

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΗ ΜΕ ΑΣΥΡΜΑΤΗ
ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΟΛΛΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ»



Του φοιτητή
Αλατζογιάννη Ιωάννη
Αρ. Μητρώου: 515321

Επιβλέπων
Χατζόπουλος Αργύριος
Επικ. Καθηγητής

Ιανουάριος 2025

Τίτλος Δ.Ε. Σύστημα θερμοστάτη με ασύρματη μέτρηση πολλών σημείων

Κωδικός Δ.Ε. 24325

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Αλατζογιάννης Ιωάννης

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Χατζόπουλος Αργύριος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε: 28/11/2024

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε: 26/1/2025

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 μένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Αλατζογιάννη Ιωάννη που την εκπόνησε. 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 οποιονδήποτε 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 απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

«Για τον πατέρα μου...»

Πρόλογος

Η ιδέα αυτής της πτυχιακής εργασίας προέκυψε από την προσωπική μου εμπειρία με τον θερμοστάτη που χρησιμοποιώ στο σπίτι, ο οποίος αποδείχθηκε ανεπαρκής για τις ανάγκες του χώρου. Αντιμετώπισα προβλήματα όπως η δυσχρηστία, η αδυναμία σωστής λειτουργίας, καθώς και η αποτυχία του να διατηρήσει την επιθυμητή θερμοκρασία. Συχνά έκλεινε πρόωρα, αφήνοντας το σπίτι κρύο και δυσάρεστο, ειδικά κατά τους χειμερινούς μήνες.

Με βάση αυτές τις δυσκολίες, σκέφτηκα να αναπτύξω έναν καινοτόμο θερμοστάτη, ο οποίος θα μπορεί να λαμβάνει μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας από διάφορα σημεία του σπιτιού. Αυτή η προσέγγιση θα επιτρέψει μια πιο ολοκληρωμένη και ακριβή καταγραφή των συνθηκών του χώρου, εξασφαλίζοντας καλύτερο έλεγχο και πιο αποδοτική διαχείριση της θερμοκρασίας. Επιπλέον, στόχος είναι να σχεδιάσω έναν θερμοστάτη που θα είναι εύχρηστος, αξιόπιστος και προσαρμοσμένος στις σύγχρονες ανάγκες, συμβάλλοντας στη βελτίωση της ποιότητας ζωής μέσα στο σπίτι.

Περίληψη

Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας κατασκευάστηκαν τρεις θερμοστάτες με την χρήση του μικροελεγκτή ESP32C3 και ενός αισθητήρα BME280. Οι δύο θερμοστάτες στέλνουν ασύρματα με χρήση της λειτουργίας ESP-NOW τις μετρήσεις τους (θερμοκρασία και υγρασία) στον βασικό θερμοστάτη, ο οποίος προβάλλει σε μια οθόνη την μέση θερμοκρασία και υγρασία από το σύνολο των τριών αισθητήρων καθώς και την θερμοκρασία του καθενός χωριστά.

Σκοπός αυτής της υλοποίησης είναι να δημιουργηθεί ένα έξυπνο και αποδοτικό σύστημα διαχείρισης θερμοκρασίας, το οποίο θα προσφέρει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των συνθηκών στον χώρο. Η δυνατότητα λήψης δεδομένων από πολλαπλά σημεία επιτρέπει την ακριβέστερη ρύθμιση της θέρμανσης, εξασφαλίζοντας ιδανικές συνθήκες άνεσης και μειώνοντας τη σπατάλη ενέργειας.

Επιπλέον, η χρήση του ESP32C3 σε συνδυασμό με τον αισθητήρα BME280 και την τεχνολογία ESP-NOW προσφέρει μια οικονομική και αξιόπιστη λύση, ενώ παράλληλα μειώνει την ανάγκη για περίπλοκη καλωδίωση. Το σύστημα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί σε σπίτια, γραφεία και άλλους χώρους, παρέχοντας ένα εργαλείο που συνδυάζει τη λειτουργικότητα με την ευκολία χρήσης.

Η παρούσα εργασία στοχεύει να αποδείξει την αποδοτικότητα αυτής της υλοποίησης, αξιολογώντας τη λειτουργία του συστήματος και προτείνοντας βελτιώσεις για μελλοντική ανάπτυξη, όπως η ενσωμάτωση περισσότερων αισθητήρων, η προσθήκη επιπλέον χαρακτηριστικών (π.χ. ανίχνευση CO₂) και η διασύνδεση με έξυπνα οικοσυστήματα για αυτοματοποιημένη διαχείριση.

«Wireless Multi-Point Temperature Sensing Thermostat System»

«Alatzogiannis Ioannis»

Abstract

As part of this project, three thermostats were built using the ESP32C3 microcontroller and a BME280 sensor. Two of the thermostats wirelessly transmit their measurements (temperature and humidity) to the main thermostat using the ESP-NOW protocol. The main thermostat displays on a screen the average temperature and humidity from all three sensors, as well as the temperature of each sensor individually.

The objective of this implementation is to create an intelligent and efficient temperature management system, that provides a more comprehensive view of the environmental conditions in a space. The ability to collect data from multiple points allows for more accurate temperature regulation, ensuring optimal comfort and reducing energy waste.

Additionally, the use of the ESP32C3 combined with the BME280 sensor and the ESP-NOW technology provides an economical and reliable solution, while also reducing the need for complex wiring. This system can be applied in homes, offices, and other spaces, offering a tool that combines functionality with ease of use.

This work aims to demonstrate the effectiveness of this implementation by evaluating the system's performance and suggesting improvements for future development, such as the integration of more sensors, the addition of extra features (e.g., CO2 detection), and integration with smart ecosystems for automated management.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους αγαπημένους μου ανθρώπους που με στηρίζουν. Την Άρτεμις που είναι πάντα εκεί για ότι χρειαστώ καθώς και τους φίλους μου που τους έχω στο πλευρό μου σε κάθε στιγμή.

Περιεχόμενα

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|--|----|
| Πρόλογος..... | 5 |
| Περίληψη..... | 6 |
| Abstract | 7 |
| Ευχαριστίες | 8 |
| Περιεχόμενα | 9 |
| Κατάλογος Σχημάτων | 11 |
| Κατάλογος Πινάκων..... | 11 |
| Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή | 12 |
| 1.1 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας..... | 12 |
| 1.2 Η σημασία και λειτουργία ενός θερμοστάτη..... | 12 |
| 1.3 Κατηγορίες Θερμοστατών χώρου | 13 |
| Κεφάλαιο 2ο: Αισθητήρας Περιβάλλοντος | 16 |
| 2.1 Εισαγωγή..... | 16 |
| 2.2 Αισθητήρες..... | 16 |
| 2.2.1 Γενικά | 16 |
| 2.2.2 Κατηγορίες Αισθητήρων | 17 |
| 2.2.3 Χαρακτηριστικά Αισθητήρων | 17 |
| 2.2.4 Αισθητήρας Περιβάλλοντος BME280 | 20 |
| 2.3 Επίλογος..... | 23 |
| Κεφάλαιο 3ο: Μικροελεγκτής ESP32..... | 24 |
| 3.1 Εισαγωγή..... | 24 |
| 3.2 Περιγραφή ESP32 | 24 |
| 3.3 Χαρακτηριστικά του ESP32..... | 25 |
| 3.4 Γιατί επιλέχθηκε ο ESP32C3 | 26 |
| 3.5 ESP-NOW | 26 |
| 3.6 Εφαρμογές και Παραδείγματα Χρήσης ESP32..... | 28 |
| 3.7 Συγκριτική Ανάλυση με Άλλους Μικροελεγκτές | 28 |
| 3.8 Επίλογος..... | 30 |
| Κεφάλαιο 4ο: Σχεδιασμός Συστήματος | 31 |
| 4.1 Σημασία του Συστήματος..... | 31 |
| 4.2 Θεωρητικό Υπόβαθρο..... | 31 |

| | | |
|--|--|----|
| 4.2.1 | Αρχές λειτουργίας Θερμοστάτη | 31 |
| 4.2.2 | Τεχνολογία ESP-NOW..... | 31 |
| 4.2.3 | Αισθητήρας BME280..... | 32 |
| 4.3 | Περιγραφή Συστήματος..... | 32 |
| 4.3.1 | Υλικό (Hardware)..... | 32 |
| 4.3.2 | Λογισμικό (Software)..... | 33 |
| 4.3.3 | Σχεδιασμός και Λειτουργία..... | 33 |
| 4.3.4 | Παράμετροι λειτουργίας..... | 33 |
| 4.4 | Επίλογος..... | 34 |
| Κεφάλαιο 5ο: Η Κατασκευή..... | | 35 |
| 5.1 | Εισαγωγή..... | 35 |
| 5.2 | Υλικά και εξαρτήματα..... | 35 |
| 5.3 | Συνδεσμολογία και Διάγραμμα Μπλοκ..... | 35 |
| 5.4 | Διαδικασία Κατασκευής..... | 37 |
| 5.5 | Κώδικας..... | 44 |
| 5.6 | Δυσκολίες, Προβλήματα, Διορθώσεις..... | 46 |
| 5.7 | Επίλογος..... | 46 |
| Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα – Προτάσεις Βελτίωσης..... | | 47 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | | 48 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΩΔΙΚΑΣ | | 49 |

Κατάλογος Σχημάτων

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1.1 Μηχανικός Θερμοστάτης [21] | 13 |
| Εικόνα 1.2 Ψηφιακός Θερμοστάτης [22] | 14 |
| Εικόνα 2.1 Διάφοροι Αισθητήρες [13] | 17 |
| Εικόνα 2.2 Εύρος πλήρους κλίμακας εξόδου σε καμπύλη συνάρτηση μεταφοράς αισθητήρα [2]..... | 18 |
| Εικόνα 2.3 Διάγραμμα μη γραμμικότητας [2]..... | 19 |
| Εικόνα 2.4 Διάγραμμα εμφάνισης κορεσμού..... | 19 |
| Εικόνα 2.5 Διάγραμμα νεκρής ζώνης [2]..... | 20 |
| Εικόνα 2.6 Ο Αισθητήρας Περιβάλλοντος BME280 [3] | 21 |
| Εικόνα 2.7 Λειτουργία BME280[4] | 22 |
| Εικόνα 3.1 ESP32C3 [9] | 24 |
| Εικόνα 3.2 Εξαρτήματα ESP32C3 [9] | 26 |
| Εικόνα 3.3 ESP-NOW logo[16] | 27 |
| Εικόνα 3.4 Pinout ESP32C3 [8]..... | 27 |
| Εικόνα 3.5 ESP32 vs Arduino[12] | 29 |
| Εικόνα 4.1 Τεχνολογία ESP-NOW [16]..... | 32 |
| Εικόνα 4.2 Ρελέ..... | 33 |
| Εικόνα 4.3 Οθόνη 2x16 I2C..... | 34 |
| Εικόνα 5.1 Συνδεσμολογία Master..... | 36 |
| Εικόνα 5.2 Συνδεσμολογία Slave..... | 36 |
| Εικόνα 5.3 Διάγραμμα Μπλοκ θερμοστάτη..... | 37 |
| Εικόνα 5.4 Συνδεσμολογία σε Breadboard | 38 |
| Εικόνα 5.5 Κουτιά κατασκευής Slaves | 39 |
| Εικόνα 5.6 Στερέωση οθόνης στο καπάκι..... | 39 |
| Εικόνα 5.7 Δοκιμή συνδέσεων..... | 40 |
| Εικόνα 5.8 Τοποθέτηση εξαρτημάτων στο κουτί του Master | 40 |
| Εικόνα 5.9 Τελικό κουτί με οθόνη και κουμπιά..... | 41 |
| Εικόνα 5.10 Ενδείξεις μετρήσεων Master και Slave..... | 41 |
| Εικόνα 5.11 Οθόνη μέσης θερμοκρασίας και υγρασίας..... | 42 |
| Εικόνα 5.12 Τρύπες αερισμού..... | 43 |
| Εικόνα 5.13 Σύγκριση με άλλο θερμόμετρο | 43 |
| Εικόνα 5.14 Τελικό αποτέλεσμα των τριών κατασκευών | 44 |
| Εικόνα 5.15 Arduino IDE..... | 45 |

Κατάλογος Πινάκων

| | |
|--|----|
| Πίνακας 2.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά αισθητήρα BME280..... | 22 |
| Πίνακας 5.1 Υλικά και εξαρτήματα κατασκευής..... | 35 |

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός έξυπνου συστήματος θερμοστάτη που αξιοποιεί τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας για τη συλλογή και διαχείριση δεδομένων θερμοκρασίας και υγρασίας από διαφορετικούς χώρους. Η υλοποίηση βασίζεται στη χρήση του μικροελεγκτή ESP32C3 και του αισθητήρα BME280, με τους θερμοστάτες να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω της λειτουργίας ESP-NOW. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί ώστε να παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης της θερμοκρασίας και της υγρασίας από τρεις αισθητήρες, προσφέροντας τόσο τη συνολική εικόνα όσο και τα δεδομένα κάθε χώρου ξεχωριστά.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία ενός συστήματος που θα προσφέρει πιο ακριβή και ολοκληρωμένο έλεγχο της θερμοκρασίας, βελτιώνοντας την άνεση στο εσωτερικό των χώρων και μειώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση. Με τη δυνατότητα καταγραφής δεδομένων από πολλαπλά σημεία, το σύστημα αυτό στοχεύει στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού. Παράλληλα, εξετάζεται η πρακτική εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής σε καθημερινές συνθήκες, αναδεικνύοντας τη χρησιμότητά της για οικιακούς και επαγγελματικούς χώρους.

1.2 Η σημασία και λειτουργία ενός θερμοστάτη

Ο θερμοστάτης είναι μια απαραίτητη συσκευή για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας σε εσωτερικούς χώρους, διασφαλίζοντας άνεση και εξοικονόμηση ενέργειας. Ο βασικός του ρόλος είναι να διατηρεί τη θερμοκρασία σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο, ελέγχοντας τη λειτουργία συστημάτων θέρμανσης, ψύξης ή κλιματισμού. Με αυτόν τον τρόπο, ο θερμοστάτης συμβάλλει καθοριστικά στη δημιουργία ευχάριστων συνθηκών διαβίωσης ή εργασίας, ενώ παράλληλα μειώνει την άσκοπη κατανάλωση ενέργειας.

