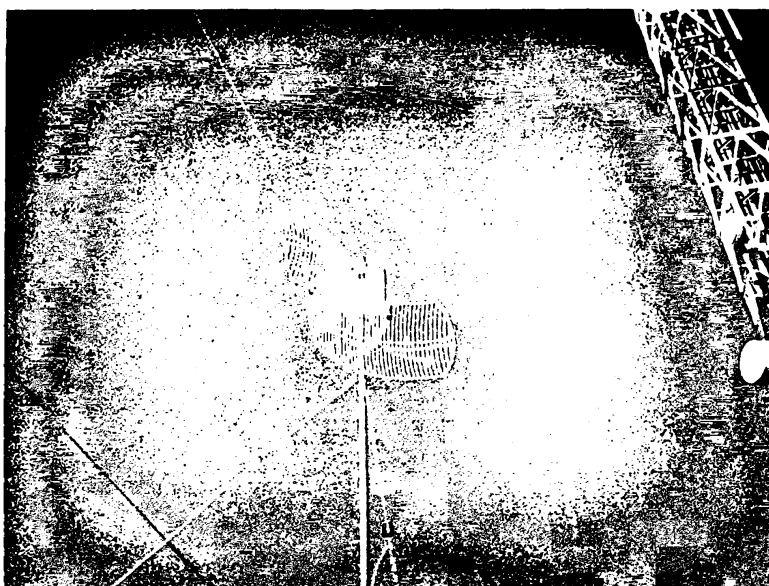


Ανάπτυξη ασύρματου ηλιακού συστήματος μετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΤΡΟΓΛΟΥ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

Ηλεκτρονικός Μηχανικός



Επίβλεψη: Αναπληρωτής Καθηγητής Ν. Μάνθος
Εργαστήριο Φυσικής Υψηλών Ενεργειών

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2009



Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ασύρματου ηλιακού συστήματος αναμετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας. Το σύστημα αναμετάδοσης είναι μέρος ενός ασύρματου συστήματος μετάδοσης φυσικών πληροφοριών στο διαδίκτυο, που περιλαμβάνει μικροελεγκτή-διακομιστή ιστοσελίδας, με διεπαφές αισθητήρων - μικροελεγκτή για τον απομακρυσμένο έλεγχο παραμέτρων ρύπασης νερού. Το πλήρες σύστημα αναπτύχθηκε με σκοπό τον ποιοτικό έλεγχο του νερού του ποταμού Άραχθου, τα δε δεδομένα αποστέλλονται ασύρματα στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων και στη συνέχεια είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο.

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας, αναπτύχθηκαν και κατασκευάστηκαν τα εξής ηλεκτρονικά και μηχανολογικά τμήματα :

- Ασύρματο δίκτυο σε συχνότητα 2,4Ghz για την μετάδοση πληροφοριών σε απόσταση ~30Km.
- Αυτόνομο σύστημα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, για την μεγιστοποίηση της απόδοσης της φωτοβολταϊκής γεννήτριας που χρησιμοποιείται στον αναμεταδότη.
- Έξυπνος φορτιστής μπαταρίας συνεχούς ρεύματος για την αδιάλειπτη τροφοδότηση των ηλεκτρονικών συστημάτων των αναμεταδοτών .



ABSTRACT

The objectives of this MSc thesis is the development of a large scale Wi-Fi net consisting of antennas and antenna repeaters powered by a solar tracking system. The system is a part of a longer wireless system which transfers data from a set of water quality sensors through a microcontroller-web server to the internet.

This MSc thesis includes the development of:

- A wireless network (WiFi-2,4Ghz) for the transmission of the information in a point to point base to a distance of ~30Km.
- An autonomous sun tracking system, for maximising the output of the solar generator.
- an intelligent battery charger for the power supply of the electronics systems of the repeaters.

The wireless system has been developed for the monitoring of the water quality of the Arachthos river through the world wide web.



Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract.....	3
Περιεχόμενα.....	5
Πρόλογος	7

1. Εισαγωγή

1.1 Σύντομη περιγραφή του συστήματος ποιοτικού ελέγχου του νερού.....	9
1.2 Πρωτόκολλα Wi-Fi	11
1.3 Τύποι ασύρματων συσκευών.....	15
1.4 Λειτουργία Ασύρματων Συσκευών	20
1.5.Κεραίες.....	24
1.6 φωτοβολταϊκά- σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου	31

2. Ασύρματο σύστημα αναμετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας

2.1 Σύντομη περιγραφή του δικτύου διακίνησης δεδομένων	37
2.2 Το ηλεκτρονικό μέρος του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου.....	41
2.2.1 Το κύκλωμα χρονισμού.....	43
2.2.2 Το κύκλωμα μετατροπής σήματος.....	45
2.2.3 Ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό.....	46
2.2.4 Το κύκλωμα επιλογής.....	51
2.2.5 Το κύκλωμα έλεγχου του βηματικού κινητήρα.....	58
2.2.6 Τα κύκλωμα φόρτισης και τροφοδοσιών από την μπαταρία.....	66
2.6.7 Το κύκλωμα τροφοδοσίας από την μπαταρία.....	67

3. Υλοποίηση του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου και του συστήματος αναμετάδοσης

3.1 Υλοποίηση του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου.....	71
3.2 Υλοποίηση του συστήματος αναμετάδοσης της πληροφορίας.....	85



4. Παραμετροποίηση - αποτίμηση του συστήματος

4.1 Ρύθμιση παραμέτρων.....	93
4.2 Αποτίμηση του συστήματος μετάδοσης.....	99
4.3 Κέρδος και απώλειες.....	100
4.4 Μετρήσεις ισχύος και ποιότητας του αναμεταδότη R1.....	101
4.5 Μετρήσεις ισχύος και ποιότητας του αναμεταδότη R3.....	104
4.6 Μετρήσεις ισχύος και ποιότητας του αναμεταδότη R4.....	106
4.7 Απόδοση συστήματος ιχθυλάτσης του ηλίου	108

5. Συμπεράσματα - Συζήτηση

5 Συμπεράσματα-Γενικές παρατηρήσεις-μελλοντική εξέλιξη του συστήματος.....	111
6 Αναφορές.....	113
Παράρτημα I.....	117
Παράρτημα II.....	129
Παράρτημα III.....	133



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του ΠΜΣ «Σύγχρονες Ηλεκτρονικές Τεχνολογίες» του Φυσικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, στο Εργαστήριο Φυσικής Υψηλών Ενεργειών και είχε σαν αντικείμενο την ανάπτυξη ασύρματου ηλιακού συστήματος αναμετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας.

Η εργασία αυτή εκτός από τον εκπαιδευτικό της χαρακτήρα, μου έδωσε την ευκαιρία να αποδείξω την οικολογική μου ευαισθησία και να παραδώσω ένα εύχρηστο εργαλείο που θα παρέχει πολύτιμες πληροφορίες, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν κατάλληλα, τόσο από το Πανεπιστήμιο, όσο και από τους Κοινωνικούς Φορείς του τόπου, ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα του νερού του Άραχθου και προστατευτεί το περιβάλλον από εστίες ρύπανσης. Αυτό το σύστημα μπορεί να επεκταθεί σε όλο τον Άραχθο με την εγκατάσταση περισσότερων μονάδων δειγματοληψίας. Εάν γίνει αυτό θα μπορεί να γίνει ο γεωγραφικός εντοπισμός κάθε εστίας μόλυνσης.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλλαν με διάφορους τρόπους στην πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Πιο συγκεκριμένα τους δύο μεταπτυχιακούς φοιτητές, Παρλάντζα Αθανάσιο και Λούκα Νικήτα, η βοήθεια των οποίων ήταν πολύ χρήσιμη στην πραγματοποίηση όλων των εξωτερικών εργασιών και όχι μόνο, τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας καθηγητή κ. Μάνθο Νικόλαο, μέλος του Εργαστηρίου Φυσικής Υψηλών Ενεργειών, τον κ. Στάθη Μπλέτσα, υπεύθυνο του εργαστηρίου, την εξεταστική επιτροπή κ.κ. Ευαγγελάκη Γεώργιο και Κόκκα Παναγιώτη, καθώς και όλο το υπόλοιπο προσωπικό που συνέβαλε με οποιοδήποτε τρόπο στην πραγματοποίησή της.



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σύντομη περιγραφή του συστήματος ποιοτικού ελέγχου του νερού.

Ο σκοπός του συστήματος είναι ο έλεγχος και η ανάλυση της ποιότητας του νερού και η ασύρματη αποστολή των δεδομένων που προκύπτουν στο απομακρυσμένο σημείο έλεγχου.

Το σύστημα αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- Αισθητήρες και διεπαφές αισθητήρων - μικροελεγκτή για την μέτρηση της ποιότητας του νερού
- Διακομιστή διαδικτύου σε μικροελεγκτή για την ασύρματη μετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας
- Ασύρματο ηλιακό σύστημα αναμετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται το ασύρματο σύστημα αναμετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας. Το σύστημα τροφοδοτείται από ηλιακές κυψέλες σε πλαίσιο περιστρεφόμενο με αυτόματο σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου.

Τα βασικότερα μέρη του συστήματος αναμετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας είναι:

- Το δίκτυο διακίνησης δεδομένων
- Το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου
- Το σύστημα τροφοδοσίας συσκευών και φόρτισης των μπαταριών

Αναλυτικότερα το δίκτυο διακίνησης δεδομένων αποτελείται από δυο αναμεταδότες και δυο τερματικούς σταθμούς. Στη εικόνα 1 φαίνεται η διασύνδεση των βασικών μονάδων και ο τρόπος μεταφοράς των δεδομένων.

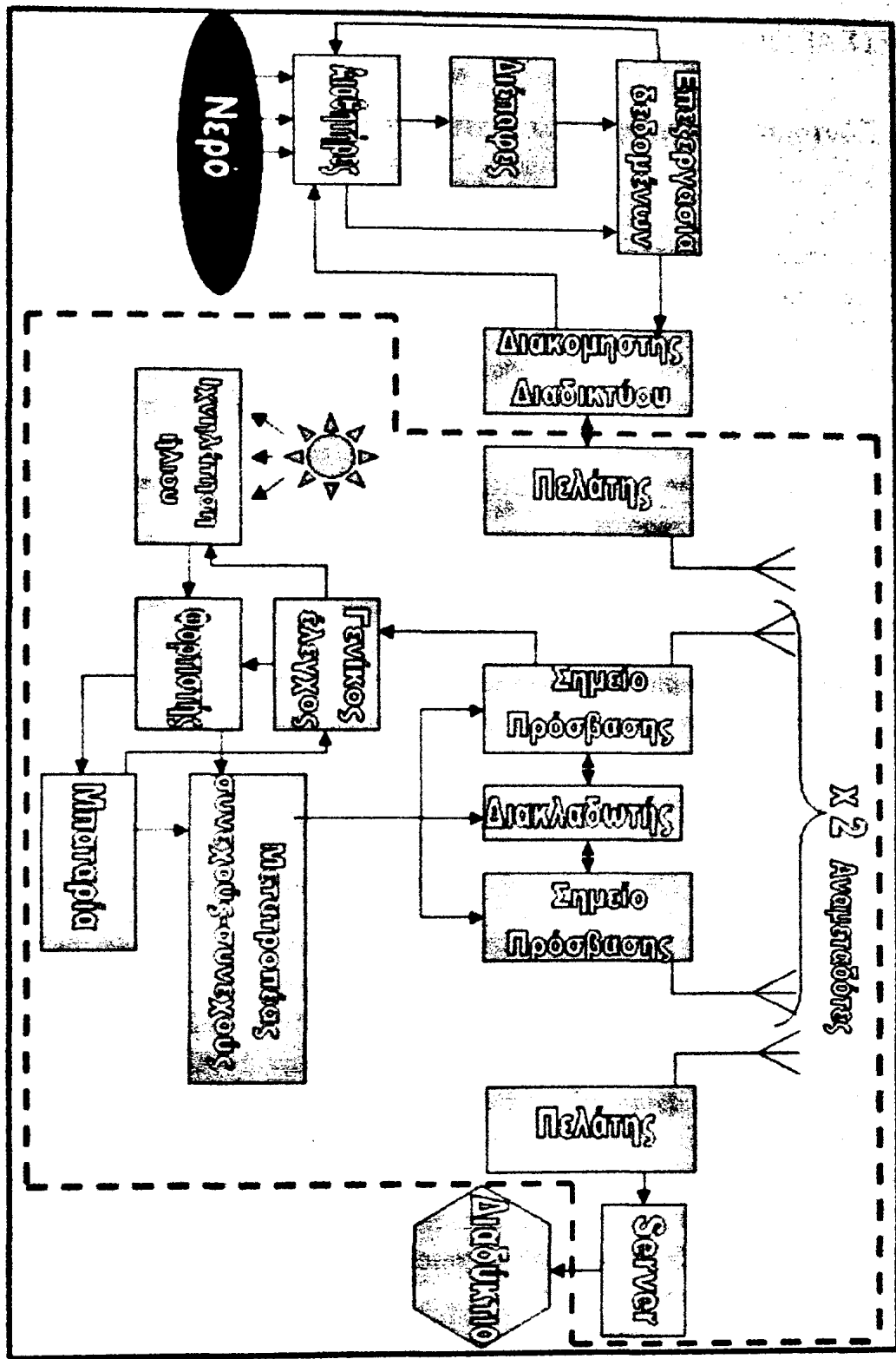
Το σύνολο τις απόστασης που καλύπτουν είναι 29,7Km και η μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ δυο αναμεταδοτών είναι 14,8Km.

Το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου αποτελείται από την προγραμματιζόμενη μηχανική κατασκευή για την περιστροφή και στήριξη της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, το κύκλωμα οδήγησης του βηματικού κινητήρα για την περιστροφή της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και το κύκλωμα μετατροπής σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό.

Το σύστημα φόρτισης των μπαταριών αποτελείται από έναν προγραμματιζόμενο φορτιστή ο οποίος έχει την δυνατότητα να κάνει συνεχόμενη η διακοπόμενη φόρτιση. Το σύστημα τροφοδοσίας συσκευών αποτελείται από διακοπτικούς αλλά και γραμμικούς μετατροπείς συνεχούς τάσης.

Στις επόμενες παραγράφους του παρόντος κεφαλαίου περιγράφεται το πρωτόκολλο Wi-Fi, η χρήση και η λειτουργία των συσκευών για ασύρματη μετάδοση πληροφορίας.





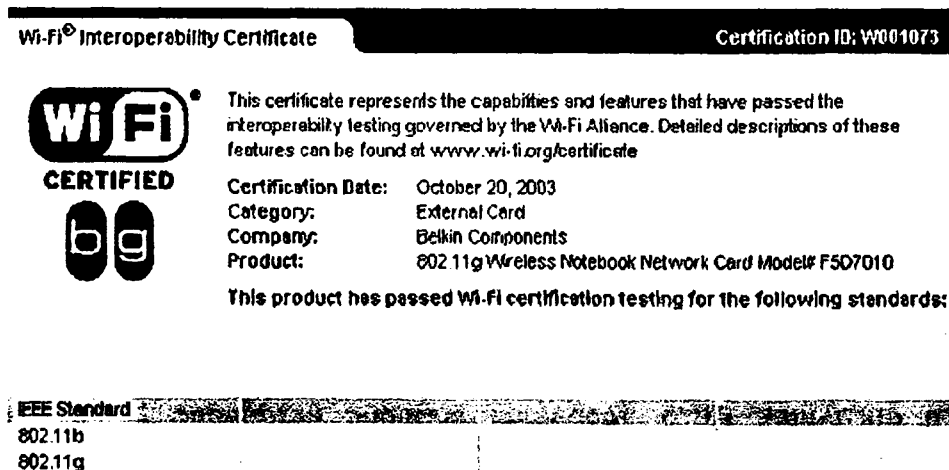
Εικόνα 1. Διασύνδεση των βασικών μονάδων του ασύρματου συστήματος ποιοτικού ελέγχου του νερού.



1.2 Τα Πρωτόκολλα Wi-Fi

Με την ανάπτυξη των προτύπων από την IEEE και την εμφάνιση μεγάλου αριθμού κατασκευαστών αντίστοιχων συσκευών, φάνηκε από νωρίς η ανάγκη διασφάλισης της συμβατότητας μεταξύ των διάφορων συσκευών και η ανάγκη προστασίας του αγοραστή από ασύμβατες συσκευές. Για το σκοπό αυτό ιδρύθηκε το 1999 η ένωση συμβατότητας ασυρμάτων δικτύων (Wireless Ethernet Compatibility Alliance, WECA[1]). Πρόκειται για ένα μη κερδοσκοπικό οργανισμό που σκοπό έχει τη πιστοποίηση ασύρματων 802.11[2],[3] συσκευών. Στον οργανισμό αυτόν μετέχουν κατασκευαστές ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, παροχείς υπηρεσιών ασύρματης δικτύωσης (wireless local area network, WLAN [2]), κατασκευαστές υπολογιστών, κατασκευαστές λογισμικού. Μερικές από τις εταιρίες που μετέχουν είναι οι 3Com, Aironet, Apple, Breezecom, Compaq, Dell, Fujitsu, IBM, Lucent Technologies, Nokia, Samsung, Symbol Technologies, Zoom.

Η ένωση αυτή ανέπτυξε μία ακολουθία από δοκιμές προκειμένου να δοκιμαστεί η συμβατότητα των προϊόντων IEEE 802.b. Οι συσκευές οι οποίες περνούν με επιτυχία τις δοκιμές αποκτούν το λογότυπο Wi-Fi [1] (Wireless Fidelity). Ο λογότυπος αυτός αποτελεί κατά συνέπεια μία πιστοποίηση για τον υποψήφιο αγοραστή μιας συσκευής και μία εγγύηση για την επένδυση του. Ο καταναλωτής αγοράζοντας μία συσκευή με το λογότυπο αυτό, έχει την εγγύηση ότι η συσκευή θα συνεργαστεί με οποιαδήποτε άλλη συσκευή που φέρει επίσης τον ίδιο λογότυπο.



Εικόνα 2: Λογότυπο Wi-Fi

Η πιστοποίηση αφορά τις λειτουργίες 802.11b, 802.11g, 802.11a καθώς και ασύρματη προστατευόμενη πρόσβαση (Wireless Protected Access, WPA [2],[5]). Να σημειωθεί ότι η πιστοποίηση Wi-Fi στο 802.11g απαιτεί την υποστήριξη ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας 54Mbps, ενώ το επίσημο πρότυπο θέτει σαν υποχρεωτικούς τους ρυθμούς 1, 2, 5.5, 6, 11, 12, 24Mbps και οι ανώτεροι των

36, 48, 54Mbps ορίζονται ως προαιρετικοί. Παρακάτω απαριθμούνται τα πιο διαδεδομένα ασύρματα πρότυπα δικτύωσης:

- Bluetooth
- HomeRF
- Openair
- IEEE 802.11
- IEEE 802.16
- HyperLan I & II

Καθένα έχει διαφορετική εφαρμογή, άρα μπορεί να χαρακτηρισθούν ότι είναι συμπληρωματικά μεταξύ τους παρά ανταγωνιστικά. Το Bluetooth και το HomeRF, για παράδειγμα, είναι σχεδιασμένα για ζεύξεις μικρών αποστάσεων για σύνδεση μεταξύ συσκευών και των περιφερειακών τους, τα IEEE 802.11 για την υλοποίηση ασύρματων τοπικών δικτύων, ενώ το IEEE 802.16 για την υλοποίηση ευρύτερων ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων.

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά του προτύπου 802.11 και των διάφορων τεχνολογιών υλοποίησης ασύρματων δικτύων.

Οι οικογένεια πρότυπων 802.11 περιγράφει τη λειτουργία ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN, Wireless Local Access Network). Περιγράφονται τα δύο πρώτα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς Ανοικτής Διασύνδεσης Συστημάτων (Open Systems Interconnection Reference Model, OSI model[6]), δηλαδή το φυσικό επίπεδο (Physical Layer, PHY) και το επίπεδο έλεγχου μέσου (Medium Access Control, MAC). Τα πρωτόκολλα αυτά αναπτύσσονται από την IEEE [7] γεγονός που είναι σημαντικό για την διαλειτουργικότητα, δηλαδή την ικανότητα συνεργασίας των συσκευών που το ακολουθούν. Η προδιαγραφή IEEE 802.11[3] περιγράφει μόνο τα δύο κατώτερα επίπεδα του OSI, έτσι ώστε να επιτρέπει σε οποιαδήποτε εφαρμογή που είναι συμβατή με το πρωτόκολλο Ethernet να εργάζεται πάνω σε συσκευή 802.11 όπως ακριβώς θα εργαζόταν πάνω σε συσκευή που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο Ethernet[8]. Οι συσκευές που ακολουθούν την προδιαγραφή 802.11 μεταφέρουν την πληροφορία κάνοντας χρήση των τριών ανώτερων επιπέδων του μοντέλου OSI.

Το πρότυπο IEEE 802.11 παρουσιάστηκε το 1997 και ήταν το πρώτο για ασύρματη δικτύωση. Αυτό προβλέπει ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps. Η μετάδοση γίνεται με ασύρματο τρόπο με χρήση διαμόρφωσης με μεταπήδηση συχνότητας (Frequency hopping spread spectrum, FHSS [9],[10]) ή με διαμόρφωση ευθείας ακολουθίας (direct sequence spread spectrum, DSSS [10],[11]) σε ζώνες συχνοτήτων 915MHz, 2.4GHz, 5.2GHz ή υπέρυθρη μετάδοση στα 850nm ως 900nm. Υποστηρίζει δυνατότητες όπως της κίνησης με προτεραιότητα, υποστήριξη εφαρμογών πραγματικού χρόνου και διαχείριση ισχύος συσκευής. Το πρότυπο γνώρισε περιορισμένη επιτυχία λόγω των πολύ χαμηλών ρυθμών μετάδοσης αλλά σύντομα αναπτύχθηκε το πρότυπο IEEE 802.11b[20]



που αποτελεί επέκταση του 802.11a. Συγκεκριμένα υποστηρίζει μετάδοση και σε ρυθμούς 5.5 και 11Mbps με πλήρη κωδικοποίηση (Complementary Code Keying, CCK [10],[12]). Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί προαιρετικά κωδικοποίηση δυαδικού πακέτου (Packet Binary Convolutional Code, PBCC [10]) έχοντας ελαφρά καλύτερη ευαισθησία δέκτη με αντίτιμο την πολυπλοκότητα. Η μετάδοση γίνεται στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz.

Το 802.11b είναι δημοφιλές, με τη μεγάλη διαλειτουργικότητα, στιβαρό, αποτελεσματικό και δοκιμασμένο πρότυπο. Οι προσθήκες του 802.11b σε σχέση με το 802.11 αφορούν μόνο τον τρόπο μετάδοσης, ενώ ο τρόπος πρόσβασης των συσκευών και οι τρόποι λειτουργίας μένουν οι ίδιοι. Μία συσκευή που εργάζεται ακολουθώντας το 802.11b, υλοποιεί και τους τρόπους μετάδοσης του 802.11 και δηλαδή είναι συμβατό προς τα πίσω.

Το ίδιο έτος δημιουργήθηκε το πρότυπο IEEE 802.11a που είναι η επέκταση στο αρχικό πρότυπο και προβλέπει μετάδοση στη ζώνη συχνοτήτων U-NII των 5GHz με ρυθμούς μετάδοσης 1, 2, 5.5, 11, 6, 12, 24 Mbps και προαιρετικά 36, 48, 54 Mbps χρησιμοποιώντας ορθογωνιακή διαμόρφωση (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM [15]). Η επέκταση αυτή αποσκοπούσε να καλύψει την ανάγκη για μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης. Επιλέχθηκε η λειτουργία σε μια υψηλότερη ζώνη συχνοτήτων, αφενός για να μπορούν να υποστηριχθούν οι μεγαλύτεροι ρυθμοί, αφετέρου να μην υπάρχει παρεμβολή από τις προηγούμενες συσκευές. Οι αντίστοιχες συσκευές είναι ασύμβατες με αυτές που εργάζονται με το 802.11b, αφού ο τρόπος μετάδοσης, αλλά και οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούνται είναι διαφορετικές.

Στην συνέχεια παρουσιάστηκε το πρότυπο IEEE 802.11g που αποτελεί επέκταση στο 802.11b ώστε να υποστηρίζει μεγαλύτερους ρυθμούς. Έτσι εκτός από τους ρυθμούς μετάδοσης του 802.11b, με διαμόρφωση CCK, υποστηρίζονται και ρυθμοί μέχρι 54Mbps χρησιμοποιώντας διαμόρφωση OFDM. Οι αντίστοιχες συσκευές εργάζονται στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz, διατηρώντας συμβατότητα προς τα πίσω με το 802.11b. Παρακάτω στον πίνακα 1 υπάρχουν οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των πρωτοκόλλων 802.11.

Πίνακας 1: Συνοπτικός πίνακας ασύρματων τεχνολογιών 802.11

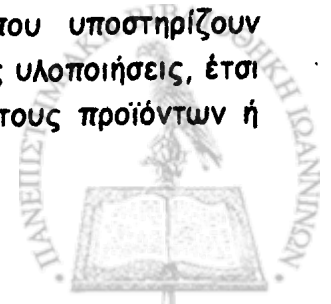
	802.11b	802.11a	802.11g
Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	11	54	54
Τύπος διαμόρφωσης	CCK	OFDM	CCK & OFDM
Υποστηριζόμενοι ρυθμοί μετάδοσης	1, 2, 5.5, 11Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps	OFDM: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps CCK: 1, 2, 5.5, 11Mbps
Συχνότητες	2.4 - 2.497 GHz	5.15 - 5.35GHz 5.425 - 5.675GHz 5.725 - 5.875GHz	2.4 - 2.497 GHz

Πέρα των βασικών πρωτοκόλλων η οικογένεια προτύπων 802.11 περιλαμβάνει έναν αριθμό συμπληρωματικών προτύπων που προσθέτουν επιπλέον λειτουργικότητα στα ασύρματα δίκτυα ως ακολούθως:

- IEEE 802.11c που περιλαμβάνει λειτουργία γεφύρωσης (bridging) πλαίσιων 802.11
- IEEE 802.11d που περιλαμβάνει επεκτάσεις στο πρότυπο ώστε να λειτουργεί σε επιπλέον ρυθμιστικά πλαίσια (άλλες ζώνες συχνοτήτων)
- IEEE 802.11e υποστήριξη QoS στο επίπεδο MAC (Enhanced DCF, EDCF και Hybrid Coordination Function, HCF).
- IEEE 802.11f συνιστώμενη πρακτική για το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των σημείων πρόσβασης (Inter Access Point Protocol, IAPP), που αφορά την επικοινωνία μεταξύ σημείων πρόσβασης.
- IEEE 802.11h διαχείριση φάσματος στο 802.11a (Dynamic Channel Selection, DCS και Transmit Power Control, TPC).
- IEEE 802.11i επεκτάσεις στο επίπεδο MAC για ενισχυμένη ασφάλεια και περιγραφή πρωτοκόλλων 802.1X, TKIP, και AES.

Εκτός από τους ρυθμούς που υποστηρίζουν τα πρωτόκολλα της IEEE[7], υπάρχουν διαμορφώσεις από κατασκευαστές συσκευών, οι οποίες υπόσχονται μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης. Για παράδειγμα η Texas Instruments στα προϊόντα της 802.11b έχει ένα τρόπο μετάδοσης που υποστηρίζει 22Mbps, μάλιστα ονομάζει τα προϊόντα αυτά 802.11b+[3].

Επίσης υπάρχουν άλλες επεκτάσεις στο 802.11g που υποστηρίζουν ρυθμούς 70 ή και 108Mbps. Οι κατασκευαστές έχουν αυτές τις υλοποιήσεις, έτσι ώστε να οδηγήσουν τον καταναλωτή στην αγορά των δικών τους προϊόντων ή



έχουν την προσδοκία ότι η δική τους υλοποίηση μπορεί να γίνει επίσημο πρότυπο από την ΙΕΕΕ[7]. Οι τρόποι μετάδοσης όμως δουλεύουν μόνο μεταξύ αντίστοιχων προϊόντων και ότι δεν υπάρχει καμιά εγγύηση για την διαλειτουργικότητα τους από τη στιγμή που αυτοί δεν περιλαμβάνονται στα πρότυπα της ΙΕΕΕ. Ταυτόχρονα, η λειτουργία τους πολλές φορές δημιουργεί πρόβλημα στις υπόλοιπες συσκευές που ακολουθούν τα πιστοποιημένα πρότυπα της ΙΕΕΕ. Τέλος, η αυξημένη ταχύτητα τους επιτυγχάνεται σε μικρές αποστάσεις, ενώ όσο αυξάνεται η απόσταση τόσο ελαττώνεται ο ρυθμός μετάδοσης.

Ανακεφαλαιώνοντας, το αρχικό πρότυπο 802.11 υποστηρίζει χαμηλό ρυθμό μετάδοσης, ανεπαρκή για αρκετές εφαρμογές και έχοντας να ανταγωνιστεί τις λύσεις ενσύρματης δικτύωσης (ethernet[8] 10/100Mbps) γνώρισε περιορισμένη επιτυχία. Ελάχιστες συσκευές υποστηρίζουν αποκλειστικά πλέον, αυτό το παρωχημένο πρότυπο. Το 802.11b έδωσε μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης σε σχέση με το 802.11, επαρκές για τον μεγαλύτερο αριθμό εφαρμογών. Η εμβέλεια του είναι ικανοποιητική για τις περισσότερες εφαρμογές. Το 802.11g αυξάνει περαιτέρω τους ρυθμούς μετάδοσης, μένοντας συμβατό προς τα πίσω με το 802.11b. αλλά η εμβέλεια του είναι μικρότερη από αυτή του 802.11b[20]. Το 802.11a[3] υποστηρίζει μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης, αλλά λειτουργεί στην ζώνη των 5GHz. Λόγω της μεγαλύτερης συχνότητας λειτουργίας η απόσβεση του σήματος είναι μεγαλύτερη και ως εκ τούτου η εμβέλεια είναι μικρότερη.

1.3 Τύποι ασύρματων συσκευών

Από το πρότυπο 802.11 ορίζονται οι εξής τύποι συσκευών:

Το σημείο πρόσβασης (Access Point, AP [14],[15]) και ο ασύρματος σταθμός (wireless station). Και τα δύο μπορεί να είναι ένας υπολογιστής γραφείου ή φορητός Η/Υ ή κάποια κινητή συσκευή, εφοδιασμένα με την κατάλληλη κάρτα ή να είναι ξεχωριστή αυτόνομη συσκευή η οποία να επικοινωνεί με τον υπολογιστή γραφείου με (Ethernet[8] ή Universal Serial Bus ,USB[16]). Η συσκευή είναι σημείο πρόσβασης (AP) ή ασύρματος σταθμός (πελάτης), όταν έχει υλοποιημένες όλες τις αντίστοιχες λειτουργίες που προβλέπονται από το πρότυπο. Οι λειτουργίες που προβλέπονται για τον ασύρματο σταθμό είναι ένα υποσύνολο των λειτουργιών του AP. Στη αγορά υπάρχουν συσκευές που μπορούν να λειτουργήσουν σαν AP, ή σαν ασύρματοι σταθμοί, ή δίνουν τη δυνατότητα να επιλογής ενός από τους δύο τρόπους.

Συγκεκριμένα το σημείο πρόσβασης αναλαμβάνει τη λειτουργία της ραδιοεπικοινωνίας με τους ασύρματους σταθμούς σε διάταξη κυψέλης. Λειτουργεί σαν σταθμός βάσης κάνοντας συγκέντρωση της κίνησης από τους ασύρματους σταθμούς, κατευθύνοντας την προς το υπόλοιπο δίκτυο και αναλαμβάνοντας τη

μετάδοση πληροφορίας που προορίζεται από ένα ασύρματο σταθμό σε κάποιον άλλο, στην ίδια διάταξη κυψέλη.

Άλλες λειτουργίες που αναλαμβάνει, είναι η αυθεντικοποίηση ενός καινούργιου σταθμού που ζητά πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο. Συνήθως AP είναι εξωτερικές συσκευές, αλλά υπάρχει η δυνατότητα με χρήση λογισμικού να είναι και κάποια κάρτα υπολογιστή PCI2 ή PCMCIA.

Ο ασύρματος σταθμός αναλαμβάνει τη λειτουργία της ραδιοεπικοινωνίας με το AP της κυψέλης στην οποία βρίσκεται. Μπορεί να είναι κάρτες PCI, PCMCIA, ISA σε ένα υπολογιστή, ή άλλου τύπου συσκευές, όπως τηλεφωνικές συσκευές με λειτουργικότητα 802.11. Είναι απλούστεροι σε λειτουργικότητα από τους σταθμούς βάσης.

Εκτός των τρόπων λειτουργίας Ad-Hoc[17] και Infrastructure που περιγράφονται από το πρότυπο IEEE 802.11[3], υπάρχει και ένας αριθμός από τρόπους λειτουργίας εκτός προτύπου. Οι τρόποι αυτοί έχουν υλοποιηθεί από τους κατασκευαστές στα προϊόντα τους, προκειμένου να αυξήσουν την ευελιξία στη σχεδίαση ενός ασύρματου δικτύου και να δώσουν περισσότερες δυνατότητες. Με αυτόν τον τρόπο προσπαθούν να κάνουν τα προϊόντα τους πιο ελκυστικά στον καταναλωτή.

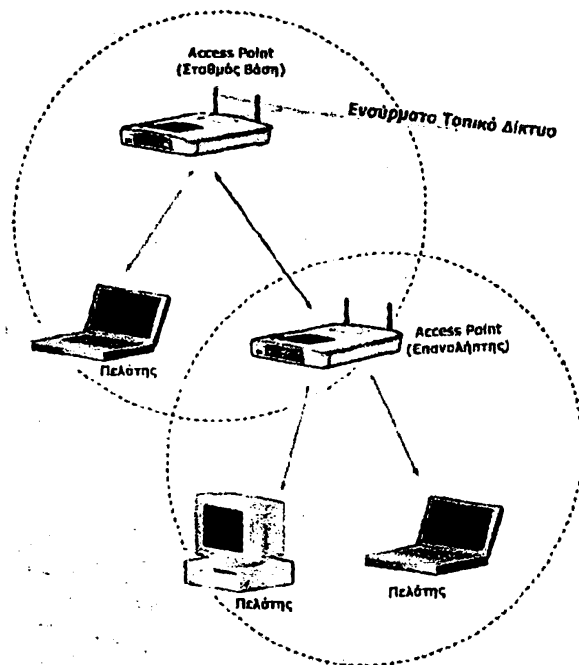
Οι επιπλέον τρόποι λειτουργίας επιτυγχάνονται συνήθως μόνο μεταξύ συσκευών του ίδιου κατασκευαστή, περιορίζοντας έτσι την διαλειτουργικότητα τους.

Οι συσκευές που μπορούν να λειτουργήσουν ως επαναλήπτες (repeaters) χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την κάλυψη από ένα AP. Ο αναμεταδότης είναι ένας φτηνός και απλός τρόπος για να αυξηθεί η κάλυψη από ένα σημείο πρόσβασης.

Στην εικόνα 3 εικονίζεται ένας ασύρματος σταθμός ο οποίος είναι εκτός της εμβέλειας του AP. Ο αναμεταδότης λαμβάνει το σήμα από το AP και το επανεκπέμπει ενισχυμένο. Έτσι, ο απομακρυσμένος ασύρματος σταθμός δέχεται επαρκές σήμα ώστε να λειτουργήσει. Αντίστοιχα, το εκπεμπόμενο σήμα από τον σταθμό λαμβάνεται από τον αναμεταδότη και επανεκπέμπεται ενισχυμένο προς το AP.

Το μειονέκτημα των συσκευών αυτών είναι ότι δεν υπάρχει συμβατότητα ανάμεσα στις διάφορες υλοποιήσεις από διαφορετικούς κατασκευαστές και ρυθμούς μετάδοσης μειώνεται στο μισό αφού ο αναμεταδότης πρέπει να μοιράσει το χρόνο του για λήψη και επανεκπομπή της ίδιας πληροφορίας.

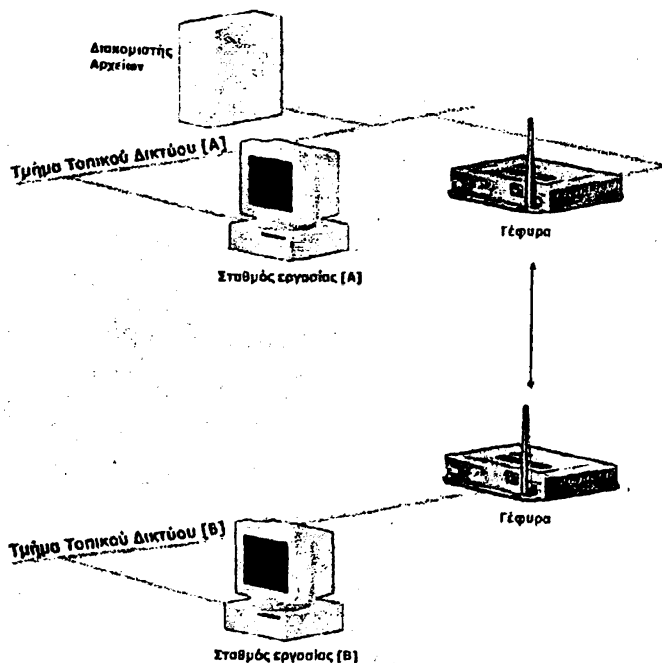




Εικόνα 3: Επαναλήπτης

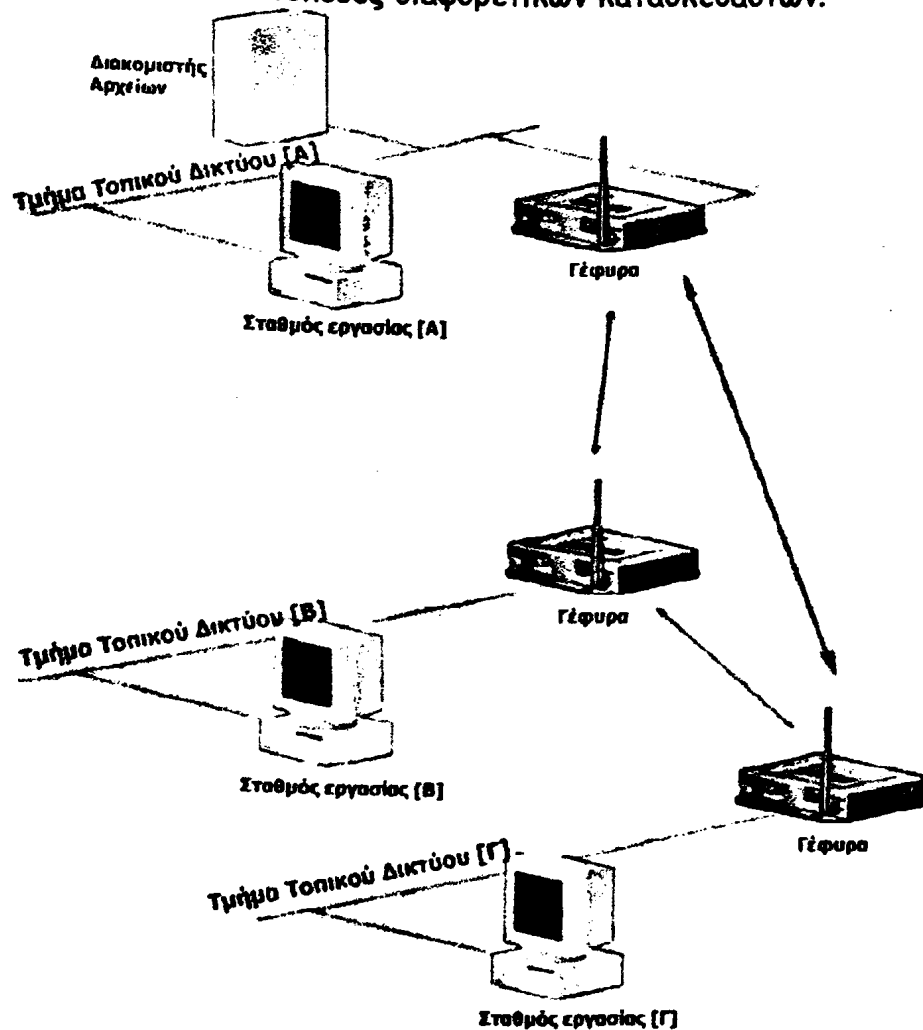
Στην αγορά υπάρχουν προϊόντα τα οποία προσφέρουν την λειτουργία της ασύρματης γεφύρωσης. Τα προϊόντα αυτά προσφέρουν ασύρματη διασύνδεση σημείου -σημείου και επιτρέπουν τη γεφύρωση δύο τοπικών δικτύων LAN[18],[15], τα οποία δεν μπορούν να διασυνδεθούν με άλλο τρόπο. Έτσι όπως φαίνεται στη εικόνα 4 οι υπολογιστές που βρίσκονται στο τοπικό δίκτυο Α μπορούν να επικοινωνήσουν με τους υπολογιστές του τοπικού δικτύου Β, ακριβώς σαν να βρίσκονταν στο ίδιο τοπικό δίκτυο.

Το είδος αυτό ασύρματης δικτύωσης, δεν είναι μέρος του επίσημου προτύπου 802.11 και ως εκ τούτου δεν υπάρχει συμβατότητα μεταξύ συσκευών διαφορετικού κατασκευαστή. Ο χρήστης είναι αναγκασμένος να προμηθευτεί ολόκληρο τον εξοπλισμό του από ένα κατασκευαστή.



Εικόνα 4: Γέφυρα σημείου προς σημείο (Bridge point to point)

Παρόμοια με την προηγούμενη λειτουργία, μερικοί κατασκευαστές υλοποιούν τη λειτουργία της ασύρματης γεφύρωσης, ανάμεσα σε περισσότερες από δύο συσκευές, όπως φαίνεται στην εικόνα 5. Και σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει συμβατότητα ανάμεσα σε συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών.

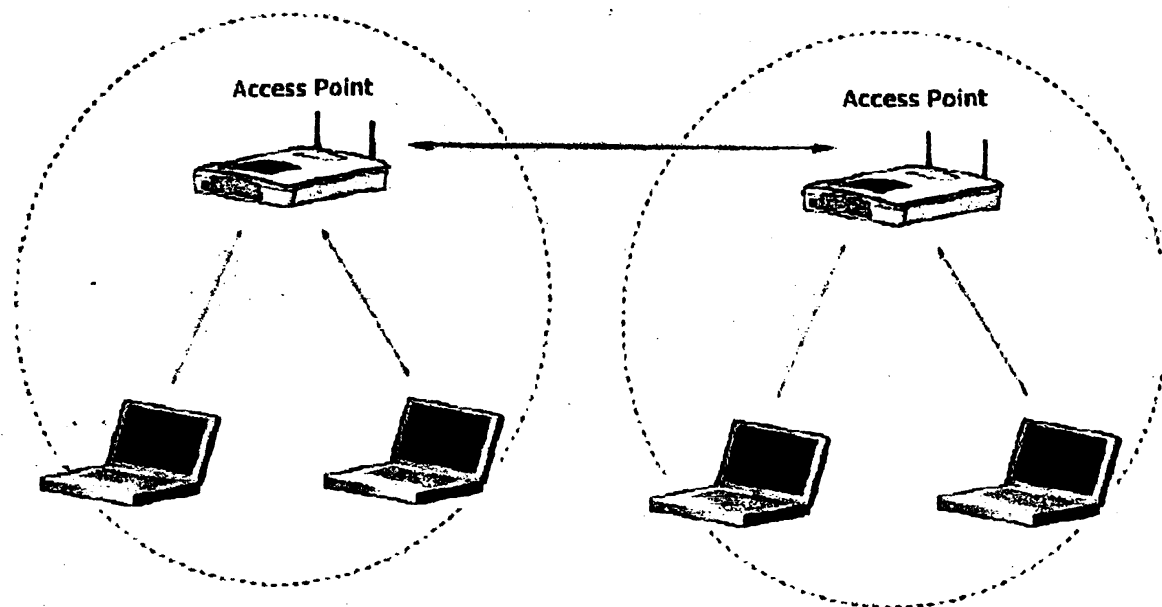


Εικόνα 5: Γέφυρα σημείου προς πολλά σημεία (Bridge point to multipoint)

Τελος σύμφωνα με το πρότυπο IEEE802.11 ορίζεται σαν κατανεμημένο σύστημα (Distribution System) το σύστημα στο οποίο διασυνδέονται τα AP διαφόρων κυψελών και ενδεχομένως το σύστημα στο οποίο διασυνδέονται άλλα δίκτυα. Μία μορφή κατανεμημένου συστήματος είναι το ασύρματο κατανεμημένο σύστημα WDS[19] (Wireless Distribution System).

Τα AP που μπορούν να υλοποιούν τη λειτουργία κατανεμημένου συστήματος επικοινωνούν ασύρματα μεταξύ τους κατευθείαν και ταυτόχρονα, επικοινωνούν με τους ασύρματους σταθμούς πελάτες. Δηλαδή μία μόνο συσκευή έχει δύο διαφορετικούς ρόλους.





Εικόνα 6: WDS

Το κύριο πλεονέκτημα του WDS είναι η μείωση του εξοπλισμού που απαιτείται, αφού δεν χρειάζεται επιπλέον εξοπλισμός για να συνδεθούν τα AP μεταξύ τους. Η εγκατάσταση είναι γρήγορη και απλή. Οι συσκευές που υλοποιούν την δυνατότητα αυτή έχουν μικρό επιπλέον κόστος, αφού η λειτουργία αυτή μπορεί να υλοποιηθεί μόνο με λογισμικό. Το πρότυπο IEEE802.11 προβλέπει την ανάπτυξη αυτής της δυνατότητας, χωρίς όμως να την περιγράφει-περιορίζει, αφήνοντας έτσι ελεύθερους τους κατασκευαστές στην ανάπτυξη τους.

Δυστυχώς η συμβατότητα του WDS δεν περιλαμβάνεται στις προδιαγραφές του Wi-Fi. Κατά συνέπεια, η διαλειτουργικότητα δεν είναι εγγυημένη, και για την ακρίβεια δεν υπάρχει - εκτός από μεμονωμένες περιπτώσεις.

Επίσης, όσο μεγαλώνει η απόσταση απαιτούνται κατευθυντικές κεραιές χρειάζονται για τη διασύνδεση, και επομένως μειώνεται η κάλυψη που μπορούν να παρέχουν σαν AP.

Τελικά, η συσκευή που έχει ενσωματωμένη λειτουργικότητα WDS, μοιράζει το διαθέσιμο εύρος για την επικοινωνία με τα άλλα AP, αλλά και με τους πελάτες.

1.4 Λειτουργία ασύρματων συσκευών

Σχετικά με την λειτουργία των συσκευών σε ένα ασύρματο δίκτυο ορίζονται διαδικασίες αυθεντικοποίησης ώστε να ελεγχθεί η πρόσβαση στο δίκτυο. Χωρίς απόδειξη της ταυτότητας του ένας σταθμός δεν επιτρέπεται να έχει πρόσβαση στο δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο, η πρόσβαση γίνεται ελεγχόμενη και αποτρέπεται η είσοδος μη εξουσιοδοτημένων χρηστών.

Στο ασύρματο δίκτυο όλοι ο σταθμοί καθώς και άλλες συσκευές εν δυνάμει είναι γνωστές των δεδομένων που ανταλλάσσονται, και επομένως μπορεί να προκύψουν προβλήματα ασφαλείας στο δίκτυο. Το πρότυπο όμως προσφέρει υπηρεσία κρυπτογράφησης των δεδομένων. Η κρυπτογράφηση γίνεται με χρήση κλειδιών. Η λειτουργία αυτή, παρέχει ένα ισοδύναμο επίπεδο προστασίας με αυτό που παρέχεται στα ενσύρματα δίκτυα, όπου η φυσική πρόσβαση είναι περιορισμένη. Απόλυτη προστασία των δεδομένων δεν υπάρχει αφού μπορεί να γίνει αποκρυπτογράφηση της πληροφορίας χρησιμοποιώντας κάποια κατάλληλη τεχνική. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση, ονομάζεται ενσυμαρτή προστασία προσωπικών δεδομένων (Wired Equivalent Privacy, WEP) [20],[17].

Το επίπεδο προστασίας που προσφέρεται είναι το στοιχειώδες, ενώ όταν μεταφέρονται κρίσιμα δεδομένα, πρέπει να εφαρμόζονται και άλλες μέθοδοι ασφαλείας, όπως για παράδειγμα κρυπτογράφηση με το IP security πρωτόκολλο (IPSec), σύνολο πρωτοκόλλων που έχει καθοριστεί από τον IETF[21] για την ασφαλή μετάδοση δεδομένων μέσω ενός δικτύου IP. Το IPsec εξασφαλίζει δύο μεθόδους κρυπτογράφησης: Η πρώτη κρυπτογραφεί μόνο το περιεχόμενο των πακέτων δεδομένων. Η δεύτερη κρυπτογραφεί και την επικεφαλίδα (header) ενός πακέτου δεδομένων και το περιεχόμενό του, προσφέροντας έτσι τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια.

Επιπρόσθετα υπάρχει και η εξής προστασία: Κάθε σταθμός συνδέεται λογικά με ένα AP, πριν του επιτραπεί να στείλει δεδομένα μέσω του AP. Ο ασύρματος σταθμός επικαλείται την υπηρεσία αυτή μόνο μία φορά, κατά την είσοδο του στην κυψέλη. Κάθε σταθμός συνδέεται λογικά με ένα μόνο AP αλλά ένα AP μπορεί να σχετιστεί με πολλούς σταθμούς. Περιοδικά ελέγχεται η σύνδεση αυτή. Αντίστοιχα, ορίζονται οι λειτουργίες της τοπικής σύνδεσης και της νέας τοπικής σύνδεσης.

Παρακάτω περιγράφεται ο τρόπος διακίνησης δεδομένων καθώς και ο τρόπος περιαγωγής των πακέτων.

