 \cdot 2^{18}$ διακριτές ταυτότητες.

Κατά τη διάρκεια της φάσης της διαιτησίας, κάθε συσκευή μετάδοσης μεταδίδει το αναγνωριστικό της και το συγκρίνει με το επίπεδο στον εκτοξευτή. Εάν τα επίπεδα είναι ίσα, η συσκευή συνεχίζει τη μετάδοση. Εάν η συσκευή ανιχνεύσει ένα επικρατέστερο(dominant) επίπεδο στον δίαυλο, ενώ προσπαθεί να μεταδώσει ένα υπολειπόμενο επίπεδο, κλείνει τη μετάδοση και γίνεται συσκευή λήψης.

Μετά την διαιτησία μόνο ένας πομπός έχει απομείνει στον δίαυλο, και αυτός ο πομπός συνεχίζει να αποστέλλει το πεδίο ελέγχου του, το πεδίο δεδομένων, και άλλα δεδομένα.

Η διαδικασία της διαιτησίας απεικονίζεται στο Σχήμα 7.9 με ένα παράδειγμα που αποτελείται από τρεις κόμβους με αναγνωριστικά(Id's):

Κόμβος 1: 11100110011 Κόμβος 2: 11100111111 Κόμβος 3: 11100110001



Σχήμα 7.9
Παράδειγμα Διαιτησίας CAN bus

Υποθέτοντας ότι το υπολειπόμενο επίπεδο αντιστοιχεί σε 1 και το κυρίαρχο επίπεδο στο 0, η διαιτησία εκτελείται ως ακολούθως:

- Όλοι οι κόμβοι να αρχίζουν να μεταδίδουν ταυτόχρονα, στέλνοντας πρώτα SOF bits.
- Στη συνέχεια, στέλνουν τα bits του αναγνωριστικού τους(Id). Το 8ο bit του κόμβου 2 βρίσκεται σε υπολειπόμενη κατάσταση, ενώ τα αντίστοιχα bits των κόμβων 1 και 3 είναι σε κυρίαρχη κατάσταση. Ως εκ τούτου ο κόμβος 2 σταματά τη μετάδοση και επιστρέφει στην κατάσταση λήψης. Η φάση παραλαβής δείχνεται με ένα γκρι πεδίο.
- Το 10ο bit του κόμβου 1 είναι στην υπολειπόμενη κατάσταση, ενώ το αντίστοιχο bit του κόμβου 3 είναι σε κυρίαρχη κατάσταση. Έτσι Κόμβος 1 σταματά τη μετάδοση και επιστρέφει στην κατάσταση λήψης.
- Ο διάλογος αφήνεται τώρα στον κόμβο 3, ο οποίος είναι ελεύθερος να στείλει το πεδίο έλεγχου και το πεδίο δεδομένων του.

Είναι σημαντικό ότι οι συσκευές στον δίαυλο δεν έχουν διευθύνσεις. Αντ' αυτού, όλες οι συσκευές δέχονται όλα τα δεδομένα στον δίαυλο και κάθε κόμβος πρέπει να φιλτράρει τα μηνύματα που δεν θέλει.

7.4.3 Πεδίο Ελέγχου (Data Field)

Το πεδίο ελέγχου είναι 6 bits ευρύ, όπου αποτελείται από 2 δεσμευμένα bits και 4 bits κωδικού μήκους δεδομένων (Data Length Code, DLC), και υποδεικνύει τον αριθμό των bytes δεδομένων στο μήνυμα που μεταδίδεται. Αυτό το πεδίο κωδικοποιείται όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.1, όπου μέχρι 8 bytes μεταδόσεως μπορούν να κωδικοποιηθούν με 6 bits.

No. of data bytes	DLC3	DLC2	DLC1	DLC0
0	D	D	D	D
1	D	D	D	R
2	D	D	R	D
3	D	D	R	R
4	D	R	D	D
5	D	R	D	R
6	D	R	R	D
7	D	R	R	R
8	R	D or R	D or R	D or R

D: Dominant level, R: Recessive level.

Πίνακας 7.1

7.4.4 Πεδίο Δεδομένων (Data Field)

Το πεδίο δεδομένων φέρει το πραγματικό περιεχόμενο του μηνύματος. Το μέγεθος των δεδομένων μπορεί να ποικίλει από 0-8 bytes. Τα δεδομένα μεταδίδονται με το MSB (Most Significant Bit) πρώτο.

7.4.5 Πεδίο CRC (CRC Field)

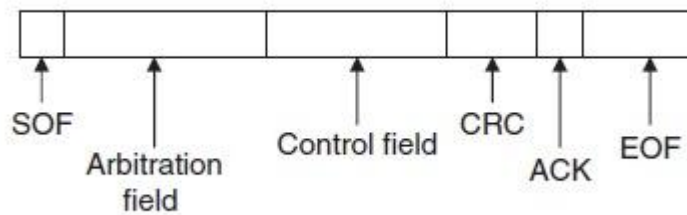
Το πεδίο CRC, το οποίο αποτελείται από μία αλληλουχία των 15-bit CRC και ένα 1-bit CRC οριοθέτη, χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του πλαισίου για κάποιο σφάλμα μετάδοσης. Ο υπολογισμός CRC περιλαμβάνει τη έναρξη του πλαισίου(SOF), το πεδίο διαιτησίας(arbitration), το πεδίο ελέγχου και το πεδίο δεδομένων(data). Η υπολογισμένη CRC ακολουθία και η λαμβανόμενη συγκρίνονται, και αν δεν ταιριάζουν, θεωρείται κάποιο σφάλμα.

7.4.6 Πεδίο ACK

Το πεδίο ACK δηλώνει ότι το πλαίσιο έχει παραληφθεί κανονικά. Αυτό το πεδίο αποτελείται από 2 bits, ένα ως υποδοχή για το ACK και ένα για τον οριοθέτη ACK.

7.5 Πλαίσιο Remote (Remote Frame)

Το απομακρυσμένο πλαίσιο χρησιμοποιείται από τη μονάδα λήψης για να ζητήσει μετάδοση ενός μηνύματος από τη μονάδα μετάδοσης. Αποτελείται από έξι πεδία (βλ. Σχήμα 7.10): έναρξη του πλαισίου, το πεδίο διαιτησίας, το πεδίο ελέγχου, πεδίο CRC, πεδίο ACK, και το πεδίο ‘τέλος του πλαισίου’. Ένα απομακρυσμένο πλαίσιο είναι το ίδιο με ένα πλαίσιο δεδομένων εκτός του ότι στερείται το πεδίο δεδομένων.



Σχήμα 7.10
Πλαίσιο Remote

7.6 Πλαίσιο Σφάλματος (Error Frame)

Τα πλαίσια σφάλματος παράγονται και μεταδίδεται από το υλισμικό του CAN και χρησιμοποιούνται για να δείξουν ένα σφάλμα κατά τη διάρκεια της μετάδοσης. Ένα πλαίσιο σφάλματος αποτελείται από μια σημαία λάθους και τον οριοθέτη σφάλματος. Υπάρχουν δύο τύποι των σημαιών σφάλματος: Η ενεργή, η οποία αποτελείται από 6 κυρίαρχα bits και η παθητική, η οποία αποτελείται από 6 υπολειπόμενα bits. Ο οριοθέτης αποτελείται από 8 υπολειπόμενα bits.

7.7 Πλαίσιο Υπερφόρτωσης (Overload Frame)

Το πλαίσιο υπερφόρτωσης χρησιμοποιείται από τη μονάδα λήψης για να δείξει ότι δεν είναι ακόμη έτοιμο να δέχεται πλαίσια. Αυτό το πλαίσιο αποτελείται από μια σημαία υπερφόρτωσης και τον οριοθέτη υπερφόρτωσης. Η σημαία υπερφόρτωσης αποτελείται από 6 κυρίαρχα bits και έχει την ίδια δομή όπως η ενεργή σημαία σφάλματος του πλαισίου σφάλματος. Ο οριοθέτης υπερφόρτωσης αποτελείται από 8 υπολειπόμενα bits και έχει την ίδια δομή με τον οριοθέτη σφάλματος του πλαισίου σφάλματος.

7.8 Bit Stuffing

Το CAN bus κάνει χρήση του bit stuffing, μια τεχνική για να συγχρονίζει περιοδικά διαδικασίες αποστολής-λήψης για την αποφυγή σφαλμάτων χρόνου μεταξύ των κόμβων λήψης. Μετά από 5 διαδοχικά bits με το ίδιο επίπεδο, ένα bit με ανεστραμμένο δεδομένο προστίθεται στην αλληλουχία.

Εάν, κατά τη διάρκεια της αποστολής ενός πλαισίου(frame) δεδομένων ή remote frame, υπάρχει το ίδιο λογικό επίπεδο σε 5 διαδοχικά μπιτ οπουδήποτε από την έναρξη του πλαισίου ως και την αλληλουχία CRC, ένα ανεστραμμένο bit εισάγεται στο επόμενο (δηλαδή, το έκτο) bit. Εάν, κατά τη λήψη ενός frame δεδομένων ή remote frame, το ίδιο επίπεδο λαμβάνει χώρα σε 5 διαδοχικά μπιτ οπουδήποτε από την έναρξη του πλαισίου ως την αλληλουχία CRC, το επόμενο (έκτο) bit διαγράφεται από το λαμβανόμενο πλαίσιο. Εάν το έκτο bit που διαγράφηκε διαγράφεται είναι στο ίδιο λογικό επίπεδο με το πέμπτο bit, ανιχνεύεται σφάλμα (stuffing error).

7.9 Τύποι Σφαλμάτων

Το CAN bus μπορεί να προσδιορίζει πέντε τύπους σφαλμάτων :

- Bit σφάλμα
- CRC σφάλμα
- Σφάλμα φόρμας
- ACK σφάλμα
- Stuffing σφάλμα

Το σφάλμα Bit (bit errors) ανιχνεύεται όταν η στάθμη εξόδου και το λογικό επίπεδο των δεδομένων στον διάυλο δεν ταιριάζουν. Τόσο η μονάδα αποστολής όσο και η μονάδα λήψης μπορούν να ανιχνεύσουν σφάλματα bit. Τα CRC σφάλματα ανιχνεύονται μόνο από τις μονάδες λήψης. Τα σφάλματα CRC εντοπίζονται αν η υπολογισμένη CRC από το ληφθέν μήνυμα και το λαμβανόμενο CRC δεν ταιριάζουν.

Form errors διαπιστώνονται από τις μονάδες μετάδοσης ή λήψης όταν ανιχνεύεται μη φυσιολογική μορφή πλαισίου (frame).

Τα σφάλματα ACK εντοπίζονται μόνο από τις μονάδες μετάδοσης εάν το πεδίο ACK είναι υπολειπόμενο. Stuffing errors εντοπίζονται όταν το ίδιο λογικό

επίπεδο δεδομένων ανιχνεύεται για 6 διαδοχικά bits σε κάθε τομέα που θα έπρεπε να έχει γίνει bit stuffing. Σφάλμα τέτοιου είδους ανιχνεύεται από τις μονάδες μετάδοσης και λήψης.

7.10 Ονομαστικό Bit Timing (Nominal Bit Timing)

Ονομαστικός ρυθμός Bit του διαύλου CAN ορίζεται ως ο αριθμός των bits που διαβιβάζονται ανά δευτερόλεπτο χωρίς επανασυγχρονισμό. Το αντίστροφο του ονομαστικού ρυθμού δυαδικών ψηφίων είναι ο ονομαστικός bit time. Όλες οι συσκευές στο δίαυλο CAN πρέπει να χρησιμοποιούν το ίδιο bit rate, ακόμη και αν κάθε συσκευή μπορεί να έχει διαφορετική συχνότητα ρολογιού. Ένα μήνυμα αποτελείται από τέσσερα μη-επικαλυπτόμενα τμήματα του χρόνου:

- Τμήμα συγχρονισμού (Sync_Seg)
- Χρόνος διάδοσης (Prop_Seg)
- Ρυθμιστικό φάσης τμήμα 1 (Phase_Seg1)
- Ρυθμιστικό φάσης τμήμα 2 (Phase_Seg2)

Το Sync_Seg τμήμα χρησιμοποιείται για να συγχρονίσει διάφορους κόμβους στον δίαυλο. Το τμήμα Prop_Seg αντισταθμίζει φυσικούς χρόνους καθυστέρησης εντός του δικτύου. Τα Phase_Seg1 και Phase_Seg2 τμήματα αντισταθμίζουν σφάλματα φάσης. Αυτά τα τμήματα είναι δυνατόν να παραταθούν ή να συντομευθούν με συγχρονισμό. Το σημείο δειγματοληψίας (sample point) είναι το σημείο στο χρόνο όπου η πραγματική τιμή bit βρίσκεται και εμφανίζεται στο τέλος του Phase_Seg1. Ένας ελεγκτής CAN μπορεί να ρυθμιστεί να πάρει δείγμα τρεις φορές και να χρησιμοποιήσετε μια συνάρτηση πλειοψηφίας για τον προσδιορισμό του πραγματικού bit.

Εξ ορισμού, ο ελάχιστος ονομαστικός χρόνος bit είναι 1μs, που αντιστοιχεί με μέγιστο ρυθμό 1Mb /s. Ο ονομαστικός bit time(T_{BIT}) δίνεται από τον τύπο:

$$T_{BIT} = T_Q \times (Sync_Seg + Prop_Seg + Phase_Seg1 + Phase_Seg2)$$

Συνάρτηση 7.1

Ο ονοματικός ρυθμός μετάδοσης των bit (Nominal Bit Rate, NBR) είναι:

$$NBR = 1/T_{BIT}$$

Συνάρτηση 7.2

Ο κβαντισμός του χρόνου προέρχεται από τη συχνότητα του ταλαντωτή και τον προγραμματιζόμενο baud rate prescaler, με ακέραιες τιμές 1 έως 64. Ο κβαντισμός του χρόνου μπορεί να εκφραστεί ως:

$$T_Q = 2 \times (BRP + 1) / F_{OSC}$$

Συνάρτηση 7.3

όπου T_Q είναι σε μs , F_{OSC} είναι σε MHz, και BRP είναι ο baud rate prescaler (0 έως 63).

Η συνάρτηση (7.2) μπορεί να γραφεί ως:

$$T_Q = 2 \times (BRP + 1) \times T_{OSC}$$

Συνάρτηση 7.4

όπου T_{OSC} είναι σε μs .

Ακολουθεί ένα παράδειγμα υπολογισμού ενός ρυθμού μετάδοσης.

Παράδειγμα 7.1

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε συχνότητα ρολογιού 20MHz, baud rate prescaler 1 και bit time $T_{BIT} = 8 \times T_Q$, να καθοριστεί ο ρυθμός μετάδοσης των bit.

Λύση 7.1

Χρησιμοποιώντας την συνάρτηση (7.3),

$$T_Q = 2 \times (1 + 1) / 20 = 0.2 \mu s$$

Επίσης,

$$T_{BIT} = 8 \times T_Q = 8 \times 0.2 = 1.6 \mu s$$

Από την συνάρτηση (7.2),

$$NBR = 1/T_{BIT} = 1/1.6Ms = 625000bits/s \text{ ή } 625Kb/s$$

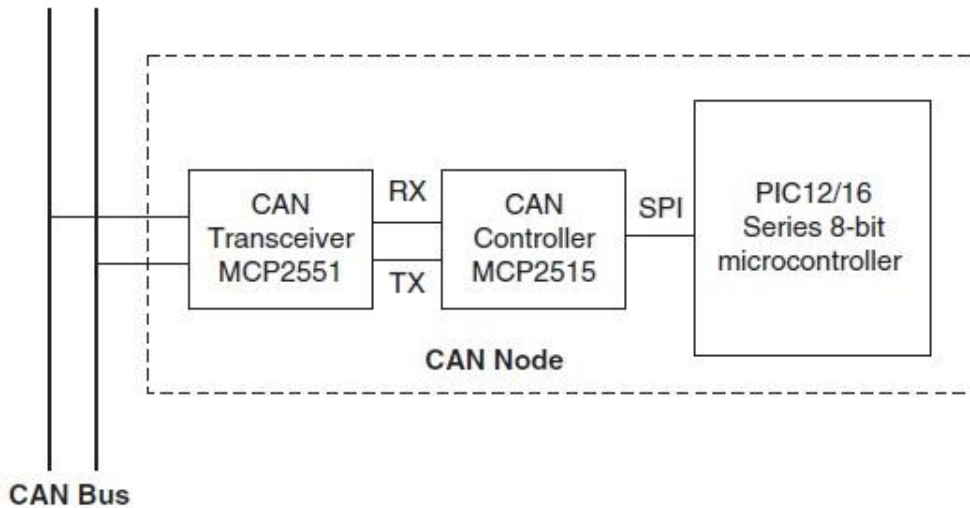
Προκειμένου να αντισταθμιστούν μετατοπίσεις φάσεως μεταξύ των συχνοτήτων των ταλαντωτών των κόμβων σε ένα δίαυλο, κάθε ελεγκτής CAN πρέπει να συγχρονίζει τη σχετική ακμή του λαμβανόμενου σήματος. Έχουμε δύο τύπους συγχρονισμού: Σκληρό συγχρονισμό και επανασυγχρονισμό. Σκληρός συγχρονισμός χρησιμοποιείται μόνο κατά την έναρξη του πλαισίου μηνύματος, όταν κάθε κόμβος ευθυγραμμίζει το Sync_Seg του τρέχοντος bit timing στην υπολειπόμενη ή κυρίαρχη ακμή του εκπεμπόμενου SOF. Σύμφωνα με τους κανόνες συγχρονισμού, εάν πραγματοποιηθεί ένας σκληρό συγχρονισμός, δεν θα υπάρξει επανασυγχρονισμός στο διάστημα αυτό.

Με επανασυγχρονισμού, το Phase_Seg1 μπορεί να παραταθεί ή μπορεί να συντομευθεί το Phase_Seg2. Η ποσότητα μεταβολής των τμημάτων του phase buffer έχει ένα ανώτερο όριο που δίδεται από το πλάτος άλματος συγχρονισμού(synchronization jump width, SJW). Το SJW είναι προγραμματιζόμενο μεταξύ 1 και 4, και η τιμή του προστίθεται στο Phase_Seg1 ή αφαιρείται από το Phase_Seg2.

7.11 CAN Interface του Μικροελεγκτή PIC

Σε γενικές γραμμές, κάθε είδους μικροελεγκτής PIC μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε CAN bus εφαρμογές, αλλά κάποιοι μικροελεγκτές PIC (π.χ., PIC18F258) έχουν ενσωματωμένο ελεγκτή CAN, οι οποίοι μπορούν να απλοποιήσουν το σχεδιασμό των συστημάτων που βασίζονται στο CAN bus. Μικροελεγκτές χωρίς ενσωματωμένο ελεγκτή CAN μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε τέτοιες εφαρμογές αλλά απαιτείται πρόσθετο υλικό και λογισμικό καθιστώντας τον σχεδιασμό δαπανηρό και πιο περίπλοκο.

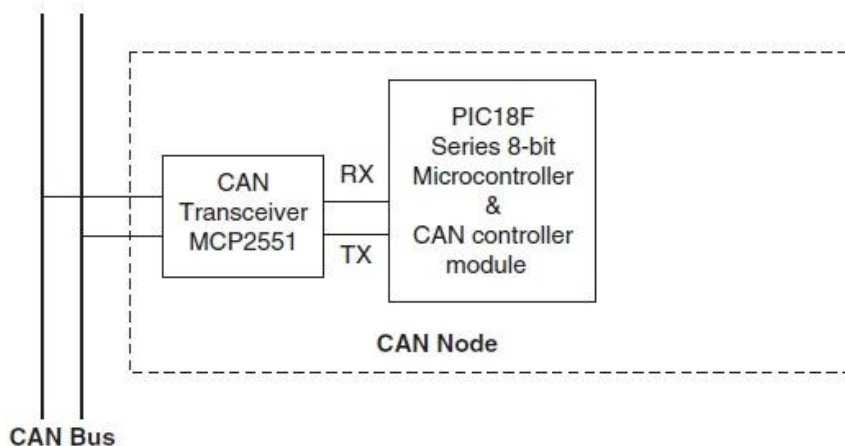
Το Σχήμα 7.11 δείχνει το μπλοκ διάγραμμα μια CAN bus εφαρμογής βασισμένη σε μικροελεγκτή PIC, χρησιμοποιώντας ένα μικροελεγκτή τύπου PIC16 ή PIC12 (π.χ., PIC16F84) χωρίς ενσωματωμένο ελεγκτή CAN.



Σχήμα 7.11
Κόμβος CAN με Οποιοδήποτε Μικροελεγκτή PIC

Ο μικροελεγκτής συνδέεται στο δίαυλο CAN χρησιμοποιώντας έναν εξωτερικό ελεγκτή CAN, τύπου MCP2515 και ένα MCP2551, ολοκληρωμένο πομποδέκτη CAN (CAN transceiver). Η τοπολογία είναι ιδανική για μια γρήγορη αναβάθμιση μια υπάρχουσας σχεδίασης που χρησιμοποιεί έναν οποιοδήποτε μικροελεγκτή PIC.

Για νέες σχεδιάσεις βασισμένες στο CAN bus είναι πιο εύκολο να χρησιμοποιήσουμε ένα μικροελεγκτή PIC με ένα ενσωματωμένη μονάδα CAN. Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 9,12, τέτοιοι μικροελεγκτές περιλαμβάνουν ενσωματωμένο ελεγκτή CAN πάνω στο τσιπ. Το μόνο που απαιτείται για να γίνει ένας κόμβος CAN είναι να προσθέσουμε έναν CAN πομποδέκτη.



Σχήμα 7.12
Κόμβος CAN με Ενσωματωμένη Μονάδα CAN

7.12 Ο μικροελεγκτής PIC18F258

Ο PIC18F258 είναι ένας υψηλής απόδοσης 8μπιτος μικροελεγκτής με ενσωματωμένη μονάδα CAN.

Ο μικροελεγκτής έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ✓ 32K μνήμη flash
- ✓ 1536 byte μνήμη RAM
- ✓ 256 bytes μνήμη EEPROM
- ✓ 22 εισόδους/ εξόδους
- ✓ 5 κανάλια 10-μπιτ μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό
- ✓ 3 timers/ counters
- ✓ 3 εξωτερικά interrupt
- ✓ 25mA ρεύμα στις εισόδους/ εξόδους
- ✓ Μονάδα Capture/ Συγκριτής / PWM
- ✓ Μονάδα SPI/I2C
- ✓ Μονάδα CAN 2.0A / B
- ✓ Power-on reset και power-on timer
- ✓ Watchdog timer
- ✓ Επίπεδα προτεραιότητας των Interrupts
- ✓ Ρολόι χρονισμού από DC έως 40MHz
- ✓ 8x8 hardware multiplier
- ✓ Ευρύ πεδίο τάσης λειτουργίας (2.0V έως 5.5V)
- ✓ Κατάσταση Sleep, εξοικονόμησης ενέργειας

Τα χαρακτηριστικά της ενσωματωμένης μονάδας CAN του PIC18F258 είναι τα εξής:

- ✓ Συμβατό με CAN 1.2, CAN 2.0A, και CAN 2.0B
- ✓ Υποστηρίζει πρότυπο και εκτεταμένο πλαίσιο δεδομένων
- ✓ Προγραμματιζόμενος ρυθμός μετάδοσης έως 1Mbit / s
- ✓ Δέκτης διπλής απομόνωσης
- ✓ Τρεις buffer μεταδόσεως
- ✓ Δύο buffer λήψης
- ✓ Προγραμματιζόμενη πηγή ρολογιού

- ✓ Έξι φίλτρα αποδοχής
- ✓ Δύο μάσκες φίλτρων αποδοχής
- ✓ Λειτουργία Loop-back για αυτοέλεγχο
- ✓ Λειτουργία Sleep χαμηλής κατανάλωσης
- ✓ Δυνατότητες interrupt

Η μονάδα CAN χρησιμοποιεί τα pins RB3/CANRX και RB2/CANTX για τη λήψη και αποστολή μέσω CAN bus αντίστοιχα. Αυτά τα pins συνδέονται στον διάλο μέσω ενός CAN bus πομποδέκτη όπως πχ τον MCP2551.

