ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ INVERTER ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

Wireless serial transmission from photovoltaic Inverter

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ : ΑΜΠΑΤΖΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ – ΚΑΣ 512004
Επιβλέπων καθηγητής : κος ΑΓΓΕΛΟΣ ΓΙΑΚΟΥΜΗΣ

Κωδικός εργασίας : 16214Μ

ΑΝΑΘΕΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ : 16-Νοε-2016

ΠΕΡΑΤΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ : 2-Φεβ-2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θέλω να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο της πτυχιακής μου εργασίας κο. Άγγελο Γιακουμή για την ανάθεση της εργασίας καθώς και την πολύτιμη βοήθεια κατά την διάρκεια της περαίωσης της.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξη και την κατανόηση που μου έδειξαν και συνεχίζουν να μου δείχνουν όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Το Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας είναι η ασύρματη εξαγωγή των δεδομένων που αποθηκεύονται σε έναν αντιστροφέα μίας διασυνδεδεμένης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και η μεταφορά και αποθήκευσή τους σε οποιοδήποτε απομακρυσμένο σημείο με χρήση του διαδικτύου. Η εργασία αναπτύσσεται σε τέσσερις ενότητες.

Στην πρώτη ενότητα γίνεται μία εισαγωγή στα στοιχεία που παρουσιάζουν φωτοβολταϊκές ιδιότητες. Αναφερόμαστε στον τρόπο λειτουργίας, στις διαφορές που παρουσιάζουν σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τα περιβαλλοντικά οφέλη που παρουσιάζουν.

Στην δεύτερη ενότητα, παρατίθενται τα φωτοβολταϊκά ως συστήματα με όλες τις μονάδες που τα αποτελούν. Γίνεται λεπτομερής αναφορά στους Inverter φωτοβολταϊκών, στα πάνελ καθώς και στις μελλοντικές εξελίξεις της τεχνολογίας τους.

Στην τρίτη ενότητα, γίνεται αναφορά στην σειριακή επικοινωνία και ειδικότερα στους ασύγχρονους πομποδέκτες καθώς ο αντιστροφέας που μελετήθηκε επικοινωνεί με ασύγχρονα σειριακά δεδομένα χρησιμοποιώντας το πρότυπο RS-485. Προσδιορίζεται η δομή και τα βασικά χαρακτηριστικά ενός ασύγχρονου πακέτου δεδομένων ενώ το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με τα σημαντικότερα πρωτόκολλα ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας και τις αρχές που τα διέπουν.

Στην τέταρτη ενότητα παρατίθεται η κατασκευή των κυκλωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν και ακολουθούν τα συμπεράσματα που αντλήθηκαν από την παρακολούθηση των δεδομένων και οι βελτιώσεις που μπορούν να επιτευχθούν.

Abstract

The subject of dissertation thesis is the wireless collection of the data stored in a photovoltaic inverter with transfer and outside store from any remote point using internet. The thesis develops in four sections.

The first section introduces elements that present photovoltaic properties. With regard to the mode of operation, the differences that they present in relation to the other systems of electricity generation and the environmental benefits they present.

In the second section, photovoltaics is referred as systems with all the units they form. A detailed reference is made for photovoltaic inverters, panels, and future developments in their technology.

In the third section, reference is made to serial communication and in particular to asynchronous transceivers as the studied inverter communicates with asynchronous serial data using the RS-485 standard. The structure and basic features of an asynchronous data packet are determined while the chapter concludes with the most important asynchronous serial communication protocols and the principles that govern them.

The fourth section outlines the construction of the circuits used and PCB, follows the conclusions drawn from the monitoring of the data and the improvements that can be achieved

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή 1
1.1 Αντικείμενο της εργασίας 1
1.2 Διάρθρωση της εργασίας 1
2. Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά 3
2.1 Ηλιακή ενέργεια 3
2.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο 4
2.3 Φωτοβολταϊκό στοιχείο 4
2.3.1 Τρόπος επεξεργασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων 7
2.3.2 Τρόπος λειτουργίας 8
2.4 Τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων 9
2.4.1 Βαθμός απόδοσης 9
2.4.2 Συντελεστής πληρότητας 9
2.5 Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων 10
2.5.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο 10
2.5.1 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο 11
2.5.2 Ταινία πυριτίου 11
2.5.3 Νέες Τεχνολογίες 13
3. Φωτοβολταϊκά Συστήματα 15
3.1 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων 15
3.1.1 Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα 16
3.1.2 Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά συστήματα 17
3.2 Ανάλυση Φωτοβολταϊκών μονάδων 18
3.2.1 Φωτοβολταϊκά πάνελ 18
3.2.2 Συσσωρευτές 19
3.2.3 Ελεγκτής φόρτισης 24
3.2.4 Inverter 25
3.3 Επίδραση της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον 30
3.4 Μελλοντικές εξελίξεις 32
4. Σειριακή Επικοινωνία 35
4.1 Εισαγωγή στην σειριακή επικοινωνία 35
4.2 Ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία - UART 38
4.2.1 Τρόπος λειτουργείας των ασύγχρονων πομποδεκτών UART 38
4.2.2 Τα βασικά χαρακτηριστικά των ασύγχρονων επικοινωνιών 40

4.3 Πρωτόκολλα σειριακής επικοινωνίας 42
4.3.1 RS-232 42
4.3.2 RS-422/485 43
4.3.3 USB 44
5. Κατασκευή 47
5.1 Επιλογή ολοκληρωμένων 47
5.1.1 Οδηγός του προτύπου RS-485 47
5.1.2 Οδηγός του προτύπου RS-232 48
5.1.3 Μικροελενκτής 49
5.1.4 SD/MMC 49
5.2 Επικοινωνία του Inverter με τον υπολογιστή 50
5.3 Μεταφορά RS-485 δεδομένων μέσω διαδικτύου 54
5.3.1 Διαδίκτυο 54
5.3.2 Ολοκληρωμένα κυκλώματα οδήγησης δεδομένων μέσω Wi-Fi 55
5.3.3 Λήψη και αποθήκευση των δεδομένων του αντιστροφέα 57
5.4 Αποτελέσματα σύνδεσης του Inverter με τον υπολογιστή 65
5.4.1 Προσομοίωση του Inverter με έναν μικροελενκτή 66
5.5 Ο τρόπος κατασκευής πλακέτας 68
5.5.1 Υλικό κατασκευής πλακετών 68
5.5.2 Είδη πλακετών και προετοιμασίας 69
5.5.3 Τρόπος κατασκευής πλακετών. 71
Συμπεράσματα της εργασίας 73
Παράρτημα 75
Βιβλιογραφία – Παραπομπές 93
Εικόνες 95

1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η επιστήμη βιώνει ραγδαία ανάπτυξη σε όλους τους τομείς. Από τις κοινωνικές έως τις θετικές και τις τεχνολογικές επιστήμες. Κάθε κλάδος βοηθάει τους υπόλοιπους να αναπτυχθούν καθώς τα πάντα εξελίσσονται στον κόσμο. Μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη, δίνει η πρόοδος της τεχνολογίας. Η μαζική ολοκλήρωση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων σηματοδότησε την μετάβαση στην ψηφιακή εποχή, δίνοντας το έναυσμα για ανάπτυξη καινοτόμων ιδεών και την υλοποίηση πολύπλοκων εφαρμογών. Οι περισσότερες λειτουργίες και εφαρμογές των αναλογικών ηλεκτρονικών είναι πλέων πραγματοποιήσιμες με τους μικροελεγκτές. Πάνω σε αυτή την ιδιότητα, γεννήθηκε η ιδέα της πτυχιακής μου εργασίας καθώς ένα μεγάλο μέρος των εφαρμογών που κυκλοφορούν στην αγορά, πραγματοποιούνται με την χρήση κάποιου μικροελεγκτή.

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η ασύρματη μεταφορά των σειριακών δεδομένων που αντιπροσωπεύουν τις αποθηκευμένες μετρήσεις ενός inverter φωτοβολταϊκού συστήματος μεταφορά μέσω Wi-Fi. Η λήψη των δεδομένων πραγματοποιείται από μια συσκευή που μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε τοποθεσία διαθέτει ίντερνετ. Ο δέκτης, συλλέγει τα δεδομένα και τα αποθηκεύει σε μία κάρτα μνήμης SD με χρονική σφραγίδα ώστε στην απεικόνισή τους να υπάρχει η δυνατότητα επιλογής των μετρήσεων. Η απεικόνιση επιτυγχάνεται συνδέοντας την συσκευή με έναν υπολογιστή μέσω ενός σειριακού καλωδίου. Η επιλογή των μετρήσεων γίνεται πάνω από την συσκευή, με την χρήση τριών διακοπτών και την οθόνη υγρών κρυστάλλων.

1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία θα αναπτυχθεί σε πέντε συνολικά κεφάλαια. Αρχικά, γίνεται μία εισαγωγή στο θέμα, όπου παραθέτετε η πορεία και το αντικείμενο της εργασίας μαζί με την περίληψη. Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται ορισμοί όπως το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και ο βαθμός απόδοσης, γίνεται μία αναφορά στη δομή του φωτοβολταϊκού στοιχείου και τον τρόπο επεξεργασίας, τα χαρακτηριστικά του και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Στην συνέχεια γίνεται μία εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Πραγματεύεται η δομή τους καθώς και τις κατηγορίες των συστημάτων που υπάρχουν, αναλύονται οι επί μέρους μονάδες τους και τέλος γίνεται μία αναφορά στις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων, την επίδραση τους στο περιβάλλον καθώς και τις μελλοντικές εξελίξεις.

Ολοκληρώνοντας τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειάζονται να γνωρίζουμε σε μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση συνεχίζουμε με τον τρόπο επικοινωνίας του Inverter, την ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία. Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύονται τα πρωτόκολλα ασύγχρονης επικοινωνίας και ο τρόπος λειτουργίας των ασύγχρονων πομποδεκτών (UART). Στην συνέχεια, παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά μία ασύγχρονης σειριακής ζεύξης ολοκληρώνοντας με την δομή ενός πακέτου μετάδοσης (byte).

Την σειριακή επικοινωνία, ακολουθεί η σύνδεση του Inverter με το διαδίκτυο και ο τρόπος που ανοίγει μία δίοδος επικοινωνίας του εσωτερικού με το εξωτερικό δίκτυο κλείνοντας με την μονάδα που χρησιμοποιεί πρωτόκολλα TCP/IP και δίνει την δυνατότητα εισόδου στο διαδίκτυο στην μονάδα. Ακόμα, παρουσιάζονται οι τεχνικές κατασκευής ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και η τελική κατασκευή που συνδέεται με τον Inverter των φωτοβολταϊκών.

Τέλος, ακολουθεί ο κώδικας προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε στον μικροελεγκτή καθώς και στην προσομοίωση επικοινωνίας του Inverter με τον υπολογιστή, με τις παραπομπές και το λεξικό όρων να καταλαμβάνουν τις τελευταίες σελίδες της εργασίας.

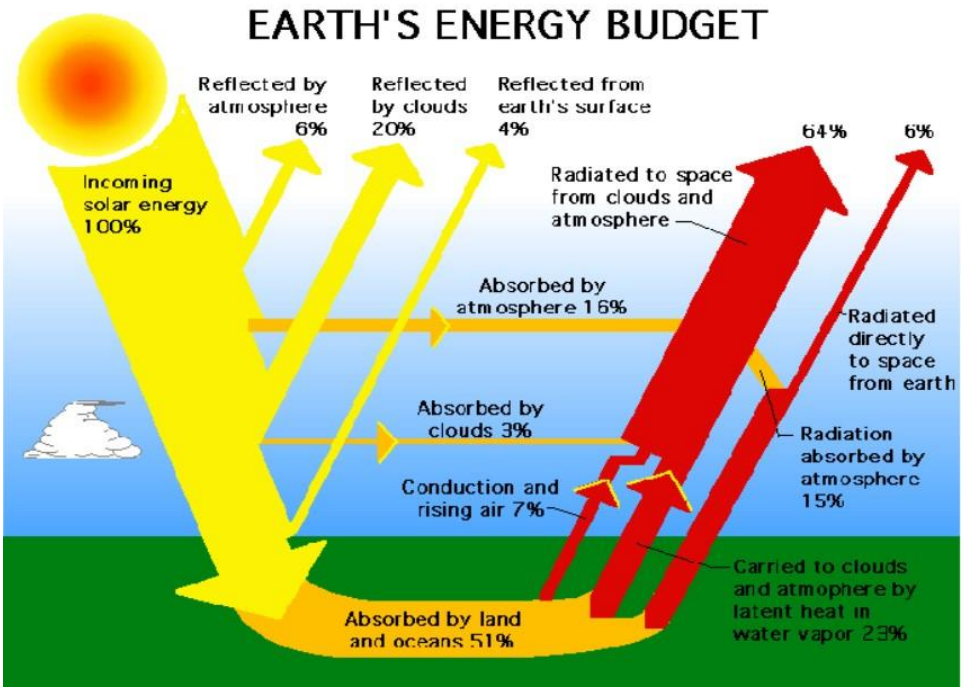
2 Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά

Ο όρος φωτοβολταϊκό, αναφέρεται σε στοιχεία που έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν ένα μέρος της ενέργειας των ακτινών του ηλίου σε ηλεκτρική. Όταν προσπίπτει ηλιακό φως στην επιφάνεια του στοιχείου, αναπτύσσεται μία διαφορά δυναμικού στα άκρα του, δημιουργώντας ένα δίπολο. Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο ονομάζεται και κύτταρο, ενώ έχει επικρατήσει η χρήση της σύντμησης Φ/Β και PV. Στο παρόν κεφάλαιο, αναπτύσσονται λεπτομερώς τα στοιχεία που παρουσιάζουν φωτοβολταϊκές ιδιότητες. Αναλύονται οι παράγοντες και οι παράμετροι που επηρεάζουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και τέλος γίνεται αναφορά στην επίδραση των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον.

2.1 Ηλιακή ενέργεια

Με τον όρο φως, αναφερόμαστε στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπει ο ήλιος. Οι ακτίνες του ήλιου μεταφέρουν ενέργεια μέσω πολύ μικρών σωματιδίων, τα φωτόνια. Αυτά, διαθέτουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος με αποτέλεσμα το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες να μεταφέρει περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο και το υπέρυθρο. Η ενέργεια του ήλιου φτάνει σχεδόν αμετάβλητη στο ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας της γης όμως κατά την διέλευση της στην ατμόσφαιρα υπόκειται σε σημαντικές αλλαγές οι οποίες οφείλονται στην σύσταση της ίδιας της ατμόσφαιρας. Έτσι, στην επιφάνεια της γης φτάνει μόνο ένα μικρό μέρος της ακτινοβολίας που προέρχεται άμεσα από τον ήλιο. Το υπόλοιπο, είτε απορροφάτε από τις διάφορες αέριες μάζες και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας είτε ανακλάται πίσω στο διάστημα, ή μέσω διαδοχικών ανακλάσεων επιστρέφει στην επιφάνεια της γης. Η ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μετά από διαδοχικές ανακλάσεις δεν έχει συγκεκριμένη διεύθυνση και ονομάζεται διάχυτη ακτινοβολία. Στο σχήμα 2.1 αποτυπώνει την ροή της ηλιακής ενέργειας από την στιγμή που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα.

Η ηλιακή ακτινοβολία κατανέμεται ανομοιόμορφα στις διάφορες περιοχές της γης. Περιοχές κοντά στον ισημερινό λαμβάνουν περισσότερη ακτινοβολία από οποιεσδήποτε άλλες. Το καλοκαίρι αλλά και τις μεσημεριανές ώρες, εμφανίζεται αύξηση στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης.



Σχήμα 2.1 - Ποσοστιαία κατανομή της ηλιακής ενέργειας που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα

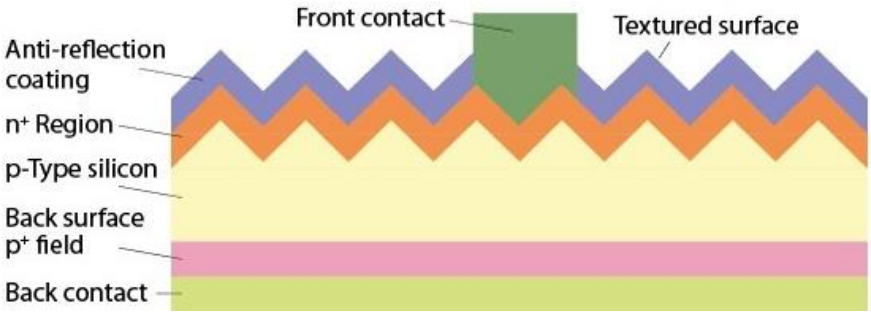
2.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Όταν προσπίπτει φωτεινή ακτινοβολία σε ένα υλικό μέσο, τα ηλεκτρόνια του υλικού απορροφούν την ενέργεια που μεταφέρουν τα φωτόνια και διεγείρονται. Ως αποτέλεσμα, μεταπηδούν στην επόμενη ενεργειακή στάθμη (στοιβάδα). Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι στενά συνδεδεμένο με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και έχει παρόμοια ερμηνεία. Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο τα ηλεκτρόνια αποχωρίζονται από το υλικό, ενώ στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο δημιουργείται μία διαφορά δυναμικού στα άκρα του υλικού [i]. Οι ηλιακές ακτίνες πρέπει να μεταφέρουν ένα επαρκές ποσό ενέργειας ώστε να ξεπερνά την ενέργεια που απαιτείται για διέγερση. Κάθε στοιχείο διαθέτει διαφορετικό ατομικό αριθμό. Ανάλογα με τον ατομικό του αριθμό, έχει διαφορετική εξωτερική στοιβάδα και διαφορετικό αριθμό ηλεκτρονίων σε αυτή, οπότε χρειάζεται διαφορετικό ποσό ενέργειας για να διεγερθεί ένα ηλεκτρόνιο από και προς το στοιχείο. Όσο μεγαλύτερο ατομικό αριθμό έχει το στοιχείο τόσο ευκολότερη είναι η διέγερση ενός ηλεκτρονίου του, η οποία συνηθίζεται να μετράτε σε ηλεκτρονιοβόλτ (eV).

2.3 Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Όταν το φως προσπίπτει στην επιφάνεια ενός υλικού, τότε ένα μέρος του ανακλάται, ένα άλλο τη διαπερνά και το υπόλοιπο απορροφάτε από το υλικό της επιφάνειας. Η

απορρόφηση του φωτός, ουσιαστικά σημαίνει τη μετατροπή του σε άλλη μορφή ενέργειας η οποία συνήθως είναι θερμότητα. Όμως, υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των φωτονίων που προσπίπτουν στην επιφάνειά τους, σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι ημιαγωγοί όπως το πυρίτιο, το αρσενιούχο γάλλιο, το τελουριούχο κάδμιο, ο δισελινοϊνδιούχος χαλκός και παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες με μία δίοδο. Ωστόσο, το στοιχείο του κρυσταλλικού πυριτίου παραμένει το ευρύτερα διαδεδομένο φωτοβολταϊκό στοιχείο στον πλανήτη [ii].

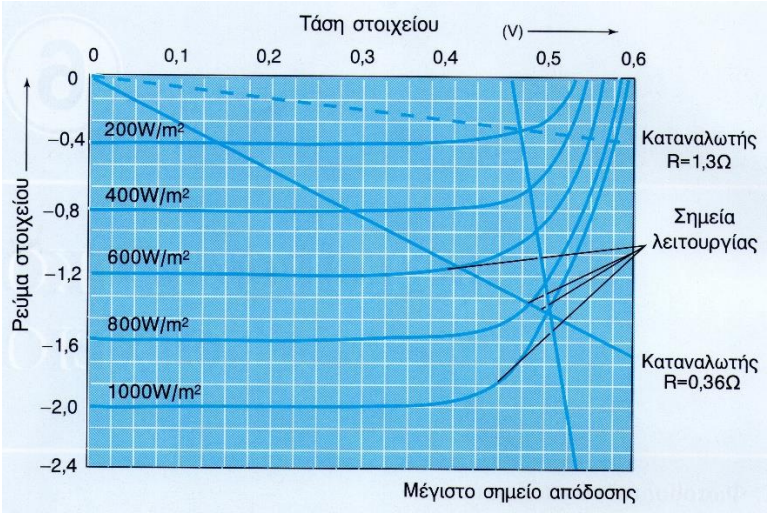


Σχήμα 2.2 – Η Δομή ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου πυριτίου

Τα ηλιακά στοιχεία παρουσιάζουν μία χαρακτηριστική παρόμοια με αυτή της διόδου, με την διαφορά στο τεταρτημόριο που εμφανίζεται. Η δίοδος καταναλώνει ενέργεια και για τον λόγο αυτό η χαρακτηριστική της εμφανίζεται στο πρώτο τεταρτημόριο όπου το ρεύμα και η τάση έχουν θετικές τιμές. Ωστόσο, δεν συμβαίνει το ίδιο με το φωτοβολταϊκό στοιχείο το οποίο παρουσιάζει χαρακτηριστική στο τέταρτο τεταρτημόριο αφού αποδίδει ενέργεια με την ίδια πολικότητα τάσης όπως η δίοδος, αντίστοιχη με το σχήμα 2.3. Η χαρακτηριστική, αποτελεί το σημείο λειτουργίας του στοιχείου σε κάθε δυνατή κατάσταση, όπου επηρεάζεται από την ποσότητα της ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνειάς του. Ανάλογα με την ακτινοβολία, παρουσιάζεται μία διαφορετική καμπύλη με μεγαλύτερη ισχύ όσο η ακτινοβολία αυξάνεται. Το σημείο λειτουργίας επηρεάζεται από δύο παράγοντες. Αρχικά, την ένταση της ακτινοβολίας, η οποία μεταβάλει την θέση της χαρακτηριστικής και δεύτερον, από την επιβάρυνση φορτίου στο ηλιακό στοιχείο. Όσο μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις έχει το φορτίο (όσο μεγαλύτερο φορτίο, μικρότερη αντίσταση) τόσο μικρότερη τάση θα δεσμευθεί από το φορτίο και σαν αποτέλεσμα έχει μεγαλύτερη άντληση ρεύματος μετατοπίζοντας το σημείο λειτουργίας περισσότερο αριστερά. Σε περίπτωση που δεν χρειάζονται μεγάλες ενεργειακές ανάγκες και το φορτίο είναι μικρό (μεγάλη αντίσταση), το σημείο λειτουργίας μετατοπίζεται αντίθετα από τον άξονα Y καθώς το ρεύμα μειώνεται.

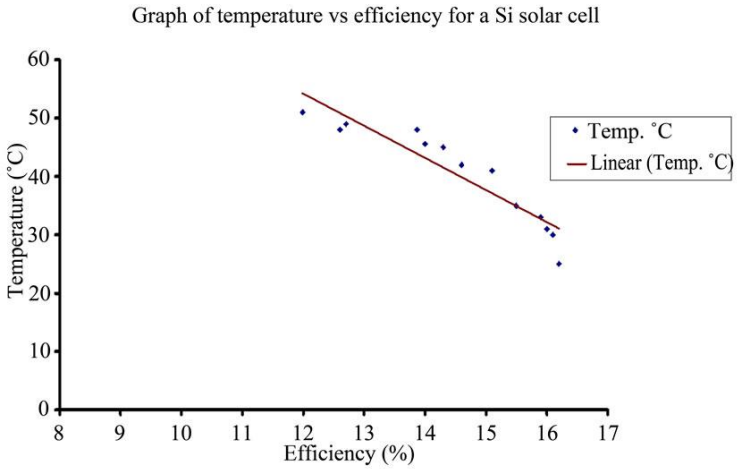
Το σημείο μέγιστης ισχύος, βρίσκεται στην περιοχή της καμπύλης όπου η κλήση πλησιάζει τις 90 μοίρες. Σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται ο μεγαλύτερος λόγος τιμών τάσης και ρεύματος με το εμβαδόν του ορθογωνίου που σχηματίζεται με τους άξονες, εκφράζει την ηλεκτρική ισχύ του στοιχείου.

Το ενεργό σημείο MPP[1] χαρακτηρίζει την μέγιστη ισχύ ενός στοιχείου σε μία συγκεκριμένη ακτινοβολία και βρίσκεται στην τομή την καμπύλης με το μέγιστο σημείο απόδοσης όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3. Η μέγιστη τάση του στοιχείου και το μέγιστο ρεύμα τροφοδότησης, εμφανίζονται στα σημεία που η καμπύλη τέμνει τους άξονες και ονομάζονται αντίστοιχα ρεύμα βραχυκυκλώματος (I_{SC}) και τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{OL}).



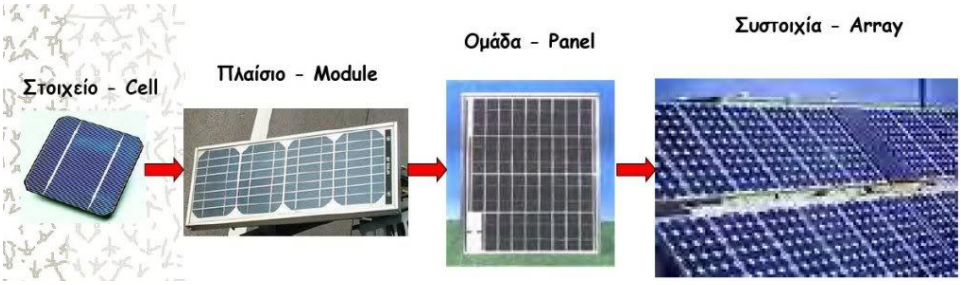
Σχήμα 2.3 – Καμπύλη της ισχύος των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε συνάρτηση με την ακτινοβολία που δέχονται σε κάθε τετραγωνικό μέτρο.

Η απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας δίνεται σε μονάδες ακτινοβολίας W/m^2 και αποτελεί μέτρο σύγκρισης για τα διαφορετικά στοιχεία. Στην πράξη, η θερμοκρασία έχει σημαντική ευθύνη στην μείωση της απόδοσης των στοιχείων καθώς σε έντονο ηλιακό φως, το στοιχείο θερμαίνεται αναπτύσσοντας θερμοκρασίες που μπορεί να ξεπεράσουν τους 100°C. Μελέτες έχουν δείξει πως ο βαθμός απόδοσης μειώνεται περίπου 0.5% για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό [iii].



Σχήμα 2.4 – Διάγραμμα αποδοτικότητας-θερμοκρασίας στοιχείων πυριτίου.

Μερικά φωτοβολταϊκά στοιχεία ηλεκτρονικά συνδεδεμένα το ένα από το άλλο συνθέτουν μία φωτοβολταϊκή κυψέλη. Με την σειρά τους, μερικές κυψέλες συνθέτουν ένα πλαίσιο και ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε μία ενιαία κατασκευή έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ονομάζεται φωτοβολταϊκό πάνελ. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ του εμπορίου είναι μία σύνθεση από αρκετές φωτοβολταϊκές κυψέλες συνδεδεμένες μεταξύ τους, επικαλυμμένες με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένες σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο. Ο διαχωρισμός των πάνελ γίνεται με την τιμή της ονομαστικής ισχύς που αποδίδουν, η οποία διαφέρει ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ από 70 έως 85 W, ενώ μεγαλύτερα πάνελ μπορεί να φτάσουν τα 200 W ή και παραπάνω [iv].



Σχήμα 2.5 – Μονάδες φωτοβολταϊκών

2.3.1 Τρόπος επεξεργασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Κάθε κρυσταλλικός ημιαγωγός, για να έχει ικανοποιητικές ιδιότητες για φωτοβολταϊκές και γενικότερα για ηλεκτρονικές εφαρμογές, θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλης καθαρότητας και το κρυσταλλικό τους πλέγμα να μην έχει αταξίες δομής. Τα άτομα των ημιαγώγιμων υλικών, συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς οι οποίοι είναι δυνατόν να σπάσουν υπό την επίδραση ακτινοβολίας ή θερμότητας, οπότε απελευθερώνονται ηλεκτρόνια (αρνητικοί φορείς n) και αφήνουν κενές θέσεις, τις οπές (θετικοί φορείς p).

Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου από τήγμα πυριτίου και διαφέρουν στον τεμαχισμό της. Οι ράβδοι κόβονται σε λεπτές φέτες, οι οποίες ονομάζονται γκοφρέτες. Τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα, τα οποία είναι τετράγωνα κομμάτια με στρογγυλεμένες γωνίες, διασυνδέονται μεταξύ τους, για να σχηματίσουν τους ηλιακούς συλλέκτες. Φωτοβολταϊκά από μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα έχουν ένα σκούρο μπλε χρώμα και διάρκεια ζωής περίπου 30 χρόνια. Ωστόσο, για την παρασκευή πολυκρυσταλλικού πυριτίου δεν χρησιμοποιείται τόσο καθαρό πυρίτιο. Κατά την διαδικασία παρασκευής, ένα μπλοκ πυριτίου χυτεύεται και στη συνέχεια ψύχεται βραδέως. Όταν το τετηγμένο πυρίτιο ψύχεται και γίνει στερεό, οι κρυσταλλικές δομές του εμφανίζονται σε διάφορα μεγέθη. Τότε μπορούν να διαχωριστούν σε φέτες, και κάθε φέτα αποτελεί ένα πολυκρυσταλλικό ηλιακό κύτταρο. Στην συνέχεια ενσωματώνεται σε μια διαφανή στρώση

αιθυλενίου-οξικού βινυλίου, και καλύπτονται με ένα φύλλο γυαλιού έτσι ώστε να σχηματίσουν ένα ηλιακό πλαίσιο. Το τελικό αποτέλεσμα δεν έχει στρογγυλεμένες άκρες όπως το μονοκρυσταλλικό, κάνοντας την Παρασκευή τους λιγότερη δαπανηρή [vi].

2.3.2 Τρόπος λειτουργίας

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα αποτελούν μία δίοδο ημιαγωγού p-n με μορφή επίπεδης πλάκας. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, που διαθέτει ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει την δυνατότητα να απορροφηθεί δημιουργώντας έναν χημικό δεσμό κατά τον οποίον θα απελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο διαρκεί η ακτινοβολία, δημιουργείται περίσσεια φορέων, δηλαδή περίσσεια ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου πρόσημου, δέχονται την επίδραση ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου.

Εξαιτίας του πεδίου, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p και οι οπές προς το τμήμα τύπου n, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Αν στους ακροδέκτες συνδεθεί κατάλληλο ηλεκτρικό φορτίο, παρατηρείται ροή ηλεκτρικού ρεύματος από το φωτοβολταϊκό στοιχείο προς το φορτίο. Συμπερασματικά, η όλη διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, που διατηρείται για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού κυττάρου.

Οι καιρικές συνθήκες είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Τις ημέρες με σύννεφα στην ατμόσφαιρα, η ενέργεια που φτάνει στο επίπεδο της γης είναι αισθητά μειωμένη. Ακόμα, η γωνία πρόσπτωσης των ακτινών του ηλίου επηρεάζουν τον λόγο μετασχηματισμού της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το διάστημα που οι ακτίνες του ηλίου είναι κάθετες στον άξονα του στοιχείου, αυτό εμφανίζει καλύτερη απορροφητικότητα. Καθώς η γη κινείται, η γωνία πρόσπτωσης αλλάζει συνεχώς. Σε πολλές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται περιστροφικές βάσεις στήριξης οι οποίες αλλάζουν την γωνία του άξονα των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με τον ήλιο.

Το πυρίτιο είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο και διατηρεί τις ηλεκτρικές ιδιότητές του σε θερμοκρασίες μέχρι και 125°C. Αποτελεί ένα από τα πιο κοινά στοιχεία στον πλανήτη το οποίο βρίσκεται σε αφθονία στο περιβάλλον, αποτελώντας το δεύτερο πιο διαδεδομένο στοιχείο στον φλοιό του πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το συναντάμε κυρίως σε κρυσταλλικές ενώσεις, που όταν διασπαστούν μπορεί να κατασκευαστεί μία χημική ένωση στοιχείων από τις παρακάτω. Οι μεγάλες αποδώσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων πυριτίου στο εμπόριο δίνουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα στο συγκεκριμένο υλικό. Ολοκληρώνοντας, το κόστος κατασκευής σε συνάρτηση με την αποδοτικότητα του φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι τα κυρίαρχα γνωρίσματα μίας φωτοβολταϊκής κυψέλης [vi].

2.4 Τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων

2.4.1 Βαθμός απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Αποδίδεται ως το πηλίκο της μέγιστης ισχύος που αποδίδει το φωτοβολταϊκό στοιχείο προς την προσπίπτουσα ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μέγιστη αναγραφόμενη ακτινοβολία που έχει φτάσει στο επίπεδο της γης είναι 1,413 W/m^2 οπότε αν υποθέσουμε ότι μία μέση τιμή είναι τα 1000 W/m^2 τότε ο βαθμός απόδοσης ορίζεται στην σχέση 2.1. Για παράδειγμα, εάν η μέγιστη ισχύς εξόδου ενός πάνελ με επιφάνεια 1τ.μ. είναι 150 Wp, η απόδοση του θα είναι 150/1000=0.15 ή 15%. Εάν το συγκρίνουμε με ένα πάνελ επιφάνειάς 1,2 τ.μ. και την ίδια ισχύ εξόδου, τότε η απόδοση του θα είναι 150/1200=0.12 ή 12%.

$$\eta[\%]=\frac{P_{max}x100}{1000[Wm^{-2}]\ x\ Cell_area[m^{-2}]} \qquad [2.1]$$

Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία, σχεδιάστηκαν τον 19ο αιώνα και δεν είχαν περισσότερη από 1-2% απόδοση, ενώ το 1954 τα εργαστήρια Bell Lab δημιούργησαν τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου με απόδοση 6%. Στην πορεία του χρόνου αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης όλο και περισσότερο. Η αύξηση της απόδοσης, έστω και κατά μια ποσοστιαία μονάδα, θεωρείται επίτευγμα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών. Στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13–19%, ο οποίος, συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ.

2.4.2 Συντελεστής πληρότητας

Μία άλλη παράμετρος που αποδίδει την αξιοπιστία του φωτοβολταϊκού στοιχείου ονομάζεται συντελεστής πληρότητας (fill factor). Ισοδυναμεί με τον λόγο της ωφέλιμης ισχύος που παράγει το στοιχείο προς την θεωρητικά μέγιστη ισχύ που αποδίδει. Η ωφέλιμη ισχύς αντικατοπτρίζει το ρεύμα και την τάση που αποδίδει το στοιχείο στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) ενώ η θεωρητική ισχύς ισούται με το γινόμενο των τιμών κορυφής της τάσης ανοικτού βρόχου (V_{OL}) και του ρεύματος βραχυκύκλωσης (Isc). Η σχέση που συνδέει αυτούς τους τρείς παράγοντες φαίνεται στον τύπο 2.2. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό στοιχείο που συναντάται στο εμπόριο έχει συντελεστή πληρότητας μεγαλύτερο από 70%.

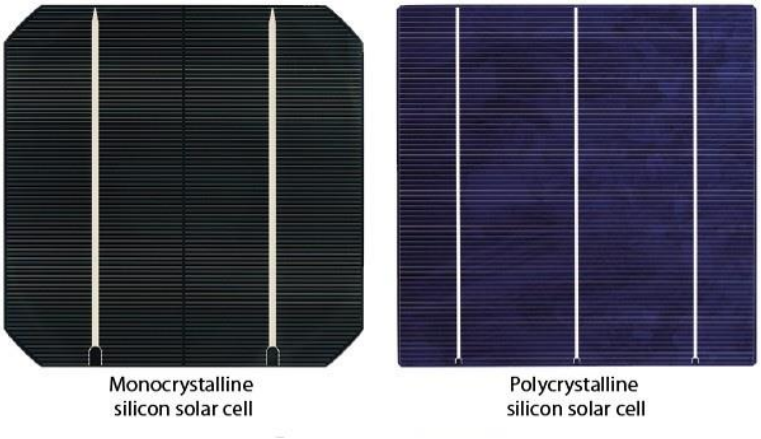
$$FF=\frac{P_{max}[W]}{P_{theory}}=\frac{I_{mp}[A]xV_{mp}[V]}{I_{SC}[A]xV_{OL}[V]} \qquad [2.2]$$

2.5 Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων

Αν και υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες δημιουργίας φωτοβολταϊκών στοιχείων, η πιο συνήθης είναι αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου. Η πρώτη ύλη για την παραγωγή αυτών των φωτοβολταϊκών είναι το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) το οποίο συλλέγετε από χαλαζιακά πετρώματα, ενώ χρησιμοποιούνται επίσης και για την κατασκευή των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Το πυρίτιο, αφού υποστεί ειδική επεξεργασία (καθαρισμό σε υψηλό βαθμό >99,999%) γίνεται πολύ λεπτές φέτες οι οποίες κόβονται για να σχηματίσουν το φωτοβολταϊκό κύτταρο ή στοιχείο όπως αναφέρθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα στοιχεία που είναι ευρέως διαδεδομένα και παρουσιάζουν φωτοβολταϊκές ιδιότητες.

2.5.1 Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται τεμαχίζοντας ένα ενιαίο κρύσταλλο που έχει επεξεργαστεί σε θερμοκρασίες γύρω από τους 1400°C. Έχουν πάχος περίπου 0,3 χιλιοστά και αποτελεί μία μέθοδο κατασκευής πυριτίου μεγάλου πάχους. Το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και να έχει τέλεια δομή κρυστάλλου. Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, διαθέτει τις πιο αποδοτικές συστοιχίες φωτοβολταϊκών με βαθμό απόδοση της τάξης των 15-18% ανά πλαίσιο. Ωστόσο, σε εργαστήριο έχει επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερη απόδοση, έως και 24.7%. Ένα από τα πλεονεκτήματα του, είναι η καλύτερη ενεργειακή πυκνότητα του η οποία ισοδυναμεί με μία καλύτερη σχέση μεταξύ απόδοσης/επιφάνειας ανάμεσα στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Όμως, η κατασκευή τους είναι περίπλοκη καθώς η κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι μία δαπανηρή διαδικασία που έχει ως αποτέλεσμα ένα συνολικά υψηλό κόστος κατασκευής [vi].



