

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΟΔΗΓΗΣΗΣ
ΜΟΝΑΔΑΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

Νταβίσκας Ερμής-Αντώνιος (Α.Μ. 4642)

Επιβλέπων καθ. Ρωμαίος Αλέξανδρος
Δρ. μηχ.

Πάτρα, 2019

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν έγγραφο αποτελεί μέρος της πτυχιακής εργασίας που εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Α.Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδος και συνοδεύει την συσκευή ελέγχου λυοφιλίωσης που αναπτύχθηκε για το εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου του ιδρύματος.

Πολλές βιομηχανικές διαδικασίες απαιτούν μεγάλους χρόνους περάτωσης καθώς και διαρκή επιτήρηση και διατήρηση των συνθηκών κάτω από τις οποίες πρέπει να πραγματοποιηθούν. Στις περιπτώσεις αυτές, την εποπτεία αναλαμβάνει ένα σύστημα αυτοματισμού. Μια τέτοια περίπτωση αναλύεται σε αυτήν την εργασία.

Στις επόμενες σελίδες περιγράφεται η κατασκευή και ο προγραμματισμός ενός τέτοιου συστήματος που αναλαμβάνει να αυτοματοποιήσει την διαδικασία λυοφιλίωσης.

Μέσα από αυτήν την εργασία, αναδεικνύεται η αλληλοσύνδεση της άυλης έννοιας ενός προγράμματος, με τις απτές μηχανικές διατάξεις και φυσικές διαδικασίες καθώς η σχέση της μηχανολογίας με την πληροφορική ως αλληλοσυμπληρούμενα πεδία.

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Αλέξανδρο Ρωμαίο, τόσο για την βοήθεια και την καθοδήγηση, αλλά κυρίως για την επιλογή να μου εμπιστευτεί την ανάθεση του θέματος.

Νταβίσκας Ερμής-Αντώνιος
Ιανουάριος 2019

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο Φοιτητής
(Ονοματεπώνυμο)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η λυοφιλίωση (ή κρουζύρανση), είναι μια διαδικασία αφυδάτωσης, η οποία επιτυγχάνεται μέσω εξάχνωσης του νερού σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Ο τρόπος αυτός, σε αντίθεση με την πλέον διαδομένη μέθοδο απομάκρυνσης του νερού με εξάτμιση, εφαρμόζοντας υψηλές θερμοκρασίες, διατηρεί το προϊόν σχηματικά ανέπαφο, αναλλοίωτο, ενώ η ποιότητα επανενυδάτωσης του είναι εξαιρετική. Για τους λόγους αυτούς η λυοφιλίωση, ως επιλογή αποθήκευσης και διατήρησης των προϊόντων, τα οποία είτε οφείλουν να είναι αισθητικώς όμορφα είτε είναι θερμικός ευαίσθητα, είναι μονόδρομος, και βρίσκει ιδιαίτερη εφαρμογή στις βιομηχανίες του χώρου τροφίμων, ιατρικών και παραϊατρικών σκευασμάτων, καθώς και στην βιοιατρική.

Στο βιβλίο αυτό, γίνεται αναφορά στην μέθοδο, το υλικό και την θεωρία που εφαρμόζεται στην διαδικασία της κρουζύρανσης. Ιδιαίτερη όμως βαρύτητα δίνεται στην περιγραφή της ηλεκτρονικής διάταξης ελέγχου, η κατασκευή της οποίας αποτελεί το κυρίως θέμα της πτυχιακής εργασίας. Η θεματολογία χωρίζεται σε δυο κατηγορίες: Το υλικό μέρος της συσκευής, αναλυόμενο στα αυτοτελή τμήματα ηλεκτρονικών διατάξεων που επιτελούν συγκεκριμένο ρόλο. Η άλλη κατηγορία πραγματεύεται την ανάπτυξη του προγραμματιστικού κώδικα, που δημιουργεί την διεπαφή χρήστη-συσκευής και ελέγχει την διαδικασία της λυοφιλίωσης.

Το εισαγωγικό κεφάλαιο περιλαμβάνει πληροφορίες για την ψυχρή ξήρανση, οι οποίες είναι απαραίτητες ώστε να γνωρίζει ο αναγνώστης ποια διαδικασία πρόκειται να αυτοματοποιηθεί, και με ποιόν τρόπο. Επίσης, στο ίδιο κεφάλαιο περιγράφονται όλες οι έννοιες που πρόκειται να συναντηθούν στα επόμενα κεφάλαια. Η εισαγωγή έχει δομηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να καλύψει όλες τις έννοιες που θα απαντηθούν στα επόμενα κεφάλαια.

Στο 1ο κεφάλαιο περιγράφεται η ίδια η συσκευή που πραγματοποιεί την λυοφιλίωση. Αναλύονται οι επιμέρους διατάξεις της, από την σκοπιά της συσκευής ελέγχου. Όσες δηλαδή είναι άμεσα συνδεδεμένες με αυτήν, καθώς και ο τρόπος με τον οποίον η χρήση τους μπορεί να επιφέρει μεταβολή των συνθηκών.

Το κεφάλαιο 2 αναλύει τον τρόπο κατασκευής της συσκευής ελέγχου. Αναπτύσσεται τμηματικά, όπως δηλαδή έχει κατασκευαστεί και η διάταξη αυτοματισμού.

Ο σχεδιασμός του λογισμικού περιγράφεται στο 3^ο κεφάλαιο. Αν και δεν δίνεται ο όλος ο πηγαίος κώδικας, πράγμα που θα ήταν μάλλον περιττό λόγω της έκτασης του, περιλαμβάνονται όλα τα στάδια, και η λογική που κρύβεται πίσω από την διαδικασία της ανάπτυξης της εφαρμογής.

Το 4^ο κεφάλαιο είναι περισσότερο ένα εγχειρίδιο χρήσης της συσκευής. Περιγράφονται όλες οι λειτουργίες της, και ο τρόπος για να παραμετροποιηθεί μια διαδικασία.

Τέλος, στο παράρτημα του βιβλίου, περιλαμβάνονται όσες πληροφορίες δεν είναι άμεσα συσχετισμένες με το αντικείμενο της μελέτης, παρ' όλα αυτά όμως, η γνώση τους θα βοηθήσει στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της συσκευής ελέγχου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	III
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	V
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	VIII
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	IX
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	1
1.1. Καταστάσεις ύλης και αλλαγή φάσης.....	1
1.1.1. Διαγράμματα φάσεων	2
1.1.2. Λανθάνουσα θερμότητα	3
2. ΛΥΟΦΙΛΙΩΣΗ Η ΨΥΧΡΗ ΞΗΡΑΝΣΗ	5
2.1. Ορισμός	5
2.2 Διαδικασία ψυχρής ξήρανσης.....	5
2.3. Εξοπλισμός λυοφιλίωσης	6
1. ΣΥΣΚΕΥΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ	9
1.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	9
1.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	10
1.2.1. Θάλαμος κενού	10
1.2.2. Σύστημα θέρμανσης.....	11
1.2.2.1. Αισθητήρας θερμοκρασίας υγρού.....	11
1.2.2.2. Ηλεκτρικός θερμαντήρας.....	12
1.2.2.3. Κυκλοφορητής.....	13
1.2.2.4. Λειτουργία	13
1.2.3. Σύστημα ψύξης	13
1.2.3.1. Λειτουργία	14
1.2.4. Συσκευή ελέγχου.....	15
2. ΣΥΣΚΕΥΗ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΥΛΙΚΟ	19
2.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	19
2.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	20
2.2.1. Τμήμα τροφοδοσίας	20
2.2.1.1. Περιγραφή.....	20
2.2.1.2. Εξαρτήματα	21
2.2.1.3. Λειτουργία	21
2.2.1.4. Υπολογισμοί.....	22
2.2.2. Τμήμα μικροελεγκτή	26

2.2.2.1. Περιγραφή.....	26
2.2.2.2. Εξαρτήματα.....	28
2.2.2.3. Λειτουργία.....	29
2.2.2.4. Περιγραφή.....	31
2.2.2.5. Εξαρτήματα.....	32
2.2.2.6. Λειτουργία.....	33
2.2.2.7. Υπολογισμοί.....	34
2.2.3. Τμήμα USB to Serial.....	39
2.2.3.1. Περιγραφή.....	39
2.2.3.2. Λειτουργία.....	39
2.2.4. Τμήμα οθόνης.....	43
3. ΣΥΣΚΕΥΗ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ.....	45
3.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	45
3.1.1. Απαιτήσεις λογισμικού.....	45
3.1.2. Διαγράμματα ροής δεδομένων.....	47
3.1.3. Διάγραμμα μετάβασης καταστάσεων.....	50
3.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ.....	53
3.2.1. Διάγραμμα δομής προγράμματος.....	53
4. ΣΥΣΚΕΥΗ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ.....	57
4.1. ΒΑΣΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ.....	57
4.2. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΕΝΙΚΩΝ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ.....	57
4.2.1. Σελίδα ρυθμίσεων εμφάνισης.....	57
4.2.2. Σελίδα ρυθμίσεων καταγραφών.....	59
4.2.3. Σελίδες ρυθμίσεων αισθητήρων και ηλεκτρονόμων.....	60
4.3. ΣΕΛΙΔΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΧΕΔΙΟΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	61
4.4. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΣΧΕΔΙΟΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	62
4.4.1. Σελίδα παραμετροποίησης της φάσης ψύξης.....	62
4.4.2. Σελίδα παραμετροποίησης φάσης ξήρανσης.....	63
4.4.3. Σελίδα παραμετροποίησης φάσης δευτερεύουσας ξήρανσης.....	64
4.5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΕ ΕΞΕΛΙΞΗ.....	66
4.5.1. Σελίδα επιτήρησης διαδικασίας.....	66
4.5.2. Σελίδα ιστορικού διαδικασίας.....	68
4.6. ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	71
1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ.....	71
1.1. Συμπυκνωτής / εξατμιστής.....	71
Εκτονωτική διάταξη.....	72
1.3. Συμπιεστής.....	72
1.4. Ψυκτικό μέσο.....	73
1.5. Ψυκτικός κύκλος.....	75

2. ΣΗΜΑΤΑ	76
2.1 Ορισμός σήματος	76
2.2. Είδη σημάτων.....	77
2.3 Συνάρτηση μεταφοράς	78
2.4. Analog to Digital converter	79

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

Q	≈ θερμική ενέργεια
T	≈ θερμοκρασία
P	≈ πίεση
t	≈ χρόνος
V	≈ τάση
I	≈ ρεύμα
R	≈ αντίσταση
a	≈ συντελεστής αγωγιμότητας υλικού
A	≈ πλάτος σήματος
f	≈ συχνότητα
D	≈ περίοδος

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

μC	≈ microcontroller
MCU	≈ microcontroller unit
TFT LCD	≈ thin film transistor liquid crystal display *
UART	≈ universal asynchronous receiver-transmitter
V _{cc}	≈ voltage at the common collector
GND	≈ ground
VDC	≈ voltage of direct current
NPN	≈ negative positive negative (transistor)
LED	≈ Light emitting diode
SPDT	≈ Single Pole Double Throw
max	≈ maximum
min	≈ minimum
ref	≈ reference
DAQ	≈ Data Acquisition
ADC	≈ Analog (to) Digital Converter
Δ.Μ.Κ.	≈ διάγραμμα μετάβασης καταστάσεων
Δ.Ρ.Δ.	≈ διάγραμμα ροής δεδομένων
Δ.Δ.Π	≈ διάγραμμα δομής προγράμματος

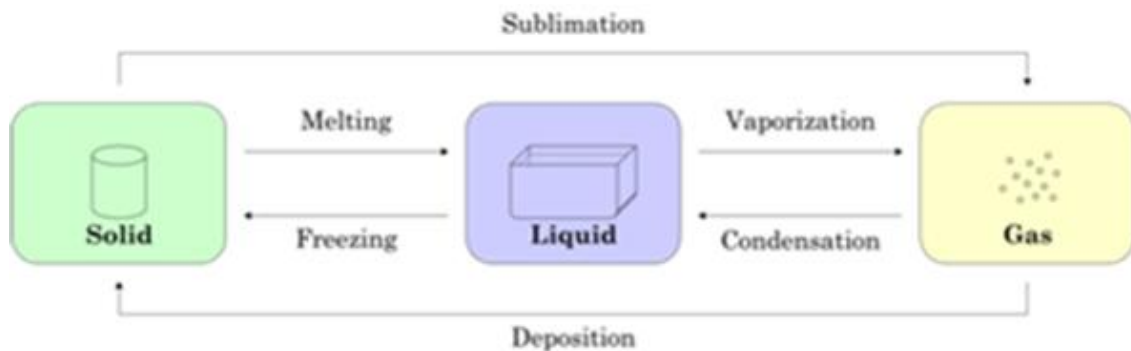
*με τον όρο αυτό, θα αναφερόμαστε στην οθόνη της συσκευής ελέγχου

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1. Καταστάσεις ύλης και αλλαγή φάσης

Είναι γνωστό πως η ύλη συναντάται σε 3 καταστάσεις (σε αέρια (Solid), υγρή (Liquid) και στερεή (Vapor)), καθώς και ότι μεταξύ αυτών μεταβαίνει με κατάλληλη πρόσδοση ή αφαίρεση θερμικής ενέργειας η οποία προκαλεί μεταβολή της θερμοκρασίας του. Στο σχήμα 1 που ακολουθεί φαίνονται συνοπτικά οι καταστάσεις και οι μεταπτώσεις.



Σχήμα 1 Μεταβάσεις μεταξύ των καταστάσεων της ύλης

Η κατάσταση του υλικού καθορίζεται από τα σημεία τήξης και βρασμού, τα οποία αντιστοιχούν στις θερμοκρασίες στις οποίες το στερεό μετατρέπεται σε υγρό, και το υγρό σε αέριο, αντίστοιχα. (σχ. 2).

Για θερμοκρασία μικρότερη του σημείου τήξης το σώμα βρίσκεται σε στερεή κατάσταση, σε θερμοκρασία μεγαλύτερη του σημείου βρασμού, σε αέρια, και ενδιάμεσως το υλικό βρίσκεται σε υγρή μορφή.

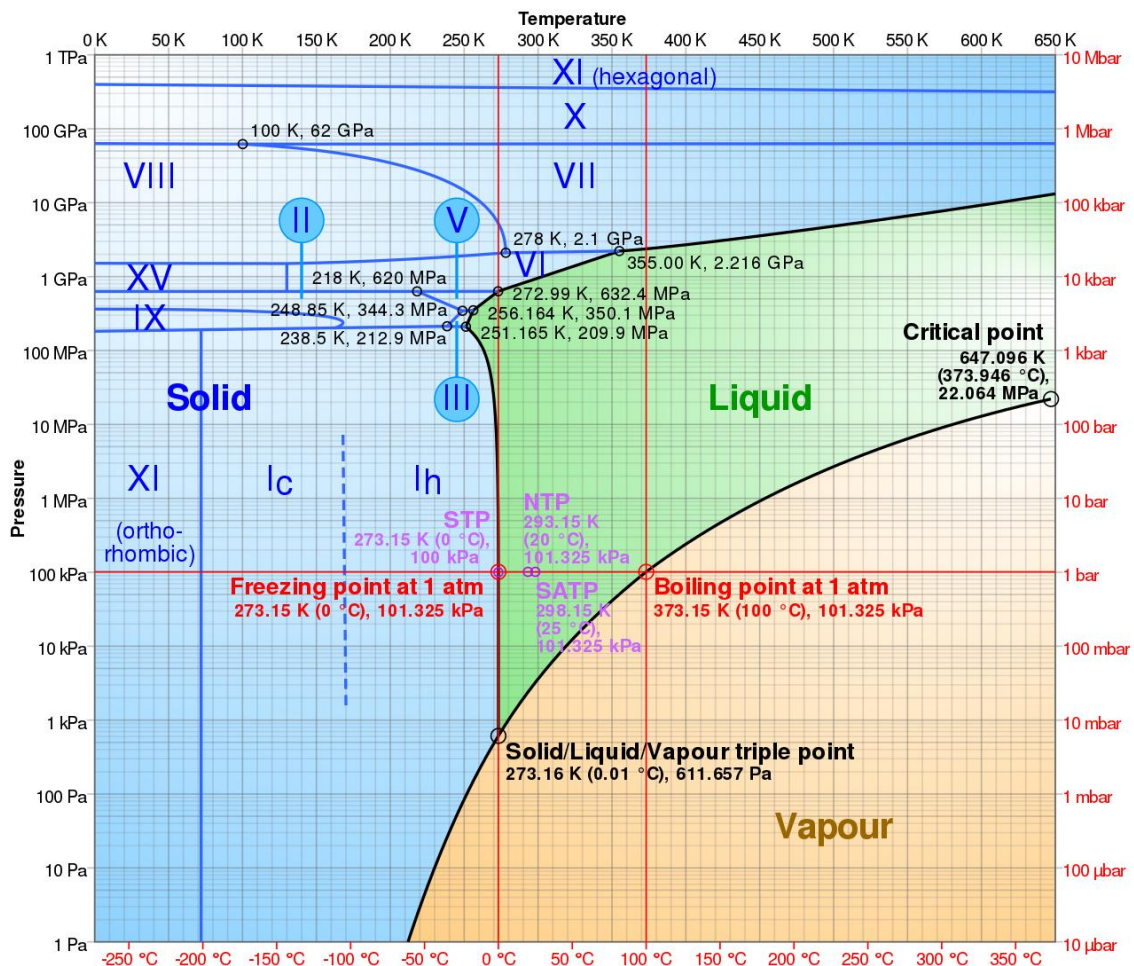


Σχήμα 2: Αποτύπωση των καταστάσεων της ύλης

1.1.1. Διαγράμματα φάσεων

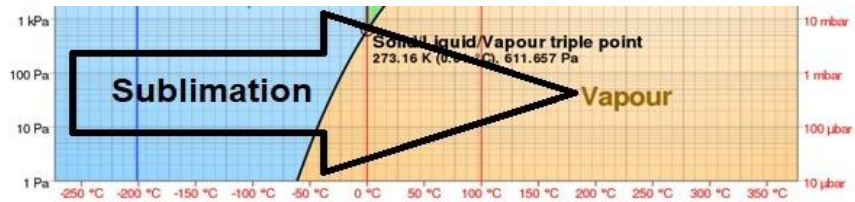
Τα σημεία τήξης και βρασμού είναι χαρακτηριστικά για κάθε υλικό, μεταβάλλονται όμως σε σχέση με την πίεση στην οποία βρίσκεται.

Έίναι λοιπόν ακριβέστερη η αναπαράσταση των φάσεων, αντί σε έναν μονοδιάστατο άξονα όπως σε αυτόν του σχ. 2, η αποτύπωση τους σε ένα καρτεσιανό επιπέδου, το οποίο δημιουργείται από τους άξονες πίεσης και θερμοκρασίας, και που κάθε τμήμα αποτελείται από το σύνολο των σημείων που ο συνδυασμός P, T καθιστά το υλικό στερεό, υγρό ή αέριο. Τα διαγράμματα αυτά, ονομάζονται διαγράμματα φάσεων, και, όσον αφορά το νερό, ένα τέτοιο διάγραμμα είναι αυτό του Σχ. 3.



Σχήμα 0.3: Διάγραμμα φάσεων νερού

Εάν στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρήσουμε το τμήμα που ορίζεται μεταξύ των 600 Pa και 1 kPa, θα διαπιστώσουμε πως αν σε μια ποσότητα νερού, υπό την μορφή πάγου, προσδώσουμε απαραίτητη θερμότητα, τότε αυτό μεταβαίνει κατευθείαν στην αέρια κατάσταση, χωρίς να προηγηθεί ρευστοποίηση. Το φαινόμενο αυτό, που στην εικόνα 1 αποκαλείται εξάχνωση (sublimation), αποτελεί την ουσία της λυοφιλίωσης.

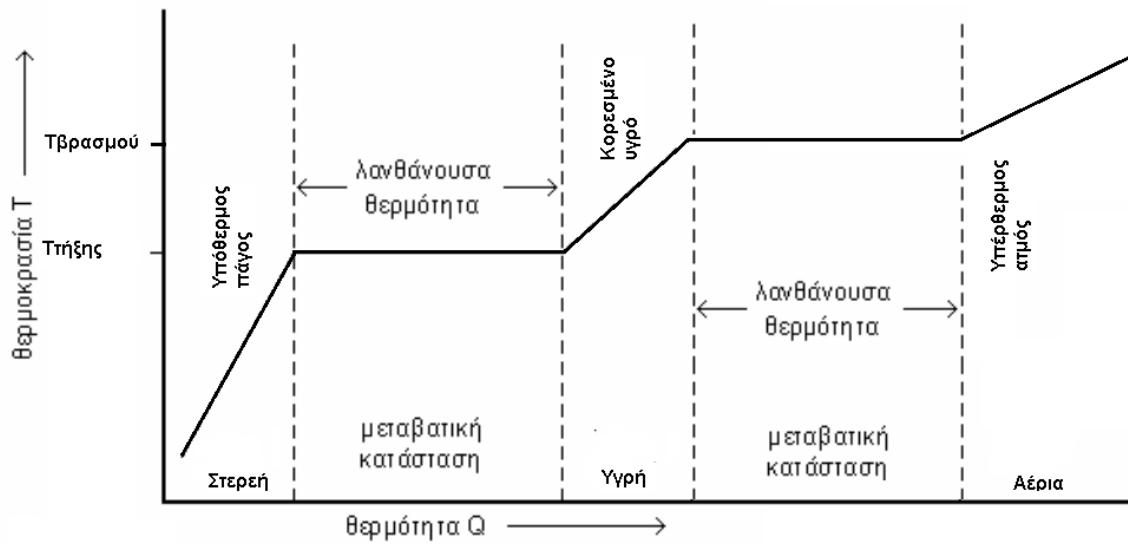


Σχήμα 4: Λεπτομέρεια διαγράμματος φάσεων νερού

1.1.2. Λανθάνουσα θερμότητα

Όταν σε ένα σώμα προσδίδεται θερμότητα, τότε αυτό αυξάνει την θερμοκρασία του. Αντιστοίχως, όταν μειώνεται η θερμοκρασία, αυτό σημαίνει πως η φορά ενέργειας είναι αντίστροφη, και το σώμα προσδίδει θερμότητα στο περιβάλλον.

Όταν το υλικό φτάσει σε θερμοκρασία τήξης ή βρασμού τότε η μεταφορά θερμότητας, παύει να μεταβάλλει την θερμοκρασία του σώματος η οποία παραμένει σταθερή. Η θερμότητα αυτή ονομάζεται λανθάνουσα. Το διάγραμμα Q-T παρουσιάζεται στο σχήμα 5. Πρόκειται για ένα φαινόμενο που αξιοποιείται στην κατασκευή θερμικών μηχανών, όπως αυτή που χρησιμοποιείται από την συσκευή λυοφιλίωσης για την ψύξη του θαλάμου.



Σχήμα 0.5: Μεταβολή θερμοκρασίας κατά την πρόσδωση θερμότητας

2. ΛΥΟΦΙΛΙΩΣΗ Η ΨΥΧΡΗ ΞΗΡΑΝΣΗ

2.1. Ορισμός

Ως λυοφιλίωση (lyophilization) ή ψυχρή ξήρανση (freeze drying) ορίζεται η διαδικασία αφυδάτωσης ενός προϊόντος με ψύξη.

Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους αφυδάτωσης με εξάτμιση, οι οποίες προϋποθέτουν την έκθεση του προϊόντος σε υψηλή θερμοκρασία, και κατ' επέκταση την απομάκρυνση του νερού λόγω ατμοποίησης, η διαδικασία αυτή βασίζεται στο φαινόμενο της εξάχνωσης, το οποίο λαμβάνει χώρα σε συνθήκες χαμηλής θεοκρασίας και χαμηλής πίεσης.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου λυοφιλίωσης είναι πως τα κατεργασμένα προϊόντα, διατηρούν τα φυσικά τους χαρακτηριστικά όπως χρώμα και υφή, και περιορίζονται οι αντιδράσεις φθοράς όπως η μετουσίωση πρωτεϊνών. Επιπλέον, ευνοείται η επανενυδάτωση λόγω της πορώδους επιφάνειας του τελικού προϊόντος, ενώ αν ακολουθηθεί σωστή συσκευασία, ο χρόνος διατήρησης ξεπερνάει του 12 μήνες.

Όλα τα παραπάνω καθιστούν την λυοφιλίωση ιδανική μέθοδο ξήρανσης ευαίσθητων σκευασμάτων, όπως τα ιατρικά και παραϊατρικά είδη ή προϊόντων, των οποίων η αισθητική όψη, πρέπει να παραμένει ανέπαφη.

2.2 Διαδικασία ψυχρής ξήρανσης

Οι διαδικασία συντελείται σε 4 βασικά στάδια:

1. *Κατάψυξη (Freezing)*
2. *Ανόπτηση (Annealing)*
3. *Πρωταρχική ξήρανση (Primary drying)*
4. *Δευτερεύουσα ξήρανση (Secondary drying)*

Ο σκοπός της φάσης κατάψυξης είναι να ψυχθεί το εγκλωβισμένο νερό σε θερμοκρασία μικρότερη από αυτήν του τριπλού σημείου, ώστε στην συνέχεια με θέρμανση στα επόμενα στάδια, να πραγματοποιηθεί εξάχνωση αντί τήξης. Η φάση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί εντός της συσκευής λυοφιλίωσης, αλλά και εκτός αυτής, είτε σε έναν καταψύκτη είτε με εμβάπτιση του προϊόντος σε ειδικό υγρό.

Η διαδικασία της ανόπτησης ευνοεί την δημιουργία μεγάλων κρυστάλλων πάγου. Αυτό επιτυγχάνεται με την αναθέρμανση του προϊόντος και την μετέπειτα κατάψυξή του. Το στάδιο αυτό είναι προαιρετικό αφού τα ίδια αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν με αργή κατάψυξη του προϊόντος. Σημειώνεται επίσης, πως η δημιουργία μεγάλων κρυστάλλων μπορεί να καταστρέψει την κυτταρική μεμβράνη των βιολογικών συστατικών και να προκαλέσει υποβάθμιση του προϊόντος και για τον λόγο αυτόν δεν είναι πάντα επιθυμητή. Η περίπτωση αυτή προλαμβάνεται με ταχεία κατάψυξη.

Κατά την πρωταρχική ξήρανση πραγματοποιείται η εξάχνωση. Αρχικά, στο στάδιο αυτό η πίεση του θαλάμου μειώνεται σε τιμές μικρότερες από αυτήν που αντιστοιχεί στο τριπλό σημείο. Έπειτα, ξεκινάει η μεταφορά θερμότητας προς το προϊόν. Κατά την διαδικασία αυτή, η προσφερόμενη ενέργεια δεσμεύεται ως λανθάνουσα θερμότητα και η θερμοκρασία του προϊόντος παραμένει σταθερή. Τελικά, η εξάχνωση του νερού σηματοδοτείται με αύξηση θερμοκρασία του δείγματος.

Κατά την πρωταρχική ξήρανση αφαιρείται το 90% έως 95 % του νερού. Έχουν πλέον απομείνει ιοντικά δεσμευμένα μόρια νερού με το υλικό. Η δευτερεύουσα ξήρανση προκαλεί επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας με σκοπό την διάσπαση αυτών των δεσμών. Αφού ολοκληρωθεί και αυτή η διαδικασία η εναπομένουσα υγρασία κυμαίνεται στο 5% με 1%.

2.3. Εξοπλισμός λυοφιλίωσης

Η συσκευές ξήρανσης συναντώνται σε πολλές παραλλαγές, ανάλογα με τον όγκο τους, την χρήση τους, και τους τρόπους λειτουργίας (εικ. 1.α και εικ. 1.β).



α.



β.

Εικόνα 1: α. Συσκευή λυοφιλίωσης βιομηχανικής μονάδας, β. Συσκευή λυοφιλίωσης οικιακής χρήσης

Παρά την ποικιλομορφία τους, η αρχή λειτουργίας και τα βασικά μέρη παραμένουν κοινά:

- *Θάλαμος κενού*
Ο χώρος μέσα στον οποίο πραγματοποιείται η διαδικασία.
- *Αντλία κενού*
Η συσκευή υπεύθυνη για την μείωση της πίεσης μέσα στον θάλαμο.
- *Σύστημα ψύξης*
Η διάταξη για την ψύξη του θαλάμου και των προϊόντων.
- *Σύστημα θέρμανσης*
Η διάταξη θέρμανσης των προϊόντων.
- *Συμπυκνωτής*
Χρησιμεύει για την συγκέντρωση της υγρασίας που παράγεται κατά την αφυδάτωση.
- *Σύστημα ελέγχου*
Η ηλεκτρονική διάταξη υπεύθυνη να διατηρούνται οι συνθήκες της διαδικασίας σταθερές. Είναι απαραίτητη δεδομένου πως η διαδικασία ξήρανσης μπορεί να διαρκέσει ακόμα και μέρες.

