



ΔΙΕΘΝΕΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη και κατασκευή επωαστικής μηχανής και  
έλεγχος με χρήση μικροελεγκτή»



Του φοιτητή  
Περικλή Παπααργυρίου  
Αρ. Μητρώου: 513321

Επιβλέπων  
Ονοματεπώνυμο Δημητριάδης  
Παναγιώτης  
Βαθμίδα ΤΕΙ

Ημερομηνία 06/02/2022

Τίτλος Π.Ε.: Μελέτη και κατασκευή Επωαστικής Μηχανής και έλεγχος με χρήση μικροελεγκτή

Κωδικός Π.Ε. 21354

Όνοματεπώνυμο φοιτητή Παπαρηγορίου Περικλής

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Δημητριάδης Παναγιώτης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 14/10/2021

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 08/02/2022

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Περικλή Παπαρηγορίου που την εκπόνησε/αν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

*«Αφιέρωση»*

*Το αφιερώνω στην οικογένειά μου, που με την πολύτιμη στήριξή τους μου προσέφεραν την δυνατότητα να σπουδάσω σε μια δύσκολη οικονομικά εποχή.*

## *Πρόλογος*

Ο λόγος βιομηχανοποίησης της επώασης είναι ότι την σήμερα ημέρα οποιοσδήποτε θα μπορούσε να δημιουργήσει τον δικό του επωαστήρα με μικρό κόστος και να παράγει μεγάλα κέρδη, καθώς το κόστος κατασκευής και κατανάλωσης δεν υπερβαίνει τα ετήσια κέρδη που μπορεί να επιφέρει μια τέτοια κατασκευή.

Η διαδικασία της μελέτης και κατασκευής της επωαστικής μηχανής βασίστηκε στον τρόπο επώασης των πουλερικών, δηλαδή σε μια βιολογική διαδικασία, που διαρκεί περίπου 21 μέρες. Για να επιτευχθεί η εκκόλαψη πρέπει να τηρούνται συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, οι οποίες αναπτύσσονται στην παρούσα εργασία.

## *Περίληψη*

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε και κατασκευάστηκε με επιτυχία ένας αυτόματος επωαστήρας αυγών πουλερικών. Αυτή η εργασία στοχεύει στη μοντελοποίηση, το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός συστήματος επώασης αυγών, ικανό να επώασει διάφορους τύπους αυγών πουλερικών.

Το σύστημα αυτό, κατ' αρχάς, βασίζεται σε μία προγραμματιζόμενη κεντρική μονάδα ελέγχου (arduino), η οποία είναι υπεύθυνη για την εφαρμογή των απαραίτητων συνθηκών, κυρίως θερμοκρασίας και υγρασίας καθ' όλα τα στάδια της επώασης των αυγών. Ένας αλγόριθμος ελέγχου θερμοκρασίας και υγρασίας επιτηρεί τον θάλαμο επώασης επί 21 περίπου ημέρες, σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Η επιτήρηση βασίζεται σε μετρήσεις από αισθητήρια θερμοκρασίας και υγρασίας. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας του θαλάμου πραγματοποιείται προγραμματισμένα με την ανάλογη ενεργοποίηση/απενεργοποίηση ωμικών αντιστάσεων, ώστε η θερμοκρασία μέσα στην θαλάμη να διατηρείται σταθερή, σε θερμοκρασίες  $35^{\circ} - 40^{\circ} \text{C}$ . Επίσης, νερό και ανεμιστήρας χρησιμοποιούνται για να διασφαλιστεί η κατάλληλη υγρασία και ο εξαερισμός στην επιθυμητή κατάσταση.

Όταν οι συνθήκες της επώασης είναι εκτός προδιαγραφών, οι επιπτώσεις στην ανάπτυξη του εμβρύου είναι καταστροφικές.

Στην παρούσα εργασία, εν συντομία, παρουσιάζονται τα εξής θέματα:

- **Ιστορική αναδρομή στις επωαστικές μηχανές.**
- **Περίληψη κυκλωμάτων και αισθητηρίων απαραίτητων για την κατασκευή ενός αυτόματου επωαστήρα.**
- **Μελέτη πρωτοκόλλων επικοινωνίας μεταξύ αισθητηρίων μικροελεγκτών για την ασύγχρονη ενημέρωση του συστήματος.**
- **Ανάλυση αλγορίθμου, που χρησιμοποιήθηκε για την επιτήρηση της παρούσας πτυχιακής.**
- **Διαδικασία κατασκευής του επωαστήρα.**

# «Design and construction of an automatic incubator using a microcontroller.»

«Periklis Papagrigoriou»

## *Abstract*

In the present paper an automatic chicken egg incubator was studied and built. This paper's goal is to categorize, design and promote an egg incubating system, capable of incubating different types of poultry eggs.

Firstly, this system is based on a programmable central control unit (arduino), which is responsible for meeting the necessary criteria, mainly temperature and humidity, throughout the incubation process. A temperature and humidity control algorithm oversees the incubation chamber for 21 days, according to specifications. The monitoring is based on readings from a temperature and humidity sensor. The regulation of the chamber's temperature is controlled by activating/deactivating ohm resistors, to maintain a steady temperature of 35<sup>0</sup> - 40<sup>0</sup> C. Furthermore, water and fans are used to ensure the right humidity and air venting amount needed.

When the incubating conditions are not ideal, the ramifications in the embryo growth are catastrophic.

In this paper, in short, the following subjects are presented:

- **The history of incubating chambers.**
- **A summary of necessary circuitry and sensors to manufacture an automatic incubator.**
- **The communication protocol study between sensory microcontrollers for the unsynchronized system update.**
- **An algorithmic analysis, used in supervising the present paper.**
- **The incubator building process.**

## *Ευχαριστίες*

Οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στους καθηγητές μου, που με την βοήθεια και με τη μεταδοτικότητα τους έφτασα στο σημείο να αποκτήσω τις απαραίτητες γνώσεις, ώστε να καταξιωθώ στον επαγγελματικό τομέα, που έχω επιλέξει.

Κυρίως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Δημητριάδη Παναγιώτη, που με τον συμβουλευτικό του χαρακτήρα και την μεταλαμπάδευση των γνώσεων του προς εμένα, κατάφερα να αποκτήσω το κατάλληλο υπόβαθρο και ικανότητες ώστε να σχεδιάσω και να υλοποιήσω και προπάντων να τελειοποιήσω την παρούσα πτυχιακή εργασία.

## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iv
Περίληψη.....	v
Abstract .....	vi
Ευχαριστίες .....	vii
Περιεχόμενα .....	viii
Συντομογραφίες.....	xi
<b>Κεφάλαιο 1ο:</b> .....	12
<b>Εισαγωγή στις επώαση και ιστορική αναδρομή επωαστικών μηχανών.....</b>	<b>12</b>
1.1    Εισαγωγή στην επώαση.....	12
1.2    Ιστορική αναδρομή στις μηχανές εκκόλαψης-επώασης.....	13
1.3    Είδη επωαστικών μηχανών. ....	16
<b>Κεφάλαιο 2ο:</b> .....	19
<b>Σχεδίαση αυτόματης επωαστικής μηχανής. ....</b>	<b>19</b>
2.1    Εισαγωγή.....	19
2.2    Κριτήρια επιλογής υλικών για την κατασκευή επωαστικής μηχανής. ....	19
2.3    Αισθητήρια. ....	19
2.3.1    Χαρακτηριστικά Αισθητηρίων .....	21
2.3.2    Προαπαιτούμενα αισθητήρια για τον έλεγχο τήρησης των συνθηκών επώασης .....	22
2.4    Κυκλώματα σύνθεσης αισθητήρων θερμοκρασίας υγρασίας. ....	25
2.4.1    Διάταξη μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό σήμα ADC .....	26
2.4.2    Αρχιτεκτονικές διατάξεων ADC .....	27
2.4.3    Κυκλώματα ενσύρματης μετάδοσης δεδομένων(serial communication).....	31
2.5    Επίλογος.....	32
<b>Κεφάλαιο 3ο:</b> .....	<b>33</b>
<b>Σχεδίαση κυκλωμάτων επωαστικής μηχανής.....</b>	<b>33</b>
3.1    Πρόλογος.....	33
3.2    Κύκλωμα παραγωγής και συντήρησης θερμοκρασίας εντός της επωαστικής μηχανής.....	33
3.3    Κύκλωμα ελέγχου βηματικού κινητήρα για τον έλεγχο της κλίσης των αυγών. ....	37
3.3.1    Βηματικός κινητήρας : Λειτουργία και κύκλωμα οδήγησης.....	37
3.4    Πρωτόκολλο επικοινωνίας δεδομένων με LCD οθόνη. ....	39
3.4.1    Πρωτόκολλο I2C για μετάδοση δεδομένων. ....	40
3.4.2    Συνδεσμολογία LCD οθόνης.....	41

3.5	Επίλογος.....	42
<b>Κεφάλαιο 4ο:</b> .....		<b>43</b>
<b>Αλγόριθμος επιτήρησης επωαστικής μηχανής</b> .....		<b>43</b>
4.1	Πρόλογος.....	43
4.2	Μικροελεγκτής Arduino Uno.....	43
4.3	Προγραμματιστικό περιβάλλον Arduino IDE.....	46
4.4	Αλγόριθμος επιτήρησης.....	48
4.4.1	Συναρτήσεις ελέγχου.....	49
4.5	Επίλογος.....	50
<b>Κεφάλαιο 5ο:</b> .....		<b>51</b>
<b>Κατασκευή αυτόματης επωαστικής μηχανής</b> .....		<b>51</b>
5.1	Πρόλογος.....	51
5.2	Δομικά μέρη μηχανής.....	51
5.3	Θάλαμος ηλεκτρονικού κυκλώματος.....	53
5.4	Χαρακτηριστικά παραγωγής.....	55
5.5	Επίλογος.....	56
<b>Κεφάλαιο 6ο:</b> .....		<b>57</b>
<b>Προτάσεις Βελτιστοποίησης</b> .....		<b>57</b>
<b>BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....		<b>58</b>
<b>Παράρτημα Α</b> .....		<b>60</b>
<b>Παράρτημα Β</b> .....		<b>65</b>

### **Κατάλογος Σχημάτων**

Σχήμα 2.2.1:	Block διάγραμμα ενός μικτού αισθητήρα θερμοκρασίας υγρασίας.....	25
Σχήμα 2.3.1:	Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός ADC.....	26
Σχήμα 2.3.2:	Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός ADC.....	27
Σχήμα 2.3.4:	Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός Σ-Δ ADC.....	29
Σχήμα 2.3.5:	Παράλληλο flash adc 3-bit.....	30
Σχήμα 3.1:	Κύκλωμα οδήγησης αντιστάσεων μέσα από τα gpio του arduino.....	33
Σχήμα 3.1.3:	Κύκλωμα θέρμανσης θαλάμου επωαστήρα.....	35
Σχήμα 3.1.4:	CircuitLab περιβάλλον σχεδίασης κυκλωμάτων.....	36
Σχήμα 3.2.1:	Απλή απεικόνιση κυκλώματος H-Bridge.....	38
Σχήμα 3.2.2:	Συνδεσμολογίες H-Bridge. Στην επάνω εικόνα παρατηρείται μια διάταξη h-bridge αποτελούμενη από npn και pnp transistor ενώ στην κάτω μια διάταξη με P-N channel mosfet.....	39
Σχήμα 4.1:	Διάγραμμα ροής super loop.....	48
Σχήμα 4.2:	Διάγραμμα ροής.....	49

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.0: Συγκομιδή πτηνών από Αιγύπτους.....	13
Εικόνα 1.0.1: Θερμοκοιτίδα Ζεστού νερού – Hearson 1881.....	14
Εικόνα 1.1: Μικρός επωαστήρας που χρονολογείται περί το 1960.....	15
Εικόνα 1.2: Θερμοκοιτίδα Setter.....	16
Εικόνα 1.3: Θερμοκοιτίδα Hatcher.....	17
Εικόνα 1.4: Θερμοκοιτίδα Συνδυασμού Setter & Hatcher Χωρητικότητας 1000 αυγών.....	18
Εικόνα 2.0: Διάφορα είδη αισθητήρων θερμοκρασίας.....	20
Εικόνα 2.1: Διάφορα είδη αισθητήρων υγρασίας.....	20
Εικόνα 2.3.1: Γράφημα Σφάλματος.....	22
Εικόνα 2.3.2:NTC θερμίστορ.....	23
Εικόνα 2.3.3:Αισθητήρας rtd.....	23
Εικόνα 2.3.4:θερμοζεύγος 2 καλωδίων.....	24
Εικόνα 2.3.5:Αισθητήριο Υγρασίας.....	24
Εικόνα 2.3.0:Διάγραμμα που απεικονίζεται η διαφορική μη γραμμικότητα. Εδώ απεικονίζεται ένα σφάλμα διαφορικής μη-γραμμικότητα ίσο με ½ του LSB.....	29
Εικόνα 3.1.3: Αισθητήριο θερμοκρασίας υγρασίας AM2302.....	37
Εικόνα 3.3.2:Απλό αποστολή μηνύματος μέσω SDA.....	40
Εικόνα 3.1.2: LCD οθόνη 16X2 της raystar optronics.....	41
Εικόνα 4.1: Μικροελεγκτής Arduino Uno Rev3.....	43
Εικόνα 42: Αρίθμηση εισόδων/εξόδων και ακροδεκτών.....	45
Εικόνα 4.3: Arduino IDE.....	46
Εικόνα 4.4. Arduino Web Editor.....	47
Εικόνα 5.1: Η επωαστική μηχανή.....	51
Εικόνα 5.2: Πρόχειρο μηχανολογικό σχέδιο εκκολαπτικής μηχανής.....	52
Εικόνα 5.3: Εσωτερικός θάλαμος εκκολαπτικής μηχανής.....	53
Εικόνα 5.4: Στον συγκεκριμένο θάλαμο απαντώνται τα εξής: Τροφοδοτικά 5/12/24Volt.Relay ενεργοποίησης αντιστάσεων.....	54
Εικόνα 5.5: Εκκόλαψη των αυγών έπειτα από την χρήση της αυτόματης εκκολαπτικής μηχανής.....	55

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Διάφορες θερμοκοιτίδας Hatcher--Setter.....	18
Πίνακας 2.1: Μερικά από τα ποιο συνήθεις πρωτόκολλα επικοινωνίας και οι συγκριτικές τους διαφορές.....	31
Πίνακας 3.1: Υλικά κυκλώματος θέρμανσης θαλάμης.....	33
Πίνακας 5.1: Αναλυτικές διαστάσεις μηχανής.....	45

## ***Συντομογραφίες***

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
Σ.Α.Λ	Στροφές ανά λεπτό
MSB	Most significant bit

## Κεφάλαιο 1ο:

### **Εισαγωγή στις επώαση και ιστορική αναδρομή επωαστικών μηχανών**

#### 1.1 Εισαγωγή στην επώαση

Η επώαση είναι η διαχείριση ενός γονιμοποιημένου ωαρίου για να διασφαλιστεί ικανοποιητική ανάπτυξη του εμβρύου μέσα στο γονιμοποιημένο αυγό σε κανονικό κοτοπουλάκι.[1] Είναι δηλαδή η διαδικασία διατήρησης του γονιμοποιημένου αυγού σε ένα ζεστό περιβάλλον, ώστε να επιτυγχάνεται η σωστή ανάπτυξη του έμβρυο σε κοτοπουλάκι. Μπορεί να είναι φυσικό ή τεχνητό.

Σε φυσική επώαση το πουλί παρέχει τις απαιτούμενες συνθήκες για τα σχετικά λίγα αυγά που γεννά καθισμένη επάνω τους για το διαστήματα που απαιτείται μέχρι να εκκολαφθούν σε ανοιχτό χώρο. Ένας τεχνητός επωαστήρας είναι ένας θάλαμος στον οποίο η θερμοκρασία, η υγρασία και ο εξαερισμός ελέγχεται με σκοπό την εκκόλαψη μεγάλου αριθμού αυγών από ότι μπορεί να χειριστεί μια κότα κάθε φορά που γονιμοποιείται.[2]

Η θερμότητα που απαιτείται για την επώαση παρέχεται από άνθρακα, πετρέλαιο, φυσικό αέριο ή ηλεκτρική ενέργεια. Για μικρή θερμοκοιτίδα περίπου το 58% της σχετική υγρασία διατηρείται στους 120oF (38 έως 39oC) μέχρι την 18η ημέρα επώασης μετά την οποία, η υγρασία ανεβαίνει στο 70% και η θερμοκρασία μειώνεται στους 96o F (36oC) μέχρι να εκκολαφτεί το αυγό.[3]

Οι θερμοκοιτίδες τοποθετούνται συνήθως μακριά από τοίχους στις γωνίες των δωματίων έτσι ώστε να επιτρέπεται επαρκής εξαερισμός και να παρέχεται επαρκής χώρος εργασίας για τον χειριστή της θερμοκοιτίδας. Τα αυγά επώασης αλλοιώνονται με την αποθήκευση και δεν πρέπει κανονικά να διατηρούνται για περισσότερο από επτά ημέρες πριν από τη ρύθμιση για επώαση. Η θερμοκρασία αποθήκευσης πρέπει να είναι περίπου 12.5oC στους οποίους σταματά η ανάπτυξη του εμβρύου. η σχετική υγρασία δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 80% για να αποφευχθεί η αφυδάτωση των αυγών. Εάν η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι πολύ χαμηλή (-2oC) το βλαστόδερμα μπορεί να παγώσει[1]. Θα πρέπει να είναι επιλεγμένα αυγά κανονικού σχήματος, τουλάχιστον 56,7 gr σε βάρος, με καλή υφή κελύφους και χωρίς σφάλματα.

Πρέπει να καταβληθούν προσπάθειες για την αποτροπή της μόλυνσης των αυγών που εκκολάπτονται στην φωλιά, για αυτό, θα πρέπει να γδαρθούν αντί να πλυθούν, καθώς το πλύσιμο είναι επιζήμιο λόγω του νερού που μπορεί να περιέχει μολυσματικούς μικροοργανισμούς και το πλύσιμο συνήθως ανοίγει τους πόρους στο κέλυφος των αυγών και ενθαρρύνει την ταχεία εξάτμιση. Το χρώμα του αυγού δεν επηρεάζει την δυνατότητα εκκόλαψης, αν και μπορεί να έχει χρωματισμό εξαιρετικά μεγάλου μήκους, υποδεικνύοντας έτσι έλλειψη ασβεστίου στο κέλυφος.[1]

Η ανάγκη για μια μικρή θερμοκοιτίδα είναι για να αυξήσει την εκκόλαψη των αυγών, οδηγώντας μας έτσι στη βελτίωση και αύξηση των παραγόμενων νεοσσών και αυγών, βοηθώντας την οικονομική αγορά και κατά συνέπεια την ανθρώπινη κατανάλωση πουλερικών.

## 1.2 Ιστορική αναδρομή στις μηχανές εκκόλαψης-επώασης

Η σύγχρονη βιομηχανία πουλερικών, με την παραγωγή εκατομμυρίων πτηνών από κεντρικές μαζικές θερμοκοιτίδες, δεν είναι μια νέα τεχνολογία. Οι άνδρες που έχτισαν τις πυραμίδες κατασκεύασαν επίσης θερμοκοιτίδες. Ακόμη και πριν από την εποχή του Μωυσή, εκκολαπτήρια δυναμικότητας ενενήντα χιλιάδων ήταν σε πλήρη παραγωγή. Μερικά από αυτά τα εκκολαπτήρια εξακολουθούν να λειτουργούν, και ακόμη και μέχρι τη δεκαετία του 1950, παρήγαγαν σχεδόν το 90% όλων των νεοσσών στην Αίγυπτο.



Εικόνα 1.0: Συγκομιδή πτηνών από Αιγύπτιους.[27]

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή αυτών των εκκολαπτηρίων ήταν έξυπνος αλλά απλός. Τα αυγά κείτονταν στο πάτωμα ενός κυλινδρικού, πλίνθου κτιρίου. Δύο έως τρία πόδια πάνω από τα αυγά υπήρχε μια πλατφόρμα σαν γούρνα που περιέβαλλε τον εσωτερικό τοίχο, μέσα στην οποία έκαιγε μια αένη φωτιά από κοπριά καμήλας. Ο αέρας αναρροφήθηκε μέσω ενός ανοίγματος στο επίπεδο του εδάφους, περνούσε από την κεντρική τρύπα του δακτυλίου της φωτιάς και έβγαινε από μια τρύπα στην οροφή σε σχήμα θόλου.

Οι διπλές σειρές αυτών των κλιβάνων επώασης βλέπουν σε έναν κεντρικό διάδρομο. Τα ανοίγματα στην οροφή και τα άκρα αυτού του διαδρόμου επέτρεπαν φως και αερισμό.

Η θερμοκρασία των αυγών μετρήθηκε τοποθετώντας τα πάνω στα βλέφαρα και ελεγχόταν με το πάτημα ή το τσουγκράνισμα των φωτιών. Οι απαιτήσεις υγρασίας και το μέγεθος της κυψέλης αέρα κρίθηκαν από τον ήχο που ακούγεται από το κύλιση δύο αυγών μαζί στο ένα χέρι.

Οι αρχαίες καταγραφές λένε ότι εκκολάπτονταν κατά παραγγελία, επιστρέφοντας δύο νεοσσούς για κάθε τρία αυγά που έφεραν μέσα. Το κέρδος τους ήταν όλη η εκκόλαψη πάνω από 70%. Οι Αιγύπτιοι, ωστόσο, δεν είχαν το μονοπώλιο της εκκόλαψης αυγών. Οι Κινέζοι ομόλογοί τους είχαν αναπτύξει δύο πολύ επιτυχημένες μεθόδους τουλάχιστον το 1.000 π.Χ.

Το πρώτο, και πιο απλό, χρησιμοποιούσε τη θερμότητα της σάπιας κοπριάς. Τα αυγά τοποθετήθηκαν σε ένα μείγμα από ψιλοκομμένο άχυρο και φλούδες ρυζιού πάνω από την κοπριά. φαίνεται να είχε μέτρια επιτυχία.

