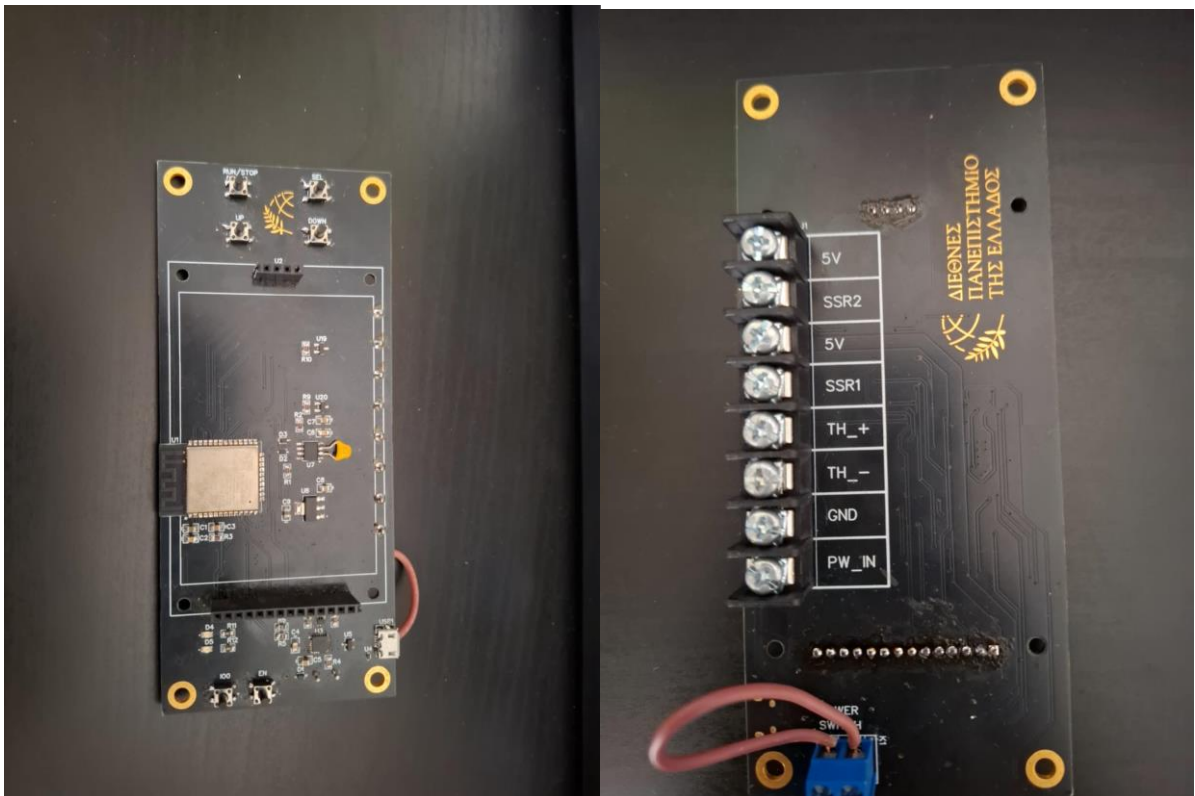


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σχεδίαση και Κατασκευή Φούρνου Ελεγχόμενης  
Θερμοκρασίας για την Συγκόλληση SMD  
Εξαρτημάτων»



**Του φοιτητή  
Ανανιάδη Ιωάννη  
Αρ. Μητρώου: 514006**

**Επιβλέπων  
Άγγελος Γιακουμής  
Βαθμίδα .....**

**Ημερομηνία .....**

## Σχεδίαση και Κατασκευή Φούρνου Ελεγχόμενης Θερμοκρασίας για την Συγκόλληση SMD

Εξαρτημάτων

Κωδικός Π.Ε. ...21378

Φοιτητής: Ανανιαδης Ιωάννης

Εισηγητής: Γιακουμής Άγγελος

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. ...

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. ...

*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 Ανανιάδη 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 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 απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

*«Αφιέρωση»*



## Πρόλογος

Ο κύριος λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε το συγκεκριμένο θέμα διπλωματικής εργασίας αφορά την μέχρι τώρα εμπειρία του συγγραφέα στην συναρμολόγηση μιας ηλεκτρονικής πλακέτας τόσο στον εργασιακό χώρο όσο και σε ένα οικιακό περιβάλλον. Σε αντίθεση με την διαδικασία συγκόλλησης πλακετών με υλικά μέσω οπών, τα υλικά SMT έχουν μεγαλύτερο ποσοστό λάθους εάν κάποιος επιχειρήσει να τα κολλήσει με το χέρι. Για υλικά τέτοιου μεγέθους, απαραίτητη κρίνεται η παρουσία ενός φούρνου συγκόλλησης υλικών με σκοπό να αποφευχθούν λάθη τα οποία μπορεί να κοστίσουν ακόμα και ολόκληρη την πλακέτα. Η κατασκευή ενός τέτοιου φούρνου είναι σαφώς πιο οικονομική από τους φούρνους συγκόλλησης που κυκλοφορούν στο εμπόριο, ιδανική επιλογή για κάποιον ο οποίος ασχολείται με διάφορα πρότζεκτ στο σπίτι και ένας πολύ καλός τρόπος για να μάθει σχετικά με την διαδικασία συγκόλλησης πλακετών, τον έλεγχο της θερμοκρασίας και γενικά να εμβαθύνει στα ηλεκτρονικά.

## Περίληψη

Ο κύριος στόχος της μελέτης αυτής είναι η σχεδίαση και κατασκευή φούρνου ελεγχόμενης θερμοκρασίας για την συγκόλληση εξαρτημάτων SMD. Στην ουσία πρόκειται για ένα σύστημα που στην καρδιά του αποτελείται από έναν μικροελεγκτή και μπορεί να συλλέγει δεδομένα από αισθητήρες θερμοκρασίας, στην προκειμένη περίπτωση ένας αισθητήρας θερμοκρασίας Thermocouple τύπου K. Στην παρούσα κατασκευή χρησιμοποιήθηκε μόνο ένας αισθητήρας και είναι εγκατεστημένος στην μέση του φούρνου και στέλνει δεδομένα στον μικροελεγκτή (ESP32). Στην συνέχεια τα δύο Solid State Relay (SSR) ελέγχουν την θερμοκρασία του φούρνου καθώς ανοιγοκλείνουν τις θερμικές αντιστάσεις που βρίσκονται μέσα στο φουρνάκι, ακολουθώντας πάντα ένα συγκεκριμένο προφίλ θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε μια 3.2 TFT LCD οθόνη. Οι εντολές και η επικοινωνία μεταξύ αισθητήρων, ρελέ, οθόνης και μικροελεγκτή πραγματοποιούνται μέσω της γλώσσας προγραμματισμού C++ στο πρόγραμμα Arduino IDE.

# «Design and Manufacture of Temperature Controlled Furnace for SMD Welding of Components»

«Ananiadis Ioannis»

## **Abstract**

The main objective of this study is to design and manufacture a temperature-controlled furnace for welding SMD components. In essence, it is a system that at its heart consists of a microcontroller and can collect data from temperature sensors, in this case a Thermocouple temperature sensor type K. In this construction, only one sensor was used and it is installed in the middle of the furnace and sends data to the microcontroller (ESP32). The two Solid State Relays (SSRs) then control the temperature of the oven as they blink and close the thermal resistors inside the oven, always following a specific temperature profile. The results are exported to a 3.2 TFT LCD screen. Commands and communication between sensors, relays, display, and microcontroller are carried out through the C++ programming language in the Arduino IDE program.

## **Ευχαριστίες**

Σε αυτήν την ενότητα ο φοιτητής/ φοιτήτρια προαιρετικά μπορεί να ευχαριστήσει όσους αισθάνεται ότι συνέβαλαν (επιστημονικά, ηθικά, οικονομικά κτλ) στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

# Περιεχόμενα

|   |  |
|---|--|
| Πρόλογος.....   | vi                                     |
| Περίληψη.....   | vii                                    |
| Abstract .....  | viii                                   |
| Ευχαριστίες .....   | ix                                     |
| Περιεχόμενα .....   | x                                      |
| Κατάλογος Σχημάτων .....  | xii                                    |
| Κατάλογος Πινάκων.....  | xii                                    |
| Συντομογραφίες.....   | xiii                                   |
| Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....  |  |
| 1.1 Εισαγωγή.....   | 14                                     |
| 1.2 Δομή της Εργασίας.....  | 15 <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Κεφάλαιο 2ο: Φούρνος Συγκόλλησης Επαναροής στην Βιομηχανία 4.0 <b>Error! Bookmark not defined.</b>                        |  |
| 2.1 Εισαγωγή.....   | 116.                                   |
| 2.2 Βιομηχανία 4.0 και Διαδύκτυο των Πραγμάτων.....   | 17 <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| 2.3 Επίλογος.....   | 17 <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Κεφάλαιο 3ο: Παρόμοια Συστήματα.....  | 17 <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| 3.1 Εισαγωγή.....   | 17                                     |
| 3.2 Pro 1600 SMT Reflow Oven by ATCO .....  | 19 <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| 3.3 Heller 1809 1MK Reflow Oven .....   | 20 <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Κεφάλαιο 4ο: Τεχνολογία Επιφανειακής Τοποθέτησης (SMT) και Διαδικασία Συγκόλλησης Αναδιαμόρφωσης (Reflow Soldering) ..... | 21 <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| 4.1 Ιστορική Αναδρομή της SMT .....   | .                                      |
| 4.2 Εξαρτήματα Επιφανειακής Τοποθέτησης (SMD).....  | .                                      |
| 4.3 Διαδικασία Συγκόλλησης Αναδιαμόρφωσης (Reflow Soldering) .....  | .                                      |
| 4.4 Προκλήσεις στην Διαδικασία Επαναροής.....   | 25                                     |
| Κεφάλαιο 5ο: Ανάλυση βασικών στοιχείων της συσκευής.....  | 26 <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| 5.1 ESP-32 WROOM.....   | .                                      |
| 5.2 TFT LCD Touch Screen Module .....   | .                                      |
| 5.3 Thermocouples .....   | .                                      |
| 5.4 Solid State Relay (SSR) .....   | .                                      |

|   |                               |                                     |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|
| 5.5   | Έλεγχος Παραμέτρων.....       | .                                   |
| 5.6   | Θερμικές Αντιστάσεις.....     | 37                                  |
| Κεφάλαιο 6ο: Ανάλυση της Σχεδίασης και Υλοποίηση της Συσκευής <b>38Error! Bookmark not defined.</b> |                               |                                     |
| 6.1   | Εισαγωγή.....                 | .                                   |
| 6.2   | Hardware Design.....          | .                                   |
| 6.3   | Αρχιτεκτονική Συστήματος..... | .                                   |
| 6.4   | Κώδικας .....                 | 65                                  |
| Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα και Μελλοντικές Βελτιώσεις..... <b>66Error! Bookmark not defined.</b>     |                               |                                     |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....   |                               | 67                                  |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ .....   |                               | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |

## Κατάλογος Σχημάτων

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Εικόνα 3.1 ATCO PRO 1600-EXN Forced Convection Reflow Oven ..... | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 3.2 Heller 1809 MK5 Reflow Oven .....                     | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 4.1 SMD Components .....                                  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 4.2 SMD Reflow Soldering Process .....                    | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 5.1 ESP32-WROOM .....                                     | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 5.2 TFT LCD DISPLAY .....                                 | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 5.3 Basics of Thermocouple .....                          | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 5.4 Solid State Relay DA .....                            | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 5.5 PID Control.....                                      | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.1 Thermocouple Type K.....                              | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.2 MAX31855 .....  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.3 Schematic Sheet_1 .....                               | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.4 Schematic Sheet_2.....                                | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.5 Schematic MCU .....                                   | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.6 Schematic Push Buttons .....                          | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.7 Schematic USB .....                                   | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.8 Schematic FTDI .....                                  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.9 Schematic LCD .....                                   | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.10 Schematic Thermocouple .....                         | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.11 Schematic Power Led.....                             | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.12 Schematic Status Led .....                           | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.13 Schematic Power Switch .....                         | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.14 Schematic SSR Ctrl2.....                             | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.15 Schematic SSR Ctrl1 .....                            | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.16 Schematic LDO .....                                  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Εικόνα 6.17 Schematic Barrier Terminal Strip .....               | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |

## Κατάλογος Πινάκων

|                                   |                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Πίνακας 6.3.2: PinOut Table ..... | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------------|

## Συντομογραφίες

|       |                                  |         |       |
|-------|----------------------------------|---------|-------|
| Δ.Ε.  | Διπλωματική Εργασία              |         |       |
| ΔΠΠΑΕ | Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος     |         |       |
| Π.Ε.  | Πτυχιακή Εργασία                 |         |       |
| PCB   | Printed                          | Circuit | Board |
| SMD   | Surface Mount Device             |         |       |
| SMT   | Surface Mount Technology         |         |       |
| SSR   | Solid State Relay                |         |       |
| TFT   | Thin Film Transistor             |         |       |
| IoT   | Internet Of Things               |         |       |
| RF    | Radio Frequency                  |         |       |
| MCU   | Microcontroller Unit             |         |       |
| PTC   | Positive Temperature Coefficient |         |       |
| NPC   | Negative Temperature Coefficient |         |       |

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Εισαγωγή

### 1.1 Εισαγωγή

Στον κόσμο των ηλεκτρονικών, οι φούρνοι επαναροής είναι απαραίτητοι για την διασφάλιση ακριβούς και αποτελεσματικής συγκόλλησης εξαρτημάτων σε πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB). Ιδιαίτερα κρίσιμος είναι ο ρόλος τους στη συναρμολόγηση επιφανειακών συσκευών (SMD), όπου απαιτούνται ελεγχόμενοι κύκλοι θέρμανσης για τη δημιουργία ανθεκτικών και αξιόπιστων συνδέσεων. Η μελέτη αυτή αφορά την ανάπτυξη ενός συστήματος φούρνου επαναροής που ενσωματώνει προηγμένες δυνατότητες παρακολούθησης και ελέγχου θερμοκρασίας. Χρησιμοποιώντας έναν μικροελεγκτή ESP32, έναν αισθητήρα θερμοστοιχείων, μια οθόνη TFT και δύο ρελέ στερεάς κατάστασης (SSR), το σύστημα επιτρέπει την ακριβή θερμική ρύθμιση σε ένα κλειστό περιβάλλον. Μέσω αυτού του συνδυασμού τεχνολογιών, η προτεινόμενη εργασία στοχεύει στη βελτιστοποίηση της διαδικασίας συγκόλλησης και στην ενίσχυση της αξιοπιστίας των ηλεκτρονικών συγκροτημάτων. [1]

Ο κύριος στόχος της μελέτης είναι ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος που μπορεί να συλλέγει δεδομένα από αισθητήρες θερμοκρασίας, στην προκειμένη περίπτωση ενός αισθητήρα θερμοκρασίας Thermocouple τύπου K. Στην παρούσα κατασκευή χρησιμοποιήθηκε μόνο ένας αισθητήρας και είναι εγκατεστημένος στην μέση του φούρνου και στέλνει δεδομένα στον μικροελεγκτή (ESP32). Στην συνέχεια τα δύο Solid State Relay (SSR) ελέγχουν την θερμοκρασία του φούρνου καθώς ανοιγοκλείνουν τις θερμικές αντιστάσεις που βρίσκονται μέσα στο φουρνάκι, ακολουθώντας πάντα ένα συγκεκριμένο προφίλ θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα εξάγονται σε μια 3.2 TFT Display. Οι εντολές και η επικοινωνία μεταξύ αισθητήρων, ρελέ, οθόνης και μικροελεγκτή πραγματοποιούνται μέσω της γλώσσας προγραμματισμού C++ στο πρόγραμμα Arduino IDE.

Στα επόμενα κεφάλαια θα αναλύσουμε την αρχιτεκτονική του συστήματος, των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται και την αναλυτική εξήγηση κάθε στοιχείου. Ακολουθούν η ανάλυση και η σχεδίαση της συσκευής, και τέλος τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτή τη μελέτη. Τέλος, θα αναφερθούν μελλοντικές βελτιώσεις με σκοπό να αναβαθμίσουμε την συσκευή.

### 1.2 Δομή εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια, τα οποία αναλύουν σταδιακά την κατασκευή και σχεδίαση φούρνου ελεγχόμενης θερμοκρασίας για την συγκόλληση εξαρτημάτων SMD, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα παρόμοια συστήματα που υπάρχουν στην αγορά. Παρακάτω παρουσιάζεται η δομή της εργασίας.

Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας και δίνει μια γενική εικόνα του συστήματος που αναπτύχθηκε. Κατόπιν, περιγράφεται η δομή της εργασίας στα κεφάλαια που ακολουθούν.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά την σημασία του φούρνου συγκόλλησης εξαρτημάτων SMD στην σύγχρονη Βιομηχανία 4.0 αλλά και την αλληλεπίδραση με άλλα βιομηχανικά συστήματα και μη μέσω του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT).

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε παρόμοια συστήματα που υπάρχουν στην αγορά και χρησιμοποιούνται από μεγάλες εταιρίες του κλάδου για την συναρμολόγηση PCB πλακετών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ιστορική αναδρομή στην τεχνολογία εξαρτημάτων επιφανειακής τοποθέτησης (SMD). Στην συνέχεια ακολουθεί μια λεπτομερής ανάλυση για την παραγωγή και την χρησιμότητα των SMD καθώς και η διαδικασία συγκόλλησης αναδιαμόρφωσης (Reflow Soldering). Τέλος παρουσιάζονται οι προκλήσεις στην διαδικασία συγκόλλησης αναδιαμόρφωσης και οι τρόποι αντιμετώπισης τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τεχνολογίες και τα εξαρτήματα που απαρτίζουν και χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του συστήματος. Γίνεται αναφορά στον μικροελεγκτή ESP32 για την ενορχήστρωση του συστήματος, τις οθόνες TFT LCD για την αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα. Κατόπιν αναλύονται τα Solid State Relay (SSR) και οι θερμικές αντιστάσεις, ο συνδυασμός των οποίων δίνει την δυνατότητα παραγωγής θερμότητας στο σύστημα αλλά και του ελέγχου του. Αναλύονται οι αισθητήρες για την μέτρηση της θερμοκρασίας (Thermocouple).

Το έκτο κεφάλαιο αφορά την ανάλυση της σχεδίασης και της υλοποίησης της συσκευής. Περιλαμβάνει το σχηματικό της σχεδίασης και την ανάλυση των μερών τα οποία το απαρτίζουν καθώς και του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε.

Το έβδομο κεφάλαιο περιλαμβάνει κάποιες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην συσκευή, τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την διαδικασία και τέλος τους τρόπους για μελλοντική βελτίωση του συστήματος στο μέλλον.

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Φούρνος Συγκόλλησης Επαναροής στην Βιομηχανία

### 2.1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, οι φούρνοι επαναροής έχουν γίνει καθοριστικοί παράγοντες στις προηγμένες διαδικασίες κατασκευής των ηλεκτρονικών, καθώς επιτρέπουν την πλήρη αυτοματοποίηση, συνδεσιμότητα και ενσωμάτωση δεδομένων σε ολόκληρη την διαδικασία παραγωγής ηλεκτρονικών συσκευών. Η διαδικασία συγκόλλησης επαναροής είναι απαραίτητη για τη συναρμολόγηση πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB) καθώς με τη χρήση φούρνων επαναροής γίνεται η ακριβής τήξη της πάστας συγκόλλησης, δημιουργώντας ανθεκτικές συνδέσεις για την λειτουργία του κυκλώματος. Οι ηλεκτρονικές συσκευές γίνονται ολοένα και πιο περίπλοκες και μικροσκοπικές, γι' αυτό οι φούρνοι επαναροής έχουν εξελιχθεί με εξελιγμένους αισθητήρες και συστήματα ελέγχου, με σκοπό την παρακολούθηση και την αλλαγή στις ρυθμίσεις σε πραγματικό χρόνο για να εξασφαλίσουν συνεπείς και αξιόπιστες ενώσεις συγκόλλησης. [1,2]

### 2.2 Βιομηχανία και Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Μία από τις πιο σημαντικές εξελίξεις στους φούρνους επαναροής στην εποχή της Βιομηχανίας είναι η ενσωμάτωσή τους στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Αυτή η συνδεσιμότητα επιτρέπει στους φούρνους επαναροής να επικοινωνούν με άλλα μηχανήματα και συστήματα στην παραγωγή, δημιουργώντας μια αποτελεσματική ροή εργασίας. Για παράδειγμα, οι φούρνοι επαναροής μπορούν να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα σχετικά με τα προφίλ θερμοκρασίας, να ελέγχουν τις ταχύτητες μεταφοράς και τις συνθήκες πάστας συγκόλλησης, επιτρέποντας την προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο σε μεταβαλλόμενες απαιτήσεις παραγωγής. Η συνδεσιμότητα αυτή βελτιώνει όχι μόνο την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας συγκόλλησης επαναροής, αλλά και στην ανταπόκριση του συστήματος. Επιπλέον, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων ενισχύει την απόδοση αναλύοντας ποσότητες δεδομένων, παρέχοντας πληροφορίες για τις τάσεις παραγωγής, εντοπίζοντας πιθανά ζητήματα και βελτιστοποιώντας τις διαδικασίες. Για παράδειγμα, τα δεδομένα για τα προφίλ θερμοκρασίας μπορούν να αποκαλύψουν μοτίβο που οδηγούν σε λάθη, και να επιτρέψουν παρεμβάσεις για την αποφυγή ανάλογων περιστατικών. Ομοίως, η ανάλυση των ταχυτήτων μεταφοράς και των τοποθετήσεων εξαρτημάτων βοηθά στην τελειοποίηση της διαδικασίας για βέλτιστα αποτελέσματα. Αυτή η προσέγγιση βάσει δεδομένων μειώνει τα απόβλητα, ενισχύει την παραγωγικότητα και βελτιώνει την ποιότητα των σημείων συγκόλλησης. [2]

Η προληπτική συντήρηση και η απομακρυσμένη παρακολούθηση είναι δύο εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία των φούρνων επαναροής. Η προληπτική συντήρηση χρησιμοποιεί μηχανική μάθηση για τον εντοπισμό λαθών και ειδοποίησης των χρηστών, με σκοπό την αποτροπή βλαβών και την ελαχιστοποίηση του χρόνου λειτουργίας. Η απομακρυσμένη παρακολούθηση επιτρέπει τον έλεγχο του φούρνου από απόσταση, διασφαλίζοντας σταθερή ποιότητα και γρήγορη επίλυση προβλημάτων σε παγκόσμιες εγκαταστάσεις. Έχοντας ως στόχο την βιωσιμότητα, οι έξυπνοι φούρνοι επαναροής στοχεύουν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην μείωση των αποβλήτων. Αυτές οι εξελίξεις είναι ζωτικής σημασίας για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης για τα ηλεκτρονικά υψηλής ποιότητας και τον καθορισμό νέων προτύπων στην αγορά. [1]

## 2.3 Επίλογος

Η εξοικονόμηση ενέργειας και η μείωση των απόβλητων υλικών είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για την βιωσιμότητα των φούρνων επαναροής, οι τεχνολογίες οι οποίες είναι ενσωματωμένες σε αυτούς φροντίζουν να τηρούνται αυτές οι προϋποθέσεις. Οι έξυπνοι φούρνοι επαναροής βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση προσαρμόζοντας τα προφίλ θερμοκρασίας και τις ταχύτητες μεταφοράς σε πραγματικό χρόνο. Έτσι η χρήση πάστας ελαχιστοποιείται μέσω ελέγχου, μειώνοντας σημαντικά τα απόβλητα. Όσο οι κατασκευαστές μειώνουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και υπακούν στους κανονισμούς, τόσο αυτά τα οφέλη γίνονται ακόμη πιο σημαντικά. Με την αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρονικές συσκευές υψηλής ποιότητας, οι φούρνοι επαναροής που είναι εξοπλισμένοι με τεχνολογίες Industry 4.0 είναι απαραίτητοι για τη διαχείριση της πολυπλοκότητας και της ακρίβειας που απαιτούνται στη σύγχρονη παραγωγή, την προώθηση μιας καινοτομίας και τον καθορισμό νέων προτύπων στον κλάδο. [1]

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Παρόμοια συστήματα

### 3.1 Εισαγωγή

Ο φούρνος επαναροής είναι ένα κρίσιμο εργαλείο στη διαδικασία κατασκευής ηλεκτρονικών, ιδιαίτερα στη συναρμολόγηση πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB). Λειτουργεί χρησιμοποιώντας ελεγχόμενη θερμότητα για να λιώσει την πάστα συγκόλλησης, η οποία εφαρμόζεται στην πλακέτα κυκλώματος κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα να συνδέονται με ασφάλεια σε καθορισμένες θέσεις. Διατηρώντας ακριβή προφίλ θερμοκρασίας, ο φούρνος επαναροής εξασφαλίζει σταθερά και αξιόπιστα αποτελέσματα συγκόλλησης, καθιστώντας τον απαραίτητο για την παραγωγή ηλεκτρονικών συσκευών υψηλής ποιότητας και κλιμάκωσης. Ο ρόλος του εκτείνεται σε όλους τους κλάδους, συμβάλλοντας στη δημιουργία ηλεκτρονικών ειδών ευρείας κατανάλωσης, βιομηχανικού εξοπλισμού και τεχνολογιών αιχμής. [1]

### 3.2 Pro 1600 SMT Reflow Oven by ATCO

Οι επαγγελματικοί φούρνοι επαναροής παίζουν κρίσιμο ρόλο στην κατασκευή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, εξασφαλίζοντας ακριβή και αποτελεσματική συγκόλληση επιφανειακών συσκευών σε πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB). Αυτά τα συστήματα συνήθως ενσωματώνουν πολλαπλές ζώνες όπως preheating, soaking, reflow και cooling για να επιτύχουν ένα προσεκτικά ελεγχόμενο προφίλ θερμοκρασίας, βελτιστοποιώντας την ποιότητα και την αξιοπιστία της συγκόλλησης.

