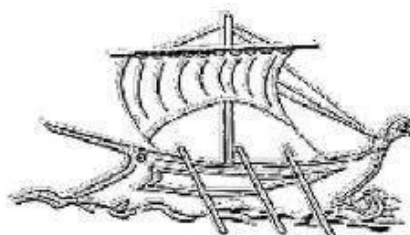


ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ



Α.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ

**ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΠΕΔΩΝ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ  
ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ  
ARDUINO ΚΑΙ ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΩΝ  
ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ**

**Ονόματα σπουδαστών:**

**ΓΑΖΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ  
ΜΑΡΚΟΥ ΣΩΤΗΡΙΟΣ**

**Επιβλέπων καθηγητής: ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

**ΜΑΡΤΙΟΣ 2018 (01/03/2018)**

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά την υλοποίηση διάταξης μέτρησης των επιπέδων του μονοξειδίου του άνθρακα με την χρήση μικροελεγκτών Arduino και των κατάλληλων αισθητηρίων που θα συνδεθούν σε αυτούς με ταυτόχρονη αποστολή των μετρούμενων δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με στόχο την καταγραφή και μελέτη αυτών των μετρήσεων. Αρχικά, γίνεται μια πλήρης περιγραφή του μικροελεγκτή Arduino, της δομής, της λογικής και λειτουργίας του, των διάφορων εκδόσεων του και του τρόπου προγραμματισμού του. Στη συνέχεια περιγράφονται τα αισθητήρια που μπορούν να συνδεθούν και προγραμματιστούν σε έναν Arduino και γίνεται διεξοδική ανάλυση των αισθητηρίων που θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, με αναλυτική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας τους και της υλοποίησης της σύνδεσής τους στον μικροελεγκτή. Ακολουθεί επεξήγηση του κυκλώματος τροφοδοσίας του Arduino με την χρήση φωτοβολταϊκού πάνελ και επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, της ασύρματης αποστολής των μετρήσεων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και η αποθήκευση αυτών με στόχο την μελέτη και αξιοποίησή τους.

## Abstract

The purpose of this project is the measurement of Carbon Monoxide levels by using Arduino Microcontrollers and the appropriate sensors attached to them while wirelessly transmitting those data to a computer in order to document and study these measurements. At first, what is given is a full description of what consists an Arduino microcontroller, details about its structure, its functions, its various versions and the ways to program the microcontroller. Next, there is an introduction to the most common sensors an Arduino board can have; then follows a consistent analysis of the sensors used for the purposes of this project and the way these sensors operate and an analytical description of the

utilization of the selected sensors and the way to connect and program them with the Arduino microcontroller. Lastly, we introduce an analytical explanation and documentation of the electric circuitry that powers the microcontroller in order to achieve its autonomous operation at all times and a detailed way the data is transmitted and stored to a PC database is given.

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Γαζής Παναγιώτης του Διονυσίου και Σωτήρης Μάρκου του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 34272 και 41508 και φοιτητές του Τμήματος **Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε.** του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν αναλάβουμε την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μας, δηλώνουμε ότι ενημερωθήκαμε για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο των συγγραφέων, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικά υπεύθυνοι είναι οι συγγραφείς της Π.Ε., οι οποίοι φέρουν και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών των συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση των ενδιαφερόμενων, τους αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Επίσης δηλώνουμε υπεύθυνα ότι έχουμε παρακολουθήσει το σεμινάριο συγγραφής και εκπόνησης πτυχιακής εργασίας που διοργανώνεται από το Τμήμα Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε. κατά το Χειμερινό/Εαρινό Εξάμηνο του Ακ. Έτους 2017

Οι φοιτητές  
Γαζής Παναγιώτης



Σωτήρης Μάρκου



Ημερομηνία  
1<sup>η</sup> Μαρτίου 2018

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	2
Abstract.....	2
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	4
Ευχαριστίες.....	10
Σκοπός της πτυχιακής εργασίας .....	10
1.Εισαγωγή στα ενσωματωμένα μικροϋπολογιστικά συστήματα.....	10
1.2. Τα βασικά μέρη και υποσυστήματα των μικροϋπολογιστικών συστημάτων .....	12
2.Μικροελεγκτές.....	12
2.1 Εισαγωγή στους μικροελεγκτές.....	12
2.2 Διαφορές των μικροελεγκτών από τους μικροεπεξεργαστές .....	12
3. Ο μικροελεγκτής Atmel Atmega 328P .....	13
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή Atmel Atmega 328P .....	13
Εικόνα 3.1: Διάταξη ακροδεκτών Atmel Atmega 328P.....	14
3.2 Η αρχιτεκτονική του Atmel Atmega 328P .....	14
Εικόνα 3.2: Block διάγραμμα του μικροελεγκτή Atmel ATmega 328P .....	15
3.3. Η μνήμη του συστήματος .....	16
Εικόνα 3.3: Η μνήμη EEPROM .....	16
Εικόνα 3.3.1: Η μνήμη SRAM .....	17

4. Αναπτυξιακά συστήματα.....	17
5.Arduino .....	17
5.1 Λίγα λόγια για τον μικροελεγκτή Arduino.....	17
5.2 Εκδόσεις του Arduino Board.....	18
5.3 Οι μνήμες μικροελεγκτή Arduino .....	18
5.4 Τροφοδοσία του μικροελεγκτή Arduino .....	19
5.5 Τα Pin του Arduino UNO.....	19
6.ΤΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ MQ-7.....	20
6.1 Περιγραφή των μερών που απαρτίζουν το αισθητήριο και ανάλυση της αρχής λειτουργίας του.....	20
6.1.1 Περιγραφή των μερών .....	20
Εικόνα 6.1.1 Τα μέρη που απαρτίζουν το αισθητήριο MQ-7 .....	21
6.1.2Αρχή λειτουργίας.....	21
7. Μελέτη υλοποίησης του κυκλώματος σύνδεσης του αισθητηρίου MQ-7 με τον Arduino:.....	23
7.1 Κυκλώματα PWM – αρχή λειτουργίας και υλοποίηση.....	23
Εικόνα 7.1 Παλμός και κύκλος εργασίας.....	24
Εικόνα 7.1.1 Τυπικό κύκλωμα PWM, συνδεσμολογία και υλοποίηση.....	25
7.1. Ο ασύγχρονος χρονιστής 555 .....	25
7.1.3 Επεξήγηση του κυκλώματος της εικόνας 7.1.1 .....	25
8. Σύνδεση του αισθητηρίου MQ-7 με τον Arduino .....	26
Εικόνα 9: Τελική σύνδεση του αισθητηρίου μέτρησης μονοξειδίου του άνθρακα με τον Arduino.....	27
9. Ο μονόπλευρος πομποδέκτης NRF24L01+.....	28
9.1 Γενικά για τον πομποδέκτη NRF24L01+.....	28
Εικόνα 9.1.3 Το μπλόκ διάγραμμα του NRF24L01 .....	29
Πίνακας 9.1.4 Πίνακας λειτουργίας των ακροδεκτών NRF24L01+.....	30
Πίνακας 9.1.4.Απόλυτες μέγιστες τιμές τάσης και θερμοκρασίας.....	31

Πίνακας 9.1.5.Συνθήκες λειτουργίας .....	31
Πίνακας 9.1.6 Ηλεκτρική κατανάλωση.....	31
Πίνακας 9.1.8 Λειτουργία πομπού .....	32
Πίνακας 9.1.12. Πληροφορίες χρονισμού .....	33
9.2 Τα pin του πομποδέκτη NRF24L01+ και η λειτουργία τους .....	33
9.3 Προβλήματα τροφοδοσίας του πομποδέκτη NRF24L01+ και τρόποι επίλυσής τους.....	34
10. Σύνδεση του πομποδέκτη NRF24L01+ με τον Arduino Uno .....	34
11. Προγραμματισμός του πομπού και του δέκτη.....	35
11.1 Προγραμματισμός του πομπού.....	35
11.2 Προγραμματισμός του δέκτη.....	37
12. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) .....	39
12.1. Ορισμός των Α.Π.Ε.....	39
12.1.2 Χαρακτηριστικά των Α.Π.Ε. ....	39
12.2 Τα είδη των Α.Π.Ε.....	40
12.2.1 Ηλιακή ενέργεια .....	40
12.2.2 Αιολική ενέργεια .....	40
12.2.3 Υδραυλική ενέργεια .....	40
12.2.4 Ενέργεια από την θάλασσα.....	40
12.2.5 Βιομάζα .....	40
12.2.6 Γεωθερμική ενέργεια.....	40
12.2.7 Οσμωτική ενέργεια.....	41
8.1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Α.Π.Ε. ....	41
13. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα .....	42
13.1 Αρχή λειτουργίας.....	42
13.2 Εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκά συστήματα .....	42
13.3 Τα δομικά μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.....	42



14. Μελέτη των ενεργειακών απαιτήσεων του Arduino .....	43
14.1 Μελέτη ενδεχόμενης ανάγκης μείωσης της κατανάλωσης .....	44
15 Τροφοδοσία κυκλώματος με χρήση φωτοβολταϊκού συστήματος και συσσωρευτή:.....	45
15.1 Υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για το κύκλωμα φόρτισης του συσσωρευτή.....	45
Εικόνα 15.1 Ο φορτιστής μπαταρίας λιθίου TP4056 .....	45
Εικόνα 15.1.2 Ενισχυτής τάσης από 3,7V DC στα 5V DC.....	46
Εικόνα 15.1.3 Το Φωτοβολταϊκό Panel .....	47
15.2 Υλοποίηση κυκλώματος:.....	47
Εικόνα 15.2 Υλοποίηση του κυκλώματος φόρτισης .....	48
15.2.1 Τελικά κυκλώματα πομπού και δέκτη.....	48
15.2.1.1 Τελικό κύκλωμα δέκτη: .....	48
Εικόνα 15.2.1.1 Τελικό κύκλωμα δέκτη .....	49
15.2.1.2 Τελικό κύκλωμα πομπού .....	50
15.2.1.3 Κύκλωμα φόρτισης.....	51
Εικόνα 15.2.1.2b Τελικό κύκλωμα φόρτισης.....	51
16. Συμπεράσματα – Μελλοντική έρευνα.....	51
17. Βιβλιογραφία .....	52
18.Παράρτημα: Ο κώδικας του πομπού και του δέκτη .....	55
18.1 Κώδικας του πομπού: .....	55
18.2 Ο κώδικας του δέκτη .....	57

## Ευχαριστίες

Θα θέλαμε σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσουμε τους καθηγητές του Α.Ε.Ι. Πειραιά συνολικά για τις γνώσεις και την εξειδίκευση που μας παρείχαν υπομονετικά κατά την διάρκεια των σπουδών μας. Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ξεχωριστά τον κύριο Χρήστο Δρόσο για την βοήθεια και την υποστήριξη του σε όλα τα στάδια της πτυχιακής αυτής εργασίας. Τέλος, ειδική αναφορά θα πρέπει να γίνει στους γονείς μας καθώς η ηθική και υλική υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια μας αξίωσε να φτάσουμε ως εδώ.

## Σκοπός της πτυχιακής εργασίας

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η μέτρηση και η καταγραφή των επιπέδων μονοξειδίου του άνθρακα με στόχο την παρατήρηση και μείωση της εκπομπής του συγκεκριμένου ατμοσφαιρικού ρύπου.

## 1.Εισαγωγή στα ενσωματωμένα μικροϋπολογιστικά συστήματα

Ο όρος «ενσωματωμένα μικροϋπολογιστικά συστήματα» αναφέρεται σε υπολογιστές οι οποίοι έχουν έναν ειδικό σκοπό και σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με στόχο την υλοποίηση συγκεκριμένων εφαρμογών και δεν προορίζονται για την ανάπτυξη μιας ευρείας γκάμας εφαρμογών όπως για παράδειγμα οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Τα ενσωματωμένα αυτά

μικροϋπολογιστικά συστήματα (Embedded Systems) περιλαμβάνουν σε ένα και μόνο chip όλα τα απαραίτητα συστατικά για την λειτουργία τους, όπως η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (επεξεργαστής η C.P.U), τις μνήμες RAM και ROM και όλα τα απαραίτητα βοηθητικά κυκλώματα. Η τεχνική αυτή της ενσωμάτωσης πολλών υποσυστημάτων σε ένα και μόνο chip, τα οποία στην ουσία αποτελούν έναν μικροϋπολογιστή, ονομάζεται «System on a Chip» η πιο σύντομα «SoC» και είναι μια από τις πιο ευρέως διαδεδομένες τεχνικές όσον αφορά την υλοποίηση και βελτιστοποίηση εφαρμογών. Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας SoC είναι η ταχύτητα καθώς πλέον δεν χρειάζεται «εξωτερική» παρέμβαση από τον χρήστη χάρη στην ευκολία προγραμματισμού τους. Σημαντικά πλεονεκτήματα των SoC αποτελούν, επίσης, το χαμηλό τους κόστος, οι μικρές διαστάσεις τους και η χαμηλή κατανάλωση. Είναι επίσης ευέλικτα καθότι το Hardware το οποίο διαθέτουν μπορεί να επαναπρογραμματιστεί. Σε πολλές περιπτώσεις, τα συστήματα SoC ενσωματώνονται σε μεγαλύτερες εφαρμογές, όπως, για παράδειγμα σε υπολογιστές. Στα SoC υπάρχουν συνήθως δύο διαφορετικές ομάδες κυκλωμάτων: η πρώτη «αναλαμβάνει» την επικοινωνία του SoC με άλλες συσκευές και αισθητήρια και περιλαμβάνει μία ή περισσότερες παράλληλες και ψηφιακές θύρες, μετατροπείς ADC και DAC κ.λ.π ενώ η δεύτερη ομάδα δευτερευόντων κυκλωμάτων αναλαμβάνει περίπλοκους υπολογισμούς όπως προσθαιρέσεις, ολοκλήρωση ή παραγωγή, μετασχηματισμούς Laplace και Fourier κ.α. Όσον αφορά την πρώτη ομάδα κυκλωμάτων υπάρχουν πολλές έτοιμες και φθηνές λύσεις στο εμπόριο, για την δεύτερη ομάδα δευτερευόντων κυκλωμάτων όμως η οποία επιτελεί και πιο σύνθετες λειτουργίες το κόστος ανεβαίνει ενώ συχνά δεν υπάρχουν έτοιμες εμπορικές λύσεις για την υλοποίηση συγκεκριμένων εφαρμογών το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την ξεχωριστή μελέτη και κατασκευή ενός τέτοιου SoC κατόπιν παραγγελίας. Τα ενσωματωμένα συστήματα χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση μεγάλου πλήθους εφαρμογών καθώς μπορούν να ενσωματωθούν σε οικιακές συσκευές, συστήματα αυτόματης παραγωγής, μετεωρολογικά συστήματα, ιατρικό εξοπλισμό, συσκευές ψυχαγωγίας (κονσόλες) κ.λ.π. Είναι πολύ σημαντική η επιλογή του κατάλληλου ενσωματωμένου συστήματος για τις ανάγκες μιας εφαρμογής καθώς η χρήση ενός SoC το οποίο έχει πολύ περισσότερες δυνατότητες από αυτές που απαιτεί η εφαρμογή αυξάνει κατά πολύ το κόστος και την πολυπλοκότητα της υλοποίησης κάνοντας έτσι μεγαλύτερη και την πιθανότητα της εμφάνισης σφαλμάτων. [1], [2], [3], [4]

## 1.2. Τα βασικά μέρη και υποσυστήματα των μικροϋπολογιστικών συστημάτων

Τα μικροϋπολογιστικά συστήματα μπορούν να διαφέρουν σε δυνατότητες και μέγεθος, όμως όπως όλα τα υπολογιστικά συστήματα αποτελούνται από κάποια θεμελιώδη και στοιχειώδη μέρη: i) την Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (η αλλιώς Κ.Μ.Ε ή C.P.U.), τις μνήμες, το ρολόι χρονισμού (Clock) και τις συσκευές εισόδου και εξόδου. Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας λαμβάνει πληροφορίες και εντολές από τον προγραμματιστικό κώδικα που έχει γραφτεί, διαβάζει πληροφορίες από τις συσκευές εισόδου και αποτελεί την καρδιά του συστήματος. Χάρη στην κεντρική μονάδα το σύστημα μπορεί να επικοινωνήσει τόσο με τον έξω κόσμο όσο και να διαβάσει και να στείλει πληροφορίες από και προς τις συσκευές εισόδου και εξόδου αντίστοιχα, με πλήρη έλεγχο σε αυτές. Επίσης, διαθέτει μια πληθώρα από γραμμές ελέγχου με στόχο την επίτευξη λειτουργιών όπως για παράδειγμα την μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και το αντίστροφο. [2], [3], [4]

## 2.Μικροελεγκτές

### 2.1 Εισαγωγή στους μικροελεγκτές

Ο μικροελεγκτής είναι ένας επεξεργαστής ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστα εξαρτήματα συνδεδεμένα σε αυτόν μιας και διαθέτει ο ίδιος τα περισσότερα υποσυστήματα που χρειάζονται σε ένα ενσωματωμένο σύστημα. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές χαμηλού και μεσαίου κόστους. Στην ουσία, οι μικροελεγκτές αποτελούν ένα παρακλάδι των μικροεπεξεργαστών, έχουν όμως σημαντικές διαφορές

### 2.2 Διαφορές των μικροελεγκτών από τους μικροεπεξεργαστές

Οι επεξεργαστές χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανάπτυξη εφαρμογών γενικότερου περιεχομένου, όπως για παράδειγμα στους προσωπικούς υπολογιστές (P.C.). Ένας μικροεπεξεργαστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση και την ανάπτυξη εφαρμογών γενικότερου σκοπού καθώς διαθέτει μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ και μπορούν να συνδεθούν σε αυτόν αρκετές συσκευές εισόδου και εξόδου. Είναι πιο εύκολα προσαρμόσιμος και παραμετροποιήσιμος σε αντίθεση με ένα μικροελεγκτή ο οποίος έχει μικρότερη επεξεργαστική ισχύ,

