



**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ Τ.Ε.
ΑΤΕΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**



Ανάπτυξη πρωτότυπης πλακέτας μικροελεγκτή κλιβάνου

Development of a prototype microcontroller board for reflow ovens

Τσελεπής Στέφανος

Επιβλέπων καθηγητής: Μιχαήλ Κιζήρογλου

ΔΗΛΩΣΗ ΦΟΙΤΗΤΗ στο εσώφυλλο (copyright notice)

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία και τα συμπεράσματά της, σε οποιαδήποτε μορφή, αποτελούν συνιδιοκτησία του Τμήματος Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε. του Αλεξάνδρειου ΤΕΙ Θεσσαλονίκης και του φοιτητή. Οι προαναφερόμενοι διατηρούν το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής (τμηματικά ή συνολικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να αναφέρεται ο τίτλος, ο συγγραφέας, ο επιβλέπων και το τμήμα του ΑΤΕΙΘ.

Η έγκριση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε. δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Ο υπογεγραμμένος δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα Πτυχιακή Εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και συγγράφηκε ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε.

Δηλώνω υπεύθυνα ότι κατά τη συγγραφή ακολούθησα την πρέπουσα ακαδημαϊκή δεοντολογία αποφυγής λογοκλοπής και έχω αποφύγει οποιαδήποτε ενέργεια που συνιστά παράπτωμα λογοκλοπής.

(Όνομα, Υπογραφή, Ημερομηνία)

Abstract

In this final project, a methodology is developed for converting a normal convection oven to an oven capable to follow thermal profiles with accuracy suitable for reflowing Printed Circuit Boards. The system includes an integrated human-machine interface (HMI) with touch screen LCD and supports further monitoring from a computer. The reflow profile generation is also integrated to the same computer program which includes some extra minor features like compliance check.

Major PCB manufacturing companies such as LPKF and BUNGARD offer industrial grade reflow ovens. However, commercial models are often expensive and not customized to the requirements of specific projects. The objective of the system here is to achieve a home-made implementation that is affordable to education level projects, while maintaining an industrial level reflow quality. In addition, an open-source policy for both software and hardware is adopted, in order to achieve a universally applicable and configurable fabrication methodology. The key on this project is that the profile can carry data about live PID gain change, a method which can reduce overshoot and deal with nonlinear problems in any oven without compromising the speed or other phases of the profile.

Περίληψη

Θέμα της πτυχιακής είναι η κατασκευή ενός θερμοθάλαμου ο οποίος θα είναι ικανός να εφαρμόσει πιστά μια καμπύλη θερμοκρασίας πάνω σε μία ηλεκτρονική πλακέτα για την κόλληση εξαρτημάτων πάνω σε αυτήν. Στην αγορά υπάρχουν επαγγελματικά μηχανήματα όμως το κόστος τους είναι απαγορευτικό για μικρές παραγωγές ενώ παράλληλα οι φτηνές απομιμήσεις τους εμφανίζουν σημαντικές τεχνικές ελλείψεις. Ο βασικός στόχος της πτυχιακής είναι η δημιουργία ενός παρόμοιου προϊόντος με πολύ χαμηλότερο κόστος απ' τα επαγγελματικά το οποίο όμως θα λειτουργεί ικανοποιητικά για μικρές παραγωγές και προτυποποίηση. Για την επίτευξη του στόχου ο ελεγκτής βασίστηκε στην πλήρη παραμετροποίηση του συστήματος δίνοντας στον χρήστη την δυνατότητα να σχεδιάσει την καμπύλη που χρειάζεται. Επίσης ακολουθήθηκε πολιτική Ανοιχτού Κώδικα για να είναι διαθέσιμο σε όλο τον κόσμο. Το κλειδί στην λειτουργία του είναι η δυνατότητα της καμπύλης να φέρει πληροφορίες σχετικά με αλλαγή κερδών του PID κατά την λειτουργία. Αλλάζοντας τα κέρδη κατά την λειτουργία μπορούν να διορθωθούν σφάλματα υπερύψωσης χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά η ταχύτητα απόκρισης του συστήματος. Επίσης μπορούν να αντιμετωπιστούν και σφάλματα λόγω μη γραμμικότητας κάνοντας δυνατή την χρήση του ελεγκτή σε οποιοδήποτε φούρνο χωρίς περίπλοκους αλγόριθμους εκμάθησης.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου και επόπτη της πτυχιακής μου εργασίας, κ. **Μιχαήλ Κιζήρογλου** για την συνεχή υποστήριξη του από το πρώτο έτος των σπουδών μου. Η πρόσβαση σε ευαίσθητο εργαστηριακό εξοπλισμό μου έδωσε την δυνατότητα να αυξήσω σημαντικά το επίπεδο γνώσεων μου έτσι ώστε να μπορώ πλέον να σχεδιάσω εξ' ολοκλήρου ένα προϊόν. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω και τον κ. **Χρήστο Υφούλη** για τις συμβουλές του σχετικά με Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου και την καθοδήγηση για επέκταση σε νέες μεθόδους ελέγχου.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον καλό μου φίλο και μηχανικό **Μάνο Μαραγκάκη** ο οποίος με βοήθησε πολύ στην εκμάθηση του Altium Designer.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους **γονείς μου** για την ουσιαστική υποστήριξη που μου προσέφεραν και που γαλούχησαν τον τρόπο σκέψης μου. Και ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ που μου επέτρεψαν να μετατρέψω το δωμάτιό μου σε εργαστήριο.

