



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

## Ψηφιακός έλεγχος λειτουργίας οδοντοτεχνικού φούρνου μέσω μικροελεγκτή



**ΡΟΥΔΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**  
Αριθμός Μητρώου: 48016098

Επιβλέπων Καθηγητής  
Ιωάννης Βαλαής, Καθηγητής

Αθήνα 2024

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Ιωάννης Βαλαής

Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Γεώργιος Φούντος

Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Χρήστος Μιχαήλ

Αναπλ. Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο υπογράφων Ρούδης Αθανάσιος του Στεργίου, με αριθμό μητρώου 16098 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ημερομηνία

08/10/2024

Ο Δηλών



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο φούρνος πορσελάνης είναι μια εξειδικευμένη συσκευή που χρησιμοποιείται στην οδοντοτεχνική για την επεξεργασία κεραμικών υλικών, όπως η πορσελάνη. Αξιοποιείται για τη δημιουργία οδοντικών αποκαταστάσεων, όπως στεφάνες, γέφυρες και όψεις. Λειτουργεί σε υψηλές θερμοκρασίες, συνήθως από 600°C έως 1000°C, και επιτρέπει την πορσελάνη να ψηθεί και να στερεωθεί πάνω στους σκελετούς των οδοντικών αποκαταστάσεων. Ο φούρνος διαθέτει προγραμματιζόμενες λειτουργίες για ακριβή ρύθμιση της θερμοκρασίας και της διάρκειας ψησίματος, εξασφαλίζοντας υψηλή ποιότητα και ακρίβεια στο τελικό προϊόν. Για να υλοποιηθεί η παρούσα εργασία χρειάστηκε να γίνει μελέτη των χαρακτηριστικών και της λειτουργίας των φούρνων υψηλών θερμοκρασιών σε θεωρητικό και κατασκευαστικό επίπεδο ώστε να ληφθούν υπόψη οι παράμετροι κατασκευής του φούρνου πορσελάνης καθώς και να συνδυαστούν πάρα πολλές γνώσεις από το πρόγραμμα σπουδών του τμήματος μηχανικών Βιοϊατρικής σχετικές με ηλεκτρονικά, μηχανική, τεχνικές σχεδίασης, προγραμματισμό, κλπ. Αρκετά σχέδια (schematics) για ηλεκτρονικά κυκλώματα έπρεπε να επανασχεδιαστούν και να δημιουργηθεί η ηλεκτρονική πλακέτα ελέγχου του φούρνου, με χρήση μικροελεγκτή. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η συναρμολόγηση και ο έλεγχος καλής λειτουργίας του φούρνου συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου σωστής εκτέλεσης των παραμέτρων που έχει εισάγει ο χρήστης σε συνδυασμό με την ασφαλή λειτουργία του.

Λέξεις κλειδιά: όπτηση πορσελάνης, οδοντοτεχνικός φούρνος, φούρνος υψηλών θερμοκρασιών προγραμματισμός AVR, μικροελεγκτής AVR, κατασκευή φούρνου πορσελάνης, εξοπλισμός οδοντοτεχνικού εργαστηρίου

Keywords: porcelain firing, dental furnace, high temperature furnace, AVR programming, AVR microcontroller, porcelain furnace construction, dental lab equipment

## **ABSTRACT**

A porcelain furnace is a specialized device used in dental technology for processing ceramic materials, such as porcelain. It is utilized for the creation of dental restorations, including crowns, bridges, and veneers. The furnace operates at high temperatures, usually ranging from 600°C to 1000°C, allowing the porcelain to be fired and bonded onto the frameworks of dental restorations. The furnace features programmable functions for precise temperature and firing time control, ensuring high quality and accuracy in the final product. To complete this project, a study of the characteristics and operation of high-temperature furnaces was necessary, both on a theoretical and construction level. This was done taking into account the construction parameters of the porcelain furnace and combining various knowledge areas from the Biomedical Engineering curriculum related to electronics, mechanics, design techniques, programming, and more. Several electronic circuit schematics had to be redesigned, and the control electronic board of the furnace was created using a microcontroller. Subsequently, the assembly and functional testing of the furnace were carried out to ensure the accurate execution of the user – entered parameters in combination with safe operation.

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:**

Ευχαριστώ θερμά τον υπεύθυνο καθηγητή κύριο Ιωάννη Βαλαή ο οποίος ανέλαβε να συνεργαστεί μαζί μου παρά την πολυπλοκότητα του θέματος που επέλεξα και να με καθοδηγήσει με τις ιδέες του στην διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας μου.

Τέλος θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου και στην κοπέλα μου που με στήριξαν αυτά τα χρόνια στις σπουδές μου δίνοντας μου αρκετή βοήθεια και κίνητρο να συνεχίσω μέχρι τέλους.

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>5</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:.....</b>	<b>6</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>8</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....</b>	<b>9</b>
1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΗΣ.....	9
1.2 ΤΡΟΠΟΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΜΕ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗ.....	13
1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ.....	13
1.4 Η ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ.....	15
1.5 ΤΑ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΕΤΑΛΛΟΚΕΡΑΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΛΛΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	16
1.6 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΜΑΖΩΝ.....	18
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> – ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ. Η ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ.....</b>	<b>19</b>
2.1 ΟΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ.....	19
2.2 ΕΙΣΟΔΟΙ-ΕΞΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ.....	20
2.3 Η ΠΛΑΚΕΤΑ CPU.....	20
2.4 ΤΟ ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΟΣ.....	20
2.5 Ο ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ.....	28
2.6 ANALOG TO DIGITAL CONVERTER.....	29
2.7 ΚΕΝΟΜΕΤΡΟ.....	31
2.8 ΤΟ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ.....	33
2.9 ΟΙ ΜΝΗΜΕΣ.....	35
2.10 ΤΟ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΙΟ.....	36
2.11 ΑΠΟΜΟΝΩΤΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ(Buffer).....	37
2.12 ΤΟ ΜΕΓΑΦΩΝΟ.....	39
2.13 Η ΟΘΟΝΗ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ LCD.....	39
2.14 ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΟΘΟΝΗΣ LCD.....	40
2.15 ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΥΨΗΛΗΣ-ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	41
2.16 Η ΡΟΥΤΙΝΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ.....	44
2.17 ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (HARDWARE WATCHDOG).....	45
2.18 ΚΑΡΤΑ ΙΣΧΥΟΣ.....	46
2.19 ΚΥΚΛΩΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΙΣΧΥΟΣ(ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΑΕΡΑ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΤΛΙΑΣ ΚΕΝΟΥ).....	47
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> – ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ. Η ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ.....</b>	<b>49</b>
3.1 ΕΚΤΥΠΩΣΗ, ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΠΛΑΚΕΤΑΣ CPU.....	49
3.2 ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ.....	51
3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ.....	60
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....</b>	<b>60</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>65</b>
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ, ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΡΘΗΣ ΧΡΗΣΗΣ.....	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΡΘΗΣ ΧΡΗΣΗΣ.....	66
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ.....	70
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4 :ΠΙΝΑΚΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ-ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΟΣ ΤΥΠΟΥ Κ.....	81

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι οδοντικές αποκαταστάσεις είναι ζωτικής σημασίας για την υγεία, την αισθητική και την ποιότητα ζωής. Προστατεύουν τη στοματική υγεία αποτρέποντας λοιμώξεις και τερηδόνα, και διασφαλίζουν τη φυσιολογική λειτουργία του στόματος, βελτιώνοντας τη μάσηση και την ομιλία. Η αισθητική διάσταση είναι εξίσου σημαντική, καθώς οι σύγχρονες αποκαταστάσεις προσφέρουν φυσικό και όμορφο χαμόγελο, ενισχύοντας την αυτοπεποίθηση. Επιπλέον, οι αποκαταστάσεις προλαμβάνουν περαιτέρω οδοντικά προβλήματα και διατηρούν την οστική δομή της γνάθου. Συνολικά, οι οδοντικές αποκαταστάσεις συμβάλλουν καθοριστικά στην ευεξία και τη γενική υγεία. Σε αυτή την διπλωματική εργασία πραγματοποιείται ο έλεγχος λειτουργιών του φούρνου όπως η θερμοκρασία, έλεγχος μοτέρ και στάθμης κενού από τον μικροελεγκτή ATmega32 της εταιρίας Atmel σε κώδικα Assembly με την χρήση AVR προγραμματιστή. Η κατασκευή αυτή είναι ένα πλήρως λειτουργικό μηχάνημα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επαγγελματικό επίπεδο από οδοντοτεχνίτες και παρεμφερείς τεχνίτες με πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια μικρή ιστορική αναδρομή στις οδοντικές αποκαταστάσεις από τα αρχαία χρόνια μέχρι σήμερα καθώς επίσης παρουσιάζονται οι τρόποι κατασκευής κραμάτων και οι ιδιότητες της πορσελάνης την οποία θα κάνει όπτηση ο φούρνος της παρούσας εργασίας.

### 1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΗΣ

Στην αρχαιότητα, η αισθητική και η αποκατάσταση των δοντιών ήταν σημαντικά θέματα για πολλούς πολιτισμούς. Οι αρχαίοι άνθρωποι εκτίμησαν πολύ την ομορφιά των δοντιών και την απεικόνιζαν στις τέχνες τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμα και διακόσμησαν τα δόντια τους με πολύτιμα μέταλλα. [1]



*Εικόνα 1.1-1 Copy of a Roman denture, Europe, 1901-1930.*

*[Science Museum, London. Attribution 4.0 International (CCBY 4.0) ]*

Στον τάφο του Αιγύπτιου Εζύ-Ρα, που χρονολογείται περίπου το 2.600 π.Χ., υπάρχει μια επιγραφή που αναφέρει μεταξύ άλλων: "ο σημαντικότερος από όλους όσους ασχολούνται με τα δόντια και μεταξύ των γιατρών". Αυτή θεωρείται η παλαιότερη γνωστή αναφορά στο επάγγελμα του οδοντιάτρου.



*Εικόνα 1.1-2 Οι Σουμέριοι πίστευαν ότι σκουλήκια εισχωρούσαν στο εσωτερικό των δοντιών και τα κατέστρεφαν.*

*[ Photo courtesy German Museum for the History of Medicine. Photo: Michael Kowalski.]*

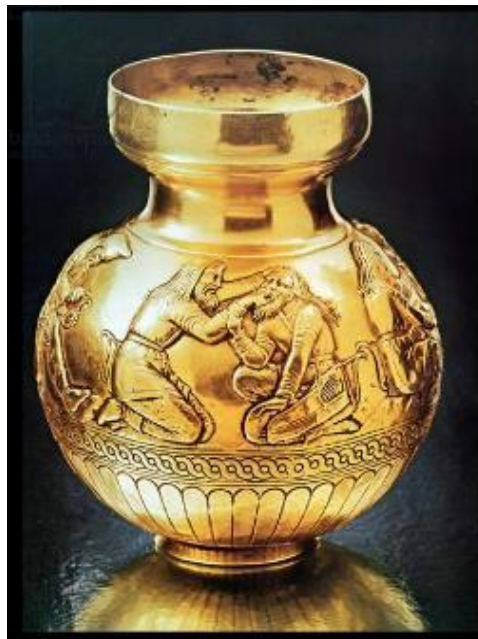
Περίπου από το 1600 π.Χ. έως το 687 π.Χ., οι Φοίνικες πραγματοποιούσαν την τοποθέτηση ελεφαντοδοντένιων δοντιών μέσα στη στοματική κοιλότητα, τα οποία συγκρατούσαν μεταξύ τους με χρυσές ταινίες.[1]



Εικόνα 1.1-3 Copy of an Etruscan denture, Europe, 1901-1930.

[Science Museum, London. Attribution 4.0 International (CCBY 4.0)]

Στην περίοδο από το 500 π.Χ. έως το 300 π.Χ., ο Ιπποκράτης και ο Αριστοτέλης αναφέρονται στην οδοντιατρική, περιλαμβάνοντας τη θεραπεία των φθαρμένων δοντιών και της ουλίτιδας, την εξαγωγή δοντιών με λαβίδα, καθώς και τη χρήση συρμάτων για τη σταθεροποίηση χαλαρών δοντιών και γνάθων που έχουν υποστεί κατάγματα.[2]



Εικόνα 1.1-4 Σκυθικό βάζο από κεχριμπάρι, μουσείο Ερμιτάζ.

[Photograph © The State Hermitage Museum. Photo by Vladimir Terebenin, Leonard Kheifets, Yuri Molodkovets. Image courtesy of The State Hermitage Museum, St. Petersburg (Collection #KO 11-3)]

Πολύ αργότερα, περίπου το 1500, εμφανίζεται μια προθετική αποκατάσταση που μοιάζει με οδοντοστοιγία και ανακαλύφθηκε στη Ζυρίχη της Ελβετίας.[3]

Το 1746, ο Claude Mouton περιγράφει τη χρήση μιας χρυσής στεφάνης και τον τρόπο τοποθέτησής της μέσα στο ριζικό κανάλι. Επιπλέον, προτείνει την επικάλυψη των χρυσών στεφάνων με λευκό σμάλτο, προκειμένου να επιτευχθεί μια πιο αισθητική εμφάνιση.

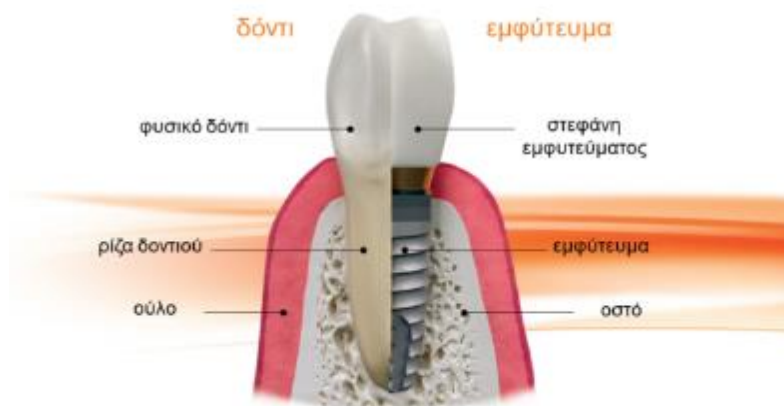
Το 1789, ο Nicolas Dubois de Chemant, Γάλλος εφευρέτης, λαμβάνει την πρώτη ευρεσιτεχνία για τα πορσελάνινα δόντια.



Εικόνα 1.1-5 Nicolas Dubois de Chémant (1753-1824).

[[https://books.google.gr/books/about/A\\_Dissertation\\_on\\_Artificial\\_Teeth.html?id=7b56wQEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.gr/books/about/A_Dissertation_on_Artificial_Teeth.html?id=7b56wQEACAAJ&redir_esc=y)]

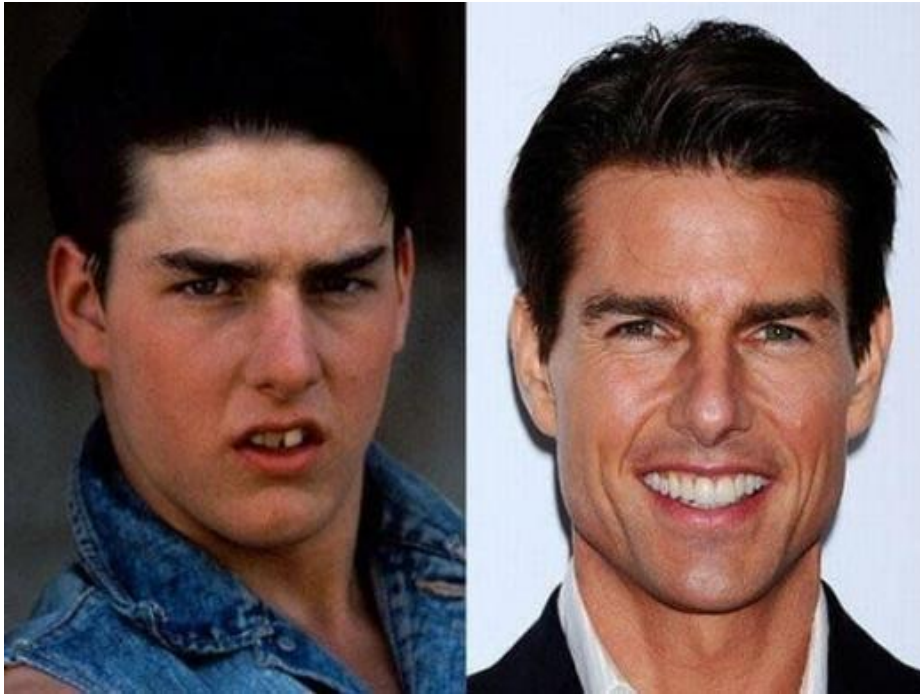
Το 1888, ο οδοντίατρος Land στο Ντιτρόιτ των Ηνωμένων Πολιτειών κατασκεύασε για πρώτη φορά μια ολοκεραμική στεφάνη, η οποία ψήνονταν σε μια μήτρα φτιαγμένη από φύλλο πλατίνας. Αυτή η καινοτομία ονομάστηκε "Jacket Crown".



Εικόνα 1.1-6 Αποκατάσταση σε απώλεια δοντιού με εμφύτευμα και στεφάνη

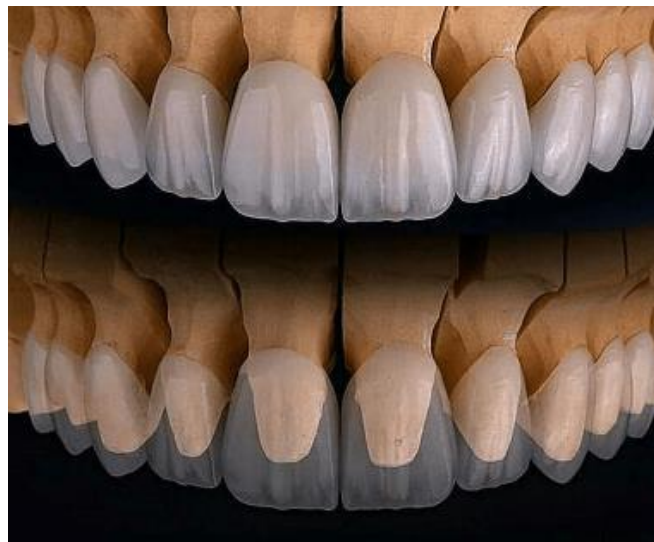
[<https://apdental.gr/patient-education/>]

Μετά τον 19ο αιώνα, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση και πρόοδος στον τομέα των ακίνητων οδοντιατρικών προσθετικών εργασιών. Αυτή η πρόοδος περιλάμβανε την εισαγωγή των ακρυλικών ρητινών στην οδοντιατρική το 1939, τη χρήση πορσελάνης σε μεταλλικούς σκελετούς τη δεκαετία του 1950 και την ανάπτυξη ολοκεραμικών εργασιών.[4]



*Εικόνα 1.1-7 Ο Τομ Κρουζ αριστερά με τα φυσικά του δόντια και έπειτα δεξιά με όψεις πορσελάνης  
[<https://www.towerdental.com.au/blog/20-celebrities-with-veneers-170s92>]*

Τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια, το ζirkόνιο έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται στην κατασκευή ακίνητων οδοντιατρικών προσθετικών εργασιών. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία στην ορθοπεδική για την κατασκευή τεχνητών αρθρώσεων και μέχρι σήμερα δεν έχουν αναφερθεί περιπτώσεις αποτυχίας. Στον τομέα της οδοντιατρικής, το ζirkόνιο αντιπροσωπεύει μια εξέλιξη των ολοκεραμικών εργασιών με τη δυνατότητα επικάλυψής της από πορσελάνη, προσφέροντας άριστα αισθητικά αποτελέσματα. Παράλληλα, με τη βελτίωση των υλικών, έχουν αναβαθμιστεί και βελτιωθεί τα μηχανήματα και τα εργαλεία. Τα παλαιά συστήματα έχουν αντικατασταθεί από υπερέγχρονα συστήματα CAD/CAM, που επιτρέπουν τη δημιουργία εξαιρετικών οδοντικών προθέσεων με μεγάλη ακρίβεια, τόσο λειτουργικά όσο και αισθητικά, που δείχνουν ελάχιστη διαφορά από τα φυσικά δόντια που αντικαθίστανται.[5]



*Εικόνα 1.1-8 Ολοκεραμική γέφυρα με βάση τη ζirkονία  
[<https://mayadent.com.tr/zirconium-crown/>]*



## 1.2 ΤΡΟΠΟΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΜΕ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗ

Η χρήση πορσελάνης για οδοντικές αποκαταστάσεις έχει μια μακρά ιστορία που ξεκινά από τον 18ο αιώνα. Αρχικά, η πορσελάνη χρησιμοποιούνταν κυρίως για την κατασκευή οδοντοστοιχιών και οδοντικών γεφυρών, με τον Alexis Duchateau να θεωρείται ένας από τους πρωτοπόρους σε αυτόν τον τομέα. Γενικά, οι κεραμικές αποκαταστάσεις μπορούν να είναι μεταλλοκεραμικές, όπου υπάρχει ένας μεταλλικός σκελετός επικαλυμμένος με πορσελάνη, ή ολοκεραμικές, όπου ολόκληρη η αποκατάσταση είναι κεραμική.[6]



Εικόνα 1.2-1 Γέφυρα με επικάλυψη πορσελάνης

[ <https://tsipirasdentalclinic.gr/dental-services/prosthetiki-odontiatriki/> ]

## 1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ

### I. Τα πλεονεκτήματα

Η πορσελάνη έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- 1) Βιοσυμβατότητα: Είναι ένα από τα καλύτερα υλικά που χρησιμοποιούνται στην ακίνητη προσθετική, καθώς είναι απόλυτα ανεκτή από τους οδοντικούς ιστούς.
- 2) Αισθητική απόδοση: Προσφέρει εξαιρετική αισθητική απόδοση, καθώς μπορεί να αντιγράψει με ακρίβεια την απόχρωση των φυσικών δοντιών.
- 3) Θερμική μόνωση: Λειτουργεί ως μονωτικό υλικό, καθώς είναι δυσθερμαγωγό, προστατεύοντας έτσι το δόντι από θερμικά ερεθίσματα.
- 4) Διαφάνεια και σταθερότητα στην απόχρωση: Είναι έντονα διαφανής, παρόμοια με την αδαμαντίνη, και διατηρεί την απόχρωσή της σταθερή.
- 5) Υψηλή σκληρότητα: Διαθέτει μεγάλη σκληρότητα, προσφέροντας μεγάλη αντοχή στην αποτριβή.

- 6) Αντοχή στη σύνθλιψη: Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στη σύνθλιψη, δηλαδή τη δυνατότητα να αντέχει στις δυνάμεις που ασκούνται κατά τον τσιμπήματος ή την μάσηση.

## II. Τα μειονεκτήματα

Η πορσελάνη στις οδοντιατρικές αποκαταστάσεις έχει ορισμένα μειονεκτήματα, τα οποία μπορούν να περιλαμβάνουν τα εξής:

- 1) Αντοχή σε κάμψη και εφελκυσμό: Η πορσελάνη εμφανίζει μικρή αντοχή σε απότομες δυνάμεις και μπορεί να είναι εύθραυστη σε αυτές τις περιπτώσεις.
- 2) Συρρίκνωση: Κατά την όπτηση, η πορσελάνη υπόκειται σε σημαντική συρρίκνωση, που μπορεί να οδηγήσει σε μη επαρκή εφαρμογή ή να προκληθεί τάση στρέψης του υλικού.
- 3) Σκληρότητα: Η πορσελάνη είναι πολύ σκληρή, και αυτό μπορεί να προκαλέσει αποτριβή με άλλα οδοντιατρικά υλικά ή να προκαλέσει ενοχλητικό ήχο κροτάλισμα κατά τη μάσηση, ειδικά όταν δεν έχει γίνει εκλεκτικός τροχισμός ή δεν έχουν προσεχθεί οι μασητικές επαφές.

Γενικά, οι κεραμικές αποκαταστάσεις μπορούν να είναι μεταλλοκεραμικές, όπου υπάρχει ένας μεταλλικός σκελετός επικαλυμμένος με πορσελάνη, ή ολοκεραμικές, όπου ολόκληρη η αποκατάσταση είναι κεραμική.[7]



Εικόνα 1.3-1 Η πορσελάνη με το μεταλλικό υπόστρωμα που οξειδώνεται προκαλεί προβλήματα στα ούλα και στους μαλακούς ιστούς καθώς και δυσσομία

[<https://dainamdental.com/advantages-disadvantages-porcelain-teeth/>]

Οι κεραμικές αποκαταστάσεις είναι διαθέσιμες σε δύο κύριες κατηγορίες: ολοκεραμικές και μεταλλοκεραμικές. Οι μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις αποτελούνται από έναν μεταλλικό σκελετό κράματος και καλύπτονται από πορσελάνη. Από την άλλη, οι ολοκεραμικές αποκαταστάσεις αποτελούνται εξ ολοκλήρου από κεραμικά υλικά, χωρίς τη χρήση μετάλλων. Και οι δύο κατηγορίες

είναι δημοφιλείς για τη χρήση τους στην αποκατάσταση προβλημάτων δοντιών και στην αισθητική οδοντιατρική.[8]

## 1.4 Η ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ

Τα συστατικά που χρησιμοποιούνται στην οδοντιατρική πορσελάνη μπορεί να μην διαφέρουν σημαντικά από εκείνα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική πορσελάνη. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις σε ορισμένα συστατικά, καθώς και στην καθαρότητα και τη θερμική κατεργασία κατά την παρασκευή. Ο άστριος (leucite) και ο καολίνης (kaolin) είναι δύο συστατικά που διαφοροποιούνται ανάμεσα στην οδοντιατρική και τη βιομηχανική πορσελάνη. Η οδοντιατρική πορσελάνη συνήθως περιέχει άστριο για να βελτιώνει τη φωτεινότητα και την αισθητική της. Αντίθετα, η βιομηχανική πορσελάνη μπορεί να χρησιμοποιεί διάφορα άλλα μεικτά ή αρθρώματα.

Επιπλέον, η καθαρότητα των πρωτογενών ορυκτών μπορεί να διαφέρει μεταξύ της οδοντιατρικής και της βιομηχανικής πορσελάνης. Στην οδοντιατρική πορσελάνη, η χρήση υψηλής καθαρότητας ορυκτών είναι σημαντική για να εξασφαλιστεί η αισθητική απόδοση και η αντοχή του υλικού. Τέλος, η θερμική κατεργασία κατά την παρασκευή μπορεί επίσης να διαφέρει ανάμεσα στις δύο τύπους πορσελάνης, ανάλογα με την εφαρμογή και την επιθυμητή φυσική εμφάνιση του υλικού.[9]



Εικόνα 1.4-1 Χρωματολόγιο για την τοποθέτηση παρόμοιου χρώματος με τα εναπομείναντα δόντια.  
[<https://www.clintnewmandds.com/blog/2019/08/11/choosing-the-right-color-for-20086>]

Συνολικά, η οδοντιατρική πορσελάνη διαφέρει ελαφρώς από τη βιομηχανική πορσελάνη ως προς τα συστατικά, την καθαρότητα και τη θερμική κατεργασία, για να εξασφαλίζει τις απαιτούμενες αισθητικές και λειτουργικές ιδιότητες για οδοντιατρικές εφαρμογές.

Constituents	% by Mass
Silicon dioxide (SiO <sub>2</sub> )	66.57
Aluminium Oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	21.60
Iron Oxide(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.41
Calcium Oxide(CaO)	2.41
Sodium Oxide (Na <sub>2</sub> O)	1.41
Potassium Oxide(K <sub>2</sub> O)	2.79
Zirconium Oxide (ZrO <sub>2</sub> )	1.49

Εικόνα 1.4-2 Τυπική σύσταση οδοντιατρικής πορσελάνης.  
[[https://www.researchgate.net/publication/319007553\\_Effect\\_of\\_Salt\\_Water\\_on\\_the\\_Compressive\\_Strength\\_of\\_Ceramic\\_Powder\\_Concrete](https://www.researchgate.net/publication/319007553_Effect_of_Salt_Water_on_the_Compressive_Strength_of_Ceramic_Powder_Concrete)]



Εικόνα 1.4-3 Πορσελάνη σε μορφή σκόνης για χρήση από οδοντοτεχνίτη της εταιρίας Ivoclar.  
[[https://www.ivoclar.com/en\\_li/products/metal-ceramics/ips-inline](https://www.ivoclar.com/en_li/products/metal-ceramics/ips-inline)]

## 1.5 ΤΑ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΕΤΑΛΛΟΚΕΡΑΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΛΛΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Για να επιτευχθεί επιτυχημένα ο συνδυασμός του οδοντιατρικού κράματος και της οδοντιατρικής πορσελάνης σε μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις, απαιτούνται ορισμένες απαραίτητες ιδιότητες που τα οδοντιατρικά κράματα πρέπει να έχουν, προκειμένου να ανταποκρίνονται στις καθημερινές καταπονήσεις όπως π.χ. της μάσησης.