Η λειτουργία αυτή αφορά την αξιόπιστη μεταφορά των πακέτων δεδομένων μεταξύ των ασύρματων συσκευών. Ο όρος αξιόπιστη μεταφορά σημαίνει ότι απαιτείται επανεκπομπή των πακέτων με την πληροφορία, αν διαπιστωθεί ότι αυτά έχουν λάθη. Γενικά κατά την ασύρματη μετάδοση πολλά πακέτα φτάνουν στον τελικό αποδεκτή περιέχοντας λάθη. Έτσι, απαιτούνται διάφοροι μηχανισμοί,



για παράδειγμα η ανίχνευση των λαθών και η επανεκπομπή πακέτων που ελήφθησαν με λάθη.

Στο πρότυπο 802.11 προβλέπεται, κώδικας ανίχνευσης των λαθών, ενώ στα νεώτερα 802.11a και 802.11g προβλέπεται επιπρόσθετα, και κώδικα διόρθωσης λαθών. Τέλος, προβλέπεται μηχανισμός επιβεβαίωσης για κάθε σωστή αποστολή πακέτου.

Όταν ένας ασύρματος σταθμός βρεθεί εντός της εμβέλειας ενός ή περισσοτέρων AP, διαλέγει εκείνο το AP το οποίο έχει καλύτερο σήμα ή την καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας. Στη συνέχεια, γίνεται η λογική σύνδεση του ασύρματου σταθμού με το AP και είναι πλέον δυνατή η ασύρματη επικοινωνία. Περιοδικά γίνεται ανίχνευση των καναλιών και στην περίπτωση που βρεθεί κανάλι με καλύτερα χαρακτηριστικά, γίνεται νέα λογική σύνδεση με το καινούργιο AP και συντονισμός του σταθμού στην καινούρια συχνότητα. Η νέα λογική σύνδεση μπορεί να γίνει λόγω μετακίνησης του σταθμού ή μπορεί να γίνει σαν αποτέλεσμα υψηλού φόρτου στο δίκτυο, με την προοπτική να βρεθεί καλύτερο AP. Με τον τρόπο αυτό υλοποιείται ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου που είναι η συχνότητα μετακίνησης των χρηστών.

Στη παράγραφο που ακολουθεί περιγράφεται ο τρόπος Πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης (Medium Access Control, MAC),[22]

Οι ασύρματοι σταθμοί και το σημείο πρόσβασης προκειμένου να επικοινωνήσουν χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι, μια κοινή μικροκυματική συχνότητα. Έτσι για να είναι δυνατή η ασύρματη επικοινωνία χρειάζεται ένας τρόπος, ένα πρωτόκολλο, που να καθορίζει τον τρόπο χρησιμοποίησης του μοναδικού καναλιού, από πολλούς χρήστες. Χωρίς την παρουσία παρόμοιου μηχανισμού αξιόπιστη ασύρματη μετάδοση δεν θα ήταν δυνατή, αφού η εκπομπή του ενός θα έπεφτε πάνω στην εκπομπή των άλλων. Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται ονομάζεται (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA). Σύμφωνα με τον μηχανισμό, ο υποψήφιος αποστολέας ακούει το κανάλι πριν εκπέμψει τα δεδομένα του. Αν διαπιστώσει ότι το κανάλι είναι καταλημμένο δεν προχωράει στην αποστολή, αλλά περιμένει. Αν διαπιστώσει ότι το κανάλι είναι ελεύθερο, περιμένει ένα τυχαίο μικρό χρονικό διάστημα και αν το κανάλι δεν υπάρχει εκπομπή, προχωράει στην αποστολή. Όταν το πακέτο πληροφορίας φτάσει στον παραλήπτη αυτός απαντά με ένα μήνυμα επιβεβαίωσης ότι στο πακέτο έφτασε άθικτο (ACK). Ο αποστολέας έτσι ενημερώνεται για την τύχη του πακέτου του και ανάλογα προχωράει στην αποστολή του επόμενου ή ξαναστέλνει το πακέτο για το οποίο δεν πήρε επιβεβαίωση. Η επιβεβαίωση απαιτείται διότι οι ασύρματες συσκευές δεν έχουν την δυνατότητα να εκπέμπουν και να λαμβάνουν ταυτόχρονα. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η πιθανότητα συγκρούσεων (δηλαδή δύο ή περισσότεροι σταθμοί να εκπέμπουν ταυτόχρονα) και εξασφαλίζεται η αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων.



Το πρότυπο προβλέπει και έναν προαιρετικό τρόπο πρόσβασης στο ραδιοδίαυλο, κατά τον οποίο οι ασύρματοι σταθμοί που συνδέονται σε ένα σημείο πρόσβασης, αποκτούν διαφορετική αντιμετώπιση.

Ένα άλλο πρόβλημα το οποίο είναι ιδιαιτερότητα της ασύρματης επικοινωνίας με 802.11 είναι το πρόβλημα του "κρυμμένου κόμβου" (hidden node problem). Σε αυτό, ένας ασύρματος σταθμός δεν μπορεί να "δει" κάποιον άλλον που εκπέμπει, ενώ βλέπουν και οι δύο το σημείο πρόσβασης. Αυτό μπορεί να συμβαίνει λόγω απόστασης ή λόγω κάποιου εμποδίου, ή λόγω της χρήσης κατευθυντικών κεραιών από τους σταθμούς. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος έχει προβλεφθεί από το IEEE 802.11 ένα προαιρετικό πρωτόκολλο, το (Request to Send/Clear to Send, RTS/CTS). Όταν ένας σταθμός θέλει να εκπέμψει, ελέγχει καταρχήν αν το κανάλι είναι ελεύθερο, και αν ναι, στέλνει ένα μήνυμα RTS και περιμένει το AP να του απαντήσει με ένα μήνυμα CTS. Το μήνυμα αυτό λέει στους άλλους σταθμούς να καθυστερήσουν την έναρξη της μετάδοσης δηλαδή να του δώσουν προτεραιότητα. Ο προορισμός απαντά με ένα μήνυμα CTS, το οποίο δίνει την άδεια στον αποστολέα να συνεχίσει. Δηλαδή το μήνυμα CTS προκαλεί καθυστέρηση της εκπομπής ενός σταθμού μέχρι να βεβαιώσει το AP (που έχει αντίληψη όλων των σταθμών) ότι το φυσικό μέσο είναι ελεύθερο. Με αυτόν τον τρόπο ελαττώνεται η πιθανότητα συγκρούσεων.

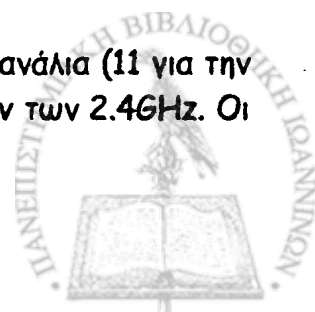
Επίσης γίνεται ανίχνευση λαθών σε κάθε πακέτο που αποστέλλεται. Σε κάθε πακέτο προστίθεται κώδικας ανίχνευσης λαθών, ώστε ο δέκτης να μπορεί να αντιληφθεί αν το πακέτο περιέχει λάθη.

Ακόμα μια δικλίδα ασφαλείας είναι η κατάτμηση πακέτων η οποία προβλέπεται από το πρότυπο 802.11. Η διαδικασία προβλέπει κατάτμηση των μεγάλων πακέτων σε άλλα μικρότερα γιατί, μικραίνοντας το μέγεθος του ελαττώνεται η πιθανότητα να απορριφθεί σαν λανθασμένο, άρα υπάρχουν λιγότερες επανεκπομπές πακέτων. Αυτό είναι χρήσιμο σε ασύρματη μετάδοση σε δύσκολες συνθήκες.

Επίσης προβλέπεται λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας, η οποία είναι χρήσιμη σε φορητές συσκευές, προκειμένου να επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής των μπαταριών τους. Σύμφωνα με αυτή τη λειτουργία, η συσκευή ενεργοποιείται κατά διαστήματα, καταναλώνοντας έτσι λιγότερη ενέργεια.

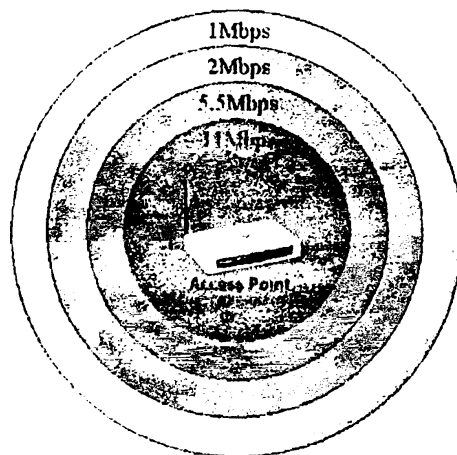
Στο πρότυπο 802.11b η DSSS[11] είναι μια τεχνική εξάπλωσης φάσματος (spread spectrum). Δηλαδή το σήμα όταν εκπέμπεται, απλώνεται σε ένα αρκετά μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων, ενώ στη διαδικασία της λήψης του γίνεται το αντίστροφο. Το αποτέλεσμα αυτής της ιδιότητας που έχουν παρόμοιες τεχνικές, είναι ο θόρυβος και τυχόν παρεμβολές να απορρίπτονται σε μεγάλο βαθμό. Έτσι επιτυγχάνεται, από τη μια μεριά μετάδοση μεγαλύτερου φάσματος συχνοτήτων, από την άλλη καλύτερη ποιότητα μετάδοσης.

Για τη ραδιομετάδοση έχουν οριστεί για την Ευρώπη 13 κανάλια (11 για την Αμερική) σε απόσταση 5MHz μεταξύ τους, στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz. Οι



κεντρικές συχνότητες είναι 2.412MHz, 2417MHz, ... 2.462GHz Τα κανάλια, είναι μερικώς επικαλυπτόμενα. Τα μη επικαλυπτόμενα είναι μόνο τρία, τα 1,6 και 11, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από συσκευές που βρίσκονται στον ίδιο χώρο, ώστε να μπορούν να λειτουργούν χωρίς η μία να παρεμβάλλεται στις άλλες. Για τη μετάδοση στο 802.11a και στο 802.11g χρησιμοποιείται η τεχνική OFDM[13]. Πρόκειται για μια τεχνολογία δοκιμασμένη, που ταιριάζει απόλυτα (είναι ότι καλύτερο υπάρχει) για μετάδοση με υψηλούς ρυθμούς σε περιβάλλον δικτύων WLAN[23]. Για τη μετάδοση στο 802.11a έχουν οριστεί 12 κανάλια, εύρους 20MHz, σε απόσταση 20MHz μεταξύ τους σε τρεις ζώνες συχνοτήτων. Εδώ δεν υπάρχει επικάλυψη ανάμεσα στα κανάλια. Η χαμηλότερη ζώνη προορίζεται για χρήση σε εσωτερικό χώρο, ενώ η υψηλότερη που έχει τέσσερα κανάλια για χρήση σε εξωτερικό χώρο: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13.

Το πρότυπο IEEE 802.11 υποστηρίζει δυναμική προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης (dynamic rate shifting). Αυτό σημαίνει ότι αυτόματα θα επιλεγεί ο μέγιστος ρυθμός που μπορεί να υποστηριχθεί, ώστε να υπάρχει αξιόπιστη μετάδοση, δηλαδή μετάδοση χωρίς λάθη. Έτσι, όσο απομακρύνεται από το σημείο πρόσβασης, τόσο ελαττώνεται το σήμα που λαμβάνεται από αυτό και τόσο ελαττώνεται ο ρυθμός μετάδοσης, για να μπορεί να υποστηριχθεί αξιόπιστη μετάδοση. Για παράδειγμα ο ρυθμός μετάδοσης 1Mbps απαιτεί για τη χωρίς λάθη μετάδοση περίπου δέκα φορές μικρότερη ισχύ σήματος απ' ό τι ο ρυθμός 11Mbps. Μπορεί επομένως να υπάρξει σύνδεση σε μεγαλύτερες αποστάσεις αλλά με μικρότερο ρυθμό μετάδοσης. Το ίδιο συμβαίνει όταν λόγω αυξημένου θορύβου ή παρεμβολών δεν μπορεί να υποστηριχθεί ο μεγαλύτερος ρυθμός. Για τη σωστή λειτουργία του μηχανισμού υπάρχουν κάποια κριτήρια για το πως και πότε θα γίνει η μετάβαση από ένα ρυθμό τρόπο μετάδοσης σε έναν άλλο. Η όλη διαδικασία της προσαρμογής είναι διαφανής στον χρήστη. Στην εικόνα 7 φαίνεται η ταχύτητα σύνδεσης του πελάτη ανάλογα με την απόσταση του από το σημείο πρόσβασης.



Εικόνα 7: Ταχύτητα σύνδεσης ανάλογα με την απόσταση από το access point

Το πρότυπο 802.11b υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης 1, 2, 5.5 και 11Mbps [24]. Οι ταχύτητες αυτές είναι ονομαστικές και αναφέρονται στο ρυθμό μετάδοσης στο ραδιοδίαυλο. Η πραγματική ταχύτητα, αυτή που αντιλαμβάνεται ο χρήστης στον υπολογιστή του, είναι αρκετά μικρότερη, ως και το μισό της ονομαστικής λόγω του γεγονότος ότι τα πακέτα που μεταφέρουν την πληροφορία, έχουν σημαντικό ποσοστό πλεονάζουσας πληροφορίας, όπως για παράδειγμα τον αύξοντα αριθμό πακέτου, ή την πληροφορία για την ανίχνευση των λαθών. Επιπρόσθετα υπάρχουν νεκρά διαστήματα όπου δεν γίνεται μετάδοση, όπως και μεγάλος αριθμός μηνυμάτων που δεν περιέχουν χρήσιμη πληροφορία, καθώς και οι επιβραδύνσεις για τη σωστή λήψη των πακέτων πληροφορίας.

Για να υπάρξει αξιόπιστη ασύρματη μετάδοση, θυσιάζεται ένα μέρος του ρυθμού της, για να υλοποιηθούν μηχανισμοί που θα βελτιώσουν τη ποιότητα της. Επιπλέον σε μετάδοση σε περιβάλλον με άσχημες συνθήκες μετάδοσης (θόρυβος, παρεμβολές), λόγω των επανεκπομπών πακέτων ο πραγματικός ρυθμός της υποβαθμίζεται ακόμα περισσότερο.

Αντίστοιχα το 802.11g και 802.11a έχουν ονομαστικούς ρυθμούς μετάδοσης 6, 12, 24, 36, 48, 54 Mbps με το 802.11g να υποστηρίζει για λόγους συμβατότητας με το 802.11b επιπλέον και τους ρυθμούς 1, 2, 5.5, 11Mbps[24].

1.5 Κεραίες

Μια κεραία αποτελείται από μεταλλικά μέρη τοποθετημένα σε τέτοια διάταξη που επιτρέπει αποστολή ή/και λήψη ραδιοκυμάτων βάση του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Οι κεραίες έχουν μεγάλη ποικιλομορφία σε μεγέθη και σχήματα και μπορεί να έχουν την μορφή ενός κυλίνδρου, μιας χοάνης, μιας επίπεδης πλακέτας, ή ακόμα ενός κομματιού από καλώδιο. Μια κεραία μπορεί να αποτελείται από συστοιχίες απλών κεραίων.

Στο παρόν κείμενο σχολιάζονται μόνο κεραίες που εξυπηρετούν συνδέσεις WLAN[23], Παρόλο που φαινομενικά μια κεραία είναι ένα από τα πιο απλά μέρη ενός ασύρματου δικτύου, ο ρόλος της για μία σταθερή και αξιόπιστη ζεύξη σημείων είναι ιδιαίτερα σημαντικός και έτσι πρέπει να επιλέγεται με τη δέουσα προσοχή. Για την επιλογή της κατάλληλης κεραίας λαμβάνεται υπόψη η μορφολογία και οι αποστάσεις της περιοχής κάλυψης. Ο λόγος είναι η επιλογή μιας κεραίας που να παρέχει αρκετά υψηλή στάθμη σήματος ώστε να υπάρχει σταθερή και αξιόπιστη ζεύξη σε όλες τις καιρικές συνθήκες.

Μεγαλύτερη ισχύ από την αναγκαία οδηγεί και μεγαλύτερη λήψη θορύβου, περισσότερες ανακλάσεις, και παρεμπόδιση άλλων ραδιοεπικοινωνιών. Η ενίσχυση απολαβής (κέρδους) της κεραίας σε dBι καθορίζεται από την απολαβή που έχει, σε σχέση με μια ιδανική κεραία η οποία έχει μηδενική απολαβή και



λέγεται ιστροπική διπολική κεραία (δεν υπάρχει, δεν μπορεί να κατασκευαστεί, αλλά είναι χρήσιμη ως σημείο αναφοράς στους υπολογισμούς).

Υπάρχουν τρία είδη κεραιών ανάλογα με την πόλωση τους: κυκλική, οριζόντια και κάθετη. Η κυκλική χρησιμοποιείται σπανιότερα γιατί εξυπηρετεί κάποιες ειδικές περιπτώσεις και έχει καλύτερη αντιμετώπιση στις ανακλάσεις. Όταν το κύμα φεύγει από την κεραία κάθετα στον άξονά της, τότε η κεραία λέγεται ότι είναι πολωμένη κάθετα, τα αντίστοιχα συμβαίνουν όταν είναι πολωμένη οριζόντια. Αν περιστραφεί η ίδια κεραία ως προς τον άξονά της κάθετης ή οριζόντιας πόλωσης πλάνια κατά 90 μοίρες τότε αλλάζει και η πόλωση της. Όταν δύο κεραίες μιας ζεύξης έχουν διαφορετική πόλωση τότε υπάρχουν σημαντικές απώλειες των 20 dB περίπου. Επομένως πάντα επιλέγεται η ίδια πόλωση στο ζεύγος των κεραιών. Η ιδιότητα της πόλωσης αποτελεί πλεονέκτημα αφού επιτρέπει σε περισσότερα ραδιοσυστήματα να μοιράζονται τον ίδιο εναέριο χώρο. Άλλος ένας σημαντικός παράγοντας επιλογής της πόλωσης είναι η μείωση αντανάκλασεων που δημιουργούν το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipath).

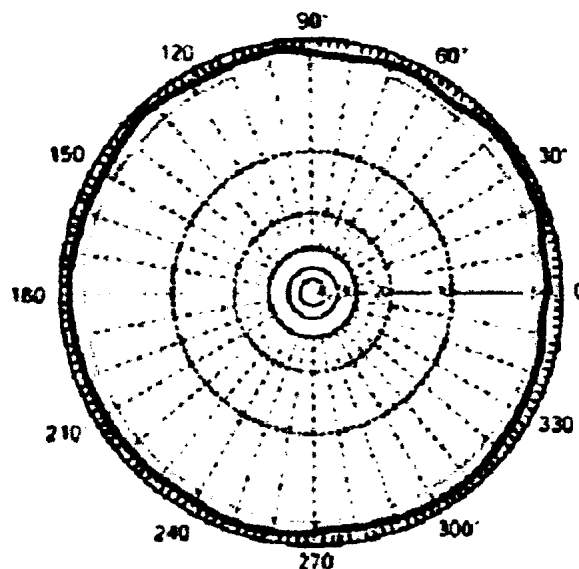
Μια κεραία σε ένα ασύρματο δίκτυο ανάλογα με τον τύπο της είναι κατευθυντική ή ομογενής. Έτσι μπορεί να μεγιστοποιηθεί η εκπομπή προς μία κατεύθυνση και να μειωθεί την εκπομπή προς άλλες, ενώ αντίθετα με κάποιον άλλου τύπου κεραίας να έχει μια ομογενή εκπομπή προς όλες τις κατευθύνσεις. Ο τρόπος που διαχέει την ηλεκτρομαγνητική ισχύ στο χώρο ονομάζεται πρότυπο εκπομπής και βοηθάει στην επιλογή του σωστού τύπου, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκπομπής αλλά και λήψης.

Δύο είναι τα βασικά είδη κεραιών ανάλογα με το πρότυπο εκπομπής τους: Η κατευθυντική κεραία (directional) όπου το χαρακτηριστικό πρότυπο εκπομπής της είναι έντονα ενισχυμένο προς μια κατεύθυνση και η πολυκατευθυντική κεραία ή αλλιώς ονομαζόμενη ευρείας διασποράς (omnidirectional, omni[25]), η οποία εκπέμπει προς όλες της κατευθύνσεις. Ακόμα, υπάρχουν οι κεραίες τομέα (Sector Antennas) με γωνία οριζόντιας κάλυψης από 40 έως 180 μοίρες και οι επίπεδες κεραίες (Flat Panel) οι οποίες είναι ενδιάμεσες λύσεις.

Οι κατευθυντικές χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες και είναι οι παραβολικές πλέγματος (Grid Parabolic[26]) και τα δορυφορικά κάτοπτρα. Το Πρότυπο Εκπομπής τους είναι τέτοιο, ώστε να δημιουργεί μια σχετικά στενή δέσμη, η οποία μπορεί να φτάσει σε μεγαλύτερη απόσταση. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι, εκτός από τη μεγάλη απόσταση, λόγω της στενής δέσμης δεν είναι εύκολο να έχουν παρεμβολές και παράσιτα. Ιδανικές περιπτώσεις για την χρήση τους είναι η σύνδεση σημείου με σημείο (Point-to-Point), ειδικά αν οι αποστάσεις είναι μεγάλες, αλλά και στη σύνδεση ενός σημείου με ένα Access Point, το οποίο χρησιμοποιεί πολυκατευθυντική κεραία (omnidirectional antenna).

Η πολυκατευθυντική Κεραία έχει σχεδόν την ίδια ενίσχυση (gain) προς κάθε κατεύθυνση. Όπως φαίνεται στις εικόνες 8 και 9, το πρότυπο εκπομπής τους είναι τέτοιο, ώστε να δημιουργούν γύρω τους ένα πεδίο που μοιάζει με

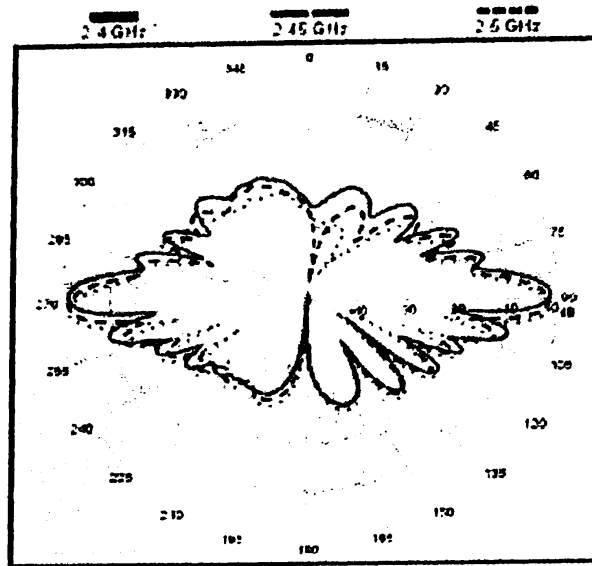
"δίσκο", με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερη ενίσχυση στον κατακόρυφο άξονα και μεγαλύτερη στον οριζόντιο. Η επιπεδότητα του "δίσκου" και η έκταση του, καθορίζεται από τα επιμέρους χαρακτηριστικά της κεραίας, και την ενίσχυση της. Ιδανική περίπτωση χρήσης τους είναι η σύνδεση ενός σημείου με πολλά σημεία (Point-to-Multipoint) με την χρήση ενός Access Point. Σε αρκετές περιπτώσεις είναι καλύτερο να χρησιμοποιηθεί αντί για μία πολυκατευθυντική, μία ή περισσότερες επίπεδες ή τομέων κεραίες (Sector or Flat Panel antennas). Τέτοιες περιπτώσεις είναι όταν τοποθετούνται πολλαπλά APs σε έναν πύργο, όταν οι σταθμοί (clients) βρίσκονται όλοι προς μια πλευρά, ή όταν υπάρχει ένα μεγάλο εμπόδιο που παρεμβάλλεται στο οπτικό πεδίο προς την μια πλευρά (π.χ. ένα ύψωμα), ή όταν επιδιώκεται η κάλυψη μεγαλύτερων αποστάσεων. Επίσης όταν απαιτείται η απομόνωση τμημάτων της εκπομπής απενεργοποιώντας τον αντίστοιχο τομέα, γιατί δεν υπάρχουν διαθέσιμοι σταθμοί (clients), ή έχει δημιουργηθεί άλλος κόμβος AP, ο οποίος καλύπτει καλύτερα την συγκεκριμένη περιοχή. Πέραν της δυνατότητας αντικατάστασης ενός τομέα με ένα άλλο με διαφορετική γωνία κάλυψης, υπάρχουν και τομείς οι οποίοι είναι ρυθμισμένοι ανάλογα με τις ανάγκες. Συνήθως οι πολυκατευθυντικές κεραίες έχουν κάθετη πόλωση.



H-Plane Co-polarization

3-dB Beam width = 360°

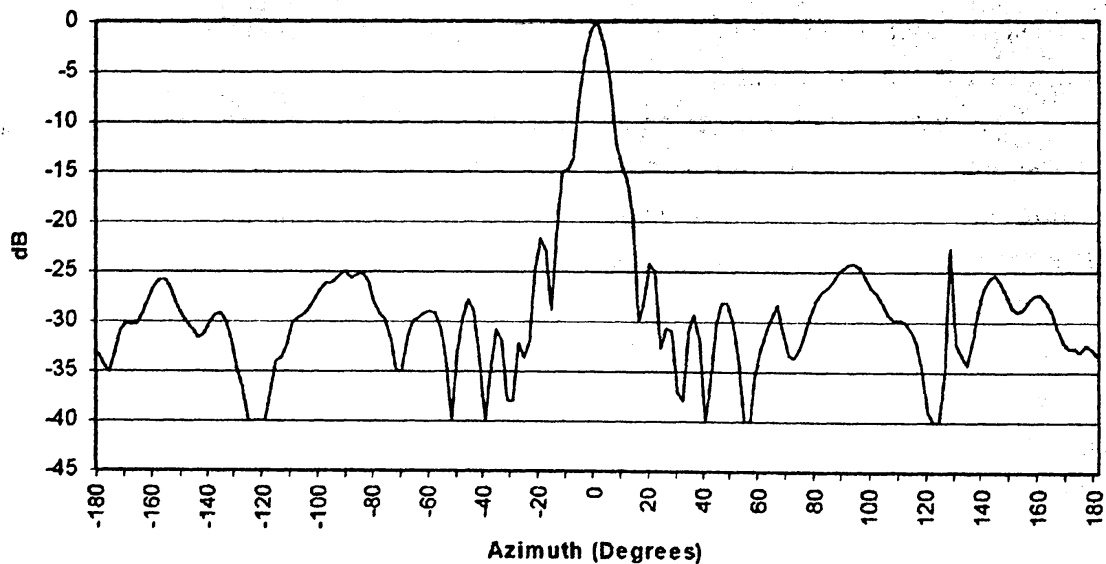
Εικόνα 8: Το πρότυπο εκπομπής κεραίας 15dBι ευρείας διασποράς, σε οριζόντιο επίπεδο



E-Plane Co-polarization
3-dB Beam width = 15°

Εικόνα 9: Το πρότυπο εκπομπής κεραίας 15dBi ευρείας διασποράς, σε κάθετο επίπεδο

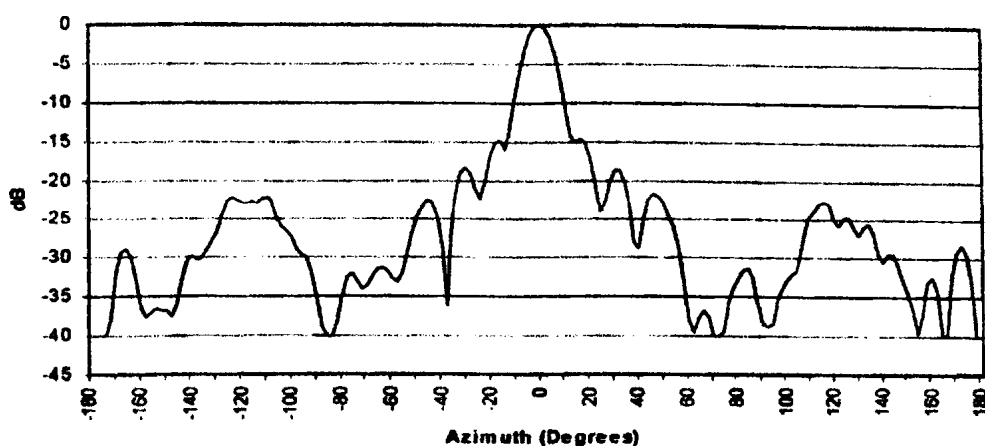
PAWCA-24 Vertical
@ 2400 Mhz



Εικόνα 10: Το πρότυπο εκπομπής κατευθυντικής κεραίας PAWCA-24 24dBi, σε κάθετο επίπεδο

PAWDCA-24 Horizontal

@ 2400 MHz



Εικόνα 11: Το πρότυπο εκπομπής παραβολικής κατευθυντικής κεραίας PAWCA-24 24dBi, σε οριζόντιο επίπεδο

Επιπρόσθετα της κύριας εκπομπής δημιουργούνται και μικρές πλευρικές ζώνες εκπομπής κάτι που φαίνεται πιο έντονα στο διάγραμμα εκπομπής της παραβολικής κατευθυντικής κεραίας. Η κύρια εκπομπή λέγεται και κύριος λοβός ενώ οι μικρές πλαϊνές πλάγιος λοβοί. Μια καλή κατευθυντική κεραία θα πρέπει να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο και στενότερο κεντρικό λοβό και όσο το δυνατόν μικρότερους πλάγιους λοβούς. Οι πλάγιοι λοβοί είναι υπεύθυνοι πολλές φορές για λήψη επιπλέον θορύβου ενώ δεν εξυπηρετούν στην εκπομπή. Επίσης όσο στενότερος είναι ο κεντρικός λοβός τόσο περισσότερο μειώνονται οι ανακλάσεις και η πιθανότητα για θόρυβο.

Στις ανακλάσεις παίζει σημαντικό ρόλο η ζώνη Fresnel, που περιγράφεται στα ακόλουθα, και η οποία επηρεάζεται από την τοποθεσία εγκατάστασης της κεραίας και όχι την ίδια την κεραία. Κατά την επίτευξη μιας ζεύξης συνήθως ελέγχεται μόνο το οριζόντιο επίπεδο. Αυτό όμως μπορεί να αποτρέψει ώστε να γίνουν σωστά κάποιες ζεύξεις.

Ο Fresnel [27] παρατήρησε ότι τα αντικείμενα που βρίσκονται σε μια ελλειψοειδή ζώνη μεταξύ των εστιών πομπού και δεκτή, έχουν ισχυρή επίδραση στην ισχύ του σήματος. Εν συντομία αυτό οφείλεται στην ελάχιστη μεγαλύτερη διαδρομή που διανύουν τα ανακλώμενα σήματα που προκαλούν σχεδόν μηδενισμό (αν η διαφορά φάσης του ανακλώμενου σήματος είναι 180 μοίρες σε σχέση με το αρχικό) ή διπλασιασμό (αν το ανακλώμενο σήμα είναι σε ίδια φάση με το αρχικό) του σήματος στον πομπό. Συνεπώς τα αντικείμενα κοντά στη διαδρομή που ακολουθεί το σήμα μπορούν να βελτιώσουν ή να ελαττώσουν το σήμα, ανάλογα με τη θέση τους. Προφανώς επιλέγεται μια καθαρή από αντικείμενα διαδρομή.

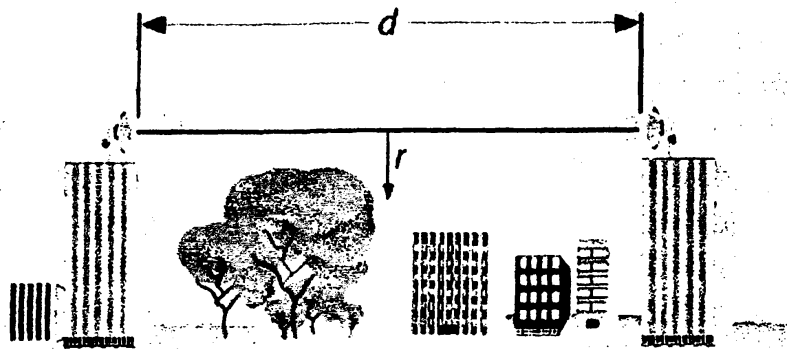
Στην εικόνα 12 φαίνεται η ζώνη Fresnel. Η ακτίνα r είναι το πλάτος της 1ης ζώνης, που βρίσκεται στο μέσο της απόστασης πομπού-δεκτή. Θα πρέπει στην



ζώνη αυτή να μην υπάρχουν εμπόδια. Η ακτίνα Fresnel μπορεί να βρεθεί από την εξής εμπειρική σχέση:

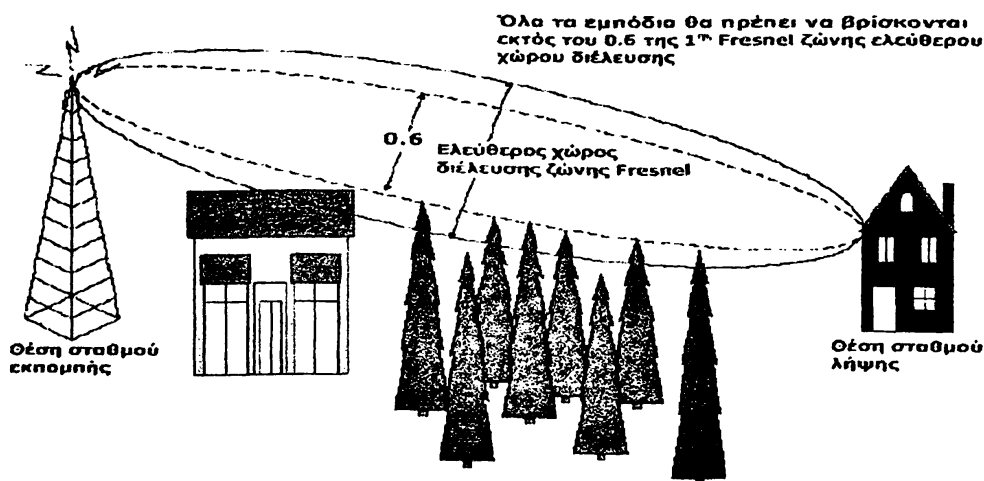
$$r_{fresnel} = 13,19784 \cdot \sqrt{\frac{d \cdot 250}{f}}$$

όπου d η απόσταση των κεραιών σε km και f η μέση συχνότητα σε MHz (το ημίθροισμα της χαμηλότερης και της υψηλότερης συχνότητας). Στην περίπτωση των 2,4GHz $f = 2441,75$ MHz.



Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση ζώνης Fresnel

Στην ασύρματη ζεύξη μεταξύ δύο σημείων είναι βασικό να είναι γνωστό αν τα σημεία αυτά βρίσκονται σε συνθήκες οπτικής επαφής (Line of Sight, LOS) ή όχι (Non Line of Sight, NLOS). Σε μια ζεύξη σημείων που βρίσκονται σε οπτική επαφή, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα κατευθύνεται από την κεραία του πομπού στην κεραία του δέκτη χωρίς να υποστεί κάποια ανάκλαση από γειτονικά εμπόδια. Απαραίτητη προϋπόθεση για να συμβεί το παραπάνω, είναι να μην υπάρχουν εμπόδια στη περιοχή της ζώνης Fresnel των δύο σημείων προς επικοινωνία. Η περιοχή ονομάζεται ελλειψοειδή ζώνη του Fresnel (Fresnel Zone).



Εικόνα 13: Σχηματική απεικόνιση ζώνης Fresnel

Όταν ένα εμπόδιο βρίσκεται μέσα στη πρώτη ζώνη του fresnel τότε το κανάλι χαρακτηρίζεται σαν (Optical Line of Site, OLOS). Το πρότυπο IEEE 802.16 μπορεί να παρέχει επικοινωνία και σε σημεία τα οποία βρίσκονται σε συνθήκες OLOS κάτι που ο προκάτοχος του IEEE 802.11 δύσκολα μπορούσε να πετύχει. Η χρήση της διαμόρφωσης OFDM επιτρέπει στο πρότυπο να εξασφαλίζει σταθερές και αξιόπιστες συνδέσεις ακόμα και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής (Non Line of Sight, NLOS). Η τεχνική OFDM υποστηρίζει μετάδοση με πολλαπλές φέρουσες προσδίδοντας στο πρότυπο ανθεκτικότητα στη μετάδοση των δεδομένων και πολύ καλές επιδόσεις σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipath fading). Επιπλέον η χρήση κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων όπως οι (Forward Error Correction, FEC) και (Cyclic Redundancy Check, CRC) προσδίδει στο πρότυπο τη δυνατότητα αξιόπιστης μετάδοσης κρατώντας σε χαμηλά επίπεδα την ισχύ εκπομπής και λήψης.

Η ζώνη των 2.4 GHz είναι ελεύθερη δεν απαιτείται άδεια, αλλά υπάρχει νομοθεσία που επιβάλλει περιορισμούς στην χρήση της. Υπάρχει όριο εκπομπής που οδηγεί σε περιορισμούς στην συνολική ισχύ του εξοπλισμού, και επομένως στην απόσταση των ζεύξεων. Αντίθετα με το τι ισχύει στην Β.Αμερική, όπου υπάρχει άλλο όριο για πολυκατευθυντικά interfaces και άλλο για κατευθυντικά (μεγαλύτερο), στην Ευρώπη υπάρχει η δέσμευση στα 20 dbm (100 mw) ανεξαρτήτως της μορφής της σύνδεσης. Η κλίμακα dB είναι λογαριθμική οπότε οποιαδήποτε διαφορά της τάξης των 3 dbm σημαίνει και διπλασιασμό της εκπεμπόμενης ισχύος. Δηλαδή αν υπάρχει εκπομπή στα 23 dbm σημαίνει ότι εκπέμπει διπλάσια από το κανονικό! Μια ιδανική κατασκευή που επιτρέπει μεγαλύτερες αποστάσεις για τις ζεύξεις, είναι μια συστοιχία δύο κεραιών που η μία παίζει αποκλειστικά τον ρόλο της εκπομπής και η άλλη αποκλειστικά τον ρόλο της λήψης. Αυτό επιτρέπει να χρησιμοποιείται αρκετά μεγαλύτερη κεραία για την λήψη και μια πιο μικρή για την αποστολή.



1.6 Φωτοβολταϊκά

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο Φυσικό Alexandre Edmond Becquerel το 1839, ο οποίος πρότεινε ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν συγκεκριμένες κατασκευές εκτεθούν στο φως. Οι Αμερικάνοι Adams και Day το 1876 χρησιμοποιώντας έναν κρύσταλλο σεληνίου έκαναν επίδειξη του φαινομένου. Η ενεργειακή απόδοση στην περίπτωση του σεληνίου ήταν μόνο 1%. Το 1905 ο Albert Einstein διατύπωσε την εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου με την υπόθεση του φωτονίου. Το 1949 οι Αμερικάνοι Shockley, Bardeen και Brattain ανακάλυψαν το τρανζίστορ και περιέγραψαν τη φυσική των επαφών p και των ημιαγωγικών υλικών. Το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο με απόδοση κοντά στο 6% κατασκευάστηκε το 1956, ενώ αργότερα κατασκευάστηκε το φωτοβολταϊκό κύτταρο από πυρίτιο, το οποίο απέδιδε 10%. Η γρήγορη ανάπτυξη της τεχνολογίας στην εξερεύνηση του διαστήματος διάνοιξε εξαιρετικές προοπτικές για την χρήση φωτοβολταϊκών κυττάρων. Το 1958, 108 ηλιακά κύτταρα είχαν σταλεί στο διάστημα για δοκιμή. Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών κυττάρων σε σειρά άρχισε αργότερα. Το 1970 η ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων για διαστημικές εφαρμογές ήταν 500 m². Η επίγεια χρήση ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του '70, με την πετρελαϊκή κρίση του 1973-74, δίνοντας ερεθίσματα για την εκπόνηση πληθώρας ερευνητικών μελετών. Η προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας ήταν και είναι η μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με την εύρεση νέων φθηνότερων υλικών. Σήμερα τα φωτοβολταϊκά έχουν γίνει κομμάτι της καθημερινής μας ζωής, ενώ το φάσμα των εφαρμογών τους εκτείνεται από μικρής κλίμακας συστήματα σε ρολόγια και υπολογιστές τσέπης μέχρι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και ισχύος. Η απόδοσή τους κυμαίνεται από 12% ως 19% σε συγκεκριμένες συνθήκες αναφοράς.

Ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο από πυρίτιο είναι κατασκευασμένο από μία ειδική ημιαγωγική δίοδο τη φωτοδίοδο, στην οποία παρατηρείται μια ροή ηλεκτρικών φορέων όταν αυτό δεχθεί φως. Όταν το φως χτυπήσει το κύτταρο, τότε τα φωτόνια απορροφούνται από τα ηλεκτρόνια του πυριτίου. Η ενέργεια των φωτονίων διεγείρει τα ηλεκτρόνια σε μια υψηλότερη ενεργειακή στάθμη, οπότε αυτά κινούνται αφήνοντας πίσω τους μία οπή. Έτσι λοιπόν τα απορροφούμενα φωτόνια δημιουργούν ζεύγη ηλεκτρονίων - οπών. Ηλεκτρικό πεδίο διαχωρίζει τα ηλεκτρόνια από τις οπές και η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται κυμαίνεται μεταξύ 0.5-0.6 Volts. Η ύπαρξη των ηλεκτρικών φορέων και της διαφοράς δυναμικού δημιουργούν ένα ρεύμα το οποίο μπορεί να διαρρέει ένα εξωτερικό κλειστό κύκλωμα.

Οι βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής φωτοβολταϊκών στοιχείων που κυρίως χρησιμοποιούνται σήμερα είναι οι ακόλουθες:



- **Μονοκρυσταλλικού πυριτίου**

Είναι τα πιο διαδεδομένα στην αγορά και κατασκευάζονται σε κυλίνδρους ανεπτυγμένου πυριτίου. Οι κύλινδροι αυτοί κόβονται σε λεπτές φέτες, γνωστές ως *wafers*, με πάχος μόλις 200-500μm. Η ενεργειακή απόδοση της στα εργαστήρια φθάνει το 24%, ενώ στο εμπόριο αγγίζει το 15%.



Εικόνα 14: Φωτοβολταϊκή γεννήτρια μονοκρυσταλλικού πυριτίου

- **Πολυκρυσταλλικού πυριτίου**

Κατασκευάζονται από χυτό πυρίτιο. Έχουν βαθμό απόδοσης γύρω στο 15%. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία Πολυκρυσταλλικού πυριτίου με πρόσμιξη γαλλίου - αρσενίου διακρίνονται για τον υψηλό βαθμό απόδοσης τους, γι' αυτό χρησιμοποιούνται κατά κόρον στις διαστημικές εφαρμογές και στα συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Η απόδοσή τους αγγίζει το 25%, όταν δέχονται την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και στο 28% όταν δέχονται και την διάχυτη ακτινοβολία. Σε ερευνητικό στάδιο ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων GaAs έχει ξεπεράσει το 30%.



Εικόνα 15: Φωτοβολταϊκή γεννήτρια πολυκρυσταλλικού πυριτίου

- **Άμορφου πυριτίου (a-Si)**

Τα φωτοβολταϊκά αυτά στοιχεία κατασκευάζονται από άμορφο πυρίτιο, και επειδή είναι ευκολότερες οι κατασκευαστικές διαδικασίες, το κόστος τους να είναι πολύ μικρότερο. Το κυριότερο μειονέκτημα τους είναι η χαμηλή απόδοση που δεν ξεπερνά το 10%. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε ηλιακά ρολόγια και σε αριθμητικούς υπολογιστές. Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα είναι η χρήση της τεχνολογίας άμορφου πυριτίου σε μεγάλα κτήρια, γνωστά και ως Κτηριακά Ολοκληρωμένα φ/β στοιχεία (BIPVs - Building Integrated Photovoltaics), που αντικαθιστούν τα τζάμια (μετά από επεξεργασία για την αύξηση της διαφάνειας τους) συμβάλλοντας έτσι στην τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας στο κτήριο.



Εικόνα 16: Φωτοβολταϊκές γεννήτριες a-Si

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του έτους 2004 ποσοστό πάνω από 90% της συνολικής παραγωγής αφορά την τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό αφορά άλλες τεχνολογίες άμορφου πυριτίου και πυριτίου λεπτού στρώματος. Τα ποσοστά συμμετοχής κάθε τεχνολογίας επί της συνολικής παραγωγής των φωτοβολταϊκών γεννητριών αναφέρονται στον ακόλουθο πίνακα .

Πίνακας 2: ποσοστά συμμετοχής κάθε τεχνολογίας επί της συνολικής παραγωγής των φωτοβολταϊκών γεννητριών

Τεχνολογία	Ποσοστό %
Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες Κρυσταλλικού Πυριτίου	0.10
Ribbon	3.48
Καδμίου-Τελλουρίου (CdTe)	0.39
Χαλκού-Ινδίου-Δισελινίου (CIS)	0.18
Πυρίτιο σε υπόστρωμα χαμηλού κόστους	0.26
A-Si σε υπόστρωμα Cz	4.61
Σύνολο	9

Συνήθως τα ηλιακά στοιχεία σε μια βασική μονάδα συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά. Ένα τυπικό ηλιακό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου διαμέτρου 4 ιντσών, ή ένα (10 cm * 10 cm) πολυκρυσταλλικό στοιχείο παρέχουν κάτω από κανονικές συνθήκες ισχύ μεταξύ 1 και 1.5W , εξαρτώμενη από την απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Αυτή η ισχύς παρέχεται συνήθως υπό τάση 0.5 ή 0.6 V. Από τη στιγμή που υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές, οι οποίες εκτελούνται σε αυτή την τάση, η άμεση λύση είναι να συνδεθούν τα ηλιακά στοιχεία σε σειρά. Ο αριθμός των ηλεκτρικών στοιχείων μέσα σε μια βασική μονάδα ρυθμίζεται από την τάση της βασικής μονάδας. Η ονομαστική τάση λειτουργίας του συστήματος πρέπει να ταιριάζει με την ονομαστική τάση του υποσυστήματος αποθήκευσης. Οι περισσότερες εκ των φωτοβολταϊκών βασικών μονάδων, που κατασκευάζονται βιομηχανικά έχουν επομένως σταθερές διατάξεις, οι οποίες μπορούν να συνεργασθούν ακόμη και με μπαταρίες των 12V ή 24V. Προνοώντας για κάποια υπέρταση προκειμένου να φορτισθεί η μπαταρία και να αντισταθμιστεί χαμηλότερη έξοδος, κάτω από συνθήκες χαμηλότερες των κανονικών, έχει βρεθεί ότι μια ομάδα των 33 έως 36 ηλιακών στοιχείων σε σειρά συνήθως εξασφαλίζουν αξιόπιστη λειτουργία. Έτσι η ισχύς των βασικών μονάδων πυριτίου κυμαίνεται μεταξύ 20 και 200W. Οι παράμετροι της βασικής μονάδας καθορίζονται από τον κατασκευαστή κάτω από τις ακόλουθες κανονικές συνθήκες:

- Ακτινοβολία: 1 KW/m^2
- Φασματική κατανομή: AM 1.5
- Θερμοκρασία ηλιακού στοιχείου: 25°C

Η ονομαστική έξοδος συνήθως ονομάζεται ισχύς κορυφής μιας βασικής μονάδας και εκφράζεται σε watt κορυφής (W_p). Τα τρία περισσότερο σημαντικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας βασικής μονάδας είναι το ρεύμα βραχυκυκλώματος, η τάση ανοικτού κυκλώματος και το σημείο μέγιστης ισχύος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την ακτινοβολία. Αυτές οι χαρακτηριστικές μοιάζουν με τη χαρακτηριστική I-V ενός ηλιακού στοιχείου, ωστόσο μερικές συγκεκριμένες ιδιομορφίες χρειάζεται να διασαφηνιστούν.

Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Ο συντελεστής θερμοκρασίας για την τάση ανοικτού κυκλώματος είναι κατά προσέγγιση ίσος με $-2.3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ για καθένα ηλιακό στοιχείο. Ο συντελεστής τάσης μιας βασικής μονάδας είναι επομένως αρνητικός και πολύ μεγάλος από τη στιγμή που συνδέονται σε σειρά 33 έως 36 ηλιακά στοιχεία. Ο συντελεστής ρεύματος, από την άλλη πλευρά, είναι θετικός και μικρός $+6 \text{ }\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ περίπου ανά τετραγωνικό εκατοστό της βασικής μονάδας. Συνεπώς, μόνο η μεταβολή τάσης σε σχέση με αυτή της θερμοκρασίας λαμβάνεται υπόψη για πρακτικούς κυρίως υπολογισμούς. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η τάση καθορίζεται από τη θερμοκρασία λειτουργίας των ηλιακών στοιχείων, η οποία διαφέρει από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όπως και για καθένα ηλιακό στοιχείο, το ρεύμα βραχυκυκλώματος I_{sc} μιας βασικής μονάδας είναι ανάλογο προς την ακτινοβολία και επομένως θα ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά τον ίδιο τρόπο. Εφόσον η τάση είναι μια λογαριθμική συνάρτηση του ρεύματος, θα εξαρτάται επίσης λογαριθμικά και από την ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια της ημέρας επομένως η τάση θα μεταβάλλεται λιγότερο από ότι το ρεύμα. Στο σχεδιασμό της Φ.Β. γεννήτριας είναι συνηθισμένο να παραμελείται η μεταβολή της τάσης και να θεωρείται ότι το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι ανάλογο προς την ακτινοβολία. Η λειτουργία μιας βασικής μονάδας θα πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος. Είναι ένα σημαντικό γνώρισμα της χαρακτηριστικής της βασικής φωτοβολταϊκής μονάδας είναι η τάση του σημείου μέγιστης τάσης V_{mp} ανοικτού κυκλώματος το οποίο είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η μέση τιμή της τάσης κατά τη διάρκεια της ημέρας προσεγγίζεται με το 80% της τάσης ανοικτού κυκλώματος κάτω από κανονικές συνθήκες ακτινοβολίας. Αυτή η ιδιότητα είναι χρήσιμη για τη σχεδίαση της μονάδας ελέγχου της ισχύος της συσκευής.