Πίνακας περιεχομένων

Abstract	3
Περίληψη	4
Ευχαριστίες	5
Επεξήγηση ακρωνύμων	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	8
1.0 Η βάση: PCB	8
1.1 Τοποθέτηση: THT – SMT – COB – COF – COG	9
1.2 Υλικά κόλλησης: Solder – Flux	10
1.3 Μέθοδοι κόλλησης: Reflow – Wave – Laser	11
Κεφάλαιο 2: Σχεδιαστικές προδιαγραφές	13
2.1 Προδιαγραφές και στόχοι που έχουν τεθεί	13
2.2 Βήματα ανάπτυξης του συστήματος	14
Κεφάλαιο 3: Περιγραφή υλικού	15
3.1: Κλίβανος	15
3.2: Καλωδίωση	15
3.3: Ηλεκτρονικά ισχύος στο εσωτερικό του κλιβάνου	15
3.4 Πλακέτα μικροελεγκτή	16
Κεφάλαιο 4: Περιγραφή λογισμικού	19
4.1 Πλατφόρμα GitHub	19
4.2 Πρόγραμμα μικροελεγκτή	19
4.3 Πρόγραμμα οθόνης	20
4.4 Προγράμματα υπολογιστή	22
Κεφάλαιο 6: Ματιά στο μέλλον: προτάσεις βελτίωσης.	23
6.1 Βελτίωση ποιότητας κατασκευής	28
6.1 Βελτίωση κόστους κατασκευής	28
6.3 Βελτίωση ελέγχου	28