Η σημασία του είναι πολυδιάστατη. Αρχικά, εξασφαλίζει τη σταθερότητα της θερμοκρασίας, αποτρέποντας τις απότομες αυξομειώσεις που μπορούν να προκαλέσουν δυσφορία. Επιπλέον, βοηθά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας το σύστημα θέρμανσης ή ψύξης μόνο όταν είναι απαραίτητο. Αυτό όχι μόνο μειώνει το κόστος λειτουργίας αλλά και προστατεύει το περιβάλλον, αφού περιορίζεται το ενεργειακό αποτύπωμα. Παράλληλα, συμβάλλει στην καλύτερη απόδοση και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των συσκευών, αποφεύγοντας την υπερβολική χρήση τους.



Εικόνα 1.1 Μηχανικός Θερμοστάτης [21]

Η λειτουργία του θερμοστάτη βασίζεται στη χρήση αισθητήρων που καταγράφουν τη θερμοκρασία του χώρου. Όταν η θερμοκρασία αποκλίνει από την προκαθορισμένη τιμή, ο θερμοστάτης δίνει εντολή στο σύστημα θέρμανσης ή ψύξης να ενεργοποιηθεί ή να απενεργοποιηθεί, μέχρι ο χώρος να φτάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία. Στα πιο σύγχρονα μοντέλα, όπως οι έξυπνοι θερμοστάτες, υπάρχει η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου μέσω εφαρμογών κινητού, καθώς και η προσαρμογή της λειτουργίας τους στις ανάγκες του χρήστη μέσω προγραμματισμένων ρυθμίσεων.

Συνοψίζοντας, ο θερμοστάτης είναι μια συσκευή που συνδυάζει πρακτικότητα, άνεση και εξοικονόμηση. Η συμβολή του στη βελτίωση της καθημερινότητας και στη μείωση του ενεργειακού κόστους τον καθιστά έναν από τους πιο σημαντικούς μηχανισμούς σε κάθε οικιακό ή επαγγελματικό περιβάλλον.

1.3 Κατηγορίες Θερμοστατών χώρου

Διμεταλλικοί: Οι διμεταλλικοί θερμοστάτες ρυθμίζουν τη θερμοκρασία μέσω ενός διμεταλλικού ελάσματος, το οποίο αποτελείται από δύο διαφορετικά μέταλλα με διαφορετικούς συντελεστές διαστολής. Όταν η θερμοκρασία αλλάζει, το έλασμα κάμπτεται, προκαλώντας την ενεργοποίηση ή την απενεργοποίηση του συστήματος θέρμανσης. Ωστόσο, για να ανιχνεύσει ο θερμοστάτης αυτήν τη μεταβολή, η θερμοκρασία του χώρου πρέπει να παρουσιάσει σημαντική απόκλιση από την επιθυμητή τιμή, συνήθως γύρω στους 3°C. Αυτή η ιδιαιτερότητα καθιστά τους διμεταλλικούς θερμοστάτες λιγότερο ακριβείς σε σύγκριση με τις πιο σύγχρονες ηλεκτρονικές ή έξυπνες εκδοχές τους.

Ηλεκτρονικοί: Οι ηλεκτρονικοί θερμοστάτες διαθέτουν αισθητήρες ακριβείας που παρακολουθούν συνεχώς τη θερμοκρασία του χώρου και ενεργοποιούν το σύστημα θέρμανσης ή ψύξης όταν η θερμοκρασία αποκλίνει ελαφρώς από την επιθυμητή τιμή. Αξίζει να αναφερθεί ότι σε πολλά μοντέλα υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της ευαισθησίας τους, επιτρέποντας στον χρήστη να καθορίσει αν μικρές μεταβολές, όπως 0,5°C, θα επηρεάσουν τη λειτουργία του θερμοστάτη ή όχι.

Λόγω της αμεσότερης αντίδρασης τους στις θερμοκρασιακές μεταβολές του χώρου, οι ηλεκτρονικοί είναι αποδοτικότεροι των διμεταλλικών, καθώς διατηρούν τη θερμοκρασία κατά μεγαλύτερο χρονικό

διάστημα κοντά στο επιθυμητό επίπεδο, αποφεύγοντας τις μεγάλες αυξομειώσεις, ενώ παράλληλα επιτυγχάνουν μειωμένη κατανάλωση του συστήματος.



Εικόνα 1.2 Ψηφιακός Θερμοστάτης [22]

Ψηφιακοί: Σε σύγκριση με τους ηλεκτρονικούς θερμοστάτες, οι ψηφιακοί όχι μόνο εκτελούν τις ίδιες βασικές λειτουργίες, αλλά επιπλέον επιτρέπουν την εκτέλεση πιο εξελιγμένων και έξυπνων διαδικασιών ελέγχου. Η δυνατότητα προγραμματισμού τους προσφέρει απόλυτη ευελιξία, καθώς επιτρέπουν τη ρύθμιση διαφορετικών θερμοκρασιών ανά ώρα και ημέρα της εβδομάδας, ώστε η λειτουργία τους να προσαρμόζεται πλήρως στις καθημερινές συνήθειες του χρήστη.

Οι θερμοστάτες με τεχνολογία PID control ξεχωρίζουν από τους συμβατικούς, καθώς δεν περιορίζονται απλώς στη μέτρηση της θερμοκρασίας, αλλά αναλύουν και το ρυθμό μεταβολής της. Αυτό τους επιτρέπει να προβλέπουν πότε η θερμοκρασία θα φτάσει την επιθυμητή τιμή και να ρυθμίζουν τη λειτουργία της θέρμανσης ή της ψύξης με τέτοιο τρόπο, ώστε να διατηρούν σταθερές συνθήκες άνεσης χωρίς απότομες διακυμάνσεις.

Χάρη σε αυτή την έξυπνη διαχείριση, οι θερμοστάτες PID επιτυγχάνουν όχι μόνο σταθερή θερμοκρασία, αλλά και μέγιστη ενεργειακή απόδοση, αποτρέποντας την υπερβολική ή ανεπαρκή λειτουργία του συστήματος. Η εγκατάστασή τους είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη σε ενδοδαπέδια θέρμανση, όπου η υψηλή θερμική αδράνεια του συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές καθυστερήσεις στην επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας. Με τη χρήση PID, αυτές οι καθυστερήσεις μειώνονται σημαντικά, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης.

Δυνατότητα Προγραμματισμού: Οι προγραμματιζόμενοι θερμοστάτες επιτρέπουν τη ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας για διαφορετικές ώρες της ημέρας και ημέρες της εβδομάδας. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να οριστούν εκ των προτέρων οι συνθήκες θερμοκρασίας που επιθυμεί ο χρήστης σε κάθε χρονική στιγμή, χωρίς να χρειάζεται να ρυθμίζει χειροκίνητα τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης. Έτσι, αποφεύγεται η συνεχής ενασχόληση με τη ρύθμιση της θερμοκρασίας, ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται μεγαλύτερη άνεση και ενεργειακή αποδοτικότητα.

Κεφάλαιο 2ο: Αισθητήρας Περιβάλλοντος

2.1 Εισαγωγή

Οι αισθητήρες αποτελούν την καρδιά πολλών σύγχρονων συστημάτων ελέγχου και αυτοματισμού, καθώς είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή δεδομένων από το περιβάλλον και τη μετάδοσή τους για περαιτέρω επεξεργασία. Πρόκειται για συσκευές που ανιχνεύουν φυσικά μεγέθη, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση, η κίνηση ή το φως, και τα μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα που μπορούν να επεξεργαστούν από μικροελεγκτές ή άλλες μονάδες.

Στον τομέα της θέρμανσης και του ελέγχου της θερμοκρασίας, οι αισθητήρες παίζουν καθοριστικό ρόλο, καθώς επιτρέπουν την ακριβή καταγραφή των συνθηκών του χώρου. Έτσι, εξασφαλίζεται η σωστή λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης, ενώ παράλληλα παρέχεται η δυνατότητα για πιο αποδοτική και ενεργειακά ευφυή διαχείριση.

Η επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα εξαρτάται από τις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής. Στη συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιείται ο αισθητήρας BME280, ο οποίος είναι γνωστός για την ακρίβεια και την αξιοπιστία του στη μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας και βαρομετρικής πίεσης. Η ενσωμάτωσή του στο σύστημα θερμοστάτη επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων από πολλαπλά σημεία, προσφέροντας μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των συνθηκών του χώρου.

2.2 Αισθητήρες

2.2.1 Γενικά

Αισθητήρας ονομάζεται: «*μια συσκευή που ανιχνεύει ένα φυσικό μέγεθος και παράγει από αυτό μία μετρήσιμη έξοδο*». Ένας αισθητήρας αφού λάβει ένα ερέθισμα, παράγει στην έξοδο του ένα ηλεκτρικό σήμα το οποίο μπορεί να μεταβάλετε ως προς το πλάτος, την συχνότητα, τον κύκλο εργασίας του κ.α. Ένα απλό παράδειγμα που μπορούμε να δώσουμε είναι το ανθρώπινο σώμα. Ενδεικτικά θα αναφέρω το μάτι όπου έχει την ικανότητα ανίχνευσης τμήματος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και το αυτί όπου ανιχνεύει τα κύματα πίεσης στον αέρα.



Εικόνα 2.1 Διάφοροι Αισθητήρες [13]

2.2.2 Κατηγορίες Αισθητήρων

Οι αισθητήρες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1. Παθητικοί αισθητήρες

Οι παθητικοί αισθητήρες για να παράγουν ένα σήμα εξόδου απαιτείται εξωτερική τροφοδοσία.

2. Ενεργοί αισθητήρες

Οι ενεργοί αισθητήρες δεν χρειάζονται κάποια εξωτερική τροφοδοσία για να παράγουν σήμα εξόδου. Εκμεταλλεύονται την ενέργεια του ερεθίσματος που έχουν δεχτεί ώστε να δώσουν το σήμα εξόδου.

2.2.3 Χαρακτηριστικά Αισθητήρων

Τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων είναι τα εξής :

- Συνάρτηση μεταφοράς (Transfer Function)

Ο λόγος εισόδου/εξόδου είναι η συνάρτηση μεταφοράς. Αποτελεί την ταυτότητα του αισθητήρα διότι μας δείχνει πόσο αντιπροσωπευτική είναι η τιμή της εξόδου σε σχέση με την είσοδο (τιμή ερεθίσματος). Η συνάρτηση μεταφοράς μπορεί να είναι γραμμική, λογαριθμική, εκθετική ή πολυωνυμική.

- Περιοχή τιμών εισόδου (Range)

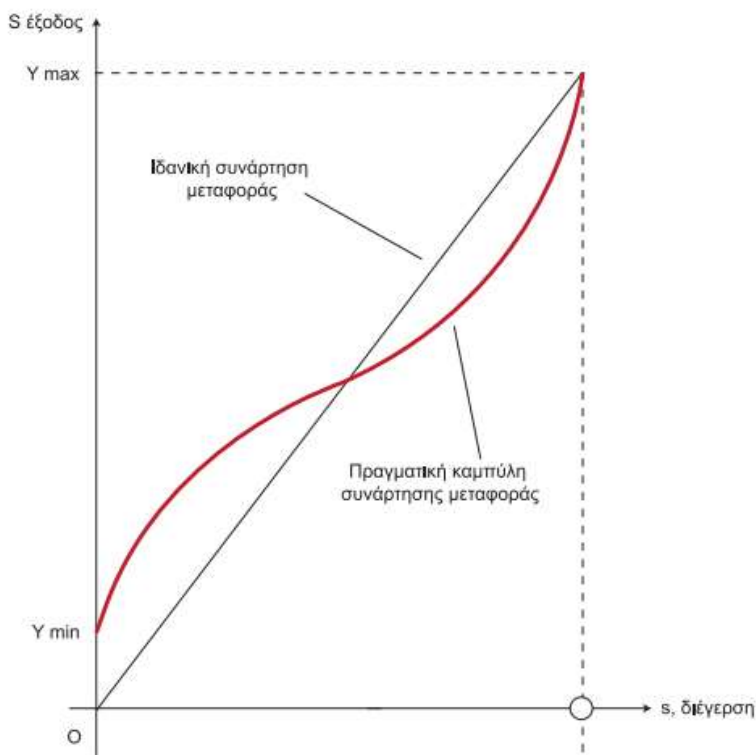
Αυτό το χαρακτηριστικό μας δίνει το εύρος τιμών που μπορεί να δεχτεί σαν είσοδο ο αισθητήρας.

- Εύρος πλήρους κλίμακας εισόδου (IFS, Input Full Scale)

Το εύρος πλήρους κλίμακας εισόδου, είναι η αλγεβρική διαφορά της μέγιστης τιμής του ερεθίσματος από την ελάχιστη.

- Εύρος πλήρους κλίμακας εξόδου (FSO, Full Scale Output)

Το εύρος πλήρους κλίμακας εξόδου (Εικόνα 2.2) είναι η αλγεβρική διαφορά της ελάχιστης τιμής εξόδου από την μέγιστη τιμή εξόδου στην χρονική διάρκεια του σήματος εισόδου.



Εικόνα 2.2 Εύρος πλήρους κλίμακας εξόδου σε καμπύλη συνάρτηση μεταφοράς αισθητήρα [2]

- Ακρίβεια

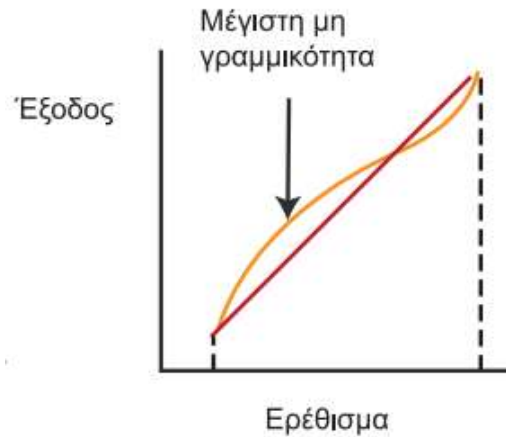
Ως ακρίβεια ορίζεται η διαφορά της πραγματικής τιμής εξόδου σε σχέση με την θεωρητική.