δέχεται αρκετά λιγότερες συσκευές εισόδου και εξόδου και προορίζεται για συγκεκριμένες και πιο εξειδικευμένες λειτουργίες και όχι για εφαρμογές ευρέως φάσματος. Οι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται κατά κόρον όπως αναφέρθηκε παραπάνω σε οικιακές συσκευές όπως κουζίνες και πλυντήρια, σε κονσόλες παιχνιδιών κ.ο.κ. [2], [3]

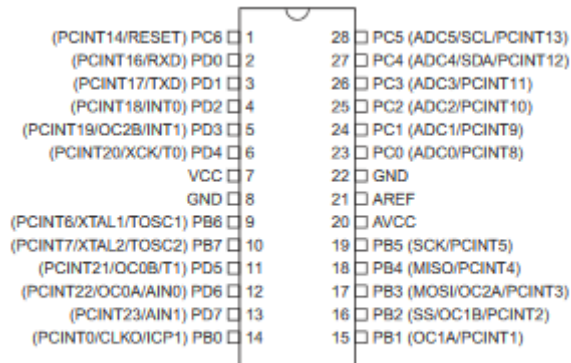
### 3. Ο μικροελεγκτής Atmel Atmega 328P

Ο μικροελεγκτής Atmel Atmega 328P ανήκει στην οικογένεια των μικροελεγκτών Atmel AVR και λόγω της χρήσης του board Arduino Uno για τις ανάγκες αυτής της πτυχιακής εργασίας θα αποτελέσει την «καρδιά» του συστήματός μας. Οι πιο απλοί τύποι Atmel AVR μικροελεγκτών διαθέτουν οκτώ (8) ακροδέκτες οι οποίοι εξάγουν τους εσωτερικούς δίαυλους διευθύνσεων ή δεδομένων σε ακροδέκτες γενικού σκοπού. Αποτελούν μία εξαιρετική λύση για εφαρμογές χαμηλού κόστους με χρήση ακροδεκτών γενικού σκοπού. Οι μικροελεγκτές Atmel AVR διαθέτουν μνήμη RAM για την αποθήκευση μεταβλητών λογισμικού, μνήμη Flash στην οποία αποθηκεύεται το λογισμικό του συστήματος (Firmware) και μνήμη EEPROM για την αποθήκευση διαφόρων παραμέτρων διευθέτησης. Μειονέκτημα του συγκεκριμένου μικροελεγκτή είναι ότι για πολύπλοκες εφαρμογές ίσως οι δυνατότητές του δεν επαρκέσουν, παραδείγματος χάριν αν σε μια εφαρμογή χρειαστούμε περισσότερη μνήμη RAM δεν υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης της ήδη υπάρχουσας. [1]

#### 3.1 Γενικά χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή Atmel Atmega 328P

- Αρχιτεκτονική RISC με 131 εντολές, με τις περισσότερες από αυτές να εκτελούνται σε έναν κύκλο ρολογιού
- 32 x 8 καταχωρητές εργασίας γενικού σκοπού
- Έως και 20 MIPS διέλευσης στα 20MHz
- 32 Kb μνήμη Flash (τα 0,5 χρησιμοποιούνται για τον bootloader)
- Μνήμη EEPROM 1Kb
- 2 οκτάμπιτοι χρονιστές/μετρητές με ξεχωριστό Prescaler και λειτουργία σύγκρισης
- Ένας χρονοδιακόπτης/μετρητής 16 bit με ξεχωριστό Prescaler και λειτουργίες σύγκρισης και καταγραφής

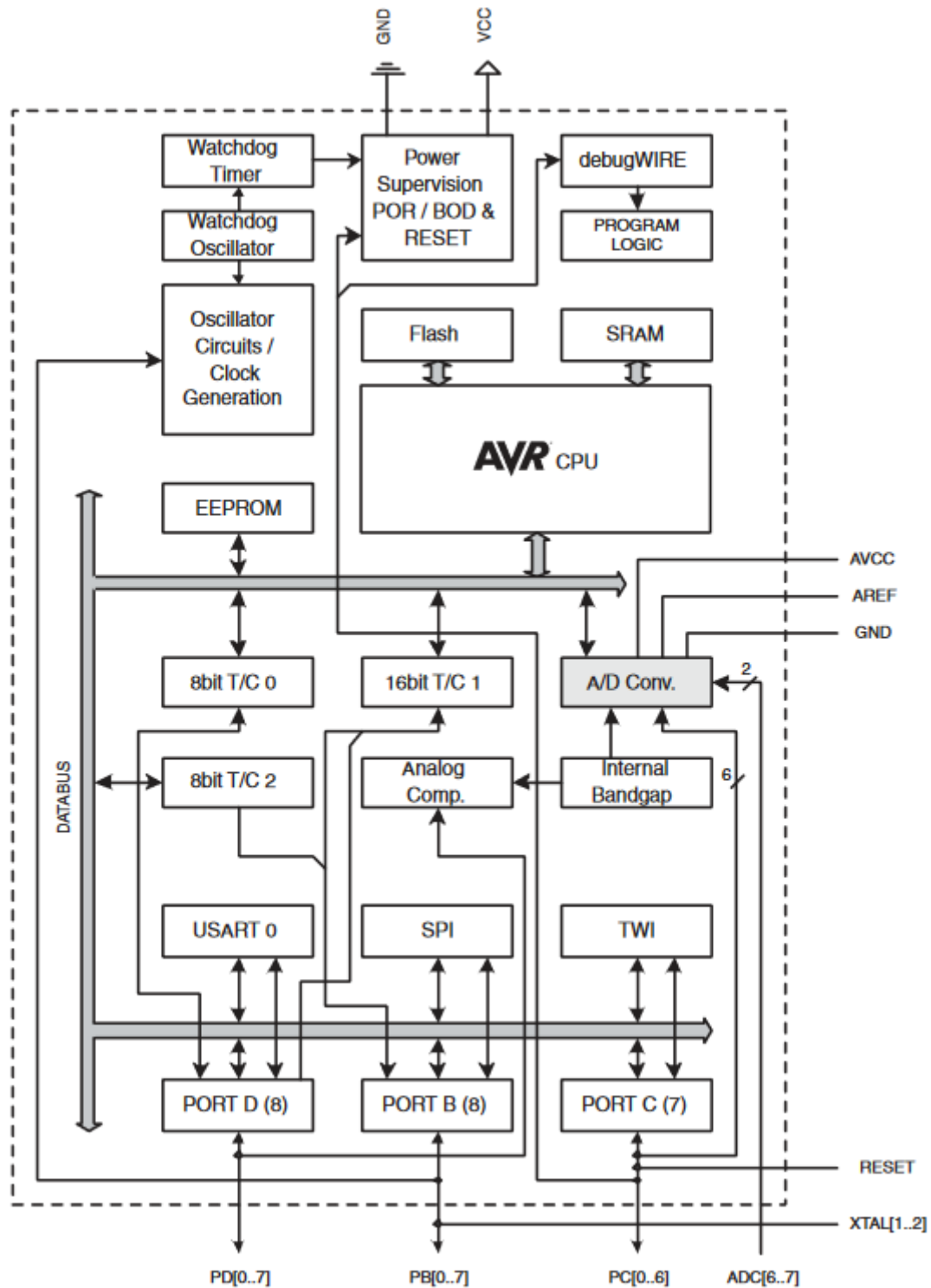
- Μετρητής πραγματικού χρόνου με ταλαντωτή
- Έξι δίαυλοι για λειτουργία PWM
- 8 καναλιών 10 bit αναλογικός μετατροπέας ADC
- Πρωτόκολλο SPI για σειριακή επικοινωνία
- Αναλογικός συγκριτής
- Τάση λειτουργίας 1,5V – 5,5V



Εικόνα 3.1: Διάταξη ακροδεκτών Atmel Atmega 328P

### 3.2 Η αρχιτεκτονική του Atmel Atmega 328P

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τα βασικά «συστατικά» του Atmel Atmega 328P:



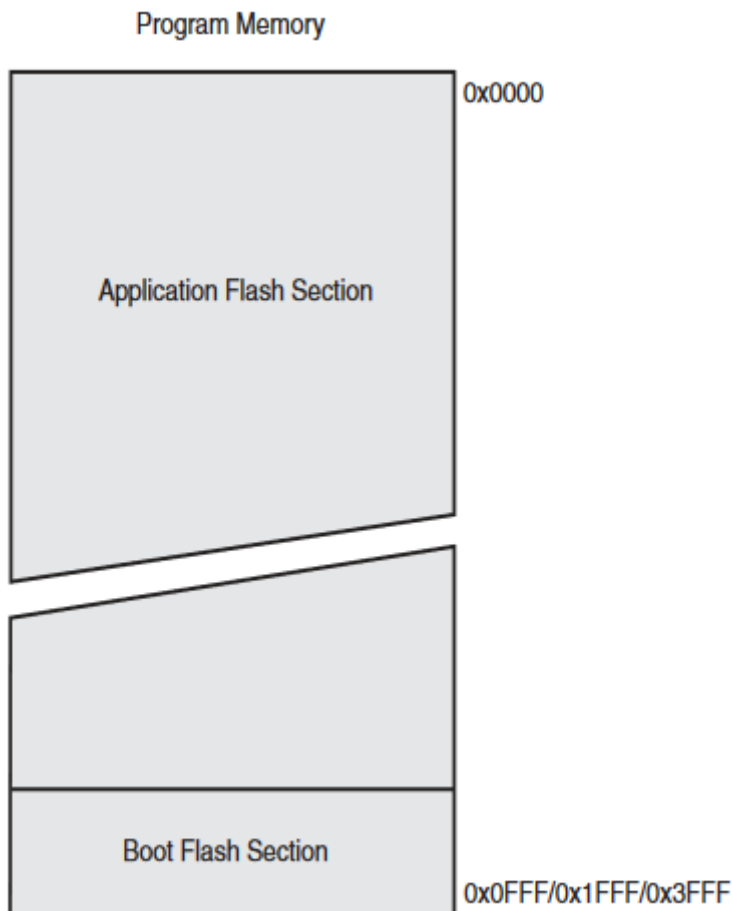
Εικόνα 3.2: Block διάγραμμα του μικροελεγκτή Atmel ATmega 328P

Ο μικροελεγκτής διαθέτει ένα πλούσιο σετ 131 εντολών και 32 καταχωρητές γενικού σκοπού οι οποίοι είναι απ' ευθείας συνδεδεμένοι με την αριθμητική και λογική μονάδα (ALU) γεγονός το οποίο επιτρέπει την προσπέλαση δύο καταχωρητών με μία και μόνο εντολή σε ένα κύκλο ρολογιού. Η συγκεκριμένη

αρχιτεκτονική προσδίδει στον μικροελεγκτή ταχύτητα επεξεργασίας πολύ μεγαλύτερη από τους συμβατικούς μικροελεγκτές CISC. Ο Atmega 328P διαθέτει 32Kb Flash μνήμης, 1Kb EEPROM και 2Kb μνήμης RAM. [1], [2], [3], [4], [5]

### 3.3. Η μνήμη του συστήματος

Η μνήμη Flash χρησιμοποιείται για την εγγραφή του υλικολογισμικού (Firmware) του προγράμματος και μπορεί να γραφτεί ή να σβηστεί ή απλώς να διαβαστεί από ένα εξωτερικό κύκλωμα προγραμματισμού (Flash Programmer). Επειδή ο Atmega 328P διαθέτει 32Kb μνήμης flash και όλες οι εντολές που δέχεται έχουν εύρος 16 ή 32 bit η μνήμη flash διαμορφώνεται και οργανώνεται ως 2/4/6/8/16K x 16 και χωρίζεται σε δύο μέρη, με το ένα να περιλαμβάνει τον Bootloader και το άλλο το πρόγραμμα εφαρμογής:



Εικόνα 3.3: Η μνήμη EEPROM

Ενώ η μνήμη SRAM χωρίζεται σε τομείς όπως στο παρακάτω σχήμα:



Data Memory	
32 Registers	0x0000 - 0x001F
64 I/O Registers	0x0020 - 0x005F
160 Ext I/O Reg.	0x0060 - 0x00FF
Internal SRAM (512/1024/1024/2048 x 8)	0x0100  0x02FF/0x04FF/0x4FFF/0x08FF

Εικόνα 3.3.1: Η μνήμη SRAM

## 4. Αναπτυξιακά συστήματα

Υπάρχουν πολλές εταιρίες οι οποίες κατασκευάζουν αναπτυξιακά συστήματα. Τα συστήματα αυτά διαφέρουν ως προς το μέγεθος, το σχήμα, τον αριθμό ακροδεκτών, τις λειτουργίες που επιτελούν και φυσικά διαφέρουν και στο κομμάτι που αφορά την καρδιά του συστήματος, τον μικροελεγκτή. Στην παρούσα πτυχιακή άσκηση θα ασχοληθούμε με το Arduino, είναι όμως άξια αναφοράς και άλλα μεγάλα αναπτυξιακά συστήματα όπως το Raspberry Pi, το Intel Galileo και το Freescale. [1], [2], [3], [4], [5]

## 5. Arduino

### 5.1 Λίγα λόγια για τον μικροελεγκτή Arduino

Ο Arduino είναι ένας single – chip μικροελεγκτής ο οποίος είναι επικεντρωμένος σε ευέλικτο και απλό στη χρησιμοποίηση hardware και software και αποτελεί μία ιδανική πλατφόρμα εργασίας για όσους διαθέτουν κάποιες βασικές γνώσεις και επιθυμούν να ξεκινήσουν την ενασχόλησή τους με μικροελεγκτές. Η καρδιά του Arduino είναι ο επεξεργαστής ATmega ο οποίος κατασκευάζεται από την Atmel και είναι υπεύθυνος για τον χειρισμό όλων των σημάτων του μικροελεγκτή. Ο προγραμματισμός του Arduino Board γίνεται σε γλώσσα Wiring, η οποία είναι ουσιαστικά ένα «παρακλάδι» της C++ το οποίο είναι εμπλουτισμένο με επιπλέον βιβλιοθήκες οι οποίες είναι επίσης γραμμένες σε γλώσσα C++. Ο μικροελεγκτής μπορεί είτε να αγοραστεί έτοιμος είτε να συναρμολογηθεί καθώς τα σχέδια για την κάθε μια διαφορετική έκδοση του

Arduino βρίσκονται στο επίσημο site. Διάφορα και ποικίλα αισθητήρια και πρόσθετες πλακέτες (modules) μπορούν να συνδεθούν στο Arduino Board είτε ως συσκευές εισόδου είτε ως συσκευές εξόδου, ανάλογα με τον κώδικα που θα γράψει ο χρήστης. Ο προγραμματισμός των παλαιότερων Boards γινόταν μέσω σειριακής θύρας, τα καινούρια boards όμως προγραμματίζονται μέσω θύρας USB. Σε έναν μικροελεγκτή Arduino μπορούμε να συνδέσουμε πληθώρα αισθητηρίων και modules, όπως για παράδειγμα αισθητήρια μέτρησης θερμοκρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης, υγρασίας, φωτεινότητας, απόστασης κ.λ.π. ενώ από modules μπορούμε να προσθέσουμε Bluetooth Modules, WiFi Modules κ.λ.π. Οι συσκευές που συνδέονται στον μικροελεγκτή μπορούν να είναι συσκευές εισόδου ή εξόδου, ανάλογα με το πώς θα υλοποιήσουμε το κομμάτι του προγραμματισμού. [5], [6]

## 5.2 Εκδόσεις του Arduino Board

Υπάρχουν ποικίλες εκδόσεις του Arduino και το ποια έκδοση θα επιλεγεί καθορίζεται από τις ανάγκες του εκάστοτε project προς υλοποίηση. Οι διαφορές στις εκδόσεις αφορούν την ταχύτητα του επεξεργαστή, το πλήθος των εισόδων και εξόδων, το μέγεθος των μνημών RAM, ROM και Flash, τον αριθμό των ακίδων (Pins) που υλοποιούν την λειτουργία PWM κ.ο.κ. Κυριότερες και πιο διαδεδομένες εκδόσεις είναι οι Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Leonardo, Arduino Nano και Arduino Mega 2560 ενώ υπάρχουν και οι εκδόσεις Arduino Duemilanove, Esplora, Bluetooth, NG, NG Plus και Extreme. [5], [6]

## 5.3 Οι μνήμες μικροελεγκτή Arduino

Ο Atmel 328P που περιγράψαμε στα κεφάλαια 3 – 3.2 είναι ένας 16Mhz microcontroller, που διαθέτει τρία διαφορετικά είδη μνημών: την μνήμη SRAM χωρητικότητας 2kb, την μνήμη EEPROM χωρητικότητας 1kb και την μνήμη FLASH χωρητικότητας 32kb πιο συγκεκριμένα:

- 1) Η SRAM(static-random access memory) με χωρητικότητα 2kb τα οποία μπορούν να δεσμεύσουν τα προγράμματά για να αποθηκεύουν μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. κατά τον χρόνο εκτέλεσής τους. Όπως και σε έναν υπολογιστή, αυτή η μνήμη είναι προσωρινή δηλαδή με την διακοπή παροχής ρεύματος ή πατώντας το κουμπί «reset» του Arduino τα δεδομένα της χάνονται.
- 2) Η μνήμη EEPROM συνολικής χωρητικότητας 1Kb η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εγγραφή ή ανάγνωση δεδομένων από το πρόγραμμά μας κατά τον χρόνο εκτέλεσής του και δεν χάνει τα δεδομένα της με την διακοπή τροφοδοσίας ή reset. Είναι, δηλαδή, κάτι παρόμοιο με τον σκληρό δίσκο ενός υπολογιστή,σε αντίθεση με την μνήμη SRAM η οποία χάνει τα περιεχόμενα της μόλις διακοπεί η τροφοδοσία η πατηθεί reset, όπως αναφέραμε προηγουμένως.