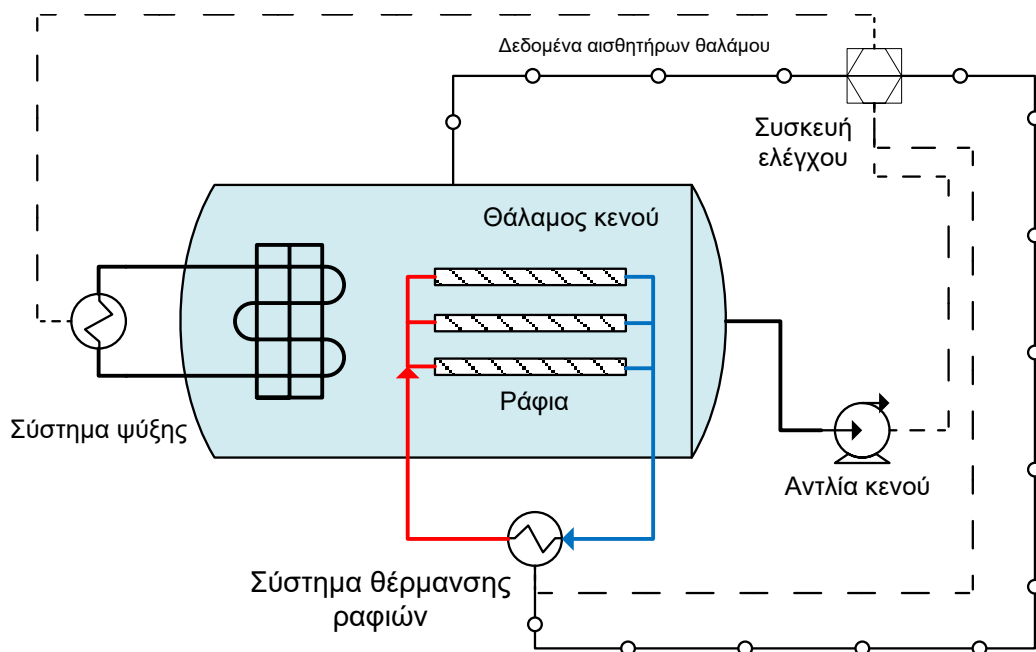
Ανάλογα πως λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης, οι συσκευές λυοφιλίωσης κατηγοριοποιούνται περαιτέρω ως εξής:

- *Επαφής*
Η θέρμανση του προϊόντος επιτυγχάνεται με την επαφή του με μια θερμότερη επιφάνεια. Αυτή είναι συνήθως η βάση στήριξης μέσα από την οποία διέρχεται υψηλότερης θερμοκρασίας υγρό.
- *Ακτινοβολίας*
Στην περίπτωση αυτή η μεταφορά θερμότητας γίνεται με ακτινοβολία του προϊόντος από μια πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας
- *Μικροκυμάτων*
Ανήκει επίσης στην κατηγορία ακτινοβολίας, με την διαφορά πως χρησιμοποιείται ακτινοβολία υψηλότερης συχνότητας.

1. ΣΥΣΚΕΥΗ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

1.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Στο Σχ.1.1 περιγράφεται συνοπτικά το σύνολο των συστημάτων που απαρτίζουν την συσκευή λυοφιλίωσης.

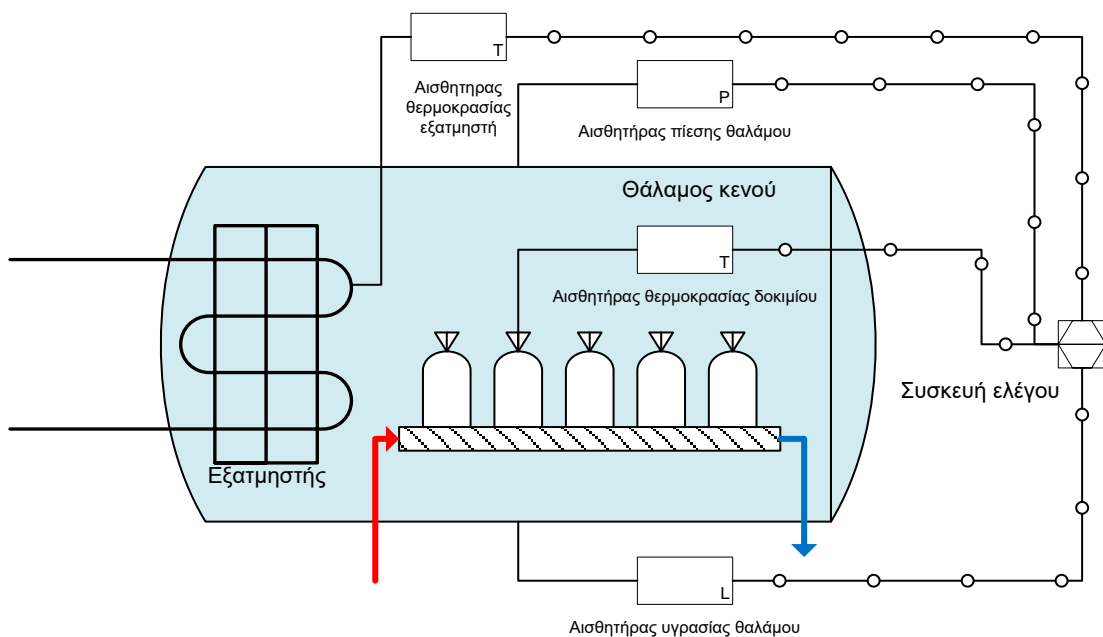


Σχήμα 1.1: Γενικό σχεδιάγραμμα της συσκευής λυοφιλίωσης

1.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

1.2.1. Θάλαμος κενού

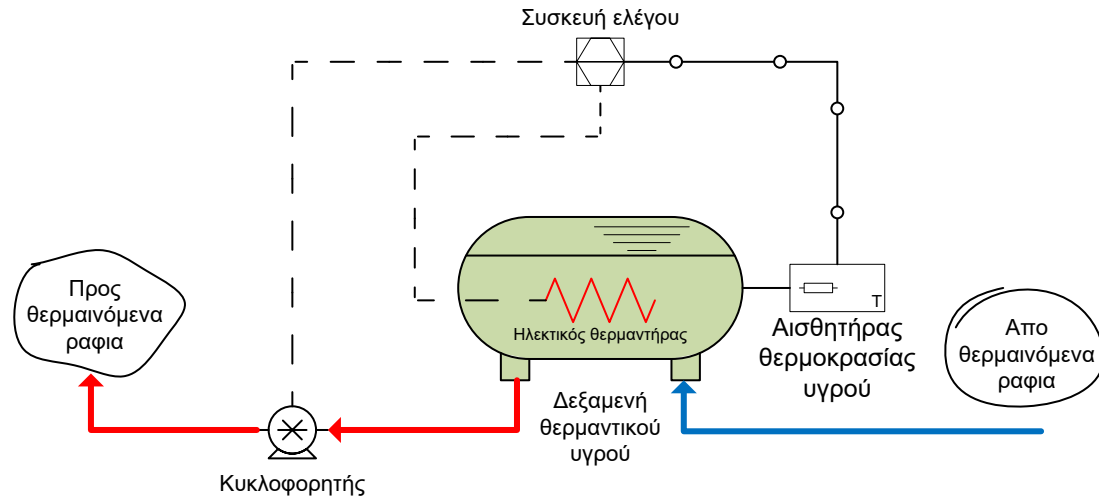
Ο θάλαμος κενού διαχωρίζει τον χώρο μέσα στον οποίο θα πραγματοποιηθεί η διαδικασία ξήρανσης από το περιβάλλον. Το μεγαλύτερο μέρος της διαδικασίας πραγματοποιείται σε συνθήκες σχεδόν μηδενικής πίεσης και θερμοκρασίας περίπου $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, επομένως πρέπει να είναι στεγανός και θερμομονωμένος. Επιπλέον, η κατασκευή του πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντέξει την σύνθλιψη που θα υποστεί από την ατμοσφαιρική πίεση, λόγω της υποπίεσης που επικρατεί στο εσωτερικό του.



Σχήμα 1.2: Σχεδιάγραμμα θαλάμου κενού

1.2.2. Σύστημα θέρμανσης

Ο σκοπός αυτού του συστήματος είναι να θερμάνει το προϊόν, ώστε το νερό που βρίσκεται στο εσωτερικό του να υποστεί εξάχνωση.



Σχήμα 1.3: Σχεδιάγραμμα συστήματος θέρμανσης

Η θέρμανση των προϊόντων γίνεται με αγωγή, αυξάνοντας την θερμοκρασία των ραφιών πάνω στα οποία είναι τοποθετημένα. Η θέρμανση των ραφιών πραγματοποιείται με χρήση ρευστού, το οποίο διέρχεται μέσα από αυτά. Στο ρευστό προσδίδεται θερμότητα από έναν ηλεκτρικό θερμαντήρα έως ότου έρθει σε θερμοκρασία υψηλότερη από τη επιθυμητή θερμοκρασία προϊόντος. Όταν αυτό επιτευχθεί, ενεργοποιείται η αντλία αναγκάζοντάς το να κινηθεί και να μεταφέρει θερμότητα στα ράφια. Η ηλεκτρική αντίσταση και ο κυκλοφορητής ενεργοποιούνται από την συσκευή ελέγχου.

1.2.2.1. Αισθητήρας θερμοκρασίας υγρού

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας υγρού ενημερώνει την συσκευή ελέγχου για την θερμοκρασία του υγρού.

Η θερμοκρασία του προϊόντος δεν αναμένεται να ξεπεράσει τους 50 °C, άρα οποιοσδήποτε αισθητήρας λειτουργεί εντός του εύρους 0 έως 70 °C είναι αποδεκτός. Επιπλέον, επειδή πρόκειται να βυθιστεί εντός της δεξαμενής του υγρού, βασική προϋπόθεση είναι να είναι αδιάβροχος. Στην εικόνα 1.1 φαίνεται ο αισθητήρας DS18B20 που πληρεί τα παραπάνω κριτήρια.



Εικόνα 1.1: Αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20 αδιαβροχοποιημένος

- Διασύνδεση:
- Πρωτόκολλο επικοινωνίας:
- A/D ανάλυση:
- Τυπική τάση εισόδου:
- Ρεύμα λειτουργίας:
- Εύρος μετρήσεων:
- Ακρίβεια μετρήσεων:
- Ψηφιακή
- Dallas 1-Wire
- 12 bit, 11 bit, 10 bit, 9 bit
- 3.0, 3.3 VDC, 5.0 VDC, 5.5 VDC
- 1.5 mA
- -55°C ... 125°C
- ±0.5°C ...
- ±0.0065°C
- Είναι αδιάβροχος

1.2.2.2. Ηλεκτρικός θερμαντήρας



Εικόνα 1.2: ηλεκτρικός θερμαντήρας

Ο ηλεκτρικός θερμαντήρας (εικ. 1.2) τροφοδοτείται με τάση δικτύου (230V) η οποία προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα και κατ' επέκταση θέρμανση της αντιστάσεως λόγω του φαινομένου Joule. Ο έλεγχος λειτουργίας του θερμαντήρα γίνεται είτε άμεσα από την συσκευή ελέγχου, είτε ελέγχοντας εξωτερικά ρελέ, διακόπτοντας το κύκλωμα τροφοδοσίας του.

1.2.2.3. Κυκλοφορητής



Ο κυκλοφορητής είναι η αντλία η οποία εξαναγκάζει το ρευστό να κινηθεί στις σωληνώσεις του συστήματος θέρμανσης, και να αποδώσει την θερμική ενέργεια που αποκόμισε από τον ηλεκτρικό θερμαντήρα. Και αυτή η συσκευή, ελέγχεται είτε άμεσα είτε έμμεσα από την συσκευή ελέγχου διακόπτοντας το κύκλωμα τροφοδοσίας είτε με τους ενσωματωμένους είτε με τους εξωτερικούς ηλεκτρονόμους.

Εικόνα 1.3: Αντλία κυκλοφορητή

1.2.2.4. Λειτουργία

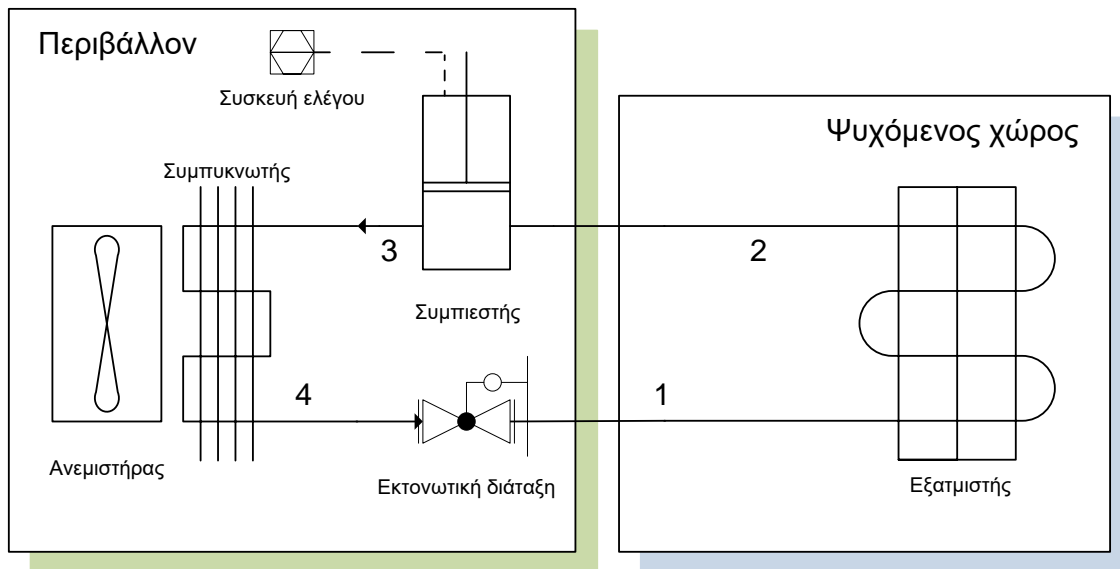
Αρχικά γίνεται προθέρμανση του υγρού. Επειδή κατά την κυκλοφορία τους στις σωληνώσεις θα υποστεί απώλειες θερμότητας και η θερμοκρασία του θα μειωθεί, πρέπει να θερμανθεί σε θερμοκρασία υψηλότερη της επιθυμητής των προϊόντων. Επίσης, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του, τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας προς αυτά. Επειδή δεν υπάρχει τρόπος να προσαρμόσουμε την ροή ενέργειας προς στο ρευστό (ο θερμαντήρας μπορεί να είναι είτε σε λειτουργία, είτε όχι), ο έλεγχος της θερμοκρασίας του διαλύματος θα γίνεται με επαναλαμβανόμενες διακοπές και επαναλειτουργίες της αντίστασης.

Όσο το υγρό βρίσκεται μέσα στα θερμοκρασιακά όρια, όποτε απαιτείται, η συσκευή ελέγχου, μπορεί ενεργοποιεί τον κυκλοφορητή και να θερμαίνει τα προϊόντα.

1.2.3. Σύστημα ψύξης

Η διάταξη αυτή αποτελείται από τον εξαμιστή, τον συμπυκνωτή, μια εκτονωτική διάταξη, τον συμπιεστή, και το ψυκτικό υγρό. Ο τρόπος με τον οποίο τα μέρη αυτά είναι συνδεδεμένα φαίνεται στο Σχ. 1.2. Τα βέλη του σχήματος καταδεικνύουν την φορά του ρευστού.

Επειδή η λειτουργία των συσκευών αυτών είναι ιδιαίτερα μακροσκελής και δεν έχει άμεση σχέση με την συσκευή ελέγχου, η περιγραφή έχει μεταφερθεί στο παράρτημα του βιβλίου.



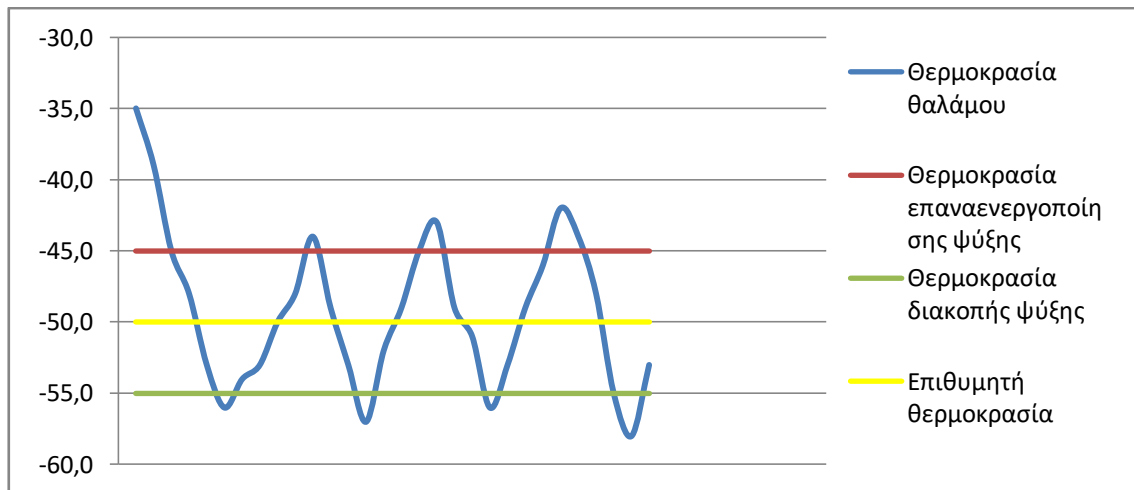
Σχήμα 1.4: Σχεδιάγραμμα συστήματος ψύξης

1.2.3.1. Λειτουργία

Η ενεργοποίηση της ψυκτικής διαδικασίας γίνεται αποκλειστικά και μόνο με την ενεργοποίηση του συμπιεστή. Ο συμπιεστής λειτουργεί με τάση δικτύου και η παροχή της ελέγχεται είτε απευθείας από την συσκευή ελέγχου είτε από εξωτερικούς ηλεκτρονόμους.

Όπως προκύπτει από την περιγραφή αυτού του συστήματος στο παράρτημα, δεν υπάρχει τρόπος να οριστεί η θερμοκρασία που θα επιβληθεί μέσα στον ψυχόμενο χώρο. Όσο λειτουργεί, το σύστημα ψύξης θα μειώνει την θερμοκρασία μέχρι το ελάχιστο επίπεδο που τα κατασκευαστικά του χαρακτηριστικά του επιτρέπουν. Επομένως, και σε αυτήν την περίπτωση η επίτευξη και η διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας θαλάμου, θα γίνεται με την επαναλαμβανόμενες εκκινήσεις και διακοπές του συμπιεστή.

Εξαιτίας αυτού του γεγονότος, και λόγω του ότι το σύστημα δεν θα προσαρμόζεται αμέσως αναμένουμε μια διακύμανση της θερμοκρασίας μέσα στον θάλαμο, σαν αυτήν που φαίνεται στο σχ. 1.4. Το λογισμικό της συσκευής ελέγχου δίνει στον χρήστη την δυνατότητα προσαρμογής του διαστήματος απενεργοποίησης και επανεργοποίησης της συσκευής γύρω από την επιθυμητή θερμοκρασία (tolerance). Όσο μικρότερο είναι, τόσο πιο «νευρική» αναμένεται να είναι η συμπεριφορά του συμπιεστή, κάτι που ίσως μειώσει των χρόνο ζωής του.



Σχήμα 1.5: Δείγμα διακύμανσης θερμοκρασίας θαλάμου

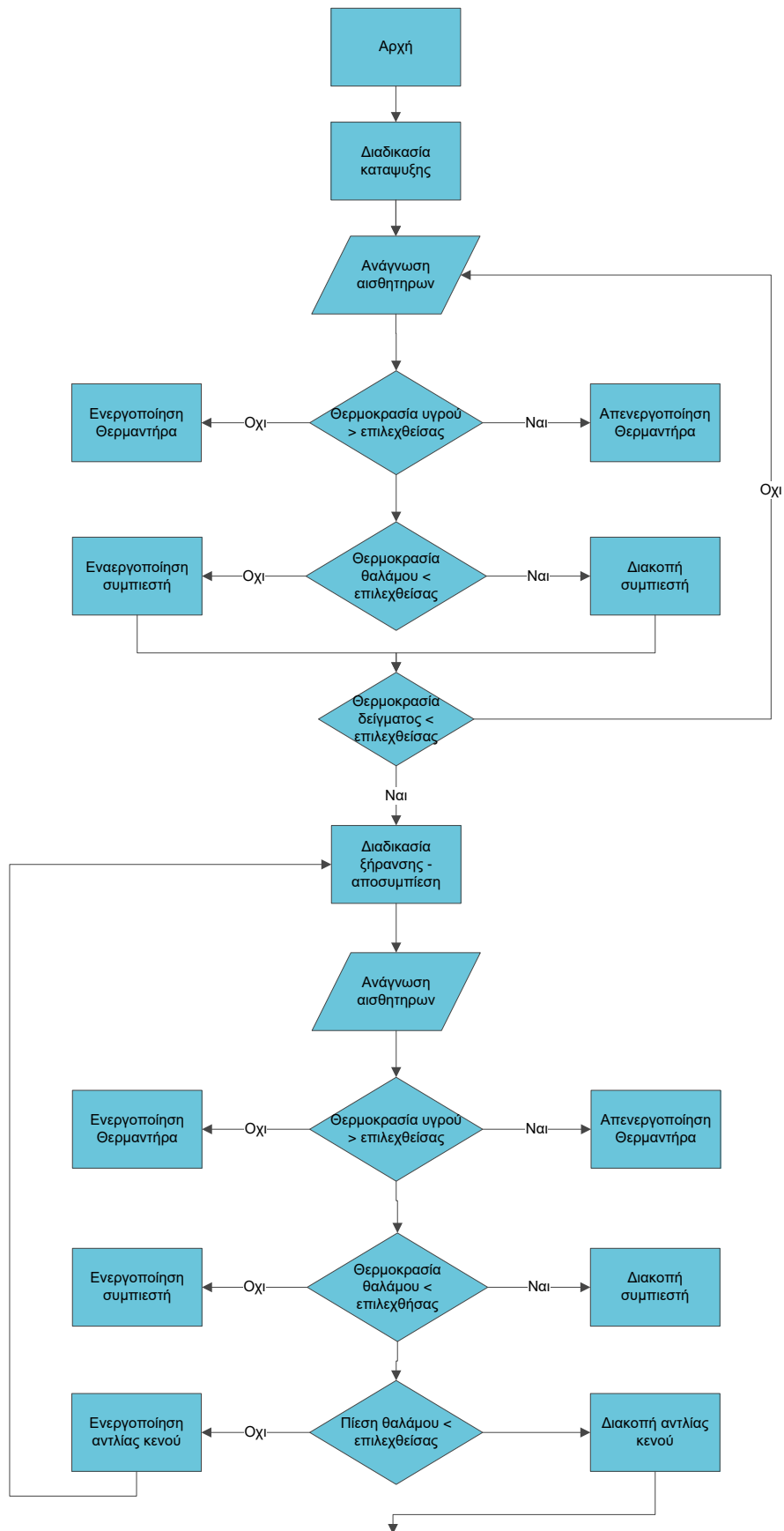
1.2.4. Συσσκευή ελέγχου

Ο ρόλος της συσκευής ελέγχου είναι να διατηρεί εντός του θαλάμου, τις συνθήκες που ορίζει ο χρήστης κατά τον προγραμματισμό της διαδικασίας ξήρανσης.

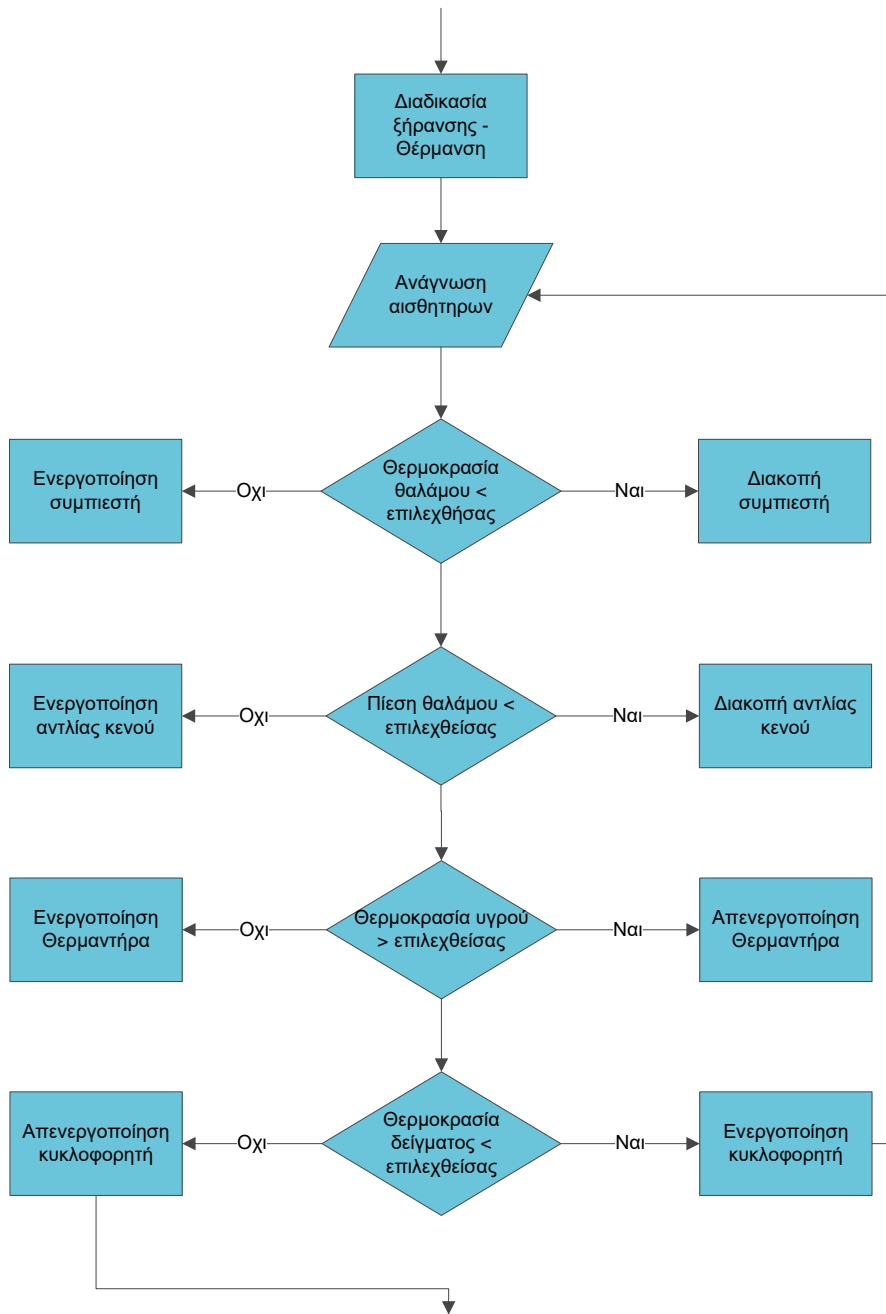
Αρχικά, η συσκευή ελέγχου πρέπει να προσφέρει στον χειριστή, ένα διαχειριστικό περιβάλλον, μέσα από το οποίο θα μπορέσει να ορίσει τις συνθήκες που θα επικρατήσουν ανά φάση της διαδικασίας λυοφιλίωσης.

Κατά την διάρκεια της ξήρανσης πρέπει ανά πάσα στιγμή να αναγνωρίζει τις συνθήκες που επικρατούν μέσα στον θάλαμο, και ελέγχοντας τις περιφερειακές συσκευές να τις διατηρεί τις ορισμένες τιμές. Συνοπτικά, ο αλγόριθμος της διαδικασίας που πρέπει να ακολουθήσει ο αυτοματισμός είναι αυτός που φαίνεται στα επόμενα τρία διαγράμματα. Στην πραγματικότητα πρόκειται για ένα διάγραμμα, που εκτείνεται στα σχ. 1.6, σχ 1.7 και σχ 1.8 λόγω της έκτασής του.