Οι ιδιότητες που θα πρέπει να έχουν τα οδοντιατρικά κράματα που χρησιμοποιούνται στη μεταλλοκεραμική περιλαμβάνουν:

- 1) Μηχανική αντοχή: Το κράμα πρέπει να έχει επαρκή μηχανική αντοχή για να αντέχει τις δυνάμεις που ασκούνται κατά τη διάρκεια της μάσησης και του δάγκωμα. Αυτό εξασφαλίζει την αντοχή και μακροζωία της μεταλλοκεραμικής αποκατάστασης.
- 2) Ακρίβεια εφαρμογής: Το κράμα πρέπει να είναι εύκαμπτο και να εφαρμόζεται ακριβώς πάνω στο μονωμένο δόντι, χωρίς κενά ή αστοχίες. Αυτό διασφαλίζει την καλή προσαρμογή και τη στεγανότητα της αποκατάστασης.
- 3) Αντοχή στη διάβρωση: Το κράμα πρέπει να είναι ανθεκτικό στη διάβρωση που μπορεί να προκαλέσουν οξέα και οδοντικά ερεθίσματα.
- 4) Αισθητική: Το κράμα πρέπει να έχει κατάλληλη χρωματική αρμονία με την πορσελάνη που το καλύπτει, προσφέροντας μια φυσική και αισθητικά ευχάριστη εμφάνιση.
- 5) Βιοσυμβατότητα: Το κράμα πρέπει να είναι βιοσυμβατό, δηλαδή να μην προκαλεί αλλεργικές αντιδράσεις ή απόρριψη από τον οργανισμό.

Αυτές οι ιδιότητες εξασφαλίζουν την επιτυχημένη λειτουργία και διάρκεια ζωής των μεταλλοκεραμικών αποκαταστάσεων.[10]

Στο παρελθόν χρησιμοποιήθηκαν διάφορα κράματα στην μεταλλοκεραμική, κάποια από τα πιο παλιά είναι τα κράματα χρυσού, πλατίνας και παλλαδίου. Σήμερα διότι αυτά τα υλικά είναι αρκετά ακριβά ως προς το κόστος έχει περιοριστεί η χρήση τους. Στο παρόν υπάρχουν κατά κύριο λόγο τα κράματα Νικελίου-Χρωμίου(Ni-Cr) και Κοβαλτίου-Χρωμίου (Co-Cr).Για να κατασκευαστούν τα μεταλλικά υποστρώματα εφαρμόζοταν εδώ και αρκετά χρόνια η τεχνική της χύτευσης(η μορφοποίηση ενός αντικειμένου μέσα σε ένα καλούπι). Στη σύγχρονη εποχή αναπτύχθηκαν νέες τεχνολογίες για την κατασκευή του μεταλλικού σκελετού των οδοντικών προσθέσεων που συνδυάζουν τεχνολογία από τα πεδία της οπτικής, του ψηφιακού σχεδιασμού, της CNC ρομποτικής και της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Τέτοιες τεχνικές είναι τεχνικές αφαιρετικής κοπής(Milling), η κοπή ευκατέργαστου μετάλλου Sintron (Soft Milling) και η πυροσυσσωμάτωση σκόνης κράματος (Sintering) με λέιζερ (SLS και DMLS).Τα πλεονεκτήματα αυτών των νέων τεχνολογιών φαίνεται να κυριεύουν με γοργούς ρυθμούς την τεχνική της χύτευσης στην κατασκευή μεταλλικών σκελετών στην οδοντική προσθετική.[10,11]





Εικόνα 1.5-1 Κράματα σε σχήμα δοντιού

[<https://oralinnovation.gr/metalla/>]

### Τεχνική χύτευσης

Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν ήδη αναπτύξει σημαντικά την τεχνική της χύτευσης. Στο Αρχαιολογικό Μουσείο Αθηνών μπορεί κανείς να δει χυτά που έχουν παραχθεί με αυτή την τεχνική, όπου παρατηρούνται οι αγωγοί χύτευσης και απαέρωσης να έχουν τοποθετηθεί ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιούνται και σήμερα. Παρόλο που η τεχνική αυτή είχε ξεχαστεί για πολλούς αιώνες, επαναφέρθηκε το 1907 από τον William Taggart με την ονομασία "τεχνική του χαμένου κεριού" (lost wax technique). Η τεχνική αυτή περιγράφει τη δημιουργία ενός χυτού μέσω της έγχυσης μετάλλου σε ένα πυράντοχο καλούπι που δημιουργείται μετά την εξάχνωση ενός κέρινου προτύπου. Αυτή η διαδικασία αποτελεί ένα σημαντικό βήμα στην κατασκευή συγκεκριμένων αντικειμένων από μέταλλο, όπως π.χ. κοσμήματα ή γλυπτά.[12]



Εικόνα 1.5-2 Τεχνική χύτευσης με θέρμανση μέσω φλόγας

[<https://www.treedental.com/dental-lab-supplies/dental-laboratory-equipment/dental-laboratory-casting-equipment.html>]

### Τεχνική τρισδιάστατης κοπής (CAD/CAM)

(CAD= Computer – Aided Design = Σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή)

(CAM= Computer - Aided Manufacturing = Κατασκευή με τη βοήθεια υπολογιστή)

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ – ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Η τεχνική του CAD/CAM αφορά τη χρήση υπολογιστών για τη σχεδίαση και κατασκευή αντικειμένων. Αρχικά, η εργασία σχεδιάζεται στον υπολογιστή με ειδικό λογισμικό και στη συνέχεια κατασκευάζεται με ειδικές συσκευές όπως μηχανές κοπής, πυροσυσσωμάτωσης και σύντηξης μετάλλων. Η τεχνική αυτή έχει αυξήσει σημαντικά την ακρίβεια και την απόδοση στην κατασκευή αντικειμένων, καθώς και την αποδοτικότητα στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων. Επιπλέον, η χρήση του CAD/CAM έχει επιτρέψει στους σχεδιαστές και κατασκευαστές να δημιουργούν πιο περίπλοκα και λεπτομερή αντικείμενα από ό,τι θα ήταν δυνατόν χωρίς αυτήν την τεχνολογία.[13]



Εικόνα 1.5-3 Μηχανή κοπής CAD/CAM

. [<https://www.rolanddga.com/applications/dental-cad-cam/>]

## 1.6 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΜΑΖΩΝ

Η ταξινόμηση των οδοντιατρικών πορσελανών μπορεί να γίνει βάσει διάφορων κριτηρίων, όπως η θερμοκρασία ωρίμανσης, η σύνθεση ή η εφαρμογή. Ανάλογα με το κριτήριο που χρησιμοποιείται, μπορούν να προκύψουν διάφορες κατηγορίες οδοντιατρικών πορσελανών. Οι συνηθέστερες κατηγορίες:

### 1. Βάσει θερμοκρασίας ωρίμανσης:

- Υψηλής ωρίμανσης (High-Fusing Porcelains): Απαιτούν υψηλή θερμοκρασία ωρίμανσης, συνήθως πάνω από 900°C.
- Μέτριας ωρίμανσης (Medium-Fusing Porcelains): Απαιτούν μέτρια θερμοκρασία ωρίμανσης, περίπου 800°C -900°C.
- Χαμηλής ωρίμανσης (Low-Fusing Porcelains): Απαιτούν χαμηλή θερμοκρασία ωρίμανσης, κάτω από 800°C.

### 2. Βάσει σύνθεσης:

- Πορσελάνες φθοριοσιλικόνης (Fluorosilicate Porcelains): Περιλαμβάνουν πρόσθετα όπως φθοριούχος σιλικόνη για βελτιωμένη αδρανή συμπεριφορά και αισθητική εμφάνιση.
- Πορσελάνες Λιθίου (Lithium Disilicate Porcelains): Περιέχουν Λίθιο και δισιλικό οξείδιο για υψηλή αντοχή και φυσική απεικόνιση.
- Πορσελάνες υβριδικού κεραμικού (Hybrid Ceramic Porcelains): Συνδυάζουν κεραμικά και άλλα υλικά για βελτιωμένη αντοχή και αισθητική.

### 3. Βάσει εφαρμογής:

- Επενδύσεις (Veneers): Λεπτές πορσελάνες που τοποθετούνται στην εμφανιζόμενη πρόσοψη των μπροστινών δοντιών για αισθητικούς λόγους.
- Στεφάνες και γέφυρες (Crowns and Bridges): Χρησιμοποιούνται για να αντικαταστήσουν ολόκληρα δόντια ή ένα μέρος τους, παρέχοντας αντοχή και αισθητική απόδοση.
- Ολοκεραμικές εμφυτεύσεις (All-Ceramic Implants): Χρησιμοποιούνται για την αντικατάσταση απολεσθέντων ή απουσιάζοντων δοντιών με εμφυτεύματα αποκλειστικά από πορσελάνη.

Αυτές είναι μερικές από τις κύριες κατηγορίες οδοντιατρικών πορσελανών, ανάλογα με τα διάφορα κριτήρια ταξινόμησης. Κάθε κατηγορία έχει τις δικές της ιδιότητες και εφαρμογές, ανάλογα με τις ανάγκες του ασθενούς και την περίπτωση προσαρμογής οδοντικής αποκατάστασης.[7]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> – ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ. Η ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ

Στην παρούσα εργασία το θέμα είναι η υλοποίηση του ψηφιακού ελέγχου του φούρνου πορσελάνης. Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η σχεδίαση και τα κατασκευαστικά στοιχεία που συνθέτουν το φούρνο πορσελάνης σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις που έχει η όπτηση της πορσελάνης. Αρκετά από τα υλικά επιλέχθηκαν με κριτήριο την διαθεσιμότητα που υπάρχει στην αγορά και το ελάχιστο κόστος ώστε η κατασκευή να μην μείνει μόνο στο επίπεδο ανάπτυξης αλλά να έχει προοπτικές και για επαγγελματική παραγωγή.

### 2.1 ΟΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ

Η σωστή όπτηση της πορσελάνης είναι το ζήτημα το οποίο πρέπει να ικανοποιεί ο φούρνος.

Με οδηγό μερικά datasheet πορσελάνης ,προκύπτει κάποιος μέσος όρος για τις προδιαγραφές του.[14], [15], [16]

Χρειάζεται να διαθέτει αισθητήρια θερμοκρασίας, κενού, καθώς και μετρητή χρόνου για να υπολογιστούν με ακρίβεια τα παρακάτω:

- Θερμοκρασία Ξήρανσης (preheating time): 100°C -130°C
- Χρόνος Ξήρανσης (dry time): 0-7min
- Ρυθμός ανόδου: 45 min -120 °C/min,έχει τεθεί το όριο 30-150°C/min
- Τελική θερμοκρασία: 800°C -1100°C (ίσως 1200°C)
- Χρόνος παραμονής: 0-1 min για πορσελάνες, στην οξείδωση μπορεί να χρειαστεί 0-10 min για την οξείδωση μετάλλου, από 0-45 min για όπτηση αλουμίνιας.
- Κενό: ξεκινά από 500°C μέχρι την Τελική θερμοκρασία και με χρόνο παραμονής όσο είναι ο χρόνος παραμονής.
- Αποθέρμανση (cooling time):
  - a) Να ανοίξει η πόρτα
  - b) Να ανοίξει σε συγκεκριμένο χρόνο
  - c) Να ανοίξει όταν πέσει η θερμοκρασία σε αυτή που προτείνει ο κατασκευαστής
  - d) Να κατέβει σε μια ορισμένη θερμοκρασία και να παραμείνει κάποιο χρόνο(0-5min) και μετά να κάνει το (a) ή το (b) .

## 2.2 ΕΙΣΟΔΟΙ-ΕΞΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ

### Αναλογικές εισόδους

- Μέτρηση θερμοκρασίας από 0°C -1200°C με ακρίβεια 0,1°C
- Μέτρηση κενού από 0- (-1bar) με ακρίβεια 0,01bar
- Μετρήσεις τάσεων δικτύου ,τάσεων διαρροής και έλεγχος λειτουργίας αντίστασης θέρμανσης

### Ψηφιακές εισόδους

- Θέση πόρτας πάνω ή κάτω
- Πληκτρολόγιο με δυνατότητα μέχρι 35 πλήκτρα

### Ψηφιακές εξόδους

- Έλεγχος αντίστασης (έλεγχος ισχύς)
- Έλεγχος αντλίας κενού
- Έλεγχος ισχύος μοτέρ πόρτας
- Έλεγχος κατεύθυνσης κίνησης πόρτας
- Έλεγχος εισαγωγής αέρα
- Control σήμα γενικής χρήσης
- Μεγάφωνο
- Ενδεικτικό LED κατάστασης
- LCD display (φωτισμός LCD)
- RS232(πρότυπο για σειριακή επικοινωνία δεδομένων)

- Τροφοδοσία συστήματος 2x9V AC, 50Hz

### Υποσυστήματα

- Hardware Watchdog για προστασία από δυσλειτουργία του μικροελεγκτή (Watchdog Timer)
- EEPROM για αποθήκευση δεδομένων
- LM335 για μέτρηση επαφής αναφοράς
- Real Time Clock (μπαταρία και RAM) επίσης για προστασία

## 2.3 Η ΠΛΑΚΕΤΑ CPU

Η πλακέτα CPU είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που περιέχει τον κεντρικό επεξεργαστή (CPU) ενός υπολογιστή ή ενός ενσωματωμένου συστήματος.. Αποτελεί τον κεντρικό πυρήνα ή "εγκέφαλο" του υπολογιστικού συστήματος, από όπου εκτελούνται όλες οι υπολογιστικές διαδικασίες και εργασίες.[17]

Τα σχέδια που υπάρχουν στα επόμενα υποκεφάλαια έχουν υλοποιηθεί με το Autodesk AutoCAD που έχει καθιερωθεί ως ένα από τα πιο ισχυρά εργαλεία στον τομέα της κατασκευαστικής και μηχανολογικής σχεδίασης.

## 2.4 ΤΟ ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΟΣ

Ένα **θερμοζεύγος (thermocouple)** αποτελείται από δύο διαφορετικά μέταλλα που συγκολλούνται μεταξύ τους σε ένα σημεία, δημιουργώντας ένα κλειστό κύκλωμα.

Ένα από τα σημεία σύνδεσης του θερμοζεύγους χρησιμοποιείται ως μετρητής θερμοκρασίας. Αυτό το σημείο έρχεται σε επαφή με το σώμα ή τον χώρο που είναι επιθυμητό να μετρηθεί η θερμοκρασία.

Όταν η θερμοκρασία στη μία επαφή του θερμοζεύγους είναι διαφορετική από την άλλη επαφή, παράγεται μια ηλεκτρική. Το μέγεθος και η φορά αυτής της τάσης εξαρτώνται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο άκρων.[18]

Για να μετρηθεί θερμοκρασία σε τέτοιες περιοχές (900°C -1000°C) είναι αναγκαίος ένας μετατροπέας θερμοκρασίας σε διαφορά δυναμικού ή σε διαφορά ρεύματος ή σε μεταβολή αντίστασης.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι μερικές από αυτές είναι:

- Με **θερμόμετρο υπέρυθρων** μέσω της ανίχνευσης της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το αντικείμενο.
- Με **μεταβολή αντίστασης**. Βασίζεται στην αλλαγή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός αισθητήρα με την αλλαγή της θερμοκρασίας.
- Με **θερμοζεύγος**. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ακρών προκαλεί μια ηλεκτρική τάση, η οποία μετριέται και χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η θερμοκρασία.

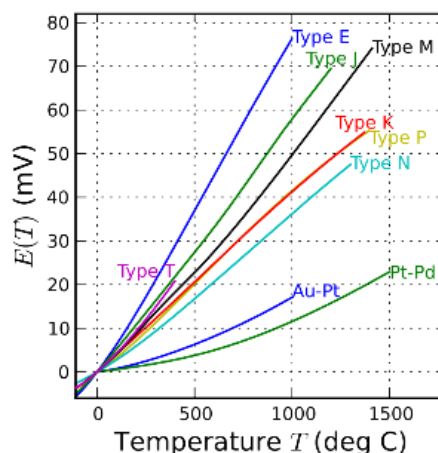
Η μεταβολή αντίστασης δεν προτείνεται για τόσο μεγάλες θερμοκρασίες

Οι υπέρυθρες προϋποθέτουν ένα οπτικό μέσο(φακοί υπέρυθρων) για να λειτουργήσουν και επηρεάζεται από την σκόνη και τον καπνό που υπάρχει στον χώρο εργασίας. Η λύση αυτή είναι πολύ μεγάλου κόστους.[19]

Για την εφαρμογή αυτή το καταλληλότερο είναι το **θερμοζεύγος** (μεταβολή θερμοκρασίας σε μεταβολή τάσης).

Στις δόκιμες που έγιναν παρατηρήθηκε ότι το θερμοζεύγος χωρίς κάλυμμα είναι πολύ πιο ευαίσθητο στις αλλαγές θερμοκρασίας του θαλάμου με αποτέλεσμα την γρήγορη απόκριση σε πραγματικό χρόνο χωρίς να εξαρτάται από κάποια θερμική αντίσταση που θα είχε ένα μεταλλικά καλυμμένο.

Τα θερμοζεύγη για αυτή την περιοχή είναι το Τύπου K και Τύπου S. Το θερμοζεύγος Τύπου S είναι αρκετά ακριβό ως προς το κόστος και έχει το 1/3 της ευαισθησίας του Τύπου K. Το μόνο πλεονέκτημα του Τύπου S έναντι του Τύπου K είναι ότι είναι πιο ανθεκτικό στον χρόνο.[20]



Εικόνα 2.4-1 Χαρακτηριστικές καμπύλες Τάσης-Θερμοκρασίας για θερμοζεύγη τύπου E, J, K, M, N, T

[<https://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>]



Εικόνα 2.4-2 Θερμοζεύγος Τύπου K

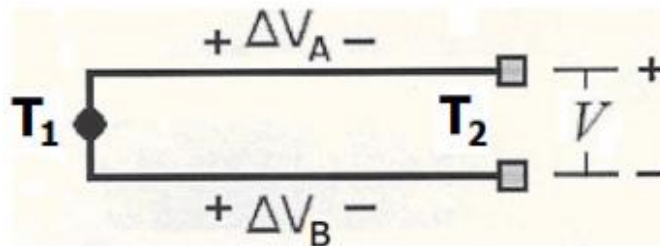
[<https://www.directindustry.com/prod/sterling-sensors/product-118623-2252981.html>]

Το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ή φαινόμενο Seebeck περιγράφει τη δημιουργία θερμοηλεκτρικής τάσης μεταξύ των άκρων ενός αγωγού που βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Αυτή η τάση προκαλείται από τη διαφορά θερμοκρασίας και εξαρτάται από τα υλικά του αγωγού.[21]

$$V = \int_{T_2}^{T_1} S(T) \times dT \equiv \Delta V = S(T) \times \Delta T$$

Εξίσωση 1

Όπου S(T): συντελεστής Seebeck

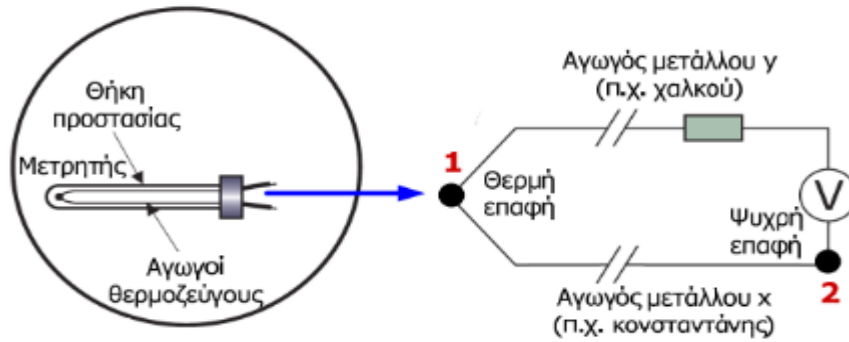


Εικόνα 2.4-3 Η θερμοηλεκτρική τάση

[<https://eclass.uop.gr/modules/document/file.php/2380/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%95%CE%BD%CE%BF%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%205.pdf>]

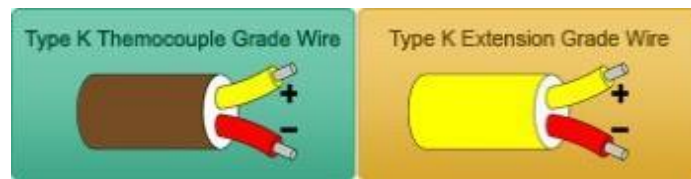
Σύμφωνα με το φαινόμενο Seebeck, εάν το σημείο επαφής των δύο αγωγών τεθεί σε υψηλότερη θερμοκρασία από τα ελεύθερα άκρα των αγωγών, δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων σε κάθε αγωγό. Η θερμοηλεκτρική τάση V που προκύπτει δεν είναι ευθέως ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας T1 – T2. Υπάρχουν συγκεκριμένες, στενές περιοχές θερμοκρασιών όπου μπορεί να θεωρηθεί χωρίς σφάλμα ότι η θερμοηλεκτρική τάση V μεταξύ των επαφών του θερμοζεύγους είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας.[22]





Εικόνα 2.4-4 Τοπική μορφή θερμοζεύγους

[<https://eclass.uop.gr/modules/document/file.php/2380/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%95%CE%BD%CE%BF%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%205.pdf>]



Εικόνα 2.4-5 Ο θετικός και ο αρνητικός πόλος στο θερμοζεύγος τύπου K.  
[<https://www.thermocoupleinfo.com/type-k-thermocouple.htm>]

Τα θερμοζεύγη είναι κατάλληλα για τη μέτρηση θερμοκρασιών πάνω στη γραμμή παραγωγής ή επεξεργασίας γιατί είναι:

- μικρά σε μέγεθος
- οικονομικά
- ακριβή στις μετρήσεις
- αξιόπιστα
- γρήγορα στην απόκριση μεταβολής θερμοκρασίας

Τα μειονεκτήματα της χρήσης θερμοζεύγους είναι

- Μη γραμμική απόκριση
- Φθορά με τον καιρό λόγω διάβρωσης



Εικόνα 2.4-6 Οξειδωμένο θερμοζεύγος

[[https://blog.wika.us/products/temperature-products/green-rot-affects-type-k-thermocouples/?doing\\_wp\\_cron=1690306960.8047170639038085937500](https://blog.wika.us/products/temperature-products/green-rot-affects-type-k-thermocouples/?doing_wp_cron=1690306960.8047170639038085937500)]

Συνήθως ανατρέχει κάποιος σε πίνακες, οι οποίοι αναγράφουν την τάση που αντιστοιχεί σε ποικίλες διαφορές θερμοκρασίας ( $T - T_0$ ).[23]

Ωστόσο, μπορεί (κατά προσέγγιση μόνο) να υπολογισθεί η θερμοηλεκτρική τάση  $V$  χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση, η οποία βασίζεται στην υπόθεση ότι η θερμοηλεκτρική τάση είναι άμεσα ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας:

$$V = C \times (T_1 - T_2)$$

Εξίσωση 2

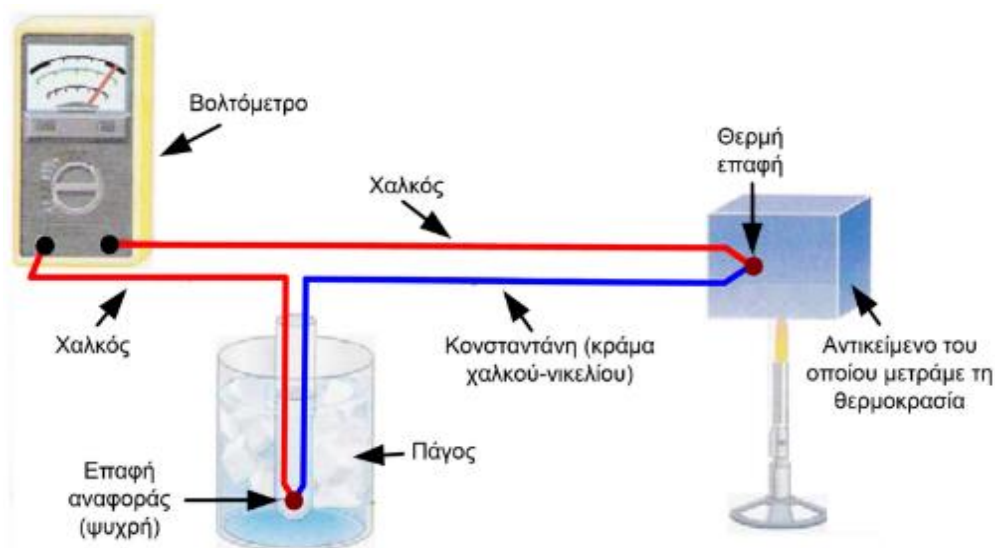
Προκύπτει :

$$V = \Delta T \times C \equiv \Delta T = \frac{V}{C} \equiv T_2 - T_1 = \frac{V}{C}$$

Εξίσωση 3

Όπου  $C$  αντιπροσωπεύει μια σταθερά του θερμοζεύγους, με τιμή στο εύρος των μερικών δεκάδων  $\mu V$  ανά βαθμό Κελσίου. Το  $T_1$  είναι η μετρήσιμη θερμοκρασία (θερμή επαφή) και  $T_2$  η επαφή αναφοράς (ψυχρή επαφή).

Τυπικές τιμές της σταθεράς  $C$  είναι περίπου  $41 \mu V/^\circ C$  για θερμοζεύγος Τύπου K (chromel–alumel , Ni-Cr/Ni-Al) .[24]



Εικόνα 2.4-7 θερμοζεύγος χαλκού και κονσταντάνης ,βολτόμετρο και δοχείο πάγου

[<https://eclass.uop.gr/modules/document/file.php/2380/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%95%CE%BD%CE%BF%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%205.pdf>]

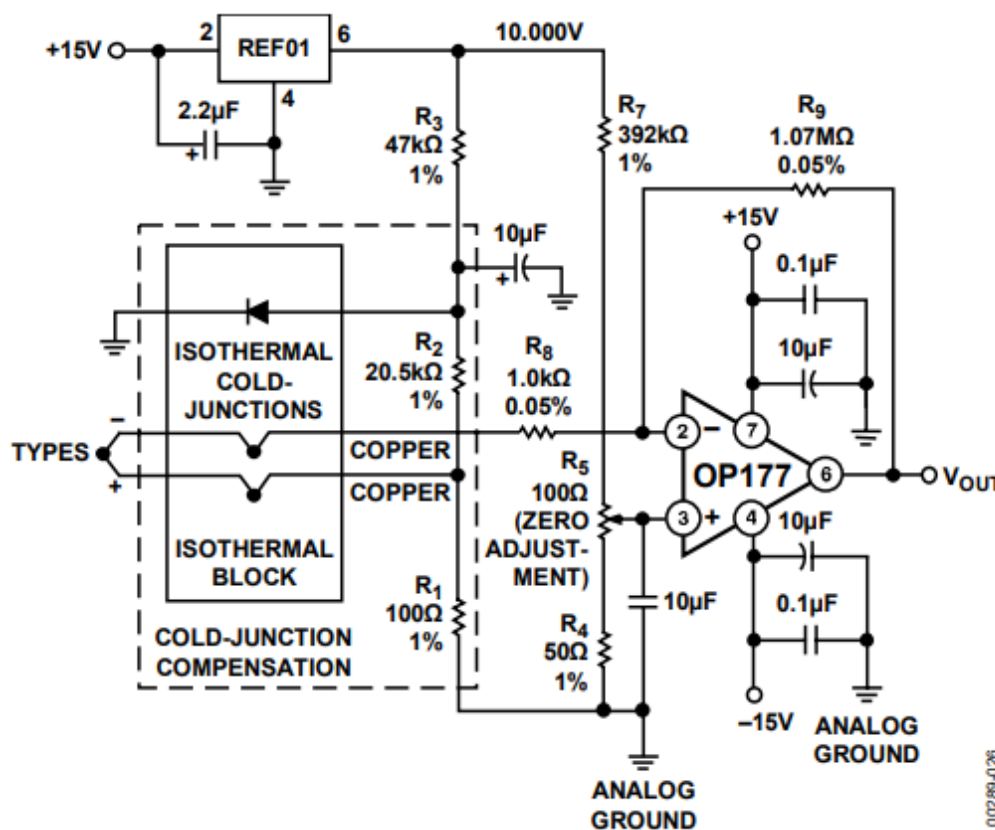
Η λύση του προβλήματος της δημιουργίας νέων δυναμικών επαφής λύνεται με ένα από τους παρακάτω τρόπους [25]:

- 1) Διατηρώντας τη θερμοκρασία στις άλλες επαφές σταθερή (συνήθως στους  $0^\circ C$ ), ώστε να έχει σταθερό σφάλμα. Οι επαφές σε σταθερή γνωστή θερμοκρασία



ονομάζονται επαφές αναφοράς. Η μέθοδος αυτή δεν είναι οικονομικά εφικτή και πρακτική και σε καμία περίπτωση δεν εφαρμόζεται.