Η δεύτερη μέθοδος, ευρύτερα χρησιμοποιούμενη και λειτουργική ακόμα και σήμερα, ήταν εξίσου έξυπνη με το αιγυπτιακό εκκολαπτήριο. Η βασική κατασκευή ήταν και πάλι ένα κυλινδρικό κτίριο, αλλά η φωτιά βρισκόταν στο πάτωμα, με τα αυγά να περιέχονται σε έναν ανεστραμμένο κώνο πάνω από αυτό, μερικώς γεμάτο με στάχτη. Πάνω στις στάχτες τοποθετήθηκαν καλάθια αυγών από υφαντό άχυρο. Τα αυγά περιέχονταν σε σακουλάκια μουσελίνας, όλα καλυμμένα με ένα μονωτικό στρώμα από φλούδες ρυζιού. Μια ψάθινη αχυρένια οροφή, σε σχήμα όπως το παραδοσιακό καπέλο coolie, ολοκλήρωσε τη μόνωση και κρατούσε μακριά τη βροχή. Κάθε επτά ημέρες προστέθηκε ένα φρέσκο σακουλάκι με αυγά σε κάθε καλάθι και οι σακούλες μετακινούνταν συνεχώς για να γυρίσουν τα αυγά.

Μετά τις τρεις πρώτες εβδομάδες της περιόδου εκκόλαψης, η φωτιά αφέθηκε να σβήσει. η αυτοπαραγωγική θερμότητα των αυγών συνέχισε τη διαδικασία.

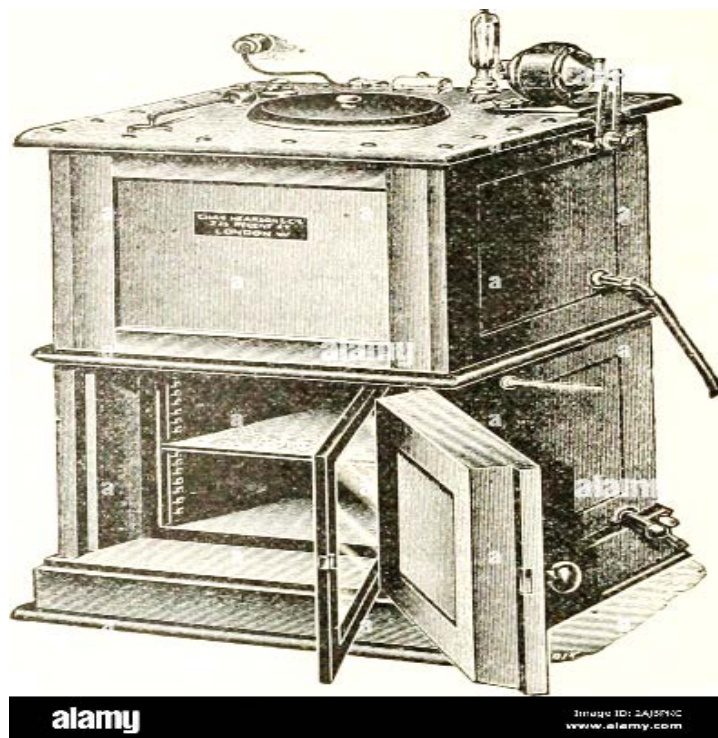
Είχαν επίσης αναπτύξει την τέχνη του κεριού, γιατί τα καθαρά αυγά αφαιρέθηκαν την τρίτη μέρα και πωλήθηκαν για κανονική κατανάλωση.

Ακόμα και Έλληνες βοήθησαν στις μεθόδους εκκόλαψης, ο Αριστοτέλης περιέγραψε λεπτομερώς μια μέθοδο που χρησιμοποιούσε σάπια κοπριά το 400 π.Χ. Υπάρχουν αρκετές καταγραφές με υψηλές Ρωμαίες κυρίες που προμήνυαν το φύλο των απογόνων τους εκκολάπτοντας ένα αυγό κρυμμένο κάτω από το στήθος τους.

Πολυάριθμες περιγραφές μεθόδων που χρησιμοποιούν τη θερμότητα του ανθρώπινου σώματος έχουν καταγραφεί σε όλη την ιστορία και από όλο τον κόσμο. Οι κάτοικοι των Φιλιππίνων πλήρωναν τους υπηρέτες τους για να ξαπλώσουν στα αυγά. Τα αυγά τοποθετήθηκαν ανάμεσα σε σειρές ραβδιών σε ένα κρεβάτι με στάχτη και τόσο ο υπηρέτης όσο και τα αυγά καλύφθηκαν με κουβέρτες. Οι αγρότες της Νότιας Αφρικής απασχολούσαν ιθαγενή κορίτσια για να εκκολάψουν αυγά στρουθοκαμήλου με θερμότητα σώματος, όταν τα φτερά αυτών των πτηνών είχαν τρομερή ζήτηση.

Η μηχανική εκκόλαψη ήρθε στον δυτικό κόσμο μέχρι το 1749, όταν ο Reaumur στο Παρίσι ανέπτυξε το πρώτο μηχανικό κουτί για την εκκόλαψη αυγών. Χρησιμοποιούσε την αιθερική κάψουλα ως θερμοστάτη. Το 1770, ο Κάμπιον πέτυχε χρησιμοποιώντας ένα ειδικό δωμάτιο που θερμαινόταν από τους καπναγωγούς του λέβητα του.

Η πρώτη επιτυχημένη εμπορική μηχανή ήταν η θερμοκοιτίδα ζεστού νερού που κατασκεύασε η Hearson το 1881, και το 1895 ο Cypher έβγαλε στην αγορά το μοντέλο αυγών πάπιας 20.000. Η πρώτη πλήρως ηλεκτρική αυτοματοποιημένη μηχανή εμφανίστηκε μόλις το 1922. [27]



Εικόνα 1.0.1: Θερμοκοιτίδα Ζεστού νερού – Hearson 1881.[28]

Ο Ira M. Petersime από το Gettysburg, Ohio , USA θεωρείται ότι εφηύρε την ηλεκτρική θερμοκοιτίδα αυγών το 1922. [7] Λίγο αργότερα αυτός και ο γιος του, Ray , άρχισαν να κατασκευάζουν τις θερμοκοιτίδες. [8] Έλαβαν πολυάριθμα διπλώματα ευρεσιτεχνίας για χαρακτηριστικά σχεδιασμού και επακόλουθες βελτιώσεις. Η καινοτομία του ηλεκτρικού θερμοκοιτίδα με διευρυμένη χωρητικότητα (νωρίς το Petersime προσέφερε ένα μοντέλο με 15.000 αυγά) ενθάρρυνε την ανάπτυξη εμπορικών εκκολαπτηρίων μεγάλης κλίμακας.



Εικόνα 1.1: Μικρός επωαστήρας που χρονολογείται περί το 1960.[4]

Οι σύγχρονες θερμοκοιτίδες θερμαίνονται ηλεκτρικά, ελέγχονται από θερμοστάτη ενώ μερικές τροφοδοτούνται από ηλιακή ενέργεια λόγω επιληπτικής και ασταθούς παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια αγροικία, όπως σε μεγάλες εγκαταστάσεις εκτροφής κοτόπουλου, ή μπορούν να βρεθούν σε μια κοινή τάξη για τους μαθητές να παρατηρούν το αυγό μέσα και όταν εκκολάπτεται. Ορισμένες βιομηχανικές θερμοκοιτίδες είναι αρκετά μεγάλες για να χωρέσουν έως και 124.416 αυγά, και κάποια άλλα στυλ μπορούν να χωρέσουν μόνο μερικά αυγά.[4]

Οι κατηγορίες των θερμοκοιτίδων περιλαμβάνουν:

- **Θερμοκοιτίδα Setter**
- **Θερμοκοιτίδα hatcher**
- **Θερμοκοιτίδα συνδυασμού**

### 1.3 Είδη επωαστικών μηχανών.

#### Θερμοκοιτίδα Setter:

Η θερμοκοιτίδα ονομάζεται επίσης "setter" από πολλούς ανθρώπους . Για παράδειγμα τα αυγά κότας, καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου επώασης χρειάζονται περίπου 21 ημέρες για να εκκολαφθούν.[36][37][38] Και οι 21 ημέρες θα χωριστούν σε δύο μέρη, από την 1η ημέρα έως την ημέρα 18 αυγά θα βρίσκονται στη θερμοκοιτίδα setter, και την 18η ή 19η ημέρα, τα αυγά θα μεταφερθούν στο εκκολαπτήριο (hatcher) και θα παραμείνουν μέσα στο εκκολαπτήριο για 2-3 ημέρες έως ότου τα περισσότερα κοτόπουλα εκκολαφτούν.



Εικόνα 1.2: Θερμοκοιτίδα Setter.[30]

Σε αυτό το στάδιο, είναι ζωτικής σημασίας να αποφευχθούν οι κίνδυνοι ψύξης ή υπερθέρμανσης διατηρώντας στο ελάχιστο τον χρόνο έξω από τις θερμοκοιτίδες. Μόλις σταματήσει ο ανεμιστήρας κυκλοφορίας στο setter, τα αυγά δεν λαμβάνουν πλέον αέρα. Οι χειριστές του εκκολαπτηρίου θα πρέπει να αφαιρούν ένα καρότσι τη φορά για να βεβαιωθούν ότι έχουν όσο το δυνατόν περισσότερη ροή αέρα για να τα διατηρήσουν δροσερά. Αν και τα αυγά στο εξωτερικό του καροτσιού θα αρχίσουν να κρυώνουν, τα αυγά στη μέση του καροτσιού θα εξακολουθούν να στερούνται ροής αέρα για να βοηθήσουν τη διαδικασία ψύξης.

#### Χειροκίνητη μεταφορά.

Τα αυγά μπορούν να μεταφερθούν με το χέρι, τοποθετώντας το καλάθι του εκκολαπτηρίου ανάποδα πάνω από το δίσκο αυγών και στη συνέχεια γυρνώντας τα και τα δύο μαζί ξανά με το χέρι ή με ένα ειδικά κατασκευασμένο πλαίσιο. Ωστόσο, αυτός ο τρόπος εργασίας έχει ορισμένα μειονεκτήματα: εκτός από την αύξηση των ρωγμών, η χειροκίνητη μεταφορά σπάνια περιλαμβάνει αφαίρεση καθαρών αυγών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολλά ανεστραμμένα αυγά, με αποτέλεσμα το υγρό του αυγού να μεταφέρεται στην κυψέλη αέρα στον πυθμένα, γεγονός που οδηγεί σε όψιμη θνησιμότητα των νεοσσών. Εάν οι νεοσσοί ωστόσο εκκολαφθούν, συνήθως θα φαίνονται τσαλακωμένοι, οπότε θα θανατωθούν ούτως ή άλλως.

### Αυτοματοποίηση κατά τη μεταφορά

Ο αυτοματισμός μπορεί να εξελιχθεί από πολύ βασικός ως μηχανήμα μεταφοράς που σηκώνει τα αυγά από το δίσκο και τα τοποθετεί στο καλάθι, μέχρι την πλήρως αυτοματοποιημένη εκφόρτωση των καρτσιών setter και το αυτόματο κερι. Αυτό το αυτόματο κερι ανιχνεύει την ποσότητα φωτός που διέρχεται από το αυγό για να προσδιορίσει την παρουσία ή την απουσία ανάπτυξης στο αυγό. Οι προηγμένες τεχνολογίες μπορούν ακόμη και να ανιχνεύσουν την πραγματική ζωή μέσω ανίχνευσης θερμότητας ή καρδιακού παλμού. Αυτό καθιστά δυνατή την αφαίρεση των σάπιων βακτηριακών αυγών (bangers).

Ωστόσο, κανένας εξοπλισμός δεν είναι αλάνθαστος και κάθε σύστημα πρέπει να συντηρείται και να παρακολουθείται καλά. Θα πρέπει πάντα να ελέγχονται χειροκίνητα τα ωάρια που στέλνονται ως γόνιμα για να βεβαιωθεί ότι το σύστημα είναι ορθό.[29]

### **Θερμοκοιτίδα hatcher:**

Το εκκολαπτήριο είναι το μέρος της θερμοκοιτίδας όπου τα αυγά γεννούν ακίνητα τις τελευταίες 3 ημέρες του κύκλου επώασης (Στην περίπτωση αυγών κότας). Γενικά, η υγρασία και η ροή του αέρα είναι ελαφρώς υψηλότερα σε αυτό το τμήμα του επωαστήρα λόγω του γεγονότος ότι τα αυγά απαιτούν υψηλότερη υγρασία προς τη φάση εκκόλαψης.



Εικόνα 1.3: Θερμοκοιτίδα Hatcher.[31]

### **Θερμοκοιτίδα συνδυασμού:**

Για μικρές θερμοκοιτίδες χωρητικότητας έως και χιλιάδων αυγών, οι περισσότερες επωαστικές εκμεταλλεύσεις έχουν και τις δύο λειτουργίες setter και hatcher ταυτόχρονα. Η κατασκευή και των δύο σε ένα μηχανήμα, αντί για δύο, μπορεί να εξοικονομήσει το κόστος κατασκευής ενός ακόμη μηχανήματος. Αυτό το είδος επωαστήρα ονομάζεται επίσης θερμοκοιτίδα συνδυασμού ή επωαστήρας συνδυασμού.



Εικόνα 1.4: Θερμοκοιτίδα Συνδυασμού Setter & Hatcher Χωρητικότητας 1000 αυγών.[32]

Πίνακας 1.1: Διάφορες θερμοκοιτίδας hatcher—Setter.

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΠΩΑΣΤΗΡΩΝ	SETTER	HATCHER
Γύρισμα αυγών	Εφικτό	Ανέφικτο
Δοχείο αυγών	Ξεχωριστές θέσης για κάθε αυγό	Καλάθια
Θερμοκρασία	38°C	37°C
Καθαριότητα	Καθαρό	Ακάθαρο

## Κεφάλαιο 2ο:

### Σχεδίαση αυτόματης επωαστικής μηχανής.

#### 2.1 Εισαγωγή.

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος που μελετάται, σχεδιάζεται και υλοποιείται μιας αυτόματης επωαστικής μηχανής, με σκοπό την σταδιακή εισαγωγή στην κατασκευή που μελετήθηκε και υλοποιήθηκε για το σκοπό αυτής της εργασίας.

#### 2.2 Κριτήρια επιλογής υλικών για την κατασκευή επωαστικής μηχανής.

- **Σχεδίαση και κατασκευή:**

Το μέγεθος και ο τύπος της θερμοκοιτίδας εξαρτάται από τις ανάγκες και τα μελλοντικά σχέδια του κάθε παραγωγού. Όπως είδαμε και στο πρώτο κεφάλαιο υπάρχουν διαθέσιμα πολλά και διαφορετικά μοντέλα.

- **Θερμοκρασία:**

Η θερμοκρασία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας επώασης. Η καλύτερη επώαση επιτυγχάνεται όταν η θερμοκρασία διατηρείται γύρω στους 37,5 ° C καθ' όλη τη περίοδο επώασης όταν χρησιμοποιείτε θερμοκοιτίδα εξαναγκασμένου αέρα. Μικρές διακυμάνσεις (μικρότερες από 0,5 ° C) πάνω ή κάτω είναι ανεκτές στους 37,5 ° C, αλλά δεν πρέπει να επιτρέπεται οι θερμοκρασίες να μεταβάλλονται περισσότερο από 1 ° C συνολικά.[37][38]

- **Υγρασία:**

Η υγρασία πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά ώστε να αποτραπεί η άσκοπη απώλεια υγρασίας των αυγών. Το σχετική υγρασία στον επωαστήρα μεταξύ ρύθμισης και τριών ημερών πριν από την εκκόλαψη θα πρέπει να παραμείνει στο 58-60%. Εάν η σχετική υγρασία στο εσωτερικό του επωαστήρα είναι πολύ χαμηλά ή πολύ ψηλά, υπάρχει πρόβλημα επώασης. Οι νεοσσοί μπορεί να υποφέρουν από αδύναμα πόδια.

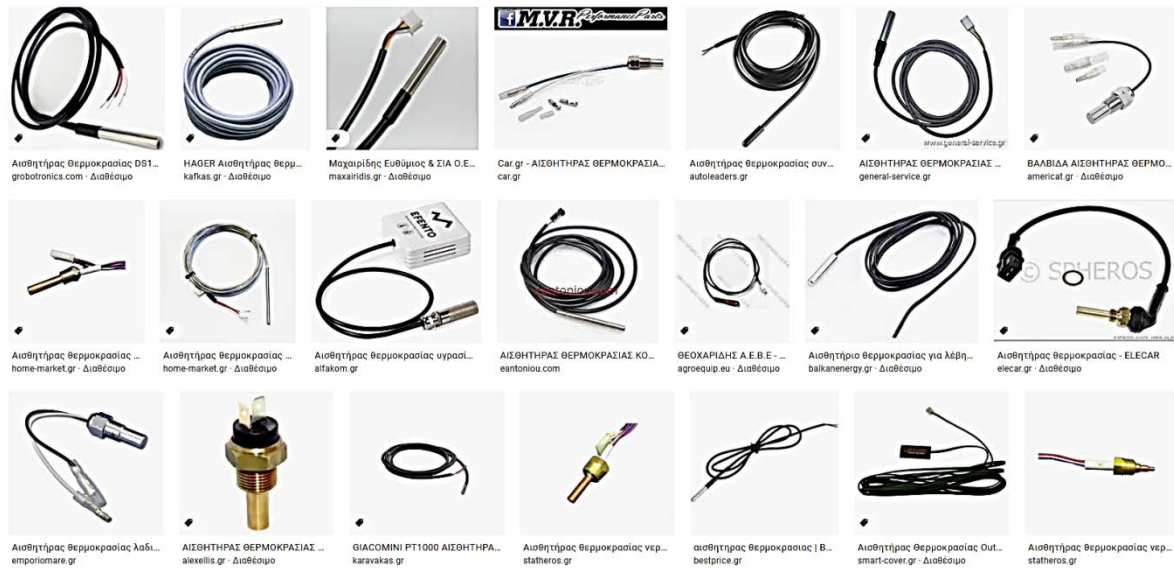
- **Αερισμός:**

Ο εξαερισμός παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ψύξη ενός τόσο υπερθερμασμένου μηχανήματος καθώς και να επιβεβαιώνεται ότι η ανταλλαγή οξυγόνου διοξειδίου του άνθρακα είναι η μέγιστη δυνατή. Οι ανεμιστήρες του εσωτερικού είναι τόσο απαραίτητοι όσο και σημαντικοί και πρέπει να λειτουργούν περίπου στις 7200 στροφές ανά λεπτό, ώστε να είναι εφικτό να ψυχθεί το εσωτερικό.

#### 2.3 Αισθητήρια

Αισθητήρας (*sensor*) είναι μία διάταξη που χρησιμοποιείται για την μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους. Μετατρέπει το φυσικό μέγεθος που μετριέται (μετρούμενο μέγεθος) σε ηλεκτρικό σήμα. Για την ακρίβεια ένας αισθητήρας είναι ικανός να μετατρέψει το μετρούμενο μέγεθος

είτε σε τάση είτε σε ρεύμα. Στις εικόνες 2.0 και 3.0 απεικονίζονται διάφορα είδη αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας, αντιστοίχως.



Εικόνα 2.0: Διάφορα είδη αισθητήρων θερμοκρασίας.[33]



Εικόνα 2.1: Διάφορα είδη αισθητήρων υγρασίας.[34]

Ένας αισθητήρας μπορεί να μετρήσει φυσικά μεγέθη όπως:

- **Θερμοκρασία**
- **Θέση και η μετατόπιση ενός αντικειμένου**
- **Στάθμη υγρών**
- **Ταχύτητα και η επιτάχυνση ενός κινούμενου αντικειμένου**
- **Δύναμη**
- **Ροή ρευστού**
- **Τάση**

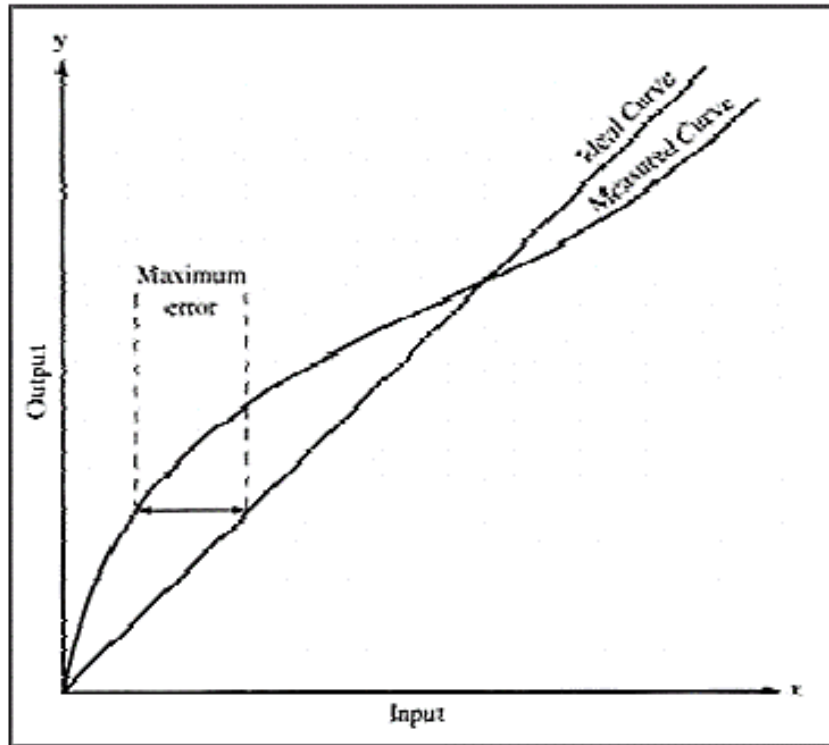
- **Ρεύμα και άλλα.**

Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη συλλογή πληροφοριών (δεδομένων) από ένα σύστημα, καθώς και για τον έλεγχο των συστημάτων.[33]

### 2.3.1 Χαρακτηριστικά Αισθητηρίων

Τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων είναι τα εξής:

- **Εύρος:** Τα όρια στα οποία η συσκευή λειτουργεί αξιόπιστα
- **Ακρίβεια:** Η εγγύτητα της τιμής εξόδου προς τη τιμή εισόδου.
- **Σφάλμα:** Η διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή και τη πραγματική τιμή.
- **Ανοχή:** Το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να δημιουργήσει ο αισθητήρας.
- **Διακριτική ικανότητα:** Η μικρότερη αλλαγή τιμής εισόδου που μπορεί να ανιχνεύσει.
- **Ευαισθησία:** Η σχέση της αλλαγής εξόδου προς τη αλλαγή εισόδου, είναι ίση με τη διαφορά των τιμών της εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών εισόδου.
- **Βαθμονόμηση:** Η βαθμολόγηση της κλίμακας σε μονάδες.
- **Νεκρή ζώνη:** Το μέγιστο ποσό αλλαγής της εισόδου που δεν επιφέρει αλλαγή στην έξοδο.
- **Γραμμικότητα:** Ο βαθμός στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου προσεγγίζει ευθεία ως προς την είσοδο του αισθητήρα.
- **Απόκριση:** Ο χρόνος που απαιτείται για να λάβει τη τελική τιμή η έξοδος.
- **Καθυστέρηση:** Η καθυστέρηση της αλλαγής της εξόδου ως προς την είσοδο.
- **Ευστάθεια:** Η μεταβολή της εξόδου σε μεγάλη χρονική περίοδο, χωρίς μεταβολή της εισόδου και των συνθηκών.
- **Υστέρηση:** Η διαφορά στην έξοδο όταν η κατεύθυνση της μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί.
- **Επαναληψιμότητα:** Η παραγωγή του ίδιου αποτελέσματος, σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, με την ίδια είσοδο.
- **Ολίσθηση:** Η μεταβολή των χαρακτηριστικών του αισθητήρα με το χρόνο και το περιβάλλον.
- **Στατικό σφάλμα:** Σταθερό σφάλμα σε όλο το εύρος λειτουργίας, το οποίο μπορεί να αντισταθμιστεί.
- **Χρόνος λειτουργίας:** Ο εκτιμώμενος χρόνος λειτουργίας στα πλαίσια των προδιαγραφών του.[33]



Εικόνα 2.3.1: Γράφημα Σφάλματος.[34]

### 2.3.2 Προαπαιτούμενα αισθητήρια για τον έλεγχο τήρησης των συνθηκών επώασης

Για την τήρηση των παραπάνω συνθηκών(θερμοκρασία , υγρασία , αερισμό) υπάρχουν κάποια απαραίτητα αισθητήρια που πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στην κατασκευή μιας αυτόματης επωαστικής μηχανής.