Επεξήγηση ακρωνύμων

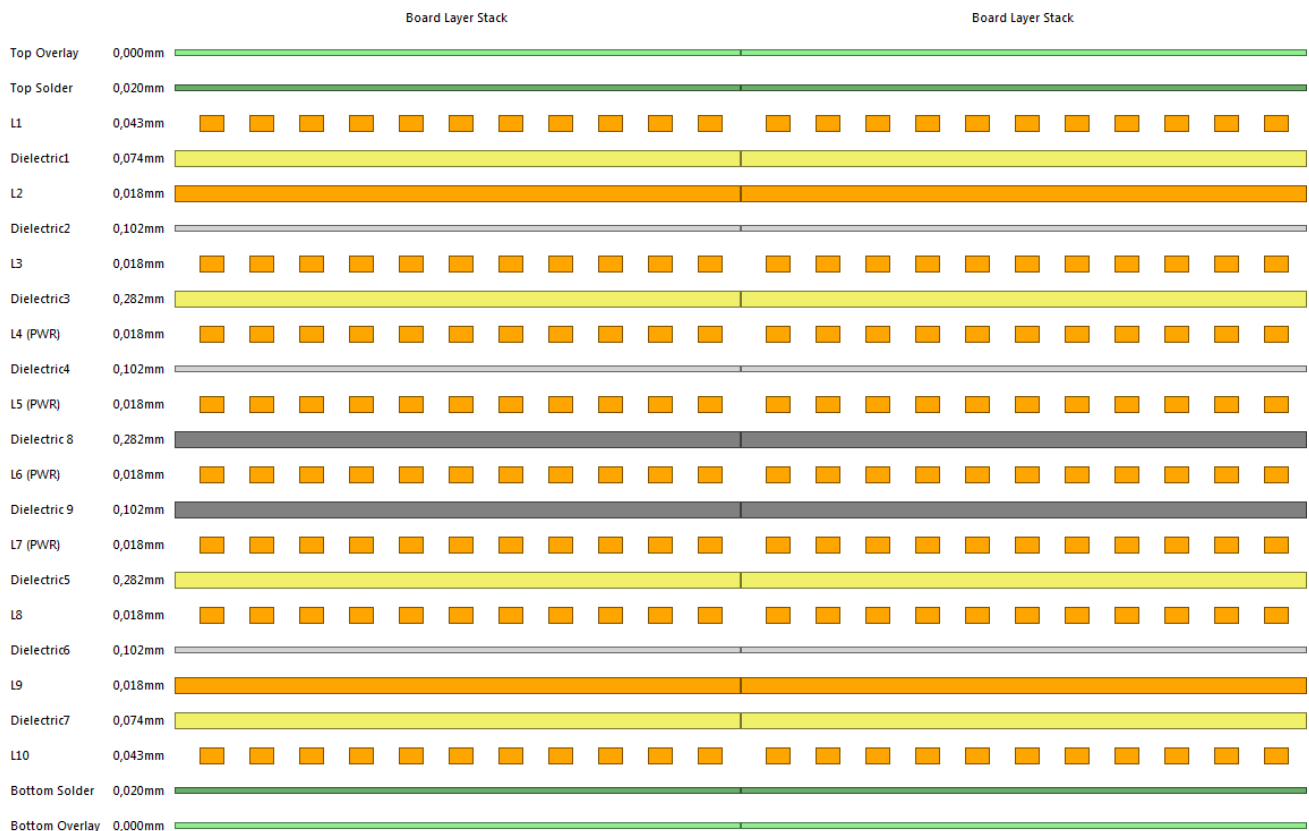
PCB:	Prototype Circuit Board
THT:	Through hole technology
SMT:	Surface mount technology
COB:	Chip on board
COF:	Chip on flex
COG:	Chip on glass
Die:	Πλάκα ημιαγωγών στοιχείων
Pad:	Η υποδοχή ακίδας σε pcb
Pin:	Αγωγή ακίδα εξαρτήματος
Footprint:	Το ίχνος των pad που χρειάζεται ένα εξάρτημα
PB Free:	Without lead
IPC:	Association Connecting Electronics Industries
BGA:	Ball grid array
No Lead:	Χωρίς εμφανή pin κατά την τοποθέτηση
UART:	Universal asynchronous receiver/transmitter
SD:	Secure Digital
Git:	Version control system
ARM:	Advanced RISC Machine
CSV:	Comma separated values
PNG:	Portable Network Graphics
JPEG:	Joint Photographic Experts Group
BMP:	Bitmap
PID:	Proportional Integral Derivative

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται η τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί με το πέρασμα του χρόνου σχετικά με τις κολλήσεις εξαρτημάτων, η εξέλιξη στα 'πακέτα' στα οποία προστατεύονται οι ημιαγωγοί, τα ολοκληρωμένα κυκλώματα από το περιβάλλον και η τελευταία λέξη της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται σήμερα σε ένα εργοστάσιο συναρμολόγησης.

1.0 Η βάση: PCB

Το PCB είναι η βάση στην οποία τοποθετούνται όλα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Διαθέτει από 1 ως 20 αγώγιμες στρώσεις χαλκού μονωμένες μεταξύ τους, οι οποίες σχηματίζουν τις ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων. Τόσο η σχεδίαση όσο και η κατασκευή του PCB μεταβάλλουν τα φυσικά χαρακτηριστικά της πλακέτας, μερικά εκ' των οποίων είναι το μέγεθος, η θερμοχωρητικότητα, ο τύπος στήριξης και η θέση των εξαρτημάτων, τα οποία επηρεάζουν σημαντικά την διαδικασία συναρμολόγησης.