Σχήμα 2.6 – Όψη κυττάρου πολυκρυσταλλικού και μονοκρυσταλλικού πυριτίου

2.5.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

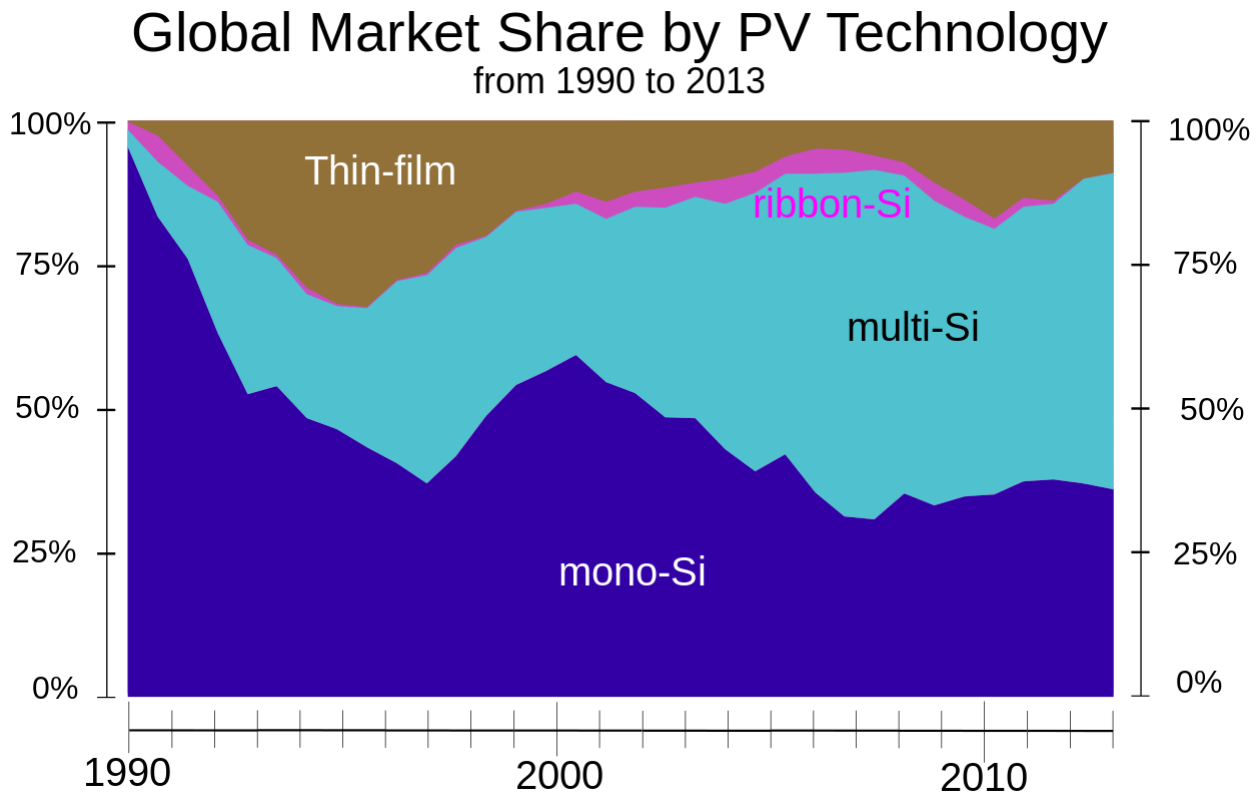
Ένας διαφορετικός τρόπος επεξεργασίας του πυριτίου δίνει ως αποτέλεσμα πολυκρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου. Το πάχος τους είναι 0,3 χιλιοστά και αποτελούν μέθοδο κατασκευής πυριτίου μεγάλου πάχους. Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο κατασκευάζεται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου ή με την μέθοδο της απ' ευθείας στερεοποίησης (directional solidification). Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι πιο απλοποιημένη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος παραγωγής. Όμως, σε γενικές γραμμές παρουσιάζουν μικρότερη απόδοση της τάξεως του 12-15% που οφείλεται στις ατέλειες της δομής του κρυστάλλου λόγο δημιουργίας του κρυστάλλου με χύτευση. Οπτικά, μπορεί κάποιος να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες σε έκταση είναι οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση των πολυκρυσταλλικών κυττάρων της φωτοβολταϊκής συστοιχίας [vi].

2.5.3 Ταινία πυριτίου

Μία νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων που βρίσκεται ακόμα στην ανάπτυξη, αποτελείται από μικρής ποσότητας στρώσεις πυριτίου. Αναφέρεται συνηθέστερα ως φωτοβολταϊκό στοιχείο ταινίας πυριτίου. Δημιουργούνται από την επίστρωση του πυριτίου επάνω σε ένα υπόστρωμα γυαλιού από ένα αντιδραστικό αέριο όπως το σιλάνιο (SiH_4). Η εταιρία που αναπτύσσει την ιδέα ονομάζεται Energreen Soldar και έχει ήδη παρουσιάσει τις πρώτες ταινίες πυριτίου που χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή περιεκτικότητα πυριτίου για τα δεδομένα των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Δεν διαθέτει κρυσταλλική δομή ενώ το πάχος της είναι κατά πολύ μικρότερο από εκείνο των κρυσταλλικών δομών πυριτίου στα 2-3μm. Προσφέρει έως και 50% λιγότερο του πυρίτιο σε σχέση με τις σύνηθες τεχνικές παρασκευής κρυστάλλων πυριτίου ενώ η απόδοση της ταινίας δεν υπερβαίνει το 12-13%. Αν και στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις τις τάξης του 18% φέρει ακόμα πολλά περιθώρια βελτίωσης. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα στοιχεία δισεληνοϊνδιούχος χαλκός, το άμορφο πυρίτιο, το τελουριούχο κάδμιο καθώς και το αρσενιούχο γάλλιο.

Ο δισεληνοϊνδιούχος χαλκός ($CuInSe_2$) διαθέτει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως όμως η ικανότητα του να μετατρέπει την ηλιακή σε ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι εξίσου αξιόλογη. Η απόδοσή του με τις σύγχρονες τεχνικές παρασκευής κυμαίνεται μόλις στο 11% ανά πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχει επιτευχθεί απόδοση έως και 18,8%, η οποία είναι η μεγαλύτερη που έχει καταγραφεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής μεμβράνης. Με την πρόσμιξη γαλλίου στην ένωση, η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Ωστόσο, το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στη φύση. Για τον λόγο αυτό το κοστολόγιο μίας κατασκευής δισεληνοϊνδιούχου χαλκού είναι πολύ υψηλό. Στα επόμενα χρόνια αναμένεται αξιόλογη πτώση στο κόστους του ινδίου συνεπώς και του δισεληνοϊνδιούχου χαλκού.

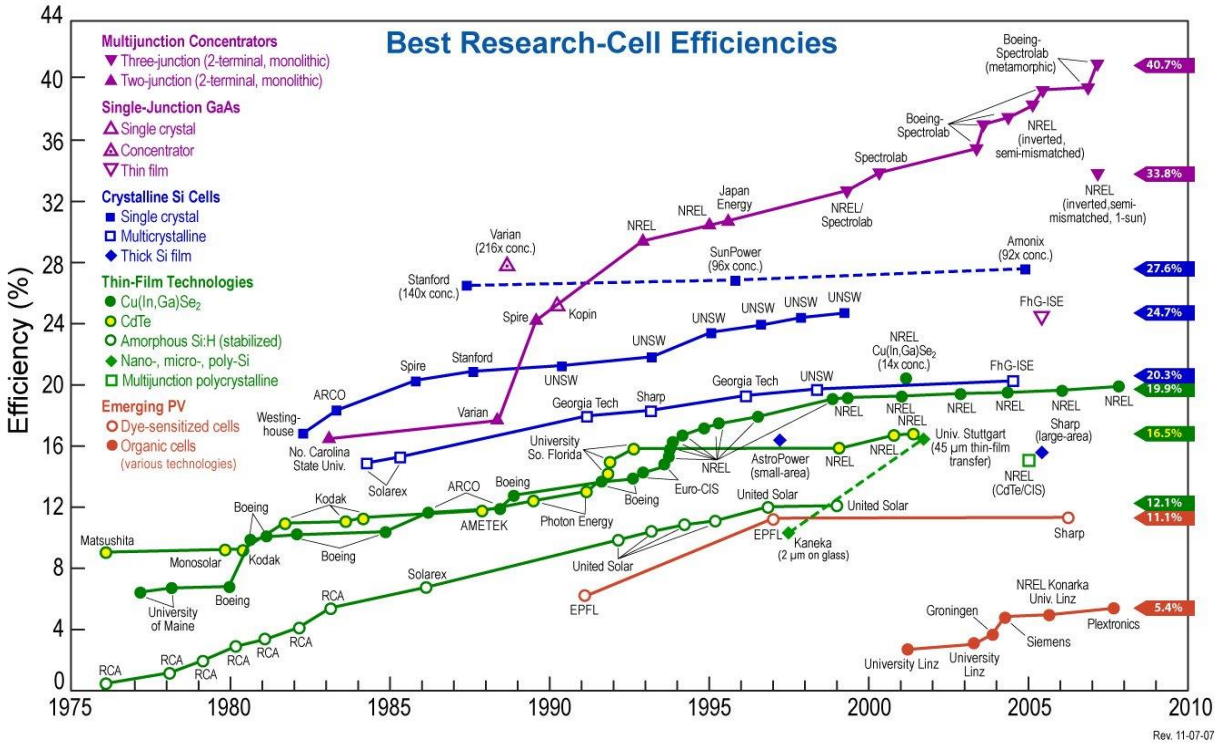
Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα που κατασκευάζονται από άμορφο πυρίτιο, αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα ημιαγωγού (πυριτίου) που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλο υπόστρωμα χαμηλού κόστους, όπως το γυαλί ή το αλουμίνιο. Ο χαρακτηρισμός άμορφο πυρίτιο προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποία είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Δεν έχει κρυσταλλική δομή ενώ το πάχος του είναι κατά πολύ μικρότερο από εκείνο των κρυσταλλικών δομών πυριτίου και συνήθως περίπου 2-3μm. Για την παραγωγή του, ράβδοι πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Από κατασκευαστικής άποψης, είναι το πιο απλοποιημένο και συνεπώς το φθηνότερο στοιχείο φωτοβολταϊκών πλαισίων, ισοδυναμώντας με ένα από τα χαμηλότερα αποδοτικά υλικά. Ωστόσο σε συνθήκες έλλειψης ηλιοφάνειας η απόδοσή του είναι ικανοποιητική. Τα ηλιακά στοιχεία άμορφου πυριτίου έχουν μία κόκκινη προς καφετιά απόχρωση με την επιφάνεια τους να χαρακτηρίζεται από στενές λωρίδες μεγάλου μήκους. Παρουσιάζουν όμως σε γενικές γραμμές μικρή απόδοση της τάξεως του 8-10% όμως διαθέτουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα καθώς τα στοιχεία του άμορφου πυριτίου έχουν μία χαρακτηριστική αναισθησία στην θερμοκρασία.



Σχήμα 2.7 –Το Μερίδιο της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων στο εμπόριο από το 1990 μέχρι το 2013 του άμορφου πυριτίου (Thin-film), της ταινίας πυριτίου (ribbon-Si) και των κρυσταλλικών ενώσεων πυριτίου.

2.5.4 Νέες Τεχνολογίες

Αρχίζουν να χρησιμοποιούνται νέα υλικά που μπορούν να παρασκευαστούν με φθηνότερες διαδικασίες από το κρυσταλλικό πυρίτιο, με μεγάλο ενδιαφέρον στο βαθμό απόδοσης που μπορεί να παρουσιάζουν. Το μέλλον των υλικών κατασκευής των φωτοβολταϊκών δείχνει να είναι πρόσφορο με νέες τεχνολογίες και νέες έρευνες να προκύπτουν συνεχώς. Αξίζει να αναφερθούν τα φωτοβολταϊκά πάνελ που χρησιμοποιούνται στις διαστημικές αποστολές. Παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αποδόσεις που έχουν καταγραφεί αφού κυμαίνονται έως και 50%. Τα συνήθη φωτοβολταϊκά πάνελ στα διαστημόπλοια, χρησιμοποιούν ορθογώνιες παραλληλόγραμμες κυψέλες που καλύπτουν περίπου το 90% της ορατής από τον ήλιο επιφάνειας και όχι κήλες κυψέλες καθώς αυτές καλύπτουν λιγότερη επιφάνεια. Υλικά όπως το Γάλλιο και το Αρσένιο προτιμώνται έναντι του κρυσταλλικού πυριτίου καθώς έχουν μεγαλύτερη απόδοση και αποικοδομούνται με ποιο αργούς ρυθμούς στην ακτινοβολία του διαστήματος. Ωστόσο τα φωτοβολταϊκά στοιχεία με την μεγαλύτερη αποδοτικότητα είναι πολυμερή στοιχεία πολλών ενώσεων. Χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό αρκετών στρωμάτων από αρσενιούχο γάλλιο, δισεληνοϊνιδίου και γερμανίου με σκοπό να συλλέγουν όσο τον δυνατόν περισσότερη ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία. Οι κυψέλες πολυμερών ενώσεων μπορούν να υπερβούν το 38,8% όταν δεν συγκεντρώνουν AM1.5G ακτινοβολία στις κυψέλες τους ενώ το ποσοστό ανέρχεται στο 46% όταν υπάρχει η ακτινοβολία αυτή. Στο σχήμα 2.5 φαίνεται η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών καινοτομιών στην πάροδο των χρόνων [vi].



Σχήμα 2.8 – Η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Η κατασκευή μιας μονάδας κρυσταλλικού πυριτίου μπορεί να γίνει και από ερασιτέχνες, μετά από την προμήθεια των στοιχείων. Το κόστος είναι απίθανο να είναι χαμηλότερο από την αγορά έτοιμης μονάδας, καθώς η προμήθεια ποιοτικών υλικών είναι πολύ δύσκολη. Εκτός από το πυρίτιο χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, όπως το Κάδμιο - Τελλούριο (CdTe) και ο ινδοδισεληνιούχος χαλκός. Σε αυτές τις κατασκευές, η μορφή του στοιχείου διαφέρει σημαντικά από αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου, και έχει συνήθως τη μορφή λωρίδας πλάτους μερικών χιλιοστών και μήκους αρκετών εκατοστών. Τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από 2 έως και αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές κυψέλες.

3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Ο όρος φωτοβολταϊκά συστήματα απευθύνεται σε διατάξεις οι οποίες συλλέγουν την ενέργεια του ήλιου και αποτελούνται από ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πάνελ, μαζί με τις απαραίτητες συσκευές για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε μία επιθυμητή μορφή. Τα συστήματα αυτά, χρησιμοποιούνται άμεσα ως πηγή ρεύματος (θέρμανση νερού, άντληση νερού) είτε φορτίζουν κάποια μπαταρία είτε μεταβιβάζουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο. Η αρχική ιδέα των φωτοβολταϊκών είχε αποκλειστική εφαρμογή σε μικρού και μεσαίου μεγέθους κατασκευές όπως αριθμομηχανές που παίρνουν τροφοδοσία από μία ηλιακή κυψέλη ή απομακρυσμένες συσκευές που δεν υπήρχε εναλλακτικός τρόπος τροφοδοσίας. Ωστόσο, η βιομηχανία πήρε διαφορετική τροπή σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Αναπτύχθηκε η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων ώστε να καλύπτουν εφαρμογές ευρείας κλίμακας αλλά και εξ' ολοκλήρου κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κτηρίων. Η σχεδίαση ενός συστήματος βασίζεται στη λήψη μετρήσεων στη τοποθεσία της εγκατάστασης καθώς οι καιρικές μεταβολές αλλά και η σύσταση της ατμόσφαιρας επηρεάζουν την ενέργεια της ακτινοβολίας και διαφέρει σε κάθε περιοχή. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα αναφερθούμε στους τύπους και τις διαφορές που παρουσιάζουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων και η επίδραση τους στο περιβάλλον. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με αναφορά στις μελλοντικές εξελίξεις της τεχνολογίας τους.

3.1 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ένα σύστημα, προκύπτει από τον συνδυασμό κεντρικών μονάδων με περιφερειακές που αλληλοεπιδρούν με σκοπό την ομαλή λειτουργία του συνόλου. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, αποτελείται από τις μονάδες των φωτοβολταϊκών κυψελών και τις περιφερειακές συσκευές που επιτελούν κάθε φορά μία συγκεκριμένη λειτουργία. Για να μπορέσουμε να ορίσουμε από τί αποτελείται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, πρέπει να προσδιορίσουμε την χρήση και την λειτουργία του, συνεπώς οι συσκευές που χρησιμοποιούν όλα τα φωτοβολταϊκά συστήματα διαφέρουν. Ο παράγοντας που τα διαφοροποιεί είναι η κατεύθυνση ροής της ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα απομονωμένα ή αυτόνομα και τα συνδεμένα στο δίκτυο[2] συστήματα. Και στις δύο κύριες κατηγορίες, υπάρχουν ανεξάρτητα και υβριδικά συστήματα, ανάλογα αν η παραγόμενη

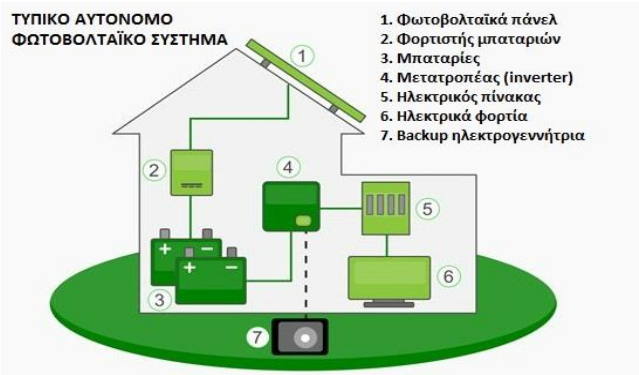
ενέργεια προκύπτει από εναλλακτικές μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, όπως μία ανεμογεννήτρια.

3.1.1 Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μονάδες παραγωγής ενέργειας με την χρήση φωτοβολταϊκών τα οποία δεν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο και η ενέργεια που παράγουν είτε χρησιμοποιείται άμεσα είτε αποθηκεύεται σε συσσωρευτές. Αποτελούν την ιδανική λύση για απρόσιτες περιοχές από το δίκτυο ηλεκτρισμού όπου με σχετικά μικρό κόστος παράγεται ηλεκτρισμός ικανός να τροφοδοτήσει έως και ένα μεγάλο σπίτι. Ένα αυτόνομο σύστημα διαθέτει όλες ή μερικές από τις παρακάτω μονάδες :

- Φωτοβολταϊκά πάνελ
- Μετατροπέας (inverter)
- Καλωδιώσεις και συνδέσεις
- Ελεγκτή φόρτισης
- Ηλεκτρολογικός Πίνακας
- Φορτία
- Συσσωρευτές (μερικά συστήματα)
- Εφεδρική ηλεκτρογεννήτρια (μερικά συστήματα)

Στην περίπτωση που στην εγκατάσταση υπάρχουν συσσωρευτές, μία συσκευή ελέγχου φόρτισης των μπαταριών συνδέει τα φωτοβολταϊκά με τους συσσωρευτές. Στην συνέχεια, ο ελεγκτής φόρτισης ενώνεται με τον μετατροπέα (Inverter). Στην περίπτωση που η ενέργεια οδηγείται κατευθείαν στα φορτία, δεν χρειάζεται ο ελεγκτής φόρτισης ούτε οι συσσωρευτές και τα φωτοβολταϊκά συνδέονται απευθείας στον Inverter. Ο Inverter είναι μία συσκευή που είναι υπεύθυνη για την μετατροπή της συνεχής τάσης που παράγουν τα φωτοβολταϊκά σε εναλλασσόμενη ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί από τις περισσότερες οικιακές συσκευές που λειτουργούν με 220Vac. Σε ένα ανεξάρτητο οικιακό σύστημα πρέπει να υπάρχουν διατάξεις αποθήκευσης της ενέργειας ώστε να υπάρχει τροφοδοσία και την διάρκεια της ημέρας που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Στο σχήμα 3.1 απεικονίζεται ένα αυτόνομο οικιακό σύστημα και διακρίνουμε την ροή της ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά (1) προς τα φορτία (6) [v].



Σχήμα 3.1 - Τυπικό αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

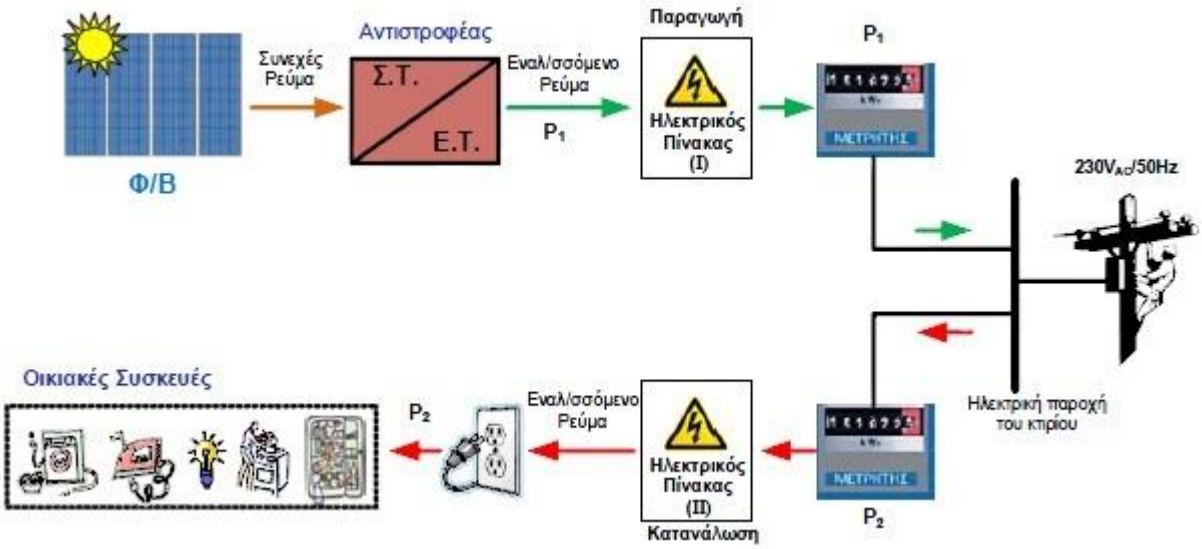
3.1.2 Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά συστήματα

Μία άλλη κατηγορία φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τα σύνθετα ή διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αποτελούν συστήματα συνδεμένα με το δίκτυο του παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας και χωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες.

- συστήματα με βοηθητική πηγή το δίκτυο
- συστήματα ολοκληρωτικής πώλησης της παραγόμενης ενέργειας

Στα συνδεδεμένα κατανεμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα με βοηθητική πηγή το δίκτυο, ο σχεδιασμός γίνεται με σκοπό το σύστημα να καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις τις εγκατάστασης. Το δίκτυο καλύπτει αποκλειστικά μία έκτακτη ενεργειακή ζήτηση ή μία αστοχία του φωτοβολταϊκού συστήματος. Στη σχεδίαση του συστήματος υπάρχει μία εφεδρική λύση, κατά την οποία όταν η παραγόμενη ενέργεια υπερκαλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης, να διαβιβάζεται προς το δίκτυο για πώληση. Τέτοιου είδους εγκαταστάσεις ονομάζονται συνδεδεμένα κατανεμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα με αμφίδρομη λειτουργία [vii].

Διαφορετικά η εγκατάσταση παρέχει ολοκληρωτικά την παραγόμενη ενέργεια στο δίκτυο και η παροχή ενέργειας των οικιακών αναγκών καλύπτονται από τον πάροχο ηλεκτρικού ρεύματος σε υποβαθμισμένες τιμές που έχουν προκύψει στην συμφωνία αγοροπωλησίας ενέργειας. Εκτός από τα φωτοβολταϊκά πάνελ και τον Inverter ένα συνδεμένο σύστημα περιλαμβάνει έναν μετρητή που καταγράφει τις ενεργειακές αποδόσεις του συστήματος και έχει τις ίδιες αρχές λειτουργίας με το ρολόι της Δ.Ε.Η. Ένα διάγραμμα ροής της ενέργειας ενός συνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος με αμφίδρομη λειτουργεία όπου όλη η παραγόμενη ενέργεια πωλείται στον πάροχο και όλη η καταναλισκόμενη ενέργεια αγοράζεται από αυτόν φαίνεται στην σχήμα 3.2. Μία ακόμα περίπτωση διασυνδεδεμένου συστήματος αμφίδρομης λειτουργίας αποτελούν τα φωτοβολταϊκά πάρκα όπου η συνολική παραγόμενη ενέργεια διαβιβάζεται στο δίκτυο.



Σχήμα 3.2 – Οικιακό Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό σύστημα με αμφίδρομη λειτουργία

3.2 Ανάλυση Φωτοβολταϊκών μονάδων

3.2.1 Φωτοβολταϊκά πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ αποτελούν την μονάδα παραγωγής της ενέργειας. Η δομή τους, σχηματίζεται από ενώσεις πολλών φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχηματισμό παραλληλόγραμμου πλαισίου με μεγέθη που ποικίλουν. Χαρακτηριστικό του γνώρισμα που χρησιμοποιείται στην διαφοροποίηση των πλαισίων, αποτελεί η αποδιδόμενη ισχύ η οποία μετράτε σε Watt κορυφής (W_{pick}). Πρακτικά, η τιμή κορυφής αναφέρεται στη μέγιστη τιμή ισχύος που εμφανίζει το φωτοβολταϊκό στοιχείο όταν υποβληθεί στις βέλτιστες συνθήκες. Τέτοιες συνθήκες αποτελούν η διαθέσιμη ηλιοφάνεια και η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε μία περίοδο υψηλής ηλιοφάνειας χωρίς σκιάσεις και με γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας κάθετη στον άξονα του φωτοβολταϊκού (90°) το φωτοβολταϊκό αποδίδει το μέγιστο. Ακόμα, συνθήκες όπως η θερμοκρασία των στοιχείων, η καθαρότητα της επιφάνειας πρόσπτωσης της ακτινοβολίας καθώς και η ποιότητα των φωτοβολταϊκών στοιχείων έχουν επίδραση στην ισχύ εξόδου. Η τιμή της ισχύς εξόδου κυμαίνεται από 0 έως και ελάχιστα παραπάνω από την ονομαστική τιμή των φωτοβολταϊκών [v].

Τα πάνελ είναι σχεδιασμένα ώστε να καταλαμβάνουν όσο το δυνατόν περισσότερη επιφάνεια καθώς οι ακτίνες του ήλιου δεν συγκεντρώνονται σε σημεία, αλλά διαχέονται στην ατμόσφαιρα και προσπίπτουν σε όλη την επιφάνεια της γης. Έτσι, οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών διακρίνονται σε δύο κύριες ομάδες. Τα φωτοβολταϊκά πάρκα, όπου τα πάνελ τοποθετούνται στο έδαφος κατά μήκος του οικοπέδου και τις οικιακές εγκαταστάσεις όπου τα πάνελ εγκαθίστανται στην σκεπή των σπιτιών. Στο σχήμα 3.3 αναπαριστάτε μία οικιακή εγκατάσταση στην στέγη μίας οικοδομής με φωτοβολταϊκά πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Σχήμα 3.3 – Φωτοβολταϊκά πάνελ στην σκεπή μίας οικιακής εγκατάστασης

Τα φωτοβολταϊκά παράγονται σε διάφορα μεγέθη για κάθε δυνατή εφαρμογή. Συνεπώς, δεν υπάρχουν standards που να χαρακτηρίζουν όλα τα συστήματα. Στη διεθνή αγορά κυκλοφορούν χιλιάδες διαφορετικά συστήματα με μεγάλη ποικιλία μεγεθών και ισχύος. Ωστόσο, μερικά από τα πιο κοινά μεγέθη πλαισίων, αναφέρονται στην συνέχεια.

Παραδοσιακά, τα πάνελ που χρησιμοποιούνται σε αυτόνομα συστήματα 12V, αποτελούνται από 36 κυψέλες συνδεδεμένες σε σειρά και εμφανίζουν τάση εξόδου κοντά στα 18Vdc. Για να φορτιστεί μία 12V μπαταρία χρειάζεται τάση με τιμή 13.5-14V. Η επιπλέον τάση στην έξοδο, έχει ως σκοπό να καλύψει διάφορες μικροαπώλειες λόγω ελαφρών σκιάσεων καθώς και απώλειες λόγο πτώσης τάσης κατά την μεταφορά της. Ο ελεγκτής φόρτισης, έχει την ικανότητα να μετατρέπει αυτή την επιπλέων τάση που δίνουν τα πάνελ σε ρεύμα.

Στην περίπτωση ενός σύνθετου διασυνδεδεμένου κατανεμημένου στο δίκτυο συστήματος, υπάρχει επιλογή στον τύπου πάνελ που θα χρησιμοποιηθεί. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν πάνελ ονομαστικής τάσης 12V και 36 κυψελών, ίδια όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, αλλά και πάνελ 60 κυψελών. Τα τελευταία, συνηθέστερα αποτελούν πάνελ κρυσταλλικής ένωσης πυριτίου τα οποία στην περίπτωση που υπάρχουν συσσωρευτές στο σύστημα, χρησιμοποιούν διαφορετικό εκλεκτή φόρτισης. Ο ελεγκτής φόρτισης διαθέτει τεχνολογία MPPT και αναλύεται λεπτομερώς στην συνέχεια.

Ένα σημαντικό γνώρισμα των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι η διάρκεια ζωής τους. Η ικανότητα τους να μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία, σταδιακά υποβαθμίζεται έχοντας επίπτωση στον βαθμό απόδοσης τους. Υλικά όπως το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο έχουν διάρκεια ζωής που κυμαίνεται από 25 έως 40 χρόνια, με το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο να παρουσιάζει την ίδια απόδοση για περισσότερα από 30 χρόνια λειτουργίας.

3.2.2 Συσσωρευτές

Με τον όρο συσσωρευτής ή μπαταρία αναφερόμαστε στις διατάξεις που αποθηκεύουν ενέργεια για μελλοντική χρήση. Η ηλεκτρική μπαταρία, μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια που εφαρμόζεται στους πόλους τις σε χημική, την αποθηκεύει και όταν χρειαστεί, την μετατρέπει πάλι σε ηλεκτρική. Έτσι, σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα η μπαταρία λειτουργεί σαν αποθήκη της ενέργειας που μετασχηματίζουν τα φωτοβολταϊκά. Η μπαταρία βρίσκει χρησιμότητα σε διαστήματα που η απαιτούμενη ισχύ υπερκαλύπτει την ενεργειακή ζήτηση και ξεκινάει να φορτίζει. Η εκφόρτιση της ξεκινάει της στιγμή που η ενεργειακή ζήτηση υπερκαλύπτει την διαθέσιμη ενέργεια των φωτοβολταϊκών, οπότε συμπληρώνει την διαφορά ενέργειας που χρειάζεται. Ένα χαρακτηριστικό που παρουσιάζουν οι συσσωρευτές είναι η αποτροπή των υψηλών διακυμάνσεων τάσης που μπορεί ένα φωτοβολταϊκή συστοιχία να παρουσιάζει. Τα φωτοβολταϊκά αποδίδουν ισχύ σε οποιοδήποτε σημείο μεταξύ των σημείων βραχυκυκλώματος και ανοικτού κυκλώματος, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φορτίου που είναι συνδεδεμένα σε αυτά. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα ονομαστικής τάσης 12V, οποιαδήποτε τάση μεταξύ 0V και 20V είναι πιθανόν να προκύψει από μία φωτοβολταϊκή συστοιχία. Πολλά φορτία δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα τόσο μεγάλο εύρος τάσεων. Η τοποθέτηση μιας μπαταρίας μεταξύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του φορτίου διασφαλίζει ότι το φορτίο δε θα βλέπει τίποτα έξω από το εύρος τάσεων στο οποίο η μπαταρία μπορεί να λειτουργήσει – στην περίπτωση ενός συστήματος 12V από περίπου 9,5 V σε βαθιά εκφόρτιση μέχρι περίπου 16V υπό συνθήκες ακραίας φόρτισης.

Η επιλογή του συσσωρευτή αποτελεί ένα κρίσιμο κριτήριο για την σωστή λειτουργία και την απόδοση των αυτόνομων συστημάτων καθώς είναι το πιο ευπαθές στοιχείο του

συστήματος. Διαθέτει το μικρότερο προσδόκιμο ζωής ανάμεσα σε όλες τις μονάδες ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος και αποτελεί το πιο δαπανηρό στοιχείο του συστήματος αφού χρειάζεται τακτική αντικατάσταση . Ένας συσσωρευτής έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Το ηλεκτροχημικό σύστημα
- Τη διαφορά δυναμικού
- Την χωρητικότητα
- Την εσωτερική αντίσταση
- Το ρεύμα διαρροής
- Την διάρκεια ζωής

Η χωρητικότητα μίας μπαταρίας αντιπροσωπεύει την μέγιστη ενέργεια που μπορεί να αποθηκεύσει η μπαταρία. Μονάδα μέτρησης της είναι τα αμπερώρια (Ah) και υποδεικνύει πόσο ρεύμα μπορεί να παρέχει η μπαταρία σε διάστημα μίας ώρας. Ωστόσο, λόγο των μικρών ρευμάτων λειτουργίας των σύγχρονων συσκευών, η χωρητικότητα των μπαταριών έχει καθιερωθεί να μετράτε σε μιλιαμπερώρια (mAh) και η ονομαστική χωρητικότητα αναγράφεται πάνω στο κέλυφος της μπαταρίας. Ωστόσο, η αναγραφόμενη χωρητικότητα δεν αντιπροσωπεύει πάντα την πραγματική χωρητικότητα της μπαταρίας. Η πραγματική χωρητικότητα, κυμαίνεται από 80% έως 110% της ονομαστικής τιμής.

Επίδραση στην χωρητικότητα της μπαταρίας έχουν παράγοντες όπως η μνήμη της μπαταρίας, ο κύκλος της καθώς και η ειδική χωρητικότητα που παρουσιάζει. Ειδική χωρητικότητα, είναι η σχέση της χωρητικότητας μίας μπαταρίας ως προς τον όγκο ή την μάζα της. Κύκλος στις μπαταρίες, ονομάζεται η διάρκεια μίας πλήρους φόρτισης και εκφόρτισης της μπαταρίας. Ιδανικά, σε έναν κύκλο οι μπαταρίες πρέπει να φορτίζονται στο100% της χωρητικότητάς τους πριν αρχίσουν να εκφορτίζονται ενώ δεν απαγορεύεται να εκφορτιστούν πλήρως. Μία πλήρες εκφόρτισης μίας μπαταρίας την οδηγεί σε μία κατάσταση που δυσκολεύεται να φορτιστεί και μπορεί να προκληθεί μη αναστρέψιμη ζημιά. Το ίδιο μπορεί να συμβεί αν στην μπαταρία συνδεθεί υπερβολικά μεγάλο φορτίο ακόμα και για μικρό χρονικό διάστημα. Τότε το φορτίο θα τραβήξει πολύ μεγάλο ρεύμα, το οποίο θα γονατίσει την μπαταρία. Κάθε μπαταρία, μπορεί να αντέξει ορισμένους κύκλους, ο αριθμός των οποίων διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας. Κάποιοι τύποι μπαταριών, παρουσιάζουν μείωση στη χωρητικότητα τους μετά από έναν αριθμό κύκλων. Αυτή η ….ονομάζεται μνήμη. Το εφέ της μνήμης, είναι το αποτέλεσμα προσαρμογής της μπαταρίας σε μία τάση λειτουργίας που αυτή δούλευε για κάποιο χρονικό διάστημα. Ουσιαστικά, όταν μία μπαταρία φορτιστεί δίχως να έχει εκφορτιστεί πλήρως, τότε αλλάζει η κατώτερη ενεργειακή της στάθμη. Στον επόμενο κύκλο, δεν εκφορτίζεται πλήρως μειώνοντας την μέγιστη ενέργεια που μπορεί να αποθηκεύσει. Ονομάστηκε μνήμη γιατί αντιδρά σαν να θυμάται τον τελευταίο κύκλο της και τον επαναλαμβάνει σε κάθε επόμενη φόρτιση και εκφόρτιση.

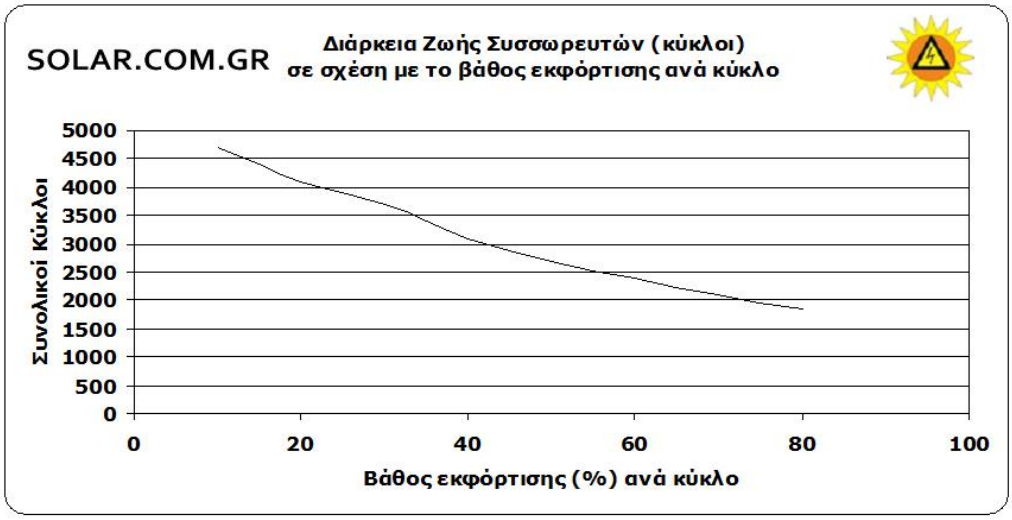
Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της μπαταρίας είναι η τάση αποκοπής. Αποτελεί την τάση στην οποία θεωρείται πως ο συσσωρευτής έχει αποφορτιστεί πλήρως και η περαιτέρω λειτουργία του θα προκαλέσει ζημιά. Εάν η φόρτιση της μπαταρίας δεν είναι ελεγχόμενη και αντίστοιχη με τον τύπο και την ονομαστική τάση της, η μπαταρία και πάλι μπορεί να υποστεί ζημιά. Οι μπαταρίες πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν το φορτίο και να φορτίζονται σωστά με τα διαθέσιμα μέσα. Αφού γίνει αυτή η επιλογή το σύστημα φόρτισης θα πρέπει να μπορεί να φορτίσει πλήρως τη μπαταρία με τη σωστή τάση ανά στάδιο φόρτισης για το συγκεκριμένο τύπο μπαταρίας [v].