- Υστέρηση (Hysteresis)

Η υστέρηση μας δείχνει τις αποκλίσεις που έχει η έξοδος του αισθητήρα όταν η κατεύθυνση της μεταβολής στην είσοδο αντιστραφεί.

- Μη γραμμικότητα

Όπως θα παρατηρήσουμε στην παρακάτω Εικόνα 2.3 η έξοδος του αισθητήρα παρουσιάζει απόκλιση από τη γραμμικότητα του. Αυτό το αποκαλούμε σφάλμα μη γραμμικότητας.



Εικόνα 2.3 Διάγραμμα μη γραμμικότητας [2]

- Διακριτική ικανότητα

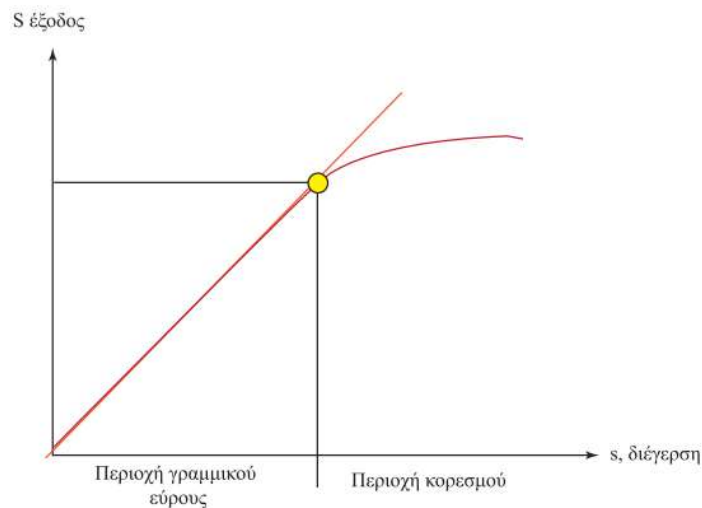
Ως διακριτική ικανότητα σε έναν αισθητήρα ορίζεται η ελάχιστη μετρήσιμη ποσότητα από την είσοδο ώστε να ανιχνεύσουμε οποιαδήποτε μεταβολή στην έξοδο.

- Επαναληψιμότητα

Επαναληψιμότητα σε έναν αισθητήρα είναι όταν το σήμα εξόδου παραμένει σταθερό, όταν στην είσοδο του δέχεται την ίδια τιμή ερεθίσματος.

- Συντελεστής κορεσμού

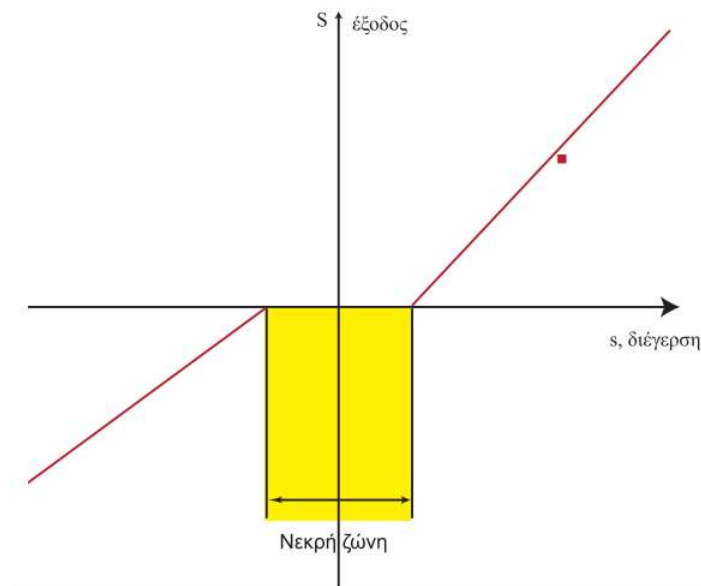
Συντελεστής κορεσμού είναι η τιμή αυτή του ερεθίσματος όπου από εκεί και πέρα η έξοδος θα είναι στο κόρο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4 Διάγραμμα εμφάνισης κορεσμού

- Νεκρή ζώνη (Dead Band)

Νεκρή ζώνη σε έναν αισθητήρα αποκαλούμε το εύρος τιμών της εισόδου για τις οποίες δεν υπάρχει κάποια μεταβολή στην έξοδο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.5.



Εικόνα 2.5 Διάγραμμα νεκρής ζώνης [2]

- Σύνθετη αντίσταση εξόδου (Output impedance)

Καλό είναι να υπάρχει προσαρμογή της σύνθετης αντίστασης εξόδου του αισθητήρα με την αντίσταση εισόδου του συστήματος μέτρησης ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη μεταφορά ισχύος στο κύκλωμα.

- Κατώφλι (Threshold)

Κατώφλι ονομάζεται η ελάχιστη τιμή εισόδου όπου η έξοδος θα μας δώσει μη μηδενική τιμή.

- Χρόνος απόκρισης

Ο χρόνος απόκρισης είναι το πόσο γρήγορα αποκρίνεται η έξοδος του αισθητήρα δεχόμενη στην είσοδο του ένα ερέθισμα στο χρόνο.

- Ολίσθηση (Drift)

Ολίσθηση είναι οι μεταβολές της εξόδου ενώ το σήμα εισόδου παραμένει σταθερό. Αυτό οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία κ.α.

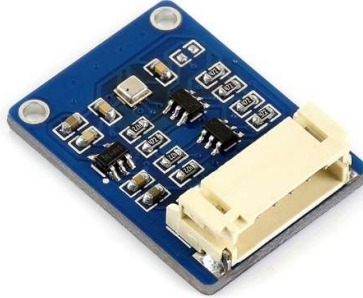
- Ευαισθησία

Η ευαισθησία σε έναν αισθητήρα είναι ο λόγος της μεταβολής της εξόδου προς την αντίστοιχη μεταβολή της εισόδου. Σε έναν θεωρητικά ιδανικό αισθητήρα, η ευαισθησία του είναι μεγάλη και σταθερή.

2.2.4 Αισθητήρας Περιβάλλοντος BME280

Ο αισθητήρας BME280 είναι ένας σύγχρονος αισθητήρας περιβάλλοντος που σχεδιάστηκε από την εταιρεία Bosch και προορίζεται για την ακριβή μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας και βαρομετρικής

πίεσης. Ανήκει στην κατηγορία των αισθητήρων υψηλής ακρίβειας, ενώ η συμπαγής κατασκευή και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας τον καθιστούν ιδανικό για εφαρμογές σε φορητές συσκευές, έξυπνα σπίτια, και άλλες λύσεις IoT (Internet of Things).



Εικόνα 2.6 Ο Αισθητήρας Περιβάλλοντος BME280 [3]

Χαρακτηριστικά του BME280

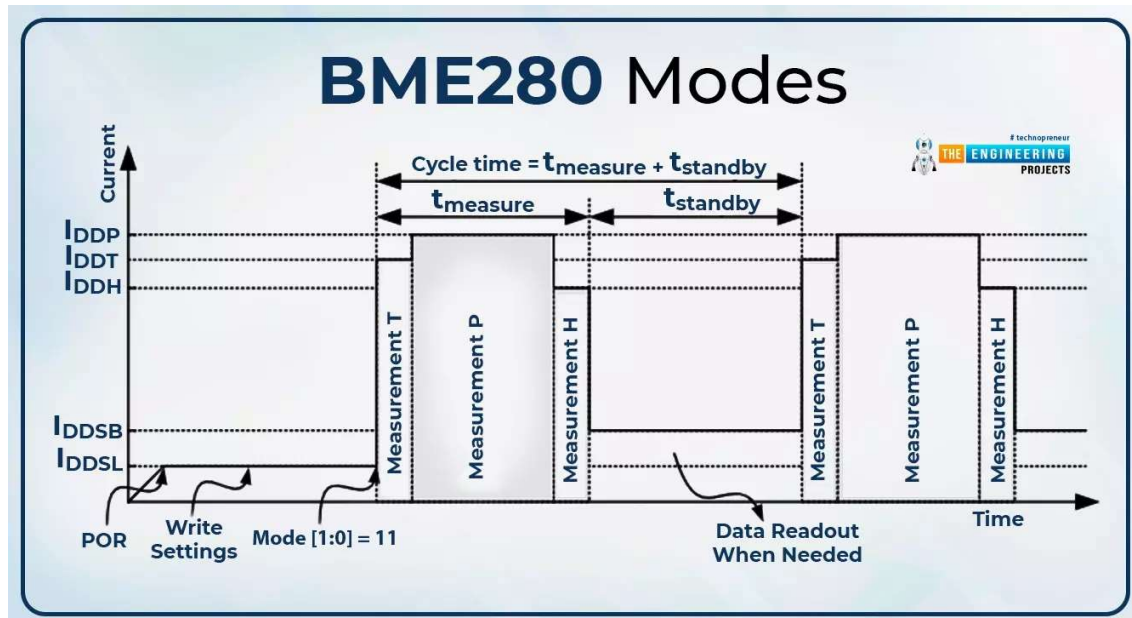
- **Θερμοκρασία:** Ο BME280 προσφέρει ακριβείς μετρήσεις θερμοκρασίας με εύρος από -40°C έως $+85^{\circ}\text{C}$, καθιστώντας τον κατάλληλο για χρήση σε διάφορα περιβάλλοντα.
- **Υγρασία:** Η μέτρηση υγρασίας κυμαίνεται από 0% έως 100% RH, επιτρέποντας την παρακολούθηση ακόμα και σε συνθήκες με υψηλή υγρασία.
- **Βαρομετρική πίεση:** Η δυνατότητα καταγραφής πίεσης από 300 hPa έως 1100 hPa καθιστά τον αισθητήρα χρήσιμο και για εφαρμογές όπως υψομετρία ή πρόγνωση καιρού.
- **Μικρό μέγεθος:** Με διαστάσεις μόλις 2.5 x 2.5 x 0.93 mm, μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε μικρές πλακέτες.
- **Χαμηλή κατανάλωση:** Ιδανικός για εφαρμογές που απαιτούν ενεργειακή αποδοτικότητα, όπως οι συσκευές με μπαταρία.
- **Διασυνδεσιμότητα:** Υποστηρίζει πρωτόκολλα επικοινωνίας I2C και SPI, προσφέροντας ευελιξία στην ενσωμάτωση με διάφορους μικροελεγκτές.

Πίνακας 2.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά αισθητήρα BME280

| | |
|-----------------------------|---|
| Operating voltage | 5V/3.3V |
| Communication interface | I2C/SPI |
| Temperature sensing | -40~85°C (resolution 0.01°C, accuracy ±1°C) |
| Humidity sensing | 0~100%RH (resolution 0.008%RH, accuracy ±3%RH, response time 1s, delay ≤2%RH) |
| Barometric pressure sensing | 300~1100 hPa (resolution 0.18Pa, accuracy ±1hPa) |
| Dimension | 27mm x 20mm |
| Mounting hole size | 2.0mm |

Πλεονεκτήματα του BME280

Ο BME280 ξεχωρίζει για την αξιοπιστία και την ευκολία χρήσης του, καθώς ενσωματώνει πολλαπλές λειτουργίες σε έναν αισθητήρα, μειώνοντας την ανάγκη για επιπλέον εξοπλισμό. Η υψηλή ακρίβειά του στις μετρήσεις εξασφαλίζει τη σωστή λειτουργία του συστήματος, ενώ η ταχύτητα απόκρισής του τον καθιστά ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν άμεση και συνεχή παρακολούθηση.



Εικόνα 2.7 Λειτουργία BME280[4]

Χρήση στη συγκεκριμένη εργασία

Στο πλαίσιο της παρούσας υλοποίησης, ο BME280 χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας σε διαφορετικά σημεία του χώρου. Η δυνατότητα ασύρματης μετάδοσης των δεδομένων μέσω του μικροελεγκτή ESP32C3 και η υψηλή ακρίβεια του αισθητήρα εξασφαλίζουν την

αξιοπιστία του συστήματος και τη σωστή λειτουργία του κεντρικού θερμοστάτη. Ο συνδυασμός αυτών των τεχνολογιών επιτρέπει τη δημιουργία ενός προηγμένου συστήματος ελέγχου θερμοκρασίας που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των σύγχρονων οικιακών και επαγγελματικών χώρων.

2.3 Επίλογος

Ο αισθητήρας περιβάλλοντος BME280 αποτελεί μια εξαιρετική επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια, αξιοπιστία και ευελιξία στη μέτρηση φυσικών μεγεθών, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η βαρομετρική πίεση. Η μικρή του κατανάλωση ενέργειας, το μικρό του μέγεθος και η υποστήριξη πολλαπλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας τον καθιστούν ιδανικό για σύγχρονες λύσεις IoT και αυτοματισμούς.

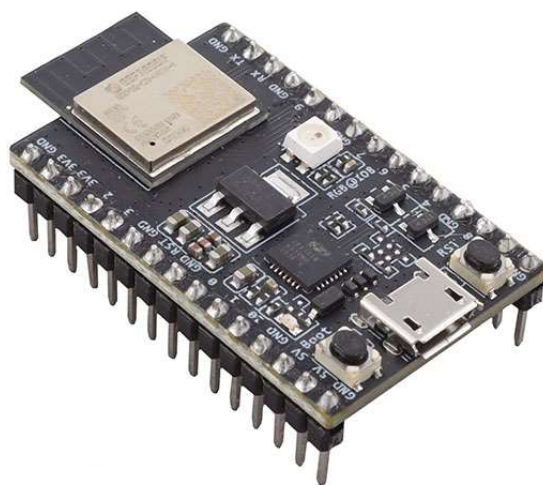
Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, ο BME280 αναδεικνύεται ως αναπόσπαστο μέρος του συστήματος θερμοστάτη, συμβάλλοντας στη συλλογή ακριβών δεδομένων από διαφορετικά σημεία του χώρου. Η συμβολή του στη λειτουργία του συστήματος είναι καθοριστική, καθώς εξασφαλίζει την αποδοτική και ενεργειακά ευφυή ρύθμιση της θερμοκρασίας και της υγρασίας.