#### Αισθητήρια θερμοκρασίας

Στην γλώσσα της ηλεκτρονικής το αισθητήριο θερμοκρασίας είναι μια συσκευή που μετατρέπει μια μετρούμενη τιμή θερμοκρασίας σε μια μετρούμενη μονάδα συνήθως σε διαφορά δυναμικού . Η συσκευή αυτή συνήθως είναι ένα θερμοζεύγος η μια αντίσταση αντίχενυσης θερμοκρασίας . Τα αισθητήρια θερμοκρασίας χωρίζονται σε αναλογικά και ψηφιακά .

Τα αισθητήρια θερμοκρασίας χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

#### Thermistors

Τα θερμίστορ μπορεί να έχουν πολύ μικρό μέγεθος. Αποτελούνται από ένα στοιχείο αντίχενυσης το οποίο μπορεί να είναι είτε γυαλί είτε με οξειδωτική επίστρωση και να έχει 2 καλώδια ώστε να μπορούν να συνδεθούν σε ηλεκτρικό κύκλωμα. Μετρούν τη θερμοκρασία μετρώντας τη μεταβολή της αντίστασης του ηλεκτρικού ρεύματος. Τα θερμίστορ διατίθενται είτε ως NTC είτε ως PTC και είναι συχνά χαμηλού κόστους.



Εικόνα 2.3.2:NTC θερμίστορ.[19]

### **RTD**

Οι ανιχνευτές θερμοκρασίας RTD ή αντίστασης λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τα θερμίστορ και μετρούν ωμική αντίσταση για τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Συνδέονται με ένα κύκλωμα με παρόμοιο τρόπο με αυτόν ενός θερμίστορ αλλά έχουν πολύ μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασίας και μπορούν να μετρήσουν ακραίες θερμοκρασίες.



Εικόνα 2.3.3:Αισθητήρας rtd.[20]

### **Thermocouples (Θερμοζεύγη)**

Τα θερμοζεύγη χρησιμοποιούν δύο αγωγούς, που αποτελούνται από διαφορετικά μέταλλα που ενώνονται στο τέλος για να σχηματίσουν μια κόμβο. Όταν αυτός ο κόμβος υποβάλλεται σε θερμότητα, παράγεται μια τάση που είναι ευθέως ανάλογη της εισόδου θερμοκρασίας. Είναι εξαιρετικά ευέλικτα καθώς διαφορετικοί συνδυασμοί μετάλλων επιτρέπουν διαφορετικές περιοχές μέτρησης. Ωστόσο, τους λείπει η ακριβής ακρίβεια των NTC και των RTD, καθιστώντας τα λιγότερα ακριβή από τους τρεις τύπους.



Εικόνα 2.3.4:θερμοζεύγος 2 καλωδίων.[21]

### Temperature Probes

Τα καλώδια ανίχνευσης θερμοκρασίας είναι ένας πολύ κοινός και ποικίλος τύπος αισθητήρα θερμοκρασίας. Αποτελούνται από ένα θερμίστορ, ένα θερμοζεύγος ή ένα στοιχείο ανίχνευσης RTD και μπορούν να τελειώσουν με μια κεφαλή τερματικού.



Εικόνα 2.3.5:Αισθητήριο Υγρασίας.[22]

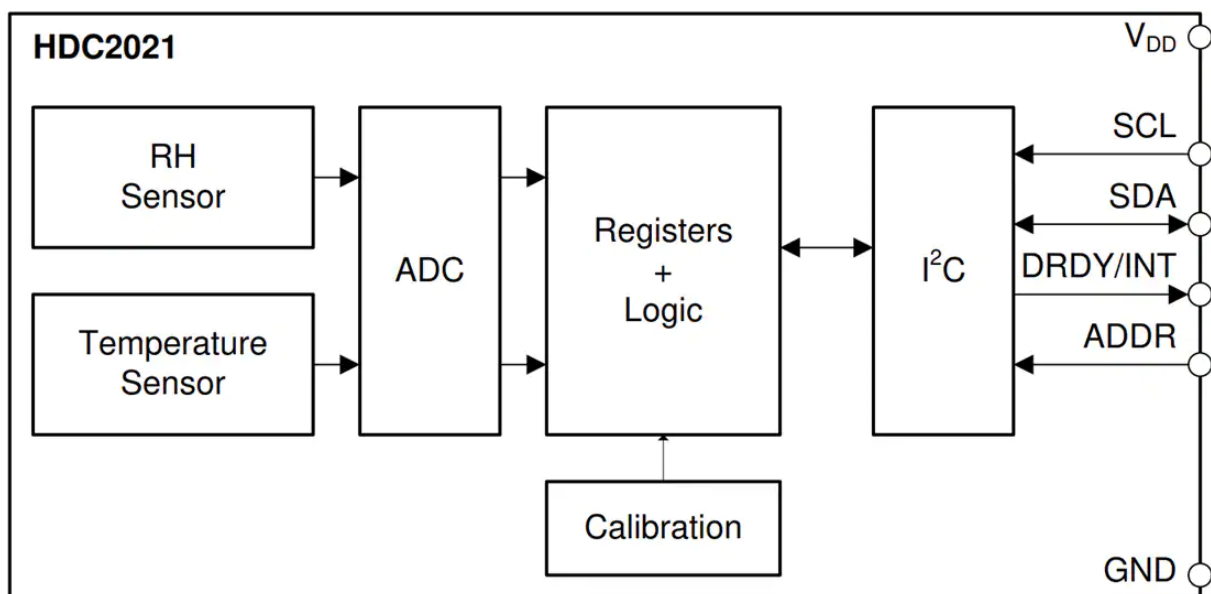
Ο αισθητήρας υγρασίας είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που μετρά την υγρασία στο περιβάλλον του και μετατρέπει τα ευρήματά του σε αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα[5]. Οι αισθητήρες υγρασίας ποικίλλουν σημαντικά σε μέγεθος και λειτουργικότητα. ορισμένοι αισθητήρες υγρασίας μπορούν να βρεθούν σε φορητές συσκευές (όπως smartphone), ενώ άλλοι είναι ενσωματωμένοι σε μεγαλύτερα ενσωματωμένα συστήματα (όπως συστήματα παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα).

Τα αισθητήρια υγρασίας χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- **Αισθητήρια σχετικής υγρασίας (RH).**
- **Αισθητήρια απόλυτης υγρασίας (AH).**

Η σχετική υγρασία υπολογίζεται συγκρίνοντας τη μέτρηση της ζωντανής υγρασίας σε μια δεδομένη θερμοκρασία με τη μέγιστη ποσότητα υγρασίας για τον αέρα στην ίδια θερμοκρασία. Οι αισθητήρες RH πρέπει συνεπώς να μετρούν τη θερμοκρασία προκειμένου να προσδιορίσουν τη σχετική υγρασία. Αντίθετα, η απόλυτη υγρασία μετράται χωρίς αναφορά στη θερμοκρασία.

Οι δύο πιο συνηθισμένοι αισθητήρες RH είναι οι χωρητικοί και οι αντιστατικοί αισθητήρες υγρασίας. Οι χωρητικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν δύο ηλεκτρόδια για την παρακολούθηση της χωρητικότητας (δηλαδή την ικανότητα αποθήκευσης ηλεκτρικού φορτίου) μιας λεπτής μεταλλικής λωρίδας τοποθετημένης μεταξύ τους. Η χωρητικότητα του μετάλλου αυξάνεται ή μειώνεται με ρυθμό που είναι ευθέως ανάλογος με την αλλαγή της υγρασίας στο περιβάλλον του αισθητήρα. Η διαφορά φορτίου (τάση) που δημιουργείται από την αύξηση της υγρασίας στη συνέχεια ενισχύεται και αποστέλλεται στον ενσωματωμένο υπολογιστή για επεξεργασία. Οι ανθεκτικοί αισθητήρες υγρασίας λειτουργούν με διαφορετική αρχή. Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούν μια μικρή χτένα πολυμερούς που αυξάνεται και μειώνεται σε μέγεθος καθώς αλλάζει η υγρασία, γεγονός που επηρεάζει άμεσα την ικανότητα του συστήματος να αποθηκεύει φορτίο.



Σχήμα 2.2.1: Block διάγραμμα ενός μικτού αισθητήρα θερμοκρασίας υγρασίας .[7]

Στην συγκεκριμένη πτυχιακή ο αισθητήρας αποτελεί έναν από τους κύριους πυλώνες για την σωστή επιτήρηση των συνθηκών που θα επιτρέπουν την λειτουργία της επωαστικής μηχανής.

Όπως παρατηρούμε στην εικόνα 2.2.1 τα κυκλώματα που πλαισιώνουν ένα αισθητήριο θερμοκρασίας/υγρασίας είναι αρκετά και στην συνέχεια θα εξηγήσουμε την λειτουργία του καθενός αλλά και το πόσο σημαντικό είναι για την παρούσα εργασία.

## 2.4 Κυκλώματα σύνθεσης αισθητήρων θερμοκρασίας υγρασίας.

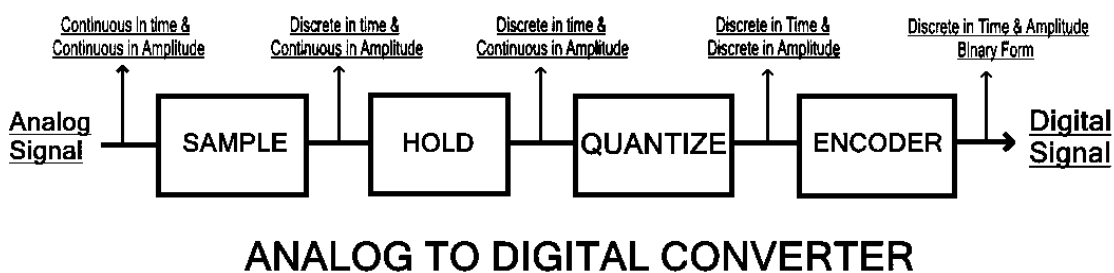
Για την επιτυχή λειτουργία μιας επωαστικής μηχανής υπάρχουν ορισμένες διατάξεις οι οποίες είναι απαραίτητες για την επιτήρηση και διατήρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών ώστε να επιτυγχάνεται η επώαση των νεοσσών χωρίς προβλήματα.

Για τον λόγο αυτό στις επόμενες ενότητες γίνεται μια ενδελεχής και σε βάθος αναφορά σε κυκλώματα δειγματοληψίας, μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό σήμα καθώς και σε κυκλώματα επικοινωνίας ώστε να λαμβάνουμε τις απαραίτητες μετρήσεις στο κύκλωμα μικροελεγκτή μας.

### 2.4.1 Διάταξη μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό σήμα ADC

Όταν μιλάμε για μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό τότε το η πρώτη διάταξη που διδάσκεται στους μηχανικούς είναι αυτή του μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα ADC (analogue to digital converter).

Πρόκειται ουσιαστικά για μια διάταξη η οποία επιτρέπει το διασύνδεση με ψηφιακά κυκλώματα μέσω της κωδικοποίησης του αναλογικού σήματος.



Σχήμα 2.3.1: Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός ADC.[10]

Όπως παρατηρούμε στην εικόνα 2.3.1 υπάρχουν 4 βασικά κυκλώματα που διέπουν την λειτουργία ενός **adc** και εν συνεχεία θα αναλύσουμε τα κυκλώματα αυτά για την βέλτιστη κατανόηση μιας διάταξης που αποτελεί το κύριο πυλώνα της επεξεργασίας σήματος.

- **Sample(Δειγματοληψία).**

Είναι η πρώτη βαθμίδα δηλαδή η βαθμίδα εισόδου ενός **adc**. Η συγκεκριμένη βαθμίδα σε σύνδεσμο με το δικτύωμα συγκράτησης (**hold**) έχουν τον ρόλο της δειγματοληψίας ενός αναλογικού σήματος και συγκρατεί την τιμή μέχρι να έρθει η επόμενη εντολή δειγματοληψίας.

- **Hold(Συγκράτηση).**

Το δικτύωμα συγκράτησης αφορά ουσιαστικά και την βαθμίδα που όπως αναφέραμε αποθηκεύει την δειγματοληπτούμενη τιμή μέχρι να έρθει η επόμενη εντολή δειγματοληψίας.

- **Quantize(Κβάντιση).**

Η διαδικασία της μετατροπής ενός σήματος από συνεχές σε διακριτό ονομάζεται κβάντιση. Την μετατροπή του δειγματοληπτούμενου σήματος που βρίσκεται στην βαθμίδα συγκράτησης αναλαμβάνει το δικτύωμα κβάντισης και το μετατρέπει από αναλογικό σε ψηφιακό.

- **Encoder(Κωδικοποιητής).**

Όπως είναι γνωστό για την ανάγνωση ενός σήματος από ένα σύστημα μικροελεγκτή απαιτείται η αναπαράστασή υπό την μορφή του δυαδικού συστήματος. Έτσι η τελική βαθμίδα ενός κυκλώματος **adc** είναι ουσιαστικά υπεύθυνη για αυτήν την μετατροπή του ψηφιακού σήματος σε δυαδική μορφή.

## 2.4.2 Αρχιτεκτονικές διατάξεων ADC

Το πιο μείζων ζήτημα για την εκπόνηση αυτής της κατασκευής αλλά και για την συνολική επιτυχία της πτυχιακής εργασίας είναι η διατήρηση τόσο της στάθμης της θερμοκρασίας σε ένα ανώτερο κατώφλι όσο και της διατήρησης της υγρασίας .Για αυτό τον λόγο αξίζει να αναλυθούν οι διάφορες αρχιτεκτονικές των διατάξεων adc, καθώς παίζουν καταλυτικό ρόλο τόσο στην ταχύτητα δειγματοληψίας των δεδομένων όσο και στην διακριτική ικανότητα.

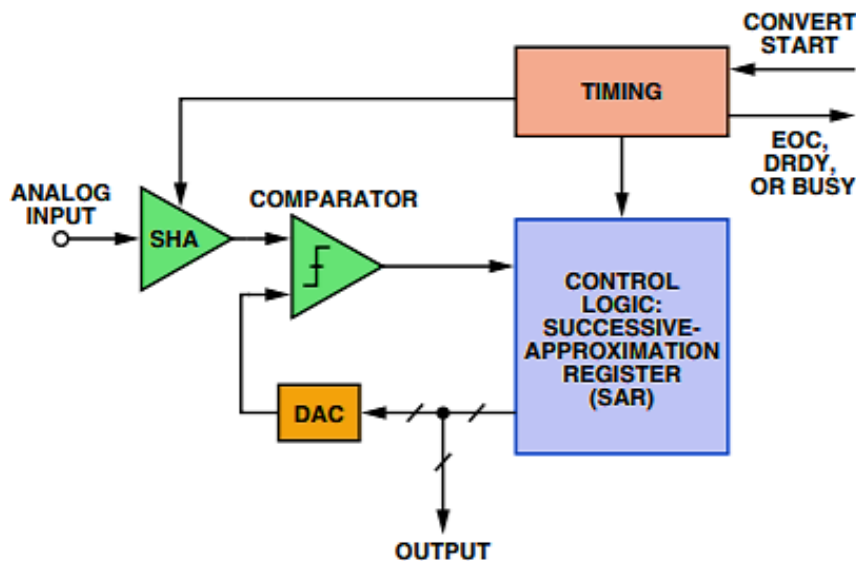
**Αρχιτεκτονικές μετατροπέων αναλογικού σε ψηφιακό σήμα:**

- **Successive-Approximation ADCs**
- **Sigma-Delta ADCs**
- **Flash ADCs**

**Successive-Approximation:**

Αποτελούν ουσιαστικά και την πιο διαδεδομένη αρχιτεκτονική διατάξεων adc όταν σκοπός μια εφαρμογής είναι η συλλογή δεδομένων(data acquisition).

Οι σύγχρονοι successive approximation ADC είναι διαθέσιμοι σε αναλύσεις από 8 bit έως 18 bit, με ρυθμούς δειγματοληψίας έως αρκετά MHz.Το block διάγραμμα λειτουργίας ενός SAR adc απεικονίζεται στην εικόνα 2.3.2.



Σχήμα 2.3.2:Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός ADC.[11]

Τα SAR ADC [11] διαθέτουν μια βαθμίδα δειγματοληψίας και συγκράτησης (SHA) για να διατηρούν το σήμα σταθερό κατά τη διάρκεια του κύκλου μετατροπής. Η μετατροπή ξεκινά με τον εσωτερικό μετατροπέα D/A (DAC μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό) να έχει ρυθμιστεί στο μισό της κλίμακας. Ο συγκριτής καθορίζει εάν η έξοδος SHA είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την έξοδο του DAC και το αποτέλεσμα της σύγκρισης αποθηκεύεται στον καταχωρείτε διαδοχικής προσέγγισης(SAR) ως 1 ή 0.

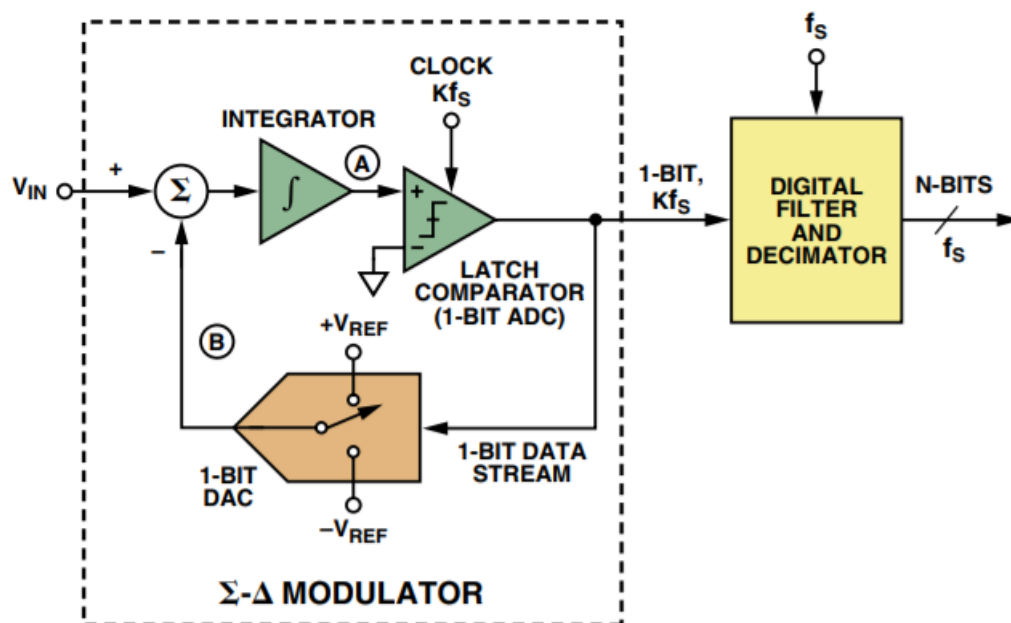
Στη συνέχεια, το DAC ρυθμίζεται είτε σε κλίμακα 1/4 είτε σε 3/4 κλίμακα (ανάλογα με την τιμή του MSB) και ο συγκριτής παίρνει την απόφαση για το δεύτερο bit της μετατροπής. Το αποτέλεσμα (1 ή 0) αποθηκεύεται στον καταχωρέα και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να καθοριστούν όλες οι τιμές των bit.

Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι η ακρίβεια και η γραμμικότητα της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής επαφίεται στα χαρακτηριστικά του εσωτερικού κυκλώματος μετατροπής από ψηφιακό σε αναλογικό. Συνοπτικά η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική είναι εύκολο στην χρήση και επιτυγχάνει υψηλές συχνότητες δειγματοληψίας έως και 5Mbps.

### Sigma-Delta ADCs:

Πρόκειται για την κατηγορία των adc που συναντάμε πιο συχνά όταν μας ενδιαφέρει στην εφαρμογή μας η υψηλή ευκρίνεια (high resolution) καθώς πρόκειται για μετατροπής με resolution από 16-24bits. Μεγάλη διαφορά παρουσιάζουν ωστόσο, τόσο σε σχέση με τους SAR όσο και με τους pipelined καθώς ο ρυθμός δειγματοληψίας αγγίζει τις μερικές εκατοντάδες hertz.