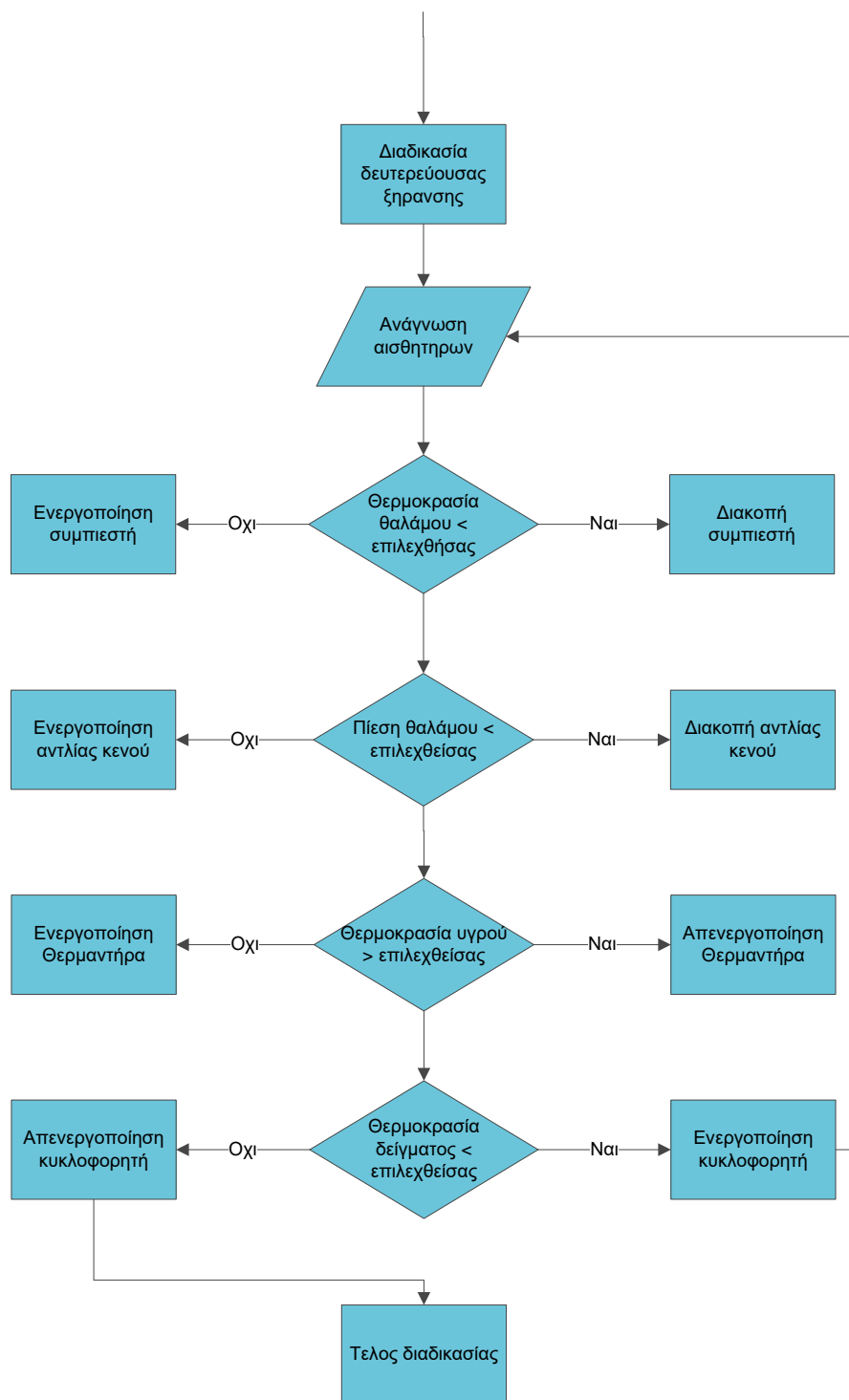
Η κατασκευή, ο προγραμματισμός και η χρήση της διάταξης αυτής, είναι το αντικείμενο της πτυχιακής, και θα αναλυθούν στο επόμενο τρία κεφάλαια.



Σχήμα 1.6: Αλγόριθμος διαδικασίας – στάδιο ψύξης & ξήρανσης



Σχήμα 1.7: Αλγόριθμος διαδικασίας – στάδιο ξήρανσης



Σχήμα 1.8: Αλγόριθμος διαδικασίας – στάδιο δευτερεύουσας ξήρανσης

2. ΣΥΣΚΕΥΗ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΥΛΙΚΟ

2.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η συσκευή ελέγχου αποτελείται στο εσωτερικό της από πέντε τμήματα, διασυνδεδεμένα μεταξύ τους που το καθένα επιτελεί έναν συγκεκριμένο σκοπό. Ο τρόπος αυτός ανάπτυξης της συσκευής, επιτρέπει την ευκολότερη και οικονομικότερη τροποποίηση ή επέκταση, αφού κάθε τμήμα μπορεί να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις του ευρύτερου συστήματος, χωρίς να χρειάζεται να τροποποιηθούν οι υπόλοιπες διατάξεις. Επιπλέον, σε περίπτωση λάθους ή ανεπανόρθωτης καταστροφής, αρκεί να αντικατασταθεί μόνο το τμήμα που υπέστη την ζημιά.

Τα τμήματα, λοιπόν της συσκευής, είναι τα εξής:

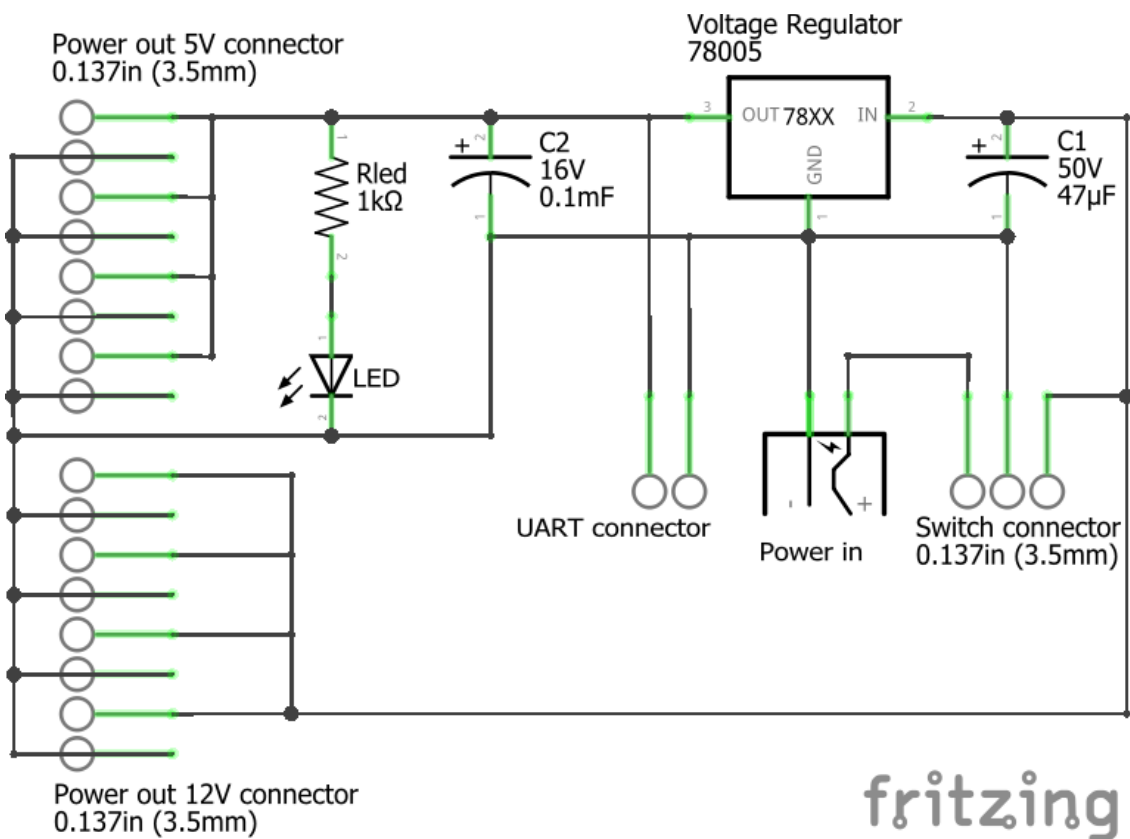
1. *Τμήμα τροφοδοσίας*
2. *Τμήμα μικροελεγκτή*
3. *Τμήμα UART – USB to Serial*
4. *Τμήμα ηλεκτρονόμων*
5. *Η οθόνη αφής*

2.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

2.2.1. Τμήμα τροφοδοσίας

2.2.1.1. Περιγραφή

Το τμήμα αυτό της συσκευής είναι υπεύθυνο να παράσχει ηλεκτρική ισχύ στα υπόλοιπα τμήματα της συσκευής (εκτός από το UART, που όπως θα δούμε τροφοδοτείται από την θύρα USB). Σε αυτή την μονάδα συνδέεται ο μετασχηματιστής που προσφέρει στην συσκευή ελγική τάση. Στην συνέχεια, η τάση αυτή υποβιβάζεται σε 5VDC και διανέμεται στα υπόλοιπα συστήματα.



Σχήμα 2.1: Σχεδιάγραμμα μονάδας τροφοδοσίας

2.2.1.2. Εξαρτήματα

L7805 5V, 1.5A

Πυκνωτής ηλεκτρολυτικός 0.33 μ F, 50 V (C1)

Πυκνωτής ηλεκτρολυτικός 100 μ F, 16 V (C2)

LED Diffused 5 mm (LED)

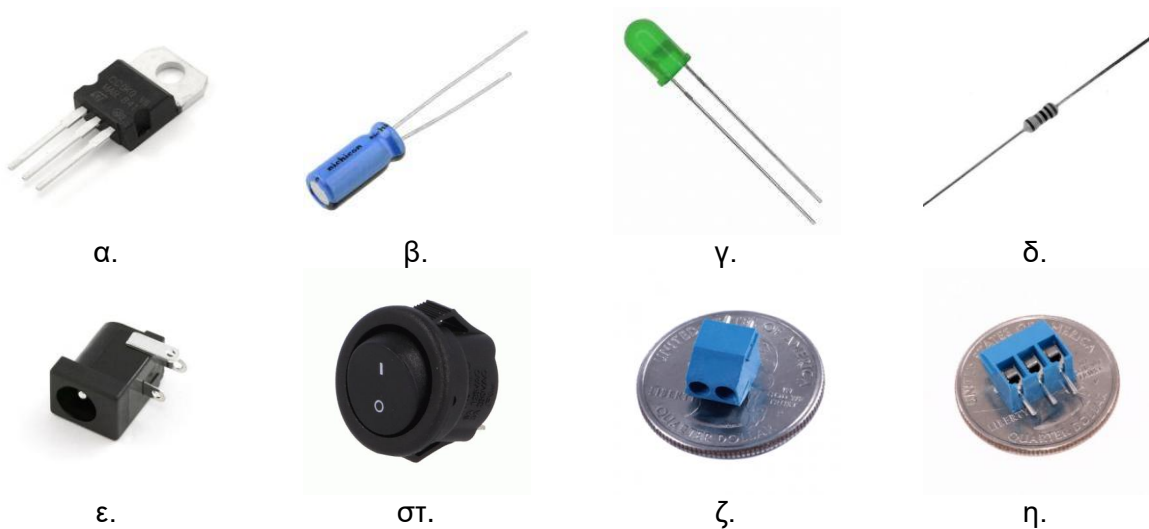
Αντίσταση $\frac{1}{4}$ W 5% 1500 Ω (Rled)

Dc Power Jack 5.5 x 2.1 mm (Power in)

Rocker Switch SPST 3A / 250VAC Round

3 x Screw Terminals 3.5mm Pitch, 2 Pin

5 x Screw Terminals 3.5mm Pitch, 3 Pin



Εικόνα 2.1: Φωτογραφίες εξαρτημάτων πλακέτας τροφοδοσίας

2.2.1.3. Λειτουργία

Το κύκλωμα συνδέεται στην εξωτερική τάση μέσω του ακροδέκτη **JP IN** (εικ. 2.1.ε). Ο JP IN, οδηγεί στον ακροδέκτη **JP1** (εικ.2.1.ζ) ο οποίος παρεμβάλλει στο κύκλωμα τον διακόπτη λειτουργίας της συσκευής **SW1** (εικ. 2.1.στ). Ο διακόπτης εμφανίζεται ως διαφορετικό κύκλωμα, διότι είναι τοποθετημένος στο περίβλημα της συσκευής, και συνδέεται στην πλακέτα μέσω καλωδίων.

Η τάση που παρέχει ο μετασχηματιστής είναι πιθανόν να παρουσιάζει ξαφνικές διακυμάνσεις. Αυτό θα εμποδίσει τον ρυθμιστή τάσης να δώσει με την σειρά του σταθερή τάση στην έξοδο του. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, τοποθετείται ο πυκνωτής εξομάλυνσης **C1** (εικ.2.1.β) που εξασφαλίζει σταθερή τάση στην είσοδο του ολοκληρωμένου.

Η τάση στην έξοδο του ρυθμιστή μπορεί να υποστεί βυθίσεις λόγω ενεργοποίησης φορτίων. Αυτό είναι ακόμα πιο πιθανόν, όταν μέσα στο κύκλωμα υπάρχουν στοιχεία τα οποία διαρρέονται από μεγάλο ρεύμα. Όπως θα δούμε

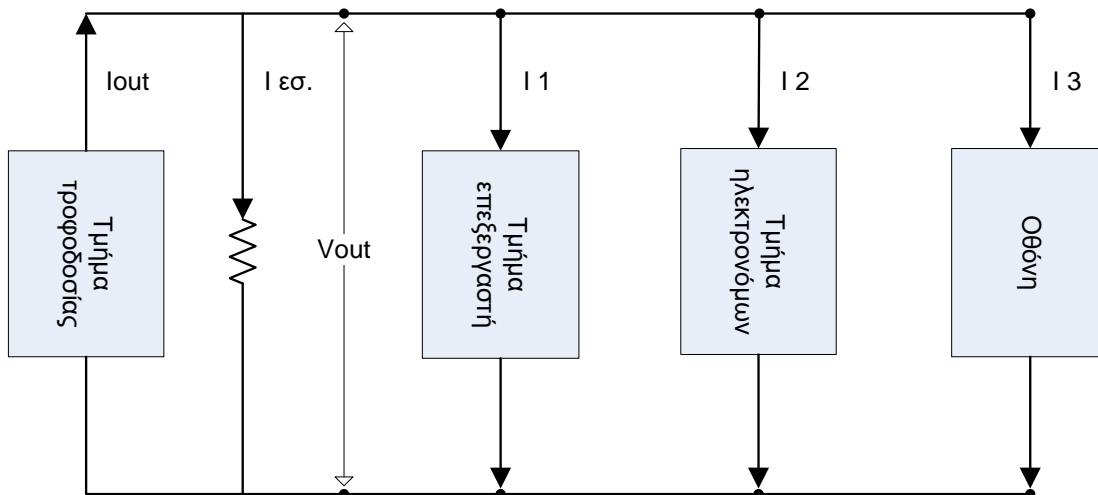
παρακάτω, η συσκευή ελέγχου περιλαμβάνει πέντε ηλεκτρονόμους. Στην περίπτωση που θα ενεργοποιηθούν συγχρόνως, είναι πιθανόν να προκαλέσουν τέτοια βύθιση τάσης, που πριν προλάβει να προσαρμοστεί ο ρυθμιστής και να επαναφέρει τα 5V στην έξοδό του, θα διακοπεί η λειτουργία του μικροελεγκτή, και θα επανεκκινήσει το σύστημα. Ο πυκνωτής **C2** θα μπορέσει να εξασφαλίσει σταθερή τάση, έως ότου ο ρυθμιστής ανακάμψει.

Ο ρυθμιστής τάσης **IC1** (εικ. 2.1.α) δέχεται τάση από 7εως 25 VDC μεταξύ των ακροδεκτών IN και GND και δίνει τάση 5V μεταξύ των OUT και GND. Το ολοκληρωμένο αυτό, είναι σε θέση να διατηρεί την τάση εξόδου σταθερή, ανεξαρτήτως του πόση είναι η κατανάλωση του υπόλοιπου κυκλώματος ή ποιά είναι η τάση εισόδου. Ο περιορισμός έγκειται μόνο στην ελάχιστη V_{in} η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη της V_{out} .

Παράλληλα της εξόδου του ρυθμιστή και της γείωσης, συνδέεται μια φωτοдиодος **LED1** (εικ. 2.1.γ) ως ενδεικτικό παρουσίας τάσης. Σε σειρά με την led τοποθετείται μια αντίσταση **R1** (εικ. 2.1.δ) ως περιοριστής ρεύματος.

2.2.1.4. Υπολογισμοί

Δεδομένου του ρόλου που έχει η συγκεκριμένη διάταξη μέσα στην συσκευή, αυτό που πρέπει αρχικά να υπολογιστεί, είναι πόση τάση πρέπει να παρέχει η μονάδα, και ποιά είναι η μέγιστη ένταση ρεύματος που θα μπορούσε να προσφέρει. Όπως θα δούμε και παρακάτω, όλα τα υπόλοιπα τμήματα λειτουργούν με τάση 5V. Άρα και η τάση εξόδου (V_{out}) της πλακέτας τροφοδοσίας πρέπει να είναι 5V. Το ρεύμα εξόδου (I_{out}) ισούται με το άθροισμα των ρευμάτων που διαρρέουν τα τμήματα της συσκευής (I_1, I_2, I_3) αλλά και τους καταναλωτές στην ίδια την πλακέτα τροφοδοσίας (led.). Ο υπολογισμός γίνεται με βάση τους κανόνες του Kirchhoff. (σχ. 2.2 & εξ. 2.1).



Σχήμα 2.2: Καταναλώσεις τμημάτων

$$I_{out} = I_{\varepsilon\sigma.} + I_1 + I_2 + I_3 \quad (2.1)$$

Το $I_{\varepsilon\sigma.}$ είναι στην το ρεύμα που διαρρέει το LED και την αντίσταση R1. Το ρεύμα αυτό, καθορίζεται από τις προδιαγραφές της φωτοδιόδου. Ανατρέχοντας στο φύλλο δεδομένων, εντοπίζουμε τις τιμές που μας ενδιαφέρουν:

Forward Voltage	V_f	3 V
Forward Current	I_f	20 mA

Η V_f είναι η ελάχιστη τάση που πρέπει να εφαρμόσουμε στα άκρα της διόδου, ώστε αυτή να επιτρέψει την ροή ρεύματος. Επίσης, κατά την διάρκεια που η διόδος άγει, η διαφορά δυναμικού στα άκρα της θα παραμένει ίση με την V_f ανεξαρτήτως της εφαρμοζόμενης τάσης. Το I_f είναι το ρεύμα που πρέπει να διαρρεύσει την διόδο, ώστε να εκπέμψει με την ονομαστική ένταση. Προκειμένου να μειώσουμε την φωτεινότητα στο 1/10 θα υπολογίσουμε ρεύμα $I_{\varepsilon\sigma.} = 0.1 \times I_f = 2\text{mA}$ (σχ. 2.4). Επειδή η διόδος και η αντίσταση είναι συνδεδεμένες σε σειρά το ρεύμα που θα διαρρέει την R1 διαρρέει και το LED1. Η R1 έχει εφαρμοσμένη στην άκρη της την $V_{out} - V_f$, άρα από τον νόμο του Ohm (σχ. 2.1) υπολογίζουμε ότι $R_1 = 1\text{ k}\Omega$.

$$R_1 = \frac{V_{out} - V_f}{I_{\varepsilon\sigma.}} \quad (2.2)$$

Ο αναλυτικός τρόπος υπολογισμού της κατανάλωσης των υπόλοιπων τμημάτων, θα εξηγηθεί στα αντίστοιχα κεφάλαια, έχουν όμως υπολογιστεί σε 70mA, 500mA και 500mA αντίστοιχα με την σειρά που εμφανίζονται στο σχ. 2.2. Χρησιμοποιώντας την εξ. 2.1 υπολογίζουμε πως $I_{out} = 1.072 \text{ A}$.

Γνωρίζοντας την τάση και το ρεύμα εξόδου, έχουμε τα στοιχεία που χρειαζόμαστε για να κάνουμε επιλογή ενός ρυθμιστή τάσης. Επιλέχτηκε ο L7805 του οποίου βασικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

Output voltage	V_o	5 VDC
Output current (max)	$I_{o(max)}$	1,5 A
Dropout voltage	V_d	2 VDC
Input voltage (max)	$V_{input(max)}$	25 VDC
Operating junction temperature		125°C

TO-220 Package

Η ελάχιστη τάση τροφοδοσίας, αν και μπορεί να δίνεται στο φύλλο προδιαγραφών, υπολογίζεται από την σχ. 2.3

$$V_{input(min)} = V_o + V_d \quad (2.3)$$

Έτσι, το εύρος της τάσης τροφοδοσίας ορίζεται σε 7VDC – 25VDC. Πρέπει να σημειωθεί, πως η διαφορά τάσης εισόδου και εξόδου αποδίδεται στο περιβάλλον με μορφή θερμικής ενέργειας. Η θερμική ισχύς (P) που θα παράγει το ολοκληρωμένο υπολογίζεται ως:

$$P = I_{out} \cdot (V_{in} - V_o) \quad (2.4)$$

Όπου: P η παραγόμενη θερμική ισχύς σε Watts.

Έστω ότι ο ρυθμιστής τάσης λειτουργεί με την ελάχιστη τάση τροφοδοσίας. Τότε, με βάση την εξ. 2.4, παράγεται κάτι περισσότερο από 2W θερμικής ισχύος. Η θερμοκρασία που πρόκειται να ανεβάσει υπολογίζεται από την σχ. 2.5.

$$T_j = T_a + R_{th(j \rightarrow a)} \cdot P \quad (2.5)$$

Όπου: T_j η θερμοκρασία του εξαρτήματος σε °C
 T_a η θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε °C

$R_{th(j \rightarrow a)}$ η θερμική αντίσταση από το εξάρτημα προς το περιβάλλον.

Η θερμική αντίσταση εξαρτάται από το είδος του περιβλήματος. Ενδεικτικές τιμές δίνονται στον πιν. 2.1.

Πίνακας 2.1: Θερμική αντίσταση εξαρτημάτων προς περιβάλλον ανά είδος περιβλήματος

Package	Junction to Case (°C / Watt)	Junction to Air
TO 3	5	60
TO-39	12	140
TO-220	3	62.5
TO-220FB	3	50
TO-223	30.6	53
T0-252	5	92
TO-263	23.5	50
D2PAK	4	35

Αν λοιπόν η συσκευή λειτουργεί σε συνθήκες 30°C, η θερμοκρασία ρυθμιστή τάσης θα φτάσει στους 155°C που υπερβαίνουν την μέγιστη επιτρεπόμενη. Επομένως, πρέπει να τοποθετηθεί ψήκτρα.

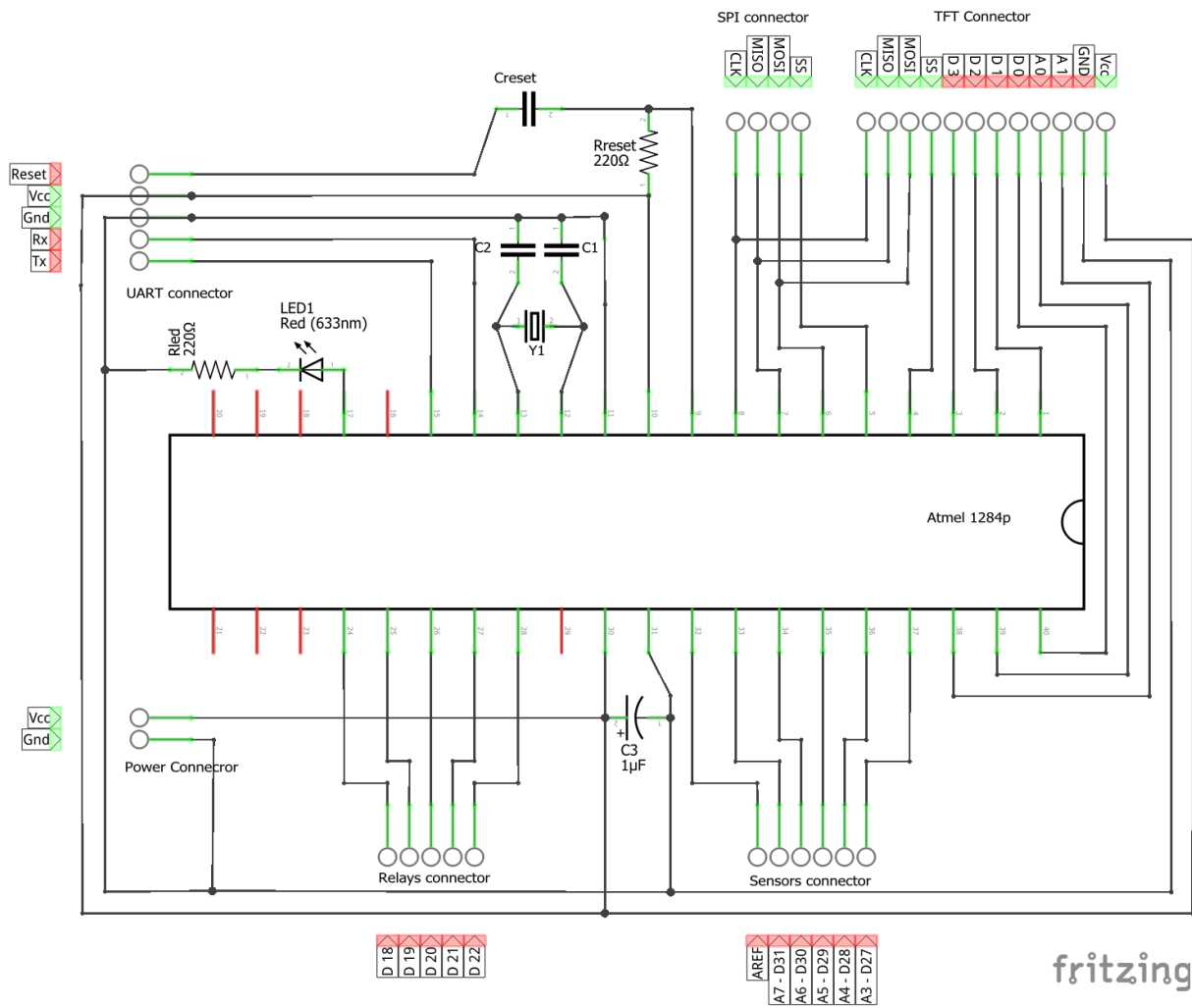
Η επιλογή του πυκνωτή C1 ορίζεται από τον κατασκευαστή του ρυθμιστή τάσης. Στο φύλλο προδιαγραφών προτείνεται πυκνωτής με χωρητικότητα 0.33 μF. Αφού η εξωτερική τάση μέχρι 25V δεν θα κατέστρεφε άμεσα το ολοκληρωμένο, ο πυκνωτής πρέπει να είναι ικανός να υποστεί την μέγιστη τάση. Έτσι, τοποθετήθηκε ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής των 50V.

2.2.2. Τμήμα μικροελεγκτή

2.2.2.1. Περιγραφή

Στο τμήμα αυτό περιλαμβάνεται το ολοκληρωμένο του μικροελεγκτή, οι βοηθητικές διατάξεις για την λειτουργία του και οι ακροδέκτες που θα συνδέσουν τον μC με τα υπόλοιπα τμήματα της συσκευής ελέγχου και τους αισθητήρες. Αν και το τμήμα αυτό μπορεί να θεωρηθεί η καρδιά της συσκευής ελέγχου, παραμένει σχετικά απλό στον σχεδιασμό του (σχ. 2.3). Η χρήση μικροελεγκτή αντί μικροεπεξεργαστή περιορίζει τον αριθμό των απαραίτητων βοηθητικών διατάξεων δι;οτι περιλαμβάνονται ήδη μέσα στο ολοκληρωμένο.

Στον MCU είναι φορτωμένο το λογισμικό της συσκευής. Μέσω αυτού ελέγχονται τα υπόλοιπα τμήματα της συσκευής, με εφαρμογή λογικής τάσης στους ακροδέκτες του μικροελεγκτή, με τους οποίους είναι συνδεδεμένα. Συγχρόνως, δημιουργείται η διεπαφή με τον χρήστη, μέσω της επικοινωνίας με την οθόνη αφής.



