



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ελεγχόμενος Πρότυπος Θάλαμος Ανάπτυξης Φυτών»

Του φοιτητή
Στούπα Φώτιου
Αρ. Μητρώου: 51919m

Επιβλέπων
Χατζόπουλος Αργύριος
Επίκουρος Καθηγητής

Ημερομηνία 02/09/2022

Τίτλος Δ.Ε. : «Ελεγχόμενος Πρότυπος Θάλαμος Ανάπτυξης Φυτών»

Κωδικός Δ.Ε. : 21552

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Στούπας Φώτιος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Χατζόπουλος Αργύριος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. : 03/04/2021

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. : 02/09/2022

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

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

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

Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία συνδυάζει τμήματα των μαθημάτων «Αισθητήρια και Συστήματα μετρήσεων» και «Σχεδιασμός Ενσωματωμένων Συστημάτων» τα οποία και διδάχθηκα στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου ως Μεταπτυχιακός Φοιτητής. Η ενασχόληση μου με τη Διπλωματική Εργασία με βοήθησε να κατανοήσω σε βάθος σημαντικά στοιχεία αυτών των μαθημάτων, τα οποία κατάφερα να συνδυάσω επιτυχώς. Ο λόγος που επέλεξα την συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία είναι πως συνδύαζε θεωρία με πράξη και αυτό μου επέτρεψε να εφαρμόσω στην πράξη τις θεωρητικές γνώσεις που έλαβα από την φοίτηση μου στο Μεταπτυχιακό, σχεδιάζοντας, υπολογίζοντας, κατασκευάζοντας και προγραμματίζοντας τα επιμέρους κομμάτια της Εργασίας ξεκινώντας από το μηδέν.

Περίληψη

Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας είναι ο έλεγχος ενός πρότυπου θαλάμου ανάπτυξης φυτών τοπικά με την χρήση συμβατικού ηλεκτρολογικού αυτοματισμού και απομακρυσμένα με την κατασκευή ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος και την χρήση ενός προγράμματος SCADA. Οι ελεγχόμενες παράμετροι του θαλάμου είναι: θέρμανση – ψύξη, υγρασία και φωτισμός.

Στην τοπική λειτουργία ο θάλαμος ελέγχεται από τον χρήστη μέσω περιστροφικών διακοπών που βρίσκονται στον ηλεκτρολογικό πίνακα του θαλάμου. Η ρύθμιση θέρμανσης – ψύξης και υγρασίας γίνεται αυτόματα από ελεγκτές που είναι τοποθετημένοι στον ηλεκτρολογικό πίνακα ενώ η ρύθμιση του φωτισμού γίνεται χειροκίνητα από τον χρήστη.

Στην απομακρυσμένη λειτουργία ο έλεγχος γίνεται από έναν μικροελεγκτή ο οποίος συλλέγει δεδομένα από αισθητήρια εντός του θαλάμου και τα αποστέλλει σε ένα πρόγραμμα SCADA. Από εκεί ο χρήστης μπορεί να διαβάσει και να επεξεργαστεί τα δεδομένα, να ελέγξει τις παραμέτρους θέρμανσης-ψύξης, υγρασίας και φωτισμού εισάγοντας τις κατάλληλες τιμές ρύθμισης στο πρόγραμμα και να ελέγξει όλα τα κυκλώματα ισχύος του θαλάμου απευθείας.

Τα αποτελέσματα της υλοποίησης της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας είναι η αναβάθμιση του υφιστάμενου θαλάμου προσφέροντας νέες δυνατότητες ελέγχου στον χρήστη. Η αναβάθμιση οφείλεται αφενός στην ανάταξη του ηλεκτρολογικού κυκλώματος (τοπική λειτουργία) του θαλάμου προσφέροντας στον χρήστη μια πιο απλοποιημένη και αποτελεσματική λειτουργία και αφετέρου στην κατασκευή ενός καινούργιου ηλεκτρονικού συστήματος (απομακρυσμένη λειτουργία) που προσφέρει μεγαλύτερες δυνατότητες στον χρήστη.

«Controlled Plant Growth Chamber»

«Fotios Stoupas»

Abstract

The aim of this Thesis is to create a controllable plant growth chamber locally by using conventional electrical automation units and remotely by building an electronic circuit and using a SCADA program. The controlled parameters of the chamber are: heating - cooling, humidity and lighting.

In local operation the chamber is controlled by the user through rotary switches located on the electrical panel of the chamber. The adjustment of heating - cooling and humidity parameters are set automatically by controllers mounted on the electrical panel, while the lighting is set manually by the user.

In remote mode the control of the chamber is done by a microcontroller which collects data from sensors inside the chamber and sends them to a SCADA application. From there, the user can read and process the data, control the, heating-cooling, humidity and lighting parameters by setting the appropriate adjustment values in the program and control all the power circuits in the chamber directly.

The results of the implementation of this Thesis are offering new and better control possibilities to the user by upgrading the existing chamber. The upgrade of the electrical circuit (local operation) of the chamber is offering the user a more simplistic and efficient operation and the development of a new electronic system (remote operation) offering much greater possibilities to the user.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια και τον Επιβλέπων Καθηγητή μου για την στήριξη του σε όλα τα στάδια της υλοποίησης της.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iii
Περίληψη.....	iv
Abstract	v
Ευχαριστίες	vi
Περιεχόμενα	vii
Κατάλογος Σχημάτων	ix
Κατάλογος Εικόνων	x
Κατάλογος Πινάκων.....	xi
Συντομογραφίες.....	xii
Κεφάλαιο 1ο: Θάλαμοι Ελεγχόμενων Συνθηκών.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Θάλαμος Ανάπτυξης Φυτών	1
1.3 Διάγραμμα Λειτουργίας Θαλάμου Ανάπτυξης Φυτών	2
1.4 Επίλογος.....	4
Κεφάλαιο 2ο: Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Θαλάμου	5
2.1 Εισαγωγή.....	5
2.2 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Ισχύος.....	5
2.3 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Αυτοματισμού Θέρμανσης – Ψύξης	7
2.3.1 Ο Θερμοστάτης MTC 12.....	8
2.3.2 Περιγραφή Λειτουργίας Κυκλώματος Αυτοματισμού Θέρμανσης - Ψύξης.....	9
2.4 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Αυτοματισμού Λαμπτήρων.....	10
2.5 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Αυτοματισμού Υγρασίας	12
2.5.1 Περιγραφή Λειτουργίας Κυκλώματος Αυτοματισμού Υγρασίας	12
2.6 Αντιστοιχίες Κυκλωμάτων και Στοιχείων Ελέγχου	13
2.7 Επίλογος.....	14
Κεφάλαιο 3ο: Ηλεκτρονικό Κύκλωμα Θαλάμου	15
3.1 Εισαγωγή.....	15
3.2 Πλακέτα MCU.....	15
3.2.1 Κύκλωμα Λειτουργίας Μικροελεγκτή	17
3.2.2 Κύκλωμα Επικοινωνίας USB	19
3.2.3 Κύκλωμα Ελέγχου Ρελέ	21
3.2.4 Κύκλωμα Τροφοδοσίας Πλακέτας.....	22

3.3	Πλακέτα ADS1015.....	23
3.3.1	Μετατροπή και Αποστολή Μετρήσεων	24
3.3.2	Αισθητήρια Θερμοκρασίας – Υγρασίας Αέρα	26
3.3.3	Αισθητήρια Υγρασίας Χώματος	27
3.3.4	Αισθητήριο Διοξειδίου του Άνθρακα CO2	29
3.4	Πλακέτα PT100.....	30
3.4.1	Κύκλωμα Τροφοδοσίας Πλακέτας.....	32
3.4.2	Κύκλωμα Μετατροπής/Σταθεροποίησης Τάσης.....	33
3.4.3	Κύκλωμα Γέφυρας Αντιστάσεων.....	34
3.4.4	Κύκλωμα Ενίσχυσης Τάσης.....	35
3.4.5	Θεωρητικοί Υπολογισμοί/Προσομοίωση Κυκλωμάτων	36
3.4.6	Βαθμονόμηση Αισθητηρίου PT100	41
3.5	Πλακέτα Ρελέ.....	43
3.6	Επίλογος.....	44
Κεφάλαιο 4ο:	Εργασίες Κατασκευής, Τοποθέτησης και Τελικού Ελέγχου.....	45
4.1	Ηλεκτρολογικές Εργασίες Ανάταξης Θαλάμου	45
4.2	Εργασίες Σχεδιασμού και Κατασκευής των Ηλεκτρονικών Κυκλωμάτων.....	48
4.3	Τοποθέτηση και Τελικός Έλεγχος Ηλεκτρονικού Κυκλώματος.....	52
4.4	Επίλογος.....	55
Κεφάλαιο 5ο:	Λειτουργία Θαλάμου μέσω SCADA.....	56
5.1	Σειριακή Επικοινωνία.....	56
5.2	Μέτρηση Θερμοκρασίας και Υγρασίας Αέρα.....	58
5.3	Μέτρηση Αγωγιμότητας/Θερμοκρασίας Χώματος και Διοξειδίου του Άνθρακα.	59
5.4	Έλεγχος και Ενδείξεις Κατάστασης των Μίνι Ρελέ.....	60
5.5	Έλεγχος Φωτισμού – Λειτουργία Χρονοδιακόπτη	60
5.6	Επίλογος.....	61
Κεφάλαιο 6ο:	Συμπεράσματα και Προτάσεις Βελτίωσης.....	62
	BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	63
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ.....	64

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Σχηματικό Διάγραμμα Λειτουργίας Θαλάμου Φυτών	2
Σχήμα 2.1: Κύκλωμα Ισχύος Θαλάμου	6
Σχήμα 2.2: Διάγραμμα Καλωδίωσης MTC12	8
Σχήμα 2.3: Κύκλωμα Αυτοματισμού Θέρμανσης - Ψύξης	9
Σχήμα 2.4: Κύκλωμα Αυτοματισμού Λαμπτήρων	11
Σχήμα 3.1: Σχηματικό διάγραμμα πλακέτας MCU	16
Σχήμα 3.2: Σχέδιο PCB πλακέτας MCU	17
Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ακροδεκτών ATmega 328P	18
Σχήμα 3.4: Κύκλωμα λειτουργίας ATmega 328P	18
Σχήμα 3.5: Διάγραμμα μετατροπής από USB σε UART του ολοκληρωμένου CH340	19
Σχήμα 3.6: Διάφοροι τύποι του ολοκληρωμένου CH340	19
Σχήμα 3.7: Κύκλωμα επικοινωνίας USB	20
Σχήμα 3.8: Κύκλωμα ελέγχου ρελέ	21
Σχήμα 3.9: Διάγραμμα των pins του LM7805	22
Σχήμα 3.10: Κύκλωμα τροφοδοσίας πλακέτας	22
Σχήμα 3.11: Σχηματικό διάγραμμα πλακέτας ADS1015	23
Σχήμα 3.12: Σχέδιο PCB πλακέτας ADS1015	24
Σχήμα 3.13: Διάγραμμα ακροδεκτών ADS1015	25
Σχήμα 3.14: Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας του BME280	26
Σχήμα 3.15: Σχηματικό διάγραμμα πλακέτας MOSFET	28
Σχήμα 3.16: Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας MG-811	29
Σχήμα 3.17: Σχηματικό διάγραμμα πλακέτας PT100	31
Σχήμα 3.18: Σχέδιο PCB πλακέτας PT100	32
Σχήμα 3.19: Κύκλωμα τροφοδοσίας πλακέτας	32
Σχήμα 3.20: Διάγραμμα ακροδεκτών LM336	33
Σχήμα 3.21: Κύκλωμα μετατροπής/σταθεροποίησης τάσης	33
Σχήμα 3.22: Διάγραμμα ακροδεκτών TLC271P	34
Σχήμα 3.23: Κύκλωμα γέφυρας αντιστάσεων	34
Σχήμα 3.24: Διάγραμμα ακροδεκτών AD623N	35
Σχήμα 3.25: Κύκλωμα ενίσχυσης τάσης	35
Σχήμα 3.26: Σχηματικό διάγραμμα προσομοίωσης κυκλώματος PSpice	37
Σχήμα 3.27: Διάγραμμα τάσης εισόδου V_{in} του AD623 προς την αντίσταση R του PT100 (αντιστοιχούν στο εύρος -20°C έως $+80^{\circ}\text{C}$)	40
Σχήμα 3.28: Διάγραμμα τάσης εξόδου V_{out} του AD623 προς την αντίσταση R του PT100 (αντιστοιχούν στο εύρος -20°C έως $+80^{\circ}\text{C}$)	40
Σχήμα 3.29: Διάγραμμα τάσης εξόδου AD623 προς την θερμοκρασία του PT100	42
Σχήμα 3.30: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας μίνι ρελέ	43

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Ελεγχόμενος πρότυπος θάλαμος ανάπτυξης φυτών	1
Εικόνα 3.1: Το Board της πλακέτας MCU	15
Εικόνα 3.2: Το Board της πλακέτας ADS1015	23
Εικόνα 3.3: Ακροδέκτες αισθητηρίου BME280	27
Εικόνα 3.4: Είσοδοι - Έξοδοι αισθητηρίου υγρασίας χόματος	27
Εικόνα 3.5: Τα PCB Board των πλακετών MOSFET	28
Εικόνα 3.6: Το Board της πλακέτας PT100	30
Εικόνα 3.7: Ρύθμιση ελάχιστης τάσης εισόδου AD623	41
Εικόνα 3.8: Ρύθμιση μέγιστης τάσης εισόδου AD623	41
Εικόνα 3.9: Το Board της πλακέτας ρελέ	43
Εικόνα 4.1: Παλαιό κύκλωμα μέτρησης θερμοκρασίας - PLC Siemens S7-200	45
Εικόνα 4.2: Παλαιό κύκλωμα ελέγχου λαμπτήρων - PLC Telemecanique SR2-B121U	46
Εικόνα 4.3: Περιστροφικοί διακόπτες ισχύος - Πρίν τις αλλαγές	46
Εικόνα 4.4: Περιστροφικοί διακόπτες ισχύος - Μετά τις αλλαγές	47
Εικόνα 4.5: Ρελέ ισχύος - Πρίν τις αλλαγές	47
Εικόνα 4.6: Ρελέ ισχύος - Μετά τις αλλαγές	48
Εικόνα 4.7: Αποχαλκωμένη πλακέτα MCU	48
Εικόνα 4.8: Αποχαλκωμένη πλακέτα PT100	49
Εικόνα 4.9: Αποχαλκωμένη πλακέτα ADS1015	49
Εικόνα 4.10: Τελική όψη πλακέτας MCU μετά τη συγγόλληση των υλικών	50
Εικόνα 4.11: Τελική όψη πλακέτας PT100 μετά τη συγγόλληση των υλικών	50
Εικόνα 4.12: Τελική όψη πλακέτας ADS1015 μετά τη συγγόλληση των υλικών	51
Εικόνα 4.13: Τοποθέτηση πλακετών και αισθητηρίων σε πλαστικά κουτιά	51
Εικόνα 4.14: Τοποθέτηση κουτιού με τις πλακέτες MCU και ρελέ στον θάλαμο	52
Εικόνα 4.15: Σύνδεση πλακέτας ρελέ με τον ηλεκτρολογικό πίνακα	53
Εικόνα 4.16: Σύνδεση μεταξύ των πλακετών MCU και ADS1015	53
Εικόνα 4.17: Τοποθέτηση κουτιού πλακέτας ADS1015 στον θάλαμο	54
Εικόνα 4.18: Τοποθέτηση αισθητηρίων μέσα στον θάλαμο	54
Εικόνα 5.1: Το Front Panel του προγράμματος στο LabVIEW	56
Εικόνα 5.2: Το Block VISA στο Front Panel για ρύθμιση της σειριακής επικοινωνίας	57
Εικόνα 5.3: Προγραμματισμός του VISA Configure Serial Port στο Block Diagram	57
Εικόνα 5.4: Απεικόνιση των καταστάσεων τη σειριακής θύρας	58
Εικόνα 5.5: Το Block Air Sensor στο Front Panel για απεικόνιση και ρύθμιση τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας	58
Εικόνα 5.6: Σύγκριση τιμών μέτρησης θερμοκρασίας με τα όρια του χρήστη	59
Εικόνα 5.7: Το Block Soil Sensor στο Front Panel για απεικόνιση των τιμών θερμοκρασίας και αγωγιμότητας	59
Εικόνα 5.8: Το Block CO2 Sensor στο Front Panel για απεικόνιση των τιμών διοξειδίου του άνθρακα	60
Εικόνα 5.9: Το Block Relay στο Front Panel για τον έλεγχο και την ένδειξη της κατάστασης των ρελέ	60
Εικόνα 5.10: Το Block Timer στο Front Panel για ρύθμιση της ώρας λειτουργίας των κυκλωμάτων φωτισμού	61
Εικόνα 5.11: Σύγκριση της τωρινής ώρας με τα χρονικά όρια που έχει ορίσει ο χρήστης	61

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά MTC12	8
Πίνακας 2.2: Λειτουργικά στοιχεία κυκλώματος αυτοματισμού θέρμανσης - ψύξης	10
Πίνακας 2.3: Λειτουργικά στοιχεία κυκλώματος αυτοματισμού λαμπτήρων.....	11
Πίνακας 2.4: Λειτουργικά στοιχεία κυκλώματος αυτοματισμού υγρασίας	12
Πίνακας 2.5: Αντιστοιχίες αυτόματων ασφαλειών με τα ελεγχόμενα κυκλώματα	13
Πίνακας 2.6: Αντιστοιχίες περιστροφικών διακοπών ισχύος με τα ελεγχόμενα κυκλώματα.....	14
Πίνακας 2.7: Αντιστοιχίες ρελέ ισχύος με τα ελεγχόμενα κυκλώματα.....	14
Πίνακας 3.1: Αντιστοιχίες εξόδων μικροελεγκτή με τις εισόδους στην πλακέτα ρελέ.....	21
Πίνακας 3.2: Περιγραφή λειτουργιών των pins του ADS1015.....	25
Πίνακας 3.3: Τιμές αντίστασης ανα θερμοκρασία 10°C αισθητηρίου PT100	36
Πίνακας 3.4: Τιμές υπολογισμού διαφορικών τάσεων εισόδου AD623	38
Πίνακας 3.5: Τιμές υπολογισμού τάσεων εξόδου AD623	39
Πίνακας 3.6: Τιμές τάσεων εξόδου AD623 από την προσομοίωση στο PSpice.....	39
Πίνακας 3.7: Διαφορά μεταξύ θεωρητικών τιμών και τιμών προσομοίωσης της τάσης εξόδου του AD623	40
Πίνακας 3.8: Τιμές τάσεων εξόδου AD623 συγκρινόμενες με τιμές αντίστασης και θερμοκρασίας PT100.....	42
Πίνακας 3.9: Αντιστοιχίες μίνι ρελέ με ρελέ ισχύος ηλεκτρολογικού πίνακα	44

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΠΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος
Η/Υ	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
I ² C	Inter-Integrated Circuit
LED	Light Emitting Diode
LCD	Liquid Crystal Display
MCU	Micro Controller Unit
CO ₂	Διοξείδιο του άνθρακα
JP	Short Circuit Jumper
IoT	Internet of Things
VI	Virtual Instrument
UART	Universal Asynchronous Receiver – Transmitter
USB	Universal Serial Bus

Κεφάλαιο 1ο: Θάλαμοι Ελεγχόμενων Συνθηκών

1.1 Εισαγωγή

Οι θάλαμοι ελεγχόμενων συνθηκών είναι συσκευές οι οποίες προσφέρουν στον χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα σταθερό περιβάλλον για τις εργασίες του, μέσω ελεγχόμενων παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, ο φωτισμός κ.α.

Οι κυριότερες εφαρμογές που συναντάμε θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών είναι κυρίως για:

- Ανάπτυξη φυτών και μυκήτων
- Βλάστηση σπόρων
- Αναπαραγωγή μικρό-οργανισμών και εντόμων
- Έλεγχοι αντιδράσεων στο φως
- Πειράματα διατήρησης τροφίμων
- Δοκιμές δομικών υλικών
- και γενικότερα σε όλες τις εφαρμογές οι οποίες απαιτούν σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας ή και εναλλαγές φωτός.

Ο έλεγχος των συνθηκών γίνεται μέσω κυκλωμάτων ελέγχου, τα οποία με την βοήθεια κατάλληλων αισθητηρίων εντός του θαλάμου, ελέγχουν τις διάφορες παραμέτρους (θερμοκρασία, υγρασία κτλ.) με βάση τις ρυθμίσεις του χρήστη. Τα κυκλώματα ελέγχου μπορεί να είναι είτε απλά ηλεκτρολογικά κυκλώματα συμβατικού αυτοματισμού είτε ηλεκτρονικά κυκλώματα με μικροελεγκτές ή πολλές φορές ο συνδυασμός αυτών των δύο.

1.2 Θάλαμος Ανάπτυξης Φυτών

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, ο θάλαμος που εξετάζεται (Εικόνα 1.1) αφορά την ανάπτυξη φυτών σε ελεγχόμενες συνθήκες, είναι της εταιρείας Royal Frigo και βρίσκεται εγκατεστημένος σε εργαστήριο του Τμήματος Γεωπονίας.



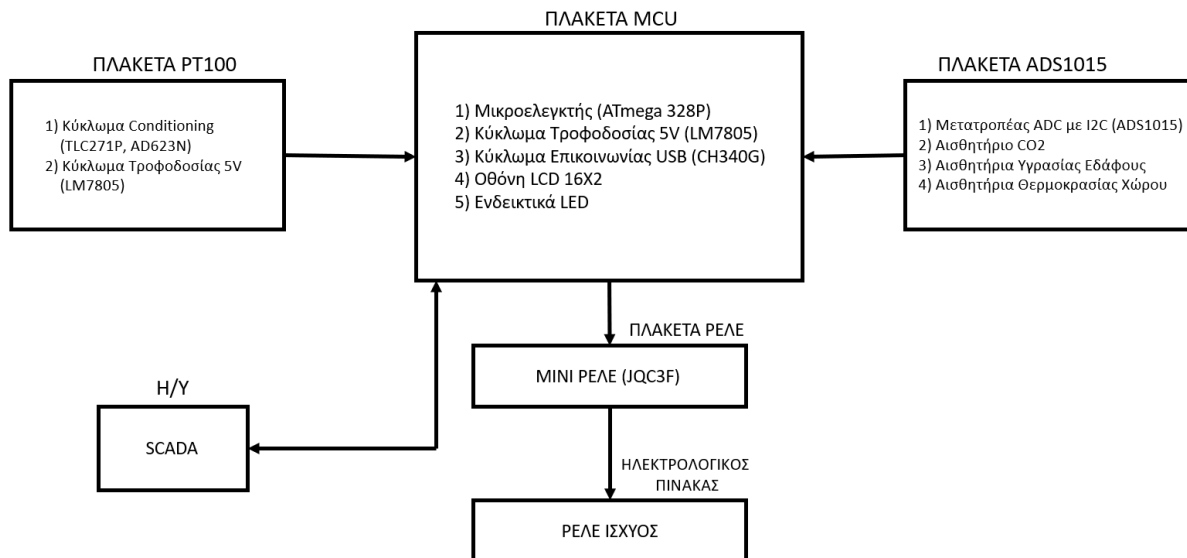
Εικόνα 1.1: Ελεγχόμενος Πρότυπος Θάλαμος Ανάπτυξης Φυτών

Ο θάλαμος χρησιμοποιείται για ερευνητικούς σκοπούς μέσω διεξαγωγής πειραμάτων που αφορούν την ελεγχόμενη ανάπτυξη φυτών. Διαθέτει ψυκτική μονάδα και αντιστάσεις θέρμανσης για την παραγωγή ψυχρού και θερμού αέρα αντίστοιχα, συσκευή ύγρανσης του χώρου για την δημιουργία υγρασίας και συστοιχίες με λαμπτήρες για φωτισμό των φυτών.

Οι παράμετροι που ελέγχονται στον θάλαμο είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και ο φωτισμός μέσω ηλεκτρικών κυκλωμάτων συμβατικού αυτοματισμού. Παράλληλα οι ίδιες παράμετροι ελέγχονται και από ηλεκτρονικά κυκλώματα (μικροελεγκτής, πρόγραμμα SCADA κτλ.) τα οποία δημιουργήθηκαν γι' αυτόν το σκοπό και είναι και το ζητούμενο της Διπλωματικής Εργασίας.

1.3 Διάγραμμα Λειτουργίας Θαλάμου Ανάπτυξης Φυτών

Όπως ειπώθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, ο χρήστης θα έχει την δυνατότητα να λειτουργεί τον θάλαμο ανάπτυξης φυτών μέσω δύο διαφορετικών μεθόδων λειτουργίας. Στο παρακάτω Σχήμα 1.1 παρουσιάζεται μέσω ενός σχηματικού διαγράμματος η λειτουργία του θαλάμου.



Σχήμα 1.2: Σχηματικό Διάγραμμα Λειτουργίας Θαλάμου Φυτών

Στην πρώτη λειτουργία ο θάλαμος ελέγχεται μέσω ενός ηλεκτρολογικού κυκλώματος συμβατικού αυτοματισμού. Ο χειρισμός γίνεται από τον ηλεκτρολογικό πίνακα του θαλάμου μέσω περιστροφικών διακοπών για τα κυκλώματα φωτισμού και βιομηχανικών ελεγκτών για τα κυκλώματα ελέγχου θερμοκρασίας και υγρασίας. Αυτή η μέθοδος είναι αρκετά απλή στην λειτουργία της, χρησιμοποιείται για απλή λειτουργία του θαλάμου χωρίς να έχει ο χρήστης πολλές επιλογές παραμετροποίησης των συνθηκών λειτουργίας του θαλάμου και χρησιμοποιούνται μόνο δύο αισθητήρια (υγρασίας και θερμοκρασίας).

Η δεύτερη λειτουργία χρησιμοποιεί ηλεκτρονικά κυκλώματα για τον έλεγχο του θαλάμου και σχεδιάστηκε έτσι ώστε να υπάρχουν πολλές επιλογές μέτρησης από διαφορετικά αισθητήρια,

περισσότερες δυνατότητες παραμετροποίησης των συνθηκών λειτουργίας του θαλάμου, αποθήκευση και ζωντανή παρακολούθηση των μετρήσεων καθώς και αυτοματοποιημένη λειτουργία.

Για να πραγματοποιηθούν όλα τα παραπάνω κατασκευάστηκαν τρεις (3) ηλεκτρονικές πλακέτες, κάθε μία για συγκεκριμένη λειτουργία. Οι πλακέτες αυτές είναι:

- Η πλακέτα MCU (Κεντρική πλακέτα λειτουργίας)
- Η πλακέτα PT100 (Κύκλωμα conditioning αναλογικού αισθητηρίου PT100)
- Η πλακέτα ADS1015 (Διασύνδεση λοιπόν αισθητηρίων με την πλακέτα MCU)

Εκτός των παραπάνω, χρησιμοποιείται μία ακόμα πλακέτα με μίνι ρελέ ισχύος για τον έλεγχο κυκλωμάτων ισχύος του θαλάμου φυτών.

Η πλακέτα MCU είναι η κεντρική πλακέτα λειτουργία του ηλεκτρονικού κυκλώματος του θαλάμου φυτών. Δέχεται δεδομένα μετρήσεων από τα αισθητήρια των πλακετών PT100 και ADS1015, τα επεξεργάζεται και τα αποστέλλει μέσω αμφίδρομης επικοινωνίας σε Η/Υ για απεικόνιση και αποθήκευση τους. Επίσης ανάλογα με τον προγραμματισμό της και τις μετρήσεις που δέχεται από τα αισθητήρια στέλνει εντολές ελέγχου (ON-OFF) στην πλακέτα των μίνι ρελέ για έλεγχο των διαφόρων κυκλωμάτων ισχύος του θαλάμου. Η πλακέτα αποτελείται από τον μικροελεγκτή ATmega 328P μαζί με το κύκλωμα που απαιτείται για να λειτουργήσει, ένα κύκλωμα επικοινωνίας με Η/Υ μέσω θύρας USB για τον προγραμματισμό της και την ανταλλαγή δεδομένων, μία LCD οθόνη 16X2 για την απεικόνιση μετρήσεων και πληροφοριών, ενδεικτικά LED κατάσταση των εξόδων του μικροελεγκτή (μίνι ρελέ) και ένα κύκλωμα τροφοδοσίας των 5V.

Η πλακέτα PT100 ουσιαστικά είναι ένα κύκλωμα conditioning με το οποίο επιτυγχάνεται η ενίσχυση της τάσης εξόδου του αισθητηρίου PT100 μέσω κατάλληλων κυκλωμάτων, για να οδηγηθεί σε μία είσοδο του μικροελεγκτή. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα τάσης αναφοράς, ένας ενισχυτής τάσης που τροφοδοτεί μία γέφυρα τεσσάρων αντιστάσεων και ένας ενισχυτής οργανολογίας. Η δημιουργία αυτής της πλακέτας είχε ως σκοπό την κατασκευή ενός αισθητηρίου που θα μπορεί να μετράει με μεγάλη ακρίβεια την θερμοκρασία του θαλάμου ή του χώματος. Για τη διασύνδεση μεταξύ αισθητηρίου και πλακέτας MCU χρησιμοποιείται θωρακισμένο καλώδιο για την αποφυγή μεταφοράς θορύβου στην είσοδο του μικροελεγκτή.

Η πλακέτα ADS1015 είναι ένας απομακρυσμένος κόμβος διασύνδεσης αισθητηρίων καθότι χρησιμοποιείται για την διασύνδεση των υπόλοιπων αισθητηρίων του θαλάμου με την πλακέτα MCU. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιείται ένας μετατροπέας από αναλογικό σε ψηφιακό (ADS1015) ως ενδιάμεσο κύκλωμα μεταξύ αισθητηρίων και μικροελεγκτή. Η επικοινωνία του μετατροπέα με τον μικροελεγκτή γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου I²C. Συνολικά, στην πλακέτα ADS1015 καταλήγουν πέντε (5) αισθητήρια, δύο (2) αναλογικά αισθητήρια υγρασίας χώματος και ένα (1) αναλογικό αισθητήριο διοξειδίου του άνθρακα CO₂ τα οποία καταλήγουν στις αναλογικές εισόδους του μετατροπέα. Παράλληλα με αυτά συνδέονται στον δίαυλο I²C και άλλα δύο ψηφιακά αισθητήρια θερμοκρασίας – υγρασίας εκμεταλλευόμενα την δυνατότητα διασύνδεσης του μετατροπέα με τον μικροελεγκτή.

Για τον έλεγχο των κυκλωμάτων ισχύος του θαλάμου χρησιμοποιείται η πλακέτα ρελέ. Η πλακέτα παραβάλλεται ανάμεσα στον μικροελεγκτή και τα ρελέ ισχύος του ηλεκτρολογικού πίνακα του θαλάμου. Η πλακέτα αποτελείται από οκτώ (8) μίνι ρελέ των 250V AC των 10A, κάθε ρελέ ελέγχεται από μία διαφορετική έξοδο του μικροελεγκτή μέσω οπτοζευκτών (Optocouplers) για προστασία των εξόδων του μικροελεγκτή. Κάθε ένα από τα οκτώ (8) μίνι ρελέ της πλακέτας ελέγχει το αντίστοιχο ρελέ

ισχύος που βρίσκεται στον ηλεκτρικό πίνακα του θαλάμου όπου αυτό αντίστοιχα ελέγχει το φορτίο που συνδέεται πάνω σε αυτό (πχ Συμπιεστής, Αντιστάσεις Θέρμανσης κτλ.).

1.4 Επίλογος

Το πρώτο κεφάλαιο της Διπλωματικής Εργασίας αφιερώνεται στην περιγραφή του θαλάμου ανάπτυξης φυτών και των λειτουργιών του. Στην εισαγωγή γίνεται μια γενική περιγραφή για τους θαλάμους ελεγχόμενων συνθηκών, τις χρήσεις τους και τις κυριότερες εφαρμογές τους. Στην συνέχεια γίνεται μια μικρή παρουσίαση του θαλάμου ανάπτυξης φυτών που μελετάται, των χαρακτηριστικών του, των συσκευών που διαθέτει και των παραμέτρων που ελέγχονται. Αμέσως μετά γίνεται περιγραφή της λειτουργίας του θαλάμου ανάπτυξης φυτών μέσω ενός σχηματικού διαγράμματος και περιγράφονται οι δύο μέθοδοι λειτουργίας του θαλάμου. Τέλος, παρουσιάζονται και περιγράφονται οι ηλεκτρονικές πλακέτες και τα κυκλώματα που κατασκευάστηκαν όπως και τα αισθητήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την λειτουργία του θαλάμου.