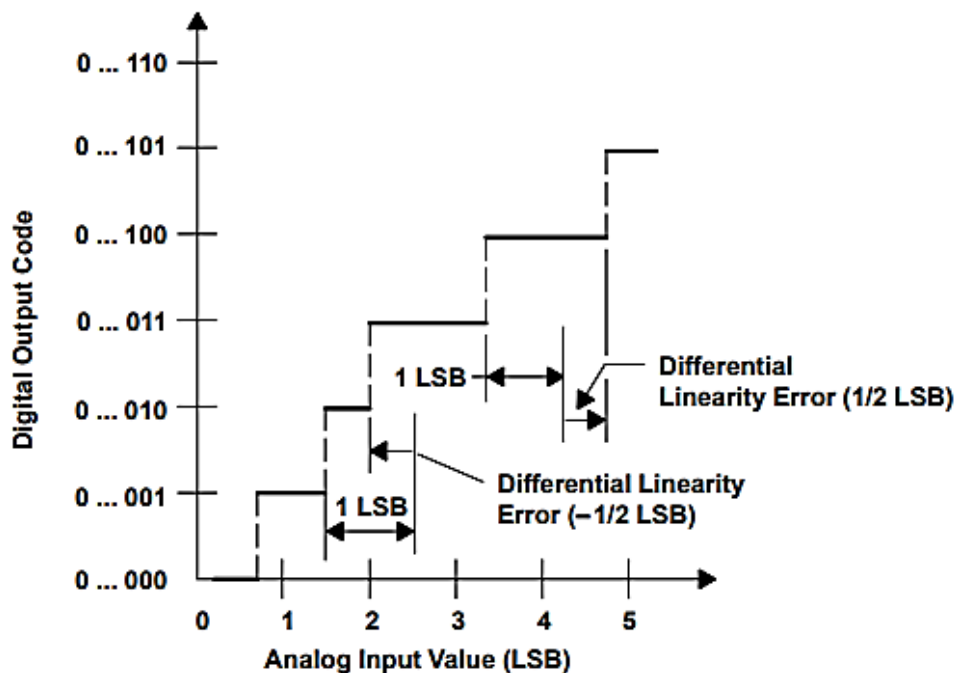
Για την ανάλυση της λειτουργίας ενός  $\Sigma$ - $\Delta$  adc απεικονίζεται και το block διάγραμμα της αρχιτεκτονικής του στην εικόνα 2.3.3



Σχήμα 2.3.3: Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός  $\Sigma$ - $\Delta$  ADC.[11]

Όπως παρατηρούμε από την εικόνα 2.3.3 η λειτουργία ενός  $\Sigma$ - $\Delta$  βασίζεται στην ύπαρξη ενός 1bit adc που λειτουργεί σαν συγκριτής με μανδάλωση (που σημαίνει ότι μέχρι να αλλάξει η κατάσταση στην είσοδο δεν αλλάζει ούτε η κατάσταση στην έξοδο), καθώς επίσης και από την ύπαρξη ενός 1bit dac που όπως φαίνεται λειτουργεί σαν διακόπτης. Αν και υπάρχουν και υλοποιήσεις με multibit (adc/dac) το συντριπτικό πλεονέκτημα σε αυτήν την υλοποίηση είναι εξαιρετική διαφορική γραμμικότητα.

Με τον όρο διαφορική μη γραμμικότητα στα κυκλώματα adc αναφερόμαστε στην εγγενή διαφορά που έχει η μετατροπή του adc σε σχέση με την ιδανική ενός LSB. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην εικόνα 2.3.4.



Εικόνα 2.3.0: Διάγραμμα που απεικονίζεται η διαφορική μη γραμμικότητα. Εδώ απεικονίζεται ένα σφάλμα διαφορικής μη-γραμμικότητας ίσο με  $\frac{1}{2}$  του LSB.[12]

Οπότε, όταν μιλάμε για διαφορική γραμμικότητα εννοούμε ότι είναι σχεδόν μηδαμινή η μη-γραμμικότητα.

Όπως παρατηρούμε από την εικόνα 2.3.4 όσο το σήμα εισόδου γίνεται πιο θετικό, τόσο ο αριθμός των 1 αυξάνεται, και ο αριθμός των 0 μειώνεται. Ομοίως, όσο το σήμα εισόδου γίνεται πιο αρνητικό, τόσο ο αριθμός των 1 μειώνεται και ο αριθμός των 0 αυξάνεται. Ο λόγος μεταξύ των 1 στην έξοδο προς το συνολικό αριθμό των δειγμάτων στο ίδιο διάστημα πρέπει επομένως να είναι ανάλογη με την τιμή dc της εισόδου.

Ο διαμορφωτής εκτελεί επίσης τη λειτουργία διαμόρφωσης θορύβου ενεργώντας ως χαμηλοπερατό φίλτρο για το σήμα και ως υψηλοπερατό φίλτρο για τον θόρυβο κβαντοποίησης.[11]

Αν και η απλή διάταξη ενός Σ-Δ adc ενός bit πρώτης τάξης είναι εγγενώς γραμμικό και μονότονο λόγω του ADC 1 bit και του DAC 1 bit, δεν παρέχει επαρκή διαμόρφωση θορύβου για εφαρμογές που είναι πιο απαιτητικές σε υψηλή ανάλυση. Για αυτό τον λόγο κάποιος μπορεί να εισάγει βαθμίδες ολοκληρωτών στην είσοδο σαν να προσθέτει μηδενικά σε ένα σύστημα που αναλύεται στο πεδίο της συχνότητας. Το μειονέκτημα με αυτήν την περίπτωση είναι το pipeline delay δηλαδή η καθυστέρηση εξαιτίας των ολοκληρωτών.

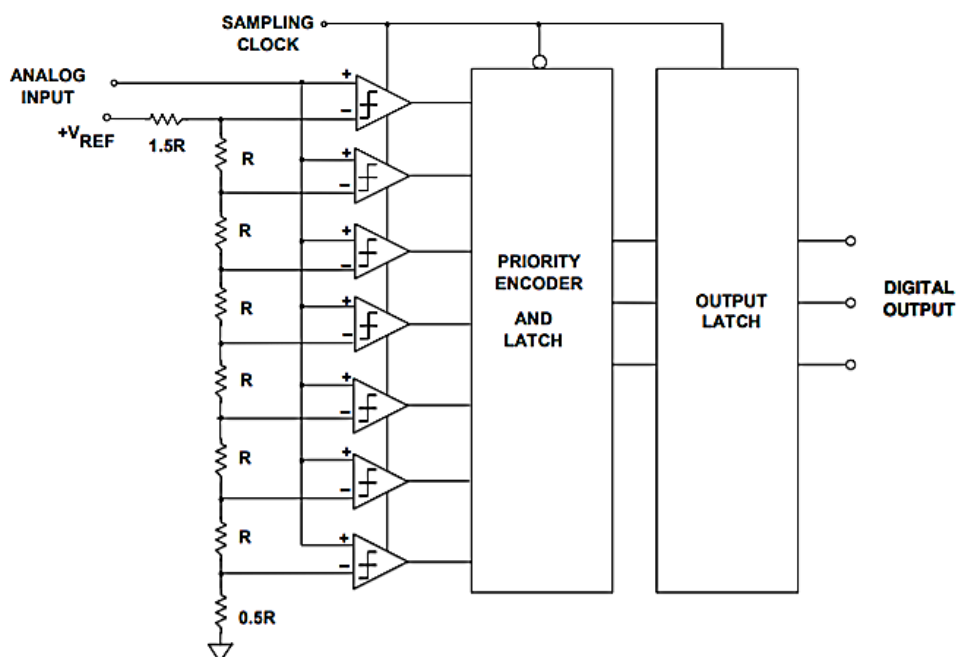
Εν κατακλείδι αν και είναι μια πολύ καλή αρχιτεκτονική για υψηλή ευκρίνεια δεν είναι φιλική ως προς τον χρήστη καθώς για να καταλήξει σε μια υλοποίηση μπορεί να χρειαστούν πολλές επανασχεδιάσεις.

## Flash ADCs

Μέχρι τώρα έχουμε περιγράψει μετατροπείς από αναλογικό σε ψηφιακό που η μέγιστη ταχύτητα δειγματοληψίας που αναφέρομαι είναι τα 5Mbps και την θεωρήσαμε και υψηλή . Υπάρχουν όμως εφαρμογές που χρειάζονται πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες δειγματοληψίας.

Μετατροπείς που έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα δειγματοληψίας ονομάζονται flash adc's. Αυτού του είδους οι μετατροπείς πρωτοεμφανίστηκαν 1960-1970.Σήμερα συναντώνται στο εσωτερικό των pipelined adc που δεν θα αναφερθούν σε αυτή την εργασία.

Οι διατάξεις flash adc μπορούν να πετύχουν ταχύτητες δειγματοληψίας μεγαλύτερες του 1Ghz . Στην εικόνα 2.3.5 παρουσιάζεται ένα μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός flash adc.



Σχήμα 2.3.5: Παράλληλο flash adc 3-bit.[11]

Ένα N-bit flash ADC αποτελείται από  $2N$  αντιστάσεις και  $2N - 1$  συγκριτές . Κάθε συγκριτής έχει μια τάση αναφοράς ανάλογη με αυτήν που προκύπτει από τον διαιρέτη τάσης όπως αυτός απεικονίζεται στην εικόνα 2.3.5.Έτσι κάθε συγκριτής έχει αναφορά 1 LSB υψηλότερη από αυτόν κάτω του στην αλυσίδα . Για μια δεδομένη τάση εισόδου, όλοι οι συγκριτές κάτω από ένα συγκεκριμένο σημείο θα έχουν την τάση εισόδου τους μεγαλύτερη από την τάση αναφοράς τους και μια έξοδο λογικό "1" και όλοι οι συγκριτές πάνω από αυτό το σημείο θα έχουν μια τάση αναφοράς μεγαλύτερη από την τάση εισόδου και έξοδο λογικό "0".

Με αυτόν τον τρόπο παράγεται η ακολουθία των bit(bitstream) που στην συνέχεια επεξεργαζόμαστε σε ένα μικροελεγκτή για να καθορίσουμε ποιά είναι η στάθμη μέτρησης.

Μετά την λήψη της ακολουθίας bit που παράγεται από ένα οποιοδήποτε adc από τα παραπάνω που αναφέραμε πρέπει να γίνει η διαδικασία αποκωδικοποίησης του για να γνωρίζουμε ποιά είναι η στάθμη του αναλογικού σήματος που μετρήσαμε.

Γενικά ισχύει ότι για adc με ανάλυση N-bit το βήμα κωδικοποίησης η αλλιώς η ακρίβεια του μετατροπέα μας είναι.

$$accuracy = \frac{V_{SAMPLED}}{2^N} \quad (2.1)$$

Όπως παρατηρούμε από την εξίσωση 2.1 αν έχουμε ένα αναλογικό σήμα με διαφορά δυναμικού 3V και έναν adc με 8bit ανάλυση η ακρίβεια που θα είχαμε θα ισούταν με :

$$accuracy = \frac{3}{2^8} = \frac{3}{255} \approx 11.7mV \quad (2.2)$$

Για να κάνουμε λοιπόν την αντίστροφη διαδικασία της αποκωδικοποίησης και να γνωρίζουμε ακριβώς ποιά είναι η μετρούμενη τιμή εμείς διαβάζουμε στον δέκτη μας ένα δυαδικό αριθμό με ελάχιστο το 00000000 και μέγιστο το 11111111. Έτσι αν για παράδειγμα λάβουμε ένα δυαδικό stream:

$$1110\ 0011 \xrightarrow{yields} 227(decimal) \quad (2.3)$$

Το τελευταίο βήμα είναι να πολλαπλασιάσουμε με την ακρίβεια για να δούμε ποιά είναι η μετρούμενη τιμή.

$$227 \cdot accuracy = 227 \cdot 11.7mV \approx 2.66Volts \quad (2.4)$$

### 2.4.3 Κυκλώματα ενσύρματης μετάδοσης δεδομένων(serial communication)

Για την μεταφορά των δεδομένων από το αισθητήριο μέχρι το σύστημα μέτρησης είτε αυτό λέγεται μικροελεγκτής είτε λέγεται αναλογικό ή ψηφιακό κύκλωμα απαιτείται κάποιο πρωτόκολλο ενσύρματης επικοινωνίας.

Τα πιο συνήθεις είναι απεικονίζονται στον πίνακα 2.1

Πίνακας 2.1: Μερικά από τα πιο συνήθεις πρωτόκολλα επικοινωνίας και οι συγκριτικές τους διαφορές.

Σύγκριση πρωτοκόλλων επικοινωνίας							
Όνομα	Σύγχρονο/Ασύγχρονο	Τύπος	Πολυπλεξία	Μέγιστες συσκευές	Ταχύτητα μετάδοσης	Μέγιστη απόσταση	Αριθμός ακροδεκτών
RS-232	Ασυγχ.	peer	full	2	20Kbps	15m	2
RS-485	Ασυγχ.	multi-point	half	32	10Mbps	1200m	2
I2 C	Συγχ.	multi-master	half	-	3.4Mbps	25m	2
SPI	Συγχ.	multi-master	full	-	60Mbps	10m	3+1
U(S)ART	Συγχ./ Ασυγχ	master/slave	Full/half	-	5Mbps	>1000m	4

Στο πίνακα 2.1 παρατηρούμε ότι περιγράφονται οι δυνατότητες το κάθε πρωτοκόλλου αναλυτικά . Στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία μας ενδιαφέρει περισσότερο το πρωτόκολλο I2C για αυτό και η λειτουργία του θα αναλυθεί εκτενέστερα στο κεφάλαιο της υλοποίησης της κλωσσομηχανής.

## **2.5 Επίλογος.**

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρθηκαν τα είδη των αισθητήρων που θα μας απασχολήσουν σε μελλοντικά κεφάλαια καθώς και γενικά στην υλοποίηση του κυκλώματος της εργασίας. Παρουσιάστηκαν επίσης αναλυτικά τα περισσότερα ήδη μετατροπέων αναλογικού σε ψηφιακό καθώς επίσης και τα περισσότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας.

## Κεφάλαιο 3ο:

### Σχεδίαση κυκλωμάτων επωαστικής μηχανής

#### 3.1 Πρόλογος.

Βασικοί άξονες γύρω από τους οποίους κινήθηκε οι πτυχιακοί για την σχεδίαση των απαραίτητων κυκλωμάτων έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα δυο κεφάλαια αλλά θα αναφερθούν και εδώ συνοπτικά.

- Διατήρηση θερμοκρασίας μέχρι ενός ανώτατου ορίου
- Διατήρηση υγρασίας μέχρι ενός ανώτατου ορίου

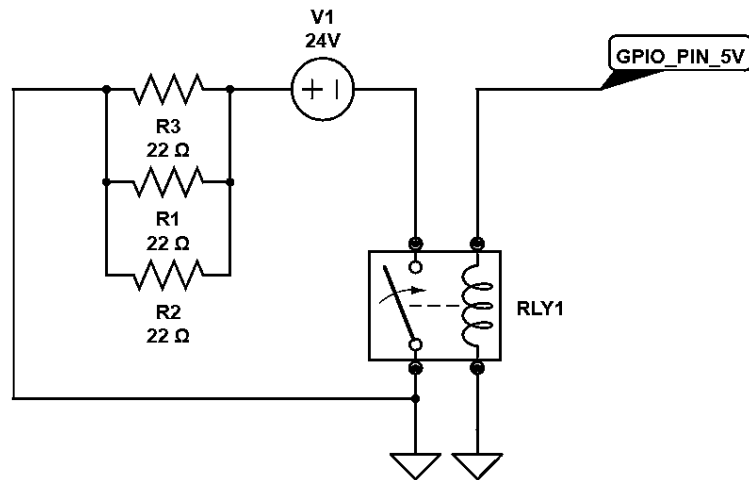
#### 3.2 Κύκλωμα παραγωγής και συντήρησης θερμοκρασίας εντός της επωαστικής μηχανής.

Για την παραγωγή θερμοκρασίας εντός του κλειστού θαλάμου της επωαστικής μηχανής χρησιμοποιήθηκαν τα υλικά που περιγράφονται στο πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1:Υλικά κυκλώματος θέρμανσης θαλάμης.

Όνομα υλικού	Ποσότητα	Τιμή
Αντίσταση 25Watt/220hm	3	€2.40
Relay	2	€1.80
Ανεμιστήρας 12Volt	1	€3.80
Πηγή τάσεις 24/12Volt	1+1	-
Arduino Uno 8bit	1	€3.00
1N4148 δίοδος	1	

Όπως αναφέρεται και στο πίνακα 3.1 το βασικό υλικό για την παραγωγή θερμότητας μέσα στην θαλάμη του επωαστήρα είναι οι αντιστάσεις το κύκλωμα ελέγχου τον οποίον απεικονίζεται στην εικόνα 3.1.1.



Σχήμα 3.1: Κύκλωμα οδήγησης αντιστάσεων μέσα από τα gpio του Arduino.[26]

Όπως παρατηρούμε στην εικόνα 3.1 οι τρεις αντιστάσεις που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της αναμενόμενης θερμοκρασίας στον θάλαμο του επωαστήρα είναι παράλληλες μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει διότι θέλουμε να γλυτώσουμε τα 2 έξτρα relay για να μειώσουμε το κόστος της κατασκευής μιας και το relay θεωρείτε ενά ακριβό υλικό.

Ο τρόπος λειτουργίας του κυκλώματος που απεικονίζεται είναι ο εξής:

- Με το άνοιγμα της μηχανής ένα pin(ακροδέκτης) του arduino χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει το relay το οποίο με την σειρά του παρέχει τα 24Volt στις αντιστάσεις.
- Οι αντιστάσεις ζεσταίνονται μέχρις ότου η θερμοκρασία εντός του θαλάμου να φτάσει τους 38,5 ° C.
- Για να διατηρήσουμε την θερμοκρασία εντός του θαλάμου κάθε φορά που η θερμοκρασία ξεπερνάει η πέφτει κατά 0,5° C ανοιγοκλείνουμε το relay αναλόγως μέσω του pin του μικροελεγκτή που χρησιμοποιούμε σαν GPIO.

Η ανάλυση του κυκλώματος της εικόνας 3.1 είναι πολύ απλή. Εφόσον έχουμε τρεις αντιστάσεις R1,R2,R3 =22Ohm και σε παραλληλία αυτό αυτομάτως σημαίνει ότι η τάση στα άκρα και των τριών αντιστάσεων είναι 24Volt.

Σύμφωνα με το νόμο του ohm:

$$\begin{cases} R = \frac{V}{I} \rightarrow I = \frac{V}{R} \rightarrow I_R = 1.1A \\ P = VI \rightarrow P = 24 \cdot 1.1 \rightarrow P = 26.4W \end{cases} \quad (3.1)$$

Έτσι λοιπόν προκύπτει :

$$\begin{cases} I_{TOT} = 3 \cdot I_R \rightarrow I_{TOT} = 3.3A \\ P_{TOT} = 3 \cdot P \rightarrow P_{TOT} = 79.2W \end{cases} \quad (3.2)$$

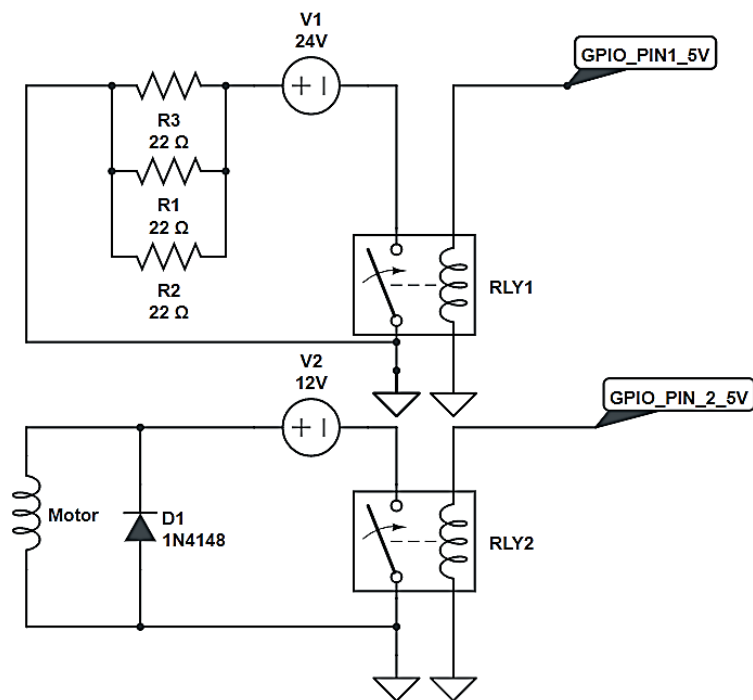
Συνολικά λοιπόν το δικτύωμα των αντιστάσεων καταναλώνει περίπου 80Watt και 3.3Amp στα 24Volt.Για αυτό τον λόγο το τροφοδοτικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν τροφοδοτικό 24Volt 3.75A 90Watt.

Για την διάχυση του θερμού αέρα εντός του θαλάμου χρησιμοποιήθηκε ένας dc ανεμιστήρας με τάση λειτουργίας τα 12Volt όπως αυτός που απεικονίζεται στην σχήμα 3.1.2



Σχήμα 3.1.2:DC ανεμιστήρας 12Volt 0.84Watt της Maq Lev.[23]

Έτσι λοιπόν το τελικό κύκλωμα που χρησιμοποιούμε για την θέρμανση του θαλάμου είναι αυτό που παρατηρούμε στην εικόνα 3.1.3.



Σχήμα 3.1.3: Κύκλωμα θέρμανσης θαλάμου επωαστήρα.[26]

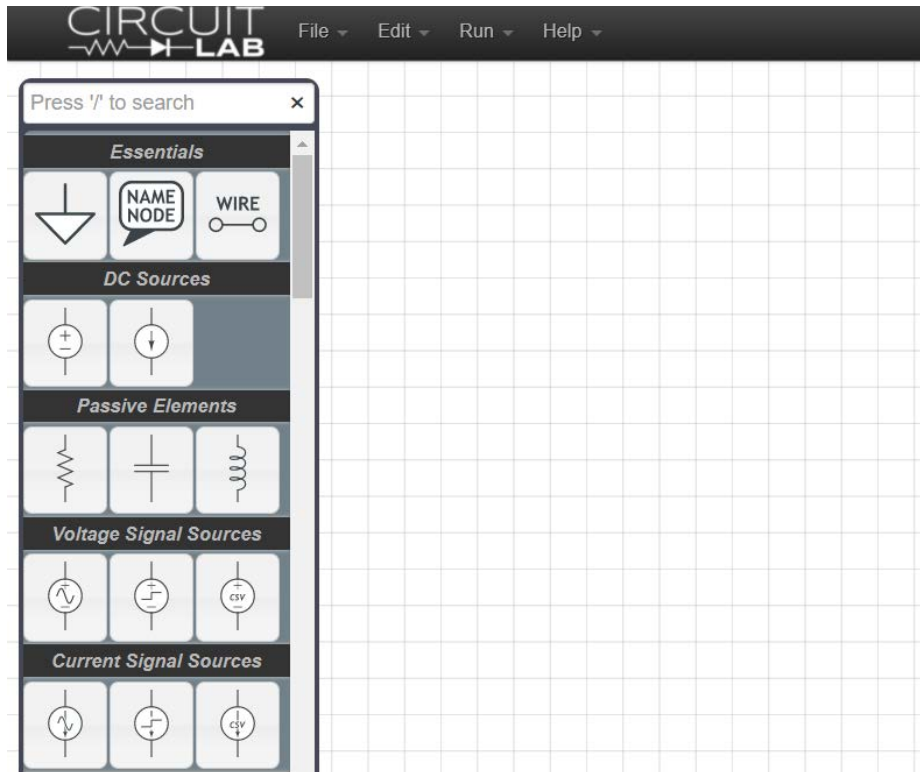
Στο σχήμα 3.1.3 παρατηρούμε ότι παράλληλα με το ισοδύναμο κύκλωμα του dc ανεμιστήρα βάζουμε σε παραλληλία και μία δίοδο προστασίας η οποία αποκαλείται συχνά στην βιβλιογραφία ως flyback ή freewheeling δίοδος.