Ο χαρακτηρισμός της βασικής φωτοβολταϊκής μονάδας συμπληρώνεται με τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός κανονικά λειτουργούντος ηλιακού στοιχείου (Normal Operating Cell Temperature, NOCT). Η θερμοκρασία του ηλιακού

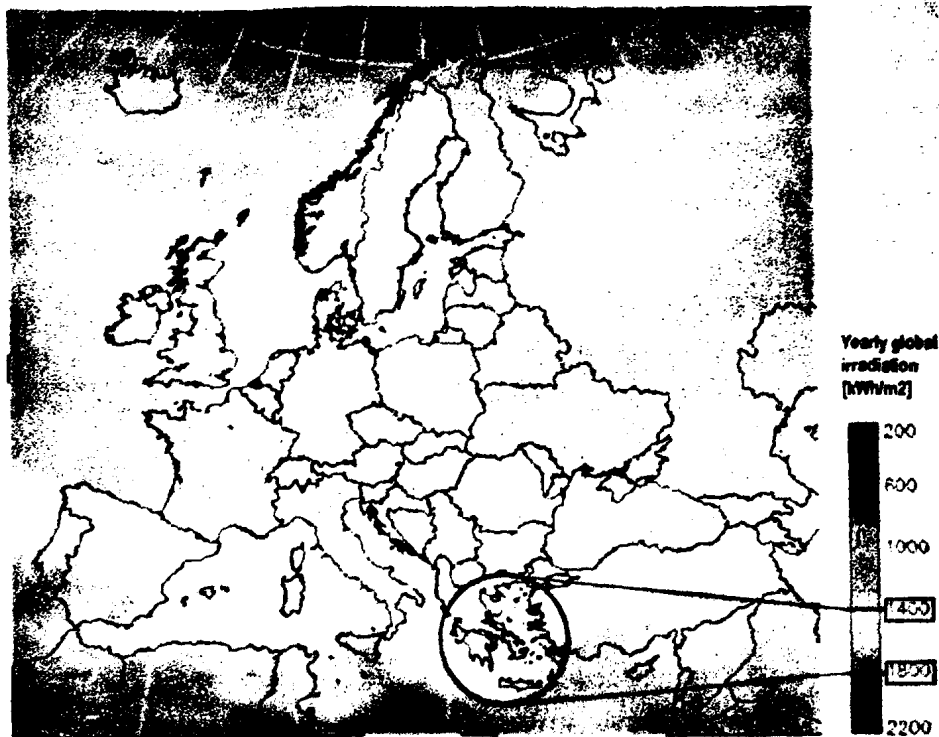


στοιχείου ορίζεται, όταν η βασική μονάδα λειτουργεί κάτω από τις ακόλουθες συνθήκες σε ανοικτό κύκλωμα:

- Ακτινοβολία: 0.8 KW/m^2
- Φασματική κατανομή: AM 1.5
- Θερμοκρασία ηλιακού στοιχείου: 20°C
- Ταχύτητα ανέμου: 1 m/s

Η NOCT (συνήθως μεταξύ 42°C και 46°C) χρησιμοποιείται για να καθορίσει τη θερμοκρασία του ηλιακού ηλεκτρικού στοιχείου T_c κατά τη διάρκεια της λειτουργίας βασικής μονάδας. Συνήθως θεωρείται ότι η διαφορά μεταξύ T_c και θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_a εξαρτάται γραμμικά από την προκύπτουσα ακτινοβολία. Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται στη σχεδίαση μιας διάταξης είναι το που θα στερεωθούν οι βασικές μονάδες, αν θα στερεωθούν σε σταθερές θέσεις ή οι προσανατολισμοί τους θα ιχνηλατούν την κίνηση του ηλίου. Στις περισσότερες διατάξεις οι βασικές μονάδες στερεώνονται σ' ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσοψη προς τον ισημερινό. Αυτό έχει το πλεονέκτημα της απλότητας, δηλαδή κανένα κινούμενο τμήμα και χαμηλό κόστος. Η άριστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, και την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία. Στερεώνοντας τη διάταξη πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του Ηλίου, μπορεί να συλλεχθεί μέχρι 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει την πολυπλοκότητα και έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερης αξιοπιστίας κατασκευή και υψηλότερου κόστους συντήρησης. Η μονού άξονα ιχνηλάτηση είναι λιγότερο σύνθετη, αλλά έχει μικρότερη απόδοση. Ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα, εκεί που η προσφορά φτηνής εργασίας είναι διαθέσιμη, αυξάνοντας έτσι τις όποιες απολαβές. Έχει υπολογιστεί ότι σε τόπους με ηλιοφάνεια μια διάταξη επίπεδης κινούμενης πλάκας που έχει κατάλληλη ρύθμιση ώστε να στρέφεται προς τον ήλιο δυο φορές την ημέρα και να παίρνει την κατάλληλη κλίση τέσσερις φορές το χρόνο, μπορεί να συλλαμβάνει το 90% της ενέργειας, που συλλέγεται με ένα σύστημα δυο αξόνων παρακολούθησης πλήρως αυτοματοποιημένο. Το σύστημα παρακολούθησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα συστήματα, που λειτουργούν κάτω από συγκέντρωση ηλιακού φωτός. Η δομή αυτών των συστημάτων εκτείνεται από έναν απλό σχεδιασμό βασισμένο πάνω σε πλευρικούς ενισχυτικούς καθρέπτες μέχρι τα συστήματα συγκέντρωσης φωτός, τα οποία χρησιμοποιούν υπεράσυχρονες οπτικές τεχνικές, για να αυξήσουν την είσοδο φωτός προς τα ηλιακά στοιχεία κατά μερικές τάξεις μεγέθους. Αυτά τα συστήματα συγκεντρώνοντας το ηλιακό φως ελαττώνουν το γωνιακό άνοιγμα των ακτίνων, που μπορεί να δεχθεί το σύστημα. Η παρακολούθηση γίνεται απαραίτητη από τη στιγμή που ο λόγος συγκέντρωσης ως

προς τη μη συγκέντρωση υπερβαίνει το 10 και το σύστημα μπορεί να μετατρέψει μόνο την άμεση συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας



This site was perpetrated by Thomas Huld and Marcel Suri
PVGIS © European Communities, 2001-2006

Εικόνα 17: Χάρτης ηλιακής ακτινοβολίας

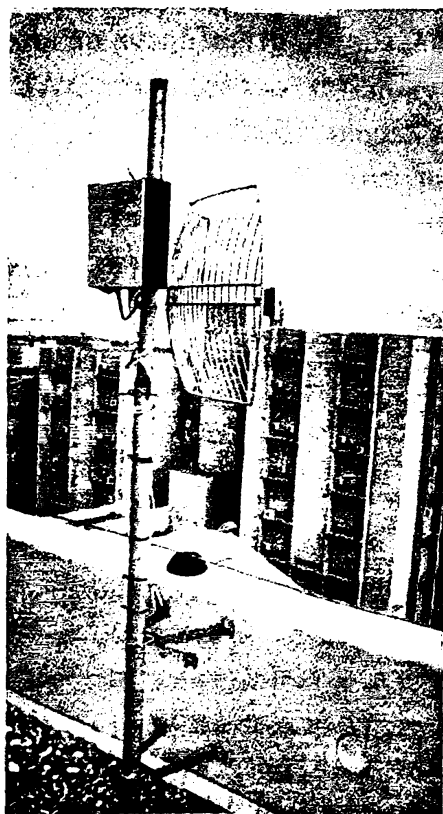


2. Ασύρματο σύστημα αναμετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας

2.1 Σύντομη περιγραφή του δικτύου διακίνησης δεδομένων

Το δίκτυο διακίνησης δεδομένων αποτελείται από δυο αναμεταδότες και δυο τερματικούς σταθμούς δηλαδή από έξι σημεία πρόσβασης (Access Point, AP [15]), πέντε κατευθυντικές και μια πολυκατευθυντική κεραία[28]. Το σύνολο τις απόστασης που καλύπτουν είναι 29,7Κm και η μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ δυο αναμεταδοτών είναι 14,8Κm. Η διαδρομή που καλύπτει το δίκτυο των αναμεταδοτών φαίνεται στην εικόνα 19.

Το δίκτυο διακίνησης δεδομένων ξεκινάει από το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Πιο συγκεκριμένα στο κτίριο Φ3 του Τμήματος Φυσικής στο πέμπτο όροφο έχει εγκατασταθεί ο διακομιστής δικτύου[14] ο οποίος συνδέει το δίκτυο του Πανεπιστημίου με το εξωτερικό δίκτυο. Το εξωτερικό δίκτυο ξεκινάει από την οροφή το πέμπτου ορόφου όπου εκεί έχει εγκατασταθεί ο αναμεταδότης[29] με το όνομα R0 και συνδέεται με καλώδιο δικτύου με τον διακομιστή δικτύου και ασύρματα με τον αναμεταδότη R1 ο οποίος βρίσκεται κοντά στην μόνη Τσούκας στο Δημοτικό Διαμέρισμα του Ελληνικού σε απόσταση 14,8Κm από το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.



Εικόνα 18. Εγκατάσταση αναμεταδότη στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

Η διάταξη του αναμεταδότη R0 περιλαμβάνει ένα access point EZ3_v2[30] της εταιρίας e-zy.net[30] μια κατευθυντική κεραία 24dBi PAWDC24 της εταιρίας pacific-wireless[31] τύπου πλέγματος (grid)[32] αναρτημένη σε ιστό στήριξης ύψους 2,5μ. Το Access point είναι ρυθμισμένο να λειτουργεί ως πελάτης (client)[31] του αναμεταδότη R1.

Οι αναμεταδότες R1 και R2 βρίσκονται στην περιοχή του τοπικού διαμερίσματος του Ελληνικού του Δήμου Καστανοχωρίων και είναι τοποθετημένοι στην στέγη του αναμεταδότη τηλεοπτικού σήματος του τοπικού διαμερίσματος κοινότητας από τον οποίο τους παρέχεται η αναγκαία τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία τους.

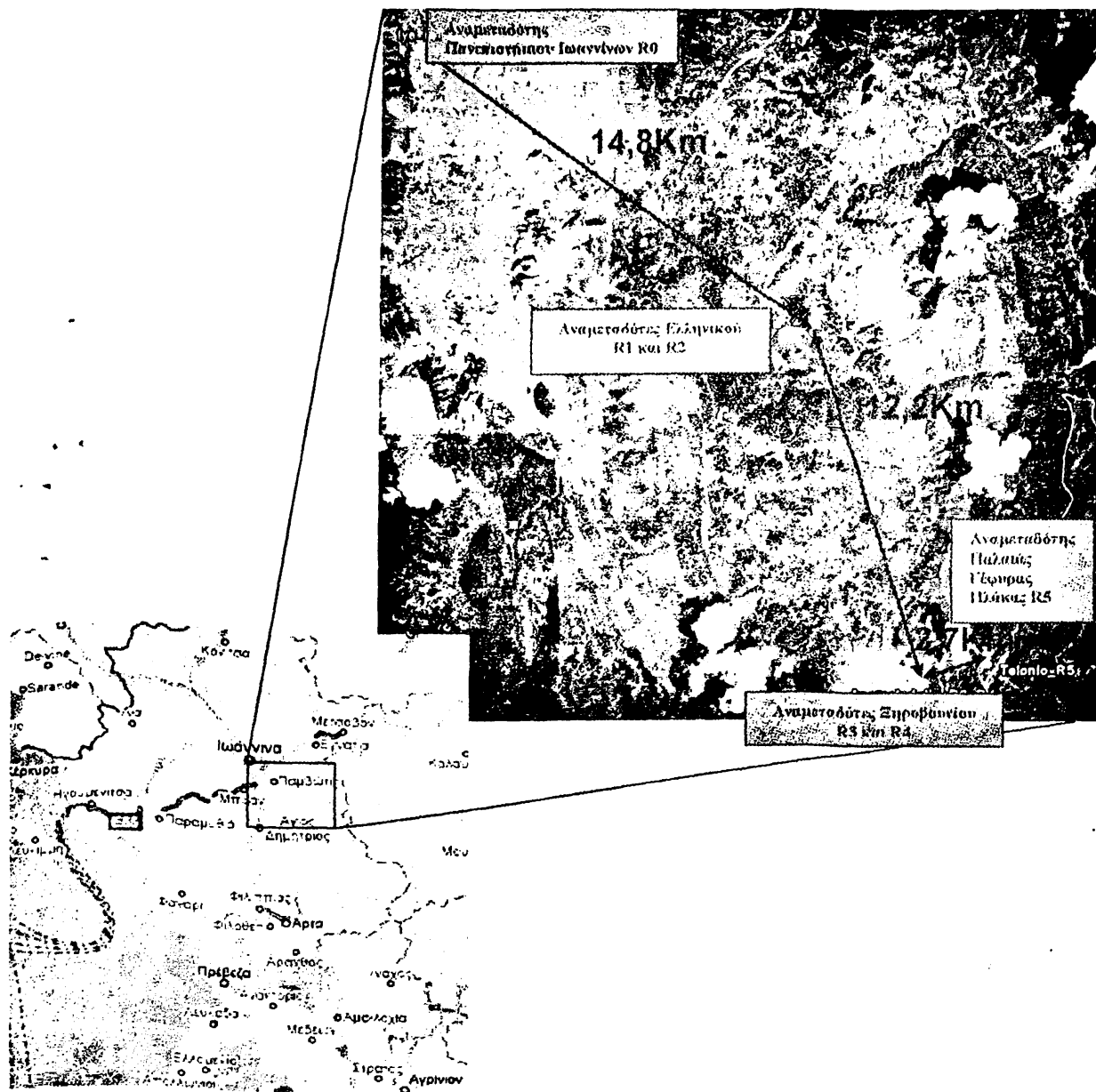
Καθενας από τους αναμεταδότες R1, R2 αποτελείται από ένα access point EZ3_v2[30] της εταιρίας e-zy.net μια κατευθυντική κεραία 24dBi PAWDC24 της εταιρίας pacific-wireless τύπου πλέγματος (grid), συγκρατούμενο σε έναν ιστό στήριξης ύψους 3,5μ. Το Access point είναι του αναμεταδότη R1 εκπέμπει με το όνομα R1 (ssid).

Οι αναμεταδότες R3 και R4 βρίσκονται στην περιοχή του Ξηροβουνίου του Δήμου Καστανοχωρίων και είναι τοποθετημένοι δίπλα στην κεραία τις κινητής τηλεφωνίας τις Cosmote. Λόγω της έλλειψης δικτύου ηλεκτρικού ρεύματος η τροφοδότηση των αναμεταδοτών γίνεται με την χρήση φωτοβολταϊκής γεννήτριας[34]. Στον αναμεταδότη R3 χρησιμοποιείται access point EZ3_v2 της εταιρίας e-zy.net μια κατευθυντική κεραία 24dBi PAWDC24 της εταιρίας pacific-wireless τύπου πλέγματος στηριζόμενη σε ιστό στήριξης ύψους 2,5μ. Στον αναμεταδότη R4 χρησιμοποιείται access point DWL-2100+ της εταιρίας D-Link μια πολύ κατευθυντική κεραία 15dBi της εταιρίας Leverone[35] τύπου omni vertical[28] στηριζόμενη στον ίδιο ιστό. Στην περιοχή τοποθέτησης δεν έχει χρησιμοποιηθεί τσιμέντο, η δε στήριξη του ιστού τις κεραίας και τις φωτοβολταϊκής γεννήτριας έχει γίνει με βίδες πάνω στον βράχο.

Τέλος το δίκτυο καταλήγει στο κτίριο του παλαιού τελωνίου που βρίσκεται στην παλαιά γέφυρα της Πλάκας στον αναμεταδότη R5 που περιλαμβάνει ένα access point DWL-2100AP της εταιρίας D-Link, κατευθυντική κεραία 24dBi της εταιρίας pacific τύπου πλέγματος [32]. Η κεραία είναι τοποθετημένη στον τοίχο του τελωνείου σε ύψος 3 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους. Το access point είναι συνδεδεμένο με τον διακομιστή διαδικτύου ο οποίος στέλνει τα δεδομένα στο δίκτυο. Η ηλεκτροδότηση του συστήματος γίνεται από τη ηλεκτρική εγκατάσταση του κτιρίου.

Ειδικότερα οι δυο τερματικοί σταθμοί αποτελούνται από δυο Access points τα οποία είναι παραμετροποιημένα να λειτουργούν σε κατάσταση πελάτη (client). Ο πρώτος τερματικός σταθμός βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων στην οροφή του κτιρίου φ3 στις συντεταγμένες 39°35' 59.82"N , 20°50' 16.25"E Ο δεύτερος τερματικός σταθμός βρίσκεται στο Τελώνιο στη γέφυρα της Πλάκας στις συντεταγμένες 39°27' 38.59"N , 21°01' 48.95"E .

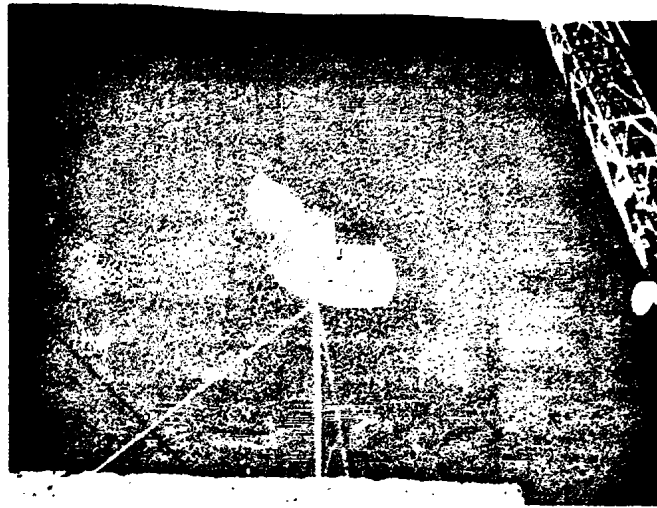




Εικόνα 19. Δορυφορική φωτογραφία της περιοχής εγκατάστασης του συστήματος μετάδοσης δεδομένων, GoogleEarth[50]

Οι δυο τερματικοί σταθμοί συνδέονται με κατευθυντικές κεραιές απολαβής 24dbi τύπου πλέγματος. Επειδή δεν υπήρχε οπτική επαφή μεταξύ των δυο τερματικών σταθμών ήταν αναγκαία η εγκατάσταση δυο αναμεταδοτών. Ο πρώτος αναμεταδότης έχει τοποθετηθεί κοντά όπως είδη αναφέρθηκε στον δημοτικό διαμέρισμα Ελληνικού στις συντεταγμένες $39^{\circ}32' 51.42''\text{N}$, $20^{\circ}58' 23.24''\text{E}$. Σε αυτόν τον αναμεταδότη έχουν τοποθετηθεί δυο Access points από τα οποία το ένα είναι παραμετροποιημένο να λειτουργεί ως πελάτης (client) ενώ το άλλο ως σημείο πρόσβασης. Τα Access points ένα switch και ένα τροφοδοτικό 24V είναι τοποθετημένα σε στεγανό ηλεκτρολογικό κουτί προδιαγραφών IP-65 το οποίο είναι στερεωμένο πάνω στον ιστό των κεραιών απολαβής 24dbi Η τροφοδότηση

του συστήματος γίνεται από το δίκτυο της ΔΕΗ. Στην εικόνα 20 φαίνεται η τοποθέτηση της κεραίας.

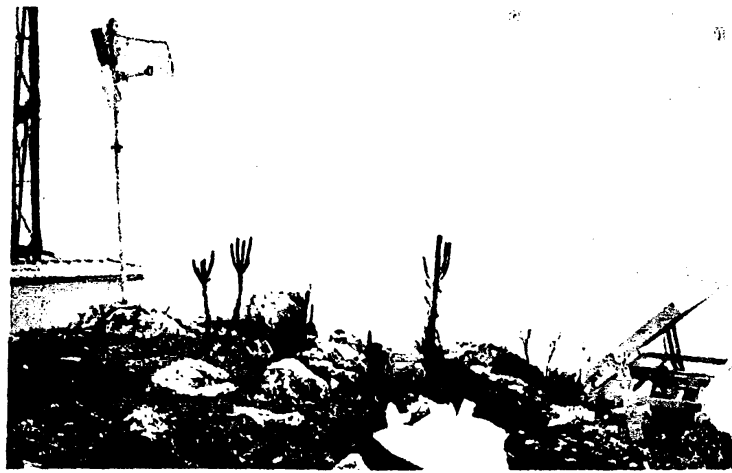


Εικόνα 20. Εγκατάσταση αναμεταδότη στο Δήμο του Ελληνικού.

Σε απόσταση 12.2 Km από τον πρώτο, βρίσκεται ο δεύτερος αναμεταδότης στην περιοχή του Ξηροβουνίου στις συντεταγμένες $39^{\circ}27' 28.78''N$, $21^{\circ}00' 36.30''E$. Σε αυτόν τον αναμεταδότη έχουν εγκατασταθεί δυο Access points, τα οποία έχουν ρυθμιστεί να λειτουργούν ως σημεία πρόσβασης. Αυτά τα δυο Access points είναι τοποθετημένα σε ένα στεγανό ηλεκτρολογικό κουτί προδιαγραφών IP-65 το οποίο είναι αναρτημένο πάνω στον ιστό των κεραιών 24 και 15dbi αντίστοιχα. Η τροφοδότηση του συστήματος γίνεται από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια σε συνδυασμό με μια μπαταρία. Στην εικόνα 21 φαίνεται το σύστημα του αναμεταδότη.

Το συνολικό μήκος των αποστάσεων κάλυψης των αναμεταδοτών είναι 29,7 Km και η μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ δυο εκ αυτών είναι 14,8 Km. Η ελάχιστη εκπεμπόμενη ισχύς για να επιτευχθεί η σύνδεση μεταξύ του Πανεπιστημίου και του αναμεταδότη που βρίσκεται στο Ελληνικό είναι 40 mW με καλές καιρικές συνθήκες. Με ισχύ εκπομπής 40 mW έχουν επιτευχθεί ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων μέχρι 5 Mbps. Για μια σταθερή σύνδεση δικτύου με ταχύτητα 11 Mbps ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν η ισχύ εκπομπής πρέπει να είναι 100 mW.

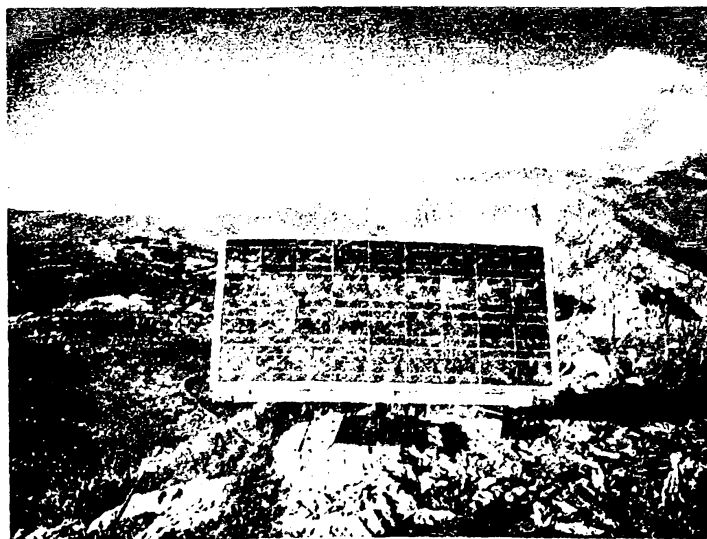




Εικόνα 21: Εγκατάσταση αναμεταδότη στο Ξηροβούνι.

2.2 Το ηλεκτρονικό μέρος του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου

Το σύστημα ιχνηλάτησης[36] του ήλιου κατασκευάστηκε για να βελτιστοποιήσει την απόδοση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί φωτοβολταϊκή γεννήτρια[34] περίπου 20% μικρότερη σε ισχύ έχοντας την επιθυμητή απόδοση. Το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου μπορεί να κινείται αυτόματα στον οριζόντιο άξονα μέχρι 160° και χειροκίνητα στον κάθετο άξονα μέχρι 80° . Τα βασικά μέρη του συστήματος είναι το πλαίσιο στήριξης και περιστροφής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, ο βηματικός κινητήρας με τον μηχανισμό μετάδοσης της κίνησης και τέλος το ηλεκτρονικό κύκλωμα έλεγχου. Στην εικόνα 22 φαίνεται ολοκληρωμένο και τοποθετημένο το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου.

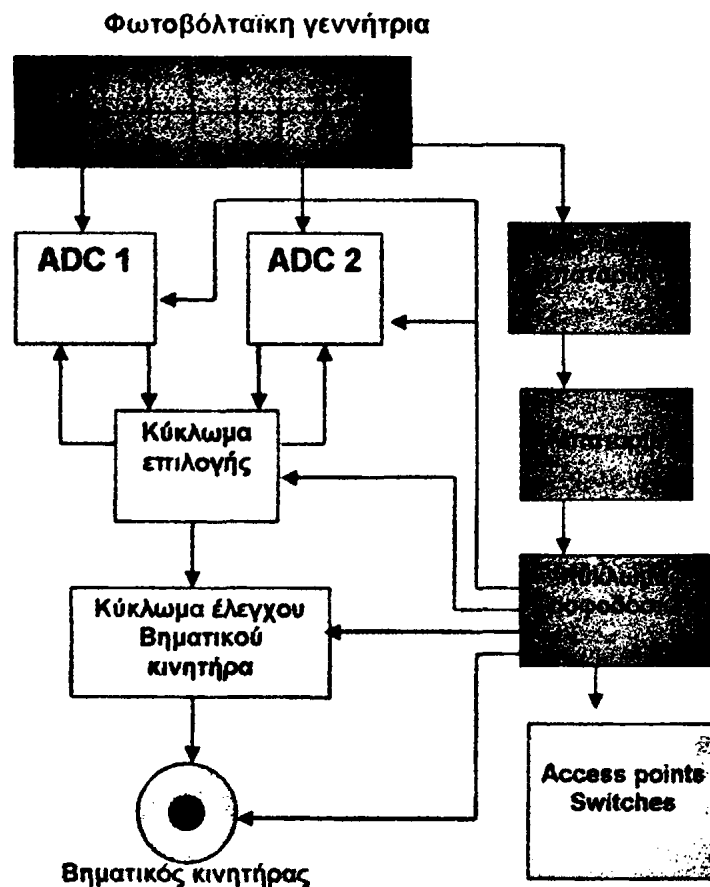


Εικόνα 22. Τοποθετημένο το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου στη περιοχή του Ξηροβουνίου

Το συγκεκριμένο μέρος του συστήματος το οποίο καθορίζει την χρονική στιγμή και κατεύθυνση κίνησης τις φωτοβολταϊκής γεννήτριας [34]. Πέντε ηλεκτρονικά κυκλώματα συνεργάζονται για την παραπάνω λειτουργία:

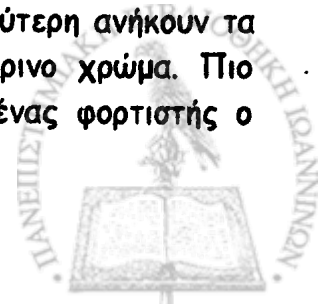
- Το κύκλωμα χρονισμού
- Το κύκλωμα μετατροπής σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό
- Το κύκλωμα επιλογής
- Το κύκλωμα έλεγχου του βηματικού κινητήρα
- Το κύκλωμα φόρτισης της μπαταρίας
- Το κύκλωμα τροφοδοσιών από την μπαταρία

Στην εικόνα 23 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο διασυνδέονται μεταξύ τους όλα τα ηλεκτρονικά μέρη. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα χωρίζονται σε δυο ομάδες.



Εικόνα 23. Διάγραμμα τρόπου διασύνδεσης ηλεκτρονικών μέρων του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου.

Στην πρώτη ανήκουν οι μονάδες των κυκλωμάτων ισχύος οι οποίες απεικονίζονται με πράσινο χρώμα στο διάγραμμα, ενώ στην δεύτερη ανήκουν τα κυκλώματα λογικού έλεγχου τα οποία απεικονίζονται με κίτρινο χρώμα. Πιο συγκεκριμένα στην ομάδα των κυκλωμάτων ισχύος υπάρχει ένας φορτιστής ο



οποίος παίρνει ενέργεια από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια και φορτίζει την μπαταρία. Ο φορτιστής έχει την δυνατότητα να κάνει συνεχόμενη ή διακοπτική φόρτιση ανάλογα με την ισχύ που μπορεί να του παρέχει η φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Το κύκλωμα τροφοδοσιών αντλεί ισχύ από την μπαταρία και τροφοδοτεί τα κυκλώματα ανάλογα με τις απαιτήσεις του καθενός. Στην δεύτερη ομάδα ανήκουν τα κυκλώματα λογικού έλεγχου των οποίων το συντονισμό τον αναλαμβάνει το κύκλωμα επιλογής το οποίο έχει τον έλεγχο του χρονισμού των κυκλωμάτων ADC και του κυκλώματος έλεγχου του βηματικού κινητήρα. Πιο συγκεκριμένα το κύκλωμα επιλογής ελέγχει την τιμή του ADC 1 και αν η τιμή υπερβαίνει ένα όριο δίνει εντολή να κινηθεί δεξιόστροφα ο βηματικός κινητήρας. Με την βοήθεια του κυκλώματος έλεγχου του βηματικού κινητήρα στη συνέχεια ελέγχει την τιμή του ADC 2. Οι τιμές του ADC 1 και του ADC 2 αντιστοιχούν σε δυο διαφορετικές γωνίες της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Στη συνέχεια τις συγκρίνει και αποφασίζει αν ο βηματικός κινητήρας θα εξακολουθήσει να κινείται δεξιά ή αν θα πρέπει να κινηθεί αριστερά. Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται ανά μια ώρα και διαρκεί εβδομήντα δευτερόλεπτα.

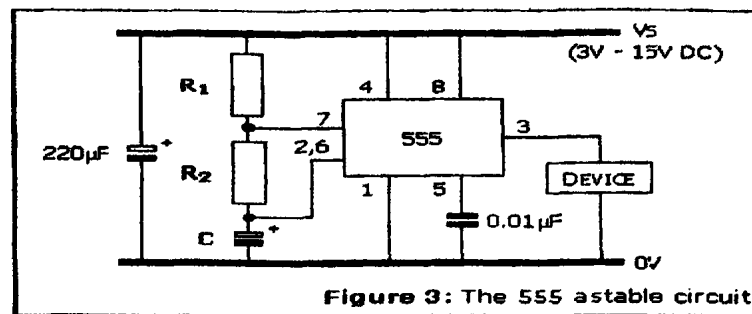
Παρακάτω στα κυρίως μέρος εξηγείται αναλυτικά η λειτουργία των προαναφερθέντων κυκλωμάτων από τα οποία απαρτίζεται το ηλεκτρονικό μέρος του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου .

2.2.1 Το κύκλωμα χρονισμού

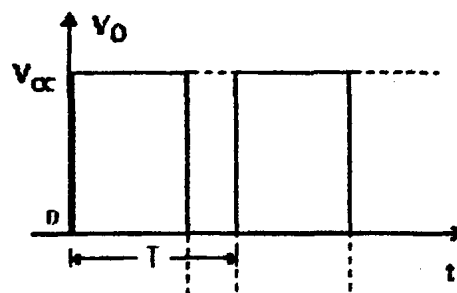
Το κύκλωμα χρονισμού ελέγχει το χρόνο και την διάρκεια κατά την οποία εκτελούνται οι διάφορες λειτουργίες στις υπόλοιπες ηλεκτρονικές διατάξεις. Συγκεκριμένα το κύκλωμα χρονισμού αποτελείται από τρεις χρονιστές NE 555[44] της εταιρίας National semiconductor. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται τα NE 555 αντί κάποιου κρυστάλλου είναι η απαίτηση χαμηλών συχνοτήτων χρονισμού. Το πρώτο κύκλωμα χρονιστή παράγει παλμούς συχνότητας 100Hz το οποίο καθορίζει την ταχύτητα περιστροφής του βηματικού κινητήρα και κάθε παλμός αντιστοιχεί σε ένα βήμα του βηματικού κινητήρα. Το δεύτερο κύκλωμα παράγει παλμούς συχνότητας 0,0003Hz το οποίο καθορίζει το πότε θα κινηθεί το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου. Και τέλος το τρίτο κύκλωμα παράγει παλμούς συχνότητας 1Hz το οποίο οδηγεί τον μετρητή πραγματικού χρόνου στο κύκλωμα επιλογής CPLD[45]. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα NE 555 είναι τοποθετημένα να λειτουργούν σε συνδεσμολογία ασταθούς λειτουργίας. Σε αυτήν την συνδεσμολογία παράγεται μια συνεχής ροή από ορθογώνιους OFF-ON παλμούς όπως φαίνεται



παρακάτω σχήμα 25. Η συχνότητα των παλμών και οι χρόνοι t_1 και t_2 εξαρτώνται από τις τιμές των R_1 , R_2 και C σύμφωνα με τις σχέσεις:



Σχήμα 24. Κύκλωμα χρονιστή NE555



Σχήμα 25. Παλμοσειρά χρονιστή NE555

$$t_1 = 0,693(R_1 + R_2) \times C$$

$$t_2 = 0,693 \times R_2 \times C$$

Η συχνότητα λειτουργίας δίνεται από την σχέση

$$f = \frac{1}{0,693 \times C \times (R_1 + 2R_2)}$$

Όπου τα: t_1 , t_2 είναι σε sec (s), f σε Hz,

R_1 , R_2 σε Ohm (Ω) και C σε Farad (F).

Ο κύκλος εργασίας(Duty Cycle)) δίνεται από τη σχέση:

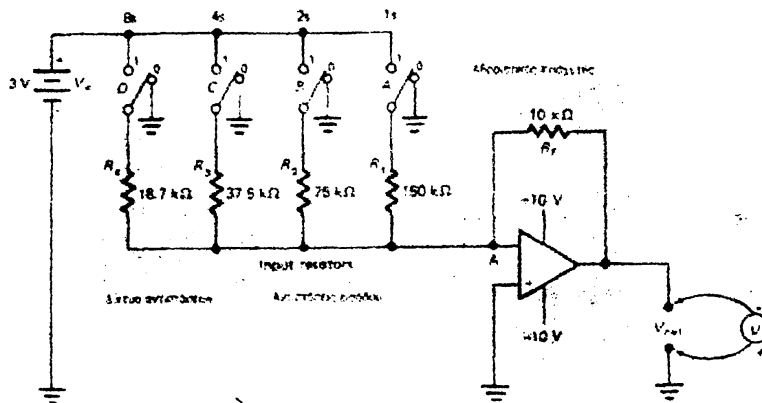
$$D = \frac{t_1}{t_1 + t_2} 100\% = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} 100\%$$

Αν $R_1 \gg R_2$ ο κύκλος εργασίας είναι ο μέγιστος (100%) ενώ αν $R_1 \ll R_2$ ο κύκλος εργασίας είναι ο ελάχιστος και ίσος με 50%.



2.2.2 Το κυκλώμα μετατροπής σήματος

Ένας απλός μετατροπέας από ψηφιακό σε αναλογικό σήμα (Digital to Analog, DAC ή D/A) τεσσάρων ψηφίων φαίνεται στην εικόνα 26. Ο D/A μετατροπέας αποτελείται από δύο τμήματα: Το δίκτυο των αντιστάσεων R_1 , R_2 , R_3 , και R_4 , και τον ενισχυτή άθροισης ο οποίος αποτελείται από έναν τελεστικό ενισχυτή (Operational Amplifier) και μία αντίσταση ανάδρασης. Η είσοδος (V_{in}) είναι 3V και εισέρχεται στους διακόπτες D, C, B, και A. Η τάση εξόδου (V_o) απεικονίζεται σε ένα βολτόμετρο.



Εικόνα 26. Κύκλωμα ενός D/A μετατροπέα.

Ο βασικός μετατροπέας D/A που φαίνεται στην εικόνα 26 έχει δύο μειονεκτήματα. Πρώτον έχει μεγάλη περιοχή τιμών για τις αντιστάσεις και δεύτερον είναι μικρής ακρίβειας γιατί οι αντιστάσεις που απαιτούνται πρέπει να είναι υψηλής ακρίβειας και δεν μπορούν να βρεθούν εμπόριο με υψηλή ακρίβεια.

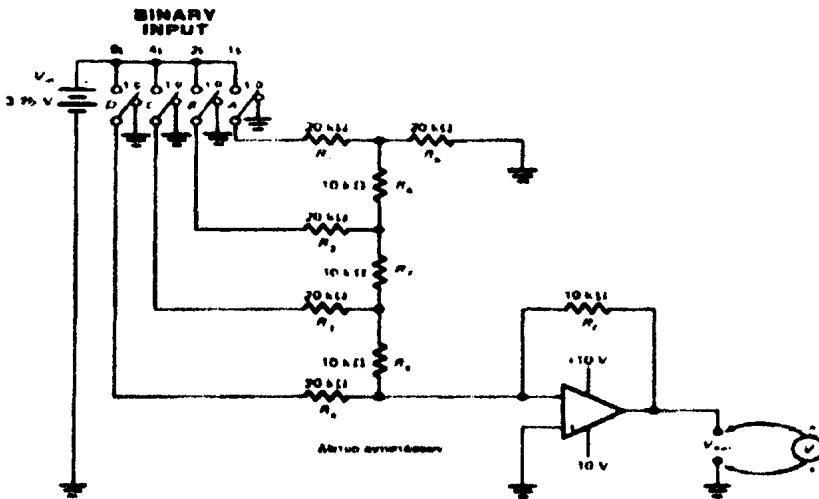
Η εικόνα 27 περιγράφει ένα μετατροπέα D/A κλιμακωτού τύπου. Περιλαμβάνει ένα τύπο δικτύου αντιστάσεων που εφοδιάζει με την κατάλληλη βαρύτητα τις δυαδικές εισόδους. Αυτό το δίκτυο αντιστάσεων ονομάζεται μερικές φορές R-2R κλιμακωτό δίκτυο. Το πλεονέκτημα αυτού του δικτύου είναι ότι μονό δυο τιμές αντιστάσεων χρησιμοποιούνται. Κάθε αντίσταση R_1 , R_2 , R_3 , R_4 και R_5 είναι $20k\Omega$ ενώ κάθε Οι αντίσταση R_6 , R_7 , R_8 και R_f είναι $10k\Omega$. Παρατηρείται ότι όλες οι οριζόντιες αντιστάσεις έχουν διπλάσια τιμή από τις κατακόρυφες. Σ' αυτό οφείλεται και η ονομασία R-2R κλιμακωτό δίκτυο.

Ο ενισχυτής άθροιματος στην εικόνα 27 είναι ίδιος μ' αυτόν της εικόνας 26. Ο πίνακας 3 καθορίζει τη λειτουργία του μετατροπέα D/A. Παρατηρείται ότι σ' αυτόν το μετατροπέα ότι η τάση εισόδου είναι 3.75 V. Κάθε δυαδική μέτρηση αυξάνει την αναλογική έξοδο κατά 0.25 V, όπως φαίνεται στη δεξιά στήλη του πίνακα 3. Φαίνεται ότι κάθε 0 στην πλευρά εισόδου του πίνακα σημαίνει 0 V τροφοδοσία στην είσοδο αυτή. Κάθε 1 στην πλευρά εισόδου του πίνακα σημαίνει

τροφοδοσία 3.75 V στην είσοδο αυτή. Η τάση εισόδου 3.75 V χρησιμοποιείται επειδή είναι συμβατή με το πρότυπο TTL. Έτσι οι εισοδοί (D, C, B, A) στην εικόνα 26 μπορούν να συνδεθούν απευθείας με εξόδους TTL και να λειτουργήσουν σύμφωνα με τον πίνακα 3. Στο μετατροπέα της εικόνας 27 μπορούν να προστεθούν περισσότερες δυαδικές θέσεις (16ς, 32ς, 64ς και πάνω) με την επέκταση του συστήματος των αντιστάσεων.

Πίνακας 3. Είσοδοι έξοδοι μετατροπία ψηφιακού σε αναλογικό

	Digital Input				Analog Output
	D	C	B	A	Volts
Row 1	0	0	0	0	0
Row 2	0	0	0	1	0.2
Row 3	0	0	1	0	0.4
Row 4	0	0	1	1	0.6
Row 5	0	1	0	0	0.8
Row 6	0	1	0	1	1.0
Row 7	0	1	1	0	1.2
Row 8	0	1	1	1	1.4
Row 9	1	0	0	0	1.6
Row 10	1	0	0	1	1.8
Row 11	1	0	1	0	2.0
Row 12	1	0	1	1	2.2
Row 13	1	1	0	0	2.4
Row 14	1	1	0	1	2.6
Row 15	1	1	1	0	2.8
Row 16	1	1	1	1	3.0



Εικόνα 27. Ένας απλός μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό 4-bits

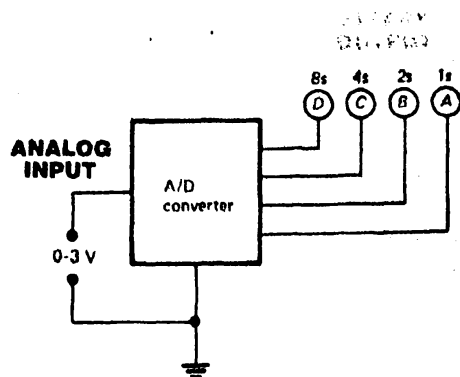
2.2.3 Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Ένας μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Analog to Digital Converter, ADC ή A/D) είναι ένας ειδικός τύπος κωδικοποιητή. Ένα γενικό διάγραμμα ενός μετατροπέα A/D φαίνεται στην εικόνα 28. Η είσοδος είναι μια μεταβλητή τάση μεταξύ 0 και 3 V. Η έξοδος του μετατροπέα A/D είναι σε δυαδικό σύστημα. Ο μετατροπέας A/D μεταφράζει την αναλογική τάση σε δυαδικό αριθμό 4-bit. Ο πίνακας αληθείας 4 δείχνει πως λειτουργεί ο μετατροπέας A/D. Η γραμμή 1 του πίνακα δείχνει ότι υπάρχει 0V στην είσοδο του μετατροπέα και η έξοδος είναι 0000. Η γραμμή 2 δείχνει στην είσοδο 0.2 V και η έξοδος είναι 0001. Παρατηρείται ότι κάθε αύξηση της τάσης εισόδου κατά 0.2 V αυξάνει τη δυαδική μέτρηση κατά 1. Τέλος η γραμμή 16 δείχνει ότι όταν στην είσοδο υπάρχει μέγιστη



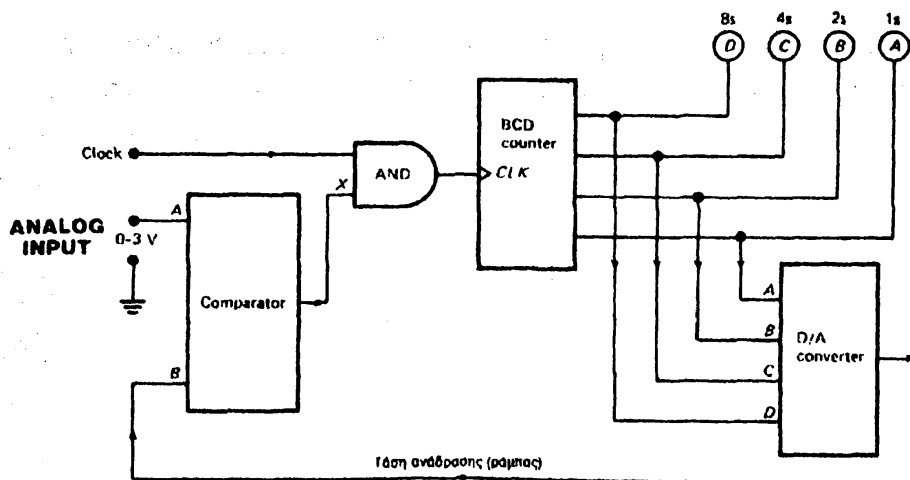
τάση 3 V η έξοδος είναι 1111. Μια σχηματική απεικόνιση μετατροπέα A/D φαίνεται στην εικόνα 28. Ένας μετατροπέας A/D όπως φαίνεται στην εικόνα 29 περιέχει έναν συγκριτή τάσης, μια πύλη AND, έναν δυαδικό μετρητή σε κώδικα BCD και έναν μετατροπέα D/A.

Στην εικόνα 29 ο συγκριτής ελέγχει την τάση που έρχεται από τον μετατροπέα D/A. Εάν η αναλογική τάση εισόδου



Εικόνα 28. Σχηματική απεικόνιση μετατροπέα A/D 4-bits

στην A είναι μεγαλύτερη από την τάση στην είσοδο B του συγκριτή, το clock επιτρέπεται να αυξήσει τη μέτρηση του BCD μετρητή. Η μέτρηση αυξάνεται μέχρι η τάση ανάδρασης από τον μετατροπέα D/A να γίνει μεγαλύτερη από την τάση της αναλογικής εισόδου. Σ' αυτό το σημείο ο συγκριτής εμποδίζει το μετρητή από το να κάνει μεγαλύτερη μέτρηση.



Εικόνα 29. Ένας απλός μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό 4-bits

Πίνακες αληθείας για μετατροπείς σήματος

Πίνακας 4

Πίνακας 5

Table 13-3 Truth Table for A/D Converter

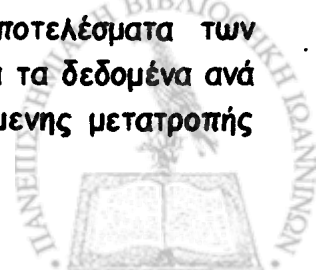
	Analog Input	Binary Output			
	Volts	8s	4s	2s	1s
		D	C	B	A
Row 1	0	0	0	0	0
Row 2	0.2	0	0	0	1
Row 3	0.4	0	0	1	0
Row 4	0.6	0	0	1	1
Row 5	0.8	0	1	0	0
Row 6	1.0	0	1	0	1
Row 7	1.2	0	1	1	0
Row 8	1.4	0	1	1	1
Row 9	1.6	1	0	0	0
Row 10	1.8	1	0	0	1
Row 11	2.0	1	0	1	0
Row 12	2.2	1	0	1	1
Row 13	2.4	1	1	0	0
Row 14	2.6	1	1	0	1
Row 15	2.8	1	1	1	0
Row 16	3.0	1	1	1	1

Binary Input				Analog Output
8s	4s	2s	1s	Volts
D	C	B	A	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0.25
0	0	1	0	0.50
0	0	1	1	0.75
0	1	0	0	1.00
0	1	0	1	1.25
0	1	1	0	1.50
0	1	1	1	1.75
1	0	0	0	2.00
1	0	0	1	2.25
1	0	1	0	2.50
1	0	1	1	2.75
1	1	0	0	3.00
1	1	0	1	3.25
1	1	1	0	3.50
1	1	1	1	3.75

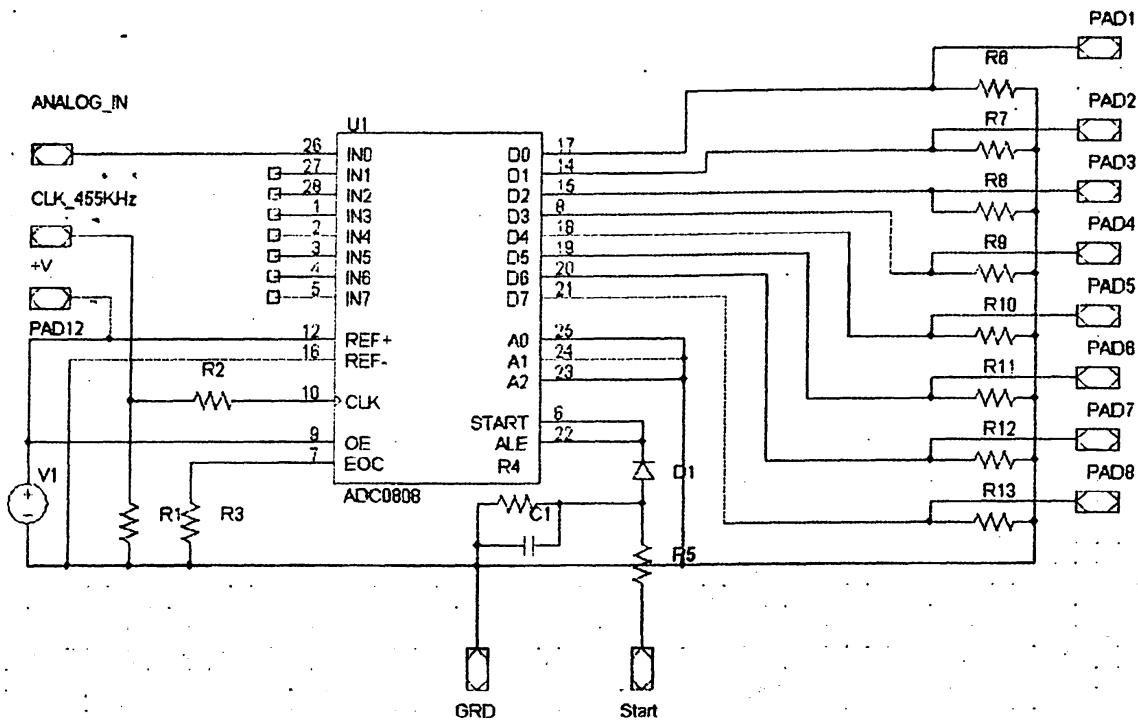
Εξαιτίας της χρονικής υστέρησης που παρατηρείται εσωτερικά στον συγκριτή αλλά και στην ταχύτητα του ρολογιού χρονισμού ότι παίρνει αρκετό χρόνο η μετατροπή της αναλογικής τάσης σε δυαδική έξοδο. Όμως στις περισσότερες περιπτώσεις ο παλμός τρέχει αρκετά γρήγορα και έτσι αυτός ο χρόνος δεν είναι πρόβλημα.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ADC0808CCN [53] National semiconductor[37].