Σχήμα 2.3: Σχεδιάγραμμα πλακέτας μικροελεγκτή

2.2.2.2. Εξαρτήματα

Atmel Mega 1284P microprocessor

Crystal Resonator 16 MHz

Πυκνωτές:

Ηλεκτρολυτικός 10 μ F, 63 V

κεραμικός 4.7 nF

2 x κεραμικός 22 pF

Αντιστάσεις:

1/4W 5% 220 Ω

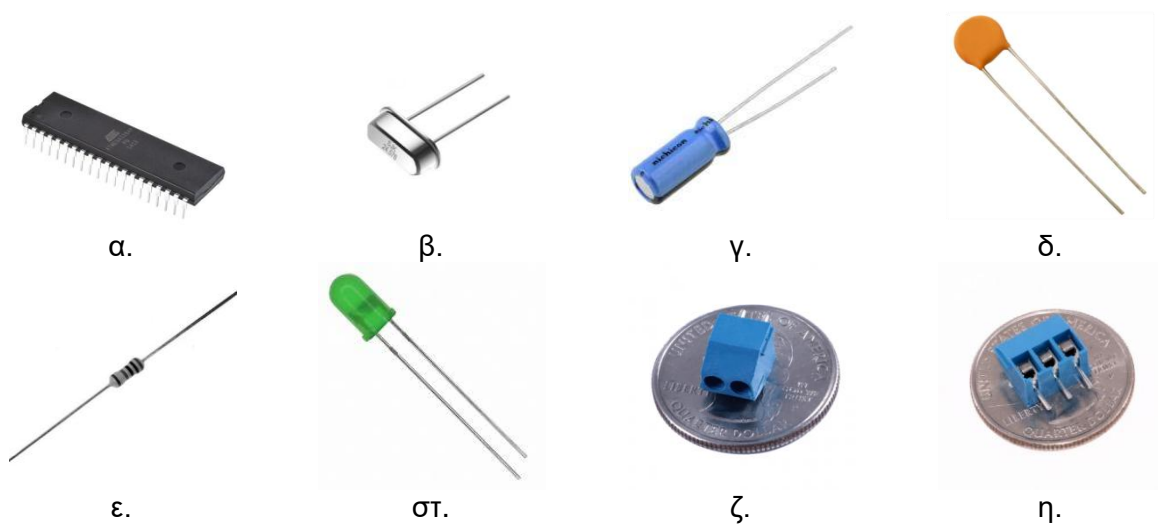
1/4W 5% 2200 Ω

LED Diffused 5 mm

Screw Terminals 3.5 mm Pitch

5 x 2 Pin

8 x 3 Pin

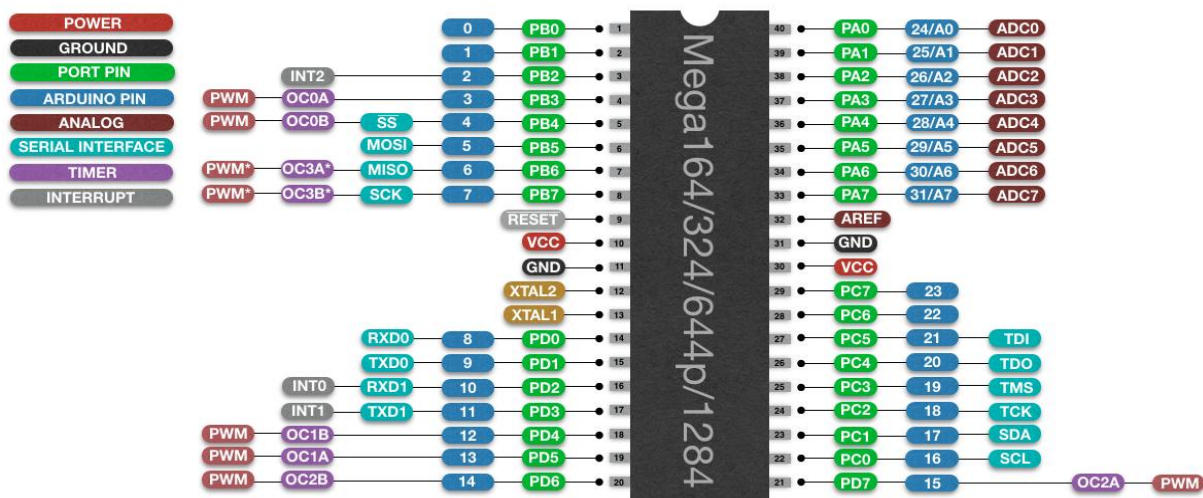


Εικόνα 2.2: Φωτογραφίες εξαρτημάτων πλακέτας μικροελεγκτή

2.2.2.3. Λειτουργία

Ο ρόλος αυτής της πλακέτας είναι κατά κύριο λόγο να συνδέσει τους ακροδέκτες του μικροελεγκτή με κατάλληλα τερματικά ώστε να γίνει ευκολότερη η διασύνδεση του με τις υπόλοιπες πλακέτες και συσκευές. Για τον λόγο αυτό, είναι πρακτικό να εξετάσουμε την λειτουργία του ίδιου του μικροελεγκτή, χρησιμοποιώντας για οδηγό το διάγραμμα των ακροδεκτών του (σχ. 2.4).

ATmega164/324/644p/1284 pinout



Note that ATmega644 (non picopower) doesn't have a second USART port

*OC3A and OC3B are only available on ATmega1284

github.com/MCUdude/MightyCore

Σχήμα 2.4: Διάγραμμα ακροδεκτών μικροελεγκτή AT mega1284P

Το τερματικό **Power connector** του σχήματος 2.3. συνδέεται με ένα από τα τερματικά **Power Out 5V** της πλακέτας τροφοδοσίας, και παρέχει την τάση των 5V που απαιτείται για να λειτουργήσει ο μικροελεγκτής. Οι ακροδέκτες του οδηγούν στους ακροδέκτες 10, 11 και 30, 31 του μC . Οι δυο πρώτοι παρέχουν τάση στα λογικά κυκλώματα, ενώ οι άλλοι δύο τροφοδοτούν τον ADC που είναι ενσωματωμένος στον μικροελεγκτή. Μεταξύ του Vcc και του GND υπάρχει πυκνωτής των 10 μF προκειμένου να αποφευχθούν διακυμάνσεις στην τάση που μπορεί να προκληθούν από την χρήση καλωδίου, το οποίο συνδέει την πλακέτα του επεξεργαστή με το τροφοδοτικό.

Το τερματικό **UART connector**, χρησιμοποιείται για συνδεθεί η πλακέτα UART με την πλακέτα του μικροελεγκτή. Το UART θα αναλυθεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Εδώ αρκεί να πούμε πως χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του μικροελεγκτή με τον υπολογιστή καθώς επίσης και για τον προγραμματισμό του, εάν χρησιμοποιηθεί bootloader κατά τον σχεδιασμό της συσκευής. Η επικοινωνία μεταξύ του UART και του μC είναι σειριακή. Ο ακροδέκτης **Tx** χρησιμοποιείται για την

αποστολή των bits και συνδέεται με τον ακροδέκτη Rx της πλακέτας UART, ενώ ο Rx για την λήψη και αντίστοιχα συνδέεται με τον Tx. Το λογικό “F” αναπαριστάται με τάση ίση με την GND ενώ το λογικό “T” με τάση άνω των 3.3 V. Ο ακροδέκτης **Reset**, επανεκκινεί το μικροελεγκτή και πρέπει να συνδεθεί με τον RTS που βρίσκεται επίσης στην πλακέτα UART. Λειτουργεί με μηδενική τάση, και για τον λόγο αυτό είναι συνδεδεμένος στο Vcc. Ο συνδυασμός αντίστασης και πυκνωτή δημιουργεί τον παλμό μηδενικής τάσης όταν ο ακροδέκτης γειωθεί. Ο λόγος που είναι συνδεδεμένο το reset στο UART είναι ότι απαιτείται επανεκκίνηση του μικροελεγκτή πριν τον προγραμματισμό του, προκειμένου να ξεκινήσει το bootloader που θα επιτρέπει την μεταφορά των εντολών προγράμματος, μέσω σειριακής διασύνδεσης.

Το επόμενο τερματικό είναι το **SPI connector**. Αυτό παρέχει συνδεσιμότητα με τους ακροδέκτες 8 έως 5, που χρησιμοποιούνται από το πρωτόκολλο SPI (Serial Peripheral Interface). Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του μικροελεγκτή με πολλαπλές συσκευές, (συμπεριλαμβανομένων και διαφόρων αισθητήρων) κάνοντας χρήση ενός μόνο διαύλου. Πληροφορίες για το SPI υπάρχουν στο παράρτημα.

Η πλακέτα της οθόνης, συνδέεται στο **TFT connector**. Οι αντιστοιχίες με τους ακροδέκτες του μικροελεγκτή φαίνονται στο σχεδιάγραμμα. Η οθόνη χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο SPI, γι αυτό και οι πρώτες τέσσερις υποδοχές είναι αντίστοιχες του SPI connector. Επίσης, οι δυο τελευταίοι υποδοχείς παρέχουν τάση, και τοποθετήθηκαν, απλά για να εξυπηρετηθούν όλες οι συνδέσεις από μια ενιαία καλωδιωτική. Όλοι οι ακροδέκτες συνδέονται με τους αντίστοιχους ακροδέκτες της πλακέτας της οθόνης.

Όσον αφορά τα δυο άλλα τερματικά (**Sensors connector** και **Relays connector**), χρησιμοποιούνται για να συνδεθούν τα αντίστοιχα μέρη. Οι υποδοχές των αισθητήρων αντιστοιχούν σε εισόδους του μικροελεγκτή οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν και ως αναλογικές και ως ψηφιακές, προκειμένου να υπάρχει συμβατότητα με οποιονδήποτε αισθητήρα.

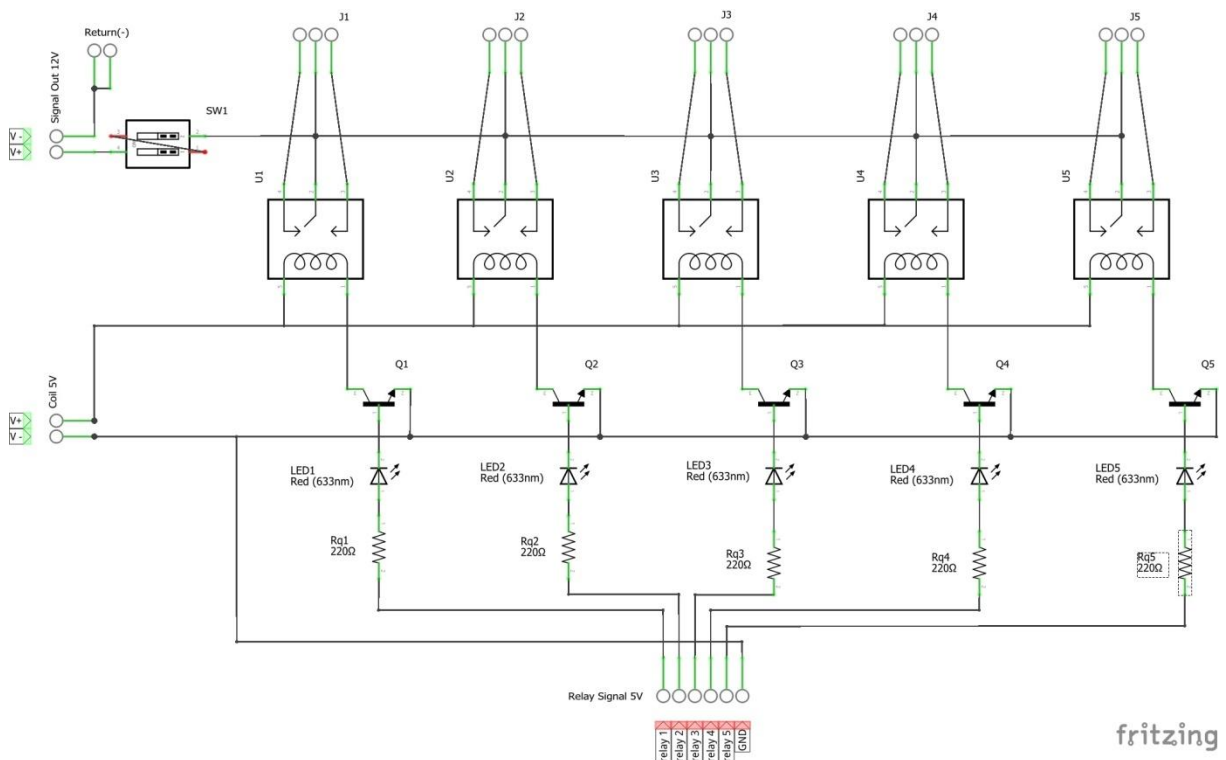
Τέλος, στους ακροδέκτες 12 και 13 συνδέεται η διάταξη εξωτερικού χρονισμού, που αποτελείται από τον κρυσταλλικό ταλαντωτή 16 MHz και τους δυο πυκνωτές, όπως παρουσιάζεται στο σχεδιάγραμμα. Το σύστημα αυτό χρησιμεύει για να συγχρονίσει το ρολόι του μικροελεγκτή, δηλαδή τον ρυθμό με τον οποίο εκτελούνται οι οδηγίες. Αν και δεν είναι απαραίτητο, διότι υπάρχει εσωτερικός χρονιστής 8 Mhz μέσα στον 1284P, προστέθηκε προκειμένου να υπάρξει συμβατότητα με άλλες διατάξεις που συνήθως συγχρονίζουν στα 16 MHz.

2.2.3. Τμήμα ηλεκτρονόμενων

2.2.3.1. Περιγραφή

Η διάταξη που φιλοξενεί η πλακέτα αυτή, είναι υπεύθυνη για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των επιμέρους συσκευών της συσκευής λυοφιλίωσης. Ο έλεγχος των συσκευών γίνεται είτε απευθείας με κλείσιμο ή άνοιγμα του κυκλώματος που παρέχει ηλεκτρική ισχύ σε αυτές, είτε έμμεσα, με έλεγχο ηλεκτρικών διακοπών που παρεμβάλλονται στο κύκλωμα τροφοδοσίας των συσκευών, κάνοντας με χρήση ενός σήματος χαμηλής τάσης 12V που παράγεται από την ίδια την συσκευή ελέγχου.

Σε κάθε περίπτωση, ο έλεγχος της τάσης γίνεται με την χρήση των ηλεκτρονόμενων. Οι ηλεκτρονόμοι είναι επί της ουσίας διακόπτες, οι οποίοι ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται με εφαρμογή ρεύματος χαμηλής τάσης. Η σημασία τους είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι μπορούν να διαχωρίσουν δυο κυκλώματα: Το ελεγχόμενο, το οποίο μπορεί και να διαρρέεται από ρεύμα μεγάλης εντάσεως και υψηλής τάσης, και το κύκλωμα ελέγχου, το οποίο είναι μια ψηφιακή διάταξη, που χρησιμοποιεί λογική τάση και πολύ μικρό ρεύμα, συχνά της τάξης των λίγων mA.



Σχήμα 2.5: Σχεδιάγραμμα πλακέτας ηλεκτρονόμενων

2.2.3.2. Εξαρτήματα

5 x Relay 5V SPDT SRD - 10A/24VDC

5 x Transistor NPN 0.8A - BC337

5 x LED Diffused 3mm

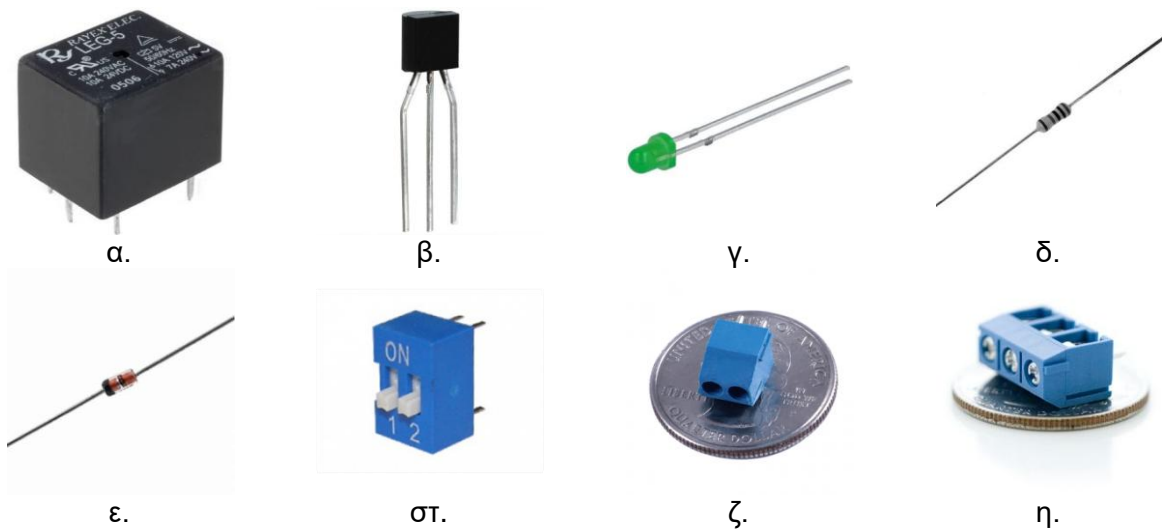
5 x 1/4W 5% 220 Ω

5 x Diode 1N4148

DIP Switch - 2 Positions

6 x Screw Terminals 3.5 mm Pitch, 2 Pins

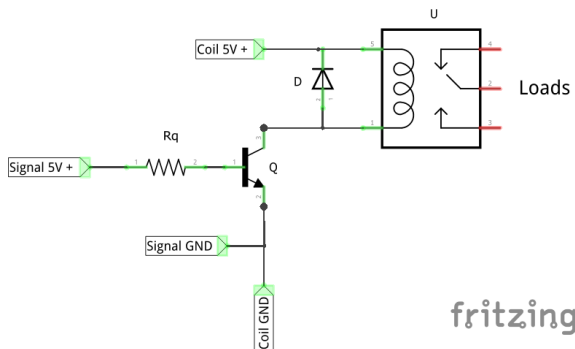
5 x Screw Terminals 5 mm, 3 Pins



Εικόνα 2.3: Φωτογραφίες εξαρτημάτων πλακέτας ηλεκτρονίων

2.2.3.3. Λειτουργία

Κεντρικό εξάρτημα στην πλακέτα αυτή, είναι οι ηλεκτρονόμοι **U1-5** (εικ.2.3.α). Για να εξετάσουμε τον τρόπο λειτουργίας του κυκλώματος, ας απλοποιήσουμε το σχ. 2.5 και να κατασκευάσουμε το διάγραμμα του σχ. 2.6, που αποτυπώνει τον τρόπο λειτουργίας ενός ηλεκτρονόμου, με τα απαραίτητα μόνο βοηθητικά.

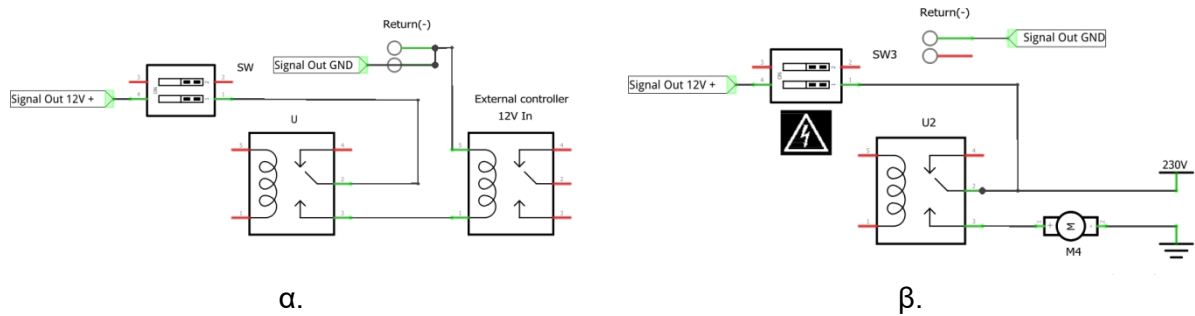


Σχήμα 2.6: Συνδεσμολογία ενός ηλεκτρονόμου

ηλεκτρονόμων απαιτεί κατανάλωση 280 mA που ξεπερνάει ακόμα και το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να παράσχει το ολοκληρωμένο συνολικά. Ήδη λοιπόν βγαίνει εκτός ορίων, ενώ οι απαιτήσεις του συστήματος περιλαμβάνουν και έναν ακόμα εφεδρικό ηλεκτρονόμο.

Για να λυθεί το πρόβλημα, παρεμβάλλονται τα transistors **Q1-5** (εικ. 2.3.β). Όπως φαίνεται από το σχεδιάγραμμα, η τροφοδοσία του πηνίου γίνεται εκτός του MCU, μέσω του ακροδέκτη **Coil 5V**, ο οποίος είναι συνδεδεμένος απευθείας στην έξοδο της πλακέτας τροφοδοσίας. Οι ακροδέκτες collector(C) και Emitter(E) διακόπτουν το κύκλωμα. Έτσι, το transistor λειτουργεί σαν διακόπτης. Προκειμένου το transistor να γίνει αγωγίμο και να ενεργοποιηθεί ο ηλεκτρονόμος, πρέπει να εφαρμοστεί τάση 5V στον ακροδέκτη της βάσης (B) από τον μικροελεγκτή. Με την χρήση της R_q , περιορίζουμε το ρεύμα που διατρέχει περίπου στα 2 mA. Με τον τρόπο αυτό μπορεί ο μικροελεγκτής πολύ εύκολα να διαχειριστεί πολλούς ηλεκτρονόμους, μεταθέτοντας την ανάγκη τροφοδοσίας τους στην πλακέτα τροφοδοσίας.

Ο διακόπτης **SW1** και ο ακροδέκτης **Return(-)**, χρησιμοποιούνται εάν η συσκευή ελέγχει έμμεσα τις διατάξεις του μηχανήματος λυοφιλίωσης. Εάν βρίσκεται στην θέση ON, παρέχεται τάση 12V μεταξύ των επαφών NO ή NC και της Return(-), για την ενεργοποίηση εξωτερικών relays (σχ.2.7.α). Η τάση αυτή παρέχεται στην από τον ακροδέκτη **Signal In**. Αντιθέτως, στην θέση OFF, Ο διακόπτης θα απομονώσει την πλακέτα τροφοδοσίας από την εξωτερική τάση εάν η συσκευή ελέγχει άμεσα τα ηλεκτρικά φορτία (σχ.2.7.β).



Σχήμα 2.7: Έμμεσος και άμεσος τρόπος ελέγχου περιφερειακών συσκευών

Οι αντιστάσεις **Rq** και τα **LEDs** χρησιμοποιούνται συγχρόνως ως περιοριστές ρεύματος από τον μικροελεγκτή προς την βάση των transistors, και ενδεικτικά λειτουργίας.

Οι δίοδοι **D1-5** προστατεύουν τα transistors από εξάρσεις τάσης που μπορεί να προκληθούν από την κατάρρευση του μαγνητικού πεδίου εξαιτίας την διακοπή ρεύματος στα άκρα του πηνίου. Εάν αναπτυχθεί ανάστροφη τάση, δημιουργούν κύκλωμα μηδενικής αντίστασης μεταξύ του πηνίου, βραχυκυκλώνοντας το ρεύμα.

Τέλος, τα συνδετικά **J1-5**, δημιουργούν ακροδέκτες για τις επαφές NO, C, και NC των ηλεκτρονόμων.

2.2.3.4. Υπολογισμοί

Βασικός άξονας των υπολογισμών είναι η επιλογή των ηλεκτρονόμων, και ιδίως του ρεύματος που μπορούν να διαχειριστούν. Ο controller καλείται να ελέγχει τις συσκευές λυοφιλίωσης χωρίς όμως να θέτει περιορισμούς στην επιλογή αυτών. Αναμενόμενο και συγχρόνως η δυσμενέστερη περίπτωση είναι οι συσκευές να λειτουργούν με τάση δικτύου. Ο συμπιεστής και η αντλία κενού ίσως είναι η πλέον ενεργοβόρες, και να απαιτούν ισχύ έως και 2kW. (ένας συμπιεστής οικιακού ψυγείου παράγει 745 W ισχύος. Με απόδοση 60% θα απαιτούσε 1.25 kW ηλεκτρικής ισχύος).

Οι απαιτήσεις λοιπόν είναι οι εξής:

Μέγιστη τάση: > 230 VAC
Μέγιστο ρεύμα: > 8 A

Με βάση τα παραπάνω καταλήγουμε στο **Relay 5V SPDT SRD - 10A/24VDC** της **REYEX ELEC**. Στην εικ. 2.4 βρίσκεται το αντίστοιχο απόκομμα από το φύλλο προδιαγραφών. Αν και οι μέγιστες τιμές για επαγωγικά φορτία (όπως αυτό του συμπιεστή της αντλίας κενού) είναι πολύ οριακές, συνολικά το εξάρτημα αυτό έχει καλό V.F.M. οπότε είναι αποδεκτό.

CONTACT RATING			
UL	Resistive (Cos. = 1)	AC 240V / DC 24V	10A
	Inductive (Cos. = 0.4)	AC 240V	5A
TUV	Resistive (Cos. = 1)	AC 120V	10A
		AC 240V / DC 24V	7A
	Inductive (Cos. = 0.4)	AC 240V	3A

Εικόνα 2.4: Απόκομμα από φύλλο προδιαγραφών ηλεκτρονόμου

Αφού με βάση τα χαρακτηριστικά του επαφεία, τα οποία είναι μη διαπραγματεύσιμα, εγκρίνεται ο παραπάνω ηλεκτρονόμος πρέπει να εξεταστούν και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά.

Αυτό που πλέον μας ενδιαφέρει είναι η τάση πηνίου να είναι εντός των τιμών, που χρησιμοποιούν τα υπόλοιπα εξαρτήματα της συσκευής ελέγχου. Δηλαδή:

Προτιμητέα τάση πηνίου: $< / = 5 \text{ VDC}$

Ελάχιστη τάση πηνίου: $< / = 12 \text{ VDC}$

Ανατρέχοντας ξανά στις προδιαγραφές, βρίσκουμε τα επόμενα στοιχεία:

- *Contacts configuration: SPDT*
- *Mounting: PCB*
- *Coil resistance: 70Ω*
- *Operate time: 8ms*
- *Release time: 8ms*
- *Coil power consumption: 360mW*
- *Operating temperature: -25...60°C*
- *Contact resistance: 100mΩ •*
- *Rated coil voltage: 5V DC*
- *Maximum Pick Up Voltage: 3.5 VDC*
- *Coil current: 72mA*

Εδώ θα σταθούμε στις τρεις τελευταίες τιμές. Το συγκεκριμένο relay λειτουργεί με 5V τάση στο πηνίο, ή ακόμα και με 3.5V χωρίς όμως εγγύηση. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να ενεργοποιηθεί απευθείας από τον μικροελεγκτή. Πρέπει όμως να επιβεβαιωθεί ότι ο MCU μπορεί να παράσχει 72 mA ρεύματος που απαιτεί το πηνίο.. Η πληροφορία αυτή βρίσκεται στο datasheet του atmega1284. Στο κεφάλαιο 26. Electrical Characteristics, βρίσκεται το πινακάκι της εικ. 2.5.

Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on any Pin except $\overline{\text{RESET}}$ with respect to Ground	-0.5V to $V_{CC}+0.5V$
Voltage on $\overline{\text{RESET}}$ with respect to Ground.....	-0.5V to +13.0V
Maximum Operating Voltage	6.0V
DC Current per I/O Pin	40.0 mA
DC Current V_{CC} and GND Pins	200.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Εικόνα 2.5: Απόκομμα από φύλλο προδιαγραφών του μικροελεγκτή

Ο MCU μπορεί να παράσχει έως 40mA ρεύμα ανά έξοδο, ενώ το συνολικό ρεύμα των εξόδων του δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 200mA. Προφανώς λοιπόν θα πρέπει να σχεδιαστεί και ένα σύστημα ελέγχου των ηλεκτρονόμενων.

Η διάταξη αυτή θα περιλαμβάνει ένα transistor το οποίο θα παίζει τον ρόλο του διακόπτη ως προς το ρεύμα που θα κινείται προς τον ηλεκτρονόμο. Τα χαρακτηριστικά που απαιτούνται είναι τα παρακάτω:

Maximum V_{CE} :	5 V
Maximum I_C :	72 mA
Maximum V_{EB} :	5 V
Type:	NPN

Οι τιμές προκύπτουν από τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρονόμου και του μικροελεγκτή. Ειδικά ο τύπος του transistor από τον τρόπο λειτουργίας του MCU. Τα transistor PNP γίνονται αγωγή μεταξύ των ακροδεκτών Collector και Emitter γειώνοντας τον Base, σε αντίθεση με τα NPN που χρειάζονται άγουν κατά την εφαρμογή τάσης στην βάση. Επειδή κατά την εκκίνηση του μικροελεγκτή όλοι οι ακροδέκτες του είναι γειωμένοι, επιλέγοντας transistor τύπου NPN, αποφεύγονται μη επιθυμητές εκκινήσεις των συσκευών.