Πιο προηγμένα μοντέλα, όπως ο φούρνος PRO 1600 SMT Reflow της ATCO, είναι εξοπλισμένα με εξειδικευμένα χαρακτηριστικά που βελτιώνουν την απόδοση και την ευελιξία του. Αυτά περιλαμβάνουν αναγκαστική μεταφορά αέρα ή αζώτου για ομοιόμορφη κατανομή θερμότητας, ακριβή έλεγχο θερμοκρασίας για συνέπεια και ικανότητα χειρισμού απαιτητικών

εφαρμογών, όπως συγκροτήματα υψηλής θερμικής μάζας και κεραμικά υποστρώματα. Η προσαρμοστικότητά τους τα καθιστά ιδανικά για παραγωγή μεγάλου όγκου καθώς και για δημιουργία πρωτοτύπων, παρέχοντας σταθερά αξιόπιστα αποτελέσματα. [3]



Εικόνα 3.1 ATCO PRO 1600-EXN Forced Convection Reflow Oven

[<https://images.app.goo.gl/H2MePK1eSuARW8AZA>]

### Πλεονεκτήματα

- **Συμπαγής σχεδιασμός:** Το PRO 1600 είναι σχετικά μικρό σαν κατασκευή, με διαστάσεις μόνο (80cm x 80cm), καθιστώντας το ιδανικό για περιβάλλοντα με περιορισμένο χώρο.
- **Ακρίβεια και προσαρμοστικότητα:** Προσφέρει έως και 10 προγραμματιζόμενες ζώνες και είναι έτοιμο να χρησιμοποιήσει άζωτο, εξασφαλίζοντας ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας και αποτελεσματική συγκόλληση ακόμη και για τις πιο σύνθετες εφαρμογές, όπως τα συγκροτήματα υψηλής θερμικής μάζας και περιβλήματα RF / μικροκυμάτων.
- **Παραγωγικότητα και καθαριότητα:** Ο φούρνος δεν απαιτεί χρόνο προθέρμανσης πριν από τη χρήση του και διαθέτει ενσωματωμένη μονάδα καθαρισμού καυσαερίων, με αποτέλεσμα έναν καθαρότερο και αποδοτικότερο χώρο εργασίας. [3]

### 3.3 Heller 1809 1MK Reflow Oven

Ο φούρνος επαναροής Heller 1809 MK5 είναι ένα υπερσύγχρονο σύστημα σχεδιασμένο για να ικανοποιεί αυστηρές απαιτήσεις μιας σύγχρονης κατασκευής ηλεκτρονικών. Διάσημος για την εξαιρετική ενεργειακή του απόδοση, τον ακριβή έλεγχο θερμοκρασίας και την αξιόπιστη απόδοσή του, ο φούρνος έχει σχεδιαστεί για ρυθμίσεις παραγωγής υψηλής ανάμειξης και μεγάλου όγκου. Διαθέτει προηγμένες δυνατότητες, συμπεριλαμβανομένου ενός ευρέος παραθύρου επεξεργασίας και γρήγορων ρυθμών ψύξης που το καθιστούν ιδανικό για εφαρμογές συγκόλλησης χωρίς μόλυβδο. Με καινοτόμες λύσεις όπως ένα βελτιωμένο σύστημα διαχείρισης ροής και έναν εξαιρετικά παράλληλο μεταφορέα, το Heller 1809 MK5 προσφέρει σταθερή ποιότητα, μειωμένο λειτουργικό κόστος και αυξημένη παραγωγικότητα. [4]



Εικόνα 3.2 Heller 1809 MK5 Reflow Oven

[<https://images.app.goo.gl/g4EsUTjv3MnoV1Tz8>]

### Πλεονεκτήματα

- **Ενεργειακή απόδοση:** Ο καινοτόμος σχεδιασμός του πλαισίου μειώνει την απώλεια θερμότητας, επιτρέποντας έως και 40% εξοικονόμηση στο ενεργειακό κόστος, διατηρώντας παράλληλα υψηλή απόδοση.
- **Σύστημα διαχείρισης flux:** Εξοπλισμένο με προηγμένο μηχανισμό συλλογής του flux, ελαχιστοποιεί τις ανάγκες συντήρησης παγιδεύοντας το flux ξεχωριστά, εξασφαλίζοντας καθαρότερο περιβάλλον λειτουργίας.
- **Ακριβής έλεγχος θερμοκρασίας:** Οι προηγμένες μονάδες θέρμανσης και η ομοιόμορφη κατανομή θερμότητας εξασφαλίζουν ακριβή συγκόλληση σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών χωρίς μόλυβδο.
- **Δυνατότητα υψηλής απόδοσης:** Σχεδιασμένο για παραγωγή μεγάλου μείγματος και μεγάλου όγκου, το εξαιρετικά παράλληλο σύστημα μεταφοράς εξασφαλίζει τον χειρισμό πολλαπλών πλακετών με εξαιρετική αξιοπιστία. [4]

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Τεχνολογία Επιφανειακής Τοποθέτησης (SMT) και Διαδικασία Συγκόλλησης Αναδιαμόρφωσης (Reflow Soldering)

### 4.1 Ιστορική Αναδρομή SMT

Η τεχνολογία επιφανειακής τοποθέτησης (SMT) εμφανίστηκε στις δεκαετίες του 1960 και του 1970 ως πρωτοποριακή καινοτομία στην κατασκευή ηλεκτρονικών. Πριν από την SMT, κυριαρχούσε η τεχνολογία μέσω οπών, απαιτώντας χειροκίνητη συγκόλληση εξαρτημάτων σε πλακέτες κυκλωμάτων, η οποία ήταν επίπονη και περιορισμένη όσον αφορά την πυκνότητα μιας πλακέτας. Η SMT εισήγαγε την έννοια της τοποθέτησης εξαρτημάτων απευθείας στην επιφάνεια των πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB), επιτρέποντας την παραγωγή πιο συμπαγών, αποτελεσματικών, και οικονομικά αποδοτικές ηλεκτρονικές συσκευές. Μέχρι τη δεκαετία του 1980, η SMT είχε γίνει το βιομηχανικό πρότυπο, οδηγώντας στη σμίκρυνση και την πρόοδο των σύγχρονων ηλεκτρονικών. Αυτή η μετάβαση άνοιξε το δρόμο για την ανάπτυξη εξελιγμένων, αξιόπιστων συσκευών που έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής μας ζωής, όπως smartphones, υπολογιστές και ιατρικός εξοπλισμός. [5,6]

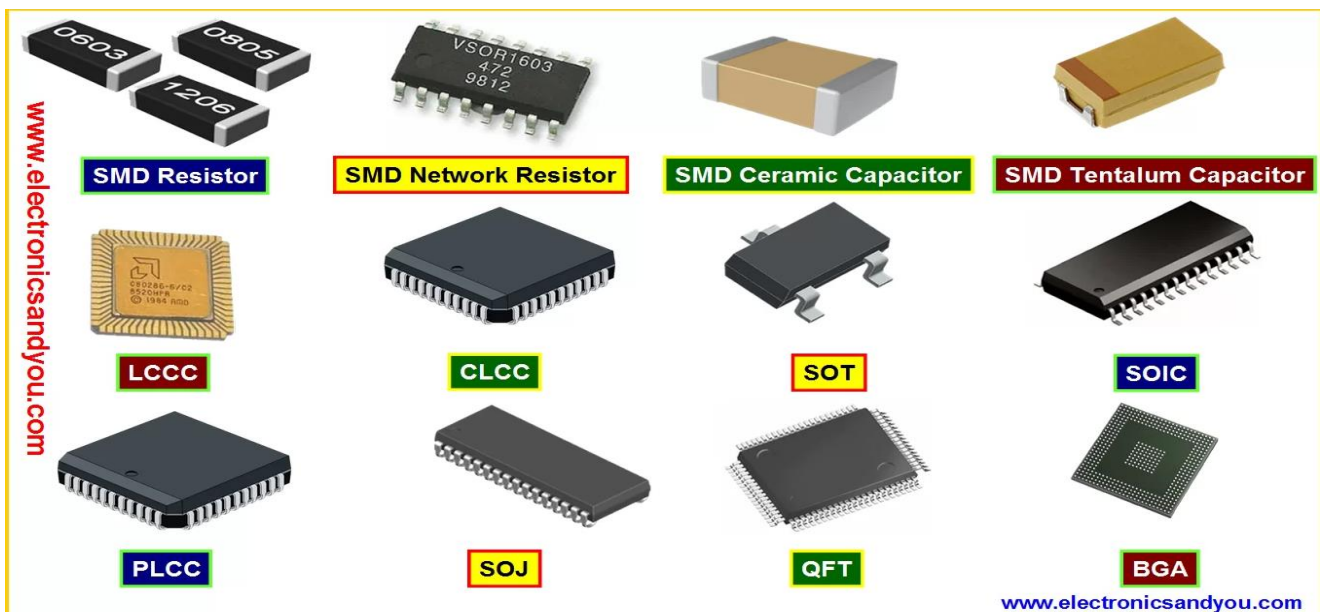
### 4.2 Εξαρτήματα Επιφανειακής Τοποθέτησης (SMD)

Τα εξαρτήματα συσκευών τοποθέτησης επιφάνειας (SMD) φέρνουν επανάσταση στα ηλεκτρονικά, επιτρέποντας τα πιο συμπαγή και περίπλοκα σχέδια κυκλωμάτων. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά εξαρτήματα μέσω οπών, τα εξαρτήματα SMD τοποθετούνται απευθείας στην επιφάνεια PCB, επιτρέποντας συγκροτήματα υψηλής πυκνότητας και στις δύο πλευρές της πλακέτας. Αυτό μειώνει σημαντικά το μέγεθος και το βάρος των ηλεκτρονικών συσκευών, σημαντικό για τη σμίκρυνση των ηλεκτρονικών ειδών ευρείας κατανάλωσης. Η τεχνολογία SMT υποστηρίζει τη δημιουργία μικρότερων, πιο αποδοτικών PCB που προσφέρουν αυξημένη λειτουργικότητα σε λιγότερο χώρο, μειώνοντας τη διαδικασία κατασκευής και το κόστος παραγωγής. Αυτή η καινοτομία ανταποκρίνεται στην αυξανόμενη ζήτηση για μικρότερες, ελαφρύτερες και ισχυρότερες ηλεκτρονικές συσκευές.

Τα εξαρτήματα SMD, όπως είναι οι αντιστάσεις, πυκνωτές, δίοδοι, τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα, είναι ζωτικής σημασίας στα σύγχρονα ηλεκτρονικά για την καλύτερη απόδοση και ευελιξία τους. Διατίθενται σε διάφορα μεγέθη και διαμορφώσεις για να καλύψουν συγκεκριμένες σχεδιαστικές ανάγκες. Τα εξαρτήματα SMD βελτιώνουν την απόδοση υψηλής συχνότητας λόγω των μικρότερων μηκών μολύβδου, μειώνοντας την παρασιτική επαγωγή και χωρητικότητα. Αυτό τα καθιστά ιδανικά για ψηφιακά κυκλώματα υψηλής ταχύτητας και εφαρμογές ραδιοσυχνότητας όπου η ακεραιότητα του σήματος είναι ζωτικής σημασίας. Επιπλέον, το μικρότερο μέγεθός τους βελτιώνει τη θερμική απόδοση, επιτρέποντας την αποτελεσματική απαγωγή θερμότητας. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τα εξαρτήματα SMD απαραίτητα για τη δημιουργία συμπαγών, αποτελεσματικών ηλεκτρονικών συσκευών.

Η διαδικασία συναρμολόγησης για εξαρτήματα SMD είναι εξαιρετικά αυτοματοποιημένη, βελτιώνοντας την ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα σε σχέση με την παραδοσιακή συναρμολόγηση μέσω οπών. Ξεκινά με την εφαρμογή πάστας συγκόλλησης στο PCB χρησιμοποιώντας ένα στένσιλ, ακολουθούμενη από την τοποθέτηση εξαρτημάτων SMD με αυτοματοποιημένες μηχανές συλλογής και τοποθέτησης. Στη συνέχεια, το συγκρότημα περνά μέσα από ένα φούρνο επαναροής, όπου η πάστα συγκόλλησης λιώνει, σχηματίζοντας ισχυρούς αρμούς συγκόλλησης. Αυτός ο αυτοματισμός βελτιώνει την ταχύτητα παραγωγής, την ποιότητα και την αξιοπιστία. Ωστόσο, η επισκευή εξαρτημάτων SMD είναι δύσκολη λόγω του μικρού μεγέθους και των πυκνών διατάξεων τους, απαιτώντας εξειδικευμένες δεξιότητες και εξοπλισμό. Ενώ μπορεί να είναι επιρρεπείς σε μηχανική καταπόνηση και θερμικούς κύκλους, οι συνεχείς εξελίξεις στα υλικά και στις τεχνικές βελτιώνουν συνεχώς την αντοχή και την απόδοσή τους.

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας SMT έχει φέρει επανάσταση στο σχεδιασμό και την κατασκευή PCB, επιτρέποντας τη δημιουργία πιο συμπαγών και αποτελεσματικών σχεδίων κυκλωμάτων. Αυτό άνοιξε το δρόμο για μια νέα γενιά μικρότερων, ταχύτερων και ισχυρότερων ηλεκτρονικών συσκευών. Καθώς η ζήτηση για μικροσκοπικά ηλεκτρονικά υψηλής απόδοσης συνεχίζει να αυξάνεται, τα εξαρτήματα SMD παραμένουν στην πρώτη γραμμή καινοτομίας. Οδηγούν την εξέλιξη της βιομηχανίας ηλεκτρονικών ειδών και διευκολύνουν την ανάπτυξη ολοένα και πιο εξελιγμένων συσκευών. Ο βαθύς αντίκτυπος της τεχνολογίας SMT στα σύγχρονα ηλεκτρονικά αναδιαμορφώνει τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζουμε, κατασκευάζουμε και χρησιμοποιούμε ηλεκτρονικές συσκευές, επηρεάζοντας σημαντικά το μέλλον της τεχνολογίας. [6]



Εικόνα 4.1 SMD Components

[https://images.app.goo.gl/HM1nPRBn9aeD4gFg7]

### 4.3 Διαδικασία Συγκόλλησης Επαναροής (Reflow Soldering)

Η συγκόλληση επαναροής είναι μια ζωτικής σημασίας διαδικασία στην κατασκευή ηλεκτρονικών για την τοποθέτηση συσκευών επιφανειακής τοποθέτησης (SMD) σε πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB). Εξασφαλίζει αξιόπιστες ηλεκτρικές συνδέσεις και την καλή λειτουργία των σύγχρονων ηλεκτρονικών συσκευών. Η διαδικασία ξεκινά με την εφαρμογή πάστας συγκόλλησης, ένα μείγμα λεπτών σωματιδίων συγκόλλησης και flux, στα επιθέματα (pads) του PCB χρησιμοποιώντας ένα stencil που ταιριάζει με τη διάταξη PCB. Το stencil τοποθετείται πάνω από το PCB, και μια σπάτουλα απλώνει την πάστα συγκόλλησης σε αυτό, εναποθέτοντας την πάστα στα επιθέματα (pad) όπου θα τοποθετηθούν τα εξαρτήματα.

Μετά την εφαρμογή της πάστας συγκόλλησης, αυτοματοποιημένες μηχανές παραλαβής και τοποθέτησης τοποθετούν εξαρτήματα στο PCB με ακρίβεια και ταχύτητα. Αυτά τα μηχανήματα χρησιμοποιούν ακροφύσια κενού για να πάρουν εξαρτήματα και να τα τοποθετήσουν με ακρίβεια στα επιθέματα (pad) που καλύπτονται από πάστα συγκόλλησης. Οι συντεταγμένες τοποθέτησης προγραμματίζονται εκ των προτέρων στο μηχάνημα, διασφαλίζοντας ότι κάθε εξάρτημα είναι σωστά τοποθετημένο. Αυτό το υψηλό επίπεδο αυτοματισμού αυξάνει την αποδοτικότητα της παραγωγής και ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες σφαλμάτων.

Μόλις τοποθετηθούν όλα τα εξαρτήματα, είναι έτοιμο για τη διαδικασία συγκόλλησης επαναροής. Το PCB μεταφέρεται σε φούρνο επαναροής, όπου υφίσταται ελεγχόμενο προφίλ θέρμανσης. Ο φούρνος επαναροής αποτελείται από πολλαπλές ζώνες, καθεμία με συγκεκριμένο προφίλ θερμοκρασίας. Η πρώτη ζώνη είναι η ζώνη προθέρμανσης, όπου η θερμοκρασία του αυξάνεται σταδιακά για να αποφευχθεί το θερμικό σοκ. Ακολουθεί η ζώνη soaking, όπου η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή για να ενεργοποιήσει το flux, το οποίο αφαιρεί οξείδια από τις ενώσεις και τα pad. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για την εξασφάλιση ισχυρών αρμών συγκόλλησης.

Η κρίσιμη φάση της συγκόλλησης επαναροής συμβαίνει στη ζώνη reflow, όπου η θερμοκρασία φτάνει στο υψηλότερο σημείο της. Εδώ, η πάστα συγκόλλησης λιώνει, σχηματίζοντας υγρή συγκόλληση που ρέει και συνδέει τα εξαρτήματα με τα επιθέματα(pad) του PCB. Μετά τη ζώνη reflow, εισέρχεται στη ζώνη ψύξης, όπου η θερμοκρασία μειώνεται σταδιακά, επιτρέποντας στη συγκόλληση να στερεοποιηθεί και να σχηματίσει ισχυρές, αξιόπιστες κολλήσεις. Η ελεγχόμενη ψύξη είναι απαραίτητη για την πρόληψη ελαττωμάτων από ρωγμές και κενά στα σημεία συγκόλλησης.

Η συγκόλληση Reflow προσφέρει πολλά οφέλη σε σχέση με τις άλλες μεθόδους συγκόλλησης, Μπορεί να χειριστεί πολύπλοκα και πυκνοκατοικημένα PCB, καθιστώντας το ιδανικό για παραγωγή μεγάλου όγκου και προηγμένες ηλεκτρονικές συσκευές όπως smartphone, tablet, και άλλα φορητά gadget. Η διαδικασία παρέχει εξαιρετική επαναληψιμότητα και έλεγχο της διαδικασίας, εξασφαλίζοντας σταθερή ποιότητα προϊόντος. Ο αυτοματοποιημένος εξοπλισμός και ο ακριβής έλεγχος θερμοκρασίας διασφαλίζουν ότι κάθε PCB υφίσταται τις απαραίτητες συνθήκες, μειώνοντας τα ελαττώματα και ενισχύοντας τη συνολική αξιοπιστία. Επιπλέον, η συγκόλληση επαναροής είναι

αποτελεσματική καθώς επιτρέπει την ταυτόχρονη συγκόλληση όλων των εξαρτημάτων στο PCB, επιταχύνοντας σημαντικά τους χρόνους παραγωγής. [6,7]

#### 4.4 Προκλήσεις στην Διαδικασία Επαναροής

Παρά τα πλεονεκτήματά της, η συγκόλληση επαναροής παρουσιάζει προκλήσεις. Ένα από τα κύρια ζητήματα είναι η πιθανότητα ελαττωμάτων συγκόλλησης, όπως ανύψωση, γεφύρωση και ανεπαρκείς κολλήσεις. Η ανύψωση συμβαίνει όταν το ένα άκρο ενός εξαρτήματος ανυψώνεται από το PCB κατά τη διάρκεια της επαναροής. Η γεφύρωση συμβαίνει όταν η υπερβολική συγκόλληση σχηματίζει μια γέφυρα μεταξύ κοντινών pads, προκαλώντας βραχυκυκλώματα. Οι ανεπαρκείς κολλήσεις προκύπτουν από ανεπαρκή τοποθέτηση πάστας συγκόλλησης ή κακές συνθήκες επαναροής, οδηγώντας σε αδύναμες συνδέσεις. Η αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων απαιτεί προσεκτικό έλεγχο εφαρμογής της πάστας συγκόλλησης, τοποθέτησης εξαρτημάτων και των ρυθμίσεων του φούρνου αναδιαμόρφωσης.

Η θερμική διαχείριση είναι μια άλλη κρίσιμη πτυχή της διαδικασίας συγκόλλησης επαναροής. Διαφορετικά εξαρτήματα στο PCB μπορεί να έχουν διαφορετικές θερμικές απαιτήσεις, και είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι όλα τα μέρη είναι επαρκώς συγκολλημένα χωρίς υπερθέρμανση ευαίσθητων εξαρτημάτων. Αυτό απαιτεί ακριβές προφίλ θερμοκρασίας και κατάλληλες ρυθμίσεις φούρνου επαναροής για να φιλοξενήσει τα θερμικά χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων και του υλικού PCB. Η αποτελεσματική θερμική διαχείριση βοηθά στην πρόληψη ζημιών στα εξαρτήματα και εξασφαλίζει ισχυρούς αρμούς συγκόλλησης.

Η συγκόλληση επαναροής περιλαμβάνει σχολαστική επιθεώρηση για να διασφαλιστεί η ποιότητα των κολλήσεων και η σωστή τοποθέτηση των εξαρτημάτων. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα οπτικής επιθεώρησης (AOI) χρησιμοποιούνται συνήθως για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιώντας κάμερες και λογισμικό επεξεργασίας εικόνας για την ανίχνευση ελαττωμάτων όπως γέφυρες συγκόλλησης, ανεπαρκή συγκόλληση και μη ευθυγραμμισμένα εξαρτήματα. Ορισμένες παρτίδες μπορούν να υποβληθούν σε επιθεώρηση ακτίνων X για τον εντοπισμό κρυφών ελαττωμάτων στις κολλήσεις, ειδικά για εξαρτήματα με κρυφούς αγωγούς. Η επιθεώρηση είναι ένα κρίσιμο βήμα στη διαδικασία συγκόλλησης επαναροής, καθώς βοηθά στον εντοπισμό και την αποκατάσταση ελαττωμάτων πριν ενσωματωθεί η συναρμολόγηση στο τελικό προϊόν.