Το κύκλωμα μετατροπής σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό είναι αυτό που μετράει την απόδοση του φωτοβολταϊκού όταν του δοθεί η εντολή από το fpga. Συγκεκριμένα το αντίστοιχο κυκλωμα αποτελείται από δύο ADC0808CCN τα οποία εκτός από την μετατροπή του σήματος παρέχουν και μια παράλληλη προσωρινή μνήμη των οκτώ bits το καθένα. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται ένα μέρος τις μνήμης από το CPLD [38] (25%). Ο ADC λειτουργεί σε κατάσταση αδιάλειπτης μετατροπής και με ένα σήμα έλεγχου τα αποτελέσματα των μετρήσεων στην έξοδο. Επόμενος το CPLD διαβάζει ασύγχρονα τα δεδομένα ανά πάσα στιγμή. Για να λειτουργεί ο ADC σε κατάσταση συνεχόμενης μετατροπής

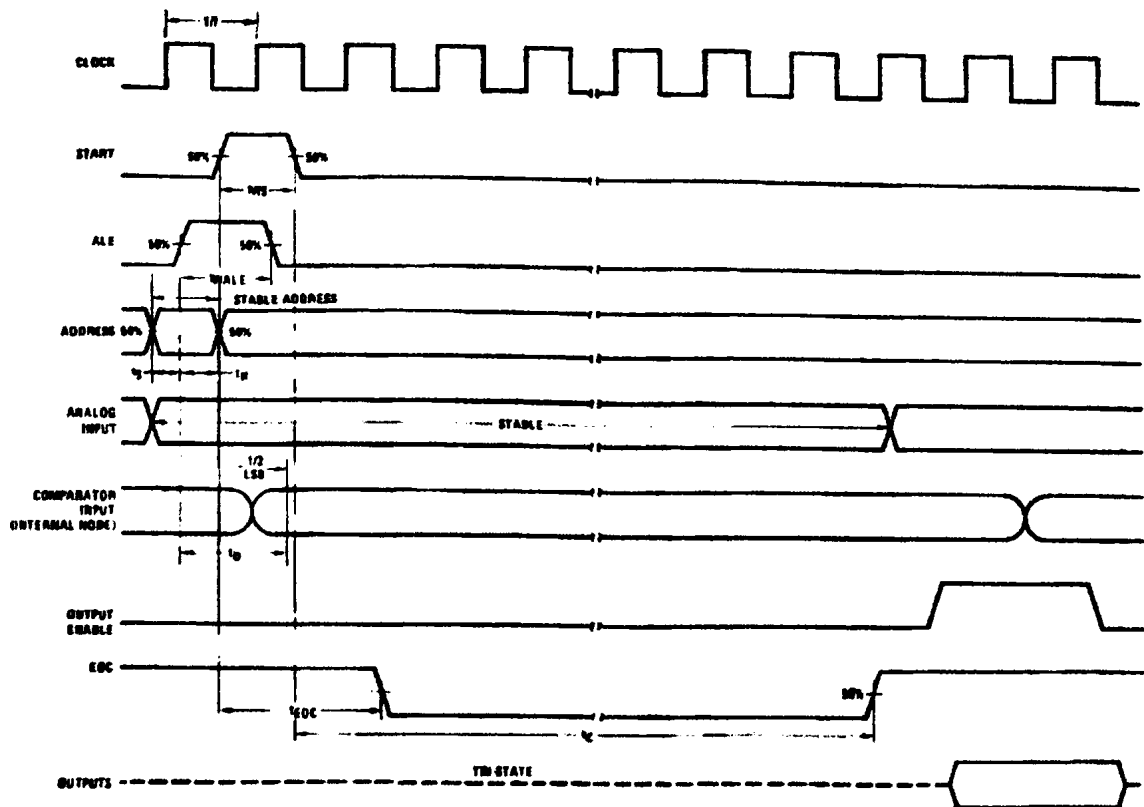


απαιτεί κύκλωμα χρονισμού των 455KHz .Ο χρονισμός αυτός παρέχεται από ένα κύκλωμα με NE555 σε συνδεσμολογία ασταθούς λειτουργίας. Στην εικόνα 30 φαίνεται το κύκλωμα μετατροπής του σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό.



Εικόνα 30. Κύκλωμα μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό 8-bits με χρήση του ολοκληρωμένου ADC0808CCN

Στην είσοδο ANALOG_IN τάση από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Η τιμή της τάσης δειγματοληπτείται κατά την φόρτιση της μπαταρίας δηλαδή ότι υπάρχει ροή ρεύματος, έτσι μπορεί να υπολογισθεί η ισχύς. Η είσοδος με το όνομα CLK δίνει τον χρονισμό της δειγματοληψίας με τετραγωνικό παλμό συχνότητας 455KHz στον ADC. Αυτή η συχνότητα προτείνεται ως ιδανική από τον κατασκευαστή για να λειτουργεί ο ADC σε κατάσταση συνεχόμενης μετατροπής. Η είσοδος με το όνομα Start είναι αυτή η οποία δέχεται την εντολή από το κύκλωμα επιλογής και στην συνέχεια γίνεται η μετατροπή του αναλογικού σήματος εισόδου σε ψηφιακό. Στην εικόνα 31 φαίνεται το διάγραμμα χρονισμού του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ADC0808CCN National semiconductor

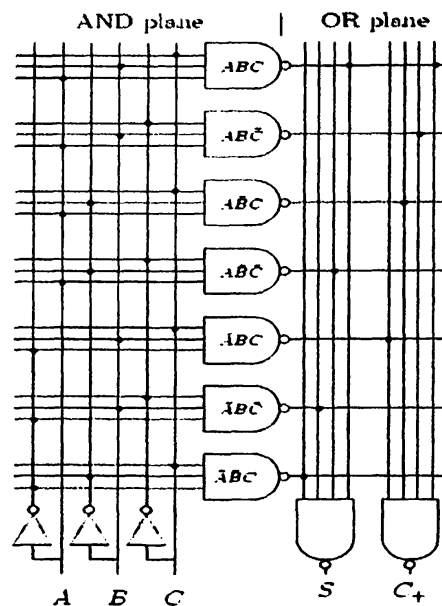


Εικόνα 31. Διάγραμμα χρονισμού του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ADC0808CCN National semiconductor

Η ψηφιακή έξοδος είναι παράλληλη και αποτελείται από 8bits τα οποία στο σχηματικό διάγραμμα είναι τα PAD1(LSB) έως PAD8(MSB). Στη συνέχεια αυτά τα δεδομένα επεξεργάζεται στο κύκλωμα επιλογής με την χρήση ενός $cpld$. Οι ακροδέκτες IN0 έως IN7 είναι οκτώ διαφορετικές αναλογικές εισόδους. Η επιλογή της αναλογικής εισόδου γίνεται από τους ακροδέκτες A0, A1 και A2. Όταν η είσοδος OE βρίσκεται σε λογικό 1, τότε είναι ενεργοποιημένοι οι έξοδοι από το PAD1(LSB) έως PAD8(MSB). Η μέγιστη θετική τάση και η ελάχιστη τάση που μπορεί να επεξεργαστεί ο ADC ορίζονται αντίστοιχα από τους ακροδέκτες REF+ και REF-. Σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή του ολοκληρωμένου κυκλώματος, στην είσοδο Start έχει τοποθετηθεί ένα δίκτυο RC (R4 και C1) για να αποφευχθούν ανεπιθύμητοι σκανδαλισμοί λόγω θορύβου και τέλος η διόδος D1 υπάρχει για να διακόπτει την ροή ρεύματος από το ADC προς τον πυκνωτή C1. Επίσης ο κύκλος εργασίας του τετραγωνικού παλμού της συχνότητας 455KHz, πρέπει να κυμαίνεται από 40% έως 60%. Εάν υπερβεί αυτά τα όρια κατά 10% ο μετατροπέας δίνει μη έγκυρα αποτελέσματα ενώ με μια περαιτέρω υπέρβαση ο μετατροπέας δεν λειτουργεί και θα «κολλήσει» σε ένα λανθασμένο αποτέλεσμα. Αν ο ADC εισέλθει σε μια τέτοια κατάσταση τότε το σύστημα απαιτεί επανεκκίνηση.

2.2.4 Το κύκλωμα επιλογής

Εκτός των ψηφιακών ολοκληρωμένων που υπάρχουν στη αγορά και περιέχουν μια ή περισσότερες ίδιες λογικές πύλες υπάρχουν στην αγορά οικογένειες ολοκληρωμένων (PLA, PAL και GAL) που αποτελούνται από προκαθορισμένα πλέγματα-επίπεδα (planes) από λογικές πύλες (AND, OR και άλλες), συγκεκριμένες εισόδους και εξόδους και ένα σύστημα το οποίο συνδυάζει τις διασυνδέσεις των πυλών για τη υλοποίηση συγκεκριμένων λογικών πράξεων. Αρχικά τους ακροδέκτες των λογικών πυλών γινόταν (κατά μόνιμο τρόπο) με ένα σύστημα ηλεκτρικών ασφαλειών, ενώ στα σύγχρονα ολοκληρωμένα κυκλώματα με άλλους τρόπους ώστε να παρέχεται η δυνατότητα προγραμματισμού των διασυνδέσεων. Μια ενδεικτική διάταξη προγραμματιζόμενης λογικής φαίνεται στην εικόνα 32.



Εικόνα 32 .Ενδεικτικό σχέδιο συστήματος PLA.

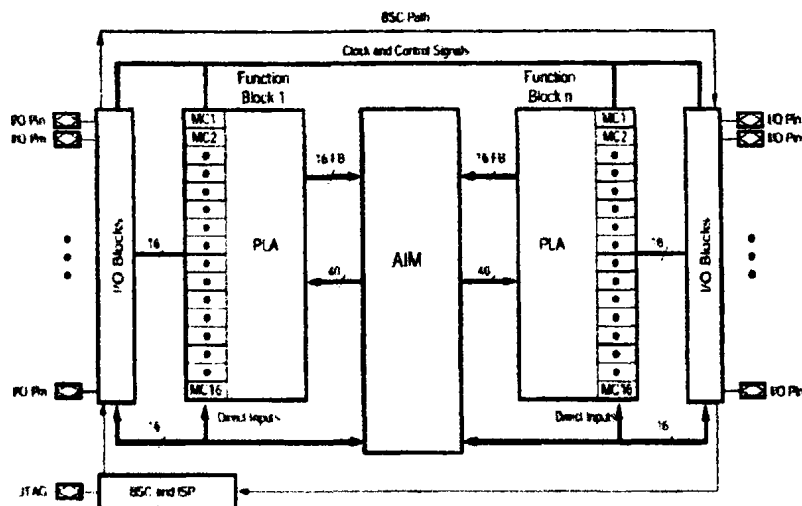
Τα συστήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, δεν χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως αλλά έχουν αντικατασταθεί από τις διατάξεις CPLD (Complex Programmable Logic Device) και FPGA [38](Field Programmable Logic Arrays).

Οι διατάξεις CPLD, γενικά, αποτελούνται από μακροκύτταρα (macrocell) και τμήματα λογικής PLD τα οποία συνδέονται μεταξύ τους μέσω κατάλληλου συστήματος διασυνδέσεων (interconnection matrix).

Τα ολοκληρωμένα της οικογένειας CPLD COOLRUNNER-II της εταιρίας XILINX αποτελούνται από λειτουργικά τμήματα (Function blocks) τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από μακροκύτταρα (macrocells). Τα λειτουργικά τμήματα συνδέονται μεταξύ τους με το σύστημα AIM (Advanced Interconnect Matrix) και

έχουν κατάλληλο σχεδιασμό ώστε κάθε δομικό στοιχείο (p-term) να συνδέεται με κάθε μακροκύτταρο.

Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για το προγραμματισμό του CPLD (ISE της XILINX[39]), συνθέτει και ελέγχει κατάλληλα το σύστημα AIM ώστε να μην απαιτείται εις βάθος κατανόηση του λεπτομερούς του συστήματος. Στην εικόνα 33 φαίνεται η αρχιτεκτονική των CPLDs COOLRUNNER-II της εταιρίας XILINX.



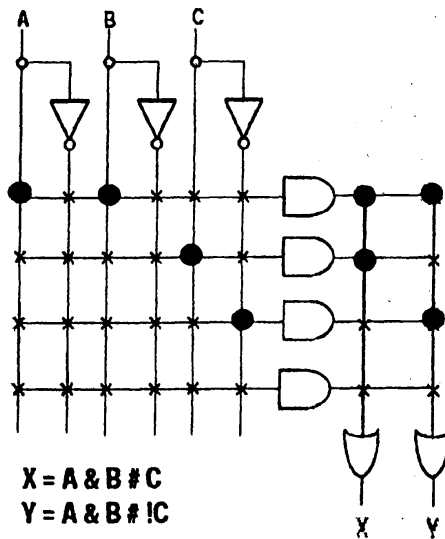
Εικόνα 33. Η αρχιτεκτονική των COOLRUNNER-II της XILINX.

Τα λειτουργικά τμήματα των CPLDs της οικογένειας CoolRunner-II περιέχουν 16 μακροκύτταρα, με 40 σημεία εισαγωγής σημάτων για διασύνδεση και επεξεργασία. Η εσωτερική λογική μονάδα είναι ένα PLA με 56 δομικά στοιχεία μνήμης (p-terms). Τα p-terms, μπορούν να προσάπτονται, σε οποιαδήποτε πύλη OR στα μακροκύτταρα ενός λειτουργικού τμήματος.

Το χαρακτηριστικό αυτό, δίνει τη δυνατότητα της χρήσης του ίδιου στοιχείου μνήμης μέχρι και 16 φορές (16 macrocells/ Function block), με αποτέλεσμα πιο αποδοτική σχεδίαση και υλοποίηση ψηφιακών συστημάτων. Στην εικόνα 34 γίνεται εμφανής η δυνατότητα αυτή των CPLDs CoolRunner-II. Στο δεξιό τμήμα του σχήματος παρουσιάζεται ένα PLA των CoolRunner-II, ενώ στο αριστερό ένα PAL σε κάποιο συμβατικό CPLD.



PLA: Requires only 3 pt's!

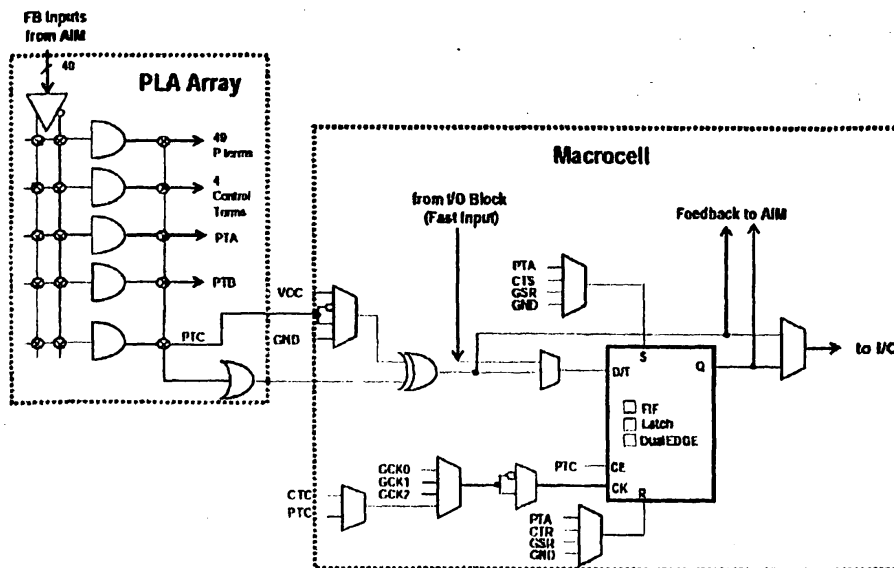


**Common logic may be shared
in CoolRunner-II**

Εικόνα 34. Η κατανομή των λογικών μονάδων PLD των CoolRunner-II.

- Τα μακροκύτταρα (macrocells) των CoolRunner-II

Τα μακροκύτταρα των διατάξεων CoolRunner-II αποτελούν το δομικό λίθο της λογικής των CPLD. Κάθε μακροκύτταρο μπορεί να λειτουργήσει ως ένα FLIP-FLOP και μπορεί να συγχρονιστεί είτε με τοπικό χρονισμό είτε με τον γενικό χρονισμό του συστήματος. Στην εικόνα 35 φαίνεται ένα μακροκύτταρο του CoolRunner-II, καθώς και η τοπολογία της σύνδεσής του με το τμήμα των PLA. Όταν ορισθεί σαν D-flip-flop, κάθε μακροκύτταρο έχει ένα προαιρετικό σήμα ενεργοποίησης χρονισμού (clock enable) το οποίο επιτρέπει τη συγκράτηση της παρούσας κατάστασης ενώ το σήμα χρονισμού λειτουργεί κανονικά.



Εικόνα 35. Το μακροκύτταρο (macrocell) στα CPLD COOLRUNNER

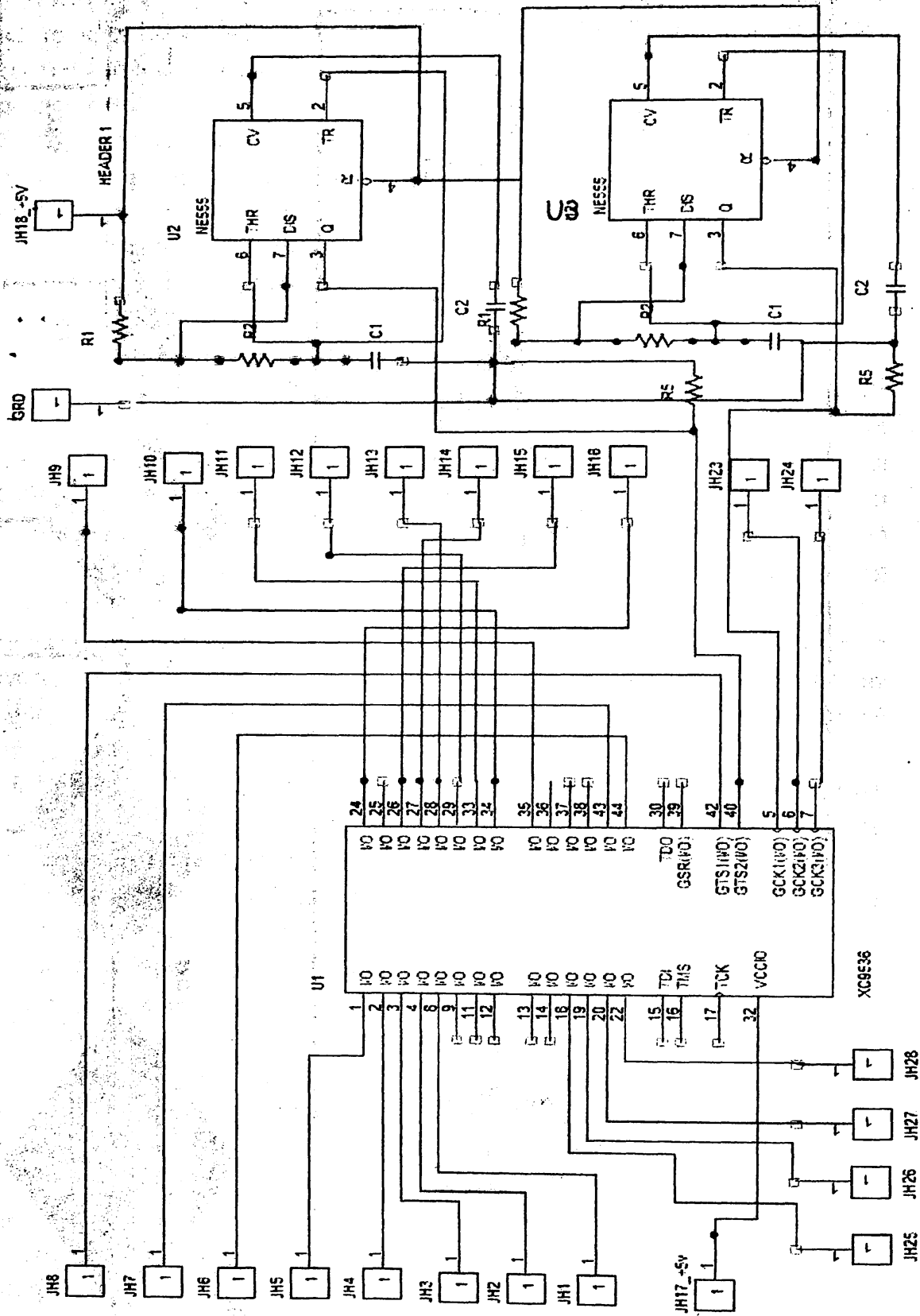


Στη συνέχεια θα αναλύσουμε το τρόπο λειτουργίας του κυκλώματος επιλογής το οποίο βασίζεται πάνω σε ένα CPLD XC9536 της εταιρίας Xilinx.

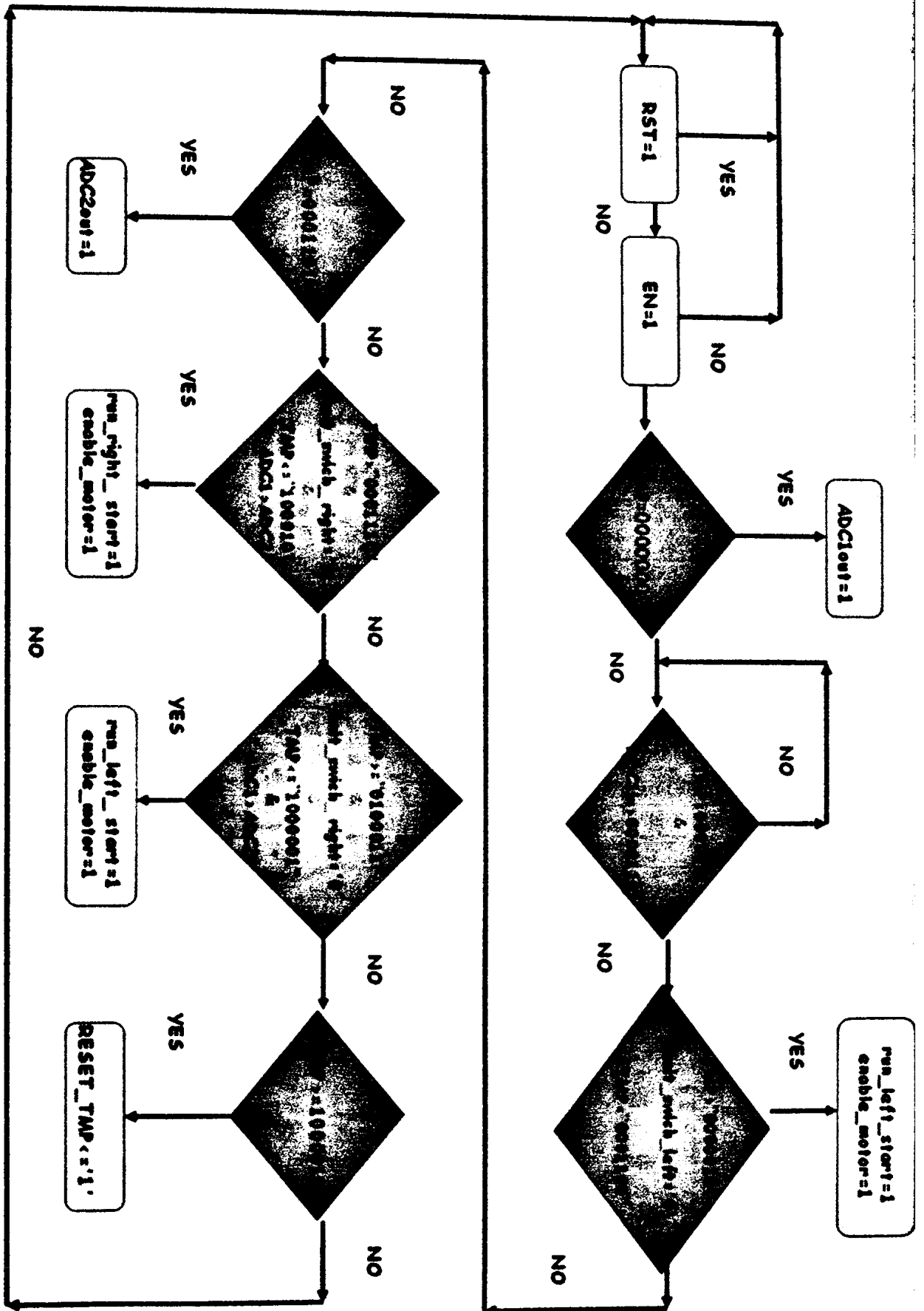
Το κύκλωμα επιλογής είναι προς πια κατεύθυνση θα κινηθεί το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου. Πιο συγκεκριμένα το κύκλωμα επιλογής δειγματολήπτη τον ADC 1 και αν η τιμή υπερβαίνει ένα όριο το οποίο δηλώνει ότι έχει ξημερώσει τότε δίνει εντολή να κινηθεί αριστερόστροφα ο βηματικός κινητήρας για δέκα δευτερόλεπτα που αντιστοιχεί σε 15° με την βοήθεια του κυκλώματος έλεγχου του κινητήρα. Στη συνέχεια το κύκλωμα επιλογής δειγματολήπτη τον ADC 2. Με την σύγκριση των δυο τιμών αποφασίζει αν ο βηματικός κινητήρας θα εξακολουθήσει να κινείται προς τα αριστερά για αλλά δέκα δευτερόλεπτα, ή αν θα πρέπει να κινηθεί προς τα δεξιά για είκοσι δευτερόλεπτα. Αυτή η διαδικασία εκτελείται ανά μια ώρα και διαρκεί εξήντατέσσερα δευτερόλεπτα.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 36 το κύκλωμα αποτελείται από δυο χρονοστές NE555 και ένα CPLD XC9536. Οι χρονοστές λειτουργούν σε κατάσταση ασταθούς λειτουργίας. Η συχνότητα του χρονοστή U2 είναι 1Hz με κύκλο λειτουργίας 50%. Αυτός δίνει τους παλμούς αναφοράς στον μετρητή του cpld. Η συχνότητα του χρονοστή U3 είναι 0,003 Hz με κύκλο λειτουργίας 1,5%. Ο U3 δίνει την εντολή ανά μια ώρα να λειτουργήσει το σύστημα επιλογής. Το CPLD U1 κάνει την κεντρική διαχείριση του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου. Συγκεκριμένα στις εισόδους JH1 έως JH7 δέχεται τη ψηφιακή είσοδο από τον πρώτο μετατροπέα σήματος, ενώ στις εισόδους JH9 έως JH16 δέχεται τη ψηφιακή είσοδο από τον δεύτερο μετατροπέα σήματος. Το U1 δίνει εντολές στο κύκλωμα έλεγχου του βηματικού κινητήρα. Ο έλεγχος του κυκλώματος έλεγχου του βηματικού κινητήρα πραγματοποιείται μέσω μέσω των εξόδων JH25 και JH28 ενώ οι διακόπτες μέγιστης θέσης συνδέονται στις εξόδους JH23 και JH24. Παρακάτω φαίνεται το ηλεκτρονικό σχεδιάγραμμα μέρος του κυκλώματος επιλογής και το διάγραμμα ροής (εικόνα 37) του κυκλώματος επιλογής. Στο παράρτημα I βρίσκονται οι κατόψεις του κυκλώματος επιλογής, ενώ στο παράρτημα III βρίσκεται ο κώδικας του κυκλώματος του CPLD σε γλώσσα προγραμματισμού VHDL.





Εικόνα 36: Σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος επιλογής



Εικόνα 37: Διάγραμμα ροής του κυκλώματος επιλογής



Η λειτουργία του λογισμικού του κυκλώματος επιλογής είναι η παρακάτω. Αρχικά το πρόγραμμα ελέγχει τη μεταβλητή RST (RESET). Αυτή η μεταβλητή ελέγχει την επανεκκίνηση του προγράμματος. Σε περίπτωση που ισούται με '1' το πρόγραμμα πραγματοποιεί επανεκκίνηση και ελέγχει εκ νέου την τιμή της μεταβλητής. Αν είναι '0' το λογισμικό ελέγχει την επόμενη τιμή παραμέτρου, επ, η οποία αν είναι '0' γίνεται επανεκκίνηση στο πρόγραμμα. Αν είναι '1' συνεχίζει ελέγχοντας την παράμετρο του χρονιστή TMP (TIMER). Στην τιμή του χρονιστή 0000000B δίνει εντολή στο μετατροπέα από ψηφιακό σε αναλογικό σήμα (ADC1out=1). Έπειτα ο χρονιστής αυξάνει κατά ένα δηλαδή TMP=0000001B ελέγχει αν η τιμή του ADC1in είναι μεγαλύτερη από 0000111B. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε για να καταλαβαίνει την το cpld το ξημέρωμα και την δύση του ήλιου, έτσι δεν λειτουργεί άσκοπα ο βηματικός κινητήρας τη νυχτα. Αν η τιμή του TMP δεν είναι 0000111B τότε ελέγχεται ξανά η τιμή. Αλλιώς ελέγχεται η επόμενη συνθήκη, κατά την οποία όσο ο χρονιστής TMP έχει τιμή μεταξύ 0000010B και 0001100B (χρόνος 10 δευτερόλεπτων) και η μεταβλητή limit_swich_left έχει τιμή '0' τότε οι μεταβλητές run_left_start και enable_motor παίρνουν την τιμή '1', έτσι ο κινητήρας περιστρέφεται αριστερά για 10 δευτερολεπτα. Η μεταβλητή limit_swich_left ελέγχει αν το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου βρίσκεται στη μέγιστη γωνία προς τα αριστερά ώστε αν βρεθεί εκεί να αποτρέπει τη λειτουργία του κινητήρα προς τα αριστερά. Ο έλεγχος του βηματικού κινητήρα γίνεται με την μεταβλητή enable_motor ενώ η κίνηση προς τα αριστερά με την μεταβλητή run_left_start.

Μόλις ο χρονιστής TMP πάρει την τιμή 0001101B τότε η μεταβλητή ADC2out γίνεται ίση με '1'. Η μεταβλητή ADC2out ενεργοποιεί τον μετατροπέα από ψηφιακό σε αναλογικό σήμα ADC2out.

Όταν ο χρονιστής TMP έχει τιμές μεταξύ 0001110B και 100010B (χρόνος 20 δευτερόλεπτων) και η μεταβλητή limit_swich_right έχει τιμή '0' και η ACD1in έχει μεγαλύτερη τιμή από τη ACD2in, τότε οι μεταβλητές run_right_start και enable_motor παίρνουν την τιμή '1', έτσι ο κινητήρας περιστρέφεται δεξιά για 20 δευτερολεπτα . Η μεταβλητή limit_swich_right ελέγχει (με παραπλήσιο τρόπο όπως η μεταβλητή limit_swich_left) αν το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου βρίσκεται στη μέγιστη γωνία προς τα δεξιά ώστε αν βρεθεί εκεί να αποτρέπει τη λειτουργία του κινητήρα προς τα δεξιά. Ο έλεγχος του βηματικού κινητήρα γίνεται με την μεταβλητή enable_motor ενώ η κίνηση προς τα δεξιά με την μεταβλητή run_right_start.

Όταν ο χρονιστής TMP έχει τιμές μεταξύ 0100011B και 1000001B (χρόνος 30 δευτερόλεπτων) και η μεταβλητή limit_swich_left έχει τιμή '0' και η ACD1in έχει μεγαλύτερη τιμή από τη ACD2in, τότε οι μεταβλητές run_left_start και enable_motor παίρνουν την τιμή '1', έτσι ο κινητήρας περιστρέφεται αριστερά για 30 δευτερολεπτα .

Αλλιώς αν ο χρονιστής TMP έχει τιμή μεγαλύτερη ή ίση από 1000010B τότε η μεταβλητή RESET_TMP παίρνει την τιμή '1', οπότε και γίνεται επανεκκίνηση του προγράμματος. Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται μια διόρθωση της θέσης είναι 66 δευτερόλεπτα. Η λειτουργία της διόρθωσης θέσης εκτελείται ανά δυο ώρες.

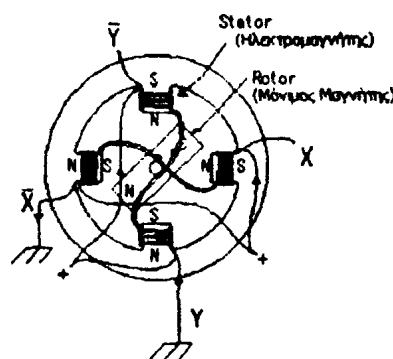
Στο παράρτημα ΙΙ βρίσκεται ο κώδικας του προγράμματος σε γλώσσα προγραμματισμού VHDL. Για την ευκολότερη κατανόηση του κώδικα VHDL, παρακάτω παρουσιάζεται μια συνοπτική παρουσίαση της γλώσσας προγραμματισμού VHDL.

2.2.5 Το κύκλωμα έλεγχου του βηματικού κινητήρα

Οι βηματικοί κινητήρες [40] είναι κατασκευασμένοι για να κινούνται κατά 'βήματα'. Στους βηματικούς κινητήρες υπάρχει ένας μόνιμος μαγνήτης που λέγεται ρότορ, και πηνία που ονομάζονται στάτορ. Στην εικόνα 38, παρουσιάζεται ένας τετραπολικός βηματικός κινητήρας του οποίου το βήμα είναι 90 μοίρες.

Στους τετραπολικούς κινητήρες, κάθε δύο απέναντι πηνία λειτουργούν σαν ζεύγη. Δηλαδή το πηνίο x και το πηνίο \bar{x} όπως και το y με το \bar{y} λειτουργούν ταυτόχρονα με αντίθετη όμως μαγνητική ροή. Η περιστροφή του κινητήρα, γίνεται με την ροή ρεύματος μέσα από τα πηνία x , \bar{x} , y και \bar{y} .

Η ταχύτητα περιστροφής όπως και η φορά, ελέγχονται με συνδυασμό παλμικών ρευμάτων που ρέουν μέσα από τα δύο αυτά ζεύγη πηνίων.



Εικόνα 38. Τετραπολικός βηματικός κινητήρας

Τα πηνία x , \bar{x} , y και \bar{y} οδηγούνται δεξιόστροφα με τις παλμοσειρές που φαίνονται στον πίνακα 6 για κάθε βήμα.



Πίνακας 6. Δεξιόστροφη κίνηση

X	\bar{X}	Y	\bar{Y}	Μοίρες ανά βήμα
0	1	0	1	0°
1	0	0	1	90°
1	0	1	0	180°
0	1	1	0	270°

"0" = Λογικό 0 - "1" = Λογικό 1

Τα πηνία X, \bar{X} , Y και \bar{Y} οδηγούνται αριστερόστροφα με τις παλμοσειρές που φαίνονται στον πίνακα 7 για κάθε βήμα.

Πίνακας 7. Αριστερόστροφη κίνηση

X	\bar{X}	Y	\bar{Y}	Μοίρες ανά βήμα
0	1	0	1	0°
0	1	1	0	-90°
1	0	1	0	-180°
1	0	0	1	-270°

"0" = Λογικό 0 - "1" = Λογικό 1

Οι βηματικοί κινητήρες

- Σε αντίθεση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, δεν χρειάζεται φρένα για να μένει ακίνητος ή για να επιβραδυνθεί.
- Στις μικρές ταχύτητες περιστροφής, αλλά και κατά την εκκίνησή του, παράγει μεγάλες τιμές ροπής.
- Είναι πολύ αξιόπιστος, καθώς για τη λειτουργία του δεν απαιτούνται κινούμενες ηλεκτρικές επαφές, όπως στον κινητήρα συνεχούς ρεύματος και έτσι η διάρκεια ζωής του εξαρτάται γενικά από την αξιοπιστία του εδράνου κύλισης.
- Δεν απαιτείται πάντα χρήση αισθητήρων και κυκλωμάτων ανάδρασης για τον προσδιορισμό της θέσης του άξονα κίνησης.
- Μπορεί να επιτύχει πολύ χαμηλές ταχύτητες περιστροφής έχοντας μεγάλη ροπή.

Αλλά οι βηματικοί κινητήρες

- Έχουν θορυβώδη λειτουργία.
- Έχουν αδυναμία περιστροφής σε υψηλές ταχύτητες.
- Κατά τη μετακίνηση φορτίων μεγάλης μάζας μπορεί να μη σταματήσει ακαριαία ο κινητήρας, λόγω της αυξημένης αδράνειας.

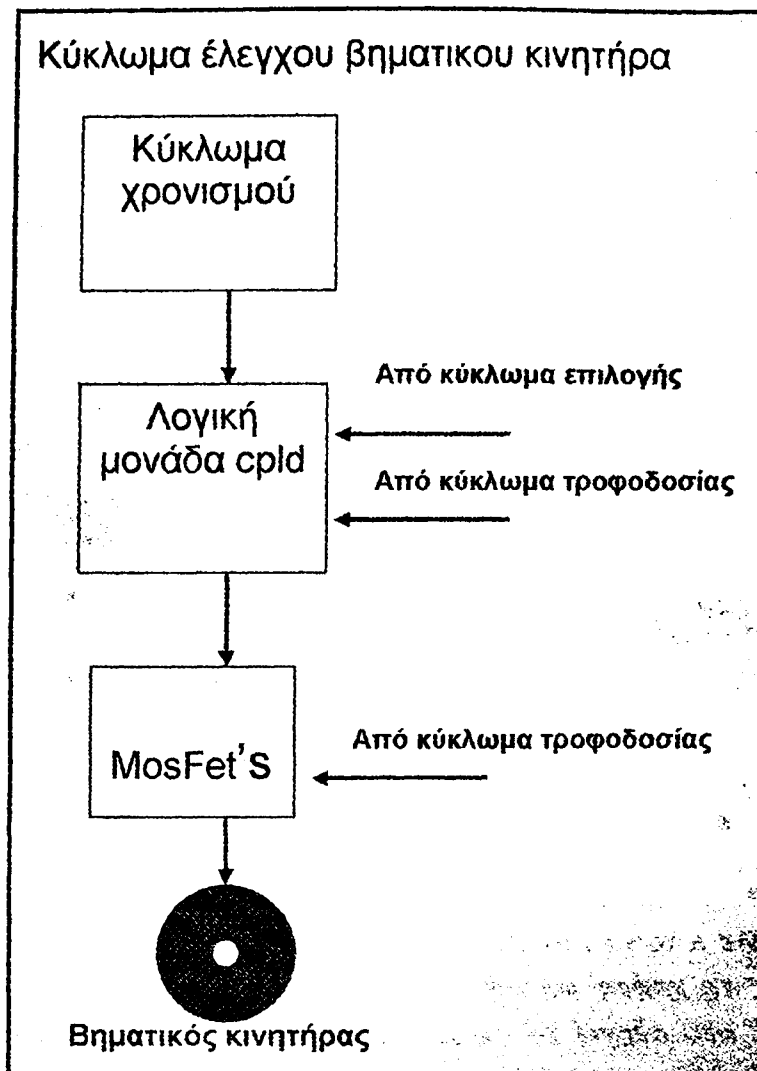
Τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν τους βηματικούς ηλεκτροκινητήρες είναι:

- Ο αριθμός των βημάτων (steps)

- Ο αριθμός των πηνίων τροφοδοσίας (το 95% των βηματικών κινητήρων έχει 4 πηνία).
- Η τάση λειτουργίας, που μετράται σε Volts
- Η ένταση του ρεύματος, μετράται σε Amps και είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον κινητήρα όταν αυτός λειτουργεί.
- Ταχύτητα, σε βήματα ανά δευτερόλεπτο. Πρόκειται για την ταχύτητα περιστροφής του άξονα του κινητήρα, όταν αυτός λειτουργεί υπό κανονική ηλεκτρική τάση και με δεδομένο φορτίο.
- Ροπή, μετράται σε Nm (Newton meters) και είναι η ροπή που έχει ο κινητήρας στις διάφορες ταχύτητες περιστροφής του. Η μέγιστη τιμή ροπής του, που ονομάζεται ροπή ακινητοποίησης, είναι η ροπή που παράγει όταν το φορτίο που αντιμετωπίζει είναι τόσο μεγάλο, ώστε να τον ακινητοποιεί.

Το σύστημα έλεγχου του βηματικού κινητήρα χωρίζεται σε τρία βασικά υποκυκλώματα τα οποία είναι το κύκλωμα χρονισμού, το κύκλωμα λογικού ελέγχου και το κύκλωμα ισχύος. Το κύκλωμα χρονισμού αποτελείται από έναν χρονιστή NE555 της National semiconductor[37] Ο οποίος λειτουργεί σε κατάσταση ασταθούς λειτουργίας παράγοντας τετραγωνικούς παλμούς συχνότητας 100Hz με κύκλο λειτουργίας 50%. Το κύκλωμα λογικού ελέγχου αποτελείται από ένα cpld XC9536 της εταιρίας Xilinx[39], που παίρνει τις εντολές από το κύκλωμα λογικού ελέγχου, τις επεξεργάζεται και στην συνέχεια δίνει τις κατάλληλες εντολές στο κύκλωμα ισχύος, το οποίο αποτελείται από μια συστοιχία τεσσάρων MosFet. Στο εικόνα 39 φαίνεται η διασύνδεση των υπομονάδων του κυκλώματος έλεγχου του βηματικού κινητήρα.

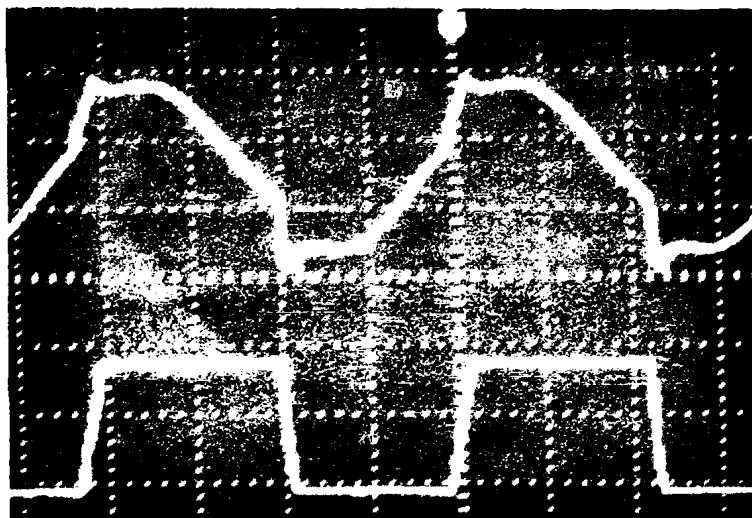




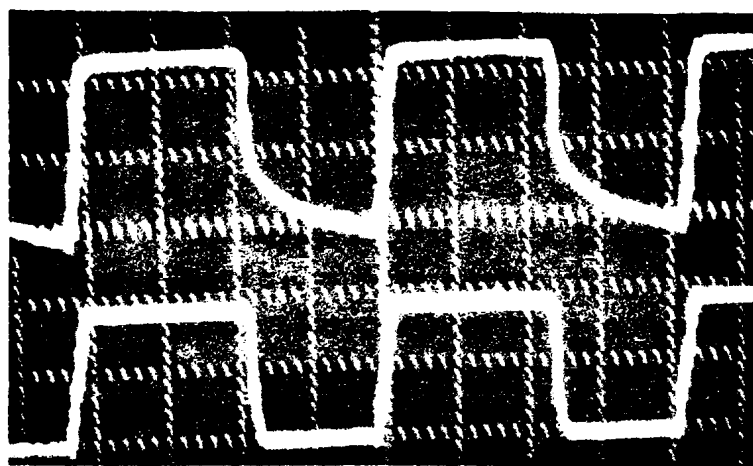
Εικόνα 39. Κύκλωμα έλεγχου του βηματικού κινητήρα

Το κύκλωμα ελέγχου του βηματικού κινητήρα παίρνει την εντολή από το κύκλωμα επιλογής για να κινήσει το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου. Πιο συγκεκριμένα η επικοινωνία των δυο κυκλωμάτων γίνεται από τρεις διεπαφές όπως φαίνεται στο εικόνα 39. Η EN καθορίζει αν θα είναι ενεργοποιημένο το κύκλωμα ελέγχου του βηματικού. Η L/R καθορίζει την φορά κίνησης του βηματικού κινητήρα και κατά συνέπεια καθορίζει την φορά του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου. Τέλος η διεπαφή με το όνομα R μηδενίζει τον εσωτερικό μετρητή του CDLP. Όπως φαίνεται στην εικόνα 42 στο cpld υπάρχουν τέσσερις έξοδοι οι οποίοι οδηγούν από ένα MosFet. Στα MosFet μεταξύ πηγής και απαγωγού υπάρχει ένα φίλτρο προστασίας από υπερτάσεις που δημιουργούνται στον βηματικό κινητήρα εξαιτίας των πηνίων του που είναι σε ζεύξη. Η απουσία του φίλτρου στα αρχικά στάδια της κατασκευής του κυκλώματος οδηγούσε στην καταστροφή των MosFet. Το φαινόμενο της υπέρτασης χωρίς φίλτρο απεικονίζεται στην εικόνα 40 ενώ στην εικόνα 41 φαίνεται η εξομάλυνση και η μείωση των υπερτάσεων λόγο του φίλτρου. Επίσης στα MosFet μεταξύ πηγής και απαγωγού υπάρχει και μια δίοδος ανάστροφα πολωμένη για να προστατεύεται η επαφή του MosFet από ανάστροφα ρεύματα που δημιουργεί ο βηματικός κινητήρας

κατά την περιστροφή του. Όσο πιο ταχύτερα περιστρέφεται ο κινητήρας τόσο μεγαλύτερες είναι αιχμές τάσεων που δημιουργεί. Το φίλτρο είναι σχεδιασμένο για την αυτεπαγωγή του συγκεκριμένου βηματικού κινητήρα και μπορεί να τον υποστηρίξει μέχρι ταχύτητες 500 βημάτων ανά δευτερόλεπτο.

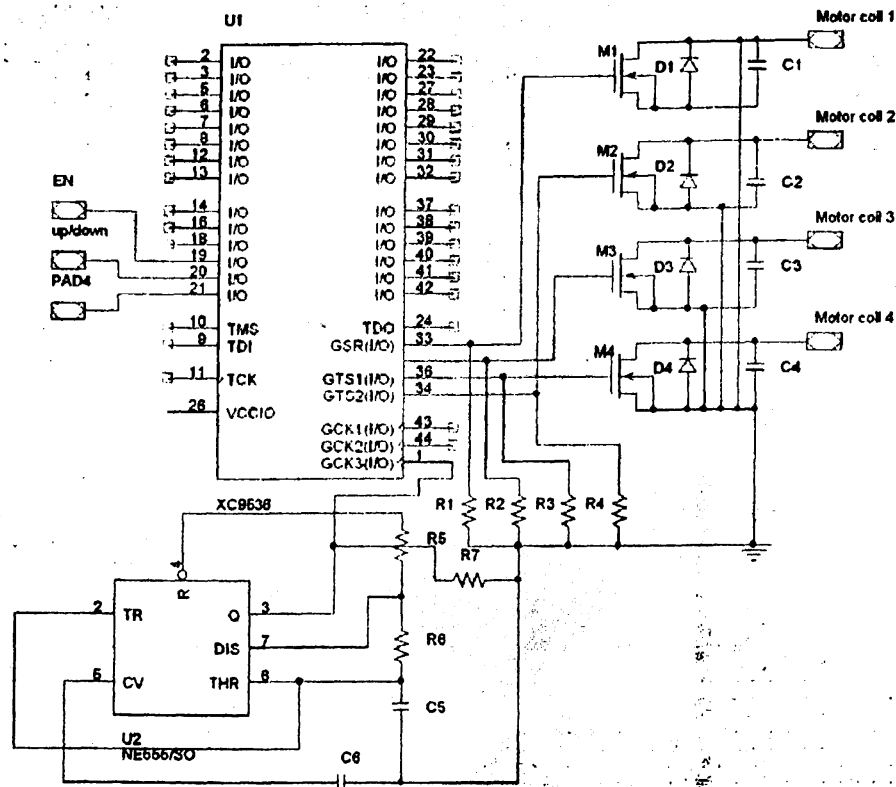


Εικόνα 40. Με κίτρινο απεικονίζεται η τάση στο πηνίο του βηματικού κινητήρα χωρίς τη χρήση φίλτρου. Με πράσινο απεικονίζεται η τάση στη πύλη του mosfet που οδηγεί το βηματικού κινητήρα χωρίς τη χρήση φίλτρου.



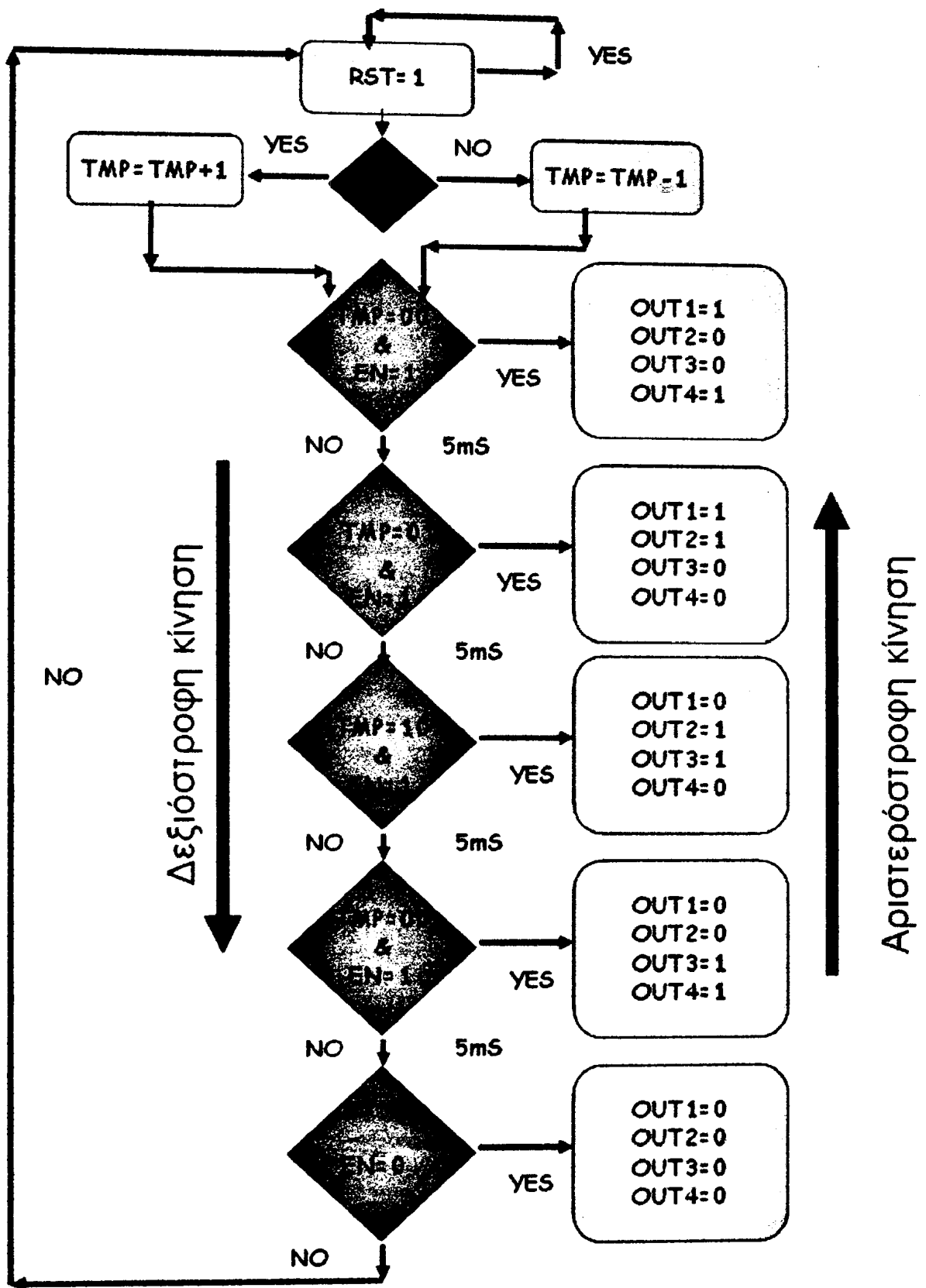
Εικόνα 41. Με κίτρινο απεικονίζεται η τάση στο πηνίο του βηματικού κινητήρα με τη χρήση φίλτρου. Με πράσινο απεικονίζεται η τάση στη πύλη του mosfet που οδηγεί το βηματικό κινητήρα με τη χρήση φίλτρου.