Η δίοδος ελευθέρως ροής απαντάτε πιο συχνά σε κυκλώματα που διακόπτουμε την τάση σε επαγωγικά φορτία όπως π.χ κυκλώματα με relay(σαν το δικό μας) κυκλώματα οδηγούς μοτέρ όπως H-Bridge και

άλλα . Ο λόγος που μπαίνει είναι για προστασία καθώς όταν διακόπτουμε την τάση σε ένα επαγωγικό φορτίο αυτό με την σειρά του για να διατηρήσει την ηλεκτρική του κατάσταση παράγει αντίστροφη τάση στα άκρα που δυνητικά μπορεί να μας αχρηστεύσει το relay.

Το μειονέκτημα όταν χρησιμοποιούμε μια δίοδο ελευθέρως ροής είναι ότι καθυστερεί σημαντικά την απελευθέρωση του relay.

Για την δημιουργία των παραπάνω κυκλωμάτων στην σχήμα 3.1.1,3.1.3 χρησιμοποιήθηκε ένας online circuit editor όπως παρατηρούμε στην σχήμα 3.1.4.



Σχήμα 3.1.4: CircuitLab περιβάλλον σχεδίασης κυκλωμάτων.[26]

Προκειμένου να ελέγξουμε την θερμοκρασία καθώς και την υγρασία χρησιμοποιήσαμε το αισθητήριο AM2302 της εταιρίας adafruit . Ο λόγος προτίμησής του σε σχέση με άλλα αισθητήρια της ίδιας οικογένειας(dht22) είναι ότι το συγκεκριμένο δεν χρειάζεται κάποια pull-up αντίσταση καθώς την έχει ενσωματωμένη .

Το εν λόγω αισθητήριο παρουσιάζεται στην εικόνα 3.1.3.



Εικόνα 3.1.3: Αισθητήριο θερμοκρασίας υγρασίας AM2302.[18]

Κύρια χαρακτηριστικά του αισθητηρίου αυτού αντλούμε από το datasheet του [18]:

- **Τάση λειτουργία: 3.3-5.5 Volt.**
- **Εύρος λειτουργίας : 0-100% RH και -40~80Celsius.**
- **Ακρίβεια: +-2%RH(Max +-5%RH) καθώς και +-0.5Celsius**

Ίσως και το πιο σημαντικό για ένα αισθητήριο είναι το repeatability δηλαδή επαναληψιμότητα . Αυτό το χαρακτηριστικό ενός αισθητηρίου καθορίζει ουσιαστικά και την πιστότητα του καθώς πρόκειται για το πόσες φορές θα πάρουμε την ίδια μέτρηση αν αυτή δεν μεταβληθεί . Στο συγκεκριμένο αισθητήριο το repeatability είναι: υγρασία +-1%RH θερμοκρασία +-0.2Celsius.

Όπως είπαμε και στο πρώτο κεφάλαιο η ανακτά διαφορά θερμοκρασίας είναι μέχρι 1° C κάτι που εξυπηρετείται από τον συγκεκριμένο αισθητήρα.

### 3.3 Κύκλωμα ελέγχου βηματικού κινητήρα για τον έλεγχο της κλίσης των αυγών.

Για να βοηθήσουμε στην βέλτιστη παραγωγή των αυγών εσωτερικά του επωαστήρα βρίσκεται η σχάρα στήριξης των αυγών . Η κλίση της σχάρας ελέγχεται από ένα βηματικό κινητήρα η λειτουργία του οποίου καθώς και η χρήση του κατάλληλου κυκλώματος οδήγησης περιγράφεται παρακάτω.

#### 3.3.1 Βηματικός κινητήρας : Λειτουργία και κύκλωμα οδήγησης.

Ο βηματικός κινητήρας είναι μια ηλεκτρομηχανική [14] συσκευή που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Επίσης, είναι ένας σύγχρονος ηλεκτροκινητήρας χωρίς ψήκτρες που μπορεί να χωρίσει μια πλήρη περιστροφή σε έναν εκτεταμένο αριθμό βημάτων.

Η θέση του κινητήρα μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια χωρίς μηχανισμό ανάδρασης, αρκεί ο κινητήρας να έχει τις σωστές προδιαγραφές για την εφαρμογή που προορίζεται . Ο βηματικός κινητήρας

χρησιμοποιεί τη θεωρία λειτουργίας των μαγνητών για να κάνει τον άξονα του κινητήρα να περιστρέφεται σε μια ακριβή απόσταση όταν παρέχεται σε αυτόν ηλεκτρικός παλμός.

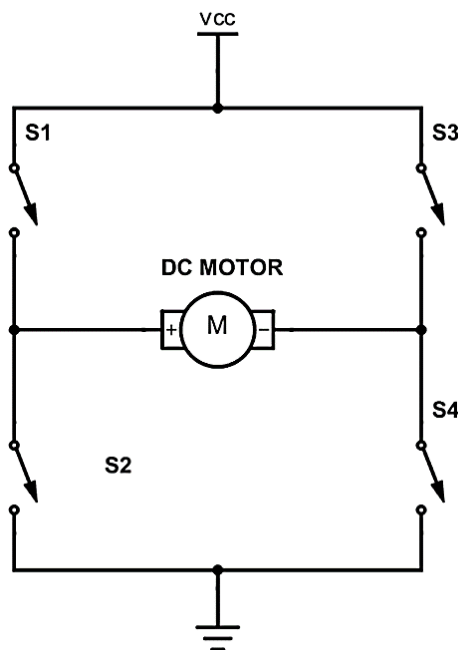
### Οδήγηση βηματικού κινητήρα:

Γενικά για να οδηγήσουμε ένα βηματικό κινητήρα υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αλλά εμείς θα επικεντρώσουμε στην οδήγηση μοτέρ μέσω H-Γέφυρας.

### H-Bridge:

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα θέλουμε ανά κάποια περίοδο ημερών να γυρνάμε την σχάρα κάποιες μοίρες προς τα αριστερά και στην συνέχεια κάποιες μοίρες δεξιά. Αυτές οι περιστροφές προϋποθέτουν ότι μπορούμε να ελέγξουμε την γωνία περιστροφής του κινητήρα μας.

Στην ηλεκτρονική το κύκλωμα ελέγχου ενός dc κινητήρα και της περιστροφής του ονομάζεται H-Bridge και η συνδεσμολογία του απεικονίζεται στην εικόνα 3.2.1.



Σχήμα 3.2.1: Απλή απεικόνιση κυκλώματος H-Bridge. (P-SPICE Prog).

Όπως παρατηρούμε και στην εικόνα 3.2.1 όλη η σκέψη πίσω από τον τρόπο περιστροφής του κινητήρα μας είναι διακοπτικό κύκλωμα που επιτρέπει την διέλευση του ρεύματος ανάλογα με την επιθυμητή γωνία στρέψης.

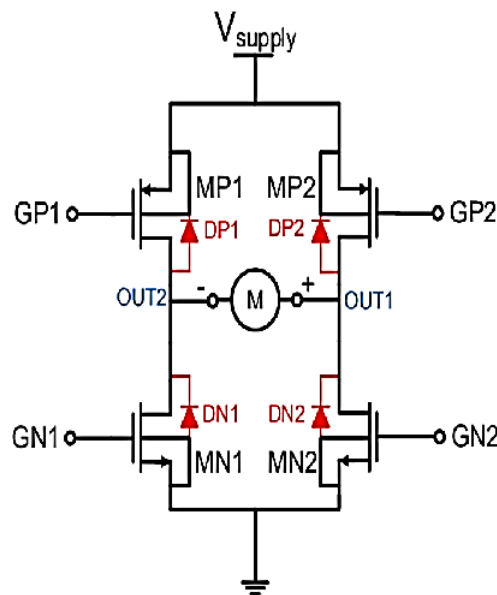
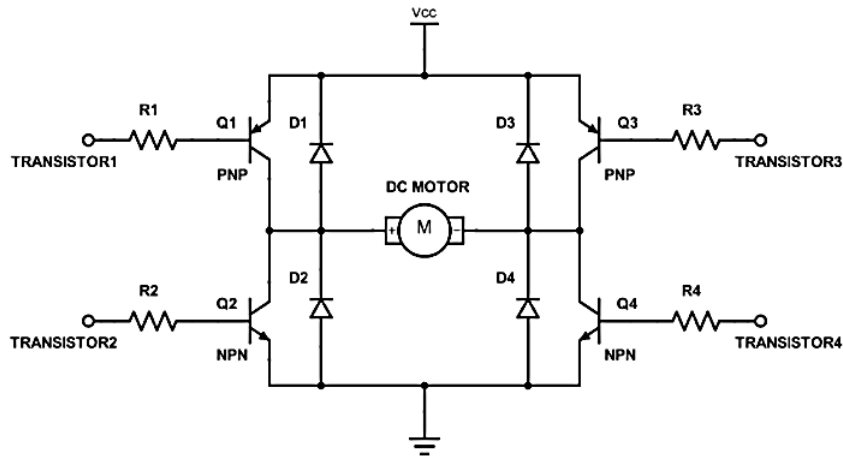
- **Αριστερόστροφη γωνία στρέψης:**

Στην περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να στρέψει τον κινητήρα του αριστερόστροφα οι διακόπτες που πρέπει να είναι κλειστοί είναι ο S1-S4 ενώ οι διακόπτες που πρέπει να είναι ανοιχτοί είναι οι S3-S2.

- **Δεξιόστροφη γωνία στρέψης:**

Στην περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να στρέψει τον κινητήρα του δεξιόστροφα οι διακόπτες που πρέπει να είναι κλειστοί είναι ο S3-S2 ενώ οι διακόπτες που πρέπει να είναι ανοιχτοί είναι οι S1-S4

Η υλοποίηση μια διάταξης H-Bridge μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2.2 αλλά η διάταξη που προτιμήθηκε για αυτήν την εργασία είναι αυτή που αποτελείται από P-N channel mosfet.



Σχήμα 3.2.2: Συνδεσμολογίες H-Bridge. Στην επάνω εικόνα παρατηρείται μια διάταξη h-bridge αποτελούμενη από npn και pnp transistor ενώ στην κάτω μια διάταξη με P-N channel mosfet. (P-SPICE Prog).

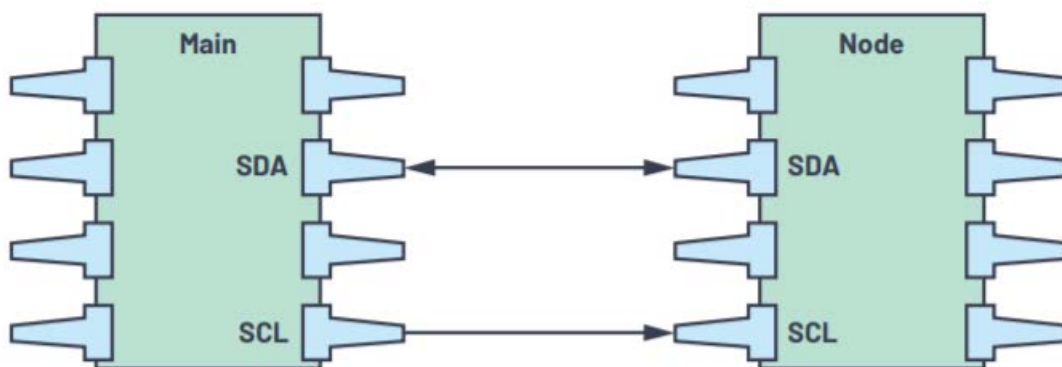
### 3.4 Πρωτόκολλο επικοινωνίας δεδομένων με LCD οθόνη.

Ένα από τα βασικά μελήματα της συσκευής είναι ο χρήστης να μπορεί να επιτηρεί την συσκευή καθόλη την διάρκεια της επώασης . Για το σκοπό αυτό θεωρήθηκε θεμιτό να χρησιμοποιηθεί μια οθόνη LCD(Liquid crystal display) για την απεικόνιση των δεδομένων θερμοκρασίας υγρασίας.

Για να μπορέσουμε να στείλουμε ωστόσο δεδομένα σε μια οθόνη LCD είναι απαραίτητη η επικοινωνία με κάποιο πρωτόκολλο όπως αυτά που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2.3.3.

### 3.4.1 Πρωτόκολλο I2C για μετάδοση δεδομένων.

Όπως προαναφέρθηκε πρόκειται για ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας με μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης τα 3.4Mbps πολύ απλό στην χρήση του καθώς μπορεί να υλοποιήσει έναν δίαυλο επικοινωνίας με 2 ακροδέκτες. Το βασικό πλεονέκτημα του I2C είναι ότι μπορεί να συνδέσει πολλούς master με πολλούς slave για αυτό τον λόγο αποκαλείται και multi-master.



Σχήμα 3.3.1: Επικοινωνία master-slave (main-node) με χρήση 2 ακροδεκτών.[15]

Όπως παρατηρούμε στην εικόνα 3.3.1 οι δυο ακροδέκτες που χρειαζόμαστε για την επικοινωνία είναι:

- **SDA:** Είναι η γραμμή μετάδοσης και λήψης δεδομένων (serial data) μεταξύ master-slave
- **SCL:** Είναι η γραμμή που μεταφέρει το σήμα ρολογιού. Δημιουργείται πάντοτε από τον master (main).

Ο τρόπος που αποστέλλονται τα δεδομένα μέσα της γραμμής SDA απεικονίζεται στην εικόνα 3.3.2 καθώς δεν πρόκειται για μια απλή σειριακή μετάδοση.



Εικόνα 3.3.2: Απλό αποστολή μηνύματος μέσω SDA.

- **Start Condition:**

Όπως υποδηλώνει το όνομα, μια συνθήκη εκκίνησης εμφανίζεται πάντα στην αρχή μιας μετάδοσης και αρχικοποιείται από την κύρια συσκευή. Ουσιαστικά πρόκειται για μια απλή μετάβαση της γραμμής SDA από HIGH → LOW όσο η γραμμή SCL είναι High ώστε να σηματοδοτήσει την αρχή μετάδοσης.

- **Address Frame:**

Ο master αποστέλλει σε μορφή 7 ή 10 bit το address frame το οποίο ο κάθε δέκτης το συγκρίνει στην συνέχεια με το δικό του address για να γνωρίζει αν ο master θέλει να “μιλήσει μαζί του”. Ο λόγος της

σύγκρισης είναι ότι επειδή η αποστολή της διεύθυνσης γίνεται broadcast δηλαδή σε κοινή γραμμή όλοι slave γνωρίζουν το address που θέλει να μιλήσει ο master.

- **Read/Write:**

Καθορίζει αν η διεύθυνση θα γράψει η θα διαβάσει το R/W bit είναι λογικό “1” τότε πρόκειται για ανάγνωση ενώ αν είναι λογικό “0” μιλάμε για εγγραφή.

- **ACK/NCK:**

Στο πρωτόκολλο I2C είναι απαραίτητο ο δέκτης να αναγνωρίσει η όχι (ack/nck) κάθε byte που του αποστέλλεται.

- **Data Frame:**

Αποτελεί το μήνυμα που θέλουμε να στείλουμε είναι 8 bit και το πρώτο bit είναι πάντα το MSB. Το data frame ακολουθείται από ένα ack/nck bit και η διαδικασία ολοκληρώνεται με ένα stop bit.

- **Stop Bit:**

Είναι η αντίθετη διαδικασία από αυτήν του start bit .Το sda μεταβαίνει από λογικό 0→1 για να ολοκληρωθεί η διαδικασία αποστολής.

Στην δική μας εργασία έγινε χρήση LCD οθόνης 16στηλών και 2 γραμμών της εταιρίας RAYSTAR OPTRONICS όπως παρατηρείται στην εικόνα 3.1.2.

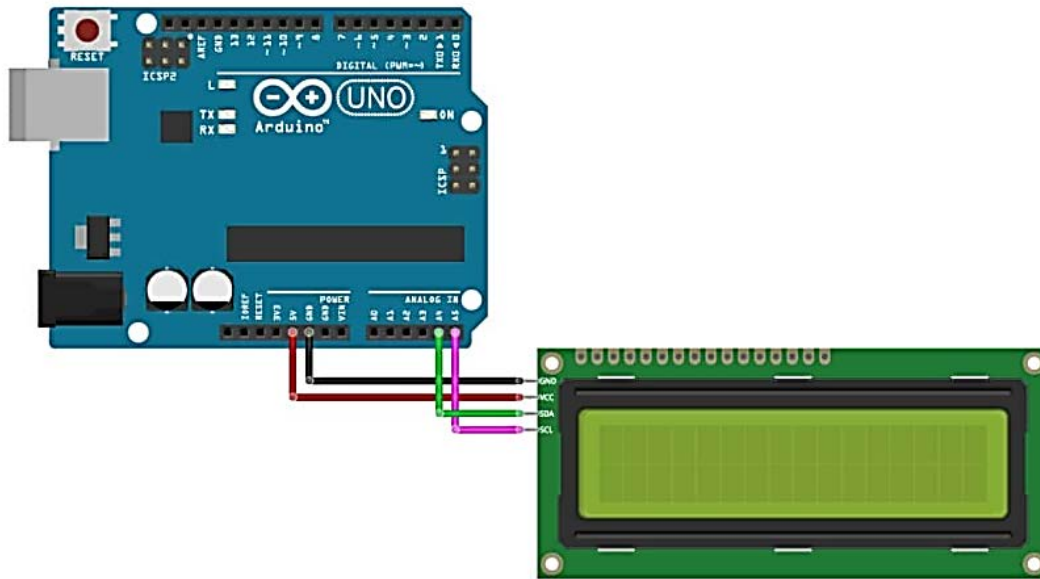


Εικόνα 3.1.2: LCD οθόνη 16X2 της raystar optronics .[17]

Για την επικοινωνία της οθόνης με τον μικροελεγκτή χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο I2C που περιγράψαμε παραπάνω για την αποστολή δεδομένων θερμοκρασίας ,υγρασίας.

### 3.4.2 Συνδεσμολογία LCD οθόνης.

Η συνδεσμολογία της LCD οθόνης παρατηρείται στην εικόνα 3.3.2. Το μόνο που χρειάζεται βάση του πρωτοκόλλου I2C είναι η 2 ακροδέκτες για την συνδεσμολογία(SDA,SCL) καθώς και δυο ακροδεκτών για τροφοδοσία (VCC,GND).



Σχήμα 3.3.2: Συνδεσμολογία Arduino-LCD με χρήση I2C πρωτοκόλλου.[25]

Στο επόμενο κεφάλαιο θα περιγραφεί ο μικροελεγκτής arduino uno και οι πόροι που αυτός διαθέτει εκτενώς. Το σημαντικό είναι να αναφερθεί εδώ ότι το μόνο που χρειαζόμαστε από μεριάς μικροελεγκτή είναι 2 καλώδια που πηγαίνουν στις αποκλειστικές θύρες για I2C χρήση A4-SDA, A5-SCL.

### 3.5 Επίλογος.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκαν όλα τα κυκλώματα που υλοποιήθηκαν για την λειτουργία της μηχανής καθώς και την επιτήρηση των σημαντικών συνθηκών περιβάλλοντος που πρέπει να τηρούνται για την εκκόλαση των αυγών.

Σε παρακάτω κεφάλαια θα μελετηθεί ο αλγόριθμος καθώς και ο τρόπος κατασκευής της μηχανής αυτόματης επώασης.

## Κεφάλαιο 4ο:

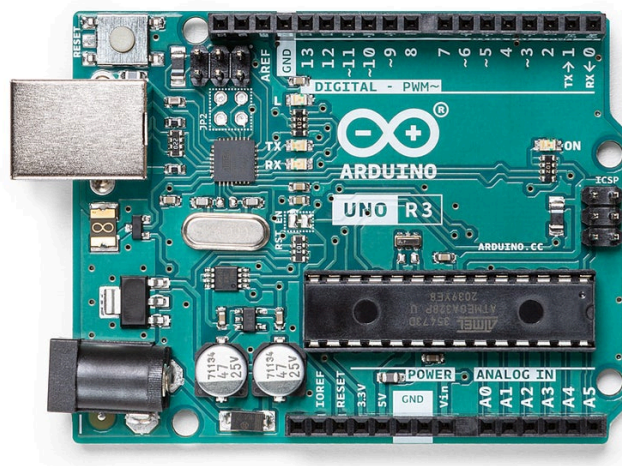
### Αλγόριθμος επιτήρησης επωαστικής μηχανής

#### 4.1 Πρόλογος.

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί το σύστημα μικροελεγκτή που έχει γραφεί ο κώδικας της πτυχιακής καθώς επίσης θα γίνει και εκτενής αναφορά στις επιμέρους συναρτήσεις οι οποίες υλοποιήθηκαν για την λειτουργία του θαλάμου επώασης.

#### 4.2 Μικροελεγκτής Arduino Uno.

Το σύστημα που επιλέχθηκε για την υλοποίηση του κώδικα της πτυχιακής είναι ένα από τα ποιά γνωστά στην αγορά είτε για την δημιουργία κάποια απλής εργασίας που χρειάζεται έλεγχο είτε για την εποπτεία μιας σημαντικής εργασίας όπως αυτή της επώασης .



Εικόνα 4.1: Μικροελεγκτής Arduino Uno Rev3.[16]

Στην εικόνα 5.1 απεικονίζεται το σύστημα μικροελεγκτή που χρησιμοποιήθηκε για την πτυχιακή εργασία.

Ο λόγος που επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής είναι κυρίως η σχέση ποιότητας τιμής αλλά σε δεύτερο χρόνο πολύ σημαντικό είναι ότι η τεχνολογία ανοιχτού κώδικα πάνω στην οποία πατάει το arduino έχει δημιουργήσει ένα abstraction layer στις βιβλιοθήκες του , που επιτρέπει σε οποιονδήποτε χρήστη να γράψει κώδικα χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις.