3.2.2.1 *Είδη συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα*

Ανάλογα με το υλικό που αποτελεί την πρώτη ύλη της μπαταρίας, διαχωρίζονται στα εξής βασικά είδη :

- Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος (Lead Acid)
- Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd)
- Υβριδίου Μετάλλου Νικελίου (NiMH)
- Ιόντων Λιθίου (Li-Ion)
- Πολυμερών Λιθίου (Li-Pol)

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα, χρησιμοποιούνται μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης, οι οποίες έχουν την ικανότητα να παρέχουν αρκετό ρεύμα σταθερά για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ονομάζονται βαθιάς εκφόρτισης λόγο του ποσοστού εκφόρτισης της μπαταρίας, που κυμαίνεται από 60-80%. Σε διαφορετική περίπτωση, οποιαδήποτε άλλη μπαταρία είναι σχεδιασμένη να εκφορτίζεται 15-30% του κύκλου της και αν εκφορτιστεί περαιτέρω, αντιμετωπίζει πρόβλημα στην φόρτιση της. Ουσιαστικά, μία μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης 200Ah είναι σχεδιασμένη να τροφοδοτεί το κύκλωμα με 120-160Ah ενώ μία αντίστοιχη μπαταρία εκκίνησης ή έλξης μόλις 30-60Ah ανά κύκλο. Η φόρτιση των μπαταριών, ξεκινάει όταν η παραγωγή του φωτοβολταϊκού συστήματος υπερκαλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες προς κατανάλωση και εκφορτίζονται σε κάθε άλλη περίπτωση. Ακόμα και σε κατάσταση ηρεμίας, υπάρχει μία ελάχιστη διαρροή με αποτέλεσμα την σταδιακή εκφόρτιση της σε ποσοστό 1-3% μηνιαίως. Ο αριθμός των κύκλων που μπορεί να αντέξει μία μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης κυμαίνεται γύρω στους 5.000 ενώ στις μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα ξεπερνούν τους 10.000 κύκλους. Βέβαια οι μπαταρίες που προορίζονται για αυτοκίνητα (εκκίνησης, τύπου μολύβδου SLI) δεν ενδείκνυνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα καθώς έχουν την ικανότητα να τροφοδοτούν το σύστημα με αρκετό ρεύμα, για περιορισμένο όμως χρονικό διάστημα. Ένα αντιπροσωπευτικό διάγραμμα των συνολικών κύκλων που μπορεί να λειτουργήσει μία μπαταρία βαθιάς εκφόρτισης σε σχέση με το βάθος εκφόρτισης της παραθέτετε στην σχήμα 3.4 .



Σχήμα 3.4 - Σχέση βάθους εκφόρτισης με τους συνολικούς κύκλους μίας μπαταρίας βαθιάς εκφόρτισης

Μπαταρίες μολύβδου οξέος

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος (lead achid) εφευρέθηκαν το 1859 από τον Γάλλο φυσικό Gaston Plante και είναι ο παλιότερος τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Είναι εμπορικά διαθέσιμες για την αποθήκευση ενέργειας περισσότερα από 100 χρόνια και έχουν αποτελέσει το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας έως και σήμερα. Χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι και στα δύο ηλεκτρόδια χρησιμοποιείται ο μόλυβδος σαν ενεργό υλικό. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, τύπου SLI που χρησιμοποιούνται σε αυτοκίνητα και φορτηγά μέχρι UPS, από μπαταρίες ανύψωσης φορτίου για σταθεροποίηση του δικτύου μέχρι μπαταρίες έλξης (περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα και άλλα) και φυσικά αυτόνομα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Διαφορετικοί σχεδιασμοί έχουν αναπτυχθεί για διαφορετικές εφαρμογές έτσι ώστε να καλύπτονται οι κάθε είδους απαιτήσεις.

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι μακράν ο φθηνότερος τύπος μπαταρίας συγκριτικά με όλα τα άλλα άμεσα διαθέσιμα συστήματα αποθήκευσης με κατάλληλα χαρακτηριστικά ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις που θέτει ένα αυτόνομο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρά το γεγονός ότι η μπαταρία μολύβδου οξέος είναι η λιγότερο ακριβή μπαταρία αποθήκευσης για κάθε σχεδόν εφαρμογή, τα χαρακτηριστικά και η απόδοσή της είναι πολύ ικανοποιητικά. Ένα αρκετά σημαντικό μειονέκτημα των μπαταριών μολύβδου οξέος είναι το χαμηλό ειδικό σταθμικό ενεργειακό περιεχόμενο (specific gravimetric energy content) λόγω του υψηλού μοριακού βάρους του μολύβδου. Παρ ’όλα αυτά, αυτή δεν είναι μια παράμετρος μεγάλης σημασίας για τα αυτόνομα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αφού η μπαταρία είναι σταθερή [xviii].

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος αποτέλεσαν για πολλά χρόνια την πρώτη επιλογή για τα αυτόνομα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και με αρκετά καλή αποτελεσματικότητα και αυτό δε φαίνεται να αλλάζει άμεσα.

3.2.2.2 *Τύποι μπαταριών μολύβδου οξέος*

Πολλοί διαφορετικοί τύποι μπαταριών μολύβδου οξέος κατασκευάζονται για διαφορετικές εφαρμογές. Η αγορά των φωτοβολταϊκών σήμερα δεν είναι αρκετά μεγάλη ώστε να δικαιολογεί την κατασκευή ενός ριζικά διαφορετικού σχεδιασμού μπαταρίας μολύβδου οξέος από αυτούς που κατασκευάζονται σε μεγάλες ποσότητες για άλλες χρήσεις, αν και κάποιοι ελαφρώς τροποποιημένοι «ηλιακοί» τύποι μπαταριών είναι διαθέσιμοι. Μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τις μπαταρίες μολύβδου οξέος με δύο τρόπους:

- Ανοικτή ή κλειστή κατασκευή
- Μαζικής παραγωγής ή βιομηχανικοί τύποι

Γενικά, οι μπαταρίες μολύβδου διακρίνονται σε δύο τύπους με βάση τη μέθοδο κατασκευής οι οποίες διαφέρουν και στην λειτουργία τους. Οι μπαταρίες ανοικτού τύπου (ή πλημμυρισμένες ή εξαερισμένες (flooted/vented)) παράγουν αέρια υδρογόνου και οξυγόνου στα ηλεκτρόδια κατά την φόρτιση μέσω μίας διαδικασίας που ονομάζεται ηλεκτρόλυση. Αυτά τα αέρια δραπετεύουν καθώς τα στοιχεία είναι κατασκευασμένα ανοικτά. Στην κλειστού τύπου ή σφραγκυσμένη (sealed) τα αέρια που δημιουργούνται μέσω της ηλεκτρόλυσης συγκρατούνται και ανασυνδυάζονται Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αέρια υδρογόνου είναι εκρηκτικά στον αέρα ακόμα και σε μικρό ποσότητα, με περιεκτικότητα κατ’ όγκο 4% να τα καταστεί επικίνδυνα Συχνά συναντάμε τις μπαταρίες κλειστού τύπου ως VRLA από τα αρχικά valve regulated lead acid, οι οποίες παρουσιάζουν σχετικά χαμηλό ρυθμό φόρτισης. Όταν το ρεύμα φόρτισης είναι μεγάλο, το οξυγόνο θα δημιουργήσει πίεση μέσα στην μπαταρία και ως αποτέλεσμα έχει να απελευθερώνει οξυγόνο στην ατμόσφαιρα μέσω της βαλβίδας. Στην κατηγορία των μπαταριών κλειστού τύπου VRLA ανήκουν οι μπαταρίες AGM και GEL οι

οποίες διαφέρουν στο υλικό που περικλείεται εσωτερικά της μπαταρίας και κατασκευάζονται με ονομαστική τάση 2,6,8,12 και 24 καθώς και με διαφορετικές χωρητικότητες ώστε να μπορούμε να τις συνδυάσουμε με τις δικές μας ανάγκες και απαιτήσεις [viii]. Αυτοί οι τύποι μπαταριών αποτελούν προϊόντα συσσωρευτών τελευταίας τεχνολογίας με εξαιρετική αντοχή σε κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης και κατά συνέπεια στην συνολική απόδοση του συστήματος

3.2.2.3 ***Μπαταρίες νικελίου καδμίου***

Η ανάπτυξη των μπαταριών νικελίου καδμίου (NiCd) ξεκίνησε στις αρχές του 20ού αιώνα παράλληλα με αυτή των μπαταριών νικελίου σιδήρου. Οι τελευταίες έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο κυρίως σαν ανθεκτικές μπαταρίες έλξης που έφταναν πολλούς κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης. Μετά, όμως, από τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο έχασαν σταδιακά τη θέση τους στην αγορά, κυρίως λόγω του υψηλού ρυθμού εξέλιξης του υδρογόνου και της συγκριτικά χαμηλής αποδοτικότητας ισχύος τους. Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου, όμως, κατέχουν ακόμα ισχυρή θέση στην αγορά, κυρίως στην κλειστή μορφή τους σαν μια φορητή πηγή ενέργειας, αλλά και στην ανοικτή μορφή τους σε στάσιμες εφαρμογές και εφαρμογές έλξης [xx]. Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου, είναι εμπορικά διαθέσιμες εδώ και πολλές δεκαετίες και έχουν αποδειχθεί πολύ καλά εμπορικά προϊόντα. Έχουν πολύ καλές ιδιότητες όσον αφορά τον κύκλο και το χρόνο ζωής τους και χρησιμοποιούνται ευρέως σε βαρέως τύπου εφαρμογές και σε πολύ ψυχρά κλίματα. Οι βασικοί σχεδιασμοί των μπαταριών νικελίου καδμίου μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες - 20° C ενώ ειδικά σχεδιασμένα στοιχεία μπορούν να λειτουργήσουν ακόμα και σε θερμοκρασίες - 50° C. Παρ'όλα αυτά, οι μπαταρίες νικελίου καδμίου έχουν άσχημη φήμη λόγω του καδμίου που περιέχουν, το οποίο δεν είναι φιλικό προς το περιβάλλον.

Το σύστημα της μπαταρίας καδμίου έχει ονομαστική τιμή τάσης τα 1.2V ανά στοιχείο. Η τυπική τελική τάση εκφόρτισης στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι 0.9-1.0V ανά στοιχείο και η τυπική τελική τάση φόρτισης κυμαίνεται μεταξύ 1.45-1.6V ανά στοιχείο. Παρ'όλο που ο ρυθμός εκφόρτισης και η θερμοκρασία επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά κατά την εκφόρτιση όλων των ηλεκτροχημικών στοιχείων, η επίδραση είναι αισθητά λιγότερο έντονη στις μπαταρίες νικελίου καδμίου από ότι στις μπαταρίες μολύβδου οξέος. Σαν αποτέλεσμα, οι μπαταρίες Ni-Cd μπορούν να εκφορτίζονται σε υψηλότερους ρυθμούς, χωρίς η διαθέσιμη χωρητικότητα να πέφτει πολύ κάτω από την ονομαστική χωρητικότητα [vii].

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι μπαταρίες νικελίου καδμίου επιλέγονται έναντι των μπαταριών μολύβδου οξέος μόνο όταν απαιτείται λειτουργία σε πολύ χαμηλές (υπό το μηδέν) ή πολύ υψηλές (πάνω από 40° C) θερμοκρασίες, όπου οι μπαταρίες μολύβδου οξέος μπορεί να κινδυνεύουν από πάγωμα ή πολύ μειωμένη διάρκεια ζωής. Παρ'όλα αυτά, πολύ υψηλές θερμοκρασίες καλό θα είναι να αποφεύγονται γιατί προκαλούν μείωση της αποδοτικότητας της φόρτισης και σημαντική αύξηση του ρυθμού αυτοεκφόρτισης. Οι ρυθμοί αυτοεκφόρτισης στους 20ο C είναι της τάξης του 20%/μήνα και η ενεργειακή 71 αποδοτικότητα κυμαίνεται μεταξύ 60 και 70%, ποσοστό σημαντικά χαμηλότερο συγκριτικά με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος. Οι βιομηχανικές μπαταρίες νικελίου καδμίου ανοικτού τύπου είναι συνήθως 3 – 4 φορές ακριβότερες ανά kWh ενέργειας που αποθηκεύουν από ότι οι βιομηχανικές μπαταρίες μολύβδου οξέος ανοικτού τύπου

3.2.2.4 ***Μπαταρίες ιόντων λιθίου***

Καθώς οι ανανεώσιμες πηγές εξελίσσονται, μεγαλώνει και η ανάγκη για καλύτερα συστήματα αποθήκευσης. Οι μπαταρίες λιθίου είναι η περισσότερο αναπτυσσόμενη 76

τεχνολογία στο χώρο των μπαταριών τα τελευταία χρόνια. Μετά την τεράστια επιτυχία και επικράτησή τους στο χώρο των φορητών συσκευών όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα και τα laptops, τα τελευταία χρόνια πραγματοποιήθηκε η μετάβασή τους από τα μικρά στοιχεία στις μπαταρίες μεγάλου μεγέθους με σκοπό τη χρήση τους σε ένα πλήθος εφαρμογών. Παρ'ολο που μέχρι πρόσφατα δεν χρησιμοποιούνταν σε αυτόνομα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι ηλεκτρικές τους ιδιότητες όσον αφορά την αποδοτικότητα και τα χαρακτηριστικά φόρτισης/εκφόρτισης, που είναι πολύ χρήσιμες για τέτοιου τύπου εφαρμογές, οδήγησαν σε περισσότερη έρευνα προς αυτή την κατεύθυνση.

Η λειτουργία της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ιόντων λιθίου, βασίζεται στη μετακίνηση ιόντων λιθίου, μεταξύ της καθόδου και της ανόδου και ως εκ τούτου είναι ουσιώδης η διαφορά τους με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος και νικελίου καδμίου, στις οποίες η βασική μορφή των υλικών καθόδου και ανόδου παραμένει αμετάβλητη [vii].

3.2.2.5 *Πυκνωτές διπλού στρώματος (super capacitors)*

Οι συμβατικοί πυκνωτές έχουν ένα διηλεκτρικό μεταξύ των ηλεκτροδίων. Η χωρητικότητά τους καθορίζεται από τον αριθμό του διηλεκτρικού και την επιφάνεια των ηλεκτροδίων. Οι επονομαζόμενοι πυκνωτές διπλού στρώματος, ή supercapacitors όπως θα τους αποκαλούμε στη συνέχεια, έχουν έναν ιοντικά αγώγιμο ηλεκτρολύτη μεταξύ των ηλεκτροδίων. Ως εκ τούτου, είναι δυνατή μια συσσώρευση φορέων φορτίου στην επιφάνεια μεταξύ της ηλεκτρονικά αγώγιμης και της ιοντικά αγώγιμης επιφάνειας. Η επιφάνεια ονομάζεται ηλεκτροχημικό διπλό στρώμα. Σε αντίθεση με τις δευτερεύουσες μπαταρίες, δεν πραγματοποιείται καμία χημική αντίδραση και καμία μεταφορά φορτίου από το ηλεκτρόδιο στον ηλεκτρολύτη. Επομένως, δεν συμβαίνει καμία αλλαγή στη δομή του υλικού με αποτέλεσμα οι κύκλοι ζωής να είναι μερικές εκατοντάδες χιλιάδες. Η αποθήκευση της ενέργειας εξαρτάται μόνο από το ηλεκτροστατικό φαινόμενο. Ωστόσο, σε αντίθεση με τους κλασικούς πυκνωτές στους οποίους κινούνται μόνο ηλεκτρόνια στο διηλεκτρικό, στους supercapacitors πραγματοποιείται μια κίνηση ιόντων και επομένως μια σημαντική μαζική κίνηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χρονικές σταθερές διάχυσης (diffusion-time constants) κατά τη διάρκεια της φόρτισης και της εκφόρτισης στον supercapacitor [vii].

3.2.3 Ελεγκτής φόρτισης

Η κύρια λειτουργία ενός ελεγκτή φόρτισης σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι να διατηρεί την μπαταρία στην υψηλότερη δυνατή στάθμη φόρτισης ενώ ταυτόχρονα την προστατεύει από υπερφόρτιση και από υπερεκφόρτιση. Παρ' όλο που μερικά φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν αποδοτικά χωρίς τη χρήση ελεγκτή φόρτισης, σε κάθε σύστημα που έχει απρόβλεπτα φορτία, ανθρώπινη παρέμβαση, βελτιστοποιημένη ή κατώτερου μεγέθους μπαταρία αποθήκευσης (για ελαχιστοποίηση του αρχικού κόστους) είναι τυπικά απαραίτητος ένας ελεγκτής φόρτισης της μπαταρίας. Ο αλγόριθμος ενός ελεγκτή φόρτισης της μπαταρίας καθορίζει την αποδοτικότητα της φόρτισης της και της αξιοποίησης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας , ορίζοντας τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζεται η ισχύς από την φωτοβολταϊκή συστοιχία προς την μπαταρία του συστήματος. Επιπλέον χαρακτηριστικά όπως είναι η αντιστάθμιση της θερμοκρασίας, συναγερμοί, μετρητές, απομακρυσμένοι αισθητήρες τάσης και ειδικοί αλγόριθμοι μπορούν να ενισχύσουν την ικανότητα ενός ελεγκτή φόρτισης να διατηρεί την καλή υγεία και να επιμηκύνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, καθώς και να παρέχουν μια ένδειξη της λειτουργικής κατάστασης στον επιμελητή του συστήματος [viii].

Σημαντικές λειτουργίες των ελεγκτών φόρτισης της μπαταρίας και των ελέγχων του συστήματος είναι :

- Αποτροπή της υπερφόρτωσης της μπαταρίας, όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη.
- Αποτροπή της υπερεκφόρτισης της μπαταρίας αποσυνδέοντας την από τα φορτία όταν η στάθμη της πέσει κάτω από το σημείο ασφαλείας.
- Παρέχει λειτουργίες ελέγχου στα φορτία που συνδέονται στο σύστημα. Μπορεί να λειτουργήσει ως ένας ρυθμιζόμενος διακόπτης, ελέγχοντας πότε η μπαταρία θα παρέχει τάση και πότε όχι στο κύκλωμα.

Οι δύο πιο διαδεδομένοι τύποι ρυθμιστών φόρτισης σε χρήση σήμερα είναι οι PWM (Pulse Width Modulation) και MPPT (Maximum Power Point Tracking). Και οι δύο τύποι προσαρμόζουν το ρυθμό φόρτισης ανάλογα με την κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας, έτσι ώστε η μπαταρία να φορτίζεται όσο περισσότερο γίνεται χωρίς να υπερφορτίζεται ή να υπερθερμαίνεται. Οι δύο τεχνολογίες είναι διαφορετικές, η κάθε μία με τα πλεονεκτήματά της. Η ικανότητα που έχει ο MPPT να μετατρέπει μία υψηλότερη τάση που παράγουν τα φωτοβολταϊκά σε ρεύμα του δίνουν το προβάδισμα στην σύγκρισή τους όμως το αυξημένο του κόστος σε σχέση με τον PWM δίνει μία ευελιξία στην επιλογή.

3.2.4 Inverter

Με τον όρο αντιστροφέα, αναφερόμαστε στην διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος η οποία μετατρέπει τη συνεχή τάση των φωτοβολταϊκών πάνελ σε εναλλασσόμενη, αντίστοιχη με αυτήν του δικτύου. Ένας αντιστροφέας που προορίζεται για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις αποτελεί την διάταξη που μετατρέπει την παραγόμενη ενέργεια των φωτοβολταϊκών ενώ ταυτόχρονα ελέγχει το σύστημα για να λειτουργεί σωστά. Ο αντιστροφέας ανήκει στο balance of system (BOS) του συστήματος, δηλαδή στους παράγοντες που προσδίδουν σταθερότητα στο σύστημα [viii].

Χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει τις οικιακές συσκευές, είτε οδηγείται στο δίκτυο για να αξιοποιηθεί από τον πάροχο ηλεκτρισμού.

Σχήμα 3.5 - Inverter

Ο αντιστροφέας, είναι μία παθητική συσκευή η οποία δεν αποτελεί μονάδα παραγωγής ενέργειας αλλά καταναλώνει ενέργεια για να λειτουργήσει. Τροφοδοτείται από το δίκτυο ώστε να παράγει ενέργεια. Ένα μέρος της ενέργειας εισόδου τροφοδοτεί τον μετατροπέα ώστε να μην καταναλώνει λειτουργεί, ένα άλλο μέρος απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα με την μορφή θερμότητας και η ενέργεια που μένει μετατρέπεται. Η απόδοση των σύγχρονων μετατροπέων

είναι της τάξης του 98% και έχει ως αποτέλεσμα την τροφοδότηση σχεδόν ολόκληρης της ενέργειας εισόδου του μετατροπέα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς που επεξεργάζεται ο μετατροπέας τόσο μεγαλύτερες απώλειες εμφανίζει καθώς όταν αναπτύσσεται μεγάλη τάση και μεγάλα ρεύματα πάνω σε ηλεκτρονικές διατάξεις, εκλύεται μεγάλη ποσότητα θερμότητας.

Ένας ηλιακός μετατροπέας ή φωτοβολταϊκός μετατροπέας ή Inverter (εικόνα 3.5), είναι μία διάταξη απαραίτητη για κάθε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είτε αυτή είναι αυτόνομη είτε διασυνδεδεμένη στο δίκτυο. Συνήθως, παίρνει το όνομά του από την ονομαστική ισχύ που μπορεί να μετατρέψει. Η ονομαστική ισχύς περιγράφει την θεωρητικά μέγιστη τιμή ισχύος που μπορεί να οδηγήσει και έμμεσα προσδιορίζει την ονομαστική ισχύ που πρέπει να έχουν τα φωτοβολταϊκά. Γενικά, χρησιμοποιούνται μετατροπείς με μικρότερο φορτίο από το ονομαστικό τους αλλά δεν επιτυγχάνουν τον βέλτιστο βαθμό απόδοσης. Το καλύτερο δυνατό σημείο απόδοσης το εμφανίζουν στην ονομαστική ισχύ, στην οποία και είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν. Οι πιο συνηθισμένοι εμπορικοί μετατροπείς που προορίζονται για οικιακές εγκαταστάσεις έχουν 3.000-10.000 Watt ονομαστική ισχύ, ενώ αυτοί που προορίζονται για φωτοβολταϊκό πάρκο από 100.000 Watt μπορούν να ξεπεράσουν το μεγαβάτ.

3.2.4.1 ***Αντιστροφέας Φωτοβολταϊκού συστήματος***

Κάθε ηλιακός Inverter διαθέτει μία πληθώρα από λειτουργίες ελέγχου. Τέτοιες αποτελούν το maximum power point tracking (MPPT), που προαναφέρθηκε ως λειτουργία στους ελεγκτές μπαταρίας, καθώς και το anti-islanding δηλαδή τη προστασία του συστήματος σε περιπτώσεις ακραίων φαινομένων και αλλαγών (EMC) ή αποσύνδεσης του συστήματος από το δίκτυο. Αν αποσυνδεθεί το σύστημα από το δίκτυο, η μία άκρη του θα παρέχει τάση και ο Inverter θα την μετατρέπει σε εναλλασσόμενη όμως δεν θα την οδηγεί πουθενά με αποτέλεσμα να υπάρχουν σοβαρές πιθανότητες το σύστημα να μην λειτουργεί σωστά και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη. Αυτή η κατάσταση του συστήματος ονομάζεται floating αφού ουσιαστικά το σύστημα δεν κλείνει κύκλωμα. Έτσι, ο Inverter απομονώνει κάθε στοιχείο του συστήματος μέχρι να επανέλθει η σταθερότητα ή η σύνδεση με το δίκτυο [ix].

Μία διαφορετική λειτουργία του αντιστροφέα φωτοβολταϊκών συστημάτων, είναι η παρακολούθηση όλων των στοιχείων που επεξεργάζεται και η αποθήκευσή τους σε μία μνήμη. Καταγράφει μετρήσεις όπως τη στιγμιαία ένδειξη ενέργειας που παράγει το σύστημα εκείνη τη στιγμή, την ημερήσια ενέργεια που συγκέντρωσε καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας, τη τάση και το ρεύμα κάθε πλαισίου ή συστοιχίας πλαισίων (array) καθώς και τον μέσο όρο της θερμοκρασίας του κάθε πλαισίου. Όλες αυτές οι μετρήσεις είναι σημαντικές για τον προσδιορισμό της σωστής λειτουργίας του συστήματος. Μπορεί κανείς να διακρίνει αν αντιμετωπίζει κάποιο πρόβλημα το σύστημα ή ένα μέρος του ώστε να δράσει για την εξάλειψή του, συγκρίνοντας τις τωρινές μετρήσεις με αυτές που είχε το σύστημα όταν ξεκίνησε να λειτουργεί. Βέβαια, ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία, διαφοροποιούνται οι μετρήσεις. Σε ημέρα με υψηλή ακτινοβολία η τάση και η θερμοκρασία που συγκεντρώνει κάθε πλαίσιο είναι σημαντικά μεγαλύτερη από μία μέρα χωρίς ηλιακές ακτίνες [x].

Ένα μεγάλο μέρος του αντιστροφέα καταλαμβάνεται από ένα σύστημα ψύξης. Σε υψηλές τιμές τάσεων και ρευμάτων, τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα εμφανίζουν υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες επιδρούν αρνητικά στην απόδοση του. Περίπου η μισή έκταση του αντιστροφέα συνήθως αποτελείται από ψήκτρες παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στους ακουστικούς ενισχυτές. Όσο μεγαλύτερο χώρο καταλαμβάνουν, τόσο καλύτερη

εξαγωγή της θερμότητας καταφέρνουν. Συνεπώς, για την σταθεροποίηση της λειτουργία του αντιστροφέα χρησιμοποιούνται μεγάλες ψήκτρες θυσιάζοντας λίγο χώρο.

Οι αντιστροφέας που προορίζονται για διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα διαθέτουν ορισμένες προϋποθέσεις ώστε να είναι πλήρως συμβατοί με το δίκτυο. Ο πάροχος της Ελλάδας (Δ.Ε.Η) παρέχει σταθερά κυμάτωση κορυφής από 210-240 V με συχνότητα 50 Hz. Για την αποφυγή αρμονικών, η συχνότητα εκπομπής της κυματομορφής του αντιστροφέα επιβάλλεται να είναι ακριβώς 50 Hz με σχεδόν μηδενική απόκλιση. Διαφορά της τάξης του 0.1% δεν είναι αποδεκτή.

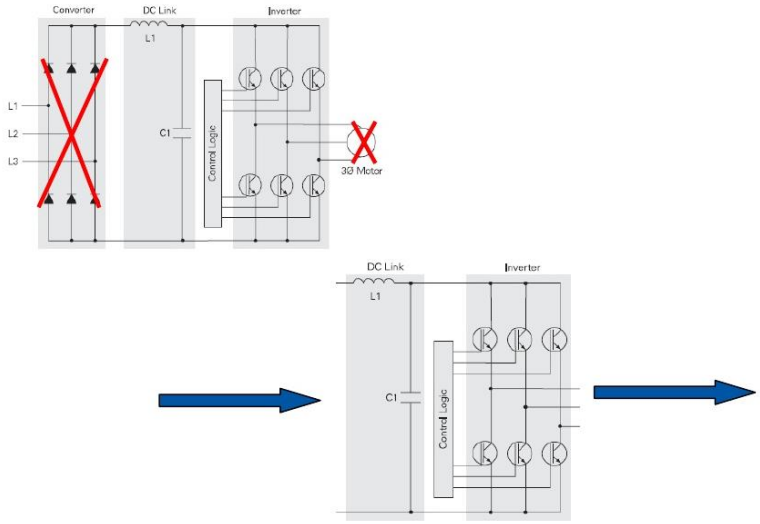
3.2.4.2 *Ιστορική αναδρομή*

Η απαρχή των πρώτων μετατροπέων εμφανίστηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Πρωτοεμφανίστηκαν με μορφή περιστροφικών μετατροπέων και κινητήρων χρησιμοποιώντας ηλεκτρομηχανικά στοιχεία και διακόπτες με ελατήριο και ηλεκτρονόμο (relay). Το 1947 με την ανακάλυψη των διακοπτών ημιαγωγού όπως τα τρανζίστορ, οι μετατροπείς παραμέρισαν το μηχανικό κομμάτι, αποτελώντας αποκλειστικά από ηλεκτρονικά υλικά. Όμως, τα χαμηλά κατώφλια τάσεων και ρευμάτων, περιόριζαν την επεξεργασία ικανοποιητικής ποσότητας ισχύος. Η ανακάλυψη των ελεγχόμενων ανορθωτών (SCR και Thyristor) το 1957 έδωσε το έναυσμα για την ανάπτυξη μετατροπέων υψηλής ισχύος. Από τότε, περισσότερα ημιαγώγιμα στοιχεία που παρουσιάζουν ιδιότητες ελέγχου ισχύος ήρθαν στο προσκήνιο με μεγαλύτερο ενδιαφέρον να συγκεντρώνεται στα IGBT τρανζίστορ και στην μέθοδο μεταβολής στο εύρος παλμού (PWM). Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω στοιχείων, προσδίδει τον υψηλότερη συντελεστή απόδοσης με τους καλύτερους χρόνους διακοπής. Με το εύρος παλμού, ελέγχεται η ποσότητα ενέργειας που τροφοδοτείται στο φορτίο με σχεδόν μηδενική αρμονική παραμόρφωση. Ως αποτέλεσμα έχει μία κυμάτωση πολύ κοντινή στο καθαρό ημίτονο με τον ψηφιακό έλεγχο να δίνει σταθερότητα στο σύστημα [xi].

3.2.4.3 *Η τεχνολογία του Inverter*

Γενικά, οι μετατροπείς χρησιμοποιούν παρόμοια τεχνολογία με αυτή του ελέγχου στροφών AC κινητήρων. Για την οδήγηση ενός κινητήρα, η κυμάτωση του δικτύου ανορθώνεται και στην συνέχεια μετατρέπεται σε ελεγχόμενη μορφή κυμάτωσης που έχει σκοπό να ελέγχει την ταχύτητα των στροφών του κινητήρα. Χρησιμοποιούνται φίλτρα για την αποκοπή των αρμονικών και IGBT διακόπτες για τον έλεγχο όπως εμφανίζεται στο σχήμα 3.6. (x).

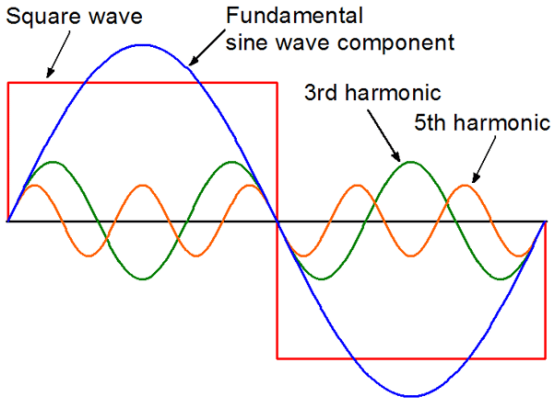
Στο κύκλωμα ενός απλού αντιστροφέα, η συνεχής τάση συνδέεται με έναν μετασχηματιστή μέσω του πρωτεύων τυλίγματος. Ένας διακόπτης αλλάζει ταχύτατα και συνεχόμενα κατάσταση ώστε το ρεύμα να οδηγείται εναλλασσόμενα μία στο ένα άκρο του πρωτεύον τυλίγματος και μία στο άλλο. Αυτή η εναλλαγή κατευθύνσεων στο πρωτεύον τύλιγμα δημιουργεί εναλλασσόμενη τάση στο δευτερεύον τύλιγμα τροφοδοτώντας ένα κύκλωμα που συνδέεται σε αυτό.



Σχήμα 3.6 – Αριστερά απεικονίζεται ένα τυπικό κύκλωμα ελεγκτή στροφών και δεξιά η μονάδα του αντιστροφέα με ροή της ενέργειας

Μόλις υπάρξει επαρκείς ποσότητα ισχύος, μία συστοιχία από τρανζίστορ και διάφοροι άλλοι τύποι ημιαγωγών που λειτουργούν σαν διακόπτες ενεργοποιούνται στο κύκλωμα του αντιστροφέα. Σε μεγάλης κλίμακας συστήματα (πολλών kilowatt) χρησιμοποιούνται thyristor και SCR. Αυτοί οι διακόπτες παρέχουν την ικανότητα χειρισμού μεγάλων ρευμάτων και τάσεων σε έναν μηχανισμό ημιαγωγών ενώ μπορούν να ελέγχονται σε μία ευρεία περιοχή τιμών.

Ο απλός αντιστροφέας που περιεγράφηκε παραπάνω, όταν δεν είναι συνδεδεμένος σε έναν μετασχηματιστή εξόδου, παράγει μία τετραγωνική κυματομορφή λόγω της ενεργοποίησης και απενεργοποίησης των διακοπτών. Έρχεται σε αντιπαράθεση με την ημιτονοειδές κυματομορφή που χρησιμοποιεί το δίκτυο. Χρησιμοποιώντας την ανάλυση Fourier, οι περιοδικές κυματομορφές αντιπροσωπεύονται από το άθροισμα ενός μεγάλου αριθμού από ημιτονοειδές κύματα. Το ημίτονο που έχει την ίδια συχνότητα με την αρχική κυματομορφή ονομάζεται θεμελιώδες στοιχείο ενώ όλα τα υπόλοιπα ονομάζονται αρμονικές και έχουν συχνότητα πολλαπλάσια του θεμελιώδες στοιχείου.



Σχήμα 3.7

Για τον προσδιορισμό όλων των αρμονικών χρησιμοποιείται η ανάλυση Fourier η οποία ισούται με το πηλίκο της τετραγωνικής ρίζας των τετραγώνων των τάσεων κορυφής όλων των αρμονικών με την τάση από το θεμελιώδες στοιχείο όπως απεικονίζεται στον τύπο 3.1.

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + ... + V_n^2}}{V_1} \qquad \textbf{(3.1)}$$

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνικές ελέγχου ισχύος που χρησιμοποιούνται στους αντιστροφείς. Οι διαφορετικές προσεγγίσεις σχεδιασμού αντιμετωπίζουν διάφορα ζητήματα που μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο σημαντικά ανάλογα με την χρήση του Inverter και του συστήματος. Για την αποφυγή των αρμονικών, χρησιμοποιούνται επαγωγικά και ωμικά στοιχεία όπως πυκνωτές, πηνία και αντιστάσεις σε σχηματισμό φίλτρων. Ανάλογα με την περίπτωση και την χρήση χρησιμοποιείται το κατάλληλο φίλτρο και ο κατάλληλος σχηματισμός. Εάν υπάρχει μετασχηματιστής στο κύκλωμα, αντίστοιχα φίλτρα τοποθετούνται στην είσοδο και στην έξοδο του. Στην έξοδο, χρησιμοποιείται χαμηλοπερατό φίλτρο για να επιτραπεί η διέλευση της κυμάτωσης μόνο του θεμελιώδες στοιχείου, περιορίζοντας την διέλευση των αρμονικών. Το φίλτρο εξόδου, είναι ρυθμισμένο να ξεπερνάει ελάχιστα την βασική συχνότητα για να μην αποκόπτει κανένα μέρος του.

Καθώς τα περισσότερα φορτία είναι επαγωγικά, χρησιμοποιούνται ενισχυτές με ανάδραση και αντιπαράλληλοι δίοδοι σε κάθε ημιαγωγό διακόπτη ώστε να επιτραπεί η δίοδος στο επαγωγικό ρεύμα όταν ο διακόπτης είναι ανοικτός. Οι αντιπαράλληλες δίοδοι είναι κάπως παρόμοιες με τις διόδους ελεύθερης ροής που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα κινητήρων για την εξομάλυνση του θορύβου στη κυμάτωση εξόδου.

Ένας τυπικός μετατροπέας ισχύος, μεταβάλει την τάση, το ρεύμα καθώς και την συχνότητα εισόδου, παράγοντες που εξαρτώνται από τις συνθήκες που είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί. Σε εγκαταστάσεις σχεδιασμένες να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο, είναι επιτακτικό οι κυματομορφές να μην έχουν την ελάχιστη απόκλιση από την συχνότητα του δικτύου. Σε αντίθετη περίπτωση δημιουργούν στάσιμα κύματα πάνω στις γραμμές του παρόχου, τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρές βλάβες στις συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο αλλά και στον ίδιο τον πάροχο.

Η έξοδος που παράγει ο μετατροπέας θυμίζει αυτή του ημιτόνου. Σε πολλές περιπτώσεις, μία τροποποίηση της κυματομορφής του καθαρού ημιτόνου προκύπτει, οδηγώντας κάποιο φορτίο. Διάφορες εκβάσεις είναι ένας τετραγωνικός παλμός, ένα τροποποιημένο ημίτονο καθώς και ένας παλμός ρυθμιζόμενου πλάτος (PWM) που σε κάθε περίπτωση εξαρτώνται από την διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος του μετατροπέα. Ωστόσο, οι πιο διαδεδομένες κυματομορφές είναι αυτές του καθαρού ημιτόνου και του τροποποιημένου ημιτονοειδούς κύματος.