Εικόνα 42. Σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος ελέγχου του βηματικού κινητήρα

Στην εικόνα 43 φαίνεται το διάγραμμα ροής του κυκλώματος ελέγχου του βηματικού κινητήρα ενώ στο παράρτημα II βρίσκεται ο κώδικας του προγράμματος σε γλώσσα προγραμματισμού VHDL μαζί με τα σχόλια. Όπως φαίνεται στην εικόνα 42 ο κορμός του προγράμματος είναι ο χρονιστής TMP. Οι έξοδοι OUT1,OUT2,OUT3,OUT4 παίρνουν ψηφιακές τιμές TTL με βάση τη τιμή που έχει ο TRM. Η ταχύτητα περιστροφής του βηματικού κίνητρα εξαρτάται από το πόσο γρήγορα αλλάζει τιμές ο TRM και κατά συνέπεια και οι έξοδοι OUT1,OUT2,OUT3,OUT4.



Εικόνα 43: Διάγραμμα ροής του κυκλώματος ελέγχου του βηματικού κινητήρα

Το διάγραμμα ροής του βηματικού κινητήρα επεξηγείται παρακάτω. Αν η μεταβλητή RST δεχθεί τιμή '1' τότε γίνεται επανέλεγχος μέχρι να πάρει τιμή '0'. Μόλις δεχθεί τιμή '0', τότε ελέγχεται αν η μεταβλητή UP έχει τιμή '1'. Αν έχει, τότε ο TMP αυξάνεται κατά 1, ενώ αν δεν έχει τιμή '1' ο χρονιστής TMP μειώνεται κατά 1.

Στη συνέχεια, χωρίς να έχει σημασία τι τιμή θα πάρει η μεταβλητή UP, ελέγχεται αν ο χρονιστής TMP είναι 00 και η μεταβλητή EN έχει τιμή '1'. Αν ισχύει η συνθήκη, τότε οι μεταβλητές OUT1 και OUT4 παίρνουν τιμή '1' και οι μεταβλητές OUT2 και OUT3 δέχονται τιμή '0'.

Αν δεν ισχύει η συνθήκη τότε ελέγχεται αν ο χρονιστής TMP είναι 01 και EN είναι '1'. Στην περίπτωση που ισχύει, οι μεταβλητές OUT1 και OUT2 παίρνουν τιμή '1' και οι μεταβλητές OUT3 και OUT4 δέχονται τιμή '0'.

Στην περίπτωση που δεν ισχύει, ελέγχεται αν ο χρονιστής TMP είναι 10 και EN είναι '1'. Όταν ισχύει, οι μεταβλητές OUT2 και OUT3 παίρνουν τιμή '1' και οι μεταβλητές OUT1 και OUT4 δέχονται τιμή '0'.

Όταν η συνθήκη είναι ψευδής, τότε γίνεται έλεγχος αν ο χρονιστής TMP είναι 11 και EN είναι '1'. Αν ισχύει η συνθήκη, τότε οι μεταβλητές OUT3 και OUT4 παίρνουν τιμή '1' και οι μεταβλητές OUT1 και OUT2 δέχονται τιμή '0'.

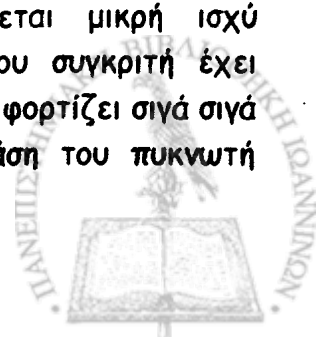
Τέλος αν η μεταβλητή EN έχει τιμή '0', τότε οι μεταβλητές OUT1, OUT2, OUT3 και OUT4 παίρνουν τιμή '0'. Σε άλλη περίπτωση το λογισμικό πραγματοποιεί επανεκκίνηση.

2.2.6 Τα κύκλωμα φόρτισης και τροφοδοσιών από την μπαταρία

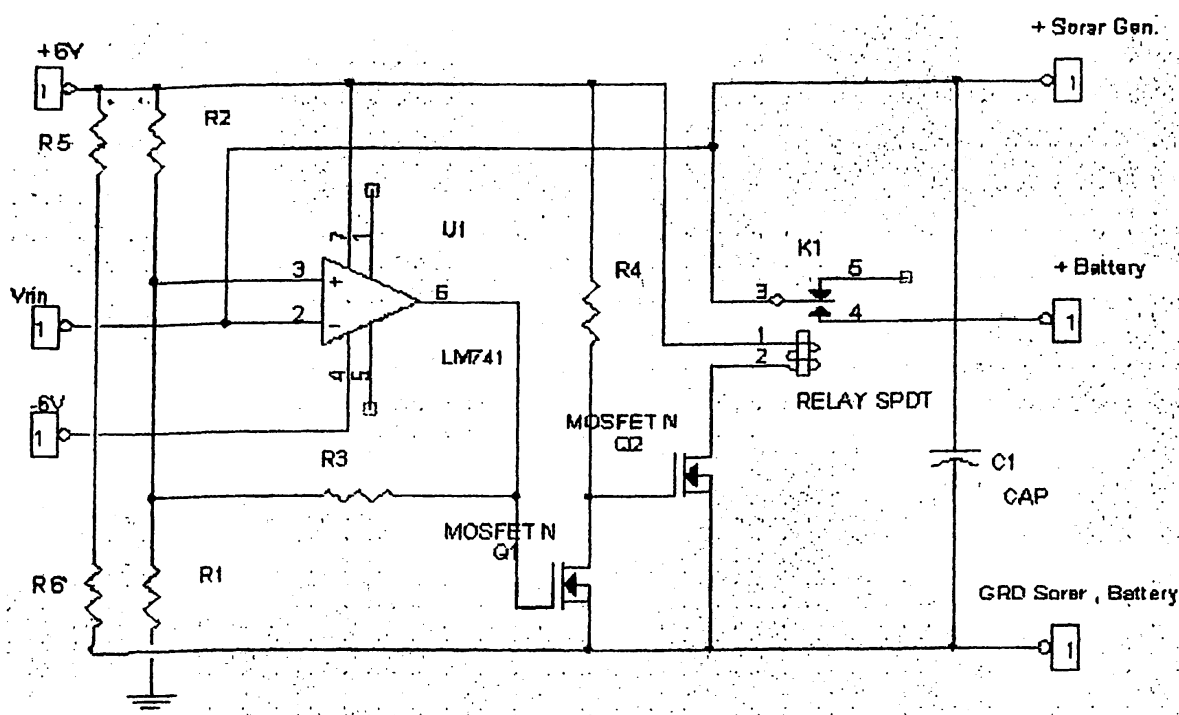
Η ενέργεια παρέχεται στο σύστημα με φωτοβολταϊκή γεννήτρια 125W -12V της εταιρίας AXITEC[55]. Η αποθήκευση της ενέργειας γίνεται με την βοήθεια ενός έξυπνου φορτιστή σε έναν συσσωρευτή κλειστού τύπου 65Ah κλειστού της εταιρίας Bosch[56]. Στη συνέχεια ένα κύκλωμα μετατροπής τάσεων τροφοδοτεί τα access point, τα switches, το βηματικό κινητήρα και το κύκλωμα επιλογής.

Το βασικό στοιχείο του κυκλώματος φόρτισης της μπαταρίας είναι ένας τελεστικός ενισχυτής ο οποίος ελέγχει και συγκρίνει την τάση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και της μπαταρίας. Ενεργοποιεί την λειτουργία της φόρτισης μόνο όταν η τάση τις φωτοβολταϊκής γεννήτριας είναι μεγαλύτερη από την τάση της μπαταρίας. Για να μηδενιστούν οι απώλειες από την εκφόρτιση της μπαταρίας μέσω της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, όταν αυτή έχει μηδενική ή πολύ χαμηλή απόδοση, χρησιμοποιήθηκε ένας ηλεκτρομηχανικός διακόπτης (relay), ο οποίος παρέχει γαλβανική απομόνωση μεταξύ της μπαταρίας και της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Επίσης ο φορτιστής έχει την δυνατότητα διακοπτόμενης φόρτισης, έτσι μπορεί να εκμεταλλευτεί και την ελάχιστη ενέργεια που παράγει η φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 44 το κυριότερο στοιχείο του κυκλώματος φόρτισης της μπαταρίας είναι ένας τελεστικός ενισχυτής σε συνδεσμολογία συγκριτή Schmitt trigger[41]. Ο συγκριτής ελέγχει την τάση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας V_{in} σε σχέση με αυτή της μπαταρίας. Όταν η τάση της πρώτης είναι μεγαλύτερη από 5% από την τάση της μπαταρίας τότε ο συγκριτής έχει στην έξοδο του αρνητικό κόρο περίπου -6V. Ο αρνητικός κόρος έχει σαν αποτέλεσμα το MosFet Q1, που βρίσκεται σε συνδεσμολογία κοινής πηγής, να βρεθεί σε κατάσταση αποκοπής έτσι η τάση στην επαφή πηγής-απαγογού (Drain-Source, DS) γίνεται μέγιστη. Στη συνέχεια η πύλη του MosFet Q2 έχει την τάση που έχει το MosFet Q1 στην επαφή D-S και κατά συνέπεια το MosFet Q2 μεταβαίνει σε κατάσταση μέγιστης αγωγιμότητας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ενεργοποιεί τον ηλεκτρομηχανικό διακόπτη και έτσι ξεκινάει η φόρτιση της μπαταρίας. Ο κυριότερος λόγος που χρησιμοποιείται ηλεκτρομηχανικός διακόπτης είναι ότι παρέχει γαλβανική απομόνωση. Βέβαια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί διακόπτη στέρεας κατάστασης (Solid State Relay) ο οποίος έχει καλύτερη απόδοση αλλά το κόστος του είναι 15 με 20 φορές μεγαλύτερο. Ο φορτιστής έχει την δυνατότητα διακοπτόμενης φόρτισης, έτσι μπορεί να εκμεταλλευτεί και την ελάχιστη ενέργεια που παράγει η φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Η διακοπτόμενη φόρτιση γίνεται σε χρονικές στιγμές όπου η φωτοβολταϊκή γεννήτρια δέχεται μικρή ισχύ ακτινοβολίας. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο το κύκλωμα του συγκριτή έχει απενεργοποιημένη την φόρτιση. Έτσι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια φορτίζει σιγά σιγά τον πυκνωτή C1. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα η τάση του πυκνωτή



ξεπερνάει την τάση κατωφλίου του συγκριτή και κατά συνέπεια ο συγκριτής αλλάζει κατάσταση και ενεργοποιεί τη φόρτιση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο πυκνωτής C1 να εκφορτίζεται στην μπαταρία και μόλις η τιμή της τάσης του πέσει κάτω από την τάση του δεύτερου κατωφλίου τότε ο συγκριτής αλλάζει κατάσταση και η διαδικασία της διακοπτόμενης φόρτισης ξαναρχίζει πάλι από την αρχή. Γίνεται χρήση του MosFet Q1 μόνο για να αντιστρέψει το σήμα εξόδου του τελεστικού ενισχυτή κατά 180°.



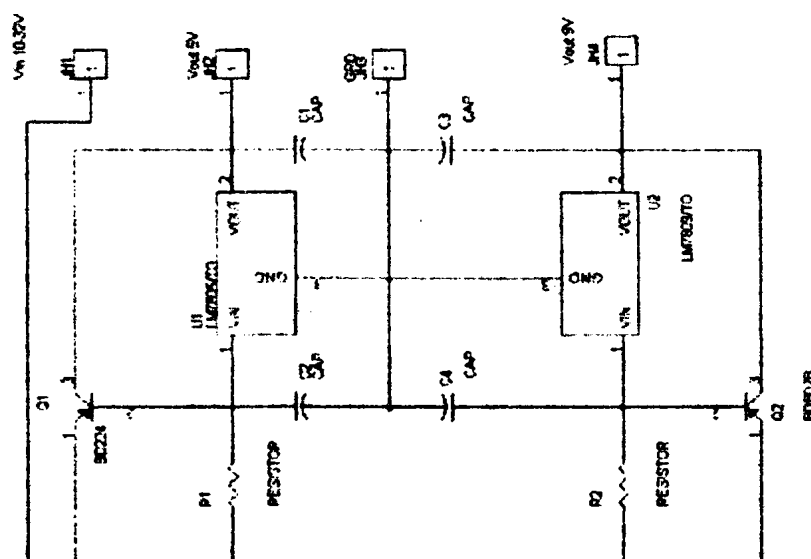
Εικόνα 44. Το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος φόρτισης της μπαταρίας

2.2.7 Τα κυκλώματα τροφοδοσίας από την μπαταρία

Τα κυκλώματα τροφοδοσίας από την μπαταρία χρησιμοποιούνται στον αναμεταδότη που βρίσκεται στο Ξηροβούνι. Αυτά τα κυκλώματα τροφοδοσίας παρέχουν την ενέργεια που απαιτείται στο σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου, τα access points και το switch.

Στην εικόνα 45 φαίνεται το κύκλωμα που τροφοδοτεί τα access points με τάση 5V και το switch με τάση 9V. Βασικά πρόκειται για ένα μετατροπέα από συνεχές σε συνεχές (DC-DC Converter). Το κύριο μέρος συστήματος είναι οι δυο σταθεροποιητές τάσης, ο LM7805 με έξοδο 5V και ο LM7809 με έξοδο 9V. Το πρόβλημα με τους συγκεκριμένους σταθεροποιητές τάσης είναι ότι το μέγιστο ρεύμα που μπορούν να παρέχουν είναι 1^A ενώ απαιτείται το τριπλάσιο. Για να

λυθεί το πρόβλημα του ρεύματος τοποθετήθηκαν διπολικά pnp transistor ενίσχυσης ρεύματος (Q1 και Q2). Η πόλωση του transistor γίνεται από την διάφορα τάσης που έχει στα άκρα του ο σταθεροποιητής και από την αντίσταση βάσης (R1 για Q1 και R2 για Q2). Πρέπει να υπολογισθεί η τιμή της αντίστασης έτσι ώστε το transistor να λειτουργεί στην γραμμική περιοχή. Αν το transistor δεν είναι στην γραμμική περιοχή λειτουργίας και βρίσκεται στη περιοχή κόρου ή στη περιοχή αποκοπής, τότε η τάση εξόδου δεν θα είναι σταθεροποιημένη και θα εξαρτάται από το ρεύμα που απορροφάει ο καταναλωτής. Στο κυκλώματα τροφοδοσιών οι σταθεροποιητές που χρησιμοποιήθηκαν είναι γραμμικοί (linear) και όχι διακοπτικοί (switching). Οι διακοπτικοί σταθεροποιητές έχουν καλύτερο βαθμό απόδοσης μέχρι 92% σε σύγκριση με το 85% των γραμμικών αλλά παρουσιάζουν θόρυβο όπως φαίνεται στην εικόνα 46β.

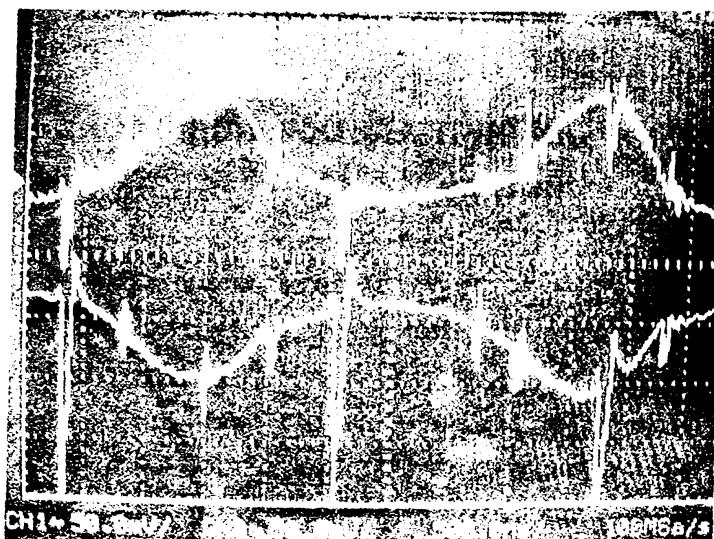


Εικόνα 45. Κυκλώματα τροφοδοσιών από την μπαταρία

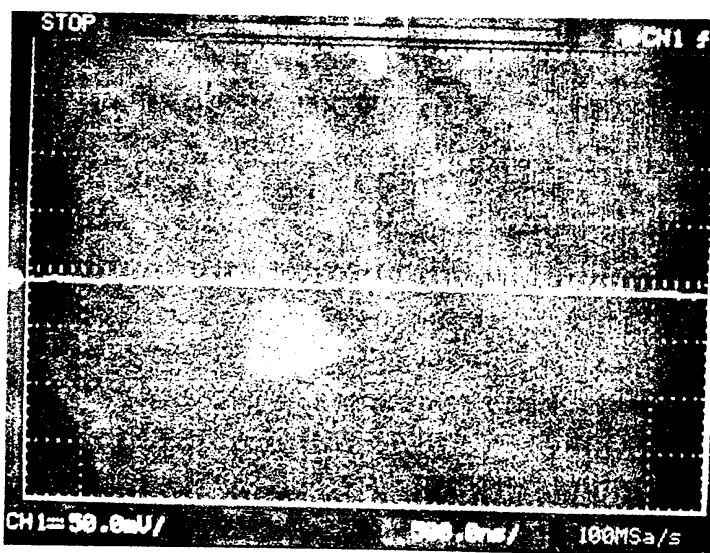
Στο παλμογράφημα της εικόνας 46Α φαίνονται δυο κυματομορφές, η μια με το πράσινο χρώμα δείχνει την έξοδο του διακοπτικού σταθεροποιητή χωρίς την χρήση φίλτρου και όπως παρατηρείται υπάρχουν μεγάλες αιχμές τάσεων πάνω από 200mVp-p, οι οποίες αυξάνονται όσο αυξάνεται το ρεύμα που ζητάει ο καταναλωτής. Στην δεύτερη κυματομορφή η οποία απεικονίζεται με κίτρινο χρώμα δείχνει την έξοδο του διακοπτικού σταθεροποιητή με χρήση φίλτρου L-C δεύτερης τάξης όπου υπάρχουν πάλι αιχμές τάσεων, οι οποίες είναι μειωμένες περίπου κατά τέσσερις φορές.

Οι γραμμικοί σταθεροποιητές έχουν βαθμό απόδοσης μέχρι 85% αλλά παρουσιάζουν ελάχιστο θόρυβο (εικόνα 46β) κάτι που ένα απαραίτητο σε συστήματα τηλεπικοινωνιών. Επίσης το κόστος γραμμικών σταθεροποιητών είναι

ελαφρώς μικρότερο για την ποσότητα ρεύματος που χρειάζεται στην συγκεκριμένη εφαρμογή.



Εικόνα 46^α: Θόρυβος διακοπτικού σταθεροποιητή



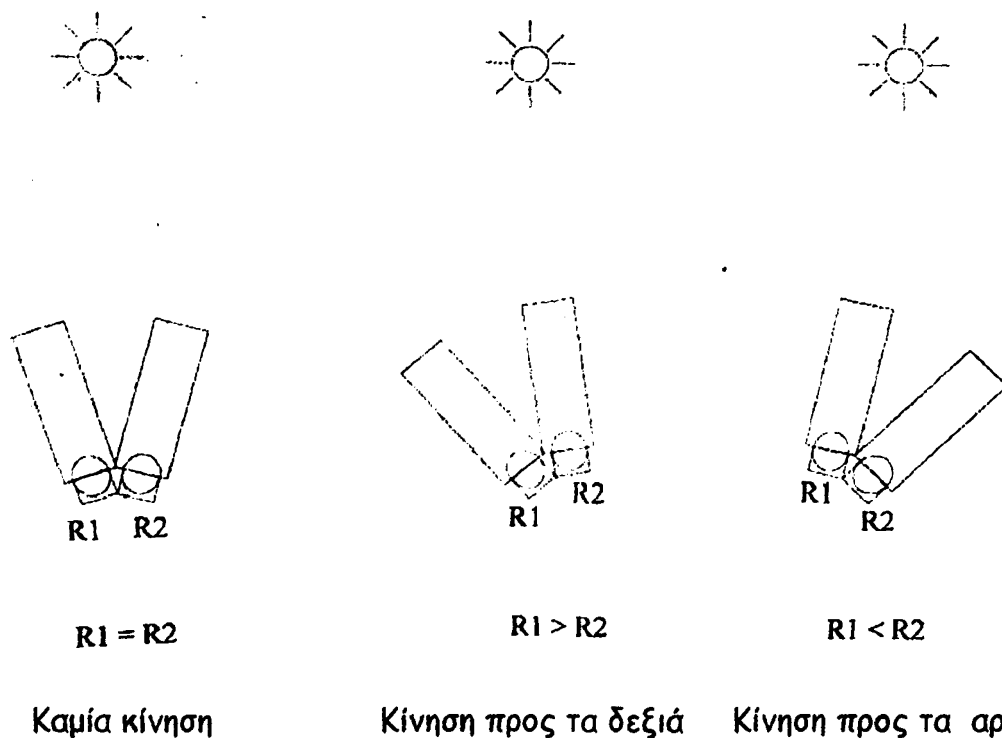
Εικόνα 46β: Θόρυβος γραμμικού σταθεροποιητή

3. Υλοποίηση του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου και του συστήματος αναμετάδοσης

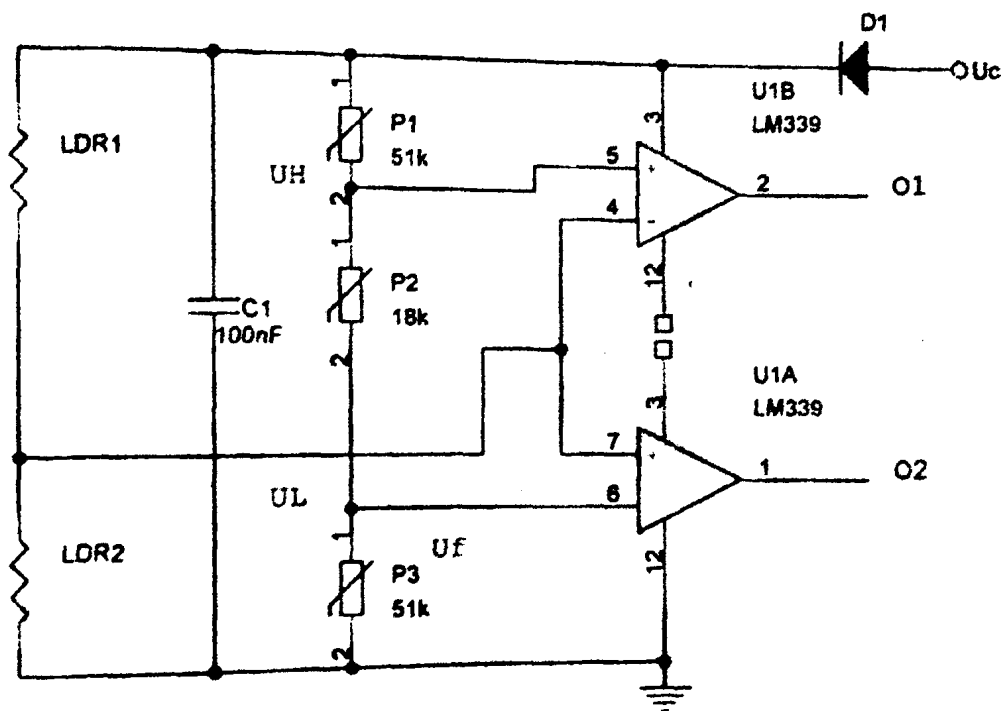
3.1 Υλοποίηση του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου

Για να γίνει αντιληπτή η καινοτομία του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου συστήματος που κατασκευάστηκε πρέπει να συγκριθεί με υπάρχοντα συστήματα.

Στην αγορά υπάρχουν δυο ειδών συστήματα: α) τα παθητικά και β) τα ενεργά. Τα πρώτα εκτελούν μια αλληλουχία κινήσεων η οποία είναι προκαθορισμένη από το λογισμικό τους. Η κίνηση αυτών των συστημάτων δεν επηρεάζεται από τις εξωτερικές συνθήκες φωτισμού. Τα δεύτερα αντιθέτως εκτελούν κινήσεις οι οποίες είναι επηρεασμένες από τις εξωτερικές συνθήκες φωτισμού. Η αρχή λειτουργίας ενός ενεργού συστήματος βασίζεται σε δυο φωτοαισθητήρες, οι οποίοι είναι συνήθως τοποθετημένοι στα άκρα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και δίνουν δεδομένα στο κύκλωμα ελέγχου της κίνησης, το οποίο προσπαθεί να φέρει σε ισορροπία την τάση που έχουν στα άκρα τους οι δυο φωτοαισθητήρες. Στην εικόνα 47 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας ενός ενεργού συστήματος με φωτοαισθητήρες. Στην εικόνα 48 φαίνεται ένα απλό κύκλωμα οδήγησης



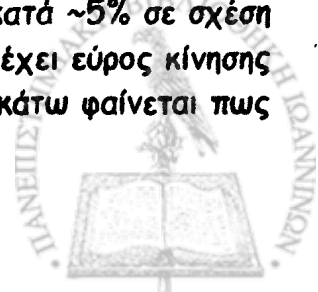
Εικόνα 47: Τρόπος λειτουργίας ενός ενεργού συστήματος με φωτοαισθητήρες.



Εικόνα 48: Απλό κύκλωμα οδήγησης ενεργού συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου με φωτοαισθητήρες.

Το μεγάλο πρόβλημα στην πράξη με τα συστήματα ιχνηλάτησης του ήλιου με φωτοαισθητήρες είναι ότι αυτοί λερώνονται και συνήθως λερώνονται ασύμμετρα. Κατά συνέπεια μετατοπίζεται το κέντρο ισορροπίας του συστήματος. Αν υπάρχει μεγάλη μετατόπιση τότε όχι μόνο δεν κερδίζεται ενέργεια από το συστήματα ιχνηλάτησης του ήλιου αλλά μπορεί και να χάνεται.

Για να αντιμετωπισθεί αυτό το πρόβλημα, σχεδιάστηκε σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου χωρίς τη χρήση φωτοαισθητήρων. Η πληροφορία της απόδοσης της φωτοβολταϊκής γεννήτριας παίρνεται από την ίδια, περνάει από λογική επεξεργασία και στην συνέχεια αποφασίζει το CPLD[38] προς πια κατεύθυνση θα κινηθεί. Με αυτόν τον τρόπο όσο και όπου και αν είναι λερωμένη η φωτοβολταϊκή γεννήτρια πάντα το CPLD θα την στρέψει προς την σωστή κατεύθυνση. Το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου που υλοποιήθηκε φέρει φωτοβολταϊκή γεννήτρια ισχύος 125W και μπαταρία χωρητικότητας 80Ah τάσης 12V. Στον πίνακα 8 παρουσιάζονται τα βασικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, ενώ στον πίνακα 9 οι καταναλώσεις συσκευών. Το σύστημα έχει δυνατότητα κίνησης και στους δυο άξονες. Στον οριζόντιο άξονα κινείται από έναν βηματικό κινητήρα ενώ στον κάθετο άξονα η ρύθμιση γίνεται χειροκίνητα και αυτό μεταφράζεται σε μείωση της απόδοσης κατά ~5% σε σχέση με αυτοκινούμενο σύστημα δυο αξόνων. Στον οριζόντιο άξονα έχει εύρος κίνησης 170° ενώ στον κάθετο άξονα έχει εύρος κίνησης 90°. Παρακάτω φαίνεται πως



έγινε βήμα-βήμα η υλοποίηση του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου χωρίς τη χρήση φωτοαισθητήρων.

Πίνακας 8. Τεχνικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας

A/A	Τεχνικά χαρακτηριστικά AC-125P/156-63S	Τιμή
1	Μέγιστη ισχύ κορυφής	125Wp
2	Μέγιστη τάση	17,42V
3	Μέγιστη τάση ανοιχτού κυκλώματος	22,00V
4	Μέγιστο ρεύμα	7,20A
5	Μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος	7,62A
6	Απόδοση συστήματος	12,63%
7	Απώλεια τάσης συνάρτηση της θερμοκρασίας	-0,33%/°C
8	Αύξηση ρεύματος συνάρτηση της θερμοκρασίας	0,04%/°C
9	Αριθμός κύψελων	36
10	Βάρος	13Kg
11	Διαστάσεις	1486x670x38mm

Πίνακας 9. Καταναλώσεις συσκευών

A/A	Τύπος συσκευών	Στιγμιαία Κατανάλωση	Ημερήσια κατανάλωση σε Wh
1	Access Point EZ3 V2	8W	192
2	Access Point DWL-2100	5.5W	132
3	Router TP-link	4W	96
4	Βηματικός κινητήρας	21W	10,5
5	Τροφοδοτικά (απώλειες)	4W	96
5	Κύκλωμα Ιχνηλάτησης	1W	24

Επειδή στην αγορά κυκλοφορεί μια ευρεία γκάμα από μικροελεγκτές, μικροεπεξεργαστές και σύνθετες προγραμματιζόμενες λογικές συσκευές έπρεπε να τεθούν κάποιες προδιαγραφές και να επιλεχθούν οι πιο κατάλληλοι για το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου.

Οι προδιαγραφές που έπρεπε να έχει η λογική μονάδα για την λειτουργία του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου έγινε με τα εξής:

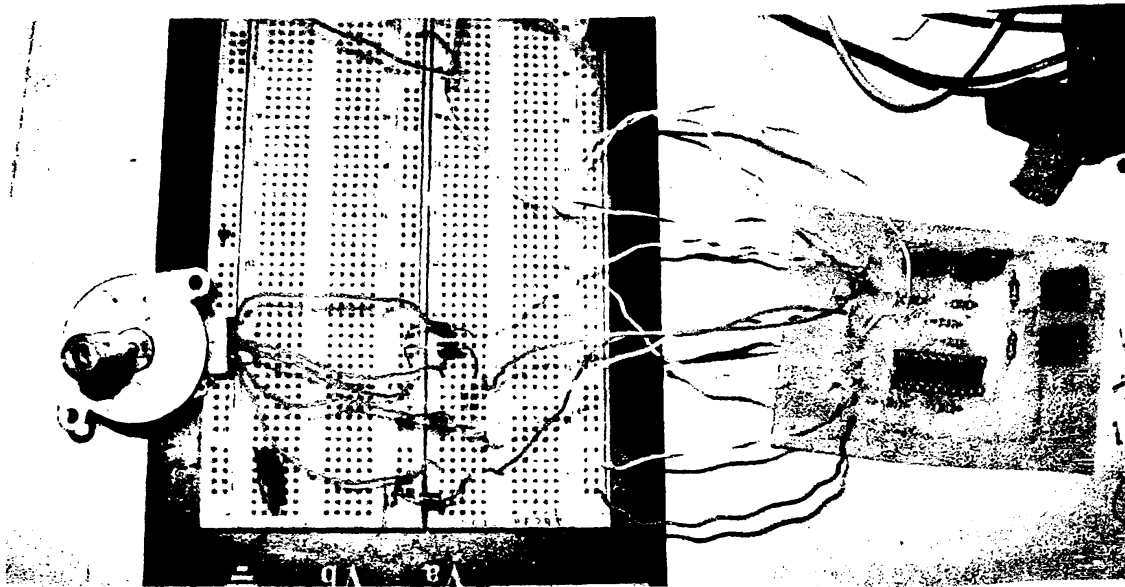
- 16 τουλάχιστον λογικές εισόδους και εξόδους (I/O pins).
- Ορθή λειτουργία σε θερμοκρασίες από 0C° έως 40C°.
- Σταθερή λειτουργία ενώ μεταβάλλεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Αυτόματη επανεκκίνηση όταν επανέρχεται η τροφοδοσία σταδιακά.
- Να μην πέφτει σε λανθάνουσα κατάσταση όταν υπάρχουν μικρές μεταβολές στην τάση τροφοδοσίας της τάξεως των $\pm 0.2V$.
- Να έχει μια τάση τροφοδοσίας.

Με τα παρακάτω χαρακτηριστικά επιλέχθηκαν για δοκιμή και βαθμολόγηση απόδοσης τα εξής προϊόντα:

1. Ο μικροελεγκτής (microcontroller) PIC16F818-I/P της εταιρίας Microchip[42].
2. Ο μικροελεγκτής AT89S52-24PC της εταιρίας Atmel[44].
3. Η σύνθετη προγραμματιζόμενη λογική συσκευή (Complex programmable logic device, CPLD) XC9536[48] της εταιρίας XILINX.

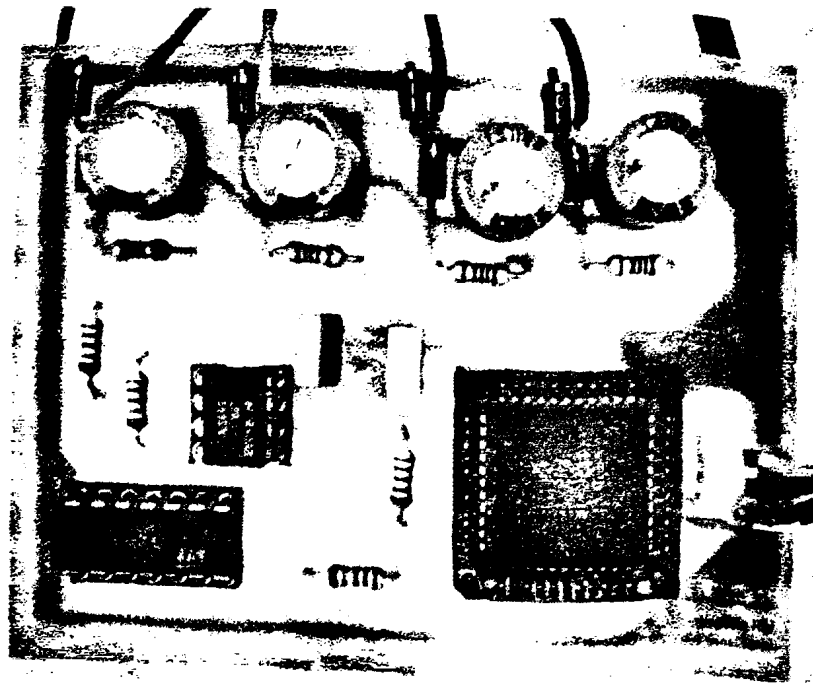
Για την αξιολόγηση των παραπάνω λογικών συσκευών κατασκευάστηκαν τα τυπωμένα κυκλώματα και στη συνέχεια προγραμματίστηκαν με πρόγραμμα οδήγησης του βηματικού κινητήρα. Στην εικόνα 49 φαίνεται το ολοκληρωμένο τυπωμένο κύκλωμα του μικροελεγκτή PIC 16F818 συνδεδεμένο με ένα μικρής ισχύος βηματικό κινητήρα. Πάνω στο τυπωμένο κύκλωμα(PCB) διακρίνονται και τα 4 MosFet ισχύος που οδηγούν τον βηματικό κινητήρα. Ο προγραμματισμός του PIC 16F818 πραγματοποιήθηκε με τον προγραμματιστή PICSTART® Plus της εταιρίας Microchip, ενώ το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το MPLAB IDE 5.2V της ίδιας εταιρίας. Το PCB σχεδιάστηκε με την βοήθεια του λογισμικού OrCAD 9.1 της εταιρίας OrCAD.



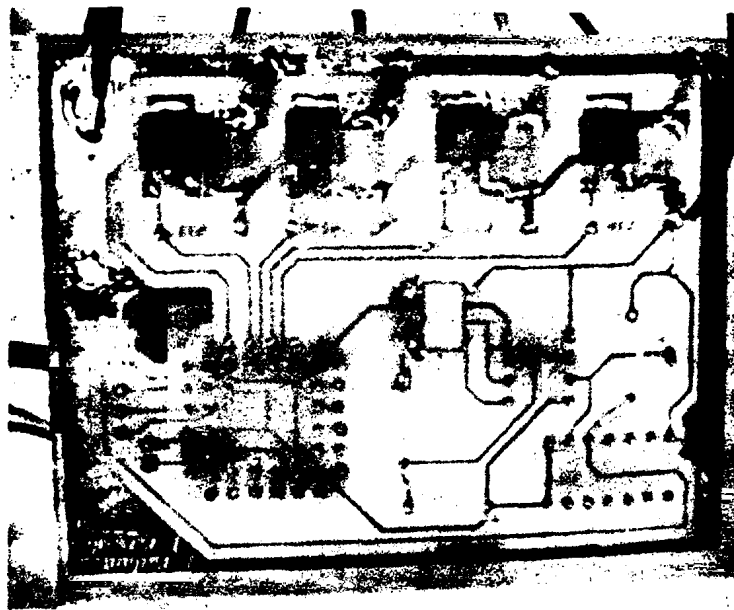


Εικόνα 49 : Δοκιμαστικό τυπωμένο κύκλωμα του μικροελεγκτή PIC 16F818 συνδεδεμένο με ένα μικρής ισχύος βηματικό κινητήρα

Στην εικόνα 50 φαίνεται το ολοκληρωμένο τυπωμένο κύκλωμα της σύνθετης προγραμματιζόμενης λογικής συσκευής XC9536, συνδεδεμένο με ένα μικρής ισχύος βηματικό κινητήρα. Στην κάτω όψη του τυπωμένου κυκλώματος διακρίνονται και τα 4 MosFet ισχύος που οδηγούν τον βηματικό κινητήρα. Ο προγραμματισμός του XC9536 πραγματοποιήθηκε από έναν παράλληλο προγραμματιστή ο οποίος κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Φυσικής Υψηλών Ενεργειών ενώ το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ISE 8.2i της εταιρίας Xilinx. Το PCB σχεδιάστηκε με την βοήθεια του λογισμικού OrCAD 9.1 της εταιρίας OrCAD[43].



Εικόνα 50 : Πάνω όψη δοκιμαστικού τυπωμένου κυκλώματος του CPLD XC9536 συνδεδεμένο με ένα μικρής ισχύος βηματικό κινητήρα



Εικόνα 51 : Κάτω όψη δοκιμαστικού τυπωμένου κυκλώματος του CPLD XC9536 στην οποία φαίνονται τα MosFet ισχύος.

Ο προγραμματισμός του μικροελεκτητή AT89S52-24PC πάνω στο αναπτυξιακό κύκλωμα stk500 της εταιρίας Atmel έγινε με το πρόγραμμα AVR Studio 4. Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν χρησιμοποιήθηκαν MosFet ισχύος συνδεδεμένα με τον βηματικό κινητήρα αλλά χρησιμοποιήθηκαν οι δίοδοι φωτοεκπομπής (Light-

emitting diode, LED [51]) του αναπτυσσικού για να εξομοιωθούν τα βήματα λειτουργίας του βηματικού κινητήρα. Έτσι μπορούσε να ελεγχθεί οπτικά η σωστή εκτέλεση της αλληλουχίας των βημάτων της περιστροφής του βηματικού κινητήρα.

Οι παραπάνω κατασκευές και το αναπτυσσικό αφού προγραμματίστηκαν με τους κατάλληλους κώδικες η κάθε μια, βεβαιώθηκε ότι λειτουργούσαν ορθά στις κανονικές συνθήκες. Δηλαδή οι συσκευές λειτουργούσαν σε θερμοκρασία δωματίου και με τροφοδοσία χωρίς διακυμάνσεις.

Στη συνέχεια οι συσκευές τροφοδοτήθηκαν με τάσεις οι οποίες μεταβάλλονταν κατά $\pm 0.2V$ γύρω από την ορθή τάση τροφοδοσίας και αξιολογήθηκε η συμπεριφορά τους κατά τη μεταβολή αυτή. Ο μικροελεγκτής PIC16F818-I/P και η σύνθετη προγραμματιζόμενη λογική συσκευή XC9536 δεν παρουσίασαν κάποιο πρόβλημα στην λειτουργία τους. Αντιθέτως ο μικροελεγκτής AT89S52-24PC εμφάνισε δυσλειτουργία εξαιτίας του εξωτερικού κρυστάλλου που παρουσίασε μεγάλες μεταβολές στη συχνότητα και στο ύψος των παλμών του. Αυτό είχε σαν συνέπεια το πρόγραμμα να δυσλειτουργεί σε μία κατάσταση χωρίς να μπορεί ο αυτόματος επανεκκινητής του μικροελεγκτή (watchdog timer[45]) να λειτουργήσει. Για να τεθεί πάλι σε λειτουργία ο μικροελεγκτής θα 'πρεπε να διακοπεί η τροφοδοσία του για λίγα δευτερόλεπτα και να ξανατροφοδοτηθεί.

Κάθε συσκευή δοκιμάστηκε 20 φορές για 5 λεπτά. Στο τέλος κάθε πεντάλεπτου διαπιστωνόταν σε τι λειτουργική κατάσταση βρισκόταν η κάθε συσκευή. Αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων με διακύμανση της τάσης τροφοδοσίας κατά $\pm 0.2V$ έδειξαν ότι ο μικροελεγκτής AT89S52-24PC δεν λειτούργησε ορθά τις 10 από τις 20 φορές. Ο μικροελεγκτής PIC16F818-I/P δεν λειτούργησε ορθά τις 1 από τις 20 φορές και τέλος η σύνθετη προγραμματιζόμενη λογική συσκευή XC9536 πάντα λειτουργούσε.

Έπειτα πραγματοποιήθηκε μια σειρά δοκιμών με σκοπό τον έλεγχο της λειτουργίας των συσκευών κατά τη μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ψυκτικός θάλαμος ο οποίος ρυθμίστηκε ώστε να διατηρεί τη θερμοκρασία στους $0^{\circ}C$.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τις δοκιμές ήταν η εξής: Οι συσκευές τίθονταν σε λειτουργία σε θερμοκρασία δωματίου (περίπου στους $25^{\circ}C$). Κατόπιν τούτου οι συσκευές τοποθετούνταν στον ψυκτικό θάλαμο όπου παρέμεναν για 3 λεπτά ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία των συσκευών στους $0^{\circ}C$. Μετά την πάροδο των 3 λεπτών οι συσκευές εξάγονταν από το θάλαμο και ελέγχονταν η λειτουργία τους. Τέλος, οι συσκευές έμεναν για 5 λεπτά έξω από τον ψυκτικό θάλαμο ώστε να αποκτούν ξανά τη θερμοκρασία δωματίου και επανελέγχονταν η λειτουργία τους. Δηλαδή ελέγχθηκε η λειτουργία των συσκευών κατά τη μεταβολή της θερμοκρασίας τους από τους $25^{\circ}C$ στους $0^{\circ}C$ και ξανά στους $25^{\circ}C$. Πραγματοποιήθηκαν 5 δοκιμές για κάθε συσκευή.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν πως ο μικροελεγκτής AT89S52-24PC παρουσίασε το ίδιο πρόβλημα με την προηγούμενη δοκιμή, δηλαδή δεν



Λειτουργούσε το πρόγραμμα του αυτόματου επανεκκινητή. Ο μικροελεγκτής PIC16F818-I/P παρουσίασε πρόβλημα στον εσωτερικό του κρύσταλλο και έτσι το πρόγραμμα του έμπαινε σε μια λανθάνουσα κατάσταση με αποτέλεσμα να μην εκτελείται. Για να τεθεί πάλι σε λειτουργία ο μικροελεγκτής απαιτούσε τη διακοπή της τροφοδοσίας του για λίγα δευτερόλεπτα και την επανέναρξή του. Η σύνθετη προγραμματιζόμενη λογική συσκευή XC9536 από την άλλη λειτούργησε χωρίς κανένα πρόβλημα.

Τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων με γρήγορη διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τροφοδοσίας κατά 25°C έδειξαν ότι ο μικροελεγκτής AT89S52-24PC δεν λειτούργησε ορθά τις 1 από τις 5 φορές, ο μικροελεγκτής PIC16F818-I/P δεν λειτούργησε ορθά τις 3 από 5 φορές, και τέλος η σύνθετη προγραμματιζόμενη λογική συσκευή XC9536 πάντα λειτουργούσε.

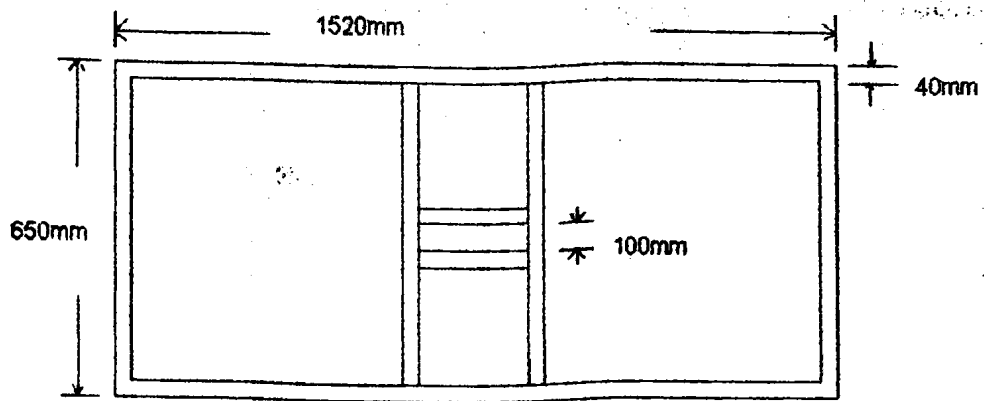
Μετά το πέρας της αξιολόγησης φάνηκε ξεκάθαρα ότι η σύνθετη προγραμματιζόμενη λογική συσκευή ήταν η καταλληλότερη για την υποστήριξη του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου. Για την περαιτέρω ανάπτυξη του λογισμικού του CPLD δημιουργήθηκε ένα μοντέλο του συστήματος ιχνηλάτησης με κλίμακα 10:1 για να καταγραφεί η συμπεριφορά του και να βελτιωθούν οι επιδόσεις του. Το μοντέλο έφερε φωτοβολταϊκή γεννήτρια ισχύος 10W, μπαταρία χωρητικότητας 7Ah τάσης 12V. Το σύστημα είχε δυνατότητα κίνησης και στους δυο άξονες με την βοήθεια δυο κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Στον οριζόντιο άξονα είχε εύρος κίνησης 300° ενώ στον κάθετο άξονα είχε εύρος κίνησης 95°. Για να γίνει η αξιολόγηση του συστήματος τοποθετήθηκε στην ταράτσα του Πανεπιστημίου για 35 μέρες μαζί με μια άλλη φωτοβολταϊκή γεννήτρια ισχύος 10W και με μια μπαταρία χωρητικότητας 7Ah και τάσης 12V χωρίς σύστημα ιχνηλάτησης του ηλίου. Στη συνέχεια συνδέθηκαν τα δυο συστήματα έτσι ώστε να τροφοδοτούν ένα φορτίο των 100 Ohm το καθένα. Κατόπιν με έναν καταγραφέα δεδομένων καταγράφονταν το ρεύμα και η τάση που παρήγαγε κάθε φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Έτσι μπορούσε να υπολογισθεί η στιγμιαία ισχύς κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Με αυτόν τον τρόπο μπορούσε να βελτιστοποιηθεί το λογισμικό, αλλά και ο σχεδιασμός του πλαισίου στη πραγματική κλίμακα. Στην εικόνα 52 φαίνεται σύστημα ιχνηλάτησης του ηλίου, μοντέλο σε κλίμακα 10:1



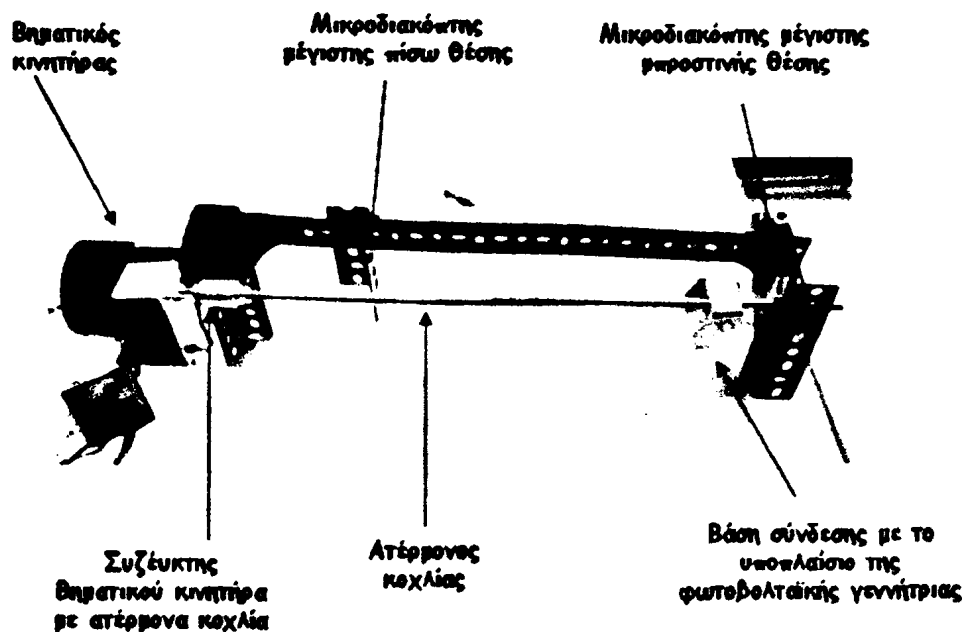


Εικόνα 52: Σύστημα ιχνηλάτησης του ηλίου μοντέλο σε κλίμακα 10:1

Στη συνέχεια έγινε ο σχεδιασμός του κανονικού μοντέλου(1:1 κλίμακα) συστήματος ιχνηλάτησης του ηλίου. Το πλαίσιο του σχεδιάστηκε να αντέχει πιέσεις 120 κιλών. Αυτή η πίεση υπολογίστηκε ότι μπορεί να ασκηθεί από την ροή του αέρα γύρο από την μονάδα του συστήματος. Η μέγιστη ριπή αέρα που έχει μετρηθεί σε βουνό της Ελλάδος είναι 186.7 km/hr στο χιονοδρομικό κέντρο του Παρνασσού. Βάση αυτής της ταχύτητας του άνεμου υπολογίστηκε το μέγιστο φορτίο που μπορεί να ασκηθεί στο πλαίσιο και στην βάση στήριξης. Η κατασκευή του πλαισίου έγινε στο μηχανουργείο του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν δεν οξειδώνονται γρήγορα, συγκεκριμένα για το σκελετό χρησιμοποιήθηκε ανοδιωμένο αλουμίνιο τετραγωνικής μορφής διαστάσεων 40mm x 40mm και κράματος 1100 (1100 Alloy). Το κράμα αλουμινίου 1100 περιέχει 0.95% Si+Fe , 0.05%Cu , 0.10%Zn, 0.05Mn. Οι βίδες που ενώνουν το πλαίσιο με την βάση είναι από ανοξείδωτο ατσάλι κράματος S30215. Το κράμα ανοξείδωτου ατσαλιού εκτός από σίδηρο περιέχει και 17% Cr ,10% Ni, 0.15% C, 15.5% Mn, 3% Si, 0.06 % P και 0.03 % S . Στο εικόνα 53 φαίνεται το σχέδιο της κάτοψης του πλαισίου πάνω στο οποίο στηρίζεται η φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Ένα ακριβώς ίδιο πλαίσιο ενώνει με δυο στροφεία (μεντεσέδες) την βάση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας με την βάση στήριξης.