Ο πυρήνας του συγκεκριμένου συστήματος είναι ο μικροελεγκτής της atmel [17] ATMEGA328P. Πρόκειται για έναν μικροελεγκτή 8bit αρχιτεκτονικής χρονισμένος στα 16Mhz . Κάποια από τα ποιά σημαντικά πλεονεκτήματα του μικροελεγκτή είναι:

- **14 I/O Pins**
- **6 Analog Pins**
- **32kB Flash** μνήμη αρκετή για ένα πρόγραμμα επιτήρησης χωρίς κάποιο επιβαρυσμένο έλεγχο
- **1kB EEPROM** μνήμης για αποθήκευση μεταβλητών που δεν θέλουμε να χαθούν μετά την διακοπή της τάσης στον μικροελεγκτή.

### Ακροδέκτες παροχής τάσης/ρεύματος

Οι Ακροδέκτες ρεύματος αποτελούνται από

- 3.3V: 3.3V έξοδος.
- 5V: δύο 5V έξοδοι.
- RES: ακροδέκτης όπου αν συνδεθεί ένα normally open push button

Ως προς την γείωση, τότε λειτουργεί σας το reset button που βρίσκεται πάνω στην πλακέτα.

- GND: 2 γειώσεις.
- VIN: Η τάση εισόδου στην πλακέτα Arduino όταν είναι συνδεδεμένο με μια εξωτερική πηγή ενέργειας (πχ μια άλλη ρυθμιζόμενη πηγή ενέργειας) .

Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης διασταυρώσεων σύμφωνα με το ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων.

### Αναλογικοί ακροδέκτες

Αναλογικοί ακροδέκτες (4 εικόνα 3.1.) είναι οι συντελεστές όπου θα συνδέσετε το αναλογικά συστατικά, όπως τα ποτενσιόμετρα και άλλους αισθητήρες. Αν και οι ψηφιακές εισοδοί / έξοδοι λειτουργούν μόνο με 0 και 1 τιμές, οι αναλογικές λειτουργούν με τιμές 0 έως 1023[16].

### Ψηφιακοί ακροδέκτες

Ψηφιακοί ακροδέκτες (7 εικόνα 3.1.) μπορεί να λειτουργήσουν ως εισροές ή εκροές και να ορίσετε πώς θα λειτουργήσουν με την pinMode() λειτουργία[16].

Οι πείροι που έχουν το "~" μπροστά από τα νούμερα είναι PWM (Pulse Width Modulation) έξοδοι, και μπορούν να μιμηθούν αναλογικής εξόδου με λειτουργία analogWrite (). Όταν χρησιμοποιείτε αυτή τη λειτουργία, διαμορφώνετε το πλάτος του παλμού, μεταβάλλοντας τη συχνότητα max και χαμηλών παλμών (0 ή 1), μιμούμενοι ένα αναλογικό παλμό[25].

### Ακροδέκτες σειριακής επικοινωνίας

Οι ακροδέκτες σειριακής επικοινωνίας είναι:

RX: είναι ο ακροδέκτης που δέχεται τις πληροφορίες.

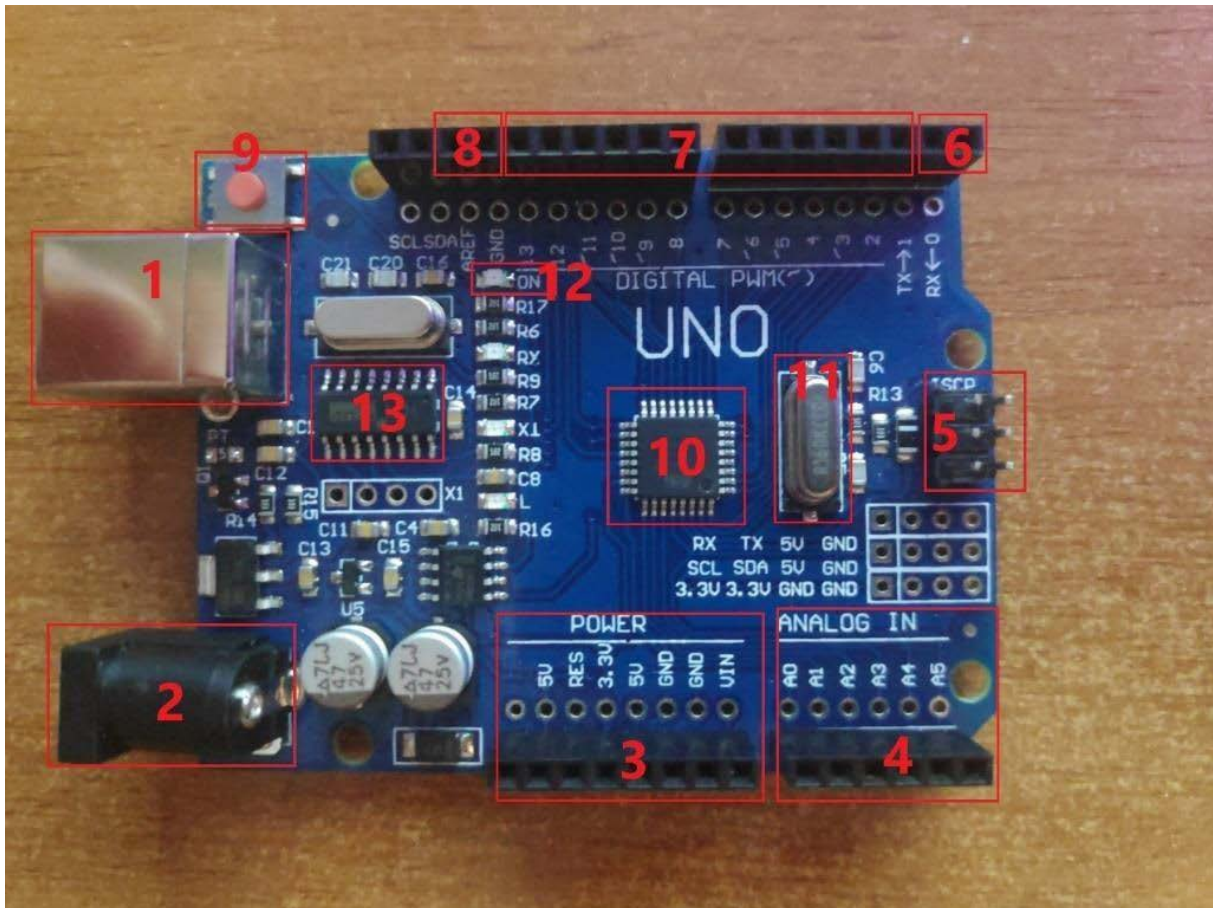
TX: είναι ο ακροδέκτης που στέλνει τις πληροφορίες[25].

### Ακροδέκτης τάσης αναφοράς

Ο ακροδέκτης τάσης αναφοράς ή αλλιώς AREF είναι ακροδέκτης όπου δίνουμε στο Arduino μία τάση αναφοράς από εξωτερική πηγή[16][24].

### Ακροδέκτες σειριακού προγραμματισμού

Οι ακροδέκτες σειριακού προγραμματισμού ICSP είναι οι ακροδέκτες οι οποίοι επιτρέπουν στον χρήστη να προγραμματίσει το υλικολογισμικό του Arduino[16][25].



Εικόνα 4.2: Αρίθμηση εισόδων/εξόδων και ακροδεκτών.[24]

Για την ομαλή λειτουργία της μηχανής επώασης χρειαστήκαμε πολλούς από το παραπάνω διαθέσιμους πόρους . Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι πόροι που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του κώδικα.

Πίνακας 5.1:Προσ απαιτούμενοι πόροι για την υλοποίηση του κώδικα.

I2C Θύρες	GPIO	PWM
1	9 pins	1 pin

Όπως παρατηρούμε στο πίνακα 5.1 χρησιμοποιήθηκαν πόροι όπως το I2C,PWM όπως επίσης gpio για έλεγχο δεδομένων(θερμοκρασία, υγρασία),καθώς και για έλεγχο καταστάσεων (relay αντιστάσεων, relay ανεμιστήρα, κτλ).

### 4.3 Προγραμματιστικό περιβάλλον Arduino IDE

Το Arduino IDE είναι ένα περιβάλλον προγραμματισμού που επιτρέπει στον χρήστη να γράφει προγράμματα και να τα φορτώνει στον μικροελεγκτή. Είναι μία εφαρμογή πολλαπλών πλατφορμών (Windows, macOS, Linux). Η γλώσσα προγραμματισμού είναι φιλική ως προς τον χρήστη, γράφεται σε συναρτήσεις από C και C++ και βασίζεται στην γλώσσα προγραμματισμού Wiring[14]. Όταν ο χρήστης έχει ολοκληρώσει τον κώδικα του το IDE μεταγλωττίζει και μεταφράζει τον κώδικα σε δεκαεξαδικό με το πρόγραμμα avrdude.

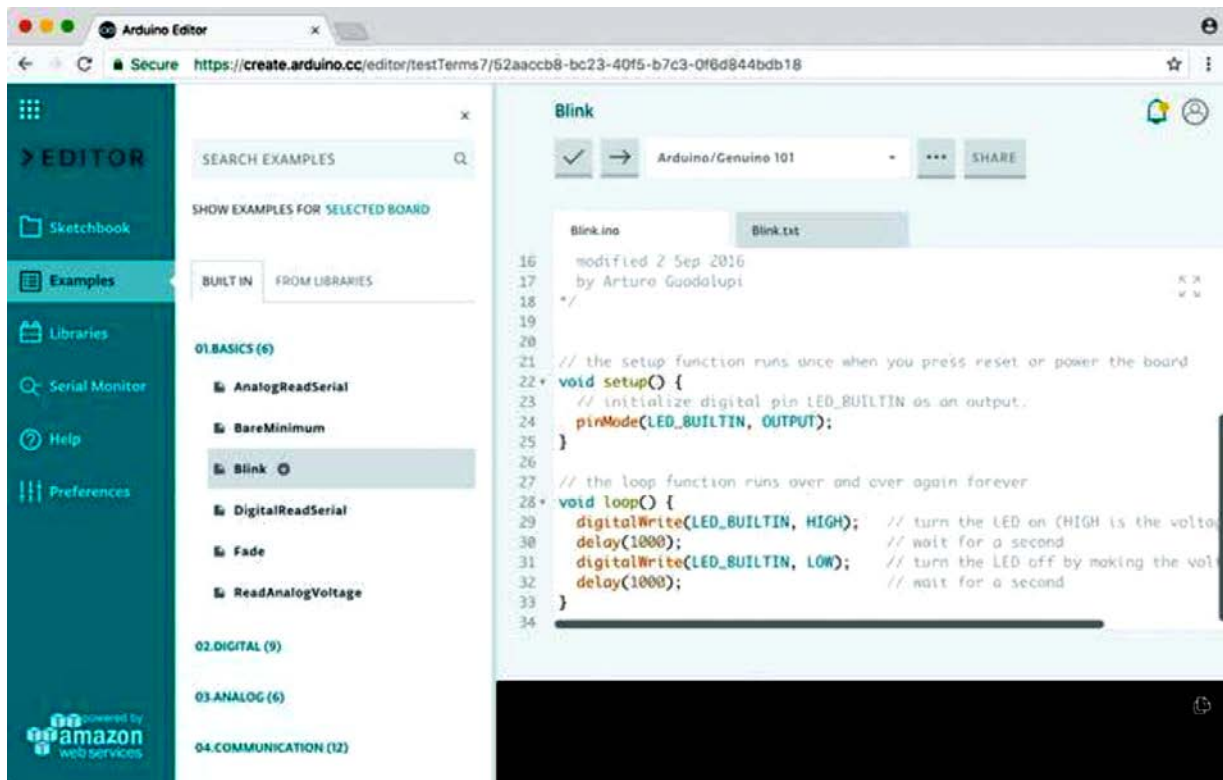
Μετά την μετάφραση του κώδικα, ο IDE μεταφορτώνει το πρόγραμμα στον μικροελεγκτή.

Το Arduino IDE διαθέτει έναν αναλυτή κώδικα ο οποίος θα ελέγξει τον κώδικα του χρήστη πριν το στείλει στο Arduino. Σε περίπτωση που βρεθεί λάθος εμφανίζεται στο κάτω μέρος δείχνοντας την σειρά που βρίσκεται και μία σύντομη περιγραφή του λάθους.



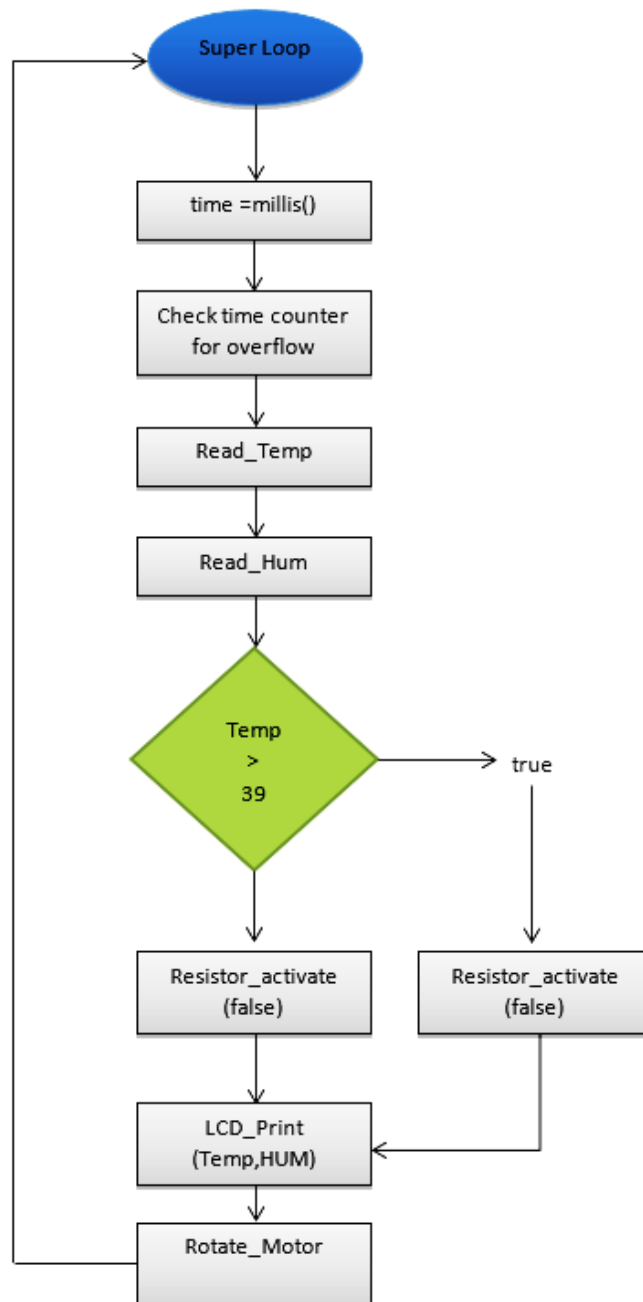
Εικόνα 4.3: Arduino IDE.

Μέσω του browser μπορεί κανείς να τρέξει το Arduino Web Editor όπου μπορεί να κάνει ακριβώς την ίδια δουλειά με το Arduino IDE χωρίς να κατεβάσει το πρόγραμμα στον υπολογιστή του. Επίσης μπορείτε να ανεβάσετε τα δικά σας project και να βρείτε πληθώρα προγραμμάτων με αναλυτικές οδηγίες και κώδικα ώστε να τα υλοποιήσετε και εσείς.[24]



Εικόνα 4.4. Arduino Web Editor.[24]

#### 4.4 Αλγόριθμος επιτήρησης.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ροής super loop.

Στο σχήμα 4.1 παρατηρούμε ένα γενικό διάγραμμα ροής του οποίου περιγράφει όλη την λειτουργία του αλγορίθμου που γράφτηκε για την επιτήρηση όλων των απαραίτητων δεδομένων για την βέλτιστη επώαση των αυγών.

Ο κώδικας της πτυχιακής γράφτηκε με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C καθώς είναι η πιο σύνηθες γλώσσά για ενσωματωμένα συστήματα. Προσφέρει βέλτιστη χρήση πόρων και μεγάλη ταχύτητα εκτέλεσης καθώς δεν έχει κάποιον interpreter όπως άλλες γλώσσες που προσφέρονται για ενσωματωμένα συστήματα(python).

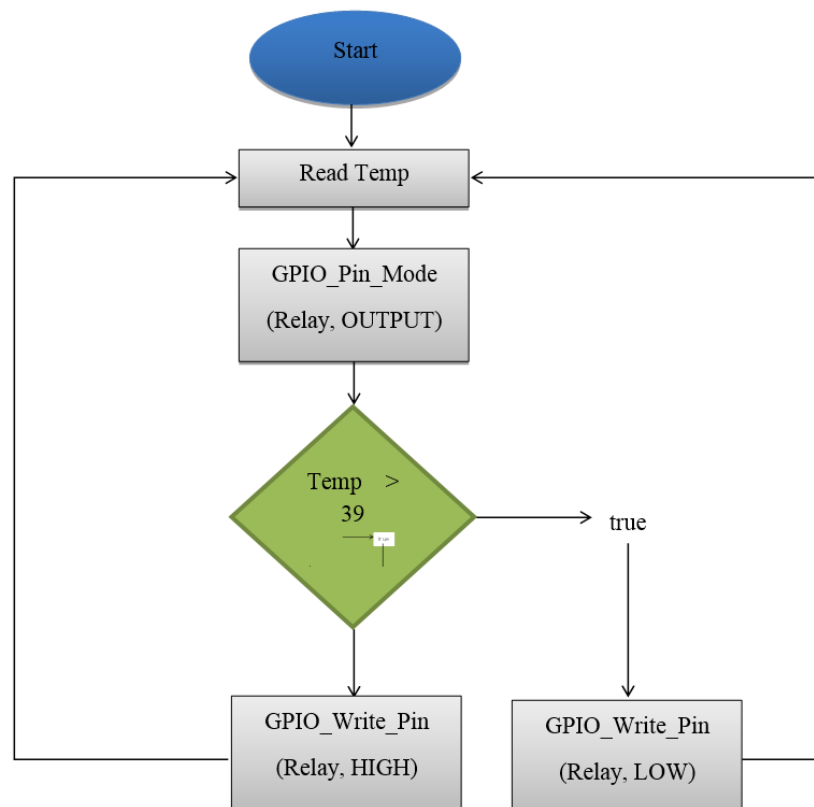
Όπως παρατηρούμε και από το διάγραμμα ροής του σχήματος 4.1 ,5 είναι η βασικές λειτουργίες του αλγορίθμου:

1. Διαβάζει την θερμοκρασία και την υγρασία
2. Ελέγχει η θερμοκρασία να μην ξεπεράσει το ανώτατο όριο των 39 ° C
3. Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί το relay που τροφοδοτεί με 24Volt της αντιστάσεις για θέρμανση του θαλάμου ανάλογα με την μετρούμενη θερμοκρασία
4. Τυπώνει τις μετρούμενες τιμές για την θερμοκρασία και την υγρασία στην LCD οθόνη
5. Τέλος περιστρέφει το βηματικό κινητήρα.

Οι μέθοδοι(συναρτήσεις) που αναπτύχθηκαν με σκοπό τον έλεγχο της μηχανής παρουσιάζονται παρακάτω με διαγράμματα ροής.

#### 4.4.1 Συναρτήσεις ελέγχου

Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του επωαστήρα υλοποιήθηκε όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.1 μια συνάρτηση ελέγχου του ρεύματος που διαρρέει τις αντιστάσεις για την παραγωγή και απαγωγή θερμότητας.. Το διάγραμμα ροής παρουσιάζεται στο σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ροής.

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 4.2 το μόνο που χρειάστηκε να ελεγχθεί για ήταν το άνοιγμα και το κλείσιμο των relay που ελέγχουν τα 24Volt επάνω στις αντιστάσεις ώστε μέσω του ανεμιστήρα να επάγεται ή να απάγεται ζέστη μέσα στην θαλάμη.

Για την ενεργοποίηση των relay το μόνο που χρειαζόμαστε είναι να ορίσουμε την κατάσταση λειτουργίας των gpio.

#### **4.5 Επίλογος.**

Σε αυτό το κεφάλαιο εξηγήθηκε μέσω γενικών διαγραμμάτων ροής η λειτουργία του κώδικα της μηχανής . Ακόμα και για μια δύσκολη κατασκευή όπως αυτή του αυτόματου επωαστήρα παρουσιάστηκε ένα απλό proof of concept κομμάτι κώδικα που υλοποιεί όλες τις απαραίτητες λειτουργίες για τον έλεγχο της επωαστικής μηχανής.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η μηχανή και τα μέρη από τα οποία αυτή αποτελείται ώστε να δοθεί και ένας απλός τρόπος κατασκευής μια αντίστοιχης

## Κεφάλαιο 5ο:

### Κατασκευή αυτόματης επωαστικής μηχανής

#### 5.1 Πρόλογος.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η κατασκευή του αυτόματου επωαστήρα και παρουσιάζεται ο τρόπος κατασκευή καθώς και τα επιμέρους κομμάτια από τα οποία αποτελείται.

#### 5.2 Δομικά μέρη μηχανής.

Στην εικόνα 5.1 παρουσιάζεται η κατασκευή της παρούσας εργασίας.

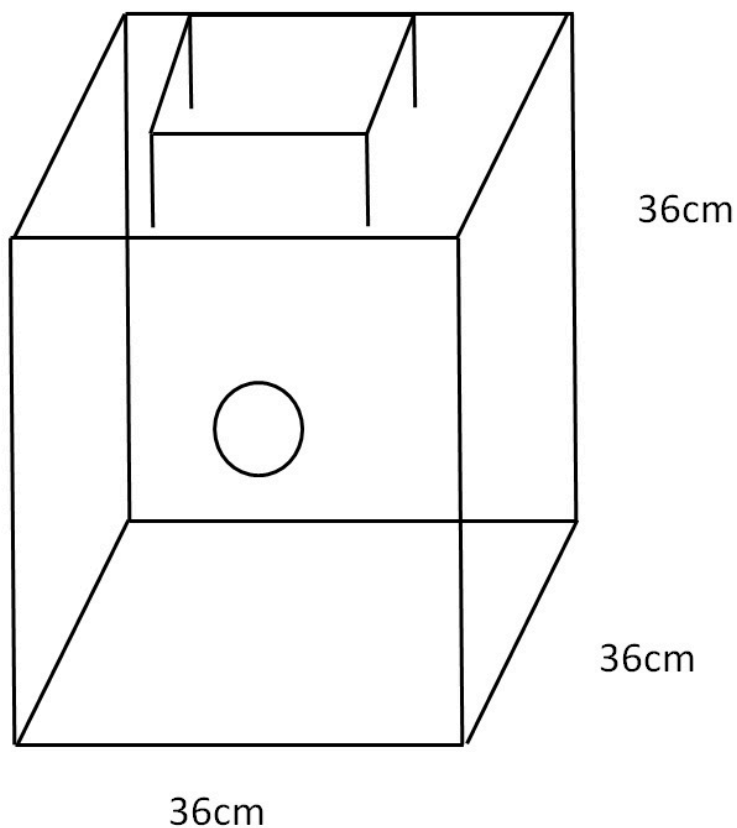


Εικόνα 5.1: Η επωαστική μηχανή.