3.2.4.4 *Κυματομορφή παλμού*

Οι τετράγωνη κυματομορφή αποτελεί την απλούστερη κυμάτωση που μπορεί να δημιουργήσει ένας μετατροπέας και μετατροπείς παλμού αποτελούν την καλύτερη επιλογή για εφαρμογές χαμηλής ευαισθησίας. Σε περιπτώσεις που η εγκατάσταση χρησιμοποιεί μόνο φωτισμό και θέρμανση τοποθετούνται μετατροπέας παλμού. Σε κάθε άλλη περίπτωση, η έξοδος του παλμού μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα, όπως βόμβο σε ηχητικό εξοπλισμό οπότε δεν προτιμάται σε ηλεκτρονικά που χρειάζονται συγκεκριμένη ευαισθησία.

3.2.4.5 *Κυματομορφή καθαρού ημιτόνου*

Οι μετατροπείς καθαρού ημιτόνου αποτελούν γεννήτριες ημιτονοειδούς κυματομορφής με μικρή παραμόρφωση. Στην πραγματικότητα, οι μετατροπείς καθαρού ημιτόνου του εμπορίου, δεν παράγουν καθαρές κυματομορφές ημιτόνου αλλά μία μορφή τετραγωνικού παλμού λιγότερο ασταθή από τις υπόλοιπες μορφές κυματομορφών. Διαθέτουν σχεδίαση παρόμοια με αυτή του τροποποιημένου ημιτόνου με τρία βήματα στην έξοδό τους. Ωστόσο δεν έχει ουσιαστική επιρροή στις ηλεκτρικές συσκευές αφού μεταχειρίζονται την κυμάτωση αρκετά ικανοποιητικά. Οι μετατροπείς καθαρού ημιτόνου αποτελούν την λύση με τα καλύτερα αποτελέσματα στις οικιακές συσκευές καθώς είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν σε ημιτονοειδές κυματομορφή, όπως του δικτύου.

Μετατροπείς ημιτόνου με περισσότερα από τρία βήματα στην έξοδό τους, αποτελούν πιο σύνθετες επιλογές με σημαντικά υψηλότερο κόστος από έναν τριών καταστάσεων (three step) ή ενός τετραγωνικού παλμού (ενός βήματος) που επεξεργάζονται την ίδια ισχύ. Συσκευές με switching τροφοδοσία (SMPS), λειτουργούν με την λογική του καθαρού ημιτόνου ή καλύτερα του τροποποιημένου ημιτόνου υψηλής ποιότητας.

3.2.4.6 *Κυματομορφή τροποποιημένου ημιτόνου*

Η κυματομορφή ενός μετατροπέα τροποποιημένου ημιτόνου, αποτελεί το άθροισμα δύο τετραγωνικών παλμών με διαφορά φάσης 90 μοίρες. Η έξοδος είναι μία κυμάτωση τριών επιπέδων με παύσεις κατά την διάρκεια που ο παλμός μεταβαίνει από το θετικό προς το αρνητικό μέτωπο και ανάστροφα. Αυτή η παραγόμενη κυματομορφή μοιάζει σε μεγάλο βαθμό με ένα ημίτονο. Γενικά, ο λόγος της τιμή κορυφής με την RMS τιμή δεν διατηρεί την ίδια σχέση με το ημιτονοειδές κύμα. Τα διαστήματα μετάβασης είναι ελεγχόμενα και έχουν επίπτωση στην RMS τιμή της κυμάτωσης. Ο λόγος του χρόνου απενεργοποίησης μπορεί να ρυθμιστεί για να μεταβάλει την RMS τάση, διατηρώντας σταθερή συχνότητα με τεχνική διαμόρφωσης του πλάτος του παλμού (PWM). Στην έξοδο, εμφανίζονται αρμονικές, που επηρεάζονται από το πλάτος των παλμών καθώς και τη συχνότητα διαμόρφωσης. Στην λειτουργία επαγωγικών κινητήρων, αυτή η αρμονική παραμόρφωση παρουσιάζει αυξημένη θερμότητα και μπορεί να παράγει παλμική ροπή που μπορεί να γίνει καταστροφική για ολόκληρο το κύκλωμα. Αυτοί οι μετατροπείς αποτελούν τους φθηνότερους μετατροπείς του εμπορείου.

3.3 Επίδραση της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον

Έχουν γίνει μελέτες με επίκεντρο τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των μη ανανεώσιμων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Πρόσφατα, η Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και αρκετά μεμονωμένα κράτη συμπεριλαμβανομένου της Ελλάδας, έχουν υιοθετήσει νέες πολιτικές για την χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν τη βάση του

μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας, το οποίο αποτελεί το σημείο εστίασης των οικολογικών οικονομιών παγκοσμίως [vi]. Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή χρήση του 1979 και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Τα εγγενή πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και κυρίως η ουσιαστική συμβολή τους στην ενεργειακή απεξάρτηση της ανθρωπότητας από τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους, επιτάσσουν αυτήν τη στροφή.

Κάθε χρόνο, η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που καταφτάνει στα άνω τμήματα της ατμόσφαιράς είναι της τάξης των 170.000 Terawatt ($173x10^{12}$Watt). Έτσι, μπορούμε να χαρακτηρίσουμε την ηλιακή ενέργεια πρακτικά ανεξάντλητη. Η ποσότητα αυτή είναι περίπου διπλάσια από την ενέργεια που θα μπορέσει να ληφθεί από μη ανανεώσιμες πηγές, όπως ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Έτσι, κρίνεται σκόπιμη η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και τα τελευταία χρόνια βλέπουμε ραγδαία αύξηση και χρησιμοποίησή της.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν έναν αξιόλογο αριθμό πλεονεκτημάτων. Αρχικά, τα υλικά κατασκευής δεν προκαλούν κανέναν απολύτως ρίπο προς το περιβάλλον για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι πρακτικά ανεξάντλητη, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει καθόλου. Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι πρακτικά μηδαμινές, καθώς η συντήρηση επικεντρώνει στα φωτοβολταϊκά και στην καθαριότητα τους. Η χρήση ιδικής κατασκευής στήριξης των φωτοβολταϊκών δεν είναι απαραίτητη. Τοποθετούνται σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές όπως είναι η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτηρίου. Για την μεγιστοποίηση αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας υπάρχουν ιδικές κατασκευές και μηχανισμοί που αλλάζουν την γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών πάνω στα φωτοβολταϊκά ως προς τον ήλιο. Ωστόσο, δεν είναι απαραίτητα ούτε αναγκαία [xii].

Όλα τα φωτοβολταϊκά μοιράζονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που ξεπερνά τα 30 χρόνια)
- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ελάχιστη συντήρηση

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Τα φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (όπως π.χ. τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής, οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου) αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Ένα

επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον. Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, 7 από 33 δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι αδιαμφισβήτητα. Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου). Ένα κιλοβάτ φωτοβολταϊκών αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα (CO2). Χρειάζονται 2 στρέμματα δάσους ή περίπου 100 δέντρα για να απορροφήσουν αυτή την ποσότητα CO2. Για να παραχθεί η ίδια ηλεκτρική ενέργεια με πετρέλαιο, απαιτούνται 2,2 βαρέλια πετρελαίου κάθε χρόνο. Από περιβαλλοντική άποψη, αποφεύγοντας 1.300 κιλά CO2 ετησίως είναι σαν να κάνει ένα μέσο αυτοκίνητο 7.000 χιλιόμετρα λιγότερα κάθε χρόνο

3.4 Μελλοντικές εξελίξεις

Τα κίνητρα που αναφέρονται στην ανάπτυξη της ηλιακής τεχνολογίας αποσκοπούν στην βραχυπρόθεσμη μείωση των εκπομπών διοξειδίων του άνθρακα (CO_2). Ωστόσο δεν θα πρέπει να σταθούμε εκεί. Ο κυρίαρχος στόχος είναι η δημιουργία θεμελίων για μία εύρους κλίμακας αλλαγή στην περιβαλλοντικές εκπομπές διοξειδίων του άνθρακα ικανοποιώντας ταυτόχρονα την αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση για ενέργεια. Ένας δευτερεύων στόχος αποτελεί η επιτέλεση αυτού του σκοπού με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο χρησιμοποιώντας δημόσια κονδύλια και ιδιωτικούς πόρους [xiii]. Ο λιγότερο δαπανηρός τρόπος προώθησης της ηλιακής ανάπτυξης μπορεί να γίνει μία πολιτική επιβράβευσης της παραγωγής σύμφωνα με το σύστημα παροχής ηλιακής ενέργειας. Μία επιδότηση αρκετά πιο αποτελεσματική είναι ανάλογη με το φορολογούμενο ποσό που ξοδεύεται για την ηλιακή τεχνολογία όσο επιβραβεύεται η παραγωγή και όχι οι επενδύσεις. Η απουσία χρέωσης ανά εκπεμπόμενο ρύπο CO_2 αποτελεί λάθος χρονική περίοδο για να μειωθούν ραγδαία οι επιχορηγήσεις όπως ήδη γίνεται. Με την επαναφορά των επιδοτήσεων των επενδύσεων όμως με αντικατάσταση των ελαφρύνσεων από φορολογικές μονάδες σε απευθείας παροχές εισοδήματος θα γινόταν πιο αποτελεσματική η κρατική βοήθεια. Οι κρατικές και συλλογικές πολιτικές επιδοτήσεων των οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ακόμα σε νηπιακό στάδιο και για αυτόν τον λόγο ακόμα δεν υπάρχει μεγάλη ανάπτυξη στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ακόμα, η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών υλικών με την ανακάλυψη των λεπτών στρώσεων (thin film) δίνει σημαντικά πιο βελτιωμένα αποτελέσματα από τα υλικά που κυκλοφορούν στο εμπορείο όπως τα κύτταρα κρυσταλλικού πυριτίου. Αναμένεται μεγάλη αύξηση του βαθμού απόδοσης των

φωτοβολταϊκών στοιχείων μέσα στα επόμενα χρόνια και σε συνδυασμό με την συνεχή μείωση του κόστους των υλικών κατασκευής, το μέλλον αναμένεται αισιόδοξο.

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας χρησιμοποιούνται είτε άμεσα είτε έμμεσα, ύστερα από μετατροπή τους σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας κυριότερα σε ηλεκτρική ή χημική. Μελέτες έχουν δείξει ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Όμως, το υψηλό κοστολόγιο των νέων ενεργειακών εφαρμογών σε συνεργασία με τις πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες παρεμποδίζουν την εκμετάλλευση ακόμα και μέρους αυτού του δυναμικού.

4 Σειριακή Επικοινωνία

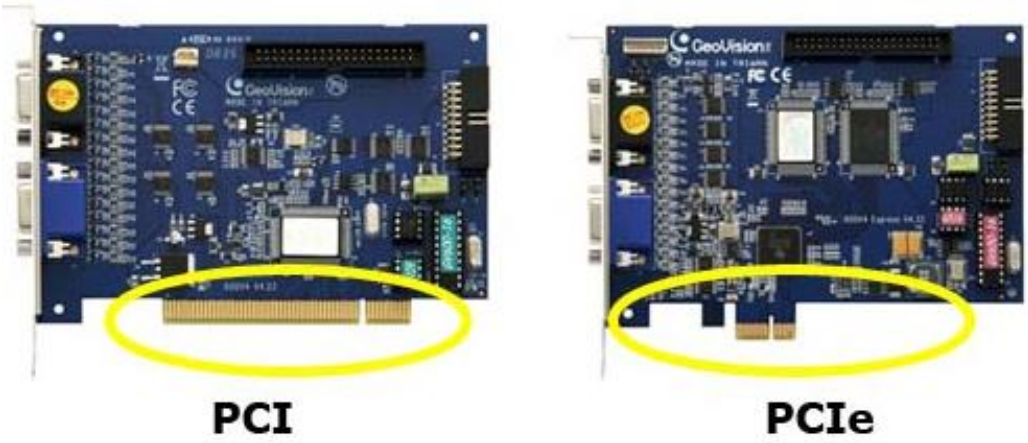
Στις τηλεπικοινωνίες και στην πληροφορική, με τον όρο σειριακή επικοινωνία αναφερόμαστε στην διαδικασία της αποστολής δεδομένων ενός bit κάθε φορά, διαδοχικά, σε ένα κανάλι επικοινωνίας ή έναν υπολογιστικό δίαυλο (bus)[(4)]. Η σειριακή επικοινωνία έρχεται σε αντίθεση με την παράλληλη επικοινωνία, όπου γίνεται μετάδοση ταυτόχρονα πολλαπλών bit συνήθως σε πακέτα των 8 bit (byte) διαμέσου πολλαπλών παράλληλων καναλιών. Σειριακή επικοινωνία χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων καθώς και στα περισσότερα δίκτυα υπολογιστών καθώς το κόστος των καλωδίων και οι δυσκολίες συγχρονισμού καθιστούν την παράλληλη επικοινωνία πρακτικά ανέφικτη. Ακόμα και σε μικρές αποστάσεις χρησιμοποιείται όλο και συχνότερα σειριακή επικοινωνία καθώς αυξάνεται η ακεραιότητα του σήματος εκπομπής. Ακόμα, η ταχύτητα μετάδοσης των νέας γενιάς σειριακών τεχνολογιών έχει αυξηθεί σε τέτοιο βαθμό που καλύπτει το χάσμα μεταξύ της παράλληλης και της σειριακής επικοινωνίας.

4.1 Εισαγωγή στην σειριακή επικοινωνία

Στις επικοινωνίες, επιδιώκεται ένα μεγάλο εύρος ζώνης με χαμηλό κόστος και μεγάλη αξιοπιστία. Δυστυχώς, αυτά τα μεγέθη συγκρούονται μεταξύ τους και δεν μπορούν να επιτευχθούν ταυτόχρονα με αποτέλεσμα σε κάθε περίπτωση να δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα σε κάποια από τις παραμέτρους. Για παράδειγμα, σε μία ζεύξη που έχει αυξημένη ασφάλεια, χρησιμοποιείται αρκετό εύρος μέσα στο κανάλι επικοινωνίας για να προστεθεί κωδικοποίηση, οπότε αποτέλεσμα έχει μία χαμηλότερη ταχύτητα επικοινωνίας. Στην παράλληλη επικοινωνία χρησιμοποιούνται περισσότεροι αγωγοί αυξάνοντας την ταχύτητα της επικοινωνίας όμως ανεβαίνει το κόστος. Σε κάθε περίπτωση, τροποποιείται η επικοινωνία ώστε να αυξηθεί ένας παράγοντας ενδιαφέροντος και υποβαθμίζεται ένας παράγοντας που είναι σχετικά αδιάφορος για την εφαρμογή.

Η σειριακή επικοινωνία έχει αρχίσει να αντισταθμίζει τα πλεονεκτήματα των παράλληλων διαύλων επικοινωνίας κυρίως λόγο απλότητας αφού δεν υπάρχει ανάγκη για κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση του σήματος σε πομπό και δέκτη. Με την πάροδο του χρόνου και τις νέες γενιές σειριακών επικοινωνιών, μειονεκτήματά όπως η πυκνότητα διασύνδεσης καθώς και η παραποίηση του παλμού – clock[(5)] ξεπερνιούνται. Ένα παράδειγμα

είναι η μετάβαση από το PCI σε PCI Express, όπου στην PCI-e όπως είναι διαδεδομένη η ονομασία της, έχουμε διπλάσιο ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας με χρήση λιγότερων pin καθώς και καλύτερη κλιμάκωση απόδοσης σε συσκευές που διαθέτουν υπολογιστικό δίαυλο. Πρακτικά, όλες οι επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων μεταδίδουν ένα bit δεδομένων κάθε φορά και όχι παράλληλα, γιατί μειώνεται το κόστος καλωδίου που χρησιμοποιείται. Για να επιτευχθεί η παράλληλη επικοινωνία πρέπει να υπάρχουν πολλαπλά μέσα μεταφοράς των δεδομένων, συνεπώς πολλά καλώδια οπότε το κόστος κατασκευής ανεβαίνει.



Εικόνα 4.1 – Δίαυλος PCI και PCI-Express σε μία κάρτα γραφικών

Τα περισσότερα καλώδια μεταφέρουν ένα bit δεδομένων την φορά, συμπεριλαμβανομένου των Serial ATA. Τα Serial ATA είναι ένα πρότυπο διαύλου δεδομένων που χρησιμοποιείται στους υπολογιστές με σκοπό την μεταφορά δεδομένων από τους σκληρούς δίσκους HDD[(6)] και SSD[(7)] ή τα οπτικά μέσα των υπολογιστών προς την κεντρική μονάδα επεξεργασίας και αντίστροφα. Ο δίαυλος SATA έχει αντικαταστήσει σταδιακά τον δίαυλο IDE ο οποίος μετέφερε τα δεδομένα παράλληλα, μειώνοντας τους 40 αγωγούς του IDE σε 7.

Εικόνα 4.2 – Δίαυλος IDE και SATA

Το καλώδιο δικτιού, αλλιώς καλώδιο Ethernet, μεταφέρει τα δεδομένα σε σειριακή μορφή. Ακόμα και τα δεδομένα προς τις οθόνες της τηλεόρασης και του υπολογιστή, μεταφέρονται σε σειριακή μορφή. Όλα τα βύσματα μαζί με τα καλώδια μεταφοράς της εικόνας, αναλογικά (DVI-A και VGA) και ψηφιακά (DVI-D, HDMI και DisplayPort), μεταφέρουν σειριακά δεδομένα.

Η αρχική σειριακή όπως και η παράλληλη θύρα λόγο της χαμηλής ταχύτητας ξεπεράστηκαν από τις σύγχρονες σειριακές θύρες όπου τα δεδομένα στέλνονται με συνεχή ροή και σταθερό ρυθμό. Η σύγχρονη επικοινωνία προϋποθέτει ότι ο παλμός ρολογιού clock στον πομπό και στον δέκτη έχουν τον ίδιο ρυθμό (συχνότητα) ώστε ο δέκτης να μπορεί να κάνει δειγματοληψία κατά τον χρόνο που ο πομπός δεν στέλνει δεδομένα. Δεν χρησιμοποιεί bit εκκίνησης και σταματημού οπότε επιτρέπει περισσότερες πληροφορίες να περάσουν προς τον δέκτη. Ωστόσο, ο παλμός ρολογιού τείνει να απομακρύνεται από την αρχική συχνότητα, οπότε χρειάζεται συνεχής επανασυγχρονισμός. Η διαδικασία του επανασυγκχρονισμού, πρωτοεμφανίστηκε στην θύρα FireWire και στην mini Din ή PS/2 καθώς και αργότερα στην θύρα USB που έχει καθιερωθεί εδώ και μερικά χρόνια.

Εικόνα 4.3 – Βύσματα μεταφοράς εικόνας

Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση στο κανάλι επικοινωνίας, εμφανίζεται στην φορά μεταφοράς των δεδομένων της ζεύξης. Ο τρόπος επικοινωνίας διακρίνεται σε

- Simplex
- Half duplex
- Full duplex.

Στην simplex επικοινωνία, τα σήματα έχουν φορά προς μία κατεύθυνση, από τον πομπό στον δέκτη. Ο καθορισμός του πομπού και του δέκτη καθώς και της φοράς που μεταφέρονται τα δεδομένα καθορίζονται από τον μικροελενκτή του κυκλώματος από τον καταχωρητής TRIS της πόρτας εισόδου-εξόδου.

Στην Half Duplex, η επικοινωνία είναι ορισμένη να γίνεται και προς τις δύο κατευθύνσεις μέσα από πόρτες που είναι προκαθορισμένες ως είσοδοι και έξοδοι. Ωστόσο, χρησιμοποιούνται οι ίδιες γραμμές επικοινωνίας στην αποστολή και στην λήψη και κάθε χρονική στιγμή μπορεί ένας να είναι ο πομπός και ένας ο δέκτης. Πρακτικά, δεν είναι εφικτή η ταυτόχρονη μεταφορά σημάτων. Ο δέκτης καθορίζει κάθε φορά μέσα στον καταχωρητή TRIS του μικροελενκτή ποιος θα είναι ο πομπός και ποιος ο δέκτης, με συνεχείς εναλλαγές.

Η Full Duplex επικοινωνία, παρέχει την δυνατότητα ταυτόχρονης εκπομπής και λήψης δεδομένων. Συσκευές που χρησιμοποιούν αυτό τον τρόπο επικοινωνίας, χρησιμοποιούν τον διπλάσιο αριθμό γραμμών εισόδων-εξόδων, ωστόσο δεν χρειάζεται συνεχής εναλλαγή του καταχωρητή του μικροελενκτή. Για την αποφυγή του διπλάσιου αριθμού γραμμών, μία διαφορετική μέθοδος επικοινωνίας επιτυγχάνεται με μεταβολές ρεύματος των σημάτων. Ο πομπός δίνει κάποιο ρεύμα στο κανάλι και η λήψη της πληροφορίας στον δέκτη επιτυγχάνεται με την αφαίρεση του ρεύματος εκπομπής από το κανάλι. Οι υπόλοιποι προαναφερθέντες τρόποι επικοινωνίας χρησιμοποιούν διαφορετικές στάθμες τάσης ώστε να ξεχωρίζει ο δέκτης το λογικό 0 και το λογικό 1.

4.2 Ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία - UART

Η ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία (**U**niversal **A**synchronous **R**eceiver/**T**ransmitter) αποτελεί μία μορφή σειριακής επικοινωνίας κατά την οποία τα μεταδιδόμενα σήματα δεν είναι συνεχώς συγχρονισμένα. Με αυτόν τον τρόπο μετάδοσης, υπάρχει μία ισχυρή πιθανότητα τα σήματα πληροφορίας που φτάνουν στον δέκτη, να υπερκαλύπτονται. Για να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο, συγχρονίζονται από ένα σήμα παλμού (clock). Η ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία αντιπροσωπεύει τον υπολογιστικό μηχανισμό κατά τον οποίο διαμορφώνεται συνεχώς ο ρυθμός μετάδοσης καθώς και η μορφή των πληροφοριών (format). Η διαμόρφωση, ελέγχεται από ένα υποκύκλωμα οδήγησης που συνηθίζεται να περιλαμβάνεται μέσα στους μικροελενκτές. Υπάρχουν μικροελενκτές που συνδυάζουν περισσότερα από ένα σύστημα ασύγχρονης επικοινωνίας στο κέλυφός τους ενώ αρκετοί διαθέτουν δύο ή και περισσότερα.

4.2.1 Τρόπος λειτουργείας των ασύγχρονων πομποδεκτών UART

Κάθε πομπός ασύγχρονου πομποδέκτη (UART) μεταδίδει διαδοχικά τα bits από κάθε byte δεδομένων. Στον δέκτη, ένα δεύτερο σύστημα UART συγκεντρώνει τα δεδομένα κάθε πακέτου που λαμβάνει και τα επανατοποθετεί σε byte. Κάθε σύστημα ασύγχρονου πομποδέκτη, διαθέτει έναν καταχωρητή μετατόπισης (shift register) που βοηθάει στην συγκέντρωση αλλά και στην ομαδοποίηση των δεδομένων. Στα ψηφιακά ηλεκτρονικά, ένας καταχωρητής μετατόπισης αποτελείται από μία μίξη πολλαπλών flipflop, τα οποία δέχονται τον ίδιο παλμό ρολογιού και η έξοδος του κάθε flipflop είναι συνδεδεμένη στην είσοδο του επόμενου, σε σχηματισμό αλυσίδας. Αποτέλεσμα του, είναι ένα κύκλωμα το οποίο μετατοπίζει κατά μία θέση την ακολουθία των bit που εφαρμόζεται στην είσοδό του, προσθέτοντας τα bit που εμφανίζονται στην είσοδο του και αφαιρώντας τα τελευταία bit της ακολουθίας σε κάθε μετάβαση της εισόδου χρονισμού [xv].

Το σύστημα ασύγχρονων πομποδεκτών από μόνο του, δεν παράγει ούτε δέχεται απευθείας τα εξωτερικά σήματα που χρησιμοποιούνται. Ξεχωριστές μονάδες επιτελούν αυτή την λειτουργία καθώς και την μετατροπή των λογικών στάθμεων επικοινωνίας από και προς την εξωτερική σηματοδότηση, που μπορεί να είναι επίπεδα τάσης, ρεύματος ή κάποιο άλλο σήμα. Κατά την αποκωδικοποίηση του λαμβανόμενου σήματος, η ροή δεδομένων περιέχει στα

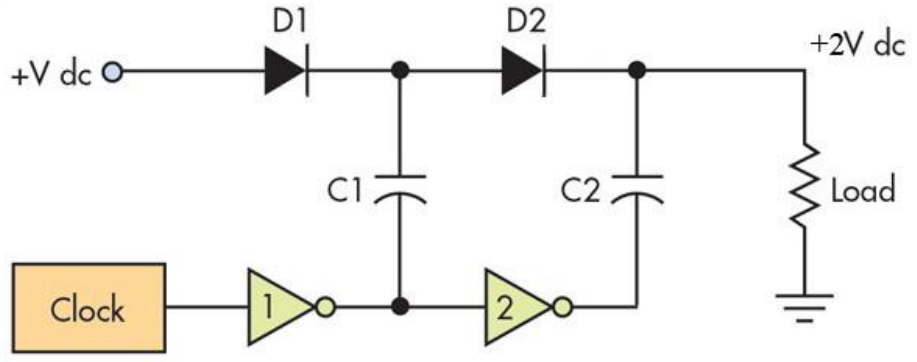
άκρα της την πληροφορία συγχρονισμού, με μορφή σημάτων εκκίνησης και σταματημού τοποθετημένα στην αρχή και στο τέλος κάθε μεταδιδόμενου πακέτου. Στο αρχικό μεταδιδόμενο σήμα, υπάρχει μία ακολουθία από bits τα οποία ενημερώνουν τον δέκτη πως θα ακολουθήσει εκπομπή σήματος πληροφορίας. Έτσι, το αρχικό σήμα ενημερώνει τον δέκτη πως θα ξεκινήσει η διαδικασία αποστολής των πληροφοριών. Το ερέθισμα για να σταματήσει να δέχεται πληροφορίες ο δέκτης, το λαμβάνει από το εκπεμπόμενο σήμα. Υπάρχουν ορισμένα bit, τα οποία ακολουθούν τα bit πληροφορίας και περιέχουν την ακολουθία τέλους της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Μόλις την αναγνωρίσει ο δέκτης, σταματάει να λαμβάνει δεδομένα και επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση, αναμένοντας την επόμενη κωδικοποιημένη ακολουθία που περιλαμβάνει την πληροφορία εκκίνησης.

Η ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία αποτελεί ένα οικονομικό μέσο επικοινωνίας χαμηλών ταχυτήτων. Δεν χρειάζεται κάποιο σήμα ρολογιού οπότε χρησιμοποιεί έναν λιγότερο αγωγό ελαχιστοποιώντας το κόστος. Τα συστήματα ασύγχρονων επικοινωνιών είναι ευρέως διαδεδομένα στις συζεύξεις με πρότυπα επικοινωνίας όπως το TIA-RS 232, TIA-RS 422 και TIA-RS 485. Ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που μπορεί να οδηγήσει ασύγχρονα σειριακά δεδομένα με το πρότυπο RS-232 είναι το MAX 232 της εταιρίας MAXIM. Η σύνδεσή του είναι αρκετά απλή αφού για την επικοινωνία χρειάζεται μόνο η σύνδεση των άκρων Tx, Rx καθώς και του σημείου αναφοράς GND ώστε να μεταφερθούν σωστά τα δεδομένα. Στο συγκεκριμένο ολοκληρωμένο κύκλωμα είναι αναγκαία και η σύνδεση κάποιων εξωτερικών πυκνωτών, που χρησιμοποιούνται στην αντλία φόρτισης, σύμφωνα με το datasheet της εταιρίας.

Εικόνα 4.4 – Ολοκληρωμένο κύκλωμα MAX 232

Χρησιμοποιώντας την τάση τροφοδοσίας του ολοκληρωμένου και το σήμα παλμού ρολογιού που παράγει ένας εξωτερικός ταλαντωτής (τοποθετείται εξωτερικά στον μικροελενκτή), διαμέσου ενός δικτύου διόδων και πυκνωτών καθώς και ενός αντιστροφέα, η τάση στα άκρα των πυκνωτών μπορεί να πολλαπλασιαστεί ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται όπως στην εικόνα 4.5. Αυτή η τεχνολογία ονομάζεται αντλία φόρτισης (charge pump) σύμφωνα με την οποία η έξοδος του ολοκληρωμένου παίρνει δυναμικά στάθμης TTL (έως +- 15V) ενώ τροφοδοτείται με +5Vdc. Ωστόσο με αυτή τη τεχνική δεν μπορούμε να οδηγήσουμε μεγάλα φορτία. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα της MAXIM καθώς και των περισσότερων εταιριών που χρησιμοποιούν την τεχνική της αντλίας φόρτισης, καταναλώνουν περίπου 20 mA ρεύμα για να λειτουργήσουν. Για να επιτευχθεί η ανύψωση τάσης,

παρουσιάζεται μία μικρή πτώση στο ρεύμα. Για τον λόγο ότι υπάρχει μικρή κατανάλωση στα περισσότερα από τα ολοκληρωμένα, η τεχνική της αντλίας φόρτισης αξιοποιείται πλήρως.



Εικόνα 4.5 – Παράδειγμα αντλίας φόρτισης

4.2.2 Τα βασικά χαρακτηριστικά των ασύγχρονων επικοινωνιών

Κάθε ζεύξη σειριακής επικοινωνίας έπεται από μερικές αρχές. Ορισμένοι παράμετροι πρέπει να ταυτίζονται ώστε να υπάρξει κατανόηση μεταξύ του πομπού με τον δέκτη. Μία αντίστοιχη περίπτωση, συμβαίνει με την γλώσσα επικοινωνίας που χρησιμοποιούν οι άνθρωποι. Για να συνεννοηθούν δύο άνθρωποι αρχική προϋπόθεση είναι να συνομιλούν στην ίδια γλώσσα, καθώς και την ίδια διάλεκτο. Υπάρχουν αρκετές τροποποιήσεις την γλώσσας που συναντάμε σε διαφορετικές περιοχές μέσα στην ίδια χώρα. Για παράδειγμα, δύο άνθρωποι ένας από την Κρήτη και ένας από την Ξάνθη, μιλάνε την ίδια γλώσσα αλλά υπάρχει μία δυσκολία στην κατανόηση τους γιατί και στις δύο περιπτώσεις έχει τροποποιηθεί ελάχιστα η γλώσσα. Αντίστοιχα, στην επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών που βρίσκονται στην αρχή και το τέλος του ίδιου καναλιού, απαραίτητη προϋπόθεση ώστε να υπάρχει επικοινωνία είναι η ταύτιση των ίδιων προτύπων επικοινωνίας καθώς χρησιμοποιούν τις ίδιες παραμέτρους.

Τις βασικές παραμέτρους της σειριακής επικοινωνίας αποτελούν το baud rate, τα data bits, τα stop bits και τα parity bits. Για να επικοινωνούν δύο συσκευές πρέπει και οι τέσσερις αυτές οι παράμετροι να ταυτίζονται.

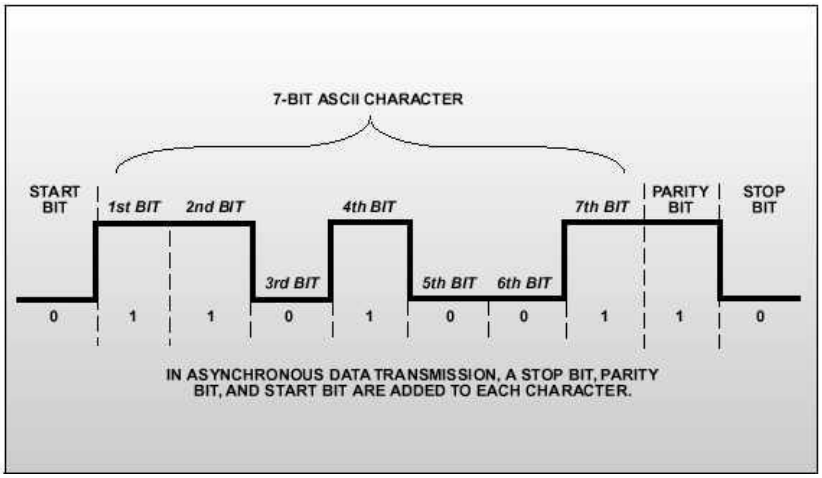
- Το **Baud rate** αποδίδει την ταχύτητα της επικοινωνίας. Αποτελεί τον ρυθμό διαμόρφωσης ή τον ρυθμό εναλλαγής συμβόλων που γίνονται στο μέσο μετάδοσης ανά δευτερόλεπτο σε κάποιο ψηφιακά διαμορφωμένο σήμα. Μονάδα μέτρησης είναι τα σύμβολα ανά δευτερόλεπτο (symbols per seconds). Συχνά, ταυτίζεται με το Bitrate, δηλαδή τον ρυθμό των μεταδιδόμενων bit και για τον λόγο αυτόν εκφράζεται ως bit ανά δευτερόλεπτο. Μία διαφορετική ερμηνεία, σχετίζει το baud rate με τον ακαθάριστο ρυθμό δυαδικών ψηφίων με μονάδα μέτρησης τα bit ανά δευτερόλεπτο. Όταν γίνεται αναφορά στον χρόνο μίας περιόδου, το αποτέλεσμα αποδίδεται στο baud rate. Για παράδειγμα για Baud rate 4,800 pbs, η συχνότητα αντιστοιχεί σε 4,800 Hz. Η σχέση

που δίνει το baud rate υπολογίζεται ως το πηλίκο $1/T_s$, όπου T_s η διάρκεια του κάθε συμβόλου.
Στην ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία, έχουν καθιερωθεί 11 διακριτές τιμές για την ταχύτητα της επικοινωνίας καθώς και οι παράμετροι 8N1 που αποδίδονται στην εικόνα 4.6.

Number	Port Setting
2400	2400bps, 8Bit data, No parity, 1 Stop bit
4800	4800bps, 8Bit data, No parity, 1 Stop bit
9600	9600bps, 8Bit data, No parity, 1 Stop bit
14400	14400bps, 8Bit data, No parity, 1 Stop bit
19200	19200bps, 8Bit data, No parity, 1 Stop bit
28800	28800bps, 8Bit data, No parity, 1 Stop bit
38400	38400bps, 8Bit data, No parity, 1 Stop bit
57600	57600bps, 8Bit data, No parity, 1 Stop bit
76800	76800bps, 8Bit data, No parity, 1 Stop bit
115200	115200bps, 8Bit data, No parity, 1 Stop bit
230400	230400bps, 8Bit data, No parity, 1 Stop bit

Εικόνα 4.6 – Το Baud rate και ο κανόνας 8 (data bits) – N (no parity) – 1 (stop bit)

- Τα **Data bits** αποτελούν τα bit που περιέχουν την πληροφορία. Στα υπολογιστικά πακέτα δεδομένων, συνήθως είναι 7 (0-127 στο δυαδικό) ή 8 bit (0-255 στο δυαδικό).
- Τα **Stop bits** αποτελούν τα bit που δηλώνουν το τέλος της εκπομπής. Τυπικές τιμές είναι 1, 1.5, 2 καθώς κάθε συσκευή έχει διαφορετικό παλμό ρολογιού (clock) είναι πολύ εύκολο η επικοινωνία να μην συγχρονίζει. Έτσι, τα stop bit δεν αποδίδουν μόνο το τέλος της ζεύξης αλλά δίνουν τον χρόνο στο σύστημα για να ψάξει για τυχών λάθη στο baud rate. Όσα περισσότερα stop bit χρησιμοποιούνται, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιείκεια του συστήματος στο συγχρονισμό των διαφορετικών clock αλλά και όσα περισσότερα bit αποστέλλονται τόσο πιο αργή γίνεται η μετάδοση των δεδομένων.
- Τα **parity bits** ή αλλιώς bit ισοτιμίας είναι μία απλή μορφή ελέγχου που χρησιμοποιείται στη σειριακή επικοινωνία. Υπάρχουν τεσσάρων ειδών bit ισοτιμίας. Τα even (άρτια), odd (περιττά), marked (μαρκαρισμένα) και spaced (αραιωμένα). Στα άρτια και τα περιττά parity bit, η σειριακή πόρτα θα στείλει ένα bit στο τέλος της πληροφορίας ώστε όλα τα bit που θα φτάσουν στον δέκτη να έχουν είτε άρτιο είτε περιττό λογικό άθροισμα. Η marked και spaced ισοτιμία ουσιαστικά δεν ελέγχει τα data bits αλλά προσθέτει ένα 1 στο marked parity και ένα 0 στο spaced parity. Αυτό επιτρέπει στον δέκτη να καθορίσει την στιγμή που εισέρχονται τα δεδομένα εάν ο θόρυβος είναι μεγάλος και χάνεται η πληροφορία ή αν το clock του δέκτη και το clock του πομπού είναι ασύγχρονα.
  Βέβαια, υπάρχει η πιθανότητα να μην χρησιμοποιούνται parity bit.



Εικόνα 4.7 – Ασύγχρονη αποστολή δεδομένων με κανόνα 7-1-1

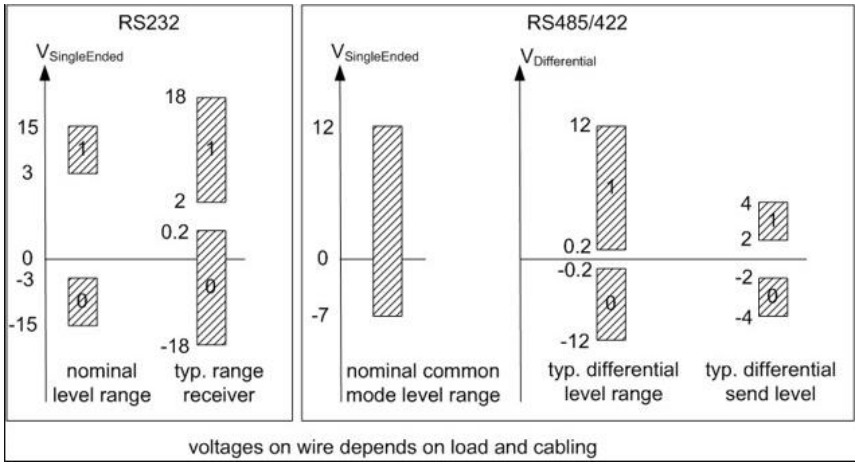
4.3 Πρωτόκολλα σειριακής επικοινωνίας

Με τον όρο σειριακό, συχνά αναφερόμαστε στο RS-232 (ANSI/EIA-232) πρότυπο το οποίο πρωτοεμφανίστηκε στο πίσω μέρος του αρχικού IBMPC. Συχνά διακρίνεται ως ΄΄η σειριακή θύρα΄΄ και οι περισσότερες συσκευές έχουν σχεδιαστεί για να είναι συμβατές με αυτό. Αποτελεί το πρώτο πρότυπο σειριακής επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκε μαζικά και συνεχίζει να χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα καθώς είναι το πιο κοινό πρότυπο που συναντάμε στις περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές. Επιτρέπει την μετάδοση είτε σύγχρονης είτε ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας καθώς δεν έχει επίδραση στον τρόπο που αποστέλνεται η πληροφορία, αλλά έχει επίδραση στις στάθμες που την μεταφέρουν. Έχει πολλές χρήσεις, η πιο κοινή βρίσκεται στην σύνδεση όλων των περιφερειακών του υπολογιστή. Κάποια από τα περιφερειακά είναι το ποντίκι, το πληκτρολόγιο, ο εκτυπωτής καθώς και του μόντεμ χρησιμοποιώντας ένα καλώδιο ethernet.