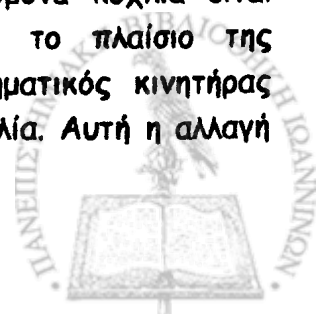


Εικόνα 53 : Κάτοψη του πλαισίου πάνω στο οποίο στηρίζεται η φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

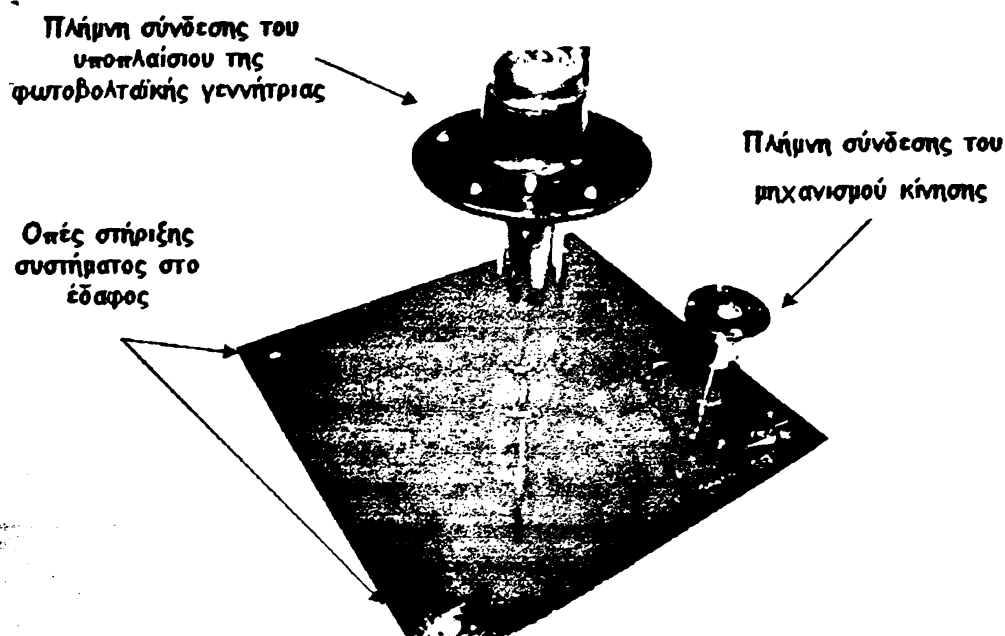


Εικόνα 54. Σύστημα μετάδοσης κίνησης

Στην εικόνα 54 φαίνεται το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Αποτελείται από ένα βηματικό κινητήρα ο οποίος συνδέεται μέσω ενός συζεύκτη με έναν ατέρμονα κοχλία με μήκος 500mm. Κατά μήκος του ατέρμονα κοχλίας είναι τοποθετημένη η βάση σύνδεσης η οποία συνδέεται με το πλαίσιο της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Έτσι όταν περιστρέφεται ο βηματικός κινητήρας αλλάζει η θέση της βάσης σύνδεσης πάνω στο ατέρμονα κοχλία. Αυτή η αλλαγή

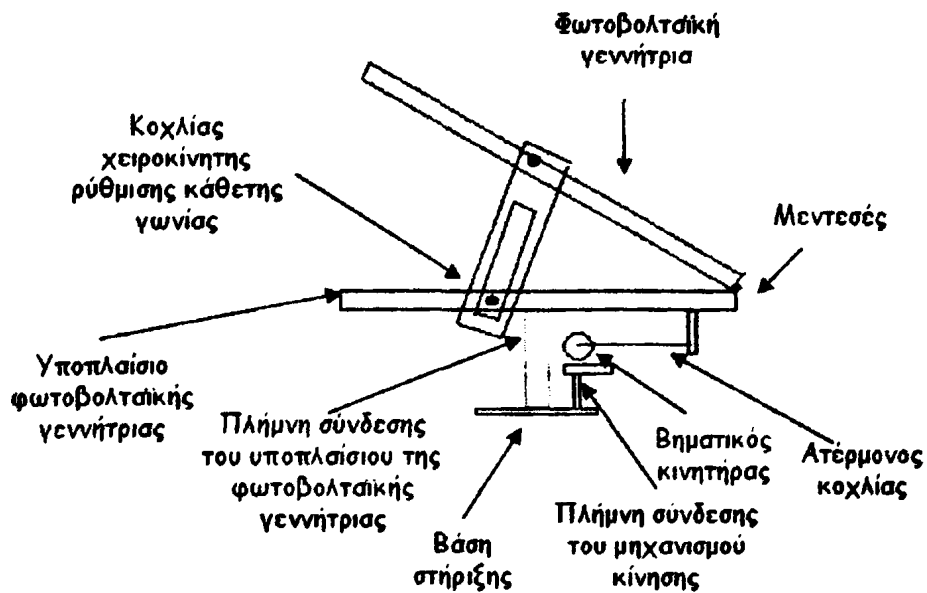


θέσης έχει ως συνέπεια τη μετατόπιση του υποπλαισίου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Επίσης υπάρχουν δύο μικροδιακόπτες ασφαλείας οι οποίοι ενεργοποιούνται όταν η βάση σύνδεσης προσεγγίσει το μέγιστο ή το ελάχιστο όριο. Με αυτόν τον τρόπο κίνησης δεν είναι απαραίτητη η χρήση φρένων, εξαιτίας της μεγάλης ροπής αδράνειας που έχει ο κινητήρας. Έτσι επιτυγχάνεται στρέψη της φωτοβολταϊκής γεννήτριας κατά 1° ανά 15 περιστροφές του κινητήρα. Εξαιτίας αυτού το σύστημα μετάδοσης της κίνησης λειτουργεί και ως πολλαπλασιαστής ροπής (μειωτήρας).



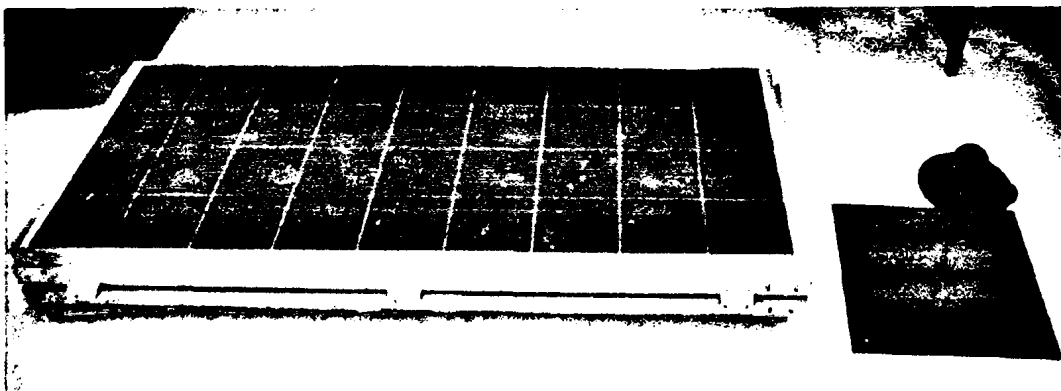
Εικόνα 55. Βάση στήριξης του υποπλαισίου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και του μηχανισμού κίνησης

Στην εικόνα 55 φαίνεται η βάση στήριξης του υποπλαισίου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και του μηχανισμού κίνησης. Το σύστημα αποτελείται από δύο πλήμνες (μουαγιέ). Στη μεγαλύτερη στηρίζεται το υποπλαίσιο της φωτοβολταϊκής γεννήτριας ενώ στη μικρότερη στηρίζεται το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Η στήριξη όλου του συστήματος γίνεται με τέσσερις κοχλίες οι οποίοι τοποθετούνται στις οπές διαμέτρου 12mm που υπάρχουν περιμετρικά στη βάση.



Εικόνα 56. Πλάγια όψη συστήματος φωτοβολταϊκής γεννήτριας με μηχανισμό ιχνηλάτησης

Αφού κατασκευάστηκε το πλαίσιο στο μηχανουργείο του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων ξεκίνησε η συναρμολόγηση εντός έγινε του εργαστηρίου υψηλών ενεργειών. Όλο το σύστημα είναι σχεδιασμένο για εύκολη μεταφορά και τοποθέτηση, όπως φαίνεται στην εικόνα 57. Αποτελείται από δύο βασικά μέρη, το κομμάτι της περιστρεφόμενης βάσης και το κομμάτι του πλαισίου στήριξης της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.



Εικόνα 57. Δεξιά φαίνεται η περιστρεφόμενη βάση αριστερά το κομμάτι του πλαισίου στήριξης μαζί με την φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

Στην εικόνα 58 φαίνεται το σύστημα σε πλήρη ανάπτυξη. Ο βηματικός κινητήρας συνδέεται στην περιστρεφόμενη βάση με τέσσερις ανοξειδωτες βίδες ενώ στο πλαίσιο συνδέεται μέσω ατέρμονος κοχλίας μήκους 400mm. Ο βηματικός κινητήρας μάρκας McLennan[46] λειτουργεί με τάση 2.5V με ρεύμα 4.5A η μέγιστη ροπή του είναι 2450mNm. Στον πίνακα 10 παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του βηματικού κινητήρα



Εικόνα 58. Το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου σε πλήρη ανάπτυξη.

Πίνακας 10. Τεχνικά χαρακτηριστικά του βηματικού κινητήρα της εταιρίας McLennan

A/A	Τεχνικά χαρακτηριστικά 440-470	Τιμή
1	Τάση λειτουργίας	2,5V
2	Ρεύμα λειτουργίας	4,5A
3	Αντίσταση	0,58Ω
4	Αυτεπαγωγή	2,8mH
5	Ροπή	100
6	Ροπή συγκράτησης	2450
7	Απόκλιση βήματος	5%
8	Γωνία βήματος	1.8°
9	Κατηγορία μόνωσης	B
10	Μέγεθος NEMA	40
11	Αριθμός πηνίων	8

Για την διαδικασία αξιολόγησης και δοκιμής της λειτουργίας του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου χρησιμοποιήθηκε ο τεχνητός φωτισμός του Εργαστηρίου Φυσικής Υψηλών Ενεργειών. Επειδή ο φωτισμός του εργαστηρίου έχει την δυνατότητα να ενεργοποιείται ανεξάρτητα στην δεξιά πλευρά και ανεξάρτητα στην αριστερή, ήταν δυνατή η πραγματοποίηση της παρακάτω δοκιμής: Αρχικά προγραμματίστηκε το CPLD να δουλεύει σε κατάσταση συνεχούς λειτουργίας, έτσι

ώστε να ψάχνει τη γωνία στην οποία θα έχει καλύτερη απόδοση η φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Η συσκευή τοποθετήθηκε στο κέντρο της αίθουσας. Ανάβοντας μόνο την δεξιά πλευρά του φωτισμού το φωτοβολταϊκό πλαίσιο έστριψε δεξιά μέχρι να εντοπίσει τη γωνία βέλτιστης απόδοσης. Στη συνέχεια, με αναμμένη μόνο την αριστερή πλευρά του φωτισμού το πλαίσιο έστριψε αριστερά, μέχρι να εντοπίσει πάλι τη γωνία για τη μέγιστη απόδοση. Όταν άναψαν και οι δύο πλευρές του φωτισμού το πλαίσιο έστριψε μέχρις ότου να βρεθεί σε παράλληλη θέση με το δάπεδο. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής ελέγχονταν συνεχώς η αποδιδόμενη ισχύς της φωτοβολταϊκής γεννήτριας για να διαπιστωθεί αν το σύστημα λειτουργεί σωστά. Στην αρχή το σύστημα απέδιδε το 92% της μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος. Ύστερα όμως από αλλαγή του χρόνου αναζήτησης στο λογισμικό και των παραμέτρων μετατροπής σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό (ADC) το σύστημα απέδωσε 95% της μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος.



3.2 Υλοποίηση του συστήματος αναμετάδοσης της πληροφορίας.

Επειδή στην αγορά κυκλοφορεί μια ευρεία γκάμα από συσκευές μετάδοσης πληροφορίας, κεραιές και κατευθυντές δικτύου έπρεπε να τεθούν κάποιες προδιαγραφές και να επιλεγούν τα πιο κατάλληλα για το σύστημα.

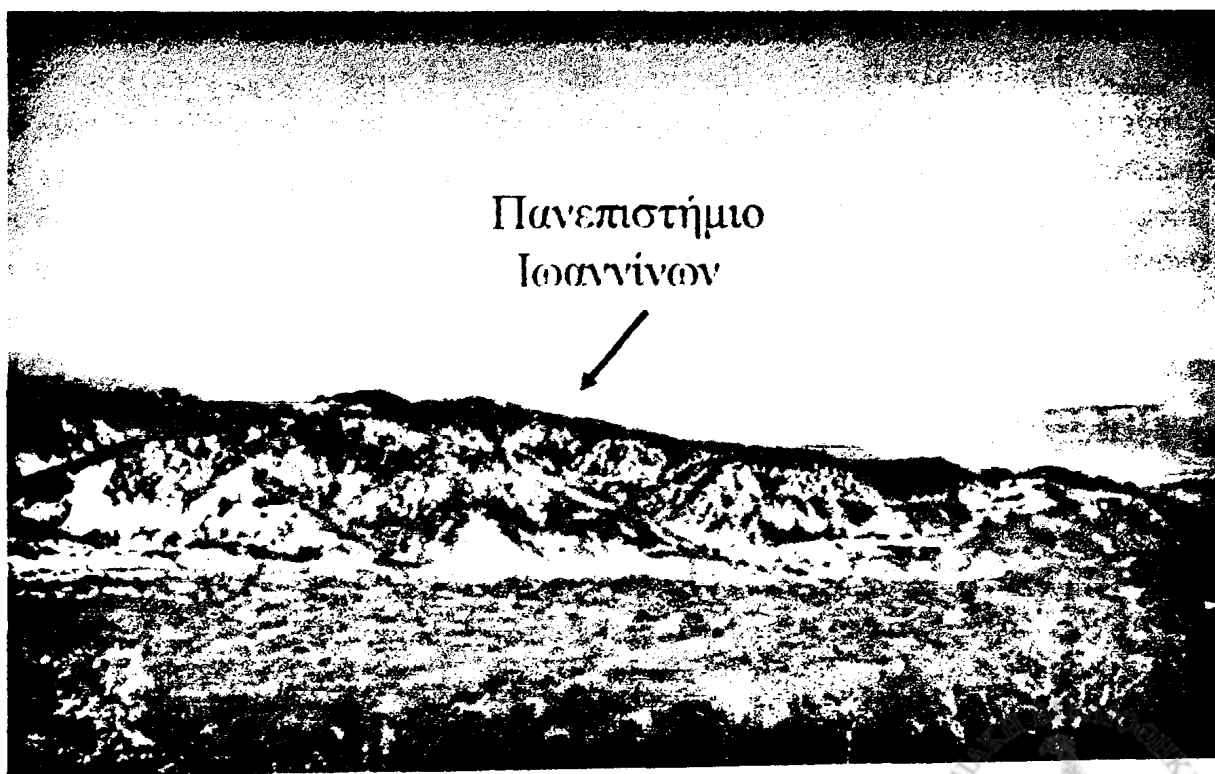
Πρώτα έπρεπε να καθορισθούν:

- Το σημείο δειγματοληψίας νερού στον ποταμό Άραχθο και η μέτρηση των παραμέτρων του νερού.
- Το πρωτόκολλο, η συχνότητα και η ισχύς των συσκευών μετάδοσης πληροφορίας και ο τύπος, η απολαβή, το υλικό και η πόλωση των κεραιών.
- Ο αριθμός των αναμεταδοτών.
- Η παροχή ενέργειας στο σύστημα (ΔΕΗ, Φωτοβολταϊκά, γεννήτρια).

Όλα τα παραπάνω λήφθηκαν υπόψη για τον σχεδιασμό του συστήματος. Καταρχάς σε συνεννόηση με το Τμήμα Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων επιλέχτηκε ως τόπος δειγματοληψίας το κτίριο του παλαιού τελωνίου που βρίσκεται στην παλαιά γέφυρα της Πλάκας. Αυτός ο τόπος δειγματοληψίας εξυπηρετούσε καλύτερα το Τμήμα Χημείας επειδή βρίσκεται πριν από την ένωση του Αράχθου με άλλους παραποτάμους, αλλά και τη Σχολή των Φυσικών επειδή υπάρχει παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο κτήριο. Στη συνέχεια μελετήθηκαν οι υψομετρικοί χάρτες της περιοχής για να ορισθεί η πιο καλή διαδρομή που θα ακόλουθει το σήμα μέχρι το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Αφού επιλέχτηκαν τα υποψήφια σημεία που ήταν δυνατή η εγκατάσταση των αναμεταδοτών, ήταν αναγκαίο να γίνει η επιτόπου επιθεώρηση αυτών έτσι ώστε να γίνουν και οι κατάλληλες μετρήσεις και παρατηρήσεις. Έτσι μετρήθηκαν με το Παγκόσμιο Σύστημα Θεσιθεσίας (Global Positioning System, G.P.S.)[47] το υψόμετρο και οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων. Επίσης έγινε οπτικός έλεγχος για εμπόδια που δεν φαίνονται στους υψομετρικούς χάρτες όπως κτιριακές εγκαταστάσεις, δέντρα και πυλώνες. Τελικά επιλέχτηκαν δυο σημεία για την εγκατάσταση των αναμεταδοτών το πρώτο σημείο στη μονή Τσούκας στο Δημοτικό Διαμέρισμα του Ελληνικού και το δεύτερο στην περιοχή του Ξηροβουνίου του Δήμου Καστανοχωρίων. Στις εικόνες 59 και 60 φαίνεται η διαδικασία της επιτόπου επιθεώρησης.



Εικόνα 59. Περιοχή Ξηροβουνίου



Εικόνα 60. Περιοχή Δήμου Ελληνικού



Αφού ορίστηκαν οι τοποθεσίες εγκατάστασης των αναμεταδοτών έπρεπε να γίνει η επιλογή των συσκευών μετάδοσης πληροφορίας. Κατόπιν επεξεργασίας των μετρήσεων των αποστάσεων και τον υπολογισμό των ζωνών Fresnel αποφασίστηκε ότι η ραδιοζεύξη μεταξύ Πανεπιστημίου και μονής Τσούκας όπως και στην ζεύξη μεταξύ Τσούκας και Ξηροβουνίου να γίνει με συσκευές EZ3v2 της εταιρίας e-zy.net και να χρησιμοποιηθούν κεραιές παραβολικές τύπου πλέγματος απολαβής 24dBi της εταιρίας Pacific-Wirless. Για την επίτευξη της ραδιοζεύξης μεταξύ Ξηροβουνίου και του Παλαιού Τελωνείου στην γέφυρα της Πλάκας κρίθηκε αναγκαίο να τοποθετηθεί στο Ξηροβουνι μια συσκευή EZ3v2 και μια πολυκατευθυντική κεραία 12 dBi της εταιρίας TP-LINK. Από την πλευρά του Τελωνείου τοποθετήθηκε μια συσκευή DWL-2100+[52] της εταιρίας D-Link[52] και μια πολυκατευθυντική κεραία 12 dBi της εταιρίας Pacific-Wirless. Μια από τις σημαντικότερες διεργασίες που έγιναν κατά την υλοποίηση του δικτύου ήταν η ευθυγράμμιση των κεραιών. Η σωστή ευθυγράμμιση των κεραιών παίζει κείμερο ρόλο στην απόδοση του δικτύου και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Ο σκοπός της ευθυγράμμισης είναι να επιτευχθεί όσο το δυνατόν ισχυρότερο λαμβανόμενο σήμα με τη μικρότερη εκπεμπόμενη ισχύ ρυθμίζοντας τη γωνία των κεραιών.

Ξεκινώντας την ευθυγράμμιση δύο κεραιών λαμβάνουμε υπόψη τη γεωγραφική τους θέση, δηλαδή παίρνουμε τις συντεταγμένες της θέσης από ένα χάρτη ή από μία συσκευή GPS. Στη συνέχεια, γίνεται υπολογισμός της γωνίας απόκλισης των κεραιών από το Βορρά έτσι ώστε να είναι αντικριστά μεταξύ τους. Στη συνέχεια με τη χρήση πυξίδας στρέφονται οι κεραιές στις υπολογισμένες γωνίες. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται μία πρώτη χονδρική ρύθμιση της ευθυγράμμισης των δύο κεραιών. Έπειτα, συνδέονται οι συσκευές αναμετάδοσης στις κεραιές και μέσω υπολογιστή επιτυγχάνεται πρόσβαση στο λογισμικό διαχείρισης του αναμεταδότη (συνήθως αυτή η διαδικασία χρησιμοποιεί ένα πρόγραμμα περιήγησης ιστοσελίδων). Από το λογισμικό διαχείρισης, το οποίο εμπεριέχεται στο ενσωματωμένο λογισμικό (firmware) της συσκευής, επιλέγεται η υποκατηγορία «ευθυγράμμιση κεραιάς» (antenna alignment). Έτσι ελέγχεται η ισχύς και η ποιότητα του σήματος που εκπέμπεται από τον απέναντι αναμεταδότη. Στη συνέχεια, γίνεται ρύθμιση της γωνίας της κεραιάς μέχρι να βρεθεί το σημείο με το ισχυρότερο σήμα. Η αντίστοιχη διαδικασία πραγματοποιείται και στον άλλο αναμεταδότη. Για περαιτέρω βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του σήματος έγινε επανάληψη της διαδικασίας. Τέλος για να πιστοποιηθεί ότι το σύστημα λειτουργεί ορθά είναι δυνατό να σταλούν, μέσω του τοπικού δικτύου, κάποια εικονικά πακέτα με την εντολή ping από ένα παράθυρο MS-DOS. Για παράδειγμα αν σταλούν πακέτα δεδομένων στην τοπική διεύθυνση 192.168.1.1 η σύνταξη της εντολής θα γίνει ως εξής: ping 192.168.1.1. Αμέσως μετά το παράθυρο MS-DOS θα δώσει το χρόνο που έκανε το πακέτο από τη στιγμή που εστάλη μέχρι την παράδοσή του. Στο δίκτυο μεταξύ του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και Παλαιάς Γέφυρας Πλάκας ο μέσος χρόνος που απαιτείται είναι 10ms.



Στις εικόνα 61, φαίνεται η διαδικασία εγκατάστασης ενώ στις εικόνα 62 φαίνεται η προετοιμασία του χώρου για την εγκατάσταση του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου.

Στον πίνακα 11 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σημείου πρόσβασης ενώ στον πίνακα 12 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δρομολογητών. Στον πίνακα 13 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κεραίας TL-ANT2408CL, ενώ στον πίνακα 14 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κεραίας PAWCA-24

Πίνακας 11. Τεχνικά χαρακτηριστικά του σημείου πρόσβασης

A/A	Τεχνικά χαρακτηριστικά EZY V3	Τιμή
1	Συχνότητα λειτουργίας	2,4GHz - 2,485GHz
2	Ταχύτητα μετάδοσης στο 802.11b	11 / 5,5 / 2 / 1 Mbps
3	Ταχύτητα μετάδοσης στο 802.11g	54 / 48 / 36 / 24 / 12 / 9 / 6 Mbps
4	Ισχύς εκπομπής στο 802.11b	-86 +/- 2dBm @ 11Mbps
5	Ισχύς εκπομπής στο 802.11g	-76 +/- 2dBm @ 54Mbps
6	Ευαισθησία δεκτή στο 802.11b	250mW @ 11Mbit
7	Ευαισθησία δεκτή στο 802.11g	100mW @ 54Mbit
8	Τροφοδοσία	PoE 10V - 48 V
9	Τύπος συνδέτη δεκτή	MMCX

Πίνακας 12. Τεχνικά χαρακτηριστικά των δρομολογητών

A/A	Τεχνικά χαρακτηριστικά TL-R480T 1	Τιμή
1	Θύρες Δικτύου	LAN: 4 x 10/100 Auto-Negotiation RJ45 (Auto MDI/MDIX). WAN: 1 x 10/100M Auto-Negotiation RJ45 (Auto MDI/MDIX)
2	Υποστηριζόμενα Πρότυπα και πρωτόκολλα	IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.3x, IEEE 802.1X, TCP/IP, DHCP, ICMP, NAT, PPPoE, SNTP, HTTP, DNS.
3	Υποστηριζόμενες λειτουργίες	DHCP Server, DHCP Client, MAC Address Modify/Clone, VPN Pass-through, Static Routing, Dynamic DNS
4	Ενδείξεις LED	LAN/SFP: Link/Act, 100Mbps. WAN: Link/Act, 100Mbps. Else: Power, M1, M2
5	Τείχος προστασίας	Firewall Rules, MAC Address Filtering, Domain Name Filtering, IP/MAC Address Binding, Ignore Ping/Packet από την Θύρα WAN, προστασία DoS, IP Packets Containing

Πίνακας 13. Τεχνικά χαρακτηριστικά της κεραίας TL-ANT2408CL

A/A	Τεχνικά χαρακτηριστικά TL-ANT2408CL	Τιμή
1	Συχνότητα λειτουργίας	2,4GHz - 2,485GHz
2	Εμπεδηση	50 Ohms
3	Απολαβή	9 dBi
4	VSWR	1,92:1
5	Πόλωση	Κάθετη
6	Γωνία κάλυψης	Οριζόντια 360° Κάθετη 15°

Πίνακας 14. Τεχνικά χαρακτηριστικά της κεραίας PAWCA-24

A/A	Τεχνικά χαρακτηριστικά PAWCA-24	Τιμή
1	Συχνότητα λειτουργίας	2,4GHz - 2,485GHz
2	Εμπεδηση	50 Ohms
3	Απολαβη	24 dBi
4	VSWR	1,5:1
5	Πολωση	Καθετη
6	Γωνια καλυψης	Οριζοντια 14° Καθετη 1ο°

Υπολογισμός κατανάλωσης αναμεταδότη Ξηροβουνίου

Περιγραφή	Ισχύς	Ωρες λειτουργίας	Ποσότητα	Ημ. κατανάλωση
Access point EZ3_V2	5W	23h idle - 1h full	2	48Wh
Stepper motor	22,5W	0.2h	1	4,5Wh
Electronics	0.2W	24h	all	4,8Wh
Σύνολο				57.3Wh

Απώλειες από μπαταρίες(ή πυκνωτών) ,DC-DC Converter ,καλώδια: 10%

Σύνολο Ημ. Κατανάλωσης $1,10 \cdot 57.3Wh = 63.03Wh$

Υπολογισμός των συσσωρευτών (ή πυκνωτών)

Για 1 ημέρα χωρίς καθόλου ηλιοφάνεια: $63,03Wh \cdot 1 = 63,03Wh$

Για συσσωρευτές (ή πυκνωτές) τάσης 12V:

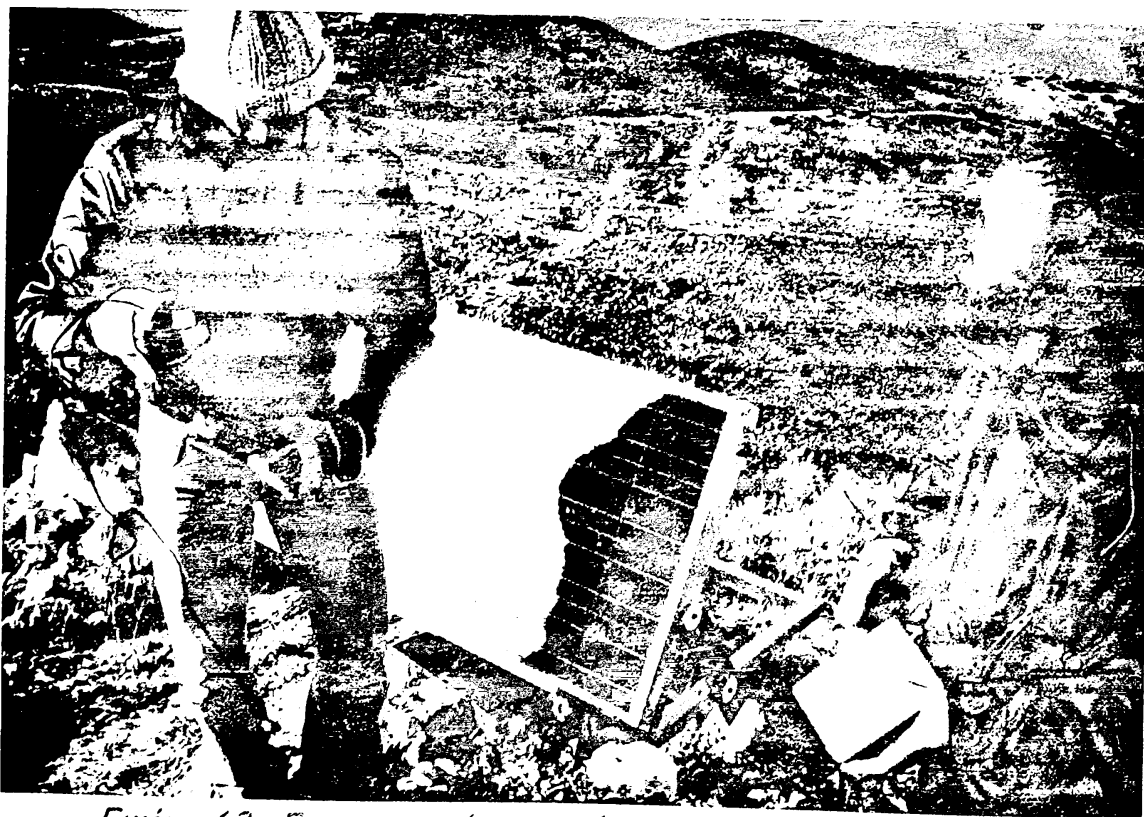
$63,03Wh/12V = 5,2525AH$ (ελάχιστη τιμή)



Εικόνα 61. Διαδικασία ευθυγράμμισης κεραίας



Εικόνα 62. Προετοιμασία για την εγκατάσταση του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου.

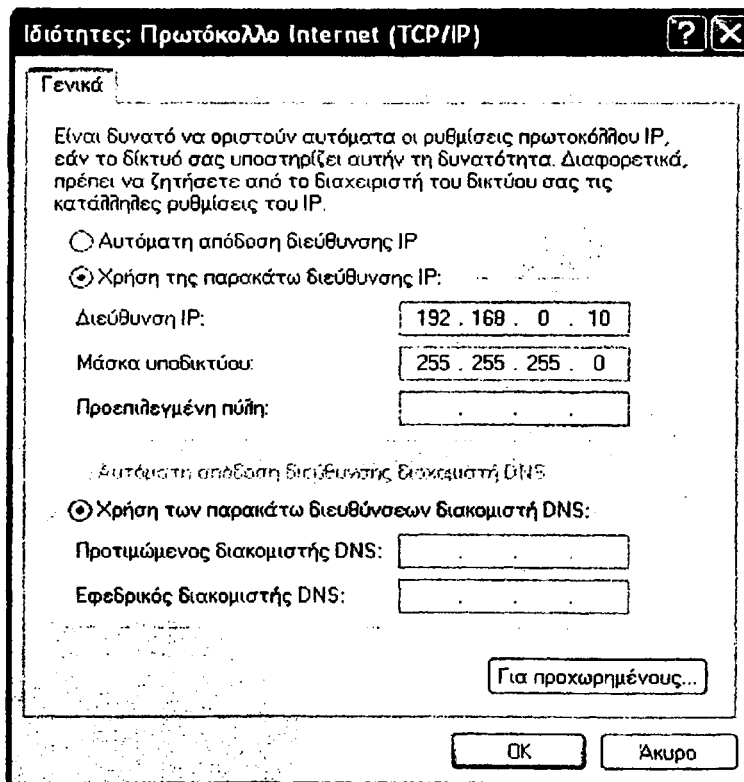


Εικόνα 63. Εγκαταστημένο το σύστημα ιχνηλάτησης του ήλιου.

4. Παραμετροποίηση-αποτίμηση του συστήματος

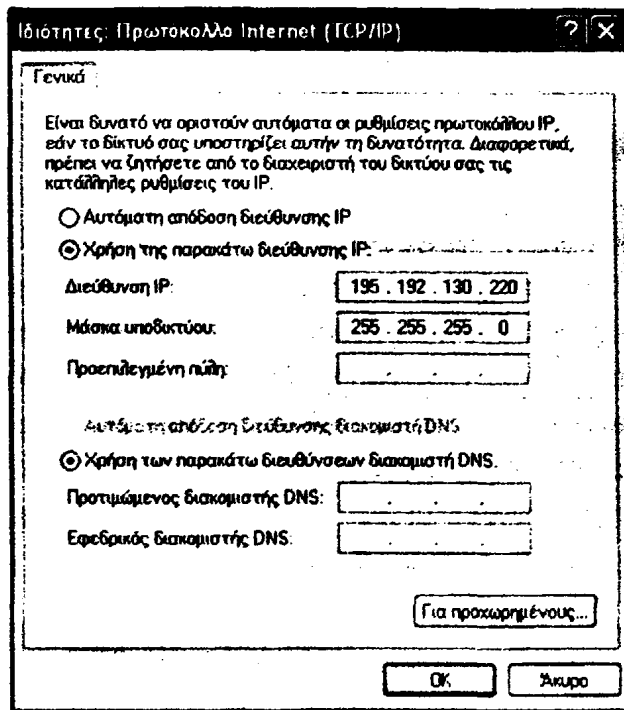
4.1 Ρύθμιση παραμέτρων

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται οι ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν στα σημεία πρόσβασης (access points) στα routers και στον προσωπικό υπολογιστή που χρησιμοποιούνται στο σύστημα αναμετάδοσης. Ο υπολογιστής χρησιμοποιείται ως "ενδιάμεσος" μεταξύ του εξωτερικού δικτύου που έχει κατασκευαστεί για την υλοποίηση του συστήματος αναμετάδοσης, με το εσωτερικό δίκτυο του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Ο προσωπικός υπολογιστής έχει δυο κάρτες δικτύου. Η κάρτα δικτύου που συνδέεται με το σημείο πρόσβασης, έχει τις ρυθμίσεις δικτύου που φαίνονται στην εικόνα 64.



Εικόνα 64. Ρύθμιση δικτύου της κάρτας δικτύου του προσωπικού υπολογιστή που συνδέεται με το AP

Η δεύτερη κάρτα δικτύου η οποία συνδέεται με το εσωτερικό δίκτυο του Πανεπιστημίου έχει τις ρυθμίσεις που ορίζονται από το κέντρο διαχείρισης δικτύων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων σε κάθε τερματικό εντός του Πανεπιστημίου. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην εικόνα 65



Εικόνα 65. Ρύθμιση δικτύου

Αναφορικά με την ρύθμιση των παραμέτρων του σημείου πρόσβασης που βρίσκεται στην οροφή του κτιρίου Φ3 στην εικόνα 66 φαίνεται ένα στιγμιότυπο από την αρχική σελίδα κατάστασης της συσκευής EZ3+.

Status SERVER

A. System		IP Settings	
1. System Time	1-1-2000 2:40	26 - Obtain IP Protocol	Fixed IP
2. Uptime	0day 2h 40m 43s	27 - IP Address	192.168.1.50
3. Load Average	0.23 0.17 0.17	28 - Subnet Mask	255.255.255.0
4. Free Memory	9652 kB	29 - Default Gateway	0.0.0.0
5. Firmware Version	138_11_22 (Nov 22 2008)	30 - DHCP Server	Disabled
6. Webpage Version	138_11_22 (Nov 22 2008)	31 - MAC Address	00 11 7C 0A 7F 42
7. Boot Version	1.5 Zazynet	32 - Port Status	Connected 100Mbps
8. Wireless Version	v3.1 (Nov 4 2008)	33 - Throughput	Tx:12480 B/s Rx:1563 B/s
9. Hardware Version	v2		
10. Logged in as	Not set		
11. System Name	EZ3+		
12. System Location	Somewhere		
13. System Contact	Someone		
B. Wireless Configuration			
14. Mode	Infrastructure Client - Bridge		
15. Band	2.4 GHz (B)		
16. SSID	HEP_LAB_R2		
17. Channel Number	7		
18. Encryption	Disabled		
19. BSSID	00 11 7C 0A 7F 4C		
20. State	Connected		
21. dBm	-50		
22. Tx Rate	11		
23. Rx Rate	11		
24. Power(OFDMA/B)	20dBm - 100mW		
25. Power(CCK/B)	24dBm - 250mW		

Εικόνα 66. Κατάσταση συσκευής EZ3+



Στην ομάδα A (system) 1 έως 13 η συσκευή μας δίνει τις πληροφορίες του ίδιου του συστήματος.

Στην ομάδα B (Wireless Configuration) 14 έως 25 φαίνονται οι βασικές ρυθμίσεις που έγιναν από τη συσκευή του συστήματος:

14. Τρόπος λειτουργίας (mode).
15. Μπάντα εκπομπής(2,4GHz) και το πρωτόκολλο (B).
16. Όνομα του αναμεταδότη που είναι συνδεδεμένο.
17. Κανάλι εκπομπής
18. Κωδικοποίηση των δεδομένων που διακινούνται.
19. MAC address του αναμεταδότη που είναι συνδεδεμένο.
20. Κατάσταση της σύνδεσης.
21. Ισχύς του λαμβανόμενου σήματος(κάτω από -65 dbm είναι αποδεκτό).
22. Ταχύτητα εκπομπής σε Mbps.
23. Ταχύτητα λήψης σε Mbps.
24. Ισχύς εκπομπής σε διαμόρφωση OFDM
25. Ισχύς εκπομπής σε διαμόρφωση CCK
26. Στατική η δυναμική η διεύθυνση IP.
27. Διεύθυνση IP Της συσκευής.
28. Υπομάσκα δικτύου.
29. Προεπιλεγμένη πύλη.
30. Ο διακομιστής DHCP .
31. Διεύθυνση MAC της συσκευής.
32. Κατάσταση του τοπικού δικτύου.
33. Το ρυθμό μετάδοσης των τελευταίων πακέτων.

Στην εικόνα 67 φαίνεται ένα στιγμιότυπο από την σελίδα ρύθμισης παραμέτρων της ασύρματης διεπαφής της συσκευής EZ3+ .

e-zys

Switch to Simple WEB

Status

Wireless

Basic Settings

Advanced Settings

Security Settings

Site Survey

Antenna Alignment

Efficient

Mesh Networking

Management

System

Wizard

Wireless Basic Settings

34	Band	2.4 GHz (B)	
35	Mode	Client	Antenna Alignment
36	Network Type	Infrastructure	
37	SSID	HEP_LAB_R2	Site Survey
38	BSSID	00:00:00:00:00:00	
39	Channel Number	11 - 2462	
40	Enable Mac Clone	<input type="checkbox"/>	
41	Disable Wireless	<input type="checkbox"/>	
42	Enable Repeater	<input type="checkbox"/>	
43	Repeater SSID		
44	Repeater BSSID	00:00:00:00:00:00	

Εικόνα 67. Ρύθμιση συσκευής EZ3+

- Οι βασικές ρυθμίσεις της συσκευής από τον χρήστη είναι οι παρακάτω:
34. Ρυθμίζεται η μπάντα εκπομπής(2,4GHz) και το πρωτόκολλο (B).
 35. Ο τρόπος λειτουργίας της συσκευής σημείου πρόσβασης ή πελάτη.
 36. Ο τύπος του ασύρματου δικτύου.
 37. Το όνομα του αναμεταδότη (SSID[51]).
 39. Το κανάλι εκπομπής.
 40. Ενεργοποίηση του κλώνου MAC.
 41. Απενεργοποίηση της εκπομπής σήματος
 42. Ενεργοποίηση της λειτουργίας του επαναλήπτη.
 43. Ρύθμιση του ονόματος του αναμεταδότη.
 44. Ρύθμιση του ονόματος BSSID του αναμεταδότη.

Στην εικόνα 68 φαίνεται ένα στιγμιότυπο από την σελίδα προηγούμενης ρύθμισης των παραμέτρων της ασύρματης διεπαφής της συσκευής EZ3+ .

e-zys

Switch to Simple WEB

Status
Wireless
 Basic Settings
 Advanced Settings
 Security Settings
 Site Survey
 Antenna Alignment
 Ethernet
 Net. Networking
 Management
 System
 Wizard

Wireless Advanced Settings

45	Data Rate	Auto	
46	Fragment Threshold	2346	(256-2346)
47	RTS Threshold	2347	(0-2347)
48	Beacon Interval	100	(20-1024 ms)
49	ACK Timing	91	(0-255 * 4 us)
50	Client Expired Time	40000000	(101-40000000 sec)
51	MTU Size	1500	(100-1500)
52	Preamble Type	<input checked="" type="radio"/> Long <input type="radio"/> Short	
53	Authentication Type	<input type="radio"/> Open System <input type="radio"/> Shared Key <input checked="" type="radio"/> Auto	
54	Tx Power Boost (1W)	<input type="checkbox"/>	
55	Transmit Power (OFDM)	20dBm - 100mW	
56	Transmit Power(CCK)	24dBm - 250mW	
57	Regulatory domain	ETSI	

Apply Changes Reset

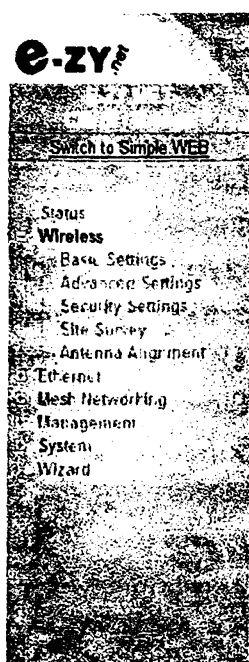
Εικόνα 68. Ρύθμιση συσκευής EZ3+

- Οι προηγούμενες ρυθμίσεις της συσκευής από τον χρήστη είναι:
45. Ρύθμιση της ταχύτητας διαμεταγωγής των δεδομένων.
 46. Το μέγιστο μέγεθος εκπεμπόμενου πακέτου πληροφορίας.
 47. (Request to Send) function to control station access to the medium
 48. Ο χρόνος αναμονής.



- 49. Ο χρόνος αναμονής λήψης από την άλλη συσκευή και επιβεβαίωσης.
- 50. Μέγιστος χρόνος που μπορεί να είναι συνδεδεμένος ένας πελάτης.
- 51. Το μέγιστο μέγεθος ενός πακέτου.
- 52. Τύπος εξαγωγής πακέτων.
- 53. Τύπος αυθεντικοποίησης.
- 54. Ρύθμιση ισχύος στο 1W για λόγους δόκιμης
- 55. Εκπεμπόμενη ισχύς στη διαμόρφωση OFDM
- 56. Εκπεμπόμενη ισχύς στη διαμόρφωση CCK
- 57. Ρυθμιστική περιοχή

Στην εικόνα 69 φαίνεται ένα στιγμιότυπο από την σελίδα του πλήκτρου έρευνας ασύρματων δικτύων "site survey" της ασύρματης διεπαφής της συσκευής EZ3+ και στην εικόνα 70 στιγμιότυπο από την ρύθμιση της κεραίας.

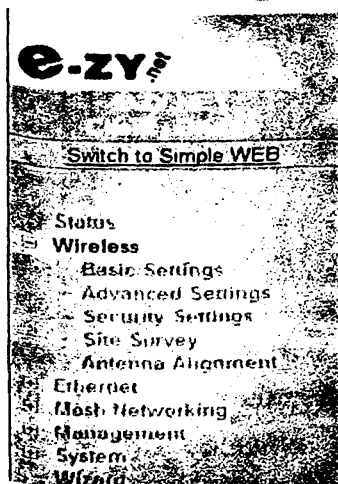


Site Survey

SSID	BSSID	Channel	Type	Auth	Power	SNR	Signal
HEP_LAB_R2	00:11:7e:0a:7f:4c	7 (B)	AP	no	66 (-54 dbm)	85	C
NTOB_GAR	00:60:4c:e3:41:d0	7 (B+G)	AP	yes	16 (-80 dbm)	29	C
	00:1b:2b:a5:3f:50	6 (B+G)	AP	yes	16 (-80 dbm)	76	C
linksys	00:21:29:75:a1:ea	11 (B+G)	AP	yes	16 (-80 dbm)	78	C
SpeedTouch0A66E3	00:14:7f:50:15:91	1 (B+G)	AP	no	10 (-84 dbm)	60	C
steki	00:1d:19:92:29:de	11 (B+G)	AP	yes	9 (-84 dbm)	64	C
FoxPlace	02:1e:58:41:ad:45	1 (B+G)	AP	yes	9 (-84 dbm)	62	C
POFs WLAN	00:18:39:8b:31:56	6 (B+G)	AP	yes	6 (-86 dbm)	45	C
panos	00:1a:70:9b:98:be	11 (B+G)	AP	yes	6 (-86 dbm)	34	C
print server 16FF80	02:59:1E:31:0e:a8	11 (B)	Ad hoc	no	6 (-90 dbm)	48	C
CONNX	00:1d:19:a8:92:66	6 (B+G)	AP	yes	4 (-87 dbm)	42	C
XILOTECHNIKIMESH	00:20:a6:72:d9:34	11 (B+G)	AP	yes	1 (-89 dbm)	0	C

Auto Refresh

Εικόνα 69. Ερευνά ασύρματων δικτύων



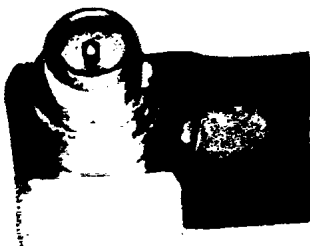
Wireless Antenna Alignment

dBm:

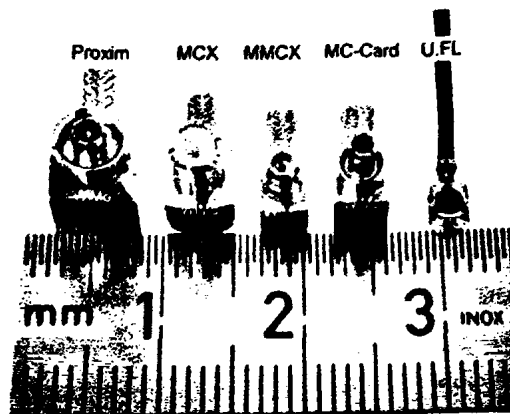
Use Buzzer/LED

Εικόνα 70. Ρύθμιση κεραίας στη συσκευή EZ3+

Η σελίδα ρύθμισης της κεραίας ανανεώνεται ανά ένα δευτερόλεπτο και μας δίνει την ισχύ του σήματος που λαμβάνεται από τον δεκτή. Οι σύνδεση της κεραίας με την συσκευή EZ3+ έγινε με συνδέτη MMCX εικόνες 71, 72.



Εικόνα 71. Βύσμα MMCX



Εικόνα 72. Τύποι Βυσμάτων που χρησιμοποιούνται σε ασύρματες συσκευές

Στην εικόνα 73 φαίνεται ένα στιγμιότυπο από την αρχική σελίδα της συσκευής DWL-2100+ που βρίσκεται στο Ξηροβούνι και στη γέφυρα της Πλάκας. Για να μπει κανείς στη αρχική σελίδα της συσκευής θα πρέπει να πληκτρολογήσει στον περιηγητή την διεύθυνση IP της συσκευής. Η διεύθυνση IP της συσκευής που βρίσκεται στο Ξηροβούνι είναι 192.168.192.54 ενώ η διεύθυνση IP της συσκευής που βρίσκεται στη γέφυρα της Πλάκας είναι 192.168.192.55.

D-Link
Building Networks for People

AirPlus Xtreme G™
High-Speed 2.4GHz Wireless Access Point

DWL-2100AP

Home Advanced Tools Status Help

Firmware Version: v2.40eu
MAC Address: 00 1c 10 d6 c6 ca

Ethernet	
Get IP From	Manual
IP Address	192 168 1 54
Subnet Mask	255 255 255 0
Gateway	192 168 1 54
Wireless (802.11g)	
SSID	HEP_LAB_R4
Channel	5
Super G Mode	Disabled
Rate	Auto
Security Level	Open System / Encryption Disabled

Device Info
Status
Client Info
Log

Help

Εικόνα 73. Ρύθμιση συσκευής DWL-2100+.