- 3) Η Flash memory χωρητικότητας 32kb, εκ των οποίων τα 2Kb δεσμεύονται για τις ανάγκες εγκατάστασης του firmware του Arduino που έχει εγκαταστήσει ο κατασκευαστής του και είναι απαραίτητο για την λειτουργία του Arduino Board και την αποθήκευση των προγραμμάτων του χρήστη στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB. Τα υπόλοιπα 30kb της μνήμης Flash χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των προγραμμάτων, αφού πρώτα μεταγλωττιστούν στον υπολογιστή. Όπως με την μνήμη EEPROM, έτσι και στην Flash memory δεν σβήνονται τα περιεχόμενα της με την απώλεια της τροφοδοσίας ή με το πάτημα του reset. Στα προγράμματα τα οποία γράφει ο χρήστης ανατίθεται μικρό ποσοστό μνήμης (2kb SRAM και 1kb EEPROM) και γι' αυτό τον λόγο έχει σχεδιαστεί μία βιβλιοθήκη η οποία δίνει την δυνατότητα χρήσης όσου χώρου περισσεύει στην μνήμη FLASH, χώρος ο οποίος κανονικά δεν προορίζεται για χρήση runtime από τα προγράμματα αυτά. [5], [6]

#### 5.4 Τροφοδοσία του μικροελεγκτή Arduino

Η τροφοδοσία του Arduino μπορεί να γίνει με μπαταρία των 9-12V DC ή με τροφοδοτικό που θα λαμβάνει 220V AC και θα τα αποδίδει σε 9V DC, ακόμα και με το καλώδιο μεταφοράς του προγράμματος μας από τον υπολογιστή μέσω κάποιας θύρας USB στον μικροελεγκτή. Στον Arduino UNO, επίσης, υπάρχουν ακίδα (Pin) με ονομασία «5V» στις οποίες εφαρμόζοντας αντίστοιχη τάση και χρησιμοποιώντας και μια από τις γειώσεις του Board έχουμε την δυνατότητα να τροφοδοτήσουμε το Board μας και από εκεί. Από τα ίδια Pin «5V» μπορούμε επίσης να τροφοδοτήσουμε τα εξαρτήματα μας που χρειάζονται ανάλογη τάση, δηλαδή έχουμε την δυνατότητα να ρυθμίσουμε εμείς μέσα από το πρόγραμμα μας αν αυτά τα Pin θα λειτουργούν σαν είσοδοι τροφοδοσίας του Arduino ή σαν έξοδοι που θα τροφοδοτούν αισθητήρια και modules. Σημειώνεται εδώ ότι το πάτημα του «Reset» έχει σαν αποτέλεσμα την επανεκκίνηση του μικροελεγκτή. [7], [8]

#### 5.5 Τα Pin του Arduino UNO

Όπως προαναφέραμε, για τις ανάγκες της πτυχιακής αυτής εργασίας έχουμε επιλέξει να εργαστούμε με την έκδοση Arduino UNO. Ακολουθούν αναλυτικά τα Pin του και οι λειτουργίες τους:

- Το pin 3.3V μπορεί να τροφοδοτήσει μόνο συνδεδεμένα αισθητήρια και modules. Αυτά τα 3.3V προέρχονται από τον ελεγκτή και όχι από κάποιο εξωτερικό τροφοδοτικό. Αυτό το pin μπορεί να λειτουργεί μόνο ως έξοδος.
- Το pin 5V είναι ένας από τους τρόπους που μπορούμε να τροφοδοτήσουμε τον Arduino μας ή κάποιο συνδεδεμένο σε αυτόν αισθητήριο. Αυτό το pin μπορούμε να το δηλώσουμε μέσα από το πρόγραμμά μας ως είσοδο ή ως έξοδο.
- Τα δύο Pin με την ένδειξη «GND» είναι γειώσεις
- Το Pin με την ονομασία Vin μαζί με την γείωση (GND) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εξωτερική τροφοδοσία της πλακέτας μας ή μπορούμε ακόμα να τα χρησιμοποιήσουμε ως τροφοδοσία σε άλλα εξαρτήματα. Η τροφοδοσία σε αυτό το pin δεν περνάει από τον ρυθμιστή τάσης με αποτέλεσμα να έχουμε άμεση τροφοδοσία από το εξωτερικό τροφοδοτικό (7-12V).
- Τα Pin RX και TX το αφορούν την σειριακή λειτουργία και ενεργοποιούνται από το πρόγραμμά μας. Δηλαδή καθώς φορτώνουμε το πρόγραμμά μας αυτό μεταφέρεται μέσω καλωδίου από την θύρα USB του υπολογιστή μας μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB, αλλά και στο pin 0 για να διαβάσει πιθανόν μια άλλη συσκευή για παράδειγμα έναν Arduino.

- Τα Pin 2 (Interrupt 0) και Pin 3 (Interrupt 1) εξυπηρετούν τις διακοπές (interrupts) ενώ παράλληλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λειτουργία PWM. (Pulse With Modulation) ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως ψηφιακές εισοδοί ή έξοδοι.
- Τα ψηφιακά Pin 3, 5, 6, 9, 10 και 11 είναι 8bit-PWM (Pulse With Modulation) και έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν σαν εικονικές αναλογικές έξοδοι. Σε αυτά τα Pin μπορούμε να συνδέσουμε ένα LED και να ελέγξουμε την φωτεινότητα του επιλέγοντας ένα από τα 256 επίπεδα φωτεινότητας, όπου αν ορίσουμε τιμή 0V το LED είναι σβηστό, τις ενδιάμεσες καταστάσεις, ενώ με τιμή 256 είναι πλήρως φωτισμένο. Με τα υπόλοιπα ψηφιακά pin έχουμε μόνο την δυνατότητα ανάματος-σβησίματος .
- Οι ακροδέκτες σειριακής περιφερειακής διασύνδεσης(S.P.I. - Serial Peripheral Interface):Τα Pin 10(SC), Pin 11(MOSI - Master out slave in) , 12(MISO - Master In Slave Out), Pin 13(SCK-σειριακό ρολόι) χρησιμοποιήθηκαν για την λειτουργία του πομποδέκτη NRF24L01+.
- Τα Pin A0 έως A6 pin είναι αναλογικά με την αναγραφόμενη ονομασία στην πλακέτα Analog in και λειτουργούν ως αναλογικές εισοδοί. Οι τάση των Pin αυτών κυμαίνεται μεταξύ των 0V και 5V, αλλά μπορούμε τοποθετώντας ένα ποτενσιόμετρο και ρυθμίζοντάς το μεταξύ της τάσης αυτής(πχ 1.5V) να διαβάσουμε την τιμή του Pin ως ένα ακέραιο αριθμό ανάλυσης των 10 bit από το 0 που αντιστοιχεί στα 0V μέχρι το 1023 που αντιστοιχεί στα 5V. Ακόμα κάθε Pin από αυτά μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε ψηφιακά pin εισόδου/εξόδου μέσα από το πρόγραμμά μας. [7], [8], [9]

## 6.ΤΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

### MQ-7

Υπάρχουν αρκετά αισθητήρια τα οποία μπορούν να συνδεθούν σε μια πλακέτα Arduino όπως αισθητήρια μέτρησης θερμοκρασίας, υγρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης, μέτρησης διοξειδίου του άνθρακα κ.λ.π. Για την παρούσα άσκηση επιλέξαμε το αισθητήριο μέτρησης μονοξειδίου του άνθρακα MQ-7.

#### 6.1 Περιγραφή των μερών που απαρτίζουν το αισθητήριο και ανάλυση της αρχής λειτουργίας του

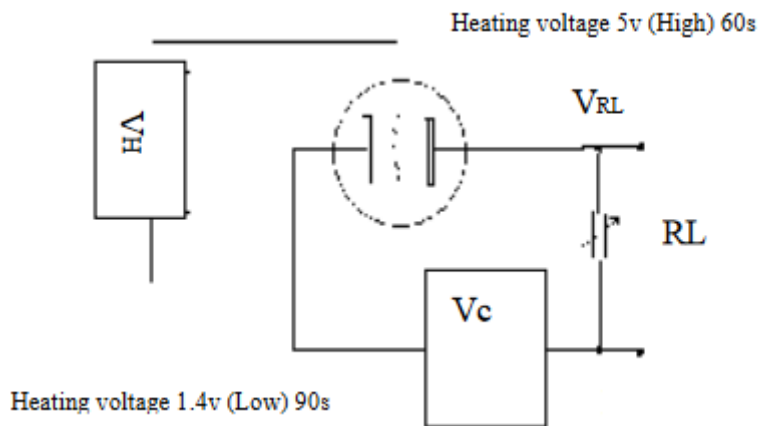
##### 6.1.1 Περιγραφή των μερών

Το αισθητήριο αποτελείται από έναν κεραμικό δίαυλο  $AL_2O_3$  ο οποίος είναι επενδυμένος με ένα στρώμα διοξειδίου του κασσίτερου  $SnO_2$ , ένα ηλεκτρόδιο μέτρησης και ένα κύκλωμα θέρμανσης. Όλα τα παραπάνω υποσυστήματα είναι στερεωμένα σε μια «κρούστα» από πλαστικό και ανοξείδωτο ατσάλι. Το κύκλωμα θέρμανσης είναι απαραίτητο για την σωστή λειτουργία ευαίσθητων υποσυστημάτων του αισθητηρίου. Το MQ-7 διαθέτει 6 pins, 4 από τα οποία χρησιμοποιούνται για την μεταφορά δεδομένων και μετρήσεων ενώ τα υπόλοιπα δύο χρησιμεύουν για να «μεταφέρουν» το συνεχές ρεύμα που απαιτείται για την

θέρμανση του αισθητηρίου.

Στην ουσία το αισθητήριο αποτελείται από δύο τμήματα:

- α) Το κύκλωμα θέρμανσης το οποίο εναλλάσσεται μεταξύ μιας υψηλής (High) και μίας χαμηλής τάσης (Low) και
- β) Το κύκλωμα εξόδου σήματος, το οποίο ανταποκρίνεται με ακρίβεια στις αλλαγές της τιμής της αντίστασης που βρίσκεται στην επιφάνεια του αισθητηρίου.

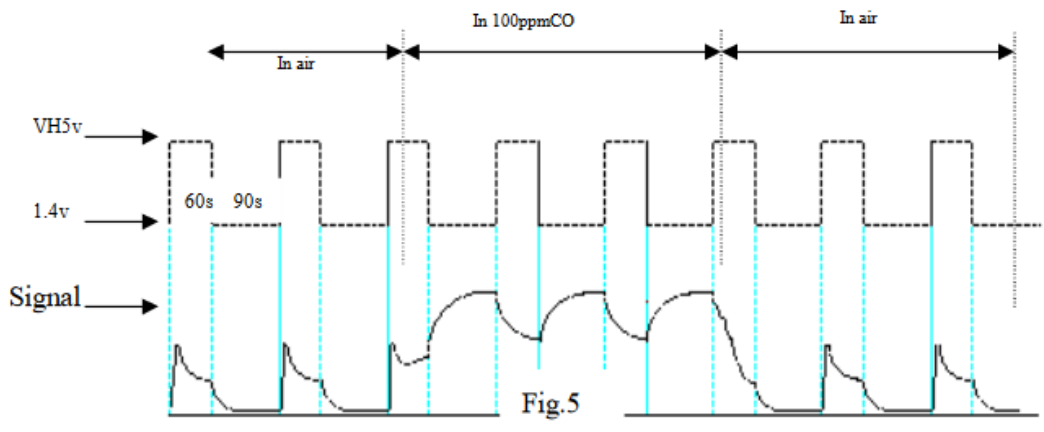


Εικόνα 6.1.1 Τα μέρη που απαρτίζουν το αισθητήριο MQ-7

### 6.1.2 Αρχή λειτουργίας

Ο υπολογισμός της επιφανειακής αντίστασης  $R_s$  του αισθητηρίου γίνεται μέσω της παρακολούθησης της τάσης  $V_{RL}$  που εμφανίζεται στα άκρα της αντίστασης  $R_L$  η οποία έχει συνδεθεί σε σειρά. Η σχέση που «ενώνει» την  $R_S$  με την  $R_L$  είναι η παρακάτω:

$$\frac{R_s}{R_L} = \frac{(V_c - V_{RL})}{V_{RL}} \text{ (σχέση 1), πρόκειται δηλαδή για κύκλωμα τελεστικού ενισχυτή.}$$



Εικόνα 6.1.2 Αρχή λειτουργίας MQ-7

Στο παραπάνω γράφημα (σχήμα 2) φαίνεται καθαρά η μεταβλητή κατάσταση εξόδου του σήματος RL που μετρήθηκε χρησιμοποιώντας την έξοδο του κυκλώματος του αισθητηρίου που παρουσιάστηκε στο σχήμα 1 όταν ο αισθητήρας ανιχνεύει την ύπαρξη μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Η μέτρηση γίνεται μέσα σε μία ή δύο περιόδους θέρμανσης, δηλαδή σε δύομισή λεπτά από την υψηλή τάση στην χαμηλή.

Όταν εφαρμόζεται η χαμηλή τάση (Low), βρισκόμαστε στην φάση χαμηλής θερμοκρασίας κατά την οποία το μονοξείδιο του άνθρακα προσκολλάται στην επιφάνεια του αισθητηρίου δίνοντάς μας της μετρήσεις που θέλουμε. Μόλις εφαρμοστεί η υψηλή τάση (High) τότε πλέον περνάμε στην φάση της υψηλής θερμοκρασίας όπου το μονοξείδιο και όλες οι άλλες χημικές ενώσεις και προσμίξεις αποκολλώνται από το αισθητήριο με αποτέλεσμα αυτό να είναι πλέον «καθαρό» και έτοιμο για την επόμενη μας μέτρηση. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να ζεσταθεί το αισθητήριο για χρονικό διάστημα 60 second, κατόπιν θα περιμένουμε για 90 second και στην συνέχεια θα εφαρμόσουμε ξανά τάση 5V (High) και θα πάρουμε μέτρηση καθώς σύμφωνα με το datasheet οι μετρήσεις γίνονται όταν το αισθητήριο βρίσκεται υπό τάση ίση με 5V. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να προσέξουμε να πάρουμε την μέτρηση προτού το αισθητήριο ζεσταθεί καθώς σε διαφορετική περίπτωση η μέτρησή μας θα είναι λάθος. [10], [11], [12], [13], [14].

## 7. Μελέτη υλοποίησης του κυκλώματος σύνδεσης του αισθητηρίου MQ-7 με τον Arduino:

Εάν βασιστούμε στο Data Sheet του αισθητηρίου και το συνδέσουμε «απ' ευθείας» στον Arduino, δηλαδή συνδέσουμε τα +5V του Arduino στο Vcc, τη γείωση στη γείωση και το A0 του αισθητηρίου στο pin A0 του Arduino δεν θα λάβουμε ούτε σωστές ούτε αξιόπιστες μετρήσεις καθ' ότι το αισθητήριο επηρεάζεται τόσο από την θερμοκρασία όσο και από την υγρασία του περιβάλλοντος. Για να δουλέψει σωστά το αισθητήριο θα πρέπει, σύμφωνα με το Data Sheet να θερμανθεί με εφαρμογή τάσης +5V για χρονικό διάστημα 60 second, κατόπιν θα πρέπει η τάση αυτή να πέσει στα 1.4V για χρονικό διάστημα 90 second και ύστερα από αυτήν την διαδικασία το αισθητήριο θα είναι έτοιμο να προσλάβει την σωστή μέτρηση. Για να επιτύχουμε την εναλλαγή της τάσης από 1.4 έως 5V θα χρειαζόταν να υλοποιήσουμε ένα κύκλωμα PWM (Pulse With Modulation) όμως σε αυτήν την περίπτωση το Pin του Arduino που τροφοδοτεί το αισθητήριο θα πρέπει να μπορεί να παρέχει ρεύμα έντασης μεγαλύτερης από 150mA το οποίο, δυστυχώς είναι αδύνατον να προσφέρει ο Arduino Uno. Αντί για κύκλωμα PWM, επομένως, θα συνδέσουμε το αισθητήριο «απ' ευθείας» στον μικροελεγκτή και για να μην πάρουμε λάθος μετρήσεις θα πρέπει το αισθητήριο να ζεσταθεί για 48 ώρες ούτως ώστε να έρθει σε μια κατάσταση ισορροπίας. [10], [11], [12], [13], [14]