4.3.1 RS-232

Το RS-232 (Recommended Standard 232) είναι ένα πρότυπο σειριακής μετάδοσης δεδομένων μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη. Αποτελεί μία ζεύξη αμφίδρομης λειτουργίας (Full Duplex) κατά την οποία ο πομπός μπορεί να στέλνει και ο λήπτης να δέχεται δεδομένα στον ίδιο χρόνο. Για την αποστολή του σήματος χρησιμοποιούνται τρις αγωγοί. Ένας για την αποστολή (Tx), ένας για την λήψη (Rx) και ένας που δηλώνει το σημείο αναφοράς (γείωση). Η μέγιστη ταχύτητα επικοινωνίας (baud rate) ανέρχεται στα 160Kbits/s. Ωστόσο ορισμένες εφαρμογές μπορεί να υποστηρίζουν ταχύτητες μέχρι και 1 Mbit/s χρησιμοποιώντας μεθόδους αύξησης της ταχύτητας μετάδοσης. Κατά την λειτουργία, επιτρέπει μόνο έναν πομπό και έναν δέκτη σε κάθε γραμμή (single-ended). Η μέγιστη απόσταση που μπορεί να διανύσει είναι τα 15 μέτρα, οπότε χρησιμοποιείται μόνο σε κοντινές ζεύξεις [xvi].

Οι στάθμες που δουλεύει το πρότυπο RS-232 είναι διαφορετικές από την τάση τροφοδοσίας, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως καθώς υπάρχει το φαινόμενο της αντλίας φόρτισης. Η μέγιστη τάση ανοικτού κυκλώματος είναι τα 25 Volt με σήματα όπως τα ±5V, ±10V και ±15V να εμφανίζονται συχνά στο RS-232 πρότυπο. Στα σήματα αποστολής και λήψης (Tx και Rx) το λογικό μηδέν αντιστοιχεί σε στάθμες από +15 έως +3 Volt και το λογικό ένα αντιστοιχεί σε στάθμες -3 έως -15 Volt σε συσχετισμό με το σημείο αναφοράς. Κατά συνέπεια το εύρος μεταξύ +3 και -3 Volt δεν είναι έγκυρη στάθμη για αυτό το πρότυπο. Τα σήματα ελέγχου (RTS) έχουν αντίθετη πολικότητα από αυτή των σημάτων αποστολής και λήψης. Η θετική τάση αποτελεί το λογικό ένα και το αρνητικό επίπεδο τάσης θεωρείται το λογικό μηδέν. Τέτοια σήματα ελέγχων είναι το σήμα αιτήματος αποστολής (**R**equest**T**o**S**end), το σήμα διαγραφής αποστολής (**C**lear**T**o**S**end) καθώς και σήματα που δηλώνουν την ετοιμότητα του τερματικού (**D**ata**T**erminal**R**eady) και την ετοιμότητα του καναλιού για να πραγματοποιηθεί η λήψη (**D**ata**S**et**R**eady).



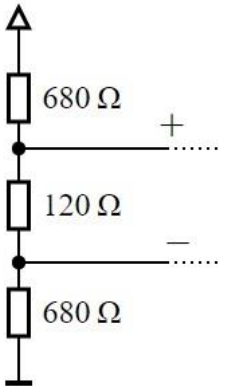
Σχήμα 4.8 – Στάθμες λογικών σημάτων των προτύπων RS-232 και RS-485

4.3.2 RS-422/485

Ένα άλλο διαφορετικό πρότυπο που η χρήση του ξεκίνησε από τα υπολογιστικά συστήματα legacy της Apple είναι το RS-422 (TIA/EIA – 422). Το σήμα πληροφορίας στέλνεται διαφορικά από 2 αγωγούς επιτυγχάνοντας μία μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης που μπορεί να φτάσει μέχρι τα 10Mbit/s. Οι δύο αυτοί αγωγοί ονομάζονται A και B. Ο A αποτελεί τον αγωγό που στέλνει τα δεδομένα 'ορθά' ή μη ανάστροφα και τον B που αποτελεί τον ανάστροφο του A. Η απόσταση που μπορεί να διανύσει το διαφορικό σήμα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από το RS-232 πρότυπο και μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 1,2 χιλιόμετρα. Ο πομπός συνεχίζει να είναι ένας ανά γραμμή ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν μέχρι και 10 δέκτες. Το RS-422 πρότυπο βρίσκει χρησιμότητα σε εφαρμογές που τα δεδομένα διαμοιράζονται σε περισσότερους από έναν δέκτη [xvi].

Μία ενισχυμένη έκδοση του RS-422 προτύπου αποτελεί το RS-485 το οποίο επεκτείνει τις δυνατότητες της επικοινωνίας καθώς η κάθε γραμμή μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 32 πομπούς και 32 δέκτες με τα 10Mbit/s να παραμένει η σύνηθες ταχύτητα επικοινωνίας. Ωστόσο με ορισμένες τεχνικές η μέγιστη ταχύτητα επικοινωνίας επεκτείνεται μέχρι τα

64Mbit/s. Κάθε μία από τις δευτερεύουσες συσκευές (slaves) μπορεί να επικοινωνεί με οποιαδήποτε από τις άλλες 31 χωρίς την διαμεσολάβηση της κύριας συσκευής (master) κάθε φορά όμως ένας πομπός είναι ενεργοποιημένος κάθε φορά. Το πρότυπο 485 αποτελεί μία αμφίδρομη επικοινωνία διαφορικού σήματος που μπορεί να μεταφέρει τα δεδομένα μέχρι και 1,2 χιλιόμετρα μακριά, ακριβώς όπως και το 422 πρότυπο. Σε αντίθεση με το 422 πρότυπο που χρησιμοποιηθεί μόνο ένα κύκλωμα οδήγησης που δεν μπορεί να απενεργοποιηθεί, τα προγράμματα οδήγησης του 485 προτύπου χρησιμοποιούν λογική τριών καταστάσεων επιτρέποντας την απενεργοποίηση μεμονωμένων πομπών. Αυτό επιτρέπει στο RS-485 να παρέχει γραμμικές τοπολογίες του δίαυλου επικοινωνίας χρησιμοποιώντας μόνο δύο αγωγούς (vii). Η χρήση τριών ενδεδειγμένων αντιστάσεων ανάμεσα στη ανάστροφη, την μη ανάστροφη θύρα επικοινωνίας και την τροφοδοσία οι οποίες δεν καθορίζονται στο πρότυπο πολώνουν τις εισόδους του προτύπου βελτιώνοντας την απόρριψη θορύβου και απεικονίζονται στην εικόνα 4.8. Το πρότυπο RS-485 θέτει την τάση μεταξύ -200mV και + 200mV ως απροσδιόριστη, με την διαφορική τάση να παίρνει λογικό 0 για τάση μεγαλύτερη από τα +200 mV και λογικό 1 για τάση μικρότερη από τα -200mV. Συνήθως οι κατασκευαστές προσθέτουν κάποια υστέρηση στον δέκτη για να μειώσουν την ευαισθησία του στον θόρυβο. Παρόμοια αντιδρά η πόλωση στην ευαισθησία των δεκτών [xvii].

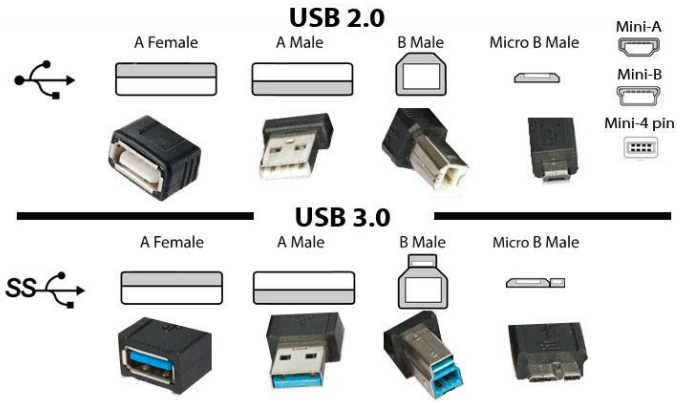


Εικόνα 4.9 – Τερματικές αντιστάσεις στο πρότυπο RS-485

4.3.3 USB

Το ακρωνύμιο USB, αντιπροσωπεύει τα αρχικά **U**niversal **S**erial **B**us, αντιπροσωπεύει ένα βιομηχανικό πρότυπο που καθορίζει τα καλώδια, τις συνδέσεις και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στους υπολογιστές. Καθορίζει την σύνδεση, την επικοινωνία και την τροφοδοσία μεταξύ των συσκευών και σχεδιάστηκε με σκοπό να καθιερώσει συγκεκριμένο τρόπο σύνδεσης και επικοινωνίας όλων των περιφερειακών στους υπολογιστές. Αντικατέστησε προηγούμενες διεπαφές όπως η σειριακή και η παράλληλη θήρα ενώ ταυτόχρονα εξάλειψε τους ξεχωριστούς φορτιστές που είχαν μέχρι τότε όλες οι συσκευές. Υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία διεπαφών USB, με τις διαφορές τους να βρίσκονται στο μέγεθος

καθώς και στην ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων. Ένα σχήμα με όλες τις διεπαφές που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα, απεικονίζεται στην εικόνα 4.8.



Εικόνα 4.10 – Τύποι USB 2.0 & 3.0

Κατασκευή

5

Η μελέτη έγινε σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα με ονομαστική τιμή τα 10 kW το οποίο διαθέτει τον Inverter PVI-10.0-OUTD-GR της Aurora. Ο αντιστροφέας, διαθέτει ένα πρόγραμμα το οποίο απεικονίζει τα δεδομένα του στον υπολογιστή. Η σύνδεση γίνεται ενσύρματα και χρειάζεται έναν μετατροπέα των σημάτων, καθώς επικοινωνεί με το πρωτόκολλο RS-485 ενώ οι υπολογιστές που διαθέτουν σειριακή θύρα επικοινωνίας χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο RS-232. Με έναν διαφορετικό πρόγραμμα που αναλύει τα σειριακά δεδομένα, έγινε μελέτη στα χαρακτηριστικά της ζεύξης τα οποία χρειάζονταν για να κατασκευαστεί η τελική μονάδα. Αυτή, μεταφέρει ασύρματα τα δεδομένα που στέλνει ο Inverter με το διαδίκτυο, σε οποιαδήποτε τοποθεσία βρίσκεται ο δέκτης ενώ ταυτόχρονα τα αποθηκεύει σε μία μνήμη SD.

5.1 Επιλογή ολοκληρωμένων

5.1.1 Οδηγός του προτύπου RS-485

Διάφορες εταιρίες διαθέτουν ολοκληρωμένα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται για οδήγηση σειριακών δεδομένων του προτύπου RS-485. Ένα μεγάλο ποσοστό της αγοράς καταλαμβάνουν τα ολοκληρωμένα της MAXIM ώστε να ανταποκρίνονται στις ανάγκες της κάθε εφαρμογής. Για το πρότυπο RS-485 η εταιρία διαθέτει έναν μεγάλο αριθμό ολοκληρωμένων κυκλωμάτων τα οποία διαφέρουν σε ορισμένα χαρακτηριστικά. Αναλόγως την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων που χρειάζεται, μπορούν να επιλεχθούν ολοκληρωμένα όπως τα MAX481,485,490,491,1487 που έχουν ταχύτητα μετάδοσης που φτάνει τα 2.5 Mbps. Εάν η εφαρμογή είναι δύο δρόμων (Full Duplex), χρησιμοποιούνται διαφορετικά ολοκληρωμένα όπως τα MAX488-MAX491. Εάν οι ανάγκες της εφαρμογής απαιτούν διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως το Slew Rate, το σημείο τερματισμού λειτουργίας, το ρεύμα ηρεμίας καθώς και μεγάλο αριθμό δεκτών μπορούμε να επιλέξουμε διαφορετικά ολοκληρωμένα από τον πίνακα 5.1.

Οι απαιτήσεις της εφαρμογής, δεν προϋποθέτουν κάποια εξειδικευμένη λειτουργία, ούτε η ταχύτητα μετάδοσης είναι υψηλή ώστε αποκλείσει κάποια ολοκληρωμένα. Η επιλογή έγινε με βάση την κινητικότητά που είχαν τα ολοκληρωμένα στην αγορά, με το MAX485 να

Selection Table

PART NUMBER	HALF/FULL DUPLEX	DATA RATE (Mbps)	SLEW-RATE LIMITED	LOW-POWER SHUTDOWN	RECEIVER/ DRIVER ENABLE	QUIESCENT CURRENT (μA)	NUMBER OF RECEIVERS ON BUS	PIN COUNT
MAX481	Half	2.5	No	Yes	Yes	300	32	8
MAX483	Half	0.25	Yes	Yes	Yes	120	32	8
MAX485	Half	2.5	No	No	Yes	300	32	8
MAX487	Half	0.25	Yes	Yes	Yes	120	128	8
MAX488	Full	0.25	Yes	No	No	120	32	8
MAX489	Full	0.25	Yes	No	Yes	120	32	14
MAX490	Full	2.5	No	No	No	300	32	8
MAX491	Full	2.5	No	No	Yes	300	32	14
MAX1487	Half	2.5	No	No	Yes	230	128	8

Πίνακας 5.1

αποτελεί την πρώτη επιλογή. Το MAX485 αποτελεί ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα μετάδοσης των σειριακών δεδομένων ημι-αμφίδρομης επικοινωνίας (Half Duplex), δηλαδή δεν μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει ταυτόχρονα δεδομένα. Στην επικοινωνία, τα δεδομένα του προτύπου RS-485 εισέρχονται και εξέρχονται από το ολοκληρωμένο διαμέσου των pin A και B. Από την άλλη άκρη, τα δεδομένα εισέρχονται και εξέρχονται με στάθμες TTL από τα πόδια DI (Driver Input) και RO (Receiver Output). Μέσα από τα A και B μεταφέρονται τα σήματα διαφορικά με το B να αποτελεί το ανάστροφο του A. Καθώς τα σήματα επικοινωνούν διαφορικά, το λογικό ένα καθώς και το λογικό μηδέν προκύπτουν από την διαφορά των δύο σημάτων A και B. Για διαφορά A-B μεγαλύτερη από 200mV τα σήματα αντιστοιχίζονται σε λογικό ένα (υψηλό δυναμικό) ενώ όταν η διαφορά τους είναι μικρότερη από -200mV αντιστοιχίζονται σε λογικό μηδέν (χαμηλό δυναμικό). Μία διαφορά τάσης μεταξύ των δύο σημάτων +200mV έως -200mV ανήκει στην απροσδιόριστη μορφή.

Δύο διαφορετικά pin ελέγχουν την ροή των δεδομένων καθώς ενεργοποιούν και απενεργοποιούν τα RO και DI. Το $\overline{RE}$ είναι υπεύθυνο για να ενεργοποιεί την έξοδο RO ενώ το DE ευθύνεται για την ενεργοποίηση του DI. Καθώς το πρώτο ενεργοποιείται με λογικό μηδέν και το δεύτερο με λογικό ένα, συνηθίζεται να συνδέονται μαζί.

5.1.2 Οδηγός του προτύπου RS-232

Αντίστοιχα με το πρότυπο RS-485 η μεγαλύτερη αξιοπιστία και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον συγκεντρώνεται στην MAXIM. Κατασκευάζει οδηγούς οι οποίοι δεν αντιμετωπίζουν κανένα πρόβλημα λειτουργίας ενώ η πιθανότητα βλάβης και αντικατάστασής τους ακόμα και στις πιο απαιτητικές εφαρμογές είναι ελάχιστες. Δύο ολοκληρωμένες λύσεις της MAXIM αποτελούν τα MAX232 και MAX3232 με την κύρια διαφοροποίηση στην τάση τροφοδοσίας. Το 3232 μπορεί να τροφοδοτηθεί από 3V μέχρι 5.5V με το 232 να μην υποστηρίζει τάσεις κάτω από 4.5V.

Το MAX232 διαθέτει δύο πομποδέκτες UART που ξεχωρίζουν με pin εισόδου και εξόδου για κάθε έναν. Στο σύνολο 8 pin του ολοκληρωμένου χρησιμοποιούνται για την οδήγηση του προτύπου RS-232 σε στάθμες TTL. Τα υπόλοιπα pin αποτελούν την τροφοδοσία, και pin σύνδεσης εξωτερικών πυκνωτών που χρησιμοποιούνται στο φαινόμενο της αντλίας φόρτισης (charge pump).

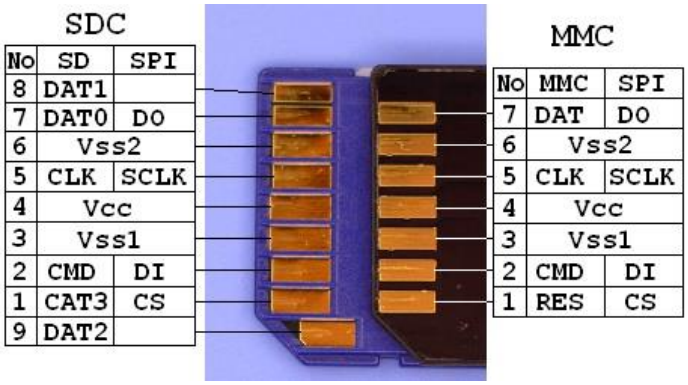
5.1.3 Μικροελενκτής

Ο μικροελενκτής είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα ειδικού σκοπού που τρέχει μόνο ένα πρόγραμμα κάθε φορά, το οποίο ελέγχει κάποιες από τις εισόδους και τις εξόδους του ολοκληρωμένου. Στην εργασία, η οδήγηση των TTL στάθμεων στην έξοδο του MAX 485 έκρινε αναγκαία την χρήση ενός μικροελενκτή που έχει ως σκοπό την αποστολή των δεδομένων τόσο στην μονάδα ασύρματου δικτύου όσο και στον αποθηκευτικό χώρο για να καταγραφούν [xviii].

Στην εφαρμογή μας, χρησιμοποιήθηκε ο μικροελενκτής PIC18F25k22 της microchip. Η επιλογή της εταιρίας βασίστηκε αποκλειστικά στην εμπειρία μου με ένα διαφορετικό ολοκληρωμένο της ίδιας εταιρίας, τον PIC18F4550 για τα οποία ο compiler και ο debugger είναι κοινοί. Για τον λόγο ότι ο 4550 διαθέτει μόνο έναν ασύγχρονο πομποδέκτη και μπορεί να συνδεθεί και να λειτουργήσει μόνο μία συσκευή με hardware UART επιλέχθηκε ένα ολοκληρωμένο που διαθέτει δύο ενσωματωμένους πομποδέκτες. Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικά από τα pins του hardware για την αποστολή και την λήψη ασύγχρονων δεδομένων, προγραμματίζοντας τις αντίστοιχες εισόδους/εξόδους μίας πόρτας του μικροελενκτή να λειτουργούν αντίστοιχα με ένα UART. Όμως υπάρχει μία ισχυρή πιθανότητα να μην γίνεται σωστά η επικοινωνία. Ο PIC18F25k22 επιλέχθηκε καθώς διαθέτει 2 ενσωματωμένα συστήματα UART. Διαθέτει 1563 byte μνήμης RAM αρκετή ώστε να επικοινωνεί με την μνήμη SD. Έχει 32 Kbyte flash μνήμη όπου γράφεται ο κώδικας του κυρίως προγράμματος. Τα 32Kbyte αντιστοιχούν σε 16.000 λέξεις σε C και σε λίγο λιγότερες σε κώδικα μηχανής. Η αρχιτεκτονική του είναι 8-bit, επικοινωνώντας με string δεδομένων μεγέθους 8-bit ενώ είναι αρκετά προσιτός στην αγορά.

5.1.4 SD/MMC

Η αποθήκευση των δεδομένων, γίνεται σε μία μνήμη secure drive (SD). Αποτελεί αποσπώμενο αποθηκευτικό χώρο όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μία θέση μνήμης με μορφή fat (format) και ανάλογα με την χωρητικότητα της κάρτας μπορεί να είναι fat12, fat16, fat32 ή ex-fat. Τα δεδομένα μεταφέρονται μεταξύ της κάρτας και της κύριας συσκευής (master), δηλαδή τον μικροελενκτή, με πακέτα των 512 bytes. Η τροφοδοσία της SD είναι τα 3.3V και για την επικοινωνία της κάρτας χρησιμοποιείτε το πρωτόκολλο SPI. Αυτή η λειτουργία είναι ένας εναλλακτικός τρόπος λειτουργίας χωρίς φυσική διεπαφή με την κεντρική μονάδα. Όταν επικοινωνεί η κεντρική μονάδα με την κάρτα, ένα σήμα χρονισμού στέλνεται συνεχώς στο SCLK της SD. Τα σήματα πληροφορίας αποστέλνονται στα DI (MOSI) και DO (MISO). Το MOSI αποτελεί την έξοδο της κεντρικής μονάδας και την είσοδο της μνήμης (**M**aster **O**utput **S**lave **I**nput) και το MISO αποτελεί την έξοδο της μνήμης και την είσοδο των πληροφοριών στην κεντρική μονάδα (**M**aster **I**nput **S**lave **O**utput). Οι ακροδέκτες μίας SD και μίας MMC απεικονίζονται στο σχήμα 5.1 με την μοναδική διαφορά στον αριθμό των pin. Μία SD διαθέτει δύο επιπλέων άκρα τα οποία δεν αξιοποιούνται στο πρωτόκολλο SPI [xix].



Σχήμα 5.1

5.2 Επικοινωνία του Inverter με τον υπολογιστή

Αρχικά, δεν υπήρχε καμία πληροφορία σχετικά με την επικοινωνία του Inverter. Το μοναδικό δεδομένο ήταν το πρότυπο επικοινωνίας που χρησιμοποιεί (RS-485). Για την συλλογή περισσότερων δεδομένων όπως τον τρόπο αποστολής και απεικόνισης, σχεδιάστηκε ένα κύκλωμα ενσύρματης επικοινωνίας του Inverter με έναν υπολογιστή που διαθέτει σειριακή θύρα. Σκοπός του κυκλώματος ήταν ο προσδιορισμός του ρυθμού επικοινωνίας καθώς και ο αριθμός των πληροφοριών που ανταλλάσσει σε κάθε μέτρηση.

Το σχηματικό του κυκλώματος αποτελεί το σχήμα 5.5. Κοιτώντας πλαγίως και διαβάζοντας τα γράμματα από κανονική θέση, το υποκύκλωμα πάνω και δεξιά αποτελεί το κύκλωμα τροφοδοσίας. Είναι ένα απλό κύκλωμα το οποίο δημιουργεί 5Vdc από έναν μετασχηματιστή $9V_{ac}$ που οδηγείται σε μία δίοδο 1N4004 (D1) ώστε να ανορθωθεί η μισή ημιπερίοδος της κυμάτωσης. Ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής 10μf τοποθετείται μετά την δίοδο προς την γη με το θετικό πόδι να συνδέεται στην κάθοδο της διόδου ώστε να εξομαλύνει την μισή ημιπερίοδο που περνάει από την δίοδο. Φορτίζεται όσο άγει η δίοδος ενώ εκφορτίζεται όσο δεν άγει η δίοδος από τον σταθεροποιητή, διατηρώντας την τάση στα 11.5V. Ένας ακόμα πυκνωτής τοποθετείται παράλληλα στον 10μf με μικρή χωρητικότητα και τιμή 100n ώστε να φιλτράρει τα μεταβατικά φαινόμενα. Έτσι όταν ο σταθεροποιητής διορθώνει στιγμιαία τα λάθη που δημιουργούνται, την τάση που είτε αυξάνεται είτε μειώνεται, ο 100n διορθώνει κάποια spike και κάποιες κορυφές που θα εμφανίζονταν στιγμιαία. Οι ίδιοι ακριβώς πυκνωτές χρησιμοποιούνται και στην έξοδο του σταθεροποιητή για τον ίδιο λόγο.

Η είσοδος του κυκλώματος για το πρότυπο RS-232 βρίσκεται στις υποδοχές X-1 που αναπαρίσταται από ένα 9-πινο ακροδέκτη SUB-DB9. Υποδοχή για το RS-485 αποτελεί ο κονέκτορας X3, ο οποίος αναπαριστά μία κλέμα πλακέτας. Το πρότυπο RS-485 επικοινωνεί χρησιμοποιώντας μόνο δύο ακροδέκτες, τον A και τον B. Ο A αποτελεί τον ορθό ενώ ο B αποτελεί τον αντίστροφο του A. Ο MAX 485 οδηγεί την έξοδο του Inverter μέσω της κλέμας X3 και μιας σειράς αντιστάσεων που όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4 χρησιμοποιούνται για να μικρύνει η απροσδιόριστη περιοχή της στάθμης στο RS-485 πρότυπο.

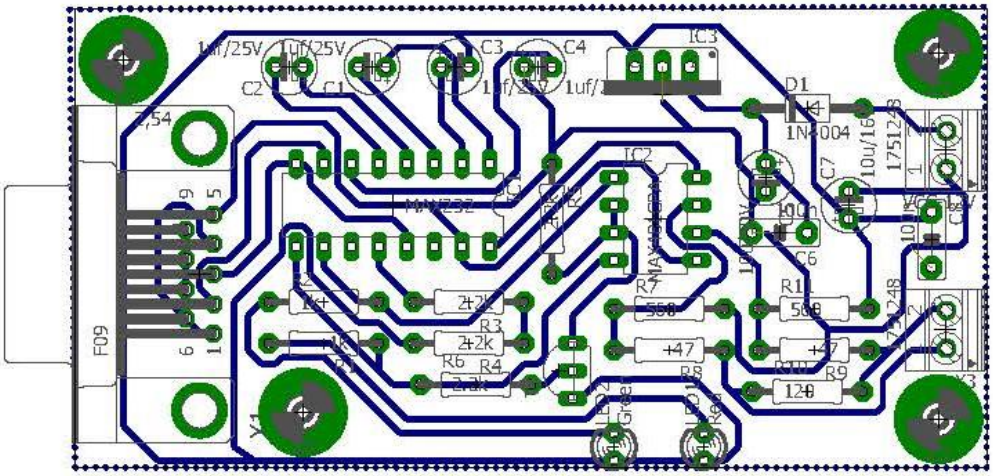
Στην συνέχεια στη σύνδεση των δύο ολοκληρωμένων διαμεσολαβεί ένα τρανζίστορ που λειτουργεί σαν διακόπτης και ελέγχει την ροή των δεδομένων. Στο πρότυπο RS-485 δεν υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονης αποστολής και λήψης, καθώς τα δεδομένα μεταφέρονται από τον ίδιο αγωγό και προς τις δύο κατευθύνσεις. Για T1 επιλέχθηκε ένα pnp τρανζίστορ και ο εκπομπός του συνδέεται στην τροφοδοσία. Η βάση του συνδέεται σε μία έξοδο του MAX-232 και ο συλλέκτης συνδέεται στα DE και $\overline{RE}$.

Αρχικά, ο MAX-232 εκπέμπει χαμηλό δυναμικό για λογικό ένα και υψηλό δυναμικό για λογικό μηδέν. Όταν δεν επικοινωνεί, οι έξοδοί του έχουν υψηλό δυναμικό +15V. Αυτό έχει σαν επίδραση να μην άγει το T1 αφού ο εκπομπός του έχει χαμηλότερο δυναμικό από την βάση. Κατά συνέπεια, το τρανζίστορ είναι στην αποκοπή και ο συλλέκτης του παίρνει δυναμικό 0V. Τότε, πολώνεται ορθά το $\overline{RE}$ με αποτέλεσμα ο MAX-485 να λειτουργεί ως εκπομπός με τον MAX-232 να λειτουργεί ως δέκτης. Μόλις περάσουν δεδομένα από τον υπολογιστή στον MAX-232, οι έξοδοί του παίρνουν δυναμικό 0V που έχει σαν αποτέλεσμα να αλλάξει την κατάσταση του T1 στον κόρο. Τότε, πολώνεται ορθά το DE και ο MAX-485 λειτουργεί αποκλειστικά ως δέκτης μέχρι την στιγμή που θα περάσουν όλα τα δεδομένα από τον υπολογιστή στον MAX-232 και οι έξοδοί του θα επανέλθουν σε υψηλό δυναμικό αλλάζοντας κατάσταση στο T1 καθώς και στην ροή των δεδομένων. Έτσι, η αρχική κατάσταση επιτρέπει την διέλευση δεδομένων από τον Inverter προς τον υπολογιστή.

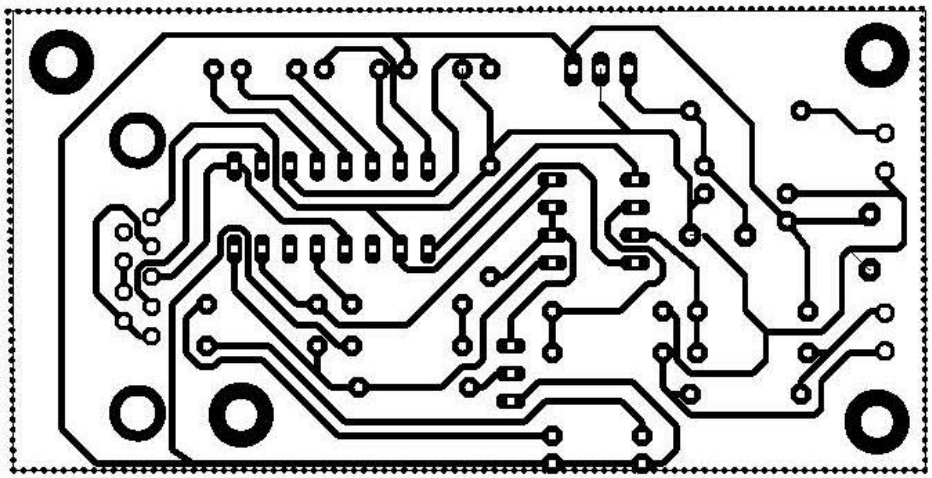
Στους αγωγούς που μεταφέρουν δεδομένα, προστέθηκαν δύο δίοδοι LED ώστε να υπάρχει μία φωτεινή ένδειξη όταν στέλνονται δεδομένα από τον υπολογιστή αλλά και από τον Inverter. Τα LED τοποθετήθηκαν με την άνοδο στην τροφοδοσία και την κάθοδό τους στον αγωγό από την πλευρά του MAX-232 ώστε να άγουν μόλις επικοινωνήσει και διακρίνουν αρνητικό δυναμικό στην κάθοδό τους. Αυτό συμβαίνει όταν υπάρχει κυματομορφή στον αγωγό καθώς η κυματομορφή έχει ανάστροφη λογική.

Η συνδεσμολογία του MAX-232 σύμφωνα με το εγχειρίδιο της MAXIM (viii) περιλαμβάνει τέσσερεις πυκνωτές τους C1, C2, C3 και C4. Ένα σύστημα δημιουργείται με τους 3 πυκνωτές, εσωτερικές διόδους καθώς και ενός ταλαντωτή που βρίσκονται εντός του ολοκληρωμένου και συνεισφέρουν για να παράγουν παλμούς πλάτους 15V με μία διαδικασία που αναφέρθηκε προηγουμένως ως αντλία φόρτισης (charge pump). Το ολοκληρωμένο μπορεί να βγάζει τάση μεγαλύτερη από την τάση τροφοδοσίας καθώς και αρνητική αφού διαθέτει έναν αντιστροφέα σε κάθε έξοδο του.

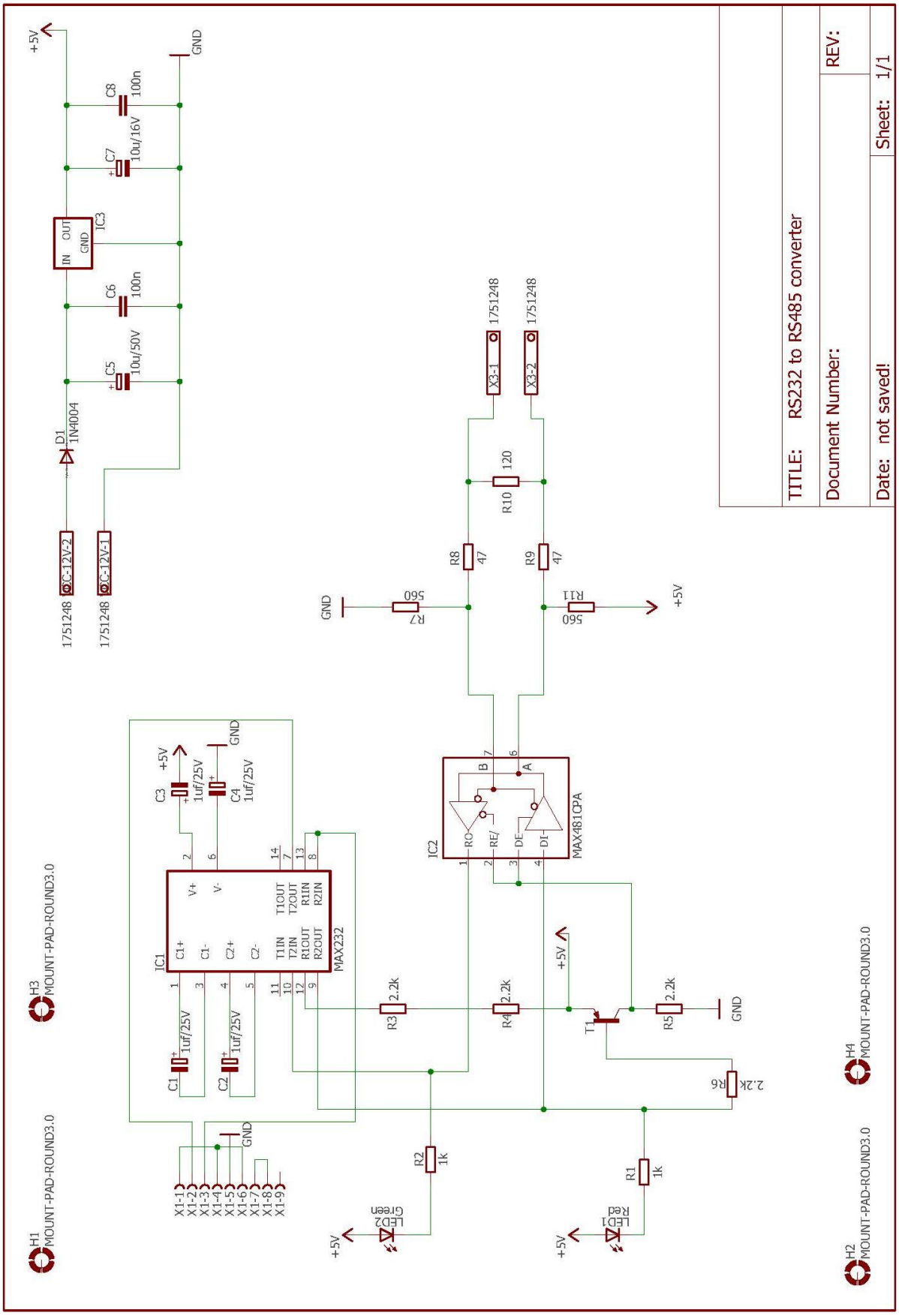
Το κύκλωμα σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Eagle της Autodesk. Το layout που χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργηθεί η πλακέτα (PCB) αποτελεί το σχήμα 5.2. Στην εικόνα φαίνονται και τα εξαρτήματα, για ευκολία στην ανάγνωση. Στην πραγματικότητα το σχήμα 5.3 αποτελεί την αναπαράσταση του 5.2 χωρίς τα υλικά και αναπαριστά το σχέδιο που αποτυπώθηκε πάνω στην πλακέτα. Ο αναλυτικός τρόπος παρασκευής της πλακέτας θα αναλυθεί στο παρακάτω κεφάλαιο.



Σχήμα 5.2 – Η άνω όψη του τυπωμένου κυκλώματος



Σχήμα 5.3 – Το σχέδιο του τυπωμένου κυκλώματος που χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργηθούν οι αγωγοί στην πλακέτα



Σχήμα 5.4 – Το σχηματικό του μετατροπέα στάθμεων RS-232 σε RS-485

5.3 Μεταφορά RS-485 δεδομένων μέσω διαδικτύου

5.3.1 Διαδίκτυο

Η τελική κατασκευή είχε ως σκοπό να εξαλήψει την ενσύρματη μορφή της εφαρμογής με την απεικόνηση των μετρήσεων του Inverter να γίνεται ασύρματα σε οποιαδίποτε τοποθεσία. Την πιο ευπρόσβαστη μονάδα αποστολής ασύρματων δεδομένων την δεκαετία που βιώνουμε αποτελεί το διαδίκτυο. Είναι τόσο διαδεδομένο που αποτελεί την μεγαλύτερη πλατφόρμα επικοινωνίας παγκοσμοίως.