Κεφάλαιο 2ο: Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Θαλάμου

2.1 Εισαγωγή

Η πρώτη τεχνική εργασία που πραγματοποιήθηκε κατά την διάρκεια της Διπλωματικής Εργασίας αφορούσε την ανάταξη του ηλεκτρολογικού κυκλώματος του θαλάμου ανάπτυξης φυτών. Αρχικά, ο θάλαμος είχε κατασκευαστεί για να λειτουργεί με δύο κυκλώματα ελέγχου, ένα κύκλωμα ελέγχου θέρμανσης – ψύξης το οποίο ελεγχόταν αυτόματα μέσω ενός θερμοστάτη (LAE ELECTRONIC - MTC12) και ένα κύκλωμα ελέγχου φωτισμού το οποίο ελεγχόταν αυτόματα μέσω ενός PLC (Telemecanique – SR2). Αργότερα έγιναν επιπλέον προσθήκες στο ηλεκτρολογικό κύκλωμα του θαλάμου καθώς προστέθηκαν άλλα δύο κυκλώματα ελέγχου. Ένα κύκλωμα ελέγχου υγρασίας το οποίο ελεγχόταν μέσω ενός ελεγκτή υγρασίας (HC231) και ένα κύκλωμα μέτρησης θερμοκρασίας μέσω ενός δευτέρου PLC (Siemens – S7 200).

Με βάση όλα τα παραπάνω και λόγω των συνεχόμενων αλλαγών στη συνδεσμολογία του ηλεκτρολογικού κυκλώματος (καταργήσεις κυκλωμάτων και δημιουργία νέων), πολλές από τις λειτουργίες του δεν λειτουργούσαν σωστά με αποτέλεσμα να περιπέσει σε αχρηστία. Έτσι λοιπόν αποφασίστηκε ο επανασχεδιασμός των λειτουργιών του θαλάμου έτσι ώστε αρχικά ο θάλαμος να επανέλθει σε λειτουργική κατάσταση και υπάρχει η δυνατότητα χειρισμού του τοπικά.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική περιγραφή των παρεμβάσεων που έγιναν στον θάλαμο φυτών έτσι ώστε να επανέλθει σε πλήρη λειτουργική κατάσταση. Πιο συγκεκριμένα θα περιγραφούν οι καθαιρέσεις ηλεκτρολογικών κυκλωμάτων που δεν ήταν πλέον απαραίτητα για τη νέα λειτουργία του θαλάμου, οι αντικαταστάσεις βεβλαμμένων και προσθήκη νέων υλικών στον ηλεκτρολογικό πίνακα, οι νέες λειτουργίες του θαλάμου όπως και τα κυκλώματα ισχύος με τα βοηθητικά κυκλώματα με τους αυτοματισμούς.

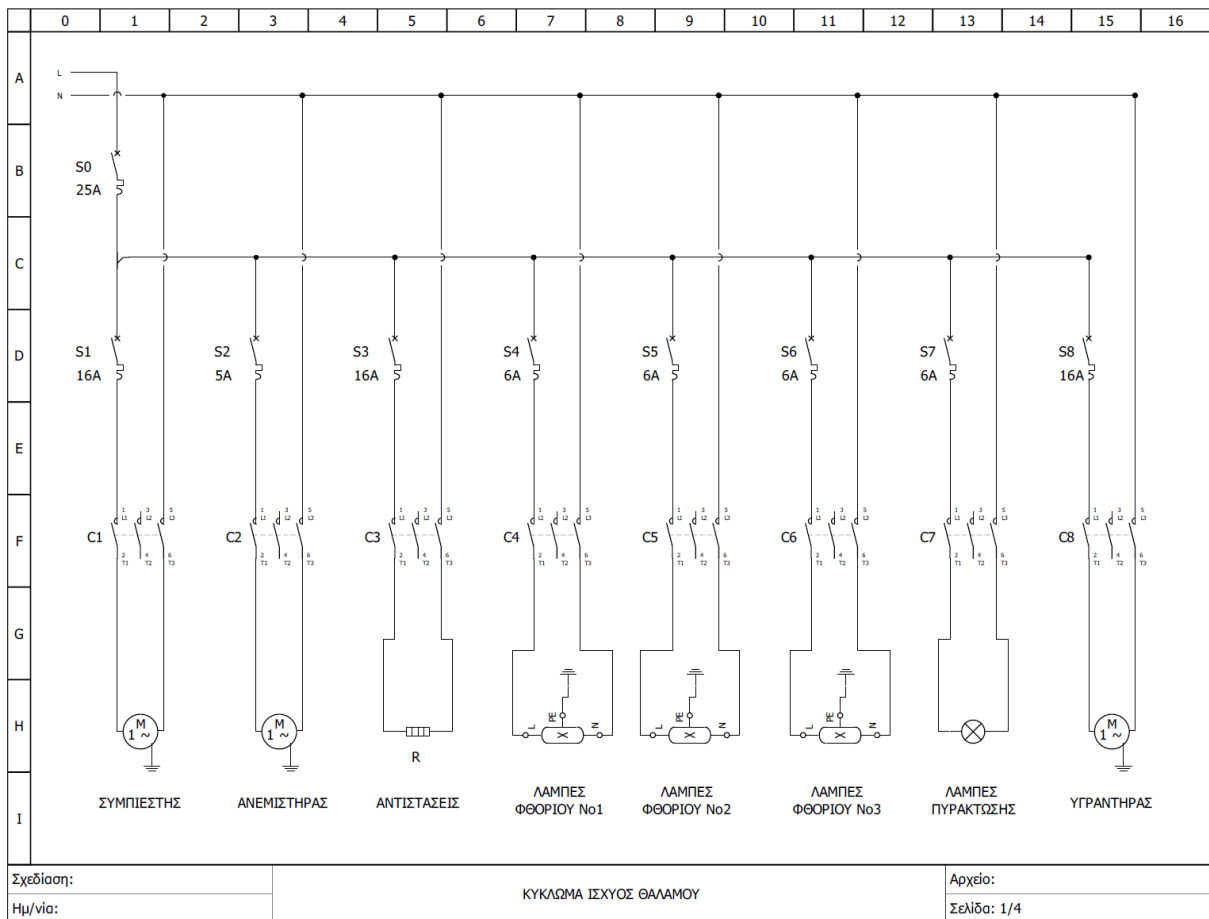
2.2 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Ισχύος

Στο ηλεκτρολογικό κύκλωμα ισχύος του θαλάμου (Σχήμα 2.1) αποτυπώνονται όλα τα κυκλώματα τροφοδοσίας του θαλάμου με όλα τα επιμέρους απαραίτητα στοιχεία για τη λειτουργία του. Στον θάλαμο λειτουργούν τα ακόλουθα κυκλώματα ισχύος:

- 1) Κύκλωμα Συμπιεστή
- 2) Κύκλωμα Ανεμιστήρα Ψύξης – Θέρμανσης
- 3) Κύκλωμα Αντιστάσεων Θέρμανσης
- 4) Κύκλωμα Λαμπτήρων Φθορισμού Νο 1
- 5) Κύκλωμα Λαμπτήρων Φθορισμού Νο 2
- 6) Κύκλωμα Λαμπτήρων Φθορισμού Νο 3
- 7) Κύκλωμα Λαμπτήρων Πυράκτωσης
- 8) Κύκλωμα Υγραντήρα

Σε κύκλωμα ισχύος υπάρχει αυτόματη ασφάλεια κατάλληλης τιμής για προστασία από τυχόν υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα ενώ υπάρχει και μια γενική αυτόματη ασφάλειας των 25Α για προστασία όλης της εγκατάστασης. Επίσης σε κάθε κύκλωμα υπάρχει ρελέ κατάλληλης ισχύος για την τροφοδοσία (on-off) των καταναλώσεων.

Κεφάλαιο 2



Σχήμα 2.1: Κύκλωμα Ισχύος Θαλάμου

Το κύκλωμα του συμπιεστή χρησιμοποιείται για την ψύξη του θαλάμου μέσω της συμπίεσης και της κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου. Ο συμπιεστής λειτουργεί εντός συγκριμένου εύρους θερμοκρασιών που ρυθμίζουμε εμείς και κάποιων άλλων παραμέτρων που πρέπει να ισχύουν. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας, οι παράμετροι λειτουργία και γενικότερα ο αυτοματισμός του κυκλώματος του συμπιεστή θα αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο. Ο συμπιεστής είναι μονοφασικός, ισχύος 1,2 kW και τροφοδοτείται με καλώδιο 3X1,5mm². Για προστασία από υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα χρησιμοποιείται μια μονοπολική αυτόματη ασφάλεια (S1) των 16A. Ο έλεγχος του συμπιεστή γίνεται μέσω ενός τριφασικού (3P, 1NO, 1NC) ρελέ ισχύος (C1) των 4 kW. Από το ρελέ ισχύος διακόπτονται και η φάση και ο ουδέτερος αγωγός, για μεγαλύτερη προστασία.

Το κύκλωμα του ανεμιστήρα χρησιμοποιείται για την διάχυση του θερμού ή ψυχρού αέρα μέσα στο θάλαμο. Ο ψυχρός αέρας δημιουργείται όταν λειτουργεί ο συμπιεστής ενώ ο θερμός όταν λειτουργούν οι αντιστάσεις. Η λειτουργία του ανεμιστήρα είναι συνεχόμενη και διακόπτεται μόνο όταν η πόρτα του θαλάμου είναι ανοιχτή. Ο ανεμιστήρας είναι μονοφασικός, μικρής ισχύος και τροφοδοτείται με καλώδιο 3X1,5mm². Για προστασία από υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα χρησιμοποιείται μια μονοπολική αυτόματη ασφάλεια (S2) των 5A. Ο έλεγχος του ανεμιστήρα γίνεται μέσω ενός τριφασικού (3P, 1NO) ρελέ ισχύος (C2) των 2.2 kW. Από το ρελέ ισχύος διακόπτονται και η φάση και ο ουδέτερος αγωγός, για μεγαλύτερη προστασία.

Η θέρμανση του θαλάμου γίνεται μέσω του κυκλώματος των ωμικών αντιστάσεων, η θερμότητα των οποίων διαχέεται μέσα στο θάλαμο από τον ανεμιστήρα. Όπως και στο κύκλωμα του συμπιεστή

(ψύξη) έτσι και στο κύκλωμα των ωμικών αντιστάσεων υπάρχει σχετικό κύκλωμα αυτοματισμού το οποίο θα αναλυθεί σε επόμενη παράγραφο. Οι αντιστάσεις είναι συνολικής ισχύος περίπου 1kW και τροφοδοτούνται με καλώδιο 3X1,5mm². Για προστασία από υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα χρησιμοποιείται μια μονοπολική αυτόματη ασφάλεια (S3) των 16Α. Ο έλεγχος του ανεμιστήρα γίνεται μέσω ενός τριφασικού (3P, 1NO, 1NC) ρελέ ισχύος (C3) των 4 kW. Από το ρελέ ισχύος διακόπτονται και η φάση και ο ουδέτερος αγωγός, για μεγαλύτερη προστασία.

Εκτός από την θέρμανση και την ψύξη του θαλάμου υπάρχει και η λειτουργία εσωτερικού φωτισμού του θαλάμου για την ανάπτυξη των φυτών. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται κυκλώματα με λαμπτήρες φθορισμού και πυράκτωσης. Οι λαμπτήρες φθορισμού χρησιμοποιούνται για την δημιουργία ψυχρού χρώματος φωτισμού. Υπάρχουν τρία ελεγχόμενα κυκλώματα ισχύος στο θάλαμο με λαμπτήρες φθορισμού τα οποία ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη τίθενται ή όχι σε λειτουργία. Κάθε κύκλωμα ελέγχει συνολικά 4 λαμπτήρες, συνολικής ισχύος 144 W. Σε κάθε κύκλωμα χρησιμοποιείται μια μονοπολική αυτόματη ασφάλεια (S4, S5, S6) των 6Α για προστασία από υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα. Ο έλεγχος κάθε κυκλώματος γίνεται μέσω ενός τριφασικού (3P, 1NO) ρελέ ισχύος (C4, C5, C6) των 2.2 kW. Από το ρελέ ισχύος διακόπτονται και η φάση και ο ουδέτερος αγωγός, για μεγαλύτερη προστασία.

Σε αντίθεση με τους λαμπτήρες φθορισμού, οι λαμπτήρες πυράκτωσης χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία θερμού χρώματος φωτισμού. Το κύκλωμα ελέγχου με τους λαμπτήρες πυράκτωσης μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα ή παράλληλα με το κύκλωμα ελέγχου των λαμπτήρων φθορισμού ανάλογα με την επιλογή του χρήστη. Στον θάλαμο υπάρχει μόνο ένα ελεγχόμενο κύκλωμα λαμπτήρων πυράκτωσης το οποίο ελέγχει συνολικά 10 λαμπτήρες, συνολικής ισχύος μέχρι 1 kW. Στο κύκλωμα χρησιμοποιείται μια μονοπολική αυτόματη ασφάλεια (S7) των 6Α για προστασία από υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα. Ο έλεγχος του κυκλώματος γίνεται μέσω ενός τριφασικού (3P, 1NO) ρελέ ισχύος (C7) των 2.2 kW. Από το ρελέ ισχύος διακόπτονται και η φάση και ο ουδέτερος αγωγός, για μεγαλύτερη προστασία.

Τέλος, για την δημιουργία υγρής ατμόσφαιρας εντός του θαλάμου, χρησιμοποιείται μια συσκευή αφύγρανσης (υγραντήρας). Η συσκευή χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί κατάλληλη τιμή υγρασίας με βάση τις ρυθμίσεις του χρήστη. Ο υγραντήρας είναι συνολικής ισχύος 75W, για την προστασία του κυκλώματος από υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα κύκλωμα χρησιμοποιείται μια μονοπολική αυτόματη ασφάλεια (S8) των 16Α. Ο έλεγχος του κυκλώματος γίνεται μέσω ενός τριφασικού (3P, 1NO) ρελέ ισχύος (C7) των 2.2 kW. Από το ρελέ ισχύος διακόπτονται και η φάση και ο ουδέτερος αγωγός, για μεγαλύτερη προστασία.

2.3 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Αυτοματισμού Θέρμανσης – Ψύξης

Το κύκλωμα αυτοματισμού θέρμανσης – ψύξης είναι ένα από τα βασικά κυκλώματα λειτουργίας του θαλάμου φυτών. Ο έλεγχος μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: α) Τοπικά από τον ηλεκτρολογικό πίνακα, όπου ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τις κατάλληλες παραμέτρους β) Από έναν H/Y μέσω ενός προγράμματος SCADA στο οποίο γίνονται οι κατάλληλες ρυθμίσεις από τον χρήστη. Η τοπική λειτουργία (α) θα αναλυθεί σε αυτό το κεφάλαιο ενώ η λειτουργία μέσω H/Y (β) σε επόμενο.

Βασική συσκευή για την τοπική λειτουργία του κυκλώματος θέρμανσης – ψύξης είναι ο θερμοστάτης MTC 12 ο οποίος ουσιαστικά λαμβάνει μέσω ενός αισθητηρίου θερμοκρασίας στην είσοδό του, τιμές μέσα από τον θάλαμο και ανάλογα με τη ρύθμισή του ελέγχει τα κατάλληλα ρελέ έτσι ώστε θερμανθεί ή να ψυχθεί ο θάλαμος. Η ψύξη του θαλάμου γίνεται ελέγχοντας τον συμπιεστή, την

μαγνητική βαλβίδα FREON και τον ανεμιστήρα του κυκλώματος ψύξης ενώ η θέρμανση μέσω του ελέγχου των αντιστάσεων θέρμανσης και του ανεμιστήρα.

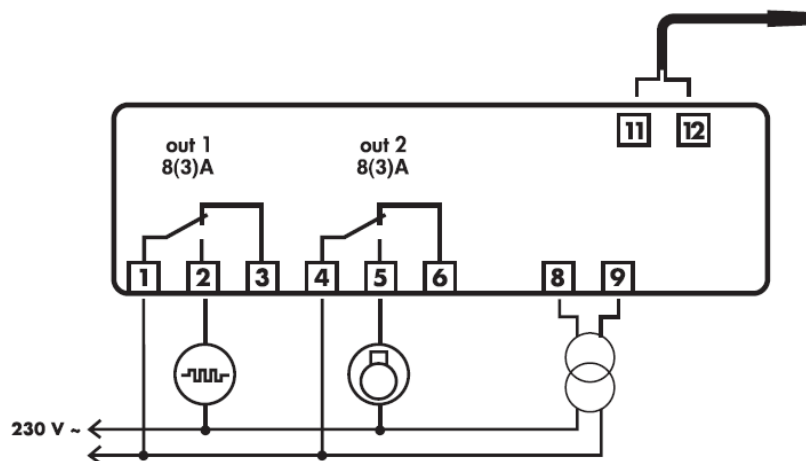
2.3.1 Ο Θερμοστάτης MTC 12

Ο θερμοστάτης MTC12 είναι ένας ελεγκτής (controller) ο οποίος χρησιμοποιείται για τον έλεγχο την θερμοκρασίας (Θέρμανση – Ψύξη) του θαλάμου φυτών μέσω ρύθμισης των κατάλληλων παραμέτρων από τον χρήστη. Ο θερμοστάτης διαθέτει μία είσοδο για αισθητήριο θερμοκρασίας και δύο εξόδους με μεταγωγικές επαφές για έλεγχο φορτίων. Πιο συγκεκριμένα ο τύπος που χρησιμοποιείται στον θάλαμο είναι ο MTC12T1RD/3 της εταιρείας LAE ELECTRONIC. Αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του θερμοστάτη φαίνονται στον Πίνακα (2.1).

Πίνακας 2.1: Τεχνικά Χαρακτηριστικά MTC12 [1]

Εύρος Θερμοκρασίας:	-50+150°C
Ακρίβεια:	±0.7° (-30+110°C)
Τύπος Αισθητήρα:	PTC 1000
Έξοδοι:	Out1, Out2 8(3)A 240V~
Τροφοδοσία:	12Vac/dc ±10% 3W

Στο Σχήμα (2.2) φαίνονται οι ακροδέκτες σύνδεσης των διαφόρων συσκευών (ρελέ, αισθητήριο θερμοκρασίας) με τον θερμοστάτη. Η τροφοδοσία γίνεται μέσω ενός μονοφασικού μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης 230V/12V AC στους ακροδέκτες 8 και 9. Το αισθητήριο θερμοκρασίας PTC1000 συνδέεται στους ακροδέκτες 11 και 12 ενώ ο έλεγχος θέρμανσης – ψύξης γίνεται από τις εξόδους Out 1 (ακροδέκτες 1 και 2, επαφή NO) και Out 2 (ακροδέκτες 4 και 5, επαφή NO).



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα Καλωδίωσης MTC12

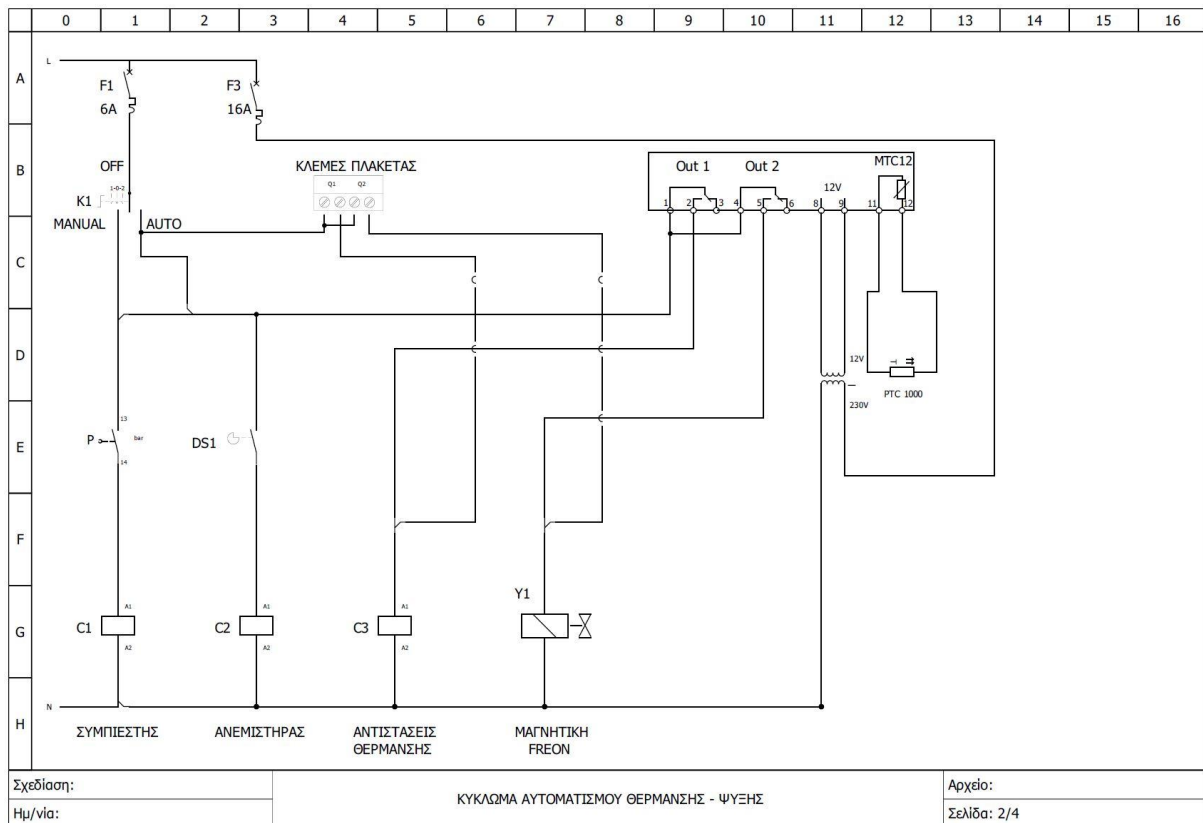
Ο προγραμματισμός του θερμοστάτη γίνεται μέσω συγκεκριμένων πλήκτρων (F1, F2, UP, DOWN) που βρίσκονται εξωτερικά τις συσκευής. Οι παράμετροι που μπορούν να προγραμματιστούν είναι οι παρακάτω:

- Λειτουργία εναλλαγής (Toggle mode, Temp On/Temp OFF)
- Μέγιστο/Ελάχιστο σημείο ρύθμισης θερμοκρασίας (MIN/MAX Set Point)

- Αντιστάθμιση αισθητήρα (Probe Offset)
- Χρόνος ανάπαυσης εξόδων (Rest Time, Out1 Out2)
- Υστέρηση εξόδων (Hysteresis, Out1 Out2)

2.3.2 Περιγραφή Λειτουργίας Κυκλώματος Αυτοματισμού Θέρμανσης - Ψύξης

Το κύκλωμα λειτουργεί ως εξής: Αρχικά, ο χρήστης μέσω του περιστροφικού διακόπτη K1 (Σχήμα 2.3) πρέπει να επιλέξει αν το κύκλωμα θα λειτουργεί χειροκίνητα (θέση διακόπτη 1) δηλαδή τοπικά από τον χρήστη ή αυτόματα (θέση διακόπτη 2) μέσω του H/Y με το πρόγραμμα SCADA. Όταν ο περιστροφικός διακόπτης βρίσκεται στη μεσαία θέση (θέση διακόπτη 0) τότε το κύκλωμα βρίσκεται εκτός λειτουργίας.



Σχήμα 2.3: Κύκλωμα Αυτοματισμού Θέρμανσης - Ψύξης

Εφόσον ο χρήστης επιλέξει την χειροκίνητη λειτουργία (Διακόπτης K1- Θέση 1) τότε το κύκλωμα λειτουργεί μέσω του Θερμοστάτη MTC12. Αρχικά εκκινεί αυτόματα ο συμπιεστής (ρελέ C1) ο οποίος ελέγχεται από τον διαφορικό πρεσοστάτη P. Ο πρεσοστάτης είναι ρυθμισμένος στα 1 έως 2 bar, επομένως ο συμπιεστής λειτουργεί μόνο εντός των ορίων ρύθμισης του πρεσοστάτη για λόγους προστασίας του ίδιου αλλά και του κυκλώματος ψύξης. Παράλληλα με τον συμπιεστή εκκινεί και ο ανεμιστήρας του θαλάμου. Ο ανεμιστήρας λειτουργεί συνεχόμενα (είτε με θέρμανση είτε με ψύξη) μόνο όταν η πόρτα του θαλάμου είναι κλειστή. Ο έλεγχος του ανεμιστήρα (ON-OFF) γίνεται από τον τερματικό διακόπτη DS1 ο οποίος είναι τοποθετημένος πάνω στην πόρτα του θαλάμου.

Ο έλεγχος της θέρμανσης – ψύξης γίνεται μέσω του θερμοστάτη MTC12, ο θερμοστάτης λαμβάνει τιμές από το αισθητήριο PTC1000 και ανάλογα με τα όρια θερμοκρασίας που του έχει ορίσει ο χρήστης,

ανοίγει ή κλείνει (ON-OFF) τις μεταγωγικές επαφές εξόδου (Out1, Out2). Σε περίπτωση η θερμοκρασία του θαλάμου πέσει κάτω από την ελάχιστη οριακή τιμή τότε ενεργοποιείται η έξοδος (Out1) η οποία ελέγχει το ρελέ C3 των αντιστάσεων θέρμανσης με αποτέλεσμα την θέρμανση του θαλάμου. Όταν η θερμοκρασία του θαλάμου ξεπεράσει την μέγιστη οριακή τιμή τότε ενεργοποιείται η έξοδος (Out 2) η οποία ελέγχει την μαγνητική βαλβίδα FREON Y1 του συμπιεστή με αποτέλεσμα την ψύξη του θαλάμου.

Παρόμοια λειτουργία εκτελείται και όταν ο χρήστης επιλέξει την αυτόματη λειτουργία (Διακόπτης K1- Θέση 2) με την διαφορά πως πλέον ο έλεγχος θέρμανσης – ψύξης γίνεται όχι από τον θερμοστάτη αλλά από την ηλεκτρονική πλακέτα MCU μέσω προγράμματος SCADA από H/Y. Σε αυτή την περίπτωση το ρελέ C3 των αντιστάσεων θέρμανσης και η μαγνητική βαλβίδα FREON Y1 ελέγχονται από τα ρελέ της ηλεκτρονικής πλακέτας MCU στις κλέμες Q1 και Q2 αντίστοιχα.

Στον παρακάτω Πίνακα (2.2) περιγράφονται όλα τα λειτουργικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το κύκλωμα αυτοματισμού θέρμανσης - ψύξης:

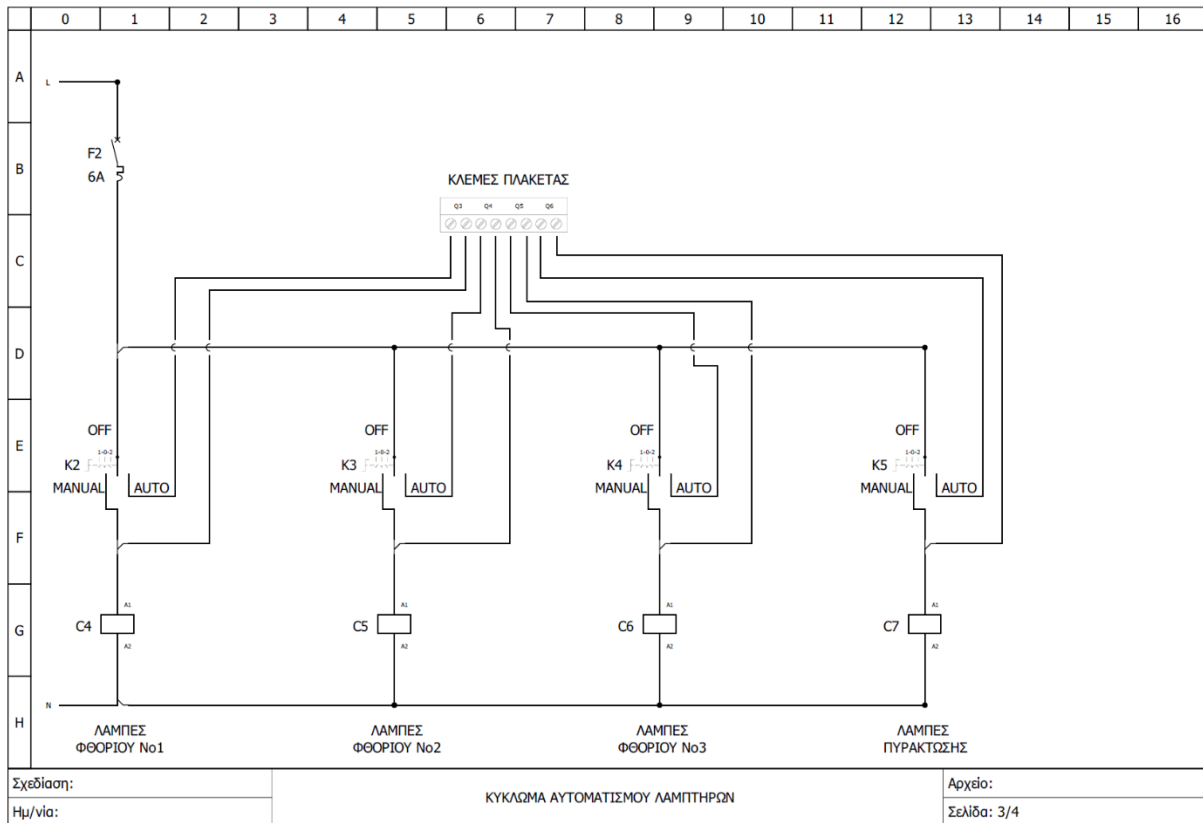
Πίνακας 2.2: Λειτουργικά Στοιχεία Κυκλώματος Αυτοματισμού Θέρμανσης - Ψύξης

Περιγραφή Στοιχείου	Τύπος Στοιχείου	Ονομαστικές Τιμές	Ονομασία Στοιχείου
Μονοπολική Αυτόματη Ασφάλεια	Hager MCN106	6A	F1
Περιστροφικός Διακόπτης Ισχύος	Schneider XB7-ND33	240V, 0.3A	K1
Ρελέ Συμπιεστή	Telemecanique LC1D09BD	3P, 4kW	C1
Ρελέ Ανεμιστήρα	Telemecanique LC1K0610P7	3P, 2.2kW	C2
Ρελέ Αντιστάσεων Θέρμανσης	Telemecanique LC1D09BD	3P, 4kW	C3
Μαγνητική Βαλβίδα FREON	Castel HM2	230V, 8W	Y1
Πρεσοστάτης Συμπιεστή	Ranco 016-H6703	16A, 230V	P
Τερματικός Διακόπτης	Omron D4D-1121N	NO+NC, 5A	DS1
Θερμοστάτης	LAE MTC12T1RD/3	12V, 3W	MTC12
Κλέμες – Έξοδοι Πλακέτας MCU	Songle SRD-05VDC-SL-C	250V, 10A	Q1, Q2

2.4 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Αυτοματισμού Λαμπτήρων

Το κύκλωμα Αυτοματισμού Λαμπτήρων (Σχήμα 2.4) αποτελείται από τρία (3) κυκλώματα λαμπτήρων φθορίου και ένα (1) κύκλωμα με λαμπτήρες πυράκτωσης. Όπως με το κύκλωμα θέρμανσης – ψύξης έτσι και με το κύκλωμα λαμπτήρων ο χρήστης έχει δύο επιλογές λειτουργίας. Δηλαδή μέσω χειροκίνητης ή αυτόματης λειτουργίας.

Στην χειροκίνητη λειτουργία (θέση 1) ο χρήστης μέσω των περιστροφικών διακοπών ισχύος (K2, K3, K4, K5) ελέγχει τα αντίστοιχα ρελέ ισχύος (C4, C5, C6, C7) των κυκλωμάτων των λαμπτήρων. Στην αυτόματη λειτουργία (θέση 2) τα ρελέ ελέγχονται από την ηλεκτρονική πλακέτα MCU μέσω προγράμματος SCADA από H/Y και από τις αντίστοιχες κλέμες (Q3, Q4, Q5, Q6).