Στον πίνακα 15 παρουσιάζονται οι κωδικοί πρόσβασης (passwords) και τα ονόματα χρηστή (Users names) των αναμεταδοτών.

Πίνακας 15. Κωδικοί πρόσβασης (passwords) και τα ονόματα χρηστή (Users names) των αναμεταδοτών

Διεύθυνση	IP	Όνομα αναμεταδότη	Κωδικός πρόσβασης	Όνομα χρήστη
	192.168.192.50	R0	8540	Adminr0
	192.168.192.51	R1	8540	Adminr1
	192.168.192.52	R2	8540	Adminr2
	192.168.192.53	R3	8540	Adminr3
	192.168.192.54	R4	8540	Adminr4
	192.168.192.55	R5	8540	Adminr5

4.2 Αποτίμηση του συστήματος μετάδοσης

Πριν παρατεθεί η αποτίμηση του συστήματος αναμετάδοσης θεωρήθηκε χρήσιμο να δοθούν κάποιοι ορισμοί μεγεθών που χρησιμοποιούνται στην αποτίμηση όπως για παράδειγμα μεγέθη που χαρακτηρίζουν μια κεραία.

Τα **decibel** είναι μία λογαριθμική μονάδα μέτρησης ενός λόγου σήματος προς θόρυβο (signal to noise ratio, S/N). Τα decibel είναι βολικά καθώς χρειάζεται πρόσθεση και αφαίρεση των συντελεστών κέρδους και απωλειών, αντί του πολλαπλασιασμού τους. Αν μία συσκευή αυξάνει ένα μέγεθος (όπως τάση ή ισχύ) με έναν συντελεστή x , τότε με λογάριθμους μπορεί να υπολογισθεί τι κέρδος έχει $\log_{10}X$ B (όπου το B συμβολίζει τα Bell) ή $10\log_{10}X$ dB (decibels όπου το deci σημαίνει δέκατα, δηλαδή δέκατα του Bell). Ένας χρήσιμος αριθμός είναι ο +3dB το οποίο αντιστοιχεί περίπου σε διπλασιασμό του σήματος.

DBm είναι το κέρδος που θα προέκυπτε από ένα στοιχείο εάν η είσοδος του είναι 1mW. Για παράδειγμα, αν μια κάρτα εκπέμπει στα 100mW, αντιστοιχεί σε κέρδος 100, ή σε $10\log(100) = 20\text{dB}$. Δηλαδή, εκπέμπει στα 20dBm. Εάν η κάρτα εκπέμπει με ισχύ 50mW, αντιστοιχεί σε εκπομπή 17dBm.

DBi είναι το κέρδος μίας ιστροπικής κεραίας. Για παράδειγμα 0dBi είναι το κέρδος μίας υποθετικής κεραίας που ακτινοβολεί όλη την ισχύ της σε μία τέλεια ομοιόμορφη σφαιρική κατανομή. Κεραίες με τέτοια ακτινοβολία δεν υπάρχουν στην πραγματικότητα. Αντίθετα οι υπάρχουσες κεραίες συγκεντρώνουν την ισχύ του σήματος προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση. Για έναν απομακρυσμένο δέκτη που δε γνωρίζει τι είδους κεραία του έχει στείλει σήμα, αυτό που «φαίνεται» είναι το συγκεντρωμένο σήμα που μοιάζει σαν να έχει σταλεί από μία ιστροπική κεραία, η οποία με κάποιο τρόπο έχει αυξήσει την ισχύ του εισερχόμενου σήματος και το έχει εκπέμψει σφαιρικά. Έτσι με αυτόν τον τρόπο λέγεται ότι οι κεραίες έχουν «κέρδος». Το «i» στο dBi αφορά το μοντέλο της ιστροπικής κεραίας (isotropic radiator).

4.3 Κέρδος και απώλειες

Τυπικά οι κεραιές χαμηλού κόστους έχουν κέρδος μεταξύ 10dBi και 20dBi. Αυτό το κέρδος καταμετράται στην κατεύθυνση στην οποία η κεραιά συγκεντρώνει κυρίως την ισχύ και ονομάζεται «λοβός» (lobe). Αν είχε μετρηθεί πλάγια ή πίσω θα ήταν μικρότερο ή και αρνητικό. Άλλωστε δεν υπάρχει ενδιαφέρον για τις κατευθύνσεις εκείνες στις οποίες δεν εκπέμπεται σήμα, και ονομάζονται μηδενικές (nulls).

Το σήμα έχει απώλειες ή κέρδος σε όλα τα μέσα από τα οποία περνάει. Τα καλώδια και οι συνδέτες συμβάλλουν σημαντικά στις απώλειες σήματος. Οι απώλειες ενός καλωδίου μετρώνται σε dB/m. Για παράδειγμα το RG213 έχει απώλειες 4dB/m (ή κέρδος -4dB/m) για σήματα 2.4GHz. Ακόμα και ο αέρας ή το κενό στο διάστημα έχουν απώλειες, ενώ οι ενισχυτές έχουν κέρδος.

Αν προστεθούν όλα τα κέρδη και αφαιρεθούν οι απώλειες μπορεί να υπολογισθεί η συνολική ισχύς. Για παράδειγμα σε ένα σύστημα με μία κάρτα +10dBm, καλώδιο 5m με 0.4dB/m, κεραιά +12dBi και χωρίς συνδέτη, η ωφέλιμη ισχύς σήματος είναι $10-5*0.4+12=20\text{dBm}$ στην κεραιά (δε συνυπολογίζεται ο αέρας που παρεμβάλλεται).

Εκτός των παραπάνω απωλειών υπάρχει και το διάστημα που διανύει το σήμα. Οι απώλειες που σχετίζονται με αυτό ονομάζονται απώλειες διαδρομής (path loss). Η καθαρή απώλεια διαδρομής είναι η απώλεια που προκύπτει όταν ανάμεσα στις κεραιές εκπομπής και λήψης μεσολαβεί κενό και δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο στο ενδιάμεσο (όπως κτίρια ή δέντρα). Τότε η απώλεια είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης.

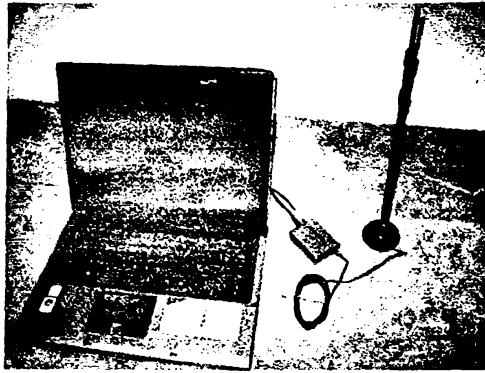
Όταν το σήμα φτάσει στην κάρτα του λήπτη (μέσω μιας κεραιάς και ενός καλωδίου με απώλειες), πρέπει να είναι αρκετά ισχυρό για να αναγνωσθεί. Αυτό εκφράζεται ως ευαισθησία της κάρτας. Για παράδειγμα τα σημεία πρόσβασης της EZY έχουν ονομαστική ευαισθησία -93dBm.

Στο προηγούμενο παράδειγμα, αν δηλαδή ο πομπός στέλνει στα 20dBm, οι απώλειες κατά την διαδρομή του σήματος είναι -108dB, ο δέκτης έχει μία κεραιά 15dBi και καλώδιο με απώλειες -2dB, προκύπτει ότι η απαιτούμενη ευαισθησία της κάρτας είναι 75dBm, απαίτηση που ικανοποιείται με την παραπάνω κάρτα. Επομένως υπάρχει και ένα μικρό περιθώριο για χειρότερης ποιότητας καλώδια, κεραιά χαμηλότερου κέρδους κ.λ.π. Όμως όλα αυτά είναι απλώς θεωρία. Στην πραγματικότητα τα κέρδη και οι απώλειες μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με το πως κινεί ο αέρας την κεραιά, την υγρασία στα καλώδια κ.ο.κ.



4.4 Μετρήσεις ισχύος και ποιότητας του αναμεταδότη R1

Στην εικόνα 74 φαίνονται οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της ισχύος και ποιότητας του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα οι συσκευές αποτελούνταν από μια πολυκατευθυντική κεραία 3dBi ένα σημείο πρόσβασης (AP) με ευαισθησία -86dB και ένα φορητό υπολογιστή.



Εικόνα 74. Συσκευές μέτρησης ισχύος και ποιότητας

Οι περισσότερες μετρήσεις έγιναν σε σημεία που είναι προσβάσιμα από το δρόμο. Έτσι οι συσκευές εγκαταστάθηκαν πάνω σε ένα αυτοκίνητο όπως φαίνεται στην εικόνα 75. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να μετράμε την ισχύ και την ποιότητα του σήματος στα τμήματα του οδικού δικτύου που μας ενδιαφέρει. Για την ταυτοποίηση των σημείων μέτρησης σε σχέση με την γεωγραφική τους θέση χρησιμοποιήθηκε συσκευή παγκόσμιου συστήματος θεσηθεσίας (Global Positioning System, GPS). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε θέση παρουσιάζονται παρακάτω.

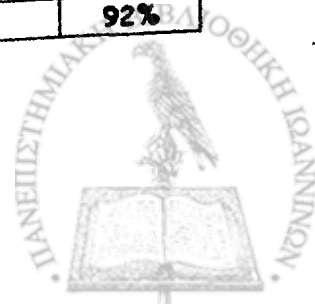


Εικόνα 75. Εγκατάσταση των συσκευών μέτρησης και ποιότητας ισχύος στο αυτοκίνητο

Στον πίνακα 16 και εικόνα 76 φαίνονται οι μετρήσεις ισχύος και ποιότητας του αναμεταδότη R1. Το πράσινο χρώμα δηλώνει ότι η σύνδεση είναι εφικτή με ελάχιστη ταχύτητα 11Mbps. Το πορτοκαλί χρώμα δηλώνει ότι η σύνδεση είναι εφικτή με ταχύτητα έως 11Mbps. Το κόκκινο χρώμα δηλώνει ότι η σύνδεση δεν είναι εφικτή (No Signal, N.S). Η εκπομπή σήματος του αναμεταδότη R1 γίνεται από το Δημοτικό Διαμέρισμα του Ελληνικού κοντά στην μόνη της Τσούκας με κατεύθυνση το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Οι συντεταγμένες της κεραίας είναι 39°32' 51.36»N και 20°58' 23.39»E

Πίνακας 16. Μετρήσεις ισχύος και ποιότητας αναμετάδοσης του Αναμεταδότη R1 περίξ της κατεύθυνσης προς το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Ταυτότητα σημείου	Συντεταγμένες Βόρεια (North)	Συντεταγμένες Ανατολικά (East)	Λαμβανιμενη ισχύς dBm	Ποιότητα σήματος Q
	N	E		Q
1	39°37' 01.81»	20°50' 17.87»	-49	91%
2	39°37' 08.24»	20°50' 43.07»	-56	87%
3	39°36' 55.36»	20°50' 46.90»	-58	82%
4	39°36' 41.64»	20°50' 43.93»	-62	82%
5	39°36' 18.72»	20°50' 33.94»	-68	30%
6	39°35' 50.80»	20°49' 54.87»	-57	84%
7	39°35' 57.24»	20°52' 01.98»	N.S	-
8	39°35' 52.89»	20°51' 55.62»	N.S	-
9	39°35' 42.42»	20°51' 49.19»	N.S	-
10	39°35' 39.53»	20°51' 04.20»	-49	96%
11	39°35' 32.74»	20°53' 02.54»	-52	96%
12	39°35' 27.49»	20°52' 50.61»	-46	98%
13	39°34' 56.36»	20°54' 20.79»	N.S	-
14	39°34' 50.14»	20°54' 21.75»	N.S	-
15	39°34' 39.45»	20°54' 21.33»	N.S	-
16	39°32' 59.76»	20°56' 04.89»	N.S	-
17	39°32' 41.19»	20°56' 10.68»	-62	75%
18	39°32' 31.60»	20°56' 11.69»	-56	88%
19	39°32' 20.38»	20°56' 14.05»	-53	90%
20	39°32' 14.13»	20°56' 15.28»	-52	90%
21	39°32' 59.99»	20°58' 06.00»	-45	97%
22	39°32' 54.69»	20°58' 16.27»	-50	92%
23	39°32' 30.84»	20°57' 42.64»	-47	94%
24	39°32' 21.42»	20°57' 54.03»	-47	93%
25	39°32' 22.59»	20°57' 35.85»	-48	94%
26	39°32' 18.82»	20°58' 07.23»	-47	92%





Εικόνα 76. Περιοχή κάλυψης του αναμεταδότη R1 GoogleEarth 27

4.5 Μετρήσεις ισχύος και ποιότητας του αναμεταδότη R3

Στον πίνακα 17 και εικόνα 77 φαίνονται οι μετρήσεις ισχύος και ποιότητας του αναμεταδότη R3. Το πράσινο χρώμα δηλώνει ότι η σύνδεση είναι εφικτή με ελάχιστη ταχύτητα 11Mbps. Το πορτοκαλί χρώμα δηλώνει ότι η σύνδεση είναι εφικτή με ταχύτητα έως 11Mbps. Το κόκκινο χρώμα δηλώνει ότι η σύνδεση δεν είναι εφικτή. Η εκπομπή σήματος του αναμεταδότη R2 γίνεται από το Ξηροβούνι με κατεύθυνση τον αναμεταδότη(R2) στο Δημοτικό Διαμέρισμα Ελληνικού. Οι συντεταγμένες της κεραίας είναι 39°25' 33.98»N και 21°00' 35.76»E

Πίνακας 17. Μετρήσεις ισχύος και ποιότητας αναμετάδοσης του Αναμεταδότη R1 περίξ της κατεύθυνσης προς αναμεταδότη Ελληνικού

Ταυτότητα σημείου	Συντεταγμένες Βόρεια (North) N	Συντεταγμένες Ανατολικά (East) E	Λαμβανιμενη ισχης dBm	Ποιότητα σήματος Q
27	39°32' 51.44»	20°58' 23.46»	-48	93%
28	39°32' 50.79»	20°58' 30.90»	-49	91%
29	39°32' 55.48»	20°57' 25.49»	-56	87%
30	39°32' 44.25»	20°56' 29.65»	N.C	-
31	39°32' 29.09»	20°56' 13.94»	N.C	-
32	39°32' 13.19»	20°56' 17.98»	N.C	-
33	39°31' 45.98»	20°56' 30.66»	N.C	-
34	39°29' 59.67»	20°57' 24.94»	N.C	-
35	39°29' 49.63»	20°57' 35.64»	N.C	-
36	39°29' 48.78»	20°57' 53.77»	N.C	-
37	39°29' 40.75»	21°01' 58.23»	-55	83%
38	39°29' 09.79»	21°01' 57.25»	-56	83%
39	39°29' 04.34»	21°01' 54.14»	-52	88%
40	39°28' 27.59»	21°01' 39.45»	-52	88%
41	39°28' 16.73»	21°02' 67.23»	-53	80%
42	39°28' 04.34»	21°02' 11.38»	-52	85%
43	39°27' 39.68»	21°01' 28.57»	-55	83%
44	39°27' 19.00»	21°01' 47.95»	N.C	-
45	39°27' 11.64»	21°02' 24.56»	N.C	-
46	39°27' 44.16»	21°00' 18.58»	-46	98%
47	39°27' 22.79»	21°00' 02.53»	-46	98%





Εικόνα 77. Περιοχή κάλυψης του αναμεταδότη R2 GoogleEarth 21



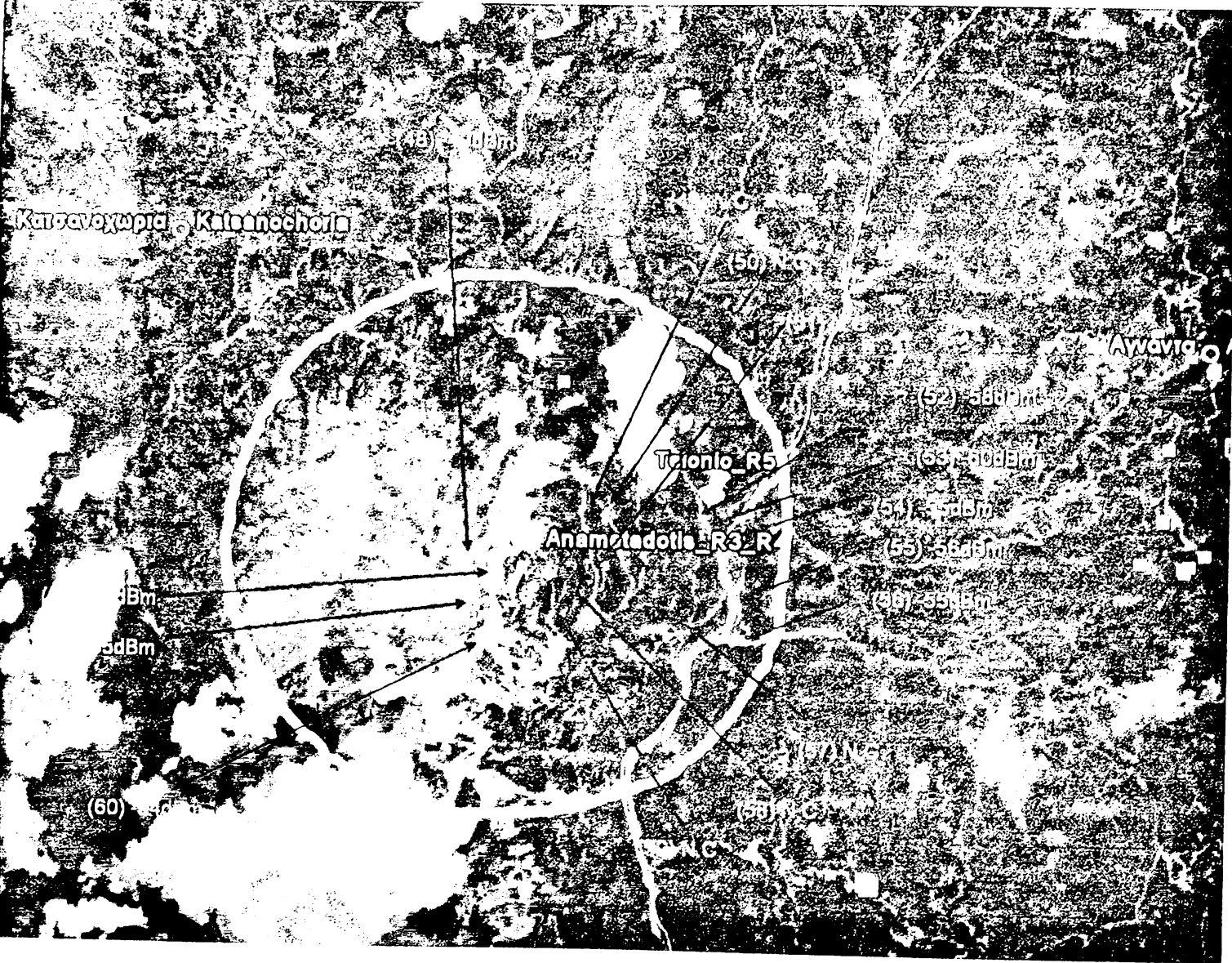
4.6 Μετρήσεις ισχύος και ποιότητας του αναμεταδότη R4

Στον πίνακα 18 και εικόνα 78 φαίνονται οι μετρήσεις ισχύος και ποιότητας του αναμεταδότη R4. Το πράσινο χρώμα δηλώνει ότι η σύνδεση είναι εφικτή με ελάχιστη ταχύτητα 11Mbps. Το πορτοκαλί χρώμα δηλώνει ότι η σύνδεση είναι εφικτή με ταχύτητα έως 11Mbps. Το κόκκινο χρώμα δηλώνει ότι η σύνδεση δεν είναι εφικτή. Οι συντεταγμένες της κεραίας είναι 39°25' 33.98»N και 21°00' 35.76»E. Σε αυτό το σημείο χρησιμοποιήθηκε πολυκατευθυντική κεραία για να καλύπτονται και οι δυο παραπόταμοι που βρίσκονται κοντά στον Άραχθο.

Πίνακας 18. Μετρήσεις ισχύος και ποιότητας αναμετάδοσης του Αναμεταδότη R4 στην περιοχή του Ξηροβουνίου με πολυκατευθυντική κεραία .

Ταυτότητα σημείου	Συντεταγμένες Βόρεια (North)	Συντεταγμένες Ανατολικά (East)	Λαμβανιμενη ισχης	Ποιότητα σήματος
	N	E	dBm	Q
48	39°27' 27.93»	21°00' 28.72»	-49	92%
49	39°27' 40.17»	21°01' 03.20»	N.C	-
50	39°27' 40.57»	21°01' 12.16»	N.C	-
51	39°27' 21.57»	21°01' 06.42»	N.C	-
52	39°27' 37.98»	21°01' 47.91»	-58	76%
53	39°27' 31.77»	21°01' 51.53»	-60	55%
54	39°27' 31.87»	21°02' 02.10»	-55	83%
55	39°27' 15.48»	21°02' 04.44»	-56	85%
56	39°27' 01.07»	21°02' 04.60»	-55	85%
57	39°27' 03.27»	21°01' 43.83»	N.C	-
58	39°27' 14.06»	21°00' 56.18»	N.C	-
59	39°27' 05.83»	21°00' 49.95»	N.C	-
60	39°27' 00.33»	21°00' 26.07»	-54	89%
61	39°27' 12.77»	21°00' 23.68»	-65	48%
62	39°27' 20.16»	21°00' 29.75»	-49	94%





Εικόνα 78: Περιοχή κάλυψης του αναμεταδότη R4 GoogleEarth 21



4.7 Απόδοση συστήματος ιχνηλάτησης του ηλίου

Πριν ολοκληρωθεί η κατασκευή του τελικού συστήματος ιχνηλάτησης του ηλίου δημιουργήθηκε ένα μοντέλο σε κλίμακα 10:1 για να καταγραφεί η συμπεριφορά του και να βελτιωθούν οι επιδόσεις του. Το μοντέλο έφερε φωτοβολταϊκή γεννήτρια ισχύος 10W , μπαταρία χωρητικότητας 7Ah τάσης 12V . Το σύστημα είχε δυνατότητα κίνησης και στους δυο άξονες με την βοήθεια δυο κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Στον οριζόντιο άξονα είχε εύρος κίνησης 300° ενώ στον κάθετο άξονα είχε εύρος κίνησης 95°. Για να γίνει η αξιολόγηση του συστήματος τοποθετήθηκε στην ταράτσα του Πανεπιστημίου για 35 μέρες μαζί με μια άλλη φωτοβολταϊκή γεννήτρια ισχύος 10W μαζί με μια μπαταρία χωρητικότητας 7Ah και τάσης 12V χωρίς σύστημα ιχνηλάτησης του ηλίου. Στη συνέχεια συνδέθηκαν τα δύο συστήματα έτσι ώστε να τροφοδοτούν ένα φορτίο των 100 Ohm το καθένα. Κατόπιν με έναν καταγραφέα δεδομένων καταγράφονταν το ρεύμα και την τάση που παρήγαγε κάθε φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Έτσι μπορούσε να υπολογισθεί η στιγμιαία ισχύ κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Με αυτόν τον τρόπο μπορούσε να βελτιστοποιηθεί το λογισμικό αλλά και ο σχεδιασμός του πλαισίου στη πραγματική κλίμακα. Τα τελικά αποτελέσματα τις έρευνας υστέρη από τις βελτιώσεις του λογισμικού δείχνουν ότι ένα σύστημα ιχνηλάτησης του ηλίου δύο αξόνων μπορεί να βελτιώσει την ημερησία απόδοση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας έως 23% για μέρες πλήρους ηλιοφάνειας, ενώ για μέρες βαριάς συννεφιάς η βελτίωση μπορεί να φτάσει έως 38%.

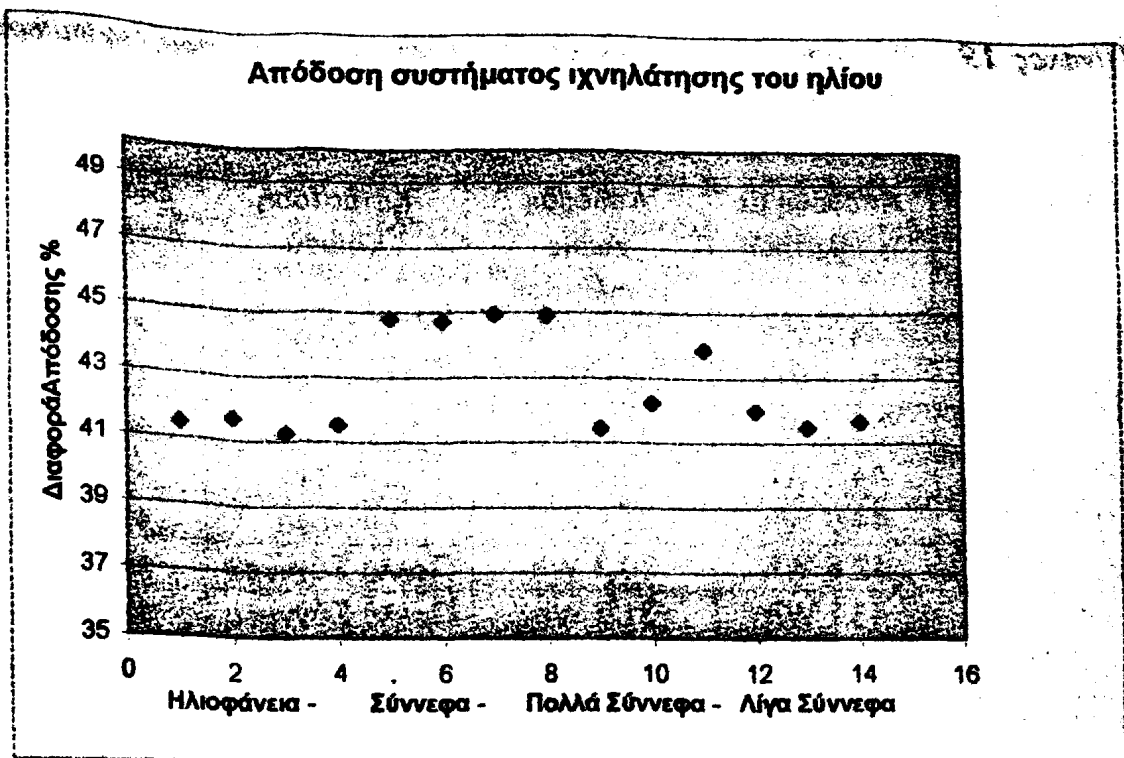


Εικόνα 79: Σύστημα ιχνηλάτησης του ηλίου μοντέλο σε κλίμακα 10:1

Πίνακας 19. Μετρήσεις 14 ημερών με τη χρήση του τελευταίου λογισμικού στο cpld του συστήματος ιχνηλάτησης του ηλίου

Ημερομηνία	Απόδοση με ιχνηλάτηση	Απόδοση χωρίς ιχνηλάτηση	Κατάσταση Καιρού	Διαφορά Απόδοσης %
4/10/2008	44.7 Wh	31.7 Wh	Σύννεφα	41,49
5/10/2008	46.2 Wh	33 Wh	Σύννεφα	41,67
6/10/2008	58.4 Wh	47.4 Wh	Ηλιοφάνεια	44,80
7/10/2008	44.3 Wh	31.1 Wh	Σύννεφα	41,25
8/10/2008	44.9 Wh	31.9 Wh	Σύννεφα	41,54
9/10/2008	42.8 Wh	30.3 Wh	Πολλά Σύννεφα	41,45
10/10/2008	43.1 Wh	31.5 Wh	Πολλά Σύννεφα	42,23
11/10/2008	48.9 Wh	38.2 Wh	Λίγα Σύννεφα	43,86
12/10/2008	55.6 Wh	45 Wh	Ηλιοφάνεια	44,73
13/10/2008	53.9 Wh	44 Wh	Ηλιοφάνεια	44,94
14/10/2008	57.4 Wh	46.8 Wh	Ηλιοφάνεια	44,91
15/10/2008	49.6 Wh	35.9 Wh	Λίγα Σύννεφα	41,99
16/10/2008	45.5 Wh	32.6 Wh	Λίγα Σύννεφα	41,49
17/10/2008	48.7 Wh	34.2 Wh	Λίγα Σύννεφα	41,67

Παρατηρώντας τον πίνακα 19 φαίνεται ότι το σύστημα ιχνηλάτησης του ηλίου έχει επιπλέον ενεργειακή απόδοση από 40 έως 45%. Από την επιπλέον απόδοση του συστήματος θα πρέπει να αφαιρεθεί τουλάχιστον η ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των υλικών του συστήματος ιχνηλάτησης. Πιο συγκεκριμένα πρέπει να αφαιρεθεί η ενέργεια που δαπανήθηκε για την εξόρυξη και μεταποίηση των τεσσάρων κιλών επιπλέον αλουμινίου που απαιτεί το σύστημα ιχνηλάτησης όπως επίσης και η ενέργεια που απαιτήθηκε για την κατασκευή του κινητήρα του ίδιου συστήματος. Η αφαίρεση των παραπάνω ενεργειών γίνεται ισόποσα από τα 20 έτη της εγγυημένης ενεργειακής απόδοσης που δίνει ο κατασκευαστής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Έτσι η πραγματική απόδοση επιπλέον περιορίζεται κατά προσέγγιση λίγο κάτω από το 30%. Η φαινομενική απόδοση είναι κατά μέσο όρο στο 42,7%. Περισσότερες πληροφορίες φαίνονται στην εικόνα 80



Εικόνα 80. Φαινομενική απόδοση του συστήματος ιχνηλάτησης του ηλίου σε συνάρτηση των καιρικών συνθηκών σε σύγκριση με σύστημα χωρίς μηχανισμό ιχνηλάτησης ηλίου



5. Συμπεράσματα-Γενικές παρατηρήσεις-μελλοντική εξέλιξη του συστήματος

Το δίκτυο που κατασκευάστηκε για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα στην ταχύτητα διαμεταγωγής των δεδομένων ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην συγκεκριμένη περιοχή. Η ελάχιστη ταχύτητα που επιτυγχάνει σε συνθήκες κακοκαιρίας είναι 11Mbps, ενώ η μέγιστη ταχύτητα σε περιόδους καλοκαιρίας ανέρχεται στα 54Mbps. Επειδή το σύστημα έγινε με υλικά που δεν είναι κατάσκευασμένα για χρήση σε εξωτερικό περιβάλλον, αλλά τροποποιήθηκαν έτσι ώστε να μπορούν να αντεπεξέλθουν στις απαιτήσεις, το κόστος υλοποίησης του συστήματος ήταν μικρότερο του φυσιολογικού. Σε κάθε σημείο που υπάρχει αναμεταδότης, μπορεί να γίνει επέκταση του δικτύου, είτε στα 2,4GHz, είτε στη νέα τεχνολογία των 5GHz, αλλά και σε παλαιότερες τεχνολογίες των 1,2GHz και 450MHz. Το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει άλλες 249 συσκευές-πελάτες οι οποίοι θα μπορούν να μετράνε οποιαδήποτε παράμετρο του φυσικού περιβάλλοντος στο χώρο όπου είναι τοποθετημένες, όπως μετεωρολογικά δεδομένα, δεδομένα από σειсмоγράφους κ.λ.π.. Επίσης οι τοποθεσίες των αναμεταδοτών έχουν επιλεχτεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά για την κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους του Άραχθου.

Στους τρεις μήνες λειτουργίας του δικτύου έχει παρουσιαστεί μία μόνο διακοπή μετάδοσης δεδομένων εξαιτίας πολυήμερης χιονόπτωσης και κάλυψης του φωτοβολταϊκού με στρώμα χιονιού. Το σύστημα επανήλθε αυτόματα σε κατάσταση λειτουργίας όταν έλιωσε το χιόνι πάνω από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Τα δεδομένα που μετρήθηκαν κατά την περίοδο που το σύστημα ήταν σε διακοπή δε χάθηκαν καθώς ο webserver έχει τη δυνατότητα διατήρησης των τιμών των μετρήσεων για δύο μήνες. Έτσι λοιπόν όταν το δίκτυο επανέρχεται ο webserver στέλνει όλα τα δεδομένα.

Επειδή το ασύρματο δίκτυο συνδέεται με το τοπικό δίκτυο του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων έπρεπε να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ασφάλεια του δικτύου. Για την καλύτερη δυνατή προστασία του δικτύου πάρθηκαν τα έξι μέτρα:

- Προστασία συσκευών ασύρματου δικτύου με κωδικούς πρόσβασης
- Πρόνομιο πρόσβασης στις συσκευές του ασύρματου δικτύου μόνο από επιλεγμένες διευθύνσεις MAC
- Κλείδωμα ασύρματου δικτύου με WEP key
- Λογισμικό τοίχους προστασίας στον υπολογιστή που συνδέει το ασύρματο δίκτυο με το δίκτυο του πανεπιστημίου

Για να επιτευχθεί η ζεύξη 14,8Km μεταξύ Πανεπιστημίου Ιωαννίνων με την περιοχή της Τσούκας η ισχύ εκπομπής είναι 100mw (19dbm) η οποία διοχετεύεται σε μια κατευθυντική κεραία απολαβής 23dbi. Η ωφέλιμη ισχύς σήματος είναι $19+23=42\text{dBm}$ στην κεραία. Τα 42dBm η ωφέλιμης εκπεμπόμενη ισχύς είναι αρκετά πάνω από το όριο που θέτει η μονοθεσία για εκπομπή χωρίς άδεια στη περιοχή των 2,4GHz. Βέβαια η εκπομπή γίνεται πολύ κατευθυντικά από/προς μη κατοικημένες περιοχές. Έτσι ελαχιστοποιούνται οι ενδεχόμενες παρεμβολές σε συσκευές που θα μπορούσαν να προκληθούν σε μια κατοικημένη περιοχή.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην αντικεραυνική προστασία τοποθετώντας προστασίες υπέρτασης στα τροφοδοτικά των συσκευών αλλά και με την τοποθέτηση αντικεραυνικής προστασίας στις κεραίες. Προτείνεται μελλοντικά για καλύτερη προστασία του αναμεταδότη του Ξηροβουνίου η τοποθέτηση αλεξικέρανου.



ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1]: <http://en.wikipedia.org/wiki/WECA>
- [2]: Σπύρος Δ. Αρσένης, Σχεδιασμός και υλοποίηση ασύρματων δικτύων έκδοση 2^η, ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ 2009
- [3]: Matthew S. Gast, 802.11 Wireless Networks, O'Reilly Media, Inc, USA, 2002
- [4]: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- [5]: http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_Protected_Access
- [6]: Debra, Wetteroth, OSI Reference Model for Telecommunications, R & D 2001
- [7]: Cooklev, IEEE Wireless Communication Standards A IEEE 2004
- [8]: Charles, Spurgeon, Ethernet, O'Reilly Media, Inc, USA, 2000
- [9]: http://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-hopping_spread_spectrum
- [10]: Hsu, Hwei P., Αναλογικές και ψηφιακές επικοινωνίες, Τζιόλα 2002
- [11]: http://en.wikipedia.org/wiki/Direct-sequence_spread_spectrum
- [12]: http://en.wikipedia.org/wiki/Complementary_code_keying
- [13]: <http://en.wikipedia.org/wiki/OFDM>
- [14]: Σπύρος Δ. Αρσένης Σχεδιασμός και υλοποίηση δικτύων έκδοση 2^η Κλειδάριαριθμος 2003
- Mark, Dye, Rick, McDonald, Antoon, Ruffi Network Fundamentals, CCNA Exploration Companion Guide, Pearson Education (US) 2007
- [15]: Ross John, Εισαγωγή στη ασύρματη δικτύωση, Κλειδάριαριθμος 2009
- Tanenbaum, Andrew S. Δίκτυα υπολογιστών, Κλειδάριαριθμος 2003

Σπύρος Δ. Αρσένης Σχεδιασμός και υλοποίηση ασύρματων δικτύων
Κλειδάριθμος 2003

[16]: Jan, Axelson ,USB Complete, Lakeview Research, U.S. ,2005

<http://en.wikipedia.org/wiki/Usb>

[17]: Martin P., Clark ,Wireless Access Networks, John Wiley and Sons Ltd
2000

<http://en.wikipedia.org/wiki/Ad-hoc>

[18]: Ciccarelli, Patrick, Faulkner, Christina ,Δίκτυα υπολογιστών,
Γκιούρδας Μ. 2005

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

[19]: http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_Distribution_System

[20]: Stewart, Miller, WiFi Security ,McGraw-Hill Education - Europe 2003

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

[21]: <http://en.wikipedia.org/wiki/IETF>

[22]: http://en.wikipedia.org/wiki/Media_Access_Control

[23]: http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN

[24]: http://en.wikipedia.org/wiki/Mbps#Megabit_per_second

[25]: McDonald, Noel, Omnidirectional Pattern Directivity in the Presence of
Minor Lobes: Revisited, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*
Magazine, Volume 41, No. 2 April 1999, pp. 63-68

[26]: http://en.wikipedia.org/wiki/Parabolic_antenna

[27] ZyTrax Inc, <http://www.zytrax.com/tech/wireless/fresnel.htm>, 2005

[28]: Hsu, Hwei P Αναλογικές και ψηφιακές επικοινωνίες Τζιόλα 2002



[http://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_\(radio\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_(radio))

[29]: Hsu, Hwei P., Αναλογικές και ψηφιακές επικοινωνίες, Τζιόλα 2004

[30]: <http://www.aerial.net/shop/>

[31]: <http://www.pacwireless.com/home.shtml>

[32]: Kraus, John D., Κεραίες, Τζιόλα 1998

[33]: Σπύρος Δ. Αρσένης, Σχεδιασμός και υλοποίηση ασύρματων δικτύων έκδοση 2^η, ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ 2009

[34] Βουρδούμπας, Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Κλειδάριθμος 2006

[35]: <http://www.level1.com/>

[36] King, D.L. and Boyson, W.E. and Kratochvil, J.A.,
Analysis of factors influencing the annual energy production of
photovoltaic systems, May 2002

[37]: <http://www.national.com/analog>

[38]: Στάθης Μπλέτσας, ανάπτυξη αυτόνομης μονάδας καταμέτρησης
παλμών, 2008

<http://en.wikipedia.org/wiki/CPLD>

[39]: <http://www.xilinx.com>

[40]: Μαλατεστα-Μανια, Συστήματα οδήγησης ηλεκτρικών κινητήρων,
ΣΥΜΕΩΝ

Roger L. Tokheim, Digital Electronics, McGraw-Hill Education - Europe
1999

Taylor & Francis Ltd, Handbook of Electric Motors, 1994

Thomas E. Kissell, Adie, Nelson, Jim, Leach, Industrial Electronics,
Pearson Education (US) Liptak, Bela G,

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

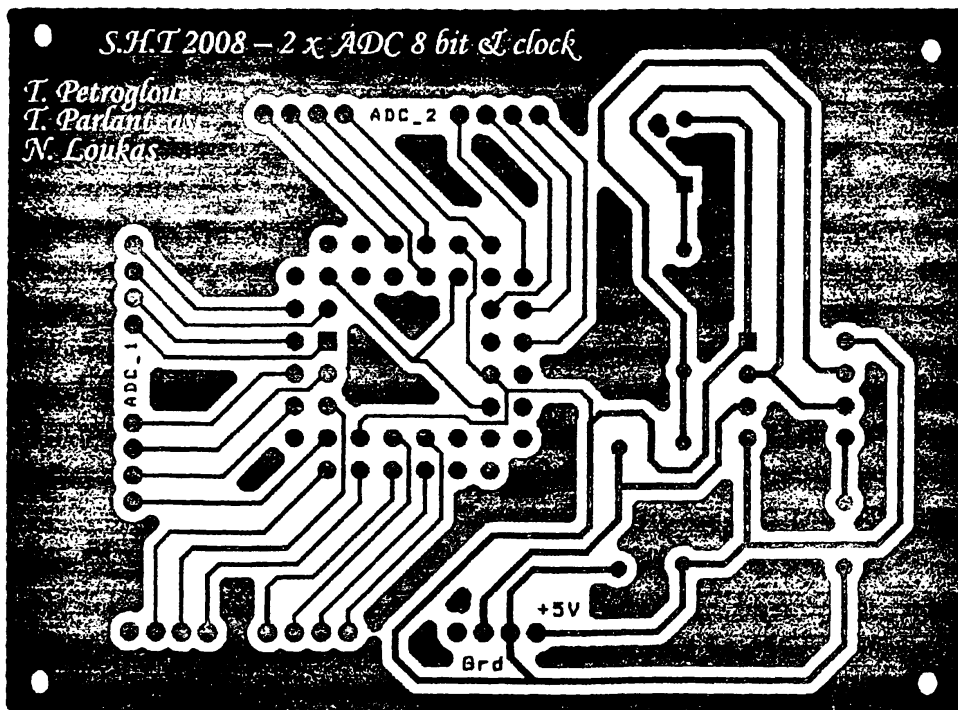


- [41]: http://en.wikipedia.org/wiki/Schmitt_trigger
- [42]: <http://www.microchip.com/>
- [43]: <http://www.cadence.com/products/orcad/pages/default.aspx>
- [44]: <http://www.atmel.com/>
- [45]: http://en.wikipedia.org/wiki/Watchdog_Timer
- [46]: <http://www.mclennan.co.uk/>
- [47]: http://209.85.129.132/search?q=cache:MeiD09u5nT8J:el.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System+gps&cd=5&hl=el&ct=clnk&gl=gr
- [48]: <http://cnx.org/content/m11678/latest/XC9536.pdf>
- [49]: http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode
- [50]: <http://earth.google.com/>
- [51]: "IEEE Std 802.11-2007, Section 3.16, p. 6". 2007-06-12.
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2007>, Retrieved on 2008-05-07
<http://en.wikipedia.org/wiki/SSID>
- [52]: <http://www.dlink.gr/>
<http://www.dlink.com/>
- [53]: http://en.wikipedia.org/wiki/Texas_Instruments
<http://www.ti.com/>
- [54]: <http://www.axitecsolar.com/english/modules/>
- [55]: <http://www.boschautoparts.co.uk/pcBatt1.asp?c=2&d=1>

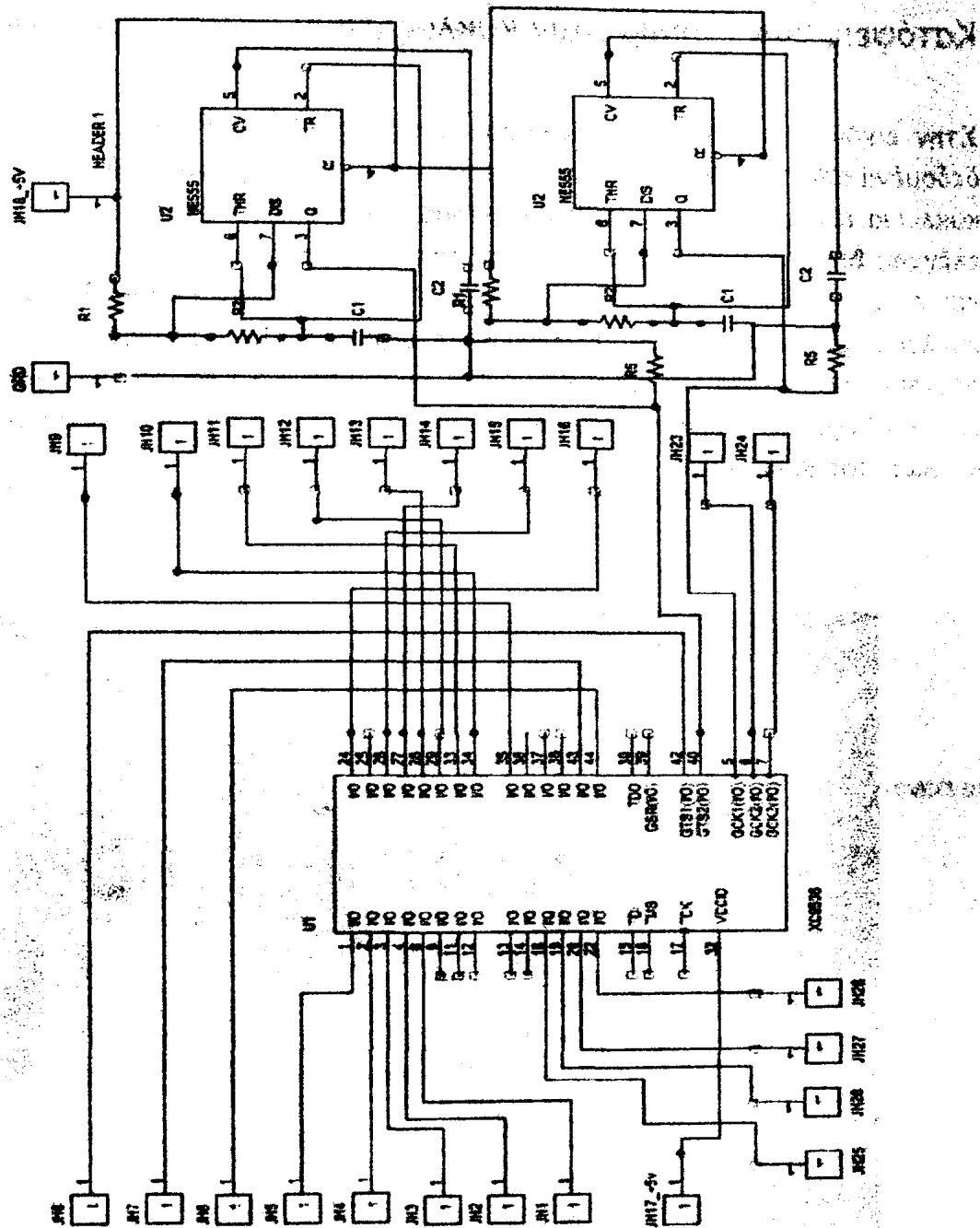


Κατόψεις των τυπωμένων κυκλωμάτων

Στην εικόνα 81 φαίνεται το κύκλωμα επιλογής το οποίο ζητάει και παίρνει τα δεδομένα από τους δυο ADC και αποφασίζει τις εντολές κίνησης που θα δώσει στο κύκλωμα ελέγχου του βηματικού κινητήρα. Στην εικόνα 83 φαίνεται το κύκλωμα ελέγχου βηματικού κινητήρα το οποίο παίρνει εντολές από το κύκλωμα επιλογής και είναι αυτό που οδηγεί το βηματικό κινητήρα. Στην εικόνα 87 φαίνεται το κύκλωμα μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό. Το κύκλωμα αυτό δίνει τις ψηφιακές λέξεις στο κύκλωμα επιλογής. Στην εικόνα 83 βρίσκεται η φωτογραφία του κυκλώματος επιλογής ενώ στην εικόνα 86 βρίσκεται η φωτογραφία του κυκλώματος ελέγχου βηματικού κινητήρα



Εικόνα 81. Κύκλωμα επιλογής σε κλίμακα 125%

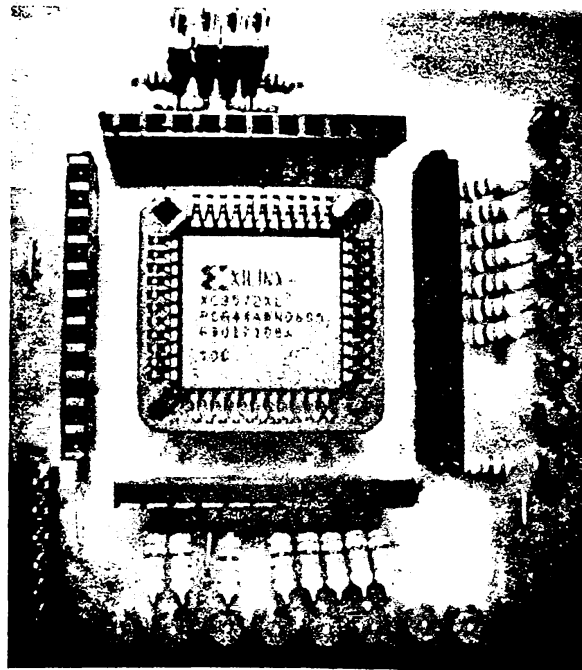


Εικόνα 82. Σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος επιλογής

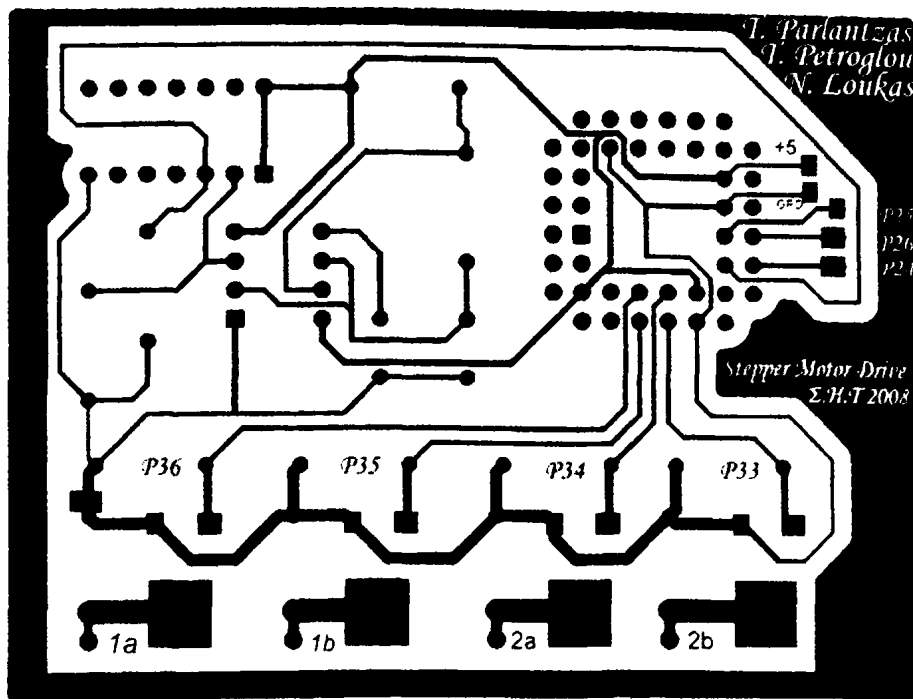


Πίνακας 20. Ηλεκτρονικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα επιλογής