### 7.1 Κυκλώματα PWM – αρχή λειτουργίας και υλοποίηση

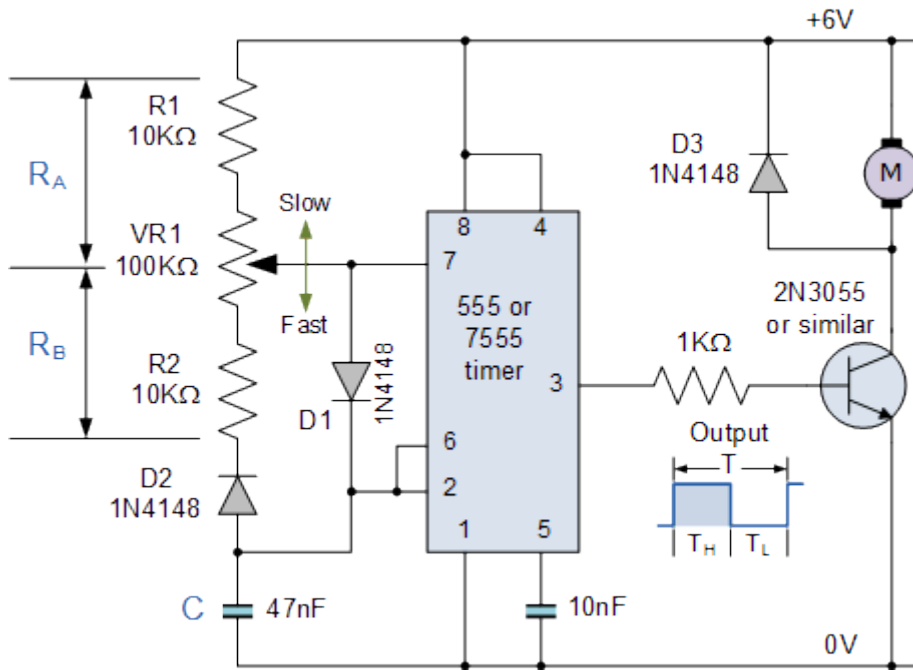
Έστω ότι έχουμε μια τάση η οποία είναι ψηφιακή και μπορεί να έχει δύο τιμές: 0V (λογικό 0) και 5V (λογικό 1):



Εικόνα 7.1 Παλμός και κύκλος εργασίας

Το σήμα του παραπάνω διαγράμματος έχει περίοδο  $T = 2 \text{ second}$  και παρατηρούμε ότι η τάση έχει τιμή  $5V$  (είναι δηλαδή “ON” ) για χρονικό διάστημα  $T/2 = 1 \text{ second}$ , με λίγα λόγια είναι “ON” για χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί στο 50% της περιόδου. Στην περίπτωση αυτή έχουμε κύκλο εργασίας 50%. Αν θελήσουμε να υπολογίσουμε την μέση τιμή της τάσης εξόδου τότε αρκεί να πολλαπλασιάσουμε την μέγιστη τιμή της τάσης (στην περίπτωσή μας τα  $5V$ ) με τον κύκλο εργασίας. Έτσι, στην περίπτωση αυτή η τιμή της μέσης τάσης θα είναι  $5V * 50\% = 2,5V$ . Έτσι, χάρη στην χρήση PWM κυκλωμάτων μπορούμε να ορίσουμε εμείς την τάση που θα εφαρμόζεται στα άκρα μιας συσκευής. [15], [16], [17], [18] Τα κυκλώματα PWM έχουν πολλές χρήσεις, όπως σε εφαρμογές φωτισμού όπως π.χ. ντιμάρισμα κλπ. Ένα τυπικό κύκλωμα PWM φαίνεται παρακάτω:





Εικόνα 7.1.1 Τυπικό κύκλωμα PWM, συνδεσμολογία και υλοποίηση

## 7.1. Ο ασύγχρονος χρονιστής 555

Ο ασύγχρονος 555 χρονιστής (timer) είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο χρησιμοποιείται είτε για ενίσχυση είτε για την παραγωγή σταθερής και προκαθορισμένης από τον χρήστη χρονικής καθυστέρησης. Στην περίπτωση χρήσης του 555 timer για χρονική καθυστέρηση το χρονικό διάστημα της καθυστέρησης αυτής, η συχνότητα και ο κύκλος εργασίας καθορίζονται από δύο αντιστάσεις και έναν πυκνωτή. [16]

### 7.1.3 Επεξήγηση του κυκλώματος της εικόνας 7.1.1

Στο παραπάνω κύκλωμα οι αντιστάσεις  $R_A$  και  $R_B$  συνδέονται στο pin 7 ενός 555 timer και στην ουσία η τιμή των δύο αυτών αντιστάσεων καθορίζει το πόσο γρήγορα φορτίζεται και εκφορτίζεται ο πυκνωτής C. Ο πυκνωτής φορτίζεται μέσω της αντίστασης  $R_A$  όμως η τάση που τον διαρρέει διαχωρίζεται στην τάση που περνάει μέσα από την διόδο D1 και την αντίσταση  $R_B$ . Μόλις ο πυκνωτής φορτίσει, τότε μέσω της διόδου D2 εκφορτίζεται άμεσα με την τάση να καταλήγει στο Pin 7 του 555 timer και από εκεί στο Pin 3 όπου και καταλήγει στο transistor και τροφοδοτεί το κύκλωμα. Κατά την διάρκεια της αποφόρτισης του πυκνωτή η τάση στο Pin 3 είναι ίση με 0 και το transistor δεν λειτουργεί, είναι δηλαδή σε κατάσταση Off. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα του 555 timer ουσιαστικά μας προσφέρει την PWM λειτουργία και ένας πλήρης κύκλος φόρτισης και αποφόρτισης του πυκνωτή

καθορίζεται από τις τιμές των αντιστάσεων  $R_A$  και  $R_B$  ενώ ισχύουν οι παρακάτω εξισώσεις:

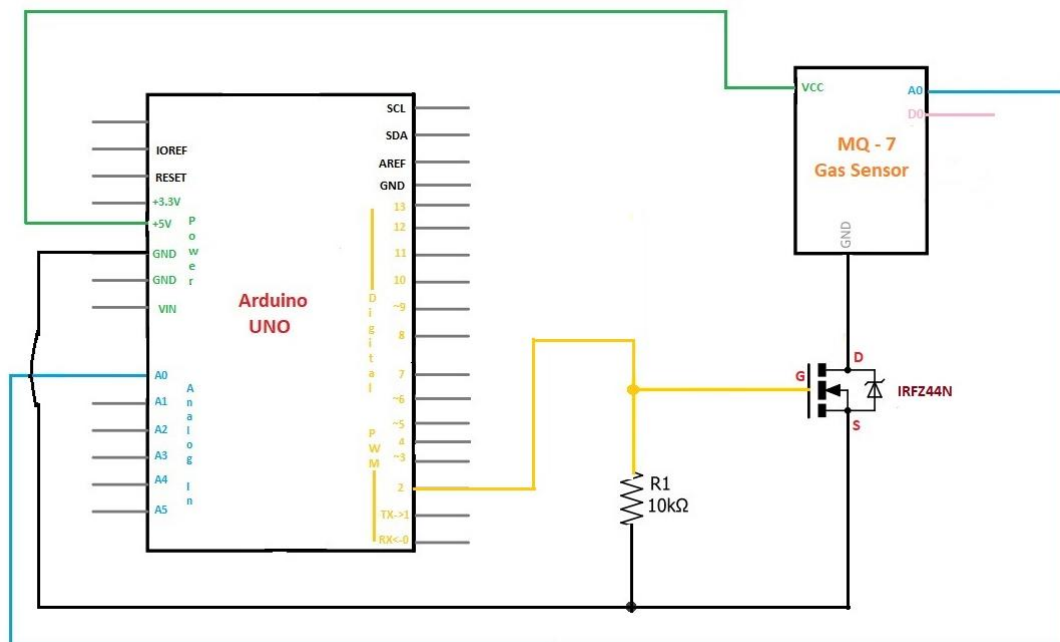
$$T_H = 0,693(R_A) * C$$

$$T_L = 0,693(R_B) * C$$

Με  $T_H = T_a$  High: Χρονικό διάστημα που το transistor είναι «ON» και  $T_L$  το χρονικό διάστημα που το transistor είναι «OFF» Ένας πλήρης «ON – OFF» κύκλος δίνεται από την εξίσωση  $T = T_H + T_L$  με την συχνότητα εξόδου να είναι  $f = 1/T$ . Για να επιτύχουμε λοιπόν να έχουμε τάση στο αισθητήριο ίση με 5V αρκεί να ορίσουμε κύκλο εργασίας 100% για 60 δευτερόλεπτα και για να μεταβούμε σε τάση 1.4V αρκεί να ορίσουμε κύκλο εργασίας 28% για χρονικό διάστημα 90 δευτερόλεπτα. [15], [16], [17], [18]

## 8. Σύνδεση του αισθητηρίου MQ-7 με τον Arduino

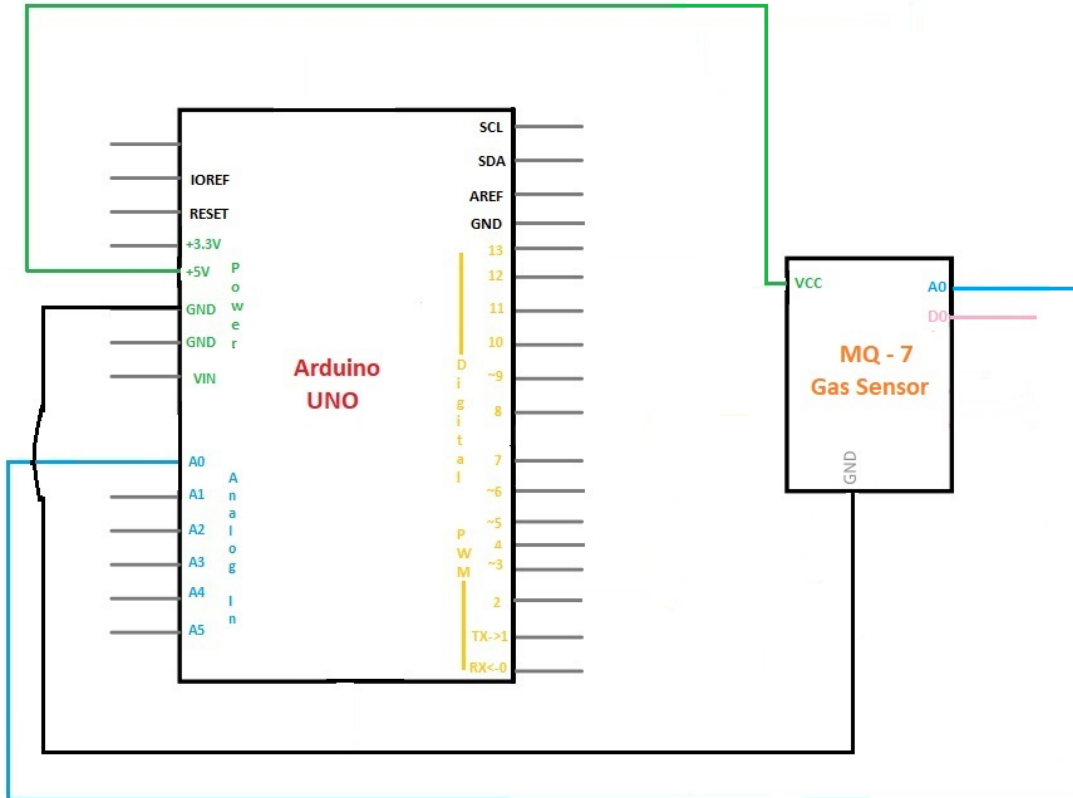
Εάν ο μικροελεγκτής που έχουμε επιλέξει μπορούσε να παρέχει ρεύμα έντασης 150mA στο Pin τροφοδοσίας του αισθητηρίου MQ-7 τότε θα χρησιμοποιούσαμε το pin 2 του Arduino για την υλοποίηση της λειτουργίας PWM. Η σύνδεση θα γινόταν όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 8 Σύνδεση του αισθητηρίου MQ-7 με τον Arduino

Επειδή, όμως, όπως αναφέραμε ήδη κάτι τέτοιο θα ήταν αδύνατο, θα συνδέσουμε «απ' ευθείας» το αισθητήριο στον μικροελεγκτή και θα περιμένουμε μέχρι αυτό να θερμανθεί για χρονικό διάστημα 48 ωρών. Θα συνδέσουμε το «VCC» του αισθητηρίου στα 5V και

την γείωση «GND» στην γείωση του Arduino UNO αντίστοιχα. Τέλος, το «A0» του αισθητηρίου θα συνδεθεί στο αναλογικό Pin «A0» του μικροελεγκτή όπως φαίνεται παρακάτω:



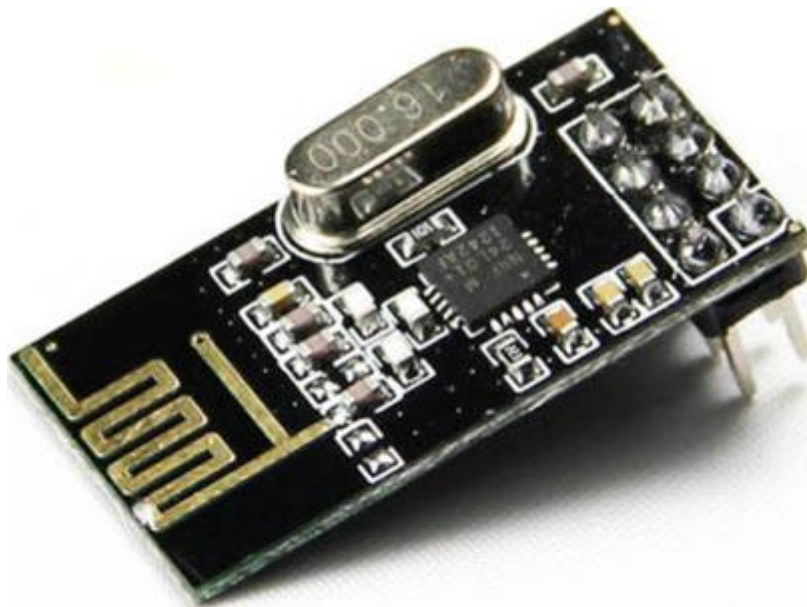
Εικόνα 9: Τελική σύνδεση του αισθητήριου μέτρησης μονοξειδίου του άνθρακα με τον Arduino. Το Pin «D0» του αισθητηρίου χρησιμοποιείται για να ελέγξουμε αν τα επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα έχουν υπερβεί κάποιο όριο το οποίο έχουμε ορίσει εμείς και επειδή στην παρούσα εργασία ενδιαφερόμαστε μόνο για την μέτρηση των επιπέδων μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, δεν συνδέεται κάπου. Αφού θερμανθεί για 48 ώρες, το αισθητήριο, τώρα πια μετράει σωστά και με ακρίβεια. Οι μετρήσεις αυτές διαβάζονται από το pin A0 του Arduino και αποστέλλονται στην σειριακή θύρα. Αν θέλουμε να δούμε τις μετρήσεις αυτές τότε αρκεί να πάμε στην καρτέλα «εργαλεία» και από εκεί να επιλέξουμε την παρακολούθηση της σειριακής θύρας ή μπορούμε απλά από να πατήσουμε την συντόμευση Ctrl + Shift +M.

## 9. Ο μονόπλευρος πομποδέκτης NRF24L01+

### 9.1 Γενικά για τον πομποδέκτη NRF24L01+

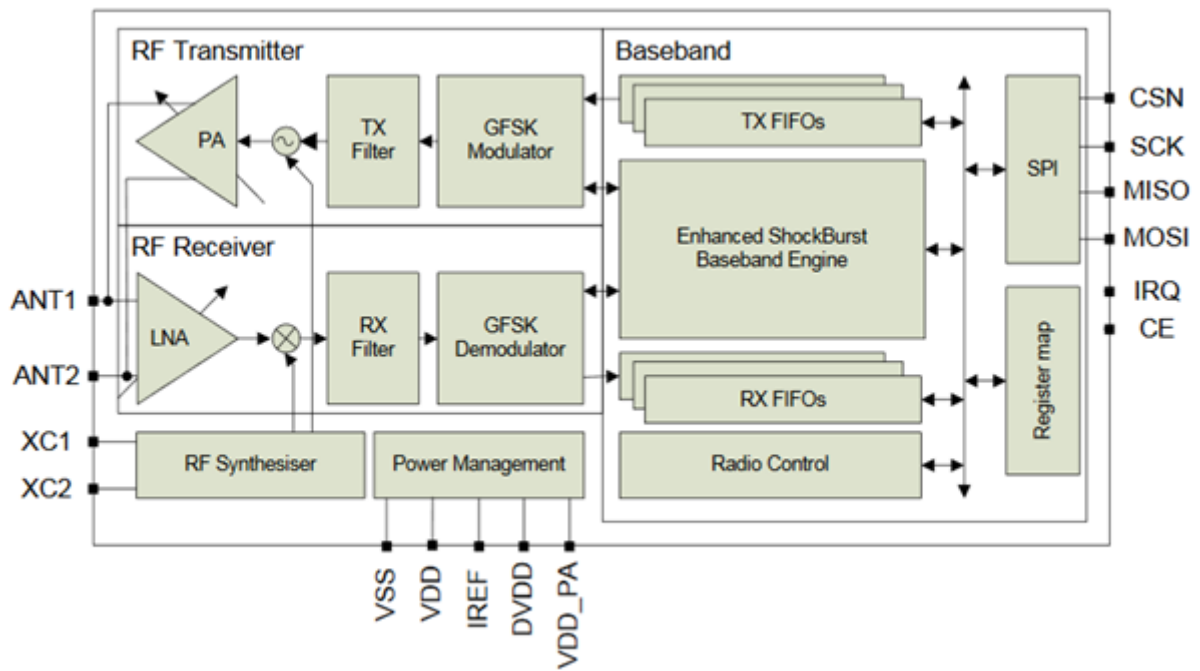
Ο μονόπλευρος πομποδέκτης NRF24L01+ είναι ένα single chip module το οποίο με κατάλληλη σύνδεση στον Arduino μπορεί να στείλει ή να λάβει μέσω WiFi πληροφορίες και δεδομένα. Πρόκειται για μια φθηνή λύση ασύρματης επικοινωνίας με χαμηλό κόστος και εξαιρετικές προδιαγραφές λειτουργίας μιας και προσφέρει εμβέλεια έως εκατό μέτρα και με ταχύτητες μετάδοσης από 250 kbps έως 2 Mbps. Η τάση λειτουργίας του είναι τα 3,3V και λειτουργεί σε συχνότητα από 2,4 - 2.4835GHz. Ο χειρισμός και η διαμόρφωση γίνονται μέσω μιας σειριακής περιφερειακής διασύνδεσης (ή Serial Peripheral Interface – S.P.I.). Βασίζεται στην επικοινωνία πακέτων και υποστηρίζει διάφορες λειτουργίες, από χειροκίνητη λειτουργία έως λειτουργία αυτόνομου πρωτοκόλλου. Το NRF24L01 χρησιμοποιεί διαμόρφωση GFSK και οι παράμετροί του όπως η συχνότητα επικοινωνίας, ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας και η ισχύς της μετάδοσης καθορίζονται από τον χρήστη. [19], [20], [21], [22], [23]