Το διαδίκτυο είναι ένα παγκόσμιο σύστημα διασυνδεδεμένων δικτύων υπολογιστών, οι οποίοι χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα TCP/IP για την σύνδεση συσκευών σε όλο τον κόσμο. Πρόκειται για ένα δίκτυο δικτύων που περιλαμβάνει ιδιωτικά, δημόσια, ακαδημαϊκά, επιχειρηματικά καθώς και κυβερνητικά δίκτυα τοπικής και παγκόσμιας εμβέλειας. Τα δίκτυα συνδέονται με ένα ευρύ φάσμα οπτικών και ασύρματων τεχνολογιών και μεταφέρουν έναν πολύ μεγάλο αριθμό πληροφοριών. Εκτός από πληροφορίες, μεταφέρει και υπηρεσίες όπως τα αλληλένδετα έγγραφα υπερκειμένου και εφαρμογές που ανήκουν στο παγκόσμιο ιστό www[(8)]. Τέτοιες υπηρεσίες είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, η τηλεφωνία μέσω ίντερνετ (VoIP) και η κοινοποίηση αρχείων.

Σχήμα 5.5 – Διαδίκτυο

Κάθε συσκευή που συνδέεται στο ίντερνετ παίρνει μία μη πραγματική ip ώστε να μπορεί να ανταλλάσσει πληροφορίες με τον δρομολογητή (router/modem). Ο δρομολογητής είναι η συσκευή που δίνει τις φανταστικές διευθύνσεις στο εσωτερικό δίκτυο και διαθέτει δύο ip μία για το εσωτερικό και μία για το εξωτερικό δίκτυο. Οι συσκευές του εσωτερικού δικτύου επικοινωνούν με τους εξωτερικούς server με τον δρομολογητή διαμέσου της εσωτερικής τους i. Ο ρούτερ επικοινωνεί με τους διακομιστές χρησιμοποιώντας την εξωτερική του ip. Ανάλογα με το δίκτυο, χρησιμοποιείται και η αντίστοιχη ip. Οι ip του δρομολογητή αλλάζουν διαρκώς με κάθε επανεκκίνηση του. Η εναλλαγή της εξωτερικής ip του router δεν επιτρέπει την

απομακρυσμένη είσοδο στους χρήστες αφού η ip αποτελεί την γραμμή που ‘‘καταλαμβάνει’’ από τον πάροχο των υπηρεσιών του διαδικτύου. Κάθε γραμμή έχει την δική ονομασία, μία ξεχωριστή διεύθυνση ip και ο συνολικός αριθμός των γραμμών που διαθέτει ο κάθε πάροχος είναι αισθητά μικρότερος από τις ενεργές του συνδέσεις. Συνεχώς γραμμές καταλαμβάνονται και ελευθερώνονται. Όταν ένας χρήστης δεν χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του διαδικτύου, η γραμμή του απελευθερώνεται και δίνεται σε κάποιον ενεργό χρήστη.

5.3.1.1 *DNS*

Για μία σταθερή γραμμή σύνδεσης, υπάρχει μία υπηρεσία που καταλαμβάνει μία τηλεφωνική γραμμή από τον πάροχο αποκλειστικά για έναν μόνο χρήστη. Με αυτή τη λειτουργία, ο χρήστης λαμβάνει μία σταθερή ip, όμως το κόστος είναι αρκετά υψηλό με τους περισσότερους παρόχους να την κοστολογούν περίπου στα 10 € / μήνα. Μία παρόμοια υπηρεσία που δεν καταλαμβάνει μία συγκεκριμένη ip αλλά ένα domain name ονομάζεται DNS. Αντί για μία διεύθυνση τεσσάρων byte (π.χ. 192.168.1.88) επιλέγεται μία ονομασία γραμμάτων (π.χ. domain123.ddns.me). Η υπηρεσία DNS ρυθμίζεται πάνω στον ρούτερ και κάθε φορά που ανανεώνεται η εξωτερική του ip, ενημερώνεται το domain name. Ουσιαστικά, το domain name αποτελεί την μετάφραση της εξωτερικής ip. Εταιρίες όπως η ddns, η no-ip καθώς και αρκετές άλλες παρέχουν αυτήν την υπηρεσία και την κοστολογούν 20 € / χρόνο για έναν σταθερό λογαριασμό που μπορεί να διαχειριστεί μέχρι 20 domain name είτε δωρεάν με την προϋπόθεση να γίνεται σύνδεση στον λογαριασμό της εταιρίας μία φορά τον μήνα.

5.3.2 Ολοκληρωμένα κυκλώματα οδήγησης δεδομένων μέσω Wi-Fi

Η οδήγηση σειριακών δεδομένων μέσω διαδικτύου, έχει απλοποιηθεί αρκετά στο κοντινό παρελθόν. Πάρα πολλές εταιρίες έχουν ασχοληθεί με την κατασκευή μία ολοκληρωμένης λύσης που θα μπορεί να οδηγεί εφαρμογές διαμέσου του Wi-Fi. Εταιρίες όπως η Realtek, η Microchip καθώς και πολλές ακόμα έχουν παρουσιάσει ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα ικανό να επικοινωνεί ασύρματα με το διαδίκτυο.

5.3.2.1 *RTL-8710*

Η Realtek είναι μία εταιρία με παγκόσμια αναγνωρησιμότητα και πολύχρονη εμπειρία στον χώρο των ηλεκτρονικών. Κατασκευάζει ολοκληρωμένα κυκλώματα που σχετίζονται με τρις κύριες κατηγορίες, τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών, τα περιφερειακά συστήματα υπολογιστών καθώς και συστήματα πολυμέσων. Έχει πρωταγωνιστικό ρόλο στα υπολογιστικά συστήματα καθώς οι περισσότερες κάρτες ήχου καθώς και κάρτες δικτύου κατασκευάζονται από την Realtek. Προσφάτως, έβγαλε σε κυκλοφορία το RTL 8710, ένα ολοκληρωμένο με ικανότητα σύνδεσης με το Wi-Fi. Διαθέτει έναν επεξεργαστή ARM χρονισμένο στα 166 MHz με το μεγάλο πλεονέκτημα του βρίσκεται στο λογισμικό καθώς τρέχει FreeRTOS, ένα δωρεάν λογισμικό. Ωστόσο καθώς η εταιρία εδρεύει στην κίνα, δεν υποστηρίζει την συγκεκριμένη μονάδα στην αγγλική γλώσσα. Όλα τα διαθέσιμα στοιχεία όπως και ο χειρισμός του διατίθεται στα κινέζικα [xx].

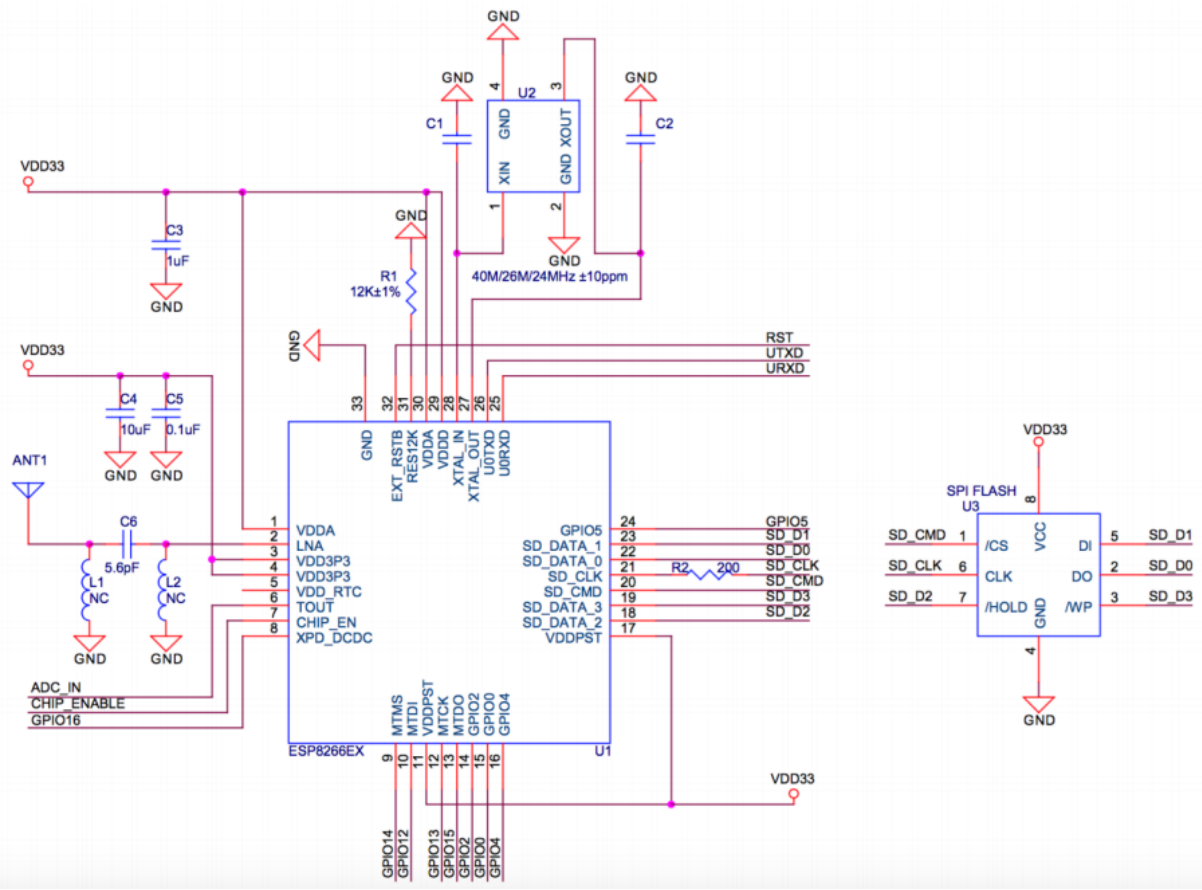
5.3.2.2 *HDG-204*

Ένα άλλο ολοκληρωμένο κύκλωμα είναι το HDG204. Αποτελεί μία μονάδα που επικοινωνεί μέσω Wi-Fi και $SPI_{(11)}$ που σχεδιάστηκε ιδικά για να αντιμετωπίσει τον πολλαπλασιασμό των συσκευών που χρησιμοποιούν το Wi-Fi. Παρέχει ταχύτητες επικοινωνίας μέχρι και 54Mbit/s όταν λειτουργεί με διαμόρφωση OFDM(12) και 11Mbit/s όταν μπαίνει σε διαμόρφωση DSSS/CCK(13).Το HDG204 χρησιμοποιεί ενσωματωμένα και βελτιστοποιημένα φίλτρα RF, μνήμες EEPROM και ολοκληρωμένα που ελαχιστοποιούν την ανάγκη εξωτερικών εξαρτημάτων. Κυκλοφορεί σε SIP μορφή (**S**ystem**I**n**P**ackage) και υποστηρίζει SDIO/SPI(12)καθώς και UART [xxi].

5.3.2.3 *ESP-8266*

Κολοσσός στον κλάδο, αποτελεί το ολοκληρωμένο κύκλωμα ESP-8266. Δεν έχει περισσότερο από δύο χρόνια που βγήκε στο εμπόριο και ήδη αποτελεί την πιο διαδομένη ολοκληρωμένη επιλογή μονάδας Wi-Fi. Αποτελεί μία απλή σειριακή μονάδα ικανή να διαχειριστεί ένα δίκτυο 802.11 δίνοντας την δυνατότητα οδήγησης σειριακών δεδομένων μέσω πρωτοκόλλων TCP/IP λειτουργώντας ως server ή ως access point. Με πιο απλά λόγια, αποτελεί μία χαμηλού κόστους λύση TCP/IP πρωτοκόλλων που υποστηρίζει έλεγχο μέσου μικροελενκτών. Μολονότι υπάρχουν αρκετές επιλογές και με αρκετές δυνατότητες στα Wi-Fi modules, καμία από αυτές δεν μπορεί να συναγωνιστεί τον ESP-8266 στην τιμή. Σε ηλεκτρονικές πλατφόρμες online αγορών όπως το eBay και το AliExpress βρίσκουμε μία εκδοχή ή καλύτερα ένα module το ESP-01, σχεδιασμένο κυρίως για εφαρμογές που χρησιμοποιούν το αναπτυξιακό Arduino. Η τιμή μονάδας δεν ξεπερνάει τα 2€. Το module μαζί με το σχηματικό του φαίνονται στα σχήματα 5.6 και 5.7. Στο module ESP-01 αξιοποιούνται μόλις 2 είσοδοι/έξοδοι από τις 9 που διαθέτει συνολικά το ολοκληρωμένο ESP-8266. Παρεμβαίνοντας με το χέρι, υπάρχει η δυνατότητα να αξιοποιήσουμε περισσότερους από τους ακροδέκτες του ολοκληρωμένου ωστόσο οι δύο ακροδέκτες ($GPIO_0$ και $GPIO_{12}$) είναι αρκετοί για τις περισσότερες εφαρμογές.

Σχήμα 5.6 - Η μορφή και οι έξοδοι του ESP-01



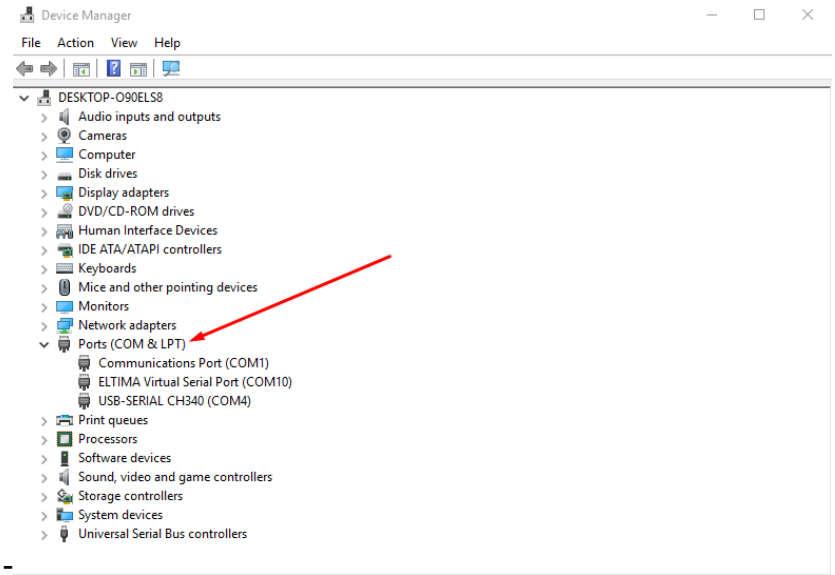
Σχήμα 5.7 – Το σχηματικό του ESP-01

5.3.3 Λήψη και αποθήκευση των δεδομένων του αντιστροφέα

Το τελικό κύκλωμα περιλαμβάνει όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω και διαιρείται σε δύο μέρη. Δημιουργήθηκε ένας πομπός που συνδέεται πάνω στον Inverter και ένας δέκτης ο οποίος ασύρματα μέσω Wi-Fi λαμβάνει τα δεδομένα και τα αποθηκεύει σε μία μνήμη SD. Για την απεικόνιση μίας αποθηκευμένης μέτρησης, χρειάζεται να συνδέσουμε τον δέκτη μέσω της σειριακής του θύρας με έναν υπολογιστή. Εάν ο υπολογιστής διαθέτει σειριακή υποδοχή μπορεί να γίνει απευθείας η σύνδεση με ένα σειριακό καλώδιο DB_9 F-M. Σε διαφορετική περίπτωση, πρέπει να συνδεθεί μέσω ενός μετατροπέα σειριακών δεδομένων σε USB. Οι περισσότεροι μετατροπείς της αγοράς διαθέτουν τα drivers αναγνώρισης, τα οποία χρειάζεται να είναι εγκατεστημένα για να τον αναγνωρίσουν. Ακόμα, απαραίτητο για να δούμε τις μετρήσεις των φωτοβολταϊκών είναι ο Aurora Communicator. Μέσω του προγράμματος της εταιρίας βλέπουμε τις μετρήσεις με γραφικές παραστάσεις και σχεδιαγράμματα.

Μόλις έχουμε όλα τα παραπάνω, επιλέγουμε στην οθόνη του δέκτη τον αριθμό της μέτρησης που θέλουμε να απεικονίσει το πρόγραμμα. Ο δέκτης εμφανίζει τον αριθμό των μετρήσεων που έχει καταγράψει μέχρι εκείνη τη στιγμή. Η αρχική μέτρηση αποτελεί την πρώτη μέτρηση που κατέγραψε η κάρτα και ο μεγαλύτερος αριθμός αντιστοιχεί στην τελευταία

μέτρηση που καταγράφηκε. Αφού έχουμε επιλέξει την μέτρηση που θέλουμε να δούμε, συνέχεια έχει η ρύθμιση του Aurora Communicator. Στην εικόνα 5.9 φαίνεται το interface του προγράμματος και με κόκκινο χρώμα είναι οι ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν. Αρχικά, πρέπει να βρούμε την σειριακή θύρα στην οποία συνδέθηκε ο δέκτης. Σε όλα τα λειτουργικά συστήματα υπάρχει μία καρτέλα που δείχνει όλες τις συσκευές που είναι συνδεμένες στον υπολογιστή. Στα Windows, το παράθυρο που επιτελεί αυτή την λειτουργία ονομάζεται "Διαχείριση Συσκευών" και βρίσκεται στον πίνακα ελέγχου. Στην διαχείριση συσκευών και στην καρτέλα ''Θύρες COM & LPT'' υπάρχουν όλοι οι δίαυλοι επικοινωνίας που χρησιμοποιούν σειριακή θύρα αλλά και παράλληλη. Στην εικόνα 5.9 έχει συνδεθεί ένας μετατροπέας USB σε Serial και καταλαμβάνει την θύρα 4. Αυτή είναι η θύρα που θα χρησιμοποιηθεί στον communicator.

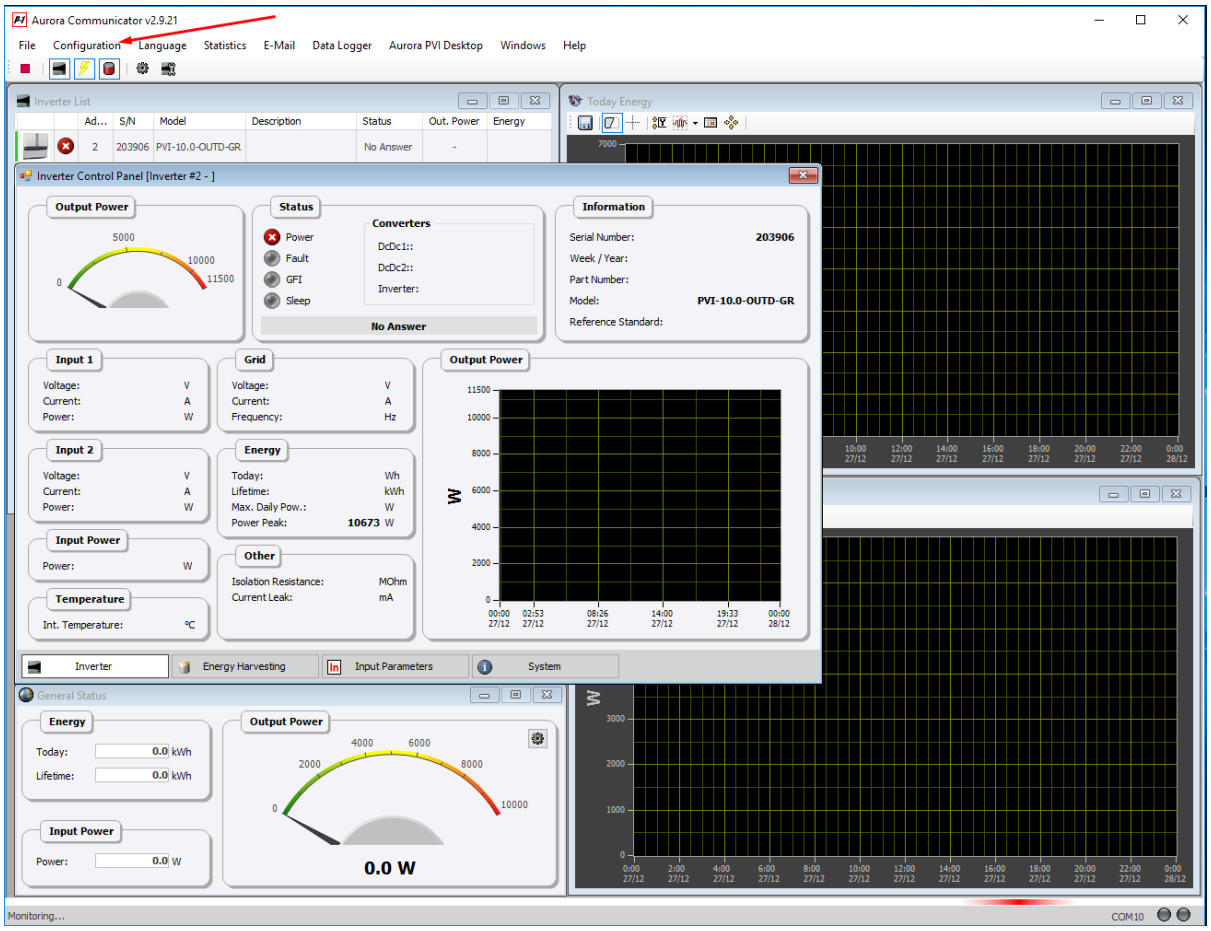


Εικόνα 5.9 - Device Manager στα windows 10

Στο Aurora communicator χρειάζεται να ρυθμίσουμε την πόρτα μέσω της οποίας θα επικοινωνεί ο μικροελενκτής με το πρόγραμμα. Από την γραμμή εργαλείων, στην καρτέλα configuration υπάρχουν οι επιλογές Communication Setup, Configuring Inverters και Preferences. Στο Communication Setup επιλέγονται η ταχύτητα της επικοινωνίας και ο τρόπος αποστολής των δεδομένων. Εκεί εισάγουμε τα δεδομένα επικοινωνίας, την πόρτα της επικοινωνίας (στο παράδειγμα είναι η COM4) καθώς και το πρότυπο (8-N-1) και το baud rate (19.200 bps) όπως βρέθηκαν από το προηγούμενο κύκλωμα. Στην συνέχεια, στην επιλογή Configurating Inverters χρειάζεται να βάλουμε τα στοιχεία πλαισίου του Inverter. Το serial number και το μοντέλο του. Τελειώνοντας με τις προετοιμασίες της επικοινωνίας, το επόμενο βήμα είναι η απεικόνιση των μετρήσεων. Το κουμπί play που βρίσκεται στο interface του Aurora Communicator με πράσινο χρώμα, ξεκινάει να στέλνει requests στην SD με τις απαντήσεις της να αποτελούν τις μετρήσεις που θα απεικονιστούν μόλις ολοκληρωθεί ένας κύκλος όλων των στοιχείων μίας μέτρησης. Στο σύνολο, μία μέτρηση διαθέτει 25 στοιχεία που στο σύνολό τους απεικονίζονται στην εικόνα 5.10.

Για την στιγμιαία απεικόνιση των μετρήσεων, ο υπολογιστής συνδέεται απευθείας στον πομπό χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα οδήγησης σειριακών δεδομένων μέσω μίας πόρτας

ethernet. Το πρόγραμμα ονομάζεται Serial2Ethernet και έχει την ικανότητα να δημιουργεί μία εικονική (virtual) σειριακή θύρα μέσω διευθύνσεων ip.



Εικόνα 5.10 - Το Interface του Aurora Communicator και όλες οι μετρήσεις που στέλνει ο Inverter

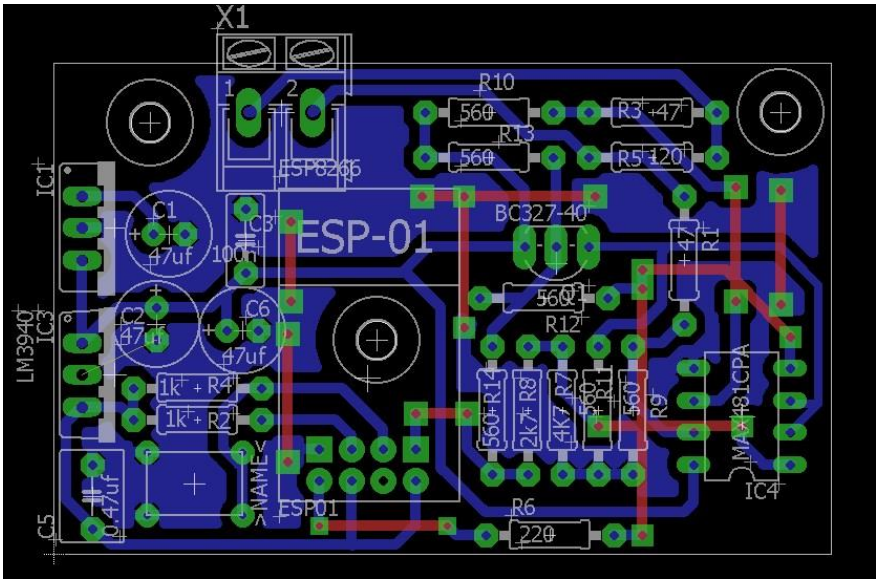
5.3.3.1 *Ο πομπός*

Το κύκλωμα του πομπού, οδηγεί στο ίντερνετ τα δεδομένα του Inverter χωρίς να επεμβαίνει σε αυτά. Την είσοδο του κυκλώματος αποτελεί ένα καλώδιο UTP. Ήταν επιτακτική η ανάγκη μετατροπής των στάθμεων εισόδου καθώς ο μικροελενκτής επικοινωνεί με στάθμες TTL. Τα σήματα του προτύπου RS-485 μετατρέπονται από το ολοκληρωμένο MAX-485 που συνδέεται μέσω τερματικών αντιστάσεων στην ανάστροφη και την μη ανάστροφη είσοδο και έξοδο. Ένα τρανζίστορ (Q1) που λειτουργεί σαν διακόπτης, συνδέεται ανάμεσα στον MAX και τον ESP ώστε να ελέγχει την ροή των δεδομένων. Η λειτουργία του είναι ακριβώς ίδια με το T1 του κυκλώματος ενσύρματης προσαρμογής των στάθμεων του Inverter. Η αρχική κατάσταση του επιτρέπει την ροή δεδομένων από τον ESP ώστε να δοθεί εντολή για την αποστολή των δεδομένων. Στην τελευταία βαθμίδα, συνδέεται το module ESP-01 που λειτουργεί ως server. Συνδέεται στο τοπικό δίκτυο (WLAN) και επιτρέπει τη διέλευση των δεδομένων στο εξωτερικό δίκτυο.

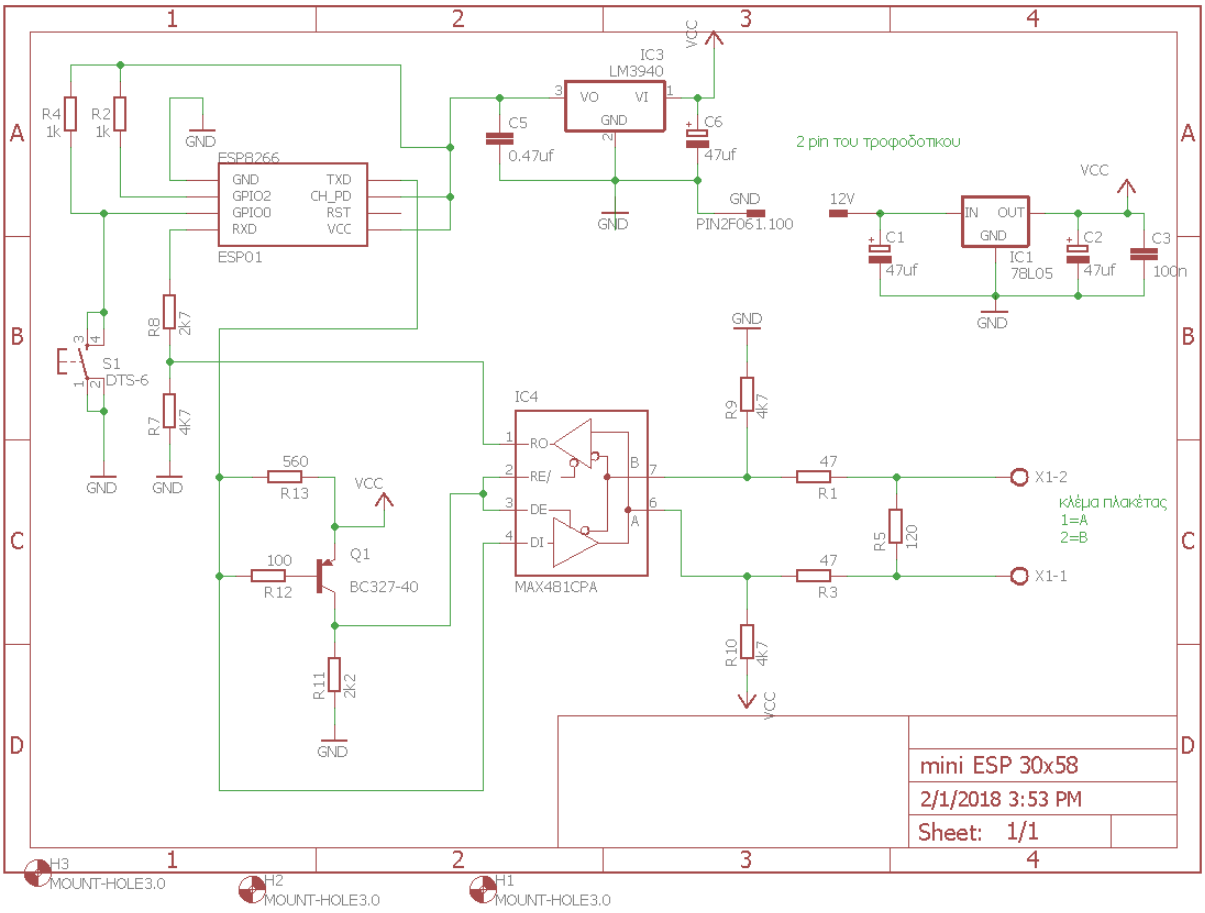
Port forwarding

Εργοστασιακά, τα modem έχουν κλειδωμένες όλες τις διόδους απομακρυσμένης επικοινωνίας, εκτός από μερικές που χρησιμοποιεί το ίδιο το Modem και δεν αφήνει καμία άλλη εφαρμογή να τις χρησιμοποιήσει όπως για παράδειγμα η πόρτες 22,23,80 στο πρωτόκολλο TCP/IP. Έτσι, προστατεύει τα προσωπικά δεδομένα από εξωτερικούς παράγοντες όπως hackers και κακόβουλα λογισμικά. Στα συστήματα ασφαλείας καθώς και στις υπηρεσίες telnet εφαρμόζουν μία τεχνική που ανοίγει μία πόρτα στο εξωτερικό δίκτυο. Η λειτουργία αυτή συνήθως εμφανίζεται με το όνομα port forwarding ή NAT. Προϋπόθεση της, είναι μία σταθερή εσωτερική ip στην συσκευή που θα επιτραπεί η δίοδος στο εξωτερικό δίκτυο. Το router/modem δίνει εσωτερικές ip με την σειρά σε όποια συσκευή ζητήσει πιστοποιημένα χρήση του δικτύου. Για παράδειγμα, όταν είναι συνδεμένες 10 συσκευές στον ίδιο modem, δίνονται οι 10 πρώτες διαθέσιμες διευθύνσεις. Μόλις αποσυνδεθεί μία συσκευή, η ip που καταλάβανε απελευθερώνετε και είναι διαθέσιμη να χρησιμοποιηθεί από την επόμενη συσκευή που θα ζητήσει να χρησιμοποιήσει το διαδίκτυο. Αν όμως η συσκευή έχει ρυθμιστεί να καταλαμβάνει μία σταθερή εσωτερική ip, τότε αυτή και μόνο αυτή η ip απελευθερώνετε από το modem στην όταν η συσκευή δεν χρησιμοποιεί το ίντερνετ όμως δεν δίνεται σε καμία άλλη συσκευή παρά μόνο στην ίδια την επόμενη φορά που θα ζητήσει να χρησιμοποιήσει τις υπηρεσίες του διαδικτύου. Σκοπός του Port Forwarding είναι να επιτρέπει την διέλευση σε μία σταθερή εσωτερική ip στο εξωτερικό δίκτυο. Μόνο αυτή η συσκευή μπορεί να επικοινωνήσει μέσω της ανοικτής πόρτας, αποτρέποντας οποιαδήποτε μη εξουσιοδοτημένη είσοδο στο modem.

Το σχηματικό του πομπού καθώς και το τυπωμένο κύκλωμα μαζί με τα εξαρτήματα παρατίθεται παρακάτω στα σχήματα 5.8 και 5.9.



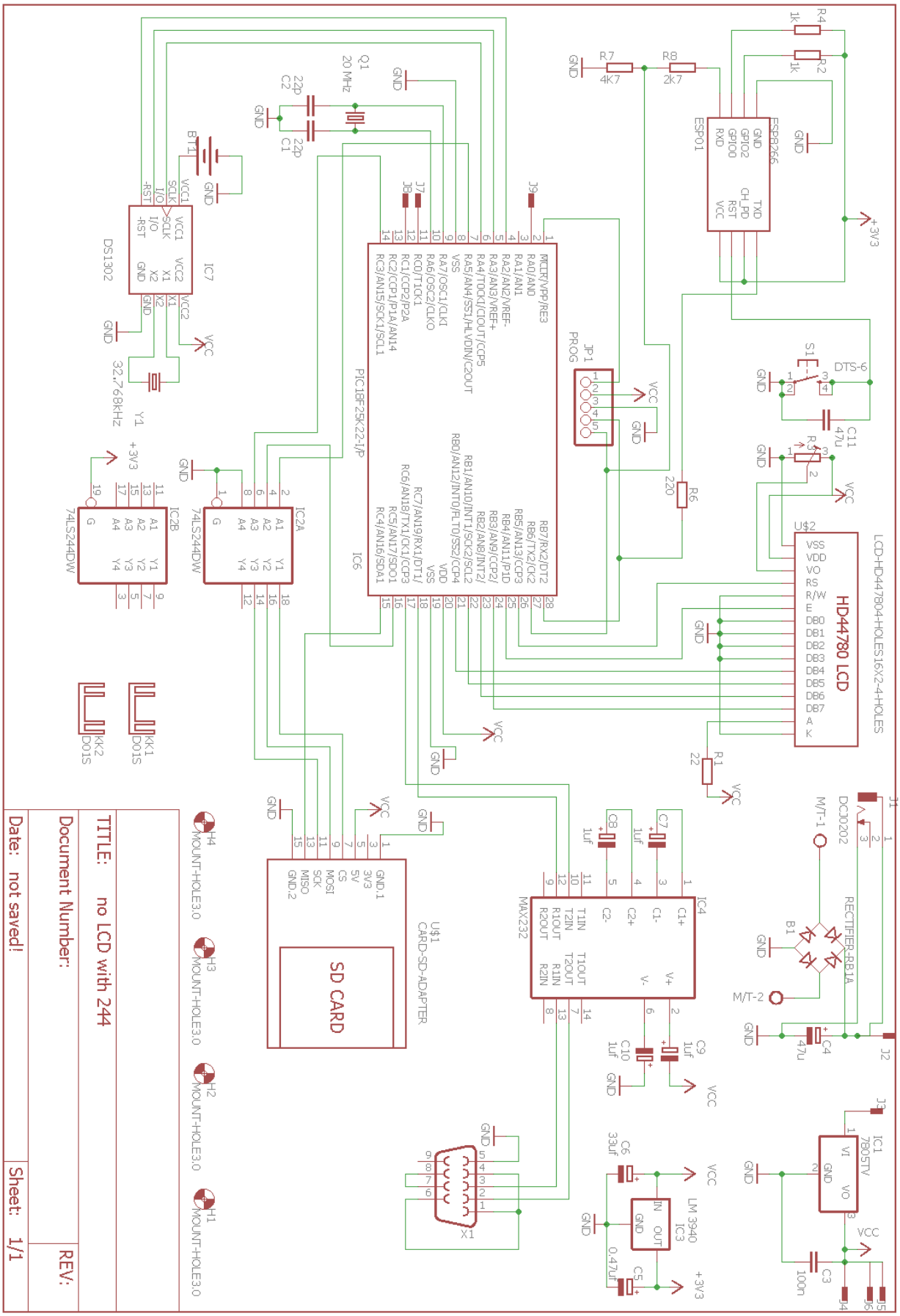
Σχήμα 5.8 – Το τυπωμένο κύκλωμα του πομπού. Πραγματική διάσταση 30x56mm



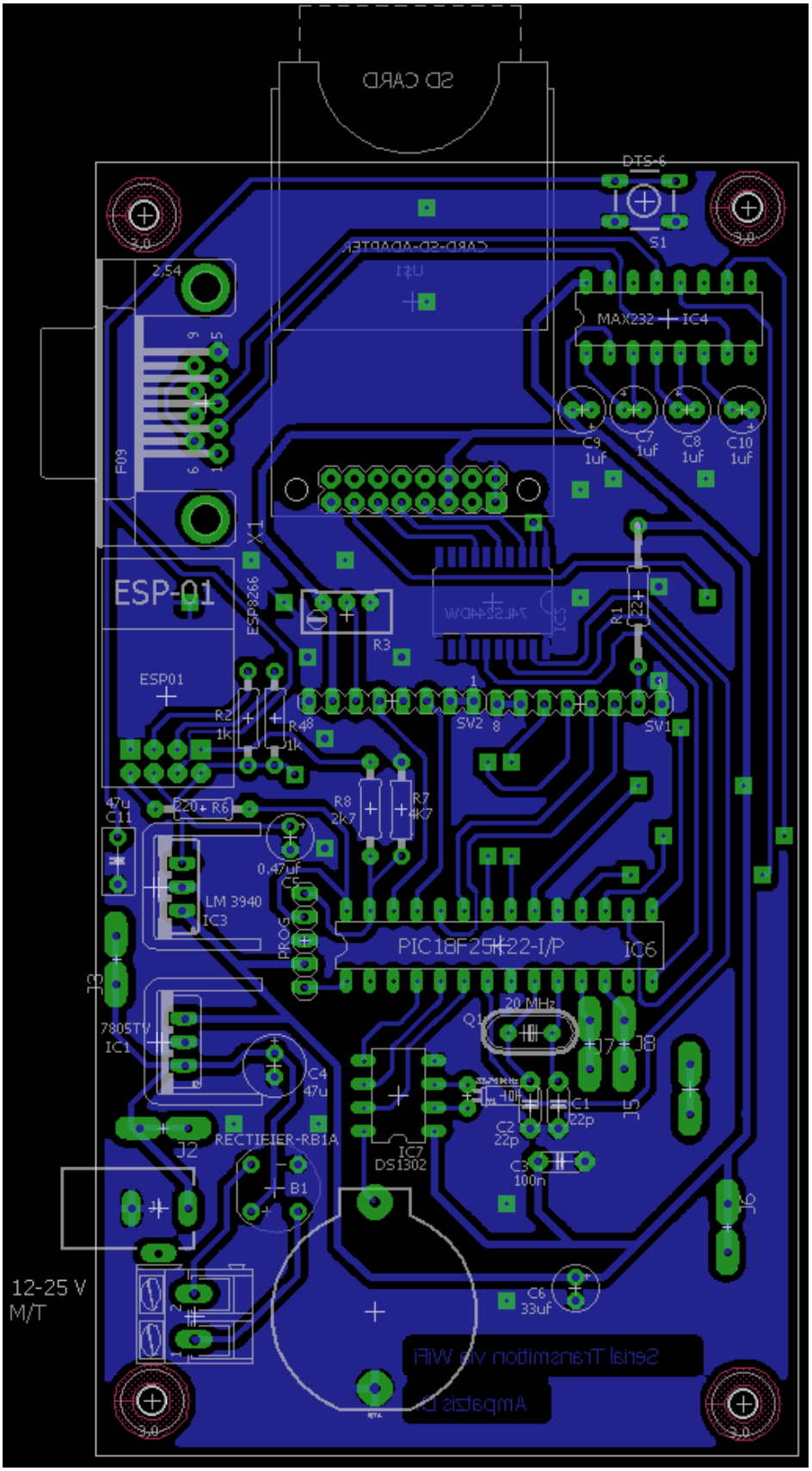
Σχήμα 5.9 – Το σχηματικό του πομπού

5.3.3.2 *Ο δέκτης*

Η είσοδος του κυκλώματος αποτελείται από έναν ESP-01 που συνδέεται στο τοπικό δίκτυο WLAN και επικοινωνεί με τον πομπό μέσω του σταθερού domain που έχει το δίκτυό του. Οι πληροφορίες που εισέρχονται από τον ESP τροφοδοτούνται σε έναν μικροελενκτή. Ο μικροελενκτής επιτελεί ταυτόχρονα μία τριπλή λειτουργία. Αρχικά, καταγράφει αυτούσια τα δεδομένα σε μία κάρτα SD από την στιγμή που εισέρχονται στο κύκλωμα και τα κατατάσσει με χρονική σειρά και μέτρηση, από την πρώτη μέτρηση που έλαβε μέχρι την τελευταία. Για την χρονική κατάταξη, χρησιμοποιείται ένα RTC ο οποίος διαθέτει την πραγματική ώρα. Κάθε μέτρηση παίρνει μία σφραγίδα της ώρας που καταγράφηκε. Στην συνέχεια, για να απεικονιστούν τα δεδομένα της SD, δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε ποια μέτρηση θέλουμε να απεικονιστεί από ένα μία οθόνη υγρών κρυστάλλων και δύο button. Υπάρχουν ένα button για την περιήγηση σε μία λίστα από μετρήσεις και ένα τρίτο που επιλέγει την μέτρηση. Μόλις επιλεγεί μία μέτρηση, δίνεται το ερέθισμα στον μικροελενκτή να διοχετεύσει τα δεδομένα από την θέση μνήμης στην SD με προορισμό ένα MAX232 και μία 9-πινη υποδοχή DB9. Από εκεί, με ένα σειριακό καλώδιο συνδέεται ο δέκτης με τον υπολογιστή όπου μέσω του προγράμματος Aurora Communicator απεικονίζονται οι επιλεγμένες μετρήσεις.