- 2) Με λογισμική αντιστάθμιση. Μετράμε την θερμοκρασία στις επαφές αναφοράς με ένα μέσο μέτρησης θερμοκρασίας, υπολογίζεται η τάση E1 στις επαφές αναφοράς μέσω πινάκων, μετριέται η τάση E2 στο θερμοζεύγος και αφού αφαιρεθεί η τάση E2 από την E1, προκύπτει η τάση E3, μέσω της οποίας υπολογίζεται η θερμοκρασία που θεωρείται χρήσιμη.
- 3) Με ηλεκτρονική αντιστάθμιση. Ένας τελεστικός ενισχυτής σε συνδυασμό με ένα μέσο μέτρησης της θερμοκρασίας στις επαφές αναφοράς λειτουργεί ως πηγή τάσης που αντισταθμίζει την τάση των πηγών αναφοράς στη θερμοκρασία 0°C .



Εικόνα 2.4-8 Κύκλωμα ηλεκτρονικής αντιστάθμισης της ψυχρής επαφής

[<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/op177.pdf>]

Επιλέχθηκε η μέθοδος λογισμικής αντιστάθμισης διότι το θερμοζεύγος στην κατασκευή αυτή βρίσκεται σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας, κενού και υψηλής τάσης. Είναι γνωστό ότι θα

περάσει ρεύμα από την γη στο θερμοζεύγος (θερμιοτική εκπομπή) και εφόσον αυτές οι τάσεις θα ενισχυθούν δεν θα είναι μετρήσιμες και θα αλλοιωθεί η μέτρηση.[26]

Η πρώτη μέθοδος με πάγο απορρίπτεται. Η δεύτερη περίπτωση λειτουργεί όταν δεν περνάει ρεύμα από το θερμοζεύγος προς την γη.

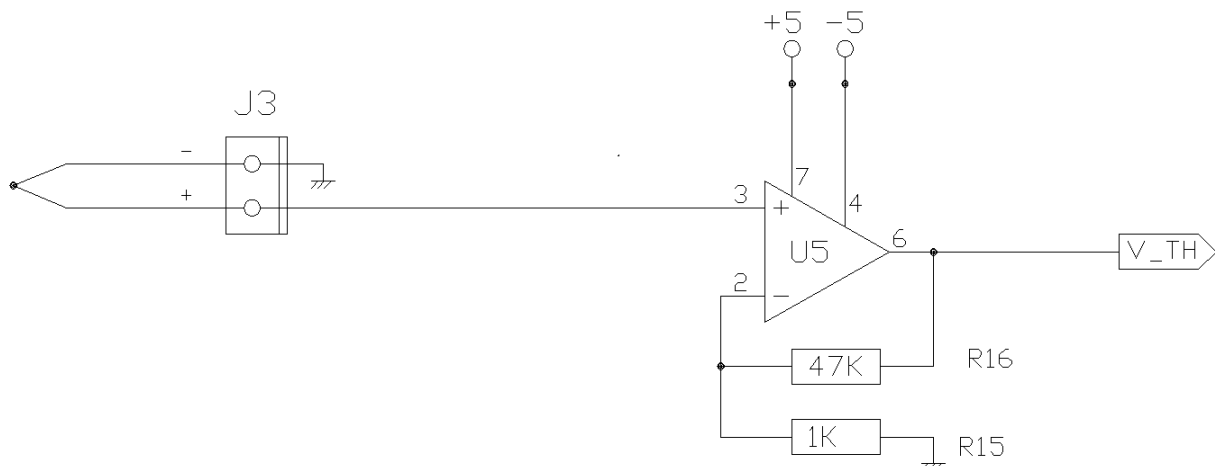
Στην κατασκευή αυτή το ένα άκρο του θερμοζεύγους είναι στη γη οπότε δεν αλλοιώνει την μέτρηση της ενίσχυσης. Στην λογισμική αντιστάθμιση ενισχύεται το  $\Delta T$  αλλά πρέπει να μετρηθεί με κάποιον τρόπο το  $T$  μετρήσιμο ( $T_1$ ).[27]

Οπότε πρέπει να κατασκευαστεί ένας ενισχυτής να μετράει τάση  $V$  ενισχυτή και  $V$  θερμοζεύγους. Η τάση  $40\mu V$  που παράγει το θερμοζεύγος πρέπει να ενισχυθούν τόσο ώστε να γίνει αναγνώσιμη από έναν ADC.

Η θερμοκρασία που μετράμε είναι  $0^\circ C - 1200^\circ C$  Βάση του πίνακα αντιστοιχίας του θερμοζεύγους K στους  $1200^\circ C$  η τάση θερμοζεύγους είναι  $48.838mV$ . Πρέπει αυτά να γίνουν  $2,5V$  ή  $5V$  οι οποίες είναι τάσεις αναφοράς ( $V_{ref}$ ) του μικροελεγκτή. Παρατηρείται πως είναι μια θετική ενίσχυση (απορρίπτεται ο ενισχυτής οργανολογίας) η οποία είναι για  $2,5V$  περίπου 51 φορές κέρδος ενίσχυσης και στην άλλη για  $5V$  είναι περίπου 102 φορές. Ο ενισχυτής που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο παρακάτω.[28]

### Ο ενισχυτής

Το σήμα του θερμοζεύγους, που αντιπροσωπεύει την αλλαγή της τάσης του με την αλλαγή της θερμοκρασίας, μπορεί να είναι αρκετά μικρό για να μετρηθεί απευθείας ή να χρησιμοποιηθεί για ελέγχους και εφαρμογές. Επομένως, χρειάζεται η ενίσχυση του σήματος του θερμοζεύγους. Για την ενίσχυση θερμοζεύγους θα χρησιμοποιηθεί διάταξη μη αναστρέφοντος τελεστικού ενισχυτή με το αρνητικό του θερμοζεύγους συνδεδεμένο στη γη διότι ο AVR μπορεί να επεξεργαστεί μόνο σήματα που πληρούν αυτές τις προϋποθέσεις.[29]

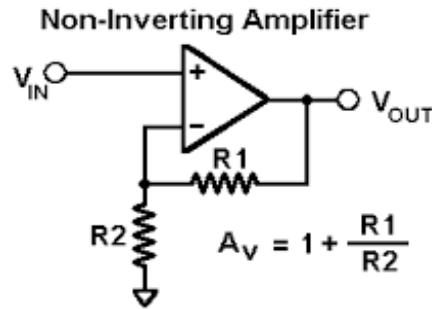


Εικόνα 2.4-9 Αρχικό σχέδιο ενισχυτή θερμοζεύγους

Για να γίνουν  $2,5V$  τα  $48,838mV$ :  
 $2500mV / 48,838mV = 51$  φορές κέρδος ενίσχυσης

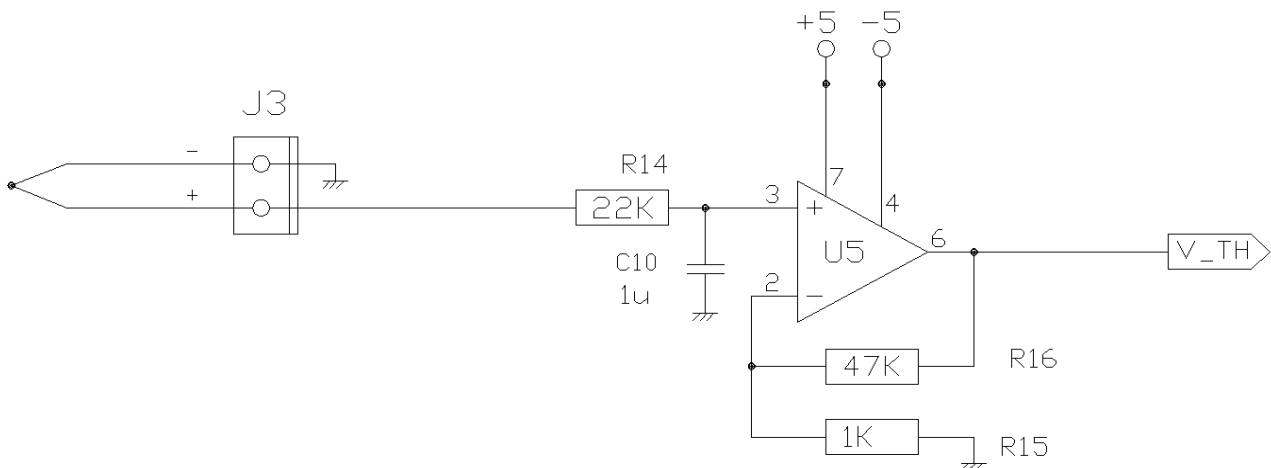
Μέγιστη τιμή από ενίσχυση για  $1200^\circ C$ :  
 $51$  (κέρδος ενίσχυσης) \*  $48.838mV$  (η τάση στους  $1200^\circ C$ ) =  $2490.738mV$

Ενδεικτικά για το κέρδος ενίσχυσης που χρειάστηκε:  
 Η  $R1=47k\Omega$  και η  $R2=1k\Omega$  οπότε προκύπτει βάση υπολογισμού ότι το κέρδος από την ενίσχυση είναι περίπου 51 (εξίσωση υπολογισμού κέρδους μη αναστρέφων ενισχυτή).[29]



Εικόνα 2.4-10 Σχήμα μη αναστρέφων τελεστικού ενισχυτή και η εξίσωση υπολογισμού κέρδους

### Περιορισμός θορύβου 50Hz από το δίκτυο

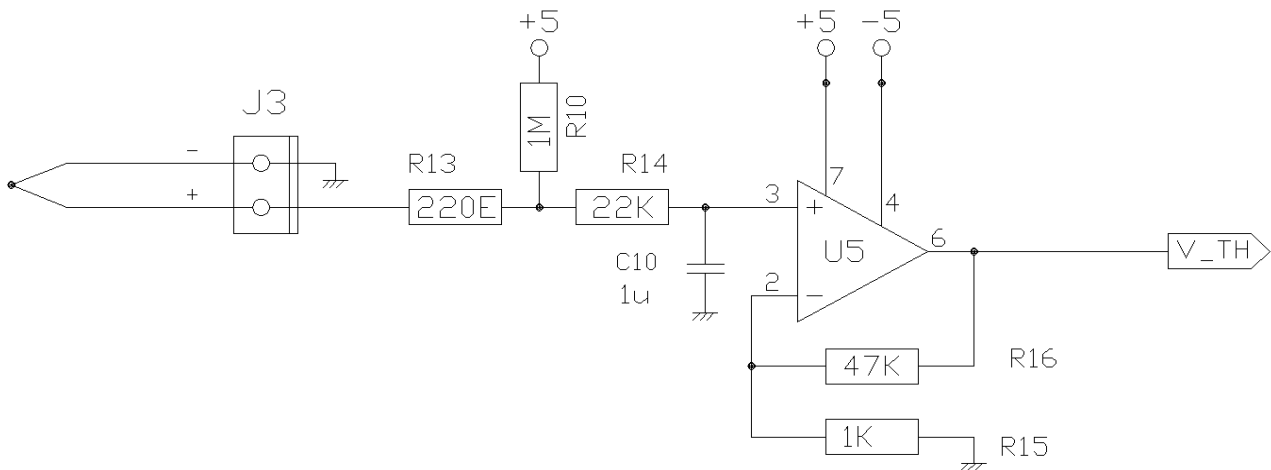


Εικόνα 2.4-11 Χαμηλοπερατό φίλτρο RC

Στο παραπάνω σχήμα προστέθηκε ένα χαμηλοπερατό φίλτρο για τον περιορισμό του θορύβου των 50Hz του δικτύου. Επειδή ο ενισχυτής έχει πολύ μεγάλη εσωτερική αντίσταση το φίλτρο δουλεύει.[30]

### Κύκλωμα ελέγχου κομμένου θερμοζεύγους

Τα θερμοζεύγη δεν είναι ανθεκτικά για πάντα αργά ή γρήγορα το άκρο θα “φαγωθεί” και θα κοπεί η σύζευξη των 2 μετάλλων. Στην περίπτωση που καταστραφεί (κοπεί) το θερμοζεύγος θα πρέπει να εξασφαλιστεί η ανίχνευση αυτής της καταστροφής ώστε να προστατευτούν οι αντιστάσεις του φούρνου από υπερθέρμανση. Γι’ αυτό τον λόγο προστέθηκαν δυο αντιστάσεις ώστε να δημιουργηθεί μια μετρήσιμη τάση η οποία θα ειδοποιεί τον χρήστη ότι κόπηκε το θερμοζεύγος και ταυτόχρονα να αποφευχθούν οι μετρήσεις του μηδενός ή η περίπτωση που ο θάλαμος του φούρνου έχει μικρότερη θερμοκρασία από την θερμοκρασία αναφοράς.[31]



Εικόνα 2.4-12 Αντίσταση Pull-up τάξης 1ΜΩ

Ουσιαστικά έχει σχεδιασθεί έναν διαιρέτη τάσης για να δημιουργηθεί μια τάση. Οπότε ισχύει ο τύπος για τον υπολογισμό της τάσης εξόδου  $V_{out} = V_{in} * R13 / (R10+R13)$

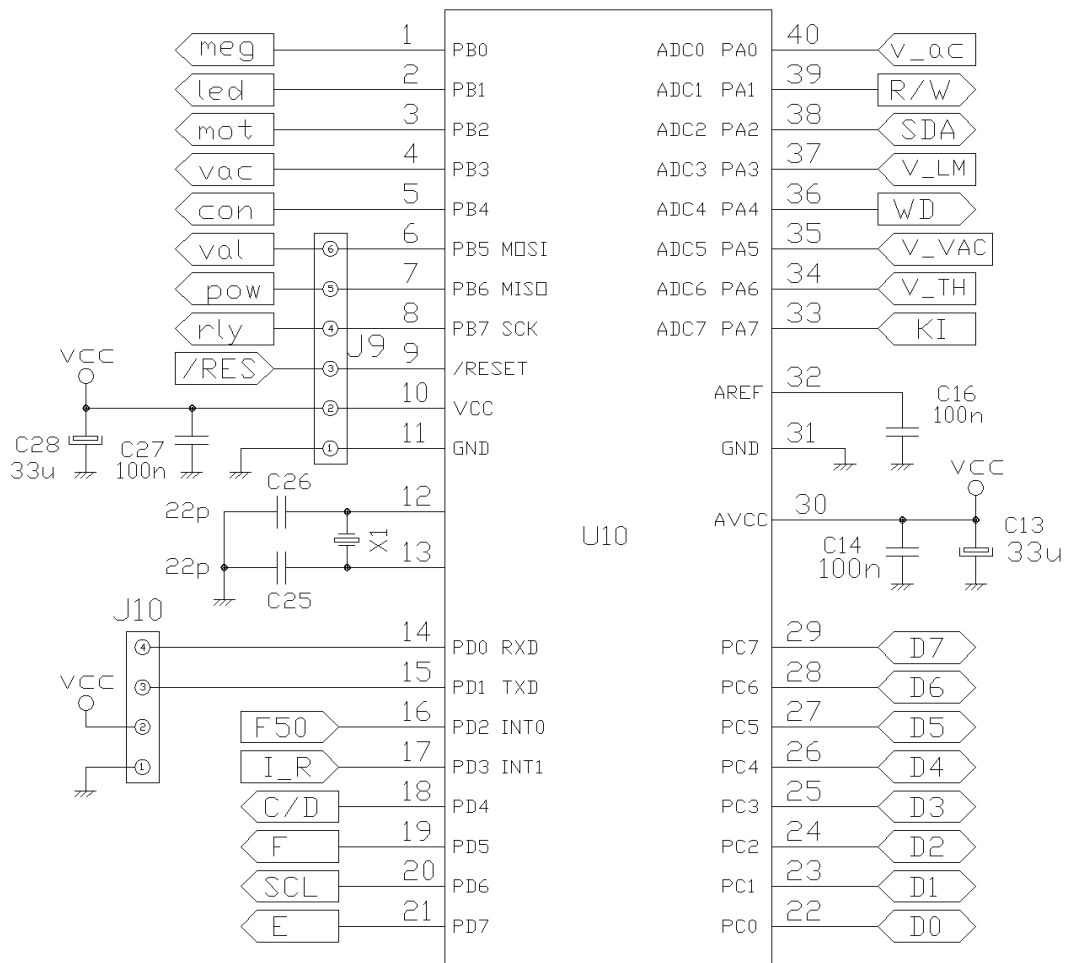
Υπολογίζοντας την  $V_{out} = 5V * 220\Omega / (1M\Omega+220\Omega)$  η οποία προκύπτει 1,0997mV και είναι >0.[32]

## 2.5 Ο ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ

Ο μικροελεγκτής AVR ATmega32 της Microchip Technology (προηγουμένως Atmel) διαθέτει μια αρκετά γρήγορη κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) χρονισμένη στα 16 MHz, παρέχοντας υψηλές επιδόσεις και γρήγορη ανταπόκριση. Έχει 32 KB μνήμης Flash για το πρόγραμμα, 2 KB μνήμης EEPROM για την αποθήκευση μόνιμων δεδομένων και 2 KB μνήμης SRAM για την αποθήκευση προσωρινών δεδομένων. Επιπλέον, διαθέτει αρκετούς ψηφιακούς και αναλογικούς ακροδέκτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία με αισθητήρες, περιφερειακά και άλλες εξωτερικές συσκευές.

Οι διεπαφές που υποστηρίζει (π.χ. UART, SPI, I2C) τον καθιστούν κατάλληλο για επικοινωνία με άλλα συστήματα και αισθητήρες. Επιπλέον, μπορεί να εξυπηρετήσει διακοπές (interrupts) και να υλοποιήσει συνθήκες, λογικούς πίνακες (truth tables) και αλγόριθμους. Αυτές οι δυνατότητες επιτρέπουν στον ATmega32 να εκτελεί αυτοματοποιημένες διαδικασίες και λογικές λειτουργίες, καθιστώντας τον ιδανικό για μια ευρεία γκάμα εφαρμογών στον έλεγχο και την επικοινωνία με άλλες συσκευές.[33]

Επιλέχτηκε από την επόμενη επιλογή που ήταν ο ATmega16 λόγω της 32KB μνήμης Flash έναντι 16KB και 1KB μνήμης EEPROM σε σύγκριση με τα 512B του ATmega16.[34]



Εικόνα 2.5-1 ATmega32 - 8-Bit AVR Microcontroller.

[<https://components101.com/microcontrollers/atmega32-8-bit-avr-microcontroller/>]

## 2.6 ANALOG TO DIGITAL CONVERTER

Θα χρησιμοποιηθεί ο ήδη ενσωματωμένος αναλογικός-ψηφιακός μετατροπέας (ADC) που υπάρχει στον μικροεπεξεργαστή ATmega32 για τάση αναφοράς  $V_{ref} = 5V$ , οπότε η διακριτική ικανότητα του ADC (10 bit) είναι 0-1024 διαφορετικά bits. Η διακριτική ικανότητα ανά bit είναι:  $V_{ref} / 1024$ , δηλαδή  $5V = 5000mV / 1024 = 4,88mV$ . Η ακρίβεια μέτρησης βάσει της παραπάνω σχέσης είναι  $1200^{\circ}C / 1024 = 1,17^{\circ}C$  η οποία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την περίπτωση του φούρνου αυτού. Είναι απαραίτητη ανάλυση τουλάχιστον  $0,1^{\circ}C$  οπότε για να αυξηθεί η διακριτική ικανότητα πρέπει να γίνει μεγαλύτερη δειγματοληψία προσθέτοντας έναν γνωστό θόρυβο. Για να αυξηθεί η διακριτική ικανότητα πρέπει να γίνει μεγαλύτερη δειγματοληψία προσθέτοντας έναν γνωστό θόρυβο.[35]

Το πλάτος του LSB (Least Significant Bit) σε έναν ADC (αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα) υπολογίζεται βάσει της ανάλυσης του ADC και της τάσης αναφοράς ( $V_{ref}$ ). Ο τύπος για τον υπολογισμό είναι:  $LSb = V_{ref} / 2^{\text{ανάλυση}}$ . Για τον ATmega32 με ανάλυση 10-bit και τάση αναφοράς 5V:  $LSb = 5V / 1024 = 5000mV / 1024 \approx 4.88mV$ . Άρα το πλάτος του LSB είναι περίπου 4.88mV. Κάθε bit σε έναν ADC αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο επίπεδο τάσης που είναι πολλαπλάσιο αυτού του πλάτους. Συγκεκριμένα: το 2ο bit αντιπροσωπεύει  $2 * 4.88mV = 9.77mV$ , κ.ο.κ. και το 10ο bit  $512 * 4.88mV = 2500mV$ . [35]



## Θερμοκρασία Αναφοράς με τη χρήση LM335

Από την θερμοκρασία αναφοράς μπορεί να βρεθεί η αντιστοιχία σε τάση αναφοράς(mV). Από την τάση που μετριέται στο άκρο του θερμοζεύγους ( $V_{TH}$ ) και την βοήθεια του πίνακα σχέσης τάσης-θερμοκρασίας για το θερμοζεύγος τύπου K στο παράρτημα (Εικόνα 3-1, Εικόνα 3-2, Εικόνα 3-3) βρίσκεται η συνάρτηση ανάμεσα στην θερμοκρασία και την τάση εξόδου του θερμοζεύγους  $T$  ( $V_{TH}$ ) και συνεπώς την θερμοκρασία που μετρά το θερμοζεύγος στο άκρο TH.[38]



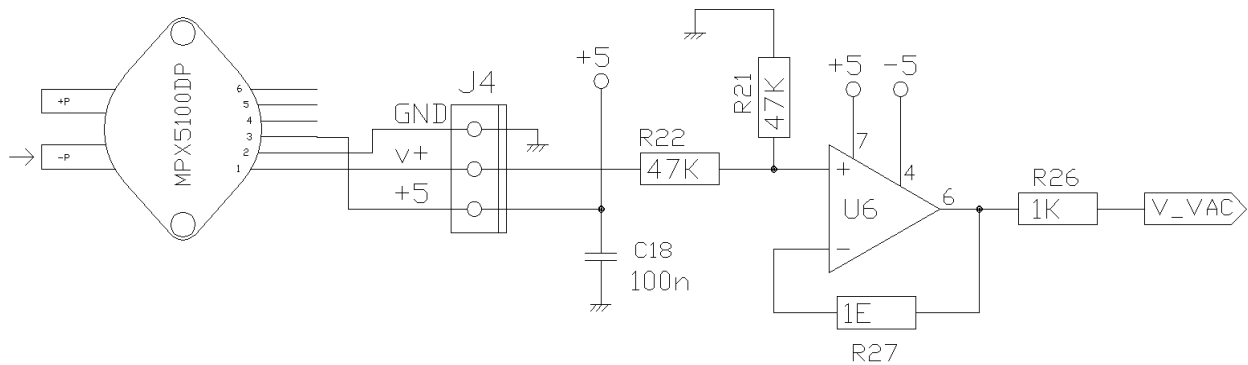
Εικόνα 2.6-3 Δημιουργία θερμοκρασίας αναφοράς θερμοζεύγους με μέτρηση της θερμοκρασίας ψυχρής επαφής με χρήση LM335

## 2.7 ΚΕΝΟΜΕΤΡΟ

Συχνά, για τη μέτρηση της πίεσης δεν απαιτεί να μετρηθεί η απόλυτη πίεση, αλλά η διαφορά πίεσης μεταξύ δύο σημείων. Για παράδειγμα, για να μετρηθεί η διαφορά πίεσης ανάμεσα στον εσωτερικό χώρο ενός δοχείου και τον εξωτερικό αέρα. Ο διαφορικός ενισχυτής επιτρέπει την ακριβή μέτρηση αυτής της διαφοράς και μπορεί να παράγει υψηλή ακρίβεια στην μέτρηση, καθώς ενισχύει την διαφορά τάσης μεταξύ των δύο σημείων μέτρησης χωρίς να επηρεάζεται από τυχόν συνθήκες αποκλίσεις στην τάση παροχής ή στο περιβάλλον. Με τη χρήση του διαφορικού ενισχυτή δίνεται η δυνατότητα να ανιχνευθεί και να μετρηθεί η πολύ μικρή μεταβολή στην αντίσταση ενός αισθητήρα πιεζοαντίστασης και να μετατραπεί σε ένα επιθυμητό δευτερογενές σήμα τάσης για μέτρηση και επεξεργασία.[39]

Το MPX5100DP πρόκειται για έναν αισθητήρα πίεσης που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της πίεσης του αέρα και έχει ενσωματωμένο διαφορικό ενισχυτή. Μετράει και πίεση 0-100 kPa. Επειδή παράγει τάση εξόδου 0.2 - 4.7 V δεν θα χρειαστεί ενίσχυση. Λειτουργεί με την αρχή της μέτρησης της πίεσης μέσω της αλλαγής της αντίστασης. Δηλαδή, όταν η πίεση του αέρα αλλάζει, η αντίσταση του αισθητήρα επίσης αλλάζει. Το MPX5100DP έχει μια ενσωματωμένη αναλογική έξοδο που παράγει ένα αναλογικό σήμα τάσης το οποίο είναι ανάλογο με την πίεση που μετρά. Αυτό το είδος αισθητήρα χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές όπου απαιτείται μέτρηση πίεσης, όπως στις μετρήσεις αέρα σε αυτοκίνητα, συστήματα κλιματισμού, συστήματα παρακολούθησης ασθενών και άλλα. Η εύρυθμη και αξιόπιστη λειτουργία του καθιστά κατάλληλο για πολλές βιομηχανικές και εφαρμογές μέτρησης πίεσης.[40]

Τέλος επειδή οι αισθητήρες πίεσης είναι ευαίσθητοι σε ηλεκτρομαγνητικούς θορύβους και παρεμβολές, ένας απλός τελεστικός ενισχυτής εξισορροπεί αυτούς τους θορύβους επεξεργαζόμενος μόνο τη διαφορά τάσης ανάμεσα στα δύο σημεία μέτρησης, αγνοώντας κοινούς ηλεκτρομαγνητικούς θορύβους που επηρεάζουν και τα δύο σήματα.[41]



Εικόνα 2.7-1 Ηλεκτρονικό κύκλωμα βαθμίδας ελέγχου-μέτρησης κενού για MPX5100DP [υλοποιήθηκε από τον ίδιο στο AutoCAD]

Για να διασφαλιστεί ότι ο θόρυβος που θα αλλοιώσει την μέτρηση αυτή θα είναι ο ελάχιστος δυνατός προστέθηκε ένας διαιρέτης τάσης με ίδιες αντιστάσεις στα 47kΩ.[39]

Υπολογίζοντας την τάση στην είσοδο του ενισχυτή απομόνωσης (buffer).

$$V_{out} = V_{in} * R21 / (R21 + R22)$$

$$V_{out} = V_{in} * 47k\Omega / (47k\Omega + 47k\Omega)$$

$$V_{out} = 0.5 * V_{in}$$

$$V_{out} = V\_VAC$$

Το κέρδος που έχει ο ενισχυτής απομόνωσης είναι :

$$G = V_{out} / V_{in}$$

$$G = 0.5$$

Η πίεση που μπορεί το αισθητήριο να μετρήσει είναι από 0 έως 100 kPa. Σύμφωνα με το datasheet του για πίεση 0 kPa παράγεται τάση 200mV (Minimum pressure offset) ενώ για την μέγιστη 100 kPa η τάση είναι 4700mV (Full-scale output, differential and absolute).[40]

Έπειτα υπολογίζεται στην έξοδο του ενισχυτή η τάση για 0 και 100 kPa.

Για 0 kPa ισχύει:

$$V_{out0} = V_{in0} * G$$

$$V_{out0} = 200mV * 0.5$$

$$V_{out0} = 100 mV$$

Για 100 kPa ισχύει:

$$V_{out100} = V_{in100} * G$$

$$V_{out100} = 4700mV * 0.5$$

$$V_{out100} = 2350mV$$

Για την διακριτική ικανότητα ADC :

Η τάση αναφοράς που χρησιμοποιείται είναι 2,56V=2560mV

10bit ADC μεταφράζεται σε 1024 τιμές (0...1023)



$$2560\text{mV}/1024=2.5$$

Για  $V_{\text{out}0}$ :

$$100/2.5=40$$

Αντίστοιχα για  $V_{\text{out}100}$ :

$$2350/2.5=940$$

Μέσω της διαφοράς αυτών των 2 μετρήσεων προκύπτει  $940-40 = 900$  μονάδες διακριτικής ικανότητας.

Η μέγιστη πίεση που μετριέται ιδανικά από το αισθητήριο είναι 1 bar (100kPa) οπότε η διακριτική ικανότητα που προκύπτει είναι  $100/900 = 0.111$  το οποίο είναι αρκετά μικρότερο από το 1 συνεπώς υπάρχει βήμα στην ακρίβεια που γίνεται η μέτρηση πάρα πολύ ικανοποιητική.