Στην εικ. 2.6 παρουσιάζεται ένα απόκομμα από το φύλλο προδιαγραφών του **transistor BC337** που επιλέχθηκε για την συγκεκριμένη εφαρμογή:

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CES}	Collector-Emitter Voltage		
	: BC337	50	V
	: BC338	30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage		
	: BC337	45	V
	: BC338	25	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	800	mA
P_C	Collector Power Dissipation	625	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

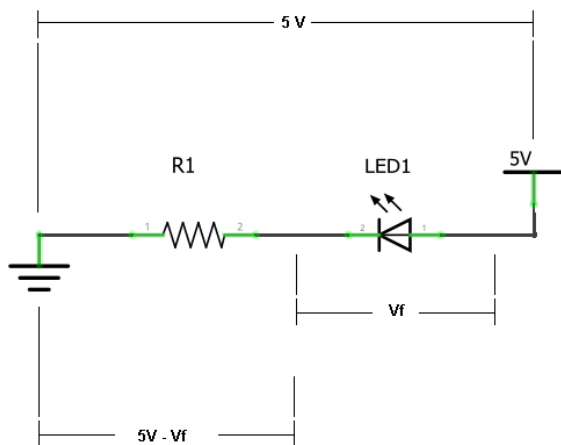
Εικόνα 2.6: Απόκομμα από φύλλο προδιαγραφών BC337

Μεταξύ του μικροελεγκτή και της βάσης του transistor, πρέπει να τοποθετηθεί περιοριστής ρεύματος, προκειμένου να μην ξεπεράσει τα 40 mA. Αυτός θα αποτελείται από ένα ενδεικτικό LED 3mm για την παρουσία σήματος, και μια αντίσταση. Μετά από μέτρηση βρέθηκε πως η $V_{forward}$ ισούται με 2.1 V. Ας θεωρήσουμε ότι τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά περιγράφονται από το φύλλο προδιαγραφών των φωτοδιόδων της multicom, και τα χαρακτηριστικά της είναι αυτά που διακρίνονται στην εικ. 2.6.

Electrical/Optical Characteristics at $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Test
Luminous Intensity	IV	3.8/3.6	8.2/8	12/11	mcd	IF = 20mA
Viewing Angle	2θ 1/2	-	76	-	degrees	
Peak Emission Wavelength	λ_P	-	635/568	-	nm	-
Dominant Wavelength	λ_D	-	625/570	-		-
Spectral Line Half-Width	$\Delta\lambda$	-	45/30	-		-
Forward Voltage	VF	1.6/1.7	2/2.1	2.6/2.6	V	IF = 20mA
Power Dissipation	Pd	-	-	85	-	-
Peak Forward Current (Duty 1/10 at 1KHz)	IF (Peak)	-	-	100	-	-
Recommended Operating Current	IF (Rec)	-	20	-	mA	-

Εικόνα 2.6: Απόκομμα από φύλλο προδιαγραφών φωτοδιόδου 3mm της Multicom



Στο διπλανό διάγραμμα έχει σχεδιαστεί ο περιοριστής ρεύματος, αποτελούμενος από το LED και μια ζητούμενη αντίσταση. Η φωτοδίοδος στα άκρα της δημιουργεί και διατηρεί ανεξαρτήτως της εφαρμοζόμενης τάσης, διαφορά δυναμικού ίση με την V_f . Κατ' επέκταση η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα της R_1 υπολογίζεται από τον νόμο του Ohm:

Σχήμα 2.3: Σχεδιάγραμμα περιοριστή ρεύματος

$$V_{R1} = 5^V - V_f - V_{GND} \approx 3^V \quad (2.4)$$

Το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα εξαρτάται από την επιλογή της αντίστασης και υπολογίζεται επίσης από τον νόμο του Ohm. Επιλέγουμε ρεύμα έντασης 10 mA η οποία προτείνεται από τον κατασκευαστή του LED και συγχρόνως είναι αρκετά χαμηλή ώστε να παραχθεί από τον μικροελεγκτή. Άρα η τιμή της R_1 δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R_1 = \frac{V_{R1}}{I} = \frac{3^V}{0.01^{mA}} = 300^{\Omega} \rightarrow 220^{\Omega} \quad (2.5)$$

2.2.4. Τμήμα USB to Serial

2.2.4.1. Περιγραφή



Εικόνα 2.7: Πλακέτα USB to UART εγκατεστημένη στην συσκευή ελέγχου

Το τμήμα αυτό αναλαμβάνει να δημιουργήσει την διεπαφή του υπολογιστή με τον μικροελεγκτή. Η επικοινωνία είναι απαραίτητη κατά την κατασκευή της μονάδας για το προγραμματισμό του MCU αλλά και κατά την χρήση της συσκευής για την μεταφορά δεδομένων από και προς τον υπολογιστή.

Η πλακέτα βασίζεται στο ολοκληρωμένο FT232RL της εταιρίας FTDI. Ο σκοπός του είναι να μετατρέπει τα δεδομένα που στέλνονται από και προς την συσκευή USB σε μορφή αναγνωρίσιμη από τον εκάστοτε παραλήπτη. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη διότι μεταξύ της επικοινωνίας του υπολογιστή

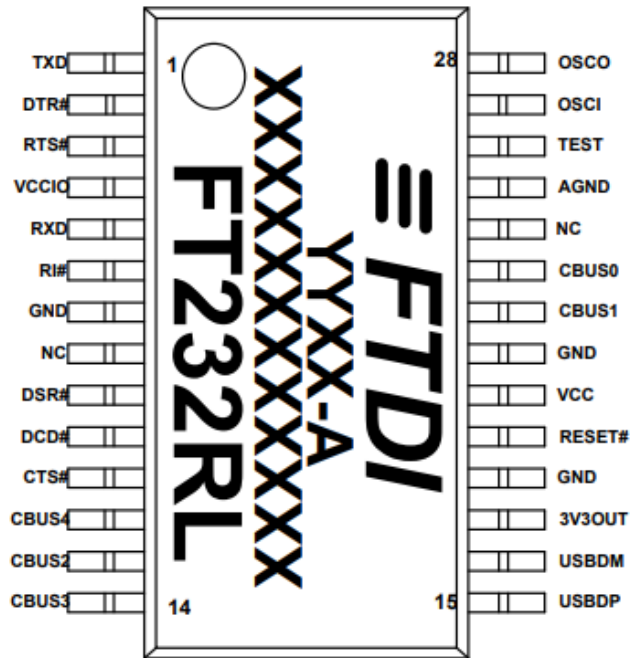
και του μικροεπεξεργαστή παρεμβάλλονται διαφορετικά πρωτόκολλα τόσο σε φυσικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο εφαρμογής.

Στο παράρτημα περιλαμβάνεται μια συνοπτική εισαγωγή στα πρωτόκολλα επικοινωνίας usb και serial ώστε να γίνει κατανοητή αυτή η ασυμβατότητα.

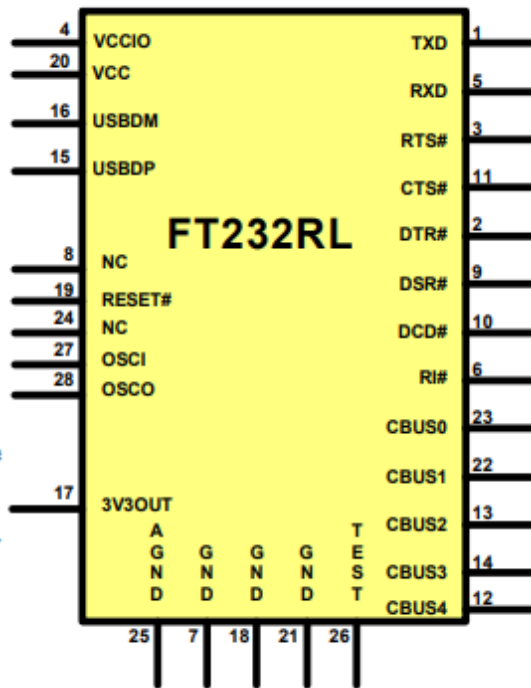
2.2.4.2. Λειτουργία

Η πλακέτα δεν κατασκευάστηκε στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας αλλά αγοράστηκε έτοιμη. Παρ' όλα αυτά, γνωρίζοντας ποιο είναι το ολοκληρωμένο που χρησιμοποιεί, και βρίσκοντας τις αντίστοιχες πληροφορίες στο φύλο προδιαγραφών του, μπορούμε να είμαστε σίγουροι για τον τρόπο συνδεσμολογίας των ουσιαστικότερων τμημάτων.

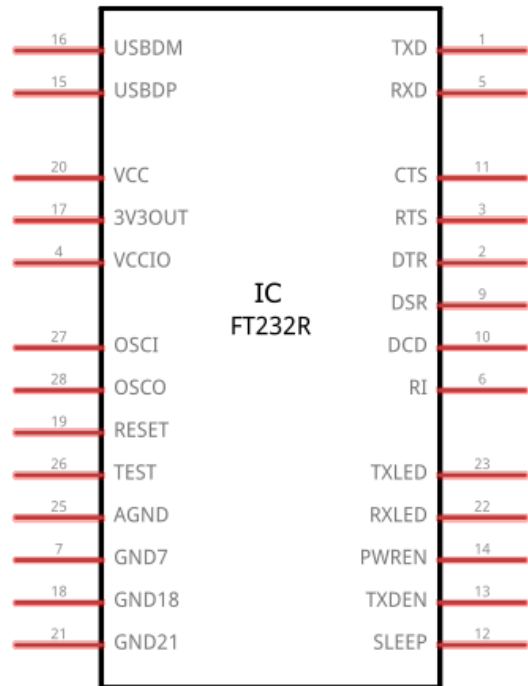
Η ετικέτα πάνω στο IC αναφέρει πως πρόκειται για το **FT232RL**. Πρόκειται για ένα SMT ολοκληρωμένο, 28 ακροδεκτών. Στην σχ. 2.8. φαίνεται η φυσική του μορφή, ενώ στο σχ. 2.9.α. το σχηματικό του σύμβολο όπως δίνονται από τον κατασκευαστή. Στην σχ. 2.9.β. παρουσιάζεται το σχηματικό σύμβολο, όπως υπάρχει στην βιβλιοθήκη του σχεδιαστικού προγράμματος. Διακρίνεται μια μικρή διαφορά η οποία δεν είναι ουσιώδης, και θα εξηγηθεί παρακάτω.



Σχήμα 2.8: Φυσική αποτύπωση του ολοκληρωμένου FT232RL



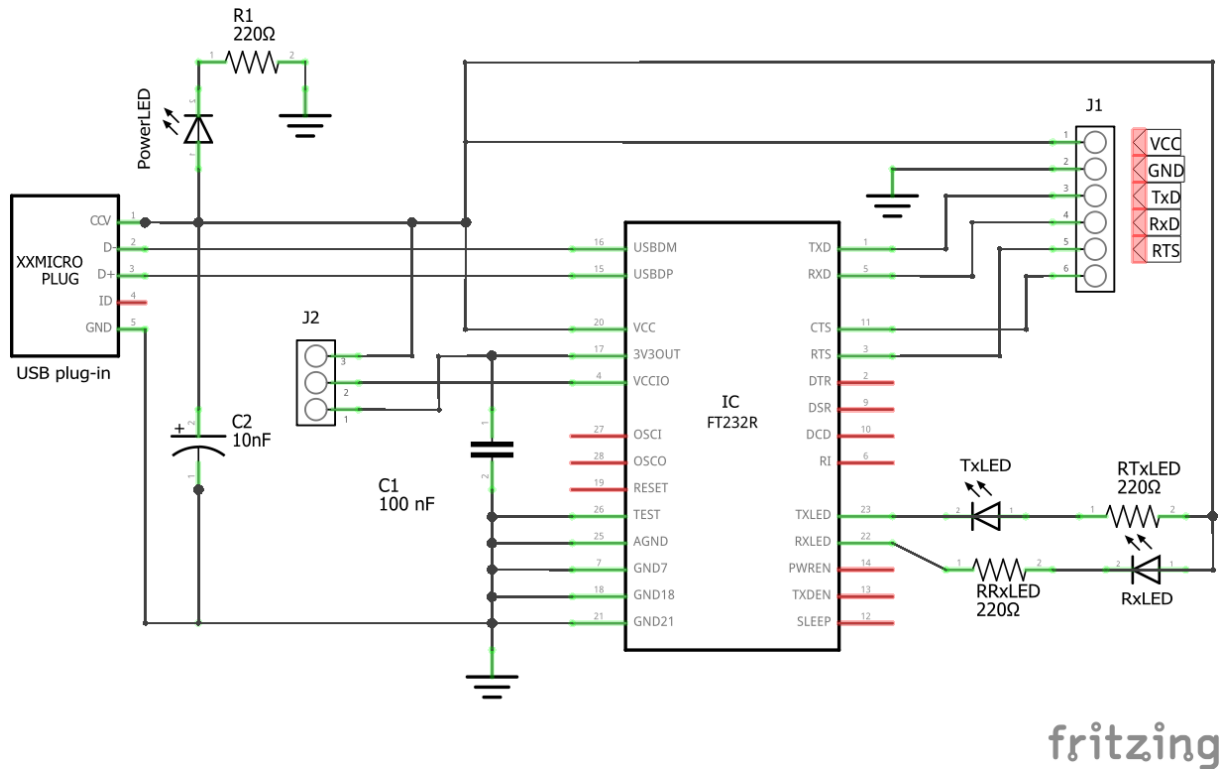
α.



β.

Σχήμα 2.9: Σχηματική αποτύπωση του FT232FL

Η λειτουργία των ακροδεκτών CBUS0...4 που φαίνονται στο σχ. 2.9.α δεν είναι σταθερή, αλλά μπορεί να διαφοροποιηθεί, καταχωρώντας κατάλληλες τιμές, σε συγκεκριμένες θέσεις της μνήμης EEPROM του ολοκληρωμένου, με την βοήθεια λογισμικού που δίνεται από τον κατασκευαστή. Στο σχεδιάγραμμα 2.9.β τα ονόματα των αντίστοιχων ακροδεκτών έχουν αντικατασταθεί με την λειτουργία που έχουν κατά προεπιλογή. Για παράδειγμα, ο CBUS0 και CBUS1 κατά προεπιλογή αναπτύσσουν τάση όταν δεδομένα αποστέλλονται και εισέρχονται αντιστοίχως, ώστε να ενεργοποιείται ένα LED που είναι συνδεδεμένο σε αυτούς.



Σχήμα 2.2.40: Σχεδιάγραμμα πλακέτας USB to Serial

Στο σχ. 2.10 περιγράφεται ένας τρόπος σύνδεσης του IC FT232RL ώστε να επικοινωνεί με τον μικροεπεξεργαστή της συσκευής. Πιθανότατα, με τον ίδιο τρόπο έχει κατασκευαστεί η πλακέτα εμπορίου που έχει συνδεθεί για τον σκοπό αυτό με τον MCU. Προφανώς όλη η λειτουργία περιστρέφεται γύρω από τις συνδέσεις του ολοκληρωμένου, και σε αυτές θα εστιάσει η περιγραφή της συνδεσμολογίας.

Οι δύο πρώτοι ακροδέκτες αποτελούν το ένα άκρο επικοινωνίας. Ο **14. USBDM** και **15. USPDP** δέχονται και αποστέλλουν τα σήματα μεταβαλλόμενης τάσης στα αντίστοιχα κανάλια του καλωδίου USB.

Οι τρεις επόμενοι, διαχειρίζονται την παροχή τάσης του ολοκληρωμένου. Ο **20. VCC** τροφοδοτείται με 5V που είναι η τάση λειτουργίας. Ο **17. 3V3OUT** είναι ενωμένος με τον εσωτερικό ρυθμιστή τάσης, και δίνει έξοδο 3V. Ο ακροδέκτης **4. VCCIO** δέχεται τάση την οποία την διανέμει στους ακροδέκτες που επικοινωνούν με την σειριακή συσκευή και στις άλλες εξόδους του IC. Με τον τρόπο αυτό, το FT232R είναι συμβατό με ψηφιακά που χρησιμοποιούν λογική τάση είτε 3.3V είτε 5V, όπως στην τρέχουσα περίπτωση. Το **J2** χρησιμοποιείται για να συνδέσει τον VCCIO είτε με την τάση των 5V είτε με την τάση που δίνει ο 3V3OUT. Αντιστοίχως, οι ακροδέκτες **25. AGND**, **7. GND7**, **18. GND18** και **21. GND21**, είναι οι γειώσεις.

Ο **26. TEST** πρέπει, σύμφωνα με τον κατασκευαστή να γειωθεί ώστε ο FT232R να λειτουργεί με τον αναμενόμενο τρόπο.

Οι ακροδέκτες 1, 5 είναι το σειριακό άκρο επικοινωνίας. Ο **1. TxD** παράγει τα σήματα υψηλής (=VCCIO) και χαμηλής τάσης (=GND) που αντιστοιχούν στα αποσπελλόμενα bits, ενώ ο **5. RxD** δέχεται τα αντίστοιχα εισερχόμενα. Οι **11. CTS** και

3. RTS φέρουν τα σήματα Clear To Sent και Request To Sent του πρωτοκόλλου Handshaking. Το σήμα Clear To Sent δεν θα χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση επικοινωνίας με τον μικροελεγκτή, ενώ Request To Sent θα χρησιμοποιηθεί μεν, αλλά θα αξιοποιηθεί για την επανεκκίνηση του MCU.

Οι ακροδέκτες **23. TxLED** και **22. RxLED** γειώνονται κατά την αποστολή και λήψη των bits ώστε να ενεργοποιούνται οι αντίστοιχες φωτοдиодοι **TxLED** και **RxLED** που υποδεικνύουν εξέλιξη σειριακής επικοινωνίας.

Οι θέσεις 1 και 2 του τερματικού **J1** παρέχουν τάση 5V που παρέχεται από την θύρα USB, και εκεί συνδέεται η είσοδος UART IN του τμήματος προδοσίας, οι ακροδέκτες 3 και 4 συνδέονται ανεστραμμένοι στο τερματικό UART connector του μικροελεγκτή.

Τέλος, οι πυκνωτές **C1** και **C2** επιλέγονται και συνδέονται κατ' υπόδειξη του κατασκευαστή.

2.2.5. Τμήμα οθόνης

Το τμήμα αυτό αποτελείται από 3 επιμέρους τμήματα: Τον ελεγκτή οθόνης, την οθόνη και το ανιχνευτή αφής. Ο ελεγκτής οθόνης λαμβάνει τις εντολές από τον MCU και παράγει τις αντίστοιχες εξόδους ώστε να σχεδιαστούν τα γραφικά στην οθόνη.

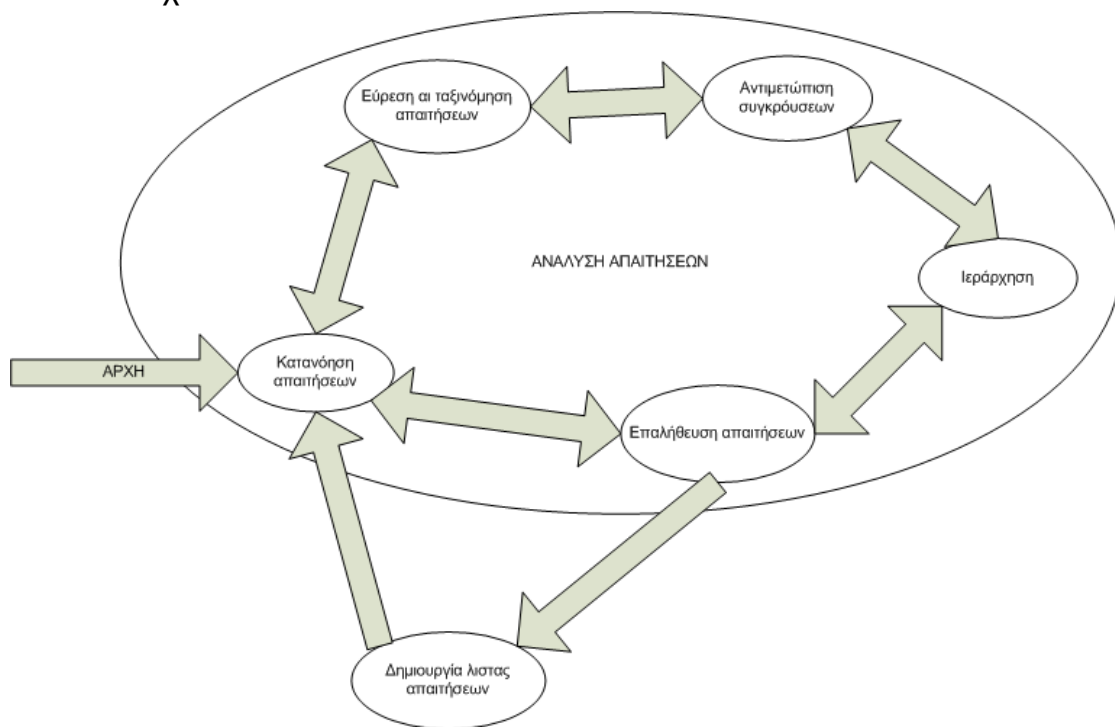
Ο ανιχνευτής αφής, παράγει δυο τιμές αναλογικών τάσεων που αντιστοιχούν στις συντεταγμένες μήκους και πλάτους, όπου σημειώθηκε η πίεση.

Το τμήμα αυτό τοποθετήθηκε προσυναρμολογημένο.

3. ΣΥΣΚΕΥΗ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

3.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η διαδικασία της ανάλυσης προβλήματος γίνεται προκειμένου να εντοπιστούν και να καταγραφούν οι απαιτήσεις, οι προδιαγραφές, και οι περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπό όψιν κατά την διάρκεια σχεδίασής του λογισμικού. Αν και η διαδικασία αυτή προηγείται της υλοποίησης του κώδικα, συχνά, κατά την διάρκεια σχεδιασμού, προκύπτουν ζητήματα τα οποία αναπροσαρμόζουν και συμπληρώνουν τις λίστες. Μια συνηθισμένη διαδικασία ανάλυσης των απαιτήσεων λογισμικού φαίνεται στο σχ. 3.1.



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα ανάλυσης απαιτήσεων λογισμικού

3.1.1. Απαιτήσεις λογισμικού

Ο επόμενος πίνακας δημιουργήθηκε κατά την ανάλυση του θέματος ανάθεσης πτυχιακής εργασίας. Παρόλα αυτά, απαιτήσεις όπως η 3, 6, 9 προέκυψαν κατά την πορεία της εργασίας, στο στάδιο δοκιμών.

Πίνακας 3.1: Καταγραφή απαιτήσεων λογισμικού

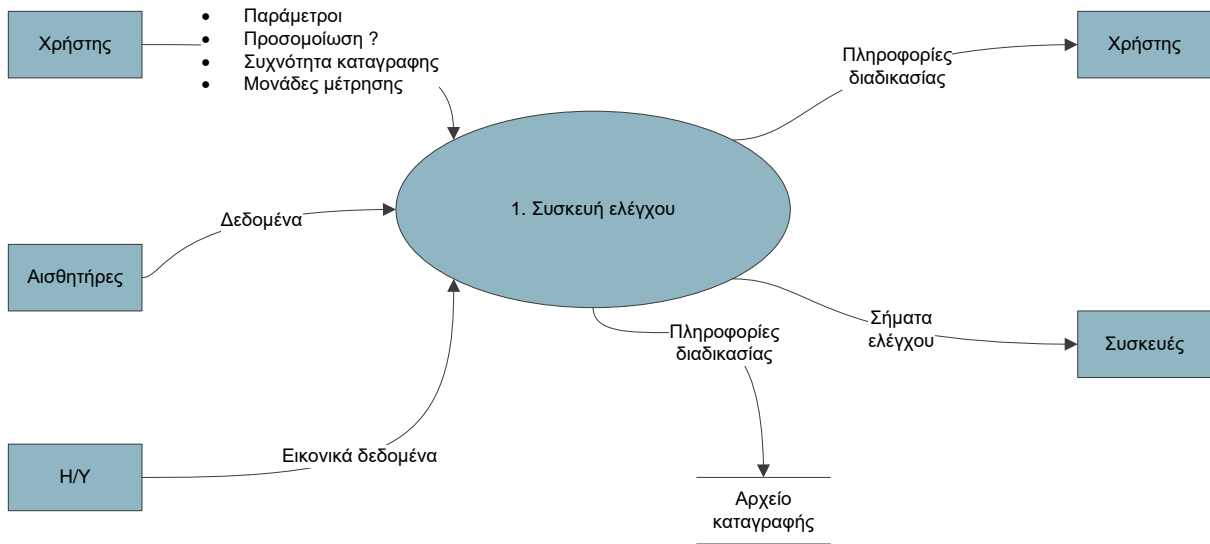
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΙΗΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ		
α/α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΧΟΛΙΑ
1	Οι συνθήκες διεργασίας πρέπει να είναι παραμετροποιήσιμες από τον χρήστη, μέσω ενός εύχρηστου περιβάλλοντος διεπαφής.	Χρήση της οθόνης TFT + touch panel
2	Οι παραμετροποίηση πρέπει να γίνεται ανά φάση διαδικασίας.	

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ		
α/α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΧΟΛΙΑ
3	Το λογισμικό πρέπει να επιτηρεί την διαδικασία της λυοφιλίωσης ανά τακτά χρονικά διαστήματα, και να διασφαλίζει την ύπαρξη των κατάλληλων συνθηκών στο χώρο της διεργασίας, με έλεγχο των συσκευών.	
4	Στον χρήστη πρέπει να παρέχεται η δυνατότητα άμεσης επέμβασης στην διαδικασία της ξήρανσης, παρακάμπτοντας τον αυτόματο έλεγχο, και ελέγχοντας απευθείας την λειτουργία της κάθε συσκευής. Επίσης, πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα επιστροφής στην αυτόματη λειτουργία.	
5	Το λογισμικό πρέπει να διασφαλίζει ότι οι συσκευές θα ελέγχονται με τρόπο δεν θα προκαλέσει βλάβη ή θα περιορίσει τον χρόνο ζωής τους.	Εφαρμογή εύρους τιμών μεταξύ ενεργοποίησης / απενεργοποίησης συσκευών
6	Πέραν της κανονικής λειτουργίας, το λογισμικό θα προσφέρει την δυνατότητα εικονικής λειτουργίας, κατά την οποία τα δεδομένα των αισθητήρων θα εισάγονται μέσω υπολογιστή, ώστε ο χρήστης να μπορεί να επιθεωρήσει τον προγραμματισμένη διαδικασία.	Χρήση θύρας USB και σειριακού τερματικού

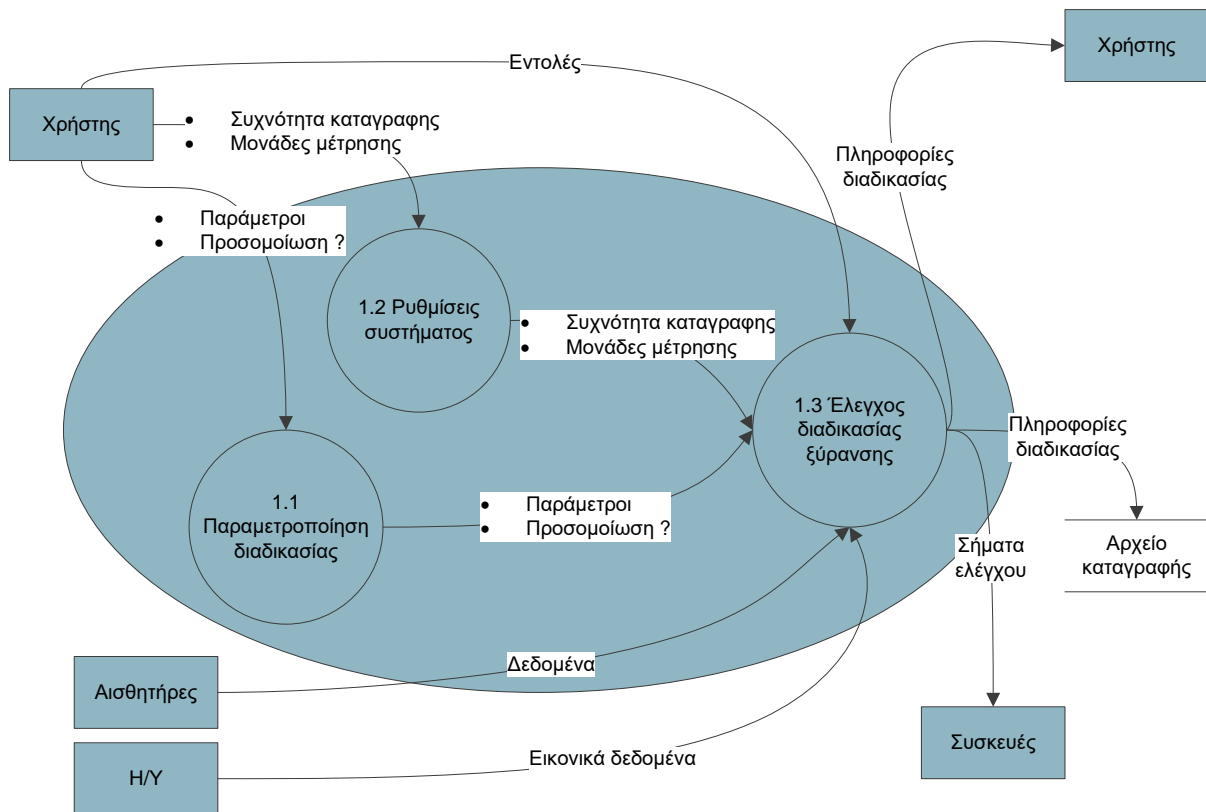
ΔΙΕΠΑΦΗ ΜΕ ΧΡΗΣΤΗ		
α/α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΧΟΛΙΑ
7	Ο χρήστης πρέπει να έχει διαρκή ενημέρωση όσον αφορά την τρέχουσα φάση, τις επικρατούσες συνθήκες, τις ορισμένες παραμέτρους, τον τρόπο λειτουργίας και το ιστορικό της τρέχουσας διαδικασίας.	
8	Η συσκευή θα κρατάει αρχείο για κάθε διαδικασία με τις παραπάνω πληροφορίες.	Δημιουργία αρχείου σε κάρτα SD.
9	Ο χρήστης θα έχει επαρκή ενημέρωση για κινδύνους που εγκυμονούν κατά την χρήση της συσκευής.	Μήνυμα πριν από κάθε πιθανή ενεργοποίηση μηχανικών συσκευών.