Σχήμα 5.10- Το σχηματικό κύκλωμα του δέκτη

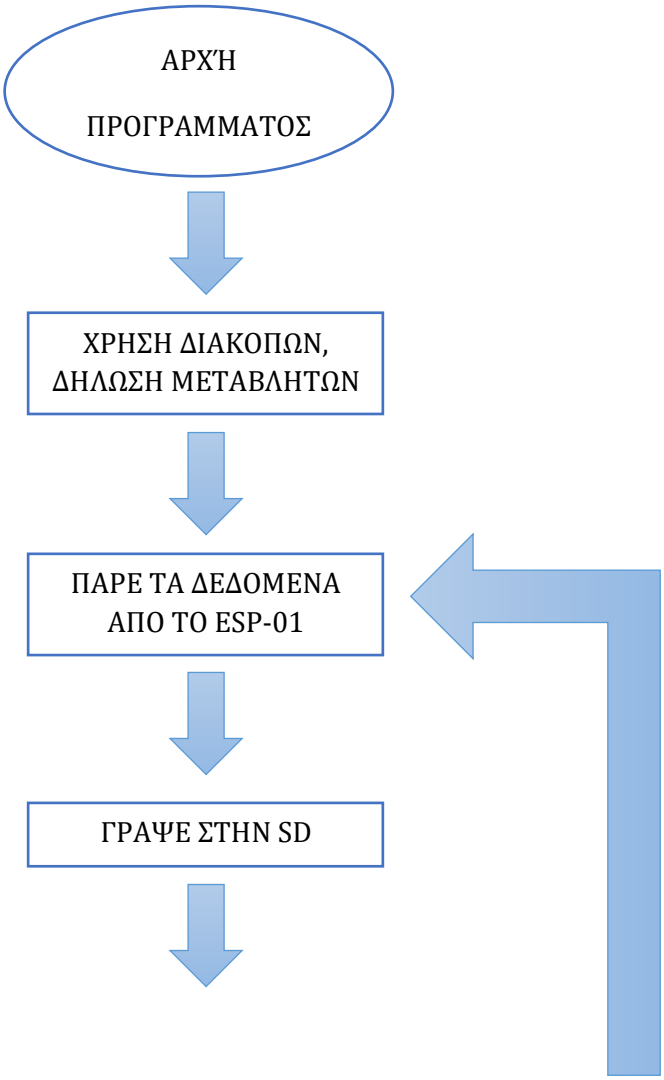


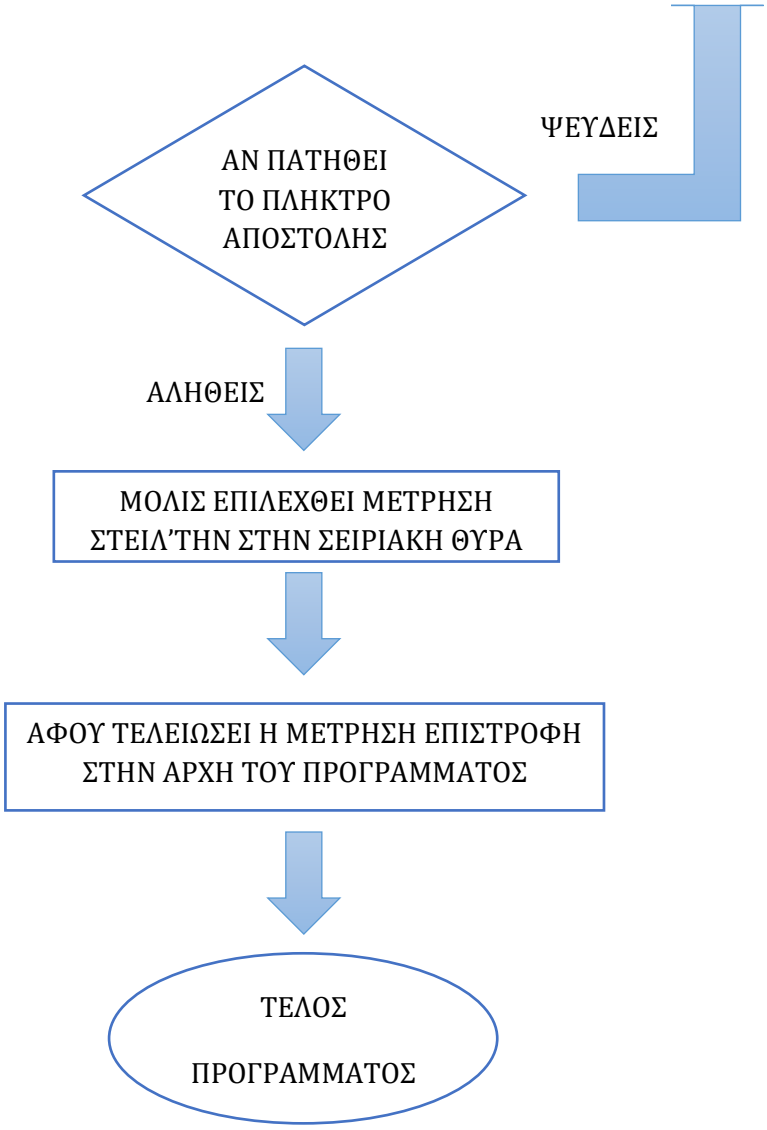
Σχήμα 5.11 – Το τυπωμένο κύκλωμα του δέκτη με τα υλικά

Το πρόγραμμα του δέκτη, αποτελείται από τρία στάδια. Αρχικά, ο ESP λειτουργεί ως client μεταφέροντας τα δεδομένα από τον ESP του πομπού. Τα δεδομένα εισέρχονται στον μικροελενκτή ο οποίος τα διοχετεύει στην SD ακριβώς όπως τα λαμβάνει. Στην SD η κάθε μέτρηση διαφοροποιείτε και δημιουργείται ένα αρχείο αποκλειστικά για κάθε μέτρηση με όνομα την ημερομηνία και την ώρα που καταγράφτηκε. Την ημερομηνία την αντλεί από ένα σύστημα πραγματικού χρόνου RTC , το ds1302 το οποίο επικοινωνεί με τον μικροελενκτή με το δίαυλο SPI χρησιμοποιώντας τρείς αγωγούς. Για την συνεχή λειτουργία, απαιτείται εξωτερική μπαταρία λιθίου με την οποία μπορεί να λειτουργεί για τουλάχιστον τρία χρόνια. Η επικοινωνία είναι σύγχρονη σειριακή και απαιτεί ένα σήμα serial data για ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων και αποστολή από τον μικροελενκτή εντολών. Μία γραμμή clock μέσω της οποίας ο μικροελενκτής στέλνει παλμούς χρονισμού και μία γραμμή reset μέσω της οποίας ο μικροελενκτής αρχικοποιεί την επικοινωνία δηλαδή ξεκινάει μία διαδικασία ανάγνωσης και εγγραφής. Τα δεδομένα που έρχονται από τον Inverter αποθηκεύονται καθ' όλη την διάρκεια που το κύκλωμα τροφοδοτείται.

Με την χρήση ενός κουμπιού (button) ξεκινάει η αποστολή των δεδομένων. Από την SD τα δεδομένα περνούν μέσα από έναν MAX232 με την ίδια διαδικασία που αναλύθηκε προηγουμένως. Στον χρήση, δίνεται η επιλογή να επιλέξει μέτρηση η οποία διοχετεύεται στην σειριακή θύρα και απεικονίζεται μέσω του Aurora Communicator.

Το διάγραμμα ροής παραθέτετε παρακάτω και ο κώδικας του μικροελενκτή βρίσκεται στο παράρτημα.





5.4 Αποτελέσματα σύνδεσης του Inverter με τον υπολογιστή

Η ανάγνωση των δεδομένων έγινε σε έναν υπολογιστή ο οποίος στήθηκε αποκλειστικά για αυτό τον σκοπό. Το λογισμικό που επιλέχθηκε ήταν τα Windows XP για μην υπάρξει κάποιο θέμα συμβατότητας καθώς οι περισσότεροι εκδότες προγραμμάτων σειριακής επικοινωνίας κυκλοφόρησαν τα λογισμικά τους τις αρχές του 2000 όπου δεν υπήρχαν πιο εξελιγμένα λειτουργικά συστήματα. Στον υπολογιστή στήθηκε το πρόγραμμα επικοινωνίας της εταιρίας του αντιστροφέα, το Aurora Communicator και ένα serial sniffer. Το Serial Port Monitor της Eltima, αποτελεί ένα από τα καλύτερα καταγραφικά πακέτα. Διαθέτει λειτουργία καταγραφής πρωτοκόλλων, πακέτων καθώς και των δεδομένων της γραμμής επικοινωνίας που μεταφέρονται μέσω μίας σειριακής θύρας και προς τις δύο κατευθύνσεις. Ακόμα, έχει την δυνατότητα να μεταφράζει τα δεδομένα καθώς τα συλλέγει σε ASCII μορφή. Γενικά αρκετές επικοινωνιακές ζεύξεις γίνονται σε ASCII μορφή, συμπεριλαμβανομένου μερικών από τις μετρήσεις όπως το Serial Number, το μοντέλο καθώς και το part number του Inverter. Με την

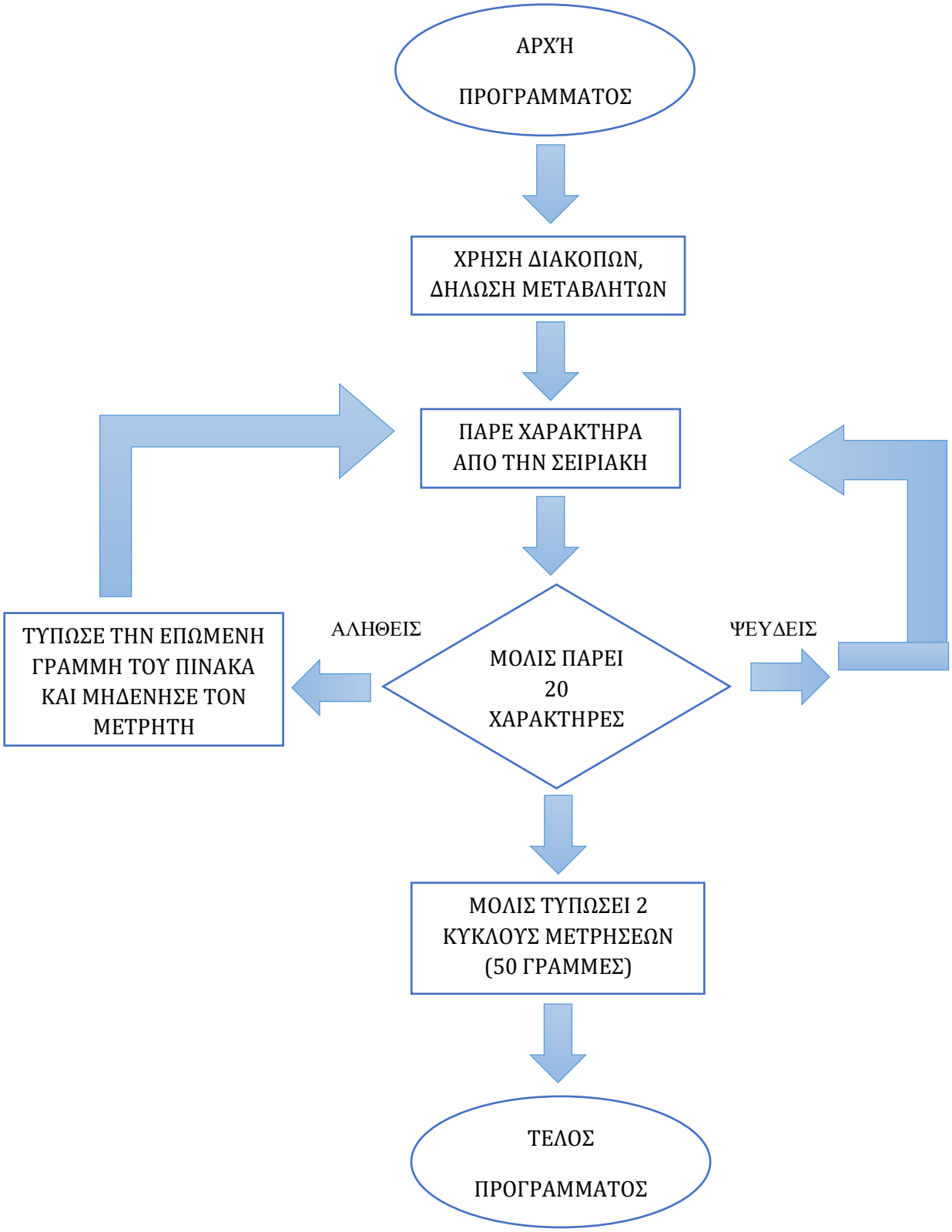
συμβολή του καταγραφικού, μπόρεσα να διακρίνω την αλληλουχία των start bits, των bit πληροφορίας, των parity bits καθώς και των bit τερματισμού της αποστολής των δεδομένων. Η επικοινωνία έχει μορφή 8-N-1 και 19.200 bps baud rate. Η διάρκεια που το κάθε bit είναι σε μία κατάσταση είναι $1/_{\text{Baud Rate}}$ και ισούται με 52 ns. Χρειάστηκε αρκετός χρόνος και διακριτική ικανότητα όμως δεν ήταν εφικτός ο προσδιορισμός περεταίρω στοιχείων.

5.4.1 Προσομοίωση του Inverter με έναν μικροελενκτή

Η συγκέντρωση των στοιχείων που καταγράφηκαν, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ο Inverter απαντάει σε κάθε request που παίρνει από την άλλη άκρη. Το Aurora Communicator ρωτάει με μία μεταδιδόμενη συστοιχία των 20 bytes και ο Inverter απαντάει κάθε φορά με την αντίστοιχη μέτρηση η οποία αποστέλλεται από πακέτα των 16 bytes. Για την περεταίρω μελέτη των δεδομένων αποστολής του Inverter προσομοιώθηκε ένα σύστημα που επιτελούσε την ίδια λειτουργία επικοινωνίας με το Aurora Communicator, με την χρήση ενός μικροελενκτή. Καθώς υπήρχε μία πρώτη γνώμη σχετικά με τα δεδομένα που στέλνονται, σχεδιάστηκε ο κώδικας που θα προσομοιάζει την λειτουργία του Inverter. Δύο κύκλοι μετρήσεων που καταγράφτηκαν με την χρήση του ενσύρματου κυκλώματος, εισήχθησαν στο πρόγραμμα σε γλώσσα C.

Στην συνέχεια, μέσω μίας σειριακής θύρας και ενός σειριακού καλωδίου συνδέθηκε ο μικροελενκτής με τον υπολογιστή που είχε εγκατεστημένο το Aurora Communicator. Με αυτόν τον τρόπο έγινε δυνατή η ταυτοποίηση κάθε μέτρησης του Inverter με την πραγματική τιμή που αντιπροσωπεύει. Πολλές μετρήσεις προσομοιώθηκαν με αυτόν τον τρόπο ώστε να μπορέσω να διαπιστώσω τον τρόπο που μεταφράζει τα δεδομένα ο Aurora Communicator.

Τελικά, όλοι οι γνωστοί τρόποι αποκωδικοποίησης των δεδομένων απορρίφθηκαν. Τα δεδομένα στον δέκτη δεν δέχονται κάποια αντιστροφή με κάποια λογική σειριά, δεν μεταφράζονταν σε ASCII μορφή ούτε σε BCD μορφή. Το συμπέρασμα ήταν πως κωδικοποιούνται με κάποιο τρόπο στον πομπό και το κλειδί για την αποκωδικοποίηση υπάρχει στο πρόγραμμα. Τα 16 byte ισοδυναμούν με 128 bit και έναν πάρα πολύ μεγάλος αριθμός πιθανοτήτων. Ακόμα και αφαιρώντας τα 4 byte που στέλνει συνέχεια στην αρχή ως header που πρέπει να αναδεικνύουν την αρχή της αποστολής των δεδομένων, μένουν 12 byte, 96 bit που μπορούν να πάρουν τιμές μετρήσεων σε δεκαδική μορφή της τάξεως του 2^{96}. Πιστεύω πως κάπου μέσα στα 12 byte υπάρχουν και bit διορώσης λαθών οπότε η αποκωδικοποίησή τους είναι πρακτικά αδύνατη. Ο κώδικας προσομοίωσης του Inverter βρίσκεται στο παράρτημα στο τέλος της εργασίας ενώ μερικές λεπτομέρειες για την δομή του παρατίθενται παρακάτω.



Στην αρχή του προγράμματος, τοποθετούνται όλες οι ασφάλειες του μικροελενκτή. Οι ασφάλειες αποτελούν ορισμένες επιλογές που κάνει ο χρήστης και είναι κρίσιμες στην λειτουργία του μικροελενκτή. Μερικές είναι η ταχύτητα του, η επιλογή εσωτερικού ή

εξωτερικού χρονιστή, τον πολλαπλασιασμό της συχνότητας του και πάρα πολλές ακόμα. Όλες οι ασφάλειες δηλώνονται στην αρχή του προγράμματος κάτω από την συσκευή (η βιβλιοθήκη που διαθέτει όλες τις θέσεις μνήμης, τις εισόδους και τις εξόδους του μικροελενκτή) και η λειτουργία τους έχει συμπεριληφθεί με σχόλια από δίπλα. Τα σχόλια ξεκινάνε με // ή μπαίνουν ενδιάμεσα από /* και */.

Στην συνέχεια ρυθμίζεται ο bootloader ώστε να προγραμματίζεται ο μικροελενκτής μέσα από USB. Το κυρίως πρόγραμμα βρίσκεται μέσα στην void main(). Με την βοήθεια ενός μετρητή του counter και δύο μεταβλητών i και του j, για κάθε 20 χαρακτήρες που λαμβάνει ο μικροελενκτής από το Aurora Communicator, στέλνει μία γραμμή από τις μετρήσεις που είχα καταγράψει με το πρώτο κύκλωμα. Τότε δεν ήξερα κάθε string από 16 χαρακτήρες σε ποια τιμή αντιστοιχεί ούτε ποια μέτρηση αποστέλλει. Οι μετρήσεις γέμισαν έναν πίνακα με 50 γραμμές και 8 στήλες. Σε κάθε γραμμή τοποθετήθηκε μία γραμμή από 16 χαρακτήρες που καταγράφτηκε και σε κάθε στήλη τοποθετήθηκαν 2 byte. Στην πρώτη προσομοίωση, τα δεδομένα στέλνονταν αρκετά πιο αργά από τα 52ns του χρόνου κάθε bit για Bout rate 19.200. Για να αποφευχθεί αυτό, έγινε η χρήση διακοπών σύμφωνα με τις οποίες διακόπτεται το πρόγραμμα και μηδενίζονται όλοι οι buffer.

5.5 Ο τρόπος κατασκευής πλακέτας

Η κατασκευή αποτελεί την ολοκλήρωση της εργασίας. Αποτελείται ένα πλαστικό συνήθως κουτί, που μέσα του είναι τοποθετημένη με κατάλληλη στήριξη μία πλακέτα. Η υλοποίηση του project αποτελεί το πιο ενδιαφέρον μέρος της εργασίας, αφού για πρώτη φορά έγινα θεατής της δημιουργίας εξολοκλήρου του πρακτικού κομματιού που συνηθίζεται να παράγεται μαζικά σε εργοστάσια. Κατατάσσεται στο τέλος αφού αρχικά πρέπει να γίνει μελέτη του project ώστε το τελικό αποτέλεσμα να λειτουργεί.

Αρχικά, αξίζει να αναφερθεί πως υπάρχουν εταιρίες που αναλαμβάνουν ολοκληρωτικά την διαδικασία της κατασκευής της πλακέτας. Με την ηλεκτρονική αποστολή του σχεδιαστικού κομματιού δημιουργούν την πλακέτα, χρεώνοντας ανάλογα με τα layers[18] και τα υλικά κατασκευής της πλακέτας. Μία από αυτές τις εταιρίες βρίσκεται στην βιομηχανική περιοχή Σίνδου, με όνομα Φανειάδης Ο.Ε. Το σχεδιαστικό κομμάτι που ζητείται, αποτελούν τα αρχεία Gerber τα οποία προκύπτουν από το σχεδιαστικό πρόγραμμα. Είναι μία επέκταση όπως για παράδειγμα το .pdf, όπου στο pdf βλέπουμε μία όψη της σχεδίασης, όμως τα Gerber αρχεία ξεχωρίζουν όλα τα layer διευκολύνοντας το μηχάνημα που κατασκευάζει την πλακέτα.

5.5.1 Υλικό κατασκευής πλακετών

Η πλακέτα αποτελείται από μία, δύο ή και παραπάνω στρώσεις χαλκού πάχους 35μm, 70μm, 105μm ή 140μm.Συνήθως βρίσκονται στο κάτω μέρος της πλακέτας, σε πλακέτες μίας όψης (one side) ή στο πάνω και στο κάτω μέρος της πλακέτας, σε πλακέτες διπλής όψης (double side). Ενδεχομένως να υπάρχει χαλκός και σε περισσότερα επίπεδα της πλακέτας, στα οποία γίνονται μόνο συνδέσεις μεταξύ σημείων ανάμεσα στα επίπεδα με την χρήση vias[19].

Το μονωτικό υλικό της πλακέτας διαφοροποιείται σε δύο κύρια υλικά. Ο Βακελίτης ενισχυμένος με γυαλί (glass-reinforced epoxy laminate) είναι περισσότερο γνωστό με τις ονομασίες FR-x, όπου x ένας αριθμός από το 1 μέχρι το 5. Το FR-4, είναι ένα σύνθετο υλικό που αποτελείται από ύφασμα από υαλοβάμβακα με σύνθετο εποξικής ρητίνης που είναι ανθεκτικό στην φλόγα. Για τον λόγο αυτό πήρε τα αρχικά FRπου βγαίνουν από το αγγλικό flame retardant και ο αριθμός δηλώνει πόσο ανθεκτικό είναι στην φλόγα. Διαθέτει μεγάλη αντοχή στην πίεση, χαρακτηριστικό του epoxy και χρησιμοποιείται ως ηλεκτρονικό μονωτικό αφού διαθέτει σχεδόν μηδενική απορρόφηση υγρών.

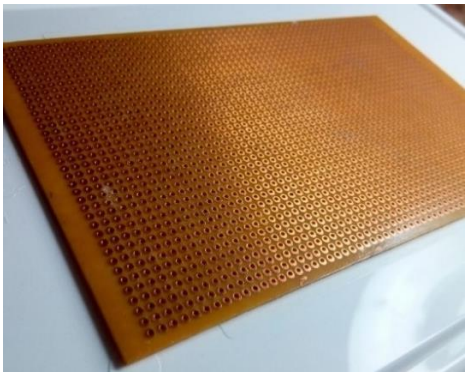
Το δεύτερο υλικό που χρησιμοποιείται ως μονωτικό στις πλακέτες ονομάζεται CEM-x.Αποτελεί ακρωνύμιο από τα αρχικά Composite epoxy materialsκαι το ακολουθεί ένας αριθμός που δηλώνει τα χαρακτηριστικά του. Το CEM-3 είναι αντίστοιχο του FR-4, ξεχωρίζεται από το χαρακτηριστικό λευκό χρώμα ενώ διαθέτει την ίδια θερμική ανοχή με το FR-4.Και τα δύο υλικά αποτελούν οικονομικά υλικά με το CEM-3 να κερδίζει στην σύγκριση ποιότητας-κόστους [xxii].

Μερικά ακόμα υλικά που χρησιμοποιούνται ως μονωτές στις πλακέτες είναι το MCPCB (Metal Core Printed Circuit Board), που αποτελεί μεταλλικούς πυρήνες τυπωμένου κυκλώματος που αποτελούνται συνήθως από κράμα αλουμινίου. Οι μεταλλικού πυρήνες όπως το νιτρίδιο του αργιλίου και το οξείδιο του βηρυλλίου είναι εξαιρετικά αγώγιμοι στην θερμότητα αφού το διηλεκτρικό τους υλικό είναι υψηλής θερμικής αγωγιμότητας. Εν κατακλείδι, υλικά μεταλλικού πυρήνα (MCPCB), χρησιμοποιούνται περισσότερο σε περιπτώσεις όπου η υψηλή θερμοκρασία είναι πρόβλημα, όπως ο φωτισμός LED.Ένα ακόμα υλικό μόνωσης των τυπωμένων κυκλωμάτων είναι το πολυαμίδιο (Polyamide) που αποτελεί ένα μακρομόριο με επαναλαμβανόμενες μονάδες που ενώνονται με αμιδικούς δεσμούς. Το πιο γνωστό πολυαμίδιο αποτελεί το νάιλον-6 και νάιλον-66.

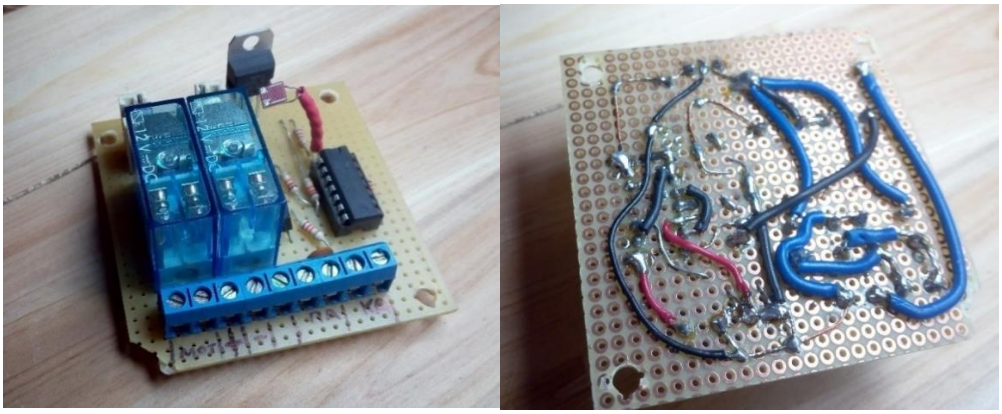
5.5.2 Είδη πλακετών και προετοιμασίας

Στο εμπόριο, κυκλοφορούν διάφορες πλακέτες αναλόγως τον τρόπο παρασκευής που θα ακολουθηθεί. Πλακέτες του ίδιου υλικού, διαφέρουν στο μέγεθος. Υπάρχουν πλακέτες που ξεκινούν από διαστάσεις 5x7cm και μπορούν να φτάσουν σε μέγεθος Α4 ή και ακόμα μεγαλύτερες όπως τα φύλλα χαλκού που χρησιμοποιούν στα εργοστάσια. Ωστόσο, οι πλακέτες μπορούν να κοπούν στις επιθυμητές διαστάσεις με την χρήση μιας φαλτσέτας είτε ενός ίσιου κατσαβιδιού με παχιά μύτη.

Αρχικά, υπάρχουν διάτρητες πλακέτες οι οποίες έχουν τρύπες με επίστρωση χαλκού ώστε να γίνουν οι συνδέσεις με αγωγούς όπως καλώδια ή κομμάτια χαλκού στο πίσω μέρος της πλακέτας. Μία διάτρητη πλακέτα φαίνεται στην εικόνα 5.12. Η δημιουργία μίας κατασκευής με διάτρητη πλακέτα δεν έχει ένα αξιόλογο αποτέλεσμα καθώς αποτελεί έναν τρόπο κατασκευής που δεν βγάζει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Απευθύνεται σε ερασιτέχνες που στοχεύον αποκλειστικά στην λειτουργικότητα και όχι στην εμφάνιση.

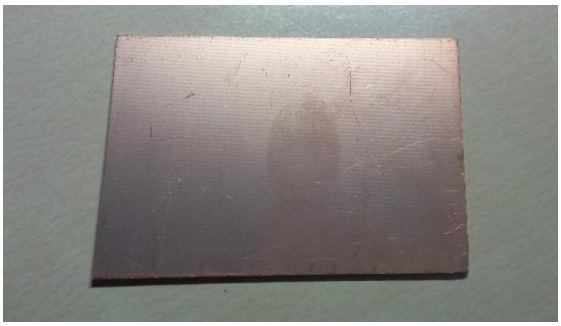


Εικόνα 5.12 – Η κάτω όψη μίας διάτρητης πλακέτας



Εικόνα 5.13 – Αριστερά είναι η επάνω και δεξιά η κάτω όψη μίας εφαρμογής που πραγματοποιήθηκε σε διάτρητη πλακέτα

Τις πιο διαδεδομένες πλακέτες αποτελούν οι πλακέτες χαλκού. Διαθέτουν μία στρώση χαλκού στην μία επιφάνεια ή δύο στρώσεις χαλκού αν πρόκειται για πλακέτα διπλής όψης που ενδιάμεσα τοποθετείται ένα από τα μονωτικά υλικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Παρακάτω θα αναλυθούν οι τεχνικές που χρησιμοποιούν πλακέτα χαλκού για την δημιουργία της κατασκευής. Στην εικόνα 5.14 απεικονίζεται μία πλακέτα χαλκού μονής όψης όπως πωλείται στο εμπόριο. Χαρακτηριστικό του χαλκού είναι το μπρούτζινο χρώμα σε μία πολύ φωτεινή απόχρωση. Στην εικόνα, είναι αρκετά εμφανές η οξείδωση του χαλκού αφού έχει χάσει την λαμπρότητα της, ενώ παράλληλα υπάρχει αρκετή βρωμιά πάνω στον χαλκό.



Εικόνα 5.14 – Πλακέτα χαλκού μονής όψης 5x7cm FR4

Μία τελευταία κατηγορία πλακετών αποτελούν οι πλακέτες που διαθέτουν μία ή δύο στρώσεις φωτοευαίσθητου υλικού. Αποτελούν πλακέτες χαλκού που έχει τοποθετηθεί

φωτοευαίσθητο υλικό και είναι άκρως ευαίσθητες στην υπεριώδη ακτινοβολία, δηλαδή στην ακτινοβολία με μήκος κύματος ανάμεσα σε 10-400 nm. Απαγορεύεται να μείνουν απροστάτευτες στο φως του ηλίου αφού και ο ήλιος εκπέμπει υπεριώδες ακτινοβολία. Για τον λόγο αυτό, τοποθετείται ένα προστατευτικό κάλυμμα πάνω από το φωτοευαίσθητο υλικό ώστε να μην καεί από τον ήλιο. Έτοιμες φωτοευαίσθητες πλακέτες κυκλοφορούν στην αγορά και μία εικονίζεται στην εικόνα 5.15. Λόγο του υψηλού κόστους των έτοιμων φωτοευαίσθητων πλακετών, στο εμπόριο υπάρχει φωτοευαίσθητο σπρέι καθώς και φιλμ με φωτοευαίσθητο υλικό τα οποία τοποθετούνται πάνω σε μία πλακέτα χαλκού. Σημαντικό όταν χρησιμοποιούνται φωτοευαίσθητα υλικά είναι η περιοχή του υλικού που καίγεται. Μπορεί να είναι είτε θετικό είτε αρνητικό όπου το θετικό δηλώνει ότι στην εμφάνιση η περιοχή που εκτίθεται στην ακτινοβολία διαλύεται, ενώ στην εμφάνιση του αρνητικού φωτοευαίσθητου διαλύετε η περιοχή που δεν εκτέθηκε στην ακτινοβολία.

Εικόνα 5.15 – Αριστερά απεικονίζεται μία φωτοευαίσθητη πλακέτα εμπορίου που στην άκρη φαίνεται με πιο σκούρο χρώμα το φωτοευαίσθητο υλικό. Ακριβώς από κάτω βρίσκεται μία απλή πλακέτα χαλκού για να είναι πιο ευδιάκριτη η διαφορά μεταξύ τους. Το μπλε, αποτελεί το προστατευτικό κάλυμμα. Στην μέση βρίσκεται ένα σπρέι θετικού φωτοευαίσθητου υλικού ενώ στα δεξιά φαίνεται το φιλμ φωτοευαίσθητου υλικού(photosensitive dry film).

5.5.3 Τρόπος κατασκευής πλακετών.

Έχοντας ολοκληρώσει την μελέτη και τον σχεδιασμό της εφαρμογής, ξεκινάει η υλοποίησή της. Το πρώτο στάδιο για την δημιουργία της πλακέτας, αποτελεί η σχεδίαση του σχηματικού και του τυπωμένου σε ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα, όπου θα οργανώσουμε τα υλικά και τους αγωγούς σε κάποια επιθυμητή διάσταση πλακέτας. Σχεδιαστικά προγράμματα υπάρχουν πάρα πολλά, ωστόσο λίγα είναι αυτά που έχουν δυνατότητες και καλές βιβλιοθήκες. Το σχεδιαστικό πακέτο Eagle της Autodesk μαζί με το Altium Designer της Altium, αποτελούν τις κορυφαίες επιλογές σχεδιαστικών προγραμμάτων προσφέροντας μία ευρεία κλίμακα εξαρτημάτων και επεξεργασίας. Στην συνέχεια, αφού δημιουργηθεί το τυπωμένο κύκλωμα υπάρχουν επιλογές σχετικά με την περάτωσή του. Για την δημιουργία της πλακέτας επιλέγουμε έναν από τους παρακάτω.

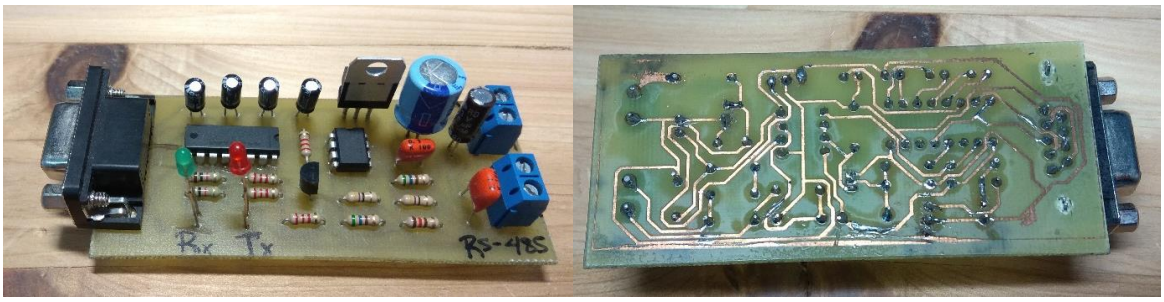
- Με σίδερο και φωτογραφικό χαρτί
- Με υπεριώδη ακτινοβολία
- Με τρυπάνι CNC
- Με μαρκαδόρο

Η χρησιμοποίηση φωτοευαίσθητης πλακέτας έχει σαν αποτέλεσμα ένα αρκετά ποιοτικό σχεδόν βιομηχανικής κλίμακας προϊόν. Παρακάτω θα αναλυθούν όλες οι λεπτομέρειες και οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν μαζί με την πλακέτα που δημιουργήθηκε σε κάθε περίπτωση.