Ο μικροελεγκτής PIC18F258 υποστηρίζει τους ακόλουθους τύπους πλαισίου:

- ✓ Πρότυπο πλαίσιο δεδομένων
- ✓ Εκτεταμένη πλαίσιο δεδομένων
- ✓ Απομακρυσμένο πλαίσιο
- ✓ Πλαίσιο Error
- ✓ Πλαίσιο υπερφόρτωσης
- ✓ Χώρο interframe

Ένας κόμβος χρησιμοποιεί φίλτρα για να αποφασίσει αν πρέπει ή όχι να δεχθεί ένα μήνυμα που έλαβε. Φιλτράρισμα μηνυμάτων εφαρμόζεται στο σύνολο του πεδίου του αναγνωριστικού, ενώ χρησιμοποιούνται καταχωρητές 'μάσκες' για να καθορίσουν ποια bits του αναγνωριστικού πρέπει να εξετάσουν τα φίλτρα.

Η μονάδα CAN του μικροελεγκτή PIC18F258 έχει έξι καταστάσεις λειτουργίας:

- Κατάσταση διαμόρφωσης (Configuration mode)
- Κατάσταση απενεργοποίησης (Disable mode)
- Κανονική κατάσταση λειτουργίας (Normal mode of operation)
- Κατάσταση ακρόασης-μόνο (Listen-only mode)
- Κατάσταση loop-back
- Κατάσταση αναγνώρισης λαθών (Error recognition mode)

7.12.1 Κατάσταση Διαμόρφωσης

Η μονάδα CAN αρχικοποιείται και ξεκινά σε κατάσταση διαμόρφωσης. Η μονάδα δεν επιτρέπεται να μπει σε κατάσταση διαμόρφωσης ενώ γίνεται κάποια μετάδοση. Σε κατάσταση διαμόρφωσης η μονάδα δε θα μεταδώσει ούτε θα λάβει, οι μετρητές σφαλμάτων καθαρίζονται , και οι σημαίες των interrupts παραμένουν αμετάβλητες.

7.12.2 Κατάσταση Απενεργοποίησης

Σε κατάσταση απενεργοποίησης η μονάδα ούτε αποστέλλει ούτε λαμβάνει. Σε αυτή την κατάσταση το εσωτερικό ρολόι σταματάει εκτός αν η μονάδα είναι ενεργή. Αν η μονάδα είναι ενεργή, θα περιμένει για 11υπολειπόμενα bits στον δίαυλο, εντοπίζοντας αυτή την κατάσταση ως αδρανή δίαυλο, και στη συνέχεια αποδέχεται την εντολή απενεργοποίησης της μονάδας. Το WAKIF interrupt (wake-up interrupt) είναι το μοναδικό interrupt της μονάδας CAN που είναι ενεργό στην κατάσταση απενεργοποίησης.

7.12.3 Κατάσταση Κανονικής Λειτουργίας

Η κατάσταση κανονικής λειτουργίας είναι η πρότυπη κατάσταση λειτουργίας της μονάδας CAN. Σε αυτή την κατάσταση η μονάδα παρακολουθεί όλα τα μηνύματα του διαύλου και παράγει ACK bits, πλαίσια λαθών κλπ. Αυτή είναι η μόνη κατάσταση όπου μπορεί να μεταδώσει μηνύματα.

7.12.4 Λειτουργία Ακρόαση-Μόνο (Listen-Only)

Η λειτουργία μόνο ακρόασης επιτρέπει στη μονάδα να λάβει μηνύματα , συμπεριλαμβανομένων και μηνυμάτων με λάθη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση δραστηριοτήτων στον δίαυλο ή για να ανιχνεύσει την ταχύτητα μετάδοσης στον δίαυλο. Για αυτόματη ανίχνευση του baud rate, πρέπει να υπάρχουν

τουλάχιστον άλλοι δύο κόμβοι που να επικοινωνούν ο ένας με τον άλλο. Ο baud rate μπορεί να προσδιοριστεί με δοκιμή διαφορετικών τιμών μέχρι να ληφθούν έγκυρα μηνύματα. Η λειτουργία listen-only δεν μπορεί να στείλει μήνυμα.

7.12.5 Loop Back-Λειτουργία

Στη λειτουργία loop-back, τα μηνύματα μπορούν να δρομολογηθούν από εσωτερικούς buffer μεταδόσεως σε buffer λήψης, χωρίς στην πραγματικότητα να μεταδίδει μηνύματα στον δίαυλο CAN. Αυτή η λειτουργία είναι χρήσιμη κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και δοκιμής του συστήματος.

7.12.6 Λειτουργία Αναγνώριση σφάλματος (Error Recognition)

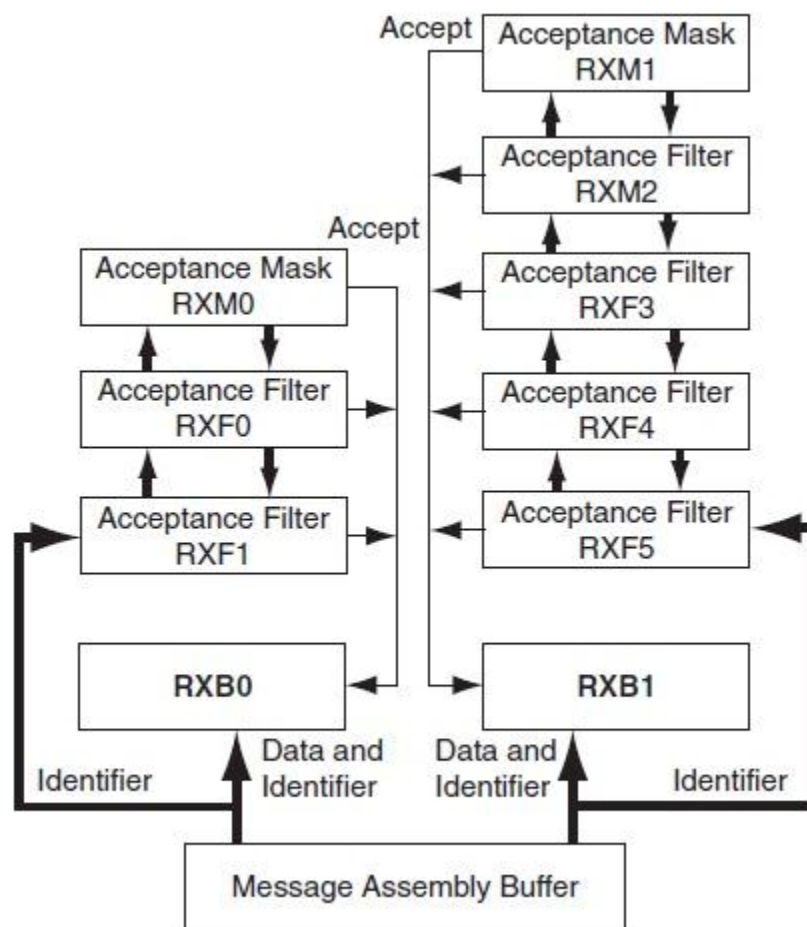
Η λειτουργία αναγνώρισης σφάλματος χρησιμοποιείται για να αγνοεί όλα τα σφάλματα και να λαμβάνονται όλα τα μηνύματα. Σε αυτή τη λειτουργία, όλα τα μηνύματα, έγκυρα και μη, λαμβάνονται και αντιγράφονται στον buffer λήψης.

7.12.7 Εκπομπή Μηνύματος CAN

Η μικροελεγκτής PIC18F258 πραγματοποιεί τρεις αποκλειστικούς buffer εκπομπής: TXB0, TXB1, και TXB2. Τα μηνύματα που βρίσκονται σε αναμονή αποστολής είναι σε ουρά προτεραιότητας. Προτού σταλεί το SOF bit συγκρίνονται οι προτεραιότητες όλων των buffer που βρίσκονται στην ουρά για μετάδοση μηνύματος. Ο buffer μετάδοσης με την υψηλότερη προτεραιότητα αποστέλλεται πρώτος. Αν δύο buffers έχουν την ίδια προτεραιότητα, αυτός με τον υψηλότερο αριθμό buffer αποστέλλεται πρώτος. Υπάρχουν τέσσερα επίπεδα προτεραιότητας.

7.12.8 Λήψη Μηνύματος CAN

Η λήψη ενός μηνύματος είναι μια πιο περίπλοκη διαδικασία. Ο μικροελεγκτής PIC18F258 περιλαμβάνει 2 buffer λήψης, RXB0 και RXB1, με πολλαπλά φίλτρα αποδοχής για καθέναν (βλέπε σχήμα 7.13). Όλα τα εισερχόμενα μηνύματα συναρμολογούνται στον message assembly buffer (MAB). Μόλις λαμβάνεται ένα μήνυμα, ανεξάρτητα από τον τύπο του αναγνωριστικού του και τον αριθμό των bytes δεδομένων, ολόκληρο το μήνυμα αντιγράφεται στον MAB.



Σχήμα 7.13

Τα ληφθέντα μηνύματα έχουν προτεραιότητες. Ο RXB0 είναι ο Buffer της υψηλότερης προτεραιότητας, και έχει δύο φίλτρα αποδοχής μηνυμάτων, RXF0 και RXF1. RXB1 είναι ο buffer χαμηλότερης προτεραιότητας και έχει τέσσερα φίλτρα αποδοχής: RXF2, RXF3, RXF4 και RXF5. Δύο προγραμματιζόμενες μάσκες φίλτρων αποδοχής, RXM0 και RXM1, είναι επίσης διαθέσιμες, μία για κάθε buffer λήψης.

Η μονάδα CAN χρησιμοποιεί φίλτρα αποδοχής μηνυμάτων και μάσκες για να καθορίσει εάν ένα μήνυμα στον MAB πρέπει να φορτωθεί σε έναν buffer λήψης. Μόλις ένα έγκυρο μήνυμα παραληφθεί από την MAB, το πεδίο του αναγνωριστικού του μηνύματος συγκρίνεται με τις τιμές των φίλτρων. Εάν υπάρχει αντιστοιχία, το μήνυμα φορτώνεται στον κατάλληλο buffer λήψης. Οι μάσκες των φίλτρων καθορίζουν ποια bit στο αναγνωριστικό εξετάζονται με τα φίλτρα.

Ο πίνακας αλήθειας στον πίνακα 7.2 δείχνει πώς κάθε κομμάτι στο αναγνωριστικό συγκρίνεται με τις μάσκες και φίλτρα για να καθορίσει εάν το μήνυμα πρέπει να γίνει αποδεκτό. Εάν ένα bit στη μάσκα οριστεί 0, αυτό το bit στο αναγνωριστικό γίνεται αυτόματα αποδεκτό ανεξάρτητα από το bit του φίλτρου.

Mask bit n	Filter bit n	Message identifier bit n001	Accept or reject bit n
0	×	×	Accept
1	0	0	Accept
1	0	1	Reject
1	1	0	Reject
1	1	1	Accept

Πίνακας 7.2

7.12.9 Υπολογισμός των παραμέτρων χρονισμού

Η ρύθμιση των παραμέτρων χρονισμού των κόμβων είναι απαραίτητη για τον δίαυλο για να λειτουργεί αξιόπιστα. Δεδομένης της συχνότητας ρολογιού μικροελεγκτή και τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (bit rate) του διαύλου CAN, μπορούμε να υπολογίσουμε τις τιμές των ακόλουθων παραμέτρων χρονισμού:

- Baud rate prescaler
- Prop_Seg
- Phase_Seg1
- Phase_Seg2
- SJW

Ο σωστός χρονισμός απαιτεί ότι:

$$Prop_Seg + Phase_Se1 \geq Phase_Seg2$$

$$Phase_Seg2 \geq SJW$$

Το ακόλουθο παράδειγμα απεικονίζει τον υπολογισμό αυτών των παραμέτρων χρονισμού.

Παράδειγμα 7.2

Αν υποθέσουμε ότι ο μικροελεγκτής μας χρονίζεται στα 20MHz και το απαιτούμενο CAN bit rate είναι 125KHz, υπολογίστε τις παραμέτρους χρονισμού.

Λύση 7.2

Με 20 MHz ρολόι, η περίοδος του ρολογιού είναι 50ns. Επιλέγοντας μία τιμή για τον baud rate prescaler ίση με 4.

Από την συνάρτηση (7.4)

$$T_Q = 2 \times (BRP + 1) \times T_{Osc}$$

δίνει $T_Q = 500ns$

Για να αποκτήσουμε ένα ονομαστικό bit rate των 125KHz, ο ονομαστικός bit time πρέπει να είναι:

$$T_{BIT} = 1/0.125 \text{ MHz} = 8 \mu s \text{ ή } 16T_Q$$

Το Sync_Segment είναι $1T_Q$. Επιλέγοντας $2T_Q$ για το Prop_Seg, και $7T_Q$ για Phase_Seg1 αφήνει $6T_Q$ για Phase_Seg2 και τοποθετεί το σημείο δειγματοληψίας(sample point) στα $10T_Q$ στο τέλος του Phase_Seg1.

Από τους κανόνες που περιγράφονται παραπάνω, το SJW μπορεί να είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο. Ωστόσο, ένα μεγάλο SJW είναι απαραίτητο μόνο όταν η γεννήτρια ρολογιού των διαφορετικών κόμβων δεν είναι σταθερή ή ακριβής.

Τυπικά, ένα SJW από 1 είναι αρκετό. Εν ολίγοις, οι απαιτούμενες παράμετροι χρονισμού είναι:

- Baud rate prescaler (BRP) = 4
- Sync_Seg = 1
- Prop_Seg = 2
- Phase_Seg1 = 7
- Phase_Seg2 = 6
- SJW = 1

Το σημείο δειγματοληψίας είναι στα $10T_Q$ που αντιστοιχεί στο 62,5% του συνολικού bit time. Υπάρχουν διάφορα εργαλεία διαθέσιμα δωρεάν στο διαδίκτυο για τον υπολογισμό των παραμέτρων χρονισμού του CAN. Ένα τέτοιο εργαλείο είναι το CAN Baud Rate Calculator, από την εταιρία Artic Consultants Ltd (www.articconsultants.co.uk).

Ακολουθεί ένα παράδειγμα χρήσης του συγκεκριμένου εργαλείου.

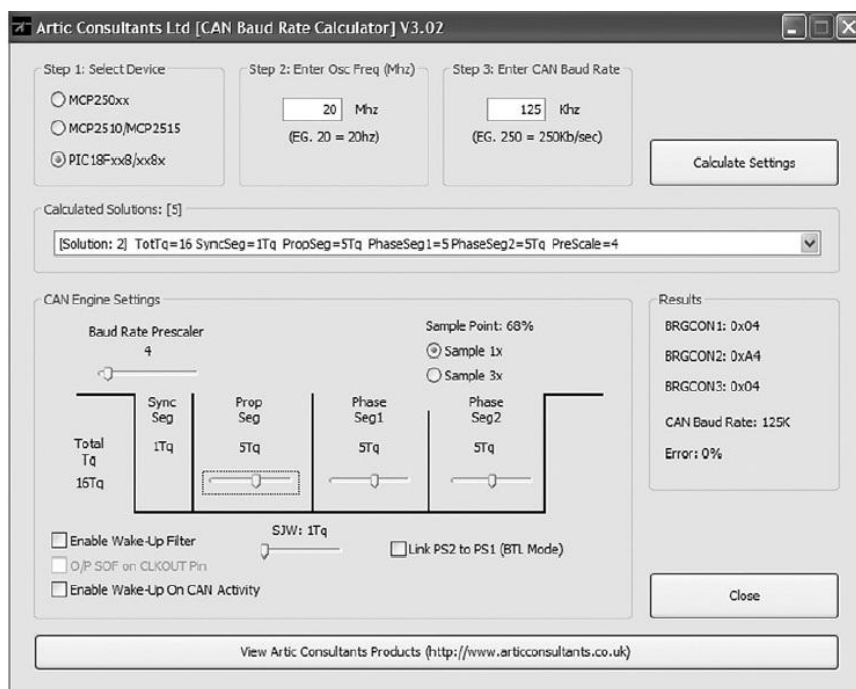
Παράδειγμα 7.3

Αν υποθέσουμε ότι το ρολόι χρονισμού του μικροελεγκτή μας είναι 20MHz και το απαιτούμενο Can bit rate 125KHz, υπολογίστε τις παραμέτρους χρονισμού χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα CAN Baud Rate Calculator.

Λύση 7.3

Το Σχήμα 7.14 δείχνει την έξοδο που μας δίνει το πρόγραμμα CAN Baud Rate Calculator. Ο τύπος του μικροελεγκτή επιλέχθηκε PIC18Fxxx8, η συχνότητα ταλαντωτή 20MHz, και το baud rate του διαύλου CAN σε 125KHz. Κάνοντας κλικ στο κουμπί Calculate Settings υπολογίζει και εμφανίζει τις συνιστώμενες παραμέτρους χρονισμού. Γενικά υπάρχουν περισσότερες από μία σωστές λύσεις, και δίδονται διαφορετικές λύσεις στο drop-down μενού Calculated Solutions. Διαλέγοντας τη λύση 2 από το μενού, οι συνιστώμενες από το πρόγραμμα τιμές των παραμέτρων χρονισμού είναι:

- Baud rate prescaler (BRP) = 4
- Sync_Seg = 1
- Prop_Seg = 5
- Phase_Seg1 = 5
- Phase_Seg2 = 5
- SJW = 1
- Sample point = 68%
- Error = 0%



Σχήμα 7.14
 Η Έξοδος του Προγράμματος CAN Baud Rate Calculator

7.13 mikroC PRO for PIC

Η mikroC PRO for PIC είναι ένας πλήρης ANSI C μεταγλωττιστής για μικροελεγκτές PIC της MICROCHIP. Είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE), με ισχυρό compiler, με προχωρημένες λειτουργίες βελτιστοποίησης, πολλές βιβλιοθήκες τόσο hardware όσο και software, και άλλα επιπρόσθετα εργαλεία όπως EEPROM editor κ.α.

7.13.1 mikroC, Συναρτήσεις CAN

Η γλώσσα mikroC PRO παρέχει δύο βιβλιοθήκες για CAN bus εφαρμογές: βιβλιοθήκη για PIC μικροελεγκτές με ενσωματωμένη μονάδα CAN και βιβλιοθήκη που βασίζεται στη χρήση διαύλου SPI για μικροελεγκτές PIC που δεν έχουν ενσωματωμένη μονάδα CAN.

Ο μικροελεγκτής που επιλέξαμε και χρησιμοποιήσαμε έχει ενσωματωμένη μονάδα CAN γι αυτό χρησιμοποιήσαμε τις συναρτήσεις της αντίστοιχης βιβλιοθήκης. Παρόμοιες συναρτήσεις είναι διαθέσιμες για τους μικροελεγκτές PIC χωρίς ενσωματωμένη μονάδα CAN.

Οι συναρτήσεις CAN της mikroC PRO υποστηρίζονται μόνο από μικροελεγκτές PIC18XXX8 με MCP2551 ή με παρόμοιο πομποδέκτη CAN. Υποστηρίζεται τόσο το πρότυπο(11 bit αναγνωριστικό) όσο και το εκτεταμένο(29 bit αναγνωριστικό) πλαίσιο δεδομένων.

Παρέχονται οι ακόλουθες mikroC PRO συναρτήσεις:

- CANSetOperationMode
- CANGetOperationMode
- CANInitialize
- CANSetBaudRate
- CANSetMask
- CANSetFilter
- CANRead
- CANWrite

7.13.2 CANSetOperationMode

Η συνάρτηση CANSetOperationMode καθορίζει τον τρόπο λειτουργίας του CAN. Το πρωτότυπο της συνάρτησης είναι:

```
Void CANSetOperationMode (char mode, char wait_flag)
```

Η παράμετρος `wait_flag` είναι είτε 0 ή 0xFF. Αν έχει οριστεί σε 0xFF, η συνάρτηση μπλοκάρει και δεν επιστρέφει μέχρι να τεθεί η αιτηθείσα λειτουργία. Αν έχει οριστεί σε 0, η συνάρτηση επιστρέφει ως μία non-blocking κλήση.

Η λειτουργία μπορεί να είναι ένα μία από τις ακόλουθες:

- `CAN_MODE_NORMAL` “Κανονική κατάσταση λειτουργίας”
- `CAN_MODE_SLEEP` “Κατάσταση αναστολής λειτουργίας”
- `CAN_MODE_LOOP` “Λειτουργίας Loop-back”
- `CAN_MODE_LISTEN` “Λειτουργίας Ακρόαση-μόνο”
- `CAN_MODE_CONFIG` “Λειτουργίας διαμόρφωσης”

7.13.3 **CANGetOperationMode**

Η συνάρτηση `CANGetOperationMode` επιστρέφει την τρέχουσα κατάσταση λειτουργίας CAN. Το πρωτότυπο της συνάρτησης είναι:

```
char CANGetOperationMode (void)
```

7.13.4 **CANInitialize**

Η συνάρτηση `CANInitialize` αρχικοποιεί την μονάδα CAN. Διαγράφονται όλες οι μάσκες (θέτονται 0) για να επιτρέψει όλα τα μηνύματα. Με την εκτέλεση αυτής της συνάρτησης η μονάδα Can μπαίνει σε normal mode. Το πρωτότυπο της συνάρτησης είναι:

```
void CANInitialize (char SJW, char BRP, char PHSEG1, char PHSEG2,  
  
char PROPEG, char CAN_CONFIG_FLAGS)
```

όπου,

SJW είναι το synchronization jump width

BRP είναι ο baud rate prescaler

PHSEG1 είναι η παράμετρος χρονισμού Phase_Seg1

PHSEG2 είναι η παράμετρος χρονισμού Phase_Seg2

PROPSEG είναι η Prop_Seg

CAN_CONFIG_FLAGS μπορεί να είναι μία από τις ακόλουθες σημαίες

διαμόρφωσης:

- CAN_CONFIG_DEFAULT “Προεπιλεγμένες σημαίες”
- CAN_CONFIG_PHSEG2_PRG_ON
- CAN_CONFIG_PHSEG2_PRG_OFF
- CAN_CONFIG_LINE_FILTER_ON “Χρήση του φίλτρου γραμμής του διαύλου CAN για αφύπνιση”
- CAN_CONFIG_FILTER_OFF “Μη χρήση του φίλτρου γραμμής του διαύλου CAN”
- CAN_CONFIG_SAMPLE_ONCE
- CAN_CONFIG_SAMPLE_THRICE
- CAN_CONFIG_STD_MSG “Αποδοχή μηνυμάτων μόνο με πρότυπο αναγνωριστικό”
- CAN_CONFIG_XTD_MSG “Αποδοχή μηνυμάτων μόνο με εκτεταμένο αναγνωριστικό”
- CAN_CONFIG_DBL_BUFFER_ON “Χρήση διπλού buffering για λήψη δεδομένων”
- CAN_CONFIG_DBL_BUFFER_OFF “Μη χρήση διπλού buffering”
- CAN_CONFIG_ALL_MSG “Αποδοχή όλων των μηνυμάτων συμπεριλαμβανομένων των μη έγκυρων”
- CAN_CONFIG_VALID_XTD_MSG “Αποδοχή μόνο έγκυρων μηνυμάτων με εκτεταμένο αναγνωριστικό”
- CAN_CONFIG_VALID_STD_MSG “Αποδοχή μόνο έγκυρων μηνυμάτων με πρότυπο αναγνωριστικό”
- CAN_CONFIG_ALL_VALID_MSG “Αποδοχή όλων των έγκυρων μηνυμάτων”

Αυτές οι τιμές διαμόρφωσης μπορούν να προστεθούν λογικά (AND) ώστε να αποτελέσουν πολύπλοκες ρυθμίσεις.

7.13.5 CANSetBaudRate

Η συνάρτηση CANSetBaudRate χρησιμοποιείται για να θέσουμε το Baudrate του δίαυλου CAN. Το πρωτότυπο της συνάρτησης είναι:

```
CANSetBaudRate void (char SJW, char BRP, char PHSEG1, char PHSEG2,  
char PROPSEG, char CAN_CONFIG_FLAGS)
```

Οι παράμετροι της συνάρτησης αυτής είναι όπως και στη συνάρτηση CANInitialize.