Σχήμα 2.4: Κύκλωμα Αυτοματισμού Λαμπτήρων

Στον παρακάτω Πίνακα (2.3) περιγράφονται όλα τα λειτουργικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το κύκλωμα αυτοματισμού λαμπτήρων:

Πίνακας 2.3: Λειτουργικά Στοιχεία Κυκλώματος Αυτοματισμού Λαμπτήρων

Περιγραφή Στοιχείου	Τύπος Στοιχείου	Ονομαστικές Τιμές	Ονομασία Στοιχείου
Μονοπολική Αυτόματη Ασφάλεια	Hager MCN106	6A	F2
Διακόπτης Λαμπτήρων Φθορίου Νο1	Kacon K22-41-K-L	250V, 10A	K2
Διακόπτης Λαμπτήρων Φθορίου Νο2	Kacon K22-41-K-L	250V, 10A	K3
Διακόπτης Λαμπτήρων Φθορίου Νο3	Kacon K22-41-K-L	250V, 10A	K4
Διακόπτης Πυράκτωσης	TQB XB2-BE101	400V, 10A	K5
Ρελέ Λαμπτήρων Φθορίου Νο1	ABB B6-30-10	3P, 2.2kW	C4
Ρελέ Λαμπτήρων Φθορίου Νο2	Telemecanique LC1K0610P7	3P, 2.2kW	C5
Ρελέ Λαμπτήρων Φθορίου Νο3	ABB B6-30-10	3P, 2.2kW	C6
Ρελέ Λαμπτήρων Πυράκτωσης	Telemecanique LC1K0610P7	3P, 2.2kW	C7
Κλέμες – Έξοδοι Πλακέτας MCU	Songle SRD-05VDC-SL-C	250V, 10A	Q3 έως Q6

2.5 Ηλεκτρολογικό Κύκλωμα Αυτοματισμού Υγρασίας

Εκτός των κυκλωμάτων θέρμανσης – ψύξης και λαμπτήρων, ο θάλαμος διαθέτει και ένα κύκλωμα για μέτρηση της σχετικής υγρασίας εντός του θαλάμου. Όπως και στα προηγούμενα έτσι και σε αυτό το κύκλωμα ο χρήστης μπορεί να το χειριστεί τοπικά από τον ηλεκτρολογικό πίνακα ρυθμίζοντας τις κατάλληλες παραμέτρους ή από έναν Η/Υ μέσω ενός προγράμματος SCADA.

Για την τοπική λειτουργία χρησιμοποιείται ένας ελεγκτής σχετικής υγρασίας (Smart System HC231) ο οποίος λαμβάνει μέσω ενός αισθητήριου υγρασίας στην είσοδό του, τιμές μέσα από τον θάλαμο και ανάλογα με τη ρύθμισή του ελέγχει το ρελέ εξόδου (Out) το οποίο ελέγχει έναν υγραντήρα χώρου. Η κατάλληλη τιμή υγρασίας επιτυγχάνεται μέσω ελέγχου του υγραντήρα, η οποία παράγεται μέσω υδρονέφωσης.

Ο ελεγκτής σχετικής υγρασίας τροφοδοτείται με τάση 230VAC (Ακροδέκτες 1 και 3), διαθέτει μια μεταγωγική επαφή εξόδου Out (ακροδέκτες 5 και 6 επαφή NO, ακροδέκτες 5 και 7 επαφή NC) ενώ στις επαφές 10 και 12 συνδέεται το αισθητήριο υγρασίας το οποίο χρησιμοποιεί το πρότυπο 4-20mA για τη μεταφορά των μετρήσεων προς τον ελεγκτή.

2.5.1 Περιγραφή Λειτουργίας Κυκλώματος Αυτοματισμού Υγρασίας

Αρχικά ο χρήστης μέσω του περιστροφικού διακόπτη K6 (Σχήμα 2.5) επιλέγει τον τρόπο λειτουργίας του κυκλώματος, Θέση 1 – Χειροκίνητα ή Θέση 2 – Αυτόματα.

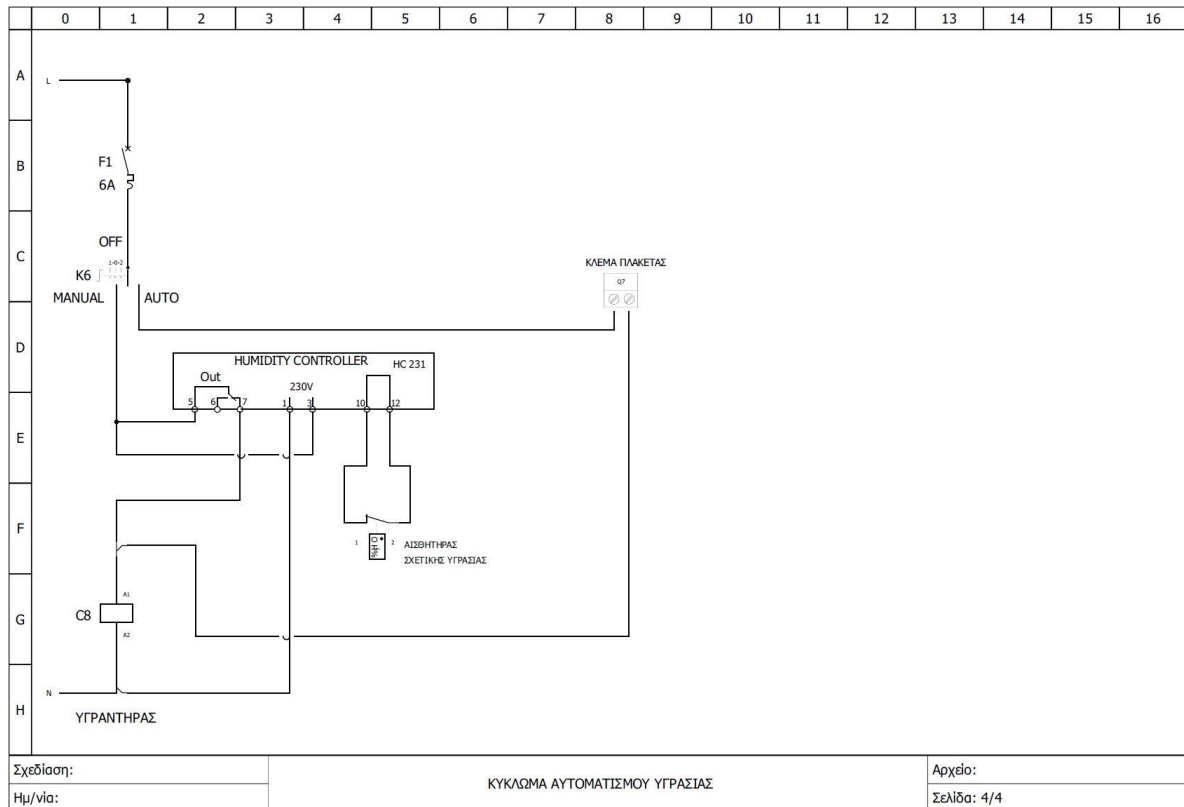
Στην χειροκίνητη λειτουργία ο έλεγχος του κυκλώματος γίνεται μέσω του ελεγκτή υγρασίας HC231. Ο ελεγκτής λαμβάνει τιμές από το αισθητήριο υγρασίας και ανάλογα με τα όρια που έχει ορίσει ο χρήστης, ανοίγει ή κλείνει (ON-OFF) την μεταγωγική επαφή εξόδου Out. Σε περίπτωση η υγρασία του θαλάμου πέσει κάτω από την ελάχιστη οριακή τιμή τότε ενεργοποιείται η έξοδος Out η οποία ελέγχει το ρελέ C8 του υγραντήρα με αποτέλεσμα την αύξηση της υγρασίας στον θάλαμο. Όταν η υγρασία του θαλάμου ξεπεράσει την μέγιστη οριακή τιμή τότε απενεργοποιείται η έξοδος Out και το ρελέ C8 με αποτέλεσμα την μείωση της υγρασίας στον θάλαμο.

Παρόμοια λειτουργία εκτελείται και όταν ο χρήστης επιλέξει την αυτόματη με την διαφορά πως πλέον ο έλεγχος της υγρασίας γίνεται από την ηλεκτρονική πλακέτα MCU μέσω προγράμματος SCADA από Η/Υ. Σε αυτή την περίπτωση το ρελέ C8 του υγραντήρα ελέγχεται από τα ρελέ της ηλεκτρονικής πλακέτας MCU στην κλέμα Q7.

Στον παρακάτω Πίνακα (2.4) περιγράφονται όλα τα λειτουργικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται το κύκλωμα αυτοματισμού υγρασίας:

Πίνακας 2.4: Λειτουργικά Στοιχεία Κυκλώματος Αυτοματισμού Υγρασίας

Περιγραφή Στοιχείου	Τύπος Στοιχείου	Ονομαστικές Τιμές	Ονομασία Στοιχείου
Μονοπολική Αυτόματη Ασφάλεια	Hager MCN106	6A	F1
Περιστροφικός Διακόπτης Ισχύος	TQB XB2-BE101	400V, 10A	K6
Ρελέ Υγραντήρα	Telemecanique RXM 41611 P7	250V, 6A	C8
Κλέμα – Έξοδος Πλακέτας MCU	Songle SRD-05VDC-SL-C	250V, 10A	Q7



Σχήμα 2.5: Κύκλωμα Αυτοματισμού Υγρασίας.

2.6 Αντιστοιχίες Κυκλωμάτων και Στοιχείων Ελέγχου

Στους Πίνακες 2.5, 2.6 και 2.7 περιγράφονται οι αντιστοιχίες κάθε κυκλώματος αυτοματισμού με το αντίστοιχο στοιχείο ελέγχου του κυκλώματος.

Πίνακας 2.5: Αντιστοιχίες αυτόματων ασφαλειών με τα ελεγχόμενα κυκλώματα

Όνομασία Στοιχείου	Περιγραφή Στοιχείου Ελέγχου	Ελεγχόμενο Κύκλωμα
F1	Μονοπολική Αυτόματη Ασφάλεια 6Α	Κύκλωμα Αυτοματισμού Υγρασίας και Κύκλωμα Αυτοματισμού Θέρμανσης - Ψύξης
F2	Μονοπολική Αυτόματη Ασφάλεια 6Α	Κύκλωμα Αυτοματισμού Λαμπτήρων
F3	Μονοπολική Αυτόματη Ασφάλεια 16Α	Κύκλωμα Αυτοματισμού Θέρμανσης - Ψύξης

Πίνακας 2.6: Αντιστοιχίες περιστροφικών διακοπών ισχύος με τα ελεγχόμενα κυκλώματα

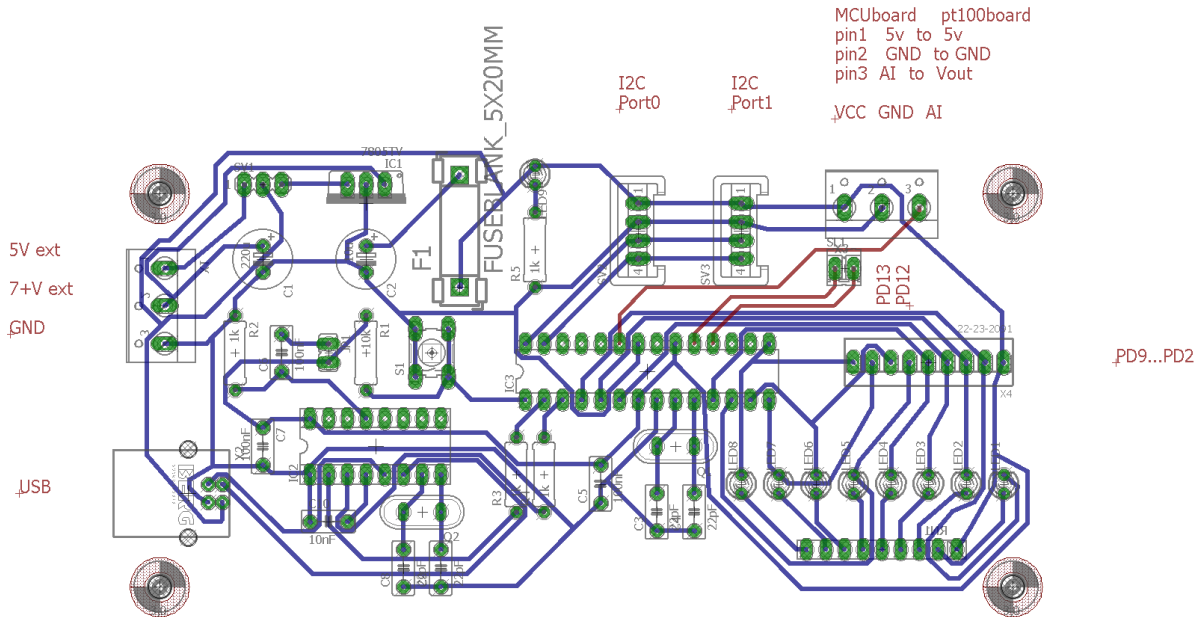
Ονομασία Στοιχείου	Περιγραφή Στοιχείου Ελέγχου	Ελεγχόμενο Κύκλωμα
K1	Περιστροφικός Διακόπτης Ισχύος 240V, 0.3A	Κύκλωμα Αυτοματισμού Θέρμανσης - Ψύξης
K2	Περιστροφικός Διακόπτης Ισχύος 250V, 10A	Κύκλωμα Λαμπτήρων Φθορίου Νο1
K3	Περιστροφικός Διακόπτης Ισχύος 250V, 10A	Κύκλωμα Λαμπτήρων Φθορίου Νο2
K4	Περιστροφικός Διακόπτης Ισχύος 250V, 10A	Κύκλωμα Λαμπτήρων Φθορίου Νο3
K5	Περιστροφικός Διακόπτης Ισχύος 400V, 10A	Κύκλωμα Λαμπτήρων Πυράκτωσης
K6	Περιστροφικός Διακόπτης Ισχύος 400V, 10A	Κύκλωμα Αυτοματισμού Υγρασίας

Πίνακας 2.7: Αντιστοιχίες ρελέ ισχύος με τα ελεγχόμενα κυκλώματα

Ονομασία Στοιχείου	Περιγραφή Στοιχείου Ελέγχου	Ελεγχόμενο Κύκλωμα
C1	Ρελέ Ισχύος 3P, 4kW	Κύκλωμα Συμπιεστή
C2	Ρελέ Ισχύος 3P, 2.2kW	Κύκλωμα Ανεμιστήρα
C3	Ρελέ Ισχύος 3P, 4kW	Κύκλωμα Αντιστάσεων Θέρμανσης
C4	Ρελέ Ισχύος 3P, 2.2kW	Κύκλωμα Λαμπτήρων Φθορίου Νο1
C5	Ρελέ Ισχύος 3P, 2.2kW	Κύκλωμα Λαμπτήρων Φθορίου Νο2
C6	Ρελέ Ισχύος 3P, 2.2kW	Κύκλωμα Λαμπτήρων Φθορίου Νο3
C7	Ρελέ Ισχύος 3P, 2.2kW	Κύκλωμα Λαμπτήρων Πυράκτωσης
C8	Ρελέ Ισχύος 3P, 1.5kW	Κύκλωμα Υγραντήρα

2.7 Επίλογος

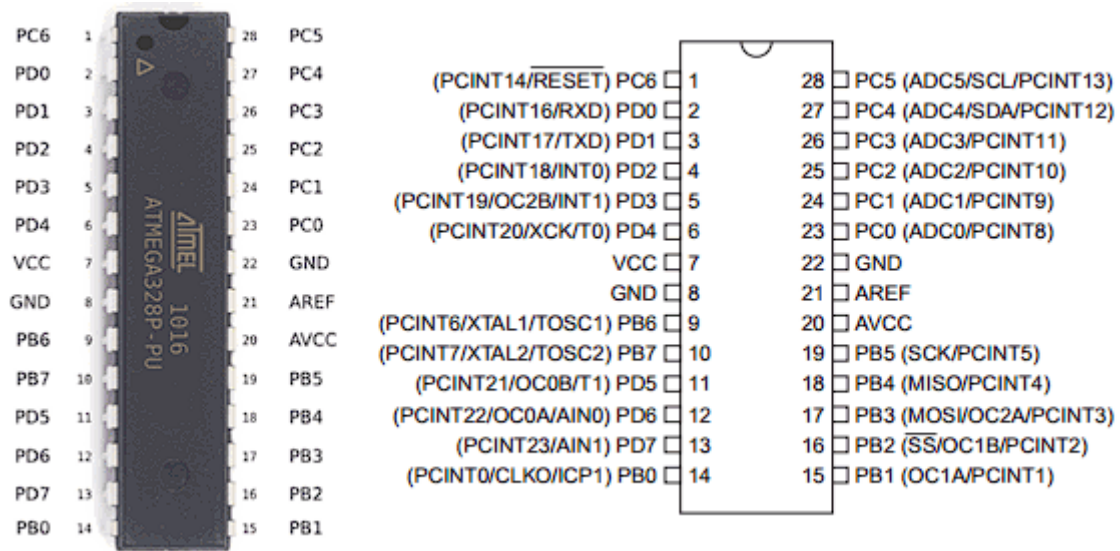
Το δεύτερο κεφάλαιο της Διπλωματικής Εργασίας αφιερώνεται στο ηλεκτρολογικό κομμάτι του θαλάμου ανάπτυξης φυτών. Στην εισαγωγή γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της λειτουργίας του θαλάμου και των ηλεκτρικών κυκλωμάτων που τον απαρτίζουν. Εν συνεχεία, για κάθε ηλεκτρικό κύκλωμα (κυκλώματα ισχύος και αυτοματισμών) αφιερώνεται μια παράγραφος για την αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας του και των λειτουργικών στοιχείων που το απαρτίζουν.



Σχήμα 3.2: Σχέδιο PCB πλακέτας MCU

3.2.1 Κύκλωμα Λειτουργίας Μικροελεγκτή

Το κύριο κύκλωμα για την λειτουργία της πλακέτας MCU και γενικότερα όλου του συστήματος είναι το κύκλωμα λειτουργίας του μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιούμε είναι ο ATmega 328P (Σχήμα 3.3) της εταιρίας ATMEL.

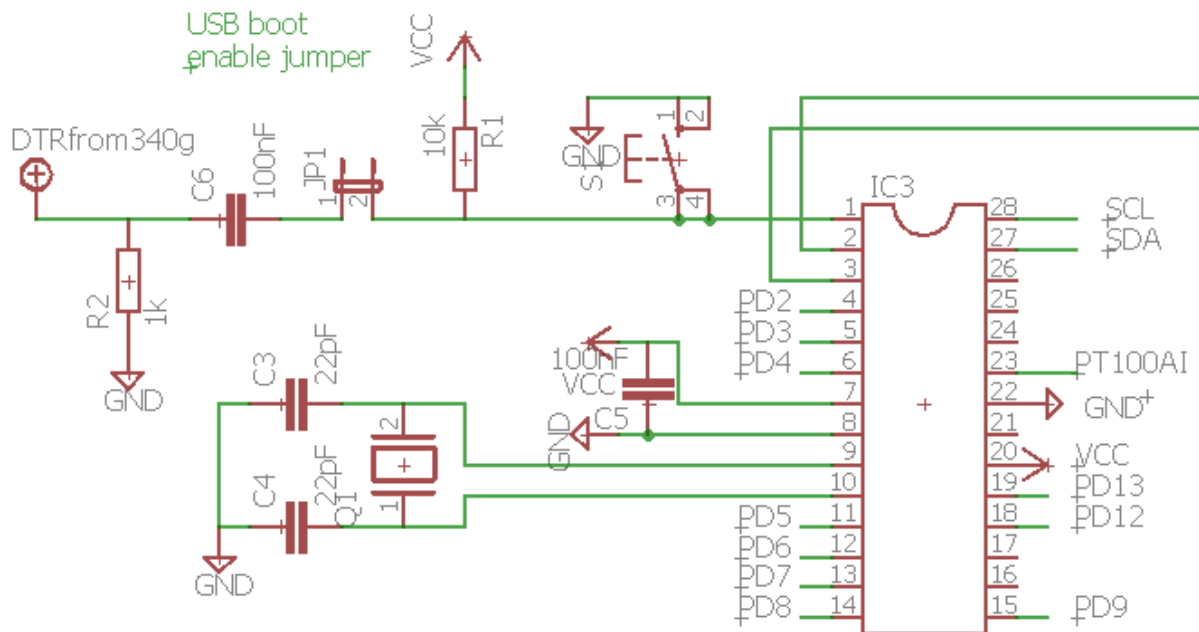


Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ακροδεκτών ATmega 328P.

Ο μικροελεγκτής διαθέτει συνολικά 23 προγραμματιζόμενες εισόδους/εξόδους (I/O) οι οποίες καλύπτουν σε αριθμό τις ανάγκες της εφαρμογής, διαθέτει έναν ADC με 10-bit ανάλυση ο οποίος είναι κατάλληλος για το αναλογικό αισθητήριο της πλακέτας PT100, μπορεί να διασυνδεθεί με τα υπόλοιπα

αισθητήρια της εφαρμογής μέσω του προτύπου I2C ενώ μπορεί να συνδεθεί με H/Y μέσω του προτύπου για την μεταφορά μετρήσεων και για τον προγραμματισμό του [2]. Άλλα πλεονεκτήματα είναι ότι βρίσκεται εύκολα στην αγορά, είναι σχετικά φθηνός και προγραμματίζεται εύκολα.

Αρχικά, για την λειτουργία του μικροελεγκτή απαιτείται η τροφοδοσία του (Σχήμα 3.4). Το pin 7 (Vcc) του μικροελεγκτή τροφοδοτείται με 5VDC ενώ το pin 8 (GND) συνδέεται με την γείωση. Παράλληλα σε αυτά τα δύο pins τοποθετείται ένας πυκνωτής (C5) των 100 nF για απομόνωση μεταξύ Vcc και GND.



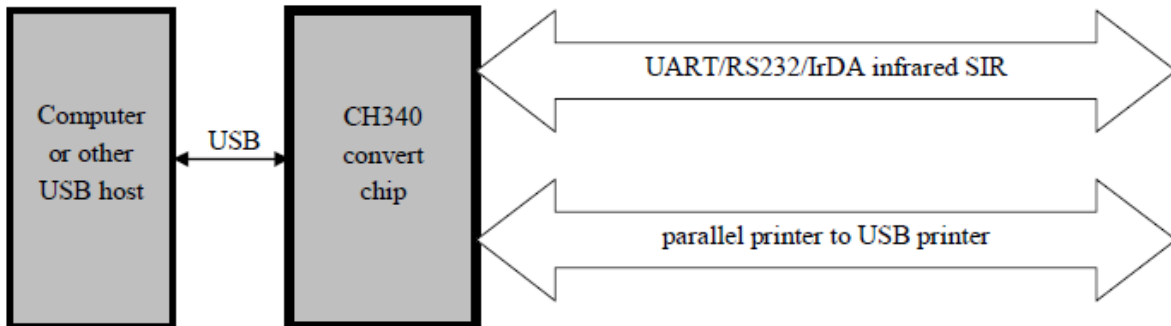
Σχήμα 3.4: Κυκλώματα λειτουργίας ATmega 328P.

Εκτός από την τροφοδοσία, για την λειτουργία του μικροελεγκτή, απαιτείται και η ύπαρξη ενός κρυσταλλικού ταλαντωτή (crystal oscillator). Η μέγιστη συχνότητα λειτουργία του συγκεκριμένου μικροελεγκτή είναι τα 16MHz, επομένως για να έχουμε την μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας επιλέχθηκε ένας κρυσταλλικός ταλαντωτής ίδιας τιμής και τοποθετήθηκε παράλληλα στα pins 9 (TOSC1) και 10 (TOSC2).

Τέλος, για να μπορούμε να κάνουμε reset το πρόγραμμα του μικροελεγκτή, τοποθετήθηκε το μπουτόν S1 στο pin 1 (RESET) του μικροελεγκτή το οποίο όταν πατηθεί στέλνει λογικό 0 για να γίνει το reset του προγράμματος. Σε σειρά με το μπουτόν S1 υπάρχει το jumper JP1 το οποίο χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή με τον H/Y μέσω της θύρας USB. Ο προγραμματισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο όταν το συγκεκριμένο jumper είναι βραχυκυκλωμένο, ώστε να μπορέσει να εκτελέσει reset την κατάλληλη χρονική στιγμή που ο ακροδέκτης DTR της σειριακής σύνδεσης (ακροδέκτης 13 του CH340) εμφανίζει δυναμικό 0V.

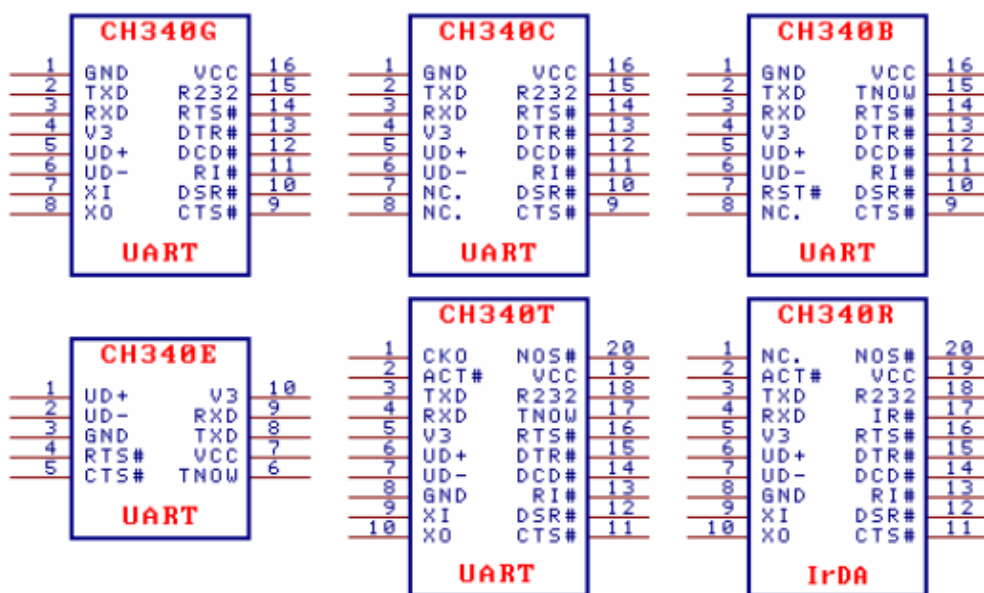
3.2.2 Κύκλωμα Επικοινωνίας USB

Για την αποστολή μετρήσεων μεταξύ μικροελεγκτή και Η/Υ καθώς και για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή σχεδιάστηκε ένα κύκλωμα επικοινωνίας μέσω θύρας USB. Το κύκλωμα βασίζεται στο ολοκληρωμένο CH340 το οποίο είναι ένας μετατροπέας από USB σε σειριακή επικοινωνία UART. Το ολοκληρωμένο παρεμβάλλεται (Σχήμα 3.5) ανάμεσα σε μικροελεγκτή και Η/Υ ως ενδιάμεσο κύκλωμα και μετατρέπει τα δεδομένα από τον Η/Υ (πρότυπο USB) σε σειριακή μορφή (πρότυπο UART) για τον μικροελεγκτή, όπως και το αντίστροφο.



Σχήμα 3.5: Διάγραμμα μετατροπής από USB σε UART του ολοκληρωμένου CH340 [3].

Το ολοκληρωμένο CH340 βγαίνει σε πολλές εκδόσεις (Σχήμα 3.6) με 10, 16 και 20 ακροδέκτες αντίστοιχα. Κάθε έκδοση έχει διαφορετικές δυνατότητες και χαρακτηριστικά. Για το κύκλωμα επιλέχθηκε η έκδοση CH340G με δυνατότητα χρήσης εξωτερικού ταλαντωτή να επιτευχθεί η μέγιστη ταχύτητα επικοινωνίας.

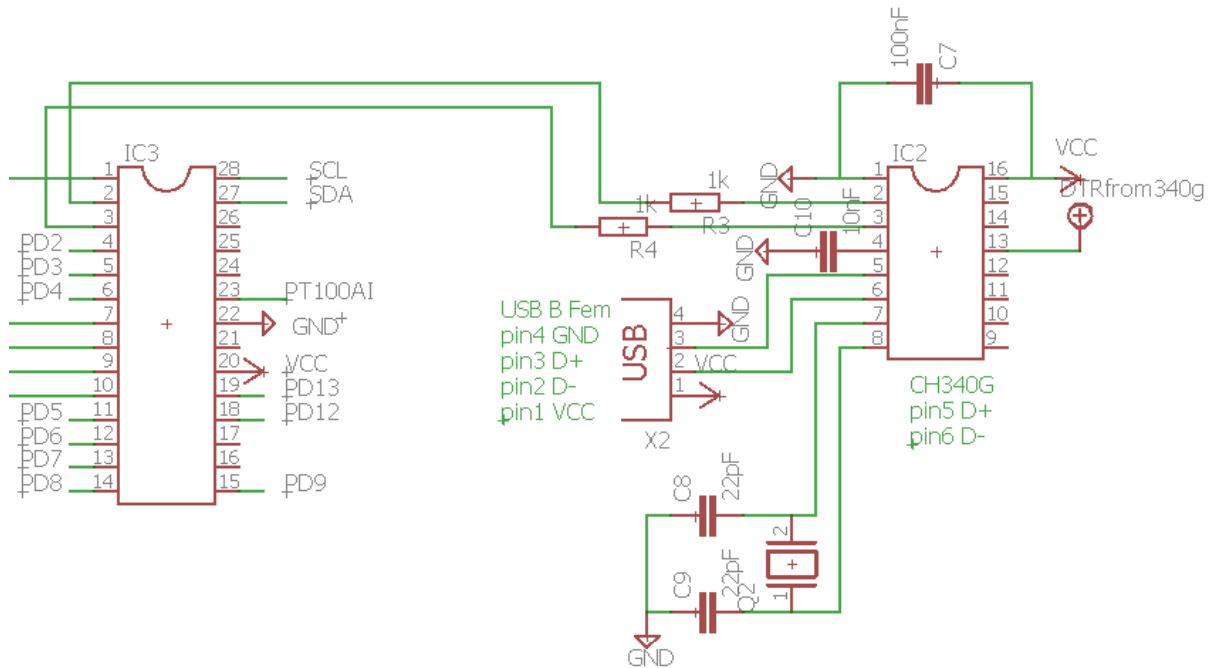


Σχήμα 3.6: Διάφοροι τύποι του ολοκληρωμένου CH340.

Κεφάλαιο 3

Τα βασικά πλεονεκτήματά του είναι πως έχει την δυνατότητα λειτουργίας με την πλήρη ταχύτητα του πρωτοκόλλου USB 2.0 ενώ από πλευράς σειριακής επικοινωνίας υποστηρίζει ταχύτητες από 50bps μέχρι 2Mbps, είναι απόλυτα συμβατό με το λειτουργικό σύστημα Windows για σειριακή επικοινωνία, μπορεί να τροφοδοτηθεί με τάση 5VDC όπως και τα υπόλοιπα κυκλώματα της πλακέτας, υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα στην αγορά και είναι πιο φθηνό σε σχέση με τα άλλα ανταγωνιστικά ολοκληρωμένα.

Για την συνδεσμολογία του ολοκληρωμένου (Σχήμα 3.7) δεν χρησιμοποιήθηκαν όλα τα pins (10 από τα συνολικά 16) του ολοκληρωμένου παρά μόνο όσα ήταν απαραίτητα για να επιτευχθεί επικοινωνία μεταξύ μικροελεγκτή και H/Y.

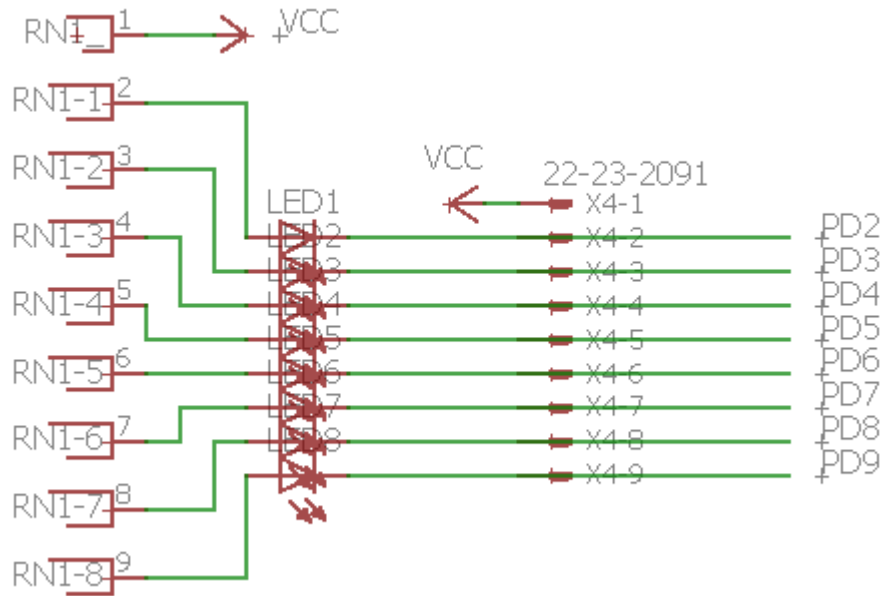


Σχήμα 3.7: Κύκλωμα επικοινωνίας USB.