Η επιλογή ενός τόσο προηγμένου αισθητήρα υπογραμμίζει τη σημασία της τεχνολογίας στη βελτίωση της καθημερινότητας και την προσαρμογή των συστημάτων ελέγχου στις πραγματικές ανάγκες των χρηστών. Ο BME280, σε συνδυασμό με την ασύρματη τεχνολογία ESP-NOW και τον μικροελεγκτή ESP32C3, δημιουργεί ένα ισχυρό θεμέλιο για την ανάπτυξη καινοτόμων και αποδοτικών λύσεων αυτοματισμού.

Κεφάλαιο 3ο: Μικροελεγκτής ESP32

3.1 Εισαγωγή

Ο ESP32 είναι ένας σύγχρονος μικροελεγκτής που χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές IoT (Internet of Things) και αυτοματισμών. Ξεχωρίζει για τη δυνατότητά του να συνδέεται ασύρματα, την υψηλή του απόδοση και την ευκολία χρήσης του. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, ο ESP32 αποτελεί την "καρδιά" του συστήματος, αφού ελέγχει τη συλλογή δεδομένων από τους αισθητήρες και τη μετάδοσή τους.



Εικόνα 3.1 ESP32C3 [9]

3.2 Περιγραφή ESP32

Ο ESP32 είναι ένας μικροελεγκτής που έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει γρήγορη και αποδοτική επεξεργασία δεδομένων, με χαρακτηριστικά που τον κάνουν ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν ασύρματη επικοινωνία. Μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι:

- **Ασύρματη συνδεσιμότητα:** Υποστηρίζει Wi-Fi και Bluetooth, επιτρέποντας την εύκολη επικοινωνία με άλλες συσκευές.
- **Ευελιξία:** Διαθέτει πολλές θύρες για σύνδεση αισθητήρων, όπως SPI, I2C, και UART.
- **Χαμηλή κατανάλωση:** Έχει λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας, που τον καθιστούν ιδανικό για συστήματα με μπαταρία.
- **Μικρό μέγεθος:** Μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα σε μικρά συστήματα ή πλακέτες.

Ο ESP32 έχει κερδίσει την εμπιστοσύνη των χρηστών χάρη στην αξιοπιστία και την ισχύ του, και γι' αυτό χρησιμοποιείται σε πληθώρα έργων που απαιτούν ευέλικτη διαχείριση δεδομένων.

3.3 Χαρακτηριστικά του ESP32

Επεξεργαστής:

- Διπύρηνος επεξεργαστής Tensilica Xtensa LX6 (2 πυρήνες έως 240MHz).
- Υποστηρίζει ταυτόχρονη εκτέλεση εργασιών (multitasking).

Ασύρματη συνδεσιμότητα:

- Wi-Fi: Συμβατό με το πρότυπο 802.11 b/g/n.
- Bluetooth: Υποστηρίζει Bluetooth Classic και BLE (Bluetooth Low Energy).

Μνήμη:

- RAM: 520KB SRAM.
- Flash: Συνήθως 4MB ή περισσότερο (ανάλογα με το μοντέλο).

Πλούσια σε GPIO:

- Υποστηρίζει πολλά πρωτόκολλα, όπως UART, SPI, I2C, PWM, ADC, DAC.
- Διαθέτει 34 GPIO pins, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες λειτουργίες.

Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας:

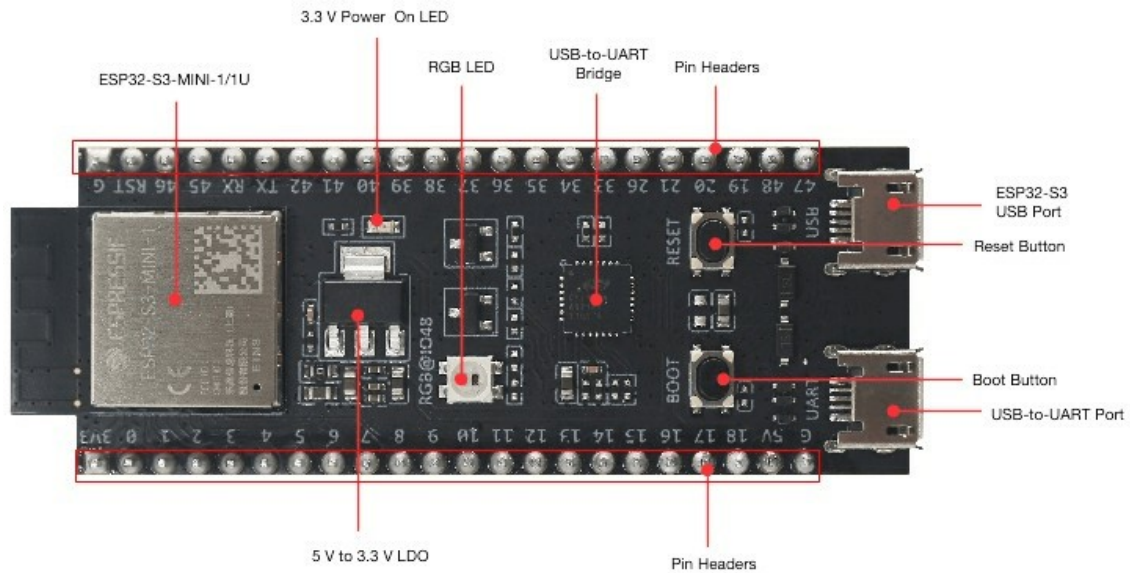
- Διαθέτει πολλαπλές λειτουργίες χαμηλής ισχύος, ιδανικές για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία.

Επεκτασιμότητα:

- Υποστηρίζει δυνατότητες όπως SD card, κάμερες, OLED/LCD οθόνες, και πολλούς αισθητήρες.

Ασφάλεια:

- Ενσωματωμένη κρυπτογράφηση (AES, RSA, SHA), ιδανική για ασφαλείς εφαρμογές IoT.



Εικόνα 3.2 Εξαρτήματα ESP32C3 [9]

3.4 Γιατί επιλέχθηκε ο ESP32C3

Η επιλογή του ESP32C3 για την παρούσα εργασία βασίστηκε σε συγκεκριμένα πλεονεκτήματα:

- **Απλή και γρήγορη ασύρματη επικοινωνία:** Το πρωτόκολλο ESP-NOW επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ συσκευών χωρίς Wi-Fi δίκτυο.
- **Χαμηλό κόστος:** Είναι οικονομικός, ενώ προσφέρει εξαιρετική απόδοση.
- **Ενεργειακή αποδοτικότητα:** Είναι ιδανικός για συστήματα που λειτουργούν συνεχώς, με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.
- **Συμβατότητα:** Εύκολη προγραμματιστική ενσωμάτωση μέσω του Arduino IDE.
- **Οικονομικό:** Παρά τη μεγάλη ισχύ και τις δυνατότητές του, η τιμή του είναι εξαιρετικά χαμηλή.
- **Ευέλικτο:** Υποστηρίζει πολλαπλές ασύρματες τεχνολογίες και πρωτόκολλα.
- **Μεγάλη κοινότητα:** Υπάρχει πλούσια τεκμηρίωση, παραδείγματα και υποστήριξη από την παγκόσμια κοινότητα χρηστών.

Η συνδυαστική του απόδοση και η ευκολία χρήσης του τον καθιστούν την ιδανική επιλογή για το σύστημα θερμοστάτη.

3.5 ESP-NOW

Το ESP-NOW είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που υποστηρίζεται από τα ESP32 και ESP8266 και επιτρέπει την απευθείας επικοινωνία μεταξύ συσκευών χωρίς την ανάγκη σύνδεσης σε Wi-Fi ή χρήση router. Είναι ιδιαίτερα γρήγορο, με πολύ χαμηλή καθυστέρηση, και ιδανικό για εφαρμογές όπου απαιτείται αποστολή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Η επικοινωνία βασίζεται στις μοναδικές MAC διευθύνσεις των συσκευών. Κάθε συσκευή που θέλει να στείλει ή να λάβει δεδομένα πρέπει να γνωρίζει τη MAC διεύθυνση της άλλης και να την καταχωρεί

στη λίστα των "peers". Τα μηνύματα που στέλνονται έχουν μέγιστο μέγεθος 250 bytes και η μετάδοση μπορεί να γίνει είτε σε συγκεκριμένο παραλήπτη (peer-to-peer) είτε σε όλες τις συσκευές ταυτόχρονα (broadcast).

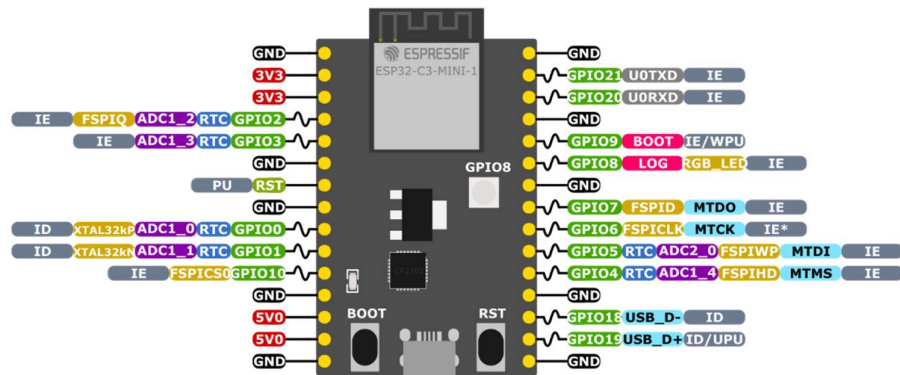


Εικόνα 3.3 ESP-NOW logo[16]

Για λόγους ασφάλειας, υποστηρίζεται κρυπτογράφηση των μηνυμάτων με τη χρήση ενός κοινού κλειδιού. Επιπλέον, το ESP-NOW είναι ενεργειακά αποδοτικό, κάτι που το καθιστά κατάλληλο για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία. Το εύρος της επικοινωνίας μπορεί να φτάσει περίπου τα 200 μέτρα σε ανοιχτό χώρο, αν και εξαρτάται από το περιβάλλον.

Στην εργασία αυτή, το ESP-NOW χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των δεδομένων θερμοκρασίας και υγρασίας από τους δευτερεύοντες αισθητήρες στον βασικό θερμοστάτη, εξασφαλίζοντας γρήγορη και αξιόπιστη επικοινωνία.

ESP32-C3-DevKitM-1



ESP32-C3 Specs
 32-bit RISC-V single-core @160MHz
 Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n 2.4GHz
 Bluetooth LE 5
 400 KB SRAM (16 KB for cache)
 384 KB ROM
 22 GPIOs, 3x SPI, 2x UART, I2C,
 I2S, RMT, LED PWM, USB Serial/JTAG,
 GDMA, TWAI®, 12-bit ADC

GPIOX PWM Capable Pin
GPIOX GPIO Input and Output
JTAG/USB JTAG for Debugging and USB
FLASH External Flash Memory (SPI)
ADXC Analog-to-Digital Converter
OTHER Other Related Functions
SERIAL Serial for Debug/Programming
STRAP Strapping Pin Functions

RTC RTC Power Domain (VDD3P3_RTC)
GND Ground
3V3 Power Rails (3V3 and 5V)

GPIO STAT
UPLU: USB Weak Pull-up
WPU: Weak Pull-up (Internal)
WPD: Weak Pull-down (Internal)
PU: Pull-up (External)
IE: Input Enable (After Reset)
IE*: Input Enable (Depends of FUSE_DIS_PAD_JTAG)
ID: Input Disabled (After Reset)
OE: Output Enable (After Reset)
OD: Output Disabled (After Reset)

Εικόνα 3.4 Pinout ESP32C3 [8]

3.6 Εφαρμογές και Παραδείγματα Χρήσης ESP32

Ο ESP32 χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές, όπως:

- **Έξυπνα σπίτια:** Για έλεγχο φωτισμού, θερμοκρασίας και συσκευών.
- **IoT συστήματα:** Συσκευές που συλλέγουν δεδομένα και τα στέλνουν μέσω διαδικτύου.
- **Αυτοματισμοί:** Όπως αισθητήρες ασφαλείας, ανιχνευτές κίνησης ή συστήματα ελέγχου πόρτας.
- **Φορητές συσκευές:** Χάρη στη χαμηλή του κατανάλωση ενέργειας, χρησιμοποιείται σε συσκευές με μπαταρία.

Ο ESP32 προσφέρει μεγάλη ευελιξία και προσαρμόζεται εύκολα στις ανάγκες κάθε εφαρμογής.

3.7 Συγκριτική Ανάλυση με Άλλους Μικροελεγκτές

Το **ESP32** είναι μία από τις πιο ισχυρές επιλογές για έργα IoT και μικροελεγκτές, και συχνά θεωρείται ανώτερο από τα παραδοσιακά Arduino boards λόγω των προηγμένων χαρακτηριστικών του. Παρόλο που το Arduino είναι εξαιρετικό για αρχάριους και βασικές εφαρμογές, το ESP32 υπερέχει σε πολλούς τομείς. Ακολουθούν οι κύριες διαφορές και παραδείγματα που αναδεικνύουν γιατί το ESP32 είναι καλύτερη επιλογή σε πολλές περιπτώσεις:

Επεξεργαστική Ισχύς

- Το ESP32 διαθέτει **διπύρηνιο επεξεργαστή Tensilica Xtensa LX6**, με ταχύτητα έως 240 MHz, σε σύγκριση με τον επεξεργαστή των 16 MHz του Arduino Uno.
- Μπορεί να διαχειρίζεται πολλαπλές εργασίες ταυτόχρονα (multitasking), ενώ το Arduino εκτελεί μόνο μία εργασία κάθε φορά.

Παράδειγμα: Σε ένα σύστημα έξυπνου σπιτιού, το ESP32 μπορεί ταυτόχρονα:

- Να διαβάζει αισθητήρες θερμοκρασίας.
- Να ελέγχει φώτα μέσω Wi-Fi.
- Να αποστέλλει δεδομένα στο cloud.