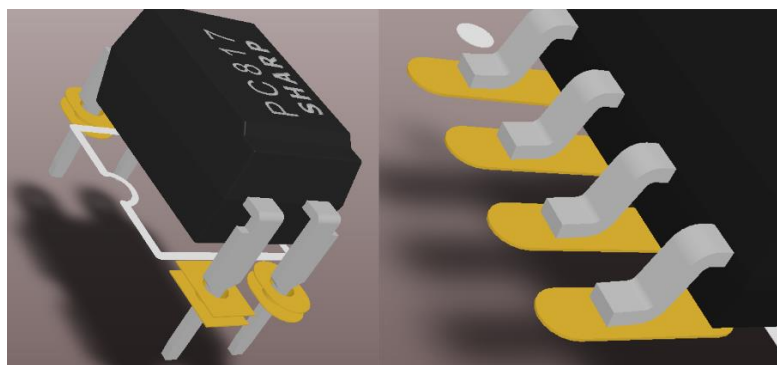


Σχήμα 1: Παράδειγμα ενός Stackup στρώσεων σε PCB

1.1 Τοποθέτηση: THT – SMT – COB – COF – COG

Παρακάτω εξετάζουμε τις διάφορες τεχνικές οι οποίες έχουν αναπτυχθεί με την πάροδο του χρόνου για την τοποθέτηση εξαρτημάτων επάνω στην πλακέτα. Οι τεχνικές χωρίζονται σε 3 κατηγορίες με βάση τις διαφορές α) στην επιφάνεια την οποία καταλαμβάνει το εξάρτημα πάνω στην πλακέτα β) στην δυσκολία εφαρμογής γ) στο κόστος εφαρμογής.

- **THT:** Η πλάκα πυριτίου (Die) του εξαρτήματος είναι επικαλυμμένη με μονωτικό υλικό για μηχανική προστασία και οι επαφές της βγαίνουν έξω απ' το περίβλημα με την μορφή ακίδων διαμορφωμένες έτσι ώστε να είναι κάθετες με την πλακέτα κατά την συναρμολόγηση. Στην πλακέτα το Pad είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε κάθε ακίδα να διέρχεται σε μια επιμεταλλωμένη οπή εκθέτοντας και περιμετρικά της ένα μικρό περίγραμμα αγωγού. Η συναρμολόγηση μπορεί να γίνει πολύ εύκολα από ανθρώπινο χέρι, όμως το κόστος μεταφοράς/αποθήκευσης των εξαρτημάτων είναι αρκετά μεγάλο σε σχέση με τις παρακάτω τεχνικές, λόγω του μεγάλου όγκου και βάρους.
- **SMT:** Και σε αυτά τα πακέτα το die είναι προστατευμένο, όμως οι επαφές του βγαίνουν έξω απ' το περίβλημα με την μορφή ακίδων διαμορφωμένες έτσι ώστε να είναι παράλληλες με την πλακέτα κατά την συναρμολόγηση. Το Pad είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε κάθε ακίδα να εφάπτεται σε ένα κομμάτι αγωγού εκθέτοντας και περιμετρικά ένα μικρό περίγραμμα αγωγού. Η συναρμολόγηση απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό όμως η ευκολία στην συναρμολόγηση από εργαλειομηχανές σε συνδυασμό με το μικρό μέγεθος/βάρος των εξαρτημάτων έχει καταστήσει αυτήν την μέθοδο ως η βασική πλέον για τη στήριξη εξαρτημάτων.
- **COB – COF – COG:** Η τεχνική είναι υποκατηγορία της SMT με σημαντική διαφορά το ότι δεν υπάρχει πλέον το προστατευτικό περίβλημα στο Die με αποτέλεσμα τα μεγέθη να είναι πολύ μικρότερα, τα υλικά πιο εύθραυστα και η συναρμολόγηση γίνεται αποκλειστικά με εργαλειομηχανές. Μια τεχνική που βρίσκει εφαρμογή σε παραγωγή χιλιάδων τεμαχίων λόγω του χαμηλού κόστους θυσιάζοντας όμως την δυνατότητα επισκευής του προϊόντος.