Η R26 είναι για προστασία και περιορισμό της έντασης του ρεύματος σε περίπτωση που περάσει αρνητικό ρεύμα στον μικροελεγκτή από τον τελεστικό ενισχυτή. Έτσι διασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξει πιθανή ζημιά στις εισόδους του μικροελεγκτή. C18 είναι πυκνωτής απόζευξης τροφοδοσίας του αισθητήριου.[42]



Εικόνα 2.7-2 MPX5100DP

[<https://gr.rsdelivers.com/product/nxp/mpx5100dp/nxp-differential-pressure-sensor/9227330>]

## 2.8 ΤΟ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟ

Ο AVR μπορεί να δουλέψει από τα 2,7V-5,5V. Οι συνηθισμένες τάσεις λειτουργίας ολοκληρωμένων, περιφερειακών, αισθητήρων είναι τα 3.3V ή 5V. Επιλέχθηκαν τα 5V στον ATmega32 διότι η εξωτερική συσκευή LCD δουλεύει με 5V καθώς και το αισθητήριο μέτρησης κενού.

Επειδή θα χρειαστούν και αναλογικοί ενισχυτές (τελεστικοί) θα πρέπει να παραχθεί και μια σταθεροποιημένη τάση -5V. Θα χρησιμοποιηθεί μια γέφυρα ανόρθωσης(B1), ένας μετασχηματιστής 2x11VAC και πυκνωτές εξομάλυνσης (C22,C21).

Για να παραχθεί 5V σταθεροποιημένη τάση θα χρησιμοποιηθεί το regulator 7805T που έχει μέγιστη τάση εισόδου 20V.

Αν υποθεθεί ότι μπορεί να υπάρξει και κάποια υπέρταση δικτύου +10% η τάση του μετασχηματιστή θα γίνει  $V_{\text{rms}}=11*1,1= 12,1$ . Η  $V_p= V_{\text{rms}}*\sqrt{2} = 17$  το οποίο είναι μικρότερο από την μέγιστη τάση 20V που προβλέπουν οι προδιαγραφές για το 7805. Τα ίδια ισχύουν αντίστοιχα για την αρνητική τροφοδοσία χρησιμοποιώντας το regulator 7905.

Σε περίπτωση υπότασης -10% η τάση του μετασχηματιστή θα γίνει  $V_{rms}=11-1,1= 9,9$ . Η  $V_p=V_{rms}*\sqrt{2} = 14$  το οποίο είναι μεγαλύτερο από την ελάχιστη τάση(7V) που προβλέπουν οι προδιαγραφές για το 7805 και το 7905.

Βάση των προδιαγραφών του regulator προστέθηκε στην έξοδο ένας ηλεκτρολυτικός(C19) και ένας κεραμικός πυκνωτής απόζευξης(C20).

Για να τροφοδοτηθεί και ένα ρελέ χρειάζεται μια τάση 12V η οποία δεν προϋποθέτει απαραίτητα να είναι σταθεροποιημένη (περιέχει κυμάτωση), αυτή την τάση την παίρνει κάποιος από το θετικό άκρο του πυκνωτή C22 .

Για να υπολογιστεί το ρεύμα που καταναλώνουν τα εξαρτήματα της πλακέτας αθροίζονται οι μεγαλύτερες καταναλώσεις.[43]

Το σύνολο που προκύπτει παρακάτω είναι μικρότερο από το όριο του 7805. Η ισχύς  $P=V*I = 14V*200mA= 2,8W$  .Θα χρειαστεί μια μικρή ψήκτρα για να μην αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες στην πλακέτα.

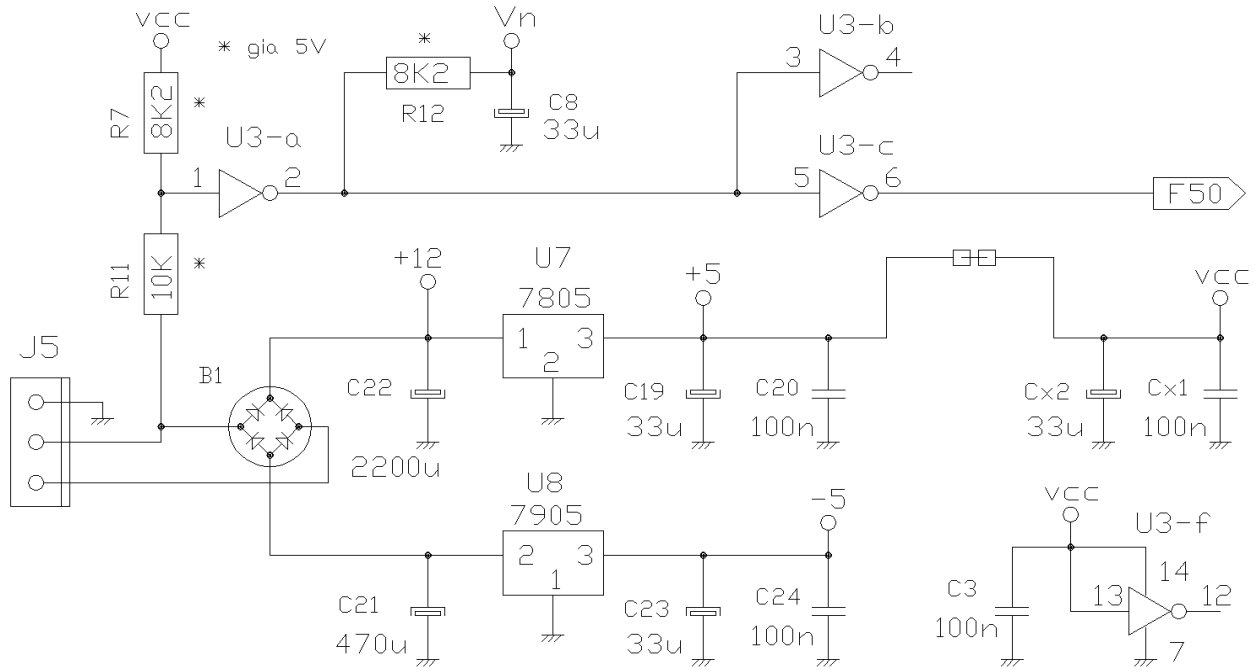
Στις αρνητικές τάσεις το ρεύμα είναι μόνο 4mA οπότε δεν χρειάζεται ψύξη.

Θα χρειαστούν άλλα 120mA για 2 ρελέ που θα ελέγχουν την φορά της πόρτας και το on-off του συστήματος. Το σύνολο ρεύματος που θα χρειαστεί να πληροί ο μετασχηματιστής είναι το άθροισμα όλων των καταναλώσεων που παρατίθενται παρακάτω και η κατανάλωση των ρελέ. Προκύπτει 320mA οπότε ένας μετασχηματιστής με έξοδο 0,5A . 230V είσοδος , 2x11V έξοδος και 0,5A. Στο κύκλωμα που σχεδιάστηκε χρησιμοποιείται το ολοκληρωμένο 74HC14 Hex inverting Schmitt trigger (U3), μια πύλη από τις 6 χρησιμοποιείται για να μετατραπεί το ημιτονικό σήμα που βγαίνει από τον μετασχηματιστή σε τετραγωνικό παλμό 0V και 5V στη συχνότητα του δικτύου. Με τις αντιστάσεις R11 , R7 και με την πύλη που ακολουθεί υλοποιείται ένας συγκριτής διέλευσης από το 0 (Zero Crossing). Αυτό το σήμα χρησιμοποιείται για 2 διαδικασίες. Η μια διαδικασία είναι αφού αντιστραφεί να σταλθεί στο pin INT0 του ATmega32 για χρήση στο software (Zero Crossing Detection). Η δεύτερη είναι για να παραχθεί μια τριγωνική μορφή τάσης ( $V_n$ ) συχνότητας 50Hz πλάτους περίπου 48mV η οποία θα χρησιμοποιηθεί στα αναλογικά κυκλώματα που θα αναφερθούν μετά για να αυξηθεί η διακριτική ικανότητα των αναλογικών μετρήσεων. Η τάση αυτή παράγεται με την χρήση της αντίστασης R12 και του πυκνωτή C8.[40]

Πίνακας 1

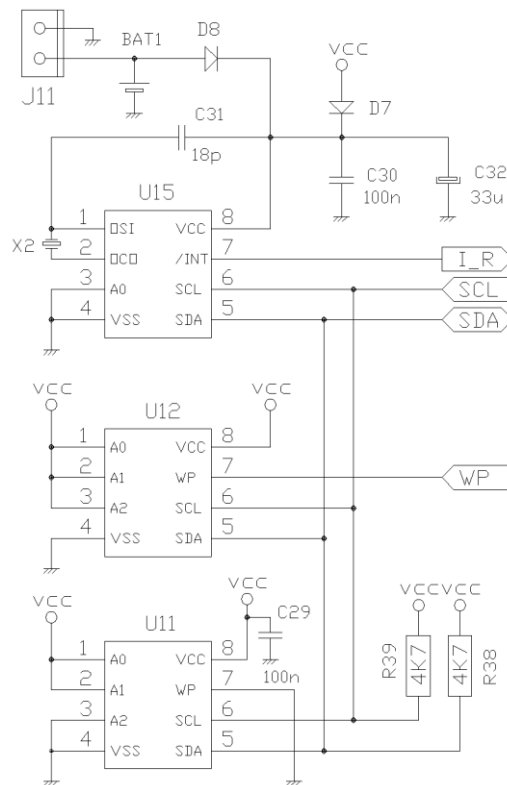
Εξάρτημα	Αριθμός	Κατανάλωση(mA)	Μερ.Συν.
ATMEGA32	1	15	15
LCD	1	2,5	2,5
LCD Backlight	1	50	50
Μεγάφωνο	1	50	50
Τελεστικοί ενισχυ- τές	2	2	4
EEPROM-RTC	3	0,5	1,5
MOC(optocoupler)	4	10	40
LED	1	5	5
MPX5100DP	1	10	10
		ΣΥΝΟΛΟ	178mA

Ψηφιακός έλεγχος λειτουργίας οδοντοτεχνικού φούρνου μέσω μικροελεγκτή



Εικόνα 2.8-1 Τροφοδοτικό πλακέτας CPU

## 2.9 ΟΙ ΜΝΗΜΕΣ



Εικόνα 2.9-1 τα μέσα αποθήκευσης δεδομένων

Ο φούρνος που θα υλοποιηθεί θα πρέπει να διαθέτει μέσα αποθήκευσης δεδομένων που δεν θα σβήνονται πχ προγράμματα ψησίματος πορσελάνης, εργοστασιακές ρυθμίσεις παραμέτρων και καταστάσεις λειτουργίας. Για την αποθήκευση θα χρησιμοποιηθούν 2 ολοκληρωμένα μνήμης Serial EEPROM της σειράς 24Cxx και 1 ολοκληρωμένο Real time Clock και το ολοκληρωμένο PCF8583P που είναι Clock/calendar με 240 x 8-bitSRAM.

Τα παραπάνω ολοκληρωμένα έχουν κοινό πρωτόκολλο επικοινωνίας I2C-BUS. Οι αντιστάσεις R39 και R38 είναι καθορισμένες από το πρωτόκολλο αυτό.[44]

Στην EEPROM (U13) το Write Protect είναι συνδεδεμένο σε HIGH μέσω μιας pull-up R<sub>p</sub> (υπάρχει σε άλλο σχέδιο) και είναι προστατευμένο από εγγραφή του χρήστη.

Στην EEPROM (U11) το Write Protect είναι συνδεδεμένο στη γη και μπορεί να εγγραφεί από τον χρήστη.[45]

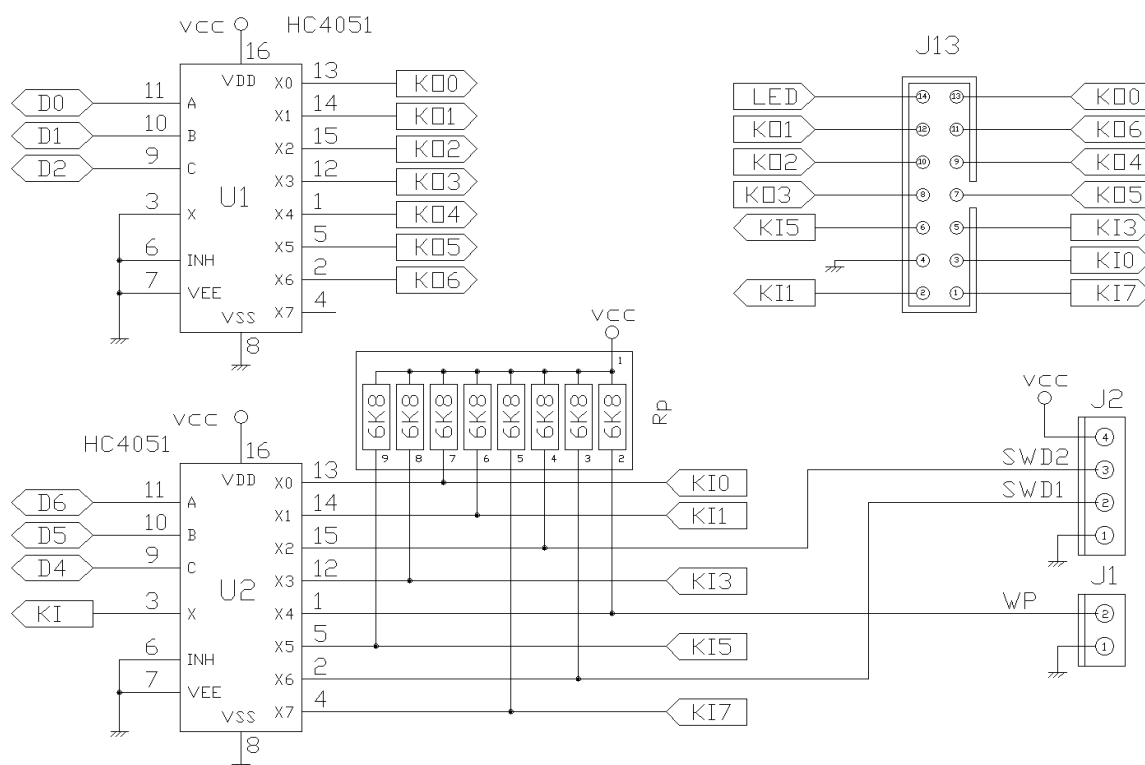
Το σήμα SDA πάει στο PA2 και το σήμα SCL πάει στο PD6 του ATMEGA32.

Το σήμα /INT του ολοκληρωμένου U14 πάει στο INT1 (PD3) του ATMEGA32 .

Στο U14 συνδέεται μεταξύ του 1 και 2 ένας κρύσταλλος 32.768kHz και ένας πυκνωτής (C31) από το 1 στο Vcc. Ο C30 και C32 είναι πυκνωτές απόζευξης για το ολοκληρωμένο .

Η διάδοος D8 είναι για να τροφοδοτείται από την μπαταρία το U14 και η D7 είναι για να τροφοδοτείται το U14 από την τάση συστήματος . Τέλος υπάρχει και ο κονέκτορας (σύνδεσμος καλωδίων) J11 απ' όπου μπορεί να συνδεθεί μια εξωτερική μπαταρία.[46]

## 2.10 ΤΟ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΙΟ



Εικόνα 2.10-1 το κύκλωμα έλεγχου του πληκτρολογίου

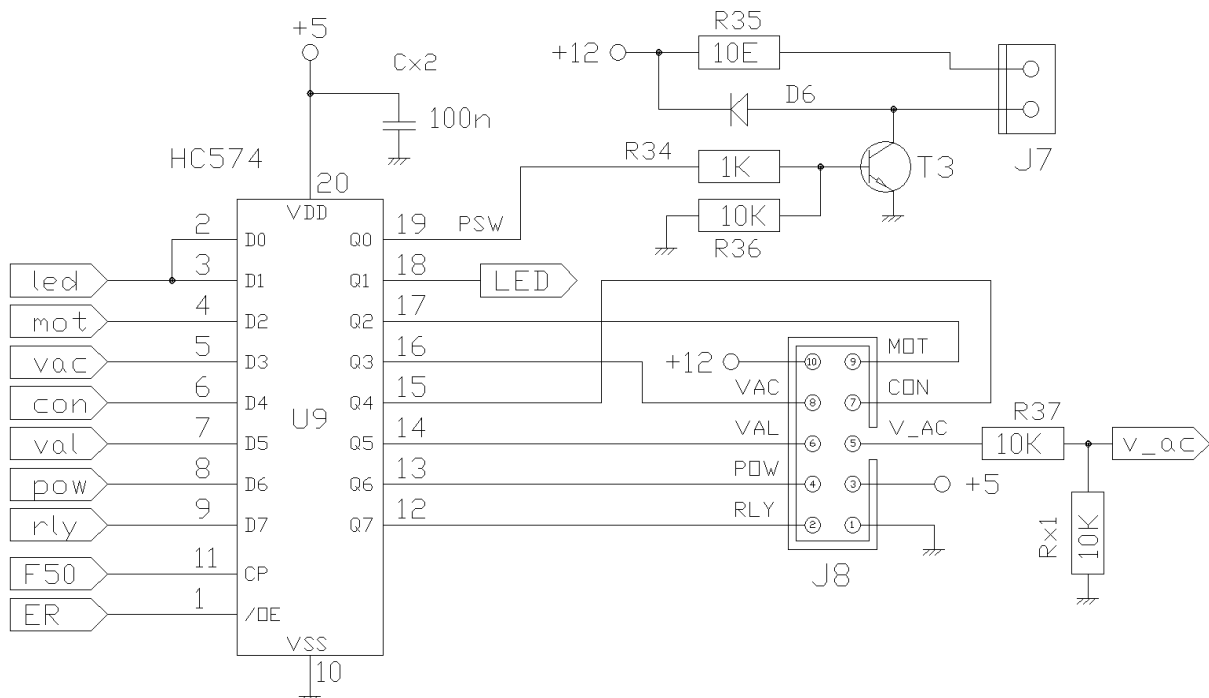
Λόγω του μεγάλου αριθμού πλήκτρων και της έλλειψης επαρκών διαθέσιμων pin στον μικροελεγκτή ATmega32 για απευθείας σύνδεση, θα χρησιμοποιηθεί η λογική της πολυπλεξίας (multiplexing). Θα πρέπει να παραχθούν 8 σήματα εξόδου (scan) και 8 σήματα εισόδου (return).

Τα 8 σήματα εισόδου μετά την πολύπλεξη (multiplexing) θα συνδεθούν σε ένα pin του ATmega32 το οποίο μπορεί να είναι είτε αναλογική είτε ψηφιακή είσοδος.[47]

Θα χρησιμοποιηθεί για λογούς σχεδίασης και χαμηλού κόστους ίδιο ολοκληρωμένο για πολύπλεξη και απόπλεξη(demultiplexing) με σκοπό να παραχθούν οι γραμμές εξόδου(scan) και για τις γραμμές εισόδου(return) το ολοκληρωμένο αυτό είναι το CD74HC4051-EP (Analog Multiplexer and Demultiplexer). Στον πολυπλέκτη εισόδου όλες οι εισοδοι (return)συνδέονται με αντιστάσεις pull-up (6k8Ω)στα 5V οπότε οποιοδήποτε πλήκτρο ή διακόπτης πρέπει να πάει σε κατάσταση LOW (0V). Ποια είσοδος θα διαβαστεί καθορίζεται από ποια λέξη θα βάλει ο προγραμματιστής στο A,B,C (D4,D5,D6) .Η έξοδος KI του πολυπλέκτη U2 συνδέεται με τον ATmega32 στο pin PA7 (ADC7) για να διαβαστούν οι τιμές εισόδου του πολυπλέκτη . Η επιλογή για το ποια είσοδος θα συνδεθεί στον ATMEGA32 γίνεται με την εισαγωγή των κατάλληλων καταστάσεων HIGH ή LOW στα pin D4,D5,D6 .[46]

Για να παραχθούν οι γραμμές εξόδου(scan) θα χρησιμοποιηθεί ένα ίδιο τσιπ που λειτουργεί ως αποπλέκτης (U1). Το pin (X) είναι συνδεδεμένο στην γη και ανάλογα με την κατάσταση των pin D0,D1,D2 θα πάει σε LOW (0V) η αντίστοιχη έξοδος οι υπόλοιπες θα είναι ασύνδετες (Z state).[47]

## 2.11 ΑΠΟΜΟΝΩΤΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΙΣΧΥΟΣ(Buffer)



Εικόνα 2.11-1 κύκλωμα απομόνωσης ισχύος

Τα σήματα χαμηλής τάσης χρειάζονται απομόνωση (buffering) πριν πάνε στην κάρτα ισχύος που λειτουργεί σε υψηλές τάσεις και ρεύματα για τους εξής λόγους:

- 1) **Προστασία του Συστήματος:** Η απομόνωση βοηθά στην προστασία της κάρτας ισχύος από τυχόν βλάβες που μπορεί να προκύψουν. Αν προκύψει κάποιο πρόβλημα στην κάρτα ισχύος, η απομόνωση μπορεί να εμποδίσει τη μετάδοση αυτού του προβλήματος στο υπόλοιπο σύστημα.

- 2) **Προστασία του Σήματος:** Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα σήματα ελέγχου πρέπει να διατηρηθούν σε χαμηλό επίπεδο ρεύματος και τάσης για να μην προκαλέσουν ζημιά στην κάρτα ισχύος.
- 3) **Τάση και Ρεύμα:** Η κάρτα ισχύος λειτουργεί σε υψηλά επίπεδα τάσης και ρεύματος, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στα κυκλώματα που λειτουργούν σε χαμηλά επίπεδα τάσης. Η απομόνωση μεταξύ των δύο μπορεί να προστατεύσει τα χαμηλής τάσης κυκλώματα από υψηλές τάσεις και ρεύματα.
- 4) **Σταθερότητα:** Τα χαμηλής τάσης σήματα μπορεί να είναι ευαίσθητα σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και θόρυβο. Η απομόνωση μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση της σταθερότητας και της ακρίβειας των σημάτων.

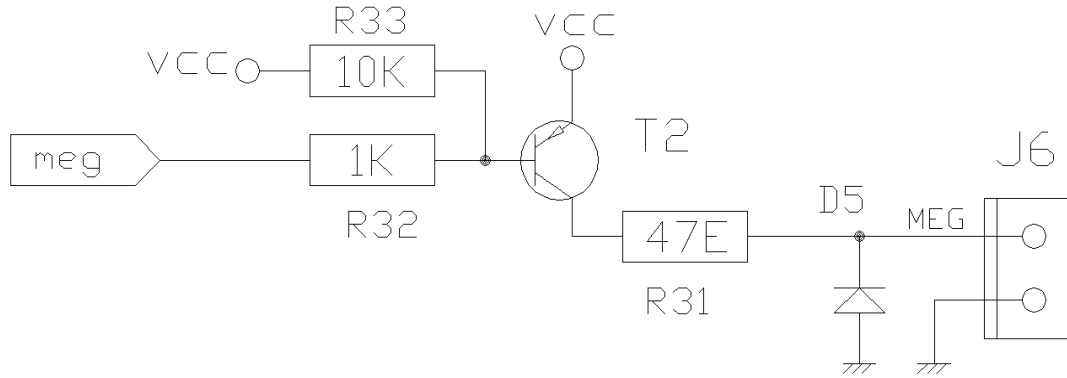
Το ολοκληρωμένο IC HC574 είναι ένα 8-bit FF (Flip-Flop) με ενσωματωμένη λογική ελέγχου. Χρησιμοποιείται για να απομονώσει τα σήματα πριν πάνε στην κάρτα ισχύος και προσφέρει τα εξής πλεονεκτήματα:

- 1) **Απομόνωση:** Το IC HC574 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απομονώσει τα σήματα ελέγχου από την κάρτα ισχύος, διασφαλίζοντας ότι πιθανά προβλήματα στην κάρτα ισχύος δεν θα επηρεάσουν τα υπόλοιπα κυκλώματα.
- 2) **Ελεγχόμενη Μετάδοση:** Ανά πάσα στιγμή, το σύστημα μπορεί να ελέγξει το IC HC574 και να το ρυθμίσει ώστε να διακόπτει τη μετάδοση των σημάτων προς την κάρτα ισχύος αν κριθεί αναγκαίο για λόγους προστασίας του συστήματος.
- 3) **Ασφάλεια:** Η χρήση ενός IC όπως το HC574 μπορεί να ελέγχει το αν επιτρέπει ή όχι την περαιτέρω μετάδοση των σημάτων. Αυτό μπορεί να γίνει, για παράδειγμα, σε περίπτωση κατάστασης εκτάκτου ανάγκης ή προβλήματος στην κάρτα ισχύος (ανεξέλεγκτη λειτουργία αντίστασης και υπερθέρμανση της συσκευής).

Συνολικά, το ολοκληρωμένο HC574 είναι χρήσιμο για την απομόνωση και τον έλεγχο των σημάτων πριν την κάρτα ισχύος, προστατεύοντας το σύστημα και επιτρέποντας την ασφαλή λειτουργία του.[46], [48]

Στο pin /OE έρχεται το σήμα ER (Error) . Στο pin CP έρχεται το σήμα F50 (clock) . Στο pin D5 συνδέεται το σήμα val για έλεγχο της βαλβίδας αέρα. Στο pin D2 συνδέεται το σήμα mot για έλεγχο της κατεύθυνσης του μοτέρ. Στο pin D1 συνδέεται το led που ελέγχει το σήμα του LED του πληκτρολογίου. Στο pin Q0 υπάρχει το σήμα PSW ( πόρτα Switch δηλαδή έλεγχος διακοπών στις ακραίες θέσεις τις πόρτας ).[49]

## 2.12 ΤΟ ΜΕΓΑΦΩΝΟ



Εικόνα 2.12-1 το κύκλωμα ηχητικής ειδοποίησης

Ο φούρνος πορσελάνης για να ειδοποιεί τον χρήστη για τις διάφορες καταστάσεις πρέπει να παρέχει ηχητικά σήματα. Αυτή η λειτουργία υλοποιείται με το παραπάνω κύκλωμα και το κατάλληλο λογισμικό.

Για να επιτευχθεί η υλοποίηση του κυκλώματος που θα εξυπηρετεί την λειτουργία αυτή θα συνδεθεί ένα εξωτερικό μεγάφωνο  $8\Omega$ ,  $0.5W$  στον κονέκτορα J6. Για να παραχθεί το κατάλληλο ρεύμα για το μεγάφωνο πρέπει να χρησιμοποιηθεί το τρανζίστορ T2 το οποίο δουλεύει ως ένας ενισχυτής ρεύματος. Η αντίσταση R31 ορίζει το μέγιστο ρεύμα που θα περάσει από το μεγάφωνο. Η διάοδος D5 προστατεύει το τρανζίστορ από ανάστροφη τάση διότι το μεγάφωνο εσωτερικά περιέχει πηνίο. Η αντίσταση R32 περιορίζει το ρεύμα της βάσης του τρανζίστορ και η R33 χρησιμοποιείται για την πόλωση του τρανζίστορ.