Όπως παρατηρούμε η μηχανή αποτελείται εξωτερικά από 4 δομικά μέρη από αριστερά προς τα δεξιά:

- Ασφάλεια 24V.
- Διακόπτης παροχής 24V στην μηχανή.
- Διακόπτης παροχής 12V στην λεντοταινία που παρέχει φως στο εσωτερικό της μηχανής.
- Οθόνη LCD 16X2.

Για την καλύτερη κατανόηση του μηχανολογικού σχεδίου στην εικόνα 5.2 απεικονίζονται οι διαστάσεις της εκκολαπτικής μηχανής.



Εικόνα 5.2: Πρόχειρο μηχανολογικό σχέδιο εκκολαπτικής μηχανής.

Όπως παρατηρούμε πρόκειται για μια συμμετρική κατασκευή καθώς το μήκος το ύψος και το πλάτος είναι 36X36X36cm.

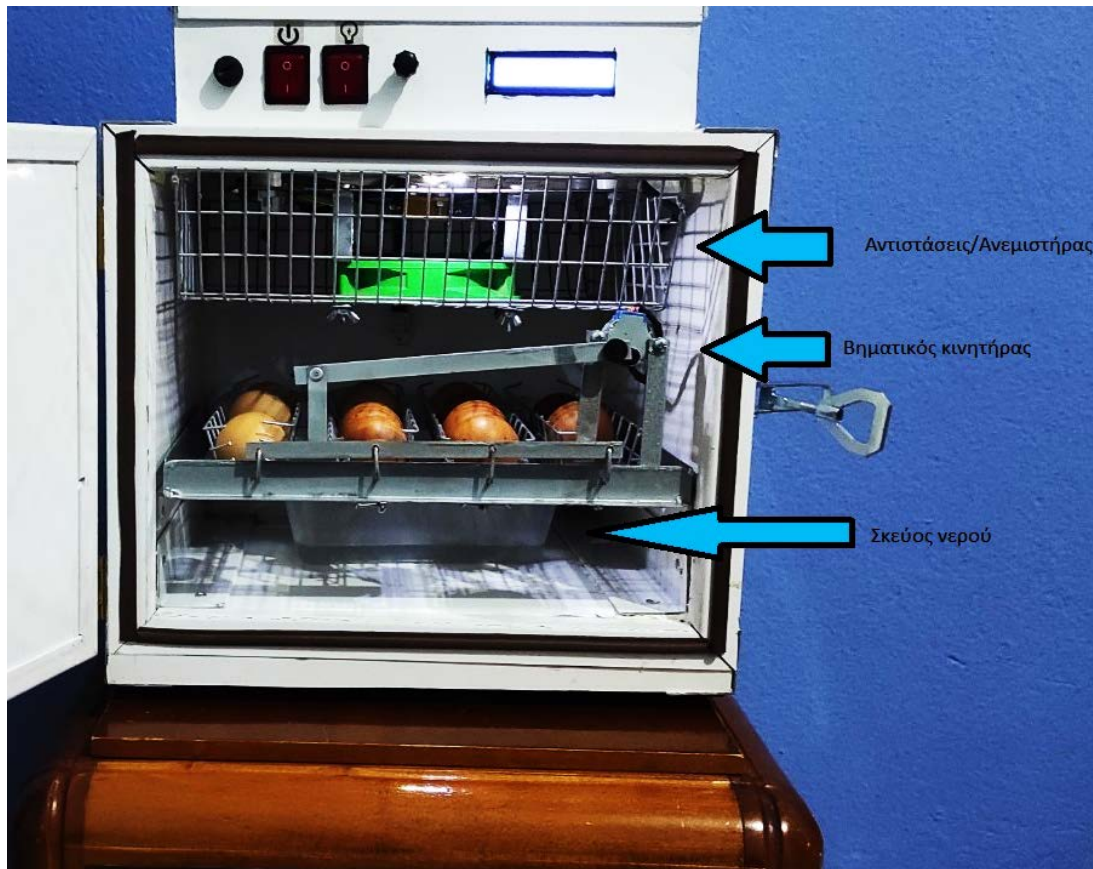
Στον πίνακα 5.1 επισυνάπτονται αναλυτικά οι διαστάσεις από όλα τα επιμέρους κομμάτια της μηχανής.

Πίνακας 5.1: Αναλυτικές διαστάσεις μηχανής.

	Μήκος	Ύψος	Πλάτος
Εσωτερικός Θάλαμος	31cm	31cm	31cm
Κεντρική Τρύπα	6cm(διάμετρος)	6cm(διάμετρος)	5cm
Άνω θάλαμος(κυκλώματα)	27cm	27cm	27cm
Κόψιμο οθόνης	7cm	2cm	2cm

Όπως βλέπουμε η συμμετρία των διαστάσεων διατηρείται σε όλα τα επιμέρους κομμάτια της μηχανής πέρα από το περίβλημα της

Στην εικόνα 5.3 απεικονίζεται το εσωτερικό της εκκολαπτικής μηχανής.



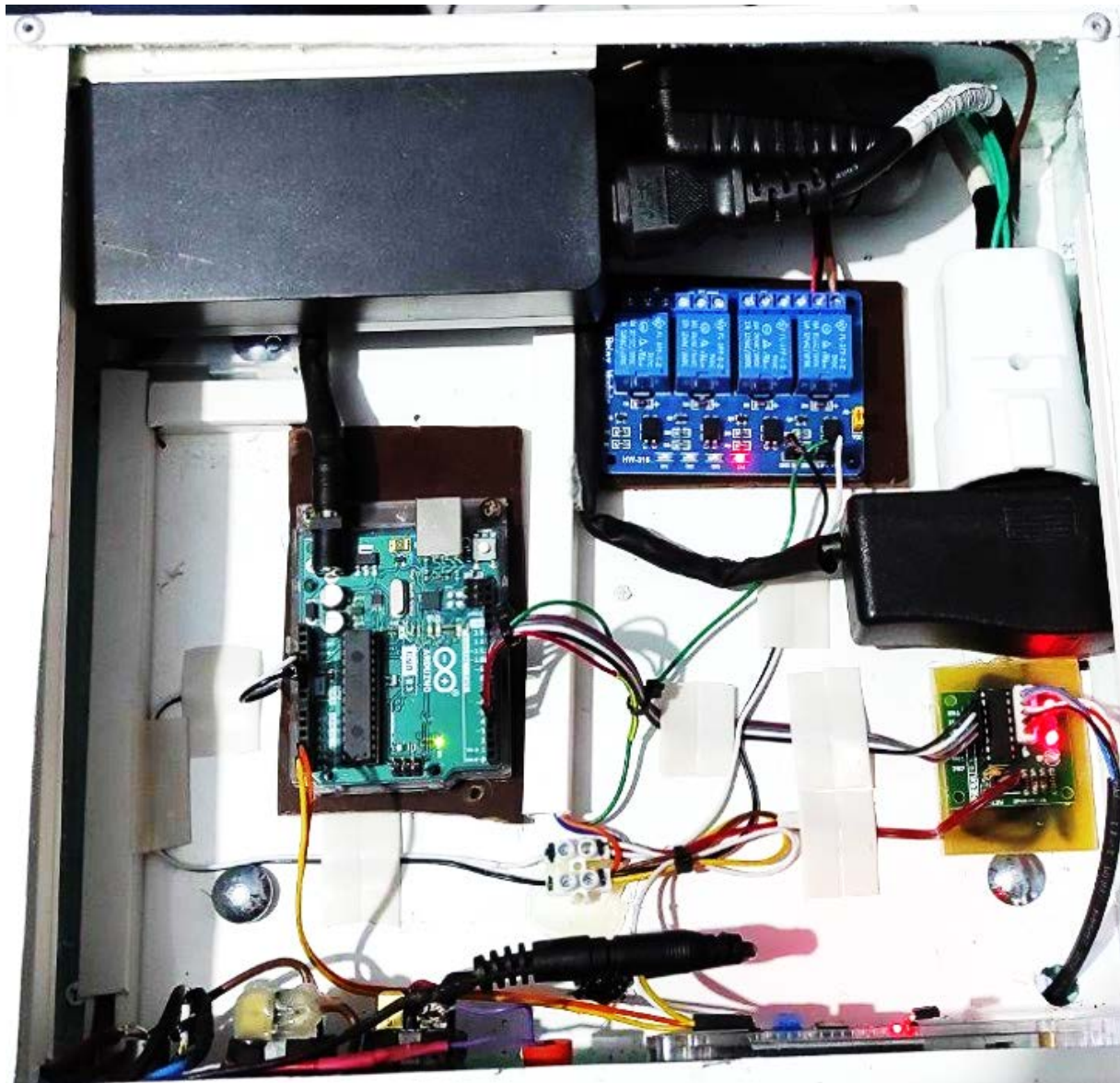
Εικόνα 5.3: Εσωτερικός θάλαμος εκκολαπτικής μηχανής. Όπως απεικονίζεται στο εσωτερικό απαντώνται οι αντιστάσεις με το ανεμιστήρα, το βηματικό μοτέρ που γυρνάει τα αυγά καθώς και ένα σκεύος νερού για την δημιουργία τεχνίτης υγρασίας.

Για την δημιουργία υγρασίας εντός της θαλάμης τοποθετήθηκε ένα σκεύος που περιέχει νερό ώστε κατά την διάρκεια της θέρμανσης της θαλάμης να δημιουργούμε ταυτόχρονα το απαραίτητο δείκτη υγρασίας. Αν και ο τρόπος αυτός δεν ενδείκνυται για τη δημιουργία υγρασίας ο περιορισμός του κόστους κατά την διάρκεια κατασκευής μας υποχρέωσε να σκεφτούμε δημιουργικά. Ωστόσο κατά της διάρκεια του πρώτου κύκλου επώασης παρατηρήθηκε ότι το επιθυμητό επίπεδο υγρασίας ήταν πολύ κοντά στο επιθυμητό.

### 5.3 Θάλαμος ηλεκτρονικού κυκλώματος.

Ένα από τα δύσκολα κομμάτια της συγκεκριμένης κατασκευή ήταν η κατασκευή ενός θαλάμου που θα χωράει το ηλεκτρονικό/ηλεκτρικό μας κύκλωμα . Λόγω μικρού περιθωρίου χρόνου δεν δημιουργήθηκε κάποιο pcb για την λειτουργία της μηχανής αλλά συνδέθηκαν μεταξύ τους module κυκλωμάτων με τον μικροελεγκτή με την χρήση μονόκλωνων καλωδίων.

Στην εικόνα 5.4 απεικονίζεται το εσωτερικό του άνω θαλάμου που περιέχει τα κυκλώματα αυτά.



Εικόνα 5.4: Στον συγκεκριμένο θάλαμο απαντώνται τα εξής: Τροφοδοτικά 5/12/24Volt.Relay ενεργοποίησης αντιστάσεων. Γέφυρα οδήγησης βηματικού κινητήρα. καθώς και ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε.

Στην εικόνα παρατηρούνται και τα καλώδια που έρχονται εσωτερικά της μηχανής από τα αισθητήρια θερμοκρασίας υγρασίας .Για την καλωδίωση των αισθητήρων αυτών ανοίχτηκαν τρύπες στο εσωτερικό της μηχανής για να καταφέρουμε να περάσουμε και την καλωδίωση για το βηματικό κινητήρα .

Αυτή η εικόνα συνοψίζει και την κατασκευή καθώς όλα τα δομικά της μέρη αναλύθηκαν διεξοδικά . Κατά το πέρας της συγγραφής του κειμένου της πτυχιακής εργασίας τα αυγά βρίσκονταν στην 17 μέρα του πρώτου κύκλου επώασης . Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα η πτυχιακή να μην περιέχει φωτογραφίες από τους νεοσσούς .Ωστόσο παρατηρήθηκαν οι πρώτες ρωγμές στα αυγά.

#### 5.4 Χαρακτηριστικά παραγωγής

Η σχάρα που στηρίζει τα αυγά αποτελείται από 4 σειρές από 4 αυγά αυτό σημαίνει ουσιαστικά ότι στόχος της κατασκευής αυτή είναι να παράγει:

$$\frac{364 \text{ Μέρες του χρόνου}}{21 \text{ μέρες κύκλου επώασης}} * 16 \text{ εσοχές για αυγά} \approx 280 \text{ νεοσσούς το χρόνο}$$

Μελετώντας ιστοσελίδες που μας δίνουν πληροφορίες για την γέννηση αυγών από κότες παρατηρούμε ότι μπορούμε να έχουμε ένα αυγό την μέρα από κάθε κότα[8] :

$$364 * (0,28 - 0,34 \text{ τιμές χονδρικής αυγών κότα})$$

$$100 - 125 \text{(ευρώ τον χρόνο μόνο μετά από ένα έτος επώασης)}$$

Οι τιμές αυτές δεν είναι και οι πιο ακριβείς καθώς δεν συνυπολογίζονται έξοδα σε ρεύμα καθώς και αυγά τα οποία δεν θα εκκολαφθούν .Μόνο υπολογίζοντας την τιμή της κιλοβατώρας στην Ελλάδα παρατηρούμε ότι: 0.05€/kWh – 0.11€/kWh και συνυπολογίζοντας ότι χρειαζόμαστε γύρω στις 3Ah αυτό σημαίνει:

$$3 * 24 \text{(ώρες)} * 24 \text{Volt} = 1.72 \text{KWh την μέρα} = 10 - 19 \text{(λεπτά του ευρώ την μέρα)}$$

$$365 * (10 - 19) = 3.65 - 7 \text{(ευρώ τον χρόνο σε ρεύμα)}$$

Οι τιμές του ρεύματος δεν είναι επίσης ενδεικτικές καθώς δεν συνυπολογίζονται ρυθμιζόμενες χρεώσεις .Δίνεται όμως ένας αρκετά ακριβής δείκτης για την σχέση εσόδων εξόδων.



Εικόνα 5.5: Εκκόλαψη των αυγών έπειτα από την χρήση της αυτόματης εκκολαπτικής μηχανής, αποτέλεσμα μετά από 21 ημέρες και σε θερμοκρασία 37.7 βαθμούς Κελσίου.

## **5.5 Επίλογος.**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε το μηχανολογικό σχέδιο της μηχανής καθώς και το τι περιέχει ο θάλαμος εντός και εκτός για την δημιουργία ενός αντίστοιχου με χαμηλό κόστος και μικρό χρόνο παραγωγής.

Όπως παρατηρήθηκε ο σκοπός της εργασίας επιτεύχθηκε καθώς πετύχαμε με πολύ χαμηλό κόστος την κατασκευή ενός αυτόματου επωαστήρα χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες σε επίπεδο λογισμικού , μηχανολογικού και υλικού.

## **Κεφάλαιο 6ο:**

### **Προτάσεις Βελτιστοποίησης**

Ένα από τα μεγάλα μειονεκτήματα της κατασκευής της πτυχιακής αυτή είναι τα πολύ μεγάλα ρεύματα που τραβάμε για ανά οδηγήσουμε τις αντιστάσεις καθώς και ότι ο ανεμιστήρας στο εσωτερικό της θαλάμης λειτουργεί απρόσκοπτα.

Για την βέλτιστη λειτουργία της μηχανής οι προτάσεις αφορούν τις αλλαγές σε:

- **Δημιουργία πλακέτας για την σωστή καλωδίωση και λειτουργία των κυκλωμάτων.**
- **Προσθήκη ρελέ για την λειτουργία της κάθε αντίστασης για να μειωθεί το ρεύμα σε παραλληλία.**
- **Αλλαγή του τρόπου δημιουργίας τεχνητής υγρασίας εντός του επωαστήρα.**
- **Αλλαγή σε αισθητήρια μεγαλύτερης ακρίβειας στην μέτρηση θερμοκρασίας υγρασίας.**
- **Αλλαγή του υλικού κατασκευής της μηχανής για την καλύτερη διατήρηση θερμοκρασίας υγρασίας εντός της θαλάμης.**

## ***ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ***

- [1] J.A. Oluyemi and F.A. Robert, Poultry Production in Warm Wet Climate, 1st Edition, (Reprinted), Macmillan, London, pp. 29-35, 110-232, 1982.
- [2] M.E. Ensinger, Poultry Science (Animal Agricultural Series), 2nd Edition. Inter State Printers and Publisher Inc. Danville, Illinois, pp. 3-4, 47-59, 1994.
- [3] H. Raven, Automatic Control Engineering, 3rd Edition, Mc G Hill, London, pp. 38-41, 1987.
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Incubator\\_\(egg\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Incubator_(egg))
- [5] <https://www.linkedin.com/pulse/differences-between-incubator-setter-hatcher-yanshan-xu>
- [6] <https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-a-humidity-sensor>
- [7] <https://gr.mouser.com/new/texas-instruments/ti-hdc2021-digital-sensor/>
- [8] [https://ellinikeskotes.blogspot.com/2017/03/blog-post\\_28.html](https://ellinikeskotes.blogspot.com/2017/03/blog-post_28.html)
- [10] <https://www.electricaltechnology.org/2019/02/analog-to-digital-converter-adc>
- [11] <https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-39/number-2/articles/the-right-adc-architecture.pdf>
- [12] <https://www.ti.com/lit/an/slaa013/slaa013.pdf>
- [13] <https://www.analog.com/media/en/training-seminars/tutorials/MT-020.pdf>
- [14] <https://www.elprocus.com/stepper-motor-types-advantages-applications/>
- [15] <https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-55/number-4/i2c-communication-protocol-understanding-i2c-primer-pmbus-and-smbus.pdf>
- [16] <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/>
- [17] <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf/>
- [18] <https://datasheetspdf.com/pdf-file/942482/ETC/AM2302/1>
- [19] <https://www.stathisnet.gr/ntc-thermistor-prostasias-yperentasis-b57364s209m-2-ohm-epcos>
- [20] <http://gr.top-heaterchina.com/thermocouple-and-thermostat/thermocouple/industrial-rtd-pt100-temperature-sensor.html>
- [21] <https://circuits-diy.com/what-is-a-thermocouple-and-how-does-it-work/>
- [22] <https://www.fishersci.com/shop/products/stainless-steel-temperature-probe-3/S16268ND>
- [23] <https://grobotronics.com/dc-brushless-fan-40x40x10mm-12v-maglev-el.html>
- [24] The Untold History of Arduino by Hernando Barragán. <https://arduinohistory.github.io/>
- [25] Πέτρου Ι, Ρύθμιση του χρονισμού της φωτεινής σήμανσης διασταυρώσεων σύμφωνα με το ρυθμό κυκλοφορίας των οχημάτων
- [26] <https://www.circuitlab.com/editor>
- [27] [https://web.archive.org/web/20131220175348/http://www.pleysierincubators.com/history\\_incubation.htm](https://web.archive.org/web/20131220175348/http://www.pleysierincubators.com/history_incubation.htm)
- [28] <https://www.alamy.com/journal-of-bacteriology-no-20848model-c-no-20854model-g-low-temperature-incubator-hearson-model-c-for-operation-with-a-constant-flow-of-water-most-of-the-low-temperature-incubators-can-only-be-worked-successfully-as-long-as-the-external-air-is-10-blow-the-temperature-required-in-the-incubating-chamber-and-the-expedient-sometimes-resorted-to-of-running->

[cold-water-through-themto-keep-the-temperature-down-can-in-summer-time-be-adopted-with-advantage-but-the-results-are-not-altogethersatisfactory-cultures-being-frequently-spoiled-by-an-unexpectedly-vyarm-day-or-night-ice-other-pr-image338210304.html](http://cold-water-through-themto-keep-the-temperature-down-can-in-summer-time-be-adopted-with-advantage-but-the-results-are-not-altogethersatisfactory-cultures-being-frequently-spoiled-by-an-unexpectedly-vyarm-day-or-night-ice-other-pr-image338210304.html)

[29] <https://zootecnicainternational.com/featured/what-happens-during-transfer/>

[30] [https://www.cimuka.com/wp-content/uploads/2017/11/T1280S\\_2016-1-scaled.jpg](https://www.cimuka.com/wp-content/uploads/2017/11/T1280S_2016-1-scaled.jpg)

[31] <https://www.indiamart.com/proddetail/1000-egg-incubator-14577065255.html>

[32] [https://www.google.com/search?q=setter+and+hatcher+machine&tbm=isch&ved=2ahUKEwi6gfef8Ob1AhVP-qQKHZxbCFUQ2-](https://www.google.com/search?q=setter+and+hatcher+machine&tbm=isch&ved=2ahUKEwi6gfef8Ob1AhVP-qQKHZxbCFUQ2-cCegQIABAA&oq=setter+and+hatcher+machine&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJzoICAAQ BxAeEBN0QgVYjhNg2xVoAHAAeACAACgBiAHPCpIBBTQuNy4xmAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&sclient=img&ei=HYv9Yfr-Kc_0kwWct6GoBQ&bih=657&biw=1366&rlz=1C1GCEA_enGR802GR802#imgrc=kWpNVv0tcmRSdM)

[cCegQIABAA&oq=setter+and+hatcher+machine&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJzoICAAQ BxAeEBN0QgVYjhNg2xVoAHAAeACAACgBiAHPCpIBBTQuNy4xmAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&sclient=img&ei=HYv9Yfr-](https://www.google.com/search?q=setter+and+hatcher+machine&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJzoICAAQ BxAeEBN0QgVYjhNg2xVoAHAAeACAACgBiAHPCpIBBTQuNy4xmAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&sclient=img&ei=HYv9Yfr-Kc_0kwWct6GoBQ&bih=657&biw=1366&rlz=1C1GCEA_enGR802GR802#imgrc=kWpNVv0tcmRSdM)

[Kc\\_0kwWct6GoBQ&bih=657&biw=1366&rlz=1C1GCEA\\_enGR802GR802#imgrc=kWpNVv0tcmRSdM](https://www.google.com/search?q=setter+and+hatcher+machine&gs_lcp=CgNpbWcQAzoHCCMQ7wMQJzoICAAQ BxAeEBN0QgVYjhNg2xVoAHAAeACAACgBiAHPCpIBBTQuNy4xmAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWfAAQE&sclient=img&ei=HYv9Yfr-Kc_0kwWct6GoBQ&bih=657&biw=1366&rlz=1C1GCEA_enGR802GR802#imgrc=kWpNVv0tcmRSdM)