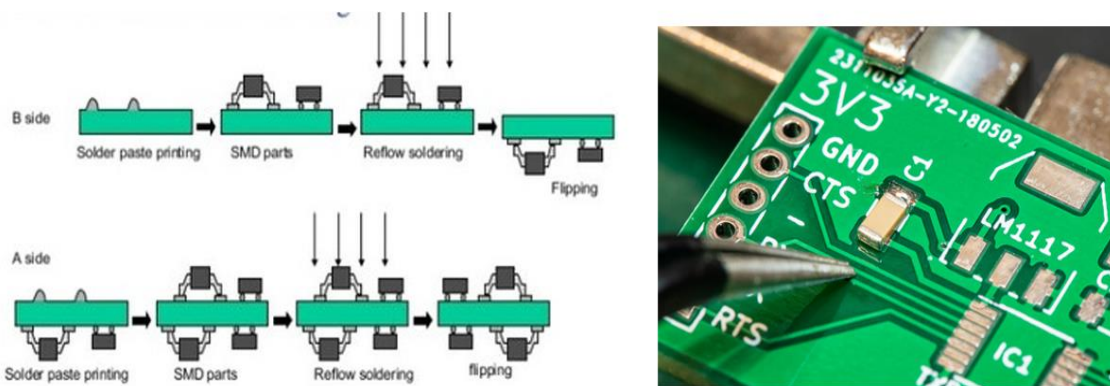
Εάν εντοπιστούν ελαττώματα κατά την επιθεώρηση, η συναρμολόγηση μπορεί να απαιτήσει επανεπεξεργασία. Η επανεπεξεργασία περιλαμβάνει την αφαίρεση και αντικατάσταση ελαττωματικών εξαρτημάτων ή την προσθήκη επιπλέον συγκόλλησης για τη βελτίωση των κολλήσεων. Η επανεπεξεργασία εκτελείται συνήθως χρησιμοποιώντας εξειδικευμένα εργαλεία, όπως σταθμούς θερμού αέρα και συγκολλητικά σίδερα. Ειδικευμένοι τεχνικοί πραγματοποιούν επανεργασίες για να διασφαλίσουν ότι η επισκευασμένη συναρμολόγηση πληροί τα πρότυπα ποιότητας. Ενώ η επανεπεξεργασία μπορεί να αντιμετωπίσει ελαττώματα, είναι χρονοβόρα και δαπανηρή, καθιστώντας απαραίτητη την ελαχιστοποίηση των ελαττωμάτων κατά την αρχική διαδικασία συγκόλλησης επαναροής.

Μετά την επιθεώρηση και οποιαδήποτε απαραίτητη επανεπεξεργασία, η περιοχή γύρω από την κόλληση καθαρίζεται συνήθως για να αφαιρεθούν υπολείμματα ροής και άλλοι ρύποι που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την απόδοση και την αξιοπιστία του PCB. Ο καθαρισμός γίνεται συνήθως χρησιμοποιώντας οινόπνευμα ή διαλύματα καθαρισμού με βάση το νερό, ακολουθούμενο από ξήρανση για την απομάκρυνση τυχόν υγρασίας. Η καθαριότητα είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση

μακροπρόθεσμης αξιοπιστίας του συγκροτήματος, καθώς οι ρύποι μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση και άλλα ζητήματα.

Το τελικό βήμα στη διαδικασία συγκόλλησης επαναροής είναι η λειτουργική δοκιμή. Η λειτουργική δοκιμή περιλαμβάνει την εφαρμογή ισχύος και τη χρήση εξοπλισμού δοκιμής για την επαλήθευση ότι το PCB λειτουργεί όπως προβλέπεται. Αυτό το βήμα διασφαλίζει ότι το PCB πληροί ενός προδιαγραφές σχεδιασμού του και εκτελεί τις προβλεπόμενες λειτουργίες του. Οι λειτουργικές δοκιμές είναι σημαντικές για τον εντοπισμό τυχόν ζητημάτων πριν από την ενσωμάτωση της συναρμολόγησης στο τελικό προϊόν. Βοηθά στο να διασφαλιστεί ότι το τελικό προϊόν είναι αξιόπιστο και πληροί τα πρότυπα ποιότητας. [8]

## SMT PCB Reflow Soldering Process



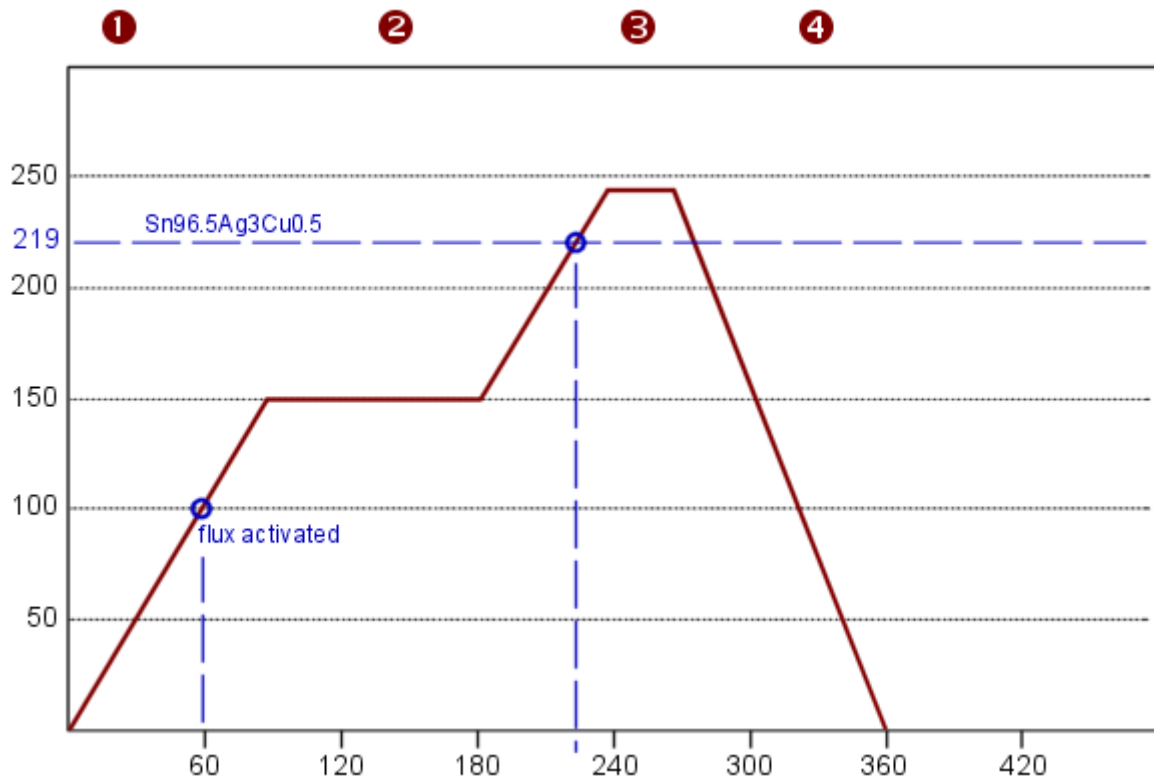
Εικόνα 4.2 SMD Reflow Soldering Process

[<https://images.app.goo.gl/DStN1yQmQ7TteG2D7>]

### 4.5 Προφίλ Επαναροής

Ένα προφίλ επαναροής είναι μια προσεκτικά ελεγχόμενη καμπύλη θερμοκρασίας που χρησιμοποιείται στη συγκόλληση επαναροής για να εξασφαλιστεί η σωστή σύνδεση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων σε μια τυπωμένη πλακέτα (PCB). Αποτελείται από πολλές φάσεις: προθέρμανση, όπου η πλακέτα θερμαίνεται σταδιακά για να ενεργοποιηθεί το flux, βύθιση, η οποία σταθεροποιεί τη θερμοκρασία για να αφαιρεθούν τα οξείδια; επαναροή, όπου η συγκόλληση φτάνει στο σημείο τήξης της και σχηματίζει ισχυρούς συνδέσμους, και ψύξη, η οποία στερεοποιεί τις συνδέσεις ενώ μειώνει τα λάθη. Διάφοροι τύποι προφίλ επαναροής, όπως το ramp-to-peak και το ramp/soak/spike,

χρησιμοποιούνται ανάλογα με τη σύσταση της συγκόλλησης και τις απαιτήσεις των εξαρτημάτων.



Εικόνα 4.5 Προφίλ επαναροής

[<https://images.app.goo.gl/Wrn6STk6cDwQswrt7>]

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Ανάλυση βασικών στοιχείων της συσκευής

### 5.1 Esp-32 Wroom

Το ESP32 WROOM, αναπτύχθηκε από την Espressif Systems, είναι μια εξαιρετικά ευέλικτη και ισχυρή μονάδα μικροελεγκτή (MCU) σχεδιασμένη για να καλύπτει ποικίλες ανάγκες των σύγχρονων εφαρμογών IoT. Στον πυρήνα ενός, διαθέτει το τσιπ ESP32-D0WDQ6, το οποίο διαθέτει έναν μικροεπεξεργαστή διπλού πυρήνα 32-bit LX6 ικανό να λειτουργεί σε ταχύτητες ρολογιού έως 240 MHz. Αυτή η αρχιτεκτονική διπλού πυρήνα επιτρέπει την αποτελεσματική εκτέλεση πολλαπλών εργασιών και τον καλύτερο χειρισμό υπολογιστικά εντατικών εργασιών, καθιστώντας το ESP32 WROOM κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, που κυμαίνονται από απλά δίκτυα αισθητήρων έως πολύπλοκες επεξεργασίες δεδομένων. [9]

## Χαρακτηριστικά του ESP-32

- **Επεξεργαστική Ισχύς :** Τροφοδοτείται από διπύρρηνο ή μονοπύρρηνο μικροεπεξεργαστή Xtensa LX6 32 bit με ταχύτητες ρολογιού έως και 240MHz. Ο ψηφιακός επεξεργαστής σήματος (DSP) του δίνει την δυνατότητα προηγμένων υπολογισμών.
- **Μεγάλη Ποσότητα Μνήμης :** Το ESP32 διαθέτει 520KB SRAM και μπορεί να υποστηρίξει εξωτερική μνήμη έως και 4MB, κάτι που το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν περισσότερη επεξεργαστική ισχύ και αποθήκευση δεδομένων.
- **Ασύρματη Συνδεσιμότητα :** Διαθέτει ενσωματωμένο Wi-Fi (802.11 b/g/n) για ισχυρή ασύρματη σύνδεση στο internet και υποστηρίζει Bluetooth 4.2 και Bluetooth Low Energy (BLE) για επικοινωνία συσκευών.
- **Περιφερειακές Διεπαφές:** Περιλαμβάνει πολλαπλές θύρες εισόδου/εξόδου (GPIO), που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την σύνδεση αισθητήρων, ενεργοποιητών, και άλλων συσκευών. Πρωτόκολλα όπως SPI, I2C, UART, PWM και DAC/ADC το επιτρέπουν να αλληλοεπιδρά με ένα ευρύ φάσμα εξωτερικών συσκευών και εξαρτημάτων.
- **Διαχείριση Ενέργειας :** Το ESP32 έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές χαμηλής ενέργειας, καθιστώντας το κατάλληλο για έργα που τροφοδοτούνται από χαμηλή τάση και πρέπει να λειτουργούν για μεγάλες χρονικές περιόδους.
- **Ασφάλεια :** Υποστηρίζει κρυπτογράφηση δεδομένων όπως AES, RSA, και SHA, με αυτόν τον τρόπο το ESP32 είναι ασφαλές για εφαρμογές IoT που απαιτούν προστασία δεδομένων. [9]

## Εφαρμογές του ESP32

- **IoT Συσκευές και Έξυπνα Σπίτια:** Το ESP32 χρησιμοποιείται εκτενώς στην ανάπτυξη λύσεων Internet of Things (IoT), όπως έξυπνοι θερμοστάτες, αυτοματοποιημένα συστήματα φωτισμού και κάμερες ασφαλείας. Οι ενσωματωμένες λειτουργίες Wi-Fi και Bluetooth επιτρέπουν την αποτελεσματική συνδεσιμότητα και τον απομακρυσμένο έλεγχο έξυπνων συσκευών, καθιστώντας το προτιμώμενη επιλογή για σύγχρονες εφαρμογές IoT.

- **Wearable Τεχνολογία:** Το ESP32, χάρις της ασύρματης συνδεσιμότητάς του και της χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσής του, είναι μια ιδανική επιλογή για φορητές τεχνολογικές εφαρμογές όπως έξυπνα ρολόγια και συσκευές παρακολούθησης υγείας.
- **Ρομποτική:** Το ESP32 λειτουργεί ως βασικός ελεγκτής στη ρομποτική, ικανός να διαχειριστεί αποτελεσματικά αισθητήρες, οδηγούς κινητήρων και συστήματα επικοινωνίας. Εφαρμόζεται ευρέως σε εφαρμογές όπως τα drones, τα αυτόνομα οχήματα και οι ρομποτικοί βραχίονες, όπου η ικανότητά του να παρέχει ακριβή έλεγχο και ασύρματη συνδεσιμότητα είναι απαραίτητη για αξιόπιστη λειτουργία και απόδοση.
- **Βιομηχανικός Αυτοματισμός :** Το ESP32 μπορεί να ενσωματωθεί αποτελεσματικά σε βιομηχανικά συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου μηχανημάτων, ρύθμισης θερμοκρασίας και διαχείρισης περιβαλλοντικών συνθηκών. Επιπλέον, διαδραματίζει βασικό ρόλο στις ρυθμίσεις προληπτικής συντήρησης, με ειδοποιήσεις και δεδομένα σε κεντρικά συστήματα, ενισχύοντας την αποδοτικότητα και μειώνοντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας στις βιομηχανικές λειτουργίες.
- **Έργα DIY και Πρωτότυπα :** Το ESP32 χρησιμοποιείται ευρέως από χομπίστες και προγραμματιστές για καινοτόμα έργα, συμπεριλαμβανομένων μετεωρολογικών σταθμών, έξυπνων καθρεφτών, συστημάτων οικιακού αυτοματισμού και άλλων δημιουργικών εφαρμογών. Η ευελιξία, η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας και η εκτεταμένη υποστήριξη από μια ενεργή κοινότητα προγραμματιστών το καθιστούν μια εξαιρετικά αξιόπιστη και προσβάσιμη πλατφόρμα για την προώθηση της τεχνολογικής καινοτομίας. [9]

## Πλεονεκτήματα του ESP32

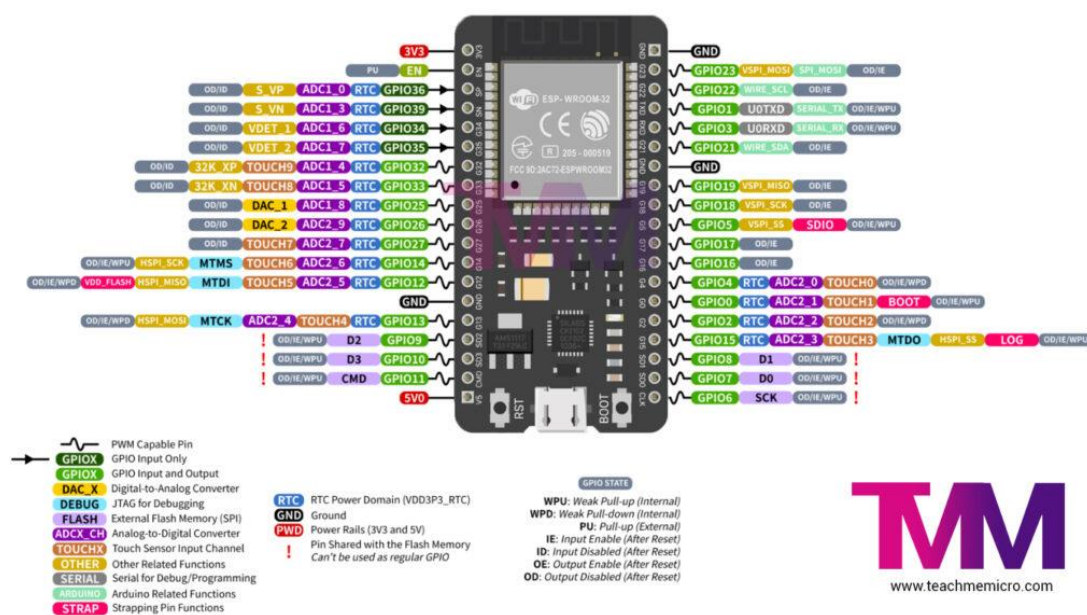
- **Ενσωματωμένες δυνατότητες ασύρματης συνδεσιμότητας:** Η υποστήριξη για Wi-Fi και Bluetooth καθιστά το ESP32 ιδανικό για εφαρμογές IoT, καθώς μπορεί να συνδεθεί εύκολα με ενός συσκευές ή διαδίκτυο.
- **Υψηλή Επεξεργαστική Ισχύς :** Η ύπαρξη διπύρηνου επεξεργαστή και αρκετής μνήμης το κάνει κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη υπολογιστική δύναμη.
- **Πολλές Θύρες I/O:** Ο αριθμός θυρών εισόδου και εξόδου επιτρέπει τη σύνδεση ποικίλων συσκευών και αισθητήρων .

- **Χαμηλή Κατανάλωση Ενέργειας :** Οι λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας το καθιστούν εξαιρετική επιλογή για εφαρμογές που λειτουργούν με μπαταρία και απαιτούν συνεχή λειτουργία για πολύ χρόνο.
- **Ασφάλεια:** Η υποστήριξη για κρυπτογράφηση και πρωτόκολλα ασφαλείας παρέχει προστασία δεδομένων, κάτι κρίσιμο για εφαρμογές IoT. [9]

## Μειονεκτήματα του ESP32

- **Περίπλοκη Χρήση για Αρχάριους:** Αν και το ESP32 προσφέρει πολλές δυνατότητες, μπορεί να είναι περίπλοκο για κάποιον που μόλις άρχισε να πειραματίζεται με μικροελεγκτές . Η εγκατάσταση και παραμετροποίηση ενδέχεται να απαιτεί κάποια εξοικείωση με πλατφόρμες ανάπτυξης όπως το Arduino IDE ή το Espressif IDE.
- **Συμβατότητα με Ορισμένες Βιβλιοθήκες:** Αν και το ESP32 υποστηρίζει πολλές βιβλιοθήκες, ενδέχεται να υπάρχουν περιορισμοί με βιβλιοθήκες που έχουν αναπτυχθεί για τους μικροελεγκτές, όπως το Arduino.
- **Υψηλή Κατανάλωση σε Wi-Fi Mode:** Παρόλο που έχει λειτουργίες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, όταν λειτουργεί σε Wi-Fi Mode, η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται σημαντικά. [9]

## ESP32 PINOUT DIAGRAM ESP32-WROOM-32



Εικόνα 5.1 ESP32-WROOM

## 5.2 TFT LCD Touch Screen Module

Η μονάδα οθόνης αφής TFT LCD είναι μια εξαιρετικά δυναμική τεχνολογία, που χρησιμοποιείται ευρέως στις σύγχρονες ηλεκτρονικές συσκευές με δυνατότητες απεικόνισης και αλληλεπίδρασης. Η τεχνολογία TFT ή τρανζίστορ λεπτής μεμβράνης βελτιώνει σημαντικά τις παραδοσιακές οθόνες υγρών κρυστάλλων (LCD) ενσωματώνοντας τρανζίστορ λεπτού υμενίου σε κάθε pixel. Αυτή η καινοτομία βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα της εικόνας και τον χρόνο απόκρισης, με αποτέλεσμα φωτεινά, καθαρά και ευκρινή γραφικά με υψηλές αναλογίες αντίθεσης και ευρείες γωνίες θέασης. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν τις οθόνες TFT LCD ιδανικές για εφαρμογές που απαιτούν ακριβείς και ζωντανές οθόνες.

Η διαδικασία κατασκευής των μονάδων οθόνης αφής TFT LCD περιλαμβάνει διάφορα κρίσιμα στάδια. Αρχικά, η συστοιχία TFT κατασκευάζεται σε γυάλινο υπόστρωμα, με κάθε τρανζίστορ να ελέγχει ένα μεμονωμένο pixel. Στη συνέχεια, προστίθεται το στρώμα υγρών κρυστάλλων, ακολουθούμενο από το φίλτρο χρώματος, το οποίο εξασφαλίζει ακριβή αναπαραγωγή χρώματος. Τέλος, εφαρμόζεται το ευαίσθητο στην αφή στρώμα και το συγκρότημα σφραγίζεται για να προστατευτεί από περιβαλλοντικούς παράγοντες.

### Πλεονεκτήματα TFT LCD Οθονών

- **Οθόνες Υψηλής Ανάλυσης:** Κατάλληλες για εφαρμογές που απαιτούν λεπτομερή απόδοση εικόνας και κειμένου. Οι γρήγοροι χρόνοι απόκρισης των TFT LCD τις καθιστούν κατάλληλες για δυναμικό περιεχόμενο, βίντεο και διαδραστικές εφαρμογές, όπου η καθυστέρηση και τα είδωλα θα μπορούσαν διαφορετικά να είναι προβληματικά.
- **Ευρεία Γωνία Θέασης:** Διασφαλίζει ότι η οθόνη παραμένει καθαρή και ευανάγνωστη από διαφορετικές γωνίες. Αυτή η δυνατότητα είναι απαραίτητη για συσκευές που χρησιμοποιούνται από πολλά άτομα ταυτόχρονα. Επιπλέον, οι υψηλές αναλογίες αντίθεσης που παρέχονται από οθόνες TFT LCD έχουν ως αποτέλεσμα ζωντανές εικόνες, βελτιώνοντας τη συνολική εμπειρία του χρήστη.
- **Ενεργειακή Απόδοση:** Η ενεργειακή απόδοση είναι ένα άλλο ζωτικό χαρακτηριστικό των μονάδων οθόνης αφής TFT LCD, ιδιαίτερα για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία. Η πρόοδος στην τεχνολογία οπίσθιου φωτισμού, όπως ο οπίσθιος φωτισμός LED, έχει βελτιώσει

πραιτέρω την ενεργειακή απόδοση, επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των φορητών συσκευών και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας μεγαλύτερων συστημάτων.

Συμπερασματικά, οι μονάδες οθόνης αφής TFT LCD αντιπροσωπεύουν μια σημαντική πρόοδο στην τεχνολογία οθόνης, συνδυάζοντας οπτική έξοδο υψηλής ποιότητας με διαδραστικές δυνατότητες. Η ευελιξία, η αποδοτικότητα και η αντοχή τα καθιστούν ιδανικά για εφαρμογές, από ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης έως βιομηχανικό αυτοματισμό. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, οι οθόνες αφής TFT LCD αναμένεται να εξελιχθούν ακόμη περισσότερο, ενισχύοντας περαιτέρω το ρόλο για σύγχρονες ηλεκτρονικές συσκευές. Είτε χρησιμοποιούνται σε smartphones, ιατρικό εξοπλισμό ή συστήματα αυτοκινήτων, οι μονάδες οθόνης αφής TFT LCD παρέχουν μια αξιόπιστη και ελκυστική εμπειρία χρήστη, οδηγώντας στη συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας αφής. [10]



Εικόνα 5.2 TFT LCD DISPLAY

[<https://images.app.goo.gl/iZbkzj2A3eUzrmt7>]

### 5.3 Thermocouples

Τα Thermocouples είναι ζωτικής σημασίας όργανα για τη μέτρηση θερμοκρασίας σε διάφορους τομείς. Λειτουργούν με βάση το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, που ανακαλύφθηκε από τον Thomas Seebeck το 1821, το οποίο παράγει ηλεκτρική τάση όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο διαφορετικών μετάλλων ενωμένων στο ένα άκρο. Η βασική δομή αποτελείται από μια διασταύρωση μέτρησης και μια διασταύρωση αναφοράς. Οι συνήθως χρησιμοποιούμενοι συνδυασμοί μετάλλων περιλαμβάνουν τον τύπο K (chromel-alumel), τον τύπο J (σίδηρος-constantan) και τον τύπο T (χαλκός-constantan), ο καθένας κατάλληλος για διαφορετικά εύρη θερμοκρασιών. Μια αλλαγή θερμοκρασίας

στη διασταύρωση μέτρησης παράγει μια τάση ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας, η οποία στη συνέχεια μετράται και ερμηνεύεται χρησιμοποιώντας καμπύλες βαθμονόμησης για τον προσδιορισμό ακριβούς θερμοκρασίας.