Με ένα Arduino, αυτά θα απαιτούσαν σύνθετη διαχείριση χρόνου και ενδέχεται να επηρέαζαν την απόδοση.

Ασύρματη Συνδεσιμότητα

Το ESP32 υποστηρίζει **Wi-Fi** και **Bluetooth** (BLE και Classic), επιτρέποντας σύνδεση στο διαδίκτυο και επικοινωνία με άλλες συσκευές χωρίς επιπλέον εξαρτήματα. Αντίθετα, το Arduino απαιτεί πρόσθετες μονάδες (modules), όπως το ESP8266 ή HC-05, για να προσφέρει παρόμοιες δυνατότητες.

Παράδειγμα:

- Το ESP32 μπορεί να λειτουργήσει ως web server για έλεγχο φώτων από το κινητό.
- Με ένα Arduino, θα χρειαστείς ένα Wi-Fi module (όπως ESP8266), το οποίο αυξάνει την πολυπλοκότητα και το κόστος.

Μνήμη

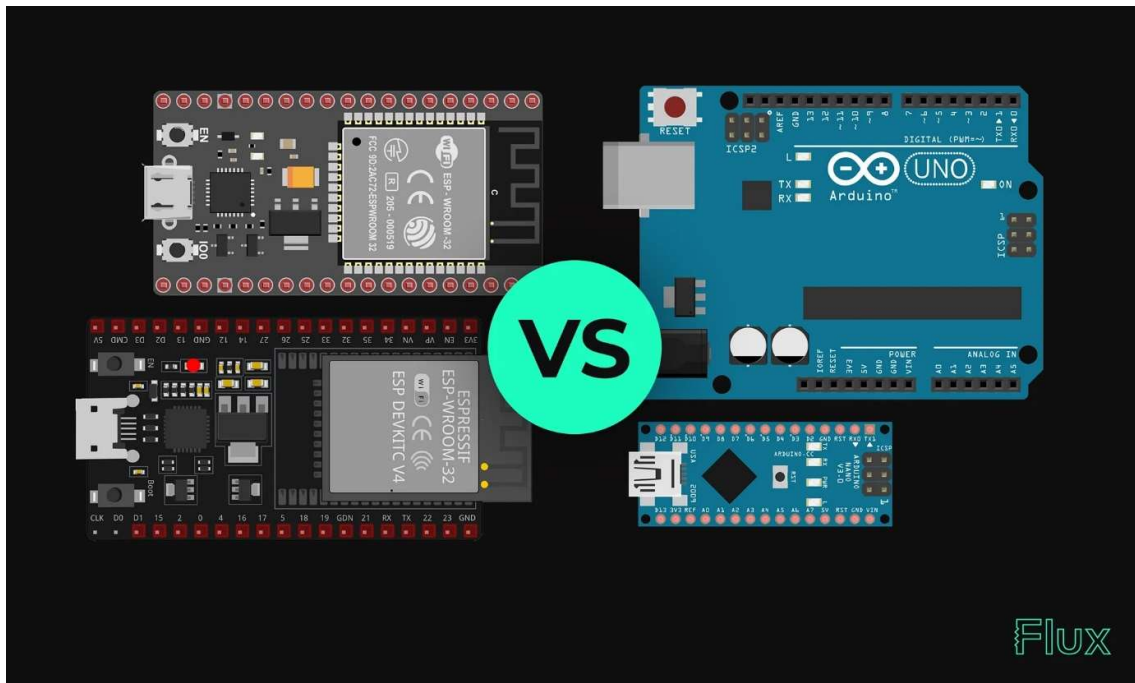
Το ESP32 διαθέτει **520KB SRAM** και **4MB** (ή **περισσότερο**) **Flash memory**, ενώ το Arduino Uno έχει μόνο **2KB SRAM** και **32KB Flash**. Αυτό σημαίνει ότι το ESP32 μπορεί να διαχειριστεί μεγαλύτερα προγράμματα και πιο πολύπλοκα δεδομένα.

Παράδειγμα: Ένα project που περιλαμβάνει ανάλυση δεδομένων από πολλούς αισθητήρες και παρουσίαση σε οθόνη OLED μπορεί να λειτουργήσει ομαλά στο ESP32, ενώ στο Arduino μπορεί να εξαντληθεί η μνήμη.

Χαμηλή Κατανάλωση Ενέργειας

Το ESP32 έχει λειτουργίες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, όπως **Deep Sleep**, που μειώνουν τη χρήση ισχύος σε λίγα microamps. Αυτό το καθιστά ιδανικό για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία. Το Arduino δεν διαθέτει τόσο προηγμένες δυνατότητες διαχείρισης ενέργειας.

Παράδειγμα: Σε ένα project παρακολούθησης περιβάλλοντος (π.χ., θερμοκρασία και υγρασία σε αγρόκτημα), το ESP32 μπορεί να λειτουργεί για μήνες με μία μπαταρία, ξυπνώντας μόνο για να στείλει δεδομένα. Το Arduino θα καταναλώνει συνεχώς περισσότερη ενέργεια.



Εικόνα 3.5 ESP32 vs Arduino[12]

Επεκτασιμότητα και GPIO

Το ESP32 έχει **34 GPIO pins** με υποστήριξη για πολλά πρωτόκολλα (UART, SPI, I2C, PWM, ADC, DAC). Το Arduino Uno έχει μόνο **14 pins** και περιορισμούς στις λειτουργίες τους.

Παράδειγμα: Σε ένα project ρομποτικής που απαιτεί έλεγχο πολλών αισθητήρων και κινητήρων, το ESP32 μπορεί να διαχειριστεί περισσότερες συνδέσεις και λειτουργίες χωρίς πρόσθετα εξαρτήματα.

Κόστος και Αποδοτικότητα

Παρόλο που το ESP32 προσφέρει πολύ περισσότερες δυνατότητες, το κόστος του είναι παρόμοιο με αυτό ενός Arduino Uno ή ακόμα και μικρότερο. Αυτό το καθιστά την πιο αποδοτική επιλογή για έργα που απαιτούν ισχύ και συνδεσιμότητα.

Παράδειγμα: Ένα έξυπνο θερμόμετρο με δυνατότητα αποστολής δεδομένων στο κινητό μπορεί να υλοποιηθεί εξ ολοκλήρου με ένα ESP32. Με Arduino, θα χρειαστείς επιπλέον Wi-Fi module, αυξάνοντας το συνολικό κόστος.

Ευελιξία στον Προγραμματισμό

Το ESP32 υποστηρίζει πολλαπλές πλατφόρμες προγραμματισμού, όπως:

- **Arduino IDE** για ευκολία.
- **MicroPython** για απλότητα και ευελιξία.
- **ESP-IDF** για επαγγελματική ανάπτυξη. Το Arduino περιορίζεται κυρίως στο Arduino IDE.

Παράδειγμα: Για ένα project που απαιτεί σύνθετους αλγόριθμους και ταυτόχρονη διαχείριση πολλαπλών εργασιών, το ESP32 με ESP-IDF προσφέρει επαγγελματικές λύσεις.

Το ESP32 είναι ανώτερο από το Arduino για τα περισσότερα έργα που απαιτούν μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ, συνδεσιμότητα, αποδοτικότητα μνήμης και ευελιξία. Αντίθετα, το Arduino είναι ιδανικό για αρχάριους ή για απλά project που δεν απαιτούν προηγμένες δυνατότητες.

3.8 Επίλογος

Ο ESP32C3 είναι ένας μικροελεγκτής που συνδυάζει ισχυρές δυνατότητες, ασύρματη συνδεσιμότητα και ενεργειακή αποδοτικότητα, καθιστώντας τον κατάλληλο για εφαρμογές IoT και αυτοματισμών. Στην παρούσα εργασία, η επιλογή του ενισχύει τη λειτουργικότητα του συστήματος θερμοστάτη, εξασφαλίζοντας αξιόπιστη επικοινωνία και ακρίβεια στη συλλογή δεδομένων. Με τον ESP32C3, το σύστημα γίνεται πιο αποδοτικό και ευέλικτο, υποστηρίζοντας τις σύγχρονες ανάγκες των χρηστών.

Κεφάλαιο 4ο: Σχεδιασμός Συστήματος

4.1 Σημασία του Συστήματος

Το σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία αποσκοπεί στη βελτίωση της θερμικής άνεσης και της ενεργειακής απόδοσης, τόσο σε οικιακές όσο και σε επαγγελματικές εφαρμογές. Με τη χρήση της τεχνολογίας ESP-NOW και αισθητήρων BME280, παρέχεται η δυνατότητα συλλογής δεδομένων θερμοκρασίας και υγρασίας από διαφορετικά σημεία ενός χώρου, διασφαλίζοντας πιο ακριβή και αποδοτικό έλεγχο. Αυτό επιτρέπει την ευελιξία στην εγκατάσταση, μειώνει το κόστος καλωδίωσης και αυξάνει την ακρίβεια της ρύθμισης θερμοκρασίας.

Το σύστημα αποτελείται από έναν κεντρικό ελεγκτή (Master) και δύο απομακρυσμένους αισθητήρες (Slaves), οι οποίοι επικοινωνούν ασύρματα. Το Master λαμβάνει δεδομένα από τους Slaves, τα επεξεργάζεται, τα εμφανίζει σε μια οθόνη LCD και ελέγχει τη λειτουργία της θέρμανσης μέσω ενός ρελέ.

4.2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

4.2.1 Αρχές λειτουργίας Θερμοστάτη

Ένας θερμοστάτης ρυθμίζει τη θερμοκρασία ενός χώρου με βάση μια προκαθορισμένη τιμή (setpoint). Όταν η θερμοκρασία αποκλίνει από το setpoint, ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την πηγή θέρμανσης ή ψύξης. Στόχος είναι η σταθερή διατήρηση της θερμοκρασίας εντός ενός επιθυμητού εύρους, εξασφαλίζοντας άνεση και οικονομία.

4.2.2 Τεχνολογία ESP-NOW

Το ESP-NOW είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας που επιτρέπει την απευθείας μετάδοση δεδομένων μεταξύ συσκευών χωρίς την ανάγκη router. Χαρακτηρίζεται από υψηλή ταχύτητα, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και ευκολία στη διασύνδεση. Είναι ιδανικό για εφαρμογές IoT, όπως το παρόν σύστημα, όπου απαιτείται αξιόπιστη και άμεση επικοινωνία.



Εικόνα 4.1 Τεχνολογία ESP-NOW [16]

4.2.3 Αισθητήρας BME280

Ο αισθητήρας BME280 προσφέρει μετρήσεις θερμοκρασίας, υγρασίας και βαρομετρικής πίεσης με υψηλή ακρίβεια. Στην εργασία αυτή, χρησιμοποιείται για τη συλλογή δεδομένων από διάφορους χώρους, συμβάλλοντας στη συνολική ακρίβεια του συστήματος.

4.3 Περιγραφή Συστήματος

4.3.1 Υλικό (Hardware)

- **ESP32-C3:** Χρησιμοποιείται ως ο κεντρικός μικροελεγκτής, υπεύθυνος για την επεξεργασία δεδομένων, την επικοινωνία μέσω ESP-NOW και τον έλεγχο του ρελέ.
- **Αισθητήρας BME280:** Συνδεδεμένος στους Slaves, συλλέγει δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας με ακρίβεια και χαμηλή κατανάλωση.
- **Οθόνη LCD 2x16 I2C:** Προβάλλει τις μετρήσεις και τις ρυθμίσεις θερμοκρασίας, διευκολύνοντας την παρακολούθηση του συστήματος.
- **Ρελέ:** Ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί την πηγή θέρμανσης με βάση τα δεδομένα θερμοκρασίας.
- **Κουμπιά (Push buttons):** Για την αυξομείωση της επιθυμητής θερμοκρασίας.



Εικόνα 4.2 Ρελέ

4.3.2 Λογισμικό (Software)

- **Master:** Συλλέγει δεδομένα από τους Slaves, τα επεξεργάζεται και ελέγχει τη θέρμανση.
- **Slaves:** Μετρούν τη θερμοκρασία και την υγρασία και στέλνουν τα δεδομένα στον Master μέσω ESP-NOW.

4.3.3 Σχεδιασμός και Λειτουργία

Το σύστημα λειτουργεί με την εξής αλληλουχία:

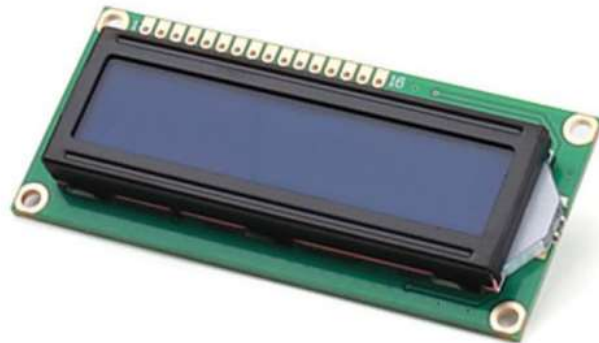
1. Οι Slaves συλλέγουν δεδομένα μέσω των αισθητήρων BME280.
2. Τα δεδομένα μεταδίδονται στον Master ασύρματα μέσω ESP-NOW.
3. Ο Master επεξεργάζεται τα δεδομένα, τα εμφανίζει στην οθόνη LCD και ελέγχει το ρελέ για τη θέρμανση.