3.1.2. Διαγράμματα ροής δεδομένων

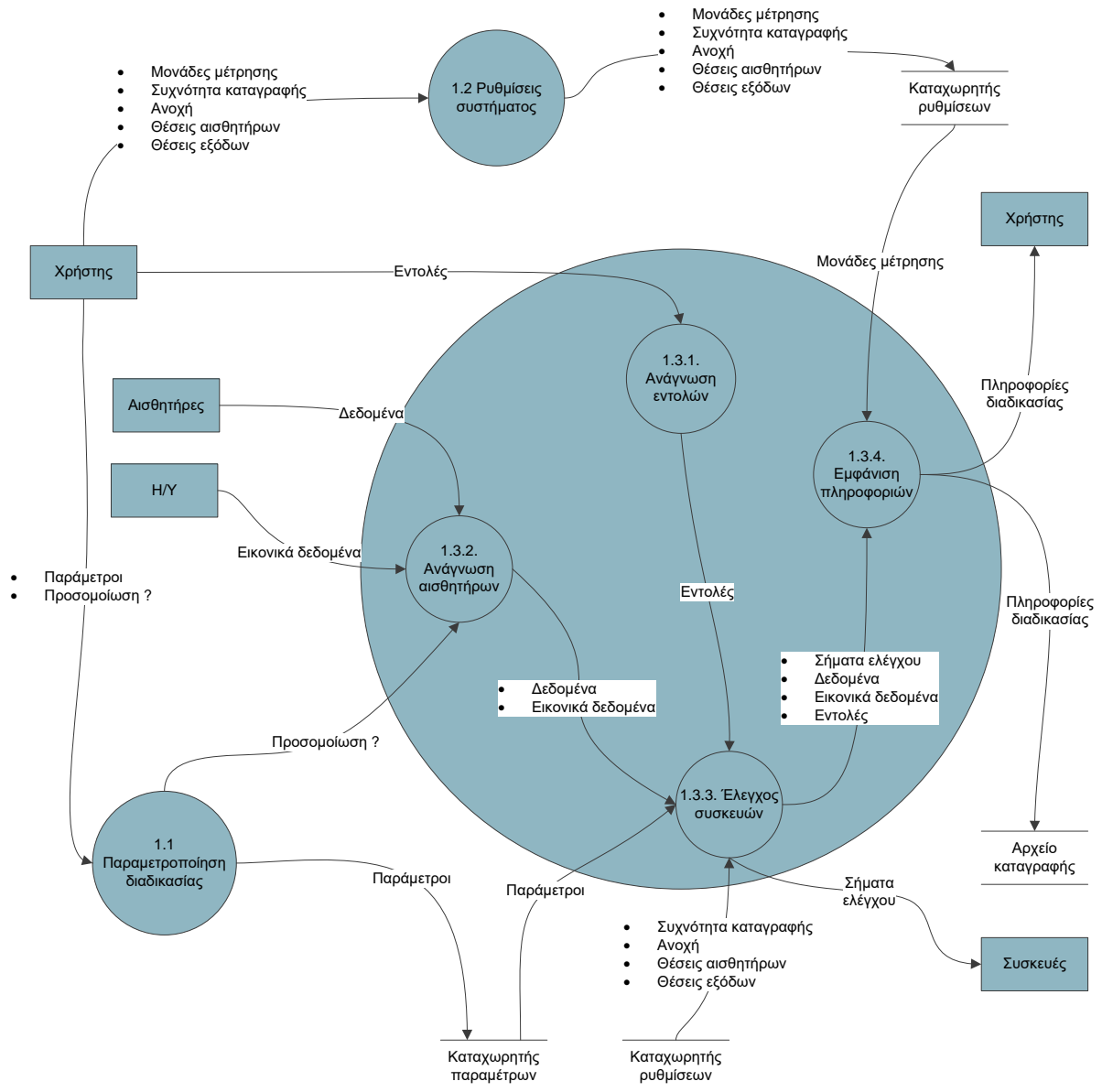
Τα διαγράμματα μετάβασης καταστάσεων είναι ένας τρόπος να σχεδιαστεί η δομή του προγράμματος και να αναδεικνύουν ποιες λειτουργίες πραγματοποιούνται, χωρίς να χρειάζεται να περιγραφεί και το πώς επιτυγχάνονται. Δυνατό σημείο το Δ.Ρ.Δ. είναι ότι μπορούν να σχεδιαστούν τμηματικά και σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας, εστιάζοντας στην συγκεκριμένη λειτουργία κάθε φορά.



Σχήμα 3.2: ΔΡΔ επιπέδου 1



Σχήμα 3.3: ΔΡΑ επιπέδου 2



Σχήμα 3.4: ΔΡΔ επιπέδου 3

3.1.3. Διάγραμμα μετάβασης καταστάσεων

Τα διαγράμματα μετάβασης καταστάσεων χρησιμοποιούνται για να αποδοθεί η δυναμική συμπεριφορά του λογισμικού. Ως δυναμική συμπεριφορά, ορίζουμε την χρονική σειρά με την οποία το λογισμικό πραγματοποιεί τις διεργασίες του, σύμφωνα, πάντα, με τα εξωτερικά ερεθίσματα που προκαλεί ο χρήστης ή οι αλλαγές στις μεταβλητές του προγράμματος.

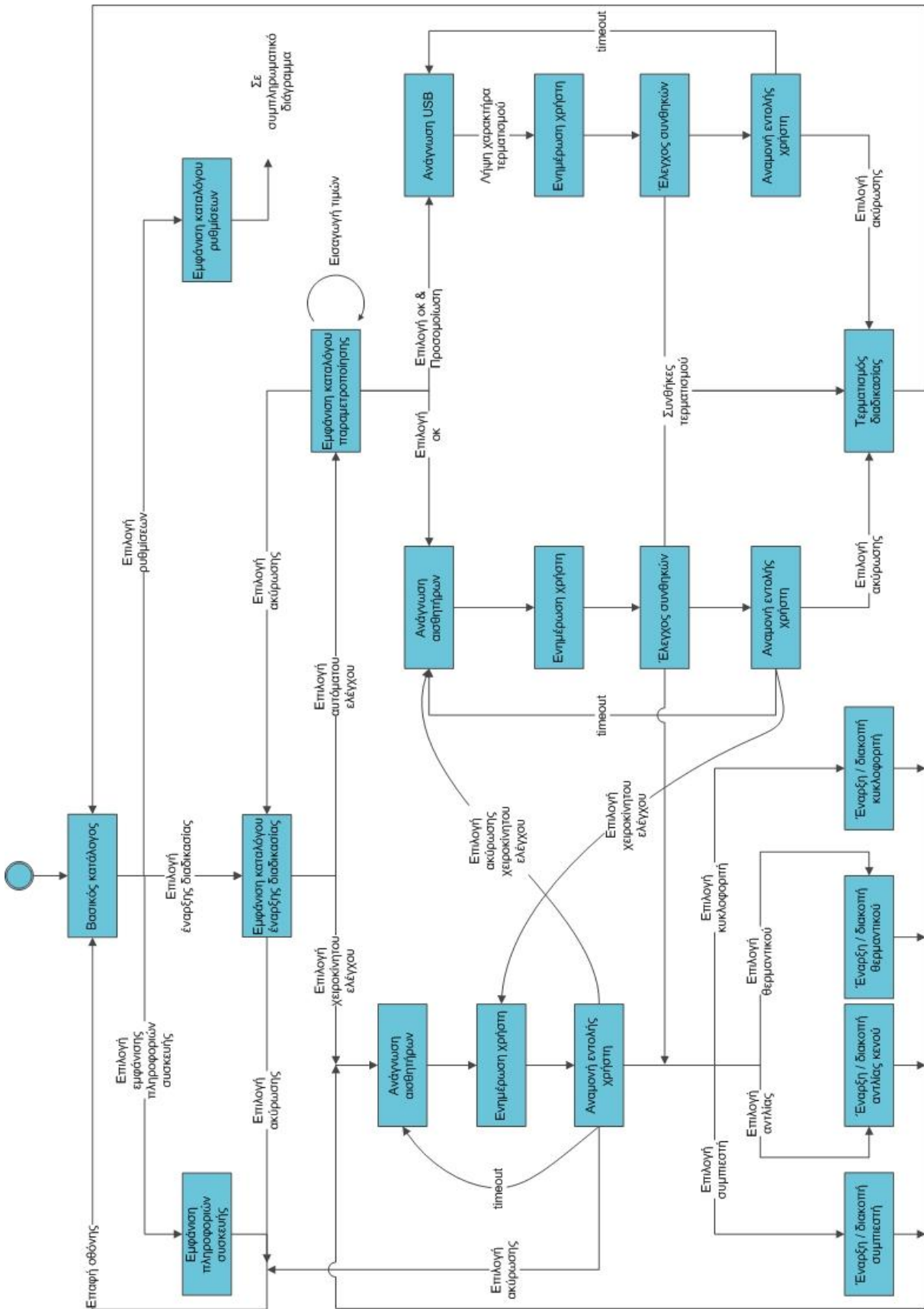
Προκειμένου το Δ.Μ.Κ. να γίνει κατανοητό, είναι απαραίτητο να αποσαφηνιστούν τρεις όροι:

- **Γεγονός**
Είναι μια στιγμιαία μεταβολή στο περιβάλλον του λογισμικού, η οποία προκαλείται από εξωτερικούς παράγοντες.
- **Απόκριση**
Ονομάζεται η λειτουργία που εκτελεί το λογισμικό εξαιτίας ενός γεγονότος
- **Κατάσταση**
Αποκαλείται η περίοδος κατά την οποία το λογισμικό αναμένει ένα γεγονός, προκειμένου να αποκριθεί ή να μεταβεί σε μια νέα κατάσταση.

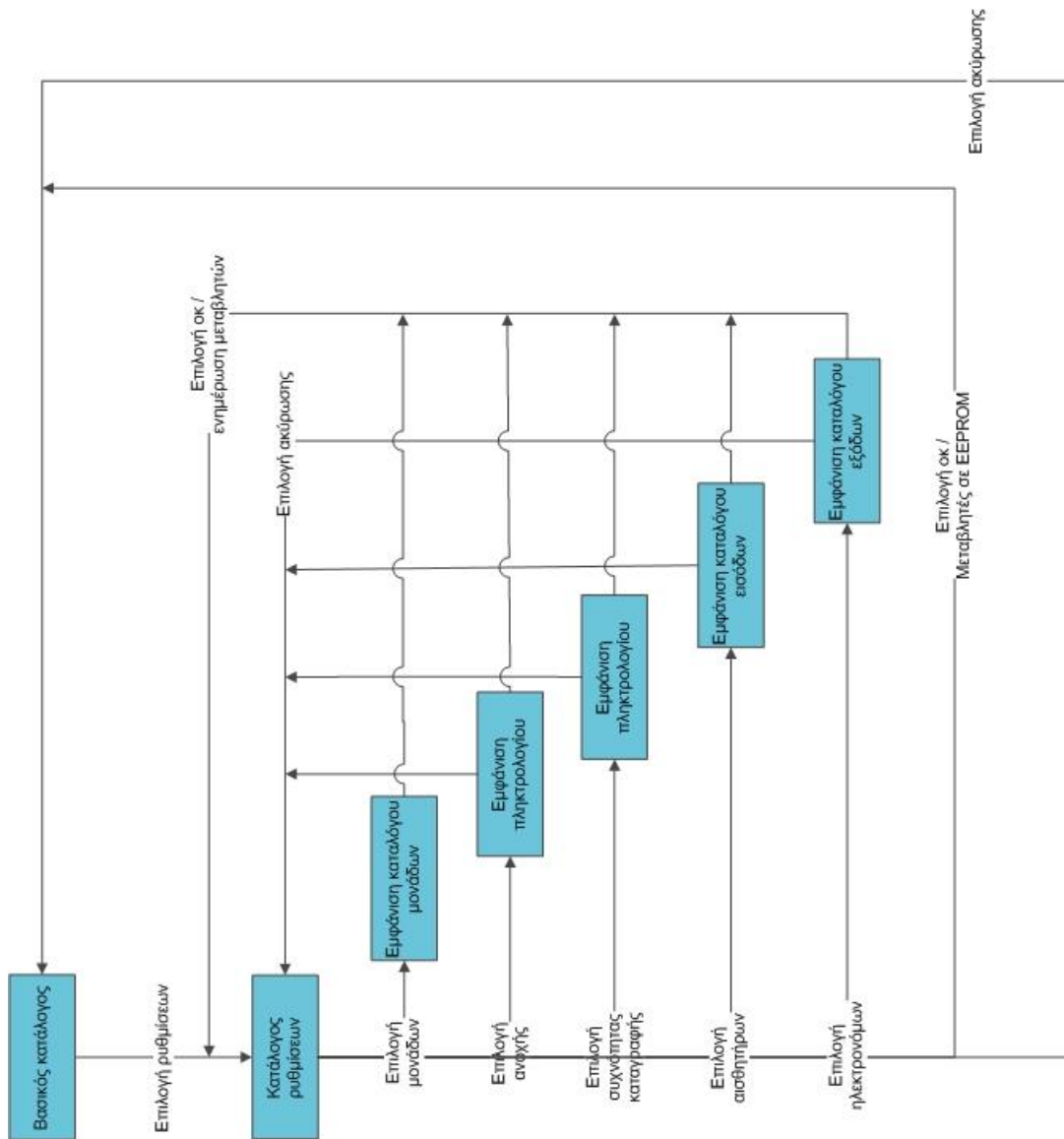
Στα επόμενα σχήματα 3.5 και 3.6, παρουσιάζεται το Δ.Μ.Κ. του λογισμικού. Οι καταστάσεις αναπαριστώνται με τα ορθογώνια πλαίσια, ενώ τα γεγονότα και αποκρίσεις περιγράφονται πάνω στα βέλη που κατάδειξης μεταβάσεων, χωριζόμενα με «/».

Σε όσα βέλη δεν υπάρχει περιγραφή γεγονότος, κάποια μεταβολή στην κατάσταση του μικροεπεξεργαστή, όπως η ολοκλήρωση αποστολής ή λήψης ενός σήματος ή η αλλαγή τιμής κάποιου μετρητή προκαλεί την απόκριση. Οι περιπτώσεις αυτές δεν καταγράφονται στα διάγραμμα για λόγους απλότητας.

Τέλος σημειώνεται, πως όσα γεγονότα καταγράφονται ως «επιλογή» υποδεικνύουν ως ο χρήστης πιέζει το αντίστοιχο πλήκτρο στην οθόνη αφής.



Σχήμα 3.5: Διάγραμμα μετάβασης καταστάσεων



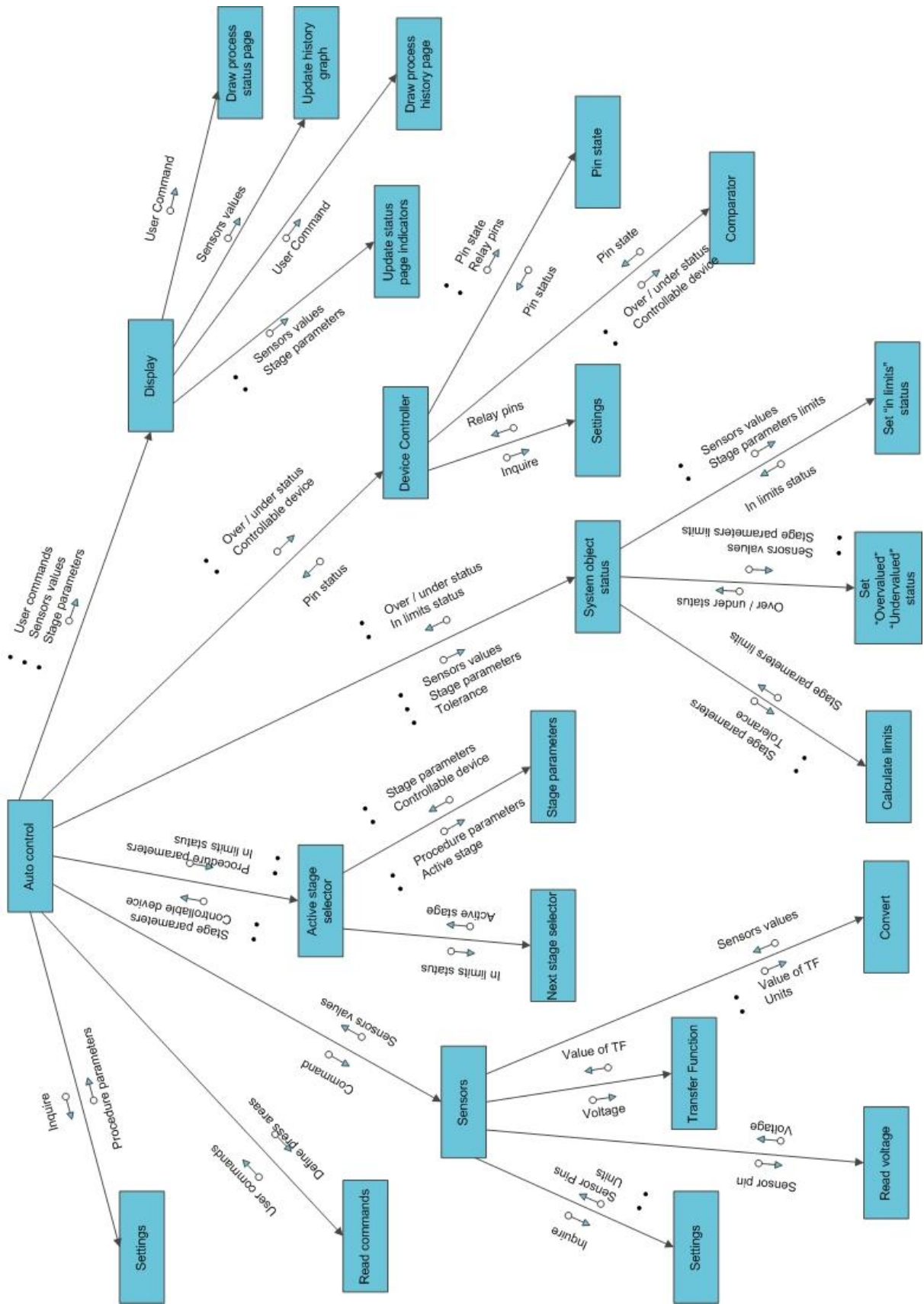
Σχήμα 3.6: Διάγραμμα μετάβασης καταστάσεων (συνέχεια)

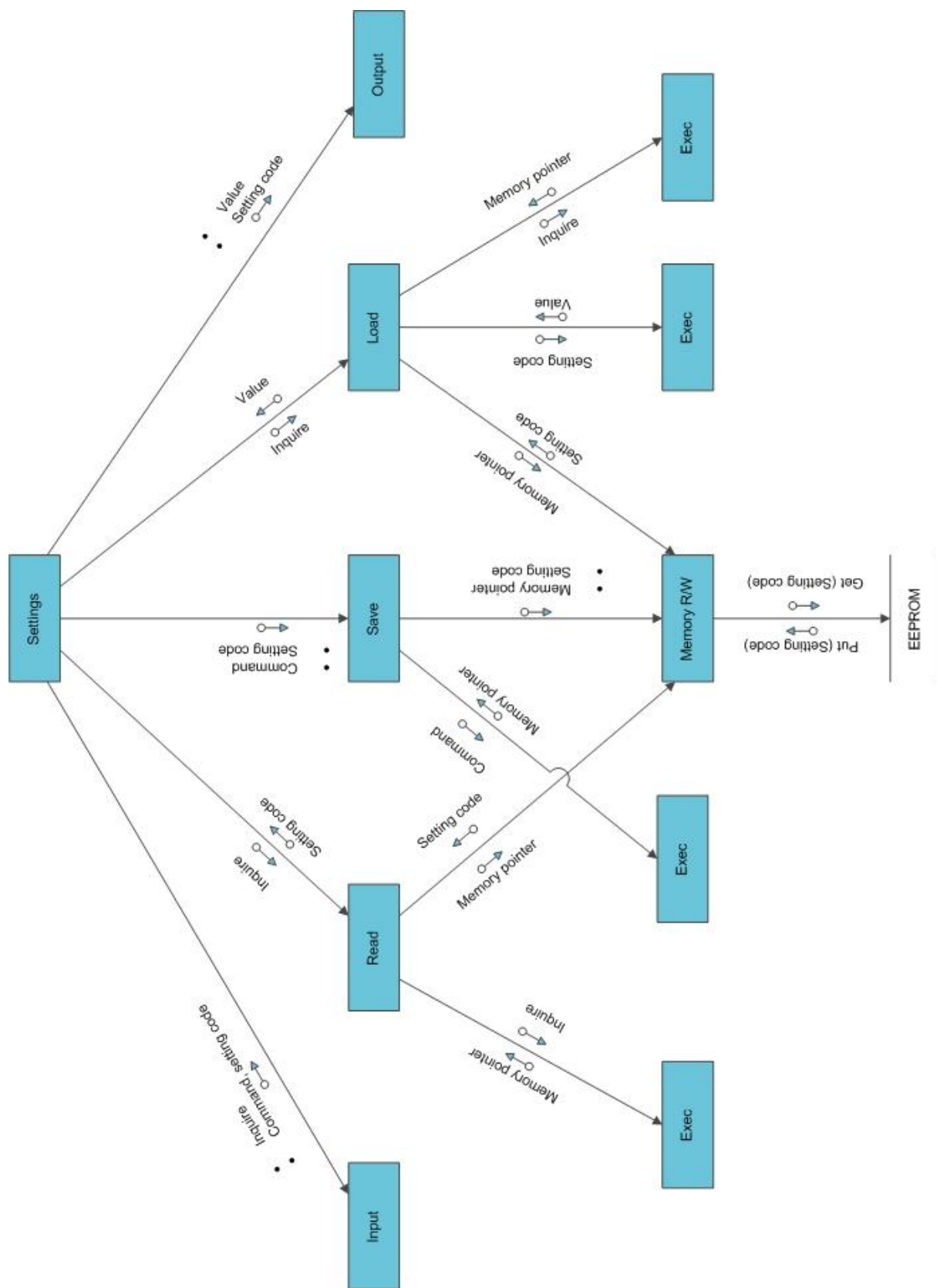
3.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

3.2.1. Διάγραμμα δομής προγράμματος

Τα διαγράμματα δομής προγράμματος, προκύπτουν από την ανάλυση των διαγραμμάτων ροής δεδομένων. Σε αυτά, διακρίνεται τόσο η ροή των δεδομένων, όσο και η επεξεργασίες στις οποίες υπόκεινται. Επίσης, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίον γίνονται οι διάφορες κλήσεις των δομών του προγράμματος. Τα διαγράμματα δομής προγράμματος, συμπληρώνονται με τμήματα ψευδοκώδικα, και βρίσκονται σχεδιαστικά πολύ κοντά στην δημιουργία του ίδιου του πηγαίου κώδικα.

Στα δύο επόμενα σχήματα, δίνονται τα δ.δ.π. που περιγράφουν τον αυτόματο τρόπο ελέγχου της διαδικασίας ξήρανσης και της αποθήκευσης και ανάκτησης ρυθμίσεων του προγράμματος. Αυτά είναι τα πλέον ενδιαφέροντα μέρη του κώδικα, και τα πλέον αντιπροσωπευτικά του σόλου ης συσκευής ελέγχου.

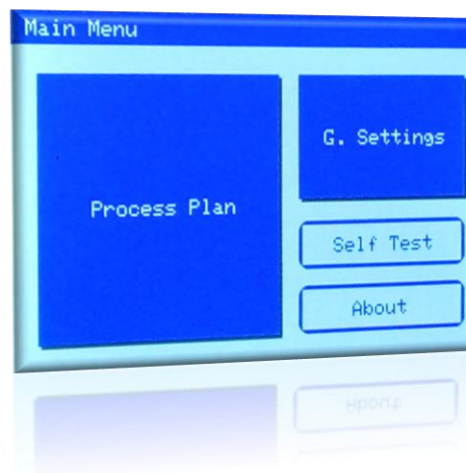




4. ΣΥΣΚΕΥΗ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ

4.1. ΒΑΣΙΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ

Αμέσως μετά την ενεργοποίηση της συσκευής, εμφανίζεται τον βασικό καταλογο (main menu) (εικ.4.1). Από το σημείο αυτό, ο χρήστης μπορεί να μεταβεί είτε στην σελίδα ρυθμίσεων, είτε στην σελίδα δημιουργίας σχεδίου ξήρανσης. Επίσης, υπάρχει η επιλογή Shelf Test που παρουσιάζει η οποία εμφανίζει στον χρήστη δεδομένα που δεν έχουν σχέση με την χρήση του προγράμματος, και εξυπηρετούν μόνο κατά τον εντοπισμό δυσλειτουργιών ή κατά την φάση της κατασκευής. Τέλος, το κουμπί About, εμφανίζει πληροφορίες σχετικές με την παρούσα εργασία.



Εικόνα 4.1: Βασικός κατάλογος

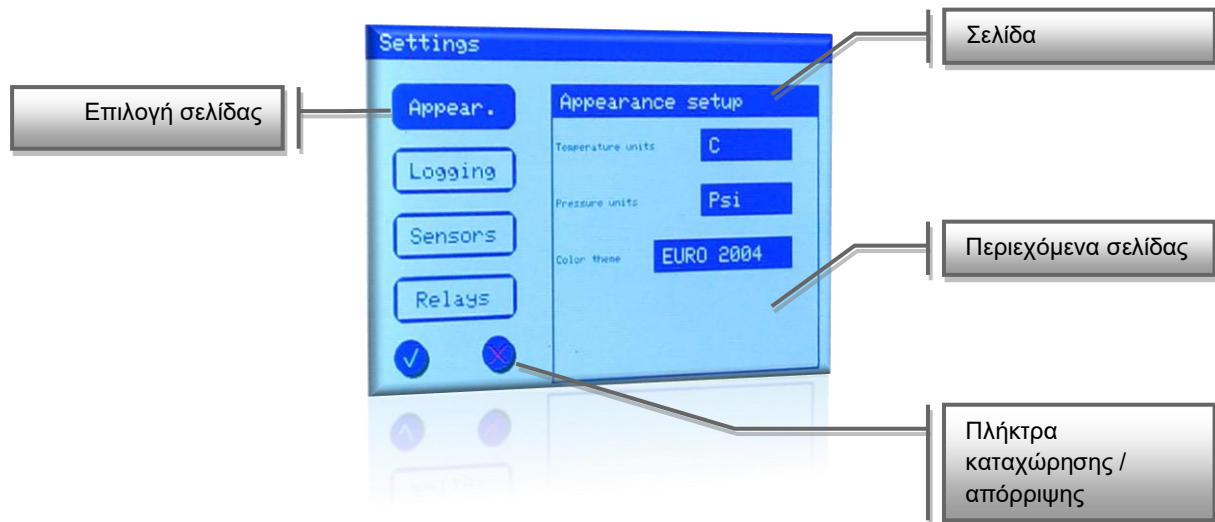
4.2. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΕΝΙΚΩΝ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ

4.2.1. Σελίδα ρυθμίσεων εμφάνισης

Το παράθυρο του καταλόγου γενικών ρυθμίσεων (εικ 4.2), χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο δεξί μέρος εμφανίζεται το πλαίσιο της σελίδας όπου περιλαμβάνονται οι επιλογές ρυθμίσεων ανά κατηγορία.