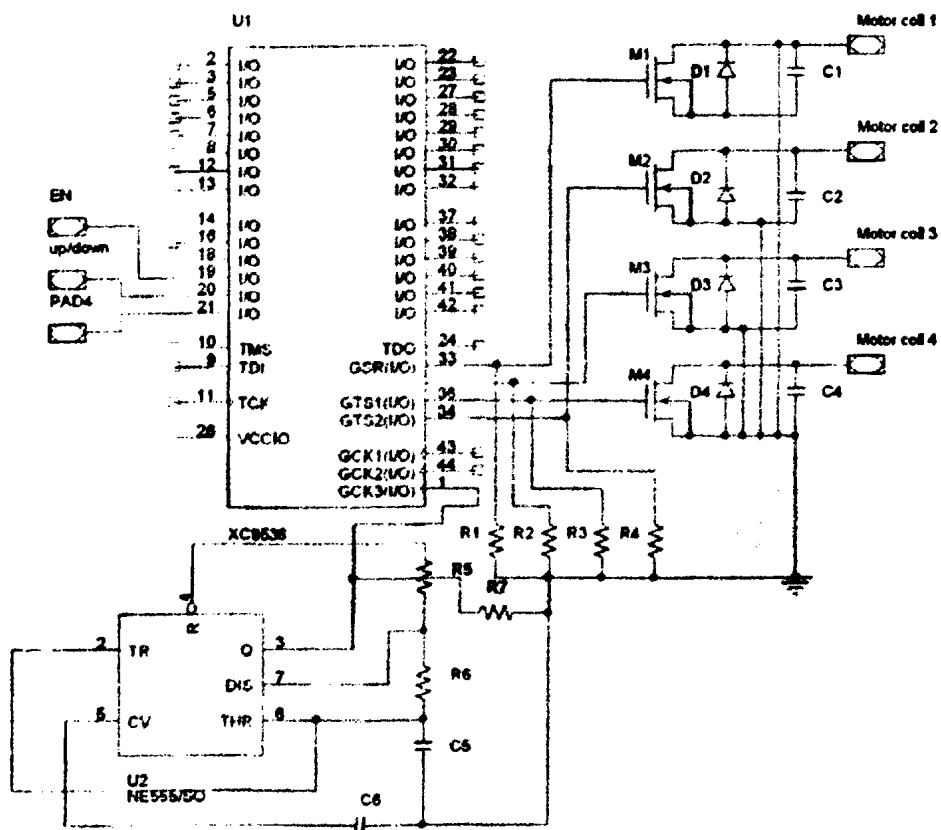
A/A	Όνομα στοιχείου	Τύπος-Τιμή	Περιγραφή
1	U1	XC9536	CPLD
2	U2	NE555	Χρονιστής
7	R1	1KΩ	Αντιστάτης
8	R2	1KΩ	Αντιστάτης
9	R3	1KΩ	Αντιστάτης
11	R5	2.7KΩ	Αντιστάτης
17	C1	33nF	Πυκνωτής
18	C2	10nF	Πυκνωτής



Εικόνα 83. κυκλώματος επιλογής

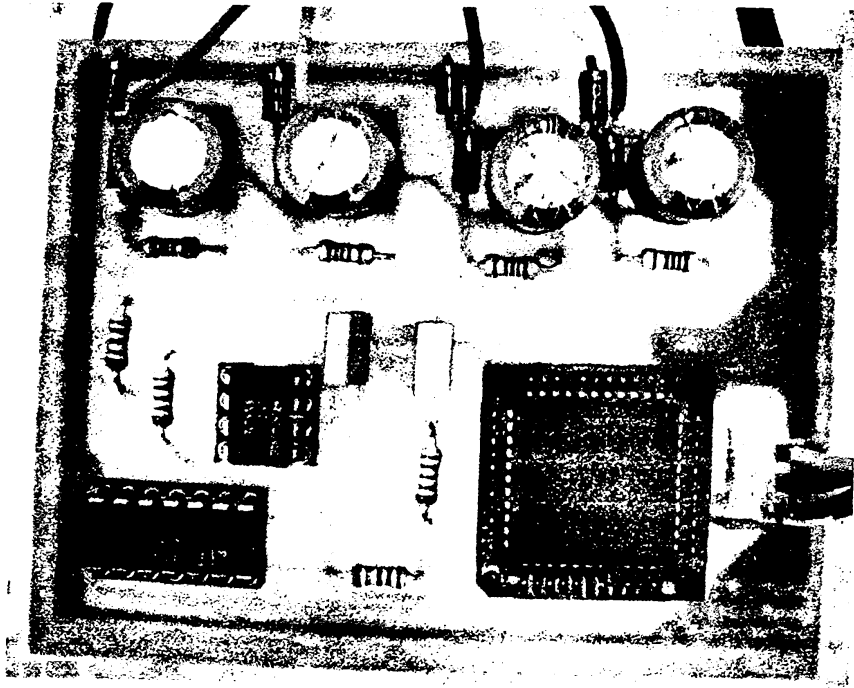


Εικόνα 84. Κύκλωμα ελέγχου βηματικού κινητήρα σε κλίμακα 125%



Εικόνα 85. Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος ελέγχου βηματικού κινητήρα



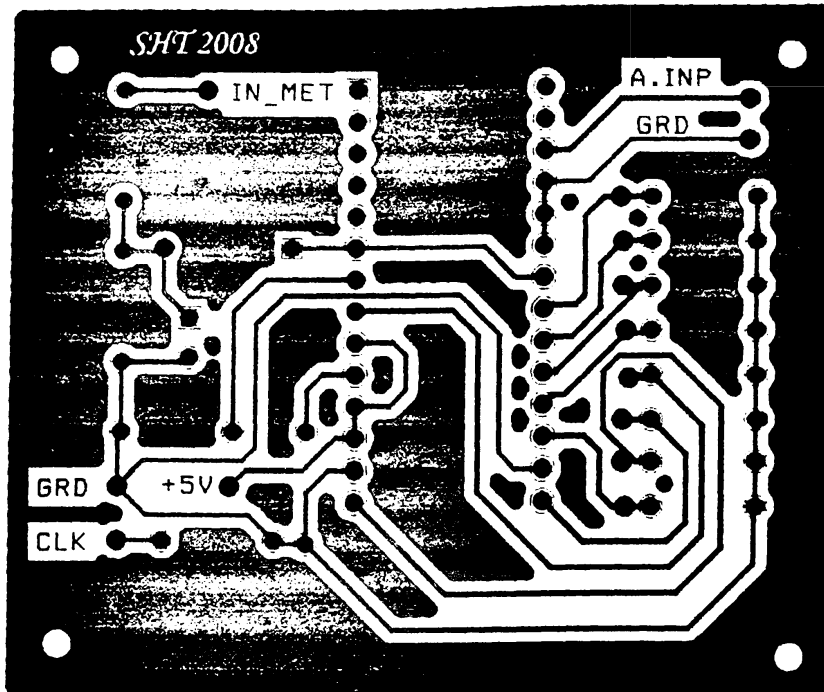


Εικόνα 86. κυκλώμα ελέγχου βηματικού κινητήρα

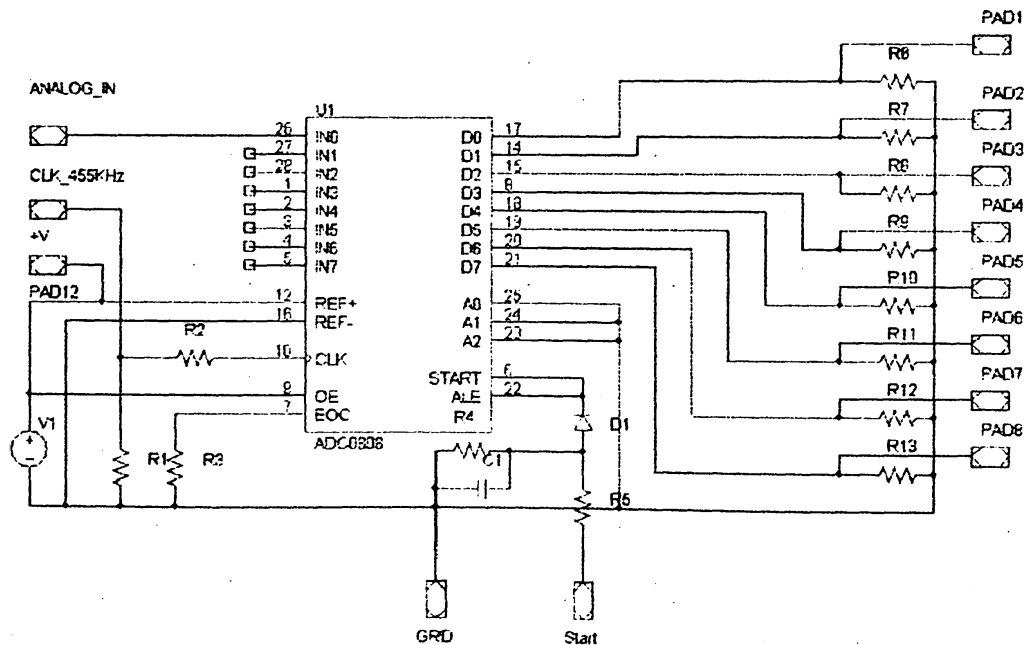
Πίνακας 21. Ηλεκτρονικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο κυκλώμα ελέγχου βηματικού κινητήρα

A/A	Όνομα στοιχείου	Τύπος-Τιμή	Περιγραφή
1	U1	XC9536	CPLD
2	U2	NE555	Χρονιστής
3	D1	1N4007	Δίοδος
4	D2	1N4007	Δίοδος
5	D3	1N4007	Δίοδος
6	D4	1N4007	Δίοδος
7	R1	1K Ω	Αντιστάτης
8	R2	1K Ω	Αντιστάτης
9	R3	1K Ω	Αντιστάτης
10	R4	10K Ω	Αντιστάτης
11	R5	2.7K Ω	Αντιστάτης
12	R6	2.7K Ω	Αντιστάτης
13	M1	STD30NF06	MOSFET
14	M2	STD30NF06	MOSFET
15	M3	STD30NF06	MOSFET
16	M4	STD30NF06	MOSFET
17	C1	1000 μ F	Πυκνωτής
18	C2	1000 μ F	Πυκνωτής
19	C3	1000 μ F	Πυκνωτής
20	C4	1000 μ F	Πυκνωτής
21	C5	1 μ F	Πυκνωτής
22	C6	10nF	Πυκνωτής





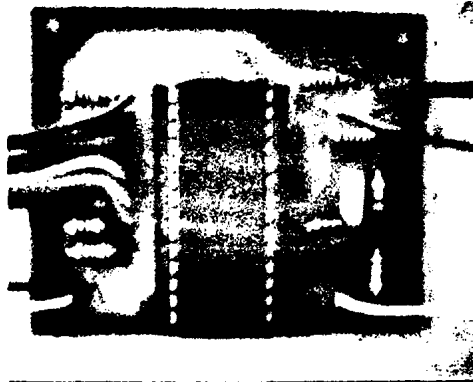
Εικόνα 87. Κύκλωμα μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό 8-bit σε κλίμακα 135%



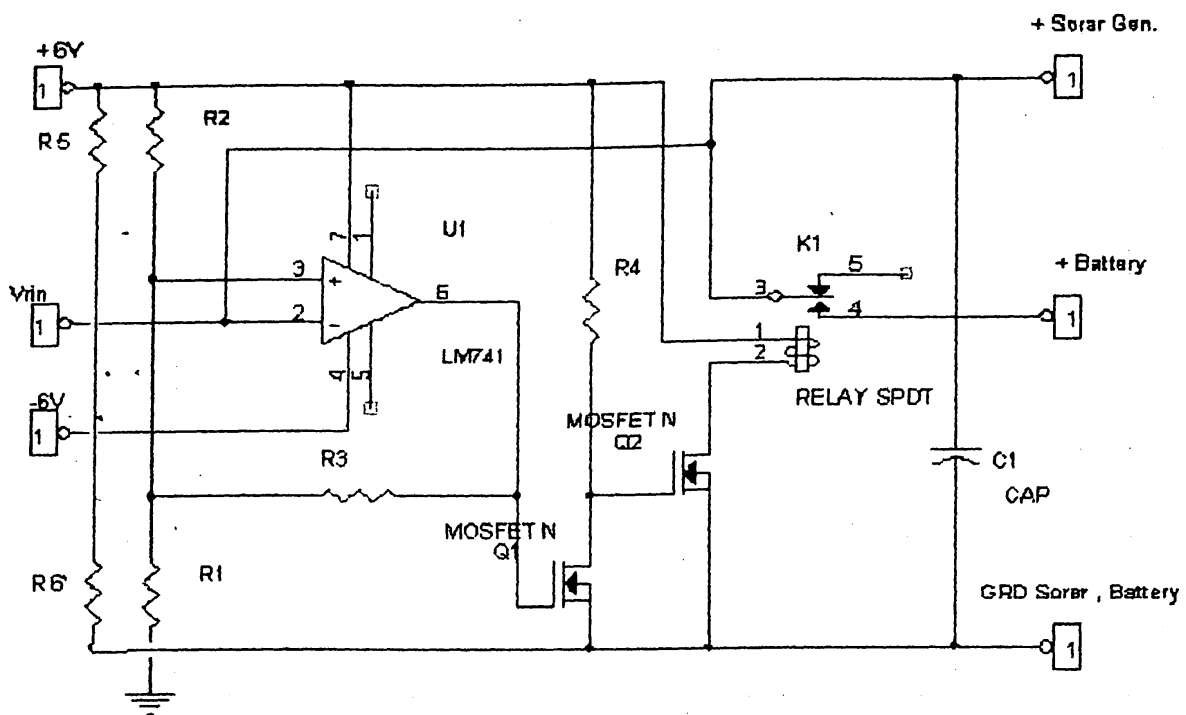
Εικόνα 88. Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό 8-bit

Πίνακας 22. Ηλεκτρονικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό 8-bit

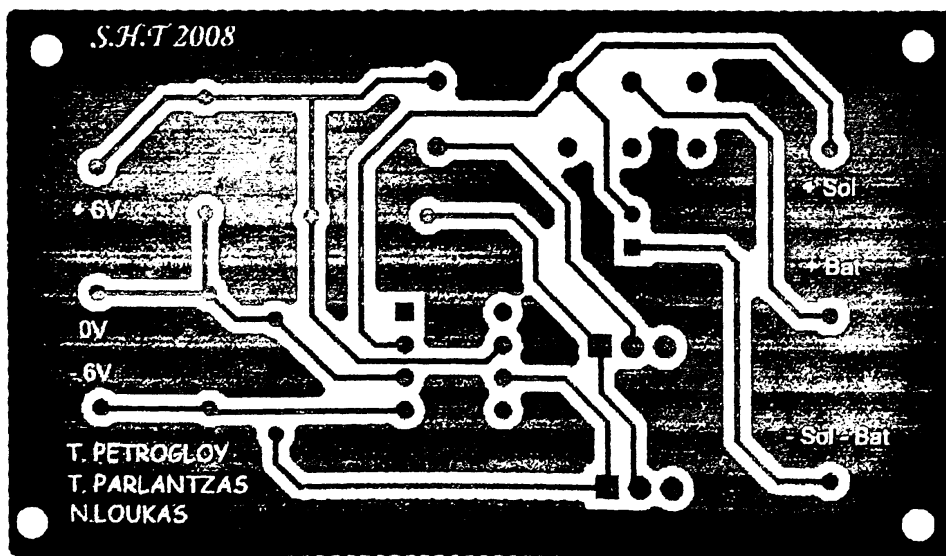
A/A	Όνομα στοιχείου	Τύπος-Τιμή	Περιγραφή
1	U1	ADC0808CCN	Μετατροπέας A/D
2	C1	1μF	Πυκνωτής
3	D1	1N4007	Δίοδος
4	R1	1KΩ	Αντιστάτης
5	R2	1KΩ	Αντιστάτης
6	R3	1KΩ	Αντιστάτης
7	R4	10KΩ	Αντιστάτης
8	R5	1KΩ	Αντιστάτης
9	R6	520Ω	Αντιστάτης
10	R7	520Ω	Αντιστάτης
11	R8	520Ω	Αντιστάτης
12	R9	520Ω	Αντιστάτης
13	R10	520Ω	Αντιστάτης
14	R11	520Ω	Αντιστάτης
15	R12	520Ω	Αντιστάτης
16	R13	520Ω	Αντιστάτης



Εικόνα 89. Κύκλωμα μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό 8-bit



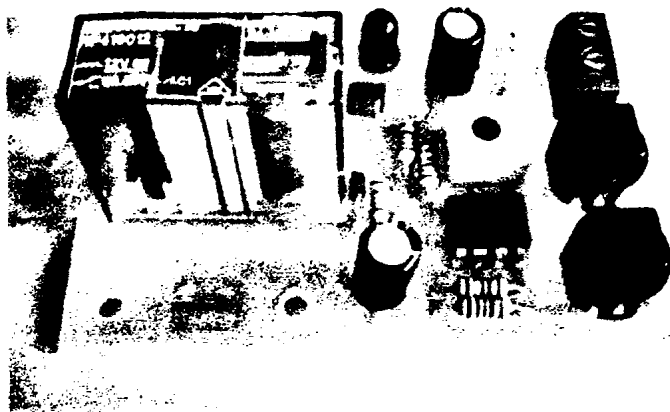
Εικόνα 90. Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος φόρτισης



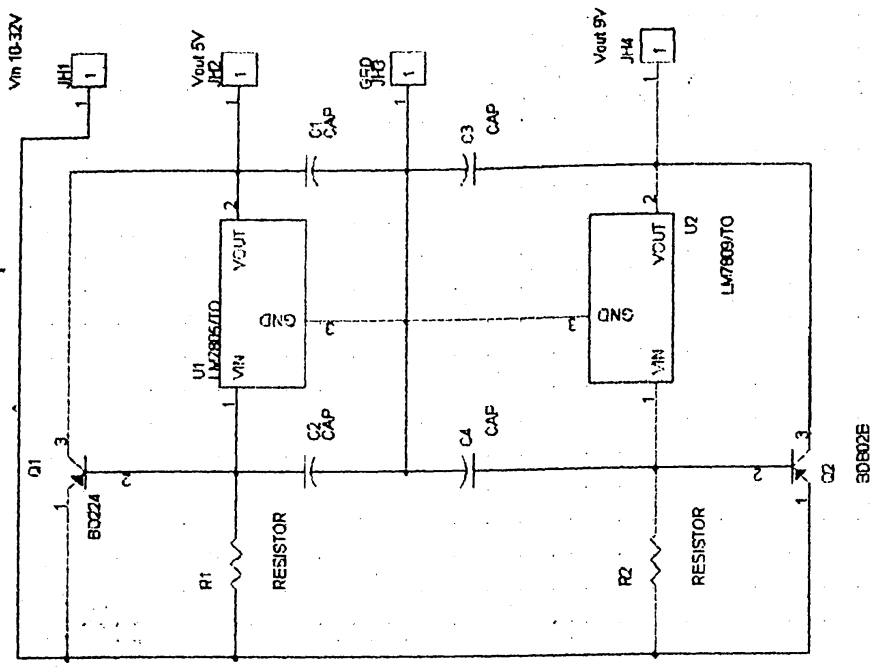
Εικόνα 91. Κύκλωμα φόρτισης σε κλίμακα 135%

Πίνακας 23. Ηλεκτρονικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα φόρτισης

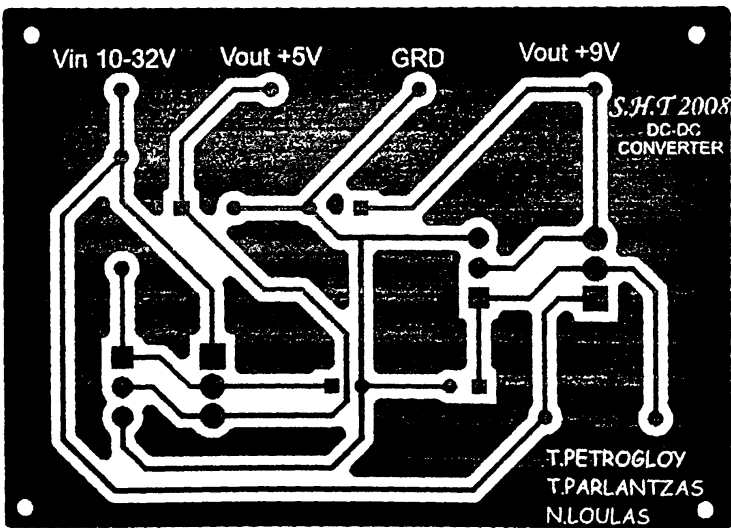
A/A	Όνομα στοιχείου	Τύπος-Τιμή	Περιγραφή
1	R1	10kΩ	Αντιστάτης
2	R2	10kΩ	Αντιστάτης
3	R3	6,3 kΩ	Αντιστάτης
4	R4	1,8 kΩ	Αντιστάτης
5	R5	8,2 kΩ	Αντιστάτης
6	R6	8,2 kΩ	Αντιστάτης
7	C1	10.000μF	Πυκνωτής
8	U1	LM 741	Op. Amp.
9	Q1	2SK2662	MosFet
10	Q2	2SK2662	MosFet



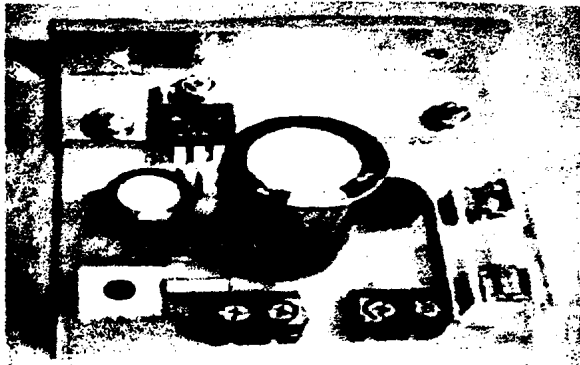
Εικόνα 92. Κύκλωμα φόρτισης



Εικόνα 93. Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος μετατροπέα συνεχούς-συνεχούς



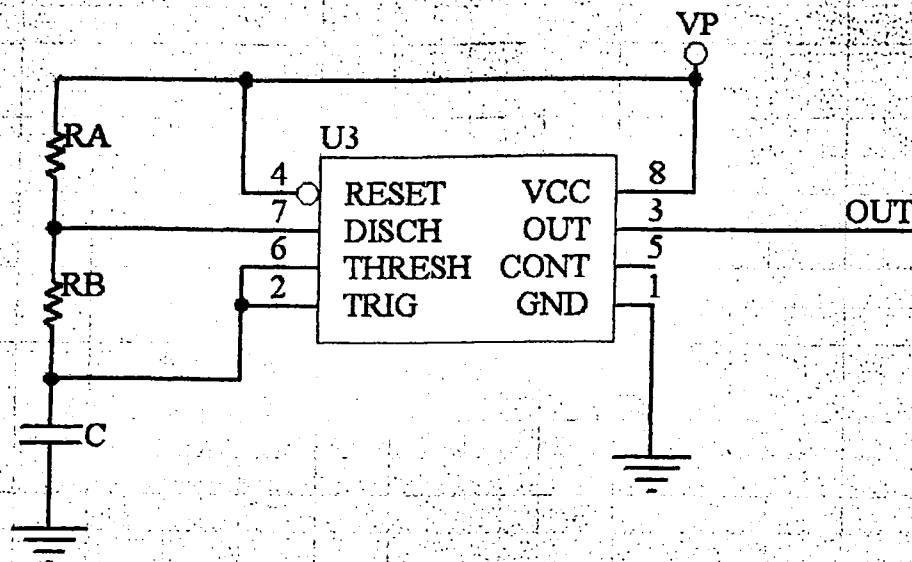
Εικόνα 94. Κύκλωμα μετατροπέα συνεχούς-συνεχούς



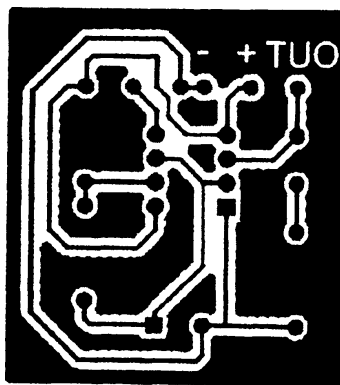
Εικόνα 95. Μετατροπέας συνεχούς-συνεχούς

Πίνακας 24. Ηλεκτρονικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα μετατροπέα συνεχούς-συνεχούς

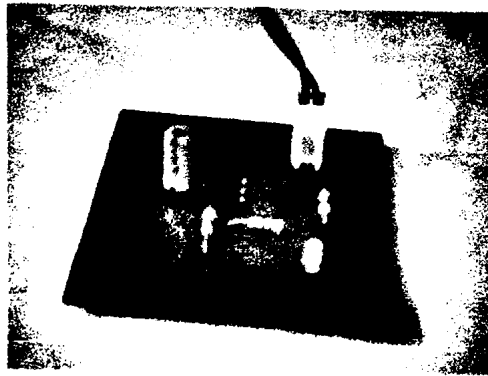
A/A	Όνομα στοιχείου	Τύπος-Τιμή	Περιγραφή
1	R1	50Ω/10W	Αντιστάτης
2	R2	50Ω/10W	Αντιστάτης
3	C1	10 μF	Πυκνωτής
4	C2	1000 μF	Πυκνωτής
5	C3	10 μF	Πυκνωτής
6	C4	1000 μF	Αντιστάτης
7	U1	LM 7805	Σταθεροποιητής
8	U2	LM 7812	Σταθεροποιητής
9	Q1	2SK2662	MosFet
10	Q2	2SK2662	MosFet



Εικόνα 96. Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος Ταλαντωτή NE 555



Εικόνα 97. Κύκλωμα Ταλαντωτή NE 555



Εικόνα 98 Ταλαντωτή NE 555

**Πίνακας 25. Ηλεκτρονικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα
Ταλαντωτή NE 555 συχνότητας 200Hz**

A/A	Όνομα στοιχείου	Τύπος-Τιμή	Περιγραφή
1	RA	720Ω/0,25W	Αντιστάτης
2	RB	3200Ω/0,25W	Αντιστάτης
3	C	1 μF	Πυκνωτής
4	U1	NE 555	Ταλαντωτής

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Γλώσσα προγραμματισμού υλικού VHDL

II.1 Εισαγωγή στη VHDL

Η VHDL είναι μια γλώσσα περιγραφής υλικού για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων ψηφιακών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και συστημάτων. Ως λέξη αποτελεί συντόμευση των λέξεων: VHSIC Hardware Description Language. Τα δε αρχικά VHSIC είναι με τη σειρά τους συντόμευση για Very High-Speed Integrated Circuit (Ολοκληρωμένα Κυκλώματα Υψηλής Ταχύτητας).

Η VHDL ως γλώσσα προγραμματισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή της συμπεριφοράς, της δομής αλλά και της εφαρμογής ψηφιακών κυκλωμάτων. Η VHDL επόμενος χαρακτηρίζεται σαν ένα εργαλείο ECAD (Electronic Computer Aided Design).

Η VHDL επιτρέπει μια υψηλού επιπέδου περιγραφή (Abstract) της σχεδίασης και κατόπιν με την χρήση εργαλείων σύνθεσης (Logic Synthesis Tools) την αυτόματη υλοποίηση.

Μια πρώτη έκδοση του προτύπου αυτού αναπτύχθηκε το 1987 με το όνομα IEEE11076, ενώ αργότερα το 1993 εμφανίστηκε μια βελτιωμένη έκδοσή της με το όνομα IEEE1164.

II.1.1 Πρότυπο ψηφιακών συσκευών στα οποία βασίζεται η VHDL

Η VHDL είναι μία γλώσσα περιγραφής υλικού χωρίς να κάνει υποθέσεις για την τεχνολογία ή για την μεθοδολογία που ακολουθείται κατά τον σχεδιασμό μιας ψηφιακής συσκευής. Επομένως είναι συμβατή με οποιαδήποτε σύστημα στο οποίο λειτουργεί. Χρησιμοποιεί ένα πρότυπο περιγραφής και σχεδίασης που περιέχει τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς, χρονισμού και δομής των ψηφιακών συσκευών. Αυτό το μοντέλο είναι κατάλληλο για την περιγραφή όλων των συσκευών από αυτές υψηλού επιπέδου μέχρι και περιγραφές σε επίπεδο πυλών.

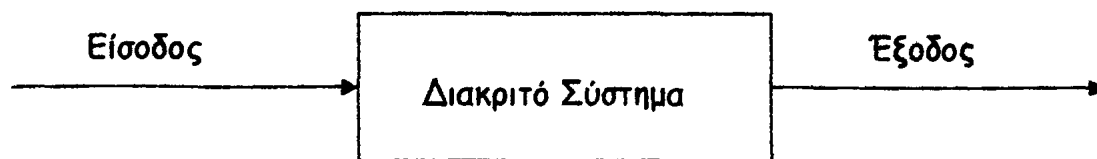
Το γενικό μοντέλο λοιπόν στο οποίο βασίζεται η VHDL αποτελείται από τρία ανεξάρτητα αλληλοεξαρτώμενα μοντέλα : ένα μοντέλο συμπεριφοράς (behavioral model), ένα μοντέλο χρονισμού (timing model) και ένα μοντέλο δομής (structural model). Αυτά τα τρία μοντέλα ολοκληρώνονται σε μία μόνο γλώσσα.

II.1.2 Πρότυπο συμπεριφοράς (behavioral model)

Η συμπεριφορά μπορεί να οριστεί ως η λειτουργία ενός συγκεκριμένου συστήματος. Όλα τα πρότυπα έχουν μία δομή και μία συμπεριφορά. Στην VHDL η

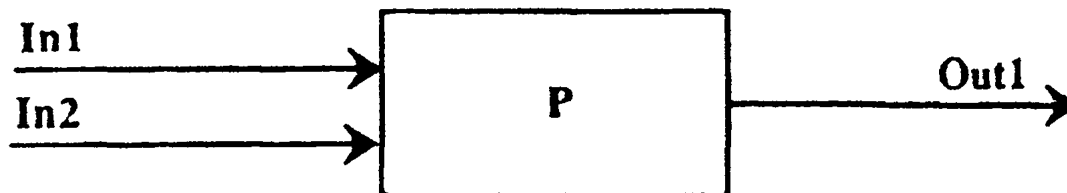


δομή ενσωματώνεται στην γλώσσα και ο σχεδιαστής έχει τη δυνατότητα να μπλέξει τη δομή και τη συμπεριφορά οπουδήποτε μέσα στο μοντέλο.



Εικόνα 99. Αναπαράσταση ενός διακριτού συστήματος

Μία ψηφιακή συσκευή είναι ένα διακριτό σύστημα, δηλαδή ένα σύστημα που μετασχηματίζει είσοδο διακριτών τιμών σε έξοδο διακριτών τιμών. Αυτό το επιτυγχάνει εκτελώντας έναν αριθμό εργασιών μετασχηματισμών στις τιμές εισόδου. Τα αποτελέσματα αυτών των εργασιών περνάνε σε άλλες εργασίες και τελικά στις τιμές εξόδου.



Εικόνα 100. Αναπαράσταση ενός διακριτού συστήματος P με δύο εισόδους και μία έξοδο

II.1.3 Πρότυπο χρονισμού (timing model)

Το μοντέλο των ψηφιακών συσκευών που χρησιμοποιείται εδώ βασίζεται στα ερεθίσματα. Όταν υπάρχει ένα ερέθισμα το μοντέλο ανταποκρίνεται και έπειτα περιμένει για περισσότερα ερεθίσματα. Τα ερεθίσματα συμβαίνουν σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Αυτός ο χρόνος αναφέρεται στον χρόνο προσομοίωσης. Επειδή η VHDL είναι παράλληλη αλλά έχει σχεδιαστεί για να εκτελείται και σε μη-παράλληλα συστήματα, καθίσταται απαραίτητο να καθοριστεί ο χρόνος προσομοίωσης ο οποίος με τη σειρά του καθορίζει το πότε συμβαίνει κάποιο γεγονός κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

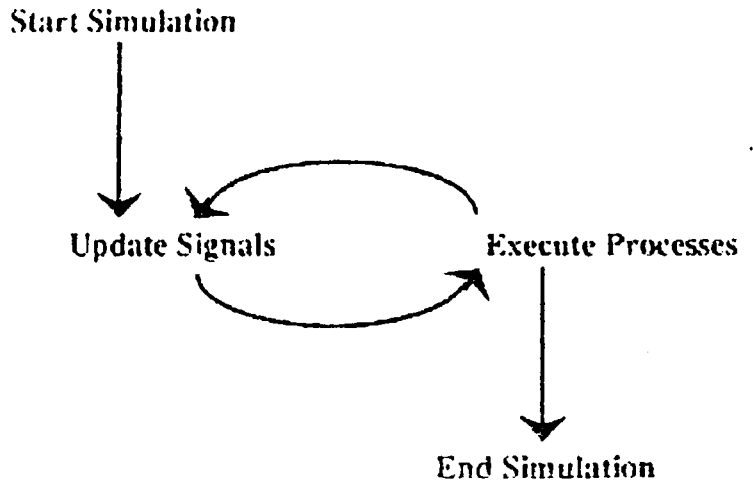
Όταν λοιπόν μία διεργασία δημιουργεί μία τιμή σε ένα μονοπάτι δεδομένων μπορεί επίσης να προσδιορίζει ένα χρονικό διάστημα πριν να σταλεί η τιμή στο μονοπάτι αυτό. Αυτό αναφέρεται ως προγραμματισμός μιας συναλλαγής (scheduling a transaction) Είναι δυνατόν να προγραμματιστεί οποιοσδήποτε αριθμός συναλλαγών για ένα μονοπάτι δεδομένων. Η συλλογή αυτών των συναλλαγών για ένα σήμα αποκαλείται οδηγός του σήματος (driver of the signal).



Ο οδηγός είναι ένα σύνολο από ζευγάρια χρόνων/τιμών το οποίο κρατά την τιμή κάθε συναλλαγής και τον χρόνο στον οποίο η συναλλαγή πρέπει να συμβεί.

Η VHDL έχει ένα πρότυπο χρονισμού δύο επιπέδων. Αυτό το πρότυπο αποκαλείται κύκλος προσομοίωσης. Για παράδειγμα ένα λειτουργικό κομμάτι αντιδρά (reacts) όταν υπάρχει δραστηριοποίηση στις εισόδους του τότε ανταποκρίνεται (responds) μέσω των εξόδων του. Οι διεργασίες λοιπόν είναι τα λειτουργικά κομμάτια που συνδέονται με τα σήματα.

Έτσι, στο πρώτο στάδιο του κύκλου προσομοίωσης οι τιμές διαδίδονται μέσω των μονοπατιών δεδομένων. Αυτό το στάδιο ολοκληρώνεται όταν όλα τα μονοπάτια δεδομένων για τα οποία έχει προγραμματιστεί να πάρουν τιμή ανανεώσουν τις τιμές τους. Κατά το δεύτερο στάδιο οι διεργασίες που λαμβάνουν τιμή στα κανάλια ευαισθησίας ενεργοποιούνται. Με τον όρο κανάλια ευαισθησίας εννοούμε τα παράλληλα υποπρογράμματα που εκτελούνται ταυτόχρονα σε ποιες μεταβλητές είναι ευαίσθητες οι έξοδοι τους. Αυτό το στάδιο ολοκληρώνονται όταν όλες οι διεργασίες ανασταλούν, οπότε το ρολόι προσομοίωσης τίθεται στον επόμενο χρόνο προσομοίωσης.



Εικόνα 101. Κύκλος Προσομοίωσης

Στο μοντέλο χρονισμού υπάρχει πάντα μία καθυστέρηση μεταξύ της χρονικής στιγμής που μία διεργασία τοποθετεί μία τιμή σε ένα μονοπάτι δεδομένων και της χρονικής στιγμής που το μονοπάτι δεδομένων αντιδρά σε αυτήν την τιμή. Συγκεκριμένα αν δεν δοθεί καμία τιμή στη ανάθεση μιας τιμής σε ένα μονοπάτι δεδομένων τότε χρησιμοποιείται μία δέλτα καθυστέρηση (delta delay). Έτσι υπάρχει πάντα μία καθυστέρηση μεταξύ της ανάθεσης και της ανανέωσης της τιμής ενός σήματος. Αν η νέα τιμή του σήματος διαφέρει από την προηγούμενη στο μονοπάτι δεδομένων τότε λέγεται ότι έχει συμβεί ένα γεγονός.

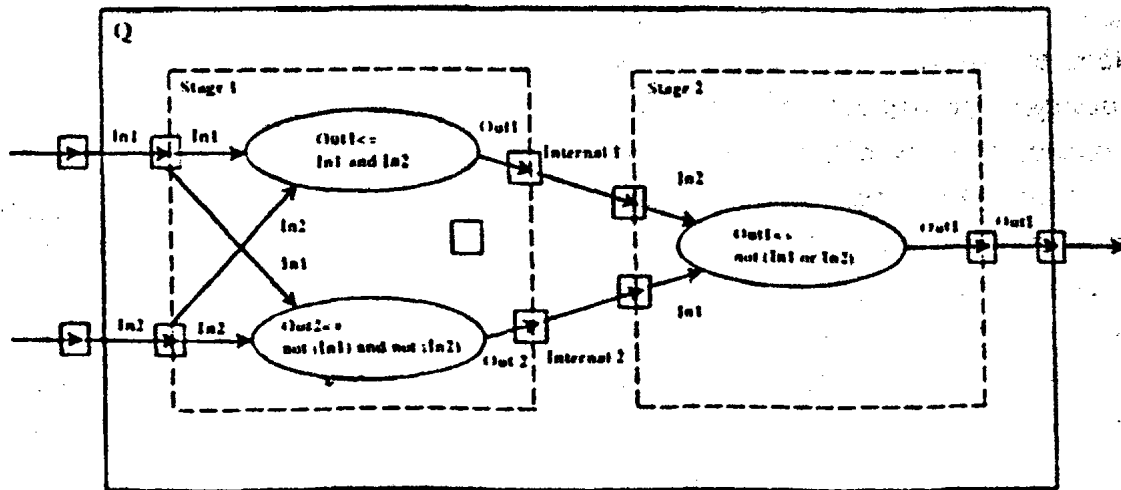
II.1.4 Πρότυπο δομής (structural model)

Όταν ένα μοντέλο μιας ψηφιακής συσκευής απαιτεί περισσότερες από μερικές διαδικασίες η διαχείριση της αναπαράστασης του διακριτού συστήματος γίνεται πολύ δύσκολη. Τέτοια μοντέλα συχνά αποσυντίθενται σε ενότητες που είναι λειτουργικά όμοιες. Αυτή η αποσύνθεση αποκαλείται δομή του μοντέλου.

Έτσι ένα διακριτό σύστημα μπορεί να διαιρεθεί σε υποσυστήματα. Η διασύνδεση δύο υποσυστημάτων είναι στην πραγματικότητα ένα μονοπάτι δεδομένων από το ένα στο άλλο δίνοντας τη δυνατότητα επίτευξης επικοινωνίας



μεταξύ τους. Αυτές οι διασυνδέσεις αποκαλούνται θύρες (ports) και έχουν κάποια ειδικά χαρακτηριστικά. Καταρχήν ο ορισμός μιας θύρας αντιπροσωπεύει τη δήλωση ενός σήματος (signal) και επομένως ενός μονοπατιού δεδομένων (data pathway). Μπορούν να θεωρηθούν αυτά τα μονοπάτια σαν έναν σωλήνα που συνδέει δύο διεργασίες. Αυτές οι συνδεδεμένες λειτουργικές μονάδες μπορούν να θεωρηθούν "μαύρα κουτιά" που έχουν εισόδους και εξόδους. Στο μοντέλο της VHDL για ένα διακριτό σύστημα καθένα από αυτά τα κουτιά μπορεί να αναπαρασταθεί από μία σχεδιαστική οντότητα της VHDL.



Εικόνα 102. Αποσύνθεση του διακριτού συστήματος Q σε δύο υποσυστήματα



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Το λογισμικό του συστήματος ιχνηλάτησης του ήλιου

III.1 Κώδικας σε γλώσσα VHDL του κυκλώματος επιλογής

-- Company: UOI-HEP_LAB
-- Engineer: PETROGLOU THEODOROS
--
-- Create Date: 02:40:51 11/18/2008
-- Design Name: CONTROL
-- Module Name: ADC - Behavioral
-- Project Name: SOLAR TRACKING

-- Revision 2.11 - File Created
-- Additional Comments:
--

library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;
entity UDCNT is port (
CLK: in std_logic; -- είσοδος χρονισμού από το εξωτερικό NE555
RST: in std_logic; -- το reset του ρολογιού
UP: in std_logic; -- η είσοδος που ορίζει αν το ρόλοι μετράει ορθά ή
-- αντίστροφα
EN: in std_logic; -- η είσοδος η οποία δηλώνει ποτέ είναι
--ενεργοποιημένο το σύστημα. Πάίρνει σήμα από ένα
--εξωτερικό NE555
enable_motor: out std_logic; -- Όταν η έξοδος enable_motor είναι σε
-- λογικό '1' δίνει εντολή στο κύκλωμα
--έλεγχου του βηματικού κινητήρα
-- να ενεργοποιηθεί και να
--περιμένει να πάρει εντολές από το
-- κύκλωμα επιλογής
adc1_start: out std_logic; -- Όταν η έξοδος adc1_start είναι σε
-- λογικό '1' δίνει εντολή στο κύκλωμα
--έλεγχου του adc1 να για δειγματοληψία

```

adc2_start:      out std_logic; -- Όταν η έξοδος adc2_start είναι σε
-- λογικό '1' δίνει εντολή στο κύκλωμα
--έλεγχου του adc2 να δώσει τιμή

run_left_start: out std_logic; -- Όταν η έξοδος enable_motor είναι σε
-- λογικό '1' δίνει εντολή στο κύκλωμα
--έλεγχου του βηματικού κινητήρα να
-- κινηθεί αριστερά

run_right_start: out std_logic; -- Όταν η έξοδος enable_motor είναι σε
-- λογικό '1' δίνει εντολή στο κύκλωμα
--έλεγχου του βηματικού κινητήρα να
-- κινηθεί δεξιά

limit_swich_left: in std_logic; --Όταν η είσοδος limit_swich_left είναι σε
-- λογικό '1' δίνει εντολή στο κύκλωμα
--έλεγχου του βηματικού κινητήρα ότι
-- δεν μπορεί άλλο κινηθεί αριστερά

limit_swich_right: in std_logic; --Όταν η είσοδος limit_swich_right είναι σε
-- λογικό '1' δίνει εντολή στο κύκλωμα
--έλεγχου του βηματικού κινητήρα ότι
-- δεν μπορεί άλλο κινηθεί δεξιά

RESET_TMP: out std_logic; --Όταν μηδενίζει ο μετρητής βγάζει έξοδο 1

ADC1:  IN std_logic_vector(7 downto 0); --Ορισμός της εισόδου από τον
-- ADC1 ότι έχει μήκος 8 bit

ADC2:  IN std_logic_vector(7 downto 0); --Ορισμός της εισόδου από τον
-- ADC2 ότι έχει μήκος 8 bit

COUNT: out std_logic_vector(5 downto 0)); --Ορισμός της εισόδου από τον
-- COUNT ότι έχει μήκος 6 bit

end UDCNT;

architecture rtl of UDCNT is --Ορισμός της δομής του προγράμματος
signal TMP: unsigned(5 downto 0);

```



```

begin
increment: process (CLK,RST) begin --Αρχή της δομή του μετρητή των 6 bit
if RST = '0' then
TMP <= "000000";
elsif rising_edge(CLK) then
if UP = '1' then
TMP <= TMP + 1;
else
TMP <= TMP - 1;
end if;
end if;
end process;
--Τέλος της δομή του μετρητή των 6 bit

```

```

COUNT <= std_logic_vector(TMP); --μεταφέρει το αποτέλεσμα του TMP στο
-- COUNT

```

```

kinisi : process (TMP,EN) begin --Εκκίνηση του υποπρογράμματος 'kinisi'

```

```

if limit_swich_left='1' then --Ελέγχει αν ο limit_swich_left είναι '1' αν
run_left_start<='0' ; --είναι τότε διακόπτει την λειτουργία της
end if; -- περιστροφής προς τα αριστερά

```

```

if limit_swich_right='1' then --Ελέγχει αν ο limit_swich_right είναι '1' αν
run_right_start<='0' ; --είναι τότε διακόπτει την λειτουργία της
end if; -- περιστροφής προς τα δεξιά

```

```

if (TMP="000000") then --Όταν TMP="000000" τότε ζητάει από τον adc1
adc1_start<='1'; -- να στείλει το αποτέλεσμα της δειγματολείψιας
end if;

```

```

if (TMP="000001" AND ADC1<"0000111") then --Αν η τιμή του ADC1 είναι
RESET_TMP<='1'; --μικρότερη απο"0000111"
end if; --επανεκκινεί το ρολόι με
--την βοήθεια του RST.

```

```

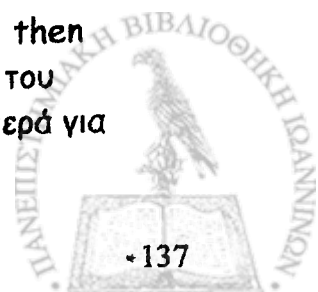
--Με αυτόν τον τρόπο καταλαβαίνει αν ξημέρωσε ή είναι ακόμα νύχτα

```

```

if (TMP>"0000010" and TMP<"0001100" and limit_swich_left='0') then
run_left_start<='1'; --Δίνει την εντολή στο κύκλωμα έλεγχου του
enable_motor<='1'; -- βηματικού κινητήρα να τον γυρίσει αριστερά για

```



```

end if;                                --δέκα δευτερόλεπτα

if (TMP="0001101") then --Όταν TMP="001110" τότε ζητάει από τον adc2
  adc2_start<='1';          -- να του δόση τιμή
end if;

if (TMP>="0001110" and limit_swich_right='0' AND ADC1>ADC2 AND
TMP<="0100010") then -- Γυρνάει δεξιά για 20 δευτερόλεπτα αν η τιμή του
run_right_start<='1'; --ADC1 είναι μεγαλύτερη από την τιμή του ADC2
enable_motor<='1';
end if;

if (TMP>"0100011" and limit_swich_left='0' AND ADC1<ADC2 and
TMP<="1000001") then -- Γυρνάει δεξιά για 10 δευτερόλεπτα αν η τιμή
run_left_start<='1'; --ADC1 είναι μεγαλύτερη από την τιμή του ADC2
enable_motor<='1';
end if;

if (TMP>="1000010") THEN -Μηδενίζει το μετρητή όταν TMP>="01000"
RESET_TMP<='1';
end if;
end process;
end rtl;

```



III.2 Κώδικας σε γλώσσα VHDL του κυκλώματος του βηματικού κινητήρα

-- Company: UOI-HEP_LAB
-- Engineer: PETROGLOU THEODOROS
--

-- Create Date: 13:31:55 10/14/2008
-- Design Name: Stepper motor drive
-- Module Name: Behavioral
-- Project Name: SOLAR TRACKING

-- Revision 1.14 - File Created
-- Additional Comments:
--

library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use ieee.numeric_std.all;
entity UDCNT is port (
CLK: in std_logic; -- είσοδος χρονισμού από το εξωτερικό NE555
RST: in std_logic; -- reset του ωρολογίου
UP: in std_logic; -- είσοδος που ορίζει αν το ρόλοι μετράει ορθά ή
-- αντίστροφα
EN: in std_logic; -- είσοδος η οποία δηλώνει ποτέ είναι
-- ενεργοποιημένο το σύστημα. Η εντολή ενεργοποίησης
-- δίνεται από τη μονάδα επιλογής

COUNT: out std_logic_vector(1 downto 0); --Ορίζεται ότι ο COUNT είναι
-- έξοδος 2 bit
OUT1: out std_logic; -- Ορίζεται ότι η OUT1 είναι η έξοδος 1 bit
OUT2: out std_logic; --Ορίζεται ότι η OUT2 είναι η έξοδος 1 bit
OUT3: out std_logic; -- Ορίζεται ότι η OUT3 είναι η έξοδος 1 bit
OUT4: out std_logic); -- Ορίζεται ότι η OUT4 είναι η έξοδος 1 bit
end UDCNT;
architecture rtl of UDCNT is --Ορισμός της δομής του προγράμματος
signal TMP: unsigned(1 downto 0);
begin



```

increment: process (CLK,RST) begin --Αρχή της δομή του μετρητή των 2 bit
if RST = '0' then
TMP <= "00";
elseif rising_edge(CLK) then
if UP = '1' then
TMP <= TMP + 1;
else
TMP <= TMP - 1;
end if;
end if;
end process;
COUNT <= std_logic_vector(TMP);
--Τέλος της δομή του μετρητή των 6 bit
kinisi : process (TMP,EN) begin --Αρχή της δομή του υποπρογράμματος
--'kinisi'. Παρακάτω φαίνονται τα τέσσερα
--βήματα τα οποία τροφοδοτούν τα Mosfets
--τα οποία στη συνέχεια τροφοδοτούν
-- τα πηνία του βηματικού κινητήρα

```

```

if (TMP="00" AND EN='1') then --Το πρώτο βήμα τις αλληλουχίας των
OUT1 <= '1'; --τεσσάρων βημάτων του βηματικού
OUT2 <= '0'; --κινητήρα
OUT3 <= '0';
OUT4 <= '1';
END IF;

```

```

if (TMP="01" AND EN='1') then--Το δεύτερο βήμα τις αλληλουχίας των
OUT1 <= '1'; --τεσσάρων βημάτων του βηματικού
OUT2 <= '1'; --κινητήρα
OUT3 <= '0';
OUT4 <= '0';
END IF;

```

```

if (TMP="10" AND EN='1') then--Το τρίτο βήμα τις αλληλουχίας των
OUT1 <= '0'; --τεσσάρων βημάτων του βηματικού
OUT2 <= '1'; --κινητήρα
OUT3 <= '1';
OUT4 <= '0';
END IF;

```




```
if (TMP="11" AND EN='1') then--Το τέταρτο βήμα τις αλληλουχίας των
OUT1 <='0'; --τεσσάρων βημάτων του βηματικού
OUT2 <='0'; --κινητήρα
OUT3 <='1';
OUT4 <='1';
END IF;
```

```
if (EN='0') then --Η λειτουργία αυτή μηδενίζει όλες τις εξόδους έτσι ώστε
OUT1 <='0'; --όταν το σύστημα είναι σε κατάσταση αναμονής να μην
OUT2 <='0'; --έχει άσκοπη κατανάλωση
OUT3 <='0';
OUT4 <='0';
END IF;
end process;
end;
```