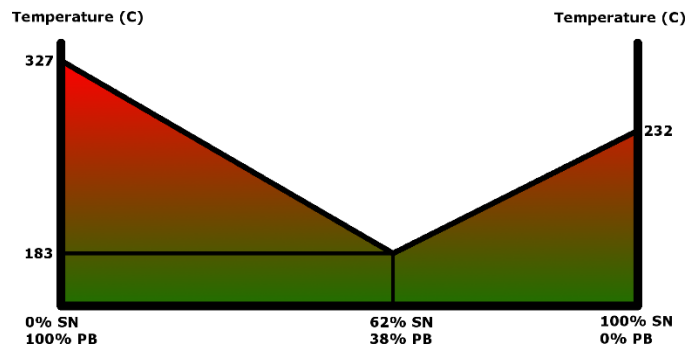
Σχήμα 2: Αριστερά τοποθέτηση THT, Δεξιά τοποθέτηση SMT



Σχήμα 3: Αριστερά κόλληση THT, Δεξιά κόλληση SMT

1.2 Υλικά κόλλησης: Solder – Flux

Για να πραγματοποιηθεί η κόλληση ανάμεσα σε ένα pin και στο pad, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός τρίτου μετάλλου με σχετικά χαμηλό σημείο τήξης έτσι ώστε να μην καταστρέφεται το εξάρτημα κατά την διαδικασία και να αντέχει στις μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας των εξαρτημάτων. Στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν ένα κράμα κασσίτερου με μόλυβδο, αλλά πλέον χρησιμοποιούνται διάφορα κράματα χωρίς μόλυβδο (PB Free), φιλικά προς το περιβάλλον τα οποία έχουν υψηλότερη θερμοκρασία τήξεως.



Σχήμα 4: Σημείο τήξης κόλλησης ανάλογα με την περιεκτικότητα κασσίτερου - μόλυβδου

Το υλικό κόλλησης το συναντάμε σε 2 μορφές:

- **Σύρμα:** Σε αυτήν την μορφή χρησιμοποιείται για χειρωνακτική συγκόλληση. Κατά την διαδικασία θερμαίνουμε τοπικά το σημείο εφαρμογής και τροφοδοτούμε με κράμα κόλλησης.
- **Πάστα:** Οι αυτοματοποιημένες γραμμές συναρμολόγησης χρησιμοποιούν αποκλειστικά αυτήν την μορφή αλλά την συναντάμε και σε χειρωνακτικές μεθόδους για αυτό και είναι εξίσου διαδεδομένη στο εμπόριο.

Η πάστα σε αντίθεση με το σύρμα πρέπει να τοποθετηθεί πριν το εξάρτημα και να καλύψει ένα συγκεκριμένο σημείο στο Pad, για να γίνει η κόλληση σύμφωνα με τα IPC Standard.

Όπως κάθε συγκόλληση μεταξύ μετάλλων έτσι και στα ηλεκτρονικά πρέπει να χρησιμοποιηθούν κάποια μείγματα χημικών. Αυτά αποτρέπουν την οξείδωση κατά την διαδικασία, βοηθούν στο να εμφανιστούν και άλλα χαρακτηριστικά όπως καλή αγωγιμότητα και συγκεκριμένη γεωμετρία, τα οποία επίσης καθορίζονται από το IPC. Τα μείγματα που χρησιμοποιούνται ονομάζονται Flux και διαφέρουν ανάλογα με το κράμα κόλλησης. Τα καλής ποιότητας κράματα με την μορφή σύρματος περιέχουν ήδη Flux στον πυρήνα τους αλλά συχνά χρειάζεται περισσότερο. Αντίθεση η πάστα αποτελείται από μικρά σφαιρίδια κράματος και αποκτά αυτή την μορφή λόγω του Flux.