Για την λειτουργία του ολοκληρωμένου κυκλώματος CH340 χρησιμοποιείται ένας κρυσταλλικός ταλαντωτής των 12MHz ο οποίος συνδέεται παράλληλα στα pins 7 (XI) και 8 (XO) μαζί με τους πυκνωτές C3 και C4 των 22pF έκαστος. Για την σύνδεση USB μεταξύ ολοκληρωμένου και H/Y χρησιμοποιούνται τα pins 5 (UD+) και 6 (UD-) τα οποία καταλήγουν στα αντίστοιχα pin ενός βύσματος USB type B που έχει τοποθετηθεί πάνω στην πλακέτα. Η σειριακή σύνδεση μεταξύ ολοκληρωμένου και μικροελεγκτή γίνεται μέσω της σύνδεσης των pins 2 (TXD) και 3 (RXD) του ολοκληρωμένου με τα pins 2 (RXD) και 3 (TXD) του μικροελεγκτή, σε σειρά συνδέονται και δύο Pull Up αντιστάσεις R3 και R4 του 1kΩ. Τέλος για την τροφοδοσία του ολοκληρωμένου το pin 16 (Vcc) συνδέεται στα 5VDC και τα pins 1 (GND) και 4 (V3) συνδέονται στην γείωση.

3.2.3 Κύκλωμα Ελέγχου Ρελέ

Για τον έλεγχο των κυκλωμάτων ισχύος του θαλάμου χρησιμοποιείται μια πλακέτα με οκτώ (8) μίνι ρελέ (ηλεκτρονόμους). Τα μίνι ρελέ ελέγχονται από αντίστοιχες ψηφιακές εξόδους του μικροελεγκτή. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.8, σε κάθε έξοδο του μικροελεγκτή έχει τοποθετηθεί ένα LED κόκκινου χρώματος μαζί με μία αντίσταση του 1kΩ για ένδειξη της κατάστασης του ρελέ (ON-OFF).



Σχήμα 3.8: Κύκλωμα ελέγχου ρελέ.

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι αντιστοιχίες των εξόδων ελέγχου του μικροελεγκτή με τις εισόδους στην πλακέτα ρελέ.

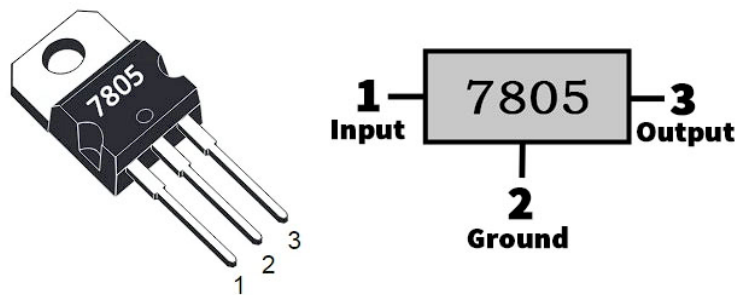
Πίνακας 3.1: Αντιστοιχίες εξόδων μικροελεγκτή με τις εισόδους στην πλακέτα ρελέ

Έξοδοι Μικροελεγκτή	Είσοδοι Πλακέτας Ρελέ
PD2	IN1
PD3	IN2
PD4	IN3
PD5	IN4
PD6	IN5
PD7	IN6
PD8	IN7
PD9	IN8

3.2.4 Κύκλωμα Τροφοδοσίας Πλακέτας

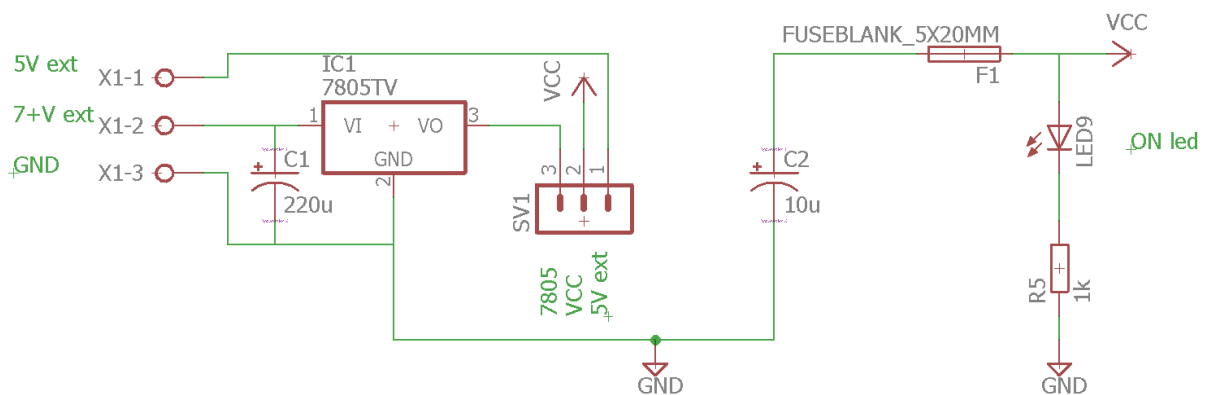
Η σχεδίαση του κυκλώματος τροφοδοσίας της πλακέτας έγινε γνώμονα το μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ολόκληρου του ηλεκτρονικού κυκλώματος και την δυνατότητα τροφοδοσίας του κυκλώματος με τάσεις μεγαλύτερες των 5VDC. Το μέγιστο ρεύμα λειτουργίας πρέπει να καλύπτει τις απαιτήσεις τροφοδοσίας όλων των πλακετών και των αισθητηρίων ενώ η τάση τροφοδοσίας πρέπει να μπορεί να κυμανθεί και σε τάσεις μεγαλύτερες των 5VDC επιτρέποντας τον χρήστη να χρησιμοποιήσει εναλλακτικές μεθόδους τροφοδοσίας του κυκλώματος.

Όλα αυτά επιτυγχάνονται μέσω του σταθεροποιητή τάσης LM7805 (Σχήμα 3.9). Ο συγκεκριμένος σταθεροποιητής τάσης μπορεί να δώσει ρεύμα στην έξοδο μέχρι 1,5A με μέγιστη τάση εξόδου τα 5,2VDC και εύρος τάσεων εισόδου από 7 μέχρι 25VDC [4].



Σχήμα 3.9: Διάγραμμα των pins του LM7805.

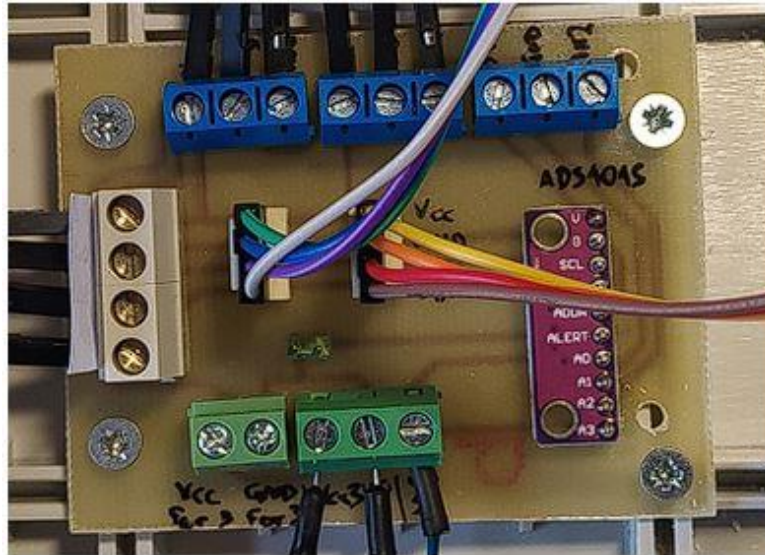
Στο Σχήμα 3.10, παρουσιάζεται το κύκλωμα τροφοδοσίας της πλακέτας με τον LM7805. Στην είσοδο 1 του LM7805 (κλέμα X1-2) ο χρήστης έχει την δυνατότητα εξωτερικής τροφοδοσίας με τάση άνω των 7VDC. Αν ο χρήστης έχει την δυνατότητα εξωτερικής τροφοδοσίας του κυκλώματος με σταθερή τάση των 5VDC τότε από την κλέμα X1-1 και βραχυκυκλώνοντας τις επαφές 1 και 2 του SV1 μπορεί να παρακάμψει το LM 7805. Για την σταθεροποίηση της τάσης τροφοδοσίας χρησιμοποιούνται οι πυκνωτές C1 (220uF) και C2 (10uF) ενώ για την προστασία του κυκλώματος από υπερεντάσεις έχει τοποθετηθεί μια γυάλινη ασφάλεια (F1) του 1A. Τέλος, για την ένδειξη τροφοδοσίας του κυκλώματος έχει τοποθετηθεί το LED 9.



Σχήμα 3.10: Κύκλωμα τροφοδοσίας πλακέτας.

3.3 Πλακέτα ADS1015

Η πλακέτα ADS1015 (Εικόνα 3.2) χρησιμοποιείται για την συλλογή των μετρήσεων από τα αισθητήρια μέσα στον θάλαμο φυτών και την αποστολή τους στον μικροελεγκτή (πλακέτα MCU) μέσω του προτύπου I²C για περαιτέρω επεξεργασία.

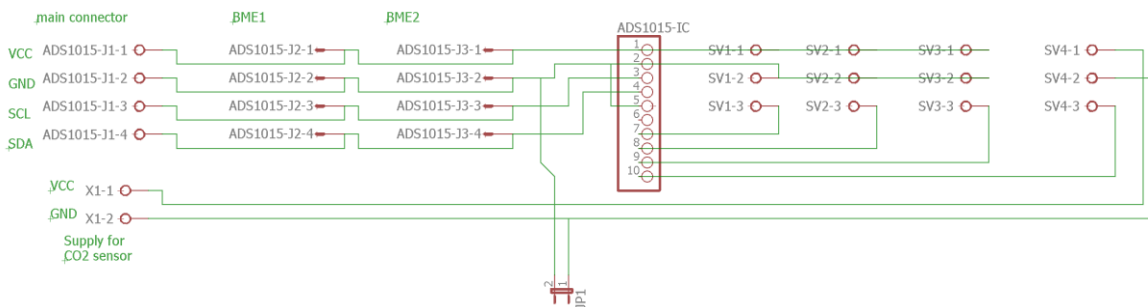


Εικόνα 3.2: Το Board της πλακέτας ADS1015.

Συνολικά στην πλακέτα κουμπώνουν πέντε (5) αισθητήρια, τρία (3) αναλογικά και δύο (2) ψηφιακά. Οι τύποι των αισθητηρίων που χρησιμοποιούνται είναι:

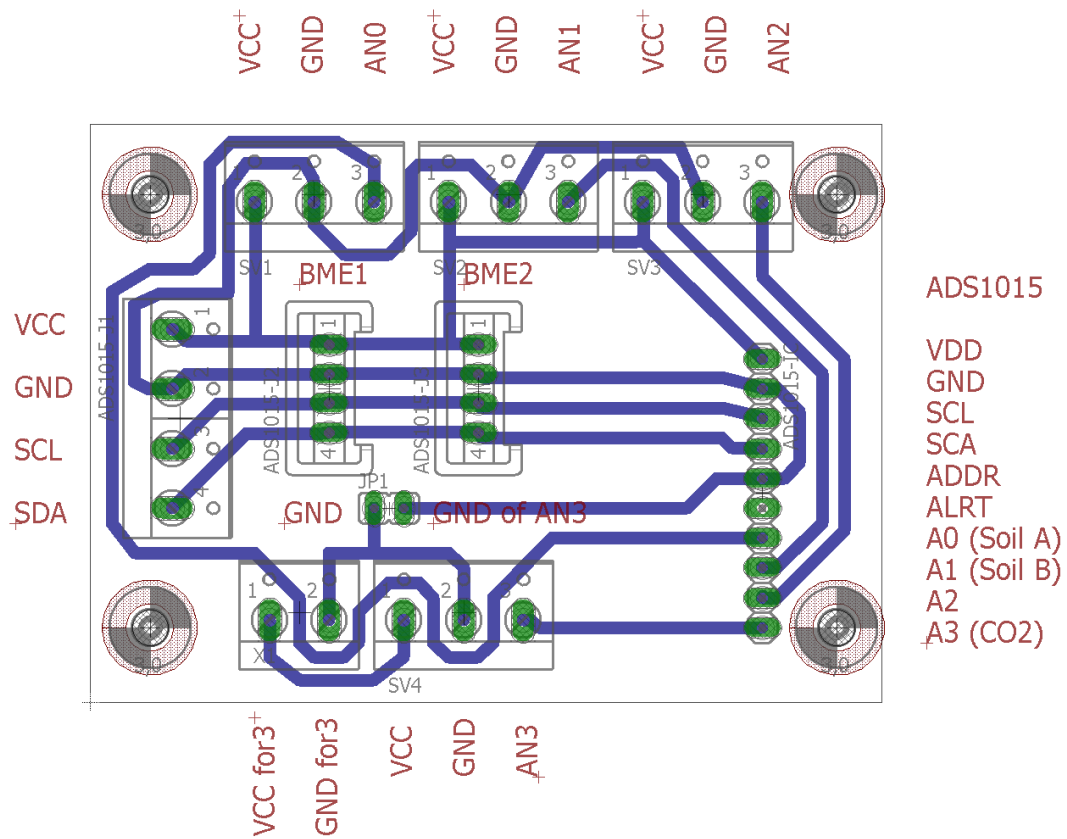
- Δύο (2) ψηφιακά αισθητήρια θερμοκρασίας – υγρασίας αέρα
- Δύο (2) αναλογικά αισθητήρια υγρασίας χώματος
- Ένα (1) αναλογικό αισθητήριο διοξειδίου του άνθρακα CO₂

Όλα τα αισθητήρια (αναλογικά και ψηφιακά) καταλήγουν σε αντίστοιχες κλέμες τροφοδοσίας και δεδομένων πάνω στην πλακέτα (Εικόνα 3.2) και (Σχήμα 3.11). Οι τιμές των αναλογικών αισθητηρίων μετατρέπονται σε ψηφιακές από έναν μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό και αποστέλλονται μέσω του bus I²C στον μικροελεγκτή. Οι τιμές των ψηφιακών αισθητηρίων δεν χρειάζονται κάποια περαιτέρω επεξεργασία οπότε και αποστέλλονται κατευθείαν στον μικροελεγκτή μέσω του bus I²C.



Σχήμα 3.11: Σχηματικό διάγραμμα πλακέτας ADS1015.

Για τον σχεδιασμό της πλακέτας, αρχικά ως σχηματικό διάγραμμα (Σχήμα 3.11) και εν συνεχεία ως σχέδιο PCB (Σχήμα 3.12) χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα EAGLE με την έκδοση 7.6.0. Το σχέδιο της πλακέτας εκτυπώθηκε σε θερμοδιαφάνεια, έγινε εμφάνιση του σε φωτοευαίσθητη πλακέτα σε θάλαμο εμφάνισης, έγινε αποχάλκωση με κατάλληλα χημικά και τέλος έγινε κόλλημα όλων των υλικών πάνω σε αυτή.

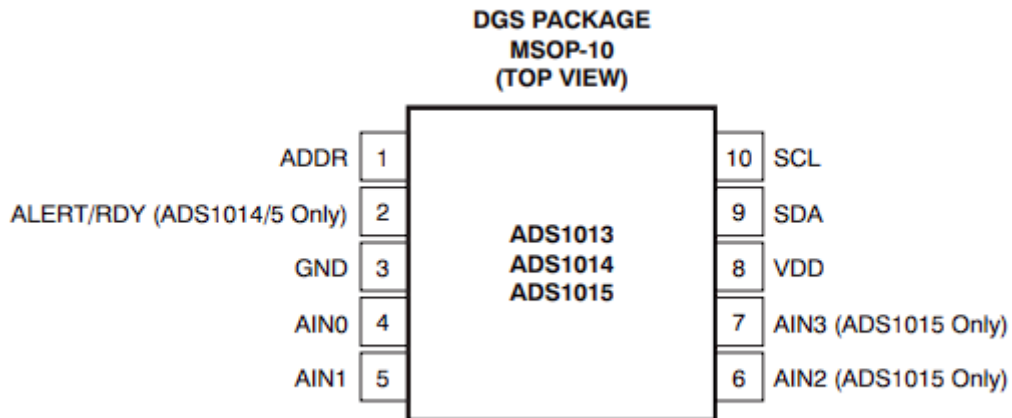


Σχήμα 3.12: Σχέδιο PCB πλακέτας ADS1015.

3.3.1 Μετατροπή και Αποστολή Μετρήσεων

Για την μετατροπή των μετρήσεων από τα αναλογικά αισθητήρια και την αποστολή τους στον μικροελεγκτή (πλακέτα MCU) χρησιμοποιείται το ολοκληρωμένο ADS1015 (Σχήμα 3.13). Το ADS1015 είναι ένας μετατροπέας από αναλογικό σε ψηφιακό ο οποίος χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο I2C για επικοινωνία. Το εύρος της τάσης τροφοδοσίας του κυμαίνεται από 2 έως 5VDC. Διαθέτει τέσσερα (4) κανάλια μετατροπής (A0 έως A3) με ακρίβεια 12bit και με μεγάλη ταχύτητα μετατροπής. Επιπλέον τα κανάλια A0 και A1 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορική μέτρηση σήματος με το A3. Στον μετατροπέα ενσωματώνεται και ένας ενισχυτής ρυθμιζόμενου κέρδους όπου ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει ανάλογα με τις ανάγκες του [5].

Εκτός του μετατροπέα, στο ολοκληρωμένο έχει ενσωματωθεί κανάλι επικοινωνίας με το πρωτόκολλο I²C. Αυτό επιτρέπει την σύνδεση του ολοκληρωμένου από τα pins 8 (VDD), 3 (GND), 9 (SDA) και 10 (SCL) με τα pins του μικροελεγκτή 20 (VCC), 22 (GND), 27 (SDA) και 28 (SCL). Η σύνδεση τους γίνεται μέσω τετραπολικού καλωδίου.



Σχήμα 3.13: Διάγραμμα ακροδεκτών ADS1015 [5].

Στον Πίνακα 3.2 περιγράφονται αναλυτικά οι λειτουργίες κάθε pin του ολοκληρωμένου. Στην συνδεσμολογία της πλακέτα χρησιμοποιούνται όλα τα pins εκτός του ALERT/RDY.

Πίνακας 3.2: Περιγραφή λειτουργιών των pins του ADS1015 [5].

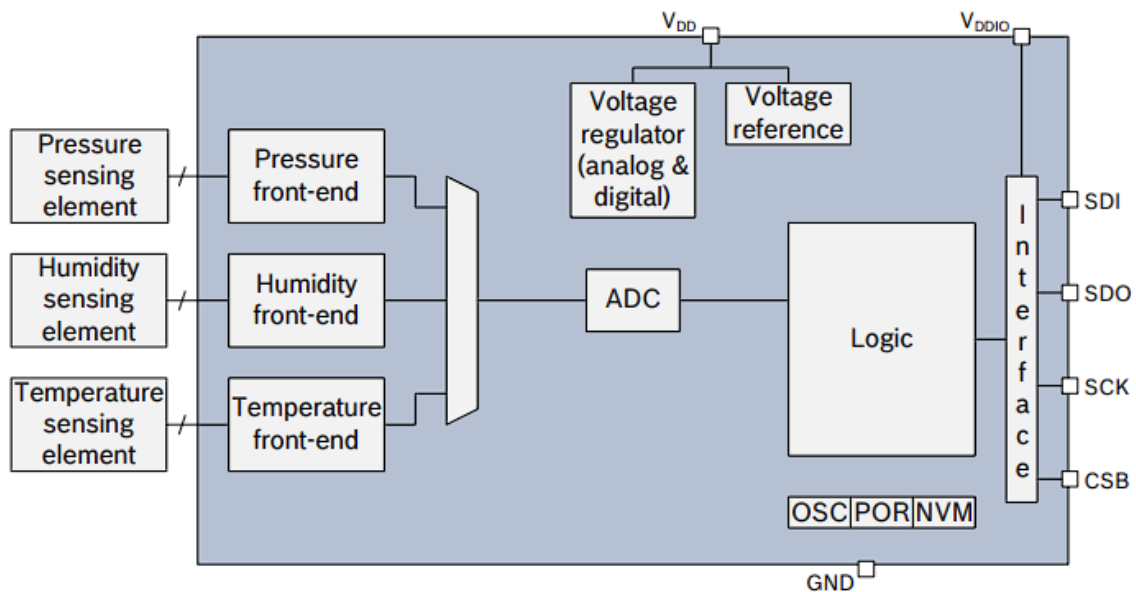
Ονομασία ακροδέκτη	Περιγραφή λειτουργίας
ADD	Επιλογή διεύθυνσης του slave
AIN0	Αναλογική είσοδος 0
AIN1	Αναλογική είσοδος 1
AIN2	Αναλογική είσοδος 2
AIN3	Αναλογική είσοδος 3
ALERT/RDY	Έξοδος συγκριτή
GND	Γείωση
SCL	Είσοδος σειριακού ρολογιού
SDA	Σειριακά δεδομένα
VDD	Τροφοδοσία

3.3.2 Αισθητήρια Θερμοκρασίας – Υγρασίας Αέρα

Εντός του θαλάμου ανάπτυξης φυτών έχουν εγκατασταθεί δύο (2) ψηφιακά αισθητήρια θερμοκρασίας – υγρασίας για την συλλογή μετρήσεων. Τα ένα βρίσκεται στο κάτω μέρος του θαλάμου και το άλλο στο επάνω έτσι ώστε να λαμβάνονται μετρήσεις από διαφορετικά σημεία. Τα αισθητήρια συνδέονται στην πλακέτα ADS1015 και από εκεί μέσω του διαύλου I²C καταλήγουν στον μικροελεγκτή.

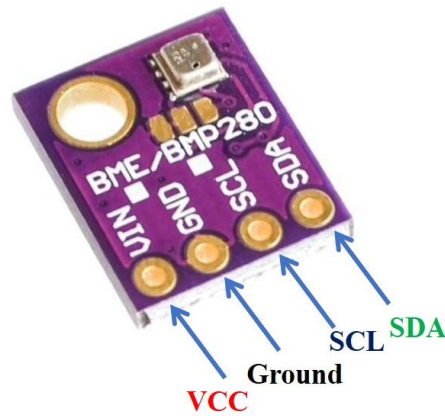
Τα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται είναι τα BME280 της εταιρίας Bosch. Τα συγκεκριμένα αισθητήρια μπορούν να μετρήσουν θερμοκρασία, υγρασία και πίεση. Και ο χρήστης μπορεί να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει την δυνατότητα μέτρησης υγρασίας και πίεσης. Στα αισθητήρια που χρησιμοποιούμε έχει απενεργοποιηθεί η δυνατότητα μέτρησης της πίεσης καθώς δεν μας ενδιαφέρουν αυτού του είδους οι μετρήσεις.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.14 το αισθητήριο διαθέτει ενσωματωμένο μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό, επομένως οι μετρήσεις από τα στοιχεία θερμοκρασίας και υγρασίας μετατρέπονται κατευθείαν και καταλήγουν στην έξοδο του σε ψηφιακή μορφή. Η αποστολή των ψηφιακών μετρήσεων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε με το πρότυπο SPI είτε με το πρότυπο I²C. Στα αισθητήρια που χρησιμοποιούμε η αποστολή γίνεται μέσω I²C συνδέοντας το κατευθείαν στην πλακέτα ADS1015, εκμεταλλευόμενοι τον ήδη υπάρχον διάυλο I²C μεταξύ ADS1015 και μικροελεγκτή [6].



Σχήμα 3.14: Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας του BME280 [6].

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα αισθητήρια χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο I²C επομένως χρησιμοποιούνται μόνο τέσσερα (4) pins για την επικοινωνία με τον δίαυλο του ADS1015. Στην Εικόνα 3.3 φαίνονται οι τέσσερις ακροδέκτες του BME280 οι οποίοι συνδέονται με τους αντίστοιχους με την ίδια ονομασία ακροδέκτες του ADS1015.



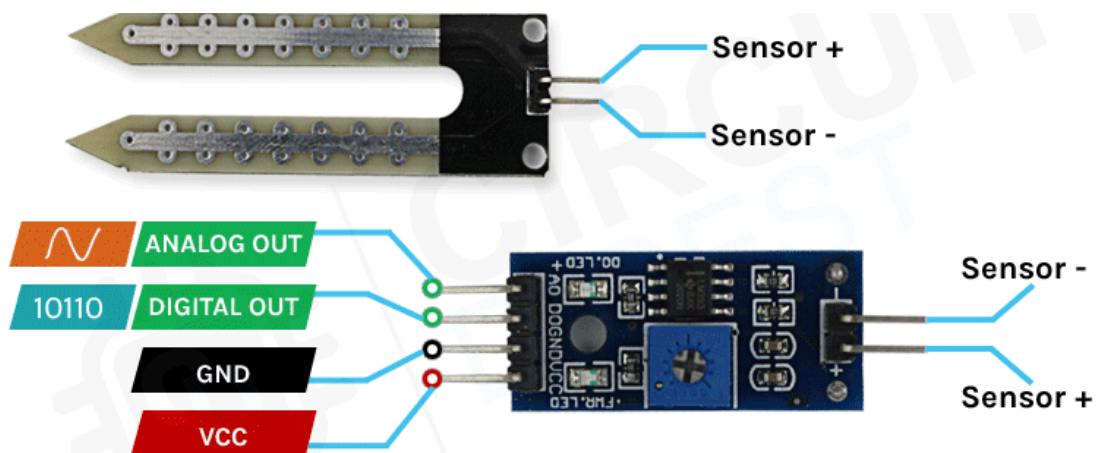
Εικόνα 3.3: Ακροδέκτες αισθητηρίου BME280.

3.3.3 Αισθητήρια Υγρασίας Χώματος

Για την μέτρηση υγρασίας στο χώμα, έχουν εγκατασταθεί στον θάλαμο ανάπτυξης φυτών δύο (2) αναλογικά αισθητήρια υγρασίας..

Η λειτουργία του αισθητηρίου βασίζεται στην τοποθέτηση του αισθητήρα αγωγιμότητας σε σχήμα πετάλου (probe) στο χώμα. Ο αισθητήρας (probe) έχει δύο εκτεθειμένες αγωγίμες πλάκες που μετρούν την αγωγιμότητα του χώματος μεταξύ τους. Η τιμή της αγωγιμότητας μεταβάλλεται ανάλογα με την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, το είδος του χώματος, την περιεκτικότητα σε άλλα στοιχεία (θρεπτικά) και την πυκνότητα του. Όσο περισσότερο νερό υπάρχει στο έδαφος, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η αγωγιμότητα, η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερη τιμή αντίστασης. Το αισθητήριο παράγει μια τάση εξόδου ανάλογη με την τιμή της αντίστασης του αισθητήρα (probe), με τη μέτρηση της οποίας μπορούμε να προσδιορίσουμε συγκριτικά το επίπεδο υγρασίας στο χώμα.

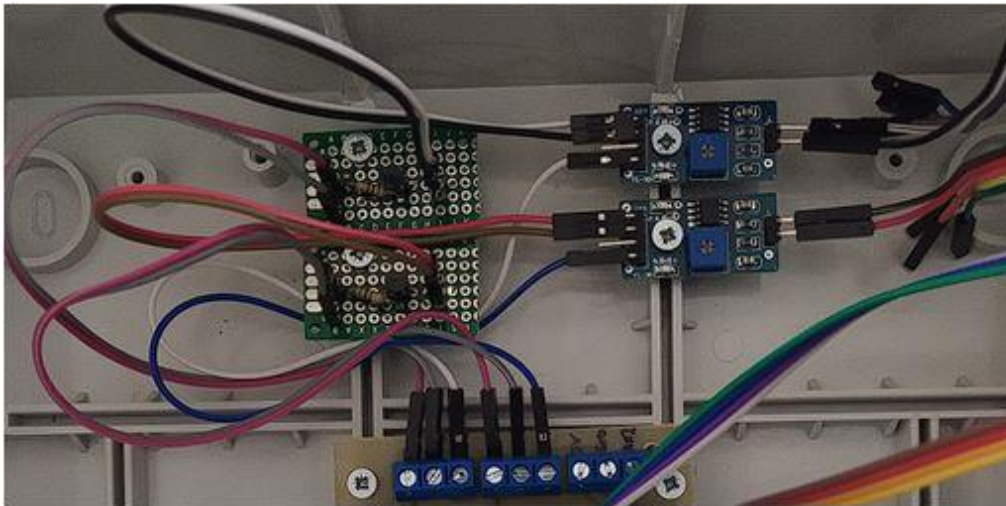
Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.4 το αισθητήριο αποτελείται από δύο μέρη: το πρώτο είναι ο αισθητήρας (probe) υγρασίας εδάφους και το δεύτερο μια ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας των μετρήσεων.



Εικόνα 3.4: Είσοδοι – έξοδοι αισθητηρίου υγρασίας χώματος.

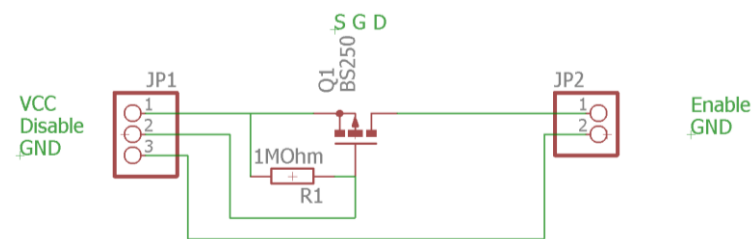
Ο αισθητήρας (probe) αντιστρόφως ανάλογα της αγωγιμότητας του χώματος παράγει μία διαφορά τάσης που παρέχεται στην αναλογική έξοδο. Επιπλέον υπάρχει ένας συγκριτής τάσης (LM393) που μπορεί να κάνει το κύκλωμα να λειτουργήσει ως συγκριτής στάθμης υγρασίας και να δώσει ψηφιακό σήμα (LOW-HIGH) στην ψηφιακή έξοδο. Στο κύκλωμα που σχεδιάστηκε, οι μετρήσεις αποστέλλονται κατευθείαν σε αναλογική μορφή στον ADS1015 και μετατρέπονται σε ψηφιακές. Αυτή η μέθοδος επιλέχθηκε διότι ο ADS1015 έχει μεγάλη ακρίβεια και βρίσκεται μέσα στο θάλαμο, δηλαδή σε πολύ μικρή απόσταση από τα αισθητήρια και δεν θα υπάρχει αλλοίωση της τάσης στα καλώδια. Από τον ADS1015 οι μετρήσεις καταλήγουν στον μικροελεγκτή μέσω I²C όπως και με τα άλλα αισθητήρια.

Μεταξύ των ηλεκτρονικών μονάδων επεξεργασίας και της πλακέτας ADS1015, παρεμβάλλεται η πλακέτα MOSFET (Εικόνα 3.5). Η διαρροή του αισθητηρίου από συνεχές ρεύμα (DC) θα προκαλέσει οξείδωση και καταστροφή του. Καθότι η μεταβολή της υγρασίας αναμένεται να είναι πάρα πολύ αργή, προτιμήθηκε να πραγματοποιούνται οι μετρήσεις σε πολύ αραιά χρονικά σημεία και στο ενδιάμεσο διάστημα να αποκόπτεται το κύκλωμα του αισθητηρίου και το probe από την τροφοδοσία. Για αυτή τη λειτουργία υλοποιήθηκε στην πλακέτα MOSFET ένας αναλογικός διακόπτης.



Εικόνα 3.5: Τα PCB Board των πλακετών MOSFET.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.15, η πλακέτα αποτελείται από ένα MOSFET P channel προσαύξησης (BS250) το οποίο δέχεται στην πύλη του (JP1, pin2) σε αραιά χρονικά διαστήματα σήματα από τον μικροελεγκτή για να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί την τροφοδοσία του αισθητήρα. Με δυναμικό 0V το MOSFET παρουσιάζει πολύ μικρή αντίσταση και με δυναμικό 5V το κανάλι του εμφανίζει τεράστια αντίσταση και ουσιαστικά μηδενίζει την τάση τροφοδοσίας στην πλακέτα του αισθητηρίου.