### **Πλεονεκτήματα των Thermocouples**

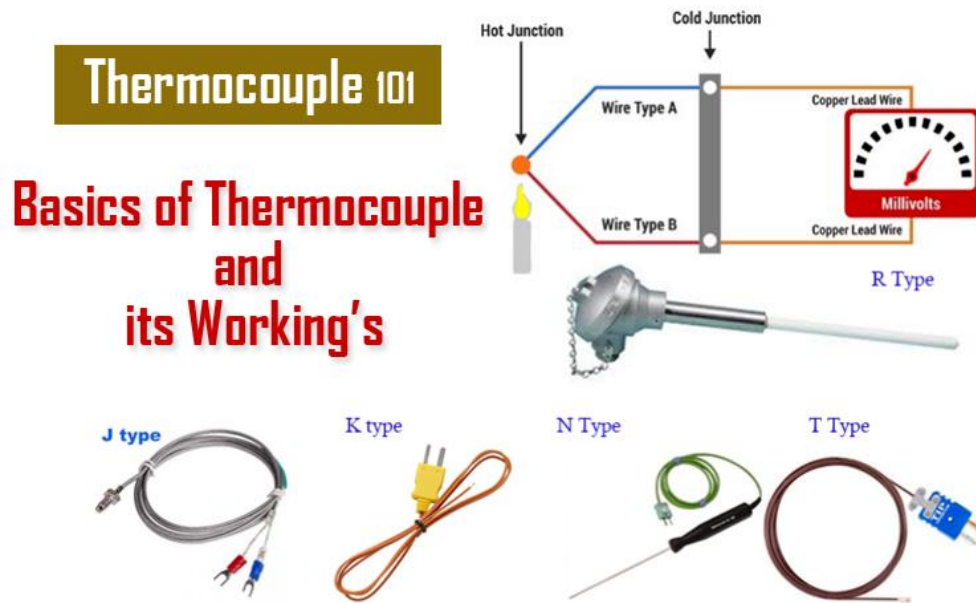
- **Ευρύ Φάσμα Θερμοκρασιών:** Είναι ικανοί αισθητήρες, οι οποίοι μπορούν να μετρήσουν από πολύ χαμηλά επίπεδα θερμοκρασιών έως αρκετές χιλιάδες βαθμών Κελσίου.
- **Αντοχή:** Η ανθεκτικότητα και η απλότητά τα καθιστούν ιδανικά για σκληρά περιβάλλοντα όπου άλλοι αισθητήρες ενδέχεται να αποτύχουν.
- **Κόστος:** Είναι οικονομικά αποδοτικά και έχουν γρήγορο χρόνο απόκρισης, ο οποίος είναι ζωτικής σημασίας σε δυναμικές διαδικασίες.

### **Μειονεκτήματα των Thermocouples**

- **Ευαίσθητα σε Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές:** Μπορεί να προκαλέσουν ανακριβείς μετρήσεις και απαιτούν σωστή θωράκιση και γείωση.
- **Μείωση της Ακρίβειας:** Η ακρίβεια των θερμοστοιχείων μπορεί να παρασυρθεί με την πάροδο του χρόνου, ειδικά κάτω από ακραίες θερμοκρασίες ή σκληρές συνθήκες, καθιστώντας την τακτική βαθμονόμηση και συντήρηση απαραίτητη για αξιόπιστη απόδοση.

Οι συνεχείς εξελίξεις στα υλικά και την τεχνολογία ενισχύουν την απόδοση του θερμοστοιχείου. Νέοι συνδυασμοί μετάλλων και προστατευτικές επιστρώσεις βελτιώνουν την αντοχή και επεκτείνουν το χρησιμοποιήσιμο εύρος θερμοκρασιών. Τα μοντέρνα σχέδια γίνονται όλο και πιο ανθεκτικά σε περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η διάβρωση και η οξείδωση, επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής και την αξιοπιστία τους. Καθώς οι βιομηχανίες ωθούν τα όρια των ακραίων θερμοκρασιών και των απαιτήσεων ακρίβειας, τα θερμοστοιχεία θα εξελιχθούν, υποστηρίζοντας νέες καινοτομίες και διατηρώντας τη θέση τους ως βασικά εργαλεία για ακριβή μέτρηση θερμοκρασίας. Η ευελιξία και η αξιοπιστία τους διασφαλίζουν ότι παραμένουν επίκαιρα σε διάφορους τομείς, οδηγώντας σε συνεχή πρόοδο στην τεχνολογία μέτρησης θερμοκρασίας.

Συμπερασματικά, τα θερμοστοιχεία είναι απαραίτητα όργανα για τη μέτρηση θερμοκρασίας λόγω του ευρέος εύρους, της ανθεκτικότητας και της γρήγορης απόκρισης. Η ικανότητά να λειτουργούν αξιόπιστα σε ακραίες συνθήκες και να παρέχουν ακριβείς μετρήσεις τα καθιστά προτιμώμενη επιλογή σε βιομηχανικές, επιστημονικές και καθημερινές εφαρμογές. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, τα θερμοστοιχεία θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της κατανόησης και του ελέγχου των θερμικών διεργασιών, διατηρώντας τον ζωτικό ρόλο σε διάφορους τομείς. [11]



Εικόνα 5.3 Basics of Thermocouple

[<https://images.app.goo.gl/uWsyK3SM37iQJfrb7>]

## 5.4 Solid State Relay (SSR)

Τα ρελέ στερεάς κατάστασης (SSR) είναι βασικές ηλεκτρονικές συσκευές μεταγωγής που χρησιμοποιούν εξαρτήματα ημιαγωγών για τη βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας σε σχέση με τα παραδοσιακά ηλεκτρομηχανικά ρελέ. Χωρίς κινούμενα μέρη, τα SSR βελτιώνουν την ανθεκτικότητα και την απόδοση ελέγχοντας τη ροή ηλεκτρικής ισχύος με σήματα ελέγχου χαμηλής ισχύος. Αυτό τα καθιστά ανεκτίμητα σε βιομηχανικές, εμπορικές και καταναλωτικές εφαρμογές.

Τα ρελέ στερεάς κατάστασης (SSR) χρησιμοποιούνται ευρέως στον βιομηχανικό αυτοματισμό για τον έλεγχο κινητήρων, θερμαντήρων, φώτων και άλλων μηχανημάτων λόγω της αξιοπιστίας όπως και των δυνατοτήτων ταχείας μεταγωγής. Είναι ιδανικά για προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) και αυτοματοποιημένα συστήματα. Στα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, τα SSR βρίσκονται σε συσκευές όπως φούρνοι, πλυντήρια ρούχων και συστήματα HVAC, όπου η αθόρυβη και αξιόπιστη λειτουργία είναι ζωτικής σημασίας. Στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών, τα SSR αλλάζουν σήματα και διαχειρίζονται τη διανομή ισχύος εντός υποδομής δικτύου, εξασφαλίζοντας αποτελεσματική και αξιόπιστη απόδοση σε διάφορες εφαρμογές. [12]

### Τύποι Solid State Relay

Τα SSR κατηγοριοποιούνται σε τρεις τύπους με βάση τους μηχανισμούς μεταγωγής τους:

- **SSR Μηδενικής Διέλευσης:** Ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν το φορτίο όταν η κυματομορφή τάσης εναλλασσόμενου ρεύματος διασχίζει τα μηδενικά βολτ, ελαχιστοποιώντας τον ηλεκτρικό

θόρυβο και τα μεταβατικά φαινόμενα, καθιστώντας τα ιδανικά για φορτία αντίστασης όπως θερμοαντίες.

- **SSR Τυχαίας Ενεργοποίησης:** Τα SSR τυχαίας ενεργοποίησης μπορούν να αλλάξουν σε οποιοδήποτε σημείο μιας κυματομορφής AC, η οποία είναι κατάλληλη για επαγωγικά φορτία όπως κινητήρες.
- **SSR Αναλογικής Μεταγωγής:** Παρέχουν μεταβλητό έλεγχο του φορτίου, επιτρέποντας σταδιακές ρυθμίσεις αντί για απλή εναλλαγή on-off, χρήσιμη σε εφαρμογές που απαιτούν λεπτομερή έλεγχο των επιπέδων ισχύος, όπως μείωση της έντασης του φωτός ή έλεγχος ταχύτητας κινητήρα. [12]

### Πλεονεκτήματα SSR

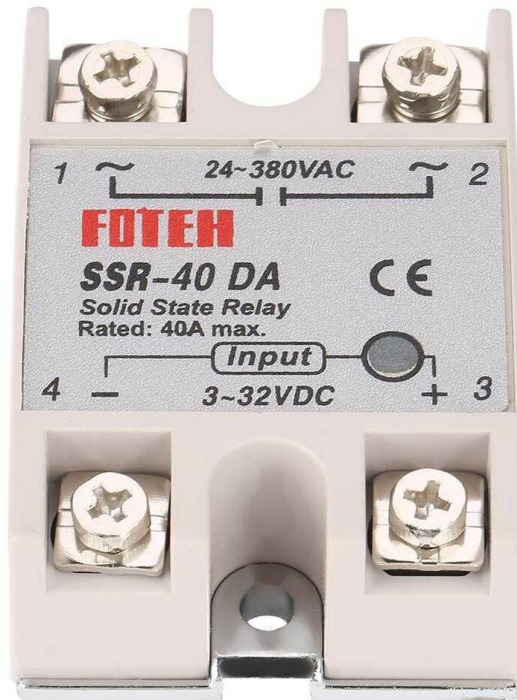
- **Χρόνος Μεταγωγής:** Τα SSR προσφέρουν ταχύτερους χρόνους μεταγωγής, συνήθως μετρούμενους σε μικρό δευτερόλεπτα, σε σύγκριση με τα χιλιοστά του δευτερολέπτου που απαιτούνται από τα ηλεκτρομηχανικά ρελέ. Αυτή η ταχύτητα ωφελεί εφαρμογές που χρειάζονται γρήγορο κύκλο, όπως ο βιομηχανικός αυτοματισμός και τα τροφοδοτικά, βελτιώνοντας την απόδοση και την απόδοση του συστήματος για ακριβή έλεγχο των ηλεκτρικών φορτίων.
- **Αθόρυβη Λειτουργία:** Τα SSR λειτουργούν αθόρυβα, καθιστώντας τα ιδανικά για περιβάλλοντα ευαίσθητα στο θόρυβο, όπως ιατρικό εξοπλισμό, μηχανήματα γραφείου και συστήματα οικιακού αυτοματισμού.
- **Θερμική Διαχείριση:** Είναι ζωτικής σημασίας για τα SSR, καθώς χειρίζονται φορτία υψηλής ισχύος και παράγουν θερμότητα κατά τη λειτουργία. Οι ενσωματωμένες ή εξωτερικές ψήκτρες χρησιμοποιούνται συχνά για τη διάχυση της θερμότητας, εξασφαλίζοντας ασφαλή όρια θερμοκρασίας και αποτρέποντας ζημιές στο ρελέ και το συνδεδεμένο φορτίο. [12]

### Περιορισμοί SSR

- **Κόστος:** Είναι ακριβότερα από τα ηλεκτρομηχανικά ρελέ.
- **Παραγωγή Θερμότητας:** Τα SSR μπορούν να παράγουν θερμότητα ακόμη και όταν είναι απενεργοποιημένα λόγω ρευμάτων διαρροής μέσω εξαρτημάτων ημιαγωγών, απαιτώντας προσεκτική θερμική διαχείριση, ειδικά σε εφαρμογές υψηλής ισχύος.

Συμπερασματικά, τα ρελέ στερεάς κατάστασης (SSR) παρέχουν πολλά οφέλη, όπως αυξημένη αξιοπιστία, ταχύτερους χρόνους μεταγωγής, αθόρυβη λειτουργία και αποτελεσματική θερμική διαχείριση. Αυτά τα πλεονεκτήματα τα καθιστούν κατάλληλα για διάφορες εφαρμογές, από

βιομηχανικούς αυτοματισμούς έως ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, οι δυνατότητες και οι επιδόσεις των SSR συνεχίζουν να βελτιώνονται, καθιστώντας τα ένα όλο και πιο πολύτιμο στοιχείο στα σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα. Παρά το υψηλότερο κόστος και ειδικούς περιορισμούς, τα συνολικά οφέλη των SSR τα καθιστούν μια συναρπαστική επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν αποτελεσματική και αξιόπιστη μεταγωγή. [12]



Εικόνα 5.4 Solid State Relay DA

[<https://images.app.goo.gl/yvtVFkp7vYDrQ9dj6>]

## 5.5 Έλεγχος Παραμέτρων

Ο έλεγχος PID, ο οποίος σημαίνει έλεγχος αναλογικού ολοκληρωμένου παραγώγου, είναι ευρέως χρησιμοποιούμενος μηχανισμός ελέγχου ανάδρασης σε βιομηχανικά συστήματα ελέγχου. Αυτή η τεχνική ελέγχου συνδυάζει τρία ξεχωριστά στοιχεία – αναλογικό, ακέραιο και παράγωγο – για τη συνεχή προσαρμογή εξόδου διεργασίας και τη διατήρηση ενός επιθυμητού σημείου ρύθμισης. Η αναλογική συνιστώσα (P) διορθώνει το τρέχον σφάλμα εφαρμόζοντας μια διόρθωση ανάλογη με το μέγεθος του σφάλματος. Το αναπόσπαστο στοιχείο (I) αντιμετωπίζει τα συσσωρευμένα σφάλματα του παρελθόντος λαμβάνοντας υπόψη το άθροισμα όλων των σφαλμάτων του παρελθόντος, εξαλείφοντας έτσι τα εναπομένοντα σφάλματα σταθερής κατάστασης. Τέλος, η παράγωγη συνιστώσα (D) προβλέπει μελλοντικό σφάλμα με βάση τον τρέχοντα ρυθμό μεταβολής, συμβάλλοντας στην άμβλυνση απόκρισης του συστήματος και στον μετριασμό της υπέρβασης και της ταλάντωσης.

Στο πλαίσιο του φούρνου επαναροής ο έλεγχος PID διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση ακριβών προφίλ θερμοκρασίας, τα οποία είναι απαραίτητα για διαδικασίες όπως η συγκόλληση στην κατασκευή ηλεκτρονικών. Η διαδικασία επαναροής περιλαμβάνει τη θέρμανση πάστας συγκόλλησης σε μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (PCB) για να λιώσει και να σχηματίσει αξιόπιστες ηλεκτρικές συνδέσεις. Ενός ελεγκτής PID σε αυτήν τη ρύθμιση διασφαλίζει ότι η θερμοκρασία του φούρνου

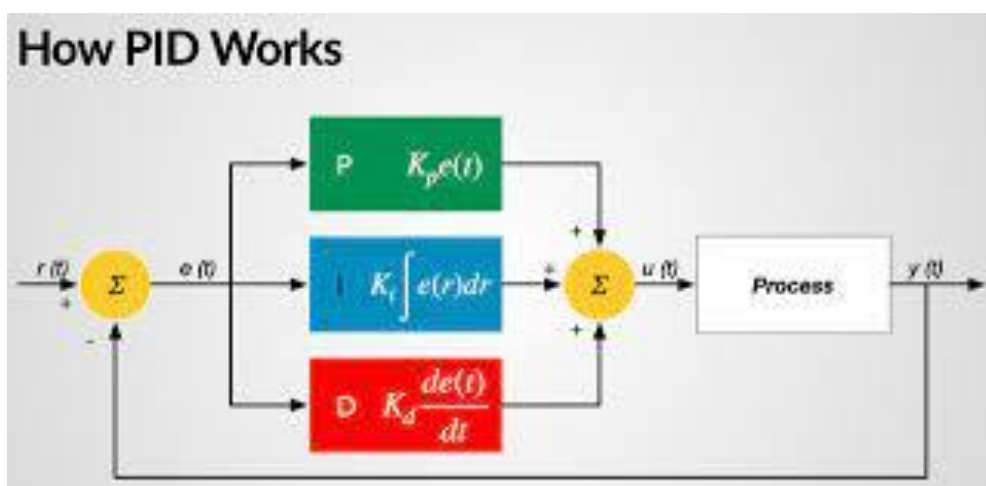
ακολουθεί μια προκαθορισμένη καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου, βελτιστοποιώντας τη διαδικασία επαναροής και αποτρέποντας ελαττώματα όπως γεφύρωση συγκόλλησης ή ανεπαρκείς αρμούς συγκόλλησης.

Για να ρυθμίσετε έναν ελεγκτή PID, πρέπει να καθορίσετε τις κατάλληλες τιμές για τις παραμέτρους P, I και D, μια διαδικασία γνωστή ως συντονισμός PID. Ο συντονισμός μπορεί να επιτευχθεί μέσω διαφόρων μεθόδων, συμπεριλαμβανομένου του χειροκίνητου συντονισμού, εργαλείων συντονισμού που βασίζονται σε λογισμικό ή αλγοριθμικών προσεγγίσεων όπως η μέθοδος Ziegler-Nichols. Ο χειροκίνητος συντονισμός συνήθως περιλαμβάνει την επαναληπτική προσαρμογή των τιμών P, I και D και την παρατήρηση της απόκρισης του συστήματος. Μια κοινή προσέγγιση είναι να ξεκινήσετε με την τιμή P και να την αυξήσετε έως ότου το σύστημα ανταποκριθεί γρήγορα αλλά χωρίς υπερβολική ταλάντωση. Στη συνέχεια, η τιμή I προσαρμόζεται για να εξαλείψει οποιαδήποτε μόνιμη μετατόπιση μεταξύ του σημείου ρύθμισης και της μεταβλητής διεργασίας. Τέλος, η τιμή D έχει ρυθμιστεί με ακρίβεια για να μειώσει την απόκριση και να μειώσει την υπέρβαση.

Τα εργαλεία συντονισμού που βασίζονται σε λογισμικό μπορούν να αυτοματοποιήσουν αυτήν τη διαδικασία, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους για να βρούμε βέλτιστες παραμέτρους PID για ένα δεδομένο σύστημα. Αυτά τα εργαλεία μπορούν να εξοικονομήσουν χρόνο και να παρέχουν πιο συνεπή αποτελέσματα, ειδικά σε πολύπλοκα συστήματα. Η μέθοδος Ziegler-Nichols είναι μια άλλη δημοφιλής προσέγγιση, η οποία περιλαμβάνει τον καθορισμό των όρων I και D στο μηδέν και την αύξηση της τιμής P έως ότου το σύστημα ταλαντώνεται με σταθερό πλάτος. Το κρίσιμο κέρδος και η περίοδος ταλάντωσης που λαμβάνονται από αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τον υπολογισμό των παραμέτρων P, I και D.

Στην πράξη, ο συντονισμός ελεγκτή PID για τον φούρνο επαναροής απαιτεί προσεκτική εξέταση των θερμικών χαρακτηριστικών του φούρνου και των ειδικών απαιτήσεων της διαδικασίας συγκόλλησης. Η ισχύς των θερμαντικών στοιχείων, η θερμική μάζα του φούρνου και το επιθυμητό προφίλ θερμοκρασίας επηρεάζουν τις παραμέτρους PID. Ο καλά συντονισμένος ελεγκτής PID μπορεί να επιτύχει ακριβή έλεγχο θερμοκρασίας, εξασφαλίζοντας συνεπείς και υψηλής ποιότητας κολλήσεις.

Η ευελιξία και η αποτελεσματικότητα του ελέγχου PID το καθιστούν θεμελιώδες εργαλείο σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές πέρα από τους φούρνους επαναροής. Από τον έλεγχο θερμοκρασίας σε συστήματα HVAC έως τον έλεγχο ταχύτητας σε κινητήρες και τον έλεγχο θέσης στη ρομποτική, οι ελεγκτές PID αποτελούν αναπόσπαστο μέρος πολλών σύγχρονων συστημάτων ελέγχου. Παρά την απλότητά του, ο έλεγχος PID μπορεί να προσφέρει ισχυρή και αξιόπιστη απόδοση, καθιστώντας τον μια ιδανική λύση για μηχανικούς και σχεδιαστές συστημάτων ελέγχου. [13]



## Εικόνα 5.5 PID Control

[<https://images.app.goo.gl/Z7iuNhZ1639RtWSG8>]

## 5.6 Θερμικές Αντιστάσεις

Οι θερμικές αντιστάσεις, γνωστές ως θερμαντήρες αντίστασης, είναι βασικά ηλεκτρικά στοιχεία τα οποία παράγουν θερμότητα μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας αντίστασης. Αυτή η διαδικασία βασίζεται στην αρχή ότι όταν ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα από ένα υλικό, η αντίσταση του υλικού αντιτίθεται στη ροή, με αποτέλεσμα την παραγωγή ενέργειας ως θερμότητας. Οι θερμικές αντιστάσεις χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανικές διαδικασίες, οικιακές εφαρμογές και για εξειδικευμένο επιστημονικό ή ιατρικό εξοπλισμό.

Η κατασκευή θερμικών αντιστάσεων περιλαμβάνει υλικά που επιλέγονται για την ικανότητά τους να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες και να παράγουν αποτελεσματικά θερμότητα. Το νικέλιο, ένα κράμα νικελίου-χρωμίου, χρησιμοποιείται συνήθως λόγω της αντοχής και της σταθερής απόδοσής του. Τα κεραμικά υλικά, από την άλλη πλευρά, προσφέρουν εξαιρετικές μονωτικές ιδιότητες, ενισχύοντας την ασφάλεια ελαχιστοποιώντας την απώλεια ενέργειας. Αυτά τα υλικά εξασφαλίζουν την αποτελεσματικότητα και τη μακροζωία των θερμικών αντιστάσεων κάτω από απαιτητικές συνθήκες.

Οι θερμικές αντιστάσεις διατίθενται σε διάφορες μορφές για να καλύψουν ποικίλες ανάγκες. Οι σταθερές αντιστάσεις παρέχουν σταθερή και σταθερή απόδοση θερμότητας, καθιστώντας τις κατάλληλες για εφαρμογές που απαιτούν σταθερή θέρμανση. Οι ρυθμιζόμενες ή μεταβλητές αντιστάσεις επιτρέπουν τους χρήστες να ελέγχουν την ποσότητα θερμότητας που παράγεται, κάτι που είναι ιδανικό για σενάρια που χρειάζονται ακριβή διαχείριση θερμοκρασίας. Οι αντιστάσεις θετικού συντελεστή θερμοκρασίας (PTC) έχουν σχεδιαστεί για να αυξάνουν την αντίσταση καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, προσφέροντας έναν μηχανισμό αυτορρύθμισης που αποτρέπει την υπερθέρμανση. Εν τω μεταξύ, οι αντιστάσεις αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (NTC) παρουσιάζουν μειωμένη αντίσταση σε υψηλότερες θερμοκρασίες, συχνά λειτουργώντας ως αισθητήρες θερμοκρασίας ή συσκευές παρακολούθησης.

Βιομηχανικά, οι θερμικές αντιστάσεις αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των διαδικασιών κατασκευής όπως η χύτευση, η συγκόλληση και η ξήρανση. Παρέχουν την ελεγχόμενη θέρμανση που απαιτείται για τη μετατροπή και την επεξεργασία υλικών. Σε περιβάλλοντα όπου η διατήρηση σταθερών θερμοκρασιών είναι ζωτικής σημασίας, όπως σε θερμοκοιτίδες και θερμοστάτες, οι θερμοστάτες παίζουν σημαντικό ρόλο στη διασφάλιση ακριβών και σταθερών θερμικών συνθηκών. Αυτή η ακρίβεια τις καθιστά απαραίτητες για βιομηχανικά συστήματα και εφαρμογές ευαίσθητες στη θερμοκρασία.

Σε οικιακές ρυθμίσεις, οι θερμικές αντιστάσεις βρίσκονται σε κοινές συσκευές. Οι ηλεκτρικές θερμάστρες, οι φούρνοι, οι τοστιέρες και τα πιστολάκια μαλλιών εξαρτώνται από αυτά τα εξαρτήματα για να λειτουργούν αποτελεσματικά, καθιστώντας εργασίες όπως το μαγείρεμα, το στέγνωμα και τη θέρμανση πιο βολικές και αποδοτικές. Οι θερμοσίφωνες χρησιμοποιούν τις θερμικές αντιστάσεις για γρήγορη και αξιόπιστη θέρμανση νερού για ποικίλες, αποδεικνύοντας περαιτέρω τη σημασία τους στην καθημερινή ζωή.