7.13.6 CANSetMask

Η συνάρτηση CANSetMask θέτει τη μάσκα για το φιλτράρισμα μηνυμάτων. Το πρωτότυπο της συνάρτησης είναι:

```
CANSetMask void (char CAN_MASK, long value, char CAN_CONFIG_FLAGS)
```

CAN_MASK μπορεί να είναι ένα από τα ακόλουθα:

- CAN_MASK_B1 “Μάσκα για τον buffer λήψης 1”
- CAN_MASK_B2 “Μάσκα για τον buffer λήψης 2”

Value είναι η τιμή του καταχωρητή της μάσκας

CAN_CONFIG_FLAGS μπορεί να είναι:

- CAN_CONFIG_XTD “Εκτεταμένο μήνυμα”
- CAN_CONFIG_STD “Πρότυπο μήνυμα”

7.13.7 CANSetFilter

Η συνάρτηση CANSetFilter θέτει τιμές στα φίλτρα. Το πρωτότυπο της συνάρτησης είναι:

```
CANSetFilter void (char CAN_FILTER, long value, char CAN_CONFIG_FLAGS)
```

CAN_FILTER μπορεί να είναι ένα από τα ακόλουθα:

- CAN_FILTER_B1_F1 “Φίλτρο 1 για buffer 1”
- CAN_FILTER_B1_F2 “Φίλτρο 2 για buffer 1”
- CAN_FILTER_B2_F1 “Φίλτρο 1 για buffer 2”
- CAN_FILTER_B2_F2 “Φίλτρο 2 για buffer 2”
- CAN_FILTER_B2_F3 “Φίλτρο 3 για buffer 2”
- CAN_FILTER_B2_F4 “Φίλτρο 4 για buffer 2”

CAN_CONFIG_FLAGS μπορεί να είναι:

- CAN_CONFIG_XTD “Εκτεταμένο μήνυμα”
- CAN_CONFIG_STD “Πρότυπο μήνυμα”

7.13.8 CANRead

Η συνάρτηση CANRead χρησιμοποιείται για να διαβάσει τα μηνύματα από το δίαυλο CAN. Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμο μήνυμα επιστρέφει ‘0’. Το πρωτότυπο της συνάρτησης είναι:

```
char CANRead (long *id, char *data, char *datalen, char *CAN_RX_MSG_FLAGS)
```

Id είναι το αναγνωριστικό του μηνύματος CAN. Μόνο 11 ή 29 δυαδικά ψηφία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τον τύπος μηνύματος (στάνταρ ή εκτεταμένου). data είναι ένας πίνακας bytes, έως 8, όπου αποθηκεύονται τα λαμβανόμενα δεδομένα. datalen είναι το μήκος των λαμβανόμενων δεδομένων (1 έως 8).

CAN_RX_MSG_FLAGS μπορεί να είναι ένα από τα ακόλουθα:

- CAN_RX_FILTER_1 “Το φίλτρο 1 του buffer λήψης αποδέχτηκε αυτό το μήνυμα”
- CAN_RX_FILTER_2 “Το φίλτρο 2 του buffer λήψης αποδέχτηκε αυτό το μήνυμα”

- CAN_RX_FILTER_3 “Το φίλτρο 3 του buffer λήψης αποδέχτηκε αυτό το μήνυμα”
- CAN_RX_FILTER_4 “Το φίλτρο 4 του buffer λήψης αποδέχτηκε αυτό το μήνυμα”
- CAN_RX_FILTER_5 “Το φίλτρο 5 του buffer λήψης αποδέχτηκε αυτό το μήνυμα”
- CAN_RX_FILTER_6 “Το φίλτρο 6 του buffer λήψης αποδέχτηκε αυτό το μήνυμα”
- CAN_RX_OVERFLOW “Υπερχείλιση του buffer λήψης”
- CAN_RX_INVALID_MSG “Μη έγκυρο μήνυμα ελήφθη”
- CAN_RX_XTD_FRAME “Λήφθηκε μήνυμα με εκτεταμένο αναγνωριστικό”
- CAN_RX_RTR_FRAME “Λήφθηκε μήνυμα πλαισίου RTR”
- CAN_RX_DBL_BUFFERED “Το μήνυμα πέρασε από διπλό ρυθμιστικό (double buffered)”

7.13.9 CANWrite

Η συνάρτηση CANWrite χρησιμοποιείται για να στείλουμε ένα μήνυμα στο διάλο CAN. Ένα μηδενικό επιστρέφεται εάν το μήνυμα δεν μπορεί να μπει στην ουρά(buffer πλήρης). Το πρωτότυπο της συνάρτησης είναι:

```
char CANWrite (long id, char *data, char datalen, char CAN_TX_MSG_FLAGS)
```

Id είναι το αναγνωριστικό του μηνύματος CAN. Μόνο 11 ή 29 δυαδικά ψηφία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τον τύπο μηνύματος (στάνταρ ή εκτεταμένης). Τα Data είναι ένας πίνακας έως 8 bytes όπου αποθηκεύονται τα δεδομένα που πρέπει να αποσταλούν. datalen είναι το μήκος των δεδομένων (1 έως 8).

Το CAN_TX_MSG_FLAGS μπορεί να είναι ένα από τα ακόλουθα:

- CAN_TX_PRIORITY_0 “Προτεραιότητα εκπομπής 0”
- CAN_TX_PRIORITY_1 “Προτεραιότητα εκπομπής 1”
- CAN_TX_PRIORITY_2 “Προτεραιότητα εκπομπής 2”
- CAN_TX_PRIORITY_3 “Προτεραιότητα εκπομπής 3”

- CAN_TX_STD_FRAME “Μήνυμα πρότυπου αναγνωριστικού”
- CAN_TX_XTD_FRAME “Μήνυμα με εκτεταμένο αναγνωριστικό”
- CAN_TX_NO_RTR_FRAME “Όχι μήνυμα RTR”
- CAN_TX_RTR_FRAME RTR “Μήνυμα”

7.14 CAN Bus Προγραμματισμός

Για να λειτουργήσει ο μικροελεγκτής PIC18F258 όσο αφορά τον διάλογο CAN, ακολουθούμε τα παρακάτω βασικά βήματα:

- a) Διαμόρφωση των εισόδων/εξόδων του CAN (RB2 και RB3)
- b) Αρχικοποίηση της μονάδας CAN (CANInitialize)
- c) Ρύθμιση της μονάδας CAN για λειτουργία διαμόρφωσης
- d) Ρύθμιση των масκών (CANSetMask)
- e) Ρύθμιση των φίλτρων (CANSetFilter)
- f) Ρύθμιση της μονάδας CAN στην κανονική λειτουργία (CANSetOperationMode)
- g) Εγγραφή/ανάγνωση των δεδομένων στον και από τον διάλογο (CANWrite/CANRead)

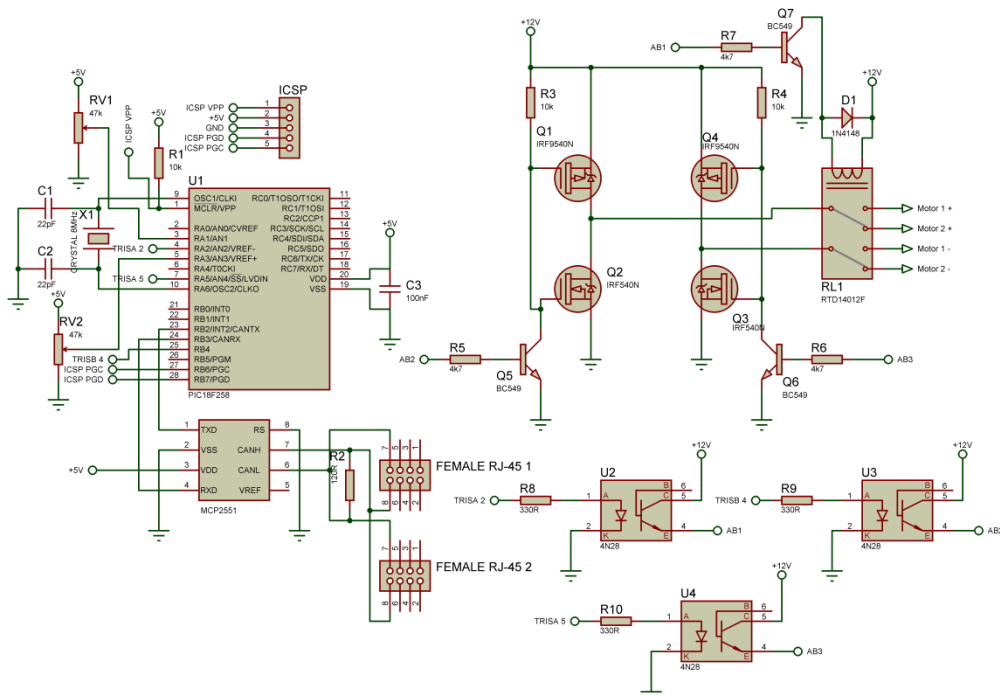
8. Κεφάλαιο 8^ο : Πειραματική Διαδικασία Ελέγχου και Παρακολούθησης Φ/Β Πάρκων

8.1 Μονάδα Ηλιακού Ιχνηλάτη (Solar Tracker)

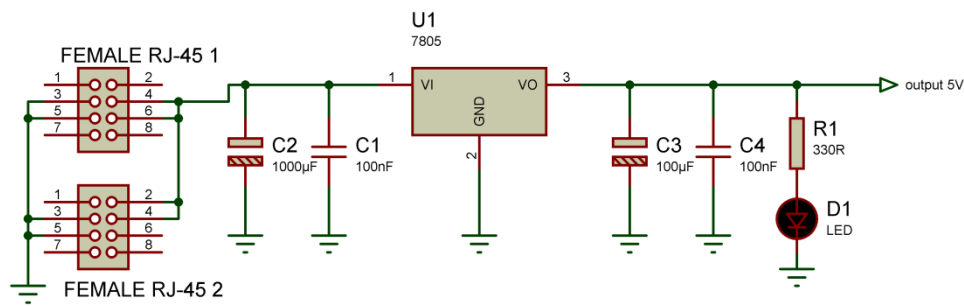
Λειτουργία

Η μονάδα κάθε ηλιακού ιχνηλάτη είναι υπεύθυνη να ελέγχει τις κινήσεις του, να γνωρίζει κάθε στιγμή μέσω των κατάλληλων αισθητήρων τον προσανατολισμό των πάνελ κατά αζιμούθιο και καθ' ύψος και να επικοινωνεί με το δίκτυο.

Το Hardware της μονάδας του ηλιακού ιχνηλάτη αποτελείται από την γέφυρα Η, η οποία παίρνοντας τις κατάλληλες εντολές από τον μικροελεγκτή ελέγχει τη ταχύτητα και τη διεύθυνση κίνησης των μοτέρ του. Ένα ρελέ επιλογής μοτέρ, δυο ποτενσιόμετρα, ένα στον οριζόντιο και ένα στον κάθετο άξονα τα οποία χρησιμοποιούνται ως αισθητήρια της θέσης των πάνελ. Μια διάταξη τροφοδοτικού, το οποίο αναλαμβάνει την συνεχή τάση που παίρνει μέσω του καλωδίου δικτύου να την σταθεροποιήσει στα 5 βολτ και να τη εξομαλύνει, ώστε να τροφοδοτηθούν τα ψηφιακά κυκλώματα της μονάδας. Οι οπτοζεύκτες, οι οποίοι απομονώνουν τα ψηφιακά κυκλώματα από τα κυκλώματα ισχύος, ένα can bus transceiver το οποίο παρέχει την δυνατότητα διαφορικής αποστολής και λήψης δεδομένων στον ελεγκτή can του μικροελεγκτή και τέλος τον μικροελεγκτή PIC18F258 της Microchip ο οποίος ελέγχει όλα τα παραπάνω.



Σχήμα 8.1
Σχηματικό Διάγραμμα Ηλιακού Ιχνηλάτη



Σχήμα 8.2
Σχηματικό Διάγραμμα Τροφοδοσίας Ηλιακού Ιχνηλάτη

Στον μικροελεγκτή της μονάδας κάθε ηλιακού ιχνηλάτη δόθηκε ένας αναγνωριστικός αριθμός (CAN id) για κάθε ηλιακό ιχνηλάτη, ώστε να μπορεί η κεντρική μονάδα να στέλνει εντολές, να λαμβάνει απαντήσεις και γενικά να ανταλλάσει δεδομένα εάν είναι επιθυμητό με κάθε ηλιακό ιχνηλάτη ξεχωριστά. Το CAN id του κάθε ηλιακού ιχνηλάτη είναι μοναδικό και μπορεί να είναι 101 (HEX 0065) έως 150 (HEX 0096) ενώ το εύρος μπορεί να επεκταθεί έως 200 (HEX 00C9).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν δύο ποτενσιόμετρα ως αισθητήρια θέσης των πάνελ. Παρόλο που η χρήση γυροσκοπίου, πυξίδας και επιταχυνσιόμετρου ως αισθητήρια τόσο για την θέση όσο και για την ταχύτητα κίνησης των πάνελ, θεωρείται πιο ακριβής και αξιόπιστη, το κόστος ήταν απαγορευτικό. Τοποθετήθηκε ένα ποτενσιόμετρο στον κάθετο άξονα (αισθητήριο για το αζιμούθιο) και ένα στον οριζόντιο άξονα (αισθητήριο κλίσης). Είναι γραμμικά και η συνδεσμολογία τους είναι ως διαιρέτης τάσης όπου την τάση τους την διαβάζουν δύο αναλογικές είσοδοι του μικροελεγκτή. Η τάση που «διαιρούν» τα ποτενσιόμετρα είναι 5Volts, η οποία είναι και η τάση αναφοράς του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC) του μικροελεγκτή. Ο ADC του μικροελεγκτή είναι 10bit (δηλαδή 1024 τιμές). Διαιρώντας τις τιμές αυτές δια του τέσσερα, το εύρος μειώθηκε σε 8bit (δηλαδή 256 τιμές). Οι τιμές αυτές μεταφράστηκαν σε μοίρες μέσω δύο πινάκων βαθμονόμησης (έναν για το αζιμούθιο και έναν για την κλίση) 256 στοιχείων ο καθένας.

Η διαδικασία της βαθμονόμησης των ποτενσιόμετρων σε μοίρες έγινε ως εξής :

Αφού ορίσαμε μια πλευρά της βάσης του ηλιακού ιχνηλάτη ως Νότο, κινήσαμε το πάνελ ώστε να είναι ακριβώς παράλληλο με εκείνη την πλευρά. Ρυθμίσαμε το ποτενσιόμετρο του κάθετου άξονα να είναι κατά το δυνατό στη μέση της διαδρομής του σε εκείνο το σημείο. Ο Νότος για το σύστημα σημαίνει 180° αζιμούθιο (0° ο Βορράς, 90° η Ανατολή, 180° ο Νότος και 270° η Δύση). Εφαρμόσαμε τάση 5Volts στα άκρα του ποτενσιόμετρου και μετρήσαμε την τάση που μας έδωσε ο διαιρέτης. Αν η τάση που μετρήσαμε είναι για παράδειγμα 2,56Volts τότε η τιμή που θα μας έδινε ο ADC θα ήταν:

$$5 / 1024 = 0.0048$$

$$2.56 / 0.0048 = 533$$

$$533 / 4 = 133$$

Άρα στο στοιχείο 133 του πίνακα βαθμονόμησης αζιμούθιου βάζουμε τις 180°.

Ιδανικά θα έπρεπε να πάρουμε ξεχωριστά τιμές για όλο το εύρος του ποτενσιόμετρου αλλά λόγω της γραμμικότητας του, περιοριστήκαμε σε συγκεκριμένα σημεία ως σημεία δειγματοληψίας (90°, 105°, 120°, 150°, 170°, 190°, 215°, 230°, 270°) ενώ στη συνέχεια επαληθεύσαμε όλη τη διαδρομή.

Αντίστοιχη διαδικασία γίνεται και για την βαθμονόμηση του ποτενσιόμετρου της κλίσης , με την διαφορά ότι ρυθμίσαμε τη μέση του ποτενσιόμετρου να είναι στις 45° κλίση.

Για την βαθμονόμηση του κάθε ηλιακού ιχνηλάτη οριζοντιώνουμε πρώτα τη βάση με αλφάδι, ενώ οριζοντίωση πραγματοποιούμε και κατά την εγκατάσταση του, όπου τότε γίνεται και η ευθυγράμμιση του με τον Νότο. Η ευθυγράμμιση με τον Νότο μας ενδιαφέρει για να μπορούμε να ελέγχουμε το αζιμούθιο των πάνελ, ενώ η οριζοντίωση για τον σωστό έλεγχο της κλίσης.

Μετά τις απαραίτητες αρχικοποιήσεις εισόδων – εξόδων, timer, ADC, CAN bus, ο μικροελεγκτής περιμένει να λάβει μήνυμα μέσω Can bus. Όταν λάβει κάποιο CAN μήνυμα, φιλτράρεται το ID του εισερχόμενου μηνύματος ώστε αν το ID δεν συμφωνεί με αυτό του ηλιακού ιχνηλάτη, το μήνυμα απορρίπτεται. Αν συμφωνούν τα ID, τότε προχωράει στο επόμενο βήμα που είναι η ανάγνωση του μηνύματος. Αν το μήνυμα είναι η λέξη “SUN” σημαίνει ότι η κεντρική μονάδα θέλει να στείλει τις γωνίες όπου πρέπει να στραφεί το πάνελ. Αν δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα ο

μικροελεγκτής του ηλιακού ιχνηλάτη αποστέλλει μέσω CAN bus τη λέξη “READY” με ID το αναγνωριστικό της κεντρικής μονάδας. Όταν η κεντρική μονάδα λάβει το μήνυμα θα στείλει ένα νέο μήνυμα στον ηλιακό ιχνηλάτη το οποίο έχει την μορφή “AZ__ EL__” όπου στα κενά μπαίνουν οι μοίρες του αζιμούθιου και της κλίσης αντίστοιχα. Όταν ο ηλιακός ιχνηλάτης λάβει το μήνυμα απαντάει στην κεντρική μονάδα με τη λέξη “OK”.

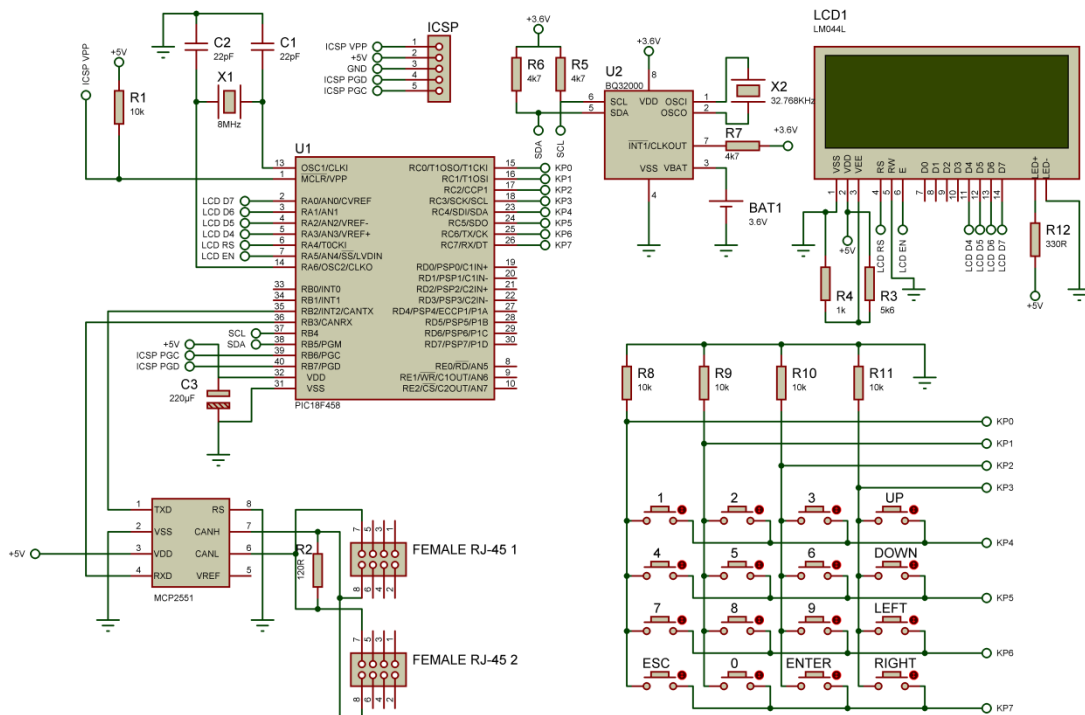
Στη συνέχεια πρώτα για το αζιμούθιο και έπειτα για την κλίση γίνεται έλεγχος της θέσεις του πάνελ με τη βοήθεια των αισθητήρων, την στιγμή εκείνη αν η θέση που βρίσκεται το πάνελ έχει διαφορά πάνω $\pm 1^\circ$ από τις γωνίες που έλαβε από την κεντρική μονάδα, τότε κινείται για να διορθώσει την θέση του.

Η κίνηση των μοτέρ γίνεται μέσω μιας γέφυρας H η οποία ελέγχεται από δύο software PWM 8bit που έχουμε δημιουργήσει στον μικροελεγκτή με τον Timer 2 και τη χρήση interrupts. Για τα PWM χρησιμοποιούμε τα pin RB4 και RB5 αντίστοιχα, ενώ η επιλογή του μοτέρ ελέγχεται από ένα ρελέ το οποίο παίρνει εντολή από το pin RA2. Η ταχύτητα των μοτέρ ρυθμίζεται από το duty cycle των PWM και ρυθμίζεται αυτόματα ώστε να κινείται το πάνελ αργά και σταθερά. Η ταχύτητα της κίνησης παρακολουθείται από τον ρυθμό που μεταβάλλεται η τιμή του κάθε αισθητηρίου θέσης. Αν κατά την κίνηση, το πάνελ ξεφύγει από την επιθυμητή τιμή του, τότε γίνεται εκ νέου διόρθωση μέχρι το πάνελ να προσανατολιστεί ακριβώς εκεί που του έχει δώσει εντολή η κεντρική μονάδα. Όταν το πάνελ ολοκληρώσει την κίνηση του αποστέλλεται το μήνυμα “SET” στην κεντρική μονάδα, το οποίο επιβεβαιώνει ότι το πάνελ βρίσκεται στην θέση του ενώ δεν υπήρξε κάποιο πρόβλημα.

8.2 Κεντρική μονάδα (Master)

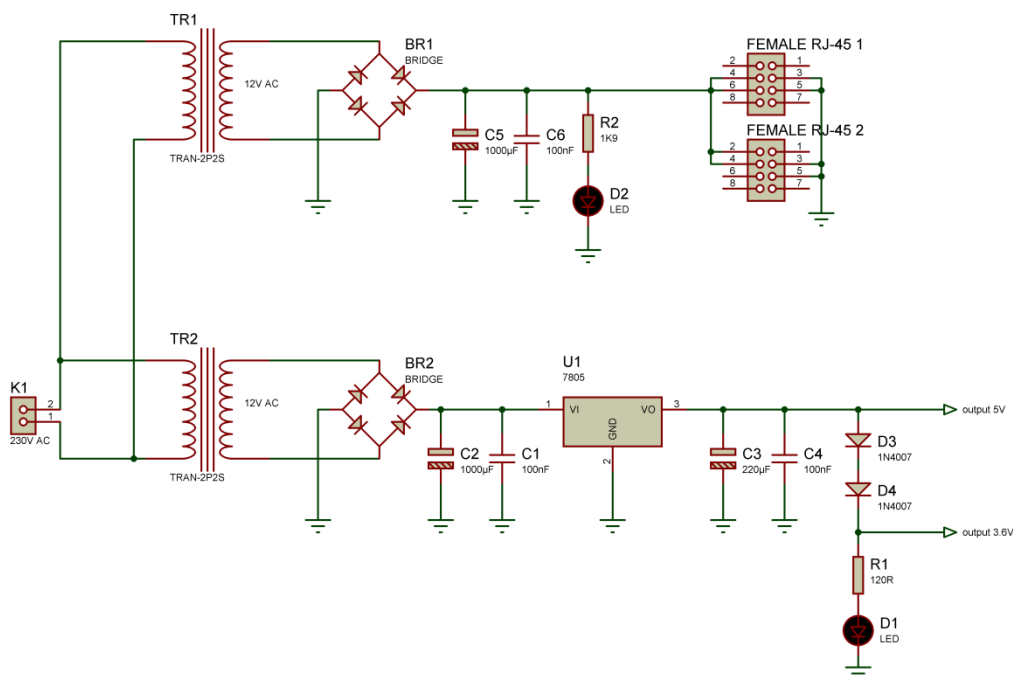
Η κεντρική μονάδα του συστήματος είναι υπεύθυνη να επικοινωνεί με τις μονάδες των ηλιακών ιχνηλατών μέσω του δικτύου, να δίνει διάφορες εντολές όπως πχ προσανατολισμού σε συγκεκριμένες γωνίες, να υπολογίζει τη θέση του ήλιου ενώ γνωρίζει τις συντεταγμένες του μέρους που είναι εγκατεστημένο το σύστημα, την ζώνη της ώρας αλλά και την ακριβή ώρα κάθε στιγμή. Επίσης να αναγνωρίζει σφάλματα επικοινωνίας με τις μονάδες των ηλιακών ιχνηλατών του συστήματος.