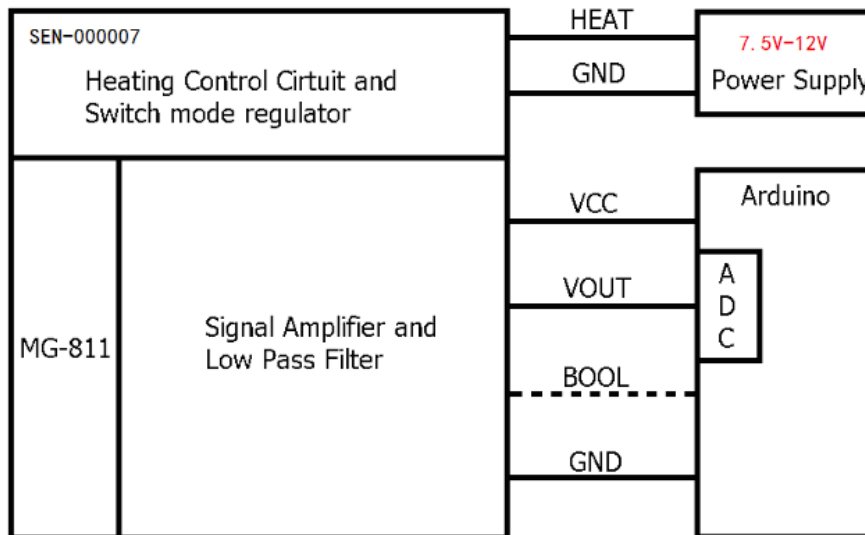


Σχήμα 3.15: Σχηματικό διάγραμμα πλακέτας MOSFET.

3.3.4 Αισθητήριο Διοξειδίου του Άνθρακα CO₂

Για την μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα εντός του θαλάμου ανάπτυξης φυτών έχει τοποθετηθεί ένα αντίστοιχο αναλογικό αισθητήριο το οποίο βασίζεται στον αισθητήρα MG-811. Το MG-811 είναι ουσιαστικά ένα στοιχείο που στην έξοδο παρέχει τάση στην περιοχή των 100-600mV (400-10000ppm CO₂). Ο αισθητήρας χρησιμοποιείται για έλεγχο της ποιότητας και παρακολούθηση του αέρα εντός του θαλάμου φυτών καθώς είναι πολύ ευαίσθητος στο διοξείδιο του άνθρακα. Η τάση εξόδου του είναι αντιστρόφως ανάλογη της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα που μετράει καθώς όσο μειώνεται η τάση εξόδου τόσο αυξάνεται η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα [8].

Για την λειτουργία του αισθητήρα απαιτείται ένα κύκλωμα θέρμανσης με ωμική αντίσταση το οποίο εξασφαλίζει την καλύτερη δυνατή θερμοκρασία για την λειτουργία του αισθητήρα και ένα κύκλωμα ενίσχυσης (conditioning circuit) για την ενίσχυση του σήματος εξόδου καθώς το πλάτος του σήματος είναι πολύ χαμηλό και η αντίσταση εξόδου του είναι αρκετά υψηλή.

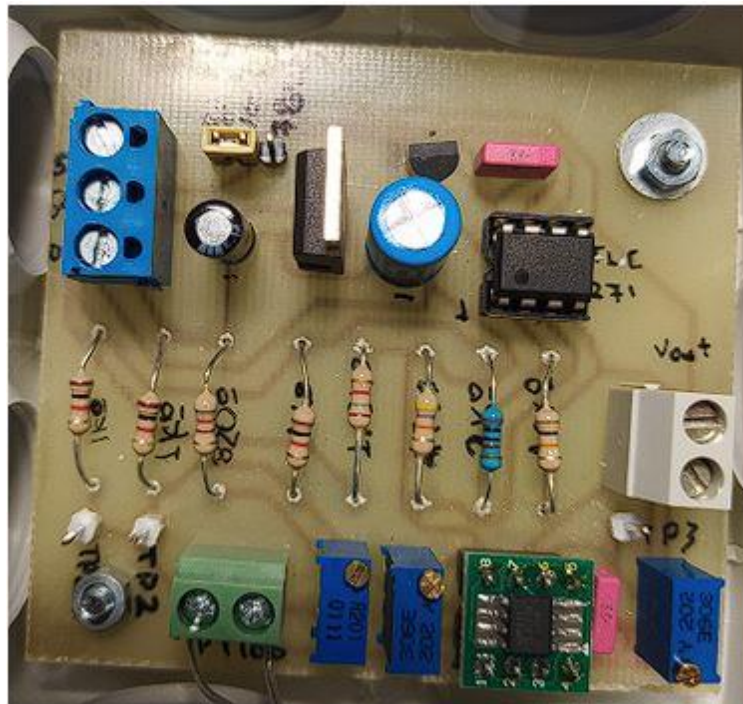


Σχήμα 3.16: Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας MG-811.

Για την λειτουργία του κυκλώματος θέρμανσης απαιτείται τροφοδοσία της τάξης των 6V και το ρεύμα που τραβάει το κύκλωμα κατά την θέρμανση είναι αρκετά υψηλό, κοντά στα 200mA. Επειδή απαιτείται μεγάλο ρεύμα για την τροφοδοσία του, το αισθητήριο τροφοδοτείται από το τροφοδοτικό με ξεχωριστό καλώδιο. Η έξοδος του αισθητηρίου είναι αναλογική και καταλήγει στον ADS1015 για μετατροπή σε ψηφιακή μορφή πριν αποσταλούν οι μετρήσεις στον μικροελεγκτή. Όπως και στα άλλα αναλογικά αισθητήρια, έτσι και σε αυτό, επιλέγεται η μετατροπή του σήματος από αναλογική σε ψηφιακή με τον ADS1015 και όχι στον ADC του μικροελεγκτή καθώς είναι σε πολύ μικρή απόσταση.

3.4 Πλακέτα PT100

Η πλακέτα PT100 (Εικόνα 3.6) χρησιμοποιείται για την συλλογή μετρήσεων θερμοκρασίας από το αισθητήριο θερμοκρασίας PT100 και αποστολή τους στον μικροελεγκτή (πλακέτα MCU) ή στον ADS1015, σε αναλογική μορφή. Υπάρχει η δυνατότητα να μετρήσει είτε την θερμοκρασία μέσα στο χώμα είτε σε κάποιο υλικό που επιθυμεί ο χειριστής.

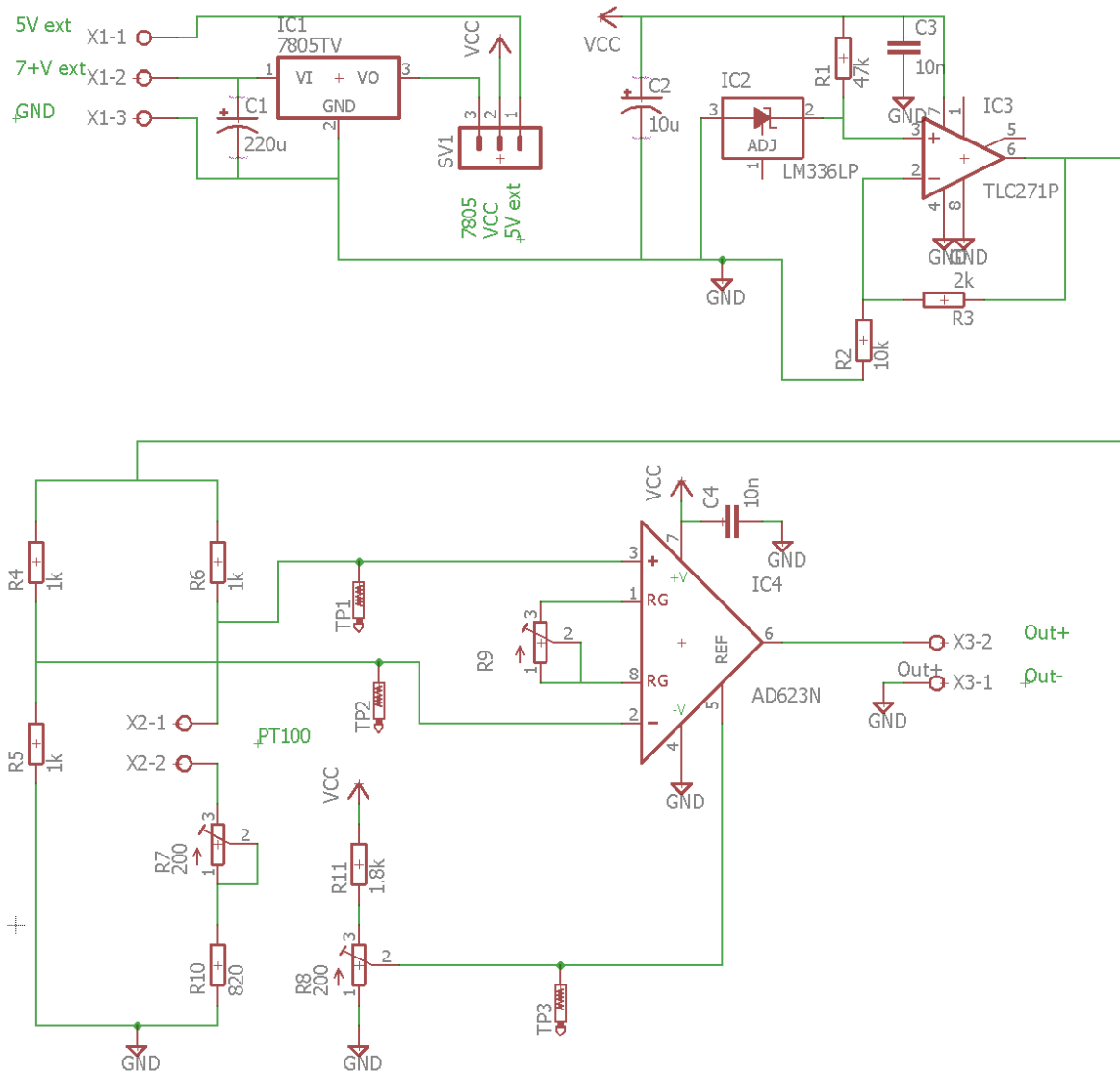


Εικόνα 3.6: Το Board της πλακέτας PT100.

Η πλακέτα ουσιαστικά είναι ένα κύκλωμα ενίσχυσης (conditioning circuit) της μικρής τάσης του αισθητήρα PT100 που δέχεται στην είσοδό της. Η τάση αυτή με κατάλληλες βαθμίδες ενισχύεται σημαντικά και αποστέλλεται σε μια αναλογική είσοδο του μικροελεγκτή. Η πλακέτα μπορεί να διαχωριστεί σε τέσσερα (4) επιμέρους κυκλώματα τα οποία όλα μαζί συνθέτουν όλο το κύκλωμα ενίσχυσης. Τα κυκλώματα (Σχήμα 3.17) αυτά είναι τα εξής:

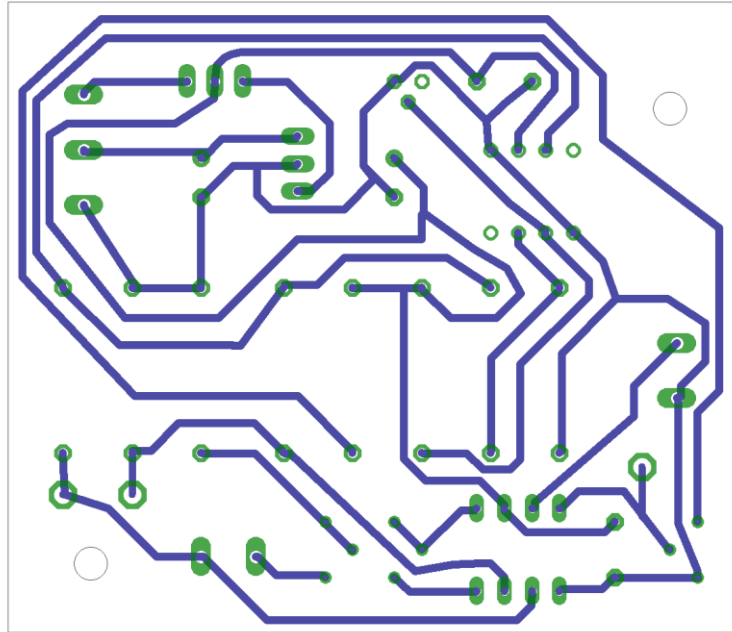
- Κύκλωμα τροφοδοσίας πλακέτας
- Κύκλωμα μετατροπής/σταθεροποίησης τάσης
- Κύκλωμα γέφυρας αντιστάσεων
- Κύκλωμα ενίσχυσης τάσης

Το κύκλωμα τροφοδοσίας πλακέτας μετατρέπει την τάση τροφοδοσίας του κυκλώματος σε σταθερή τάση των 5VDC. Αυτή η τάση φτάνει στην είσοδο του κυκλώματος μετατροπής/σταθεροποίησης τάσης και μετατρέπεται σε σταθερή τάση των 3VDC για να τροφοδοτήσει το την γέφυρα αντιστάσεων. Το ρεύμα των κλάδων της γέφυρας ρυθμίστηκε στο 1,5mA ($3V/2K\Omega=1,5mA$) ώστε να μην αυτοθερμαίνεται το αισθητήριο PT100. Οι τιμές τάσης που λαμβάνονται από το κύκλωμα της γέφυρας αντιστάσεων καταλήγουν στο κύκλωμα ενίσχυσης



Σχήμα 3.17: Σχηματικό διάγραμμα πλακέτας PT100.

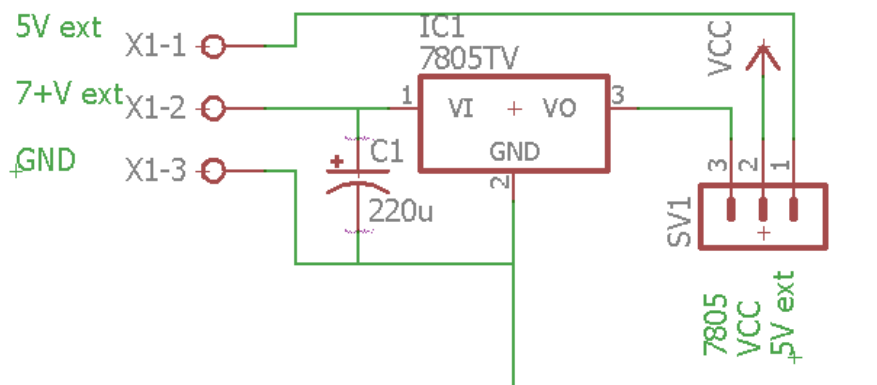
Για τον σχεδιασμό της πλακέτας, αρχικά ως σχηματικό διάγραμμα (Σχήμα 3.17) και εν συνεχεία ως σχέδιο PCB (Σχήμα 3.18) χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα EAGLE με την έκδοση 7.6.0. Το σχέδιο της πλακέτας εκτυπώθηκε σε θερμοδιαφάνεια, έγινε εμφάνιση του σε φωτοευαίσθητη πλακέτα σε θάλαμο εμφάνισης, έγινε αποχάλκωση με κατάλληλα χημικά και τέλος έγινε κόλλημα όλων των υλικών πάνω σε αυτή.



Σχήμα 3.18: Σχέδιο PCB πλακέτας PT100.

3.4.1 Κύκλωμα Τροφοδοσίας Πλακέτας

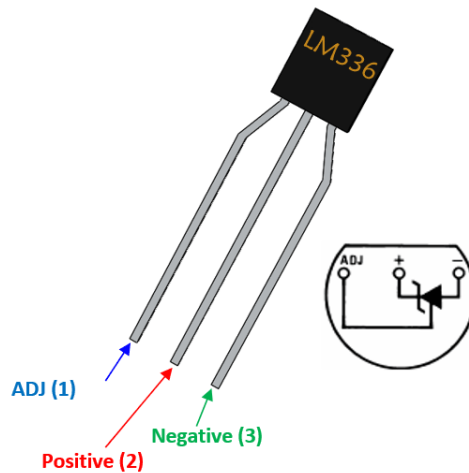
Για την τροφοδοσία της πλακέτας PT100 ο χρήστης έχει δύο επιλογές: η πρώτη είναι να τροφοδοτηθεί απευθείας με τάση 5VDC από κάποια εξωτερική πηγή, και η δεύτερη, να τροφοδοτηθεί με τάσεις μεγαλύτερες των 7VDC. Στην πρώτη περίπτωση ο χρήστης πρέπει να βραχυκυκλώσει τους ακροδέκτες 1 και 2 του SV1 (Σχήμα 3.19) και να τροφοδοτήσει με 5VDC από την κλέμα X1-1. Στην δεύτερη περίπτωση ο χρήστης πρέπει να βραχυκυκλώσει τους ακροδέκτες 2 και 3 του SV1 (Σχήμα 3.19) και να τροφοδοτήσει με τάση πάνω από 7VDC από την κλέμα X1-2. Μεταξύ της κλέμας X1-2 και του ακροδέκτη 3, παρεμβάλλεται ο σταθεροποιητής τάσης LM7805 ο οποίος υποβιβάζει και σταθεροποιεί την τάση εισόδου στα 5VDC. Και στις δύο περιπτώσεις αυτό που μας ενδιαφέρει είναι το κύκλωμα να τροφοδοτείται σταθερά με 5VDC που είναι η τάση λειτουργίας του.



Σχήμα 3.19: Κύκλωμα τροφοδοσίας πλακέτας.

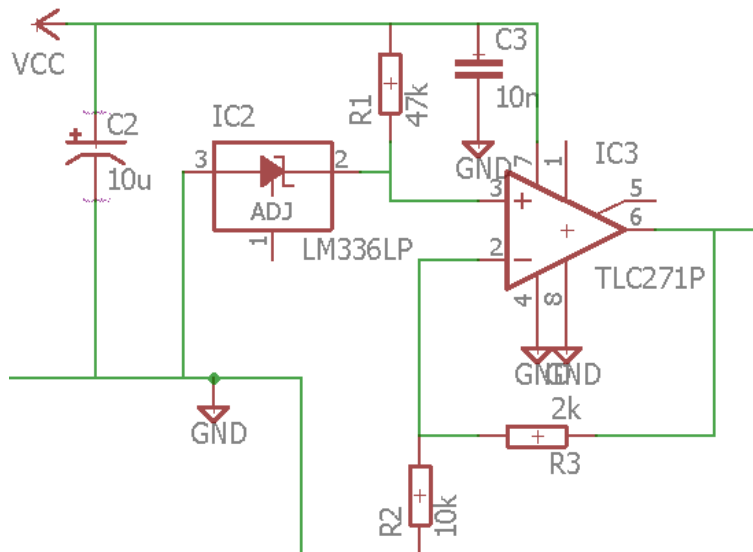
3.4.2 Κύκλωμα Μετατροπής/Σταθεροποίησης Τάσης

Το κύκλωμα μετατροπής/σταθεροποίησης τάσης χρησιμοποιείται για την μετατροπή της τροφοδοσίας των 5VDC σε 3VDC για την τροφοδοσία της γέφυρας αντιστάσεων. Αρχικά, η τάση τροφοδοσίας των 5VDC μετατρέπεται σε σταθερή τάση 2,5VDC μέσω του LM336. Το LM336 είναι ένα ολοκληρωμένο το οποίο παράγει μια σταθερή και ακριβής τάση αναφοράς των 2,5VDC στην έξοδο του. Λειτουργεί σαν μία δίοδο Zener (ακροδέκτες 2 και 3 Σχήμα 3.20) των 2,5V με χαμηλό θερμοκρασιακό συντελεστή. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της τάσης αναφοράς και της θερμοκρασίας μέσω του ακροδέκτη 1 (Σχήμα 3.20) [9].



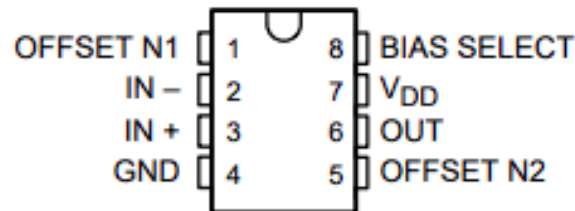
Σχήμα 3.20: Διάγραμμα ακροδεκτών LM336.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.21, στο κύκλωμα δεν χρησιμοποιείται ο ακροδέκτης 1 για ρύθμιση της τάσης αναφοράς γιατί θέλουμε να είναι συνέχεια στα 2,5V. Από τον ακροδέκτη 2 του LM336 η τάση αναφοράς καταλήγει στην μη αναστρέφουσα είσοδο (ακροδέκτης 3) του τελεστικού ενισχυτή TLC271P.



Σχήμα 3.21: Κύκλωμα μετατροπής/σταθεροποίησης τάσης.

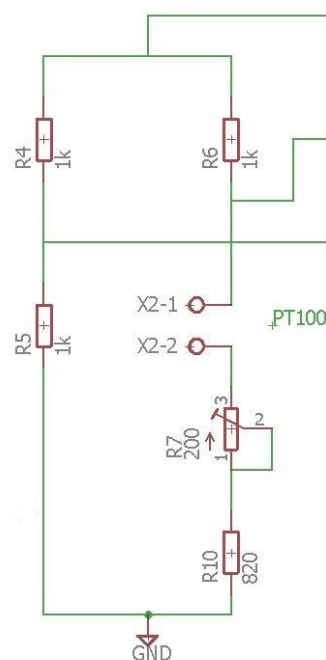
Ο TLC271 είναι ένας μονοπολικός τελεστικός ενισχυτής ο οποίος προσφέρει την δυνατότητα επιλογής χαμηλής, μεσαίας ή υψηλής ταχύτητας απόκρισης από τον χρήστη (ακροδέκτης 8, Σχήμα 3.22). Η συνδεσμολογία που χρησιμοποιείται είναι μόνο για απλή ενίσχυση της τάσης των 2,5V του LM336 σε σταθεροποιημένη τάση των 3V στην έξοδό του για την τροφοδοσία της γέφυρας αντιστάσεων.



Σχήμα 3.22: Διάγραμμα ακροδεκτών TLC271P [10].

3.4.3 Κύκλωμα Γέφυρας Αντιστάσεων

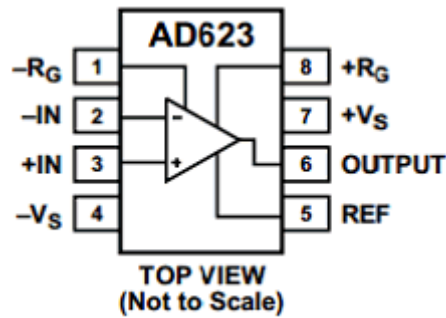
Το κύκλωμα της γέφυρας αντιστάσεων δέχεται στην κορυφή του σταθερή τάση 3V από τον TLC271. Η τάση αυτή χωρίζεται στους δύο κλάδους της γέφυρας (Σχήμα 3.23). Ο πρώτος κλάδος με τις αντιστάσεις R4 και R5 έχει σταθερή τιμή αντίστασης 2kΩ. Ο δεύτερος κλάδος αποτελείται από τις δύο σταθερές αντιστάσεις R6 και R10, το ποτενσιόμετρο R7 και τον αισθητήρα θερμοκρασίας PT100 που συνδέεται στους ακροδέκτες X2-1 και X2-2. Όπως είναι κατανοητό ο δεύτερος κλάδος δεν έχει σταθερή τιμή αντίστασης επομένως οι μεταβολές της αντίστασης μεταξύ των δύο κλάδων μεταβάλουν και την τάση μεταξύ των δύο κλάδων. Οι δύο τάσεις των δύο κλάδων καταλήγουν σε έναν ενισχυτή οργανολογίας.



Σχήμα 3.23: Κύκλωμα γέφυρας αντιστάσεων.

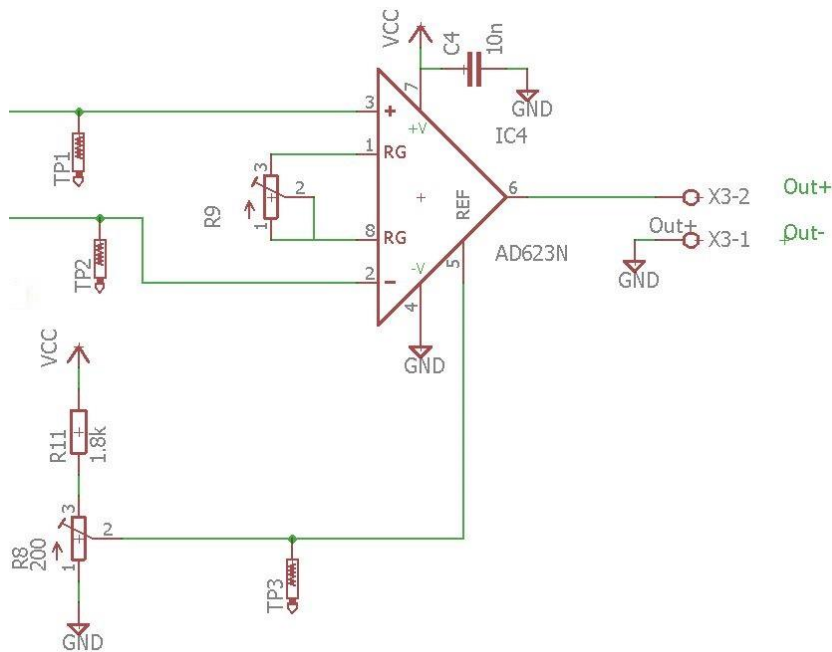
3.4.4 Κύκλωμα Ενίσχυσης Τάσης

Οι διαφορικές τάσεις από το κύκλωμα γέφυρας αντιστάσεων καταλήγουν στην αναστρέφουσα (-IN) και μη αναστρέφουσα είσοδο (+IN) του ενισχυτή οργανολογίας AD623N (Σχήμα 3.24). Ο AD623N είναι ένας ενισχυτής οργανολογίας μονής ή διπλής τροφοδοσίας (2,7V έως 12V) με έξοδο rail to rail. Μπορεί να επιτύχει ενίσχυση από 1 έως 1000 φορές ενώ μπορεί να ενισχύσει την είσοδο ξεκινώντας από αρνητικές τιμές των 150mV.



Σχήμα 3.24: Διάγραμμα ακροδεκτών AD623N [11].

Για την ρύθμιση του κέρδους του ενισχυτή έχει συνδεθεί ένα ποτενσιόμετρο (R9) στους ακροδέκτες -RG και +RG (Σχήμα 3.25). Για την δημιουργία της τάσης αναφοράς του ενισχυτή κατασκευάστηκε ένας διαιρέτης τάσης με μία σταθερή αντίσταση (R11) και ένα ποτενσιόμετρο (R8). Η ενισχυμένη τάση εξόδου του τελεστικού ενισχυτή φτάνει στις κλέμες X3-2 (Out+) και X3-1 (Out-). Από τις κλέμες η τάση καταλήγει στην αναλογική είσοδο PD23 του μικροελεγκτή.



Σχήμα 3.25: Κύκλωμα ενίσχυσης τάσης.

3.4.5 Θεωρητικοί Υπολογισμοί/Προσομοίωση Κυκλωμάτων

Πριν την κατασκευή του κυκλώματος ενίσχυσης του θερμομέτρου PT100 έγιναν θεωρητικοί υπολογισμοί για όλες τις τιμές των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν ενώ έγινε και προσομοίωση όλου του κυκλώματος στο πρόγραμμα προσομοίωσης Orcad PSpice.

Αρχικά έγιναν υπολογισμοί για τον κλάδο της γέφυρας αντιστάσεων. Το αισθητήριο PT100 που επιλέχθηκε για να χρησιμοποιηθεί είναι 2 αγωγών επομένως και η γέφυρα είναι με δύο κλάδους. Ο θερμοκρασιακός συντελεστής α του αισθητηρίου είναι $0,385\Omega/^\circ\text{C}$. Το αισθητήριο μας θέλουμε να έχει εύρος μέτρησης θερμοκρασίας από -20°C έως 80°C . Γνωρίζοντας τον θερμοκρασιακό συντελεστή του αισθητηρίου μπορούμε για κάθε τιμή θερμοκρασίας (από -20°C έως 80°C) που θέλουμε, να υπολογίσουμε την αντίσταση (R_{PT100}) του αισθητηρίου. Ο υπολογισμός γίνεται με την μαθηματική σχέση (3.1).

$$R_{PT100} = 100 + (\theta * 0,385) \quad (3.1)$$

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση για τιμές από -20°C έως 80°C ανά 10°C θα έχουμε τις τιμές των αντιστάσεων που φαίνονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Τιμές αντίστασης ανά θερμοκρασία 10°C αισθητηρίου PT100.

θ ($^\circ\text{C}$)	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
R_{PT100} (Ω)	92,3	96,1	100	103,8	107,7	111,5	115,4	119,2	123,1	126,9	130,8

Η γέφυρα αντιστάσεων επιθυμούμε να έχει μικρό σφάλμα γραμμικότητας, οπότε $\Delta R/R < 5\%$ όπου ΔR η μεταβολή της αντίστασης και R η αντίσταση του κάθε κλάδου της γέφυρας. Οι τρεις κλάδοι της γέφυρας θα έχουν αντίσταση $R=1000\Omega$ ενώ η μεταβολή της δεν θα ξεπερνά τα 20Ω . Επομένως, από την σχέση (3.2) θα έχουμε σφάλμα γραμμικότητας $\Delta R/R=2\%$.

$$\Delta R/R = \frac{\Delta R_{max}}{R} = \frac{20\Omega}{1000\Omega} = 2\% \quad (3.2)$$

Ο κλάδος του PT100 θα έχει μια σταθερή αντίσταση στα 820Ω σε σειρά με ένα ποτενσιόμετρο των 200Ω , ρυθμισμένο στα 88Ω . Σε σειρά με αυτές τις αντιστάσεις θα συνδεθεί το αισθητήριο το οποίο θα έχει τιμές αντίστασης από 92Ω έως 130Ω ανάλογα με την θερμοκρασία. Για την αποφυγή αυτοθέρμανσης, το ρεύμα του κλάδου θα είναι μικρότερο από 2mA . Η γέφυρα θα τροφοδοτείται με τάση $V_{BR} = 3\text{V}$ και οι αντιστάσεις στους δύο πλαϊνούς κλάδους θα έχουν τιμή $R_{BR} = 2000\Omega$, άρα το ρεύμα κάθε κλάδου, άρα και του αισθητηρίου δεν θα ξεπερνά τα 2mA με βάση τους υπολογισμούς στην σχέση (3.3).

$$I_{PT100} = \frac{V_{BR}}{R_{BR}} = \frac{3\text{V}}{2000\Omega} = 1,5\text{mA} \quad (3.3)$$

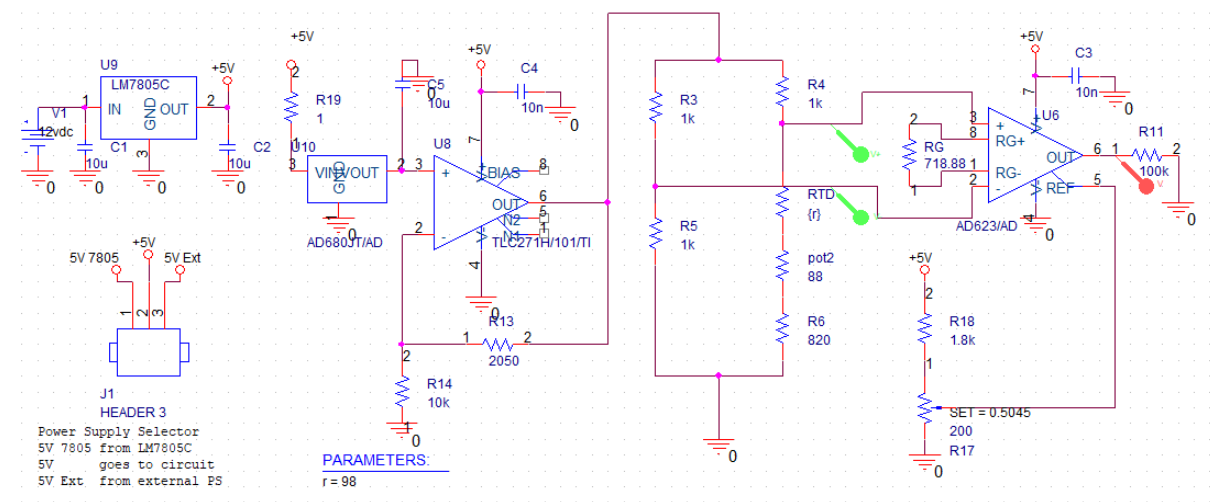
Το κύκλωμα της γέφυρας σχεδιάστηκε έτσι ώστε να αποφευχθεί η τοποθέτηση του δυναμικού του αισθητηρίου κοντά στα 0V και στην τάση τροφοδοσίας. Η κορυφή της γέφυρας θα τροφοδοτηθεί με τάση 3V από τον τελεστικό ενισχυτή TLC 271 ο οποίος δεν επιτρέπει τάση στην έξοδο του μεγαλύτερη από 3,5V. Ο TLC271 θα συνδεθεί σε συνδεσμολογία μη αναστροφικού ενισχυτή και θα κάνει ενίσχυση της τάσης αναφοράς που θα λαμβάνει από το LM336. Το LM336 χρειάζεται αντίσταση πόλωσης που θα εξασφαλίζει το ρεύμα να είναι τουλάχιστον 0,1mA, με προτεινόμενη αντίσταση 50kΩ. Επιλέχθηκε η πλησιέστερη τιμή των 47kΩ. Το κέρδος ενίσχυσης A_V του TLC271 υπολογίζεται από την σχέση (3.4) όπου $R_1=10k\Omega$ και $R_2=2k\Omega$.

$$A_V = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = \left(1 + \frac{2000}{10000}\right) = 1,2 \quad (3.4)$$

Επομένως, με κέρδος ενίσχυσης 1,2 και τάση εισόδου $V_{in} = 2,5V$ από το LM336, υπολογίζουμε την τάση εξόδου V_{out} από την σχέση (3.5).

$$V_{out} = V_{in} * A_V = 2,5V * 1,2 = 3V \quad (3.5)$$

Στο σχηματικό του PSpice (Σχήμα 3.26) για την προσομοίωση του κυκλώματος δεν υπάρχει το μοντέλο LM336 γι' αυτό τοποθετήθηκε το AD680 και προσαρμόστηκαν οι αντιστάσεις του ενισχυτή TLC271 ώστε να βγει τάση 3V στην γέφυρα.