Το σήμα meg παράγεται από το pin PB0 του ATMEGA32. Το σήμα που πρέπει να παράξει ο ATmega32 είναι ένας τετραγωνικός παλμός με συχνότητα ίση με αυτήν που οδηγεί το μεγάφωνο.[50]

## 2.13 Η ΟΘΟΝΗ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ LCD

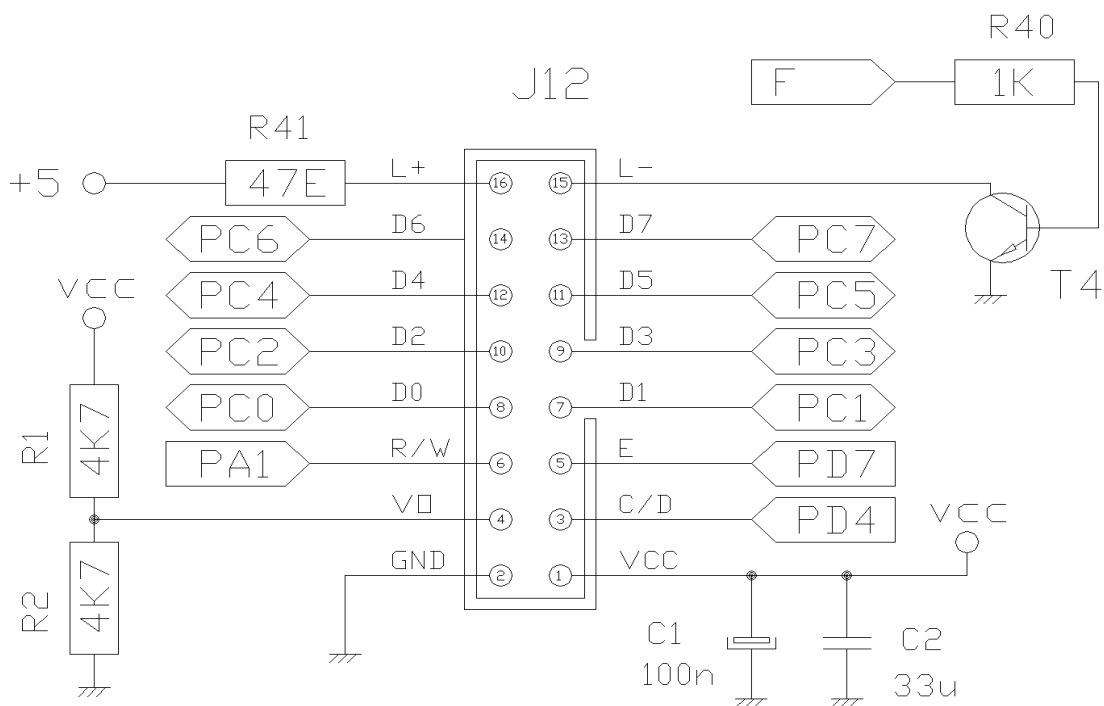
Η επιλογή για την οθόνη LCD είναι η RC4002A από την εταιρεία RAYSTAR OPTRONICS η οποία διαθέτει υψηλή ανάλυση και αξιόπιστη λειτουργία. Με διαστάσεις 40 χαρακτήρων σε 2 γραμμές (40x2), το RC4002 παρέχει επαρκή χώρο για την εμφάνιση κειμένου και γραφικών. Το χρώμα φόντου είναι μπλε, επίσης οθόνη διαθέτει οπίσθιο φωτισμό LED(λευκό χρώμα) που την καθιστά ευανάγνωστη ακόμα και σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Έχει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, κάτι που την καθιστά ιδανική για χρήση σε φορητές συσκευές και εφαρμογές όπου λειτουργεί μπαταρία. Η τάση τροφοδοσίας κυμαίνεται από 4,5 έως 5,5V DC, η παροχή ρεύματος  $1,5mA$  για το LCD και  $240mA$  για τον φωτισμό του. Τέλος οι διαστάσεις της οθόνης είναι  $118 \times 36 \times 13,6$  χιλιοστά (ΥxΠxB). Διαθέτει συνολικά 16 ακροδέκτες, διατεταγμένους σε διάταξη 2x8, με βήμα επαφών(pitch) 2,54 χιλιοστά.[43], [51]



Εικόνα 2.13-1 Μπροστινή και πίσω όψη της οθόνης RC4002A

[<https://www.raystar-optronics.com/character-lcd-display-module/lcd-40x2.html>]

## 2.14 ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΟΘΟΝΗΣ LCD



Εικόνα 2.14-1 το κύκλωμα ελέγχου οθόνης LCD

Η επικοινωνία της πλακέτας με το LCD γίνεται με ένα flat-cable 16 καλωδίων. Για να λειτουργήσει το LCD χρειάζεται στο pin1 +5V και στο pin2 GND(γη). Στο pin4 χρειάζεται μια τάση  $V_0$  για τον έλεγχο της αντίθεσης (contrast) αυτή η τάση παράγεται από τα 5V όπως προτείνει ο κατασκευαστής. Η ομάδα των pin D0-D7 συνδέεται απευθείας στον ATMEGA32 στο PORTC (PC0-PC7). Για οδηγηθεί το LED οπίσθιου φωτισμού (backlight) θα χρειαστεί ένα τρανζίστορ (T4) το οποίο θα ελέγχεται από το pin PD5 του ATMEGA32. Η αντίσταση R40 ορίζει το μέγιστο ρεύμα



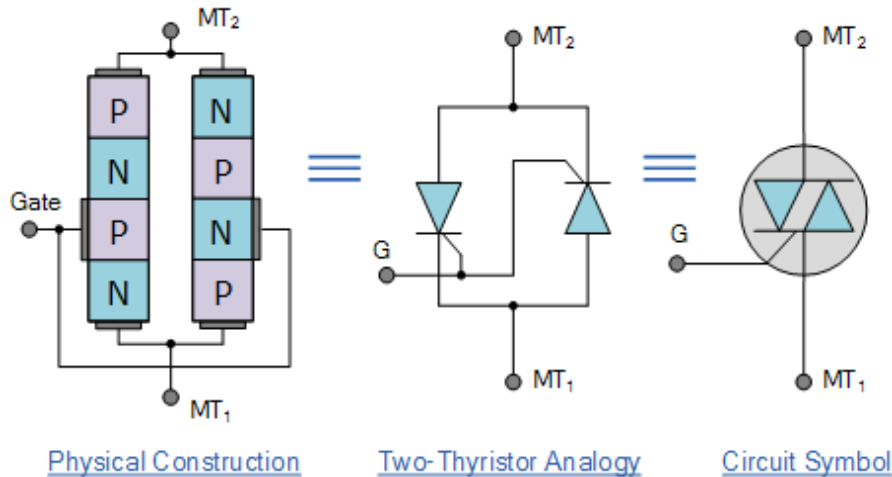
για τον φωτισμό του LCD. Ο φωτισμός ενεργοποιείται με το κατάλληλο σήμα στο pin PD5 σε κατάσταση LOW.[52]

## 2.15 ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ ΥΨΗΛΗΣ-ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ

### TRIAC

Το Triac είναι ένα ημιαγωγικό στοιχείο ελέγχου ισχύος που διαθέτει τρεις ακροδέκτες και μπορεί να διαχειριστεί εναλλασσόμενο ρεύμα.

Μπορεί να χαρακτηριστεί ως δύο θυρίστορ που είναι συνδεδεμένα αντιπαράλληλα, δηλαδή η άνοδος του ενός συνδέεται με την κάθοδο του άλλου, με τους ακροδέκτες πύλης να είναι συνδεδεμένοι.



Εικόνα 2.15-1 Δομή ενός TRIAC

[<https://www.electronics-tutorials.ws/power/triac.html>]

Επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος και στις δύο κατευθύνσεις.

Σε ένα TRIAC, η εφαρμογή θετικής τάσης στην πύλη προκαλεί τη ροή του gate trigger current, ενεργοποιώντας το TRIAC και επιτρέποντας τη ροή του ρεύματος από τον ακροδέκτη MT1 προς τον ακροδέκτη MT2. Το ρεύμα αυτό είναι αυτό που ελέγχει πότε το TRIAC θα ενεργοποιηθεί και πότε θα απενεργοποιηθεί.

Για να διατηρηθεί ένα TRIAC σε κατάσταση ενεργοποίησης, η τάση μεταξύ των ακροδεκτών MT1 και MT2 πρέπει να είναι στο επίπεδο που προκαλεί ένα ρεύμα μεγαλύτερο από το ρεύμα μανδάλωσης (latch current). Όταν αυτό το ρεύμα μανδάλωσης διατηρείται, το TRIAC παραμένει σε κατάσταση ενεργοποίησης, ακόμα και αν αποσυνδεθεί η πύλη.

Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των TRIAC είναι ότι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να ελέγξει φτάνει σε αρκετές δεκάδες κιλοβάτ (kW).[53]

Τα πλεονεκτήματα των TRIAC:

- **Ταχύτερη Απόκριση:** Τα Triac έχουν πολύ γρηγορότερο χρόνο απόκρισης σε σύγκριση με τα ρελέ, με χρόνο απόκρισης μόλις 1 μικροδευτερόλεπτο, ενώ τα ρελέ απαιτούν τυπικά 50 μιλιδευτερόλεπτα.

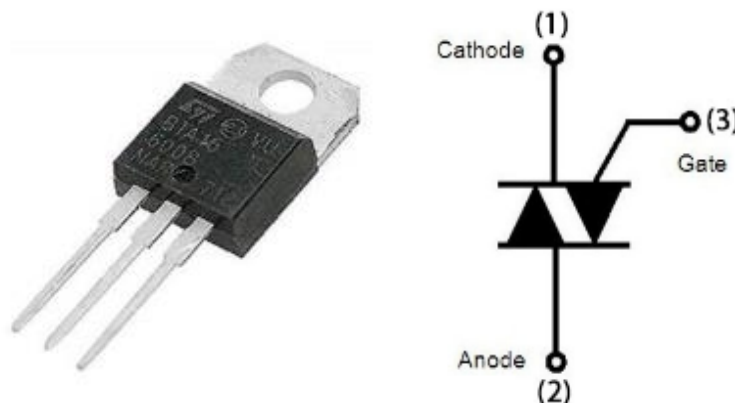
- **Αξιοπιστία σε Μεγάλο Χρονικό Διάστημα:** Επειδή τα Triac δεν έχουν κινούμενα μέρη όπως τα ρελέ, δεν υπόκεινται σε φθορά λόγω μηχανικού συνεχούς κίνησης. Αυτό τους καθιστά αξιόπιστους σε μεγάλο χρονικό διάστημα.
- **Έλεγχος στο Zero Crossing:** Τα Triac μπορούν να ελέγχονται στο σημείο του "zero crossing" του ρεύματος, προσφέροντας ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια στην εναλλαγή on-off. Αυτό είναι σημαντικό, ειδικά σε εφαρμογές που απαιτούν γρήγορες εναλλαγές on-off.

Τα TRIAC δεν παύουν όμως να έχουν και μειονεκτήματα όπως :

- **Διαρροή Ρεύματος:** Τα TRIAC έχουν μια μικρή διαρροή ρεύματος κατά την κατάσταση απενεργοποίησης, η οποία μπορεί να προκαλέσει μια μικρή απώλεια ενέργειας στις εφαρμογές όπου απαιτείται απόλυτη απενεργοποίηση.
- **Προβλήματα με τις Υψηλές Συχνότητες:** Τα TRIAC δεν λειτουργούν αποτελεσματικά σε πολύ υψηλές συχνότητες, και μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα όταν χρησιμοποιούνται σε ψηφιακά κυκλώματα με υψηλές συχνότητες εναλλασσόμενου ρεύματος.
- **Υψηλή Ευαισθησία:** Τα TRIAC είναι ευαίσθητα σε υψηλές τάσεις και απαιτούν προσοχή για την αποφυγή υπερτάσεων.
- **Πολυπλοκότητα Στην Ενεργοποίηση:** Η ενεργοποίηση ενός TRIAC σε συγκεκριμένη γωνία φάσης του AC κύκλου μπορεί να είναι πολύπλοκη και απαιτεί πρόσθετα στοιχεία στο κύκλωμα ελέγχου.

Παρόλα αυτά τα μειονεκτήματα, τα TRIAC εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές εφαρμογές(ρυθμιστές φωτεινότητας, θερμοστάτες, συστήματα ελέγχου ταχύτητας μικρών επαγωγικών κινητήρων) λόγω μικρότερου κόστους από ένα ζευγάρι θυρίστορ που συνδέονται παράλληλα και έχουν την ίδια ισχύ, ενώ ο τρόπος ελέγχου του είναι πιο απλός.(53)

Επομένως, η επιλογή των Triac αντί για ρελέ προσφέρει γρηγορότερο, αξιόπιστο και ακριβή έλεγχο με αρκετά μικρότερο κόστος σε σχέση ακόμα και με ένα solid-state relay (2ms Turn On Time).[54]



Εικόνα 2.15-2 BTA16-600

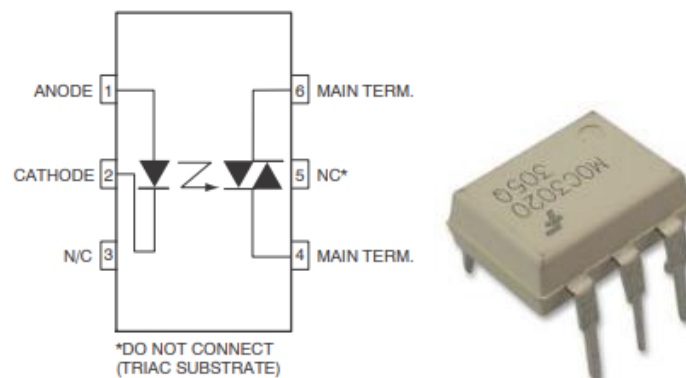
[<https://grobotronics.com/triac-800v-16a-bta16-600.html>]

Η απομόνωση υψηλής τάσης από τη χαμηλή τάση στον φούρνο πορσελάνης μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός opto-triac. Ένα opto-triac είναι ένας ηλεκτρονικός διακόπτης που χρησιμοποιεί τη φωτοηλεκτρική απομόνωση για να διαχωρίσει την υψηλή τάση από τη χαμηλή τάση και να ελέγξει τον ρεύμα που διέρχεται από τον φούρνο.

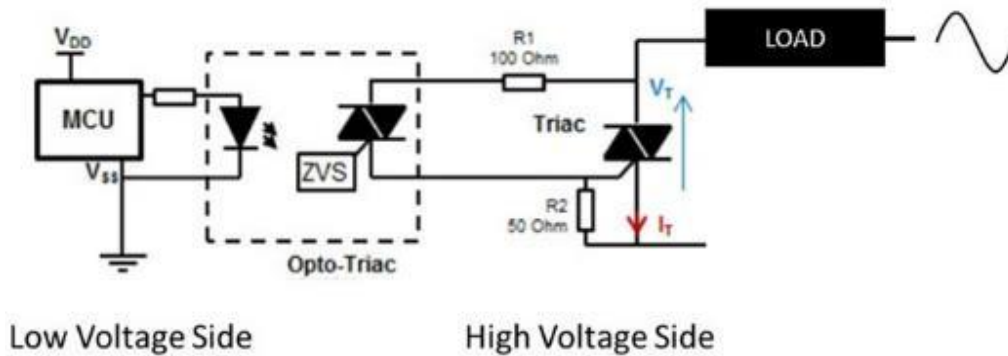
Το MOC3021 είναι ένα δημοφιλές opto-triac που παρέχει απομόνωση και έλεγχο των υψηλών τάσεων μέσω φωτοηλεκτρικής τεχνολογίας. Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που συνδυάζει ένα LED και ένα triac. Το LED είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο του triac. Όταν το LED ανάβει, εκπέμπει φως που ενεργοποιεί το φωτοευαίσθητο στοιχείο, το οποίο με τη σειρά του ενεργοποιεί το triac, επιτρέποντας τη ροή ρεύματος μέσω του φορτίου που ελέγχεται. Όταν το LED είναι σβηστό, το φωτοευαίσθητο στοιχείο δεν ενεργοποιείται και το triac παραμένει κλειστό, διακόπτοντας τη ροή του ρεύματος.[55],[56]

Στην παρούσα εργασία επιλέχτηκε το opto-triac, παρακάτω αναλύονται οι λόγοι επιλογής του [57], [56]:

- 1) **Έλεγχος Φορτίων AC:** Στην εφαρμογή αυτή, χρειάζεται ο έλεγχος φορτίων που λειτουργούν σε AC τάση, όπως μοτέρ και θερμοαντλία στοιχεία. Τα opto-triac είναι ιδανικά για αυτόν τον σκοπό, καθώς μπορούν να διακόπτουν την AC τάση αποτελεσματικά και στις δύο κατευθύνσεις.
- 2) **Διπλή Κατεύθυνση Ελέγχου:** Τα opto-triac μπορούν να διακόπτουν τη ροή του AC ρεύματος και στις δύο κατευθύνσεις, καθιστώντας τα κατάλληλα για εφαρμογές όπου απαιτείται διπλής κατεύθυνσης έλεγχος φορτίων AC.
- 3) **Απομόνωση Υψηλής Τάσης AC:** Τα σήματα της κάρτας ισχύος του φούρνου περιλαμβάνει υψηλή τάση AC, τα opto-triac παρέχουν έναν ασφαλέστερο τρόπο απομόνωσης. Μπορούν να προστατεύσουν τα ευαίσθητα εξαρτήματα στην πλευρά χαμηλής τάσης από ενδεχόμενες επικίνδυνες υψηλές τάσεις ή βλάβες στην πλευρά υψηλής τάσης.



Εικόνα 2.15-3 MOC30xx [ <https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/277780FSC.pdf>]



Εικόνα 2.15-4 κύκλωμα opto-triac.

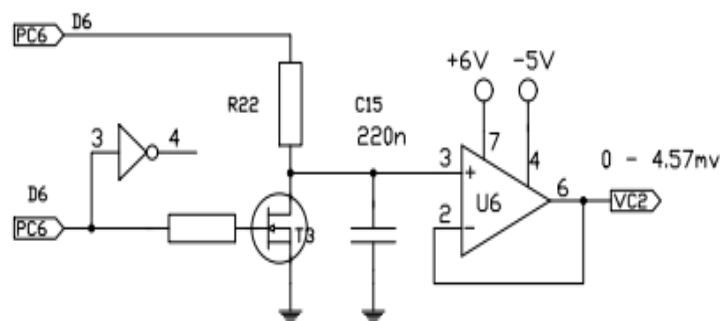
[<https://cn.element14.com/how-to-isolate-between-high-and-low-voltage-using-optocoupler>]

## 2.16 Η ΡΟΥΤΙΝΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ

Για τη θέρμανση του φούρνου απαιτείται μια ρουτίνα ελέγχου θερμοκρασίας που ρυθμίζει την ισχύ της θέρμανσης ώστε να διατηρεί τη θερμοκρασία σε επιθυμητά επίπεδα ώστε να αποφευχθεί η υπερθέρμανση ή η υποθέρμανση του φούρνου. Αναλυτικότερα αυτή η ρουτίνα πρέπει να ικανοποιεί τα παρακάτω:

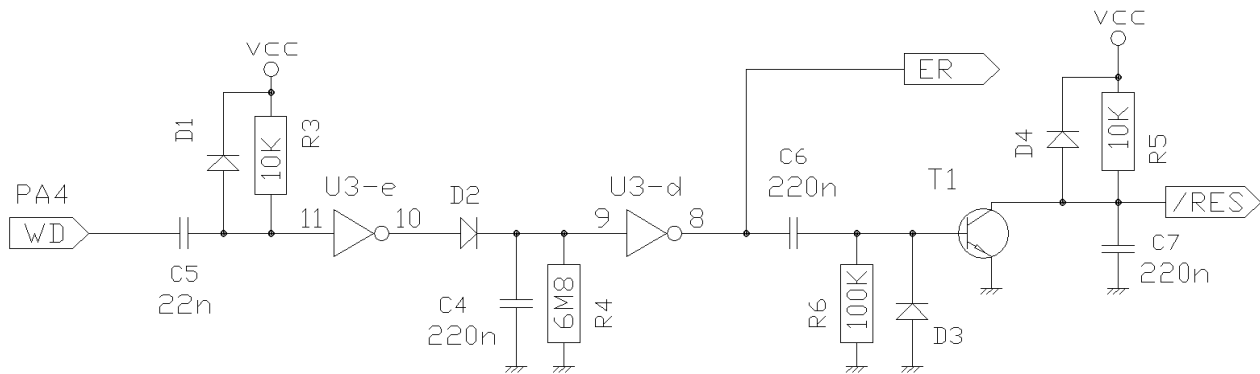
1. **Ρύθμιση Ισχύς:** Η ρουτίνα ελέγχου ρυθμίζει την ισχύ της θέρμανσης από 0% έως 100%, με βήματα του 2%. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να ικανοποιήσει οποιαδήποτε ακέραια τιμή από 0 έως 100, με ακρίβεια στο 2%.
2. **Περίοδος Ελέγχου:** Η ρουτίνα πρέπει να ελέγχει την ισχύ κάθε 1 δευτερόλεπτο. Αυτό σημαίνει ότι κάθε δευτερόλεπτο πραγματοποιείται μία ρύθμιση της ισχύς της θέρμανσης.
3. **Χρήση Ρουτίνας PWM:** Η ρουτίνα χρησιμοποιεί μια τεχνική Pulse Width Modulation (PWM) για να ελέγξει την ισχύ της θέρμανσης. Αυτή η τεχνική λειτουργεί με κύκλο εργασίας 50%, περίοδο 1 δευτερόλεπτο και Ton (Temperature on-time) 20ms.
4. **Ρυθμός Ανόδου Θερμοκρασίας:** Η θερμοκρασία ανεβαίνει από 30°C έως 150°C. Επειδή απαιτείται συχνότερη ρύθμιση της ισχύς για να διατηρηθεί η θερμοκρασία στα σταθερά επιθυμητά επίπεδα, η ρουτίνα εκτελείται 10 φορές κάθε δευτερόλεπτο.

Ουσιαστικά, η ρουτίνα ελέγχου χρησιμοποιεί την PWM για να ρυθμίζει συνεχώς την ισχύ της θέρμανσης αναλογικά με την υπολογισμένη ισχύ και τον χρόνο που προσδιορίζεται στο λογισμικό.[58]



Εικόνα 2.16-1 κύκλωμα ελέγχου κομμένης αντίστασης

## 2.17 ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (HARDWARE WATCHDOG)



Εικόνα 2.17-1 Κύκλωμα επιτήρησης λειτουργίας (watchdog timer) σε περίπτωση δυσλειτουργίας του Hardware της συσκευής

Το Hardware Watchdog (ή απλά Watchdog) αναφέρεται σε ένα σύστημα παρακολούθησης που χρησιμοποιείται για την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας ενός υπολογιστικού συστήματος ή ενσωματωμένου συστήματος. Εάν το σύστημα σταματήσει να λειτουργεί σωστά (π.χ. κολλήσει ή παγώσει), το watchdog μπορεί να ανιχνεύσει αυτή τη δυσλειτουργία και να εκτελέσει διορθωτικές ενέργειες, συνήθως με την επανεκκίνηση του συστήματος.[59]

Ο τρόπος λειτουργίας ενός επιτηρητή λειτουργίας είναι ο εξής:

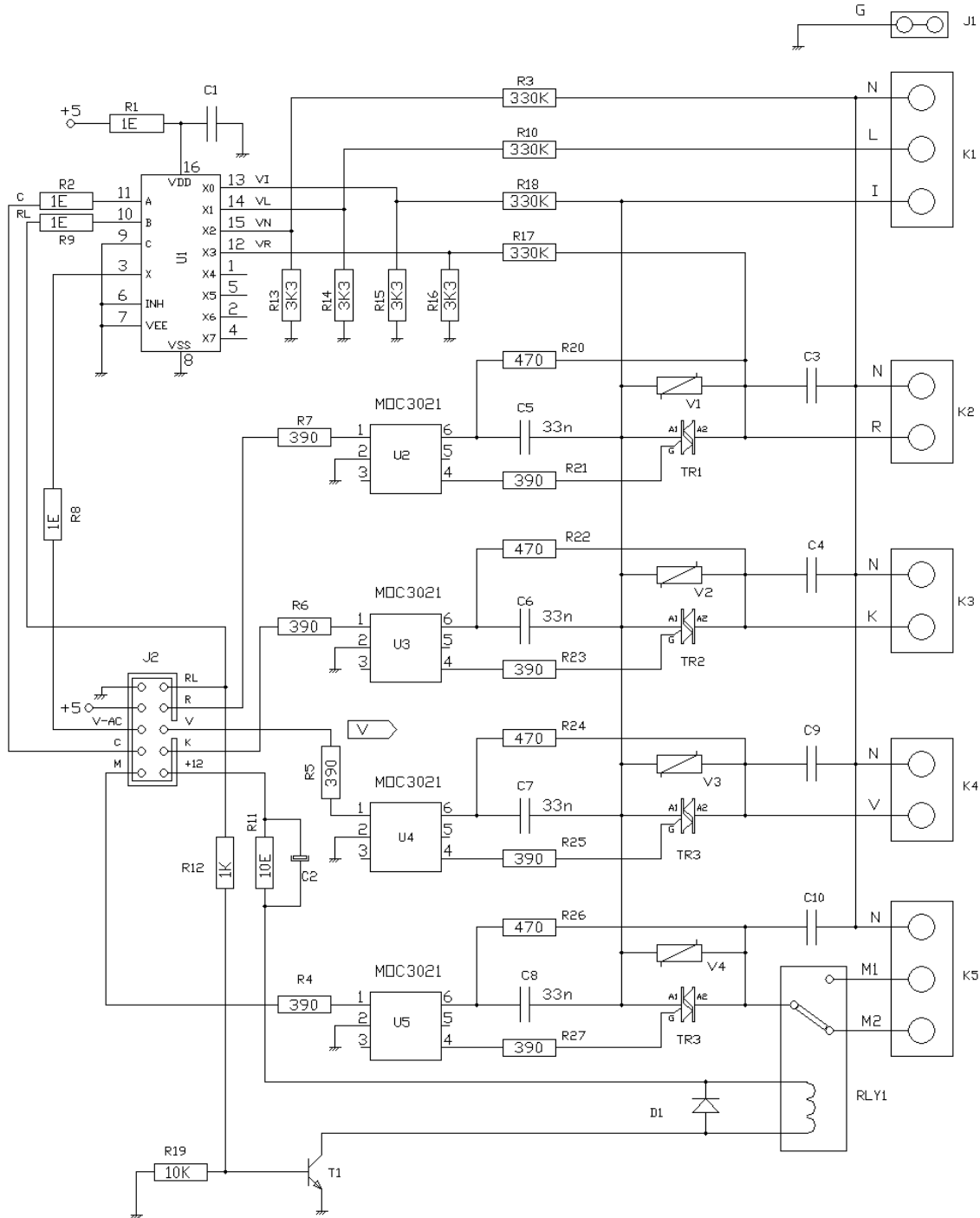
- 1) Κατά την εκκίνηση του συστήματος, ο επιτηρητής λειτουργίας αρχικοποιείται και ξεκινά την μέτρηση ενός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος, που ονομάζεται "περίοδος επιτήρησης" ή "timeout period."
- 2) Κατά τη διάρκεια της περιόδου επιτήρησης, το λειτουργικό σύστημα του συστήματος πρέπει να ανανεώνει τον επιτηρητή λειτουργίας παρέχοντας ένα ειδικό σήμα (π.χ., επαναφορά ή "kick") προτού λήξει η περίοδος επιτήρησης.
- 3) Εάν η περίοδος επιτήρησης λήξει χωρίς να λάβει το ανανεωμένο σήμα από το σύστημα, ο επιτηρητής λειτουργίας θεωρεί ότι έχει συμβεί κάποιο πρόβλημα (π.χ., κολλήματα ή ανεπιθύμητες διακοπές) και αναλαμβάνει δράση για την επαναφορά του συστήματος. Αυτή η δράση μπορεί να περιλαμβάνει την επανεκκίνηση του συστήματος ή κάποια άλλη προκαθορισμένη ενέργεια ανάκτησης.

Οι επιτηρητές λειτουργίας είναι χρήσιμοι για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της σταθερότητας σε εφαρμογές όπου η αυτόνομη επανεκκίνηση είναι προτιμητέα σε περίπτωση σοβαρού σφάλματος. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε ενσωματωμένα συστήματα, βιομηχανικούς ελεγκτές και συσκευές που πρέπει να λειτουργούν αδιάλειπτα.

Ο χρόνος ανανέωσης για την επιτήρηση καθορίζεται από την εξίσωση  $t=R \cdot C$ . Συγκεκριμένα από τον πυκνωτή C4 και την αντίσταση R4. Προκύπτει  $t=6M8 \cdot 220nF= 1,5s$ .

Ο επιτηρητής λειτουργίας παράγει 2 σήματα RESET και Error.[60]

## 2.18 ΚΑΡΤΑ ΙΣΧΥΟΣ



Εικόνα 2.18-1 Σχηματικό διάγραμμα κάρτας οδήγησης διατάξεων ισχύος

Η κάρτα ισχύος είναι μια ηλεκτρονική πλακέτα που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή χαμηλών τάσεων και ρευμάτων σε υψηλότερες τιμές, επιτρέποντας τον έλεγχο διαφόρων παραμέτρων. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της θέρμανσης του φούρνου και τον έλεγχο του κενού στον θάλαμο του. Ο έλεγχος του μοτέρ πραγματοποιείται με χρήση τρανζίστορ (στην εφαρμογή αυτή NPN τύπος). Το κύκλωμα ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τον κινητήρα, ανάλογα με το εισερχόμενο σήμα.

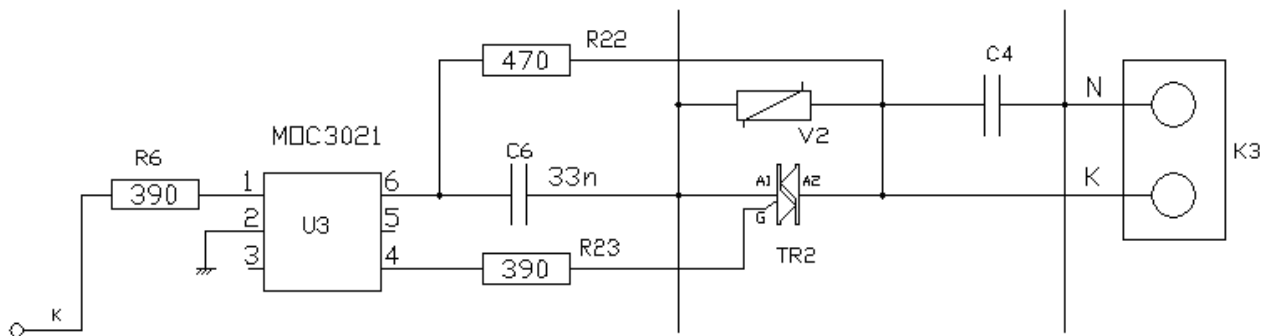
Όταν συνδέεται ένα επαγωγικό φορτίο στον συλλέκτη, μπορεί να προστεθεί μια δίοδος προστασίας (flywheel diode) παράλληλα με το πηνίο για να προστατευθεί το τρανζίστορ από την αντίθετη πολικότητα τάσης που προκύπτει στα άκρα του πηνίου όταν το τρανζίστορ διέρχεται στην αποκοπή (OFF), (Νόμος του Lenz).