Το Hardware της κεντρικής μονάδας αποτελείται από 2 τροφοδοτικές διατάξεις.(βλέπε παρακάτω για τη χρήση της κάθε μίας), μία οθόνη LCD 4*20(4 γραμμών, 20 χαρακτήρων η κάθε γραμμή) με ελεγκτή συμβατό με τον γνωστό HD44780 της Hitachi, ένα πληκτρολόγιο Matrix 4*4 δηλαδή 16 πλήκτρων, ένα Real Time Clock(το bq32000 της Texas Instruments) το οποίο είναι υπεύθυνο για την ακριβή ημερομηνία και ώρα του συστήματος, επικοινωνεί σειριακά με τον μικροελεγκτή της κεντρικής μονάδας μέσω πρωτοκόλλου I2C και σε περίπτωση πτώσης της τάσης του συστήματος μεταβαίνει αυτόματα στη Back up τροφοδοσία του RTC ώστε να μη χάσει ποτέ την ώρα. Για backup τροφοδοσία του RTC χρησιμοποιούμε μπαταρία 3.3V. Στο hardware της κεντρικής μονάδας προστίθεται ο μικροελεγκτής της Microchip PIC18F458 και ο CAN Bus transceiver MCP2551 της MICROCHIP ο οποίος παρέχει τη δυνατότητα διαφορικής αποστολής και λήψης δεδομένων στον ελεγκτή CAN του μικροελεγκτή. Τέλος στο hardware προστίθενται οι κοινότερες ρεύματος, δικτύου, αλλά και ένας dsub9 για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή πάνω στο κύκλωμα(ICSP, In Circuit Serial Programming) αλλά και για τη μελλοντική σύνδεση της κεντρικής μονάδας με ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Σχήμα 8.3
Σχηματικό Διάγραμμα Κεντρικής Μονάδας

Από τις 2 τροφοδοτικές διατάξεις που βρίσκονται στην κεντρική μονάδα η μία αναλαμβάνει να μετασχηματίζει τα 230V AC σε 12 να τα ανορθώνει, να τα εξομαλύνει και στη συνέχεια να τα σταθεροποιεί στα 12V dc και να τροφοδοτεί μέσω των καλωδίων δικτύου ως PoE(Power Over Ethernet) τις μονάδες των ηλιακών ιχνηλατών όπου η τροφοδοτική διάταξη που έχουν τη σταθεροποιούν στα 5V και τροφοδοτούν τα ψηφιακά κυκλώματα τους. Η δεύτερη τροφοδοτική διάταξη μετασχηματίζει τα 230V AC σε 12, τα ανορθώνει, τα εξομαλύνει και τα σταθεροποιεί στα 5V και στα 3.3V DC. Από τα 5V τροφοδοτούνται όλα τα κυκλώματα της κεντρικής μονάδας εκτός από το RTC(Real Time Clock) όπου λειτουργεί με τα 3.3V.



Σχήμα 8.4
Σχηματικό Διάγραμμα Τροφοδοσίας Κεντρικής Μονάδας

Με το που τροφοδοτήσουμε την κεντρική μονάδα με 230V AC, πραγματοποιείται η εκκίνησή της και στην οθόνη εμφανίζεται το μήνυμα υποδοχής (Boot Screen),

Intelligent PV Systems

Solar_Master_1

ενώ γίνονται οι απαραίτητες αρχικοποιήσεις και ρυθμίσεις εντός του μικροελεγκτή για την εκκίνηση της λειτουργίας της κεντρικής μονάδας.

Μετά από ενάμιση δευτερόλεπτο σβήνει το μήνυμα υποδοχής και εμφανίζεται η τρέχουσα ημερομηνία και ώρα.

Πατώντας Enter στο πληκτρολόγιο της κεντρικής μονάδας μεταβαίνουμε στο κεντρικό μενού στις επιλογές:

1. Mode
2. Overview
3. Setup
4. Settings

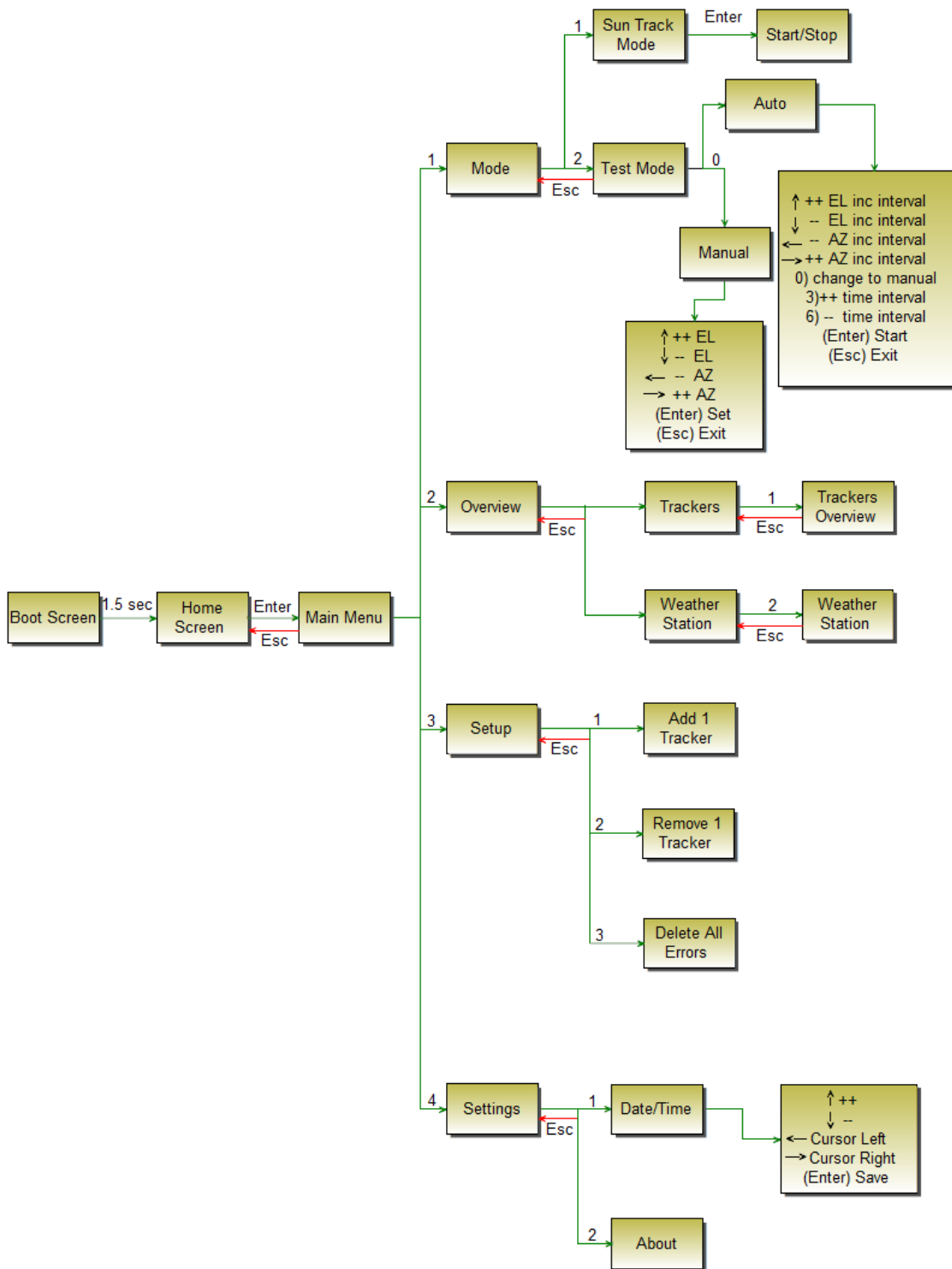
Πατώντας τέσσερα μεταβαίνουμε στο μενού Settings της κεντρικής μονάδας όπου βρίσκουμε τις επιλογές, για την ρύθμιση της ώρας και της ημερομηνίας του συστήματος αλλά και να δούμε πληροφορίες για τους σχεδιαστές του συστήματος και την έκδοση του firmware που τρέχει η κεντρική μονάδα.

Πατώντας τρία μεταβαίνουμε στο μενού Setup όπου έχουμε τις επιλογές να προσθέσουμε ηλιακό ιχνηλάτη στο σύστημα, να αφαιρέσουμε ηλιακό ιχνηλάτη και να διαγράψουμε τα λάθη που έχουν καταγραφεί. Τα στοιχεία αυτά, τόσο ο αριθμός των ηλιακών ιχνηλατών όσο και τα λάθη αποθηκεύονται στην EEPROM του μικροελεγκτή της κεντρικής μονάδας ώστε να μην χάνονται σε ενδεχόμενη πτώση του συστήματος.

Πατώντας δύο μεταβαίνουμε στο μενού Overview όπου βρίσκουμε στοιχεία για τους ηλιακούς ιχνηλάτες που βρίσκονται στο σύστημα ενώ υπάρχει και η επιλογή Whether Station για τον μετεωρολογικό σταθμό που θα προστεθεί στην επόμενη αναβάθμιση του συστήματος.

Πατώντας ένα μεταβαίνουμε στο μενού Mode όπου βρίσκονται οι καταστάσεις λειτουργίας του συστήματος. Οι βασικές καταστάσεις λειτουργίας είναι 2:

1. Sun Track Mode (όπου οι ηλιακοί ιχνηλάτες ακολουθούν την πορεία του ήλιου)
2. Test Mode (όπου μπορούμε να πούμε προς τα πού και πως θα κινηθούν οι ηλιακοί ιχνηλάτες για ενδεχόμενους ελέγχους και δοκιμές).



Στο διάγραμμα φαίνονται τα μενού και τα υπο-μενού της κεντρικής μονάδας καθώς και οι επιλογές και πως μεταβαίνουμε από το ένα στο άλλο

Sun Track Mode

Όταν μπούμε στο μενού Sun Track Mode στην οθόνη εμφανίζονται συντεταγμένες θέσης του ήλιου που βρίσκεται εκείνη τη στιγμή. Κατά τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή έχουμε δηλώσει τις συντεταγμένες της γεωγραφικής θέσης που βρίσκεται εγκατεστημένο το σύστημα, τις οποίες τις βρίσκουμε με τη βοήθεια gps και στην περίπτωση μας είναι:

Γεωγραφικό μήκος -24.01 και Γεωγραφικό πλάτος 35.5118

Καθώς επίσης και την ζώνη της ώρας της πόλης που βρίσκεται το σύστημα, +2 στην περίπτωση μας. Τα στοιχεία αυτά μαζί με την ημερομηνία και την ώρα είναι απαραίτητα ώστε να υπολογιστεί κάθε στιγμή η θέση του ήλιου.

Η θέση του ήλιου υπολογίζεται από την ρουτίνα solar_coordinates (βλέπε: Παράρτημα B1 Κώδικας Κεντρικής Μονάδας (Master)) όπου υπολογίζεται πρώτα ο αύξων αριθμός της συγκεκριμένης ημέρας του έτους, nday (αφού πρώτα ελεγχθεί εάν το έτος είναι δίσεκτο ή όχι με την κλήση της συνάρτησης leap_year2), στη συνέχεια υπολογίζεται η εξίσωση του χρόνου et, η απόκλιση declination του ήλιου, η ωριαία γωνία wmega του ήλιου και τέλος η ανύψωση του ήλιου sun_elevation και το αζιμούθιο sun_azimuth εκείνη τη στιγμή σε μοίρες.

Πατώντας Enter ενεργοποιείται η λειτουργία παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου(Sun Track Mode). Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ίδια για όλους τους ηλιακούς ιχνηλάτες που έχουν καταχωρηθεί, και είναι η εξής:

Πρώτα γίνεται έλεγχος ότι υπάρχει τουλάχιστον ένας ηλιακός ιχνηλάτης στο σύστημα. Στη συνέχεια αποστέλλεται μέσω CAN Bus η λέξη 'SUN' με το id της μονάδας του 1^{ου} ηλιακού ιχνηλάτη (όπως αναφέραμε και παραπάνω τα id των μονάδων των ηλιακών ιχνηλατών ξεκινάνε από το 101, δηλαδή το id του 1^{ου} ηλιακού ιχνηλάτη είναι 101, του 2^{ου} 102 κοκ.). Αυτή η λέξη προειδοποιεί τη μονάδα του ηλιακού ιχνηλάτη ότι η κεντρική μονάδα θέλει να στείλει τις γωνίες (αζιμούθιο και κλίση) όπου πρέπει να στραφεί το πάνελ. Η κεντρική μονάδα περιμένει απάντηση από τον συγκεκριμένο ηλιακό ιχνηλάτη, η οποία απάντηση είναι η λέξη 'READY'. Αφότου λάβει την απάντηση 'READY' η κεντρική μονάδα αποστέλλει την γωνίες κλίσης και αζιμούθιου με τη μορφή AZ(μοίρες)EL(μοίρες) πάλι με το id του συγκεκριμένου ηλιακού ιχνηλάτη. Μετά από αυτό το μήνυμα η κεντρική μονάδα περιμένει απάντηση τη λέξη

‘OK’ και στη συνέχεια το μήνυμα ‘SET’ που σημαίνει ότι ο ηλιακός ιχνηλάτης εκτέλεσε τις απαραίτητες διαδικασίες και το πάνελ έχει στραφεί στις συγκεκριμένες γωνίες. Εάν κατά τη διάρκεια όλης της διαδικασίας η μονάδα του ηλιακού ιχνηλάτη δεν στείλει τις αναμενόμενες απαντήσεις στην κεντρική μονάδα εντός ενός προκαθορισμένου ορίου χρόνου (1λεπτό), τότε στη θέση του αριθμού του id στην EEPROM του μικροελεγκτή της κεντρικής μονάδας αποθηκεύεται ο αριθμός 1 όπου υποδηλώνει το συγκεκριμένο σφάλμα, ενώ η διαδικασία προχωράει σε επόμενο ηλιακό ιχνηλάτη εάν υπάρχει αλλιώς εάν είναι ο τελευταίος τότε η κεντρική μονάδα αναμένει για ένα προκαθορισμένο χρόνο (4 λεπτά) ώστε ξανά-εκτελεστεί η παραπάνω διαδικασία. Κατά τη διάρκεια αυτής της αναμονής ανανεώνονται οι γωνίες θέσης του ήλιου στην οθόνη, ενώ ο χρήστης πατώντας το πλήκτρο Enter μπορεί να σταματήσει τη λειτουργία Sun Track Mode και με το πλήκτρο Esc να μεταβεί ένα βήμα πίσω στο μενού.

Κάθε φορά που ξεκινάει η διαδικασία ανανέωσης των γωνιών θέσης του ήλιου και επικοινωνίας της κεντρικής μονάδας με τους ηλιακούς ιχνηλάτες, γίνεται έλεγχος των γωνιών ώστε να μην ξεφεύγουν οι κινήσεις από κάποια προκαθορισμένα όρια (λιγότερο από 8μοίρες κλίση, και αζιμούθιο εντός 75 και 270 μοιρών), ενώ εάν ο ήλιος βρίσκεται 14 μοίρες κάτω από τον ορίζοντα δίδεται εντολή στους ηλιακούς ιχνηλάτες να στραφούν σε αζιμούθιο 90 μοίρες και κλίση 8 μοίρες.

Test Mode

Η λειτουργία Test είναι χρήσιμη όταν θέλουμε να κάνουμε δοκιμές στο σύστημα ή συγκεκριμένους ελέγχους (πχ για την ακρίβεια των γωνιών κλίσης και αζιμούθιου). Με το πλήκτρο 0 διαλέγουμε αυτόματο (Auto) ή χειροκίνητο (Manual) έλεγχο, ενώ στην οθόνη εμφανίζεται A ή M αντίστοιχα.

Στον αυτόματο έλεγχο με τα βελάκια πάνω και κάτω επιλέγουμε τη σταθερά αύξησης της γωνίας κλίσης, με τα βελάκια αριστερά και δεξιά τη σταθερά αύξησης της γωνίας του αζιμούθιου, με τα πλήκτρα 3 και 6 αυξάνουμε ή ελαττώνουμε τη σταθερά του χρόνου, δηλαδή κάθε πόση ώρα θα πραγματοποιείται νέα κίνηση ύστερα από νέο υπολογισμό των γωνιών βάση των σταθερών αύξησης των γωνιών. Η διαδικασία τις επικοινωνίας με τις μονάδες των ηλιακών ιχνηλατών, οι εντολές, οι απαντήσεις και η καταγραφή λαθών είναι ακριβώς όπως και στη λειτουργία Sun

Track Mode που περιγράψαμε παραπάνω. Κατά την αναμονή όπου μετράει ο χρόνος μέχρι την επόμενη κίνηση, μπορούμε να σταματήσουμε την αυτόματη λειτουργία και να επιστρέψουμε σε προηγούμενο μενού.

Στον χειροκίνητο έλεγχο με τα βελάκια πάνω κάτω επιλέγουμε τη γωνία κλίσης που επιθυμούμε να στραφούν τα πάνελ, ενώ με τα βελάκια αριστερά και δεξιά επιλέγουμε το αζιμούθιο. Αφότου επιλέξουμε τις γωνίες που θέλουμε πατώντας Enter ξεκινάει η διαδικασία της επικοινωνίας της κεντρικής μονάδας με τις μονάδες των ηλιακών ιχνηλατών, για την αποστολή των γωνιών και την κίνησή τους. Η διαδικασία και σε αυτή την περίπτωση είναι ίδια με τον αυτόματο έλεγχο. Κατά την αναμονή όπου δεν εκτελούνται διαδικασίες επικοινωνίας, πατώντας Esc μπορούμε να μεταβούμε σε προηγούμενο μενού.

8.3 Μελλοντική Ανάπτυξη του Συστήματος – Προσθήκες

Αναβαθμίσεις του συστήματος

Τόσο η κεντρική μονάδα όσο και μονάδες των ηλιακών ιχνηλατών επιδέχονται αναβαθμίσεις προγραμματιστικές, στο υλικό τους αλλά και κατασκευαστικές. Δε θα σταθούμε στις κατασκευαστικές διότι το κατασκευαστικό κομμάτι έγινε απλά ως μακέτα ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ώστε να μπορέσουμε να παρουσιάσουμε την λειτουργία και τη φιλοσοφία του συστήματος που σχεδιάσαμε. Παρόλα αυτά στην υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος σε πραγματικό φωτοβολταϊκό πάρκο δεν ενδείκνυται η χρήση ποτενσιόμετρων ως αισθητήρια της θέσης των πάνελ, τόσο από άποψη ακρίβειας όσο και βλαβών που θα προκύπτουν. Αντί λοιπόν για ποτενσιόμετρα η καλύτερη λύση θα ήταν ο συνδυασμός γυροσκοπίων-τυξίδας-επιταχυνσιομέτρων ως αισθητήρια θέσης και κίνησης, τα οποία δε χρησιμοποιήσαμε λόγω κόστους.

Στο προγραμματιστικό κομμάτι θα μπορούσαν να γίνουν αλλαγές στον τρόπο ελέγχου των μοτέρ των ηλιακών ιχνηλατών, και τυχόν βελτιώσεις στην ταχύτητα του συστήματος.

Μελλοντικές προσθήκες

Οι μελλοντικές προθήκες και εξελίξεις του συστήματος είναι πολλές. Αυτές μπορεί να είναι μόνο προγραμματιστικές ή συνδυασμός προγραμματισμού και υλικού.

Οι μόνο προγραμματιστικές πχ μπορεί να είναι οι διαφορετικοί τύποι σφαλμάτων (σφάλματα επικοινωνίας, σφάλματα κίνησης και στη συνέχεια σφάλμα κίνησης κλίσης, σφάλμα κίνησης αξιμούθιου κ.λπ.) ώστε να μπορούμε να προσεγγίσουμε πιο συγκεκριμένα τυχόν σφάλματα και βλάβες στο σύστημα. Επίσης στο μενού Overview της κεντρικής μονάδας μπορούμε να βλέπουμε τα στοιχεία και τα σφάλματα του κάθε ηλιακού ιχνηλάτη ξεχωριστά.

Στο μενού Setup θα μπορούσαν να προστεθούν ρυθμίσεις για τα όρια κίνησης των ηλιακών ιχνηλατών, για τον χρόνο ανανέωσης των θέσεων κλπ.

Μερικές από τις προσθήκες που θα μπορούσαν να γίνουν με συνδυασμό προγραμματισμού και υλικού είναι η προσθήκη μετεωρολογικού σταθμού στο σύστημα, ο οποίος θα συνδέεται μέσω CAN Bus στο δίκτυο και θα επικοινωνεί με την κεντρική μονάδα, και τις ενδείξεις θα μπορούμε είτε να τις βλέπουμε στο μενού Weather Station είτε να φτιαχτούν ρυθμίσεις όπου τα πάνελ σε περιπτώσεις πολύ δυνατών ανέμων κατά τη νύχτα δε θα βρίσκονται κόντρα στον άνεμο ώστε να μην καταπονούνται τα μηχανικά μέρη των ηλιακών ιχνηλατών. Θα μπορούσε στους ηλιακούς ιχνηλάτες να τοποθετηθούν αισθητήρια τάσης και ρεύματος ώστε να συλλέγονται στοιχεία απόδοσης. Θα μπορούσε να γίνει σύνδεση της κεντρικής μονάδας με ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του κοινέκτορα dsub9 με serial/usb μετατροπέα ώστε να μπορούμε να βλέπουμε ότι στοιχεία του συστήματος επιθυμούμε ή να ρυθμίσουμε και να ελέγχουμε το σύστημα μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

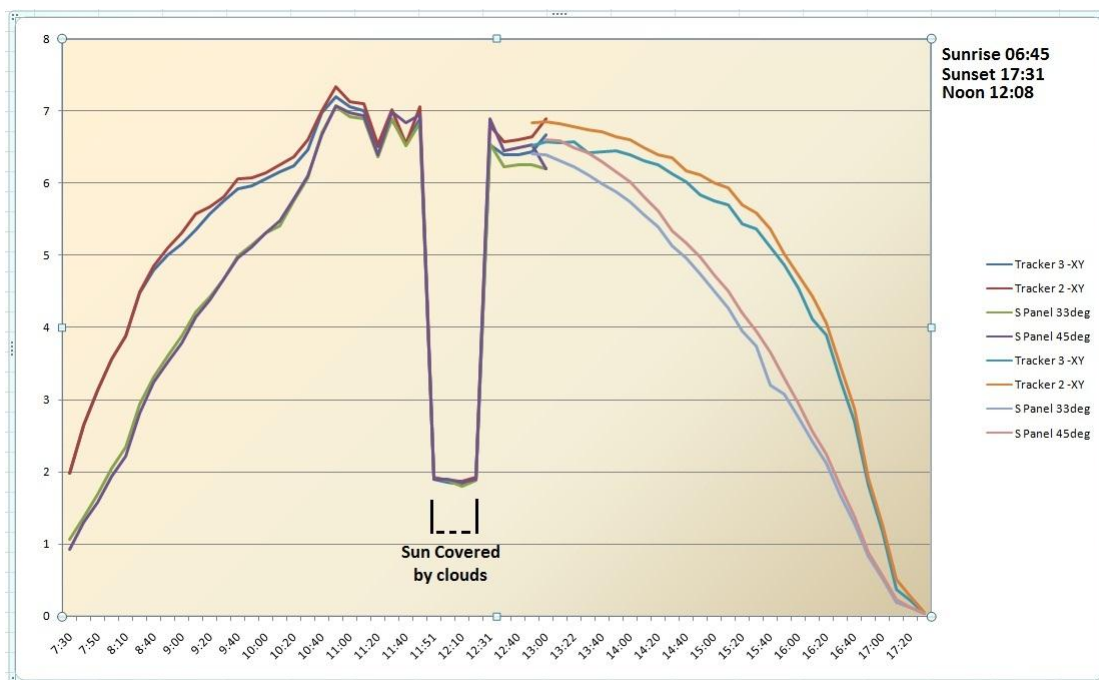
Τέλος θα μπορούσαν να σχεδιαστούν και προστεθούν στο σύστημα διάφορα αποσπώμενα Modules, όπως για παράδειγμα data logger όπου θα αποθηκεύει στοιχεία απόδοσης βλαβών, καιρού κ.λπ. , gsm modem όπου θα δίνει τη δυνατότητα τόσο στο χρήστη να ζητάει πληροφορίες από το σύστημα και να του αποστέλλονται σε μορφή γραπτού μηνύματος, αλλά και το σύστημα να ενημερώνει τον κάτοχο ή τον αρμόδιο τεχνικό για βλάβες και σφάλματα τη στιγμή που προκύπτουν μέσω γραπτού μηνύματος.

Αυτά τα modules θα συνδέονται στο σύστημα μέσω CAN bus και θα μπορούν να αφαιρούνται από το σύστημα χωρίς κανένα λειτουργικό πρόβλημα, απλά αφαιρούνται από το σύστημα οι λειτουργίες που προσφέρει το κάθε module.