Σχήμα 3.26: Σχηματικό διάγραμμα προσομοίωσης κυκλώματος στο PSpice.

Για τον υπολογισμό των τιμών λειτουργίας του AD623, επιθυμούμε $V_{offset} = 0,25V$, η ρύθμιση του θα γίνει μέσω ενός διαιρετή τάσης με μία σταθερή αντίσταση 1kΩ και ενός ποτενσιόμετρου 200Ω. Από την προσομοίωση στο PSpice γνωρίζουμε πως το ρεύμα εισόδου στον ακροδέκτη Reference του AD623 είναι 25μΑ. Επιθυμούμε από τον διαιρετή τάσης να περάσει ρεύμα 100 φορές μεγαλύτερο, δηλαδή $I_D = 2,5mA$. Επομένως από την Σχέση (3.6) θα έχουμε:

$$R_{Ref} = \frac{V_{CC}}{I_D} = \frac{5V}{2,5mA} = 2000\Omega \quad (3.6)$$

Για να πετύχουμε αυτή την τιμή επιλέγουμε διαιρέτη τάσης με σταθερή αντίσταση 1,8kΩ και ένα πολύστροφο ποτενσιόμετρο των 200Ω.

Για την διαφορική είσοδο του AD623, Το ελάχιστο όριο της τάσης εισόδου του AD623 είναι -VS-0,15V (-VS η αρνητική τροφοδοσία που είναι στα 0V) ενώ το μέγιστο όριο είναι +VS-1,5V (+VS η θετική τάση τροφοδοσίας που είναι στα 5V). Συνεπώς τα επιτρεπτά όρια της τάσης είναι από -0,15V έως 3,5V και από τη γέφυρα των αντιστάσεων οι εισοδοί θα είναι περίπου στα 1,5V.

Το ελάχιστο όριο της τάσης εξόδου είναι 0,2V ενώ το μέγιστο +VS-0,5V δηλαδή από 0,2V έως 4,5V. Συνεπώς, θα ρυθμιστεί η έξοδος να έχει εύρος τάσεων από 0,25V έως 4,5V όταν η διαφορική είσοδος (από τη γέφυρα αντιστάσεων) θα είναι από 0V έως 0,0285V.

Για τον υπολογισμό του κέρδους γνωρίζουμε ότι η τάση της γέφυρας $V_{BR} = 3V$, η τάση στην βάση της γέφυρας είναι $V_{BA} = 0V$, η αντίσταση του απέναντι κλάδου είναι $R_B = 1000\Omega$, η αντίσταση κλάδου του PT100 είναι $R_S = 908\Omega$ και η τάση offset του AD623 είναι $V_{offset} = 0,25V$. Με όλα τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να υπολογίσουμε την θετική τάση εισόδου V_{in+} και την αρνητική τάση εισόδου V_{in-} του AD623 όπως και την διαφορά τους ΔV_{in} με τις Σχέσεις (3.7, 3.8 και 3.9).

$$V_{IN-} = V_{BR} * \left(\frac{R_5}{R_3 + R_5} \right) \quad (3.7)$$

$$V_{IN+} = V_{BR} \frac{(R_S + R_{PT100})}{(R_B + R_S + R_{PT100})} \quad (3.8)$$

$$\Delta V_{IN} = V_{IN+} - V_{IN-} \quad (3.9)$$

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις για τιμές θερμοκρασίας από -20°C έως 80°C ανά 10°C και τιμές αντίστασης του PT100 από 92,3Ω έως 130,8Ω θα έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα του Πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4: Τιμές υπολογισμού διαφορικών τάσεων εισόδου του AD623.

Θ (°C)	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
R_{PT100} (Ω)	92,3	96,1	100	103,8	107,7	111,5	115,4	119,2	123,1	126,9	130,8
AD623 V_{in-} (V)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
AD623 V_{in+} (V)	1,500	1,503	1,506	1,509	1,512	1,515	1,517	1,520	1,523	1,526	1,529
AD623 ΔV_{in} (V)	0,000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,017	0,020	0,023	0,026	0,028

Για να προσδιορίσουμε το κέρδος τάσης παίρνουμε την τιμή $\Delta V_{in} = 0,028$ στην οποία αντιστοιχεί σε διαφορική τάση εξόδου $V_{out} = 4V$ στην έξοδο του AD623. Χρησιμοποιώντας την Σχέση (3.10) μπορούμε να υπολογίσουμε το κέρδος A_V του AD623 ενώ με την Σχέση (3.11) υπολογίζουμε την αντίσταση R_{GAIN} που χρειαζόμαστε για να πετύχουμε αυτό το κέρδος.

$$A_V = \frac{V_{out}}{\Delta V_{IN}} = \frac{4V}{0,028} = 140,10 \quad (3.10)$$

$$R_{GAIN} = \frac{R_G}{A_V - 1} = \frac{100000\Omega}{140,10 - 1} = 718\Omega \quad (3.11)$$

Εφόσον γνωρίζουμε το κέρδος μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε από τη Σχέση (3.12) όλες τις τιμές τάσης εξόδου V_{out} του AD623. Στον Πίνακα 3.5 απεικονίζονται όλες οι τιμές για θερμοκρασίες από $-20^\circ C$ έως $80^\circ C$ ανά $10^\circ C$ και τιμές αντίστασης του PT100 από $92,3\Omega$ έως $130,8\Omega$.

$$V_{OUT} = (\Delta V_{in} * A_V) + V_{offset} \quad (3.12)$$

Πίνακας 3.5: Τιμές υπολογισμού τάσεων εξόδου AD623.

Θ ($^\circ C$)	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
R_{PT100} (Ω)	92,3	96,1	100	103,8	107,7	111,5	115,4	119,2	123,1	126,9	130,8
AD623 V_{out} (V)	0,281	0,685	1,087	1,487	1,886	2,284	2,680	3,074	3,467	3,859	4,249

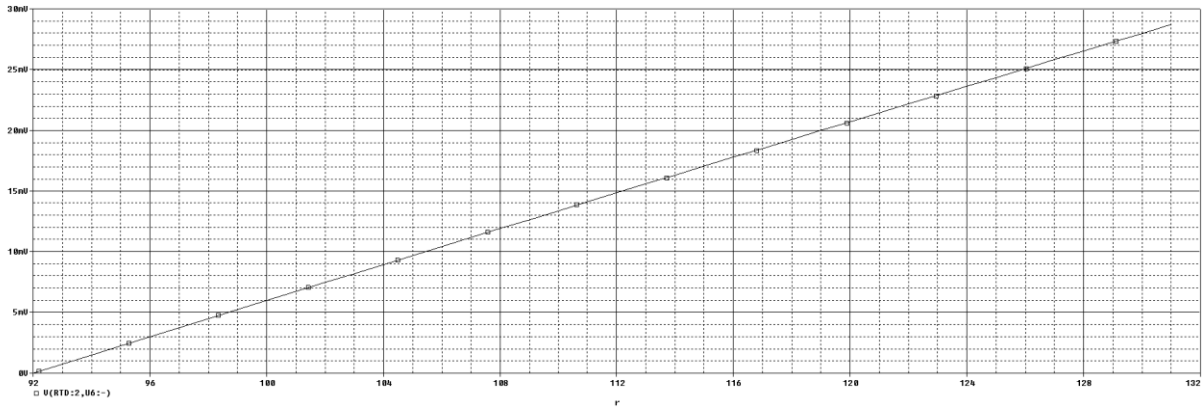
Με την προσομοίωση του κυκλώματος στο PSpice θα πάρουμε τις παρακάτω τιμές τάσης εξόδου του AD623 που φαίνονται στον Πίνακα 3.6

Πίνακας 3.6: Τιμές τάσεων εξόδου AD623 από την προσομοίωση στο PSpice.

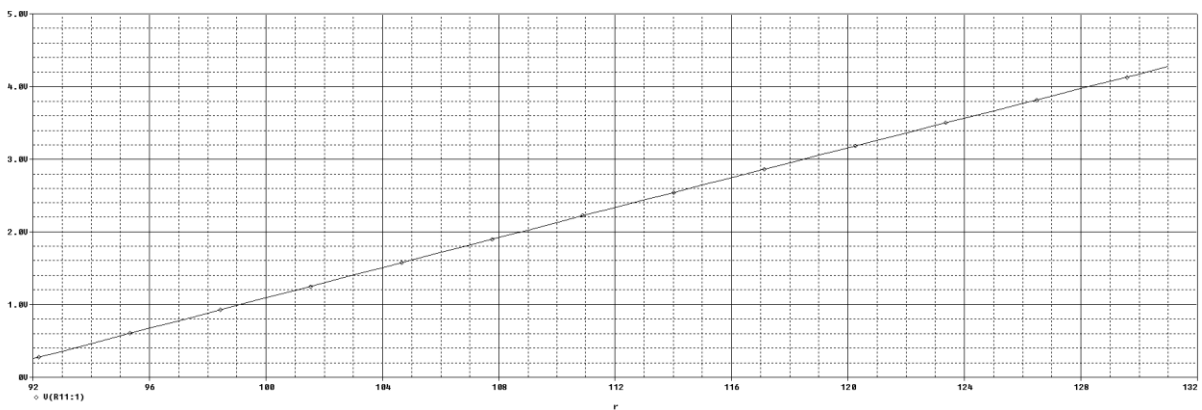
Θ ($^\circ C$)	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
R_{PT100} (Ω)	92,3	96,1	100	103,8	107,7	111,5	115,4	119,2	123,1	126,9	130,8
PSpice V_{out} (V)	0,289	0,690	1,093	1,494	1,894	2,292	2,685	3,081	3,474	3,866	4,257

Κεφάλαιο 3

Από την προσομοίωση του κυκλώματος στον PSpice εξάχθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα για μεταβολή της τάσης εισόδου του AD623 σε σχέση με την μεταβολή της αντίστασης του PT100 (Σχήμα 3.27) και την μεταβολή της τάσης εξόδου του AD623 σε σχέση με την μεταβολή της αντίστασης του PT100 (Σχήμα 3.28). Στον οριζόντιο άξονα (r) είναι η αντίσταση του PT100 (R_{PT100})



Σχήμα 3.27: Διάγραμμα τάσης εισόδου V_{in} του AD623 προς την αντίσταση R του PT100 (αντιστοιχούν στο εύρος -20°C έως $+80^{\circ}\text{C}$).



Σχήμα 3.28: Διάγραμμα τάσης εξόδου V_{out} του AD623 προς την αντίσταση R του PT100 (αντιστοιχούν στο εύρος -20°C έως $+80^{\circ}\text{C}$).

Επομένως, οι ελάχιστες τιμές είναι $R_{PT100} = 92,3\Omega$, $V_{in} = 0,12\text{mV}$ και $V_{out} = 289\text{mV}$ ενώ οι μέγιστες $R_{PT100} = 130,8\Omega$, $V_{in} = 28,54\text{mV}$ και $V_{out} = 4,257\text{V}$. Στον Πίνακα 3.7 φαίνονται οι διαφορές μεταξύ θεωρητικών υπολογισμών και τιμών από την προσομοίωση οι οποίες είναι πάρα πολύ μικρές.

Πίνακας 3.7: Διαφορά μεταξύ θεωρητικών τιμών και τιμών προσομοίωσης της τάσης εξόδου του AD623.

PSpice V_{out} (V)	0,289	0,690	1,093	1,494	1,894	2,292	2,685	3,081	3,474	3,866	4,257
AD623 V_{out} (V)	0,281	0,685	1,087	1,487	1,886	2,284	2,680	3,074	3,467	3,859	4,249
ΔV (V)	0,008	0,005	0,006	0,007	0,008	0,008	0,005	0,007	0,007	0,007	0,008

3.4.6 Βαθμονόμηση Αισθητηρίου PT100

Για τον έλεγχο σωστής λειτουργίας του αισθητηρίου PT100, πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση με σύγκριση του αισθητηρίου με άλλα δύο παρόμοιου τύπου. Τα τρία αισθητήρια τοποθετήθηκαν μέσω σε νερό θερμοκρασίας αρχικά $2,3^{\circ}\text{C}$ το οποίο σταδιακά θερμάνθηκε μέχρι τους $84,73^{\circ}\text{C}$ και πάρθηκαν τιμές σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες.

Αρχικά, έγινε κατάλληλη ρύθμιση της γέφυρας αντιστάσεων και του AD623 έτσι ώστε να γίνεται σωστά η ενίσχυση του σήματος. Για να γίνει αυτό, αποσυνδέθηκε το PT100 από την γέφυρα και τοποθετήθηκε ένα ποτενσιόμετρο το οποίο ρυθμίστηκε στην ελάχιστη τιμή για $R_{PT100} = 92,3\Omega$ που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία -20°C . Με αυτή την ελάχιστη τιμή περιμένουμε τάση εξόδου στον AD623 κοντά στα $V_{out} = 0,25\text{mA}$. Αυξομειώνοντας την τάση αναφοράς V_{ref} του AD623 μέσω του ποτενσιόμετρου στον κλάδο με τον διαιρέτη τάσης της τάσης V_{ref} , μπορούμε να ρυθμίσουμε την έξοδο στην κατάλληλη τιμή (Εικόνα 3.7). Παρόμοια είναι και η διαδικασία για την ρύθμιση της μέγιστης τάσης εξόδου V_{out} του AD623 στα $4,25\text{V}$ (Εικόνα 3.8), με τη διαφορά πως η μέγιστη τιμή της αντίστασης του ποτενσιόμετρου θα είναι $130,8\Omega$ που αντιστοιχεί σε 80°C .



Εικόνα 3.7: Ρύθμιση ελάχιστης τάσης εξόδου AD623.



Εικόνα 3.8: Ρύθμιση μέγιστης τάσης εξόδου AD623.

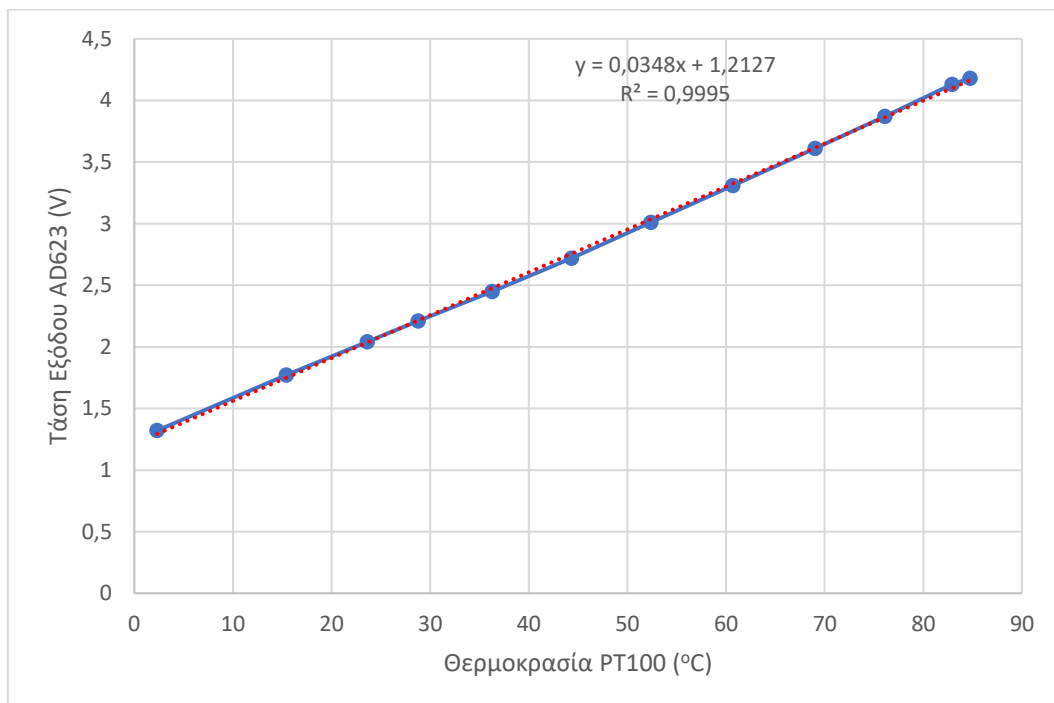
Κεφάλαιο 3

Αφού έχει γίνει η ρύθμιση της ελάχιστης και μέγιστης τάσης εξόδου του AD623, συνδέουμε το PT100 στην γέφυρα. Τοποθετούμε το PT100 με αλλά δύο παρόμοια αισθητήρια του ίδιου τύπου σε νερό που θερμαίνεται όπως περιγράφηκε προηγουμένως και παρακολουθούμε την αντίσταση των τριών αισθητηρίων και την τάση εξόδου του AD623. Παρακολουθώντας τις τιμές των αντιστάσεων και των τριών αισθητηρίων να είναι πολύ κοντά, σιγουρευόμαστε πως το PT100 που χρησιμοποιούμε λειτουργεί σωστά. Τέλος καταγράφουμε για διάφορες τιμές θερμοκρασίας, την αντίσταση του PT100 και την τάση εξόδου του AD623. Οι καταγραφόμενες τιμές παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.8 και στο γράφημα του Σχήματος 3.29.

Πίνακας 3.8: Τιμές τάσεων εξόδου AD623 συγκρινόμενες με τιμές αντίστασης και θερμοκρασίας PT100.

PT100 R (Ω)	100,9	106	109,2	111,2	114,1	117,2	120,3	123,5	126,7	129,4	132	132,7
PT 100 Θ (°C)	2,3	15,3	23,6	28,7	36,2	44,3	52,3	60,6	69	76	82,8	84,7
AD623 V_{out} (V)	1,32	1,77	2,04	2,21	2,45	2,72	3,01	3,31	3,61	3,87	4,13	4,18

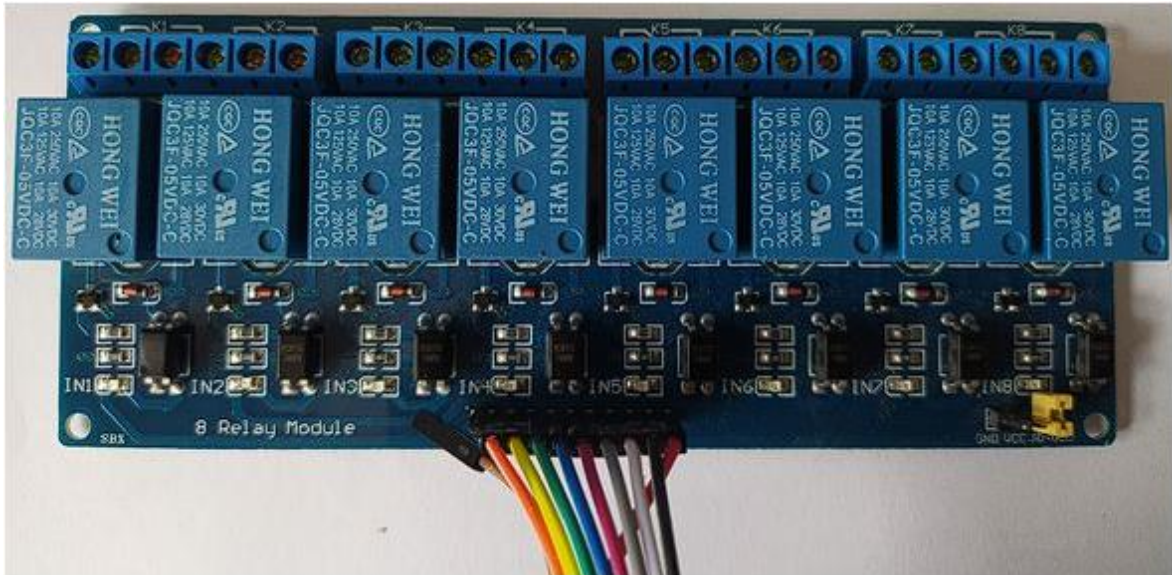
Τοποθετώντας τις τιμές τάσης εξόδου και αντίστασης από τον Πίνακα 3.8 στο διάγραμμα του Σχήματος 3.29, παρατηρούμε πως η μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με πολύ μικρό σφάλμα και δεν απαιτείται περαιτέρω βαθμονόμηση.



Σχήμα 3.29: Διάγραμμα τάσης εξόδου AD623 προς την θερμοκρασία του PT100.

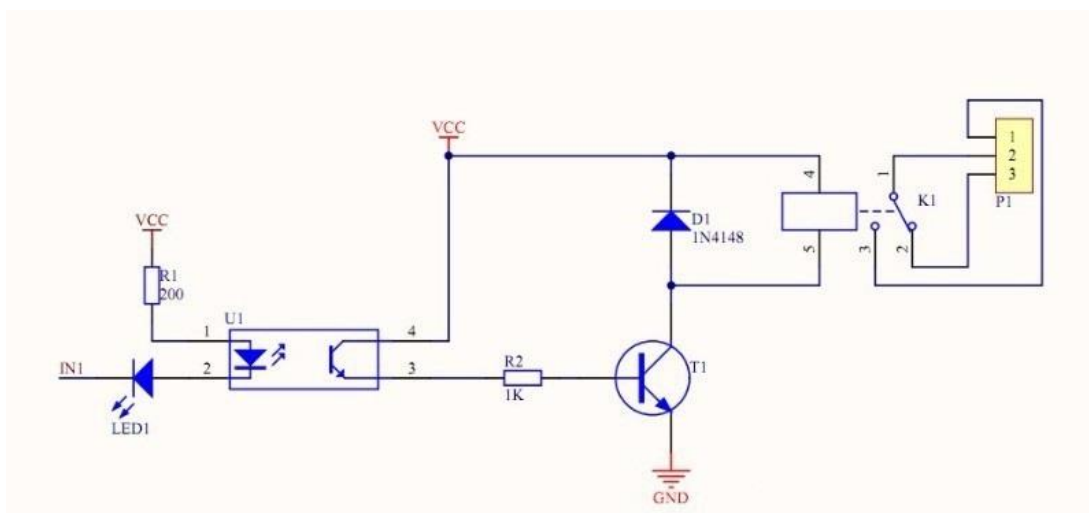
3.5 Πλακέτα Ρελέ

Για τον έλεγχο των ρελέ ισχύος στον ηλεκτρολογικό πίνακα χρησιμοποιήθηκε μια πλακέτα (Εικόνα 3.9) με 8 μίνι ρελέ. Η πλακέτα συνδέεται με την κεντρική πλακέτα MCU από την οποία τα μίνι ρελέ ελέγχονται από τον μικροελεγκτή.



Εικόνα 3.9: Το Board της πλακέτας ρελέ.

Τα μίνι ρελέ που χρησιμοποιούνται στην πλακέτα έχουν μέγιστη έξοδο 250VAC/10A κατάλληλα δηλαδή για να ελέγξουν τα ρελέ ισχύος του ηλεκτρολογικού πίνακα. Το πηνίο τους λειτουργεί με τάση 5VDC και ρεύμα 15 με 20mA. Διαθέτουν μια κοινή (μεταγωγική) επαφή όπου ανάλογα με την σύνδεση δημιουργείται 1NO και 1NC επαφή. Είναι χαμηλού θορύβου και χρησιμοποιούν οπτοαποζεύκτη (optocoupler) για προστασία από υψηλές τάσεις και αποφυγή βρόχου μεταξύ γείωσης και μικροελεγκτή. Τέλος, κάθε μίνι ρελέ διαθέτει ενδεικτικό LED για ένδειξη on-off [12].



Σχήμα 3.30: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας μίνι ρελέ.

Στον παρακάτω Πίνακα 3.9, παρουσιάζονται οι αντιστοιχίες ελέγχου των μίνι ρελέ και τον ρελέ ισχύος όπως και κάθε ελεγχόμενο κύκλωμα.

Πίνακας 3.9: Αντιστοιχίες μίνι ρελέ με ρελέ ισχύος ηλεκτρολογικού πίνακα.

Μίνι Ρελέ	Ρελέ Ισχύος	Ελεγχόμενο Κύκλωμα
IN1	C3	Αντιστάσεις Θέρμανσης
IN2	Y1	Μαγνητική FREON
IN3	C4	Λάμπες Φθορίου Νο1
IN4	C5	Λάμπες Φθορίου Νο2
IN5	C6	Λάμπες Φθορίου Νο3
IN6	C7	Λάμπες Πυράκτωσης
IN7	C8	Υγραντήρας
IN8	-	-

3.6 Επίλογος

Το τρίτο κεφάλαιο της Διπλωματικής Εργασίας αφιερώνεται στο ηλεκτρονικό κύκλωμα του θαλάμου ανάπτυξης φυτών. Στην εισαγωγή γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των κυκλωμάτων που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν και απαρτίζουν συνολικά το ηλεκτρονικό κύκλωμα λειτουργίας του θαλάμου. Για κάθε κύκλωμα (πλακέτα) αφιερώνεται μια παράγραφος στην οποία περιγράφονται αναλυτικά η λειτουργία, ο τρόπος σχεδίασης, η ανάλυση των επιμέρους κυκλωμάτων, τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν, τα αισθητήρια που χρησιμοποιήθηκαν και γενικότερα κάθε ειδική απαίτηση. Σε κάθε παράγραφο έχουν χρησιμοποιηθεί κατάλληλα σχηματικά διαγράμματα, εικόνες και πίνακες για να περιγράψουν με μεγαλύτερη σαφήνεια οι λειτουργίες των κυκλωμάτων.

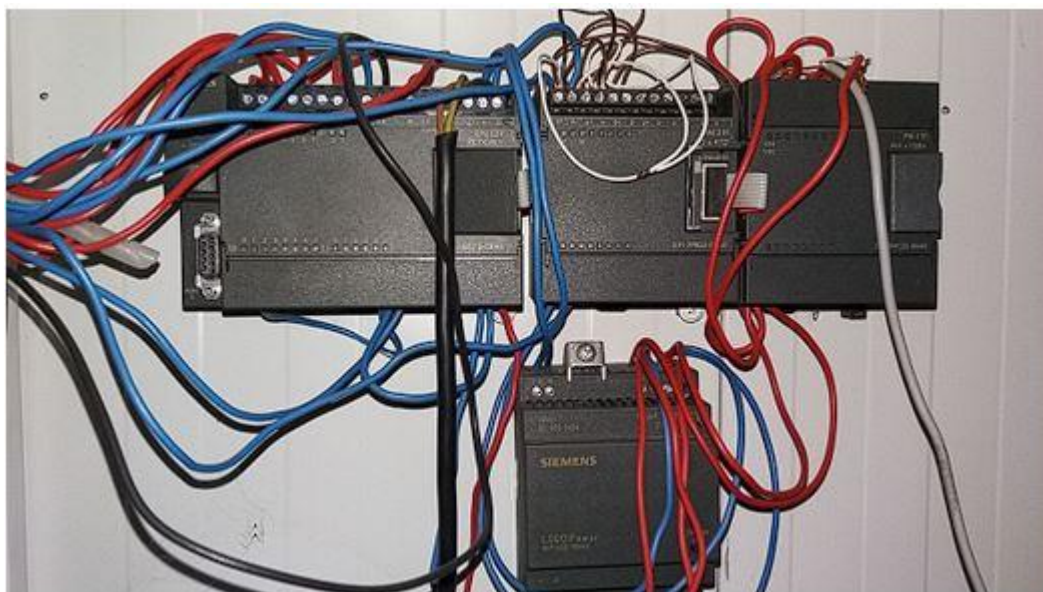
Κεφάλαιο 4ο: Εργασίες Κατασκευής, Τοποθέτησης και Τελικού Ελέγχου

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή όλων των εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στον θάλαμο ανάπτυξης φυτών, κατά χρονολογική σειρά, ξεκινώντας από τις εργασίες ανακατασκευής του ηλεκτρολογικού κυκλώματος για να επανέλθει σε λειτουργία ο θάλαμος. Μετά θα περιγράψουν οι εργασίες κατασκευής και τοποθέτησης των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στον θάλαμο (κατασκευή πλακετών και κυκλωμάτων για τα αισθητήρια) μέχρι την τελική δοκιμή και τον έλεγχο σωστής λειτουργίας όλου του συστήματος.

4.1 Ηλεκτρολογικές Εργασίες Ανάταξης Θαλάμου

Οι πρώτες εργασίες που έγιναν στον θάλαμο ανάπτυξης φυτών αφορούσαν την ανάταξη του ηλεκτρολογικού κυκλώματος. Στο θάλαμο υπήρχαν πολλά κυκλώματα που δεν λειτουργούσαν σωστά είτε επειδή υπήρχε κάποιο χαλασμένο ανταλλακτικό είτε επειδή είχαν γίνει πολλές παρεμβάσεις με αποτέλεσμα τα κυκλώματα να μην λειτουργούν κατά τον ζητούμενο τρόπο.

Αρχικά, αφαιρέθηκαν τα δύο PLC από τον κεντρικό πίνακα του θαλάμου καθώς δεν λειτουργούσαν σωστά και δεν εξυπηρετούσαν πλέον τον σκοπό της Διπλωματικής Εργασίας.



Εικόνα 4.1: Παλαιό Κύκλωμα Μέτρησης Θερμοκρασίας – PLC Siemens S7-200.

Το PLC στην Εικόνα 4.1 χρησιμοποιούνταν ως κύκλωμα ελέγχου θερμοκρασίας με ένα αισθητήριο PTC1000. Έγινε έλεγχος του PLC και διαπιστώθηκε πως δεν λειτουργούσε. Έγινε αφαίρεση του PLC και τοποθέτηση του PTC1000 σε νέο κύκλωμα ελέγχου θερμοκρασίας με τον θερμοστάτη MTC12 (Βλέπε Παράγραφο 2.3.1). Το δεύτερο PLC (Εικόνα 4.2) το οποίο ήλεγχε τα κυκλώματα φωτισμού του θαλάμου αποξηλώθηκε καθώς δεν εξυπηρετούσε πλέον τους σκοπούς της Διπλωματικής εργασίας. Τα κυκλώματα φωτισμού ελέγχονται πλέον απευθείας από τους περιστροφικούς διακόπτες ισχύος στην πρόσοψη του ηλεκτρολογικού πίνακα.



Εικόνα 4.2: Παλιό Κύκλωμα Ελέγχου Λαμπτήρων – PLC Telemecanique SR2-B121U.

Στην πρόσοψη του ηλεκτρολογικού πίνακα βρισκόντουσαν συνολικά πέντε (5) περιστροφικοί διακόπτες ισχύος (Εικόνα 4.3) για τον τοπικό έλεγχο των κυκλωμάτων του θαλάμου. Έγινε έλεγχος καλής λειτουργίας όλων των περιστροφικών διακοπών και διαπιστώθηκε πως οι διακόπτες K1 και K5 ήταν χαλασμένοι. Έγινε αντικατάσταση τους με νέους ίδιου τύπου και επίσης προστέθηκε ένας νέος διακόπτης για τον έλεγχο του υγραντήρα (Εικόνα 4.4).