Ο επιστημονικός και ιατρικός τομέας επωφελούνται σε μεγάλο βαθμό από τη λειτουργικότητα των αντιστάσεων θερμότητας. Ο εργαστηριακός εξοπλισμός, όπως τα αυτόκλειστα και οι θερμοκοιτίδες, βασίζεται στην ελεγχόμενη θέρμανση για αποστείρωση, πειραματισμό και κρίσιμες διεργασίες. Στην

υγειονομική περίθαλψη, συσκευές όπως θερμαντήρες ασθενών και συστήματα θερμικής θεραπείας ενσωματώνουν θερμικές αντιστάσεις για την ασφαλή και αποτελεσματική διαχείριση των θερμοκρασιών, βελτιώνοντας την άνεση και την ποιότητα φροντίδας των ασθενών.

Παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματά τους, οι θερμικές αντιστάσεις παρουσιάζουν ορισμένες προκλήσεις. Η συνεχής έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να οδηγήσει σε φθορά, μειώνοντας τελικά την αποτελεσματικότητα και τη διάρκεια ζωής τους. Η επιλογή των κατάλληλων υλικών για την κατασκευή είναι το κλειδί για την ελαχιστοποίηση τις απώλειες ενέργειας και την πρόληψη της υπερθέρμανσης, διασφαλίζοντας τόσο την ασφάλεια όσο και τη βέλτιστη απόδοση. Παρ' όλα αυτά, η ικανότητα των αντιστάσεων θερμότητας να παρέχουν ακριβή και αξιόπιστη θερμότητα τις καθιστά απαραίτητες σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας και θερμικής παραγωγής, παραμένουν ζωτικής σημασίας για την προώθηση των βιομηχανικών τεχνολογιών και τη βελτίωση της καθημερινής ζωής. [14]

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> : Ανάλυση της Σχεδίασης και Υλοποίηση της Συσκευής

### 6.1 Εισαγωγή

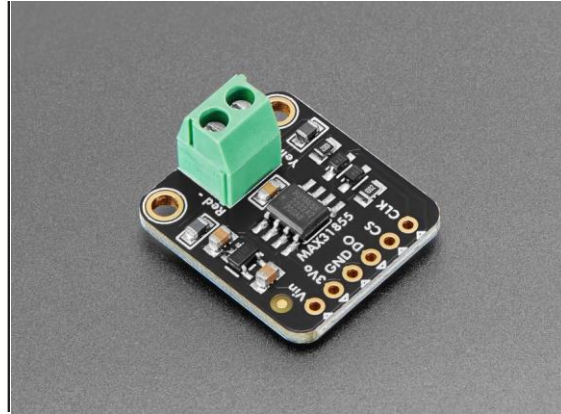
Για την σχεδίαση και υλοποίηση του Φούρνου Επαναροής με βάση όσων αναφέρθηκαν παραπάνω σχεδιάστηκε ένα σύστημα, ικανό για την μέτρηση θερμοκρασίας μέσω ενός αισθητήρα Thermocouple Type K σε συγκεκριμένο κλειστό χώρο. Καθώς όμως και την παροχή ενός ελεγχόμενου περιβάλλοντος όπου η πάστα συγκόλλησης που εφαρμόζεται στο τυπωμένο κύκλωμα PCB, θερμαίνεται στην ακριβή θερμοκρασία που απαιτείται για να λιώσει η πάστα συγκόλλησης και να συνδέσει τα οποιαδήποτε ηλεκτρονικά εξαρτήματα με ασφάλεια στην πλακέτα. Ακολουθώντας ένα προσεκτικά σχεδιασμένο προφίλ θερμοκρασίας, ο φούρνος επαναροής διασφαλίζει ότι η διαδικασία συγκόλλησης είναι ομοιόμορφη, ελαχιστοποιώντας τα ελαττώματα και αποτρέποντας ζημιές σε ευαίσθητα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Αυτό το καθιστά απαραίτητο για μαζική παραγωγή, όπου η αποτελεσματικότητα και η ακρίβεια είναι υψίστης σημασίας, καθώς και για πρωτότυπα και έργα μικρότερης κλίμακας. Οι φούρνοι Reflow χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία αξιόπιστων συνδέσεων σε ηλεκτρονικές συσκευές όπως smartphones, υπολογιστές και ιατρικό εξοπλισμό, υπογραμμίζοντας τη σημασία στη σύγχρονη τεχνολογία.

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω, αρχικά αγόρασα ένα μεταχειρισμένο ηλεκτρικό φουρνάκι το οποίο διέθετε δύο θερμικές αντιστάσεις με συνολική ισχύ 1500W. Στην συνέχεια σχεδιάστηκε ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας (Thermocouple Type K). Παρότι στο εμπόριο υπάρχουν διάφοροι τύποι Thermocouple, η επιλογή του τύπου K έγινε επειδή ο τύπου K λειτουργεί εξαιρετικά σε θερμοκρασίες από  $-200^{\circ}\text{C}$  έως  $1260^{\circ}\text{C}$  καθιστώντας το κατάλληλο για επιστημονικές και οικιακές εφαρμογές. Είναι ανθεκτικό σε οξειδωτικές ατμόσφαιρες και λιγότερο επιρρεπείς στη διάβρωση σε σχέση με άλλους τύπους Thermocouples. Τέλος, αποτελεί μια οικονομική επιλογή παρέχοντας ωστόσο επιθυμητή απόδοση. Στην συνέχεια ακολουθεί ο ενισχυτής Thermocouple, MAX31855 ο οποίος είναι μετατροπέας θερμοστοιχείου σε ψηφιακό σήμα και απολύτως συμβατός με θερμοστοιχείο τύπου K. Έχει πάνω του έναν μετατροπέα 14bit από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα μετρώντας με ακρίβεια τα οποιαδήποτε σήματα τάσης που παράγονται από το θερμοστοιχείο. Ο MAX31855 χρησιμοποιεί μια ψηφιακή διεπαφή συμβατή με SPI που το καθιστά να λειτουργήσει με διάφορους μικροελεγκτές, ιδανικό για έργα με Arduino.



Εικόνα 6.1 Thermocouple Type K

[<https://images.app.goo.gl/F88HYQydiUdweHmb9>]



Εικόνα 6.2 MAX31855

[<https://images.app.goo.gl/pswjKNNq2VkXRhrw8>]

Στην καρδιά του συστήματος κρύβεται ένα module ESP32-WROOM-32 με ενσωματωμένη κεραία για επικοινωνία WiFi/Bluetooth, η επιλογή του συγκεκριμένου module έγινε με βασικό κριτήριο την πλούσια υποστήριξη πολλαπλών περιφερειακών στα GPIO (General Purpose Input Outputs) που μπορεί να προσφέρει όπως είναι οι τρεις σειριακές επικοινωνίες (UART0, UART1, UART2) τις οποίες μπορεί το module να διαχειριστεί σε hardware επίπεδο, μία θύρα I2C, δύο 12-bit ADC (Analog to Digital Converters) με συνολικά 16 κανάλια και άλλα πολλά. Επιπρόσθετα, η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας που προσφέρει είναι αξιοζήλευτη διότι κοστίζει μόνο 2,72€ στην mouser, έχει μεγάλη υποστήριξη από την κοινότητα εφόσον είναι ένας πολύ διαδεδομένος μικροελεγκτής, ο οποίος μπορεί να προγραμματιστεί μέσα από την πλατφόρμα του Arduino όπως είδαμε παραπάνω, το οποίο απλουστεύει την διαδικασία ανάπτυξης του λογισμικού της συσκευής, έχοντας υποστήριξη από την κοινότητα με την μορφή ανοιχτού κώδικα βιβλιοθηκών για περιφερειακά και αισθητήρια. Τέλος, η πολύ υψηλή του υπολογιστική ισχύς είναι ένα χαρακτηριστικό που δεν μπορούμε να παραβλέψουμε καθώς στην καρδιά του κρύβεται ένας Dual-core επεξεργαστής αρχιτεκτονικής Xtensa LX6 που επιτρέπει αποδοτικό multitasking και ταχύτητες μέχρι και 240MHz, σημαντικά γρηγορότερο από τις εναλλακτικές ενός το Atmega328 το οποίο φτάνει μέχρι μόνο 16MHz στο Arduino UNO.

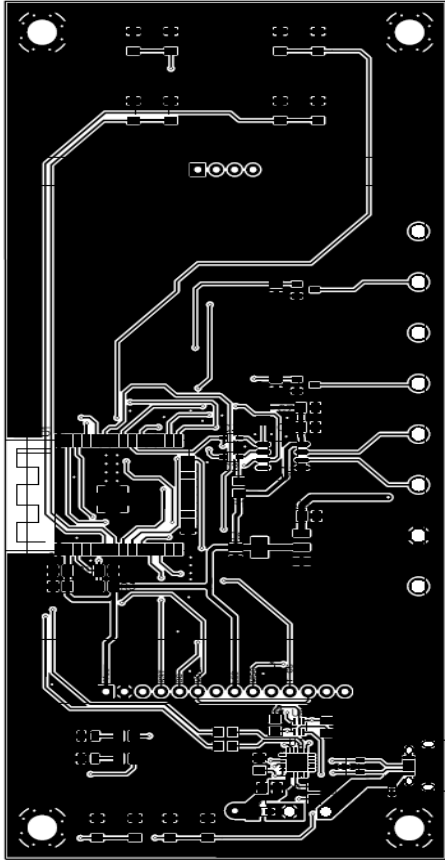
Για τον έλεγχο των θερμικών αντιστάσεων χρησιμοποιήσα δύο ρελέ στερεάς κατάστασης (Solid State Relay) 40 DA, με συνολικό κόστος 10 ευρώ από Aliexpress. Τα SSR επιτρέπουν ακριβή και αξιόπιστη ρύθμιση ισχύος στις αντιστάσεις χωρίς να προκαλούν φθορές ή θόρυβο. Για καλύτερο έλεγχο της θερμοκρασίας μέσα στο φουρνάκι αποφάσισα να χρησιμοποιήσω δύο SSR, τα οποία θα ανοιγόκλειναν τις αντιστάσεις ξεχωριστά. Το ρελέ στερεάς κατάστασης SSR-40 DA είναι μια εξαιρετικά αποδοτική και αξιόπιστη συσκευή μεταγωγής που χρησιμοποιείται εκτενώς σε βιομηχανικά συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου. Υποστηρίζει εύρος τάσης εισόδου 3-32V DC και είναι ικανό να διαχειρίζεται τάσεις εξόδου μεταξύ 24-380V AC, καθιστώντας το ευέλικτο για διάφορες εφαρμογές. Σχεδιασμένο για να χειρίζεται μέγιστο ρεύμα 40A, το ρελέ παρέχει υψηλή απόδοση ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Η στιβαρή κατασκευή και ο συμπαγής σχεδιασμός του εξασφαλίζουν ανθεκτικότητα και εύκολη ενσωμάτωση στις υπάρχουσες ρυθμίσεις. Επιπλέον, το SSR-40 DA λειτουργεί αθόρυβα και μπορεί να αντέξει τη συχνή εναλλαγή χωρίς τη μηχανική φθορά που χαρακτηρίζει τα παραδοσιακά ρελέ, καθιστώντας το προτιμώμενη επιλογή σε απαιτητικά περιβάλλοντα.

Για την αλληλεπίδραση του χρήστη με την συσκευή και την ενημέρωση του για την πορεία της θερμοκρασίας και του προφίλ κόλλησης, έχει χρησιμοποιηθεί μια οθόνη TFT LCD 3.2 ίντσες από Aliexpress με κόστος 13 ευρώ και μερικά στιγμιαία κουμπιά για την οδήγηση των επιλογών. Η μονάδα οθόνης TFT 3,2 ιντσών είναι μια συμπαγής και ευέλικτη οθόνη που χρησιμοποιείται ευρέως σε ηλεκτρονικά έργα και συσκευές. Παρέχει ανάλυση 240x320 pixel, παρέχοντας ζωντανή αναπαραγωγή χρωμάτων και καθαρά γραφικά, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για γραφικές διεπαφές και οπτικοποίηση δεδομένων. Μια από αυτές τις μονάδες είναι εξοπλισμένες είτε με αντιστατικές είτε με χωρητικές οθόνες αφής, προσθέτοντας διαδραστική λειτουργικότητα. Συνήθως περιλαμβάνουν χειριστήρια όπως το IL19341 για τη διαχείριση της οθόνης και το XPT2046 για είσοδο αφής, εξασφαλίζοντας αποτελεσματική και απρόσκοπτη λειτουργία. Επιπλέον, οι μονάδες υποστηρίζουν συνήθως SPI ή παράλληλες διεπαφές, επιτρέποντας την απλή ενσωμάτωση με μικροελεγκτές όπως το Arduino ή το ESP32. Με το συνδυασμό της συμπαγούς συντελεστή μορφής και αξιόπιστης απόδοσης, η μονάδα οθόνης TFT 3,2 ιντσών είναι κατάλληλη για εφαρμογές σαν και αυτή.

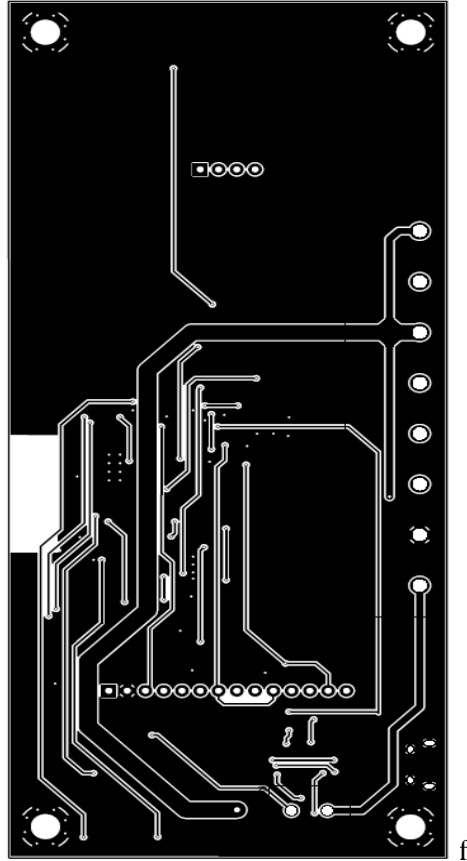
## 6.2 Hardware Design

### 6.2.1 EasyEDA

Για την σχεδίαση και υλοποίηση της πλακέτας της συσκευής χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή EasyEDA της Eda Tools. Το EasyEDA είναι ένα λογισμικό electronic design automation (EDA) το οποίο επιτρέπει σε σχεδιαστές των τυπωμένων ολοκληρωμένων πλακετών PCB (Printed Circuit Board) εύκολα να συνδέσουν σχηματικά, τοποθέτηση υλικών και βιβλιοθήκες. Η επιλογή του προγράμματος έγινε με βασικό κριτήριο την εμπειρία του συγγραφέα με το συγκεκριμένο πρόγραμμα εφόσον είχε ασχοληθεί με αυτό κατά την διάρκεια της πρακτικής του άσκησης και είχε μάθει τα βασικά. Παρακάτω φαίνονται οι δύο πλευρές από το PCB όπως τις αποτύπωσε το πρόγραμμα EasyEDA. Με την χρήση αυτών των δύο εικόνων είναι εύκολο να καταλάβει κανείς την θέση του εκάστοτε υλικού, από το ψηφιακό αποτύπωμα που υπάρχει στην πλακέτα, καθώς και τους αγωγούς οι οποίοι υποδηλώνουν τις συνδέσεις των υλικών μεταξύ τους.

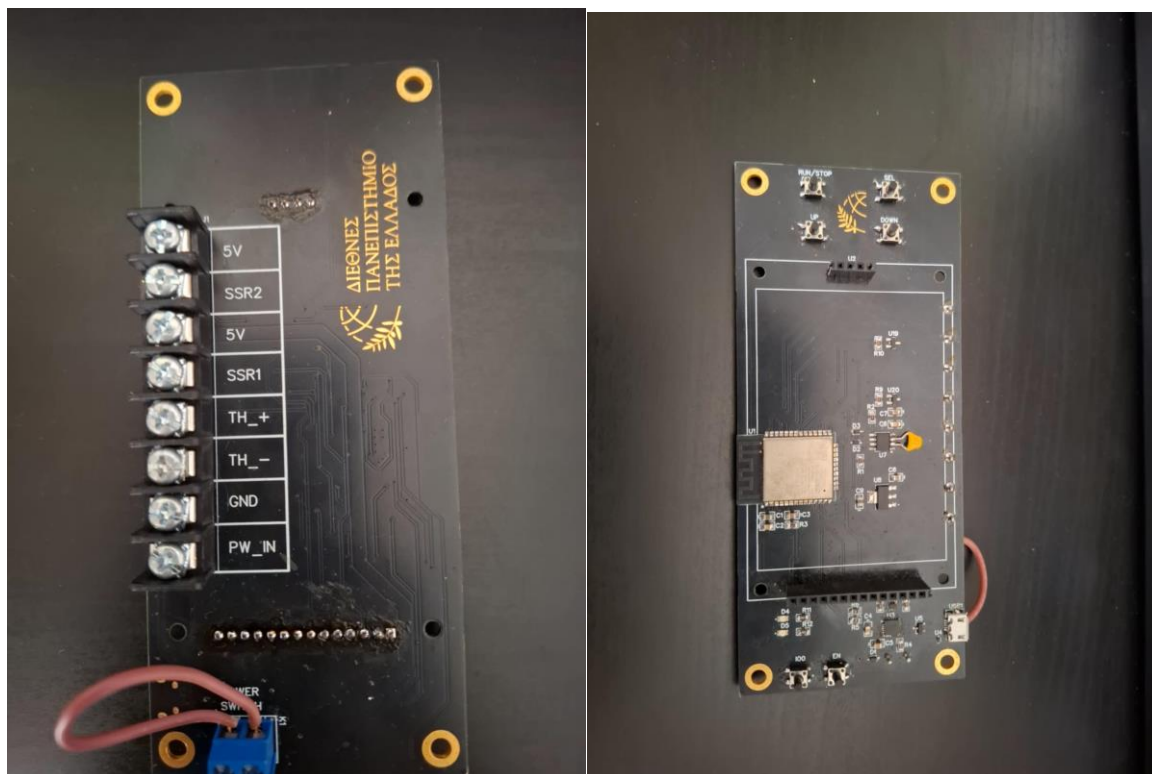


Εικόνα 6.18 PCB Top Layer



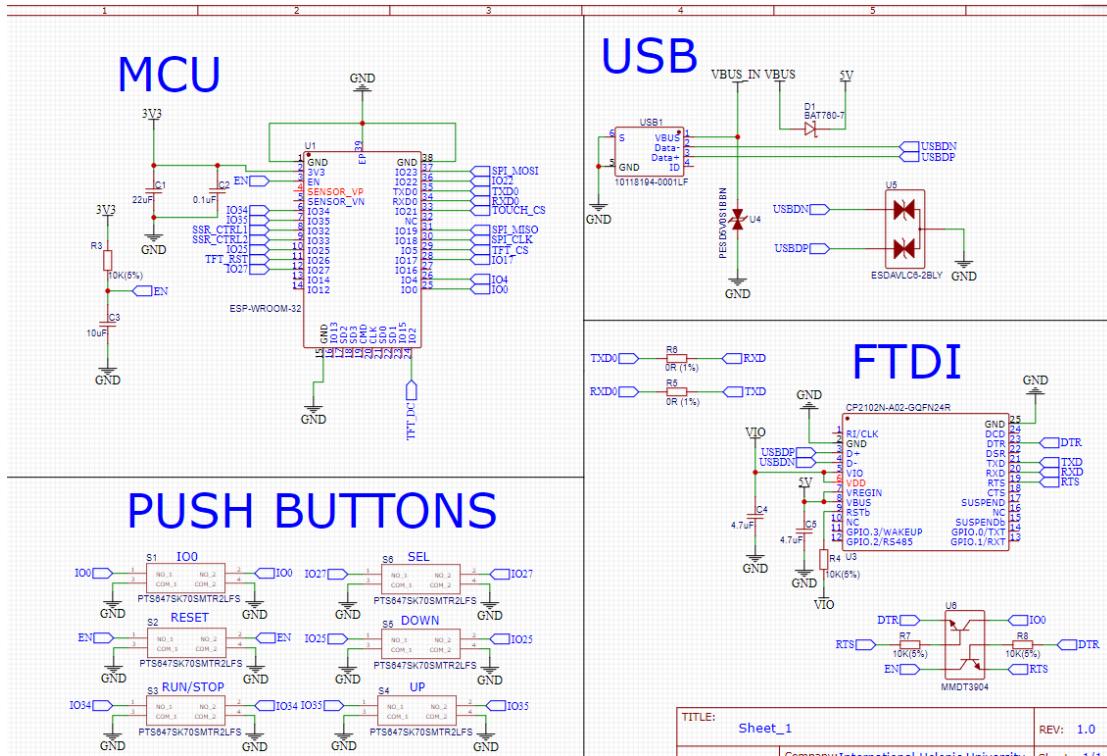
Εικόνα 6.19 PCB Bot Layer

f



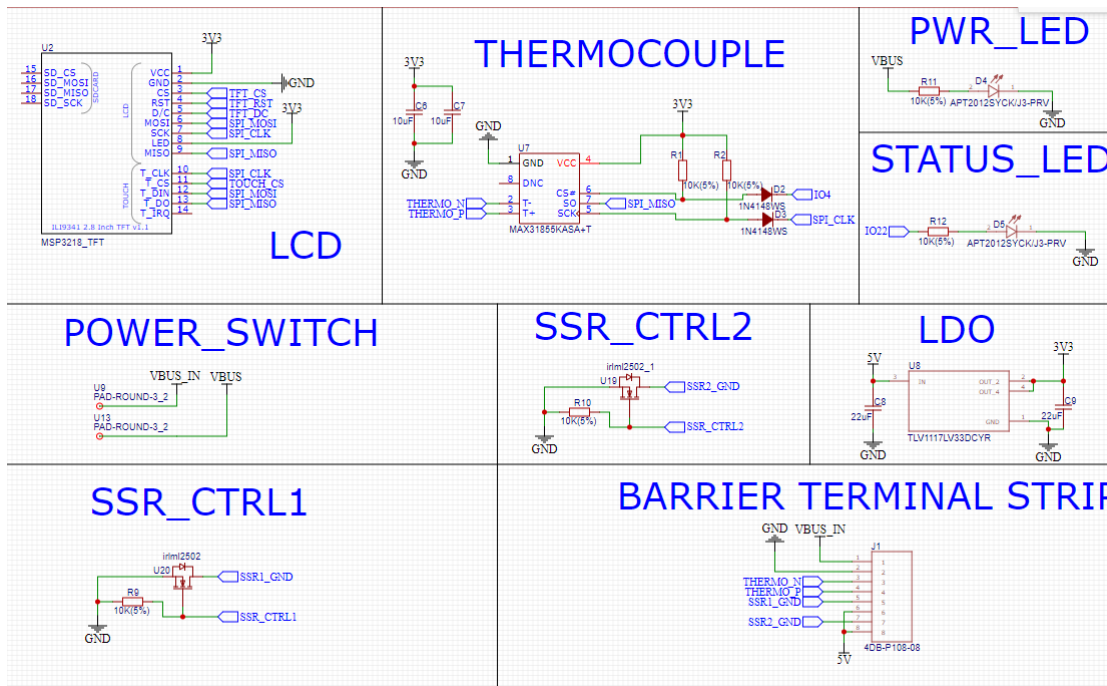
## 6.2.2 Σχηματικό Κυκλώματος και Εξήγηση

Sheet\_1:



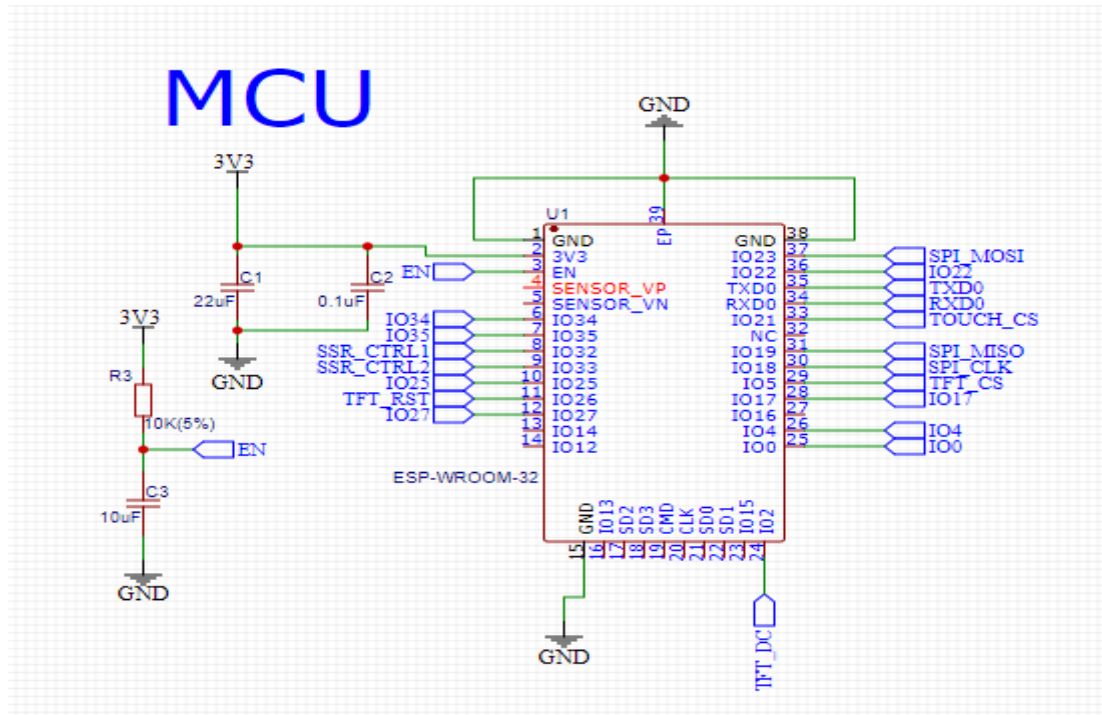
Εικόνα 6.3 Schematic Sheet\_1

Sheet\_2:



Εικόνα 6.4 Schematic Sheet\_2

## ESP32 WROOM:



Εικόνα 6.5 Schematic MCU

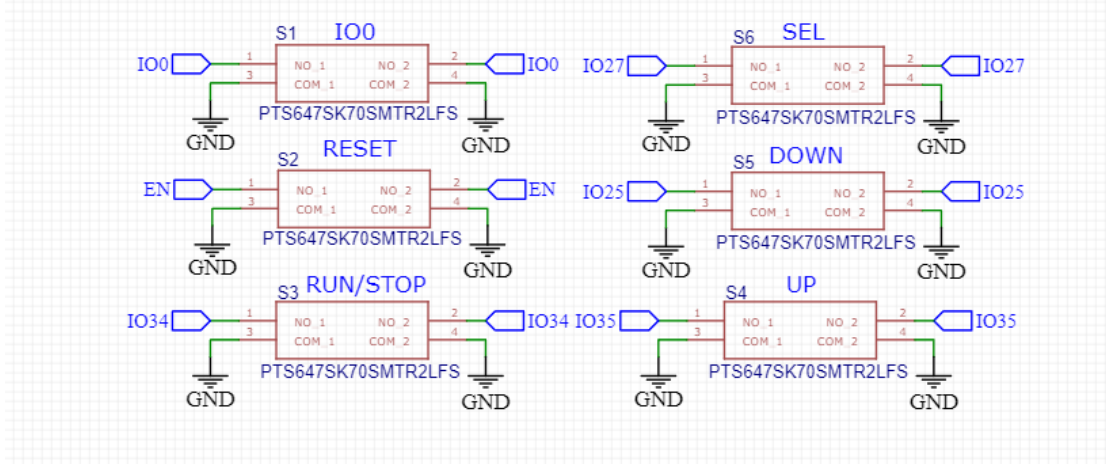
Αυτό το σχηματικό απεικονίζει τις συνδέσεις μιας μονάδας μικροελεγκτή ESP-WROOM-32 (MCU), ένας μικροελεγκτής ευρέως γνωστός για τις εφαρμογές του στο Internet Of Things (IoT). Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν όπως και τις συνδέσεις που έγιναν.