8.4 Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο την δημιουργία μιας πρότυπης μεθόδου παρακολούθησης και ελέγχου Φωτοβολταϊκών Πάρκων. Κύριο χαρακτηριστικό της μεθόδου που ακολουθήθηκε είναι η ένταξη ενός πλήθους από Ηλιακούς Ιχνηλάτες σε τοπικό δίκτυο. Για την επίτευξη του χρησιμοποιήθηκε ο δίαυλος επικοινωνίας CAN bus. Ο συγκεκριμένος δίαυλος επικοινωνίας συνδέει τους ηλιακούς ιχνηλάτες με μια κεντρική μονάδα ελέγχου. Για τις ανάγκες της παρουσίασης του project, κατασκευάσαμε 3 μακέτες Ηλιακών Ιχνηλατών και μια κεντρική μονάδα.

Επόμενο βήμα ήταν ο έλεγχος της ορθής λειτουργίας της κεντρικής μονάδας όσον αφορά την παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου και τον έλεγχο του δικτύου. Βάση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που πήραμε, παρατηρήσαμε ότι τόσο η κεντρική μονάδα όσο και ο κάθε ηλιακός ιχνηλάτης ξεχωριστά απέδωσαν στο μέγιστο. Η διαφορά των κινούμενων πάνελ σε σχέση με τα σταθερά απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Μια Χαρακτηριστική Ημέρα Μετρήσεων

Τέλος, η ιδέα αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε πραγματικό φωτοβολταϊκό πάρκο, εξοικονομώντας σημαντικούς οικονομικούς πόρους που αφορούν την παρακολούθηση και τον έλεγχο του. Διατηρώντας ταυτόχρονα την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του.

8.5 Κόστος Κατασκευής

Πίνακας Υλικών			
Υλικά	Αριθμός Τεμαχίων	Κόστος/Τεμάχιο (€)	Κόστος (€)
Αντίσταση	50	0.01	0.50
Ποτενσιόμετρο	6	2.00	12.00
Πυκνωτής	30	0.20	6.00
Δίοδος	5	0.10	0.50
Led	8	0.20	1.60
Κρύσταλλος	5	0.40	2.00
BC549	9	0.15	1.30
MCP2551	4	2.30	9.20
B Q32000	1	3.00	3.00
7805	4	0.50	2.00
PIC18F458	1	7.50	7.50
PIC18F258	3	7.00	21.00
IRF9540	6	2.00	12.00
IRF540N	6	2.00	12.00
4N28	9	0.40	2.70
Ρελέ	3	2.00	6.00
Βάση Ρελέ	3	0.50	1.50
Βάση IC	20	0.10	2.00
Κονέκτορας	40	0.80	32.00
Αρσενική Ακιδοσειρά	2	1.00	2.00
Διάτρητη Πλακέτα	3	7.00	21.00
LCD 4 X 20	1	16.00	16.00
Keyboard 4 X 4	1	15.00	15.00
Γέφυρα Ανόρθωσης	2	0.50	1.00
Κουτί Master	1	40.00	40.00
Κουτί Tracker	3	7.00	21.00
Μετασχηματιστής	2	5.00	10.00
Πάνελ	4	10.00	40.00
Μοτέρ	6	15.00	90.00
Γρανάζια	6	4.00	24.00
Λοιπά			55.00
Σύνολο			469.80

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Ι. Φραγκιαδάκης Ε., (2007), “Φωτοβολταϊκά συστήματα”, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
- Μ. Κάπος Μ., (2009), “Φωτοβολταϊκά, αιολικά υδροηλεκτρικά Ήπιες και ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας”, Εκδόσεις Κάπος Μιτ. Μ., Αθήνα
- Β. Μαλαμής, (1999), “Αυτόνομες εφαρμογές ηλιακής ενέργειας μικρού & μεσαίου μεγέθους”, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
- Α. Νεοκλέους, Σ. Π. Κωνσταντινίδης, (1999), “Μετατροπή της Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά Συστήματα”, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα
- Α. Μαχιά, (1989), “Εγκαταστάσεις Ανανεώσιμων Μορφών Ενέργειας”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
- Στ. Πέρδιος Δ., (2011), “Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις”, Εκδόσεις Σέλκα - 4Μ, Αθήνα
- Ε. Μαλεβίτη, (2013), “Ενεργειακή διαχείριση και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας”, Εκδόσεις Πεδίο, Αθήνα
- Αθ. Κρητικός, (2010), “Ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά”, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα
- Π. Αξαόπουλος Ι., (2011), “Solar Thermal Conversion Active Solar Systems”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
- Κ. Καγκαράκη, (1987), “Φωτοβολταϊκή τεχνολογία, ημιαγωγοί”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Ξένη Βιβλιογραφία

- Dogan Ibrahim, (2008), “Advanced PIC Microcontroller Projects in C”, Newnes
- Phillip Hurley, (2006), “Built your own Solar Panel”, Wheelock Mountain Publications
- S. R. Wenham, M. A. Green, M. E. Watt, R. Corkish, (2007), “Applied photovoltaics, Earthscan
- A. McEvoy, T. Markvart, L. Castaner, (2012), “Practical handbook of photovoltaics fundamentals and applications”, Academic Press
- Dominique Paret, (2007), “Multiplexed Networks for Embedded Systems”, John Wiley & Sons Ltd

Ιστοσελίδες

www.aenaon.gr

<http://el.wikipedia.org>

<http://bioenergynews.capitalblogs.gr/showArticle.asp?id=9469&blid=210>

http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_updraft_tower

<http://www.energypress.gr>

<http://www.selasenergy.gr/vaseis.php>

<http://1gym-ag-parask.att.sch.gr/environment/iliako/energy/viomaza/>

http://www.prasina.gr/main/index.php?option=com_content&view=article&id=200&Itemid=201

<http://www.mikroe.com/>

<http://www.ti.com/>

<http://www.sunnyportal.com/Templates/Start.aspx?ReturnUrl=%2f>

<http://www.mikroe.com/products/view/289/can-article/>

<http://www.mikroe.com/products/view/285/book-pic-microcontrollers-programming-in-c/>

<http://www.mikroe.com/products/view/11/book-pic-microcontrollers/>

Datasheets

-PIC18F258, PIC18F458, Microcontroller:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41159d.pdf>

-MCP2551, High-Speed CAN Tranceiver:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21667f.pdf>

-BQ32000, Real-Time Clock (RTC):

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq32000.pdf>

-4n26, 4n28, Optocoupler:

<http://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf>

-LCD Display 4x20:

http://www.mikroe.com/pdf/4x20_char_lcd_large_digit.pdf

-LM78XX, Voltage Regulator

<http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf>

-JW2SN-DC12V, Relay

<http://pewa.panasonic.com/assets/pcsd/catalog/jw-catalog.pdf>

-IRF540N, Power MOSFET

<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf540n.pdf>

-IRF9540N, Power MOSFET

<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf9540n.pdf>

-BC549, NPN Transistor

http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BC549_550.pdf

-BC337, NPN Transistor

<http://www.fairchildsemi.com/ds/BC/BC337.pdf>

-MPSA43, NPN Transistor

<http://www.fairchildsemi.com/ds/MP/MPSA43.pdf>

Παράρτημα Α

Α1 Ανάπτυξη Φ/Β στην Ελλάδα και Ειδικότερα στην Κρήτη

Ραγδαία Αύξηση Έργων ΑΠΕ Αναμένεται και το 2012 στην Ελλάδα

Κατά 74% αυξήθηκε η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στη χώρα μας το 2011 σε σχέση με το 2009 ενώ σε σχέση με το 2010 η αύξηση έφτασε το 44%, σύμφωνα με στοιχεία που έδωσε στη δημοσιότητα το ΥΠΕΚΑ σχετικά με την κατάσταση της αδειοδοτικής εξέλιξης των έργων ΑΠΕ έως το τέλος Δεκεμβρίου 2011.

Παράλληλα, τα έργα που βρίσκονται με σύμβαση αγοραπωλησίας είναι συνολικής ισχύος 2530MW (αύξηση κατά 185% σε σχέση με το 2010), γεγονός που δηλώνει ότι στο επόμενο έτος αναμένεται ραγδαία αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος.

Όπως επισημαίνει το υπουργείο, οι διαρθρωτικές αλλαγές που έγιναν εντός της χρονιάς απέδωσαν, αυξάνοντας σημαντικά τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ ΑΠΕ στη χώρα μας.

Στον πίνακα που παρουσιάζεται στην αριστερή στήλη, αποτυπώνεται η ισχύς, ανά τεχνολογία ΑΠΕ, σε κάθε στάδιο της αδειοδοτικής διαδικασίας (άδεια παραγωγής, προσφορά σύνδεσης, άδεια εγκατάστασης, σύμβαση αγοραπωλησίας), καθώς και η ισχύς σε λειτουργία.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από σταθμούς Α.Π.Ε. στη χώρα μας ενισχύθηκε κατά 770MW μέσα στο έτος, ξεπερνώντας συνολικά τα 2500MW. Θεαματική αύξηση παρουσιάζει η ανάπτυξη νέας ισχύος για την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών, γεγονός που ενισχύει την ορθότητα της απόφασης εξορθολογισμού των εγγυημένων τιμών που έχει τεθεί σε εφαρμογή από 1η Φεβρουαρίου 2012.

Συγκεκριμένα, η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών το 2010 ήταν 198MW και το τέλος του 2011 έφτασαν τα 626MW (αύξηση 215%).

Τα αιολικά παραμένουν και για το 2011 η κυρίαρχη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 1636MW, από 1300MW που ήταν το προηγούμενο έτος (ενίσχυση κατά 26%). Αύξηση στη διείσδυση παρουσιάζουν και τα μικρά υδροηλεκτρικά, από 196MW σε 206MW (αύξηση 5%). Για τις μορφές που υστερούν, όπως η βιομάζα και η γεωθερμία, το ΥΠΕΚΑ στοχεύει στην ενίσχυση τους, για αυτό και προώθησε σχετική νομοθετική ρύθμιση για την κατά προτεραιότητα εξέταση των αιτημάτων αυτών.

Αναφορικά με την αδειοδοτική διαδικασία, με σύμβαση αγοραπωλησίας βρίσκονται έργα συνολικής ισχύος 2530MW(αύξηση κατά 185% σε σχέση με το 2010), γεγονός που δηλώνει ότι το 2012 αναμένεται σημαντική αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος από ΑΠΕ. Αυτή η διαπίστωση συμβαδίζει με τον οδικό χάρτη πορείας για το 2050, όπως αποτυπώνεται στον Εθνικό Ενεργειακό Σχεδιασμό που δόθηκε πρόσφατα σε δημόσια διαβούλευση, και συγκεκριμένα τόσο με τους μεσοπρόθεσμους, όσο και τους μακροπρόθεσμους στόχους.

Επίσης, αύξηση 10% παρουσίασε το 2011 η ισχύς των αδειών εγκατάστασης (1840MW) και 51% οι άδειες παραγωγής (2600MW), δύο μεγέθη που αποτυπώνουν τη δυναμική διεύρυνση νέας ισχύος Α.Π.Ε. στο ηλεκτρικό σύστημα της χώρας μας.

Το Υπουργείο δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην προώθηση του προγράμματος για την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών συστημάτων στις κτιριακές εγκαταστάσεις, που απευθύνεται τόσο στους καταναλωτές, όσο και στις επιχειρήσεις. Έχουν υλοποιηθεί εντός του 2011, 11700 αιτήματα, τα οποία εγγέουν στο σύστημα ισχύ 102MW από μόλις 5,2MW το 2010.

Για τα αγροτικά φωτοβολταϊκά, η διαδικασία προχωράει με εντατικούς ρυθμούς. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η εγκατεστημένη ισχύς για το 2011 είναι περίπου 8MW, από μηδενική που ήταν μέχρι και πέρυσι.

Όπως αναφέρεται στη σχετική ανακοίνωση, το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής πιστεύει στην αναπτυξιακή συνεισφορά των έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, καθώς δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας, τονώνουν την εγχώρια βιομηχανία, ενισχύουν την περιφερειακή ανάπτυξη και προσφέρουν καθαρή ενέργεια στους καταναλωτές και τους παραγωγικούς φορείς.

Η εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος με αυξημένη διεύρυνση των ΑΠΕ αποτελεί κυρίαρχο ενεργειακό στόχο, κι αυτό διότι παρέχει ασφάλεια στον καταναλωτή, καθώς τον προστατεύει από την αστάθμητη διακύμανση του κόστους των εισαγόμενων καυσίμων, ενώ προσφέρει στην Ελλάδα τη δυνατότητα πέρα από την κάλυψη των δεσμευτικών, εθνικών της στόχων να αποτελέσει χώρα εξαγωγής πράσινης ενέργειας.

Στα 385 MW η ισχύς των ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά - Πρώτη η Κρήτη

Τα 385,02 MW φθάνει πλέον η συνολική ισχύς των ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, με την μερίδα του λέοντος να έχει η Κρήτη με 244,61 MW, εκ των οποίων τα 173,9 MW είναι αιολικά και τα 70,37 είναι φωτοβολταϊκά.

Σύμφωνα με τα στοιχεία από τη Διεύθυνση Διαχείρισης Νησιών του ΔΕΔΔΗΕ, ακολουθούν η Ρόδος με 40,88 MW, η Λέσβος με 19,95 MW και η Κως με 15,61 MW «πράσινης» ενέργειας.

Πιο αναλυτικά, τον Αύγουστο, στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, λειτούργησαν 86 αιολικά πάρκα συνολικής ισχύος 278,32 MW και 1.380 φωτοβολταϊκοί σταθμοί ισχύος 106,40 MW. Αυτό σημαίνει ότι προστέθηκαν φωτοβολταϊκά ισχύος 6,5 MW, ενώ τον Ιούλιο οι προσθήκες ήταν της τάξης των 3,19 MW.

Όσον αφορά τα ποσοστά συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, και πάλι την πρώτη θέση κατέχει η Κρήτη με 23,1%. Στο 22,2% βρίσκεται η Σάμος, στο 17,7% η Μήλος και στο 14,4% η Λέσβος.

Συνολικά φέτος μέχρι και τον Αύγουστο, η παραγωγή των ΑΠΕ κάλυψε το 16% των αναγκών στα μη διασυνδεδεμένα νησιά και τα ορυκτά καύσιμα κάλυψαν το 84%.

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Ηπειρωτικό & Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά

Σύνολο Παραγωγής και Ισοζυγίου Εισαγωγών-Εξαγωγών

	2008		2009		2010		2011 (30.09.2011)	
	MWH	Ποσοστό (%)	MWH	Ποσοστό (%)	MWH	Ποσοστό (%)	MWH	Ποσοστό (%)
Λιγνίτης	32.056.619	55,7	29.165.171	49,6	31.092.884	50,9	22.065.296	46,6
Πετρέλαιο	7.195.036	13,8	8.104.041	13,8	8.256.598	13,5	6.475.190	13,7
Φυσικό Αέριο	7.944.623	13,8	10.169.096	17,3	13.211.449	21,6	10.878.693	23,0
Υδροηλεκτρικά	4.573.747	8	5.619.663	9,6	2.020.771	3,3	1.525.388	3,2
ΑΠΕ	1.234.888	2,1	1.529.944	2,6	2.160.000	3,5	1.997.258	4,2
Εισαγωγές	3.780.910	6,6	4.202.388	7,1	4.354.191	7,1	4.452.792	9,4
Σύνολο	56.785.823	100	58.790.303	100	61.095.893	100	47.394.617	100

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ: ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΑΝΤΛΗΣΗ

ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ: ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΙΣΑΓΩΓΩΝ - ΕΞΑΓΩΓΩΝ

Το ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά είναι περίπου 9% του συνόλου ετησίως (3,9 TWh πετρέλαιο και 447 GWh ΑΠΕ έως 30.09.2011).

**ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ— ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ
ΙΣΧΥΣ ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ (30.09.2011)**

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)

	2008	2009	2010	2011
ΑΙΟΛΙΚΑ	576,09	749,27	853,62	970,09
ΒΙΟΜΑΖΑ	20,54	37,58	37,57	39,17
ΜΥΗΣ	48,16	73,68	95,5	149,6
Φ/Β	0,51	0,68	0,74	7,25
ΣΥΝΟΛΟ	645,3	861,21	987,43	1166,11

Στον Πίνακα δεν συμπεριλαμβάνονται τα Μεγάλα Υδροηλεκτρικά Έργα (>15 MW) των οποίων η εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται σε 3020 MW.

Η εγκατεστημένη ισχύς σταθμών ΑΠΕ στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά είναι περίπου 227 MW (19% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος στη χώρα) και είναι σχεδόν αποκλειστικά αιολικοί σταθμοί.

Η συνολική συμβολαιοποιημένη ισχύς των Φ/Β είναι της τάξης των 23,278 MW

ΠΟΡΕΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΑΠΕ

(εκτός μεγάλων υδροηλεκτρικών, στοιχεία 15/10/11)

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΜΕ ΔΩΣΗ ΔΕΙΛΥΝΗ ΔΑ ⁽¹⁾		ΜΕ ΔΩΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ		ΜΕ ΔΩΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ⁽²⁾		ΑΝΑΚΛΗΘΕΙΣΕΣ		Με ΔΙΤΗΣΗ για Άδεια Παραγωγής ⁽³⁾	
	Σύν. Ισχύος (ΜW)	% στο σύνολο των αδειών λειτουργίας	Σύν. Ισχύος (ΜW)	% στο σύνολο των αδειών εγκατάστασης	Σύν. Ισχύος (ΜW)	% στο σύνολο των αδειών παραγωγής	Σύν. Ισχύος (ΜW)	% στο σύνολο των ανακλήσιμων	Σύν. Ισχύος (ΜW)	% στο σύνολο των αιτήσεων
Αιολικά	868,8	85,9%	956,8	83,6%	6717,1	90,0%	544,6	81,5%	40021,8	87,2%
Βιομάζα	33,9	3,4%	21,2	1,8%	94,8	1,3%	24,5	3,7%	481,6	1,1%
Γεωθερμικά	0,0	0,0%	0,0	0,0%	8,0	0,1%	0,0	0,0%	335,5	0,7%
Μικρά Υδροηλεκτρικά	108,5	10,7%	100,8	8,8%	534,3	7,2%	98,0	14,7%	1960,3	4,3%
Φωτοβολταϊκά	0,8	0,1%	65,6	5,7%	111,6	1,5%	0,7	0,1%	3064,6	6,7%
Συνολική Ισχύς (ΜW)	1012,0	100,0%	1144,3	100,0%	7465,7*	100,0%	667,9	100,0%	45863,8	100,0%
% Ισχύος επί της Συνολικής Ισχύος Άδειας Παραγωγής	13,6%		15,3%		-		8,9%		-	
% Ισχύος Άδειών Παραγωγής επί της συνολικής Αιτηθείσας Ισχύος = 16,3%										

(1) Στις ανωτέρω Άδειες Λειτουργίας συμπεριλαμβάνονται και τα έργα ΑΠΕ της ενιαίας Άδειας Παραγωγής της ΔΕΗ ΑΕ (ΦΕΚ 92/31.1.2002)

(2) Συμπεριλαμβάνουν τα έργα με Άδεια Λειτουργία, Άδεια Εγκατάστασης και δεν συμπεριλαμβάνονται οι Ανακληθείσες

(3) Συμπεριλαμβάνουν τα έργα με Άδεια Παραγωγής και τις Ανακληθείσες

* Η ισχύς υπολογίζεται σύμφωνα με την εκάστοτε ισχύουσα Άδεια Παραγωγής όπως αυτή έχει εκδοθεί από το ΥΠΑΝ.

Μεγάλο Ενδιαφέρον σε MW

✓	Στερεά Ελλάδα	9859,9
✓	Πελοπόννησος	9178,4
✓	Ανατολική Μακεδονία/ Θράκη	5935,1
✓	Δυτική Ελλάδα	3538,6
✓	Βόρειο/Νότιο Αιγαίο	4550,9
✓	Κεντρική Μακεδονία	3177,5

ΠΟΡΕΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΑΠΕ

(εκτός μεγάλων υδροηλεκτρικών, στοιχεία 15/10/11)

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Με Άξονα ΑΕΙΟΠΡΙΑΣ ⁽¹⁾		Με Άξονα ΕΠΙΚΑΙΔΙΣΤΑΣΗΣ		Με ΕΠΔ		Με ΠΤΕΑ		Με Άξονα ΠΡΑΓΜΑΤΗΣ ⁽²⁾		Διαβίωση ΠΤΕ		Ανοικτή γεωμόρφωση ΡΑΕ		Απόσυρση Ανοίκηση		Απίστευτες μη πλήρες (γετρίνες, ΠΤΕ)	
	Πλήθος	Σύνολο Ισχύος (MW)	Πλήθος	Σύνολο Ισχύος (MW)	Πλήθος	Σύνολο Ισχύος (MW)	Πλήθος	Σύνολο Ισχύος (MW)	Πλήθος	Σύνολο Ισχύος (MW)	Πλήθος	Σύνολο Ισχύος (MW)	Πλήθος	Σύνολο Ισχύος (MW)	Πλήθος	Σύνολο Ισχύος (MW)	Πλήθος	Σύνολο Ισχύος (MW)
Αολικά	129		74		52		107		495		67		432		169		347	
	868,8		956,8		767,5		2002,0		6617,5		2274,6		8339,1		2942,0		5324,2	
Βιομήτρα	9		5		1		0		19		3		13		8		4	
	33,9		21,2		5,0		0,0		91,9		61,4		218,4		30,5		45,6	
Γεωθερμικά	0		0		1		0		1		0		0		-		-	
	0,0		0,0		8,0		0,0		8,0		0,0		0,0		-		-	
Μικρά Υδροηλεκτρικά	65		57		14		32		264		68		282		68		13	
	108,5		100,8		32,9		59,8		519,2		193,6		820,0		176,7		34,9	
Φωτοβολταϊκά	33		22		5		1		80		18		256		39		-	
	0,8		65,6		3,1		6,0		111,6		62,8		456,6		45,4		-	
	236		158		73		140		859		156		983		284		364	
	10120		11443		8165		20678		73461*		25923		100340		31946		54047	

- a) Στις ανωτέρω Άδειες Λειτουργίας συμπεριλαμβάνονται και τα έργα ΑΠΕ της ενιαίας Άδειας Παραγωγής της ΔΕΗ ΑΕ (ΦΕΚ 92/31.1.2002)
- b) Ποσοστά ως προς το σύνολο των έργων με Άδεια Παραγωγής
- c) Συμπεριλαμβάνουν τα έργα με Άδεια Εγκατάστασης, Άδεια Λειτουργίας, Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων, Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση.

*** Η διαφορά της συνολικής ισχύος των έργων με Άδεια Παραγωγής με αυτή που παρουσιάζεται στο Πίνακα 2.1 οφείλεται στο γεγονός ότι για τον Πίνακα 2.1 οι υπολογισμοί έγιναν με βάση την ισχύ της εκάστοτε Άδειας Παραγωγής όπως αυτή έχει εκδοθεί από το ΥΠΑΝ, ενώ για τον παρόντα Πίνακα οι υπολογισμοί έγιναν λαμβάνοντας υπόψη τυχόν διαφοροποίηση της ισχύος της Άδειας Λειτουργίας / Άδειας Εγκατάστασης.**

Αιολικά στο Σύστημα μη Διασυνδεδεμένων Νησιών

Σύστημα μη Διασυνδεδεμένων Νησιών	Αιολικά στα Νησιά			
	Με ΑΔ. Παραγωγής		Σε Λειτουργία	
	Αρ. Έργων	Ισχύς (MW)	Αρ. Έργων	Ισχύς (MW)
Ν.ΛΕΣΒΟΥ	10	20,09	6	12,99
Ν.ΣΑΜΟΥ	11	10,81	8	8,66
Ν.ΧΙΟΥ	15	11,35	11	8,55
Ν.ΚΥΚΛΑΔΩΝ	23	32,30	11	8,82
Ν.ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	22	76,10	11	30,18
Ν.ΚΕΡΚΥΡΑΣ (ΟΘΩΝΟΙ-ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ)	0	0,00	0	0,00
Ν.ΠΕΙΡΑΙΑ (ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ)	0	0,00	0	0,00
Ν.ΕΥΒΟΙΑΣ (ΣΚΥΡΟΣ)	2	0,94	1	0,14
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ	45	221,57	27	155,75
ΣΥΝΟΛΟ	128	373,15	75	225,09

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

Στη Σκύρο έχουν αδειοδοτηθεί επιπλέον αιολικά ισχύος 75 MW που θα εγκατασταθούν με ταυτόχρονη διασύνδεση του νησιού με το Ηπειρωτικό Σύστημα.

**ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗ
ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΝΗΣΙΩΝ**

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΝΗΣΙΩΝ	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ				
	ΑΙΤΗΣΕΙΣ		ΑΔΕΙΟΔΟΤΗ ΜΕΝΑ (MW)	ΗΔΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤ ΗΜΕΝΑ (MW)	ΥΠΟ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ (MW)
	ΑΡ. ΕΡΓΩΝ	ΙΣΧΥΣ (MW)			
Ν. ΛΕΣΒΟΥ	355	39,758	0,022	0,001	12,771
Ν. ΣΑΜΟΥ	156	17,176	0,015	0,000	6,348
Ν. ΧΙΟΥ	120	13,669	0,067	0,000	7,396
Ν. ΚΥΚΛΑΔΩΝ	204	21,409	0,461	0,160	21,552
Ν. ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	519	53,443	0,262	0,000	39,396
Ν. ΚΕΡΚΥΡΑΣ (ΟΘΩΝΟΙ- ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ)	0	0,000	0,000	0,000	0,074
Ν. ΠΕΙΡΑΙΑ (ΑΝΤΙΚΥΘΗΡΑ)	0	0,000	0,034	0,025	0,000
Ν. ΕΥΒΟΙΑΣ (ΣΚΥΡΟΣ)	0	0,000	0,006	0,000	0,518
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ	1623	180,711	87,064	0,703	15,013
ΣΥΝΟΛΟ	2977	326,166	87,931	0,889	103,067

**ΥΒΡΙΔΙΚΑ & ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΑ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗ
ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΝΗΣΙΩΝ**

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕ ΝΩΝ ΝΗΣΙΩΝ	ΑΠΕ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ							
	ΥΒΡΙΔΙΚΑ						ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΑ	
	ΑΙΤΗΣΕΙΣ ΥΠΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ			ΑΔ. ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ / ΠΠΕΑ			ΑΙΤΗΣΕΙΣ ΥΠΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	
	ΑΡ. ΕΡΓΩΝ	ΙΣΧΥΣ ΑΠΕ (MW)	ΕΓΓΥΗΜΕ ΝΗ (MW)	ΑΡ. ΕΡΓΩΝ	ΙΣΧΥΣ ΑΠΕ (MW)	ΕΓΓΥΗΜΕ ΝΗ (MW)	ΑΡ. ΕΡΓΩΝ	ΙΣΧΥΣ (MW)
Ν.ΛΕΣΒΟΥ	1	18,00	15					
Ν.ΣΑΜΟΥ				1	2,40	3,80		
Ν.ΧΙΟΥ								
Ν.ΚΥΚΛΑΔΩΝ	1	12,60	5,60					
Ν.ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ	3	48,45	36					
Ν.ΚΕΡΚΥΡΑΣ								
Ν.ΠΕΙΡΑΙΑ								
Ν.ΕΥΒΟΙΑΣ (ΣΚΥΡΟΣ)								
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ	11	121,7	91	1	90,1	75	5	233
ΣΥΝΟΛΟ	16	200,75	147,6	2	92,50	78,80	5	233

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

Ο Υβριδικός σταθμός Ικαρίας (Ν. ΣΑΜΟΥ) είναι υπό κατασκευή και ένας σταθμός της Κρήτης (ΑΠΕ = 90,1 MW / ΕΓΓΥΗΜΕΝΗ = 75 MW) είναι στο στάδιο της ΠΠΕΑ

ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΜΕΝΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ:

- 1.ΒΙΟΜΑΖΑΣ: ΚΡΗΤΗ/ΑΔΕΙΟΔ.ΙΣΧΥΣ=0,359 MW, ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ= 0,166 MW
- 2.ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ:ΛΕΣΒΟΣ/ΑΔΕΙΟΔ.ΙΣΧΥΣ= 8 MW, ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ= 0 MW
- 3.ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛ.: ΚΡΗΤΗ/ ΑΔΕΙΟΔ.ΙΣΧΥΣ=0,6 MW, ΕΓΚΑΤ. ΙΣΧΥΣ=0,6MW

Υποστηρικτικά Μέτρα

- ✓ Επικουρικές Υπηρεσίες (αιχμιακή αγορά)
- ✓ Ένταξη νέων μονάδων
- ✓ Εγκατάσταση υβριδικών ΥΗΕ
- ✓ Ενίσχυση δικτύου
- ✓ Θεσμικό πλαίσιο για περικοπές φορτίων
- ✓ Παροχή κινήτρων τοπικών κοινωνιών

Προβλήματα

- Ειδικό σχέδιο χωροταξικού σχεδιασμού ΑΠΕ
- Αποδοχή τοπικών κοινωνιών
- Καθυστέρηση αδειοδότησης σε περιφερειακές υπηρεσίες
- Ενίσχυση δικτύων

Προοπτικές

- Επίτευξη στόχων
- Διασύνδεση Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών
 - Επάρκεια εφοδιασμού
 - Απεξάρτηση από πετρέλαιο (μείωση κόστους παραγωγής, μείωση κόστους ΥΚΩ, περιβάλλον)
 - Αξιοποίηση αιολικού δυναμικού
 - Επέκταση λειτουργίας απελευθερωμένης αγοράς
 - Ενίσχυση της κοινωνικής συνοχής
- Ίδρυση νέων μορφών βιομηχανίας

Στόχοι Διείσδυσης

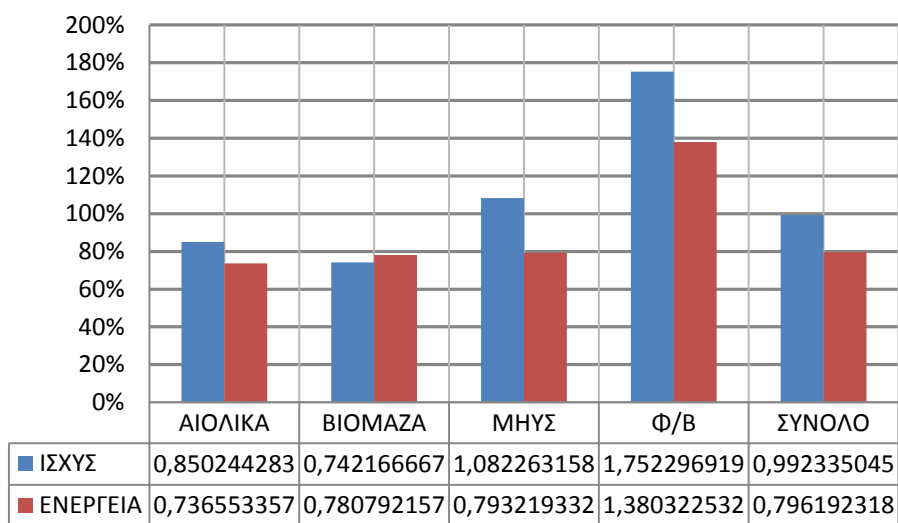
5000 MW

μέχρι 2015

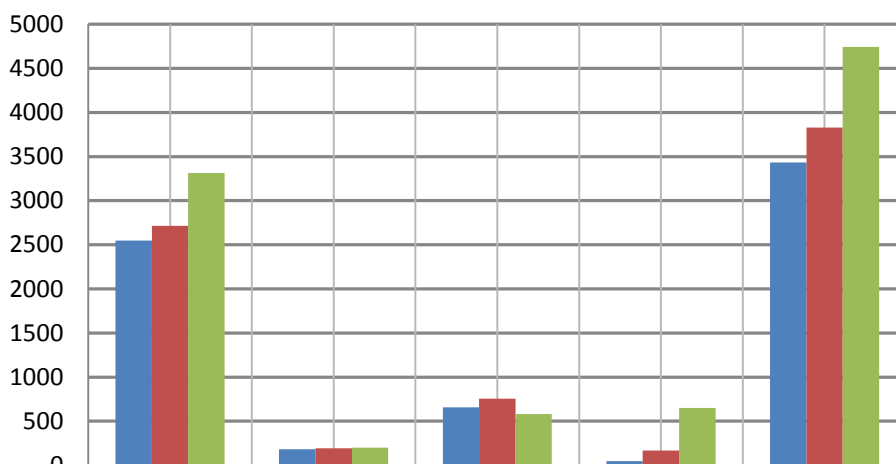
10000 MW

μέχρι 2020

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΟΧΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2011

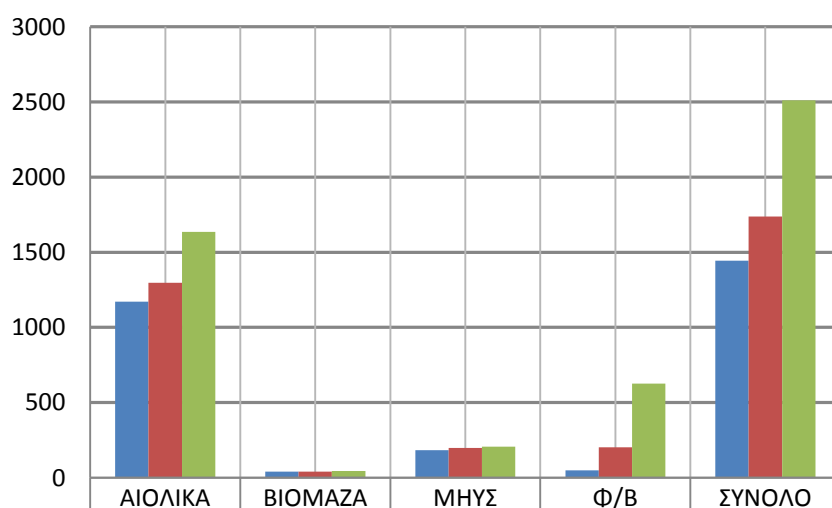


ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ [GWh]



	ΑΙΟΛΙΚΑ	ΒΙΟΜΑΖΑ	ΜΗΥΣ	Φ/Β	ΣΥΝΟΛΟ
■ 2009	2547,262	181,893	657,61615	46,547064	3433,318214
■ 2010	2713,93681	193,933	753,94415	168,67485	3830,48881
■ 2011	3315,22666	199,102	581,42977	648,75159	4744,51002

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ [MW]



	ΑΙΟΛΙΚΑ	ΒΙΟΜΑΖΑ	ΜΗΥΣ	Φ/Β	ΣΥΝΟΛΟ
■ 2009	1171,11	40,8	182,91	48,2153	1443,0353
■ 2010	1297,75	41,05	197,13	202,24	1738,17
■ 2011	1635,87	44,53	205,63	625,57	2511,6

A2 Νομοθετικό Πλαίσιο στα Φ/Β Συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια με τη μετατροπή της σε ηλεκτρική, αποτελούν μία από τις εφαρμογές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) που δύναται, λόγω του ηλιακού δυναμικού της Ελλάδας, να συμβάλει αποφασιστικά στην αντιμετώπιση του ενεργειακού της προβλήματος. Δεδομένων επίσης των στόχων της ΕΚ για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην κατανάλωση ενέργειας (Οδηγίες 2001/77/ΕΚ, 2003/30/ΕΚ, 2009/28/ΕΚ) και του πρωτοκόλλου του Κιότο, που έχει κυρωθεί με το Ν 3017/2002, δεν είναι τυχαίο ότι τα τελευταία χρόνια, έστω καθυστερημένα, υπήρξε νομοθετική δραστηριότητα στη χώρα μας για τη μεγαλύτερη προώθηση των ΑΠΕ και δη των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ακόμη και μεταξύ των ιδιωτών-καταναλωτών.

Αρχικά ο Ν **3468/2006** (ΦΕΚ Α' 129/27.6.2006), με τον οποίο μεταφέρθηκε στο ελληνικό δίκαιο η Οδηγία 2001/77/ΕΚ, προέβλεπε κα- νόνες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και έθεσε το πλαίσιο για τις απαιτούμενες διαδικασίες αδειοδότησης. Προέβλεπε ειδικότερα (άρθρο 14) πρόγραμμα ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Σταθμών με Α' φάση υλοποίησης έως το 2020, το οποίο στη συνέχεια εκπονήθηκε από την ΡΑΕ και εγκρίθηκε από τον ΥπΑν (Δ6/φ1/οικ 8684/24.4.2007, ΦΕΚ 694/3.5.2007, τροποποιηθείσα από την ΥΑ Δ6/ φ1/οικ 15450/18.7.2007, ΦΕΚ Β' 1276/ 24.7.2007). [Σημειωτέον ωστόσο ότι με απόφαση του ΥπΑν (ΥΑ Δ6/Φ1/ οικ 7037 ΦΕΚ Β' 707/22.4.2008) ανεστάλη η υποβολή αιτήσεων στο πλαίσιο του κατ' άρθρο 14 παρ. 1 Ν 3468/2006 Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Σταθμών].

Περιβαλλοντικές εγκρίσεις

Η ΚΥΑ υπ' αρ. οικ. 104247/ΕΥΠΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ (ΦΕΚ Β' 663/26.5.2006) όρισε τη Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (Π.Π.Ε.Α.) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.) έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), σύμφωνα με το άρθρο 4 Ν 1650/1986 όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 2 Ν 3010/2002 και η ΚΥΑ υπ' αρ. οικ. 104248/ΕΥΠΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ (ΦΕΚ Β' 663/26.5.2006) το Περιεχόμενο, δικαιολογητικά και λοιπά στοιχεία των Προμελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Π.Π.Ε.), των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.), καθώς και συναφών μελετών περιβάλλοντος, έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.).

Κανονισμός αδειών παραγωγής

Με την ΥΑ Δ6/Φ1/οικ 5707/2007 του ΥπΑν (ΦΕΚ Β' 448/3.4.2007) προβλέφθηκε Κανονισμός Αδειών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση ΑΠΕ και μέσω Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης, για τη χορήγηση, τροποποίηση, μεταβίβαση αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την έκδοση αποφάσεων εξαιρέσεως από υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής με χρήση ΑΠΕ.

Ειδικό πλαίσιο χωροταξικού σχεδιασμού και αιεφόρου ανάπτυξης για ΑΠΕ

Με την υπ' αρ. 49828 απόφαση της Επιτροπής Συντονισμού Κυβερνητικής πολιτικής στον τομέα Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΦΕΚ Β' 2464/3.12.2008) ενεκρίθη ειδικό πλαίσιο χωροταξικού σχεδιασμού και αιεφόρου ανάπτυξης για τις ΑΠΕ και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού. Στο άρθρο 17 ορίζονται τα κριτήρια χωροθέτησης εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας, αναφέροντας ως περιοχές προτεραιότητας άγονες ή μη υψηλής παραγωγικότητας περιοχές, κατά προτίμηση αθέατες από πολυσύχναστους χώρους και προβλέποντας ζώνες αποκλεισμού, όπως δάση, διατηρητέα μνημεία κ.λπ.

Νόμος 3734/2009

Ο Ν 3734/2009 (ΦΕΚ Α' 8/28.1.2009) τροποποίησε τον ανωτέρω Ν 3468/2006 και ειδικότερα μεταξύ άλλων:

Προέβλεψε νέες τιμές πώλησης για την παραγόμενη από φωτοβολταϊκούς σταθμούς ηλεκτρική ενέργεια (που δύνανται να τροποποιούνται με απόφαση του ΥπΑν κατόπιν γνώμης της ΡΑΕ, αναπροσαρμόζονται δε ετησίως κατά 25% του ΔΤΚ του προηγούμενου έτους):

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ		ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ	
		A	B	Γ	Δ
		>100 kW	<=100 kW	>100 kW	<=100 kW
2009	Φεβρουάριος	400,00	450,00	450,00	500,00
2009	Αύγουστος	400,00	450,00	450,00	500,00
2010	Φεβρουάριος	400,00	450,00	450,00	500,00
2010	Αύγουστος	392,04	441,05	441,05	490,05
2011	Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43	466,03
2011	Αύγουστος	351,01	394,88	394,88	438,76
2012	Φεβρουάριος	333,81	375,53	375,53	417,26
2012	Αύγουστος	314,27	353,56	353,56	392,84
2013	Φεβρουάριος	298,87	336,23	336,23	373,59
2013	Αύγουστος	281,38	316,55	316,55	351,72
2014	Φεβρουάριος	268,94	302,56	302,56	336,18
2014	Αύγουστος	260,97	293,59	293,59	326,22
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά		1,3χμ ΟΤΣν-1	1,4χμ ΟΤΣν-1	1,4χμ ΟΤΣν-1	1,5χμ ΟΤΣν-1
μΟΤΣν-1: Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν-1					

Επίσης, όρισε ότι η σύμβαση αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς θα έχει διάρκεια 20 ετών και θα συνομολογείται με την τιμή αναφοράς του άνω πίνακα που αντιστοιχεί στο μήνα και έτος υπογραφής της σύμβασης, υπό τον όρο της έναρξης δοκιμαστικής λειτουργίας ή αν αυτή δεν προβλέπεται, ενεργοποίησης της σύνδεσης του σταθμού εντός συγκεκριμένης προθεσμίας, άλλως θα ισχύει η τιμή του μήνα έναρξης δοκιμαστικής λειτουργίας ή ενεργοποίησης της σύνδεσης, σύμφωνα με την τότε ισχύ του σταθμού.

Ορίστηκε επιπλέον ότι η άδεια παραγωγής ενέργειας ή η απόφαση εξαίρεσης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς απαγορεύεται να μεταβιβασθεί προ της έναρξης λειτουργίας αυτών. Από την απαγόρευση αυτή μεταγενέστερα (Ν 3769/2009, άρθρο 19 παρ. 7, ΦΕΚ Α' 105/1.7.2009) εξαιρέθηκε η περίπτωση κατά την οποία στη μεταβιβάζουσα εταιρεία ανήκει καθ' ολοκληρίαν το εταιρικό κεφάλαιο της αποκτώσας εταιρείας.

Τέλος, ο Ν 3734/2009 (άρθρο 27Α παρ. 8) προέβλεψε την κατάρτιση Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε στέγες και προσόψεις.

Φωτοβολταϊκά στις στέγες

Δυνάμει της άνω σχετικής πρόβλεψης του Ν 3734/2009, υπογράφηκε ΚΥΑ (ΦΕΚ Β' 1079/4.6.2009) καταρτίζουσα Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης φωτοβολταϊκών συστημάτων μέχρι 10 kWp, σε δώματα ή στέγες, συμπεριλαμβανόμενων των στεγαστρων βεραντών, κτιρίων κατοικίας ή στέγασης πολύ μικρών επιχειρήσεων, διάρκειας έως 31.12.2019, για παραγωγή ενέργειας που εγχέεται στο Δίκτυο, εξαιρουμένων των μη Διασυνδεδεμένων με το ηπειρωτικό Σύστημα της χώρας νήσων.

Δικαίωμα ένταξης στο Πρόγραμμα έχουν φυσικά πρόσωπα μη επιτηδευματίες και φυσικά/ νομικά πρόσωπα επιτηδευματίες - πολύ μικρές επιχειρήσεις, κύριοι του χώρου στον οποίο εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα.

Σε κοινόχρηστο ή κοινόκτητο χώρο κτιρίου επιτρέπεται η εγκατάσταση ενός μόνο συστήματος. Δικαίωμα ένταξης έχουν οι συνιδιοκτήτες εκπροσωπούμενοι από το διαχειριστή ή ένας εξ αυτών κατόπιν παραχώρησης της χρήσης του χώρου από τους λοιπούς συνιδιοκτήτες. Προϋπόθεση αποτελεί η συμφωνία του συνόλου των συνιδιοκτητών αποδεικνυόμενη με πρακτικό ομόφωνης απόφασης της γενικής συνέλευσης ή με έγγραφη συμφωνία όλων των συνιδιοκτητών. Επιτρέπεται η παραχώρηση χρήσης χώρου για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος, μετά από έγγραφη συμφωνία του κυρίου του χώρου αυτού, σε κύριο οριζόντιας ιδιοκτησίας του κτιρίου όπου βρίσκεται ο χώρος.

Προϋποθέσεις ένταξης είναι: ύπαρξη ενεργής σύνδεσης κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος στο όνομα του κυρίου του φωτοβολταϊκού στο κτίριο όπου το σύστημα εγκαθίσταται, μέρος των θερμικών αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης της ιδιοκτησίας, εφόσον αυτή χρησιμοποιείται για κατοικία, πρέπει να καλύπτεται με χρήση ΑΠΕ, μη ύπαρξη δημόσιας ενίσχυσης στο πλαίσιο του Αναπτυξιακού - Επενδυτικού νόμου, των συγχρηματοδοτούμενων από την ΕΕ δράσεων χρηματοδότησης και οποιουδήποτε άλλου προγράμματος χρηματοδότησης.

Η Σύμβαση Συμφηφισμού για φωτοβολταϊκό σύστημα συνάπτεται μεταξύ κυρίου του φωτοβολταϊκού και ΔΕΗ ή άλλου προμηθευτή που ηλεκτροδοτεί τις καταναλώσεις του στο κτίριο, όπου εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα, για 25 έτη, με έναρξη ισχύος την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του συστήματος. Η εν λόγω Σύμβαση συνομολογείται με σταθερή τιμή αναφοράς και αντιστοιχεί στο έτος που αυτή συνάπτεται υπό την προϋπόθεση ενεργοποίησης της σύνδεσης του συστήματος

εντός 6 μηνών από τη σύναψη της σύμβασης, άλλως ως τιμή αναφοράς λαμβάνεται η τιμή που αντιστοιχεί στο έτος ενεργοποίησης της σύνδεσης. Σε περίπτωση αλλαγής προμηθευτή για την ηλεκτροδότηση, λήγει αυτοδικαίως η Σύμβαση Συμψηφισμού και συνάπτεται νέα για το υπολειπόμενο εκ των 25 ετών διάστημα μεταξύ κυρίου του φωτοβολταϊκού και νέου προμηθευτή. Σε περίπτωση μεταβολής στο πρόσωπο του κυρίου του συστήματος λόγω μεταβίβασης της σχετικής ιδιοκτησίας, ο νέος κύριος υπεισέρχεται αυτοδίκαια στα απορρέοντα από την άνω σύμβαση δικαιώματα και τις υποχρεώσεις του δικαιιοπαρόχου του. Οι Συμβάσεις Συμψηφισμού ακολουθούν τον τύπο της σύμβασης του Παραρτήματος της άνω ΥΑ και κοινοποιούνται από τον εκάστοτε προμηθευτή στη ΡΑΕ.

Η τιμή της παραγόμενης από το φωτοβολταϊκό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που εγγέεται στο δίκτυο ορίζεται σε **0,55 Ευρώ/kWh** για τις Συμβάσεις Συμψηφισμού που συνάπτονται έως το 2011. Η τιμή μειώνεται κατά 5% ετησίως για τις Συμβάσεις που θα συνάπτονται από 1.1.2012 έως και 31.12.2019. Η τιμή στην οποία συνομολογείται η Σύμβαση Συμψηφισμού αναπροσαρμόζεται ετησίως, κατά ποσοστό 25% του ΔTK του προηγούμενου έτους.

Η καταμέτρηση της παραγόμενης ενέργειας (ήτοι ενέργειας που παράγεται από το σύστημα μείον την ενέργεια που τυχόν αυτό απορροφά από το Δίκτυο για ίδια κατανάλωση) πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την καταμέτρηση της ενέργειας που καταναλώνεται. Η εκκαθάριση γίνεται από τη ΔΕΗ ή άλλο προμηθευτή, που καταχωρεί στο λογαριασμό κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος σχετική πιστωτική εγγραφή, οπότε ο εν λόγω λογαριασμός επέχει θέση τιμολογίου αγοράς για την ενέργεια που διατίθεται από τον κύριο του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Για τη σύνδεση του φωτοβολταϊκού συστήματος υποβάλλεται αίτηση προς τη ΔΕΗ, ως Δια- χειριστή του Δικτύου και μετά από διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης από τη ΔΕΗ προς τον ενδιαφερόμενο κύριο του φωτοβολταϊκού και την αποδοχή αυτής από τον τελευταίο, προσκομίζεται Έγκριση εκτέλεσης εργασιών μικρής κλίμακας της αρμόδιας πολεοδομικής υπηρεσίας και υπογράφεται η Σύμβαση Σύνδεσης μεταξύ κυρίου του φωτοβολταϊκού και ΔΕΗ.

Μετά την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης υποβάλλεται αίτηση για τη σύναψη Σύμβασης Συμψηφισμού προς τη ΔΕΗ ή άλλο προμηθευτή που ηλεκτροδοτεί τις καταναλώσεις της ιδιοκτησίας του κυρίου όπου εγκαθίσταται το σύστημα.

Για την ενεργοποίηση της σύνδεσης του συστήματος υποβάλλεται αίτημα

προς τη ΔΕΗ ως Διαχειριστή του Δικτύου.