Πίσω όψη του NRF24L01+



Εικόνα 9.1.2 Η πίσω όψη του NRF24L01+

Το μπλόκ διάγραμμα του NRF24L01+ είναι το παρακάτω:



Εικόνα 9.1.3 Το μπλόκ διάγραμμα του NRF24L01

Ακολουθεί ο πίνακας λειτουργίας των ακροδεκτών του NRF24L01+

Pin	Name	Pin function	Description
1	CE	Digital Input	Chip Enable Activates RX or TX mode
2	CSN	Digital Input	SPI Chip Select
3	SCK	Digital Input	SPI Clock
4	MOSI	Digital Input	SPI Slave Data Input
5	MISO	Digital Output	SPI Slave Data Output, with tri-state option
6	IRQ	Digital Output	Maskable interrupt pin. Active low
7	VDD	Power	Power Supply (+1.9V - +3.6V DC)
8	VSS	Power	Ground (0V)
9	XC2	Analog Output	Crystal Pin 2
10	XC1	Analog Input	Crystal Pin 1
11	VDD_PA	Power Output	Power Supply Output (+1.8V) for the internal nRF24L01+ Power Amplifier. Must be connected to <b>ANT1</b> and <b>ANT2</b> as shown in <a href="#">Figure 29</a> .
12	ANT1	RF	Antenna interface 1
13	ANT2	RF	Antenna interface 2
14	VSS	Power	Ground (0V)
15	VDD	Power	Power Supply (+1.9V - +3.6V DC)
16	IREF	Analog Input	Reference current. Connect a 22kΩ resistor to ground. See <a href="#">Figure 29</a> .
17	VSS	Power	Ground (0V)
18	VDD	Power	Power Supply (+1.9V - +3.6V DC)
19	DVDD	Power Output	Internal digital supply output for de-coupling purposes. See <a href="#">Figure 29</a> .
20	VSS	Power	Ground (0V)

Πίνακας 9.1.4 Πίνακας λειτουργίας των ακροδεκτών NRF24L01+

Ενώ οι πλήρεις προδιαγραφές του ακολουθούν στους παρακάτω πίνακες

Operating conditions	Minimum	Maximum	Units
<b>Supply voltages</b>			
VDD	-0.3	3.6	V
VSS		0	V
<b>Input voltage</b>			
V <sub>I</sub>	-0.3	5.25	V
<b>Output voltage</b>			
V <sub>O</sub>	VSS to VDD	VSS to VDD	
<b>Total Power Dissipation</b>			
P <sub>D</sub> (T <sub>A</sub> =85°C)		60	mW
<b>Temperatures</b>			
Operating Temperature	-40	+85	°C
Storage Temperature	-40	+125	°C



Πίνακας 9.1.4.Απόλυτες μέγιστες τιμές τάσης και θερμοκρασίας

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
VDD	Supply voltage		1.9	3.0	3.6	V
VDD	Supply voltage if input signals >3.6V		2.7	3.0	3.3	V
TEMP	Operating Temperature		-40	+27	+85	°C

Πίνακας 9.1.5.Συνθήκες λειτουργίας

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>Idle modes</b>						
I <sub>VDD_PD</sub>	Supply current in power down			900		nA
I <sub>VDD_ST1</sub>	Supply current in standby-I mode	a		26		μA
I <sub>VDD_ST2</sub>	Supply current in standby-II mode			320		μA
I <sub>VDD_SU</sub>	Average current during 1.5ms crystal oscillator startup			400		μA
<b>Transmit</b>						
I <sub>VDD_TX0</sub>	Supply current @ 0dBm output power	b		11.3		mA
I <sub>VDD_TX6</sub>	Supply current @ -6dBm output power	b		9.0		mA
I <sub>VDD_TX12</sub>	Supply current @ -12dBm output power	b		7.5		mA
I <sub>VDD_TX18</sub>	Supply current @ -18dBm output power	b		7.0		mA
I <sub>VDD_AVG</sub>	Average Supply current @ -6dBm output power, ShockBurst™	c		0.12		mA
I <sub>VDD_TXS</sub>	Average current during TX settling	d		8.0		mA
<b>Receive</b>						
I <sub>VDD_2M</sub>	Supply current 2Mbps			13.5		mA
I <sub>VDD_1M</sub>	Supply current 1Mbps			13.1		mA
I <sub>VDD_250</sub>	Supply current 250kbps			12.6		mA
I <sub>VDD_RXS</sub>	Average current during RX settling	e		8.9		mA

Πίνακας 9.1.6 Ηλεκτρική κατανάλωση

με VDD = +3V, VSS = 0V, και T<sub>A</sub> = -40°C - +85°C

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
f <sub>OP</sub>	Operating frequency	a	2400		2525	MHz
PLL <sub>res</sub>	PLL Programming resolution			1		MHz
f <sub>XTAL</sub>	Crystal frequency			16		MHz
Δf <sub>250</sub>	Frequency deviation @ 250kbps			±160		kHz
Δf <sub>1M</sub>	Frequency deviation @ 1Mbps			±160		kHz
Δf <sub>2M</sub>	Frequency deviation @ 2Mbps			±320		kHz
R <sub>GFSK</sub>	Air Data rate	b	250		2000	kbps
F <sub>CHANNEL 1M</sub>	Non-overlapping channel spacing @ 250kbps/1Mbps	c		1		MHz
F <sub>CHANNEL 2M</sub>	Non-overlapping channel spacing @ 2Mbps	c		2		MHz

- a. Τα ρυθμιστικά πρότυπα καθορίζουν το εύρος ζώνης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί  
 b. Ρυθμός δεδομένων (Data Rate) στον αέρα  
 c. Ελάχιστο διάστημα διαύλου 1MHz

Πίνακας 9.1.7. Γενικές συνθήκες RF

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
P <sub>RF</sub>	Maximum Output Power	a		0	+4	dBm
P <sub>RFC</sub>	RF Power Control Range		16	18	20	dB
P <sub>RFCA</sub>	RF Power Accuracy				±4	dB
P <sub>BW2</sub>	20dB Bandwidth for Modulated Carrier (2Mbps)			1800	2000	kHz
P <sub>BW1</sub>	20dB Bandwidth for Modulated Carrier (1Mbps)			900	1000	kHz
P <sub>BW250</sub>	20dB Bandwidth for Modulated Carrier (250kbps)			700	800	kHz
P <sub>RF1.2</sub>	1 <sup>st</sup> Adjacent Channel Transmit Power 2MHz (2Mbps)				-20	dBc
P <sub>RF2.2</sub>	2 <sup>nd</sup> Adjacent Channel Transmit Power 4MHz (2Mbps)				-50	dBc
P <sub>RF1.1</sub>	1 <sup>st</sup> Adjacent Channel Transmit Power 1MHz (1Mbps)				-20	dBc
P <sub>RF2.1</sub>	2 <sup>nd</sup> Adjacent Channel Transmit Power 2MHz (1Mbps)				-45	dBc
P <sub>RF1.250</sub>	1 <sup>st</sup> Adjacent Channel Transmit Power 1MHz (250kbps)				-30	dBc
P <sub>RF2.250</sub>	2 <sup>nd</sup> Adjacent Channel Transmit Power 2MHz (250kbps)				-45	dBc

Πίνακας 9.1.8 Λειτουργία πομπού

με εμπέδηση κεραίας ίση με  $15\Omega + j88\Omega$ .

Datarate	Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
	RX <sub>max</sub>	Maximum received signal at <0.1% BER			0		dBm
2Mbps	RX <sub>SENS</sub>	Sensitivity (0.1%BER) @2Mbps			-82		dBm
1Mbps	RX <sub>SENS</sub>	Sensitivity (0.1%BER) @1Mbps			-85		dBm
250kbps	RX <sub>SENS</sub>	Sensitivity (0.1%BER) @250kbps			-94		dBm

Datarate	Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
2Mbps	C/I <sub>CO</sub>	C/I Co-channel			7		dBc
	C/I <sub>1ST</sub>	1 <sup>st</sup> ACS (Adjacent Channel Selectivity) C/I 2MHz			3		dBc
	C/I <sub>2ND</sub>	2 <sup>nd</sup> ACS C/I 4MHz			-17		dBc
	C/I <sub>3RD</sub>	3 <sup>rd</sup> ACS C/I 6MHz			-21		dBc
	C/I <sub>Nth</sub>	N <sup>th</sup> ACS C/I, f <sub>i</sub> > 12MHz			-40		dBc
	C/I <sub>Nth</sub>	N <sup>th</sup> ACS C/I, f <sub>i</sub> > 36MHz	a		-48		dBc
1Mbps	C/I <sub>CO</sub>	C/I Co-channel			9		dBc
	C/I <sub>1ST</sub>	1 <sup>st</sup> ACS C/I 1MHz			8		dBc
	C/I <sub>2ND</sub>	2 <sup>nd</sup> ACS C/I 2MHz			-20		dBc
	C/I <sub>3RD</sub>	3 <sup>rd</sup> ACS C/I 3MHz			-30		dBc
	C/I <sub>Nth</sub>	N <sup>th</sup> ACS C/I, f <sub>i</sub> > 6MHz			-40		dBc
	C/I <sub>Nth</sub>	N <sup>th</sup> ACS C/I, f <sub>i</sub> > 25MHz	a		-47		dBc
250kbps	C/I <sub>CO</sub>	C/I Co-channel			12		dBc
	C/I <sub>1ST</sub>	1 <sup>st</sup> ACS C/I 1MHz			-12		dBc
	C/I <sub>2ND</sub>	2 <sup>nd</sup> ACS C/I 2MHz			-33		dBc
	C/I <sub>3RD</sub>	3 <sup>rd</sup> ACS C/I 3MHz			-38		dBc
	C/I <sub>Nth</sub>	N <sup>th</sup> ACS C/I, f <sub>i</sub> > 6MHz			-50		dBc
	C/I <sub>Nth</sub>	N <sup>th</sup> ACS C/I, f <sub>i</sub> > 25MHz	a		-60		dBc



Πίνακας 9.1.10. Ευαισθησία RX

Mode	PWR_UP register	PRIM_RX register	CE input pin	FIFO state
RX mode	1	1	1	-
TX mode	1	0	1	Data in TX FIFOs. Will empty all levels in TX FIFOs <sup>a</sup> .
TX mode	1	0	Minimum 10μs high pulse	Data in TX FIFOs. Will empty one level in TX FIFOs <sup>b</sup> .
Standby-II	1	0	1	TX FIFO empty.
Standby-I	1	-	0	No ongoing packet transmission.
Power Down	0	-	-	-

Πίνακας 9.1.11. Λειτουργία των τρόπων διαμόρφωσης

Name	nRF24L01+	Max.	Min.	Comments
Tpd2stby	Power Down → Standby mode	1.5ms		Internal crystal oscillator
Tpd2stby	Power Down → Standby mode	150μs		With external clock
Tstby2a	Standby modes → TX/RX mode	130μs		
Thce	Minimum CE high		10μs	
Tpece2csn	Delay from CE positive edge to CSN low		4μs	

Πίνακας 9.1.12. Πληροφορίες χρονισμού

## 9.2 Τα pins του πομποδέκτη NRF24L01+ και η λειτουργία τους

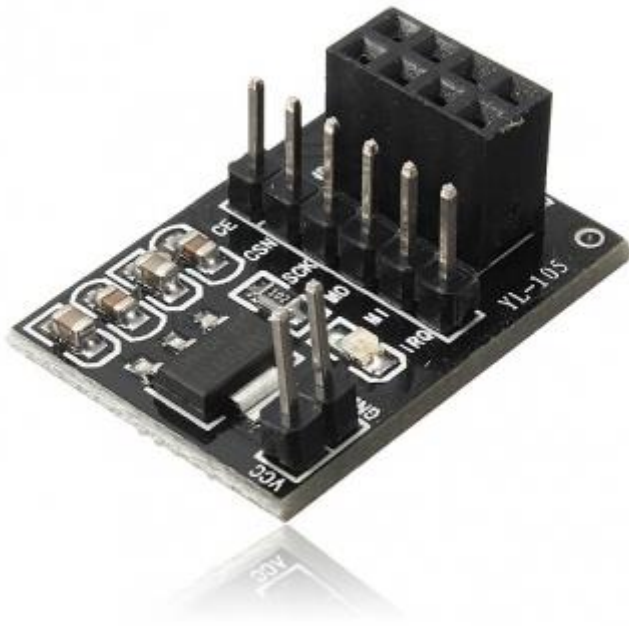
Τα pins του πομποδέκτη είναι τα παρακάτω και επιτελούν τις ακόλουθες λειτουργίες:

Το Pin 1 αποτελεί την γείωση (Ground) και συνδέεται στην γείωση (Ground) του Arduino. Το Pin 2 με ονομασία Vcc παρέχει την απαιτούμενη τάση στον πομποδέκτη και συνδέεται στα 3.3V του Arduino. Τα pins MISO (Master In – Slave Out), MOSI (Master Out – Slave In) και SCK (αποτελεί ρολόι SCK) πρέπει να συνδεθούν στα pins του Arduino τα οποία επιτελούν λειτουργία βάσει του πρωτόκολλου S.P.I. (Serial Peripheral Interface) το οποίο αποτελεί ένα σύγχρονο πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ περιφερειακών συσκευών ή μεταξύ δύο μικροελεγκτών και χρησιμοποιείται για κοντινές αποστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, τα S.P.I pins για τον Arduino Uno που χρησιμοποιούμε για την παρούσα πτυχιακή είναι το Pin 11 για το MOSI, το Pin 12 για το MISO και το Pin 13 για το SCK. [19], [20], [21], [22], [23]

### 9.3 Προβλήματα τροφοδοσίας του πομποδέκτη NRF24L01+ και τρόποι επίλυσής τους

Πολλές φορές υπάρχουν προβλήματα κατά την μετάδοση δεδομένων και αυτό συμβαίνει είτε διότι ο μικροελεγκτής αδυνατεί να τροφοδοτήσει τον πομποδέκτη με 3.3V σταθερά είτε διότι προκύπτουν υπερτάσεις στην πλακέτα του Arduino με αποτέλεσμα την μη εύρυθμη λειτουργία του NRF24L01+. Τα προβλήματα αυτά λύνονται με την υλοποίηση κατάλληλου κυκλώματος ρύθμισης και σταθεροποίησης της τροφοδοσίας του πομποδέκτη στα 3.3 V ή με την αγορά ενός ξεχωριστού τροφοδοτικού. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία χρησιμοποιούμε μια ειδική βάση η οποία ρυθμίζει την τάση στα 3.3V και πάνω στην οποία «κουμπώνει» το NRF24L01+ . [20]

Η βάση αυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 9.1.13: η βάση για το NRF24L01+

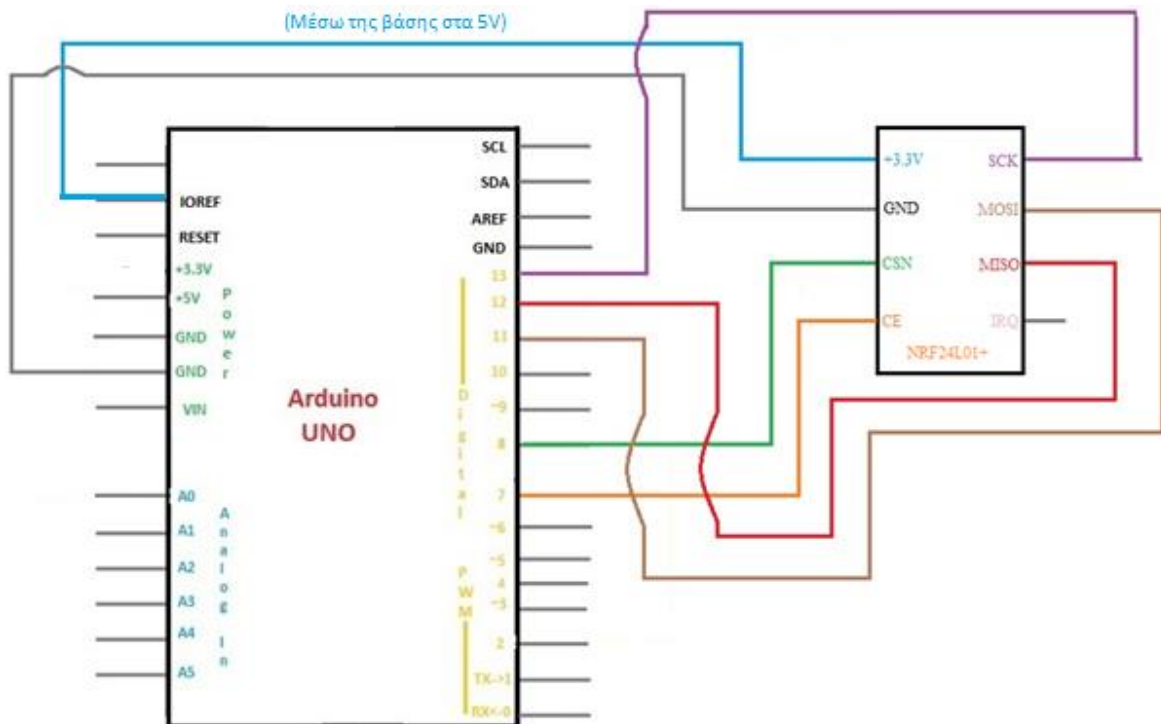
## 10. Σύνδεση του πομποδέκτη NRF24L01+ με τον Arduino Uno

Συνδέουμε το VCC της βάσης του πομποδέκτη στα 3.3V και την γείωση (Ground) στην γείωση (Ground) του Arduino αντίστοιχα. Το CSN Pin του πομποδέκτη θα συνδεθεί στο ψηφιακό Pin 8 ενώ το CE Pin θα συνδεθεί στο ψηφιακό Pin 7 του Arduino. Το SCK του πομποδέκτη NRF24L01+ θα πάει στο

ψηφιακό Pin 13 ενώ τα pins MOSI και MISO θα συνδεθούν στα ψηφιακά Pin 11 και 12 του μικροελεγκτή. Το Pin IRQ του πομποδέκτη δεν συνδέεται κάπου.