4.3.4 Παράμετροι λειτουργίας

Για να λειτουργήσει με ακρίβεια και απόδοση το σύστημα έχουν τεθεί οι εξής παράγοντες:

3. Αλλαγή κατάστασης με διαφορά $0,5^{\circ}\text{C}$. Όταν η επιθυμητή θερμοκρασία έχει οριστεί στους 20°C και η πραγματική φτάσει στους $19,5^{\circ}\text{C}$ τότε θα ενεργοποιηθεί το ρελέ. Αντίστοιχα όταν η πραγματική θερμοκρασία φτάσει στους $20,5^{\circ}\text{C}$ τότε θα απενεργοποιηθεί το ρελέ. Έχει οριστεί με τέτοιο τρόπο για την ομαλότερη λειτουργία του συστήματος ώστε να μην υπάρχουν συχνές εκκινήσεις του καυστήρα καθώς και για την καλύτερη θέρμανση του χώρου.
4. Ιδανική υγρασία ορίζεται μεταξύ 40% και 60%. Γι' αυτό έχει οριστεί παράμετρος εάν η υγρασία ξεπεράσει το 60% να ανάβει ο καυστήρας ως ότου η υγρασία πέσει στα φυσιολογικά επίπεδα με σκοπό ένα πιο υγιεινό περιβάλλον στον χώρο.[4]
5. Χρονοκαθυστέρηση για την σταθεροποίηση της κατάστασης. Έχει οριστεί ένα χρονικό όριο των δέκα δευτερολέπτων ώστε να μην επηρεάζεται ο από από σύντομες και

απότομες αλλαγές, όπως για παράδειγμα το άνοιγμα μιας πόρτας που θα φέρει κρύο αέρα απέξω.



Εικόνα 4.3 Οθόνη 2x16 I2C

4.4 Επίλογος

Το σύστημα που αναπτύχθηκε συνδυάζει σύγχρονη τεχνολογία και χαμηλό κόστος, παρέχοντας μια αποδοτική λύση για τον έλεγχο θερμοκρασίας σε διαφορετικούς χώρους. Με τη χρήση του ESP32-C3, του BME280 και της τεχνολογίας ESP-NOW, εξασφαλίζεται ακρίβεια, ευελιξία και αξιοπιστία, καθιστώντας το ιδανικό για οικιακές και επαγγελματικές εφαρμογές.

Κεφάλαιο 5ο: Η Κατασκευή

5.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η κατασκευή που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσης εργασίας. Συγκεκριμένα, αρχικά καταγράφονται τα υλικά και εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή, καθώς και το κόστος τους. Στη συνέχεια ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση της κατασκευής, ενώ τέλος αναφέρονται οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά την δοκιμή της κατασκευής.

5.2 Υλικά και εξαρτήματα

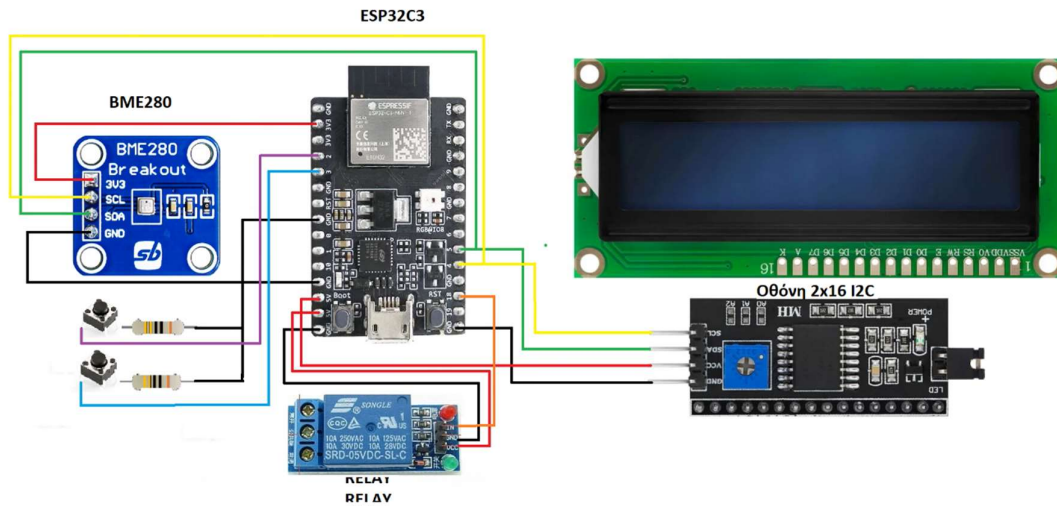
Τα υλικά και τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή είναι αυτά που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1. Το συνολικό κόστος της κατασκευής ανήλθε σε 105€. Σχετικά με τις αντιστάσεις, τα κουμπιά και τα καλώδια, δεν αναγράφεται κάποια τιμή καθώς είτε τα διέθετα ήδη, είτε ήταν μαζί με κάποιο από τα υπόλοιπα υλικά.

Πίνακας 5.1 Υλικά και εξαρτήματα κατασκευής

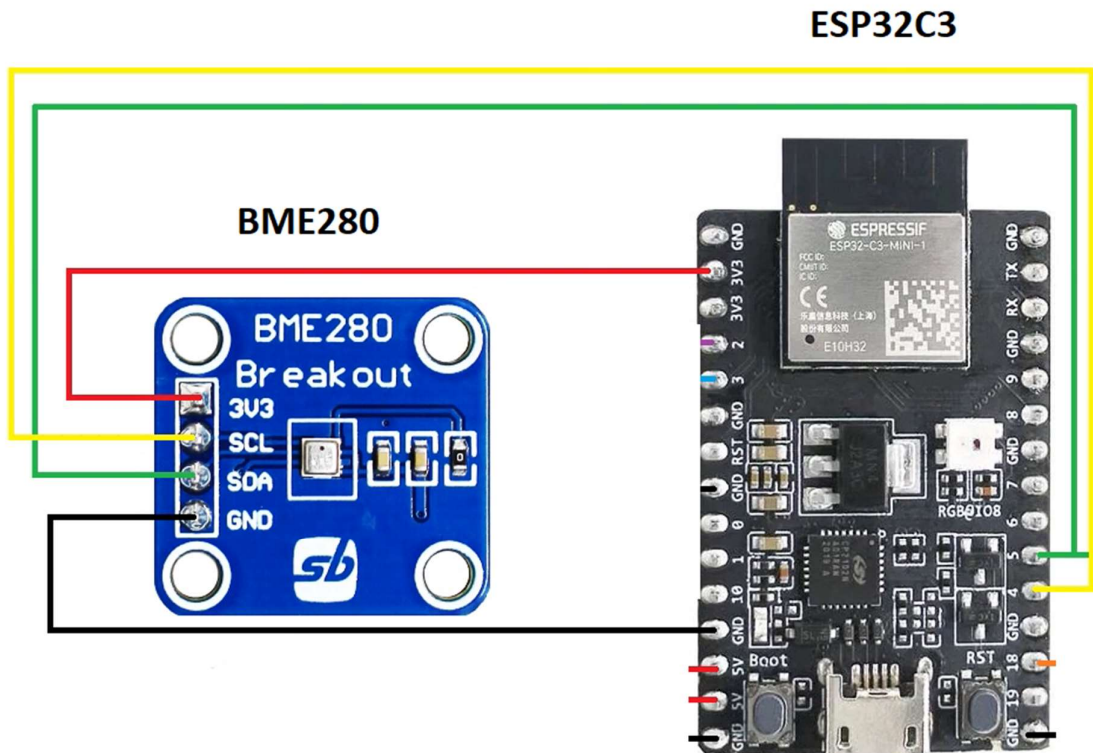
| A/A | Εξάρτημα | Ποσότητα | Κόστος |
|---------------|-----------------------|----------|-------------|
| 1 | ESP32 C3 | 3 | 40,80€ |
| 2 | BME280 | 3 | 34,50 € |
| 3 | Οθόνη 2x16 I2C | 1 | 10€ |
| 4 | Ρελέ | 1 | 2,30€ |
| 5 | Κουτί | 3 | 16€ |
| 6 | Διάτρητη πλακέτα | 1 | 1,40€ |
| 7 | Αντίσταση 330Ω | 2 | |
| 8 | Κουμπιά (Push button) | 2 | |
| 9 | Καλώδια | | |
| Σύνολο | | | 105€ |

5.3 Συνδεσμολογία και Διάγραμμα Μπλοκ

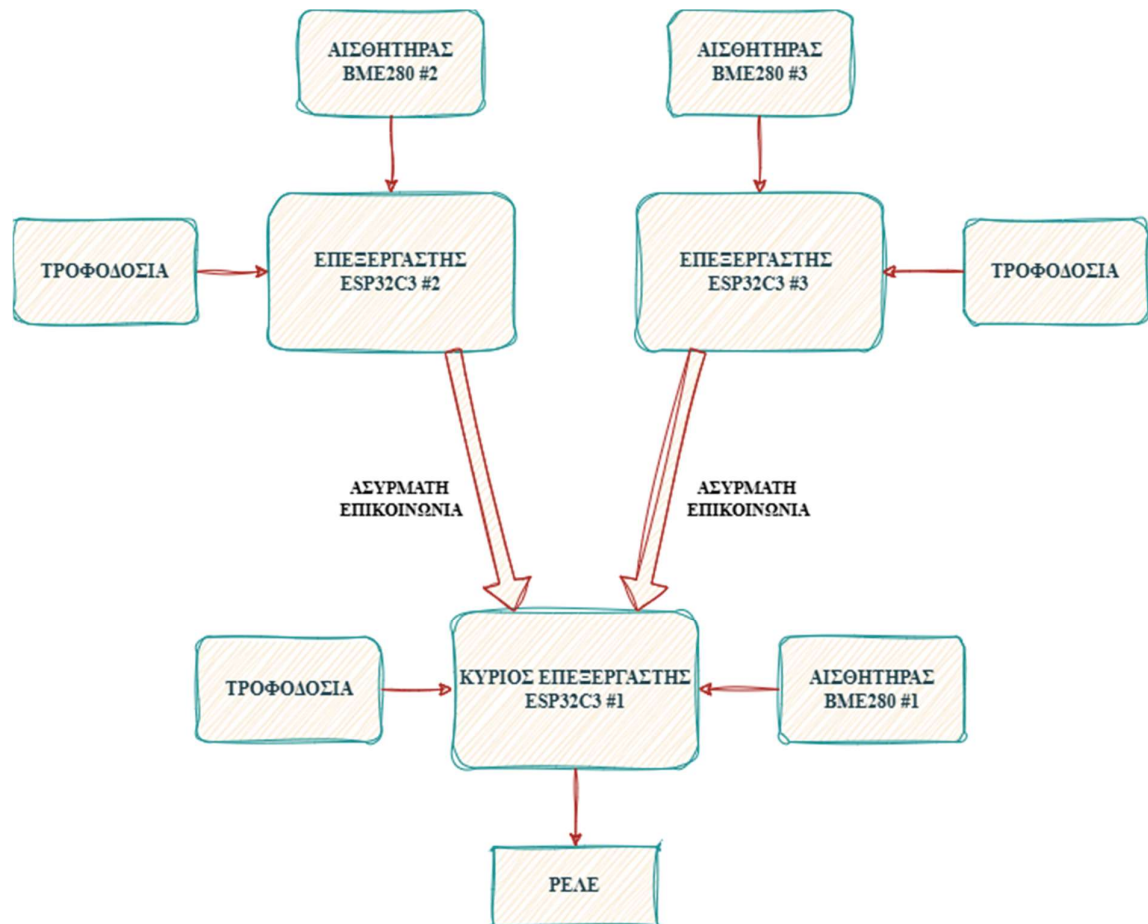
Στο διάγραμμα της Εικόνας 5.1 παρουσιάζεται σχηματικά η συνδεσμολογία των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του Master επεξεργαστή που προβάλλει τα αποτελέσματα στην οθόνη καθώς και χειρίζεται το ρελέ, στην εικόνα 5.2 φαίνεται η συνδεσμολογία των slave, ενώ στην Εικόνα 5.3 παρουσιάζεται το Διάγραμμα Μπλοκ του θερμοστάτη.



Εικόνα 5.1 Συνδεσμολογία Master



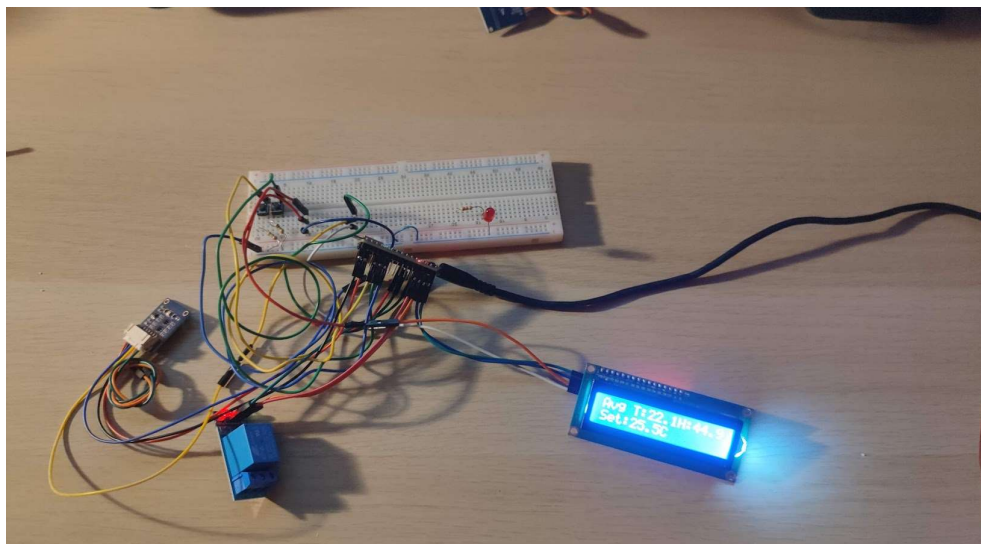
Εικόνα 5.2 Συνδεσμολογία Slave



Εικόνα 5.3 Διάγραμμα Μπλοκ θερμοστάτη

5.4 Διαδικασία Κατασκευής

Αρχικά έγινε η συνδεσμολογία των εξαρτημάτων σε ένα breadboard ώστε να δοκιμαστεί η λειτουργία του κυκλώματος. Έπειτα φορτώθηκε ο κώδικας μέσω του Arduino IDE για να δοκιμαστεί και να διασφαλιστεί ότι ο αισθητήρας BME280 επικοινωνεί σωστά με το ESP32. Ο κώδικας περιελάμβανε τη χρήση της βιβλιοθήκης Adafruit BME280, η οποία επιτρέπει την ανάγνωση δεδομένων θερμοκρασίας και υγρασίας. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, έγινε επαλήθευση ότι τα δεδομένα που λαμβάνονται είναι ακριβή και σταθερά καθώς και οι 2 slaves επικοινωνούν σωστά με τον Master.