Επιλέγεται η τιμή της αντίστασης που συνδέεται στην βάση έτσι ώστε το τρανζίστορ να έχει την μέγιστη αγωγιμότητα όταν το εισερχόμενο σήμα είναι 5V.[61]

Το on-off του μοτέρ γίνεται με το moc3020 και το BTA16-600 και η κατεύθυνση του μοτέρ ορίζεται βάση των επαφών του ρελέ RELAY1

Με την χρήση διακόπτη θα επιλεγεί αν θα είναι στην θέση M1 ή M2 τα άκρα του μοτέρ ώστε η κίνηση του να είναι αριστερόστροφη ή δεξιόστροφη (άνοιγμα ή κλείσιμο της πόρτας) .[62]

## 2.19 ΚΥΚΛΩΜΑ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΙΣΧΥΟΣ(ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ, ΒΑΛΒΙΔΑΣ ΑΕΡΑ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΤΛΙΑΣ ΚΕΝΟΥ)



Εικόνα 2.19-1 Τμήμα κυκλώματος οδήγησης συσκευών ισχύος στην κάρτα

Η αντίσταση R16 χρησιμοποιείται για να προστατεύσει το phototriac από το ρεύμα υπέρτασης (surge current) κατά την ενεργοποίησή του. Η ελάχιστη τιμή της αντίστασης R1 πρέπει να επιλεγεί με βάση το μέγιστο ρεύμα υπέρτασης ( $I_{surge}$ ) και την ονομαστική τάση της γραμμής (το μέγιστο ρεύμα πύλης του triac, συνήθως είναι υψηλότερο από το  $I_{surge}$ ), όπως ορίζεται στην παρακάτω εξίσωση[57]:

$$R1 = \frac{V_{line\ peak}}{I_{surge}}$$

Εξίσωση 4

Θα χρησιμοποιηθεί επίσης και βαρίστορ. Το βαρίστορ (Varistor) είναι ένα ηλεκτρονικό στοιχείο που χρησιμοποιείται για την προστασία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων από υπερτάσεις. Είναι ένας ημιαγωγικός αντιστάτης (resistor) ο οποίος αλλάζει την αντίστασή του ανάλογα με την τάση που εφαρμόζεται σε αυτόν.[63]

Το βαρίστορ κατασκευάζεται από υλικά που έχουν μη γραμμική σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος, οπότε όταν η τάση στα άκρα του βαρίστορ αυξάνεται πάνω από ένα κατώφλι, η αντίσταση του αρχίζει να μειώνεται και επιτρέπει την παράκαμψη του ρεύματος μακριά από το προστατευόμενο κύκλωμα. Αυτό προστατεύει τα συστήματα από υπερτάσεις που μπορεί να προκληθούν από

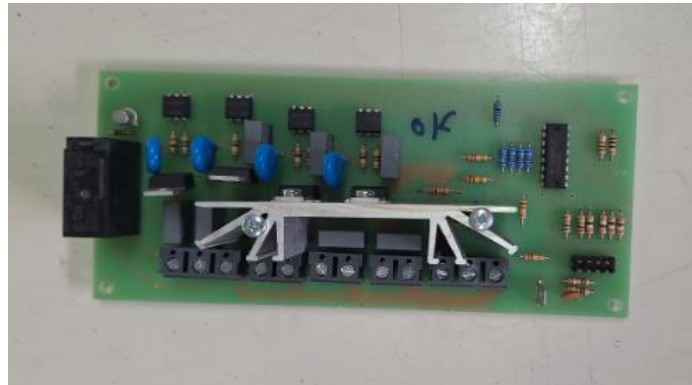
αστάθειες στο ηλεκτρικό δίκτυο, αστοχίες σε συσκευές, αστοχίες στον εξοπλισμό και άλλες ανεπιθύμητες καταστάσεις.[57]



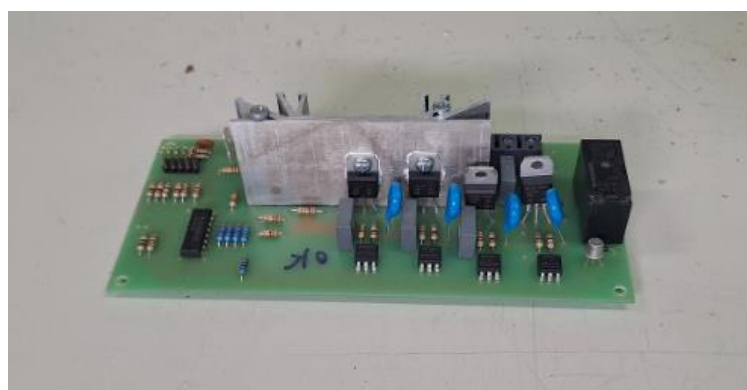
Εικόνα 2.19-2 MOV-14DxxxK Series Varistor

[<https://twen.rs-online.com/web/p/varistors/1386040>]

Το ολοκληρωμένο U1 στην " Εικόνα 2.18-1 Σχηματικό διάγραμμα κάρτας οδήγησης διατάξεων ισχύος " είναι ο πολυπλέκτης-αποπλέκτης CD74HC4051-EP. Ο οποίος στις εισόδους X0-X3 δέχεται τα σήματα N (neutral) , L (live) , I(current) και R(resistor) με διαιρέτες τάσης 2 αντιστάσεων 330K και 3K3. Μετατρέπονται τα 230volt σε χαμηλή τάση 2.27 V<sub>RMS</sub> το οποίο είναι ισοδύναμο με  $2.27 * 1.41 = 3.2$  V<sub>PP</sub> ώστε να μπορεί να τα διαβάσει ο processor.[46]



Εικόνα 2.19-3 Η κάρτα ισχύος ολοκληρωμένη



Εικόνα 2.19-4 Άλλη όψη της κάρτας ισχύος

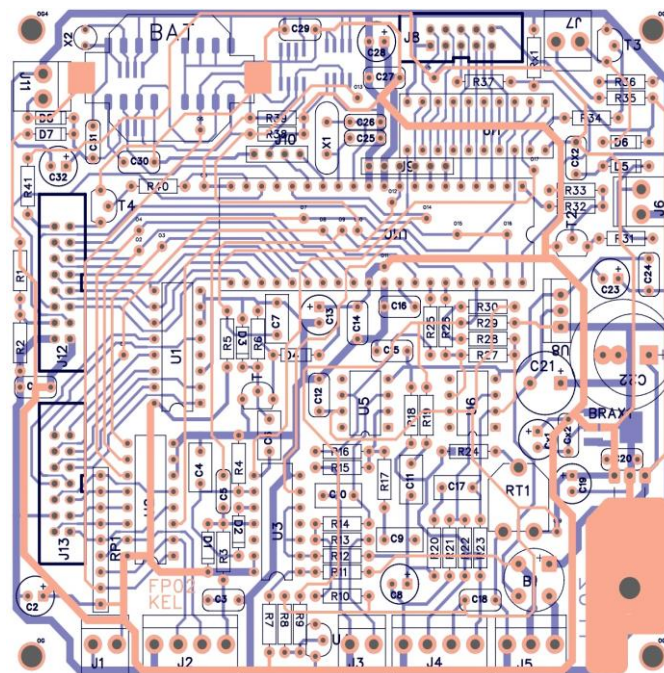


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> – ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ. Η ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρέχονται τα σχέδια της πλακέτας CPU και ο κώδικας λειτουργίας που είναι ουσιαστικά το θέμα της παρούσας εργασίας καθώς και κάποιες φωτογραφίες κατά την διαδικασία της συναρμολόγησης των επιμέρους τμημάτων για την πλήρη κατασκευή του φούρνου πορσελάνης. Υπήρξε αρκετή δυσκολία στο μοντάρισμα (στερέωση και κόλληση εξαρτημάτων) της πλακέτας καθώς οι αποστάσεις ανάμεσα στα εξαρτήματα είναι οι ελάχιστες ώστε να παραμείνει σε διαστάσεις που θα χωράνε στον εσωτερικό του φούρνου. Το πιο πολύπλοκο όμως κομμάτι και συνολικά σε όλη την εργασία ήταν η συγγραφή του κώδικα, κάτι αναγκαίο για την λειτουργία του φούρνου. Η δυσκολία ήταν αυξημένη διότι έπρεπε να γίνει σε γλώσσα προγραμματισμού Assembly και χρειάστηκαν αρκετοί έλεγχοι ώστε να συμβαδίζει με τις παραμέτρους που πρέπει να υλοποιούνται καθώς και να τηρούνται οι κανόνες ασφαλείας για την προστασία του χρήστη και του μηχανήματος. Τελικά παρά τις δυσκολίες και τον χρόνο που χρειάστηκε η προσπάθεια αυτή ήταν επιτυχής.

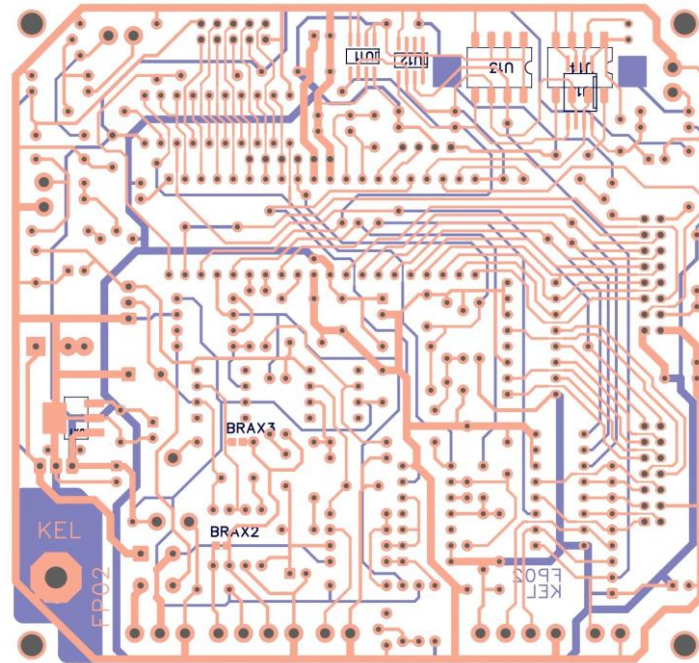
### 3.1 ΕΚΤΥΠΩΣΗ, ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΠΛΑΚΕΤΑΣ CPU

Έχοντας υλοποιήσει όλα τα σχέδια για τα μέρη της πλακέτας προέκυψε ότι για την σωστή κατανομή και ελαχιστοποίηση των διαστάσεων της θα είναι διπλής όψης. Όλα αυτά έγιναν εφικτά με την βοήθεια του δωρεάν προγράμματος FreePCB το οποίο είναι και ανοικτού κώδικα και εξάγει αρχεία τύπου gerber (.gbr).



Εικόνα 1-1 Η επάνω όψη της πλακέτας CPU

Ψηφιακός έλεγχος λειτουργίας οδοντοτεχνικού φούρνου μέσω μικροελεγκτή



Εικόνα 1-2 Η κάτω όψη της πλακέτας CPU

Έπειτα τα αρχεία αυτά στάλθηκαν σε εργοστάσιο τύπωσης πλακετών PCB στην Κίνα και η πλακέτα μονταρίστηκε με τα εξαρτήματα όπως φαίνεται παρακάτω:

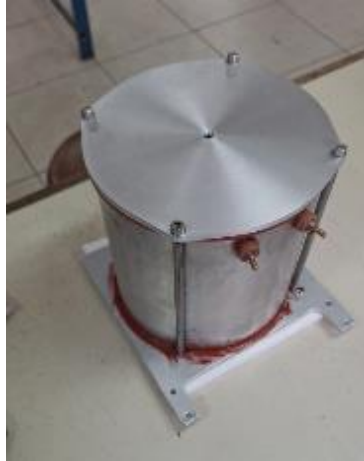


Εικόνα 1-3 Η πλακέτα CPU ολοκληρωμένη

## 3.2 ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΦΟΥΡΝΟΥ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ

### Ο θάλαμος θέρμανσης

Στο επάνω μέρος όπου θα γίνεται η θέρμανση έχει κατασκευασθεί ένας θάλαμος από αλουμίνιο μεγάλου πάχους ο οποίος έχει οπή στο πάνω μέρος για τοποθέτηση του θερμοζεύγους τύπου K, 2 ακροδέκτες για την σύνδεση της αντίστασης που υπάρχει μέσα στην πυρίμαχη επένδυση καθώς και ένα γωνιακό σωληνάκι για την δυνατότητα κενού.



Εικόνα 2-1 Ο θάλαμος του φούρνου πορσελάνης με οπή για θερμοζεύγος

### Οι πλάκες κεραμικών ινών για θερμική απομόνωση του θαλάμου θέρμανσης

Τα προϊόντα κεραμικών ινών είναι μια κατηγορία υλικών που παρασκευάζονται από υλικά με βάση την αλουμίνα και το πυρίτιο. Οι μορφές που υπάρχουν αυτά τα υλικά στο εμπόριο είναι συνήθως σε πλάκες οι οποίες είναι άκαμπτες, κατασκευάζονται με την τεχνική του κενού από μίγμα κεραμικών ινών και ανόργανων δεσμευτικών βάσεων. Οι πλάκες αυτές (εύκολες κατά την κοπή και τη χρήση) προσφέρουν τη δυνατότητα κατασκευής αυτοφερόμενων και ελαφρών κατασκευών με χαμηλή συσσώρευση θερμότητας, ακόμα και όταν εκτίθενται απευθείας σε γυμνή φλόγα. Παράγονται σε πάχος 10mm έως 100mm και αντέχουν σε θερμοκρασίες έως και 1.260°C.[64]

Διατίθενται σε διάφορα θερμοκρασιακά εύρη και **τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους είναι τα εξής:**

- Μικρότερη θερμική αγωγιμότητα
- Μικρότερες απώλειες θερμότητας σε υψηλές θερμοκρασίες
- Αντοχή στα θερμικά σοκ
- Χαμηλό βάρος
- Αυξημένη διάρκεια ζωής επένδυσης
- Εξαιρετική ηχομόνωση.
- Δεν εκκρίνουν ατμούς και μυρωδιές κατά τη διάρκεια της θέρμανσης
- Υψηλή αντοχή στα περισσότερα είδη οξέων.



ΚΕΡΑΜΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΠΑΧΗ (mm)
Από 1100	10
	13
Ως 1800	25
	50

Εικόνα 2-2 Η θερμική αντοχή πλακών υαλοβάμβακα σε σχέση με το πάχος τους  
[<https://gr.glasswool.biz/ceramic-fiber/ceramic-fiber-board/high-temperature-ceramic-fiber-board.html>]



Εικόνα 2-3 Η πυρίμαχη επένδυση εξωτερικά

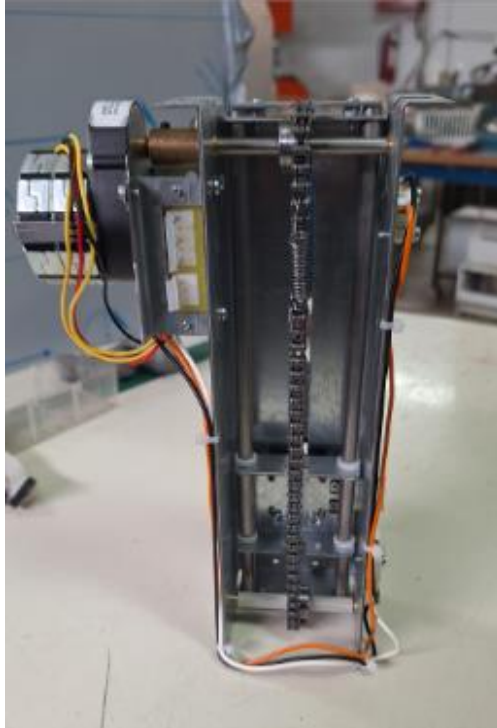


Εικόνα 2-4 Η πυρίμαχη επένδυση εσωτερικά



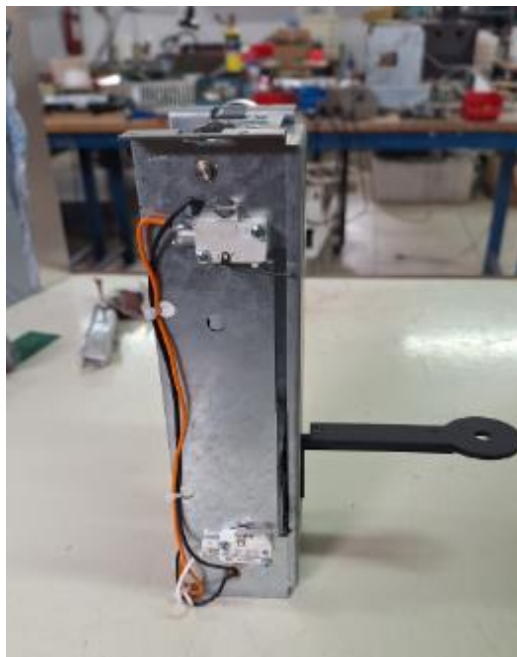
### **Το αναβατόριο**

Άλλο ένα σημαντικό μέρος της κατασκευής είναι το αναβατόριο το οποίο θα ανοίγει και θα κλείνει την πόρτα του θαλάμου. Η μετάδοση κίνησης του αναβατορίου γίνεται με αλυσίδα και 2 γρανάζια στις ακραίες θέσεις. Στο πάνω ένα γρανάζι έχει τοποθετηθεί σύγχρονο ηλεκτρικό μοτέρ 2 κατευθύνσεων με μειωτήρα.

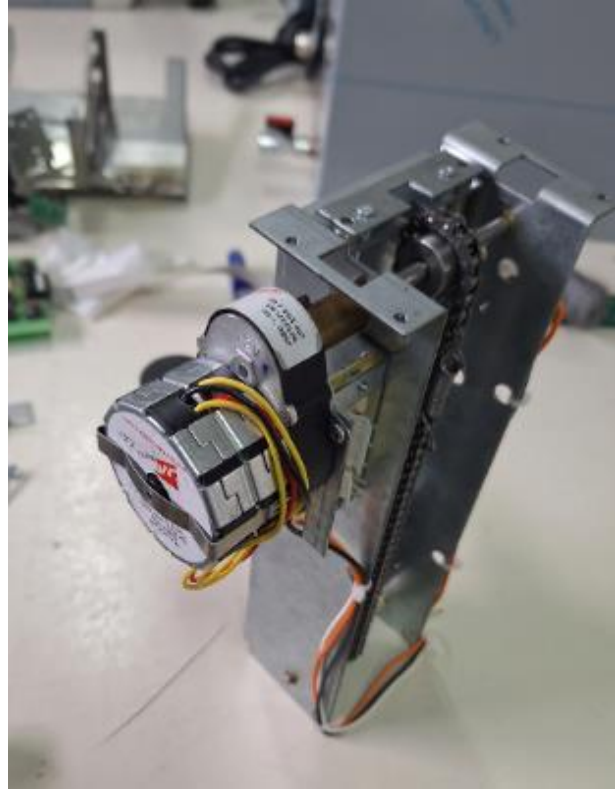


*Εικόνα 2-5 Η πίσω όψη του συστήματος πόρτας*

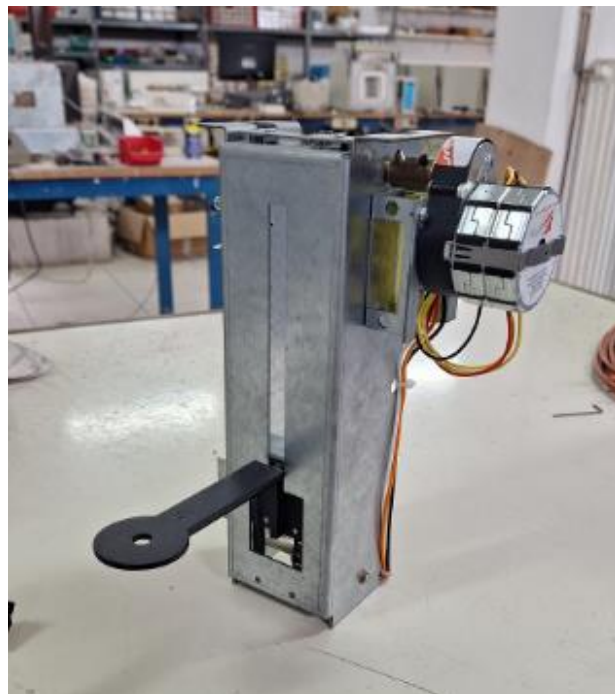
Για να αποκλειστεί η κίνηση πέραν των 2 ακραίων θέσεων ώστε να προστατεύει και το μοτέρ από καταπόνηση και βλάβη έπειτα έχουν προστεθεί τερματικοί διακόπτες.



*Εικόνα 2-6 Η δεξιά όψη του συστήματος πόρτας με τους τερματικούς διακόπτες*



*Εικόνα 2-7 Η αριστερή όψη του συστήματος πόρτας με το μοτέρ και τον μειωτήρα*



*Εικόνα 2-8 Η μπροστινή όψη του συστήματος πόρτας*

## Το πληκτρολόγιο του φούρνου πορσελάνης



Εικόνα 2-9 Η πλακέτα του πληκτρολογίου



Εικόνα 2-10 Η πίσω όψη του ολοκληρωμένου πληκτρολογίου



Εικόνα 2-11 Η μπροστινή όψη του ολοκληρωμένου πληκτρολογίου

### Διάφορες όψεις του φούρνου



*Εικόνα 2-12 Εσωτερική όψη του φούρνου*

Στην πίσω όψη της κατασκευής προσθέσαμε την πλακέτα φίλτρου αποκοπής θορύβου καθώς και βύσματα τάσης τροφοδοσίας του φούρνου(δεξιά) και βύσμα για τάση τροφοδοσίας της αντλίας κενού (αριστερά). Τέλος υπάρχει ο διακόπτης on-off.



*Εικόνα 2-13 Η πίσω όψη του φούρνου πορσελάνης*





*Εικόνα 2-14 Πίσω όψη του φούρνου*



*Εικόνα 2-15 Μπροστινή όψη χωρίς πλαϊνά καπάκια*



*Εικόνα 2-16 Το σωληνάκι εξαγωγής του αέρα από τον θάλαμο*



*Εικόνα 2-17 Μπροστινή όψη του φούρνου με όλα τα καπάκια κουμπωμένα*



Εικόνα 2-18 Πλαϊνή όψη του φούρνου με όλα τα καπάκια κουμπωμένα



Εικόνα 2-19 Πίσω όψη του φούρνου με όλα τα καπάκια κουμπωμένα

### 3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να κατασκευαστεί μια ολοκληρωμένη και ενιαία συσκευή, κυρίως για τους οδοντοτεχνίτες, αλλά και για άλλους επαγγελματίες, καθώς βρίσκει εφαρμογή και σε κεραμίστες, εργαστήρια κοσμημάτων και ερευνητικά εργαστήρια.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πριν, για να υλοποιηθεί αυτή η κατασκευαστική εργασία χρειάστηκε πέρα από χρόνο και οικονομική κάλυψη για όλα αυτά τα υλικά.

Το αποτέλεσμα αυτής της εργασίας έχει πλέον αρκετές προοπτικές για να γίνει εμπορικό. Γι' αυτόν τον λόγο προτιμήθηκε ο μικροελεγκτής ATmega32 αντί μιας πλακέτας Arduino, παρότι η ανάπτυξη θα ήταν πιο εύκολη, διότι οι μικροελεγκτές είναι οικονομικότεροι και καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο. Επιπλέον, προσφέρουν πολύ μεγαλύτερη ευελιξία και δυνατότητες στην ανάπτυξη λογισμικού.

Στο κοντινό μέλλον, για να έχει ακόμα μεγαλύτερη απήχηση και να προσελκύσει τις νέες γενιές επαγγελματιών, σχεδιάζεται να ενσωματωθεί μια οθόνη αφής TFT LCD, η οποία έχει ήδη χρησιμοποιηθεί εδώ και αρκετά χρόνια και προσφέρει καλύτερη ευκρίνεια και μέγεθος. Μια ακόμα δυνατότητα που προσφέρουν αυτές οι οθόνες σε σχέση με τις απλές LCD είναι η απεικόνιση γραφικών παραστάσεων σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, επειδή με τα χρόνια οι απαιτήσεις των οδοντοτεχνιτών αλλάζουν και τα υλικά που χρησιμοποιούν εξελίσσονται, έχει προβλεφθεί να μπορούν να γίνουν αλλαγές στο λογισμικό, προσαρμόζοντας το σε διαφορετικές συστάσεις πορσελάνης που συνεχώς εισάγονται στην αγορά.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Ε.Κουσουνή, Π. Γερογιάννη και Μ. Μάνδουλα-Κουσουνή. Η πορεία της Οδοντιατρικής από τους προϊστορικούς μέχρι τους Ρωμαϊκούς χρόνους. 2016.
2. Ιπποκράτης. Ιπποκράτης: Περί ιατρικής. ΤΕΣΣΕΡΑ ΠΙ (4π); 2010. (NATIONAL GEOGRAPHIC ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΑΡΧΑΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ).
3. Δημήτριος Χρ. Κουτρούμπας. Η Οδοντιατρική στον Αρχαίο κόσμο. ΑΘΗΝΑ: Κουτρούμπας Δημήτριος Χρ.; 2016.
4. Αλέξανδρος Αντωνόπουλος. Σύγχρονη ακίνητη προσθετική. Συμμετρία; 1993.
5. Ε. Κοντοσάκη, Ε. Σιαραμπή, Δ. Τορτοπίδης. Σύγχρονα ολοκεραμικά συστήματα: Ταξινόμηση, τεχνικές κατασκευής και κλινικές εφαρμογές. ΣΤΟΜΑ. 2013;(41):87–106.
6. Al-Wahadni A. The Roots of Dental Porcelain; A brief historical perspective. Dent News (Lond). 25 Ιούλιος 1999;5:43–4.
7. Καλκάνης Γεώργιος, Χατήρης Ιωάννης, Σταθουλοπούλου Χ. Τεχνολογία των Δομικών Υλικών. 2η Έκδοση; 2004. 352 σ.
8. Παντελής Δημήτριος. Μη Μεταλλικά Τεχνικά Υλικά, 2η Έκδοση: Πολυμερή - Κεραμικά - Σύνθετα Υλικά - Ξύλο - Δομή - Ιδιότητες - Τεχνολογία - Εφαρμογές. 2008.
9. Νίκος Κ. Καφούσιας, Γεωργία Σ. Μπαλτζάκη, Απόστολος Α. Σταθόπουλος. Οδοντιατρικά βιοϋλικά. Ακίδα; 1994.
10. Malet, Jacques, Francis Mora, Philippe Bouchard, και Φοίβος Μαδιανός. Οδοντιατρική εμφυτευματολογία με μια ματιά. Αθήνα: Παρισιάνος; 2017.