[33] [https://www.google.com/search?q=%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B1%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82&tbm=isch&ved=2ahUKEwjmp\\_CXy-71AhU\\_rsIHTLcAjMQ2-](https://www.google.com/search?q=%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B1%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82&tbm=isch&ved=2ahUKEwjmp_CXy-71AhU_rsIHTLcAjMQ2-cCegQIABAA&oq=%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B1%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82&gs_lcp=CgNpbWcQA1DxOFjsdmDDsgFoAHAAeACAAb0CiAGXDJIBBzQuNi4xLjGYAQCgAQGqAQtd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=pUBYuawJL87_UPsriLmAM&bih=625&biw=1366)

[cCegQIABAA&oq=%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B1%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82&gs\\_lcp=CgNpbWcQA1DxOFjsdmDDsgFoAHAAeACAAb0CiAGXDJIBBzQuNi4xLjGYAQCgAQGqAQtd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=pUBYuawJL87\\_UPsriLmAM&bih=625&biw=1366](https://www.google.com/search?q=%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B1%CF%82+%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82&gs_lcp=CgNpbWcQA1DxOFjsdmDDsgFoAHAAeACAAb0CiAGXDJIBBzQuNi4xLjGYAQCgAQGqAQtd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=pUBYuawJL87_UPsriLmAM&bih=625&biw=1366)

[34] [https://www.google.com/search?q=%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B1%CF%82+%CF%85%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82&tbm=isch&ved=2ahUKEwiljdriyu71AhVlgc4BHSPaBXEQ2-](https://www.google.com/search?q=%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B1%CF%82+%CF%85%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82&tbm=isch&ved=2ahUKEwiljdriyu71AhVlgc4BHSPaBXEQ2-cCegQIABAA&oq=%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B1%CF%82+%CF%85%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82&gs_lcp=CgNpbWcQA1CvFliUTWDYY2gAcAB4AIAB_QGIAfYKkgEFMS44LjGYAQCgAQGqAQtd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=j5UBYuWJBeWCur4Po7SXiAc&bih=625&biw=1366)

[cCegQIABAA&oq=%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B1%CF%82+%CF%85%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82&gs\\_lcp=CgNpbWcQA1CvFliUTWDYY2gAcAB4AIAB\\_QGIAfYKkgEFMS44LjGYAQCgAQGqAQtd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=j5UBYuWJBeWCur4Po7SXiAc&bih=625&biw=1366](https://www.google.com/search?q=%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B1%CF%82+%CF%85%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82&gs_lcp=CgNpbWcQA1CvFliUTWDYY2gAcAB4AIAB_QGIAfYKkgEFMS44LjGYAQCgAQGqAQtd3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=j5UBYuWJBeWCur4Po7SXiAc&bih=625&biw=1366)

[35] <https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/MAK178/%CE%A3%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1%20%CE%91%CF%85%CF%84%CF%8C%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%85%20%CE%95%CE%BB%CE%AD%CE%B3%CF%87%CE%BF%CF%85/%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AE%20%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AD%CE%BB%CE%BF%CF%85%20%CE%B4%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%AE%CF%82%20%CE%BCE%CE%B5%20%CE%AD%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CF%87%CE%BF%20%CF%83%CF%84%CE%AC%CE%B8%CE%BC%CE%B7%CF%82%20%CE%BC%CE%AD%CF%83%CF%89%20%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CF%89%CE%BD%20%CF%85%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%AE%CF%87%CF%89%CE%BD.pdf>

[36] <http://e-ornithes.blogspot.com/2016/02/epoasi-ekkolapsi.html>

[37] Andrea Borotto, «Εγχειρίδιο οδηγιών για την τεχνητή επώαση αυγών», Θερμοκοιτίδες σειρά REAL, INCUBATRICE BOROTTO, Buttapietra, 01/01/2015.

[38] ΓΕΩΡΓΙΟΣ Κ. ΣΥΜΕΩΝ, « ΠΙΘΝΟΤΡΟΦΙΑ», ΜΑΘΗΜΑ 4Ο ΕΠΩΑΣΗ-ΕΚΚΟΛΑΨΗ-ΕΚΚΟΛΑΠΤΗΡΙΑ, ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, 2020.

## *Παράρτημα Α*

### *Πρόγραμμα στο arduino*

```
#include <DHT.h> //Βιβλιοθήκη αισθητήρα DHT22
#include <Wire.h>
#include <Stepper.h> //Βιβλιοθηκη Stepper Motor
/* Οι βιβλιοθήκες περιέχουν τα απαραίτητα εργαλεία τα οποία χρειάζονται για
την επικοινωνία του αισθητήρα με την πλακέτα του arduino και αντίστροφα
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Βιβλιοθήκη Οθόνης

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
#define DHT_TYPE DHT22

const float TARGET_TEMP = 38.0f; //Επιθυμητή θερμοκρασία μηχανής σε
βαθμούς κελσίου
const float TEMP_MARGIN = 1.0f; //Υστέρηση θερμοκρασίας για ενεργοποίηση
/ απενεργοποίηση αντιστάσεων
const float TEMP_FAN_MARGIN = 1.5f; //Υστέρηση θερμοκρασίας για ενεργοποίηση
/ απενεργοποίηση ανεμιστήρα
const long SENSORS_INTERVAL = 2000; //Καθυστέρηση ανάμεσα στην κάθε ανάγνωση
των αισθητήρων
const int MOTOR_SPEED = 1200; //Ταχύτητα βηματικού (μεγαλύτερες τιμές
= πιο αργή κίνηση)
//Καθορισμός ακροδεκτών
const int DHT_PIN = 4;
const int RES_RELAY_1 = 5;
const int RES_RELAY_2 = 6;
const int RES_RELAY_3 = 7;
const int STEPPER_PIN_1 = 8;
const int STEPPER_PIN_2 = 9;
const int STEPPER_PIN_3 = 10;
const int STEPPER_PIN_4 = 11;
const int FAN_PIN = 13;
//Καταστάσεις ακροδεκτών βηματικού κινητήρα, σαν πίνακα, για απλοποίηση
```

```
const int STEPPER_LOOKUP[8] = {B01000, B01100, B00100, B00110, B00010, B00011,
B00001, B01001};
```

```
float hum, temp; //Μετρήσεις αισθητήρα
```

```
unsigned long previousMillis = 0, previousMicros = 0; //Μεταβλητές χρονισμού
```

```
unsigned int stepperStep = 0; //Κατάσταση κινητήρα
```

```
DHT dht(DHT_PIN, DHT_TYPE);
```

```
void setup() {
```

```
    dht.begin();
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    lcd.init(); // συναρτηση εκκίνησης οθόνης
```

```
    lcd.init();
```

```
    lcd.setCursor(0,0);
```

```
    lcd.print("Kalhspera");
```

```
    delay(2000);
```

```
    lcd.clear();
```

```
    lcd.setCursor(0,0);
```

```
    lcd.print("H klosomhxanh");
```

```
    lcd.setCursor(0,1);
```

```
    lcd.print("periexei 24 auga");
```

```
    delay(2000);
```

```
    lcd.clear();
```

```
    lcd.setCursor(0,0);
```

```
    lcd.print("ksekinaei h diadi- ");
```

```
        lcd.setCursor(0,1);
```

```
    lcd.print("kasia epwashes");
```

```
    delay(2000);
```

```
    lcd.clear();
```

```
// lcd.backlight();
```

```
// lcd.setBacklight(HIGH);
```

```

// lcd.clear(); //εκκαθαριση οθόνης

//Αρχική κατάσταση εξόδων
pinMode(RES_RELAY_1, OUTPUT);
pinMode(RES_RELAY_2, OUTPUT);
pinMode(RES_RELAY_3, OUTPUT);
pinMode(STEPPER_PIN_1, OUTPUT);
pinMode(STEPPER_PIN_2, OUTPUT);
pinMode(STEPPER_PIN_3, OUTPUT);
pinMode(STEPPER_PIN_4, OUTPUT);
pinMode(FAN_PIN, OUTPUT);
resistorsActive(false);
digitalWrite(FAN_PIN, LOW);
}

void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis(); //Μεταβλητή χρονισμού για τον
  αισθητήρα
  //Έλεγχος αν έχει κάνει overflow η συνάρτηση millis() του arduino (~50
  μέρες)
  if (previousMillis > currentMillis) {
    previousMillis = 0;
  }
  //Αν πέρασε αρκετός χρόνος από την τελευταία μέτρηση του αισθητήρα
  // if (currentMillis - previousMillis >= SENSORS_INTERVAL) {/
  if (not isnan(dht.readHumidity())){hum = dht.readHumidity();} // check if
  DHT22 sensor give nan values
  if (not isnan(dht.readTemperature())){temp = dht.readTemperature(); }
  Serial.println(hum);
  Serial.println(temp);
  // previousMillis = currentMillis;/
  // }/
  //Αν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη της επιθυμητής τιμής άναψε αντιστάσεις,
  αλλιώς σβήσε

```

```

if (temp < TARGET_TEMP - TEMP_MARGIN) {
    resistorsActive(HIGH);
} else {
    resistorsActive(LOW);
}

//Αν η θερμοκρασία είναι υψηλότερη της επιθυμητής τιμής άναψε ανεμιστήρα,
αλλιώς σβήσε
if (temp > TARGET_TEMP + TEMP_FAN_MARGIN) {
    digitalWrite(FAN_PIN, HIGH);
} else {
    digitalWrite(FAN_PIN, LOW);
}

LCDprint(hum,temp);
rotateStepper();
}

//Συνάρτηση για εμφάνιση των τιμών του αισθητήρα DHT στην LCD 16.2 οθόνη.
void LCDprint(float temperature,float humidity)
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Υγρασία: ");
    lcd.print(humidity);
    lcd.print("%");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Therm: ");
    lcd.print(temperature);
    lcd.println("Celcius");
}

//Συνάρτηση για ενεργοποίηση / απενεργοποίηση αντιστάσεων
void resistorsActive(int active) {

```

```

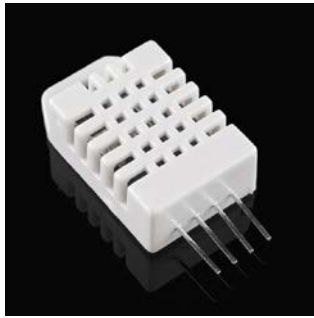
digitalWrite(RES_RELAY_1, active);
digitalWrite(RES_RELAY_2, active);
digitalWrite(RES_RELAY_3, active);
}
//Συνάρτηση για έλεγχο κατάστασης κινητήρα, και περιστροφή
void rotateStepper() {
    unsigned long currentMicros = micros(); //Μεταβλητή χρονισμού για τον
    κινητήρα
    //Έλεγχος αν έχει κάνει overflow η συνάρτηση micros() του arduino (~70
    λεπτά)
    if (previousMicros > currentMicros) {
        previousMicros = 0;
    }

    //Αν πέρασε αρκετός χρόνος από την τελευταία μεταβολή του κινητήρα
    if (currentMicros - previousMicros >= MOTOR_SPEED) {
        int currentStep = stepperStep % 8; //Το stepperStep αυξάνει συνεχώς,
        παίρνουμε το mod() αφού τόσες είναι οι θέσεις του πίνακα STEPPER_LOOKUP
        setStepperOutput(currentStep);
        stepperStep++;
        previousMicros = currentMicros;
    }
}
//Συνάρτηση για την κατάσταση των εξόδων που οδηγούν στον κινητήρα
void setStepperOutput(int output) {
    //Στην digitalWrite, HIGH = 1, LOW = 0, οπότε παίρνουμε το αντίστοιχο ψηφίο
    του αριθμού ως bit
    //Η μεταβλητή output δείχνει την θέση του πίνακα STEPPER_LOOKUP που πρέπει
    να γραφτεί
    digitalWrite(STEPPER_PIN_1, bitRead(STEPPER_LOOKUP[output], 0));
    digitalWrite(STEPPER_PIN_2, bitRead(STEPPER_LOOKUP[output], 1));
    digitalWrite(STEPPER_PIN_3, bitRead(STEPPER_LOOKUP[output], 2));
    digitalWrite(STEPPER_PIN_4, bitRead(STEPPER_LOOKUP[output], 3));
}

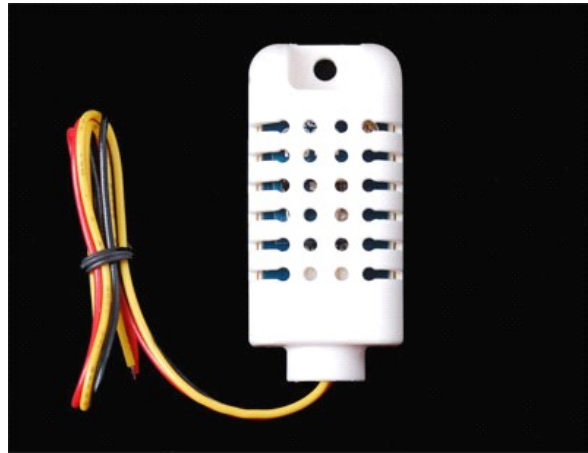
```

## Παράρτημα Β

DATASHEET



Standard AM2302/DHT22



AM2302/DHT22 with big case and wires

### Digital relative humidity & temperature sensor AM2302/DHT22

#### 1. Feature & Application:

\*High precision

\*Capacitive type

\*Full range temperature compensated

\*Relative humidity and temperature measurement

\*Calibrated digital signal

\*Outstanding long-term stability

\*Extra components not needed

\*Long transmission distance, up to 100 meters

\*Low power consumption

\*4 pins packaged and fully interchangeable

#### 2. Description:

AM2302 output calibrated digital signal. It applies exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

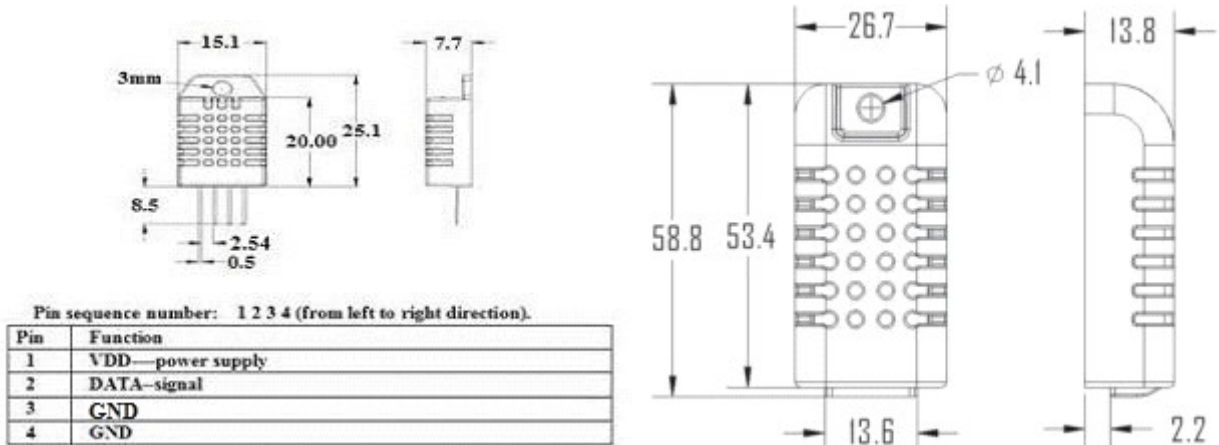
Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(100m) enable AM2302 to be suited in all kinds of harsh application occasions. Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

### 3. Technical Specification:

Model	AM2302	
Power supply	3.3-5.5V DC	
Output signal	digital signal via 1-wire bus	
Sensing element	Polymer humidity capacitor	
Operating range	humidity 0-100%RH; 40~80Celsius	temperature -
Accuracy	<b>humidity +-2%RH</b> (Max +-5%RH); 0.5Celsius	temperature +- 0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; 0.1Celsius	temperature
Repeatability	humidity +-1%RH; 0.2Celsius	temperature +- 0.2Celsius
Humidity hysteresis	+-0.3% RH	
Long-term Stability	+-0.5% RH/year	
Interchangeability	fully interchangeable	

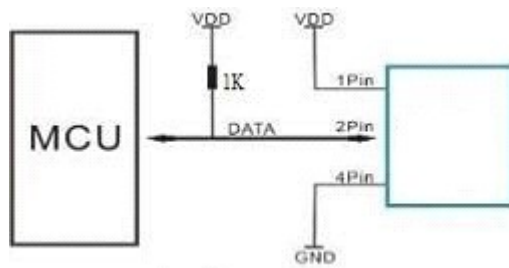
### 4. Dimensions: (unit --- mm)



(1) Standard AM2302's dimensions as above

**Big case's dimensions as above**  
**Red wire--**  
**power supply,**

## 5. Electrical connection diagram:



## 6. Operating specifications:

### (2) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-5.5V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

### (3) Communication and signal

1-wire bus is used for communication between MCU and AM2302. ( Our 1-wire bus is specially designed, it's different from Maxim/Dallas 1-wire bus, so it's incompatible with Dallas 1-wire bus.)

### (4) Illustration of our 1-wire bus

**DATA=16 bits RH data+16 bits Temperature data+8 bits check-sum**

Example: MCU has received 40 bits data from AM2302 as

(5) 0000 0010 1000 1100  
0000 0001 0101 1111  
1110 1110

16 bits RH data                  16 bits T data                  check  
sum

Here we convert 16 bits RH data from binary system to decimal system, 0000 0010 1000 1100

→ 652

Binary system

Decimal system

(6) **RH=652/10=65.2%RH**

Here we convert 16 bits T data from binary system to decimal system, 0000 0001 0101

1111 → 351

Binary system

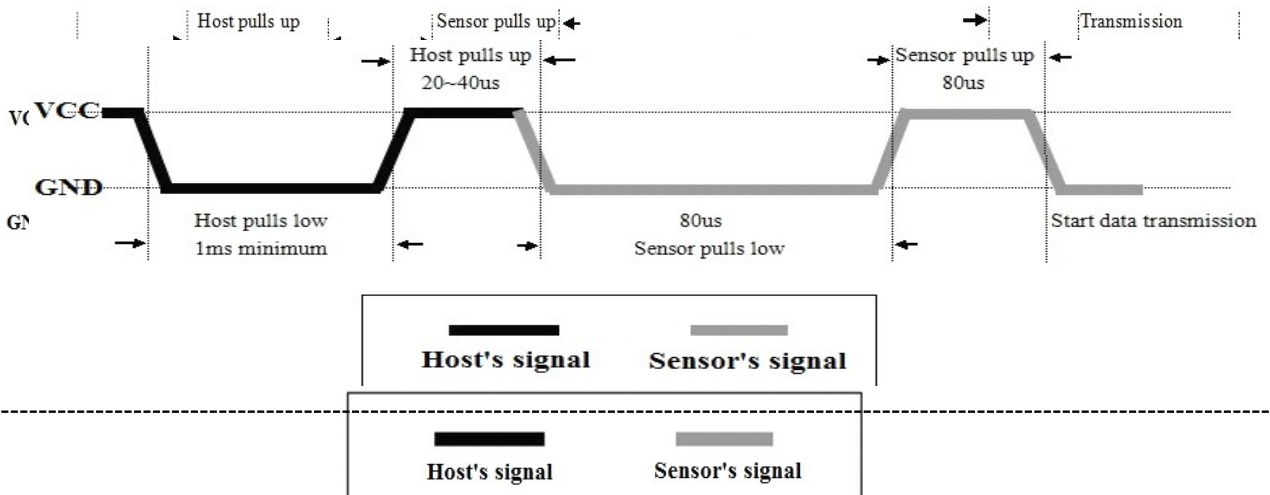
Decimal system

(7) **T=351/10=35.1°C**

When highest bit of temperature is 1, it means the temperature is below 0 degree Celsius. Example: 1000 0000 0110 0101, T= minus 10.1°C

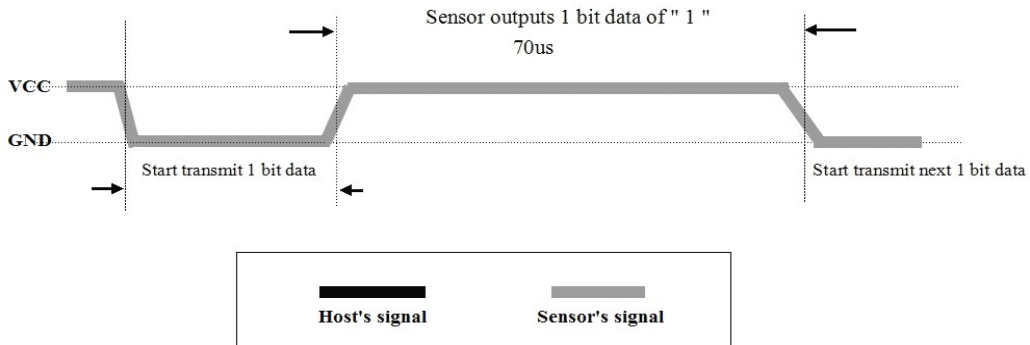
16 bits T data

Sum=0000 0010+1000 1100+0000 0001+0101 1111=1110 1110



2). Step 2: AM2302 send data to MCU

When AM2302 is sending data to MCU, every bit's transmission begin with low-voltage-level that last 50us, the following high-voltage-level signal's length decide the bit is "1" or "0". See below figures:



**Attention:**

If signal from AM2302 is always high-voltage-level, it means AM2302 is not working properly, please check the electrical connection status.

**7. Electrical Characteristics:**

Items	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3.3	5	6	V
Current supply	Measuring	1		1.5	mA
	Stand-by	40	Null	50	uA
Collecting period	Second		2		Second

## 8. Attentions of application:

- **Operating and storage conditions**

We don't recommend the applying RH-range beyond the range stated in this specification. The AM2302 sensor can recover after working in abnormal operating condition to calibrated status, but will accelerate sensors' aging.

- **Attentions to chemical materials**

Vapor from chemical materials may interfere AM2302's sensitive-elements and debase AM2302's sensitivity.

- **Disposal when (1) & (2) happens**

Step one: Keep the AM2302 sensor at condition of Temperature 50~60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours; Step two: After step one, keep the AM2302 sensor at condition of Temperature 20~30Celsius, humidity >70%RH for 5 hours.

- **Attention to temperature's affection**

Relative humidity strongly depend on temperature, that is why we use temperature compensation technology to ensure accurate measurement of RH. But it's still be much better to keep the sensor at same temperature when sensing.

AM2302 should be mounted at the place as far as possible from parts that may cause change to temperature.

- **Attentions to light**

Long time exposure to strong light and ultraviolet may debase AM2302's performance.

- **Attentions to connection wires**

The connection wires' quality will effect communication's quality and distance, high quality shielding-wire is recommended.

- **Other attentions**

Welding temperature should be bellow 260Celsius.

Avoid using the sensor under dew condition.

Don't use this product in safety or emergency stop devices or any other occasion that failure of AM2302 may cause personal injury.