Εικόνα 5.4 Συνδεσμολογία σε Breadboard

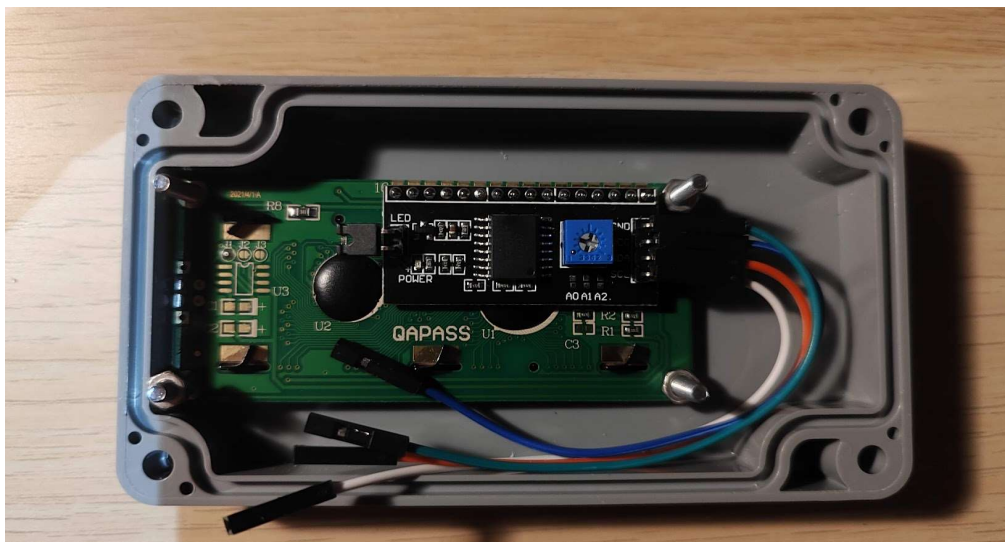
Αφού επιβεβαιώθηκε η σωστή λειτουργία του κυκλώματος, έγινε η μόνιμη συναρμολόγηση του πάνω σε μια πλακέτα PCB. Η πλακέτα αυτή σχεδιάστηκε ώστε να φιλοξενεί το ESP32 και τον αισθητήρα BME280 με σταθερές συνδέσεις, εξαλείφοντας την πιθανότητα χαλαρών επαφών που μπορεί να προκύψουν σε ένα breadboard. Τα καλώδια συνδέθηκαν και κολλήθηκαν σταθερά στις προβλεπόμενες θέσεις, ενώ προστέθηκαν και απαραίτητα εξαρτήματα, όπως αντιστάσεις και pins σύνδεσης για τη βελτιστοποίηση του κυκλώματος.

Στη συνέχεια, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το προστατευτικό κουτί για το κύκλωμα. Το κουτί επιλέχθηκε από ανθεκτικό πλαστικό. Οι διαστάσεις του κουτιού προσαρμόστηκαν ώστε να φιλοξενεί άνετα την πλακέτα PCB και τα εξαρτήματα, ενώ δημιουργήθηκαν οπές για την είσοδο των καλωδίων και τον αερισμό του αισθητήρα.



Εικόνα 5.5 Κουτιά κατασκευής Slaves

Το κύκλωμα τοποθετήθηκε μέσα στο κουτί και στερεώθηκε με τη βοήθεια αποστατών, ώστε να παραμένει σταθερό κατά τη χρήση.

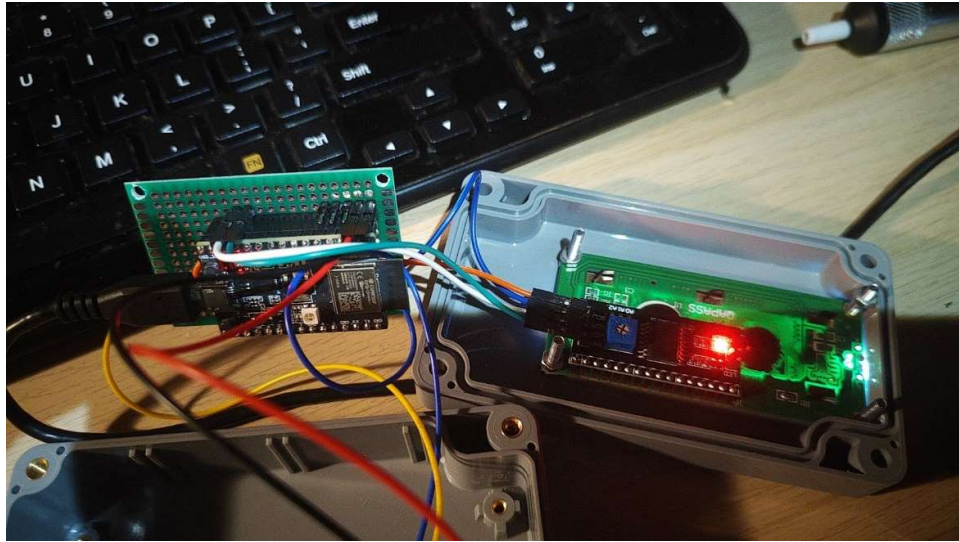


Εικόνα 5.6 Στερέωση οθόνης στο καπάκι

Τέλος, έγινε η συναρμολόγηση και το κλείσιμο του κουτιού, και πραγματοποιήθηκαν τελικές δοκιμές. Ελέγχθηκε ότι όλα τα εξαρτήματα λειτουργούν σωστά και ότι το κύκλωμα παραμένει σταθερό ακόμα και μετά από παρατεταμένη χρήση. Η θερμοκρασία του ESP32 παρακολούθηθηκε για να διασφαλιστεί ότι το εσωτερικό του κουτιού δεν υπερθερμαίνεται. Με την ολοκλήρωση αυτών των διαδικασιών, το

Κεφάλαιο 5

έργο ήταν έτοιμο προς χρήση, παρέχοντας αξιόπιστες μετρήσεις και προστασία του κυκλώματος από εξωτερικούς παράγοντες.

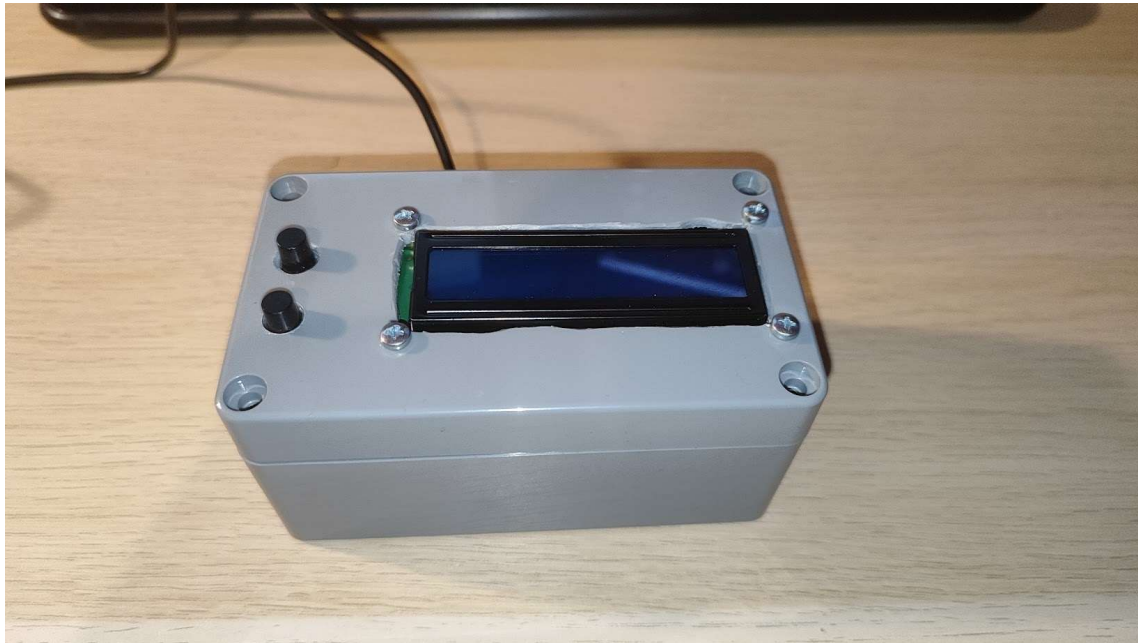


Εικόνα 5.7 Δοκιμή συνδέσεων



Εικόνα 5.8 Τοποθέτηση εξαρτημάτων στο κουτί του Master

Στη συνέχεια θα δούμε το τελικό αποτέλεσμα και τις ενδείξεις στην οθόνη:



Εικόνα 5.9 Τελικό κουτί με οθόνη και κουμπιά

Στην Εικόνα 5.10 βλέπουμε τις ενδείξεις από κάθε ένα αισθητήρα. Το S1 αναφέρεται στον Slave vo1, το S2 στον Slave vo2 και το M στον Master.



Εικόνα 5.10 Ενδείξεις μετρήσεων Master και Slave

Κεφάλαιο 5

Στην Εικόνα 5.11 προβάλετε η μέση θερμοκρασία και υγρασία των τριών αισθητήρων καθώς και το setpoint για την ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας η οποία αλλάζει με τα 2 κουμπιά στα αριστερά της οθόνης.



Εικόνα 5.11 Οθόνη μέσης θερμοκρασίας και υγρασίας

Στις κατασκευές έγιναν οι απαραίτητες τρύπες για τον αερισμό των κυκλωμάτων, αλλά κυρίως για να μπορεί ο κάθε αισθητήρας να έχει αξιόπιστη μέτρηση.



Εικόνα 5.12 Τρύπες αερισμού

Παρακάτω βλέπουμε μια σύγκριση με ένα άλλο θερμόμετρο. Παρατηρούμε πως η απόκλιση που έχει είναι ελάχιστη:



Εικόνα 5.13 Σύγκριση με άλλο θερμόμετρο

Το τελικό αποτέλεσμα και των τριών κουτιών φαίνεται στην επόμενη φωτογραφία:



Εικόνα 5.14 Τελικό αποτέλεσμα των τριών κατασκευών

Για την κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω εργαλεία και εξαρτήματα:

1. Κολλητήρι και καλάι
2. Βιδολόγος
3. Τρυπάνια
4. Dremmel
5. Κατσαβίδια
6. Πένσα
7. Κοφτάκι

5.5 Κώδικας

Ο προγραμματισμός του κώδικα έγινε μέσω του Arduino IDE. Το Arduino IDE (Integrated Development Environment) είναι ένα περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό πλακετών Arduino και συμβατών μικροελεγκτών. Είναι ένα απλό και εύχρηστο εργαλείο που επιτρέπει στους προγραμματιστές να γράφουν, να επεξεργάζονται, να μεταγλωττίζουν και να ανεβάζουν κώδικα στις πλακέτες τους.



Εικόνα 5.15 Arduino IDE

Παρακάτω βλέπουμε την αρχή του κώδικα του Master. Ολόκληρος ο κώδικας του Master καθώς και ο κώδικας των slave βρίσκεται στο Παράρτημα Α στο τέλος.

Κώδικας Master:

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>

// Pins για την LCD
#define SDA_PIN 2
#define SCL_PIN 3

// Pins για τα κουμπιά
#define BUTTON_UP_PIN 4
#define BUTTON_DOWN_PIN 5

#define RELAY_PIN 19 //ρελέ

```

5.6 Δυσκολίες, Προβλήματα, Διορθώσεις

Η υλοποίηση του κυκλώματος και της κατασκευής δεν παρουσίασε ιδιαίτερες τεχνικές δυσκολίες, καθώς βασίστηκε σε έναν καλά σχεδιασμένο αρχικό πλάνο. Παρόλα αυτά, κατά την επεξεργασία των κουτιών, η βιασύνη στην εκτέλεση οδήγησε σε ένα αποτέλεσμα που θα μπορούσε να βελτιωθεί τόσο αισθητικά όσο και λειτουργικά.

Για παράδειγμα, η χρήση πιο προσεγγμένων εργαλείων κοπής και συναρμολόγησης θα είχε συμβάλει στη δημιουργία πιο ομοιόμορφων και καλαίσθητων επιφανειών. Επιπλέον, η εφαρμογή μεθόδων όπως η προσθήκη στεγανοποιητικών υλικών ή πιο εργονομικών λύσεων για την τοποθέτηση και την πρόσβαση στα εσωτερικά εξαρτήματα, θα μπορούσε να ενισχύσει την ανθεκτικότητα και την ευχρηστία των κουτιών.

Επίσης, μια πιο λεπτομερής σχεδίαση στο στάδιο του προγραμματισμού θα επέτρεπε την καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου, βελτιστοποιώντας παράλληλα την τοποθέτηση των κυκλωμάτων και των εξαρτημάτων. Έτσι, το τελικό προϊόν θα ήταν όχι μόνο πιο αποτελεσματικό στην χρήση του, αλλά και πιο ελκυστικό οπτικά, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την παρουσίαση και τη γενική αποδοχή της κατασκευής.

Θα χρειαστεί να παρακολουθηθεί μακροπρόθεσμα για τυχόν παρεκκλίσεις στις μετρήσεις ώστε να γίνει η οποιαδήποτε ενέργεια είτε στο κομμάτι της κατασκευής, είτε στον κώδικα για να προσαρμοστεί σωστά στις συνθήκες λειτουργίας.

5.7 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφηκαν τα συστατικά μέρη της κατασκευής του θερμοστάτη, καθώς περιγράφηκε και η διαδικασία υλοποίησής της.

Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα – Προτάσεις Βελτίωσης

Το αποτέλεσμα της εργασίας αυτής ήταν αρκετά ικανοποιητικό καθώς έδειξε πως το σύστημα μπορεί να μετρά με ακρίβεια την θερμοκρασία και την υγρασία πολλών χώρων ταυτόχρονα. Η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των τριών ESP32 ήταν αποτελεσματική και απρόσκοπτη χωρίς προβλήματα. Η χρήση του συστήματος θα βοηθούσε στην εξοικονόμηση ενέργειας και πόρων σε σχέση με έναν απλό μηχανικό θερμοστάτη με μέτρηση σε έναν χώρο.

Ωστόσο υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης τόσο σε επίπεδο λογισμικού όσο και υλικού. Μια σημαντική αναβάθμιση θα ήταν η χρήση ηλεκτροβάνων και τοποθέτηση τους σε κάθε χώρο όπου υπάρχει αισθητήρας για τον έλεγχο θερμοκρασίας κάθε χώρου χωριστά. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση της ενέργειας για ένα σπίτι καθώς θα μπορούμε να ρυθμίσουμε ξεχωριστά την επιθυμητή θερμοκρασία για κθε χώρο. Για παράδειγμα ο χώρος της κρεβατοκάμαρας σύμφωνα με έρευνες, πρέπει να είναι στους 18,3°C για έναν υγιή και αποτελεσματικό ύπνο, συνεπώς η δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας του χώρου έχει θετικές συνέπειες τόσο στην υγεία όσο και στην κατανάλωση ενέργειας. Επιπρόσθετα η δυνατότητα καθορισμού ενός χρονοδιαγράμματος λειτουργίας με βάση την ώρα και την μέρα ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Δηλαδή να μπορεί να ορίσει ο χρήστης τις ώρες που λείπει από το σπίτι ώστε να μην λειτουργεί ο θερμοστάτης και να ενεργοποιείται κάποια ώρα πριν επιστρέψει ώστε να έρθει ο χώρος στην επιθυμητή θερμοκρασία. Όπως και σε συνδυασμό της προηγούμενης πρότασης βελτίωσης, κατά τις νυχτερινές ώρες να ορίζεται μια διαφορετική επιθυμητή θερμοκρασία και για τους υπόλοιπους χώρους του σπιτιού για την λιγότερη κατανάλωση ενέργειας.

Μία ακόμα βελτίωση που θα ήταν ιδιαίτερα βοηθητική για τον χρήστη είναι η δυνατότητα απομακρυσμένου χειρισμού. Να μπορεί ο χρήστης να έχει πρόσβαση στο σύστημα για να αλλάξει οποιαδήποτε παράμετρο ή να παρακολουθήσει την κατάσταση του σπιτιού του όταν βρίσκεται εκτός. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη σύνδεσης με πλατφόρμες IoT (πχ Firebase, ThingSpeak, Blynk). Με την δημιουργία μιας εύχρηστης οθόνης χειρισμού ο χρήστης θα μπορεί να παραμετροποιήσει οποιαδήποτε λειτουργία ως προς την επιθυμητή θερμοκρασία, τις ώρες λειτουργίας καθώς και να αλλάξει κατάσταση λειτουργίας οποιαδήποτε στιγμή από οπουδήποτε. Μια επιπρόσθετη προσθήκη στον απομακρυσμένο έλεγχο θα ήταν η δυνατότητα χειρισμού ενός διακόπτη θερμοσίφωνα με σκοπό την αποδοτικότερη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας.

Συνολικά, η παρούσα εργασία ανέδειξε τις δυνατότητες του συστήματος και επιβεβαίωσε ότι μπορεί να αποτελέσει μια αποδοτική και έξυπνη λύση για τον έλεγχο θερμοκρασίας και υγρασίας. Με τις προτεινόμενες βελτιώσεις, το σύστημα θα μπορούσε να καταστεί ακόμα πιο λειτουργικό, ευέλικτο και αποδοτικό, συμβάλλοντας στην καλύτερη διαχείριση της ενέργειας και στην ενίσχυση της αυτονομίας των χρηστών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Wikipedia: <https://el.wikipedia.org>
- [2] Κ. Καλοβρέκτης και Ν. Κατέβας, *Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Α. Τζιόλα 3η Έκδοση, 2018.
- [3] Waveshare https://www.waveshare.com/wiki/BME280_Environmental_Sensor
- [4] Introduction to BME280 <https://www.theengineeringprojects.com/2019/04/introduction-to-bme280.html>
- [5] Sleepfoundation <https://www.sleepfoundation.org/bedroom-environment/humidity-and-sleep>
- [6] Espressif Systems. "ESP-NOW User Guide." Espressif Documentation. <https://www.espressif.com>
- [7] Kopeć, Ł., & Nawrocki, R. (2020). "Performance and Applications of ESP32 in IoT." IEEE Internet of Things Journal.
- [8] Espressif Systems. "ESP-IDF Programming Guide." Espressif Systems Documentation. <https://docs.espressif.com>
- [9] <https://grobotronics.com/esp32-development-board-esp32-s2-devkitc-1.html?sl=en>
- [10] Brown, P., & Lopez, D. (2021). "Microcontroller Communication Protocols: A Comparative Analysis." Journal of Embedded Systems.
- [11] Bosch Sensortec. "BME280: Combined Humidity and Pressure Sensor." Bosch Documentation. <https://www.bosch-sensortec.com>
- [12] ESP32 Vs Arduino: Why Choose One Over the Other in 2023 <https://www.flux.ai/p/blog/esp32-vs-arduino-why-choose-one-over-the-other-in-2023>
- [13] Esp32 vs Arduino: The Differences <https://all3dp.com/2/esp32-vs-arduino-differences>
- [14] Αισθητήρια και παρελκόμενα https://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki_G_2018_final/_0.html
- [15] Introduction to the ESP32 – From Prototype to Production <https://predictabledesigns.com/introduction-to-the-esp32-wifi-bluetooth-wireless-microcontroller/>
- [16] Getting Started with ESP-NOW (ESP32 with Arduino IDE) <https://randomnerdtutorials.com/esp-now-esp32-arduino-ide/>
- [17] Best Temperature for Sleep <https://www.sleepfoundation.org/bedroom-environment/best-temperature-for-sleep>
- [18] <https://www.skroutz.gr/articles/544/o-kaliteros-thermostatis-gia-sena>
- [19] <https://e-kousis.gr/pos-na-epilexeis-ton-katallilo-thermostati-choroy/>
- [20] <https://www.thermoymavlikos.gr/thermostates-choroy/>
- [21] <https://kentrolampas.gr/product/thermostatis-michanikos-wst06-3a-220v-147-44002/>
- [22] <https://www.electrotherm.gr/DIGITAL-ROOM-THERMOSTAT-LOGICTHERM-R3-9421>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΩΔΙΚΑΣ

Παρακάτω βλέπουμε τον κώδικα του Master και έπειτα τον κώδικα των slave.

Κώδικας Master:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>

// Pins για την LCD
#define SDA_PIN 2
#define SCL_PIN 3

// Pins για τα κουμπιά
#define BUTTON_UP_PIN 4
#define BUTTON_DOWN_PIN 5

#define RELAY_PIN 19 //ρελέ

// Οθόνη LCD και αισθητήρας BME280
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
Adafruit_BME280 bme;

// Δομή για λήψη δεδομένων μέσω ESP-NOW
typedef struct {
    float temperature;
    float humidity;
} SensorData;

SensorData slave1Data, slave2Data, masterData;
bool slave1Received = false;
```

```

bool slave2Received = false;

// MAC διευθύνσεις των δύο Slaves
uint8_t slave1Address[] = {0x48, 0x27, 0xE2, 0xB5, 0x4D, 0x68};
uint8_t slave2Address[] = {0x84, 0xFC, 0xE6, 0x09, 0xC7, 0x50};

// Μεταβλητές για τη ρύθμιση θερμοκρασίας
float setTemp = 20.0;
float hysteresis = 0.5;
bool ledState = false;

unsigned long lastButtonTimeUp = 0;
unsigned long lastButtonTimeDown = 0;
const unsigned long debounceDelay = 200; // Χρονική καθυστέρηση αποθρομβοποίησης

// Μεταβλητές για εναλλαγή οθονών
unsigned long lastDisplayUpdate = 0;
const unsigned long displayInterval = 5000; // Αλλαγή οθόνης κάθε 5 δευτερόλεπτα
bool displayFirstScreen = true;

// Callback για λήψη δεδομένων ESP-NOW
void onDataReceive(const esp_now_recv_info_t *recv_info, const uint8_t *incomingData, int len) {
    if (memcmp(recv_info->src_addr, slave1Address, 6) == 0) {
        memcpy(&slave1Data, incomingData, sizeof(slave1Data));
        slave1Received = true;
    } else if (memcmp(recv_info->src_addr, slave2Address, 6) == 0) {
        memcpy(&slave2Data, incomingData, sizeof(slave2Data));
        slave2Received = true;
    }
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);

```

```
Wire.begin(SDA_PIN, SCL_PIN);

// Αρχικοποίηση LCD
lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Initializing...");

// Αρχικοποίηση BME280
if (!bme.begin(0x77)) {
  Serial.println("BME280 δεν βρέθηκε!");
  while (1);
}

// Ρύθμιση κουμπιών
pinMode(BUTTON_UP_PIN, INPUT_PULLUP);
pinMode(BUTTON_DOWN_PIN, INPUT_PULLUP);

// Ρύθμιση RELAY
pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Αρχικά σβηστό το ρελέ

// Αρχικοποίηση ESP-NOW
WiFi.mode(WIFI_STA);

if (esp_now_init() != ESP_OK) {
  Serial.println("Σφάλμα κατά την αρχικοποίηση ESP-NOW");
  return;
}

// Εγγραφή callback
esp_now_register_recv_cb(onDataReceive);
```

```

// Προσθήκη peers
esp_now_peer_info_t peerInfo;

memcpy(peerInfo.peer_addr, slave1Address, 6);
peerInfo.channel = 0;
peerInfo.encrypt = false;
if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK) {
  Serial.println("Σφάλμα κατά την προσθήκη του Slave 1!");
  return;
}

memcpy(peerInfo.peer_addr, slave2Address, 6);
peerInfo.channel = 0;
peerInfo.encrypt = false;
if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK) {
  Serial.println("Σφάλμα κατά την προσθήκη του Slave 2!");
  return;
}

lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Ready");
}

void loop() {
  // Ανάγνωση δεδομένων από τον αισθητήρα του Master
  masterData.temperature = bme.readTemperature();
  masterData.humidity = bme.readHumidity();

  // Έλεγχος κουμπιών για ρύθμιση θερμοκρασίας
  if (digitalRead(BUTTON_UP_PIN) == LOW && (millis() - lastButtonTimeUp > debounceDelay)) {
    setTemp += 0.5;
    lastButtonTimeUp = millis();
  }
}

```

```

    updateDisplay(); // Ενημέρωση οθόνης άμεσα
}

    if (digitalRead(BUTTON_DOWN_PIN) == LOW && (millis() - lastButtonTimeDown >
debounceDelay)) {
        setTemp -= 0.5;
        lastButtonTimeDown = millis();
        updateDisplay(); // Ενημέρωση οθόνης άμεσα
    }

// Ενημέρωση οθόνης κάθε 2 δευτερόλεπτα
if (millis() - lastDisplayUpdate > displayInterval) {
    lastDisplayUpdate = millis();
    displayFirstScreen = !displayFirstScreen;
    updateDisplay();
}

// Έλεγχος LED με υστέρηση
if (masterData.temperature <= setTemp - hysteresis) {
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Ενεργοποίηση ρελέ
} else if (masterData.temperature >= setTemp + hysteresis) {
    digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Απενεργοποίηση ρελέ
}
}

void updateDisplay() {
    if (displayFirstScreen) {
        // Πρώτη οθόνη: Θερμοκρασίες από τους 3 αισθητήρες
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("S1:");
        lcd.print(slave1Data.temperature, 1);
        lcd.print("C");
    }
}

```

```

lcd.setCursor(8, 0);
lcd.print("S2:");
lcd.print(slave2Data.temperature, 1);
lcd.print("C");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("M:");
lcd.print(masterData.temperature, 1);
lcd.print("C");
} else {
    // Δεύτερη οθόνη: Μέση θερμοκρασία, υγρασία και setTemp
    float avgTemperature = (slave1Data.temperature + slave2Data.temperature +
masterData.temperature) / 3.0;
    float avgHumidity = (slave1Data.humidity + slave2Data.humidity + masterData.humidity) / 3.0;

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Avg T:");
    lcd.print(avgTemperature, 1);
    lcd.print("C");

    lcd.setCursor(10, 0);
    lcd.print("H:");
    lcd.print(avgHumidity, 1);
    lcd.print("%");

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Set:");
    lcd.print(setTemp, 1);
    lcd.print("C");
}
}

```

Κώδικας slave:

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>

#define SDA_PIN 3
#define SCL_PIN 2

Adafruit_BME280 bme;

// Διεύθυνση MAC του Master
uint8_t masterAddress[] = {0x84, 0xFC, 0xE6, 0x09, 0xCC, 0x64};

// Δομή για αποστολή δεδομένων
typedef struct {
    float temperature;
    float humidity;
} SensorData;

SensorData sensorData;

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    Wire.begin(SDA_PIN, SCL_PIN);

    if (!bme.begin(0x77)) {
        Serial.println("BME280 δεν βρέθηκε!");
        while (1);
    }

    WiFi.mode(WIFI_STA);
```

```

if (esp_now_init() != ESP_OK) {
  Serial.println("Σφάλμα κατά την αρχικοποίηση ESP-NOW");
  return;
}

// Προσθήκη του Master ως peer
esp_now_peer_info_t peerInfo;
memcpy(peerInfo.peer_addr, masterAddress, 6);
peerInfo.channel = 0;
peerInfo.encrypt = false;

if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK) {
  Serial.println("Σφάλμα κατά την προσθήκη του peer!");
  return;
}

Serial.println("ESP-NOW Slave έτοιμο.");
}

void loop() {
  // Ανάγνωση από τον αισθητήρα
  sensorData.temperature = bme.readTemperature();
  sensorData.humidity = bme.readHumidity();

  // Αποστολή δεδομένων στον Master
  esp_err_t result = esp_now_send(masterAddress, (uint8_t *)&sensorData, sizeof(sensorData));

  if (result == ESP_OK) {
    Serial.println("Δεδομένα εστάλησαν!");
  } else {
    Serial.println("Αποτυχία αποστολής δεδομένων!");
  }
}

```

```
delay(2000); // Αποστολή κάθε 2 δευτερόλεπτα  
}
```