11. Price J, Noujeim M. Clinical Applications of Digital Dental Technology. 8 Ιούνιος 2015;1–258.
12. Anusavice KJ 1940-2021., Phillips RW 1918-1991., Shen C, Rawls HR. Phillips' science of dental materials. 12th ed. St. Louis, Mo.: Elsevier/Saunders; 2013.
13. Tara M, Eschbach S, Bohlsen F, Kern M. Clinical outcome of metal-ceramic crowns fabricated with laser-sintering technology. Int J Prosthodont. 1 Ιανουάριος 2011;24:46–8.
14. SHOFU. Vintage PRO: Optimised Leucite-reinforced Feldspathic Metal Ceramic [Διαδίκτυο]. 2017. Διαθέσιμο στο: <https://www.shofu.de/wp-content/uploads/2020/02/Vintage-PRO-SBS-UK-2017-08.pdf>
15. Dentsply. Ceramco® 3 Firing Chart [Διαδίκτυο]. 2014. Διαθέσιμο στο: [https://www.improdent.be/media/wysiwyg/general/Dentsply-pdf/ceramco\\_3\\_firing\\_chart.pdf](https://www.improdent.be/media/wysiwyg/general/Dentsply-pdf/ceramco_3_firing_chart.pdf)
16. CERAGROUP. CGI DENTAL PORCELAIN [Διαδίκτυο]. 2018. Διαθέσιμο στο: <https://www.cgiporcelain.com/wp-content/uploads/2019/03/CERATEC-MANUAL-ENGLISH.pdf>
17. Clements A. Principles of Computer Hardware [Διαδίκτυο]. OUP Oxford; 2006. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.lk/books?id=IhRoQgAACAAJ>
18. Meijer GCM, Herwaarden AW. Thermal Sensors, [Διαδίκτυο]. Taylor & Francis; 1994. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=uW1RAAAAMAAJ>
19. Leigh JR. Temperature Measurement and Control [Διαδίκτυο]. IET; 1988. (Control Engineering). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=WFz4wQEACAAJ>
20. Testing AS for, Materials. Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement [Διαδίκτυο]. American Soc. for Testing & Materials; 1981. (ASTM special technical publication). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=MgL93s43-W8C>
21. Pollock DD. Thermocouples: Theory and Properties [Διαδίκτυο]. CRC Press; 2018. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=g0taDwAAQBAJ>
22. Pollock DD. The Theory and Properties of Thermocouple Elements [Διαδίκτυο]. American Society for Testing and Materials; 1971. (ASTM STP 492). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=cmO8ILMQ8V0C>
23. Division I for BS (U S) C, Powell RL, Division I for BS (U S) H. Thermocouple Reference Tables Based on the IPTS-68 [Διαδίκτυο]. U.S. National Bureau of Standards; 1974. (Monographs (United States. National Bureau of Standards)). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=4JJwL88MJA0C>
24. Burns GW, Scroger MG, Standards NI of, Technology (U.S.). The Calibration of Thermocouples and Thermocouple Materials [Διαδίκτυο]. U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology; 1989. (NIST measurement services). Διαθέσιμο στο: [https://books.google.gr/books?id=d9GhI4n\\_y9AC](https://books.google.gr/books?id=d9GhI4n_y9AC)
25. Nau M. Electrical Temperature Measurement: With Thermocouples and Resistance Thermometers [Διαδίκτυο]. Juchheim; 2002. Διαθέσιμο στο: [https://books.google.gr/books?id=5j\\_QMQAACAAJ](https://books.google.gr/books?id=5j_QMQAACAAJ)

26. Richardson OW. (Thermionic) Emission From Hot Bodies [Διαδίκτυο]. Wexford College Press; 2003. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=PrbOIoMnxnwC>
27. Boyes W. Instrumentation Reference Book [Διαδίκτυο]. Elsevier Science; 2009. (EngineeringPro collection). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=ZvscLzOIkNgC>
28. Childs PRN. Practical Temperature Measurement [Διαδίκτυο]. Elsevier Science; 2001. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=VTep8ik2-7gC>
29. Dobkin B, Williams J. Analog Circuit Design: A Tutorial Guide to Applications and Solutions [Διαδίκτυο]. Elsevier Science; 2011. (Analog Circuit Design: A Tutorial Guide to Applications and Solutions). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=TO72Bz6JJyYC>
30. Tooley M. PC Based Instrumentation and Control [Διαδίκτυο]. CRC Press; 2013. Διαθέσιμο στο: [https://books.google.gr/books?id=WSPls\\_GwMA4C](https://books.google.gr/books?id=WSPls_GwMA4C)
31. Ball SR. Analog Interfacing to Embedded Microprocessor Systems [Διαδίκτυο]. Elsevier Science; 2004. (Electronics & Electrical). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=TziS7WMcIDQC>
32. Karplus K. Applied Analog Electronics: A First Course In Electronics [Διαδίκτυο]. World Scientific Publishing Company; 2023. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=pCXKEAAAQBAJ>
33. Atmel®. Atmega32/L [Διαδίκτυο]. 2011. Διαθέσιμο στο: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc2503.pdf>
34. Eady F. Networking and Internetworking with Microcontrollers [Διαδίκτυο]. Elsevier Science; 2004. (Embedded technology series). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=GKkMCqy7rEUC>
35. van de Plassche RJ. Integrated Analog-To-Digital and Digital-To-Analog Converters [Διαδίκτυο]. Springer US; 2012. (The Springer International Series in Engineering and Computer Science). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=yhnlBwAAQBAJ>
36. Ltd EEP. Electronics Projects Vol. 15 [Διαδίκτυο]. EFY Enterprises Pvt Limited; 2009. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=WE5O1YWnuaEC>
37. Coughlin RF, Driscoll FF. Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits [Διαδίκτυο]. Prentice Hall; 1998. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=vGqE52oO2BQC>
38. Corporation NS. Linear Applications Handbook [Διαδίκτυο]. National Semiconductor.; 1994. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=VwzlAAAAMAAJ>
39. Tandeske D. Pressure Sensors: Selection and Application [Διαδίκτυο]. Taylor & Francis; 1990. (Mechanical Engineering). Διαθέσιμο στο: [https://books.google.gr/books?id=MnxJJSI\\_OsQC](https://books.google.gr/books?id=MnxJJSI_OsQC)
40. NXP Semiconductors. MPX5100, 0 to 100 kPa, Differential, Gauge, and Absolute, Integrated, Pressure Sensors [Διαδίκτυο]. 2018. Διαθέσιμο στο: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX5100.pdf>

41. Kay A. Operational Amplifier Noise: Techniques and Tips for Analyzing and Reducing Noise [Διαδίκτυο]. Elsevier Science; 2012. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=0KEevGj3hIgC>
42. Demler MJ. High-Speed Analog-to-Digital Conversion [Διαδίκτυο]. Elsevier Science; 2012. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=aZK1V-djLEoC>
43. Barrett S. Embedded System Design with the Atmel AVR Microcontroller II [Διαδίκτυο]. Springer International Publishing; 2022. (Synthesis Lectures on Digital Circuits & Systems). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=D4NyEAAAQBAJ>
44. Kuhnel C. AVR RISC Microcontroller Handbook [Διαδίκτυο]. Elsevier Science; 1998. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=k08dpyb6V74C>
45. Digital Design [Διαδίκτυο]. Benwill Publishing Corporation; 1986. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=UD1WAAAAMAAJ>
46. Texas Instruments. SN74HC574 Octal Edge-Triggered D-Type Flip-Flops With 3-State Outputs [Διαδίκτυο]. 1982. Διαθέσιμο στο: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc574.pdf>
47. NAIR BS. DIGITAL ELECTRONICS AND LOGIC DESIGN [Διαδίκτυο]. PHI Learning; 2002. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=WK45wLHL-ycC>
48. Holdsworth B. Digital Logic Design [Διαδίκτυο]. Elsevier Science; 2014. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=DxGjBQAAQBAJ>
49. Susnea I, Mitescu M. Microcontrollers in Practice [Διαδίκτυο]. Springer Berlin Heidelberg; 2005. (Springer Series in Advanced Microelectronics). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=w2jkplqMig0C>
50. Cook M. Arduino Music and Audio Projects [Διαδίκτυο]. Apress; 2015. (Technology in action series). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=kK1PCwAAQBAJ>
51. RAYSTAR OPTRONICS. RC4002A Character 40x2 [Διαδίκτυο]. Διαθέσιμο στο: [https://www.raystar-optronics.com/upload\\_files/monochrome-lcd-module/40x2-character-lcd-display/RC4002A-datasheet.pdf](https://www.raystar-optronics.com/upload_files/monochrome-lcd-module/40x2-character-lcd-display/RC4002A-datasheet.pdf)
52. RAYSTAR OPTRONICS. RC4002A-BIY-ESV [Διαδίκτυο]. Διαθέσιμο στο: <https://www.tme.eu/Document/aa2bbef2125acf825a5292cbfdcf9720/RC4002A-BIY-ESV.pdf>
53. Garg RK, Dixit A, Yadav P. Basic Electronics [Διαδίκτυο]. Laxmi Publications Pvt Limited; 2008. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=9SOdnsHA2IYC>
54. GANGULY PK. PRINCIPLES OF ELECTRONICS [Διαδίκτυο]. Prentice Hall India Pvt., Limited; 2015. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=8fmUCgAAQBAJ>
55. Birtalan D, Nunley W. Optoelectronics: Infrared-Visible-Ultraviolet Devices and Applications, Second Edition [Διαδίκτυο]. CRC Press; 2018. (Optical Science and Engineering). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=5CG6wLXq5X8C>
56. FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. MOC3021 6-PIN DIP RANDOM-PHASE Optoisolators Triac Driver Output (400 Volts Peak) [Διαδίκτυο]. Διαθέσιμο στο: <https://www.farnell.com/datasheets/97984.pdf>

57. STMicroelectronics NV. Controlling a Triac with a phototriac [Διαδίκτυο]. Διαθέσιμο στο: [https://www.st.com/resource/en/application\\_note/an5114-controlling-a-triac-with-a-phototriac-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/application_note/an5114-controlling-a-triac-with-a-phototriac-stmicroelectronics.pdf)
58. Monmasson E. Power Electronic Converters: PWM Strategies and Current Control Techniques [Διαδίκτυο]. Wiley; 2013. (ISTE). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=5vTtWUOn60AC>
59. Hyder K, Perrin B. Embedded Systems Design using the Rabbit 3000 Microprocessor: Interfacing, Networking, and Application Development [Διαδίκτυο]. Elsevier Science; 2005. (Embedded technology series). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=C0U5JeHmYMAC>
60. Jones CT. Programmable Logic Controllers: The Complete Guide to the Technology [Διαδίκτυο]. Patrick-Turner Publishing; 1998. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=AuMzoz90j10C>
61. Marston RM. Power Control Circuits Manual [Διαδίκτυο]. Elsevier Science; 2016. Διαθέσιμο στο: [https://books.google.gr/books?id=z\\_b8BAAAQBAJ](https://books.google.gr/books?id=z_b8BAAAQBAJ)
62. Castilla M. Control Circuits in Power Electronics: Practical Issues in Design and Implementation [Διαδίκτυο]. Institution of Engineering and Technology; 2016. (IET power and energy series). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=RqdcAQAACAAJ>
63. He J. Metal Oxide Varistors: From Microstructure to Macro-Characteristics [Διαδίκτυο]. Wiley; 2019. Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=gHWFDwAAQBAJ>
64. McElroy DL, Kimpflen JF. Insulation Materials, Testing, and Applications [Διαδίκτυο]. ASTM; 1990. (ASTM STP 1030). Διαθέσιμο στο: <https://books.google.gr/books?id=2QxVINDIKvwC>
65. John Britt. The Complete Guide to High-Fire Glazes. Lark Books; 2007.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παρατίθενται χρήσιμες πληροφορίες για την ορθή λειτουργία του φούρνου ,ο κώδικας, κάποιοι επεξηγηματικοί πίνακες για το κατασκευαστικό μέρος της εργασίας και τέλος η βιβλιογραφία με τις αναφορές.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ, ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΡΘΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

### ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Οι δυνατότητες του φούρνου πορσελάνης:

- Οθόνη LCD 80 χαρακτήρων(2x40).
- Πληκτρολόγιο 25 πλήκτρων.
- 96 προγραμματιζόμενοι κύκλοι όπτησης.
- 50 ενδεικτικά προγράμματα στην διάθεση του χρήστη.
- 18 παράμετροι σε κάθε κύκλο.
- Εγγραφή ονόματος σε κάθε πρόγραμμα με 37 χαρακτήρες(ελληνικά-λατινικά).
- Ονομαστικός κατάλογος προγραμμάτων.
- Επιλογή και εκτέλεση προγράμματος με το όνομα του ή αριθμό.
- Ρολόι πραγματικού χρόνου.
- Συνεχείς ένδειξη θερμοκρασίας – πίεσης – χρόνου.
- Αυτόματη συνέχιση του κύκλου μετά από διακοπή τάσης.
- Έλεγχος του μούφλου κατά την εκτέλεση του προγράμματος.
- Άμεση θέρμανση του θαλάμου.
- Έλεγχος καταστροφής θερμοζεύγους από την χρήση.
- Έλεγχος στάθμης.
- Έλεγχος γείωσης και διαρροών.
- Παρουσίαση μετρήσεων και στοιχείων λειτουργίας για την εύκολη συντήρηση.

### ΤΕΧΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

#### ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ/ΒΑΡΟΣ

- Μήκος : 300 mm
- Βάθος : 340 mm
- Ύψος : 520 mm
- Βάρος συσκευής : 17 kg
- Θάλαμος όπτησης εσωτερική διάμετρος : 100mm , ύψος:60mm
- Θερμοκρασία θαλάμου όπτησης : θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι 1200°C
- Χρώμα: Γκρι-Άσπρο
- Υλικό κατασκευής: Ατσάλι, Αλουμίνιο

## ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΟΝ ΘΑΛΑΜΟ

- Ηλεκτρική σύνδεση : 230 Volt AC , 50 Hz
- Κατανάλωση ισχύς : 1500 W

### ΑΝΤΛΙΑ ΚΕΝΟΥ

- Ηλεκτρική σύνδεση : 230 Volt AC, 50 Hz
- Κατανάλωση ισχύς : 0,25 HP, μέγιστη 200 W
- Τελικό κενό: <990 m bar
- Διαστάσεις;
- Βάρος: 13 kg

### ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

- Για χρήση σε εσωτερικό χώρο.
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος: 2°C μέχρι 45°C
- Σχετική υγρασία: 80% στους 31°C
- Μέγιστο υψόμετρο: μέχρι 2000m από το επίπεδο της θάλασσας.
- Οι διακυμάνσεις στην ονομαστική τάση να μην είναι μεγαλύτερες από +/- 15% από την ονομαστική τάση.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΡΘΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

### ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΡΣΕΛΑΝΗΣ

Ο κύκλος όπτησης μέσα σε ένα φούρνο πορσελάνης έχει εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια σε μια ιδιαίτερα σύνθετη διαδικασία. Οι διάφοροι τύποι πορσελάνης και μετάλλων, έχουν ο κάθε ένας τις δικές του ιδιαιτερότητες και απαιτούν μια ιδιαίτερη θερμική κατεργασία. Ένας πλήρης κύκλος όπτησης περιλαμβάνει επτά διαφορετικές φάσεις ,κάθε μια από τις οποίες χρειάζεται για μια συγκεκριμένη φυσική διεργασία, διαφορετική από τις υπόλοιπες. Κάθε φάση καθορίζεται με μια σειρά από **παραμέτρους** όπως ο **χρόνος** (ή διάρκεια) , η **θερμοκρασία**, ο **ρυθμός ανόδου** της θερμοκρασίας και η **στάθμη κενού**.

### Η ΞΗΡΑΝΣΗ

Η φυσική διεργασία αυτής της φάσης είναι απλά η εξάτμιση του νερού ή του υγρού ανάμιξης από την μάζα της πορσελάνης. Η εξάτμιση πρέπει να γίνει σε ένα περιβάλλον χαμηλής θερμοκρασίας(90°C-140°C ) έτσι ώστε να αποφευχθεί η εκρηκτική ανάπτυξη ατμού που σπάει την χτισμένη πορσελάνη. Το καλύτερο περιβάλλον για να γίνει η εξάτμιση είναι η θερμοκρασία που ακτινοβολείται σε μία απόσταση 6-10ε εκ. Από το ανοιχτό στόμιο του φούρνου με εσωτερική θερμοκρασία 500°C – 600°C. Στη θέση αυτή η εργασία θα πρέπει να παραμείνει για επαρκή χρόνο, έτσι ώστε να ολοκληρωθεί η εξάτμιση. Ο χρόνος αυτός είναι 5-6 λεπτά για πορσελάνη πάχους μέχρι 1 mm και ανεβαίνει μέχρι τα 8-9 λεπτά για πιο παχιά στρώματα πορσελάνης. Στα γυαλίσματα ο χρόνος μπορεί να είναι 2-3 λεπτά.

Στον **φούρνο πορσελάνης** η ξήρανση γίνεται στο σημείο που η πόρτα του θαλάμου είναι εντελώς ανοιχτή. Για θερμοκρασία θαλάμου 600°C η θερμοκρασία στο σημείο ξήρανσης είναι περίπου 130°C.

- Παράμετρος στην φάση ξήρανσης είναι η **διάρκεια** της (χρόνος ξήρανσης). Ο χρόνος ξήρανσης μπορεί να ρυθμιστεί από 0 έως 20 λεπτά. Μηδενική διάρκεια σημαίνει ότι ο φούρνος θα πρέπει να παραλείψει την φάση αυτή ( όπως για παράδειγμα, στην οξείδωση μετάλλου).

## Η ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΣΗ

Όλες οι πορσελάνες έχουν σαν συστατικό τους , σε πολύ μικρές ποσότητες οργανικές ύλες. Κατά την θερμική διεργασία της πορσελάνης, θα πρέπει οι προσμίξεις αυτές να οξειδωθούν (να καούν), έτσι ώστε να επιτευχθεί ο σωστός χρωματισμός που προκύπτει από το χρωματολόγιο. Η οξείδωση των οργανικών προσθέτων απαιτεί αφενός περιβάλλον οξυγόνου (ατμοσφαιρικού αέρα) και αφετέρου θερμοκρασία που να κυμαίνεται από 350°C-550°C. Όπως είναι φυσικό, η καύση των οργανικών προσθέτων μπορεί να γίνει και σε μεγαλύτερη θερμοκρασία, όμως στην περίπτωση αυτή θα έχουμε υαλοποίηση της πορσελάνης επιφανειακά που θα εμποδίσει στην συνέχεια την αφαίρεση του ατμοσφαιρικού αέρα που είναι εγκλωβισμένος στο εσωτερικό της.

Η οξείδωση των οργανικών προσθέτων γίνεται στον φούρνο πορσελάνης με την τοποθέτηση της εργασίας πολύ κοντά στην είσοδο του θαλάμου ή ακόμα και μέσα αλλά με την πόρτα έστω και λίγο ανοικτή, έτσι ώστε να επιτύχουμε την επιθυμητή θερμοκρασία σε περιβάλλον ατμοσφαιρικού αέρα. Στην θέση αυτή η εργασία θα πρέπει να παραμείνει 2 μέχρι 3 λεπτά.

Στον **φούρνο πορσελάνης** η οξείδωση των οργανικών ουσιών( προθέρμανση) , έχει 2 παραμέτρους:

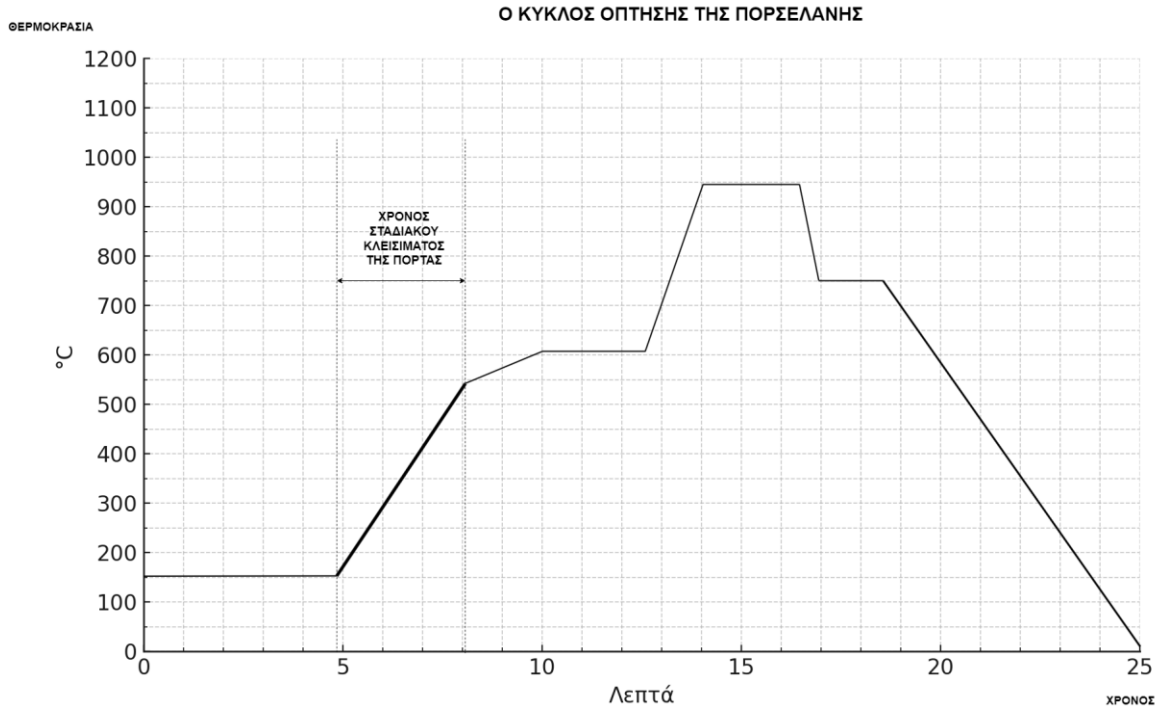
- **Την θερμοκρασία προθέρμανσης.** Ο φούρνος ανάλογα με την θερμοκρασία που υπάρχει στο εσωτερικό του θαλάμου, ανεβάζει αυτόματα την πόρτα στην κατάλληλη θέση που θα φέρει την εργασία στο επιθυμητό θερμοκρασιακό περιβάλλον.
- **Τον χρόνο προθέρμανσης.** Ο χρόνος (διάρκεια) προθέρμανσης μπορεί να ρυθμιστεί από 0 μέχρι 5 λεπτά. Μηδενική διάρκεια προθέρμανσης σημαίνει ότι ο φούρνος θα πρέπει να παραλείψει την φάση αυτή(όπως για παράδειγμα στην οξείδωση μετάλλου).

## ΤΟ ΣΤΑΔΙΑΚΟ ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΤΗΣ ΠΟΡΤΑΣ

Στην φάση αυτή ,έχουμε την δυνατότητα να επιτύχουμε την ομοιόμορφη διαστολή στο σώμα **σκληρής πορσελάνης**. Η φυσική αυτή διεργασία μπορεί να έχει κάποια χρησιμότητα όταν βάζουμε στον φούρνο πορσελάνη που έχει ήδη περάσει από κύκλο όπτησης (για παράδειγμα όταν κολλάμε ένα ραγισμένο σημείο) και ταυτόχρονα έχουμε σημεία με μεγάλο πάχος πορσελάνης. Αυτής σε υψηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει ανομοιόμορφη διαστολή(μεγάλη στην επιφάνεια και μικρότερη στις εσωτερικές μάζες), με αποτέλεσμα πιθανή ρηγμάτωση. Η διαδικασία αυτή δεν χρειάζεται στην συνηθισμένη διαδικασία όπτησης, καθώς η πορσελάνη σε κατάσταση σκόνης δεν έχει προβλήματα διαστολής και ταυτόχρονα προστατεύει τα εσωτερικά σκληρά στρώματα. Για παράδειγμα, το χτισμένο σώμα, απορροφά το θερμικό σοκ της απότομης εισόδου της εργασίας σε περιβάλλον θερμοκρασίας 600°C προστατεύοντας την βαφή που είναι ήδη σε σκληρή κατάσταση.

Στον φούρνο πορσελάνης η ομοιόμορφη διαστολή επιτυγχάνεται με σταδιακό ανέβασμα της πόρτας( η πόρτα ανεβαίνει με μικρά βήματα παραμένοντας κάποιο χρονικό διάστημα σε κάθε θέση).

- Παράμετρος στην φάση του σταδιακού κλεισίματος, είναι η **διάρκεια** της (χρόνος σταδιακού κλεισίματος, μπορεί να ρυθμιστεί από 0 μέχρι 20 λεπτά. Μηδενική διάρκεια σημαίνει ότι ο φούρνος θα πρέπει να παραλείψει την φάση αυτή.



Εικόνα 4-1 Ο κύκλος όπτησης του φούρνου πορσελάνης

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Ο φούρνος δεν μπορεί να εκτελέσει σε ένα κύκλο θερμικής κατεργασίας την φάση της προθέρμανσης και την φάση του σταδιακού κλεισίματος μαζί.

## Η ΟΠΤΗΣΗ

Στην φάση αυτή η πορσελάνη ρευστοποιείται, και οι κόκκοι της συνενώνονται δίνοντας σαν αποτέλεσμα την γνωστή όψη της συμπαγούς πορσελάνης. Η θερμοκρασία ρευστοποίησης της πορσελάνης δεν είναι συγκεκριμένη όπως συμβαίνει με τα κρυσταλλικά σώματα ( τα μέταλλα για παράδειγμα, είναι κρυσταλλικά σώματα). Η πορσελάνη σαν άμορφο, περνά από την στερεά στην υγρή φάση μέσα σε μία μεγάλη περιοχή θερμοκρασιών. Μία τυπική περιοχή για τις περισσότερες πορσελάνες μεταλλοκεραμικής είναι από 620°C μέχρι 980°C. Η ιδιότητα της πορσελάνης για σταδιακή μετάβαση από την **στερεά** (σκληρή) **φάση** στην **πλαστική φάση** και τέλος στην **υγρή** (ρευστή) **φάση**, είναι αυτή που επιτρέπει ένα μεγάλο αριθμό συνδυασμών, μεταξύ ρυθμού ανόδου θερμοκρασίας, τελικής θερμοκρασίας και συνολικού χρόνου παραμονής, για επίτευξη της σωστής συνένωσης των κόκκων της πορσελάνης αλλά και την διατήρηση του σχήματος που έχει δοθεί κατά το χτίσιμο(να μην “τρέξει”).(65)

Στον **φούρνο πορσελάνης**, η φάση της ρευστοποίησης (όπτησης) της πορσελάνης έχει 4 παραμέτρους:

- **Την χαμηλή θερμοκρασία.** Είναι η θερμοκρασία που πρέπει να έχει ο φούρνος την στιγμή που η πορσελάνη εισάγεται στο θάλαμο.
- **Την υψηλή θερμοκρασία.** Είναι η θερμοκρασία που θα φθάσει ο θάλαμος για να ολοκληρωθεί η όπτηση της πορσελάνης.
- **Τον ρυθμό ανόδου** της θερμοκρασίας. Ο ρυθμός ανόδου εκφράζει το πόσο γρήγορα θα ανέβει η θερμοκρασία του φούρνου και μετριέται σε βαθμούς Κελσίου ανά λεπτό (°C/MIN).
- **Τον συνολικό χρόνο παραμονής** στην υψηλή θερμοκρασία. Είναι ο χρόνος που πρέπει να μείνει η πορσελάνη μέσα στο θάλαμο μόλις αυτός φθάσει στην υψηλή θερμοκρασία.

## Η ΑΠΟΘΕΡΜΑΝΣΗ

Στη φάση αυτή, η πορσελάνη ψύχεται γρήγορα μέχρι μία θερμοκρασία στην περιοχή των 850°C και παραμένει στην θερμοκρασία αυτή για ένα χρονικό διάστημα. Στην θερμοκρασία αυτή έχουμε το φαινόμενο της *δεύτερης μεγίστης κρυστάλλωσης* κατά την οποία ένα ποσοστό της πορσελάνης μετατρέπεται σε λουσίτη. Ο λουσίτης είναι υλικό με κανονική κρυσταλλική δομή και με περίπου **διπλάσιο θερμικό συντελεστή διαστολής** από την πορσελάνη. Έτσι σε περίπτωση που για παράδειγμα, αναπτυχθεί λουσίτης σε ποσοστό 5% σε μια πορσελάνη με θερμικό συντελεστή διαστολής  $14 \cdot 10^{-6}$ , ο τελικός θερμικός συντελεστής του μίγματος πορσελάνης-λουσίτη θα είναι  $14,7 \cdot 10^{-6}$ . Μπορούμε συνεπώς με την διαδικασία αυτή να αυξήσουμε **τον θερμικό συντελεστή διαστολής της πορσελάνης**, στην περίπτωση που το μέταλλο που χρησιμοποιούμε έχει μεγαλύτερο αντίστοιχο συντελεστή.

Ο φούρνος πορσελάνης ελέγχει την φάση της μεγίστης δεύτερης κρυστάλλωσης (αποθέρμανσης) με δυο παραμέτρους:

- **Την θερμοκρασία αποθέρμανσης.** Συνήθως η θερμοκρασία αυτή είναι 850°C. Μπορούμε όμως να επιλέξουμε όποια άλλη θερμοκρασία θέλουμε σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή της πορσελάνης.
- **Τον χρόνο αποθέρμανσης.** Ο χρόνος (διάρκεια) αποθέρμανσης, επιδρά στο ποσοστό λουσίτη που θα αναπτυχθεί (μεγαλύτερος χρόνος, περισσότερος λουσίτης). Μια καλή προσέγγιση είναι αύξηση του θερμικού συντελεστή κατά  $0,5 \cdot 10^{-6}$  για κάθε 01:30 λεπτά παραμονής.

Μηδενική διάρκεια αποθέρμανσης, σημαίνει ότι ο φούρνος θα πρέπει να παραλείψει την φάση αυτή.

## ΤΟ ΣΤΑΔΙΑΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ ΤΗΣ ΠΟΡΤΑΣ

Στην φάση αυτή, έχουμε την δυνατότητα να επιτύχουμε την ομοιόμορφη συστολή στο σώμα **σκληρής** πορσελάνης. Η φυσική αυτή διεργασία μπορεί να έχει κάποια χρησιμότητα μόνο σε εργασίες με πολύ παχύ στρώμα πορσελάνης. Πρέπει όμως να χρησιμοποιείται πολύ προσεκτικά γιατί το αργό κρύωμα στις θερμοκρασίες μέχρι 620°C που η πορσελάνη είναι ακόμα ενδοτική (δεν έχει σκληρύνει) ευνοεί την ανάπτυξη λουσίτη και επιδρά στον θερμικό συντελεστή διαστολής.