**Τροφοδοσία:** Η μονάδα μικροελεγκτή λαμβάνει ισχύς από 3.3V τροφοδοσία, οι πυκνωτές C1:22µF και C2:0.1µF φιλτράρουν την τροφοδοσία, ενώ ο πυκνωτής C3:10µF χρησιμοποιείται για σταθεροποίηση και συνδέεται με το pin EN. Επιπλέον, η αντίσταση R3:10kΩ συνδέεται με το pin EN, ο οποίος είναι ζωτικής σημασίας για την ενεργοποίηση ή την επαναφορά του μικροελεγκτή.

**ESP-WROOM-32 Pins:** Ο ESP-32 έχει αρκετά Pins που προορίζονται για διάφορες λειτουργίες. Αυτές περιλαμβάνουν Pins εισόδου/εξόδου γενικής χρήσης (GPIO) όπως IO4, IO5 και IO12. Pins σειριακής περιφερειακής διασύνδεσης (SPI), συμπεριλαμβανομένων των Pins SPI\_MOSI, SPI\_MISO και SPI\_CLK. Pins ασύγχρονου δέκτη-πομπού (UART) όπως RXD0 και TXD0. καθώς και Pins ελέγχου όπως EN, SENSOR\_VP και SENSOR\_VN. Υπάρχουν επίσης συνδέσεις πολλαπλής γείωσης (GND) για να διασφαλιστεί η σωστή γείωση του κυκλώματος.

Push Buttons:

# PUSH BUTTONS



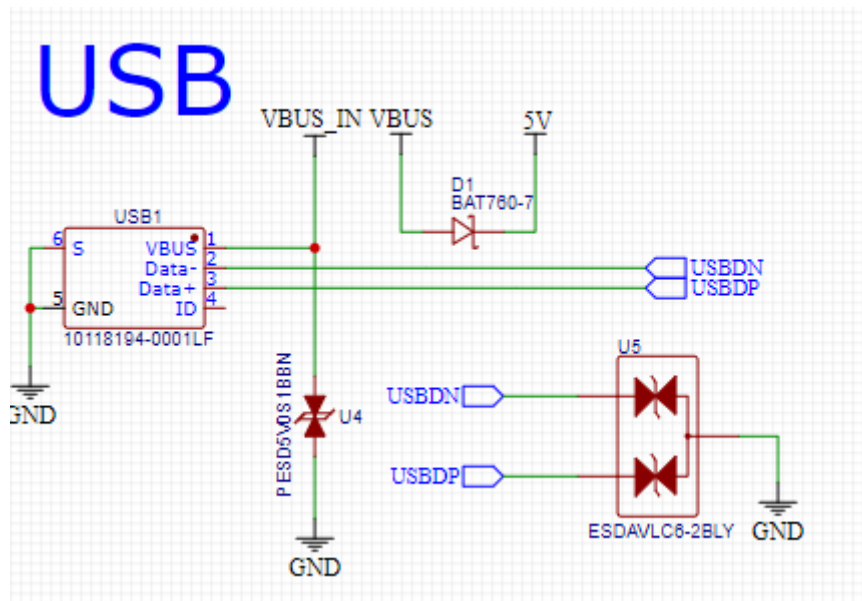
Εικόνα 6.6 Schematic Push Buttons

Αυτό το σχηματικό δείχνει τις συνδέσεις έξι στιγμιαίων κουμπιών τα οποία χρησιμοποιούνται για διάφορες χρήσεις όπως έναρξη/παύση και επαναφορά του προγράμματος του μικροελεγκτή όπως και κατεύθυνση χρήστη στο μενού. Χρησιμοποίησα το κουμπί PTS647SK70SMTR2LFS λόγω του ύψους που έχει, ιδανικό για την χρήση του.

- **S1 (IO0):** Συνδέεται με το pin IO0. Τα pins 1,2 και 3,4 συνδέονται με τα IO0 και GND(γείωση) αντίστοιχα.
- **S2 (RESET):** Το κουμπί αυτό είναι συνδεδεμένο με το pin EN (ενεργοποίηση). Τα pins 1,2 και 3,4 συνδέονται στο EN και GND αντίστοιχα.
- **S3 (RUN/STOP):** Το κουμπί αυτό είναι συνδεδεμένο με το pin IO34. Τα pins 1,2 και 3,4 είναι συνδεδεμένα με τα IO34 και GND αντίστοιχα.
- **S4 (UP):** Το κουμπί αυτό είναι συνδεδεμένο με το pin IO35. Τα pins 1,2 και 3,4 είναι συνδεδεμένα με τα IO35 και GND αντίστοιχα.
- **S5 (DOWN):** Το κουμπί αυτό είναι συνδεδεμένο με το IO25. Τα 1,2 και 3,4 είναι συνδεδεμένα με τα IO25 και GND αντίστοιχα.
- **S6 (SEL):** Το κουμπί αυτό είναι συνδεδεμένο με το IO27. Τα 1,2 και 3,4 είναι συνδεδεμένα με τα IO27 και GND αντίστοιχα.

Κάθε ένα από τα παραπάνω κουμπιά διαθέτει 4 Pins : NO(Κανονικά Ανοιχτό), COM(Κοινός) και τις αντίστοιχες συνδέσεις τους. Πατώντας ένα από αυτά τα κουμπιά, αυτό συνδέει το αντίστοιχο I/O(είσοδος/έξοδος) στην γείωση, επιτρέποντας τον έλεγχο σε διάφορες λειτουργίες στο κύκλωμα.

## USB:



Εικόνα 6.7 Schematic USB

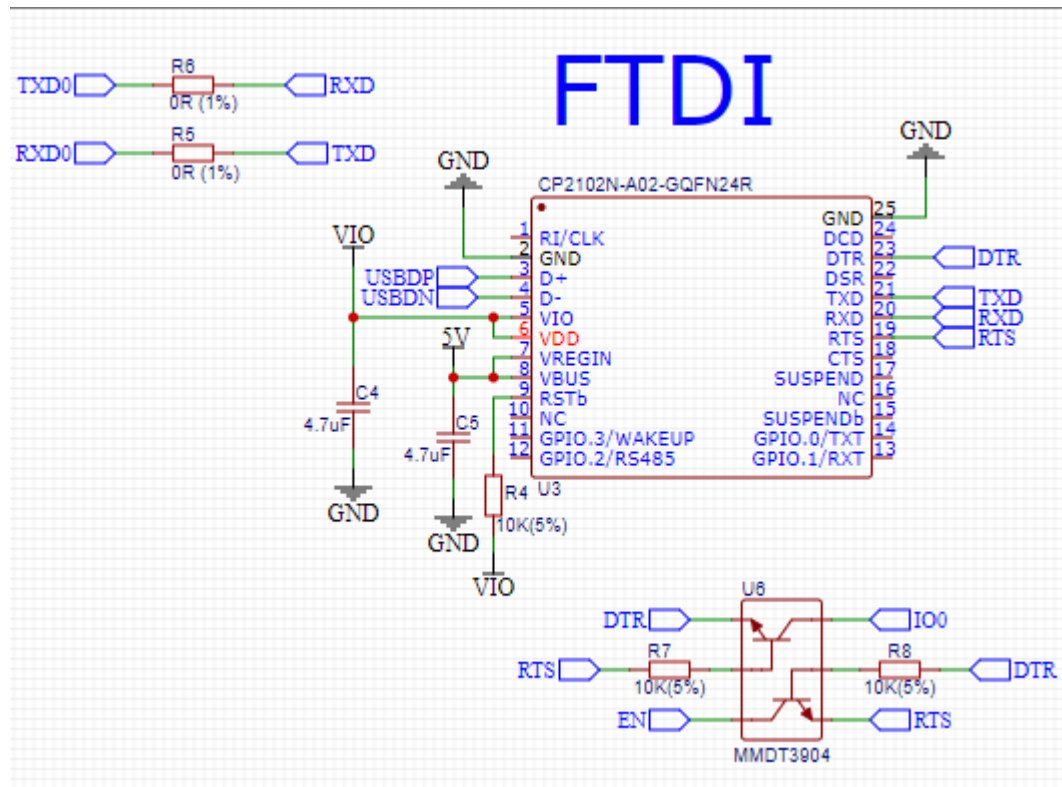
Το σχηματικό αυτό απεικονίζει τον τρόπο σύνδεσης του USB (10118194-0001LF) κυκλώματος στον μικροελεγκτή μας. Αυτό το κύκλωμα διασφαλίζει ότι η θύρα USB και οι συνδεδεμένες συσκευές προστατεύονται από spike τάσης και ηλεκτροστατικής εκφόρτωσης, κάνοντας το πολύ σημαντικό μέρος οποιουδήποτε σχεδιασμού USB.

**USB Connector (USB1):**

- Το Pin 1 (VBUS) συνδέεται με την VBUS\_IN παρέχοντας ισχύ. Η VBUS είναι πολύ σημαντική για την λειτουργία μιας USB συσκευής καθώς κρατάει σταθερή την τροφοδοσία.
- Το Pin 2 (Data-) και το Pin 3 (Data+) συνδέονται στα USBDN και USBDP, χειρίζοντας τη μετάδοση δεδομένων.
- Το Pin 4 (ID) δεν χρησιμοποιείται σε αυτό το σχηματικό.
- Το Pin 5 (GND) συνδέεται με την γείωση.
- **Δίοδος (D1):** Η δίοδος BAT760-7 συνδέεται μεταξύ της VBUS\_IN και της τροφοδοσίας 5V, με την άνοδο συνδεδεμένη με VBUS\_IN και την κάθοδο συνδεδεμένη με 5V. Αυτό βοηθά στη ρύθμιση της ισχύος.
- **Δίοδος (U4):** Η δίοδος PESD5V0S1BBN ανήκει στην κατηγορία TVS(παροδική καταστολή παροχής) παρέχει προστασία ESD (ηλεκτροστατική εκφόρτωση), είναι συνδεδεμένη μεταξύ της VBUS\_IN και της γείωσης.

- **Γέφυρα Διόδων (U5):** Η γέφυρα διόδων ESDAVLC6-2BLY TVS χρησιμοποιείται για προστασία ESD για τις γραμμές δεδομένων (USBDN και USBDP). Τα άλλα άκρα των διόδων συνδέονται με την γείωση.

FTDI:



Εικόνα 6.8 Schematic FTDI

Αυτό το σχήμα δείχνει το διάγραμμα κυκλώματος για τη σύνδεση ενός ελεγκτή γέφυρας CP2102N USB-to-UART με μικροελεγκτή ή άλλη συσκευή UART. Το CP2102N είναι ένας ελεγκτής γέφυρας USB-to-UART που βοηθάει την ενημέρωση RS-232 σε USB χρησιμοποιώντας ελάχιστα εξαρτήματα.

- **CP2102N (U3):** Ο κύριος ελεγκτής γέφυρας USB-to-UART.

Pins 1-28: Διάφορα pins για τροφοδοσία, γείωση, γραμμές δεδομένων USB, σήματα UART και GPIO.

- **Αντιστάσεις (R3, R4, R5, R6, R7, R8):** Διάφορες αντιστάσεις που χρησιμοποιούνται για pull-up, pull-down και περιορισμό ρεύματος.

R3: 10kΩ (5%) συνδεδεμένο μεταξύ VIO και RSTb.

R4: 10kΩ (5%) συνδεδεμένο μεταξύ VIO και GPIO.0/TXT.

R5: 0Ω (1%) συνδεδεμένο μεταξύ TXD0 και TXD.

R6: 0Ω (1%) συνδεδεμένο μεταξύ RXD0 και RXD.

R7: 10kΩ (5%) συνδεδεμένο στο κύκλωμα τρανζίστορ.

- **Πυκνωτές (C4, C5):** Χρησιμοποιούνται για φιλτράρισμα και σταθεροποίηση του τροφοδοτικού.

C4: 4.7μF συνδεδεμένο μεταξύ VIO και GND.

C5: 4.7μF συνδεδεμένο μεταξύ 5V και GND.

- **Τρανζίστορ (U8):** MMDT3904 χρησιμοποιείται ως διακόπτης.

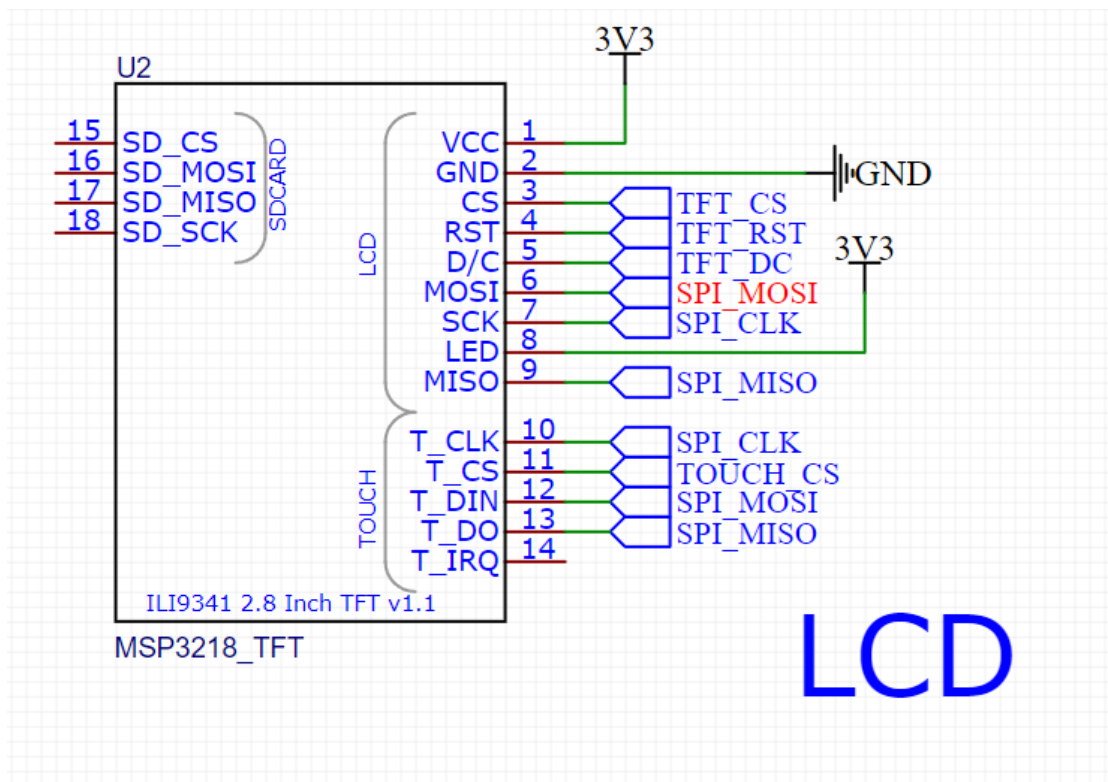
Pins: Συνδέεται με σήματα DTR, RTS και EN.

- **USB και UART**

USB: Τα USBDP και USBDN είναι συνδεδεμένα στα D+ και D- του CP2102N.

UART: TXD0, RXD0, TXD, RXD, DTR, RTS σήματα για επικοινωνία UART.

### LCD DISPLAY:



Εικόνα 6.9 Schematic LCD

Αυτό το σχήμα δείχνει τις συνδέσεις για μια οθόνη TFT LCD ILI9341 3,2 ιντσών με ελεγκτή MSP3218\_TFT. Το σχήμα χωρίζεται σε τρία κύρια τμήματα: διεπαφή κάρτας SD, διεπαφή LCD και διεπαφή αφής.

- **Διεπαφή SD κάρτας:**
- **SD\_CS (Pin 15)**
- **SD\_MOSI (Pin 16)**
- **SD\_MISO (Pin 17)**
- **SD\_SCK (Pin 18)**
- **Διεπαφή LCD:**

VCC (Pin 1): Συνδεδεμένο σε τροφοδοσία 3.3V.

GND (Pin 2): Συνδέεται με τη γείωση.

CS (Pin 3): Συνδεδεμένο στο TFT\_CS.

RST (Pin 4): Συνδεδεμένο στο TFT\_RST.

D/C (Pin 5): Συνδεδεμένο στο TFT\_DC.

MOSI (Pin 6): Συνδεδεμένο στο SPI\_MOSI.

SCK (Pin 7): Συνδεδεμένο στο SPI\_CLK.

LED (Pin 8): Συνδεδεμένο σε τροφοδοσία 3.3V.

MISO (Pin 9): Συνδεδεμένο στο SPI\_MISO.

- **Διεπαφή αφής:**

T\_CLK (Pin 10): Συνδέεται με SPI\_CLK.

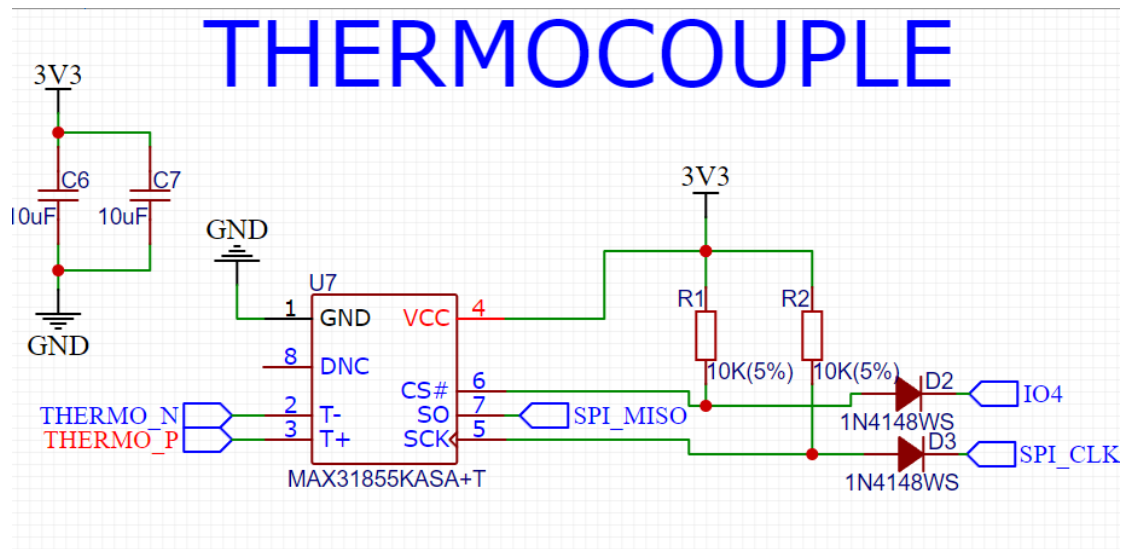
T\_CS (Pin 11): Συνδέεται με TOUCH\_CS.

T\_DIN (Pin 12): Συνδέεται με SPI\_MOSI.

T\_DO (Pin 13): Συνδεδεμένο στο SPI\_MISO.

T\_IRQ (Pin 14)

Thermocouple:



Εικόνα 6.10 Schematic Thermocouple

Αυτό το σχήμα δείχνει ένα κύκλωμα για τη διασύνδεση ενός αισθητήρα θερμοκρασίας με έναν μικροελεγκτή χρησιμοποιώντας τον MAX31855 ως ψηφιακό μετατροπέα.

- **Τροφοδοσία**

**Παροχή 3.3V:** Το κύκλωμα τροφοδοτείται από παροχή 3.3V.

**Πυκνωτές (C6 και C7):** Δύο πυκνωτές 10µF συνδεδεμένοι παράλληλα μεταξύ της παροχής 3,3V και της γείωσης για φιλτράρισμα της τροφοδοσίας.