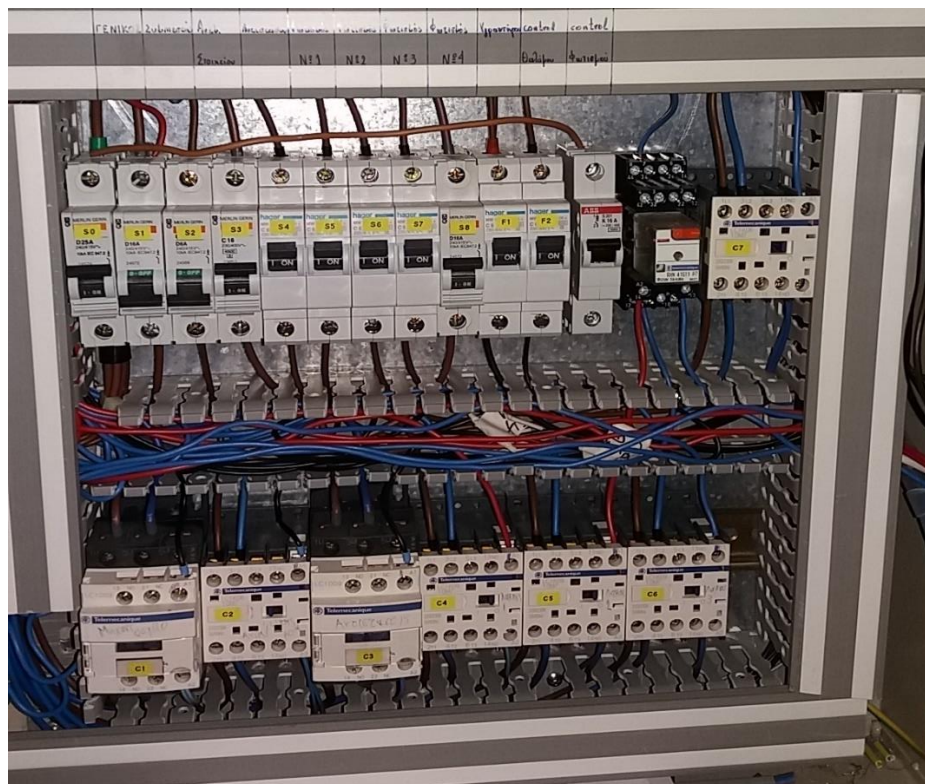


Εικόνα 4.3: Περιστροφικοί Διακόπτες Ισχύος – Πριν τις αλλαγές.

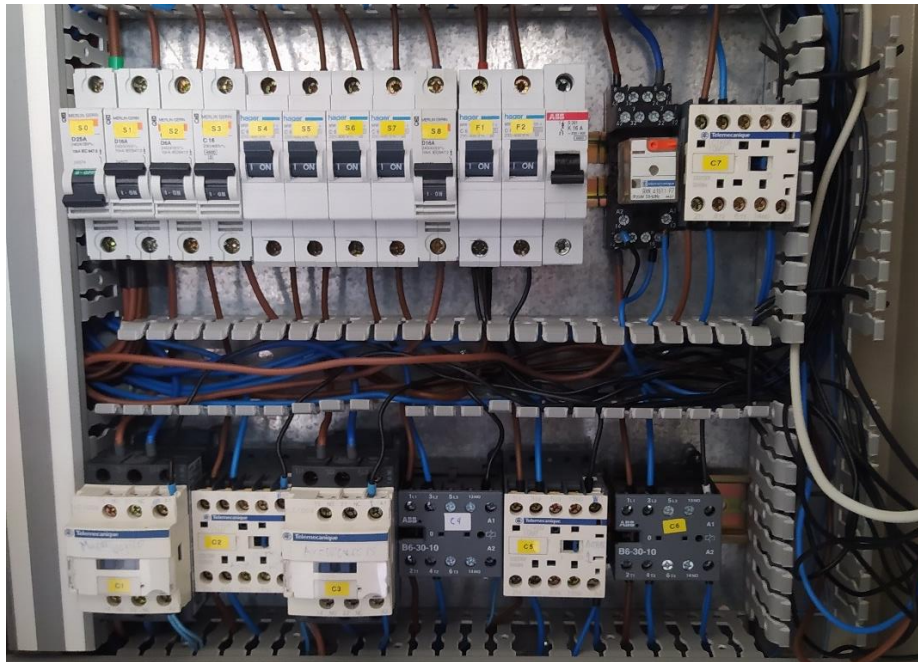


Εικόνα 4.4: Περιστροφικοί Διακόπτες Ισχύος – Μετά τις αλλαγές.

Περνώντας στο εσωτερικό του ηλεκτρολογικού πίνακα βλέπουμε (Εικόνα 4.5) εγκατεστημένες τις αυτόματες ασφάλειες για προστασία και τα ρελέ ισχύος για έλεγχο των κυκλωμάτων ισχύος του θαλάμου. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος καλής λειτουργίας των ρελέ ισχύος και έλεγχος των καλωδιώσεων και διαπιστώθηκε πως τα ρελέ C4 (Λάμπες Φθορίου Νο1) και C6 (Λάμπες Φθορίου Νο3) δεν λειτουργούσαν (καμένο πηνίο). Τα ρελέ αντικαταστάθηκαν με νέα ίδιου τύπου (Εικόνα 4.6).



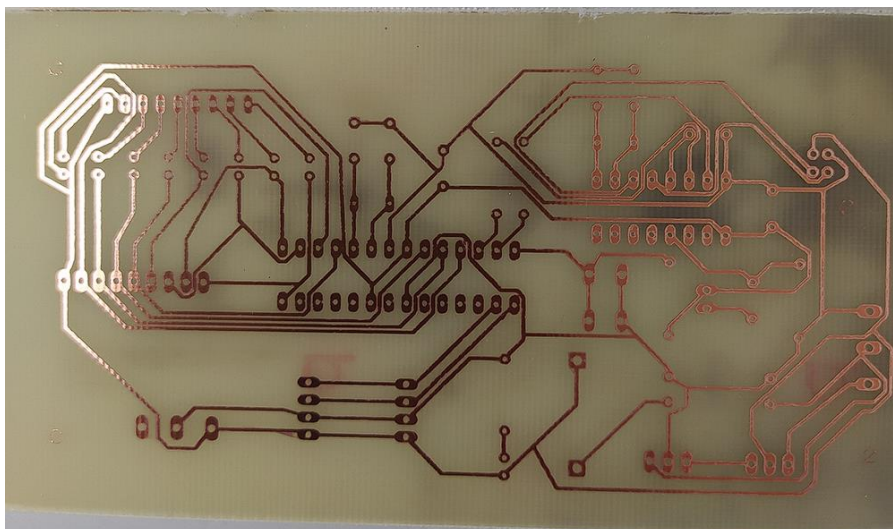
Εικόνα 4.5: Ρελέ Ισχύος – Πριν τις αλλαγές.



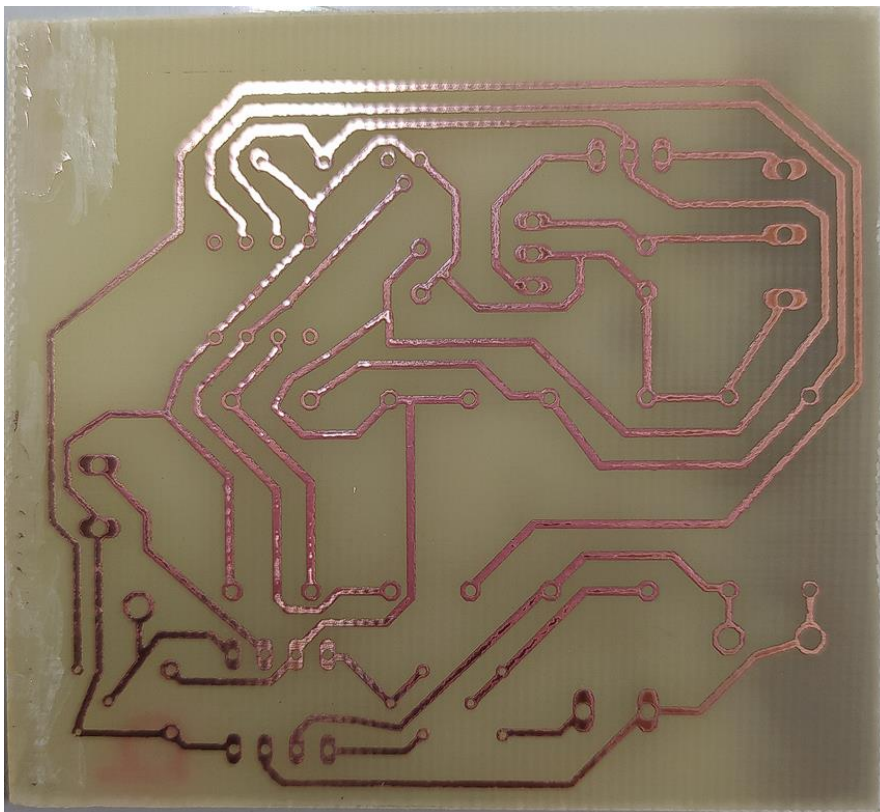
Εικόνα 4.6: Ρελέ Ισχύος – Μετά τις αλλαγές.

4.2 Εργασίες Σχεδιασμού και Κατασκευής των Ηλεκτρονικών Κυκλωμάτων

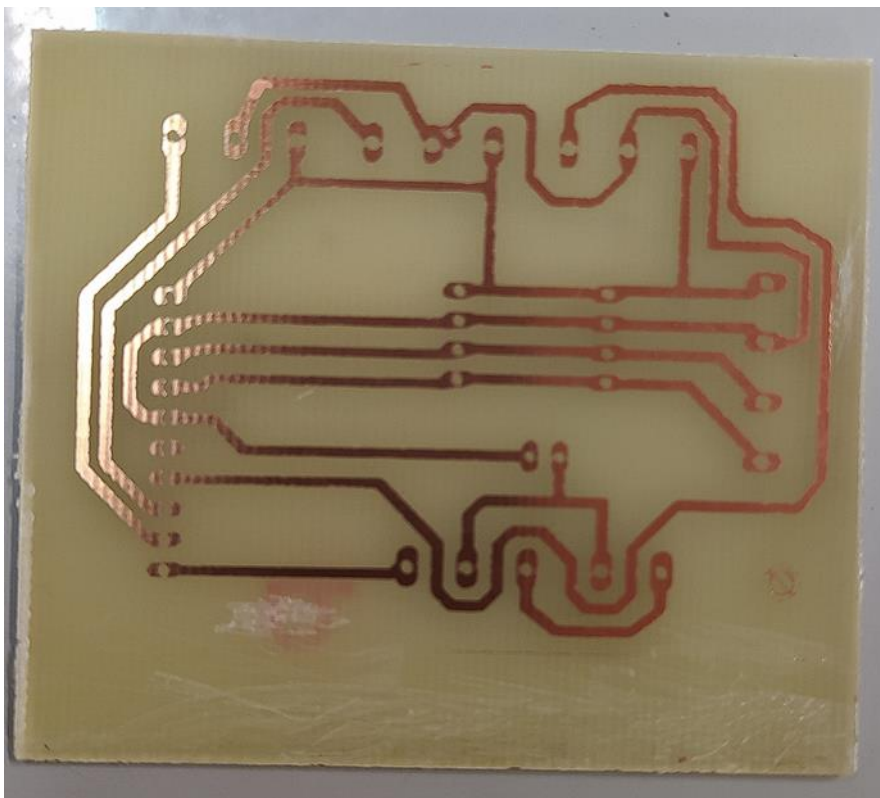
Αμέσως μετά την ανάταξη του ηλεκτρολογικού κυκλώματος ξεκίνησε η διαδικασία για τον σχεδιασμό των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Αρχικά έγιναν αρκετές δοκιμές σε ράστερ για όλα τα κυκλώματα μέχρι να σιγουρευτούμε πως όλα λειτουργούν σωστά. Στην συνέχεια ξεκίνησε η διαδικασία για τον σχεδιασμό των κυκλωμάτων σε πρόγραμμα CAD (Eagle). Με την ολοκλήρωση της φάσης σχεδιασμού των κυκλωμάτων ξεκίνησε το στάδιο την κατασκευής τους. Αρχικά έγινε εκτύπωση των κυκλωμάτων, εμφάνιση τους πάνω στις πλακέτες και αποχάλκωση τους (Εικόνες 4.7, 4.8, 4.9).



Εικόνα 4.7: Αποχάλκωμένη πλακέτα MCU.



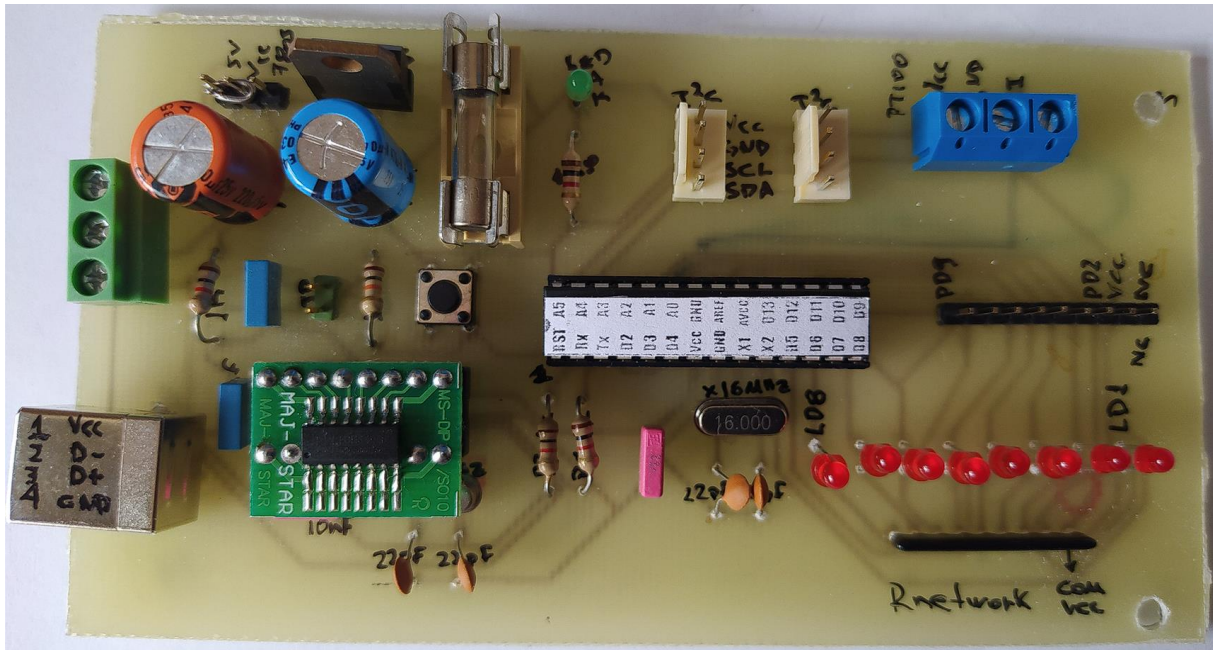
Εικόνα 4.8: Αποχαλκωμένη πλακέτα PT100.



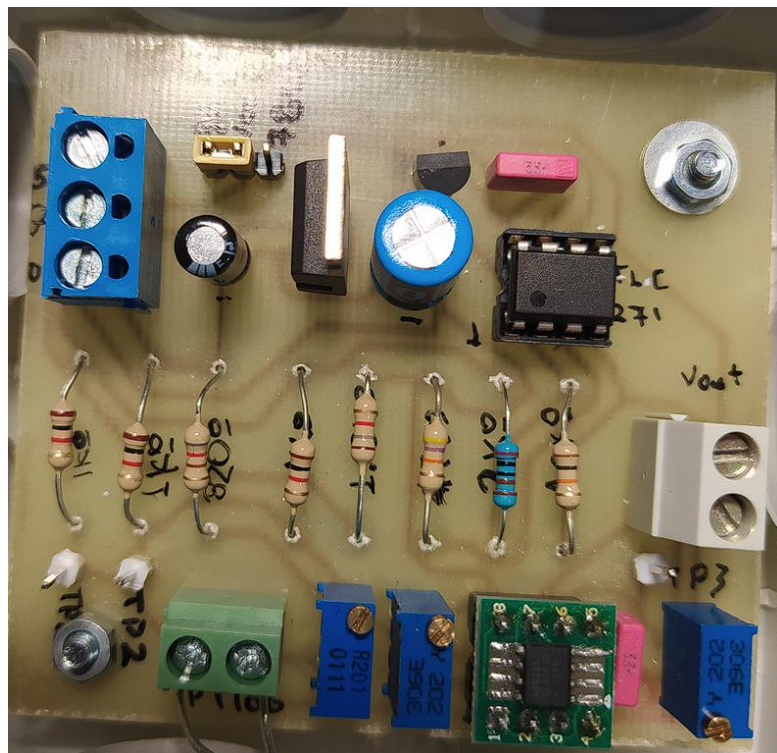
Εικόνα 4.9: Αποχαλκωμένη πλακέτα ADS1015.

Κεφάλαιο 4

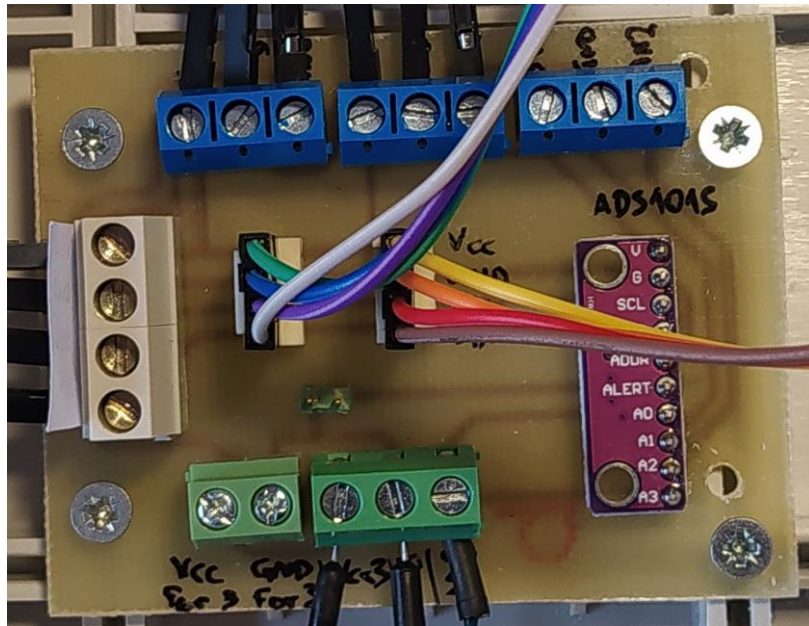
Μετά την αποχάλκωση, έγινε καθαρισμός και οπτικός έλεγχος των πλακετών, έγιναν τρύπες, τοποθετήθηκαν τα υλικά επάνω στις πλακέτες και συγκολλήθηκαν (Εικόνες 4.10, 4.11, 4.12)



Εικόνα 4.10: Τελική όψη πλακέτας MCU μετά την συγκόλληση των υλικών.

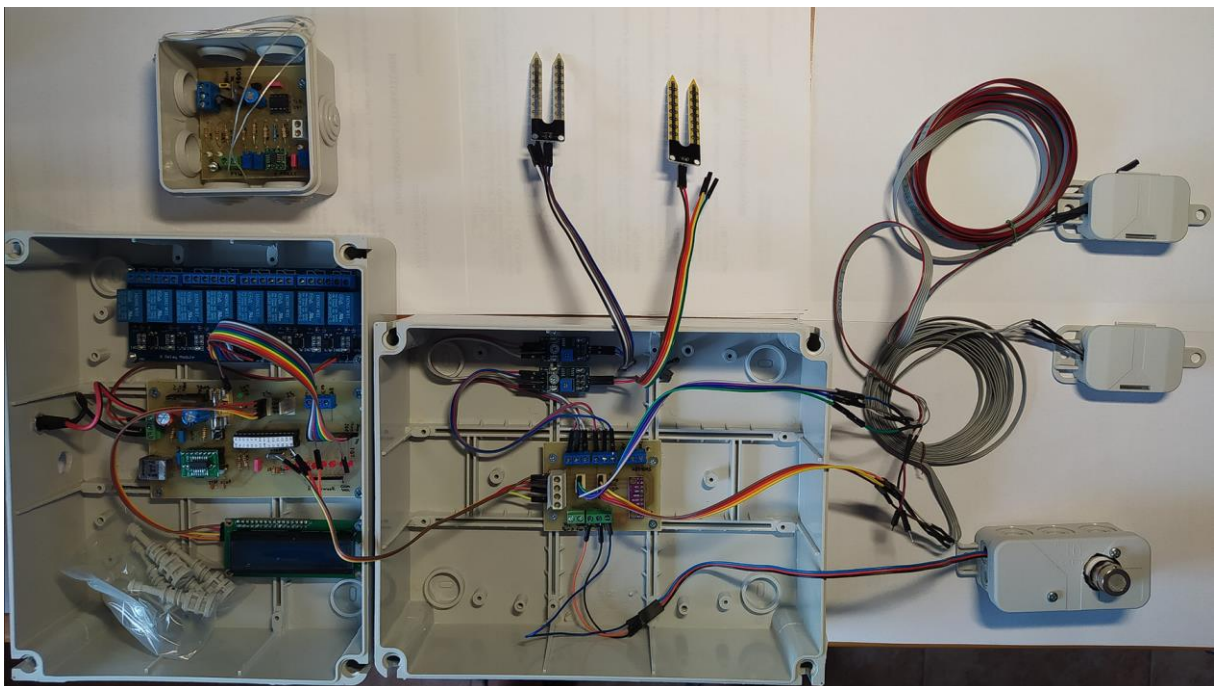


Εικόνα 4.11: Τελική όψη πλακέτας PT100 μετά την συγκόλληση των υλικών.



Εικόνα 4.12: Τελική όψη πλακέτας ADS1015 μετά την συγκόλληση των υλικών.

Μετά τον έλεγχο καλής λειτουργίας των πλακετών, τοποθετήθηκαν σε πλαστικά κουτιά (Εικόνα 4.13) όπως και τα αισθητήρια, και είναι έτοιμα πλέον για την τοποθέτησή τους στον θάλαμο.



Εικόνα 4.13: Τοποθέτηση πλακετών και αισθητηρίων σε πλαστικά κουτιά.

4.3 Τοποθέτηση και Τελικός Έλεγχος Ηλεκτρονικού Κυκλώματος

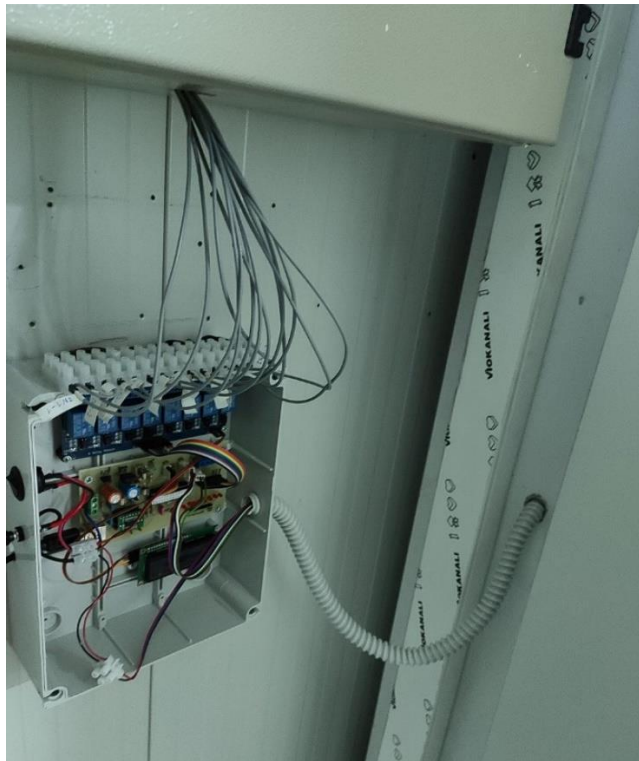
Μετά την τοποθέτηση των πλακετών μέσα σε πλαστικά κουτιά για την προστασία τους, το επόμενο βήμα ήταν η εγκατάσταση τους στον θάλαμο ανάπτυξης φυτών, η μεταξύ τους σύνδεση και η σύνδεση με τον ηλεκτρολογικό πίνακα. Αρχικά τοποθετήθηκε το κουτί με την πλακέτα MCU και την πλακέτα ρελέ κάτω από τον ηλεκτρολογικό πίνακα (Εικόνα 4.14). Η πλακέτα MCU τροφοδοτείται από ένα τροφοδοτικό των 5VDC το οποίο παίρνει ρεύμα από τις διπλανές πρίζες. Για την σύνδεση της πλακέτας MCU με τον Η/Υ τοποθετήθηκε ένα καλώδιο USB σε αναμονή. Το επόμενο βήμα ήταν η σύνδεση της πλακέτας ρελέ (μίνι ρελέ) με τον ηλεκτρολογικό πίνακα (ρελέ ισχύος και περιστροφικοί διακόπτες ισχύος) όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.15. Ακολούθησε η τοποθέτηση του κουτιού της πλακέτας ADS1015 εντός του θαλάμου (Εικόνα 4.17) και η σύνδεση της με το κουτί της πλακέτας MCU μέσω καλωδίου σημάτων το οποίο είναι τοποθετημένο μέσα σε εύκαμπτη σωλήνα για προστασία (Εικόνα 4.16). Μετά τοποθετήθηκαν και όλα τα αισθητήρια εντός του θαλάμου τα οποία είναι και αυτά τοποθετημένα μέσα σε προστατευτικά κουτιά και συνδέθηκαν με την πλακέτα ADS1015 με καλώδια σήματος (Εικόνα 4.18). Τέλος, έγινε έλεγχος όλων των λειτουργιών του θαλάμου για να επιβεβαιωθεί η σωστή λειτουργία του.



Εικόνα 4.14: Τοποθέτηση κουτιού με τις πλακέτες MCU και ρελέ στον θάλαμο.



Εικόνα 4.15: Σύνδεση πλακέτας ρελέ με τον ηλεκτρολογικό πίνακα.



Εικόνα 4.16: Σύνδεση μεταξύ των πλακετών MCU και ADS1015.



Εικόνα 4.17: Τοποθέτηση κουτιού πλακέτας ADS1015 μέσα στον θάλαμο.



Εικόνα 4.18: Τοποθέτηση αισθητηρίων μέσα στον θάλαμο.

4.4 Επίλογος

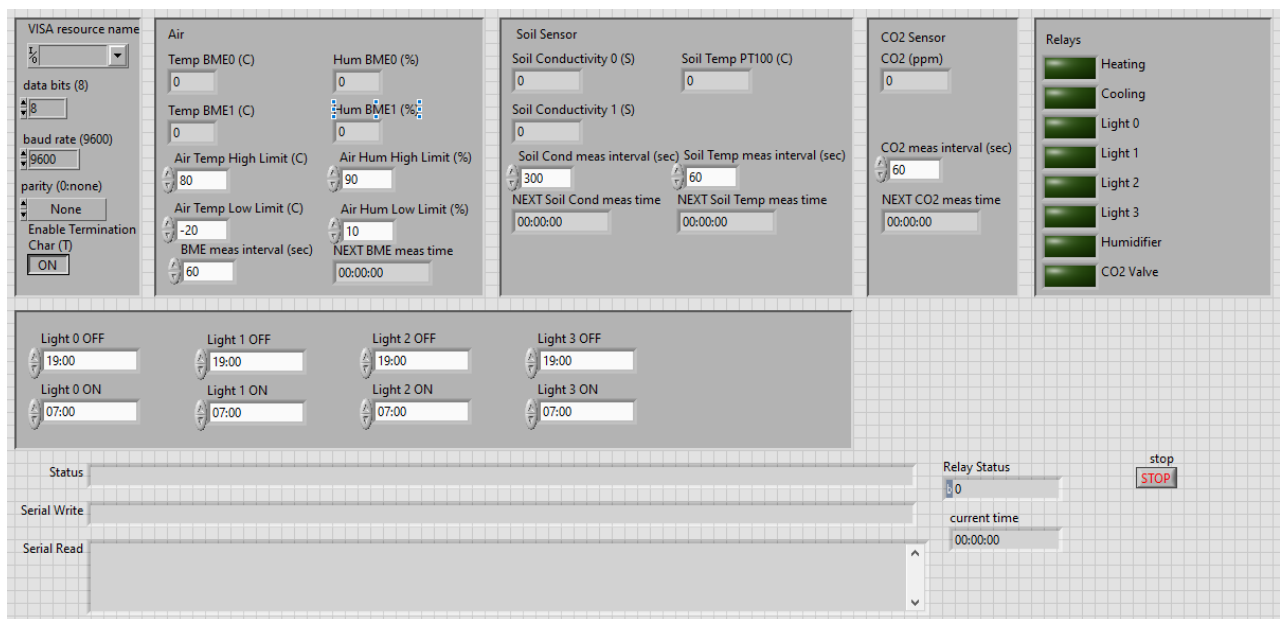
Το τέταρτο κεφάλαιο της Διπλωματικής Εργασίας είναι αφιερωμένο στην περιγραφή των εργασιών κατασκευής, τοποθέτησης και λειτουργικού ελέγχου των κυκλωμάτων του θαλάμου. Αρχικά περιγράφονται οι ηλεκτρολογικές εργασίες που έγιναν για την επαναφορά σε πλήρη λειτουργική κατάσταση του τοπικού ελέγχου του θαλάμου. Ακολούθησε η περιγραφή των εργασιών σχεδιασμού και κατασκευής των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων του θαλάμου, ξεκινώντας από την σχεδίαση των πλακετών σε πρόγραμμα CAD και φτάνοντας μέχρι τα στάδια της εμφάνισης, αποχάλκωσης και κολλήματος των υλικών στην πλακέτα. Τέλος, περιγράφεται η διαδικασία εγκατάστασης αυτών των κυκλωμάτων (πλακέτες, αισθητήρια) μέσα στον θάλαμο σε ειδικά κουτιά για την προστασία τους, η μεταξύ τους σύνδεση και ο τελικός έλεγχος όλων των λειτουργιών του θαλάμου.

Κεφάλαιο 5ο: Λειτουργία Θαλάμου μέσω SCADA

Για την επικοινωνία του μικροελεγκτή (πλακέτα MCU) με τον Η/Υ, δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα SCADA στο LabVIEW. Το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα ρύθμισης διαφόρων παραμέτρων, έλεγχο των μίνι ρελέ, απεικόνιση των μετρήσεων των αισθητηρίων και αποθήκευσή τους όπως και παρακολούθηση την σειριακής επικοινωνίας και άλλων παραμέτρων. Ποιο αναλυτικά ο χρήστης μέσω του προγράμματος έχει τις παρακάτω δυνατότητες:

- Ρύθμιση σειριακής επικοινωνίας (data bits, baud rate, parity bits κτλ.)
- Ρύθμιση μέγιστη και ελάχιστης τιμής λειτουργίας για κάθε αισθητήριο
- Ρύθμιση του χρόνου μέτρησης των τιμών για κάθε αισθητήριο
- Έλεγχος φωτισμού μέσω χρονικών ορίων (λειτουργία χρονοδιακόπτη)
- Έλεγχος μίνι ρελέ μέσω μπουτόν από το πρόγραμμα

Στην Εικόνα 5.1, απεικονίζεται το Front Panel του προγράμματος, δηλαδή τα δεδομένα που βλέπει και ελέγχει ο χρήστης.



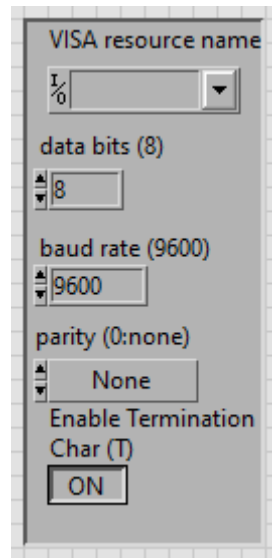
Εικόνα 5.1: Το Front Panel του προγράμματος στο LabVIEW.

Το Front Panel έχει χωριστεί σε διάφορα Blocks που το καθένα αφορά διαφορετική λειτουργία και αισθητήριο. Η αναλυτική περιγραφή για κάθε λειτουργία θα γίνει στα επόμενα κεφάλαια αναλύοντας και το block diagram (προγραμματισμός) κάθε λειτουργίας.