Στον φούρνο πορσελάνης η ομοιόμορφη συστολή επιτυγχάνεται με σταδιακό κατέβασμα της πόρτας(η πόρτα κατεβαίνει με μικρά βήματα παραμένοντας κάποιο χρονικό διάστημα σε κάθε θέση).

Παράμετρος στην φάση σταδιακού ανοίγματος είναι **η διάρκειά της** (χρόνος σταδιακού ανοίγματος της πόρτας). Ο χρόνος(διάρκεια) σταδιακού ανοίγματος μπορεί να ρυθμιστεί από 0 μέχρι 20 λεπτά. Μηδενική διάρκεια σημαίνει ότι ο φούρνος θα πρέπει να παραλείψει την φάση αυτή.

## ΤΟ ΚΕΝΟ

Το κενό δεν αποτελεί από μόνο του μια ιδιαίτερη φάση κατά την θερμική κατεργασία της πορσελάνης. Είναι μάλλον μια παράμετρος (όπως η θερμοκρασία και ο χρόνος) που συμπληρώνει τις δυο προηγούμενες φάσεις της **προόπτωσης** και της **όπτωσης**.

Αν εξαιρέσουμε τα γυαλίσματα και τις οξειδώσεις ορισμένων μετάλλων σε όλες τις άλλες περιπτώσεις ο κύκλος όπτωσης γίνεται σε κενό. Το κενό δημιουργείται με αφαίρεση **του αέρα** που υπάρχει στο θάλαμο με την βοήθεια μιας αντλίας. Σε κάποιο σημείο της διαδικασίας, ο κενό(και η αντλία) σταματάει και στον θάλαμο εισάγεται αέρας με την βοήθεια μιας ηλεκτρικής βαλβίδας.

Όπως αναφέρθηκε στην φάση της προόπτωσης, η αφαίρεση του αέρα είναι αυτή που καθορίζει την συρρίκνωση της πορσελάνης αλλά και την διαφάνεια της. Η δημιουργία κενού στον θάλαμο, είναι μια λειτουργία που εξελίσσεται παράλληλα με τον κύκλο θέρμανσης. Το κενό ελέγχεται( ξεκινάει και σταματά) από συγκεκριμένες θερμοκρασίες.

Ο **φούρνος πορσελάνης** έχει συνολικά 4 παραμέτρους για τον έλεγχο του κενού:

- **Την Στάθμη του Κενού.** Συνήθως η στάθμη του κενού είναι η μέγιστη δυνατή με την αντλία που χρησιμοποιούμε, δηλαδή 0,99 Bar (-74 cm Hg). Σε μερικές περιπτώσεις χρειάζεται μικρότερο επίπεδο κενού, βεβαιωθείτε όμως για αυτό από τις οδηγίες του κατασκευαστή της πορσελάνης ή του μετάλλου.
- **Την θερμοκρασία έναρξης του κενού.** Συνήθως η θερμοκρασία αυτή είναι η ίδια με την χαμηλή θερμοκρασία της φάσης όπτωσης, με άλλα λόγια, το κενό αρχίζει αμέσως μόλις κλείσει η πόρτα του θαλάμου. Σε μερικές περιπτώσεις το κενό δεν πρέπει να ξεκινήσει αμέσως αλλά μόλις η θερμοκρασία του θαλάμου ανέβει σε συγκεκριμένη τιμή.
- **Την θερμοκρασία τέλους του κενού.** Το τέλος του κενού (εισαγωγή αέρα) γίνεται συνήθως μόλις ο θάλαμος φθάσει στην υψηλή θερμοκρασία της φάσης όπτωσης. Σε αρκετές πορσελάνες η θερμοκρασία τέλους κενού είναι χαμηλότερη από την υψηλή θερμοκρασία, πρέπει δηλαδή να μπει αέρας στον θάλαμο λίγο πριν αυτός φθάσει στην τελική θερμοκρασία.
- **Τον χρόνο παραμονής με κενό** στην υψηλή θερμοκρασία. Αν η θερμοκρασία τέλους του κενού είναι η υψηλή θερμοκρασία του κύκλου όπτωσης, τότε η εισαγωγή αέρα μπορεί να γίνει:
  - 1) στην αρχή του χρόνου παραμονής.
  - 2) Στο τέλος του χρόνου παραμονής.
  - 3) Ενδιάμεσα στο χρόνο παραμονής

Τον ακριβή χρόνο εισαγωγής αέρα στην υψηλή θερμοκρασία, τον καθορίζουμε με τον χρόνο *παραμονής με κενό*.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Το STK500 είναι ένα αναπτυξιακό που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο των μικροελεγκτών AVR της Atmel. Αποτελεί ένα εργαλείο ανάπτυξης που παρέχει πολλές δυνατότητες για τον προγραμματισμό, την ανάπτυξη και τον έλεγχο εφαρμογών που τρέχουν σε μικροελεγκτές AVR.

Το STK500 συνδέεται με έναν υπολογιστή μέσω διάφορων διεπαφών, συμπεριλαμβανομένων των σειριακών θυρών (RS232) και USB. Χρησιμοποιώντας το AVR Studio ή άλλο λογισμικό

προγραμματισμού, ο προγραμματιστής μπορεί να φορτώσει τον κώδικά του στον μικροελεγκτή AVR που βρίσκεται στο STK500.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του κώδικα στον υπολογιστή είναι το AVR Studio 4. Με το AVR Studio, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν εφαρμογές για μικροελεγκτές AVR με ευκολία και αξιοπιστία, να τις ελέγξουν και να τις αναπτύξουν πλήρως πριν την εγκατάσταση σε πραγματικές συσκευές.

Παρακάτω παραθέτω τα πιο σημαντικά μέρη του κώδικα καθώς και ένα διάγραμμα ροής για περαιτέρω κατανόηση του.

### **Κώδικας:**

```
.NOLIST

.include "macro.asm"
.include "m32def.inc"
.include "RAM.asm"
.include "STAUERES.asm"
.include "VECTORS.asm"
.include "ARXHKOPH.asm"
    JMP  ARXH
.include "ext_int.asm" ;ext_int0 ext_int1
.include "LCDSET.asm"
.include "menoy1.asm"
.include "PROG-B5.asm"
.include "METRISH.asm"
.include "RYUMISH.asm"
.include "INPUT.asm"
.include "keybn.asm"
.include "I2C.asm"
.include "EKTEL-B5.asm"
.include "PID.asm"
.include "PAROYSIA.asm"
.include "SAV_LOA.asm"
.include "ROLOI.asm"
.include "ANAL-LM1.asm"
.include "ARITHMIT.asm"
.include "MVOLT.asm"
.include "PINAKAs.asm"
.include "PORTA.asm"
.include "NAME_EDI.asm"
.include "VACUM.asm"
ARXH:
    ;LDI  R18,LOW(284)
    ;LDI  R19,HIGH(284)
    ;STX2 OFSET_KENO,R19,R18

    ;LDIY 284
    ;STX2 OFSET_KENO,YH,YL

    SBI  DDRD,1
    CBI  PORTB,1
```

```
;LDIX EPR_DIATHR
```

```
LOCATE 1,0
PRINTS M_KEL
RCALL CLR_ERR
call PARKATO
CALL RD_BAT
ldi r16,64
```

```
arxh001:
push r16
call keyb
call PARKATO;analog
CALL RD_BAT
pop r16
dec r16
brne arxh001 ;APOKATASTASH TASEVN
```

```
RCALL CLR_ERR
LDI XL,R_BATTERY
CALL EX_LD
CPI R16,45
BREQ BAT_OK
```

```
BAT_ER1:
CALL BEA
CALL MPATARIA
```

```
BAT_OK:
LDI R17,45
LDI XL,R_BATTERY
CALL EX_ST ;SAVE RAM
CALL TEST_OFFSET ;LOAD V_TEST,U_TEST,OFFSET_TH,OFFSET_LM,,VAC
```

```
ARXH000:
```

```
ARXH01:
```

```
ARXH03:
```

```
ARXH04:
```

```
ARXH05:
```

```
ARXH06:
```

```
ARXH09:
```

```
rcall TASH_L
;LDI R16,LOW(550)
;LDI R17,HIGH(550)
;ST2 TU,R17,R16
;LDIX 550
;STY2 TU,XH,XL
LDI R17,'A'
STZ KATASTASH,R17
LDX2 R17,R16,U_DIATHR
STX2 TU,R17,R16
JMP MENOY
```

```
TASH_L:
```



```

CALL AC_L
RCALL VAC_HI
BRCC TASH_LH_OK ;IF AC>180 THEN GOTO TASH OK
RJMP TASH_N
TASH_LH_OK:
CALL AC_N
RCALL VAC_LO ;IF AC<10 THEN GOTO TASH OK
BRCC TASEIS_OK
RJMP ERR_GEIVSH
TASH_N:
CALL AC_N
RCALL VAC_HI
BRCC TASH_NH_OK ;IF AC>180 THEN GOTO TASH OK
RJMP ERR_GEIVSH
TASH_NH_OK:
CALL AC_L
RCALL VAC_LO ;IF AC<10 THEN GOTO TASH OK
BRCC TASEIS_OK0
RJMP ERR_GEIVSH

TASEIS_OK0:
CALL AC_L
RCALL VAC_LO
BRCC TASEIS_OK1 ;IF AC<10 THEN GOTO TASH OK1

TASEIS_OK:
CBI PORTB,7
ret ;JMP MENOY
TASEIS_OK1:
M_MPRIZA: ;0123456789012345
.DB "mpriza anapoda !"
LOCATE 1,0
PRINTS M_MPRIZA
RJMP ERR_GEIVSH1

ERR_GEIVSH:
M_GHVSHL: ;0123456789012345
.DB "elleich geivshs "
LOCATE 1,0
PRINTS M_GHVSHL
;LOCATE 1,0
;PRINT2 AC,3,0,'
ERR_GEIVSH1:
CALL U_TIME
CALL BE
CALL KEYB
CPI R16,'C'
BREQ ERR_GEIVSH2
CALL KEYB
CPI R16,'C'
BREQ ERR_GEIVSH2

```

```

CALL KEYB
CPI R16,'C'
BREQ ERR_GEIVSH2
RJMP ERR_GEIVSH1
ERR_GEIVSH2:
CBI PORTB,7
ret ;JMP MENOY

VAC_HI:
LD2 R17,R16,AC
LDI R18,LOW(180)
LDI R19,HIGH(180)
CP R16,R18
CPC R17,R19
RET

VAC_LO:
LD2 R17,R16,AC
LDI R18,LOW(10)
LDI R19,HIGH(10)
CP R18,R16
CPC R19,R17
RET

;=====
ERRORS:
ret
LDX R16,ERRF
CPI R16,0
BREQ ERROR99
CPI R16,1 ; KOMENO+YPERUERM
BRNE ERROR1
RJMP KOMENO_TH

ERROR1:
ret
CPI R16,2 ; YPERUERM
BRNE ERROR99
RJMP YPERUERMA

ERROR99:
RET

YPERUERMA:
RCALL CLR_ERR
M_YPERUE:
.DB "yperhermansh !!! "
locate 1,0
prints M_YPERUE
RJMP KOMENO_TH1

KOMENO_TH:
RCALL CLR_ERR
M_KOMENO1:
.DB "uermozeygos komeno "
locate 1,0

```

```
prints M_KOMENO1
KOMENO_TH1:
    CALL BE
    CALL ANALOG
    LOCATE 2,0
    PRINT_TIME

;PRINT_T2 ''''
LDI R16,0x20
OUT LCD,R16
call LCDDAT
LDI R16,0x20
OUT LCD,R16
call LCDDAT
;PRINT2 UDIS,5,0,''
LOCATE 2,14
;PRINT_T2 0B11011111,'C'
LDI R16,0xdf
OUT LCD,R16
call LCDDAT
LDI R16,0x43
OUT LCD,R16
call LCDDAT

CALL KEYB
CPI R16,'5'
breq arxhkophhsh
RJMP ERRORS
```

```
arxhkophhsh:
;LD2 R17,R16,tst
cls
ldi r16,18
clr r17
LDI R18,100
CALL MUL10 ;R14,15=R16,17*R18
LD2 R19,R18,VLM
SUB R18,R14
SBC R19,R15
MOV R17,R18
LDI XL,LOW(OFF_LM)
LDI XH,HIGH(OFF_LM)
CALL EX_SAVE
ADIW XL,1
CALL D15MS;PAF
MOV R17,R19
CALL EX_SAVE
CALL D15MS;PAF
```

```
LD2 R19,R18,VTH
MOV R17,R18
```

```

LDI XL,LOW(OFF_TH)
LDI XH,HIGH(OFF_TH)
CALL EX_SAVE
ADIW XL,1
CALL D15MS;PAF
MOV R17,R19
CALL EX_SAVE
CALL D15MS;PAF
;RYUMIL101:
;INPUT 1,6,T_TESTH,4,1060
;LD2 R17,R16,T_TESTH
LDI R17,HIGH(960)
LDI R16,LOW(960)
st2 T_TEST,r17,r16
CALL T_MVCONV
ST2 V_TEST,R17,R16
LD2 R19,R17,T_TEST

LDI XL,LOW(TEST)
LDI XH,HIGH(TEST)
CALL EX_SAVE
ADIW XL,1
CALL D15MS;PAF
MOV R17,R19
CALL EX_SAVE
ADIW XL,1
CALL D15MS;PAF

LDI YL,LOW(V_TEST)
LDI YH,HIGH(V_TEST)
LD R17,Y+
CALL EX_SAVE
ADIW XL,1
CALL D15MS;PAF
LD R17,Y+
CALL EX_SAVE
ADIW XL,1
CALL D15MS;PAF
RJMP ERRORS
CLR_ERR:
CLR R16 ;-----
STX ERRF,R16 ;-----
STX POWER,R16
RET
;01234567890123456789012345678901234567890
;1234567890123456789012345678901234567890
;XRONOS JHRANSHS 00:00
;UERMOKRASIA PROUERNANSHS 1200qC
;XRONOS PROUERMANSHS 00:00
;XRONOS ANODOY THS PORTAS 00:00
;XAMILH UERMOKRASIA 1200qC
;YCILH UERMOKRASIA 1200qC

```

```

;RYUMOS ANODOY          120qC/L
;STAUMH KENOY           -0.99 Bar
;UERMOKRASIA ARXHS KENOY 1200qC
;UERMOKRASIA TELOYIS KENOY 1200qC
;XRONOS PARAMONHS      00:00
;XRONOS PARAMONHS ME KENO 00:00
;UERMOKRASIA APOUERMANSHS 1200qC
;XRONOS APOUERMANSHS   00:00
;XRONOS KAUDOY THS PORTAS 00:00
;0123456789012345678901234567890123456789
;      00:00:00      1200.0qC
;ANOIGMA PORTAS..... 1200.0qC
; JHRANSH 00:00      1200.0qC
;ANEBASMA PORTAS 00:00      1200.0qC
; PROUERMANSH 00:00      1200.0qC
;KLEISIMO PORTAS..... 1200.0qC
; ANODOS STOYS 1000qC -0.90Bar 1200.0qC
;PARAMONH ME KENO 00:00 -0.90Bar 1200.0qC
; PARAMONH 00:00      1200.0qC
; APOUERMANSH 00:00      1200.0qC
;KATEBASMA PORTAS 00:00      1200.0qC

```

U\_TIME:

```

RCALL PRI_BAR_UDIS
CALL PID_999
LDZ      R16,FLG_PRINT_T
CPI  R16,1
BREQ U_TIME_C
RET

```

U\_TIME\_C:

```

CLR      R16
STZ      FLG_PRINT_T,R16
LDX      R16,FLG_EKTELESH
CPI      R16,'R'
BRNE U_TIME_C1
CALL PRINT_XRONOM
ret

```

U\_TIME\_C1:

```

LOCATE 2,24
PRINT_TIME
LDX  R16,FLG_ANAMONH
CPI  R16,'W'
BREQ U_TIME_C2
rjmp kel_brain
;RET

```

U\_TIME\_C2:

```

LDX  R16,LCD_TIMER
CPI  R16,3
BRCS U_TIME_C3
LOCATE 2,0
CALL CLS_25
locate 2,0
PRINT1  APROG,3,0,'0'

```

```
LOCATE 2,4
CALL PRINTS_RAM
```

```
RET
```

```
U_TIME_C3:
```

```
locate 2,4
prints M_PATISTE_S
RET
```

```
PRI_BAR_UDIS:
```

```
CALL ANALOG
LDX R16,FLG_PRINT_U
CPI R16,1
BREQ PRI_BAR_UF1
RET
```

```
PRI_BAR_UF1:
```

```
CLR R16
ST X,R16
LOCATE 2,33
LDI R16,'-' ;0x2d ;'-'
OUT LCD,R16
call LCDDAT
LDI R16,'.' ;0x30 ;'0'
OUT LCD,R16
call LCDDAT
LOCATE 2,35
PRINT1 KENO_M,2,0,'0'
LDI R16,'B';%' ;0x30 ;'0'
OUT LCD,R16
call LCDDAT
LDI R16,'a'
OUT LCD,R16
call LCDDAT
LDI R16,'r'
OUT LCD,R16
call LCDDAT
;LDI R16,'B' ;0x42 ;'B'
```

```
locate 1,32
PRINT2 UDIS,5,1,' '
LDI R16,0xDF ;'qC'
OUT LCD,R16
call LCDDAT
LDI R16,'C'
OUT LCD,R16
call LCDDAT
RET
```

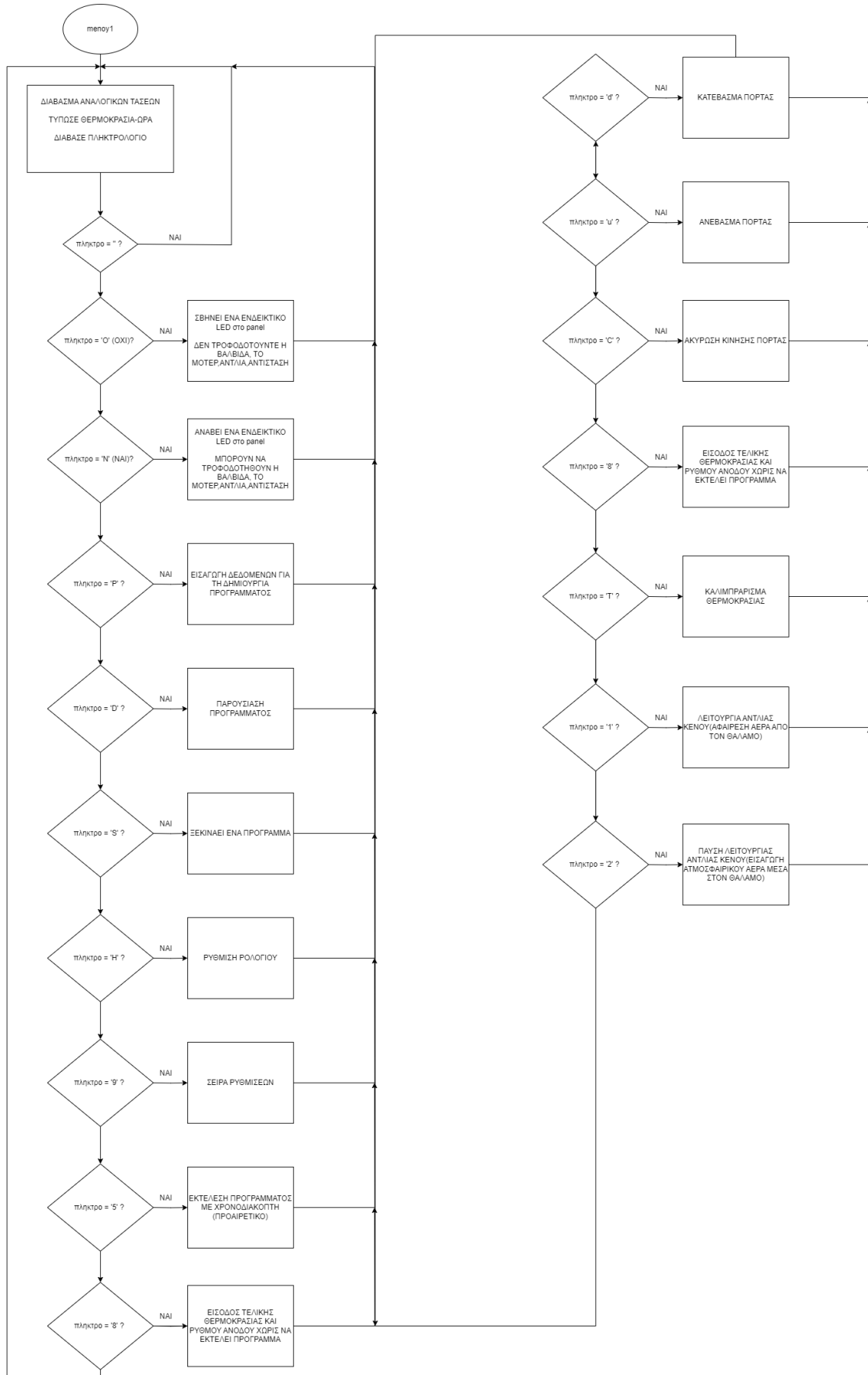
```
kel_brain:
```

```
;locate 2,14
;CALLP_HMERA
```

```
;LDI R16,'Y'
;STX STX FLG_PRI_XRONOM,R16
```

```
LDX      R16,FLG_PRI_XRONOM
CPI      R16,'Y'
BRNE    kel_brain1
RET
kel_brain1:
locate 1,0
LDX     R16,LCD_TIMER
CPI     R16,4
BRCS    kel
prints  M_KEL
ret
kel:
prints  M_BRAIN5
ret
CLS_30:
LDI     R17,32
RJMP    CLS0
CLS_25:
LDI     R17,24
CLS0:
LDI     R16,''
CLS1:
OUT     LCD,R16
call    LCDDAT
DEC     R17
BRNE    CLS1
RET
```

Διάγραμμα ροής:



Εικόνα 4-2 διάγραμμα ροής κώδικα



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4 : ΠΙΝΑΚΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ-ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΟΣ ΤΥΠΟΥ Κ

**REOTEMP**  
INSTRUMENTS

ITS-90 Table for Type K Thermocouple (Ref Junction 0°C) http://reotemp.com

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Thermoelectric Voltage in mV											
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293
350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713
360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133
370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554
380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.849	15.891	15.933	15.975
390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397
400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820
410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243
420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667
430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091
440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Εικόνα 4-3 Πίνακας σχέσης τάσης-θερμοκρασίας για το θερμοζεύγος τύπου Κ από 0°C μέχρι 450 °C

[<https://www.thermocoupleinfo.com/type-k-thermocouple.htm>]

**REOTEMP**  
INSTRUMENTS

ITS-90 Table for Type K Thermocouple (Ref Junction 0°C) http://reotemp.com

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Thermoelectric Voltage in mV</b>											
<b>450</b>	18.516	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941
<b>460</b>	18.941	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366
<b>470</b>	19.366	19.409	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792
<b>480</b>	19.792	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218
<b>490</b>	20.218	20.261	20.303	20.346	20.389	20.431	20.474	20.516	20.559	20.602	20.644
<b>500</b>	20.644	20.687	20.730	20.772	20.815	20.857	20.900	20.943	20.985	21.028	21.071
<b>510</b>	21.071	21.113	21.156	21.199	21.241	21.284	21.326	21.369	21.412	21.454	21.497
<b>520</b>	21.497	21.540	21.582	21.625	21.668	21.710	21.753	21.796	21.838	21.881	21.924
<b>530</b>	21.924	21.966	22.009	22.052	22.094	22.137	22.179	22.222	22.265	22.307	22.350
<b>540</b>	22.350	22.393	22.435	22.478	22.521	22.563	22.606	22.649	22.691	22.734	22.776
<b>550</b>	22.776	22.819	22.862	22.904	22.947	22.990	23.032	23.075	23.117	23.160	23.203
<b>560</b>	23.203	23.245	23.288	23.331	23.373	23.416	23.458	23.501	23.544	23.586	23.629
<b>570</b>	23.629	23.671	23.714	23.757	23.799	23.842	23.884	23.927	23.970	24.012	24.055
<b>580</b>	24.055	24.097	24.140	24.182	24.225	24.267	24.310	24.353	24.395	24.438	24.480
<b>590</b>	24.480	24.523	24.565	24.608	24.650	24.693	24.735	24.778	24.820	24.863	24.905
<b>600</b>	24.905	24.948	24.990	25.033	25.075	25.118	25.160	25.203	25.245	25.288	25.330
<b>610</b>	25.330	25.373	25.415	25.458	25.500	25.543	25.585	25.627	25.670	25.712	25.755
<b>620</b>	25.755	25.797	25.840	25.882	25.924	25.967	26.009	26.052	26.094	26.136	26.179
<b>630</b>	26.179	26.221	26.263	26.306	26.348	26.390	26.433	26.475	26.517	26.560	26.602
<b>640</b>	26.602	26.644	26.687	26.729	26.771	26.814	26.856	26.898	26.940	26.983	27.025
<b>650</b>	27.025	27.067	27.109	27.152	27.194	27.236	27.278	27.320	27.363	27.405	27.447
<b>660</b>	27.447	27.489	27.531	27.574	27.616	27.658	27.700	27.742	27.784	27.826	27.869
<b>670</b>	27.869	27.911	27.953	27.995	28.037	28.079	28.121	28.163	28.205	28.247	28.289
<b>680</b>	28.289	28.332	28.374	28.416	28.458	28.500	28.542	28.584	28.626	28.668	28.710
<b>690</b>	28.710	28.752	28.794	28.835	28.877	28.919	28.961	29.003	29.045	29.087	29.129
<b>700</b>	29.129	29.171	29.213	29.255	29.297	29.338	29.380	29.422	29.464	29.506	29.548
<b>710</b>	29.548	29.589	29.631	29.673	29.715	29.757	29.798	29.840	29.882	29.924	29.966
<b>720</b>	29.965	30.007	30.049	30.090	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341	30.382
<b>730</b>	30.382	30.424	30.466	30.507	30.549	30.590	30.632	30.674	30.715	30.757	30.798
<b>740</b>	30.798	30.840	30.881	30.923	30.964	31.006	31.047	31.089	31.130	31.172	31.213
<b>750</b>	31.213	31.255	31.296	31.338	31.379	31.421	31.462	31.504	31.545	31.586	31.628
<b>760</b>	31.628	31.669	31.710	31.752	31.793	31.834	31.876	31.917	31.958	32.000	32.041
<b>770</b>	32.041	32.082	32.124	32.165	32.206	32.247	32.289	32.330	32.371	32.412	32.453
<b>780</b>	32.453	32.495	32.536	32.577	32.618	32.659	32.700	32.742	32.783	32.824	32.865
<b>790</b>	32.865	32.906	32.947	32.988	33.029	33.070	33.111	33.152	33.193	33.234	33.275
<b>800</b>	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685
<b>810</b>	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093
<b>820</b>	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501
<b>830</b>	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908
<b>840</b>	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313
<b>850</b>	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718
<b>860</b>	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121
<b>870</b>	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524
<b>880</b>	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925
<b>890</b>	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Εικόνα 4-4 Πίνακας σχέσης τάσης-θερμοκρασίας για το θερμοζεύγος τύπου K από 450°C μέχρι 900 °C

[https://www.thermocoupleinfo.com/type-k-thermocouple.htm]



ITS-90 Table for Type K Thermocouple (Ref Junction 0°C)

<http://reotemp.com>

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Thermoelectric Voltage in mV</b>											
<b>900</b>	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.726
<b>910</b>	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124
<b>920</b>	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522
<b>930</b>	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918
<b>940</b>	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314
<b>950</b>	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708
<b>960</b>	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101
<b>970</b>	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494
<b>980</b>	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885
<b>990</b>	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276
<b>1000</b>	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665
<b>1010</b>	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053
<b>1020</b>	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440
<b>1030</b>	42.440	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826
<b>1040</b>	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211
<b>1050</b>	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595
<b>1060</b>	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978
<b>1070</b>	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359
<b>1080</b>	44.359	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740
<b>1090</b>	44.740	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119
<b>1100</b>	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497
<b>1110</b>	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873
<b>1120</b>	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249
<b>1130</b>	46.249	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623
<b>1140</b>	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995
<b>1150</b>	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367
<b>1160</b>	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737
<b>1170</b>	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.105
<b>1180</b>	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473
<b>1190</b>	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838
<b>1200</b>	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202
<b>1210</b>	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565
<b>1220</b>	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926
<b>1230</b>	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286
<b>1240</b>	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644
<b>1250</b>	50.644	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000
<b>1260</b>	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355
<b>1270</b>	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.708
<b>1280</b>	51.708	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060
<b>1290</b>	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410
<b>1300</b>	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.654	52.689	52.724	52.759
<b>1310</b>	52.759	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106
<b>1320</b>	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451
<b>1330</b>	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795
<b>1340</b>	53.795	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138
<b>1350</b>	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479
<b>1360</b>	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819
<b>1370</b>	54.819	54.852	54.886								
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Εικόνα 4-5 Πίνακας σχέσης τάσης-θερμοκρασίας για το θερμοζεύγος τύπου K από 900°C μέχρι 1372 °C