- **Διεπαφή Αισθητήρα Θερμοκρασίας**

**THERMO\_N και THERMO\_P:** Αυτές είναι οι αρνητικές και θετικές συνδέσεις για το θερμοστοιχείο.

**THERMO\_N** συνδέεται με το T- (Pin 3) του MAX31855.

**THERMO\_P** συνδέεται με το T+ (Pin 2) του MAX31855.

- **MAX31855 Μετατροπέας θερμοστοιχείου σε ψηφιακό σήμα:**

**MAX31855 (U7):** Το κύριο ολοκληρωμένο κύκλωμα που μετατρέπει το σήμα θερμοστοιχείου σε ψηφιακή έξοδο.

**Pin 1 (GND):** Συνδέεται με τη γείωση.

**Pin 2 (T+):** Συνδεδεμένο στο THERMO\_P.

**Pin 3 (T-):** Συνδεδεμένο στο THERMO\_N.

**Pin 4 (VCC):** Συνδέεται με την παροχή 3.3V.

**Pin 5 (SCK):** Είσοδος Serial Clock για επικοινωνία SPI.

**Pin 6 (CS#):** Είσοδος Chip Select για επικοινωνία SPI.

**Pin 7 (SO):** Έξοδος σειριακών δεδομένων (MISO) για επικοινωνία SPI.

**Pin 8 (DNC):** Δεν συνδέθηκε κάπου.

- **Επικοινωνία SPI**

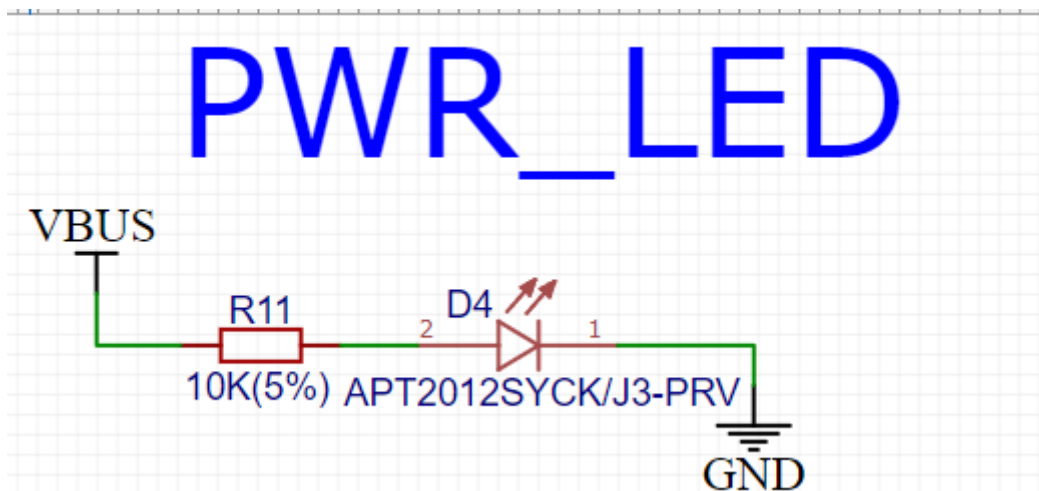
**SPI\_MISO:** Συνδέεται με το SO (pin 7) του MAX31855.

**SPI\_CLK:** Συνδέεται με το SCK (ακίδα 5) του MAX31855.

**Αντιστάσεις (R1 και R2):** Δύο αντιστάσεις 10kΩ συνδεδεμένες μεταξύ της παροχής 3.3V και των SPI\_MISO και SPI\_CLK αντίστοιχα.

**Δίοδοι (D2 και D3):** Δύο δίοδοι 1N4148WS συνδεδεμένες σε σειρά με τις γραμμές IO4 και SPI\_CLK αντίστοιχα, παρέχοντας προστασία.

PWR LED:



Εικόνα 6.11 Schematic Power Led

Αυτό το σχήμα δείχνει ένα LED του οποίου η λειτουργία είναι να ανάβει μόλις δεχτεί τάση από την τροφοδοσία VBUS.

- **Στοιχεία:**

**VBUS:** Είσοδος τάσης τροφοδοσίας.

**R11:** Αντίσταση 10K ohms (10.000 ohms) με ανοχή 5%.

**D4:** LED με αριθμό εξαρτήματος APT2012SYCK/J3-PRV.

**GND:** Σύνδεση γείωσης.

- **Πώς λειτουργεί:**

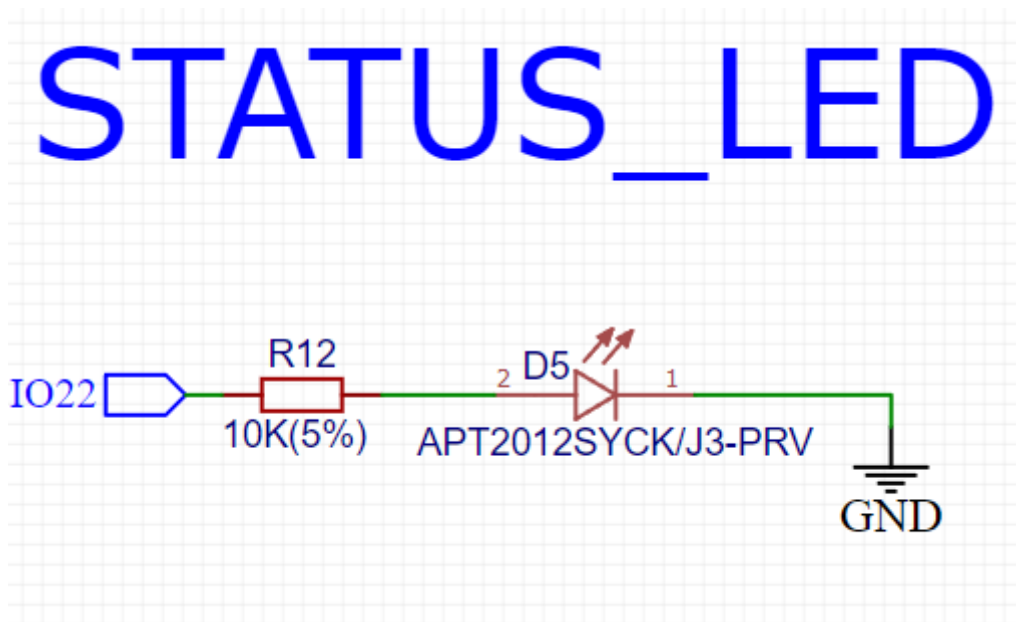
**Παροχή τάσης:** Το VBUS παρέχει τάση στο κύκλωμα.

**Περιορισμός ρεύματος:** Το ρεύμα ρέει μέσω της αντίστασης R11, η οποία περιορίζει το ρεύμα σε ασφαλή τιμή για το LED.

**Φωτισμός LED:** Στη συνέχεια, το ρεύμα ρέει μέσω του LED (D4), προκαλώντας την εκπομπή φωτός.

**Ολοκλήρωση κυκλώματος:** Τέλος, το ρεύμα ρέει στη γείωση (GND), ολοκληρώνοντας το κύκλωμα.

Status Led:



Εικόνα 6.12 Schematic Status Led

Το σήμα από το IO22 περνά μέσω της αντίστασης R12 και στη συνέχεια μέσω της λυχνίας LED D5, η οποία συνδέεται με τη γείωση. Όταν το IO22 παρέχει υψηλό σήμα, το ρεύμα

ρέει μέσω της αντίστασης και του LED, προκαλώντας το LED να ανάψει, υποδεικνύοντας την κατάσταση.

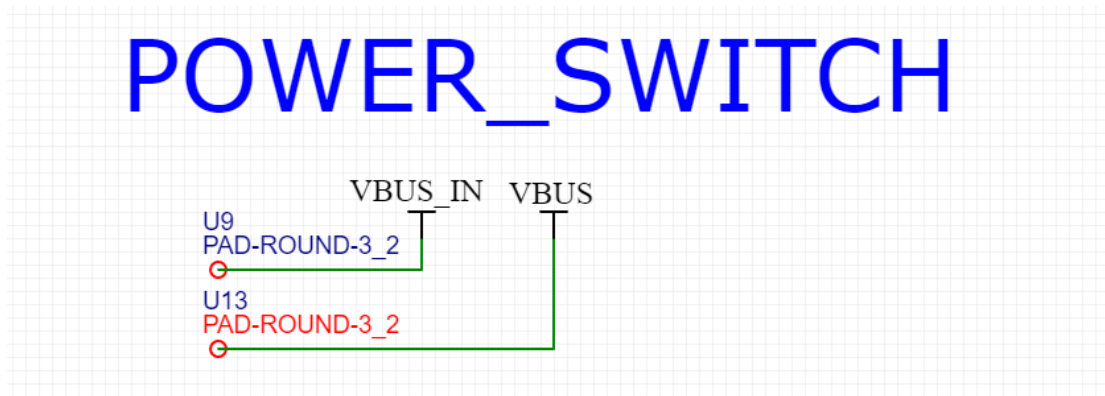
**IO22:** Αυτό είναι το pin εισόδου που παρέχει το σήμα για τον έλεγχο της λυχνίας LED.

**R12:** Μια αντίσταση με τιμή 10K ohms (με ανοχή 5%). Αυτή η αντίσταση περιορίζει το ρεύμα που ρέει μέσω του LED.

**D5:** LED (Light Emitting Diode) με αριθμό εξαρτήματος APT2012SYCK/J3-PRV. Το LED συνδέεται σε σειρά με την αντίσταση.

**GND:** Η σύνδεση γείωσης, η οποία ολοκληρώνει το κύκλωμα.

## Power\_Switch

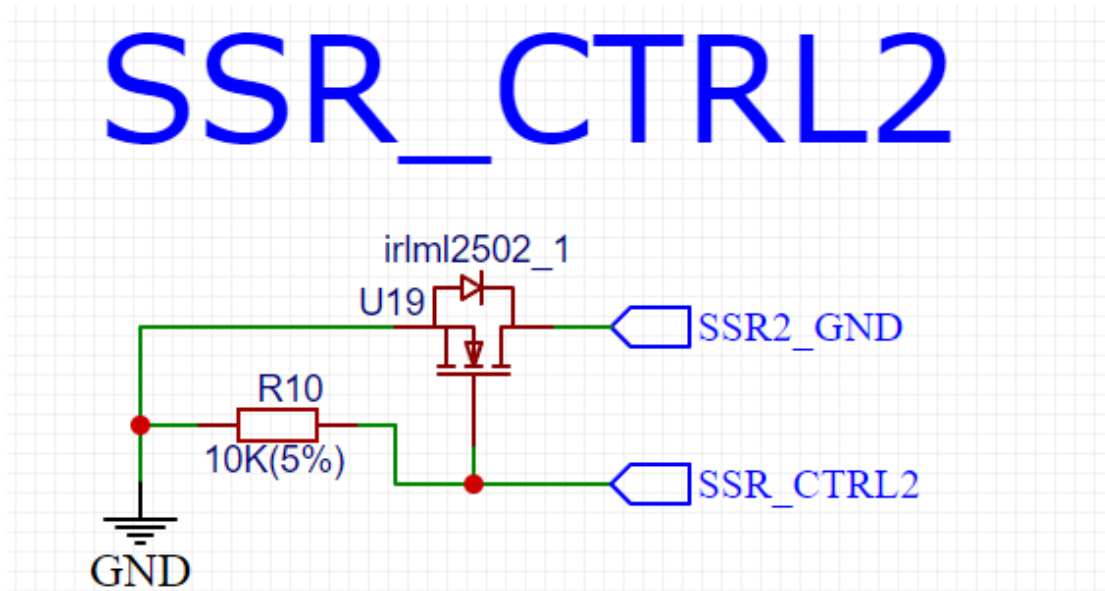


Εικόνα 6.13 Schematic Power Switch

- **Βασικά στοιχεία:**  
**U9 και U13:** Αυτά είναι τα σημεία, τα οποία χρησιμεύουν ως σημεία ηλεκτρικής σύνδεσης στο κύκλωμα.  
**VBUS\_IN και VBUS:** Αυτοί είναι οι κόμβοι εισόδου και εξόδου της τάσης διαύλου USB.
- **Πώς λειτουργεί:**

Το κύκλωμα διακόπτη ισχύος ελέγχει τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας από την είσοδο USB (VBUS\_IN) στη συσκευή (VBUS).

## SSR\_Control 2



Εικόνα 6.14 Schematic SSR Ctrl2

Υλικά και συνδέσεις:

- **K19 (irlml2502\_1):**

Αυτό είναι ένα τρανζίστορ MOSFET.

Η πύλη του MOSFET συνδέεται με αντίσταση 10kΩ (R10) και γείωση (GND).

Η πηγή είναι συνδεδεμένη με γείωση (GND).

Η εκροή του Mosfet συνδέεται με τον έλεγχο του SSR με την ένδειξη SSR\_CTRL2.

- **P10 (10K(5%)):**

Αντίσταση 10k ohm με ανοχή 5%.

Το ένα άκρο της αντίστασης συνδέεται με την πύλη του MOSFET και το άλλο άκρο συνδέεται με τη γείωση.

- **Συνδέσεις:**

Η πύλη του MOSFET συνδέεται μέσω της αντίστασης (R10) με τη γείωση, διασφαλίζοντας ότι παραμένει απενεργοποιημένη όταν δεν υπάρχει σήμα ελέγχου.

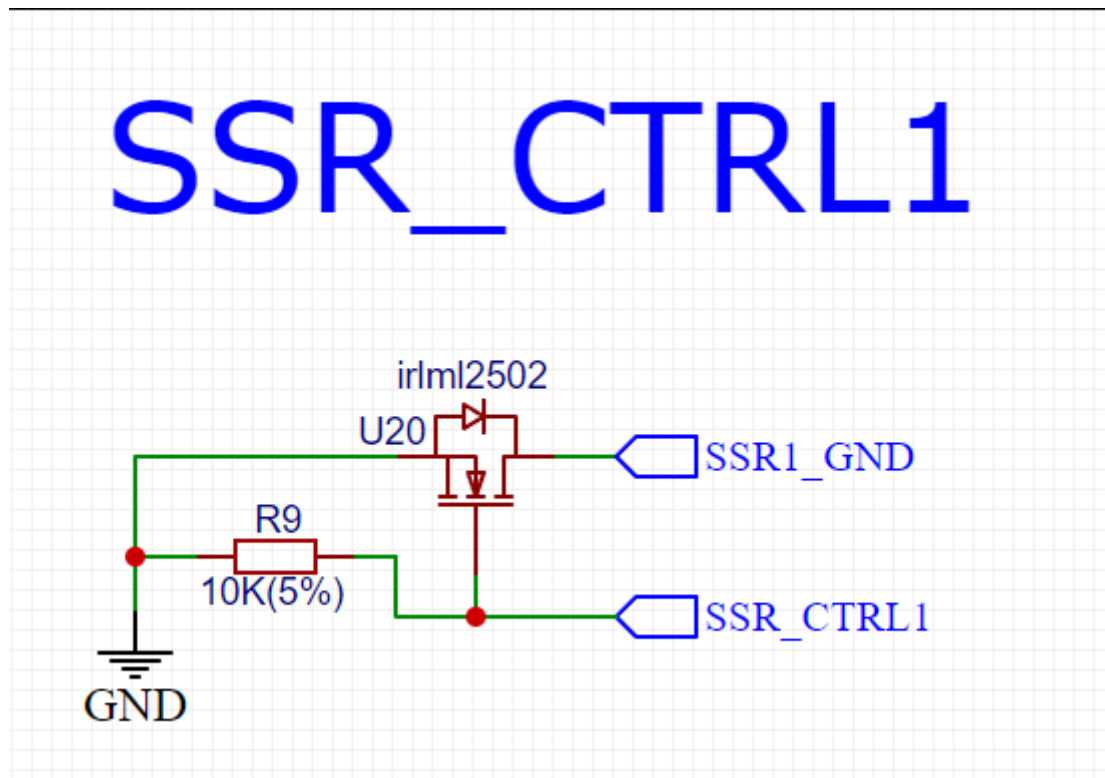
Η εκροή του MOSFET συνδέεται με τον έλεγχο του SSR SSR\_CTRL2 και επίσης με έναν κόμβο με την ένδειξη SSR2\_GND.

- **Πώς λειτουργεί:**

Το MOSFET λειτουργεί ως διακόπτης που ελέγχει το SSR. Όταν εφαρμόζεται σήμα ελέγχου στην πύλη του MOSFET, ανάβει, επιτρέποντας τη ροή ρεύματος από την εκροή στην πηγή.

Η αντίσταση (R10) διασφαλίζει ότι η πύλη του MOSFET πάει στη γείωση όταν δεν υπάρχει σήμα ελέγχου, διατηρώντας το MOSFET απενεργοποιημένο και αποτρέποντας την τυχαία ενεργοποίηση του SSR

SSR\_Control



Εικόνα 6.15 Schematic SSR\_Ctrl1

Αυτό το σχήμα είναι για τον έλεγχο ενός ρελέ στερεάς κατάστασης (SSR) χρησιμοποιώντας ένα MOSFET

Υλικά:

- **ΜΟΣΦΕΤ (U20)**

Τύπος: IRLML2502

Pin πηγής: Συνδεδεμένο στη γείωση (GND)

Pin πύλης: Συνδεδεμένος με αντίσταση (R9)

Pin εκροής: Συνδεδεμένος στη γραμμή ελέγχου SSR (SSR\_CTRL1)

- **Αντίσταση (R9)**

Τιμή: 10K ohms (5% ανοχή)

Συνδεδεμένη: Μεταξύ της πύλης του MOSFET και της γείωσης

- **Συνδέσεις:**

GND: Σύνδεση γείωσης

SSR1\_GND: Σύνδεση γείωσης για το SSR

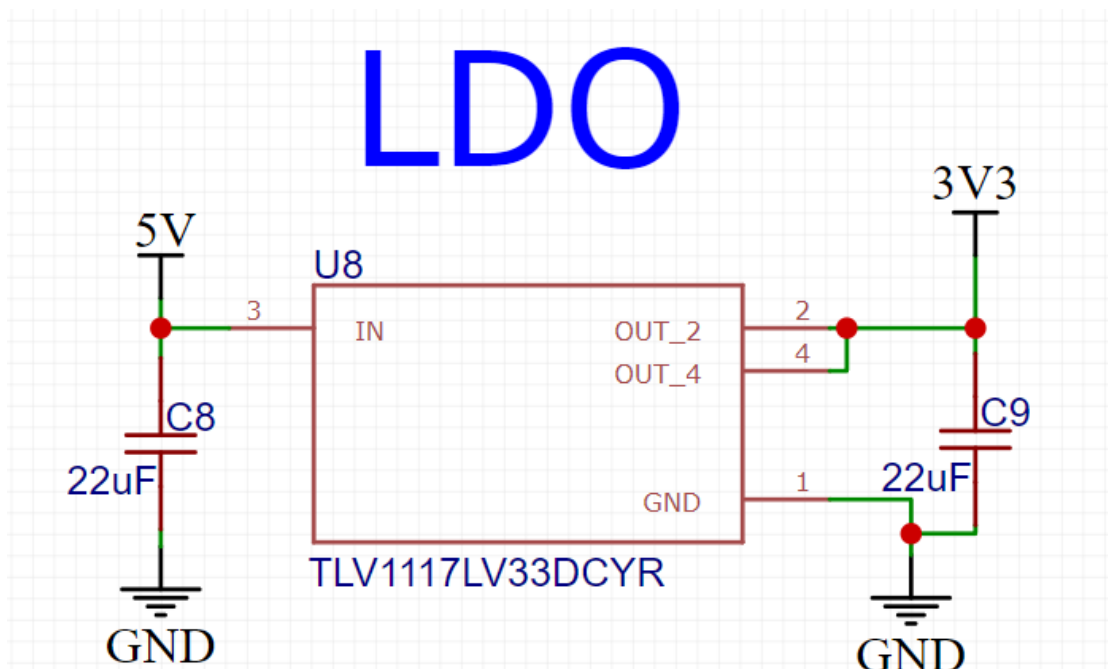
SSR\_CTRL1: Γραμμή ελέγχου για το SSR

- **Πώς λειτουργεί:**

Εναλλαγή MOSFET: Όταν εφαρμόζεται τάση στην πύλη του MOSFET, επιτρέπει τη ροή ρεύματος από την εκροή στην πηγή, ελέγχοντας έτσι το SSR.

Ρόλος αντίστασης: Η αντίσταση R9 τραβά την πύλη του MOSFET στη γείωση όταν δεν υπάρχει σήμα ελέγχου, διασφαλίζοντας ότι το MOSFET παραμένει απενεργοποιημένο.

## LDO:



Εικόνα 6.16 Schematic LDO

Αυτό το σχήμα δείχνει ένα κύκλωμα ρυθμιστή τάσης χαμηλής (LDO) χρησιμοποιώντας το TLV1117LV33DCYR, το οποίο μετατρέπει μια είσοδο 5V σε έξοδο 3.3V

Βασικά στοιχεία και συνδέσεις:

- **Είσοδος:**

Τάση εισόδου (5V): Συνδέεται στο pin 3 (IN) του ρυθμιστή LDO.

Πυκνωτής (C8): Πυκνωτής 22μF συνδεδεμένος μεταξύ της εισόδου 5V και της γείωσης (GND) για φιλτράρισμα και εξομάλυνση της τάσης εισόδου.

- **Έξοδος:**

Τάση εξόδου (3.3V): Λαμβάνεται από το pin 2 (OUT\_2) και το pin 4 (OUT\_4) του ρυθμιστή LDO.

- **Πυκνωτής (C9):** Ένας άλλος πυκνωτής 22μF συνδεδεμένος μεταξύ της εξόδου 3.3V και της γείωσης (GND) για σταθεροποίηση της τάσης εξόδου.

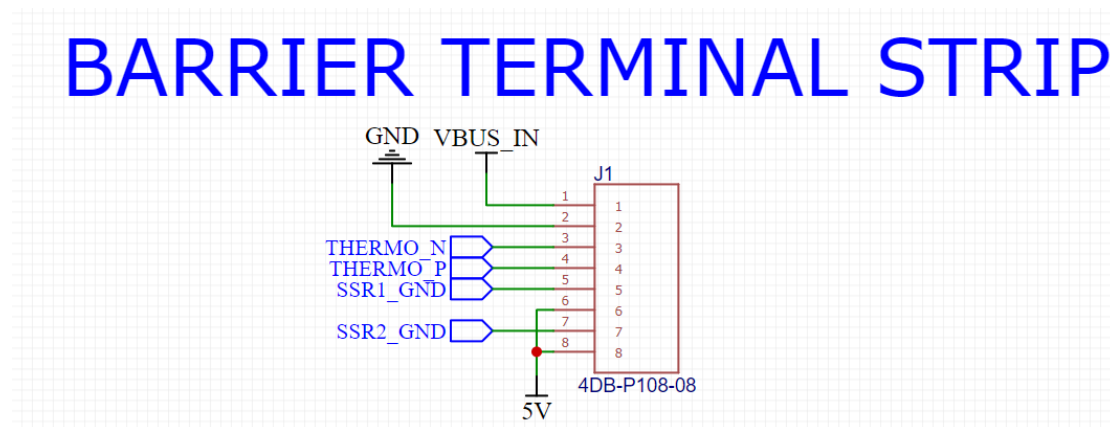
Γείωση:

Pin 1 (GND): Συνδέεται στη γείωση για να ολοκληρωθεί το κύκλωμα.

Πώς λειτουργεί:

- **Ρύθμιση τάσης:** Ο ρυθμιστής LDO λαμβάνει είσοδο 5V και παρέχει σταθερή έξοδο 3.3V, κατάλληλη για τροφοδοσία ευαίσθητων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.
- **Φιλτράρισμα και σταθεροποίηση:** Οι πυκνωτές (C8 και C9) βοηθούν στο φιλτράρισμα του θορύβου και σταθεροποιούν τόσο την τάση εισόδου όσο και εξόδου, εξασφαλίζοντας ομαλή και αξιόπιστη τροφοδοσία.