5.1 Σειριακή Επικοινωνία

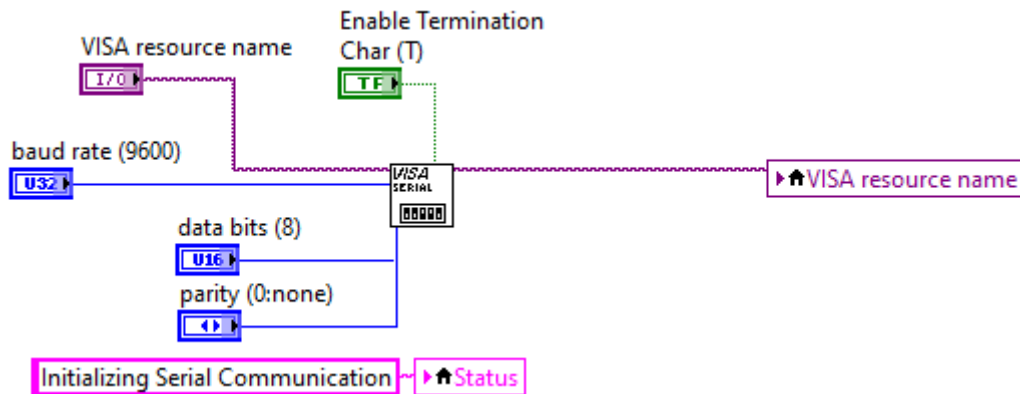
Η επικοινωνία μεταξύ LabVIEW και μικροελεγκτή (πλακέτα MCU) γίνεται μέσω σειριακής επικοινωνίας μέσω ενός καλωδίου USB. Ο χρήστης μέσω του Block VISA (Εικόνα 5.2) στο Front Panel μπορεί να επιλέξει τις παραμέτρους επικοινωνίας που επιθυμεί. Αρχικά πρέπει να επιλέξει το COM στο

οποίο είναι συνδεδεμένο το καλώδιο USB και μετά να ρυθμίσει εάν χρειάζεται τα data bits, το baud rate και το parity bit.



Εικόνα 5.2: Το Block VISA στο Front Panel για ρύθμιση της σειριακής επικοινωνίας.

Στο Block Diagram χρησιμοποιείται το VI, VISA Configure Serial Port (Εικόνα 5.2) το οποίο αρχικοποιεί και ρυθμίζει την σειριακή θύρα με βάση τα δεδομένα που δέχεται από τον χρήστη από το Block VISA του Front Panel



Εικόνα 5.3: Προγραμματισμός του VISA Configure Serial Port στο Block Diagram.

Οι μετρήσεις από τον μικροελεγκτή μέσω της σειριακής θύρας παίρνονται με δύο τρόπους: είτε ανά τακτά χρονικά διαστήματα μέσω του προγράμματος, με κυκλικό τρόπο από όλα τα αισθητήρια, είτε όταν ο χρήστης ζητήσει κάποια συγκεκριμένη τιμή από κάποιο αισθητήριο. Αυτό μπορεί να γίνει όταν ο χρήστης πληκτρολογήσει την αντίστοιχη ονομασία του αισθητηρίου (πχ BME280) στο Block Serial Write του Front Panel (Εικόνα 5.4). Οι ενδείξεις που διαβάζει το πρόγραμμα από την σειριακή θύρα απεικονίζονται κυκλικά στο Block Serial Read ενώ η κατάσταση της σειριακής θύρας (Serial Read ή

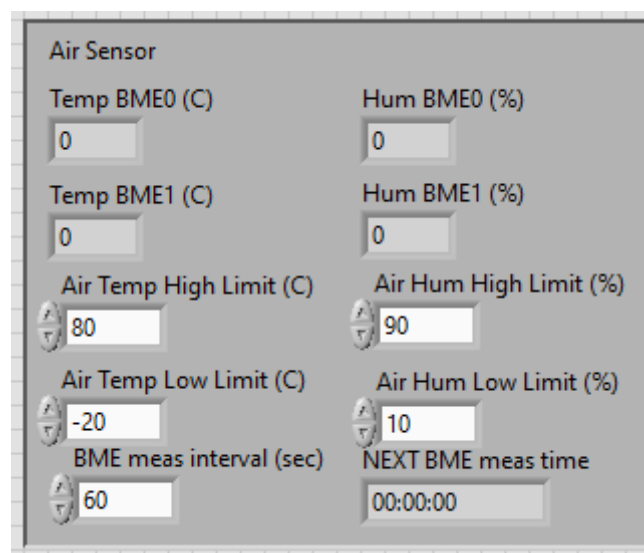
Serial Write) απεικονίζεται στο Block Status. Τέλος, η κατάσταση των ρελέ που βρίσκονται σε λειτουργία απεικονίζεται στο Block Relay Status και της ώρας στο Block Current Time.



Εικόνα 5.4: Απεικόνιση των καταστάσεων της σειριακής θύρας.

5.2 Μέτρηση Θερμοκρασίας και Υγρασίας Αέρα.

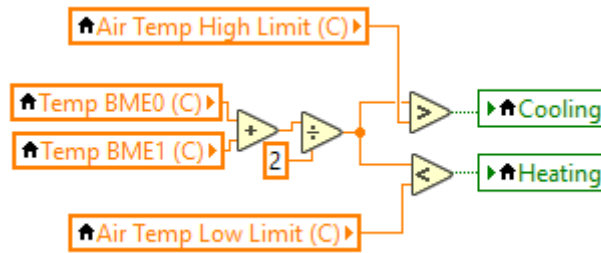
Για την μέτρηση την θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα μέσα στον θάλαμο χρησιμοποιούνται δύο αισθητήρια BME280. Κάθε αισθητήριο παίρνει δύο μετρήσεις, μία για σχετική υγρασία και μια για θερμοκρασία επομένως συνολικά τέσσερις μετρήσεις. Οι μετρήσεις αυτές απεικονίζονται στο Block Air Sensor του Front Panel (Εικόνα 5.5) για κάθε αισθητήριο ξεχωριστά. Ο χρόνος που θα λαμβάνεται η κάθε μέτρηση είναι ρυθμιζόμενος από τον χρήστη ενώ ο χρόνος κάθε επόμενης μέτρησης απεικονίζεται στο Front Panel. Εκτός των μετρήσεων, ο χρήστης μπορεί από το Front Panel να ρυθμίσει το μέγιστο και ελάχιστο όριο θερμοκρασίας και υγρασίας που θα λειτουργεί ο θάλαμος. Μετά τη ρύθμιση το πρόγραμμα ελέγχει αυτόματα την θερμοκρασία (αντιστάσεις θέρμανσης και βαλβίδα FREON) και την υγρασία (υγραντήρας) του θαλάμου, ανοίγοντας ή κλείνοντας το αντίστοιχο ρελέ.



Εικόνα 5.5: Το Block Air Sensor στο Front Panel για απεικόνιση και ρύθμιση τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας.

Επειδή υπάρχουν δύο αισθητήρια που μετράνε διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας, το πρόγραμμα στο Block Diagram (Εικόνα 5.6) υπολογίζει αρχικά τον μέσο όρο των δύο τιμών και μετά συγκρίνει τις τιμές με τα μέγιστα και ελάχιστα όρια που έχουν τεθεί από τον χρήστη. Ανάλογα με το

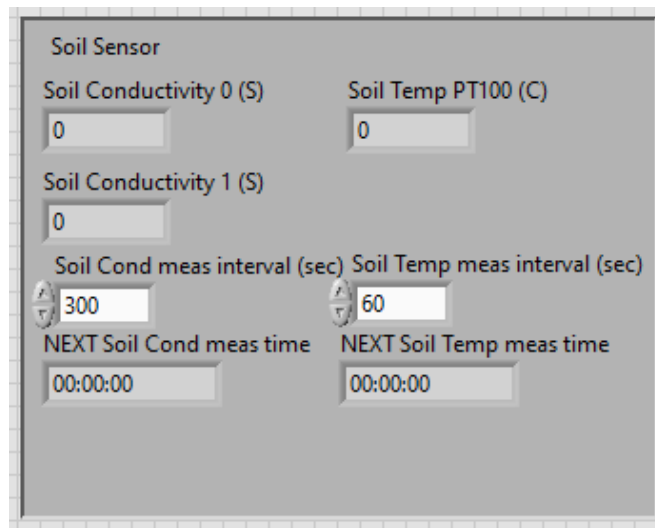
αποτέλεσμα της σύγκρισης (True ή False) δίνεται εντολή για ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση του αντίστοιχου ρελέ.



Εικόνα 5.6: Σύγκριση τιμών μέτρησης θερμοκρασίας με τα όρια του χρήστη.

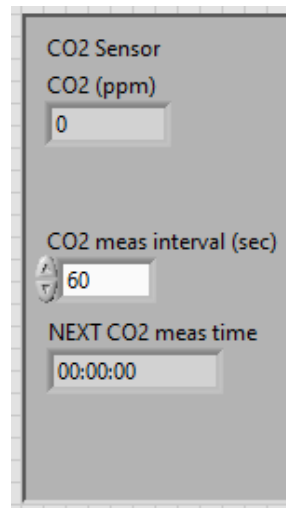
5.3 Μέτρηση Αγωγιμότητας/Θερμοκρασίας Χώματος και Διοξειδίου του Άνθρακα.

Για την μέτρηση της αγωγιμότητας του χώματος χρησιμοποιούνται δύο αισθητήρια με αγώγιμες πλάκες (Probes) ενώ για την θερμοκρασία ένα αισθητήριο PT100. Οι μετρήσεις των αισθητηρίων απεικονίζονται στο Block, Soil Sensor του Front Panel (Εικόνα 5.7) ξεχωριστά για κάθε αισθητήριο αγωγιμότητας και για το αισθητήριο Θερμοκρασίας. Εκτός των μετρήσεων, ο χρήστης μέσω του Front Panel μπορεί να ρυθμίσει τον χρόνο μέτρησης κάθε αισθητηρίου ενώ απεικονίζεται και ο χρόνος κάθε επόμενης μέτρησης.



Εικόνα 5.7: Το Block Soil Sensor στο Front Panel για απεικόνιση των τιμών θερμοκρασίας και αγωγιμότητας.

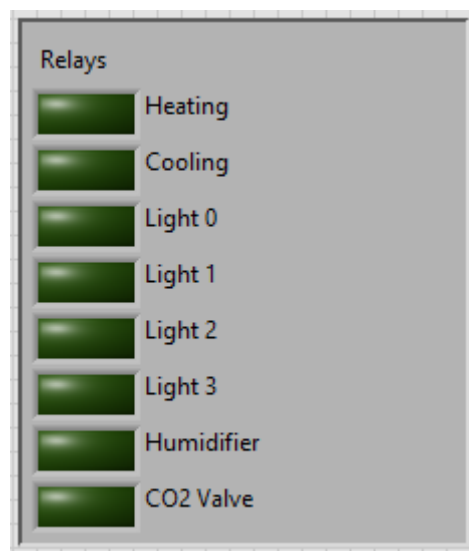
Παρόμοια λειτουργία υπάρχει και για την μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα. Οι μετρήσεις απεικονίζονται στο Block, CO2 Sensor του Front Panel (Εικόνα 5.8). Όπως και στα προηγούμενα αισθητήρια έτσι και σε αυτό υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης του χρόνου μέτρησης του αισθητηρίου ενώ απεικονίζεται και ο χρόνος κάθε επόμενης μέτρησης.



Εικόνα 5.8: Το Block CO2 Sensor στο Front Panel για απεικόνιση των τιμών διοξειδίου το άνθρακα.

5.4 Έλεγχος και Ενδείξεις Κατάστασης των Μίνι Ρελέ

Ο έλεγχος των μίνι ρελέ μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: είτε αυτόματα από το πρόγραμμα είτε χειροκίνητα από τον χρήστη μέσω του Front Panel. Ο χειροκίνητος έλεγχος γίνεται από το Block Relays του Front Panel (Εικόνα 5.9) πατώντας ο χρήστης ανά πάσα στιγμή το αντίστοιχο κουμπί. Παράλληλα το κουμπί λειτουργεί και ως ενδεικτικό την κατάστασης του ρελέ. Στην περίπτωση της αυτόματης λειτουργίας η διαδικασία γίνεται από το πρόγραμμα χωρίς παρέμβαση από τον χρήστη. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης μπορεί να δει την ένδειξη της κατάστασης του ρελέ από το Front Panel.

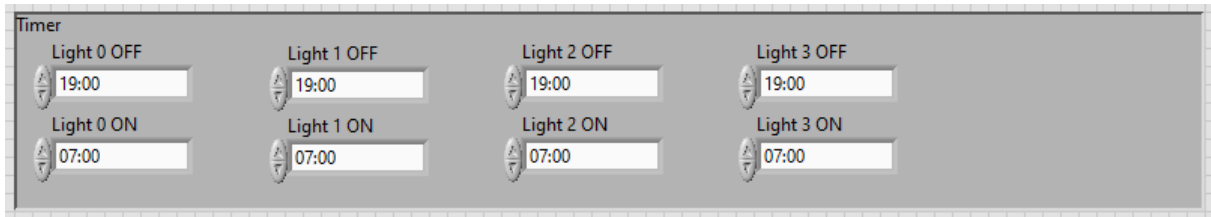


Εικόνα 5.9: Το Block Relays στο Front Panel για τον έλεγχο και την ένδειξη της κατάστασης των ρελέ.

5.5 Έλεγχος Φωτισμού – Λειτουργία Χρονοδιακόπτη

Ο έλεγχος των τεσσάρων κυκλωμάτων φωτισμού του θαλάμου μπορεί να γίνει είτε χειροκίνητα από τον χρήστη μέσω του Block Relays από το Front Panel (βλέπε Παράγραφο 5.4) είτε αυτόματα με την λειτουργία χρονοδιακόπτη, ρυθμίζοντας ο χρήστης τις επιθυμητές ώρες λειτουργίας. Η ρύθμιση γίνεται

από το Block Timer του Front Panel (Εικόνα 5.10) από τον χρήστη επιλέγοντας απλά τις ώρες λειτουργίας του φωτισμού για κάθε κύκλωμα.



Εικόνα 5.10: Το Block Timer στο Front Panel για ρύθμιση της ώρας λειτουργίας των κυκλωμάτων φωτισμού.

Ο έλεγχος γίνεται μέσω της σύγκρισης της τωρινής ώρας (current time) από τον H/Y, με τα δύο χρονικά όρια (Light On και Light Off) που έχει ορίσει ο χρήστης. Η σύγκριση γίνεται από το VI, In Range and Coerce στο Block Diagram του προγράμματος (Εικόνα 5.11).



Εικόνα 5.11: Σύγκριση της τωρινής ώρας με τα χρονικά όρια που έχει ορίσει ο χρήστης.

5.6 Επίλογος

Το πέμπτο κεφάλαιο της Διπλωματικής Εργασίας είναι αφιερωμένο στην περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος SCADA που δημιουργήθηκε, για την επικοινωνία του μικροελεγκτή με τον H/Y και την αποστολή μετρήσεων και εντολών. Στο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά όλα τα στοιχεία που βλέπει και μπορεί να χρησιμοποιήσει ο χρήστης στο Front Panel, όπως οι μετρήσεις από τα αισθητήρια, η κατάσταση της σειριακής θύρας, η ρύθμιση των μέγιστων και ελάχιστων τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας λειτουργίας του θαλάμου και ο έλεγχος και η κατάσταση των μίνι ρελέ. Τέλος, στο κεφάλαιο περιγράφονται και κάποια βασικά κομμάτια προγραμματισμού της εφαρμογής με VI's από το Block Diagram.

Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και Προτάσεις Βελτίωσης

Κατά την φάση υλοποίησης της Διπλωματικής Εργασίας εξήχθησαν πολλά συμπεράσματα που αφορούσαν τις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στο ηλεκτρολογικό κύκλωμα, στην σχεδίαση και κατασκευή του ηλεκτρονικού κυκλώματος και στη δημιουργία του προγράμματος SCADA.

Οι ηλεκτρολογικές εργασίες που έγιναν στον ηλεκτρολογικό πίνακα του θαλάμου βοήθησαν στο να λειτουργεί σωστά, καταργώντας τα στοιχεία εκείνα που δεν λειτουργούσαν. Η κατάργησή τους βοήθησε στο να λειτουργεί ο θάλαμος με πιο απλό και φιλικό τρόπο προς τον χρήστη. Μελλοντικά θα μπορούσε να γίνει μια πιο σωστή κατανομή της καλωδίωσης μέσα στο θάλαμο και να αλλαχθούν κάποια ηλεκτρολογικά στοιχεία (ρελέ, ελεγκτές θερμοκρασίας και υγρασίας) για να γίνει πιο αξιόπιστος λειτουργικά όπως και κάποιες συσκευές εντός του θαλάμου (υγραντήρας, ανεμιστήρας).

Κατά την φάση σχεδιασμού του ηλεκτρονικού κυκλώματος (πλακέτες MCU, PT100 και ADS1015) έγινε προσπάθεια επιλογής των υλικών που είναι άμεσα διαθέσιμα στην αγορά και εξυπηρετούν στην σχεδίαση του κυκλώματος. Για εξοικονόμηση πόρων και χρόνου, η κατασκευή έγινε στο χώρο του τμήματος. Μελλοντικά θα μπορούσαν οι πλακέτες να κατασκευαστούν με κάποιο μηχάνημα κατασκευής πλακετών PCB για μεγαλύτερη αξιοπιστία.

Το πρόγραμμα SCADA που σχεδιάστηκε στο LabVIEW παρέχει στον χρήστη τα βασικά εργαλεία για τον έλεγχο του θαλάμου. Κατά τον τελικό έλεγχο, ανταποκρίθηκε στις προδιαγραφές που είχαν τεθεί κατά το στάδιο της υλοποίησής του. Μελλοντικά μπορούν να γίνουν αρκετές επεκτάσεις όπως η τοποθέτηση περισσότερων ενδεικτικών (πχ Wave Chart) για την απεικόνιση των μετρήσεων, ο έλεγχος περισσότερων συσκευών (πχ συσκευή παραγωγής και ελέγχου διοξειδίου του άνθρακα) και η διασύνδεση με κάποια πλατφόρμα IoT για αποστολή και επεξεργασία των μετρήσεων.

Όλες οι παραπάνω προτάσεις θα μπορούσαν μελλοντικά να υλοποιηθούν έτσι ώστε να αυξηθούν οι δυνατότητες του θαλάμου και να βελτιώσουν την εμπειρία του χρήστη ακόμα περισσότερο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] LAE Electronic, “Instructions for installation and use of MTC12, MHC12, MTC27, MHC27” MTC12 datasheet, 2004.
- [2] Microchip, “ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P” ATmega328P datasheet, 2018.
- [3] Nanjing Qinheng Microelectronics, “USB to serial chip CH340” CH340 datasheet, Version:1D.
- [4] Texas Instruments, “LM340, LM340A and LM7805 Family Wide V_{IN} 1.5A Fixed Voltage Regulators” LM7805 datasheet, Sep. 2016.
- [5] Texas Instruments, “ADS101x Ultra-Small, Low-Power, I²C-Compatible, 3.3-kSPS, 12-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator” ADS1015 datasheet, Jan. 2018.
- [6] Bosch, “BME280 Combined humidity and pressure sensor” BME280 datasheet, Jan. 2022.
- [7] Medium.com, “Know Your Sensor – YL38 Soil Hydrometer” Feb. 2019. [Online]. Available: <https://www.medium.com>.
- [8] Winsen, “Solid Electrolyte CO2 Gas Sensor” MG811 datasheet, Mar. 2015.
- [9] Texas Instruments, “LM136-2.5-N, LM236-2.5-N, LM336-2.5NV Reference Diode” LM336 datasheet, Apr. 2013.
- [10] Texas Instruments, “TLC271, TLC271A, TLC271B LinCMOS Programmable Low-Power Operational Amplifiers” TLC271 datasheet, Mar. 2001.
- [11] Analog Devices, “Single and Dual-Supply, Rail to Rail, Low-Cost Instrumentation Amplifier” AD623 datasheet, Rev G. 2020.
- [12] Handson Technology, “8 Channel 5V Optical Isolated Relay Module” MDU1016 User Guide, Jan. 2022.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ

```
#include <Wire.h>
#include "cactus_io_BME280_I2C.h"
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <LCD_I2C.h>
Adafruit_ADS1015 ads1015; // Construct an ads1015
LCD_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Default address of most PCF8574 modules, change
according

// Create BME280 object
BME280_I2C bme0(0x77); // I2C using address 0x77
// or BME280_I2C bme(0x76); // I2C using address 0x76
BME280_I2C bme1(0x76);
////////////////////////////////////

//Variables for ADS1015
int16_t ADSadc0, ADSadc1, ADSadc2, ADSadc3;
float ADSadc0_Volts, ADSadc1_Volts, ADSadc2_Volts, ADSadc3_Volts;

//Variables for PT100 on ADS1015 AIN2
float PT100Temperature = 0; // Temperature T=ADSads2_Volts*100/4, value output
to the -20~+80C Range

//Variables for MG811 CO2 on ADS1015 AIN3
    int CO2percentage;
    float CO2volts;

//BME811 CO2 sensor
#define MG_PIN (A1) //define which analog input channel you are going to use
#define DC_GAIN (8.5) //define the DC gain of amplifier
/*****Software Related
Macros*****/
#define READ_SAMPLE_INTERVAL (50) //define how many samples you are going to
take in normal operation
#define READ_SAMPLE_TIMES (5) //define the time interval(in millisecond)
between each samples in

/*****Application Related
Macros*****/
//These two values differ from sensor to sensor. user should determine this
value.
#define ZERO_POINT_VOLTAGE (0.220) //define the output of the sensor in volts
when the concentration of CO2 is 400PPM
#define REACTION_VOLTAGE (0.030) //define the voltage drop of the sensor
when move the sensor from air into 1000ppm CO2
```

```

/*****Globals*****/
float CO2Curve[3] = {2.602,ZERO_POINT_VOLTAGE,(REACTION_VOLTAGE/(2.602-3))};
//two points are taken from the curve.
//with these two points, a line is formed which is
//"approximately equivalent" to the original curve.
//data format:{ x, y, slope}; point1: (lg400, 0.324), point2: (lg4000, 0.280)
//slope = ( reaction voltage ) / (log400 -log1000)

////////////////////////////////////
int RelayStatus=0;
////////////////////////////////////

void setup() {
// Init Steps: 1.InitLCD, 2. InitSerial 3.InitADS1015, 4.InitDigitalOutputs,
5.InitBME,
// 6.PT100, 7.SoilSensor, 8.CO2,
// MainLoop steps: 1.BME, 2.ADS1015, 3.Soil0+1, 4.PT100 5. CO2,
6.AskRelaysValue

//Init LCD
lcd.begin(true); // If you are using more I2C devices using the Wire library
use lcd.begin(false)
// this stop the library(LCD_I2C) from calling Wire.begin()
lcd.backlight();
lcd.clear();
delay(200);
lcd.noBacklight();
delay(200);
lcd.backlight();
lcd.print("Initializing");
delay(1000);

//Init Serial
Serial.begin(9600);
Serial.println();

//Init ADS1015
ads1015.begin(0x48);

//Init Digital Outputs
#define Heating_PIN (9) //define pin for controlling heating Resistors
#define Cooling_PIN (8) //define pin for controlling Cooling -Magnetic
Freon
#define Lights1_PIN (7) //define pin for controlling Light 1
#define Lights2_PIN (6) //define pin for controlling Light 2
#define Lights3_PIN (5) //define pin for controlling Light 3

```

```

#define    Lights4_PIN    (4) //define pin for controlling Light 4
#define    Humidifier_PIN (3) //define pin for controlling Humidifier
#define    CO2valve_PIN  (2) //define pin for controlling CO2 valve
#define    Relay_On      (LOW) //define pin for controlling Humidifier
#define    Relay_Off     (HIGH) //define pin for controlling Humidifier
#define    SoilSensor0_EnablePower_PIN (12) //define pin for controlling
SoilSensor0_EnablePower
#define    SoilSensor1_EnablePower_PIN (13) //define pin for controlling
SoilSensor1_EnablePower

pinMode(Heating_PIN, OUTPUT); //Associated Pin is declared as output
pinMode(Cooling_PIN, OUTPUT); //Associated Pin is declared as output
pinMode(Lights1_PIN, OUTPUT); //Associated Pin is declared as output
pinMode(Lights2_PIN, OUTPUT); //Associated Pin is declared as output
pinMode(Lights3_PIN, OUTPUT); //Associated Pin is declared as output
pinMode(Lights4_PIN, OUTPUT); //Associated Pin is declared as output
pinMode(Humidifier_PIN, OUTPUT); //Associated Pin is declared as output
pinMode(CO2valve_PIN, OUTPUT); //Associated Pin is declared as output
pinMode(SoilSensor0_EnablePower_PIN, OUTPUT); //Associated Pin is declared as
output
pinMode(SoilSensor1_EnablePower_PIN, OUTPUT); //Associated Pin is declared as
output

digitalWrite(Heating_PIN, Relay_Off); //Disable Relay
digitalWrite(Cooling_PIN, Relay_Off); //Disable Relay
digitalWrite(Lights1_PIN, Relay_Off); //Disable Relay
digitalWrite(Lights2_PIN, Relay_Off); //Disable Relay
digitalWrite(Lights3_PIN, Relay_Off); //Disable Relay
digitalWrite(Lights4_PIN, Relay_Off); //Disable Relay
digitalWrite(Humidifier_PIN, Relay_Off); //Disable Relay
digitalWrite(CO2valve_PIN, Relay_Off); //Disable Relay
digitalWrite(SoilSensor0_EnablePower_PIN, HIGH); //Disable Power of the
sensor, High=disabled
digitalWrite(SoilSensor1_EnablePower_PIN, HIGH); //Disable Power of the
sensor, High=disabled

//Init BME280

if (!bme0.begin()) {
Serial.println("Could not find a valid BME280 sensor for position 0, check
wiring!");
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("BME280 Sensor0");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("is not found");
lcdFlash();
delay(1000);
}

```

```

}

if (!bme1.begin()) {
  Serial.println("Could not find a valid BME280 sensor for position 1, check
wiring!");
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("BME280 Sensor1");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("is not found");
  lcdFlash();
}

bme0.setTempCal(-1); // Temp was reading high so subtract 1 degree
bme1.setTempCal(-1); // Temp was reading high so subtract 1 degree
}

//Init PT100
//Nothing

//Init SoilSensors
//Nothing

//Init MG811 CO2 Sensor
//Nothing

void loop() {
  // MainLoop steps: 1.BME, 2.ADS1015, 3.Soil0+1, 4.PT100 5. CO2,
  6.AskRelaysValue

  //Measure BME280 Sensor0+1
  bme0.readSensor();
  Serial.print("BME0 T0=");Serial.print(bme0.getTemperature_C());
  Serial.println("C");
  Serial.print("BME0 H0="); Serial.print(bme0.getHumidity());
  Serial.println("%");
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("T0=");
  lcd.print(bme0.getTemperature_C());
  lcd.print(" H0=");
  lcd.print(bme0.getHumidity());

  bme1.readSensor();
  Serial.print("BME1 T1=");Serial.print(bme1.getTemperature_C());
  Serial.println("C");
  Serial.print("BME1 H1="); Serial.print(bme1.getHumidity());
  Serial.println("%");
}

```

```

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("T1=");
    lcd.print(bme1.getTemperature_C());
    lcd.print(" H1=");
    lcd.print(bme1.getHumidity());

delay(4000);

//Measure ADS1015
/* DC Range: +/- 6.144V (1 bit = 3mV) but limits are 0 to Vcc+0.3 */
// Nothing. Each analog input will be called later

//Measure SoilSensor0+1
/* DC Range: +/- 6.144V (1 bit = 3mV) but limits are 0 to Vcc+0.3, Vcc=5V */
    digitalWrite(SoilSensor0_EnablePower_PIN, LOW); //Enable Power of the
sensor, LOW=Enabled
    digitalWrite(SoilSensor1_EnablePower_PIN, LOW); //Enable Power of the
sensor, LOW=Enabled
    delay(1000);
    ADSadc0 = ads1015.readADC_SingleEnded(0);
    ADSadc1 = ads1015.readADC_SingleEnded(1);
    digitalWrite(SoilSensor0_EnablePower_PIN, HIGH); //Disable Power of the
sensor, HIGH=Disabled
    digitalWrite(SoilSensor1_EnablePower_PIN, HIGH); //Disable Power of the
sensor, HIGH=Disabled
    ADSadc0_Volts = ADSadc0 * 0.003; //conversion bits (0-4096) to voltage +/-
6.144 : Volts=bits*0.003
    ADSadc1_Volts = ADSadc1 * 0.003; //conversion bits (0-4096) to voltage +/-
6.144 : Volts=bits*0.003
    Serial.print("ADS1015 AIN0: Soil0 Voltage ="); Serial.print(ADSadc0_Volts);
Serial.println("Volts");
    Serial.print("ADS1015 AIN1: Soil1 Voltage ="); Serial.print(ADSadc1_Volts);
Serial.println("Volts");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("S0="); lcd.print(ADSadc0_Volts); lcd.print("V");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("S1="); lcd.print(ADSadc1_Volts); lcd.print("V");
    delay(4000);

//Measure PT100 on ADS1015 input AIN2
/* DC Range: +/- 6.144V (1 bit = 3mV) but limits are 0 to Vcc+0.3, Vcc=5V */
    ADSadc2 = ads1015.readADC_SingleEnded(2);
    ADSadc2_Volts = ADSadc2 * 0.003; //conversion bits (0-4096) to voltage +/-
6.144 : Volts=bits*0.003
    PT100Temperature = ((ADSadc2_Volts-0.25) * 100 / 4)-20; //conversion voltage
0.25-4.25 to -20~+80C
    Serial.print("ADS1015 AIN2: PT100 Voltage ="); Serial.print(ADSadc2_Volts);
Serial.println("Volts");

```

```

    Serial.print("ADS1015 AIN2: PT100 Temperature =");
Serial.print(PT100Temperature); Serial.println("C");
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("PT100V="); lcd.print(ADSadc2_Volts); lcd.print("V");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("PT100="); lcd.print(PT100Temperature); lcd.print("C");
    delay(4000);

//Measure MG811 CO2 on ADS1015 input AIN3
int i;
float value;
for (i=0;i<READ_SAMPLE_TIMES;i++) {
    value += ads1015.readADC_SingleEnded(3); //taking average
    delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
}
value = (value/READ_SAMPLE_TIMES);
ADSadc3 = value;
ADSadc3_Volts = ADSadc3 * 0.003;
CO2volts= ADSadc3_Volts;
CO2percentage = MGGetPercentage(CO2volts,CO2Curve);
Serial.print("ADS1015 AIN3: MG811 CO2 Voltage =");
Serial.print(ADSadc3_Volts); Serial.println("Volts");
Serial.print("CO2:");
if (CO2percentage == -1) {
    Serial.print( "<400" );
} else {
    Serial.print(CO2percentage);
}
Serial.println( "ppm" );
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("CO2V="); lcd.print(ADSadc3_Volts); lcd.print("V");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("CO2="); lcd.print(CO2percentage); lcd.print("%");
delay(4000);

Serial.println("REQUESTINGDATAforRelays");
delay(2000);
if (Serial.available()) {
    int inByte = Serial.parseInt();
    Serial.print("MCU received "); Serial.println(inByte);
    while (Serial.available()) {Serial.read(); } //emptying serial buffer, to
remove the new line character
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("MCUreceived "); lcd.print(inByte);
}

```

```

    if(inByte == RelayStatus) { } else {
        digitalWrite(Heating_PIN, !bitRead(inByte, 7));
        digitalWrite(Cooling_PIN, !bitRead(inByte, 6));
        digitalWrite(Lights1_PIN, !bitRead(inByte, 5));
        digitalWrite(Lights2_PIN, !bitRead(inByte, 4));
        digitalWrite(Lights3_PIN, !bitRead(inByte, 3));
        digitalWrite(Lights4_PIN, !bitRead(inByte, 2));
        digitalWrite(Humidifier_PIN, !bitRead(inByte, 1));
        digitalWrite(CO2valve_PIN, !bitRead(inByte, 0));
        RelayStatus = inByte;
        delay(4000);
    }
}

/*****
***** MGRRead
*****
Input:  mg_pin - analog channel
Output: output of SEN-000007
Remarks: This function reads the output of SEN-000007
*****
*****/
float MGRRead(int mg_pin)
{
    int i;
    float v=0;

    for (i=0;i<READ_SAMPLE_TIMES;i++) {
        v += analogRead(mg_pin);
        delay (READ_SAMPLE_INTERVAL);
    }
    v = (v/READ_SAMPLE_TIMES) *5/1024;
    return v;
}

/*****
*****MQGetPercentage
*****
Input:  volts - SEN-000007 output measured in volts
        pcurve - pointer to the curve of the target gas
Output: ppm of the target gas
Remarks: By using the slope and a point of the line. The x(logarithmic value
of ppm) of the line could be derived if y(MG-811 output) is provided. As it is
a logarithmic coordinate, power of 10 is used to convert the result to non-
logarithmic value.
*****
*****/
int MGGetPercentage(float volts, float *pcurve)

```

```

{
  if ((volts/DC_GAIN)>=ZERO_POINT_VOLTAGE) {
    return -1;
  } else {
    return pow (10, ((volts/DC_GAIN)-pcurve[1])/pcurve[2]+pcurve[0]);
  }
}

/***** lcdFlash
*****/
void lcdFlash()
{
  lcd.noBacklight();
  delay(1000);
  lcd.backlight();
  delay(1000);
  lcd.noBacklight();
  delay(1000);
  lcd.backlight();
  delay(1000);
}

```