Στην αριστερή πλευρά βρίσκονται τα κουμπιά επιλογής σελίδων, και κάτω από αυτά, τα δύο πλήκτρα καταχώρησης ή απόρριψης ρυθμίσεων. Με το πλήκτρο καταχώρησης ρυθμίσεων, οι ρυθμίσεις ενεργοποιούνται και αποθηκεύονται. Η συσκευή διατηρεί τις ρυθμίσεις και μετά την απενεργοποίηση. Με επιλογή της

απόρριψης οι νέες ρυθμίσεις δεν αποθηκεύονται και επανέρχονται οι παλιές. Και οι δύο επιλογές επιστρέφουν στον βασικό κατάλογο.

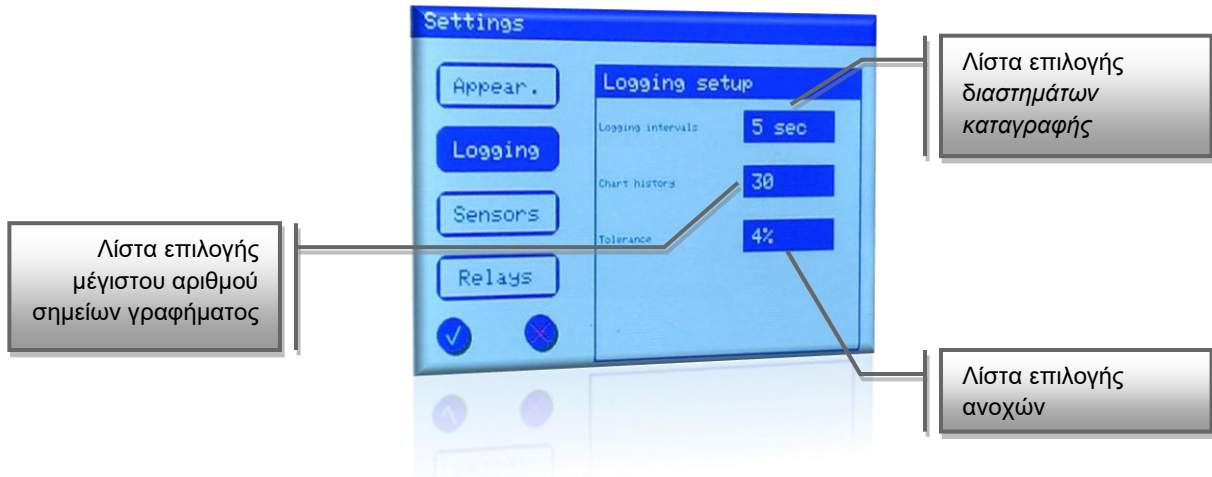


Εικόνα 4.2: Σελίδα ρυθμίσεων εμφάνισης

- **Επιλογή εμφάνισης μονάδων θερμοκρασίας**
Οι μονάδες θερμοκρασίας μπορούν να οριστούν σε °C, °K και °F. Η επιλογή νέων μονάδων θερμοκρασίας, θα αναπροσαρμόσει την τιμή των ήδη καταχωρημένων τιμών θερμοκρασίας, στις νέες μονάδες μέτρησης.
- **Επιλογή εμφάνισης μονάδων πίεσης**
Οι μονάδες πίεσης μπορούν να οριστούν σε Bar, Psi και kPa. Η επιλογή νέων μονάδων θερμοκρασίας, θα αναπροσαρμόσει την τιμή των ήδη καταχωρημένων τιμών θερμοκρασίας, στις νέες μονάδες μέτρησης.
- **Επιλογή εμφάνισης χρωμάτων.**
Αλλάζει τον χρωματισμό της οθόνης.

4.2.2. Σελίδα ρυθμίσεων καταγραφών

Από την σελίδα αυτή, πραγματοποιούνται ρυθμίσεις που αφορούν την καταγραφή των μετρήσεων στην κάρτα SD, στην θύρα USB και στο γράφημα της συσκευής (εικ. 4.3).



Εικόνα 4.3: Σελίδα ρυθμίσεων εμφάνισης

- **Διαστήματα καταγραφής**
Ρυθμίζεται ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών καταγραφών. Πριν την εκκίνηση διαδικασιών μεγάλης διάρκειας, καλό είναι να αυξηθεί ο χρόνος ώστε να μην δημιουργηθεί πολύ μεγάλο αρχείο. Η ρύθμιση αυτή, δεν επηρεάζει την συχνότητα μετρήσεων και ελέγχου της διαδικασίας.
- **Ιστορικό γραφήματος**
Ορίζεται ο αριθμός των σημείων που θα εμφανίζονται στο γράφημα που δημιουργείται κατά την διαδικασία.
- **Ανοχή**
Ορίζει το διάστημα τιμών γύρω από την επιθυμητή τιμή, μέσα στο οποίο η συσκευή δεν ανταποκρίνεται στις μεταβολές. Υψηλό ποσοστό ανοχής, δημιουργεί λιγότερο ακριβείς διαδικασίες. Χαμηλό ποσοστό, μπορεί να κάνει τον έλεγχο συσκευών πιο νευρικό προκαλώντας μεγαλύτερη καταπόνηση σε αυτές. Επίσης, μπορεί να αυξήσει την επήρεια του θορύβου των αισθητήρων.

4.2.3. Σελίδες ρυθμίσεων αισθητήρων και ηλεκτρονόμων

Από την σελίδα ρυθμίσεων αισθητήρων (εικ.4.4) μπορεί να οριστεί ποίος αισθητήρας έχει συνδεθεί στον κάθε ακροδέκτη. Με τον ίδιο τρόπο, από την σελίδα ρυθμίσεων ηλεκτρονόμων (εικ. 4.5), ρυθμίζεται η αντιστοιχία συσκευής, ηλεκτρονόμου.



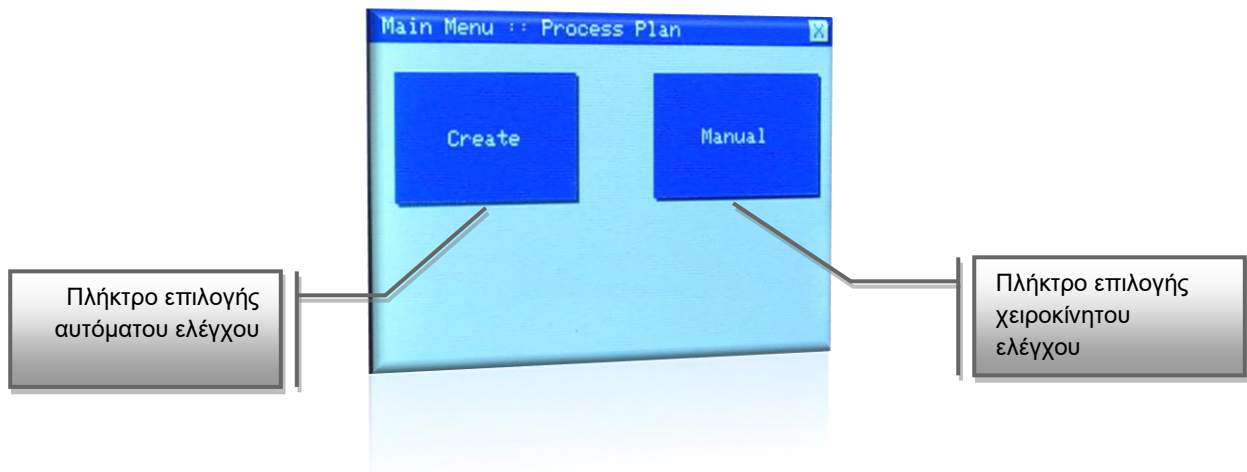
Εικόνα 4.4: Σελίδα ρυθμίσεων αισθητήρων



Εικόνα 4.5: σελίδα ρυθμίσεων ηλεκτρονόμων

4.3. ΣΕΛΙΔΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΧΕΔΙΟΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

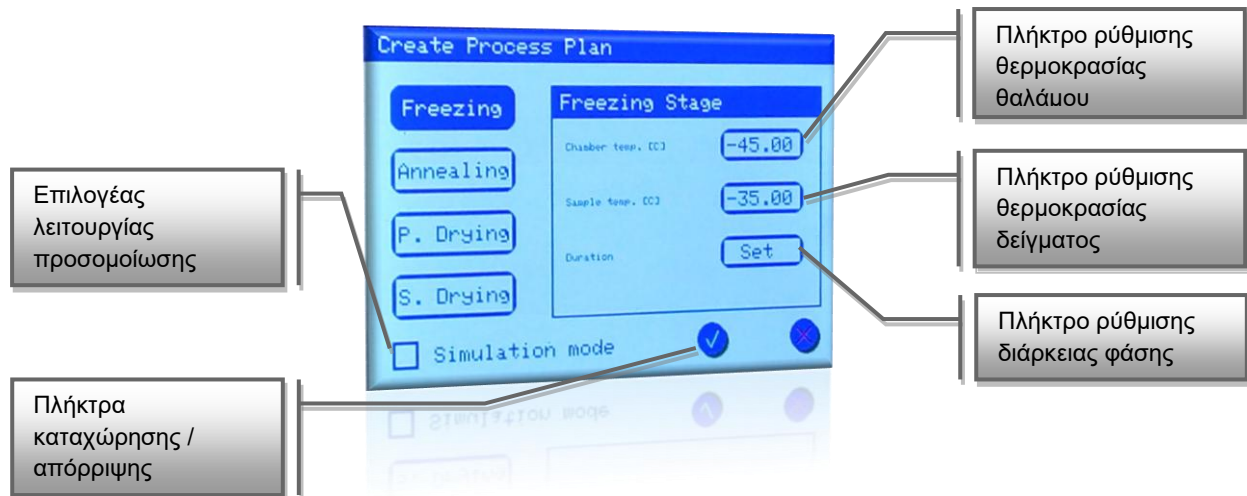
Από τον κατάλογο επιλογής σχεδίου ξήρανσης (σελ 4.6) μπορούμε να επιλέξουμε είτε να φτιάξουμε ένα σχέδιο ξήρανσης το οποίο θα ακολουθηθεί από την συσκευή ελέγχου (επιλογή Create), είτε να εκκινήσουμε την διαδικασία και να ελέγχουμε τις συσκευές χειροκίνητα (επιλογή Manual).



Εικόνα 4.6: Κατάλογος επιλογής σχεδίου ξήρανσης

4.4. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΣΧΕΔΙΟΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ

Ο κατάλογος αυτός είναι οργανωμένος σε σελίδες, με κάθε σελίδα να αντιστοιχεί σε κάθε φάση της διαδικασίας ξήρανσης (εικ. 4.7).



Εικόνα 4.7: Σελίδα παραμετροποίησης της φάσης ψύξης

4.4.1. Σελίδα παραμετροποίησης της φάσης ψύξης

- **Ορισμός θερμοκρασίας θαλάμου**
Πιέζοντας το πλήκτρο Ορισμού θερμοκρασίας θαλάμου εμφανίζεται το εικονικό πληκτρολόγιο (εικ4.8). Από αυτό μπορούμε να καταχωρήσουμε την επιθυμητή τιμή. Η συσκευή θα επιδιώξει να ψύξει τον θάλαμο σε αυτήν την θερμοκρασία ελέγχοντας τον συμπιεστή.
- **Ορισμός θερμοκρασίας δείγματος**
Με τον ίδιο τρόπο ορίζεται η επιθυμητή θερμοκρασία του δείγματος. Η θερμοκρασία αυτή θα επιτευχτεί λόγω της ισορροπίας που θα υπάρξει με την θερμοκρασία του θαλάμου, η οποία πρέπει να είναι μικρότερη από αυτήν των προϊόντων. Η επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας στο δείγμα, τερματίζει την φάση ψύξης.
- **Διάρκεια φάσης**
Αφότου το δείγμα ψυχθεί στην επιθυμητή τιμή, ο θάλαμος μπορεί να παραμείνει σε αυτές τις συνθήκες για όσο χρόνο οριστεί η διάρκεια της φάσης. Με τον τρόπο αυτό σιγουρεύεται η ομοιόμορφη ψύξη όλων των προϊόντων στο εσωτερικό του.

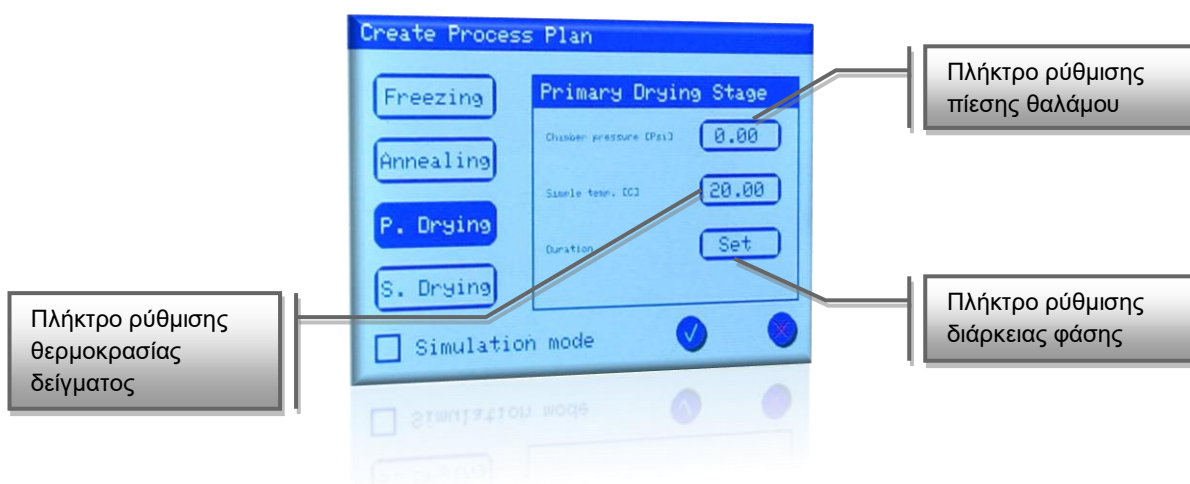


Εικόνα 4.8: Εικονικό πληκτρολόγιο



Εικόνα 4.9: Εικονικό πληκτρολόγιο χρόνου

4.4.2. Σελίδα παραμετροποίησης φάσης ξήρασης

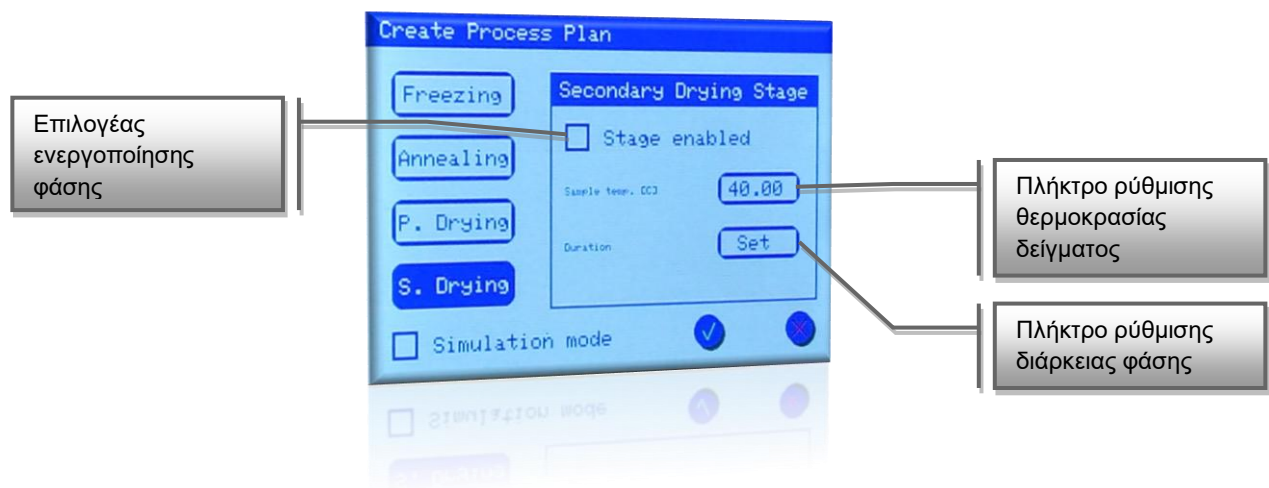


Εικόνα 4.10: Σελίδα παραμετροποίησης φάσης ξήρασης

- **Πίεση θαλάμου**
Η συσκευή ελέγχου θα επιδιώξει να κατεβάσει και να διατηρήσει την πίεση του θαλάμου σε αυτήν την τιμή, ελέγχοντας την αντλία κενού.
- **Θερμοκρασία δείγματος**
Αφότου η πίεση μειωθεί, η συσκευή ελέγχου θα αυξήσει την θερμοκρασία του δείγματος στην δοθείσα τιμή, με χρήση του θερμαντήρα και του κυκλοφορητή. Η θερμοκρασία υγρού αυτόματα ορίζεται 10°C μεγαλύτερη από αυτήν. Η επίτευξη της δοθείσας τιμής θερμοκρασίας του δείγματος, σηματοδοτεί την λήξη της φάσης ξήρανσης.
- **Διάρκεια φάσης**
Ορίζεται ο χρόνος για τον οποίο θα διατηρηθούν οι επιλεγθείσες συνθήκες, πριν τερματιστεί η φάση.

4.4.3. Σελίδα παραμετροποίησης φάσης δευτερεύουσας ξήρανσης

Η δευτερεύουσα φάση ξήρανσης είναι προαιρετική. Έχει στόχο την επιπλέον αύξησης της θερμοκρασίας των δειγμάτων για να εξασφαλιστεί η πλήρης εξάχνωση του νερού.



Εικόνα 4.11: Σελίδα παραμετροποίησης φάσης δευτερεύουσας ξήρανσης

- *Ενεργοποίηση φάσης*
Η επιλογή του πλαισίου ενεργοποιεί την φάση. Αν παραμείνει μη επιλεγμένο, η φάση δευτερεύουσας ξήρανσης δεν πραγματοποιείται, και η διαδικασία τερματίζεται.
- *Θερμοκρασία δείγματος*
Η συσκευή ελέγχου θα αυξήσει περαιτέρω την θερμοκρασία του δείγματος σε αυτή την τιμή. Η φάση λήγει με την επιτευξη αυτής της θερμοκρασίας.
- *Διάρκεια φάσης*
Ορίζεται ο χρόνος για τον οποίο θα διατηρηθούν οι επιλεγθείσες συνθήκες μέσα στον θάλαμο, πριν τερματιστεί η φάση.

Με την επιλογή Προσομοίωσης (Simulation Mode) ενεργοποιημένη, το πρόγραμμα ξεκινάει σε λειτουργία προσομοίωσης. Κατά την λειτουργία αυτή, η συσκευή ελέγχου πρέπει να είναι συνδεδεμένη με ένα υπολογιστή. Το πρόγραμμα δεν διαβάζει τιμές από τους αισθητήρες, αλλά αυτές εισάγονται απευθείας από τον χρήστη μέσω τερματικού. Οι υπόλοιπες λειτουργίες της συσκευής πραγματοποιούνται κανονικά. Επίσης, η διάρκεια φάσης, αν τις έχει οριστεί τιμή, περιορίζεται στα 30 sec.

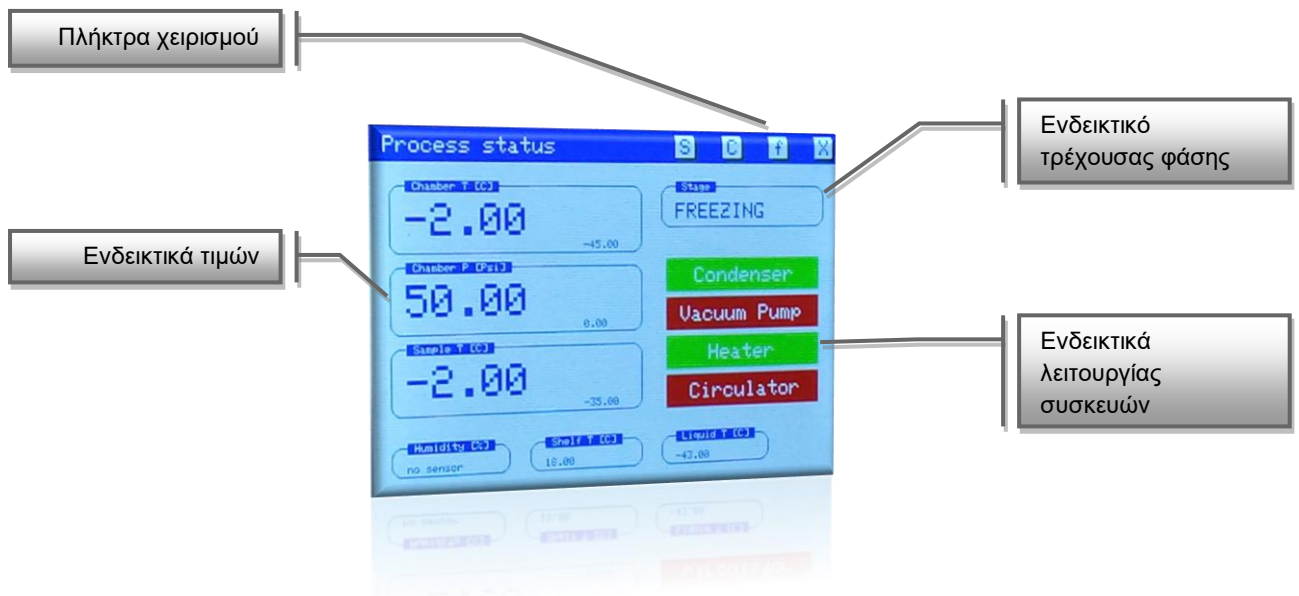
Το πλήκτρο καταχώρησης αποθηκεύει τις τιμές, και ξεκινάει την λειτουργία. Στον επόμενο προγραμματισμό διαδικασίας, οι εισαχθείσες τιμές θα εμφανίζονται ως προεπιλεγμένες.

Το πλήκτρο απόρριψης δεν αποθηκεύει τις τιμές και επιστρέφει στην οθόνη επιλογής σχεδίου ξήρανσης.

4.5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΕ ΕΞΕΛΙΞΗ

4.5.1. Σελίδα επιτήρησης διαδικασίας

Η σελίδα αυτή παρέχει άμεσες πληροφορίες στον χρήστη για την κατάσταση της διαδικασίας.

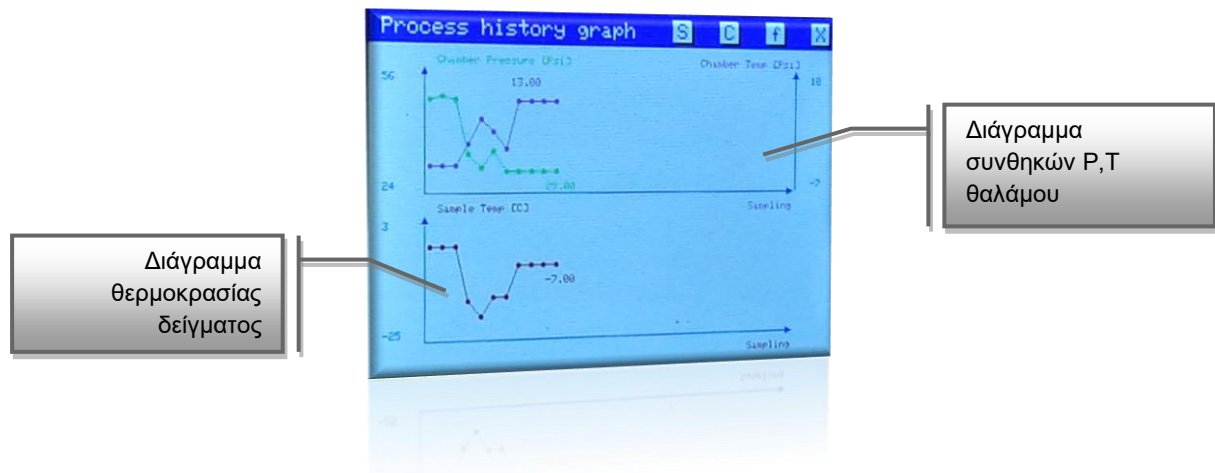


Εικόνα 4.12: Σελίδα επιτήρησης διαδικασίας

- Πλήκτρα χειρισμού
 - «S»
Εμφανίζει την σελίδα επιτήρησης διαδικασίας
 - «C»
Εμφανίζει την σελίδα ιστορικού διαδικασίας
 - «F»
Εμφανίζει την σελίδα διαγράμματος P-T
 - «X»
Διακόπτει την διαδικασία και επιστρέφει στον βασικό κατάλογο
- Ενδεικτικά τιμών
Πληροφορίες για της τρέχουσες συνθήκες της διαδικασίας. Στο πλαίσιο καταγράφεται σε ποια παράμετρο αντιστοιχεί η τιμή, και οι μονάδες μέτρησης. Οι μονάδες μέτρησης έχουν επιλεγεί από τον κατάλογο γενικών ρυθμίσεων. Με μικρότερη γραμματοσειρά εντός του πεδίου, αναγράφεται η επιλεγθείσα τιμή, απο τον σχεδιασμό της διαδικασίας.

- *Ενδεικτικό τρέχουσας φάσης*
Εμφανίζει μια σύντομη περιγραφή της τρέχουσας φάσης. Αυτές είναι:
 - *«FREEZING»*
Φάση ψύξης. Ο θάλαμος ψύχεται.
 - *«FR -WAIT»*
Φάση ψύξης. Ο θάλαμος έχει ψυχθεί και το δείγμα έχει φτάσει στη επιθυμητή θερμοκρασία. Το πρόγραμμα αναμένει σε αυτές τις συνθήκες να παρέλθει ο χρόνος που ορίστηκε στην διάρκεια φάσης.
 - *«PR. DRYING»*
Φάση πρωτεύουσας ξήρανσης. Ο θάλαμος αποσυμπιέζεται.
 - *«PD -HEATING»*
Φάση πρωτεύουσας ξήρανσης. Ο θάλαμος έχει αποσυμπιεστεί και η θέρμανση των ραφιών έχει ξεκινήσει.
 - *«PD -WAIT»*
Φάση πρωτεύουσας ξήρανσης. Ο θάλαμος έχει αποσυμπιεστεί και το δείγμα έχει φτάσει στη επιθυμητή θερμοκρασία. Το πρόγραμμα αναμένει σε αυτές τις συνθήκες να παρέλθει ο χρόνος που ορίστηκε στην διάρκεια φάσης.
 - *«SEC. DRYING»*
Φάση δευτερεύουσας ξήρανσης. Η περαιτέρω θέρμανση των ραφιών έχει ξεκινήσει.
 - *«SD -WAIT»*
Φάση δευτερεύουσας ξήρανσης. Το δείγμα έχει φτάσει στη επιθυμητή θερμοκρασία. Το πρόγραμμα αναμένει σε αυτές τις συνθήκες να παρέλθει ο χρόνος που ορίστηκε στην διάρκεια φάσης.
 - *«TERMINATING»*
Η διαδικασία ολοκληρώθηκε. Η λειτουργία όλων των συσκευών διακόπτεται.
- *Ενδεικτικά λειτουργίας συσκευών*
Σε πράσινο πλαίσιο εμφανίζονται οι συσκευές που αυτήν την στιγμή λειτουργούν, ενώ μέσα σε κόκκινο όσες είναι απενεργοποιημένες.

4.5.2. Σελίδα ιστορικού διαδικασίας



Εικόνα 4.13: Σελίδα ιστορικού διαδικασίας

Ο μέγιστος αριθμός των σημείων που απεικονίζονται σε κάθε διάγραμμα ορίζεται από την επιλογή Ιστορικό γραφήματος (chart history) από τον κατάλογο γενικών ρυθμίσεων. Κάθε νέα τιμή προστίθεται ως νέο σημείο στα δεξιά του προηγούμενου. Όταν ο μέγιστος αριθμός σημείων επιτευχθεί, τότε, για κάθε νέα μέτρηση το διάγραμμα θα ολισθαίνει προς τα αριστερά. Αυτό σημαίνει πως ο ανά πάσα χρονική στιγμή ο χρήστης γνωρίζει την τρέχουσα τιμή καθώς και τις προηγούμενες (chart history -1).

Το διάγραμμα ανανεώνεται ανά χρονικά διαστήματα ίσα με τον χρόνο που επιλέχθηκε από τον κατάλογο γενικών ρυθμίσεων.