Στην ενσύρματη επικοινωνία του Inverter με τον υπολογιστή, χρησιμοποιήθηκε μία απλή πλακέτα χαλκού. Μετά την λείανση και τον καθαρισμό της, τοποθετήθηκε θετικό φωτοευαίσθητο σπρέι. Για να τοποθετηθεί σωστά το σπρέι, πρέπει να μείνει τουλάχιστον 24 ώρες σε στεγνό περιβάλλον ώστε να στρωθεί ομοιόμορφα και να στεγνώσει πάνω στην πλακέτα. Στην συνέχεια, τοποθετήθηκε επάνω του το τυπωμένο κύκλωμα και έμεινε κάτω από μία λάμπα υπέρυθρου φωτός για 6-8 λεπτά. Το τυπωμένο κύκλωμα μπορεί να τυπωθεί σε διαφάνεια για καλύτερο αποτέλεσμα είτε σε απλό λευκό χαρτί με πυκνότητα 80 g/m^2 ή μεγαλύτερο οποίο για να γίνει διαμπερές πρέπει να απορροφήσει λάδι.

Για την εμφάνιση της πλακέτας, χρησιμοποιείτε ένα διάλυμα νερού με υδροξειδίου του νατρίου γνωστό και ως ποτάσα ($CaOH^-$). Αποτελεί ένα βασικό διάλυμα που δεν δημιουργεί πρόβλημα όταν έρθει σε επαφή με το δέρμα. Αυτή η διαδικασία διαρκεί περίπου 1-2 λεπτά και το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση του σχεδίου πάνω στον χαλκό. Το φωτοευαίσθητο υλικό που βρισκόταν πάνω στην πλακέτα διαλύεται και μένει μόνο το σημείο που δεν κάηκε από το υπεριώδες.

Το επόμενο στάδιο, αποτελεί η αποχάλκωση. Με αυτή την διαδικασία διαλύεται ο χαλκός και η πλακέτα παίρνει το τελικό της σχήμα. Το διάλυμα που χρησιμοποιείται, αποτελείται από μία μίξη περιντρόλ με κεζάπ που δημιουργεί ένα καυστικό όξινο υγρό. Η επαφή του με τον χαλκό δημιουργεί μία εξώθερμη αντίδραση κατά την οποία ο χαλκός καταστρέφεται. Το μοναδικό μέρος που δεν καταστρέφεται είναι οι περιοχές που είναι καλυμμένες από φωτοευαίσθητο υλικό. Αυτό το διάλειμμα είναι επικίνδυνο όταν έρθει σε επαφή με το δέρμα οπότε ολόκληρη η διαδικασία πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Η διαδικασία της κατασκευής έχει τελειώσει και το επόμενο βήμα είναι η κόλληση των υλικών στην πλακέτα. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 5.16.



Εικόνα 5.16 – Η πλακέτα της ενσύρματης επικοινωνίας του Inverter με τον υπολογιστή

Συμπεράσματα της εργασίας

Η ασύρματη μεταφορά σειριακών δεδομένων επιτελείται πολύ απλά με την χρήση του ολοκληρωμένου κυκλώματος ESP-8266. Το ολοκληρωμένο, αποτελεί την βασική μονάδα για κάθε είδους εφαρμογή που χρησιμοποιεί το ίντερνετ. Λειτουργεί σαν αυτόνομος server επιτελώντας όλες τις λειτουργίες που έχει ένας server ενώ μπορεί να λειτουργήσει σαν access point για σύνδεση από κοντινή απόσταση δίχως να χρειαστεί η χρήση του διαδικτύου. Αποτελεί την καλύτερη λύση για μικρού και μεσαίου μήκους εφαρμογών. Είναι εύκολος στον προγραμματισμό και υπάρχει υλικό και υποστήριξη στο ίντερνετ από έναν μεγάλο πληθυσμό που τον χρησιμοποιεί.

Ο Inverter, όπως και οι περισσότερες συσκευές καταναλωτικής χρήσης που διαθέτουν την ικανότητα για εξωτερική επικοινωνία, διαθέτουν πρωτόκολλα και κωδικοποιήσεις τέτοια ώστε να μην είναι ικανή η αποκωδικοποίηση των εκπεμπόμενων πληροφοριών. Είναι πολύ ασφαλείς συσκευές αφού δεν επιτρέπουν ούτε στους ίδιους τους χρήστες που έχουν τα μέσα να αποσπάσουν πληροφορίες, πόσο μάλλον σε μία εξωτερική πηγή.

Οι μικροελενκτές απλοποιούν σε μεγάλο βαθμό το κύκλωμα και τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται καθώς επιτελούν πολλές λειτουργίες ταυτόχρονα. Σε διαφορετική περίπτωση θα χρειαζόταν ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα για την κάθε λειτουργία. Ένας μόνο μικροελενκτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να προσομοιωθεί ένα ολόκληρο σύστημα ικανό να δώσει τα ίδια αποτελέσματα με μία πολύ μεγαλύτερη και πολυπλοκότερη διάταξη.

Παράρτημα

Λεξικό Όρων

Διαδίκτυο: Η λέξη Διαδίκτυο (**Internet**) προκύπτει από τις λέξεις International Network (Διασύνδεση Δικτύων).Το Διαδίκτυο συνδέει διάφορα δίκτυα και ανεξάρτητους υπολογιστές απ' όλα τα μέρη του κόσμου μεταξύ τους, έτσι ώστε όλα μαζί να σχηματίζουν ένα ενιαίο δίκτυο.

Δίκτυο: Με τον όρο δίκτυο αναφερόμαστε στο διακρατικό, εθνικό ή τοπικό δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

A

ASCII: Είναι ένα κωδικοποιημένο σύνολο 128 λατινικών χαρακτήρων αριθμημένο από το 0x30 (32_{10}) μέχρι το 0x7E (126_{10}) στο δεξαεξαδικό σύστημα.

B

BCD: Αποτελεί μία μορφή κωδικοποίησης δεκαδικών αριθμών σε δυαδική μορφή. Όλες οι μεταδιδόμενες πληροφορίες αντιστοιχούν σε αριθμούς συνεπώς μεταδίδονται αριθμοί 0-9.

Bus: Τα συστήματα επικοινωνίας που μεταδίδουν πληροφορίες ανάμεσα στις μονάδες του υπολογιστή ή μεταξύ υπολογιστών

C

CLOCK: Στα ηλεκτρονικά, αποτελεί ένα σήμα χρονισμού που χρησιμοποιείται για να συγχρονίσει δύο συσκευές.

D

DNS (domain name system): Αποτελεί ένα ιεραρχικό σύστημα ονοματοδοσίας για δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IP. Μία από τις λειτουργίες του είναι η αντιστοίχιση των ορισμένων διακριτών λέξεων ή φράσεων με διευθύνσεις IP.

DSSS/CCK: Η συμπληρωματική κωδικοποίηση αποτελεί έναν σχηματισμό διαμόρφωσης ο οποίος χρησιμοποιείται στα ασύρματα δίκτυα WLAN της προδιαγραφής 802.11b. Χρησιμοποιήθηκε το 1999 ως συμπλήρωμα του κώδικα Barker ώστε να επιτύχει ρυθμό μετάδοσης μεγαλύτερο από 2Mbit/s όταν η απόσταση θα ήταν πολύ μικρή.

E

EEPROM: Είναι μία προγραμματιζόμενη μνήμη μόνο για ανάγνωση που αφήνει να προγραμματιστούν μόνο ορισμένα byte.

F

Flash memory: Η μνήμη που αποθηκεύεται το κυρίως πρόγραμμα σε έναν μικροελενκτή. Είναι προγραμματιζόμενη και μπορεί να επανεγγραφεί αρκετές φορές.

G
H

HDD: Ο σκληρός δίσκος (Hard Disk Drive) αποτελεί μονάδα αποθήκευσης δεδομένων που χρησιμοποιεί έναν ή περισσότερους περιστρεφόμενους δίσκους επικαλυμμένους από μαγνητικό υλικό.

I

IP: Μία διεύθυνση IP αποτελεί έναν μοναδικό αριθμό που χρησιμοποιείται από συσκευές ώστε να επικοινωνούν σε ένα δίκτυο υπολογιστών που χρησιμοποιεί το Internet Protocol standard.

J
K
L

Layer: Ονομάζεται το κάθε επίπεδο, η στρώση κάποιου υλικού που διαθέτει η πλακέτα. Για παράδειγμα, μία πλακέτα που έχει υλοποιηθεί σε 3 layers, διαθέτει αγωγούς σε τρις διαφορετικές επιφάνειες οι οποίες είναι συμπιεσμένες και φαίνονται σαν ένα υλικό

M

MISO: Ακρωνύμιο από τα αρχικά master input slave output στο πρωτόκολλο SPI και ορίζει την έξοδο της περιφερειακής συσκευής και την είσοδο της κεντρικής συσκευής.

MOSI: Ακρωνύμιο από τα αρχικά master output slave input στο πρωτόκολλο SPI και ορίζει την έξοδο της κεντρικής συσκευής και την είσοδο της περιφερειακής συσκευής.

MPP: Ακρωνύμιο του Maximum Power Point που αποδίδεται στο σημείο μέγιστης ισχύος σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο. Αποτελεί το σημείο της χαρακτηριστικής κατά το οποίο το στοιχείο αποδίδει το μέγιστο.

N
O

OFDM: Το Orthogonal frequency division multiplexing αποτελεί μία τεχνική κωδικοποίησης ψηφιακών δεδομένων πάνω σε πολλαπλές συχνότητες από φέροντα. Είναι πολύ δημοφιλές στην ευζωνική ψηφιακή επικοινωνία και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως η ψηφιακή τηλεόραση, η σύνδεση ίντερνετ DSL καθώς και στις τηλεπικοινωνίες.

P
Q
R

RTC: Αποτελεί ένα σύστημα χρονισμού το οποίο λειτουργεί με εξωτερική τροφοδοσία και είναι ικανό να κρατάει την ακριβή ημερομηνία και ώρα. Επικοινωνεί με το πρωτόκολλο SPI ή το πρωτόκολλο I^2C.

S

SSD: Μία αποθηκευτική μονάδα (Solid State Drive) η οποία χρησιμοποιεί πολλαπλά ολοκληρωμένα κυκλώματα μνήμης.

SPI: Είναι ένα πρωτόκολλο που διευκολύνει το σχηματισμό, την τροποποίηση και την εκτέλεση διαύλων επικοινωνίας μεταξύ μεμονωμένων ή πολλαπλών χρηστών.

T
U
V

Vias: Αποτελούν οπές οι οποίες ενώνουν δύο επίπεδα της πλακέτας μεταξύ τους. Ουσιαστικά «γεμίζουν» την τρύπα με χαλκό ώστε να υπάρχει σύνδεση των αγωγών των δύο επιπέδων.

W

WLAN: Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο υπολογιστών που συνδέει δύο ή περισσότερες συσκευές που επικοινωνούν ασύρματα.

WWW: Το world wide web αποτελεί έναν χώρο πληροφοριών όπου τα έγγραφα και οι ισότοποι ορίζονται από μία διεύθυνση διασυνδεδεμένη με συνδέσμους υπερκειμένων (URL) και είναι προσβάσιμοι μέσω του διαδικτύου.

X
Y
Z

Κώδικας Προσομοίωσης του Inverter

```
#include <18F4550.h>
#DEVICE HIGH_INTS=TRUE
#device adc=10

#FUSES NOWDT                    //No Watch Dog Timer
#FUSES WDT32768                 //Watch Dog Timer uses 1:128 Postscale
#FUSES HSPLL                    //High Speed Crystal/Resonator with PLL enabled
#FUSES NOPROTECT                //Code not protected from reading
#FUSES BROWNOUT                 //No brownout reset
//#FUSES BORV20                 //Brownout reset at 2.0V
#FUSES NOPUT                    //No Power Up Timer
#FUSES NOCPD                    //No EE protection
#FUSES STVREN                   //Stack full/underflow will cause reset
#FUSES NODEBUG                  //No Debug mode for ICD
#FUSES NOLVP                    //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for I/O
#FUSES NOWRT                    //Program memory not write protected
#FUSES NOWRTD                   //Data EEPROM not write protected
#FUSES NOIESO                   //Internal External Switch Over mode enabled
#FUSES NOFCMEN                  //Fail-safe clock monitor enabled
#FUSES NOPBADEN                 ///PORTB pins are configured as analog input channels on RESET
#FUSES NOWRTC                   //configuration not registers write protected
#FUSES NOWRTB                   //Boot block not write protected
#FUSES NOEBTR                   //Memory not protected from table reads
#FUSES NOEBTRB                  //Boot block not protected from table reads
```

```
#FUSES NOCPB                    //No Boot Block code protection
#FUSES MCLR                     //Master Clear pin enabled
#FUSES NOLPT1OSC                //Timer1 configured for low-power operation
#FUSES NOXINST                  //Extended set extension and Indexed Addressing mode
disabled (Legacy mode)
#FUSES PLL5                     //Divide By 12(48MHz oscillator input)
#FUSES CPUDIV1                  //System Clock by 2
#FUSES USBDIV                   //USB clock source comes from PLL divide by 2
#FUSES VREGEN                   //USB voltage regulator enabled
//#FUSES ICPRT                  //ICPRT enabled
#FUSES WRTB
#FUSES NOICPRT
#FUSES NOLPT1OSC
#FUSES CCP2B3
#FUSES NOCPB
#FUSES NOCPD
#FUSES NOWRTC
#FUSES NOWRTD
#FUSES NOEBTR
#FUSES NOEBTRB

/* systm clock is 48 MHz */
#use delay(clock=48000000,RESTART_WDT)
/* --- BEGIN: changes required for bootloader ------------------------------ */

/* ------------------------------------------------------------------------ */
/* map reset vector and interrupt vector                                    */
```

```
/* 0x000-0x7FF is used by the bootloader. The bootloader maps the original   */
/* reset vecotr (0x000) to 0x800 and the reset vector (0x008) to 0x800.      */
/* ------------------------------------------------------------------------- */
#build (reset=0x800, interrupt=0x808)

/* ------------------------------------------------------------------------- */
/* reserve boot block area                                                   */
/* This memory range is used by the bootloader, so the application must not  */
/* use this area.                                                            */
/* ------------------------------------------------------------------------- */
#org 0, 0x7FF {}

/* --- END: changes required for bootloader ------------------------------- */

/* use of serial port and UART1*/
#use rs232(baud=19200,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
#byte PORTC = 0xF82
void serial_interrupt(void);
void init (void);
int8 received,counter=0,led=0;
int8 send_bytes[50][8]={
                //  {0x00,0x06,0x00,0x00,0x00,0x00,0x17,0xcc},
/*Output Power*/      {0x00,0x06,0x21,0xb9,0x91,0x3b,0x76,0xc6},  // 2h metrisi  -
{0x00,0x06,0x46,0x26,0xc3,0xc2,0x04,0x41}
    /*stathero*/    {0x32,0x30,0x33,0x39,0x30,0x36,0x40,0x7d},  // 203906@}
    /*stathero*/    {0x00,0x06,0x02,0x02,0x02,0x00,0x69,0x73},  // .......is
    /*stathero*/    {0x2d,0x33,0x47,0x38,0x32,0x2d,0x22,0xf0},  // -3G82-"ï
```

/*stathero*/ {0x00,0x06,0x58,0x47,0x4e,0x4e,0xa6,0x01}, // ..XGNN|.

/*stathero*/ {0x00,0x06,0x33,0x30,0x31,0x30,0x7f,0xbd}, // ..3010|1/2

/*stathero*/ {0x00,0x06,0x00,0x00,0x00,0x00,0x17,0xcc}, // I

// ******METRISEIS*******

/* 5 prota stathera idia allazoyn kathe mera */

/*---8h grami---*/

/*na min to allakso tin grami*/ {0x00,0x06,0x21,0xb9,0x91,0x3d,0x40,0xa3}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x21,0xb6,0xbc,0xc0,0xa6,0x56}

/*---9--- Lifetime */ {0x00,0x06,0x06,0x0e,0x89,0xef,0xbb,0xd3}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x06,0x0f,0xa6,0x84,0x49,0xf4} 1h-> 101,616.1 kWh 2h-> 101,689.0 k Wh

/*---10--- Output Power*/ {0x00,0x06,0x44,0xb0,0x39,0xe5,0x17,0xf3}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x44,0xb0,0xcc,0x2d,0xe3,0xbb} 1h-> 1,409.8 W 2h-> 1,414.4 W

/*---11--- Voltage Input 1*/ {0x00,0x06,0x43,0xc9,0xf2,0x40,0x55,0x64}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x43,0xc1,0xce,0x04,0xb5,0xb9} 1h-> 403.9 V 2h-> 387.6 V

/*---12--- Current Input 1*/ {0x00,0x06,0x40,0x11,0x05,0x00,0x51,0x7b}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x41,0x4d,0x75,0x80,0x66,0x35} 1h-> 1.2 A 2h-> 12.8 A

/*---13--- Voltage Input 2*/ {0x00,0x06,0x43,0xca,0x53,0x48,0x5e,0xb1}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x43,0xc1,0x5d,0x76,0x15,0xda} 1h-> 404.7 V 2h-> 386.7 V

/*---14--- Current Input 2*/ {0x00,0x06,0x3f,0x94,0x20,0x00,0x37,0xfb}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x3f,0x92,0x7c,0x00,0xb9,0x57} 1h-> 1.2 A 2h-> 1.1 A

/*---15--- ?????? */ {0x00,0x06,0x41,0xd5,0xeb,0xe6,0xa0,0xff}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x40,0xcc,0x0d,0x80,0xe9,0x41}

/*---16--- Temperature*/ {0x00,0x06,0x41,0xe8,0x9c,0x6c,0xef,0x10}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x42,0x18,0xe1,0xa7,0x75,0x81} 1h-> 29.1 oC 2h-> 38.2 oC

/*---17--- Grid Current*/ {0x00,0x06,0x3f,0xd2,0x0e,0xa2,0xa3,0x14}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x41,0x1e,0x35,0x19,0xcf,0x16} 1h-> 1.6 A 2h-> 9.9 A

/*---18--- Grid Voltage*/ {0x00,0x06,0x43,0x6e,0x7e,0x5b,0xb9,0x6c}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x43,0x65,0x93,0x4b,0x7f,0x0c} 1h-> 238.5 V 2h-> 229.6 V

/*---19--- Today Energy*/ {0x00,0x06,0x00,0x00,0x20,0x82,0x3e,0x48}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x00,0x00,0x7e,0xec,0xa1,0x8b} 1h-> 8,322.0 Wh 2h-> 32,492.0 Wh

/*---20--- Frequency*/ {0x00,0x06,0x42,0x48,0x02,0x0c,0xbe,0xda}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x42,0x48,0x00,0x00,0x62,0x23} , {0x00,0x06,0x42,0x48,0x0d,0x51,0x16,0xd0} 1,2,3-> 50.0 Hz

/*stathero*/ {0x00,0x06,0x00,0x00,0x00,0x00,0x17,0xcc}, // I

/*---22--- Isolation Resistance*/ {0x00,0x06,0x41,0x39,0x6e,0xdc,0x0f,0x3f}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x41,0x62,0x02,0xc6,0x64,0xe6} 1h-> 11.6 MOhm 2h-> 14.1 MOhm

/*---23--- Input Power 1*/ {0x00,0x06,0x44,0x71,0x6b,0xe9,0x7a,0x89}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x44,0x72,0x92,0x71,0xcf,0xd5} 1h-> 965.7 W 2h-> 970.3 W

/*---24--- Input Power 2*/ {0x00,0x06,0x43,0xf2,0xda,0x56,0x19,0x53}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x43,0xf6,0x9c,0x66,0x4d,0x13} 1h-> 485.7 W 2h-> 493.2 W

/*---25--- Max Daily Power*/ {0x00,0x06,0x46,0x11,0xc1,0xf4,0xaa,0x2c}, // 2h metrisi - {0x00,0x06,0x46,0x13,0x22,0xe2,0x54,0x2f} 1h-> 9328.5 W 2h-> 9416.7 W

// TELOS PROTON METRISEON

{0x00,0x06,0x46,0x26,0xc3,0xc2,0x04,0x41},

{0x32,0x30,0x33,0x39,0x30,0x36,0x40,0x7d}, // 203906@}

/*stathero*/ {0x00,0x06,0x02,0x02,0x02,0x00,0x69,0x73}, // .....is

/*stathero*/ {0x2d,0x33,0x47,0x38,0x32,0x2d,0x22,0xf0}, // -3G82-"ï

/*stathero*/ {0x00,0x06,0x58,0x47,0x4e,0x4e,0xa6,0x01}, // ..XGNN|.

/*stathero*/ {0x00,0x06,0x33,0x30,0x31,0x10,0x7f,0xbd}, // ..3010|1/2

/*stathero*/ {0x00,0x06,0x00,0x00,0x00,0x00,0x17,0xcc}, // I

{0x00,0x13,0x22,0xee,0x32,0xbb,0x21,0xc4},

/*3 prota idia*/ {0x00,0x06,0x06,0x0e,0x89,0xef,0xbb,0xd3},

/*4 prota idia==*/ {0x00,0x06,0x44,0xb0,0x39,0xe5,0x17,0xf3},

```
/*3 prota idia*/          {0x00,0x06,0x43,0xc9,0xf2,0x40,0x55,0x64},
/*3 prota idia*/          {0x00,0x06,0x40,0x11,0x05,0x00,0x51,0x7b},
/*3 prota idia*/          {0x00,0x06,0x43,0xca,0x53,0x48,0x5e,0xb1},
/*3 prota idia*/          {0x00,0x06,0x3f,0x94,0x20,0x00,0x37,0xfb},
/*3 prota idia*/          {0x00,0x06,0x41,0xd5,0xeb,0xe6,0xa0,0xff},
/*3 prota idia*/          {0x00,0x06,0x41,0xe8,0x9c,0x6c,0xef,0x10},
/*3 prota idia*/          {0x00,0x06,0x3f,0xd2,0x0e,0xa2,0xa3,0x14},
/*3 prota idia*/          {0x00,0x06,0x43,0x6e,0x7e,0x5b,0xb9,0x6c},
/*4 prota idia==*/          {0x00,0x06,0x00,0x00,0x20,0x82,0x3e,0x48},
/*4 prota idia==*/          {0x00,0x06,0x42,0x48,0x02,0x0c,0xbe,0xda},
/*stathero*/      {0x00,0x06,0x00,0x00,0x00,0x00,0x17,0xcc},          // .......I
/*3 prota idia*/          {0x00,0x06,0x41,0x39,0x6e,0xdc,0x0f,0x3f},
/*4 prota idia==*/          {0x00,0x06,0x44,0x71,0x6b,0xe9,0x7a,0x89},
/*3 prota idia*/          {0x00,0x06,0x43,0xf2,0xda,0x56,0x19,0x53},
/*3 prota idia*/          {0x00,0x06,0x46,0x11,0xc1,0xf4,0xaa,0x2c},


                          // TELOS deuteron METRISEON
                          };
void main()
{
  // char ch;
   int i=0,j;
   init();
   set_tris_b(0x00);
   while(1)
       {
            if (counter >= 20){
```

```
                    for(j=0;j<8;j++){
                    putc(send_bytes[i][j]);
                    output_high(PIN_B0);
                    delay_ms(1);
                    output_low(PIN_B0);
                            }
                            counter = 0;
                            if (i==26)
                            {
                            i=1;
                            }
                            i++;
                        }
            }
 }
 #int_rda
void serial_interrupt()
{
     received = getc();
   counter++;
   led++;
   }
void init (void){
                enable_interrupts(int_rda);
                enable_interrupts(GLOBAL);
                delay_ms(1);
               }
```

Κώδικας του δέκτη

```
#include <18F25k22.h>

#FUSES NOWDT                    //No Watch Dog Timer
#FUSES WDT32768                 //Watch Dog Timer uses 1:128 Postscale
#FUSES HSPLL                    //High Speed Crystal/Resonator with PLL enabled
#FUSES NOPROTECT                //Code not protected from reading
#FUSES BROWNOUT                 //No brownout reset
//#FUSES BORV20                 //Brownout reset at 2.0V
#FUSES NOPUT                    //No Power Up Timer
#FUSES NOCPD                    //No EE protection
#FUSES STVREN                   //Stack full/underflow will cause reset
#FUSES NODEBUG                  //No Debug mode for ICD
#FUSES NOLVP                    //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used
for I/O
#FUSES NOWRT                    //Program memory not write protected
#FUSES NOWRTD                   //Data EEPROM not write protected
#FUSES NOIESO                   //Internal External Switch Over mode enabled
#FUSES NOFCMEN                  //Fail-safe clock monitor enabled
#FUSES NOPBADEN                 ///PORTB pins are configured as analog input channels
on RESET
#FUSES NOWRTC                   //configuration not registers write protected
#FUSES NOWRTB                   //Boot block not write protected
#FUSES NOEBTR                   //Memory not protected from table reads
#FUSES NOEBTRB                  //Boot block not protected from table reads
#FUSES NOCPB                    //No Boot Block code protection
#FUSES MCLR                     //Master Clear pin enabled
```

```
#FUSES NOLPT1OSC                //Timer1 configured for low-power operation
#FUSES NOXINST                  //Extended set extension and Indexed Addressing mode disabled (Legacy mode)
#FUSES PLL5                     //Divide By 12(48MHz oscillator input)
#FUSES CPUDIV1                  //System Clock by 2
#FUSES USBDIV                   //USB clock source comes from PLL divide by 2
#FUSES VREGEN                   //USB voltage regulator enabled
//#FUSES ICPRT                  //ICPRT enabled
#FUSES WRTB
#FUSES NOICPRT
#FUSES NOLPT1OSC
#FUSES CCP2B3
#FUSES NOCPB
#FUSES NOCPD
#FUSES NOWRTC
#FUSES NOWRTD
#FUSES NOEBTR
#FUSES NOEBTRB

/* use of serial port and UART1*/
#use rs232(baud=19200,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
#byte PORTC = 0xF82

void serial_interrupt(void);
void init (void);
void main()
{
```

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//  SD card module connections
//#define SDCARD_SPI_HW
//#define SDCARD_PIN_SELECT PIN_A5  // to chip select mpainei, ego evala to SS slave select
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
#define MMCSD_PIN_SCL     PIN_C3 //o
#define MMCSD_PIN_SDI     PIN_C4 //i   // MISO
#define MMCSD_PIN_SDO     PIN_C5 //o   //MOSI
#define MMCSD_PIN_SELECT  PIN_A5 //o

#include <stdlib.h> // for atoi32
//meda library, a compatable media library is required for FAT.    --thelei na kano include kapoia bibliothiki tin fat --

#use fast_io(c)
#use delay(clock=20000000)            //o kristallos poy tha xrisimopoihso
#include <input.c>
#include <flex_lcd.h>
#include <ds1302.h>
#include <mmcsd.c>
#include <fat.c>

#byte PORTA        =0xF80
#byte PORTB        =0xF81
#byte PORTC        =0xF82

#use standard_io ( A )
```

```
#use standard_io ( B )
#use standard_io ( C )

char filename;

int16 i, data, address_mem_timed;
// data gia ta dedomena poy tha apothikeuontai stin mnimi
// address_mem_timed gia tin onomasia (me xrono) tou arxiou poy tha dimiourgei
int pano,kato,enter;
//koumpia periigisis sto menu. prota tha dixnei tin proti metrisi
//dixnei sto display ton arithmo olon ton metriseon kai meta tis imerominies protis kai teleutaias metrisis
//meta tha rotaei an theloume na epileksoume apo ton arithm;o ton met;rison h me imerominia
//an epileksoume imerominia tha dinei arxika epilogi xronou pano kato epilegete o xronos kai me to enter
//tha rotaei mina, meta imera kai telika ora kai lepto

//diaforetika an epileksoume metrisi prota tha epilegete 1000ada, meta 100ada, meta 10ada kai teleutaia monada

void init(void);
void MakeDirectory(char *dir);
void AppendFile(char *fileName, char *appendString);
void MakeFile(char *fileName)

void main()
{
```

```
init();
lcd_init();
rtc_init();

lcd_putc("\n\rStarting Initialize");



i = fat_init();
delay_ms(3);

if (i==0)
{

  lcd_putc("\n\rInitiallized");

  MakeDirectory(‘Inverter messurements’);
  filename=rtc_get_time(hr,min,sec);

  mk_file(filename);
  data++

      lcd_putc("\n\rMaking file %d",data);
      delay_ms(2);
  lcd_putc("\n\r%2x",fat_get())

if(input(PIN_C0) );
```

```
  {
  AppendFile(filename, appendString);
  lcd_putc("%2x",filename)
  printf("%2x",filename);
delay_ms(60000);        // na pernei metrisi kathe lepto
  }

}
else
{
lcd_putc("\n\rNot Initiallised");

}

while(1)
          {}
}

// TIS ANALOGIKES I/O TIS METATREPEI SE PSIFIAKES
void init(void){
setup_adc_ports(NO_ANALOGS|VSS_VDD);
setup_adc(ADC_OFF);
setup_comparator(NC_NC_NC_NC);

//set_tris_b(0x00);          // eksodoi gia to LCD
set_tris_a(0x00);          // PIN_A5 out
set_tris_c(0x10);
```

```
}

/*

-------------RTC code----------

rtc_init()  -  arxikopoiei tin leitourgia tou RTC

rtc_set_datetime(day,mth,year,dow,hour,min) - i routina orizei tin mera,ton mina,ton xrono, tin imera tis evdomadas, tin ora kai ta lepta

rtc_get_date(day,mth,year,dow) - diavazei apo to roloi thn imera,mina,xronologia kai tin imera tis evdomadas

1 gia Januar,2 gia Februar...12 gia December, 1 gia Sunday, 2 gia Monday...7 gia Saturday

rtc_get_time(hr,min,sec) - epistrefei tin ora ta lepta kai ta deuterolepta apo to roloi

rtc_write_nvr(address,data) - Grafei stin mnimi RAM tou chip stin thesi -address- ta dedomena -data-

data=rtc_read_nvr(address) - epistrefei tin timi tis thessis mnimis -address-

get_bcd(data) - metatrepei enan arithmo apo init se bcd. to chip xreisimopoiei bcd codika MONO

rm_bcd(data) - metatrepei ta dedomena -data- apo bcd se Int



------------------------------LCD_flex-----------------------------------

---------------------------------------------------------------------------

lcd_init();

lcd_putc("char c");  - grafei stin othoni -data-

\f  -  katharizei tin othoni

\n  -  allazei grammi

\b  -  pigenei mia thesi deksia ton kersora

lcd_gotoxy(int8 x, int8 y);

lcd_send_byte(int8 address, int8 n);

*/
```

Βιβλιογραφία – Παραπομπές

i. "Energy Efficiency and Renewable Energy"by Office of Energy Efficiency & Renewable Energy

ii. Heliosystems'sBooklet "Φωτοβολταϊκά στοιχεία - Αποδόσεις Φωτοβολταϊκών Στοιχείων"
URL:http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php#bookmark1

iii. Α.Αλεξανδρής "Οπτοηλεκτρονική" Θεσσαλονίκη 2010, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.

iv. Analysis of Electrical Characteristics of Photovoltaic Single Crystal Silicon Solar Cells at Outdoor Measurements, 2011
URL : http://file.scirp.org/Html/13-6401084_4965.htm

v. ΙΩΑΝΝΗΣ Κ. ΤΑΥΛΙΚΟΣ - solar.com.gr Α.Π.Ε.
URL:http://solar.com.gr/el/%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%B1-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1.asp

vi. Tasuo Saga, Sharp Corporation, Hajikami, Katsuragi-shi "NPG Asia Materials" (2010)
URL:http://www.nature.com/am/journal/v2/n3/full/am201082a.html

vii. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_inverter

viii. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Balance_of_system

ix. URL:http://www.academia.edu/6165051/Inverter_Technology_for_the_Solar_Industry_Inverter_Technology_and_Inverters_in_Solar_Power_Systems

x. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_inverter

xi. Σύνδεσμος Ετειριών Φωτοβολταϊκών - Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2016 (25-4-2016),
URL : http://helapco.gr/wp-content/uploads/pv-stats_greece_2016_25Apr2017-2.pdf

xii. MITEI , "The Future of Solar Energy" (2015)

xiii. Analysis of Electrical Characteristics of Photovoltaic Single Crystal Silicon Solar Cells at Outdoor Measurements, 2011
URL : http://file.scirp.org/Html/13-6401084_4965.htm

xiv. MITEI , "The Future of Solar Energy" (2015)

xv. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver-transmitter

xvi. National Instruments, URL : http://www.ni.com/white-paper/11390/en/

xvii. "MAX1487-MAX491, Low Power, Slew Rate Limited RS-485/RS-422 Transceivers" by MAXIM integrated

xviii. Σταμάτης Αλατσαθιανός, *Εισαγωγή στους ΜΙΚΡΟΕΛΕΝΚΤΕΣ PICmicro®*, Αθήνα 2007 Πρώτη έκδοση, Εκδόσεις Σταμάτης Αλατσαθιανός

xix. SD Association, URL: https://www.sdcard.org/

xx. URL : https://hackaday.com/2016/07/28/new-chip-alert-rtl8710-a-cheaper-esp8266-competitor/

xxi. H&D Wireless AB, "HDG204-WiFi 802.11b+g System in Package" (2009)
URL : http://pub.ucpros.com/download/1451_hdg204_datasheet_pa4.pdf

xxii. "FR4 VS CEM-3 of PCB（Printed Circuit Board) Material _OurPCB" by Lillian Yang, March 2016
URL : https://www.linkedin.com/pulse/fr4-vs-cem-3-pcbprinted-circuit-board-material-ourpcb-lillian-yang

xxiii. «Καταρρέει» η αγορά φωτοβολταϊκών, του Μιχάλη Καϊταντζίδη (2015)
URL : http://www.euro2day.gr/news/economy/article/1299990/katarreei-h-agora-fotovoltaikon.html

xxiv. Analysis of Electrical Characteristics of Photovoltaic Single Crystal Silicon Solar Cells at Outdoor Measurements, 2011
URL : http://file.scirp.org/Html/13-6401084_4965.htm

xxv. http://www.sunblog.org/%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CE%BB/2012/12/%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BA%CF%81%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%AE-%CF%80%CE%BF%CE%BB%CF%85%CE%BA%CF%81%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AC-10688.html

xxvi. URL:http://www.academia.edu/6165051/Inverter_Technology_for_the_Solar_Industry_Inverter_Technology_and_Inverters_in_Solar_Power_Systems

xxvii. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_inverter

xxviii.

Εικόνες

Σχήμα 2.1 : https://pmm.nasa.gov/education/lesson-plans/global-energy-budget

Σχήμα 2.2 : http://www.nature.com/am/journal/v2/n3/full/am201082a.html?foxtrotcallback=true (Figure 1)

Σχήμα 2.3 : Α.Αλεξανδρής "Οπτοηλεκτρονική" Θεσσαλονίκη 2010, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ (Σχήμα 6.1)

Σχήμα 2.4 : http://file.scirp.org/Html/13-6401084_4965.htm (Figure 9)

Σχήμα 2.5 : http://photobucket.com/gallery/user/mariapar/media/cGF0aDovcHYuanBn/?ref=

Σχήμα 2.6 : http://www.nature.com/am/journal/v2/n3/full/am201082a.html (Figure 1)

Σχήμα 2.7 : https://en.wikipedia.org/wiki/Growth_of_photovoltaics

Σχήμα 2.8 : http://www.nature.com/am/journal/v2/n3/full/am201082a.html (Figure 3)

Σχήμα 3.1 : http://www.anadrasi.com/aftonoma-fotovoltaika.php (εικόνα 1)

Σχήμα 3.2 : http://www.kaptech.gr/wp-content/uploads/2013/02/PV-Connectivity.jpg

Σχήμα 3.3 : http://www.bagladyproductions.org/bagladys-pv-solar-panel-up-and-running/

Σχήμα 3.4 : http://solar.com.gr/el/images/technical/battery_lifespan.jpg

Σχήμα 3.5 : http://currencyobserver.com/2017/06/global-pv-inverter-market-2017-2022/

Σχήμα 3.6 : http://www.academia.edu/6165051/Inverter_Technology_for_the_Solar_Industry_Inverter_Technology_and_Inverters_in_Solar_Power_Systems (page 8)

Σχήμα 3.7 : https://en.wikipedia.org/wiki/Power_inverter (figure 8)

Σχήμα 4.1 : https://www.cozlink.com/pice-a272-2387-2388/article-73450.html

Σχήμα 4.2 : https://www.computer-hardware-explained.com/sata-vs-ide.html

Σχήμα 4.3 : http://www.brucebnews.com/2014/08/the-confusing-world-of-videovga-dvi-hdmi-displayport/

Σχήμα 4.4 : http://www.nskelectronics.in/index.php?route=product/product&product_id=636

Σχήμα 4.5 : http://www.electronicdesign.com/power/predictions-new-year-analog-power-electronics

Σχήμα 4.6 : https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/uart-communication-between-two-atmega8-microcontrollers

Σχήμα 4.7 :
http://civiliancomms.tripod.com/technical_reference/vhf_uhf_handbook/chapter_5.html
(figure 5.1)

Σχήμα 4.8 :
https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/ep6001_ep6002/2200448395.html&id=6584

Σχήμα 4.9 : https://www.sbc-support.com/en/product-category/communication-protocols/

Σχήμα 4.10 : https://www.reddit.com/r/coolguides/comments/5zrgdq/usb_types/

Σχήμα 5.1 : http://elm-chan.org/docs/mmc/mmc_e.html

Σχήμα 5.2,3,4,8,9,10,11 : Eagle print

Σχήμα 5.5 : http://eclass.sch.gr/modules/units/?course=G60110&id=26935

Σχήμα 5.6 : http://codeclub.cornwall.ac.uk/edenofthings/files/ESP-01FactSheet.pdf

Σχήμα 5.7 : https://www.itead.cc/media/wysiwyg/Products/ESP-01_Schematic.png

Πίνακας 5.1 : "MAX1487-MAX491, Low Power, Slew Rate Limited RS-485/RS-422 Transceivers" by MAXIM integrated

Εικόνα 5.9: Print screen from operation system Windows 10

Εικόνα 5.10 : Print screen from Aurora Communicator.exe

Εικόνα 5.12,13,14,15,16 : Προσωπικές κατασκευές