[19], [20], [21], [22], [23]

Το κύκλωμα αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 10 Σύνδεση του πομποδέκτη NRF24L01+ με τον Arduino Uno

## 11. Προγραμματισμός του πομπού και του δέκτη

### 11.1 Προγραμματισμός του πομπού

Θα πρέπει να γραφτεί ο κατάλληλος κώδικας ούτως ώστε τα δεδομένα που διαβάζονται από το αισθητήριο μέτρησης μονοξειδίου του άνθρακα να μεταδίδονται μέσω του πομποδέκτη NRF24L01+ στον δεύτερο Arduino Uno ο οποίος έχει επίσης συνδεδεμένο έναν πομποδέκτη NRF24L01+ και δρά ως δέκτης των μετρήσεων οι οποίες στην συνέχεια αποθηκεύονται σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο κώδικας για τον πομπό φαίνεται παρακάτω:

```

#include <SPI.h>
#include "RF24.h"

RF24 myRadio (7, 8);
byte addresses[][6] = {"0"};

const int AOUTpin=0;//ο ακροδέκτης AOUT του αισθητήρα τοποθετείται στο Pin A0 του Arduino
const int ledPin=13;//το λαμπάκι του Arduino θα ανάβει από το Pin 13

//παρακάτω ορίζουμε μια κλάση που αποθηκεύει τις μετρήσεις μας και τον αριθμό πακέτου
struct package
{
  int id=1; //αρίθμηση πακέτων ώστε να γίνεται έλεγχος αν κάποιο χάθηκε
  int value; //ακέραια μεταβλητή με ονομασία value στην οποία αποθηκεύονται οι μετρήσεις του αισθητηρίου MQ-7
  char text[100] = "Επίπεδα CO:"; //μεταβλητή τύπου char η οποία κρατά το μήνυμα που εμφανίζεται κατά την αποστολή των μετρήσεων
};

//ο τύπος της κλάσης είναι data
typedef struct package Package;
Package data;

void setup()
{
  Serial.begin(9600); //άνοιγμα σειριακής θύρας με baud rate 9600
  delay(1000); //καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου
  myRadio.begin(); //εκκίνηση ασύρματης μετάδοσης
  myRadio.setChannel(115); //επιλογή καναλιού
  myRadio.setPALevel(RF24_PA_MAX); //επιλογή μέγιστης ισχύος σήματος
  myRadio.setDataRate( RF24_250KBPS ); //επιλογή ταχύτητας αποστολής στα 250 KBPS
  myRadio.openWritingPipe( addresses[0] ); //άνοιγμα δίαυλου επικοινωνίας
  delay(1000); //καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου για την αποστολή του επόμενου πακέτου
  pinMode(ledPin, OUTPUT);//το λαμπάκι του Arduino λειτουργεί ως ενδεικτικό ασύρματης μετάδοσης
}
void loop()
{
  data.value= analogRead(AOUTpin);//ανάγνωση των επιπέδων CO μέσω του Pin A0 του Arduino
  myRadio.write(&data, sizeof(data)); //έναρξη αποστολής πακέτου
  Serial.print("\nPackage:"); //Αύξων αριθμός πακέτου
  Serial.print(data.id); //ταυτότητα πακέτου που πρέπει να συμφωνεί με τον αριθμό πακέτου
  Serial.print("\n"); //κενή γραμμή
  Serial.print(data.text); //εμφάνιση μηνύματος "Επίπεδα CO"
  Serial.print(data.value); //εμφάνιση τιμής CO στην ατμόσφαιρα
  Serial.print("\n"); //κενή γραμμή
  data.id = data.id + 1; //αύξηση αριθμού ταυτότητας πακέτου κατά 1
  delay(1000); //καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου
}

```

Εικόνα 11.1 Προγραμματισμός του πομπού

Ο κώδικας ξεκινά με την κλήση και συμπερίληψη των βιβλιοθηκών «SPI.h» και «RF24.h» που είναι απαραίτητες για την λειτουργία του NRF24L01+. Επιλέγεται το Pin A0 του Arduino ως το Pin που θα «διαβάζει» τις μετρήσεις του αισθητηρίου μέτρησης του μονοξειδίου του άνθρακα και στην συνέχεια δημιουργείται μια δομή (struct) με όνομα «Package», τύπου Data, μέσω της οποίας δημιουργούνται τα πακέτα τα οποία πρόκειται να αποσταλούν. Το κάθε πακέτο έχει την δική του αρίθμηση ούτως ώστε να γνωρίζουμε εάν κάποια στιγμή χαθεί κάποιο. Ανοίγουμε έναν δίαυλο επικοινωνίας (Pipe) και ορίζουμε το Baud Rate στο 9600, ως κανάλι επιλέγουμε το 115 με μέγιστη ισχύ μετάδοσης και ρυθμό μετάδοσης τα 250 kbps. Επιλέχθηκε ο χαμηλότερος ρυθμός μετάδοσης, δηλαδή τα 250 kbps με στόχο την επίτευξη της μέγιστης δυνατής εμβέλειας αποστολής και λήψεις, δηλαδή τα εκατό (100) μέτρα. Στον παραπάνω κώδικα συμπεριλαμβάνεται, και ο κώδικας λειτουργίας του αισθητηρίου μέτρησης

μονοξειδίου του άνθρακα η λειτουργία του οποίου εξηγήθηκε αναλυτικά στα κεφάλαια A3 και A4.

## 11.2 Προγραμματισμός του δέκτη

Χρειάζεται πλέον να προγραμματίσουμε τον Arduino Uno ο οποίος λειτουργεί ως δέκτης με τέτοιο τρόπο ώστε να επικοινωνήσει με τον Arduino Uno πάνω στον οποίο έχει συνδεθεί το αισθητήριο μέτρησης μονοξειδίου του άνθρακα. Θα πρέπει να ορίσουμε το ίδιο κανάλι, το ίδιο Baud Rate και τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης στο ίδιο pipe που ανοίξαμε πριν. Ο κώδικας είναι ο ακόλουθος:

```

#include <SPI.h> //συμπερίληψη βιβλιοθήκης SPI.h
#include "RF24.h" //συμπερίληψη βιβλιοθήκης RF24.h

RF24 myRadio (7, 8); //
struct package //δημιουργία κλάσης που περιέχει όλες τις πληροφορίες του πακέτο
{
  int id=0; //αριθμός ταυτότητας πακέτου
  int value; //επίπεδα CO στην ατμόσφαιρα
  char text[100] ="empty"; //εμφάνιση μηνύματος στην οθόνη
};

byte addresses[][6] = {"0"}; //ορισμός διευθύνσεων

typedef struct package Package; //ορισμός του τύπου της κλάσης ως data
Package data;

void setup()
{
  Serial.begin(9600); //άνοιγμα σειριακής θύρας με Baud Rate 9600
  delay(1000); //καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου
  myRadio.begin(); //εκκίνηση ασύρματης επικοινωνίας
  myRadio.setChannel(115); //ορισμός καναλιού
  myRadio.setPALevel(RF24_PA_MAX); //μέγιστη ισχύς σήματος μετάδοσης
  myRadio.setDataRate( RF24_250KBPS ); //επιλογή ρυθμού μετάδοσης στα 250 KBPS
  myRadio.openReadingPipe(1, addresses[0]); //άνοιγμα δίαυλου
  myRadio.startListening(); //εκκίνηση λήψης
}

void loop()
{
  if ( myRadio.available() //για όσο στέλνει ο πομπός...
  {
    while (myRadio.available())
    {
      myRadio.read( &data, sizeof(data) ); //θα λαμβάνει ο δέκτης
    }
    Serial.print("\nPackage:");
    Serial.print(data.id);
    Serial.print("\n");
    Serial.print(data.text);
    Serial.print(data.value);
    Serial.print(data.text);
  }
}

```

Εικόνα 11.2 Προγραμματισμός του δέκτη

Και εδώ είναι απαραίτητη η συμπερίληψη των βιβλιοθηκών «SPI.h» και «RF24.h»

## 12. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.)

### 12.1. Ορισμός των Α.Π.Ε

Με τον όρο «ανανεώσιμες πηγές ενέργειας» ή συντομογραφικά Α.Π.Ε. αναφερόμαστε σε μορφές της ενέργειας οι οποίες προκύπτουν από φυσικές διεργασίες όπως, για παράδειγμα, ο άνεμος, η ηλιακή ακτινοβολία κ.λ.π. και μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε και να τις εκμεταλλευτούμε. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται στην οδηγία 2009/28/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές ορίζεται ως «η αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από αέρια μονάδας επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέρια». Συχνά οι Α.Π.Ε. αναφέρονται και με τους όρους «πράσινη ενέργεια», ή «ήπιες μορφές ενέργειας» ή «νέες πηγές ενέργειας» [24], [25]

#### 12.1.2 Χαρακτηριστικά των Α.Π.Ε.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν δύο βασικά χαρακτηριστικά:

A) Για να τις εκμεταλλευτούμε δεν χρειάζεται κάποια διεργασία ή ενέργεια όπως για παράδειγμα εξόρυξη ή καύση αλλά τις «παίρνουμε απ' ευθείας» από το περιβάλλον εκμεταλλευόμενοι την υπάρχουσα ροή ενέργειας στην φύση και

B) Οι Α.Π.Ε. έχουν το χαρακτηριστικό πλεονέκτημα ότι δεν εκπέμπουν ρύπους στο περιβάλλον, όπως τοξικά απόβλητα, υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα κ.λ.π. σε αντίθεση με τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας με αποτέλεσμα να είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον. Χάρη σε αυτό το χαρακτηριστικό τους οι Α.Π.Ε. αποτελούν αντικείμενο μελέτης τα τελευταία χρόνια ως μια πιθανή λύση στην μόλυνση του περιβάλλοντος.

Τέλος, οι Α.Π.Ε. ίσως αποτελέσουν την λύση και στο πρόβλημα της εξάντλησης των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως, για παράδειγμα, της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων και γι' αυτόν τον λόγο ονομάζονται και «ανανεώσιμες» αν και κάποιες Α.Π.Ε. όπως για παράδειγμα η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται για αρκετές χιλιάδες χρόνια.

## 12.2 Τα είδη των Α.Π.Ε

### 12.2.1 Ηλιακή ενέργεια

Χρησιμοποιείται ευρέως για παραγωγή ηλεκτρισμού ενώ βάσει οδηγίας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου από το 2020 κάθε χώρα υποχρεούται να παράγει το 20% του ηλεκτρισμού της μέσω Α.Π.Ε. Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται κατά κόρον και για θερμικές εφαρμογές όπως σε ηλιακούς θερμοσίφωνες και φούρνους.

### 12.2.2 Αιολική ενέργεια

Στις μέρες μας χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ενώ πιο παλιά χρησιμοποιούνταν για την άντληση νερού από πηγάδια, την λειτουργία ανεμόμυλων ζύμωσης άρτου και γενικότερα για μηχανικές εργασίες.

### 12.2.3 Υδραυλική ενέργεια

Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή Α.Π.Ε. και βρίσκει εφαρμογή σε υδροηλεκτρικά έργα.

### 12.2.4 Ενέργεια από την θάλασσα

Αυτή η μορφή Α.Π.Ε. μπορεί να εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων, ή την βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης που προκαλεί αύξηση της στάθμης του νερού και με κατάλληλη διεργασία αποφέρει στην παραγωγή ηλεκτρισμού.

### 12.2.5 Βιομάζα

Χρησιμοποιούνται οι υδατάνθρακες των φυτών που συνήθως προέρχονται από απόβλητα βιομηχανιών ξύλου, ζάχαρης, αστικά απόβλητα κλπ με στόχο την εκμετάλλευση της ενέργειας που αποθηκεύτηκε από τα φυτά κατά την διάρκεια της φωτοσύνθεσης. Συχνά η βιομάζα μπορεί να δώσει και αέρια όπως η βιοαιθανόλη και το βιοαέριο που είναι καύσιμα φιλικά προς το περιβάλλον.

### 12.2.6 Γεωθερμική ενέργεια

Είναι εκμεταλλεύσιμη στα σημεία που η θερμότητα που παράγεται στο υπέδαφος ανεβαίνει στην επιφάνεια του εδάφους με φυσικό τρόπο όπως οι θερμικές πηγές και οι πίδακες ζεστού νερού. Μεγάλο πλεονέκτημά των γεωθερμικών Α.Π.Ε. είναι ότι αν γίνει συνετή άντληση τους ανανεώνονται αρκετά σύντομα σε σημείο



που να θεωρούνται ανεξάντλητες. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρισμού ή θερμικές εφαρμογές.

#### 12.2.7 Οσμωτική ενέργεια

Η ενέργεια αυτή είναι γνωστή και ως «γαλάζια ενέργεια» καθ' ότι η ανάμειξη γλυκού νερού με θαλασσινό απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας, όπως, για παράδειγμα όταν ένας ποταμός εκβάλλει σε κάποιον ωκεανό. [24], [25]. [26], [27]

#### 8.1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Α.Π.Ε.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν αρκετά και σημαντικά πλεονεκτήματα όπως το ότι δεν πρόκειται να εξαντληθούν σχεδόν ποτέ κάτι το οποίο δεν συμβαίνει με τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας, είναι φιλικές προς το περιβάλλον καθώς δεν εκπέμπουν ρύπους ή απόβλητα ενώ ο εξοπλισμός τους είναι αρκετά φθηνός στην κατασκευή και επιδοτείται από τις περισσότερες κυβερνήσεις. Οι Α.Π.Ε. έχουν επίσης την ευελιξία να παράξουν ενέργεια ανάλογα με την μορφολογία της περιοχής χωρίς να χρειάζεται η παραγωγή κάποιας τεράστιας μονάδας ή η μεταφορά της ενέργειας ενώ ίσως αποτελούν την λύση στην εξάντληση των αποθεμάτων άλλων πηγών ενέργειας όπως π.χ. του πετρελαίου. Οι Α.Π.Ε. διαθέτουν όμως και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα: Έχουν χαμηλό συντελεστή απόδοσης (περίπου 30%) με αποτέλεσμα να μην μπορούν να καλύψουν εξ' ολοκλήρου τις ενεργειακές ανάγκες μιας πόλης αλλά να χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας. Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις καθώς, για παράδειγμα, στις εφαρμογές εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας οι αιολικές μηχανές έχει αναφερθεί ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών ενώ στα υδροηλεκτρικά έργα προκαλείται έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση υδρόβιων φυτών με αποτέλεσμα την επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τέλος, η απόδοση κάποιων Α.Π.Ε. και η παροχή ενέργειάς τους επηρεάζεται και εξαρτάται και από την εποχή του έτους, το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία βρίσκονται. [24], [25]. [26], [27]

## 13. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα

### 13.1 Αρχή λειτουργίας

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα απορροφούν την ηλιακή ενέργεια που βρίσκεται στο περιβάλλον και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας συντελείται χάρη στο Φωτοβολταϊκό φαινόμενο όπου αφού απορροφηθεί η ηλιακή ενέργεια από τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού πάνελ, τα ηλεκτρόνια αυτά διαφεύγουν από την θέση τους με αποτέλεσμα την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο το οποίο ανακαλύφθηκε από τον Εντμόντ Μπεκερέλ αποτελεί κλασικό παράδειγμα διάταξης η οποία εκμεταλλεύεται τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. [28], [29]

### 13.2 Εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται ευρέως σε συσκευές οι οποίες διαθέτουν μπαταρία για την λειτουργία τους. Οι συσκευές αυτές μπορεί να είναι πολύ απλές συσκευές τσέπης όπως για παράδειγμα αριθμομηχανές (κομπιουτεράκια) αλλά μπορούν να είναι και πολύ μεγαλύτερες και πολύπλοκες συσκευές όπως δορυφόροι και διαστημόπλοια. Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει στροφή στην εκμετάλλευση των φωτοβολταϊκών με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία οικισμών με αποτέλεσμα όλο και περισσότερο να βλέπουμε φωτοβολταϊκά πάνελ σε ταράτσες σπιτιών. [28], [29]

### 13.3 Τα δομικά μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Τα δομικά μέρη ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι τα παρακάτω:

- 1) Το Φ/Β panel πάνω στο οποίο προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία. Τα Φ/Β panel είναι ένας κατάλληλος ημιαγωγός μικρού πάχους που συνήθως είναι κατασκευασμένος από πυρίτιο. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής, τα Φ/Β panel διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:
  - α. Μονοκρυσταλλικού πυριτίου με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 14,5% - 21%
  - β. Πολυκρυσταλλικού πυριτίου με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 13% - 14.5%

γ) Λεπτών μεμβρανών άμορφου πυριτίου με απόδοση 7% ή χαλκοπυριτίων με ονομαστική απόδοση 7% - 14%. Τα φωτοβολταϊκά panel τοποθετούνται κατάλληλα και συγκροτούν τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες οι οποίες έχουν τυπική ισχύ από 20W έως 300W. Οι γεννήτριες αυτές συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους και δημιουργούν συστοιχίες. Οι Φ/Β γεννήτριες διαθέτουν μηχανική υποστήριξη και συνήθως, ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.