Τέλος, η άνω ΥΑ ορίζει ότι **δεν υφίστανται**, για τον κύριο του φωτοβολταϊκού συστήματος, **φορολογικές υποχρεώσεις** για τη διάθεση της ενέργειας αυτής στο Δίκτυο. Σε συνέχεια της άνω πρόβλεψης, το άρθρο 36 Ν 3775/2009 (ΦΕΚ Α' 122) τροποποίησε τον ΚΦΕ, ορίζοντας ότι τα κέρδη φυσικών προσώπων και πολύ μικρών επιχειρήσεων από τη διάθεση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς τη ΔΕΗ ή άλλο προμηθευτή μετά από την ένταξή τους στο ανωτέρω Ειδικό Πρόγραμμα εξαιρούνται της φορολόγησης. Το ίδιο προβλέπεται και για τα κέρδη των νομικών προσώπων που αναφέρονται στην παρ. 1 του άρθρου 101 ΚΦΕ και εμπίπτουν στην έννοια των πολύ μικρών επιχειρήσεων, εφόσον τα κέρδη αυτά εμφανίζονται σε ειδικό λογαριασμό αφορολόγητου αποθεματικού. Τα ανωτέρω ισχύουν για εισοδήματα αποκτηθέντα από 1.7.2009.

Ακολούθησαν δύο ακόμη υπουργικές αποφάσεις, η ΥΑ υπ' αρ. 29107/2009 (ΦΕΚ ΑΑΠ 344/20.7.2009) για τους **όρους εγκατάστασης** των φωτοβολταϊκών συστημάτων έως 10 KW σε δώματα και στέγες, που μεταξύ άλλων προβλέπει και την μη υποχρέωση έκδοσης οικοδομικής άδειας αλλά έγκρισης εργασιών μικρής κλίμακας και η ΚΥΑ υπ' αρ. 29116/2009 (ΦΕΚ ΑΑΠ 344/20.7.2009) για τους όρους και περιορισμούς δόμησης για την εγκατάσταση φ/β συστημάτων σε **εκτός σχεδίου περιοχές**.

Επικείμενες εξελίξεις

Στο προσεχές διάστημα αναμένεται να κατατεθεί στη Βουλή σχέδιο νόμου για την «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των ΑΠΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής», με το οποίο απλοποιείται η διαδικασία έκδοσης άδειας παραγωγής έργου ΑΠΕ, συγχωνεύονται σε ενιαία διαδικασία οι διαδικασίες ΠΠΕΑ και ΕΠΟ, αποδίδεται σημαντικό μέρος του ειδικού τέλους παραγωγού ΑΠΕ υπέρ των ΟΤΑ απευθείας στους καταναλωτές του διαμερίσματος του ΟΤΑ όπου εγκαθίσταται το έργο ΑΠΕ και στον ΟΤΑ, τροποποιείται το Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο των ΑΠΕ και συνιστάται στο Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής Αυτοτελής Ειδική Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδύσεων ΑΠΕ, στα πρότυπα «φορέα μιας στάσης (one-stop shop)», για παροχή πληροφοριών και συντονισμένη διεκπεραίωση αιτημάτων επενδυτών. Κατά τις εκτιμήσεις του Υπουργείου Περιβάλλοντος θα εξοικονομηθούν στην αδειοδοτική διαδικασία συνολικά 44 έως 50 μήνες.

Παράρτημα Β

Β1 Κώδικας Κεντρικής Μονάδας (Master)

```
//-----define can bus ids-----
#define master_id 10
#define tracker1_id 101
#define tracker2_id 102
#define tracker3_id 103
#define tracker4_id 104
#define tracker5_id 105
//-----eof can bus ids-----

// lcd pins and direction declaration

//-----rtc bq32000 defines-----
#define BQ_ADRW      0b11010000
#define BQ_ADDR      0b11010001

#define SEC_REG      0
#define MIN_REG      1
#define HOURS_REG    2
#define DAY_REG      3
#define DATE_REG     4
#define MONTH_REG    5
#define YEAR_REG     6
#define CAL_REG      7
#define TCH2_REG     8
#define CFG2         9

//days (DAY_REG)
#define SUNDAY       1
#define MONDAY       2
#define TUESDAY      3
#define WEDNESDAY    4
#define THURSDAY     5
#define FRIDAY       6
#define SATURDAY     7
//-----rtc bq32000-----

//-----Software I2C connections-----
sbit Soft_I2C_Scl      at RB4_bit;
sbit Soft_I2C_Sda      at RB5_bit;
sbit Soft_I2C_Scl_Direction at TRISB4_bit;
sbit Soft_I2C_Sda_Direction at TRISB5_bit;
//----End Software I2C connections-----

// Keypad module connections
char keypadPort at PORTC;
// End Keypad module connections

// constants declaration
```

```

double latitude = 35.5118; // geofrafiko platos tou simeiou opou
tha topothetitheis ti sistima
double longitude = -24.01; // geografiko mikos tou simiou opou
tha topothetitheis to sistima
double pi = 3.14159;
short nzone = -2; //time zone
// eof constants declaration

// global variables declaration
unsigned ii; //vohthitikos metrhts sthn rutina emfanishs ths
boot screen
unsigned short rtc_hours, rtc_minutes, rtc_seconds, rtc_day,
rtc_month, rtc_year; // software rtc variables
unsigned short hours, minutes, seconds, day, month, days_of_month,
year;
unsigned short i, j, k;
char txt[7];
unsigned char lcd[5];
double nday, m_arc, et, lst, declination, wmega, sun_elevation,
sun_azimuth; // solar coordiantes algorithm variables

unsigned char gpvc1, gpvc2, gpvc3, gpvc4;
int gpvi1, gpvi2, gpvi3;
// eof global variables declaration

//-----can-----
unsigned char temp_data, data1[8], data2[8], data3[8];
unsigned short init_flag, send_flag, dt, len, read_flag;
char SJW, BRP, Phase_Seg1, Phase_Seg2, Prop_Seg;
unsigned int temp;
long id, mask, rcv_id;
//-----can-----

//just to test the keypad
unsigned short keypad_k;
//just to test the keypad

//bq32000(rtc chip) routines
void BQInit();
char getReg(char reg);
void setReg(char reg, char datas);

void setSeconds(char);
void setMinutes(char);
void setHours(char);
void setDay(char);
void setDate(char);
void setMonth(char);
void setYear(char);

void getSeconds(void);
void getMinutes(void);
void getHours(void);
void getDay(void);
void getDate(void);

```

```

void getMonth(void);
void getYear(void);
//bq32000 routines

//o kvdikas twn routinwn toy bq32000 paralifthike

// start of display date to lcd routine
*****
// end of display date to lcd routine
*****

// start of display time to lcd routine
*****
// end of display time to lcd routine
*****

// find leap year routine
short leap_year2(unsigned spec_year2)
{
  if (spec_year2%400 == 0 || (spec_year2%100 !=0 && spec_year2%4 ==
0))
  {
    return 1;
  }
  else
  {
    return 0;
  }
}
//eof find leap year routine

//void solar_coordinates_to_lcd(void)

// solar coordinates algorithm
void solar_coordinates(void)
{
  day = rtc_day;
  month = rtc_month;
  hours = rtc_hours;
  minutes = rtc_minutes;
  seconds = rtc_seconds;
  year = rtc_year;

  if(month==1) nday = day;
  if(month==2) nday = day+31;
  if(month==3) nday = day+59;
  if(month==4) nday = day+90;
  if(month==5) nday = day+120;
  if(month==6) nday = day+151;
  if(month==7) nday = day+181;
  if(month==8) nday = day+212;
  if(month==9) nday = day+243;
  if(month==10) nday = day+273;
  if(month==11) nday = day+304;
  if(month==12) nday = day+334;

```

```

if(month>2) //...
{ //...
nday = nday + leap_year2(year+2000); //...
} //...for leap
years

m_arc = 2.0*pi*nday/365.242;

et = 0.0171885+0.42810082*cos(m_arc)-7.3514069*sin(m_arc)-
3.3494657*cos(m_arc*2.)-9.3617738*sin(m_arc*2.);

lst = 12.0-nzone+longitude/15.0-et/60.0;

declination = 23.45*sin(((284+nday)*360.0/365.0)*pi/180);

womega = 0.25*(lst*60.0 - (hours*60.0+minutes));

sun_elevation = (asin(
sin(latitude*pi/180)*sin(declination*pi/180) +
cos(latitude*pi/180)*cos(declination*pi/180)*cos(womega*pi/180)))*1
80.0/pi;

sun_azimuth = (asin( -
1.0*(cos(declination*pi/180)*sin(womega*pi/180)/cos(sun_elevation*pi
i/180)) ))*180.0/pi + 180;

}
// eof solar coordinates algorithm

//can bus process routine
void can_bus_process(char specific_tracker_id) {
unsigned short gptvs1, gptvs2, gptvs3;
//-----can----- tracker1
data1[0] = 0;
data2[0] = 0;
id = 0;
rcv_id = 0;
dt = 0;
gptvs3 = 0;

    getSeconds();
    gptvs1 = rtc_seconds;
    getMinutes();
    gptvs2 = rtc_minutes;
    if((gptvs1+30)<60){gptvs1=gptvs1+30;}
    else if((gptvs1+30)>59){gptvs2++; gptvs1=gptvs1+30-60;}

do{
data2[0] = 'S';
data2[1] = 'U';
data2[2] = 'N';
id = specific_tracker_id;
CANWrite(id, data2, 3, send_flag);

    dt = 0;
    while(!dt){

```

```

dt = CANRead(&rcv_id, data1, &len, &read_flag);
getSeconds();
getMinutes();
if((gptvs1==rtc_seconds)&&(gptvs2==rtc_minutes)){
gptvs3=1;
goto escape_can_bus_process_flag;
}
}

getSeconds();
getMinutes();
if((gptvs1==rtc_seconds)&&(gptvs2==rtc_minutes)){
gptvs3=1;
goto escape_can_bus_process_flag;
}
}while((rcv_id != master_id) && (data1[0] != 'R')&& (data1[1] !=
'E') && (data1[2] != 'A') && (data1[3] != 'D') && (data1[4] != 'Y'));

do{
temp_data = (char) (sun_azimuth-40);
data3[0] = 'A';
data3[1] = 'Z';
data3[2] = temp_data;
temp_data = (char) sun_elevation;
data3[3] = 'E';
data3[4] = 'L';
data3[5] = temp_data;
id = specific_tracker_id;
CANWrite(id, data3, 6, send_flag);

dt = 0;
while(!dt)
{
dt = CANRead(&rcv_id, data1, &len, &read_flag);
getSeconds();
getMinutes();
if((gptvs1==rtc_seconds)&&(gptvs2==rtc_minutes)){
gptvs3=1;
goto escape_can_bus_process_flag;
}
}

getSeconds();
getMinutes();
if((gptvs1==rtc_seconds)&&(gptvs2==rtc_minutes)){
gptvs3=1;
goto escape_can_bus_process_flag;
}
}while((rcv_id != master_id) && (data1[0] != 'O') && (data1[1]
!= 'K'));

do{
dt = 0;
while(!dt)
{
dt = CANRead(&rcv_id, data1, &len, &read_flag);
getSeconds();

```

```

    getMinutes();
    if((gptvs1==rtc_seconds)&&(gptvs2==rtc_minutes)){
    gptvs3=1;
    goto escape_can_bus_process_flag;
    }
}

    getSeconds();
    getMinutes();
    if((gptvs1==rtc_seconds)&&(gptvs2==rtc_minutes)){
    gptvs3=1;
    goto escape_can_bus_process_flag;
    }
}while((rcv_id != master_id) && (data1[0] != 'S') && (data1[1] !=
'E') && (data1[2] !='T'));
//-----can-----

escape_can_bus_process_flag: asm nop;
if(gptvs3!=0){EEPROM_Write(specific_tracker_id, 1);
}
}
//eof can bus process routine

void sun_track_mode_routine(void) {
char time_inc_interval;
bit off_on;
unsigned short take, gptvs1, gptvs2;

    time_inc_interval=4;          // elegxos kathe 4min
    off_on=0;
    Lcd_Out(1,1,"Sun Track mode");
do{
keypad_k=0;
if(off_on==0){Lcd_Out(4,1,"Esc)Exit Enter)Start");}
getSeconds();
getMinutes();
getHours();
getDate();
getMonth();
getYear();
solar_coordinates();
solar_coordinates_to_lcd();

if(off_on==1)
{
                if(sun_elevation<8.0)
//
                {
//
                if(sun_elevation < -14.0)
//
                {
//
                sun_azimuth = 90.0;
//
                }
//
}
}
}

```

```

        sun_elevation = 8.0;
//
//      }
//
//      if(sun_azimuth<75.0)
//
//      {
//
//          sun_azimuth=75.0;
//
//      }
//
//      if(sun_azimuth>270.0)
//
//      {
//
//          sun_azimuth=270.0;
//
//      }
//

Lcd_Out(4,1,"Wait...          ");
take = EEPROM_Read(0x01);
if(take>0)
{
for(gptvs1=1;gptvs1!=(take+1);gptvs1++)
{
gptvs2 = gptvs1+100;
can_bus_process(gptvs2);
Delay_ms(500);
}
}
Lcd_Out(4,1,"Esc)Exit Enter)Stop ");

}

getMinutes();
gpvc3 = rtc_minutes;
getHours();
gpvc4 = rtc_hours;

if((gpvc3+time_inc_interval)<60){gpvc3=gpvc3+time_inc_interval;}
else if((gpvc3+time_inc_interval)>59){gpvc4++;
gpvc3=gpvc3+time_inc_interval-60;}
do{
getMinutes();
getHours();
keypad_k = Keypad_Key_Click();
if((gpvc3==rtc_minutes) && (gpvc4==rtc_hours)) {goto
jump_out1;}
}while((keypad_k!=13) && (keypad_k!=15));
jump_out1: asm nop;
if(keypad_k==15)

```

```

{
  if(off_on==0){off_on=1;}
  else if(off_on==1){off_on=0;}
}

}while(keypad_k!=13);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
}

void test_mode_routine(void) {
bit off_on, manual_auto;
char el_inc_interval, time_inc_interval, interval_txt[6];
int az_inc_interval;
unsigned short take, gptvs1, gptvs2;

off_on = 0;
manual_auto = 1;
az_inc_interval = 10;
el_inc_interval = 10;
time_inc_interval = 10;
sun_azimuth = 90;
sun_elevation = 10;
gpvc3 = 0;

Lcd_Out(1,1,"Test Mode( )");

do{
keypad_k = 0;

if(manual_auto==0) //diladi manual
{
  Lcd_Out(1,11,"M");
  Lcd_Out(1,17," ");
  Lcd_Out(3,4," ");
  solar_coordinates_to_lcd();
  Lcd_Out(3,7," ");
  Lcd_Out(2,12,"^ ");
  Lcd_Out(3,12,"<> ");
  Lcd_Out(4,1,"Esc)Exit Enter)Set ");
}
else if(manual_auto==1) //diladi auto
{
  Lcd_Out(1,11,"A");
  Lcd_Out(3,4," ");
  solar_coordinates_to_lcd();
  Lcd_Out(3,7," ");
  WordToStr(time_inc_interval,interval_txt);
  Lcd_Out(1,14,interval_txt);
  Lcd_Out(1,19,"s");
  Lcd_Out(2,12,"^ ");
  Lcd_Out(3,12,"<>");
  WordToStr(el_inc_interval,interval_txt);
  Lcd_Out(2,14,interval_txt);
  WordToStr(az_inc_interval,interval_txt);
  Lcd_Out(3,14,interval_txt);
  Lcd_Out(4,1,"Esc)Exit Enter)");
  if(off_on==0){Lcd_Out(4,16,"Start");}
}
}
}

```



```

        else if(off_on==1){Lcd_Out(4,16,"Stop");}
    }

if(off_on==1)    // diladi on
{
    Lcd_Out(4,1,"Wait...          ");
    take = EEPROM_Read(0x01);
    if(take>0)
    {
        for(gptvs1=1;gptvs1!=(take+1);gptvs1++)
        {
            gptvs2 = gptvs1+100;
            can_bus_process(gptvs2);
            Delay_ms(500);
        }
    }

    if(manual_auto==0)    // diladi manual
    {
        off_on=0;
    }
    else if(manual_auto==1)
    {
        getSeconds();
        gpvc3 = rtc_seconds;
        getMinutes();
        gpvc4 = rtc_minutes;

if(gpvc3+time_inc_interval<60){gpvc3=gpvc3+time_inc_interval;}
        else if(gpvc3+time_inc_interval>59){gpvc4++;
gpvc3=gpvc3+time_inc_interval-60;}
        Lcd_Out(4,1,"Esc)Exit Enter)Stop ");
        do{
            getSeconds();
            getMinutes();
            keypad_k = Keypad_Key_Click();
            if((gpvc3==rtc_seconds)&&(gpvc4==rtc_minutes)){goto
jump_out2;}
        }while((keypad_k!=13) && (keypad_k!=15));
        jump_out2: asm nop;
        if(keypad_k==15){off_on=0;}
        sun_azimuth = sun_azimuth+az_inc_interval;
        sun_elevation = sun_elevation+el_inc_interval;
        if(sun_azimuth>270) {sun_azimuth=90;}
        if(sun_elevation>90) {sun_elevation=10;}
        }
    }
else if(off_on==0)    //diladi off
{
    keypad_k==0;
    if(manual_auto==0)
    {
        do{
            keypad_k = Keypad_Key_Click();

}while((keypad_k!=14) && (keypad_k!=4) && (keypad_k!=8) && (keypad_k!=12
)&&(keypad_k!=13) && (keypad_k!=15) && (keypad_k!=16));

```

```

    if(keypad_k!=13) {
    switch(keypad_k) {
        case 4:  if(sun_elevation<81){sun_elevation+=10;}; break;
        case 8:  if(sun_elevation>19){sun_elevation-=10;}; break;
        case 12: if(sun_azimuth>99){sun_azimuth-=10;}; break;
        case 16: if(sun_azimuth<261){sun_azimuth+=10;}; break;
        case 14: manual_auto=1; break;
        case 15: off_on=1; break;
    }
    }
}
else if(manual_auto==1)
{
    keypad_k=0;
    do{
        keypad_k = Keypad_Key_Click();

}while((keypad_k!=4)&&(keypad_k!=8)&&(keypad_k!=12)&&(keypad_k!=16)
)&&(keypad_k!=13)&&(keypad_k!=14)&&(keypad_k!=15)&&(keypad_k!=3)&&
(keypad_k!=7));
    if(keypad_k!=13) {
    switch(keypad_k) {
        case 4:  if(el_inc_interval<81){el_inc_interval+=10;};
break;
        case 8:  if(el_inc_interval>9){el_inc_interval-=10;}; break;
        case 12: if(az_inc_interval>9){az_inc_interval-=10;}; break;
        case 16: if(az_inc_interval<261){az_inc_interval+=10;};
break;
        case 3:  if(time_inc_interval<55){time_inc_interval+=5;};
break;
        case 7:  if(time_inc_interval>9){time_inc_interval-=5;};
break;
        case 14: manual_auto=0; break;
        case 15: off_on=1; break;
    }
    }
}
}

}while(keypad_k!=13);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
}

void mode_routine(void) {
do{
keypad_k = 0;
Lcd_Out(1,1,"1)Sun Track mode");
Lcd_Out(2,1,"2)Test mode");

Lcd_Out(4,1,"Esc)Back");

do{
keypad_k = Keypad_Key_Click();
}while((keypad_k!=13) && (keypad_k!=1) && (keypad_k!=2));
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
}

```

```

switch (keypad_k) {
case 1: {sun_track_mode_routine(); keypad_k = 0;} break;
case 2: {test_mode_routine(); keypad_k = 0;} break;
}
}while(keypad_k != 13);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
}

//void trackers_overview_routine(void)
//void weather_station_routine(void)

void overview_routine(void) {
char txt_overview[4];
unsigned short take;

keypad_k = 0;
do{
keypad_k = 0;
Lcd_Out(1,1,"1)Trackers:");
Lcd_Out(2,1,"2)Weather Station:");
Lcd_Out(4,1,"Esc)Back");

take = EEPROM_Read(0x01);
ByteToStr(take,txt_overview);
Lcd_Out(1,12,txt_overview);

do{
keypad_k = Keypad_Key_Click();
}while((keypad_k!=13) && (keypad_k!=1) && (keypad_k!=2));
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);

switch (keypad_k) {
case 1: {trackers_overview_routine(); keypad_k = 0;} break;
case 2: {weather_station_routine(); keypad_k = 0;} break;
}
}while(keypad_k != 13);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
}

void setup_routine(void) {
unsigned short take;
keypad_k = 0;
Lcd_Out(4,1,"Esc)Back");
Lcd_Out(3,1,"3)Delete all errors");
Lcd_Out(2,1,"2)Remove 1 tracker");
Lcd_Out(1,1,"1)Add 1 tracker");
do{
Lcd_Out(4,19,"  ");
do{
keypad_k = Keypad_Key_Click();
}while((keypad_k!=13) && (keypad_k!=1) && (keypad_k!=2) &&
(keypad_k!=3));

if(keypad_k==1)
{
take = EEPROM_Read(0x01);

```

```

    if (take < 50) {
        take++;
        Lcd_Out(4, 19, "Ok");
    }
    else if (take >= 50) {Lcd_Out(4, 19, "--");}
    EEPROM_Write(0x01, take);
    keypad_k=0;
}
else if (keypad_k==2)
{
    take = EEPROM_Read(0x01);
    if (take > 0) {
        take--;
        Lcd_Out(4, 19, "Ok");
    }
    else if (take == 0) {Lcd_Out(4, 19, "--");}
    EEPROM_Write(0x01, take);
    keypad_k=0;
}
else if (keypad_k==3)
{
    for (take=0xC9; take<0xFA; take++)
    {
        EEPROM_Write(take, 0);
    }
    Lcd_Out(4, 19, "Ok");
    keypad_k=0;
}
Delay_ms(500);
}while (keypad_k!=13);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
}

//void date_time_settings(void)
//void about_routine(void)
//void settings_routine(void)

void main_menu(void) {
do{
keypad_k = 0;
Lcd_Out(1, 1, "1)Mode 2)Overview");
Lcd_Out(2, 1, "3)Setup 4)Settings");

Lcd_Out(4, 1, "Esc)Back");

do{
keypad_k = Keypad_Key_Click();
}while((keypad_k!=13) && (keypad_k!=1) && (keypad_k!=2) &&
(keypad_k!=3) && (keypad_k!=5));
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);

switch (keypad_k) {
case 1: {mode_routine(); keypad_k = 0;} break;
case 2: {overview_routine(); keypad_k = 0;} break;
case 3: {setup_routine(); keypad_k = 0;} break;
case 5: {settings_routine(); keypad_k = 0;} break; //key 5 is
number 4 in keypad

```

```

}
}while(keypad_k != 13);
}

//void home_screen(void)
//void boot_screen(void)

void main() {

CCP1CON = 0;
ECCP1CON = 0;

PCFG3_bit = 0;
PCFG2_bit = 1;
PCFG1_bit = 1;
PCFG0_bit = 1;

TRISB3_bit = 1;
TRISB2_bit = 0;
RB2_bit = 0;

TRISA = 0;
PORTA = 0;
TRISD = 0;
PORTD = 0;
TRISA = 0;
PORTA = 0;

Keypad_Init(); // Initialize Keypad

Soft_I2C_Init(); // Initialize Soft I2C communication
delay_ms(100);
//BQInit();
delay_ms(100);

//-----can-----
-
SJW = 1;
BRP = 1;
Phase_Seg1 = 6;
Phase_Seg2 = 7;
BRP = 1;
Prop_Seg = 6;

init_flag = _CAN_CONFIG_SAMPLE_THRICE & //...
            _CAN_CONFIG_PHSEG2_PRG_ON & //...
            _CAN_CONFIG_STD_MSG & //...
            _CAN_CONFIG_DBL_BUFFER_ON & //...
            _CAN_CONFIG_VALID_XTD_MSG & //...form
value to be used
            _CAN_CONFIG_LINE_FILTER_OFF; //...with
CANInit

send_flag = _CAN_TX_PRIORITY_0 & //...
            _CAN_TX_XTD_FRAME & //...form value to
be used

```

```

        _CAN_TX_NO_RTR_FRAME;                //...with CANWrite

read_flag = 0;

CANInitialize(SJW, BRP, Phase_Seg1, Phase_Seg2, Prop_Seg,
init_flag);
CANSetOperationMode(_CAN_MODE_CONFIG,0xFF);    // set
CONFIGURATION mode

mask = -1;

CANSetMask(_CAN_MASK_B1,-1,_CAN_CONFIG_XTD_MSG);    // set
all mask1 bits to ones
CANSetMask(_CAN_MASK_B2,-1,_CAN_CONFIG_XTD_MSG);    // set
all mask2 bits to ones
CANSetFilter(_CAN_FILTER_B2_F2,master_id,_CAN_CONFIG_XTD_MSG);//
set id of filter B2_F3 to 1st node ID
CANSetOperationMode(_CAN_MODE_NORMAL,0xFF);    // set
NORMAL mode
//-----can-----

Lcd_Init();                // initialize lcd
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);      // clear lcd
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // cursor off

do{
boot_screen();
}while(1);

}

```

B2 Κώδικας Ηλιακού Ιχνηλάτη (Solar Tracker)

```
#define tracker1

#define master_id 10
#ifdef tracker1
    #define tracker_id 101
#endif

#define epilogi_moter porta.f2 //...
#define panw 0 //...
#define katw 1 //...για tin epilogi toy moter

#define xiotis_pwm1_out portb.f4 // sto pin rb4 einai h
eksodos tou pwm1
#define xiotis_pwm2_out porta.f5 // sto pin rb5 einai h
eksodos tou pwm2

// Lcd pinout...
// lcd Pin direction...

//-----
unsigned char temp_data, data1[8], data2[8], data3[8]; //...
int sun_azimuth, sun_elevation; //...
unsigned short init_flag, send_flag, dt, len, read_flag; //...
char SJW, BRP, Phase_Seg1, Phase_Seg2, Prop_Seg, txt[4]; //...
long id, mask, rcv_id; //...for
CAN bus
unsigned short xiotis_pwm_timer_cnt; // for pwm
unsigned short xiotis_pwm1_var, xiotis_pwm2_var; // define pwm
variables
char txt1[7];
char txt2[7];
unsigned char gpvc1, gpvc2 ; // general
purpose variables
int gpvi1, gpvi2, gpvi3, gpvi4, gpvi5; // general
purpose variables
//-----
//-----pinakes vathmonomisis potensiometrwn me moires-----
//-----
#ifdef tracker1
const unsigned int
vathmonomisi_az[256]={70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84
,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,95,96,97,98,99,100,101,102,103,

104,105,105,106,107,108,109,110,110,111,112,113,114,115,115,116,11
7,118,119,120,120,121,122,123,124,125,125,

126,127,128,129,130,130,131,132,133,134,135,135,136,137,138,139,14
0,140,141,142,143,144,145,145,146,147,148,

149,150,150,151,152,153,154,155,155,156,157,158,159,160,160,161,16
2,163,164,165,165,166,167,168,169,170,170,
```



```

        if(xiotis_pwm_timer_cnt == 255) // an h metavliti exie
parei ton anoteri timi poy theloume
    {
        xiotis_pwm_timer_cnt = 0; // tin kanei mhden
    } //
    else // allios
    { //
        xiotis_pwm_timer_cnt++; // tin ayksanei kata 1
    } //...auto tha ginotan
etsi ki allios giati h megisti timi tou unsigned short einai 255.