Barrier Terminal Strip



Εικόνα 6.17 Schematic Barrier Terminal Strip

## Υλικά και συνδέσεις:

(J1):

**Pin 1:** Συνδεδεμένο στο GND (γείωση).

**Pin 2:** Συνδεδεμένο στο VBUS IN.

**Pin 3:** Συνδεδεμένο στο THERMO N.

**Pin 4:** Συνδεδεμένο στο THERMO P.

**Pin 5:** Συνδεδεμένο στο SSR1\_GND.

**Pin 6:** Δεν συνδέεται πουθενά.

**Pin 7:** Συνδεδεμένο στο SSR2\_GND.

**Pin 8:** Συνδεδεμένο σε 5V.

## Γείωση και τροφοδοσία:

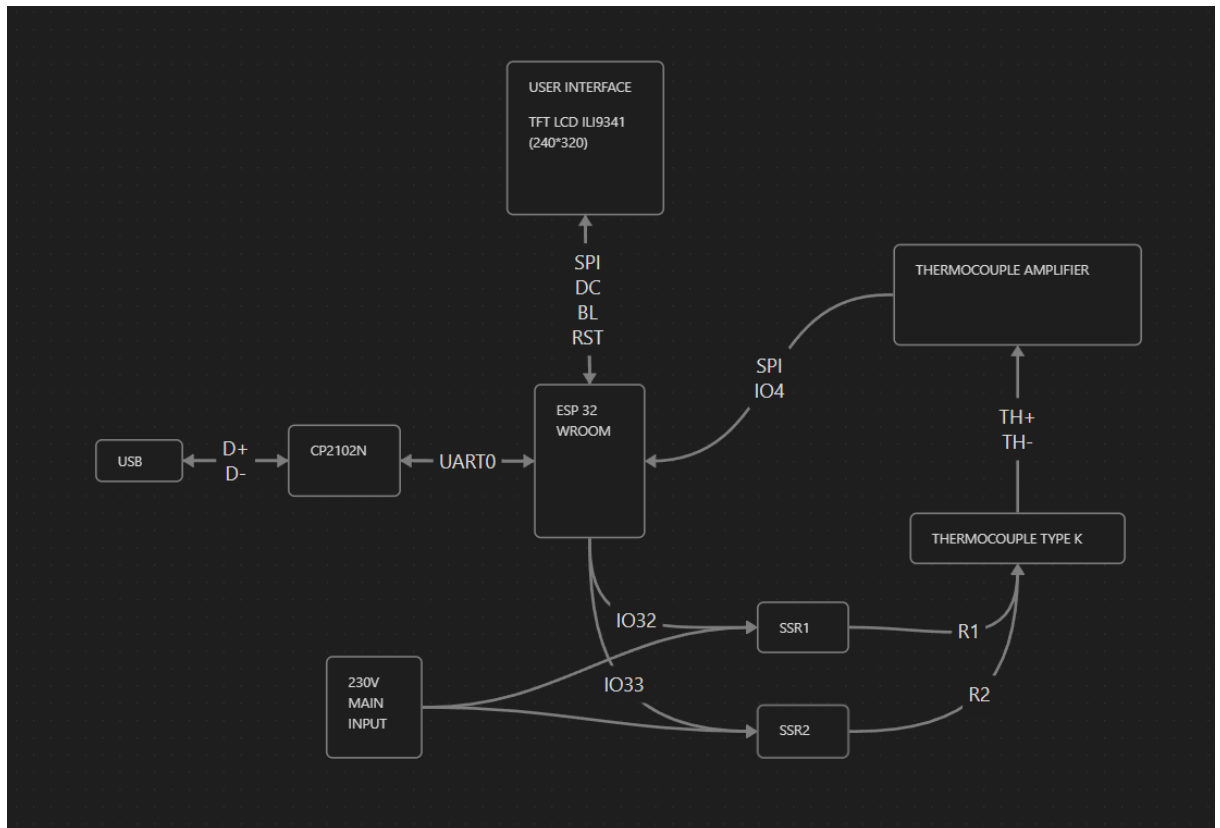
**Γείωση:** Συνδέεται με το Pin 1, δείχνοντας μια κοινή σύνδεση γείωσης.

**Τροφοδοσία 5V:** Συνδεδεμένο στο Pin 8, παρέχοντας ισχύ στο κύκλωμα.

## 6.3 Αρχιτεκτονική Συστήματος

### 6.3.1 Block Diagram

Ένα block diagram είναι μια γραφική αναπαράσταση από ένα ηλεκτρονικό σύστημα η κύκλωμα, όπου κάθε λειτουργική μονάδα αναπαρίσταται από ένα block το οποίο συνδέεται με γραμμές, οι οποίες μπορεί να αναπαριστούν σήματα, ρεύμα και δεδομένα με τα υπόλοιπα block του συστήματος. Ο σκοπός του είναι η απλοποίηση του συστήματος χωρίζοντας ένα σύνθετο σύστημα σε απλά κατανοητά υπό-συστήματα. Που επιτρέπει στους μηχανικούς να επικοινωνήσουν την υψηλού επιπέδου λειτουργικότητα ενός συστήματος χωρίς να εντρυφήσουν σε πολύ περίπλοκες λεπτομέρειες του συστήματος. Και τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν blueprint για τον σχεδιασμό, την ανάλυση και την αποσφαλμάτωση συστημάτων από τους μηχανικούς. Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν έχει δημιουργηθεί ένα block diagram σαν αυτό που αναλύσαμε. Το οποίο μας έδωσε την δυνατότητα να αναπαραστήσουμε γραφικά όλα τα περιφερειακά και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας τους.



Παραπάνω βλέπουμε ένα σχήμα με το Block Diagram που κατασκευάστηκε, στο οποίο φαίνεται ξεκάθαρα το σύστημα που απαρτίζει τον φούρνο συγκόλλησης SMD. Η διαδικασία αυτή βοήθησε αρκετά και με το Pinout Table το οποίο θα αναλύσουμε παρακάτω. Επιπλέον, είναι ένας πίνακας που αναλύει όλα τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και τις εξόδους του ESP32 με αντιστοιχία τα συγκεκριμένα GPIO (General Purpose Input Outputs) και τα φυσικά pins του ολοκληρωμένου, τα οποία φάνηκαν ιδιαίτερα χρήσιμα αργότερα στον σχεδιασμό της πλακέτας. Η θύρα USB συνδέεται με δύο σήματα τα D- και D+ με το CP2102N το οποίο με την σειρά του μέσα από μία σειριακή επικοινωνία (UART0) επικοινωνεί με τον εγκέφαλο του συστήματος ESP32. Μέσα από την οποία μπορεί όχι μόνο να επικοινωνεί μαζί του κατά την διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος αλλά και να τον προγραμματίζει. Τα δύο Solid State Relay συνδέονται στον μικροελεγκτή με τα IO32 και IO33 αντίστοιχα, τα οποία ελέγχουν τις 2 θερμικές αντιστάσεις που υπάρχουν μέσα στον φούρνο. Ο αισθητήρας Thermocouple Type K ο οποίος διαβάζει την θερμοκρασία μέσα στον φούρνο συνδέεται με τα TH+ και TH- στον Thermocouple Amplifier ο οποίος επικοινωνεί με το πρωτόκολλο SPI, με το ESP32. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αναπαράγονται στην οθόνη TFT LCD Display η οποία επικοινωνεί και αυτή με την σειρά της με το ESP32 μέσω του SPI πρωτοκόλλου.

### 6.3.2 ESP32 PinOut Table

| ID | Περιφερειακό | Λειτουργία | GPIO Pin | Physical Pin |
|----|--------------|------------|----------|--------------|
| 1  |              | SPI_MOSI   | IO23     | 37           |
| 2  |              | SPI_MISO   | IO19     | 31           |

|    |              |           |      |    |
|----|--------------|-----------|------|----|
| 3  | TFT          | SPI_CLK   | IO18 | 30 |
| 4  |              | TFT_DC    | IO2  | 24 |
| 5  |              | TFT_RST   | IO26 | 11 |
| 6  |              | TOUCH_CS  | IO21 | 33 |
| 7  |              | TFT_CS    | IO5  | 29 |
| 8  | THERMOCOUPLE | CS        | IO4  | 26 |
| 9  |              | SPI_MISO  | IO19 | 31 |
| 10 |              | SPI_CLK   | IO18 | 30 |
| 11 | SSR_CTRL1    | SSR_CTRL1 | IO32 | 6  |
| 12 | SSR_CTRL2    | SSR_CTRL2 | IO33 | 7  |
| 13 | PUSH_BTN     | IO0       | IO0  | 25 |
| 14 |              | SEL       | IO27 | 12 |
| 15 |              | DOWN      | IO25 | 10 |
| 16 |              | UP        | IO35 | 35 |
| 17 |              | RUN/STOP  | IO34 | 34 |

**Πίνακας 6.3.2 PinOut Table**

Ο παραπάνω πίνακας είναι ένα Pinout Table στο οποίο έχουμε ορίσει όλα τα pins που χρειάζονται οι περιφερειακές μας συσκευές, και πως αυτές αντιστοιχούνται σε επίπεδο κώδικα στα GPIO pins αλλά ακόμα και σε φυσικό επίπεδο Physical pins στην πλακέτα. Τα οποία είναι κρίσιμα για την ανάπτυξη του κώδικα της συσκευής αλλά και της πλακέτας αργότερα. Για την σωστή λειτουργία και για την βέλτιστη ταχύτητα επικοινωνίας μεταξύ των περιφερειακών και του μικροελεγκτή. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας όλων αυτών των περιφερειακών αντιστοιχούν το κάθε ένα σε ένα συγκεκριμένο GPIO και Physical pin, εφόσον το ESP32 σε συγκεκριμένα pins μπορεί να προσφέρει πρωτόκολλα επικοινωνίας σε hardware επίπεδο. Που σημαίνει δηλαδή ότι η μετάφραση των πρωτόκολλων επικοινωνίας συμβαίνει αποκλειστικά από κυκλώματα μέσα στο ESP32 που διαχειρίζονται όλη την λογική. Αυτό έχει σαν πλεονέκτημα την αξιοπιστία και τους μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.

### 6.3.4 Κώδικας

```
...
#include <PID_v1.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MAX31855.h>

// LCD
int lcdColumns = 16;
int lcdRows = 2;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, lcdColumns, lcdRows);
#define SDA_PIN 5
#define SCL_PIN 26

// MAX31855
#define MAXCS 4
Adafruit_MAX31855 thermocouple(MAXCS);
double Temp = 0;

// SSR
#define SSR1_PIN 32
#define SSR2_PIN 33

#define SSR_ON HIGH
#define SSR_OFF LOW

// PID
double Setpoint, Input, Output;
double Kp = 2.0, Ki = 5.0, Kd = 1.0;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT)

unsigned long windowSize = 100;
unsigned long windowStartTime;

unsigned long pidComputeInterval = 100;
unsigned long lastPIDComputeTime = 0;

unsigned long lastLCDUpdateTime = 0;
unsigned long lcdUpdateInterval = 500;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial) delay(10);

  Serial.println("Initializing I2C and LCD...");
  Wire.begin(SDA_PIN, SCL_PIN);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.print("Initializing...");

  Serial.println("Initializing MAX31855 sensor...");
  if (!thermocouple.begin()) {
```

```

if (!thermocouple.begin()) {
  Serial.println("ERROR initializing MAX31855.");
  lcd.clear();
  lcd.print("MAX31855 Error!");
  while (1) delay(10);
}
Serial.println("MAX31855 Initialized.");

pinMode(SSR1_PIN, OUTPUT);
pinMode(SSR2_PIN, OUTPUT);
digitalWrite(SSR1_PIN, SSR_OFF);
digitalWrite(SSR2_PIN, SSR_OFF);

myPID.SetOutputLimits(0, windowSize);
myPID.SetMode(AUTOMATIC);

windowStartTime = millis();
lastPIDComputeTime = millis();
lastLCDUpdateTime = millis();

lcd.clear();
lcd.print("System Ready");
delay(1000);
}

void loop() {
  unsigned long currentTime = millis();
  if (currentTime <= 50000) Setpoint = 25.0;
  else if (currentTime <= 90000) Setpoint = 150;
  else if (currentTime <= 180000) Setpoint = 150;
  else if (currentTime <= 230000) Setpoint = 240;
  else if (currentTime <= 360000) Setpoint = 25;

  // Read temperature (can be done frequently)
  Temp = thermocouple.readCelsius();
  if (isnan(Temp)) { // Check for thermocouple fault
    Serial.println("Thermocouple fault!");
    // Optionally update LCD with error
    // lcd.setCursor(0,0);
    // lcd.print("TC Fault!      ");
    // No valid input for PID, could turn off SSRs as a safety measure
    // digitalWrite(SSR1_PIN, SSR_OFF);
    // digitalWrite(SSR2_PIN, SSR_OFF);
    // Output = 0; // Ensure PID output is zero if temp reading fails
  } else {
    Input = Temp;
  }
}

if (currentTime - lastPIDComputeTime >= pidComputeInterval) {
  if (!isnan(Temp)) {
    myPID.Compute();
  }
}

```

## Κεφάλαιο 4

```
        myPID.Compute();
    } else {
        Output = 0;
    }
    lastPIDComputeTime = currentTime;
    Serial.print("Temp: "); Serial.print(Input);
    Serial.print(" C, Setpoint: "); Serial.print(Setpoint);
    Serial.print(" C, PID Output: "); Serial.println(Output);
}

if (currentTime - windowStartTime > windowSize) {
    // Time to shift to the next window
    windowStartTime += windowSize;
}

if (Output > (currentTime - windowStartTime)) {

    digitalWrite(SSR1_PIN, SSR_ON);
    digitalWrite(SSR2_PIN, SSR_ON);

} else {
    // Otherwise, turn SSRs OFF
    digitalWrite(SSR1_PIN, SSR_OFF);
    digitalWrite(SSR2_PIN, SSR_OFF);
    // Serial.println("SSR OFF");
}

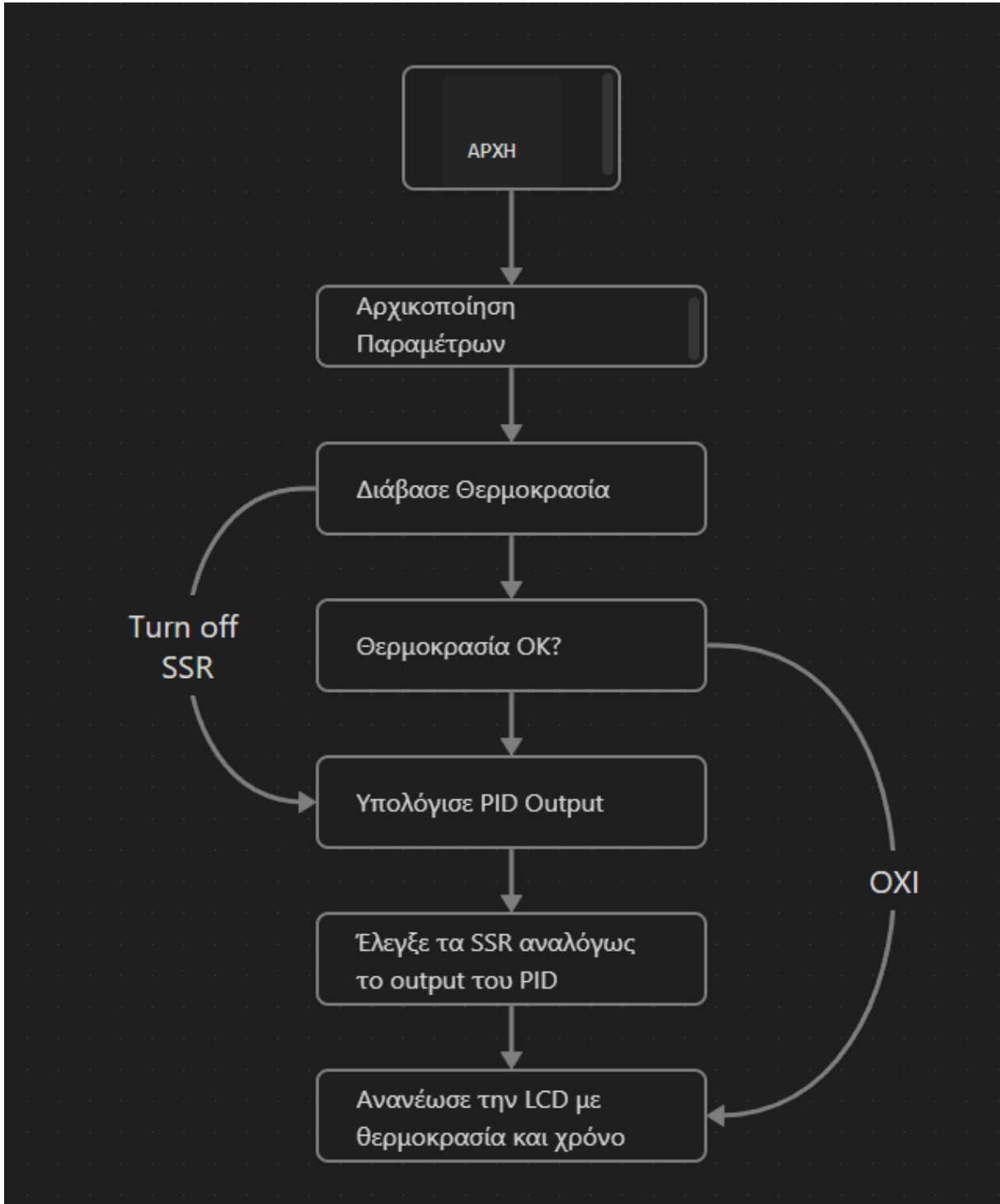
if (currentTime - lastLCDUpdateTime >= lcdUpdateInterval) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Temp: ");
    if (isnan(Temp)) {
        lcd.print("FAULT  ");
    } else {
        lcd.print(Temp, 1);
        lcd.print((char)223);
        lcd.print("C  ");
    }

    lcd.setCursor(0, 1);
    // lcd.print("Set: "); lcd.print(Setpoint,1); lcd.print((char)223); lcd.print("C ");

    unsigned long SecondsElapsed = currentTime / 1000;
    lcd.print("Time: ");
    lcd.print(SecondsElapsed);
    lcd.print("s  ");
    lastLCDUpdateTime = currentTime;
}
delay(10);
}
```

Διάγραμμα ροής:

**Διάγραμμα ροής** ή flowchart είναι ένα κοινού τύπου διάγραμμα που αναπαριστά έναν αλγόριθμο ή μια διαδικασία, δείχνοντας τα βήματα ως κουτιά διαφόρων ειδών που συνδέονται μεταξύ τους με βέλη.



## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> : Συμπεράσματα και τρόποι βελτίωσης

Συμπεραίνουμε ότι αυτή η εργασία ήταν μια πολύτιμη εμπειρία για τον συγγραφέα μιας και μπήκε στην διαδικασία να εντρυφήσει στο κομμάτι της σχεδίασης, του κώδικα αλλά και της υλοποίησης της κατασκευής. Αρχικά, ο φούρνος ήταν 1500W και είχε δύο αντιστάσεις, όμως δεν έφταναν για το πείραμα μας. Η θερμοκρασία ανέβαινε πολύ αργά, δηλαδή περνούσε τουλάχιστον δέκα λεπτά για να ανέβει στους 100 βαθμούς. Η λύση δόθηκε προσθέτοντας μια τρίτη αντίσταση των 1300W, η θερμοκρασία τώρα πιάνει τους 250 βαθμούς περίπου σε λιγότερο από 5 λεπτά. Ένα ακόμη πρόβλημα που συνάντησα είχε να κάνει με τον θόρυβο στο σήμα του Thermocouple, εξαιτίας των μικρών επιπέδων σήματος που εμπλέκονται. Ανατρέχοντας στα Datasheet του ενισχυτή σήματος MAX31855, διαπίστωσα ότι στην σχεδίαση δεν είχα βάλει πυκνωτή 10nF στις επαφές των T- και T+ ώστε να φιλτράρετε ο θόρυβος. Για τον λόγο αυτό το Thermocouple παρουσίαζε έντονο θόρυβο κατά την διάρκεια των μετρήσεων εμφανίζοντας πολλά spikes. Η λύση ήταν η αγορά κεραμικού πυκνωτή 10nF υλικού THT, τον οποίο κόλλησα στις επαφές που χρειαζόταν. Με αυτόν τον τρόπο ο θόρυβος εξαφανίστηκε. Μια ακόμη πρόκληση που αντιμετώπισα ήταν στην επικοινωνία του μικροελεγκτή ESP32 με τον ενισχυτή σήματος MAX31855 και την TFT οθόνη ILI9341. Το πρόβλημα έγινε κατά την διάρκεια της σχεδίασης της πλακέτας και αφορούσε την επικοινωνία SPI BUS. Μόλις ξεκίνησα τα τεστ συνειδητοποίησα ότι δεν έπρεπε να χρησιμοποιήσω τα ίδια pins του ESP32 για να συνδέσω το MAX31855 και ILI9341 με Hardware Bus. Αυτό μου δημιούργησε πολλά προβλήματα και μου πήρε αρκετό χρόνο μέχρι να βρω το λάθος. Η λύση στο πρόβλημα ήρθε με την αλλαγή οθόνης, αγόρασα μια LCD οθόνη 16x2 την οποία συμπεριέλαβα χρησιμοποιώντας I2C επικοινωνία με το ESP32. Ένα ακόμη πρόβλημα υπήρξε κατά την διαδικασία της κατασκευής, έχοντας τοποθετήσει το Thermocouple στο φουρνάκι παρατήρησα ότι δεν είχα σταθερές μετρήσεις και κάπου κάπου παρουσίαζε θόρυβο. Αφού έλεγξα τις γειώσεις δοκίμασα να τοποθετήσω φερίτες με σκοπό την αντιμετώπιση του θορύβου. Μπορεί οι φερίτες να μην έλυσαν το πρόβλημα αλλά κατάλαβα ότι επειδή το Thermocouple ήταν στερεοποιημένο στο σασί του φούρνου, αυτός ήταν ο λόγος των προβλημάτων. Δυστυχώς λύνοντας το ένα πρόβλημα δημιουργήθηκε ένα άλλο ακόμα πιο σοβαρό. Κατά την διάρκεια των δοκιμών κάηκε η εξτρά αντίσταση των 1300W που είχα προσθέσει με αποτέλεσμα να μην μπορώ να έχω την επιθυμητή τιμή στην θερμοκρασία. Επειδή δεν είχα άλλο προθεσμία αποφάσισα να φτιάξω ένα ξύλινο κουτί χρησιμοποιώντας τα ίδια εξαρτήματα με την βασική διαφορά ότι αντί για αντιστάσεις, πλέον έχω βάλει δύο λάμπες. Προφανώς δεν δουλεύει όπως θα έπρεπε και δεν κατάφερα να κολλήσω πλακέτα στον φούρνο αλλά η αρχή λειτουργίας είναι η ίδια και το ακολουθεί σωστά το προφίλ θερμοκρασίας.

## BIBΛIOΓΡΑΦΙΑ

- [1] I. Vilches, F. Juárez Durán, A. Gómez-Espinosa, M. C. García Carrillo, and J. A. Escobedo Cabello, "Automation of a PCB Reflow Oven for Industry 4.0," *Automation*, vol. 4, no. 1, pp. 78-93, 2023.
- [2] O. Barb, "Reflow oven with Wi-Fi connectivity," *International Journal of Advanced Statistics and IT&C for Economics and Life Sciences*, vol. 14, no. 1, 2024.
- [3] Lukács, Attila. "Design, Fabrication and Testing of a Prototype Reflow Monitoring System (RMS)."
- [4] S. Zhang, Z. Wang, J. Wang, G. Duan, and H. Li, "Study on the influence of defects on fracture mechanical behavior of Cu/SAC305/Cu solder joint," *Materials*, vol. 15, no. 14, p. 4756, 2022.
- [5] Z. Zuryensi and M. Asrol, "Improving the Efficiency of the Production Process in the Surface Mount Technology (Smt) Industry With a Lean Manufacturing Approach," *Jurnal Darma Agung*, vol. 30, no. 3, pp. 253-271, 2022.
- [6] D. Straubinger, T. Hurtony, and A. Géczy, "Impact of electromigration and isothermal ageing on lead-free solder joints of chip-sized SMD components," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 21, pp. 308-318, 2022.
- [7] K. Sweatman, T. Nishimura, K. Sugimoto, and A. Kita, "Controlling voiding mechanisms in the reflow soldering process," *Proceedings of IPC APEX Expo*, vol. 11, 2016.
- [8] R. Kinyanjui, R. Aspandiar, R. Coyle, V. V. S. Tisdale, J. Arellano, and S. Parupalli, "Challenges in reflow profiling large and high density ball grid array (BGA) packages using backward compatible assembly processes," *Proceedings of IPC APEX 2010*, pp. S35-03, 2010.
- [9] A. Maier, A. Sharp, and Y. Vagapov, "Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things," in *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*, 2017: IEEE, pp. 143-148.
- [10] I.-Y. Lu, T. Kuo, T.-S. Lin, G.-H. Tzeng, and S.-L. Huang, "Multicriteria decision analysis to develop effective sustainable development strategies for enhancing competitive advantages: Case of the TFT-LCD industry in Taiwan," *Sustainability*, vol. 8, no. 7, p. 646, 2016.
- [11] E. Webster, "A critical review of the common thermocouple reference functions," *Metrologia*, vol. 58, no. 2, p. 025004, 2021.
- [12] N. Miller, "Evaluation of the Thermal Characteristics of Solid State Relays Used for Heat Tracing Applications," 2009.
- [13] V. Gurevich, "The International Standard on Solid-State Relays (IEC 62314, Ed. 1) Critical Review," *8th January*, 2024.
- [14] F. Zandman and J. Szwarc, "Non-linearity of resistance/temperature characteristic: Its influence on performance of precision resistors," *Vishay Precision Group, Tech. Rep*, vol. 108, p. 55, 2013.