- 2) Μια εφεδρική γεννήτρια, για κάλυψη σε περίπτωση βλάβης.
- 3) Συσκευές ελέγχου για μέτρηση και παρατήρηση
- 4) Μπαταρίες για αποθήκευση ενέργειας. Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται όταν το φωτοβολταϊκό σύστημα βρίσκεται σε απομακρυσμένη περιοχή. [28], [29], [30], [31]

## 14. Μελέτη των ενεργειακών απαιτήσεων του Arduino

Μετρώντας την κατανάλωση σε κάθε ένα υποσύστημα ξεχωριστά παρατηρούμε ότι ο Arduino Uno καταναλώνει περίπου 50mA, ο πομποδέκτης NRF24L01+ καταναλώνει 15mA όταν στέλνει δεδομένα και περίπου 900nA όταν δεν στέλνει, ενώ το αισθητήριο μέτρησης μονοξειδίου του άνθρακα καταναλώνει περίπου 150mA. Η συνολική απαίτηση του κυκλώματος είναι:  $I_{ολ} = 50mA + 15mA + 150mA = 215mA$

Επομένως, ο Arduino μαζί με το αισθητήριο μέτρησης του μονοξειδίου του άνθρακα και τον πομποδέκτη ασύρματης μετάδοσης δεδομένων χρειάζεται μια διάταξη με μπαταρία και Φ/Β panel που να μπορεί να δώσει το λιγότερο 215 mAH. Θα πρέπει λοιπόν να γίνει η επιλογή της κατάλληλης μπαταρίας και του κατάλληλου Panel ώστε να καλυφθεί η παραπάνω ανάγκη. Στην περίπτωση μας επιλέξαμε μια μπαταρία λιθίου στα 8800mAh με τάση 3.7V. Για τον υπολογισμό των προδιαγραφών του Φ/Β panel θα εργαστούμε ως εξής:

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα ο υπολογισμός γίνεται με την βοήθεια των παρακάτω κανόνων:

- A) Διαβάζοντας τις προδιαγραφές της μπαταρίας βλέπουμε ότι είναι ικανή να παρέχει  $C = 8800mAh$ , δηλαδή  $8,8 A / \Omega ra$ . Βάσει του τυπικού κανόνα  $C / 10$  που διέπει τα Φ/Β συστήματα, θα χρειαστούν 88 ώρες για να μεταβεί η μπαταρία από κατάσταση πλήρους εκφόρτισης σε πλήρη φόρτιση ενώ το

ρεύμα φόρτισης της μπαταρίας δεν θα πρέπει να ξεπεράσει τα 0,88 A / Ωρα. Για να φορτιστεί πλήρως η μπαταρία, αν υποθέσουμε ότι ξεκινάει η φόρτισή της από πλήρη αποφόρτιση, θα χρειαστούν περίπου 14 με 16 ώρες κι αυτό διότι μόνο το 60% της ενέργειας μένει στην μπαταρία με το υπόλοιπο 40% να μετατρέπεται σε θερμότητα και χάνεται.

B) Για την επιλογή του κατάλληλου Φ/Β panel θα λάβουμε υπ' όψιν τον κανόνα  $V_{\text{μπαταρίας}} \times 1,5$ . Για την περίπτωσή μας, λοιπόν, θα πρέπει να επιλέξουμε Φ/Β panel με τάση  $3,7 \times 1,5 = 5,55\text{V}$  επομένως με στρογγυλοποίηση προς τα επάνω επιλέξαμε panel των 6V.

#### 14.1 Μελέτη ενδεχόμενης ανάγκης μείωσης της κατανάλωσης

Σε περίπτωση που συνδέσουμε το κύκλωμα μέτρησης «ως έχει» τότε θα χρειαστούμε 215mAΗ και επειδή ο Arduino έχει τάση λειτουργίας ίση με 5V αυτό «μεταφράζεται» σε απαιτούμενη ισχύ ίση με 1075mWh. Με ενεργειακή απαίτηση 215mAh η μπαταρία η οποία είναι «ικανή» να προσφέρει 8800mAh θα μεταβεί από την πλήρη φόρτιση στην πλήρη εκφόρτιση σε χρονικό διάστημα  $T_{\text{μπατ}}$  το οποίο υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$T_{\text{μπατ}} = \frac{8800}{215} = 40,93 \text{ ώρες ή } 1,7 \text{ ημέρες.}$$

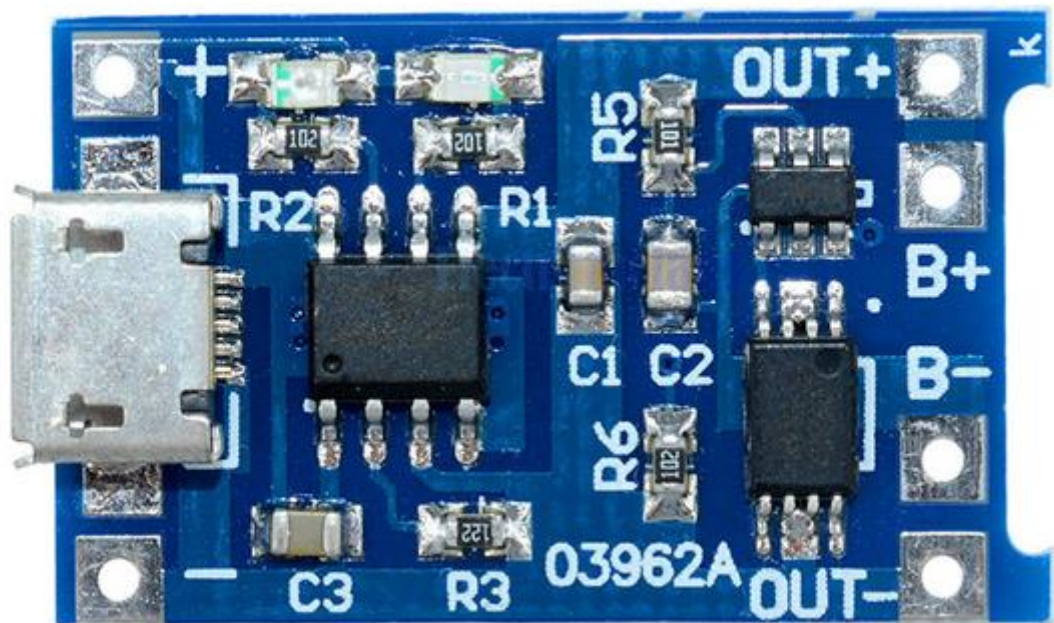
Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να λάβουμε σοβαρά υπ' όψιν μας το γεγονός ότι οι μπαταρίες λιθίου καλό είναι να μην εκφορτίζονται χαμηλότερα από 30% και να μην φορτίζονται περισσότερο από 90% ώστε να μην μειώνεται δραματικά η διάρκεια ζωής τους. Όσον αφορά την μελέτη Φ/Β συστημάτων στον Ελληνικό χώρο έχει παρατηρηθεί ότι ο μήνας με την λιγότερη ηλιοφάνεια το χειμώνα είναι ο Δεκέμβριος (τρεις ώρες την ημέρα) επομένως τον Δεκέμβριο η μπαταρία θα χρειάζεται 13 ημέρες για να μεταβεί σε κατάσταση πλήρους φόρτισης. Θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την χειρότερη περίπτωση πιθανής ημερήσιας ηλιοφάνειας για τις ανάγκες αυτού του project επομένως ο χρόνος αυτόνομης λειτουργίας του Arduino και των συνδεδεμένων σε αυτόν αισθητηρίων είναι περίπου 41 ώρες, αριθμός αρκετά ικανοποιητικός.

## 15 Τροφοδοσία κυκλώματος με χρήση φωτοβολταϊκού συστήματος και συσσωρευτή:

### 15.1 Υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για το κύκλωμα φόρτισης του συσσωρευτή

Στην προηγούμενη ενότητα υπολογίσαμε το Φ/Β panel και την μπαταρία (συσσωρευτή) που θα χρειαστούμε ανάλογα με τις ανάγκες του κυκλώματος που σκοπεύουμε να τροφοδοτήσουμε. Πιο συγκεκριμένα, επιλέξαμε Φ/Β panel στα 6V και μπαταρία λιθίου στα 3,7V – 8800mAh, θα πρέπει όμως να προσθέσουμε στο κύκλωμα φόρτισης έναν φορτιστή μπαταρίας λιθίου TP4056 και έναν ενισχυτή τάσης ο οποίος θα ενισχύει τα 3,7V που προσφέρει ο συσσωρευτής σε 5V που χρειάζεται ο Arduino. [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37]

Τα επιπλέον αυτά modules φαίνονται στις παρακάτω φωτογραφίες:  
Ο φορτιστής μπαταρίας Λιθίου TP4056:



Εικόνα 15.1 Ο φορτιστής μπαταρίας λιθίου TP4056

Ο ενισχυτής τάσης:



Εικόνα 15.1.2 Ενισχυτής τάσης από 3,7V DC στα 5V DC

Το Φ/B panel:





Εικόνα 15.1.3 Το Φωτοβολταϊκό Panel

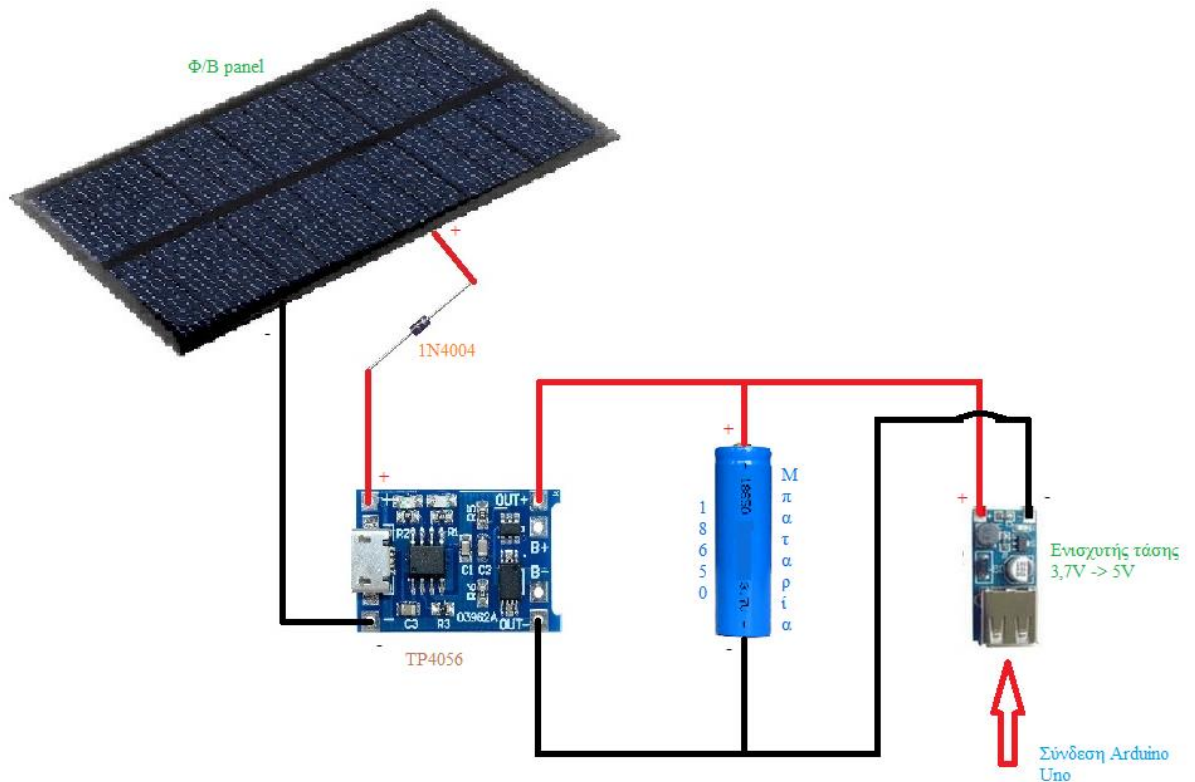
Θα χρειαστεί, επίσης, να συνδέσουμε στο κύκλωμα και μία δίοδο 1N4004.

### 15.2 Υλοποίηση κυκλώματος:

Θα συνδέσουμε τον θετικό πόλο του Φ/Β panel στην δίοδο 1N4004 (ορθή πόλωση) και τον αρνητικό πόλο στο «-» του φορτιστή TP4056. Το άλλο άκρο της διόδου συνδέεται στο «+» του TP4056. Το «Out +» θα συνδεθεί με το «+» και το «Out» με το «-» της μπαταρίας αντίστοιχα, με τον θετικό πόλο να συνδέεται επίσης στο «+» και τον αρνητικό πόλο στο «-» του ενισχυτή τάσης αντίστοιχα.

[32], [33], [35], [36]

Το κύκλωμα φόρτισης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 15.2 Υλοποίηση του κυκλώματος φόρτισης

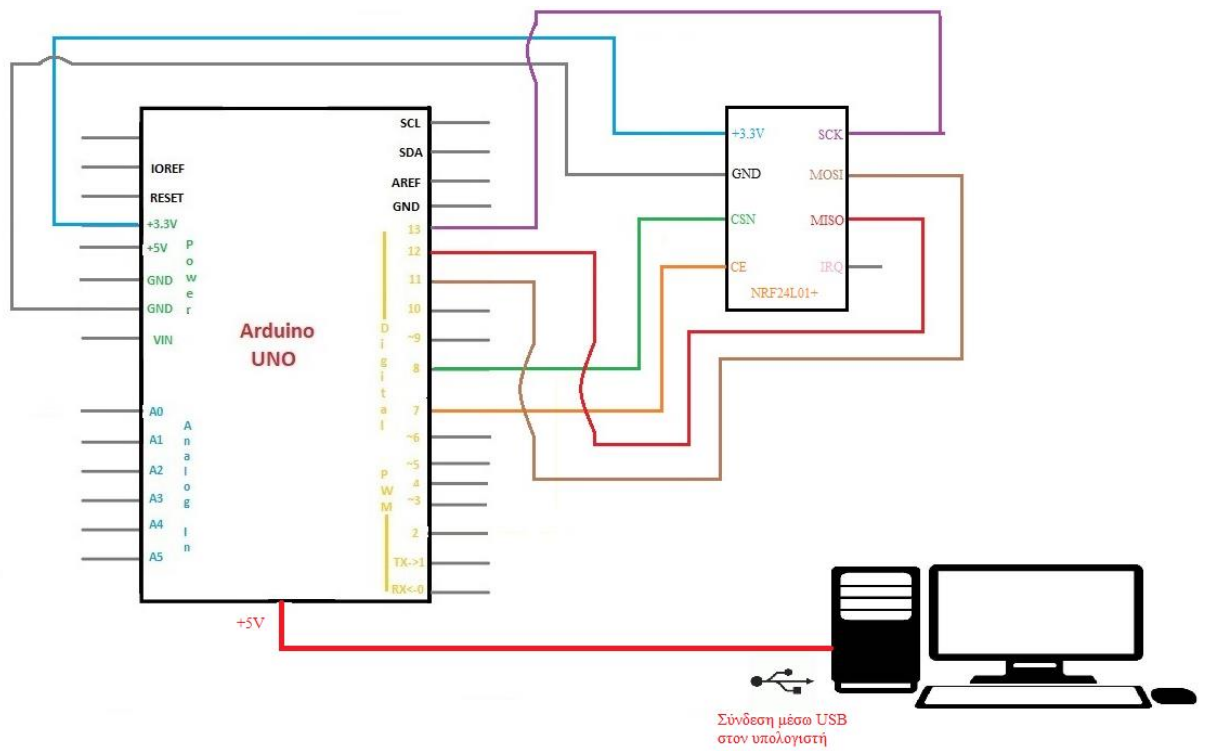
### 15.2.1 Τελικά κυκλώματα πομπού και δέκτη

Για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής εργασίας χρησιμοποιούμε δύο Arduino UNO και έχουμε ορίσει τον έναν ως πομπό ο οποίος μετρά και αποστέλλει τις μετρήσεις του μονοξειδίου του άνθρακα χάρη στα κατάλληλα συνδεδεμένα σε αυτόν αισθητήρια και τον κατάλληλο προγραμματισμό στον δέκτη. Να σημειωθεί πως ο δέκτης τροφοδοτείται απ' ευθείας από την σύνδεσή του με τον υπολογιστή και διαθέτει συνδεδεμένο επάνω του μόνο τον πομποδέκτη NRF24L01+ ενώ ο πομπός τροφοδοτείται με Φ/Β panel μέσω του κυκλώματος που περιγράψαμε στις ενότητες 8.5.1 – 8.5.2 και εκτός από τον πομποδέκτη NRF24L01+ έχει συνδεδεμένο και το αισθητήριο μέτρησης μονοξειδίου του άνθρακα MQ-7. Επομένως, τα κυκλώματα και ο προγραμματισμός του πομπού και του δέκτη διαφέρουν μεταξύ τους.