4.6. ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Με επιλογή χειροκίνητης διαδικασίας από τον κατάλογο επιλογής σχεδίου ξήρανσης, το πρόγραμμα δεν εμφανίζει τον κατάλογο δημιουργίας σχεδίου, αλλά μεταβαίνει απευθείας στην σελίδα επιτήρησης διαδικασίας. Η διαφορά είναι πλέον πως τα ενδεικτικά λειτουργίας είναι συγχρόνως και πλήκτρα, τα οποία χρησιμεύουν για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των συσκευών.

Η διαδικασία χειροκίνησης καταδεικνύεται με την αναγραφή MANUAL, τόσο στο ενδεικτικό φάσης, όσο και στο ενδεικτικό επιλεγθέντων τιμών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Christ. (2006). Beta 1-8 LDplus Operating Manual.
- Gazzaniga, A. (2010). *Corso di laurea in chimica e tecnologia*. Milano: Università degli studi di Milano.
- HarvestRight. (n.d.). Home Freeze Dryer Owners Manual.
- Keim, R. (n.d.). *Introduction to the I2C Bus*. Ανάκτηση από All About Circuits: <https://www.allaboutcircuits.com>
- Keim, R. (2016, 12 20). *The Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*. Ανάκτηση από All About Circuits: <https://www.allaboutcircuits.com>
- Monk, P. S. (2013). *Practical electronics for invertors*. McGrawHill.
- Αλεξίου, Γ. (2001). *Ψηφιακά Συστήματα*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοιχτό Πανεπιστήμιο.
- Βεσκούκης, Β. (2000). *Αρχές τεχνολογίας λογισμικού*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοιχτό Πανεπιστήμιο.
- Κωνσταντίνος, Κ. (2007). *LabVIEW για μηχανικούς*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Μανώλης, Β. (2010). *Πτυχιακή εργασία: Έξυπνοι αισθητήρες "Smart sensors"*. Ηράκλειο: ΑΤΕΙ Κρήτης.
- Χονδράκης, Ν. (2015). *Ψυκτικός κύκλος Θεωρία - Λυμένα Παραδείγματα*. ΕΠΑΛ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

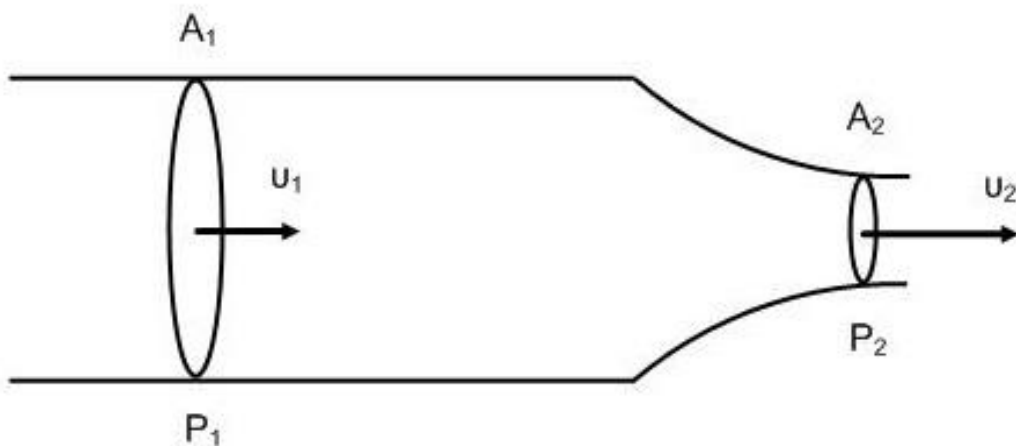
1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ

1.1. Συμπυκνωτής / εξατμιστής

Τόσο ο συμπυκνωτής, όσο και ο εξατμιστής, είναι στην ουσία ένας διαμήκης θερμοαγωγίμος οφιοειδής σωλήνας, μέσα από τον οποίο το ψυκτικό υγρό ρέει και ανταλλάσει θερμότητα με το περιβάλλον. Αποτελούν δηλαδή εναλλάκτες θερμότητας. Η διαφορά τους έγκειται στο χώρο τοποθέτησης. Στα ψυκτικά συστήματα, όπως αυτό, ο συμπυκνωτής τοποθετείται στον εξωτερικό χώρο όπου απορρίπτεται η θερμότητα, ενώ ο συμπυκνωτής μέσα στον χώρο τον οποίον θέλουμε να ψύξουμε. Όταν οι συσκευές αυτές ανταλλάσσουν θερμότητα με τον αέρα του περιβάλλοντος τους, επικουρικά μπορεί να τοποθετηθεί ένας ανεμιστήρας ο οποίος προκαλεί εξαναγκασμένη μεταφορά θερμότητας, αυξάνοντας την απόδοση του συστήματος. Στην εικ. 1.3 παρουσιάζεται ένας συμπυκνωτής που χρησιμοποιείται κυρίως στα οικιακά ψυγεία.

1.2. Εκτονωτική διάταξη

Η εκτονωτική διάταξη ή αλλιώς στραγγαλιστής, χρησιμεύει για να μειώσει την πίεση και την θερμοκρασία του ρευστού, καθώς αυτό διέρχεται από μέσα της. Η αρχή λειτουργίας είναι απλή. Αποτελείται από ένα τμήμα σωλήνα, με διατομή μικρότερη από αυτήν της συνδεδεμένης σωληνώσεως. Καθώς το ρευστό εξαναγκάζεται να διασχίσει την στένωση, αυξάνει την ταχύτητα του, όπως περιγράφεται από την εξίσωση της συνέχειας (Εξ.1.1), με αποτέλεσμα να μειώνεται η πίεση του. Η εικ. 1.4 δείχνει μια τέτοια συσκευή.



Σχήμα 1: Σχεδιάγραμμα εκτονωτικής διάταξης

$$A_1 \cdot u_1 = A_2 \cdot u_2 \quad (1.1)$$

Όπου:

A, u: οι διατομές του αγωγού και η ταχύτητα του ρευστού σε αυτές, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.4

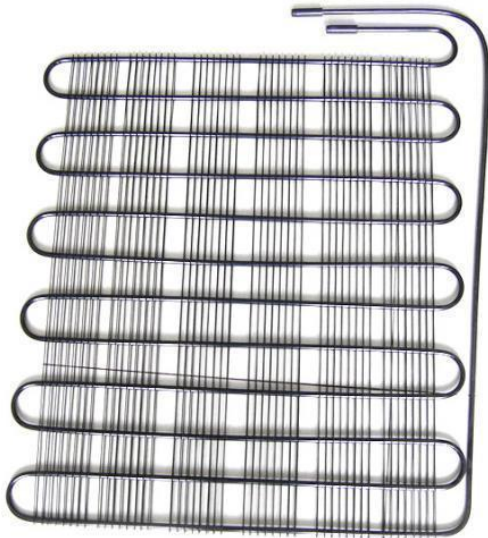
1.3. Συμπιεστής

Ο συμπιεστής στα συστήματα ψύξης – θέρμανσης έχει διπλό ρόλο.

Αφενός, είναι η συσκευή εκείνη που εξαναγκάζει το ρευστό να κινηθεί μέσα στις σωληνώσεις. Επιπλέον, συμπιέζοντας το ψυκτικό ρευστό αυξάνεται η θερμοκρασία του και το σημείο βρασμού, με αποτέλεσμα να εξακολουθεί ο ψυκτικός κύκλος. Ένας συμπιεστής είναι αυτός της εικ. 1.5.

Μέσα σε έναν θάλαμο συμπίεσης κινείται παλινδρομικά ένα έμβολο. Καθώς μεταβαίνει προς το κάτω νεκρό σημείο και η βαλβίδα εισαγωγής είναι ανοικτή αέριο χαμηλής πίεσης εισέρχεται για να καταλάβει τον χώρο που δημιουργείται. Όταν το

Για παράδειγμα, όσον αφορά το ψυκτικό R-12, το σημείο βρασμού για πίεση 1 atm είναι $-26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ όταν για την αντίστοιχη πίεση το σημείο βρασμού του νερού είναι $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Εικόνα 1: Συμπυκνωτής



Εικόνα 2: Συσκευή στραγγαλισμού



Εικόνα 3: Συμπιεστής



Εικόνα 4: Ψυκτικό μέσο

1.5. Ψυκτικός κύκλος

Έχοντας για οδηγό το σχ.1.2, στο σημείο 1, το ψυκτικό ρευστό εισέρχεται στον εξατμιστή. Λόγω της απώλειας πίεσης που προκαλείται από τον στραγγαλιστή, μέρος του ψυκτικού αεριοποιείται και πέφτει η θερμοκρασία του, βρισκόμενο πλέον σε κατάσταση υπόψυκτου υγρού. Με θερμοκρασία σε τιμές μικρότερες από αυτές που επικρατούν στον ψυκτικό θάλαμο, θερμική ενέργεια μεταφέρεται από το περιβάλλον προς το ψυκτικό. Βλέποντας το σχ. 1.4 διαπιστώνουμε ότι σε μικρές πιέσεις, το σημείο βρασμού βρίσκεται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και έτσι η ενέργεια αυτή προσλαμβάνεται με την μορφή λανθάνουσας θερμότητας, καθώς το υγρό αεριοποιείται. Στο σημείο 2, όλη η ποσότητα του υγρού έχει μετατραπεί σε αέριο, το οποίο πλέον εισέρχεται στο συμπιεστή. Καθώς αυτό συμπιέζεται αυξάνεται η πίεσή και η θερμοκρασία του. Στο σημείο 3 λοιπόν, εισέρχεται στον συμπυκνωτή ως υπέρθερμο αέριο υψηλής πίεσης. Ανατρέχοντας πάλι στο σχήμα 1.4 διαπιστώνουμε ότι λόγω της μεγάλης πίεση, το σημείο βρασμού πλέον έχει ανεβεί σε υψηλές θερμοκρασίες. Εύκολα λοιπόν το αέριο υγροποιείται καθώς διασχίζει τον συμπυκνωτή και αποδίδει θερμότητα στο περιβάλλον. Στο σημείο 4, είναι πλέον υγρό υψηλής πίεσης, σε θερμοκρασία όμως περιβάλλοντος. Από εκεί, διοχετεύεται μέσω του στραγγαλιστή στον εξατμιστή και ξεκινάει εκ νέου ο κύκλος.

2. ΣΗΜΑΤΑ

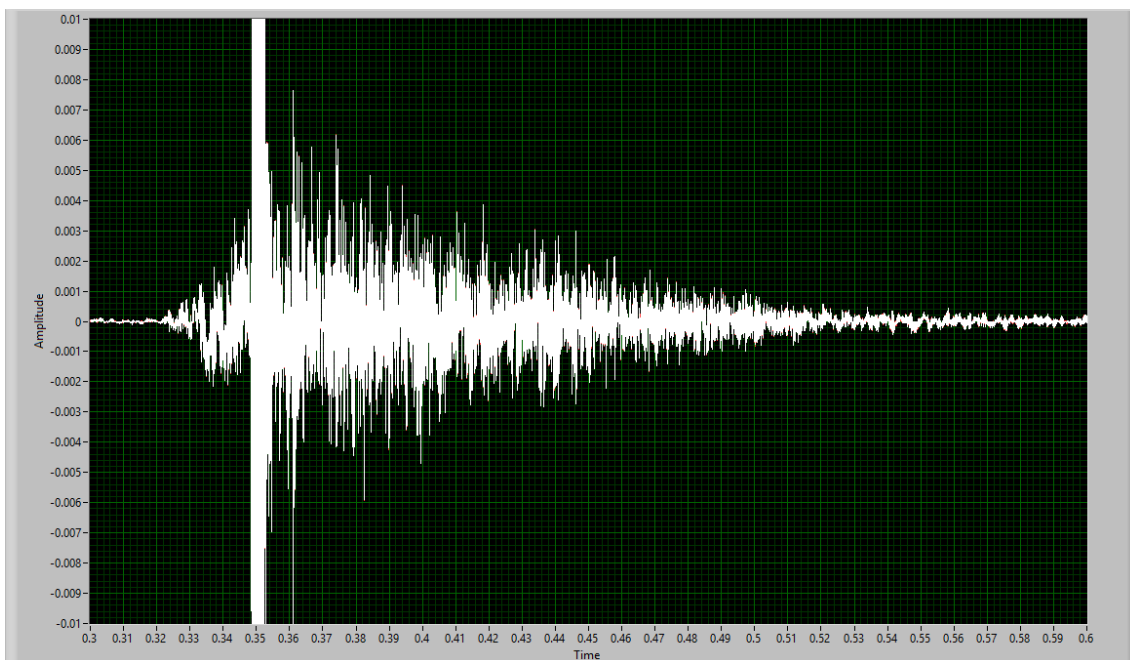
2.1 Ορισμός σήματος

Η έννοια του σήματος είναι ταυτισμένη με την έννοια της πληροφορίας, και πιο συγκεκριμένα, με την έννοια της μετάδοσης πληροφορίας.

Πρόκειται για μια συνάρτηση η οποία συσχετίζει μια φυσική ποσότητα, η φύση της οποίας ορίζεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πομπού, του δέκτη και του μέσου μετάδοσης, συναρτήσει μιας ανεξάρτητης μεταβλητής, που αναγκαστικά πρέπει είναι ο χρόνος t .

Γενικώς λοιπόν, τα σήματα συμβολίζονται ως $X(t)$.

Όταν πρόκειται για ηλεκτρονικά μέσα όπως αισθητήρες, υπολογιστές κτλ, το x είναι τάση ή η ένταση ρεύματος, οπότε αναφερόμαστε σε ηλεκτρικά σήματα της μορφής $V(t)$ ή $I(t)$.



Σχήμα 3: Αποτύπωση ηχητικού σήματος, με χρήση λογισμικού LabVIEW

Ως συνάρτηση, το σήμα έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά: Το **πεδίο ορισμού**, και το **πεδίο τιμών**.

Το πεδίο ορισμού είναι το μαθηματικό σύνολο μέσα από το οποίο μπορεί να πάρει τιμές η ανεξάρτητη μεταβλητή. Αφού η μεταβλητή αυτή είναι ο χρόνος, το πεδίο τιμών είναι το σύνολο των πραγματικών αριθμών \mathbb{R} .

Αντιστοίχως, το πεδίο τιμών, είναι ένα υποσύνολο του \mathfrak{R} , μέσα στο οποίο μπορεί, από κατασκευαστικής απόψεως, να λειτουργεί η συσκευή που αποστέλλει το σήμα. Στην περίπτωση των αισθητήρων το πεδίο τιμών ορίζεται από το εύρος της τάσης εξόδου.

2.2. Είδη σημάτων

- **Σήματα συνεχούς χρόνου**
Ένα σήμα ονομάζεται σήμα συνεχούς χρόνου, αν η μεταβλητή t είναι συνεχής.
- **Σήματα διακριτού χρόνου**
Ένα σήμα ονομάζεται σήμα διακριτού χρόνου, αν η μεταβλητή t δεν μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή, αλλά μόνο συγκεκριμένες διακριτές τιμές. Οι τιμές αυτές συνήθως ισαπέχουν και η μεταξύ τους απόσταση ονομάζεται χρόνος ή περίοδος δειγματοληψίας.
- **Σήμα συνεχούς πλάτους**
Είναι το σήμα όπου το $x(t)$ μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή μέσα από το πεδίο τιμών.
- **Σήμα διακριτού πλάτους ή κβαντισμένο σήμα**
Το $x(t)$ μπορεί να λάβει μόνο συγκεκριμένες, ισαπέχουσες τιμές μέσα από το πεδίο τιμών, οι οποίες ονομάζονται στάθμες.
- **Αναλογικό σήμα**
Ονομάζεται ένα σήμα συνεχούς χρόνου και πλάτους.
- **Ψηφιακό σήμα**
Είναι ένα κβαντισμένο σήμα, διακριτού χρόνου. Μια ειδική περίπτωση ψηφιακού σήματος, είναι το δυαδικό σήμα, το οποίο μπορεί να λάβει μόνο δύο τιμές, την 0 και 1, που αντιστοιχούν στο λογικό ψευδές και αληθές. Τα ψηφιακά σήματα, σε αντίθεση με τα αναλογικά, δεν συναντώνται στην φύση, αλλά προκύπτουν λόγω της ψηφιοποίησης των φυσικών σημάτων, από ψηφιακές ηλεκτρονικές διατάξεις.
- **Περιοδικά, μη περιοδικά και ημιτονικά σήματα**

2.3 Συνάρτηση μεταφοράς

Όταν ένα σήμα μεταδίδεται ή όταν ένας αισθητήρας παράγει ένα σήμα, η μορφή του είναι αναλογική. Αυτό συμβαίνει διότι η έξοδος της συσκευής μέτρησης μεταβάλλεται συναρτησίως της μεταβολής του φυσικού συστήματος όπως περιγράφουν οι εξισώσεις της φυσικής. Για παράδειγμα, ένα αισθητήρας θερμοκρασίας μεταβάλλει την τάση στην έξοδο του, καθώς η μετρούμενη θερμότητα μεταβάλλει την ωμική αντίσταση ενός αγωγού διαρεώμενου από σταθερό ρεύμα, σύμφωνα με την σχέση:

$$V_{(T)} = \frac{I}{R_{ref} \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_{ref})]} \quad (0.1)$$

Η οποία προκύπτει από τον συνδυασμό του νόμου του Ohm και της σχέσης ωμικής αντίστασης και θερμοκρασίας.

$$V = \frac{I}{R} \quad (0.2)$$

$$R_{(T)} = R_{ref} \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_{ref})] \quad (0.3)$$

Όπου:

R_{ref} η αντίσταση αναφοράς, δηλαδή η αντίσταση που παρουσιάζει το κάθε υλικό συγκεκριμένων διαστάσεων, σε θερμοκρασία αναφοράς T_{ref}

α ο συντελεστής αγωγιμότητας του υλικού

T_{ref} η θερμοκρασία αναφοράς. Ισούται με 20 °C

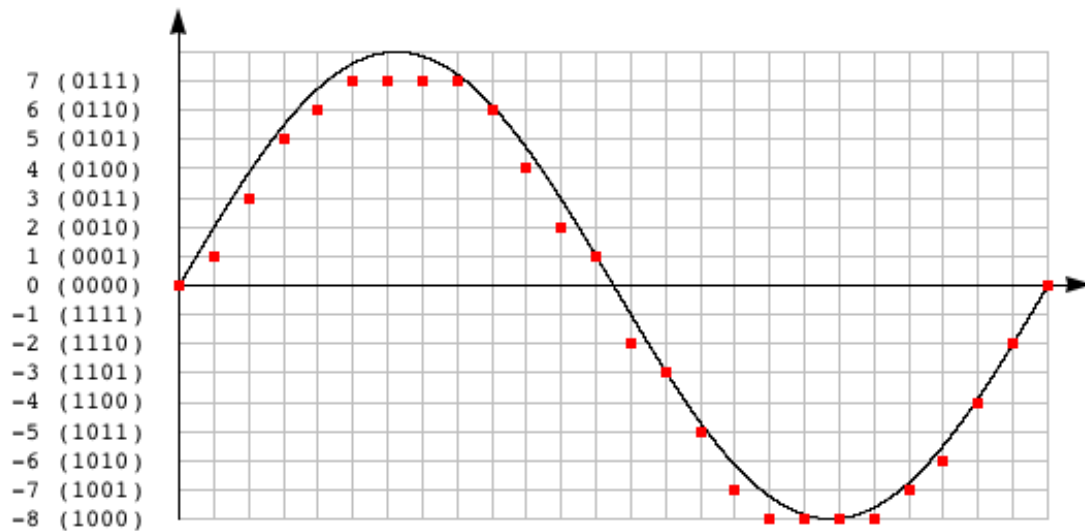
Στο σημείο αυτό, αξίζει να παρατηρήσουμε δυο πράγματα:

Πρώτον, η θερμοκρασία, ως φυσικό μέγεθος μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή. Άρα, σύμφωνα με την σχέση, οιαδήποτε τιμή μπορεί να πάρει και η παραγόμενη τάση. Πρόκειται λοιπόν για ένα αναλογικό σήμα, το οποίο για να γίνει επεξεργάσιμο από μια υπολογιστική συσκευή πρέπει να μετατραπεί σε ψηφιακό.

Δεύτερον, αφού σκοπός είναι να μετρήσουμε θερμοκρασία, η τάση πρέπει να μεταφραστεί σε θερμοκρασία. Αυτό θα μπορούσε να γίνει λύνοντας την παραπάνω σχέση ως προς T . Παρ' όλα αυτά η διαδικασία είναι πιο σύνθετη, αφού πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και άλλα χαρακτηριστικά του αισθητήρα (π.χ. ενίσχυση σήματος, ολίσθηση, κτλ). Εν πάση περιπτώσει, καταλήγουμε σε μια συνάρτηση $T = f(V)$, η οποία συσχετίζει την μετρούμενη ποσότητα, με την παραγόμενη έξοδο, και ονομάζεται *συνάρτηση μεταφοράς*, η οποία αποτελεί είτε κατασκευαστικό χαρακτηριστικό της συσκευής μέτρησης είτε αποτέλεσμα της διαδικασίας βαθμονόμησης.

2.4. Analog to Digital converter

Ένας ADC στην ουσία μετατρέπει ένα σήμα συνεχούς χρόνου και πλάτους, σε σήμα διακριτού χρόνου και πλάτους. Η πρώτη μετατροπή επιτυγχάνεται κάνοντας δειγματοληψία σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, ενώ η μετατροπή πλάτους επιτυγχάνεται, αντιστοιχίζοντας κάθε μετρούμενη αναλογική τιμή στην πλησιέστερη προϋπάρχουσα ψηφιακή τιμή. Η τιμές αυτές ονομάζονται στάθμες και είναι πεπερασμένες. Το πλήθος τους εξαρτάται από την ανάλυση του μετατροπέα που είναι κατασκευαστικό του χαρακτηριστικό. Στο Σχ. 6 παρουσιάζεται η ψηφιοποίηση ενός αναλογικού σήματος.



Σχήμα 4: Ψηφιοποίηση αναλογικού σήματος (συνεχής γραμμή) σε ψηφιακό από ADC 4 bit. Η αποτύπωση των αρνητικών τιμών γίνεται με τη μέθοδο συμπλήρωσης 2

Βασικά χαρακτηριστικά μιας συσκευής ADC είναι τα παρακάτω:

- *Συχνότητα δειγματοληψίας (Sampling rate)*
Είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ δυο μετρήσεων. Στα τεχνικά χαρακτηριστικά, η τιμή αυτή ορίζεται συνήθως σε Hz (Hertz) και αποτελεί των αριθμό των δειγματοληψιών που κάνει η συσκευή σε χρόνο ενός δευτερολέπτου (sec).

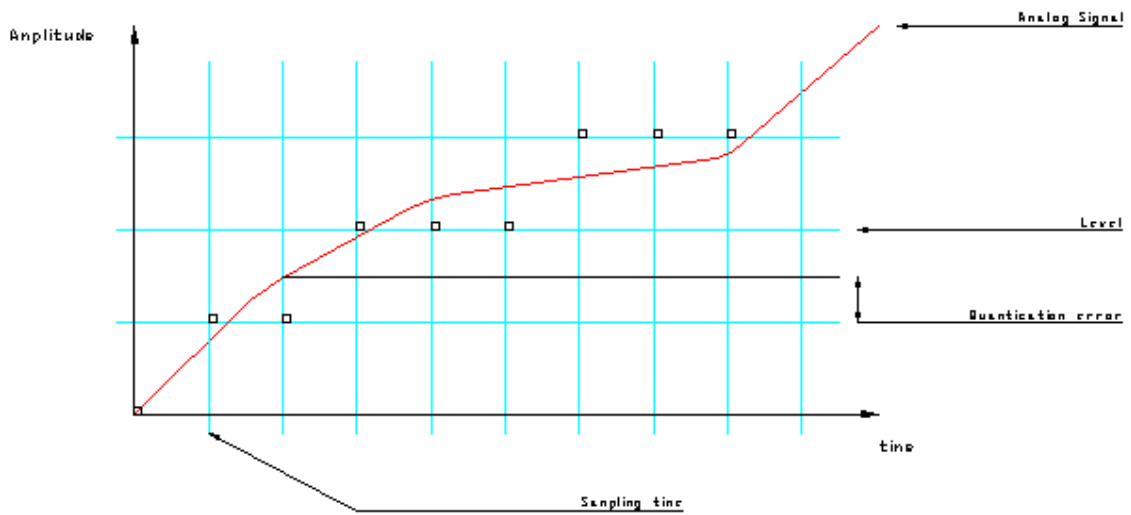
$$Hz = \frac{1}{\text{sec}} \quad (0.4)$$

Οι σύγχρονοι μετατροπείς λειτουργούν στις τάξεις των MHz έως GHz. Αυτό σημαίνει ότι ένας ADC με ταχύτητα x MHz μπορεί να κάνει x εκατομμύρια δειγματοληψίες σε χρόνο ενός δευτερολέπτου.

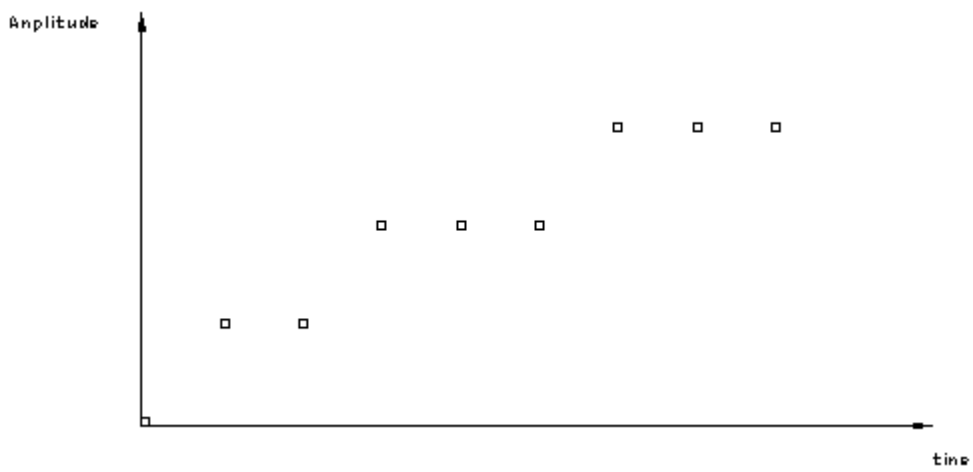
- **Ανάλυση (Resolution)**
Είναι ο αριθμός των σταθμών στις οποίες μπορεί να αντιστοιχήσει μετρούμενες αναλογικές τιμές ο μετατροπέας. Μετριέται σε bit. Ο αριθμός αυτός αποτελεί το μήκος της ψηφιολέξης, δηλαδή την αλληλουχία των λογικών ψηφίων με τα οποία ορίζεται η στάθμη. Για n bits οι δυνατοί συνδυασμοί είναι 2^n .
- **Ακρίβεια ή διακριτική ικανότητα**
Η ακρίβεια ενός ADC ορίζεται από την δυνατότητά του να διακρίνει και να αντιστοιχήσει σε διαφορετική στάθμη την όσο δυνατόν μικρότερη μεταβολή της εισερχόμενης τάσης. Η διακριτική ικανότητα εξαρτάται από την ανάλυση του οργάνου καθώς και από το εύρος των τάσεων (από V_{min} έως V_{max}) που είναι κατασκευασμένο να λειτουργεί, όπως φαίνεται από στην σχέση 0.5.

$$\Delta = \frac{V_{max} - V_{min}}{2^n} \quad (0.5)$$

- **Σφάλμα κβάντησης**
Το σφάλμα που προκύπτει από την ανεπαρκή ακρίβεια του μετατροπέα ονομάζεται σφάλμα κβάντησης (quantization error). Επί της ουσίας, πρόκειται για σφάλμα στρογγυλοποίησης, το οποίο προκύπτει από την διαδικασία αντιστοίχισης της κάθε τιμής εισόδου, στην πλησιέστερη τιμή εξόδου. Προφανώς, το σφάλμα αυτό δεν μπορεί να αποκλειστεί τελείως, αφού η διαδικασία περιγράφεται από μια συνάρτηση πολλών προς λίγα, μπορεί όμως να περιοριστεί εάν ο μηχανικός φροντίσει ώστε οι συσκευές μέτρησης και ψηφιοποίησης έχουν κοινά εύρη λειτουργίας. Στα σχήματα 7 και 8 φαίνεται η διαδικασία ψηφιοποίησης και το αποτέλεσμα που προκύπτει μετά το σφάλμα κβαντισμού.



Σχήμα 5: Κβάντηση ψηφιακού σήματος



Σχήμα 6: Παραγόμενες στάθμες