```

```

        if((xiotis_pwm_timer_cnt==0) && (xiotis_pwm1_var!=0)) //
    { //
        xiotis_pwm1_out = 1; //
    } //
    if((xiotis_pwm_timer_cnt==0) && (xiotis_pwm2_var!=0)) //
    { //
        xiotis_pwm2_out = 1; //
    } //
//...logiko 1 twm pwm

```

```

        if(xiotis_pwm_timer_cnt == xiotis_pwm1_var) //
    { //
        xiotis_pwm1_out = 0; //
    } //
    if(xiotis_pwm_timer_cnt == xiotis_pwm2_var) //
    { //
        xiotis_pwm2_out = 0; //
    } //
//...logiko 0 twm pwm

```

```

        TMR2IF_bit = 0; //
katharismos tis shmaias tou interrupt tou timer2
        TMR2 = 220; //
arxikopoihsh ksana tis timis tou timer2
    }
}

```

```

//-----
-----

```

```

//void emfanisi_degrees_el (void)
//void emfanisi_adc1 (void)
//void emfanisi_degrees_az (void)
//void emfanisi_adc3 (void)

```

```

void main() {

```

```

    ECCP1M0_bit = 0; //
    ECCP1M1_bit = 0; //
    ECCP1M2_bit = 0; //
    ECCP1M3_bit = 0; //...eccp off

```

```

    PCFG0_bit=0; //
    PCFG1_bit=0; //
    PCFG2_bit=1; //
    PCFG3_bit=0; //...an0 an1 an3 analog with vdd and vss
reference

```

```

//ADC_Init();

NOT_RBPU_bit = 0; // enable pull up resistors on portb

trisb.b3=1; // input for cab bus rx
trisb.b2=0; // output for can bus tx
trisa.b0 =1; // config as input (analog 0)
trisa.b1 =1; // config as input (analog 1)
trisa.b3 =1; // config as input (analog 3)
trisa.b5 = 0; // PWM2 output
trisa.b2 = 0; // epilogi moter
trisb.b4 = 0; // PWM1 output
RB4_bit = 0; //arxikopoiisi pwm1
RA5_bit = 0; //arxikopoiisi pwm2
RA2_bit = 0; //arxikopoiisi gia epilogi moter

//-----timer2 configuration (used for software pwm)-----
T2CKPS1_bit=0; //
T2CKPS0_bit=0; //...timer2 prescaler /1
TOUTPS0_bit = 0; //
TOUTPS1_bit = 0; //
TOUTPS2_bit = 0; //
TOUTPS3_bit = 0; //...timer2 postscaler /1

TMR2=220; // timer2 init(start) value
//-----eof timer2 configuration-----

//-----interrupts configuration-----
IPEN_bit = 0; // disable priority levels on interrupts
TMR2IE_bit = 1; // enable the TMR2 to PR2 match interrupt
TMR2IF_bit = 0; // clear TMR2 to PR2 match interrupt flag
PEIE_bit=1; // enable all unmasked peripheral interrupts
GIE_bit=1; // enable all unmasked interrupts
//-----eof interrupts configuration-----

xiotis_pwm1_var = 0; //
xiotis_pwm2_var = 0; //
xiotis_pwm_timer_cnt = 0; //...init pwm variables
TMR2ON_bit = 1; // start timer2

//-----can bus config and init-----
-----
SJW = 1; //
BRP = 1; //
Phase_Seg1 = 6; //
Phase_Seg2 = 7; //
Prop_Seg = 6; //...used with CANInit

init_flag = _CAN_CONFIG_SAMPLE_THRICE & //
            _CAN_CONFIG_PHSEG2_PRG_ON & //
            _CAN_CONFIG_STD_MSG & //
            _CAN_CONFIG_DBL_BUFFER_ON & //
            _CAN_CONFIG_VALID_XTD_MSG & //
            _CAN_CONFIG_LINE_FILTER_OFF; //...form value to be
used with CANInit

```

```

send_flag = _CAN_TX_PRIORITY_0 & //
           _CAN_TX_XTD_FRAME & //
           _CAN_TX_NO_RTR_FRAME; //...form value to be used with
CANWrite

read_flag = 0; // value to be used with
CANRead

CANInitialize(SJW, BRP, Phase_Seg1, Phase_Seg2, Prop_Seg,
init_flag);

CANSetOperationMode(_CAN_MODE_CONFIG,0xFF); // set CONFIGURATION
mode

mask = -1;

CANSetMask(_CAN_MASK_B1,-1,_CAN_CONFIG_XTD_MSG); // set
all mask1 bits to ones
CANSetMask(_CAN_MASK_B2,-1,_CAN_CONFIG_XTD_MSG); // set
all mask2 bits to ones
CANSetFilter(_CAN_FILTER_B2_F4,tracker_id,_CAN_CONFIG_XTD_MSG);//
set id of filter B2_F4 to trackers ID

CANSetOperationMode(_CAN_MODE_NORMAL,0xFF); // set
NORMAL mode
//-----eof can bus config and init-----
//-----

//Lcd Initialize, config, and output messages for debug purposes

do{

data1[0] = 0; //
data2[0] = 0; //
rcv_id = 0; //
dt = 0; //...init values gia kalo kai gia kako

do{
// Wait for the message...
dt = 0;
// ...'SUN' via CAN bus...
while(!dt)dt = CANRead(&rcv_id, data1, &len, &read_flag);
// ...with the specific...
}while((rcv_id != tracker_id) && (data1[0] != 'S') && (data1[1]
!= 'U') && (data1[2] != 'N')); // ...trackers id.

do{
data2[0] = 'R'; //...
data2[1] = 'E'; //...
data2[2] = 'A'; //...
data2[3] = 'D'; //...
data2[4] = 'Y'; //...prepare 'READY' message and...
CANWrite(master_id, data2, 5, send_flag); //...send it to master
delay_ms(50);
dt = 0; //...

```

```

    while(!dt) dt = CANRead(&rcv_id, data3, &len, &read_flag);
//...read messages via can...
}while((rcv_id != tracker_id) && (data3[0] != 'A') && (data3[1]
!= 'Z') && (data3[4] != 'E') && (data3[5] != 'L')); //...until
master sends you the array with sun coordinates

    data2[0] = 'O'; //...
    data2[1] = 'K'; //...
    CANWrite(master_id, data2, 2, send_flag); //...send 'OK' to
master via can bus

    sun_azimuth = data3[2]+40; // take sun azimuth from the
array(o master eixe afairesei 40)
    ByteToStr(sun_azimuth,txt); // convert it to string
// Lcd_Out(1,4,txt); // and display it to lcd

    sun_elevation = data3[5]; // take sun elevation from the
array
    ByteToStr(sun_elevation,txt); // convert it to string
// Lcd_Out(2,4,txt); // and display it to lcd

//enarksi elegxwn kai kinisewn
do{ //enarksi elegxou kai kinisis azimuthiou
    gpvc1=ADC_read(3)/4;
// emfanisi_degrees_az();
    if(sun_azimuth > (vathmonomisi_az[gpvc1]+1)) //elegxos kai
kinisi azmimuthiou
    {
        epilogi_moter = katw;
        Delay_ms(100);
        xiotis_pwm1_var = 10;
        xiotis_pwm2_var = 0;

        do{
            gpvc1=ADC_read(3)/4;
            gpvi1 = gpvc1;
            epilogi_moter = katw;
            Delay_ms(200);
// emfanisi_degrees_az();
            gpvc1=ADC_read(3)/4;
            if(sun_azimuth <= (vathmonomisi_az[gpvc1]+1))
            {
                goto escape_flag;
            }
            Delay_ms(200);
// emfanisi_degrees_az();
            gpvc1=ADC_read(3)/4;
            if(sun_azimuth <= (vathmonomisi_az[gpvc1]+1))
            {
                goto escape_flag;
            }
            Delay_ms(100);
// emfanisi_degrees_az();
            gpvc1=ADC_read(3)/4;
            if(gpvi1 >= gpvc1)
            {
                xiotis_pwm1_var += 10;

```

```

    xiotis_pwm2_var = 0;
        if(xiotis_pwm1_var >= 220)
            {
                xiotis_pwm1_var = 220;
            }
    }
    escape_flag: asm nop;
    }while(sun_azimuth > (vathmonomisi_az[gpvc1]+1));
}
else if(sun_azimuth < (vathmonomisi_az[gpvc1]-1))
{
    epilogi_moter = katw;
    Delay_ms(100);
    xiotis_pwm1_var = 0;
    xiotis_pwm2_var = 10;

    do{
        gpvc1=ADC_read(3)/4;
        gpvil = gpvc1;
        epilogi_moter = katw;
        Delay_ms(200);
//    emfanisi_degrees_az();
        gpvc1=ADC_read(3)/4;
        if(sun_azimuth >= (vathmonomisi_az[gpvc1]-1))
            {
                goto escape_flag2;
            }
        Delay_ms(200);
//    emfanisi_degrees_az();
        gpvc1=ADC_read(3)/4;
        if(sun_azimuth >= (vathmonomisi_az[gpvc1]-1))
            {
                goto escape_flag2;
            }
        Delay_ms(100);
//    emfanisi_degrees_az();
        gpvc1=ADC_read(3)/4;
        if(gpvil <= gpvc1)
            {
                xiotis_pwm1_var = 0;
                xiotis_pwm2_var += 10;
                if(xiotis_pwm2_var >= 220)
                    {
                        xiotis_pwm2_var = 220;
                    }
            }
        escape_flag2: asm nop;
    }while(sun_azimuth < (vathmonomisi_az[gpvc1]-1));
}
    gpvc1=ADC_read(3)/4;
//    emfanisi_degrees_az();
    }while((sun_azimuth < (vathmonomisi_az[gpvc1]-1)) ||
(sun_azimuth > (vathmonomisi_az[gpvc1]+1)));

    xiotis_pwm1_var = 0;    //...
    xiotis_pwm2_var = 0;    //...stamatima tou moter

    do{    //enarksi elegxou kai kinisis elevation

```

```

    gpvc2=ADC_read(1)/4;
    // emfanisi_degrees_el();
    if(sun_elevation > (vathmonomisi_el[gpvc2]+1)) //elegxos kai
    kinisi elevation
    {
        epilogi_moter = panw;
        Delay_ms(100);
        xiotis_pwm1_var = 10;
        xiotis_pwm2_var = 0;

        do{
            gpvc2=ADC_read(1)/4;
            gpvi2 = gpvc2;
            epilogi_moter = panw;
            Delay_ms(200);
        //    emfanisi_degrees_el();
            gpvc2=ADC_read(1)/4;
            if(sun_elevation <= (vathmonomisi_el[gpvc2]+1))
            {
                goto escape_flag3;
            }
            Delay_ms(200);
        //    emfanisi_degrees_el();
            gpvc2=ADC_read(1)/4;
            if(sun_elevation <= (vathmonomisi_el[gpvc2]+1))
            {
                goto escape_flag3;
            }
            Delay_ms(100);
        //    emfanisi_degrees_el();
            gpvc2=ADC_Read(1)/4;
            if(gpvi2 >= gpvc2)
            {
                xiotis_pwm1_var += 10;
                xiotis_pwm2_var = 0;
                if(xiotis_pwm1_var >= 180)
                {
                    xiotis_pwm1_var = 180;
                }
            }
            escape_flag3: asm nop;
        }while(sun_elevation > (vathmonomisi_el[gpvc2]+1));
    }
    else if(sun_elevation < (vathmonomisi_el[gpvc2]-1))
    {
        epilogi_moter = panw;
        Delay_ms(100);
        xiotis_pwm1_var = 0;
        xiotis_pwm2_var = 5;

        do{
            gpvc2=ADC_read(1)/4;
            gpvi2 = gpvc2;
            epilogi_moter = panw;
            Delay_ms(200);
        //    emfanisi_degrees_el();
            gpvc2=ADC_read(1)/4;
            if(sun_elevation >= (vathmonomisi_el[gpvc2]-1))

```

```

    {
    goto escape_flag4;
    }
    Delay_ms(200);
//    emfanisi_degrees_el();
    gpvc2=ADC_read(1)/4;
    if(sun_elevation >= (vathmonomisi_el[gpvc2]-1))
    {
    goto escape_flag4;
    }
    Delay_ms(100);
//    emfanisi_degrees_el();
    gpvc2=ADC_read(1)/4;
    if(gpvi2 <= gpvc2)
    {
    xiotis_pwm1_var = 0;
    xiotis_pwm2_var += 5;
        if(xiotis_pwm2_var >= 180)
        {
            xiotis_pwm2_var = 180;
        }
    }
    escape_flag4: asm nop;
    }while(sun_elevation < (vathmonomisi_el[gpvc2]-1));
}
gpvc2=ADC_read(1)/4;
//    emfanisi_degrees_el();

    }while((sun_elevation < (vathmonomisi_el[gpvc2]-1)) ||
(sun_elevation > (vathmonomisi_el[gpvc2]+1)));

    xiotis_pwm1_var = 0;    //...
    xiotis_pwm2_var = 0;    //...stamatima tou moter

    data2[0] = 'S';        //...
    data2[1] = 'E';        //...
    data2[3] = 'T';        //...
    CANWrite(master_id,data2,3,send_flag);    //...steile to minima
'SET' ston Master

    Delay_ms(150);
}while(1);

} // end of main function

```

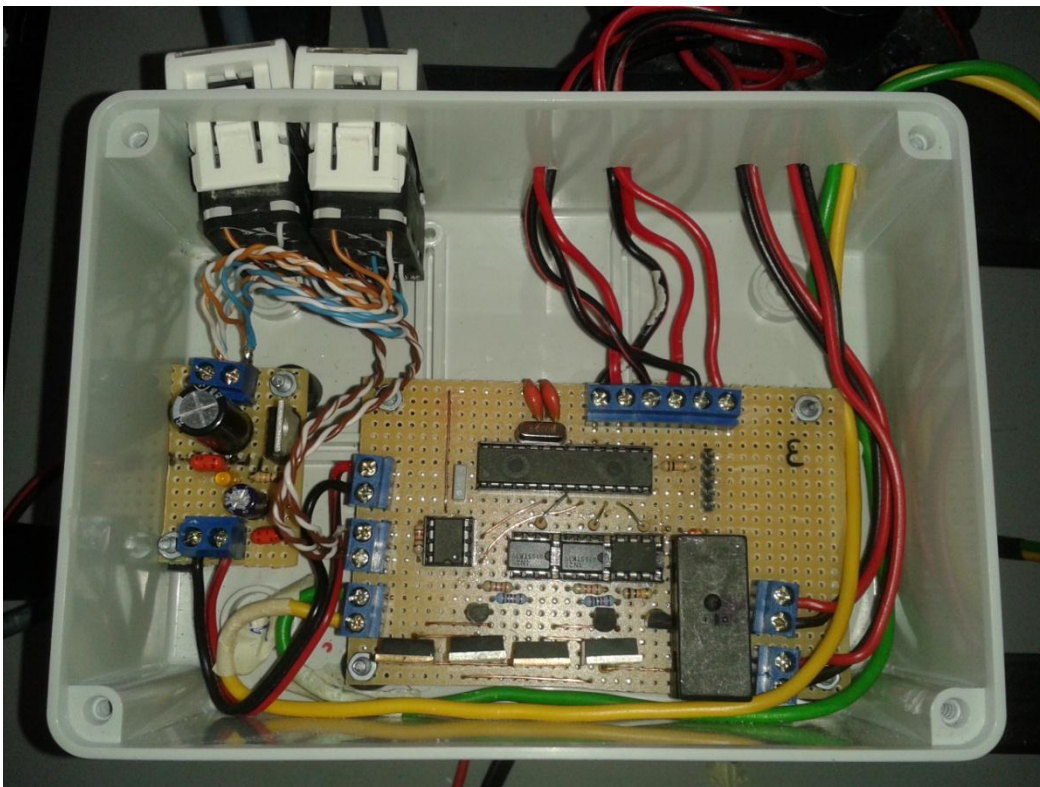
Παράρτημα Γ
Γ1 Φωτογραφικό Υλικό Project



Μονάδα Ηλιακού Ιχνηλάτη



Λεπτομέρεια Μηχανικού Τμήματος Ηλιακού Ιχνηλάτη



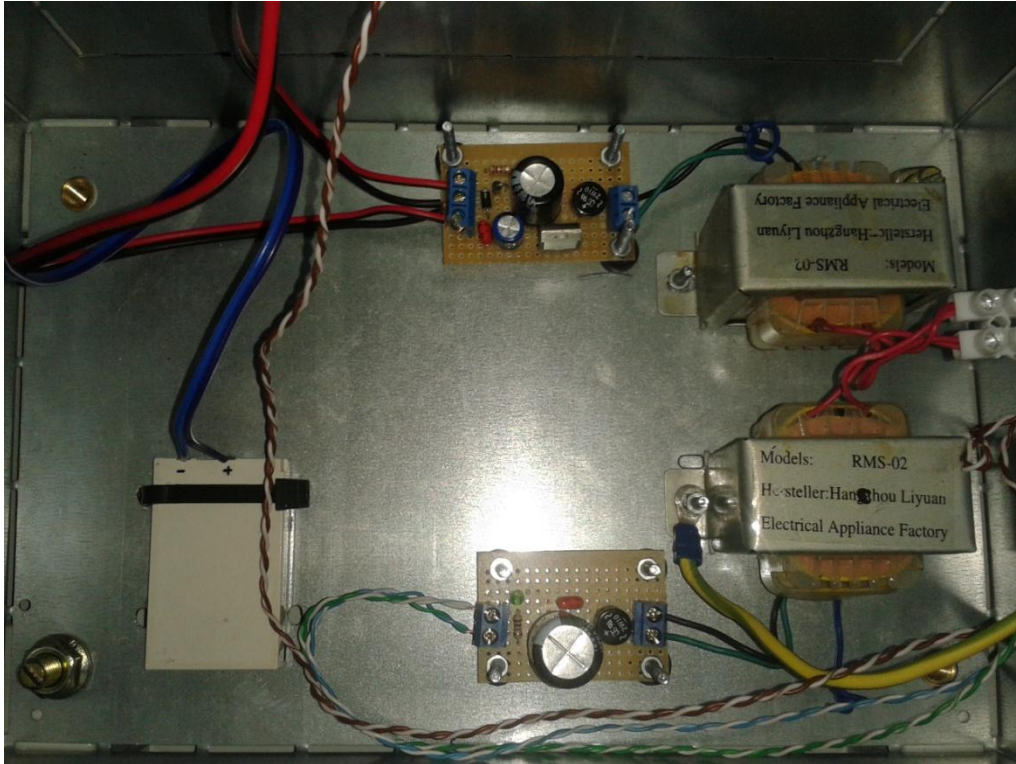
Ηλεκτρονική Μονάδα Ηλιακού Ιχνηλάτη Αριστερά Φαίνεται η Πλακέτα Τροφοδοσίας και Δεξιά η Πλακέτα Ελέγχου



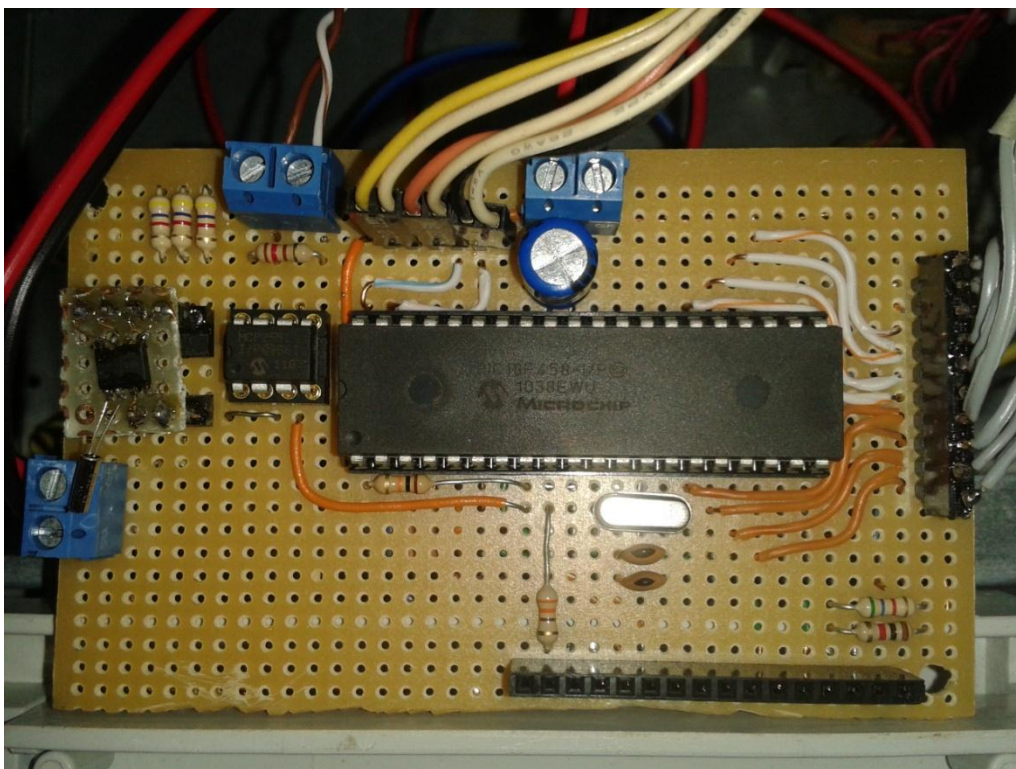
Κεντρική Μονάδα (Master)



Βύσμα Τροφοδοσίας Κεντρικής Μονάδας και Πρίζα RJ-45 του Δικτύου CAN



Οι Δύο Τροφοδοτικές Διατάξεις της Κεντρικής Μονάδας



Ηλεκτρονική Πλακέτα Ελέγχου Κεντρικής Μονάδας



Τελικό Project