#### 15.2.1.1 Τελικό κύκλωμα δέκτη:

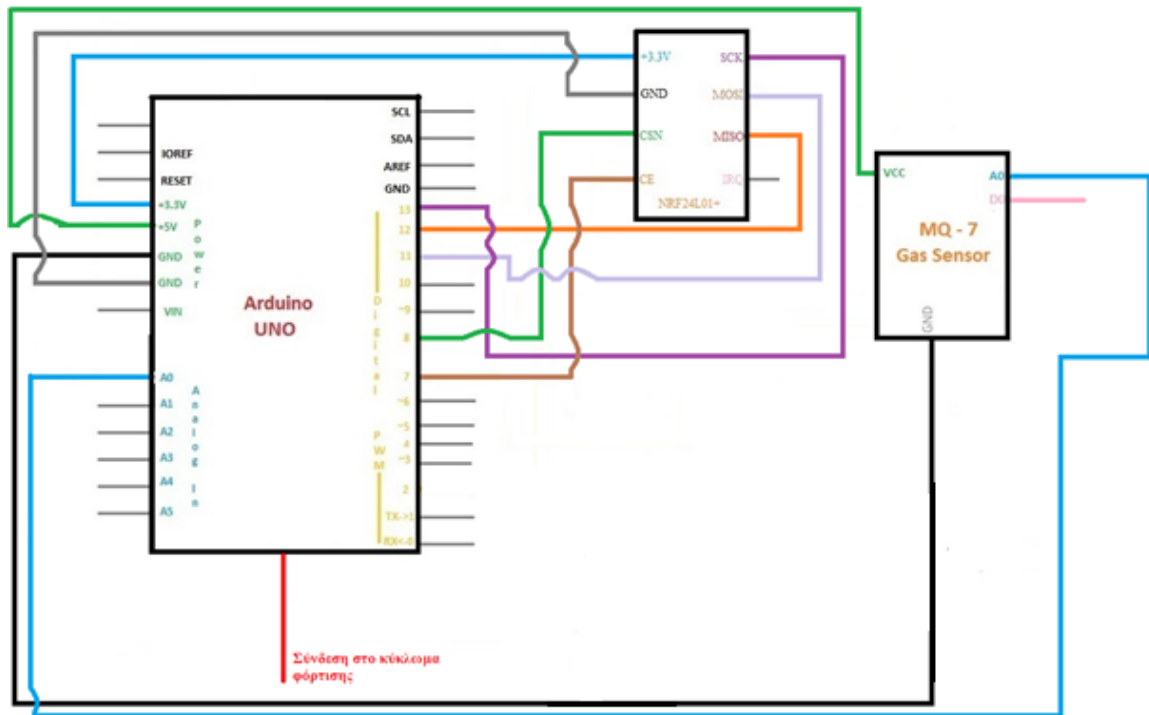
Το τελικό κύκλωμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:





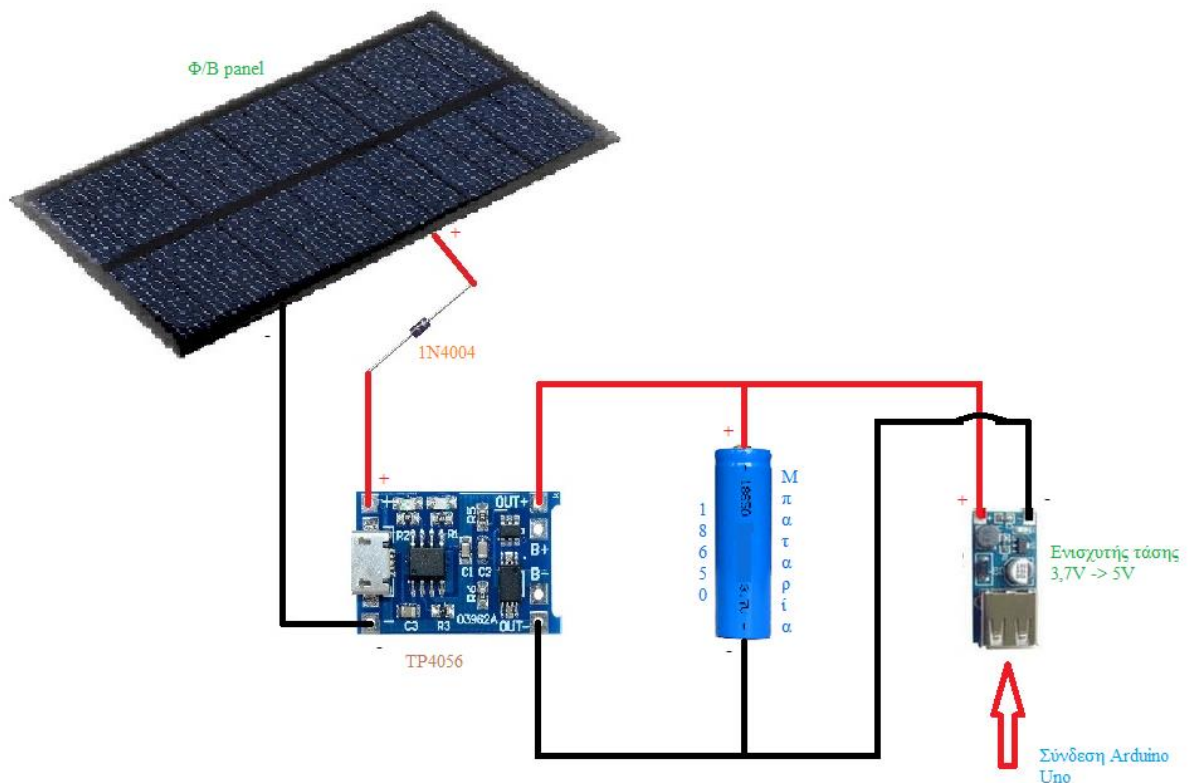
Εικόνα 15.2.1.1 Τελικό κύκλωμα δέκτη

### 15.2.1.2 Τελικό κύκλωμα πομπού



Εικόνα 15.2.1.2a Τελικό κύκλωμα πομπού

### 15.2.1.3 Κύκλωμα φόρτισης



Εικόνα 15.2.1.2b Τελικό κύκλωμα φόρτισης

## 16. Συμπεράσματα – Μελλοντική έρευνα

Η χρήση ενός μικροελεγκτή όπως ο Arduino μας επιτρέπει να υλοποιήσουμε πληθώρα τεχνολογικών εφαρμογών με μικρό κόστος, άνεση στην παραμετροποίηση ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής ενώ το γεγονός ότι μπορούμε να πετύχουμε αυτονομία λειτουργίας χάρη στην χρήση Φ/Β συστημάτων επιδρά ως επιπλέον πλεονέκτημα. Η παρακολούθηση των παραμέτρων του περιβάλλοντος βοηθά στην προστασία του και πολύ συχνά αποτελεί έναυσμα και ερέθισμα για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη συστημάτων φιλικών προς αυτό. Βασιζόμενος κάποιος στην παρούσα πτυχιακή εργασία, αποκτά την δυνατότητα επέκτασης της υπάρχουσας μελέτης μας, π.χ. προσθέτοντας περισσότερους αισθητήρες μέτρησης (όπως αισθητήρες μέτρησης, υγρασίας, φωτεινότητας κ.ο.κ.) με αποτέλεσμα την καλύτερη παρακολούθηση και καταγραφή του περιβάλλοντος. Παράλληλα, με αντικατάσταση του πομποδέκτη NRF24L01+ από ένα Bluetooth module ή με ταυτόχρονη χρήση και των δύο, είναι εφικτή η μετάδοση των μετρήσεων και στα κινητά τηλέφωνα σε πραγματικό

χρόνο (Real Time). Θα μπορούσε, δηλαδή κάποιος να δημιουργήσει έναν πλήρη και αυτόνομο μετεωρολογικό σταθμό με ελάχιστο κόστος κατασκευής και συντήρησης. Τέλος, υπάρχει περιθώριο επίτευξης ακόμα μεγαλύτερης αυτονομίας με την τοποθέτηση του μικροελεγκτή σε Sleep Mode με αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση της συνολικής κατανάλωσης του κυκλώματος του πομπού.

## 17. Βιβλιογραφία

1. Πογαρίδης Δημήτριος «*Ενσωματωμένα Συστήματα, οι Μικροελεγκτές AVR και ARDUINO*», Εκδόσεις ΔΙΣΙΓΜΑ, 2016
2. Κιαμάλ Πεκμεστζή «*Συστήματα Μικροϋπολογιστών*», Εκδόσεις Συμμετρία, 2009
3. Thom Luce «*Αρχιτεκτονική Υπολογιστών Software - Hardware*», Εκδόσεις Τζιόλα, 2003
4. A. Tanenbaum «*Η Αρχιτεκτονική των υπολογιστών*», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2001
5. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> - Προσπέλαση στις 10/10/2017
6. <http://hlektrologia.gr/%CE%B5%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE-%CF%83%CF%84%CE%BF-arduino/> - Προσπέλαση στις 10/10/2017
7. <http://users.sch.gr/manpoul/docs/arduino/ProgrammingArduino.pdf>  
Προσπέλαση στις 11/10/2017
8. <http://enigma.freebsdworld.gr/sites/default/files/enigma-part2.pdf>  
Προσπέλαση στις 11/10/2017
9. <http://www.gr.circuitlib.com/index.php/98-texnika-arthra/95-programmatizontas-microelegktes> Προσπέλαση στις 11/10/2017
10. <https://playground.arduino.cc/Main/MQGasSensors> Προσπέλαση 20/10/2017
11. <http://www.instructables.com/id/How-to-Use-Gas-Sensors-Via-Bluetooth-From-Arduino-/> Προσπέλαση 25/10/2017
12. <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/MQ-7-carbon-monoxide-sensor-circuit-with-arduino.php> Προσπέλαση 31/10/2017

13. <https://github.com/R2D2-2017/R2D2-2017/wiki/MQ-7-gas-sensor>  
Προσπέλαση 02/11/2017
14. <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>  
Προσπέλαση 08/11/2017
15. [https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width\\_modulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation) Προσπέλαση στις  
04/11/2017
16. <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/pulse-width-modulation.html>  
Προσπέλαση στις 04/11/2017
17. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/pulse-width-modulation> Προσπέλαση στις  
04/11/2017
18. V. Quercioli «*Pulse With Modulated (PWM) Power Supplies*», Elsevier  
Science, 1993
19.  
[https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus\\_Preliminary\\_Product\\_Specification\\_v1\\_0.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf) Προσπέλαση στις 08/10/2017
20. <https://arduino-info.wikispaces.com/Nrf24L01-2.4GHz-HowTo> Προσπέλαση  
στις 08/10/2017
21. <http://www.instructables.com/id/Arduino-NRF24L01-USING-RF-Module/>  
Προσπέλαση στις 15/11/2017
22. <http://www.instructables.com/id/Wireless-Remote-Using-24-Ghz-NRF24L01-Simple-Tutor/> Προσπέλαση στις 15/11/2017
23. <http://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-wireless-communication-nrf24l01-tutorial/> Προσπέλαση στις 15/11/2017
24.  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82\\_%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AD%CF%82\\_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82_%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AD%CF%82_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82) Προσπέλαση στις 01/12/2017
25. <http://www.ypeka.gr/?tabid=285> Προσπέλαση στις 01/12/2017

26. Ηρώ Λιώκη – Λειβαδά «*Ήπιες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*», Εκδόσεις Συμμετρία, 2015
27. Μαλεβίτη Εύα «*Ενεργειακή διαχείριση και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*», Εκδόσεις Πεδίο, 2012
28. Ι.Ε. Φραγκιαδάκης «*Φωτοβολταϊκά Συστήματα*», Εκδόσης Ζίτη, 2007
29. Περδίοις Σταμάτης Δ. «*Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις*», Εκδόσεις Σέλκα – 4M, 2011
30. Καπλάνης Σωκράτης «*Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων*», Εκδόσεις Ίων, 2004
31. [http://library.tee.gr/digital/m2547/m2547\\_lazarou.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2547/m2547_lazarou.pdf) Προσπέλαση στις 10/11/2017
32. <http://www.hotmcu.com/tp4056-micro-usb-5v-1a-lithium-battery-charger-with-protection-p-176.html> Προσπέλαση στις 13/11/2017
33. <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf> Προσπέλαση στις 13/11/2017
34. <https://www.sparkfun.com/products/retired/10968> Προσπέλαση στις 14/11/2017
35. <https://create.arduino.cc/projecthub/igorF2/solar-charged-battery-powered-arduino-uno-645d89> Προσπέλαση στις 03/01/2018
36. <http://www.instructables.com/id/SOLAR-POWERED-ARDUINO-WEATHER-STATION/> - Προσπέλαση στις 03/01/2018
37. <http://www.iqsolarpower.com/demands/>

## 18. Παράρτημα: Ο κώδικας του πομπού και του δέκτη

### 18.1 Κώδικας του πομπού:

```
#include <SPI.h> //συμπερίληψη βιβλιοθήκης SPI.h

#include "RF24.h" //συμπερίληψη βιβλιοθήκης RF24.h

RF24 myRadio (7, 8); //σύνδεση CE και CSN στα Pin 7 και 8 αντίστοιχα

byte addresses[][6] = {"0"}; //ορισμός διευθύνσεων πομπού και δέκτη

const int AOUTpin=0; //ο ακροδέκτης AOUT του αισθητήρα τοποθετείται στο
Pin A0 του Arduino

const int ledPin=13; //το λαμπάκι του Arduino θα ανάβει από το Pin 13

//παρακάτω ορίζουμε μια κλάση που αποθηκεύει τις μετρήσεις μας και τον
αριθμό πακέτου

struct package

{

int id=1; //αρίθμηση πακέτων ώστε να γίνεται έλεγχος αν κάποιο χάθηκε

int value; //ακέραια μεταβλητή με ονομασία value στην οποία αποθηκεύονται οι
μετρήσεις του αισθητηρίου MQ-7

char text[100] = "Επίπεδα CO:"; //μεταβλητή τύπου char η οποία κρατά το
μήνυμα που εμφανίζεται κατά την αποστολή των μετρήσεων

};

//ο τύπος της κλάσης είναι data

typedef struct package Package;

Package data;

void setup()

{

Serial.begin(9600); //άνοιγμα σειριακής θύρας με baud rate 9600
```

```

delay(1000);      //καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου
myRadio.begin(); //εκκίνηση ασύρματης μετάδοσης
myRadio.setChannel(115); //επιλογή καναλιού
myRadio.setPALevel(RF24_PA_MAX); //επιλογή μέγιστης ισχύος σήματος
myRadio.setDataRate( RF24_250KBPS ); //επιλογή ταχύτητας αποστολής στα
250 KBPS
myRadio.openWritingPipe( addresses[0]); //άνοιγμα δίαυλου επικοινωνίας
delay(1000); //καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου για την αποστολή του
επόμενου πακέτου
pinMode(ledPin, OUTPUT); //το λαμπάκι του Arduino λειτουργεί ως ενδεικτικό
ασύρματης μετάδοσης
}
void loop()
{
data.value= analogRead(AOUTpin); //ανάγνωση των επιπέδων CO μέσω του
Pin A0 του Arduino
myRadio.write(&data, sizeof(data)); //έναρξη αποστολής πακέτου
Serial.print("\nPackage:"); //Αύξων αριθμός πακέτου
Serial.print(data.id); //ταυτότητα πακέτου που πρέπει να συμφωνεί με τον
αριθμό πακέτου
Serial.print("\n"); //κενή γραμμή
Serial.print(data.text); //εμφάνιση μηνύματος "Επίπεδα CO"
Serial.print(data.value); //εμφάνιση τιμής CO στην ατμόσφαιρα
Serial.print("\n"); //κενή γραμμή
data.id = data.id + 1; //αύξηση αριθμού ταυτότητας πακέτου κατά 1
delay(1000); //καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου
}

```



## 18.2 Ο κώδικας του δέκτη

```
#include <SPI.h>      //συμπερίληψη βιβλιοθήκης SPI.h
#include "RF24.h"     //συμπερίληψη βιβλιοθήκης RF24.h

RF24 myRadio (7, 8); // σύνδεση CE και CSN στα Pin 7 και 8 αντίστοιχα

struct package      //δημιουργία κλάσης που περιέχει όλες τις πληροφορίες του
πακέτου
{
int id=0; //αριθμός ταυτότητας πακέτου
int value; //επίπεδα CO στην ατμόσφαιρα
char text[100] ="empty"; //εμφάνιση μηνύματος στην οθόνη
};

byte addresses[][6] = {"0"}; //ορισμός διευθύνσεων

typedef struct package Package; //ορισμός του τύπου της κλάσης ως data
Package data;

void setup()
{
Serial.begin(9600); //άνοιγμα σειριακής θύρας με Baud Rate 9600
delay(1000); //καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου
myRadio.begin(); //εκκίνηση ασύρματης επικοινωνίας
myRadio.setChannel(115); //ορισμός καναλιού
myRadio.setPALevel(RF24_PA_MAX); //μέγιστη ισχύς σήματος μετάδοσης
myRadio.setDataRate( RF24_250KBPS ); //επιλογή ρυθμού μετάδοσης στα 250 KBPS
myRadio.openReadingPipe(1, addresses[0]); //άνοιγμα δίαυλου
myRadio.startListening(); //εκκίνηση λήψης
}

void loop()
{
if ( myRadio.available() ) //για όσο στέλνει ο πομπός...
```

```
{
while (myRadio.available())
{
myRadio.read( &data, sizeof(data) ); //θα λαμβάνει ο δέκτης
}
Serial.print("\nPackage:");
Serial.print(data.id);
Serial.print("\n");
Serial.print(data.text);
Serial.print(data.value);
Serial.print(data.text);
}
}
```