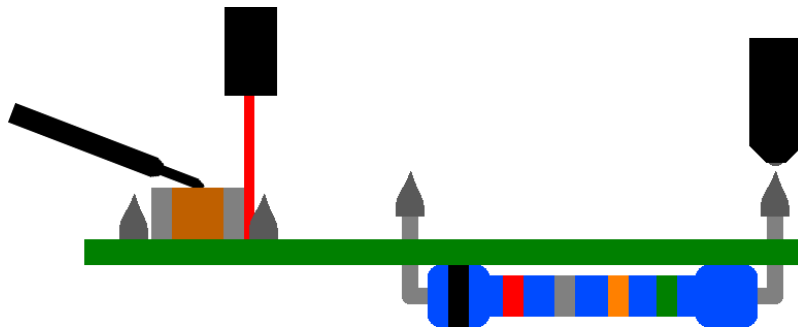


Σχήμα 5: Τοποθέτηση πάστας – Πάστα σε μεγέθυνση – Κόλληση με την χρήση σύρματος.

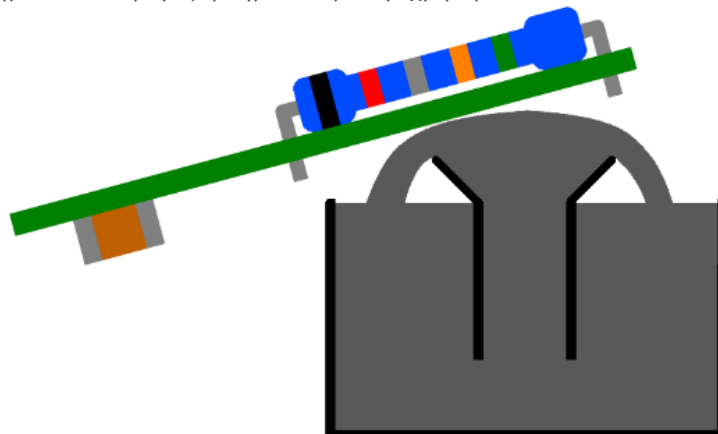
1.3 Μέθοδοι κόλλησης: Reflow – Wave – Laser

Οι τρόποι κόλλησης που εφαρμόζονται στις αυτόματες μονάδες παραγωγής είναι τρεις και τους συναντάμε είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων.

- **Wave Soldering:** Είναι η πρώτη αυτοματοποιημένη διαδικασία συγκόλλησης που χρησιμοποιήθηκε. Είναι σχεδιασμένη για μεγάλη σε αριθμό παραγωγή αλλά η χρήση της έχει εξασθενήσει διότι χρειάζεται πολύ προσεγμένη τοποθέτηση των εξαρτημάτων. Επίσης δεν εφαρμόζεται σε πακέτα με επαφές που δεν προεξέχουν (BGA, No Lead) και σε πακέτα με πολύ πυκνά pin. Σε αυτήν την μέθοδο όλα τα εξαρτήματα στερεοποιούνται πάνω στην πλακέτα με κόλλα και στην συνέχεια η πλακέτα περνάει από έναν «καταρράκτη» λιωμένων μετάλλων. Έτσι γίνεται η συγκόλληση μεταξύ επαφών που εφάπτονται ή είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Το μεγάλο κόστος για την δημιουργία του μείγματος, ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την παρακολούθηση συγκεντρώσεων, ο μεγάλος χρόνος προετοιμασίας καθώς και ο περιορισμός στον τύπο εξαρτημάτων, καθιστά αυτήν την μέθοδο μη εφαρμόσιμη για ταχεία προτυποποίηση.
- **Laser:** Είναι μια μέθοδος ιδιαίτερα αποτελεσματική, η οποία όμως επίσης δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε πακέτα χωρίς εμφανείς επαφές. Σε αυτήν την μέθοδο η πάστα κόλλησης τοποθετείται από εργαλειομηχανές και η τοπική αύξηση θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με μια κεφαλή laser. Σημαντικά χαρακτηριστικά σε αυτήν την μέθοδο είναι η δυνατότητα χρήσης εργαλειομηχανών κατά την συγκόλληση και η υψηλή ακρίβεια μιας κεφαλής laser. Έτσι έχουμε την δυνατότητα της απευθείας συγκόλλησης ημιαγωγών πάνω στην πλακέτα, χωρίς την ύπαρξη τυποποιημένων πακέτων και της συγκόλλησης σε πλακέτα από διαφορετικό υλικό (πχ γυαλί)



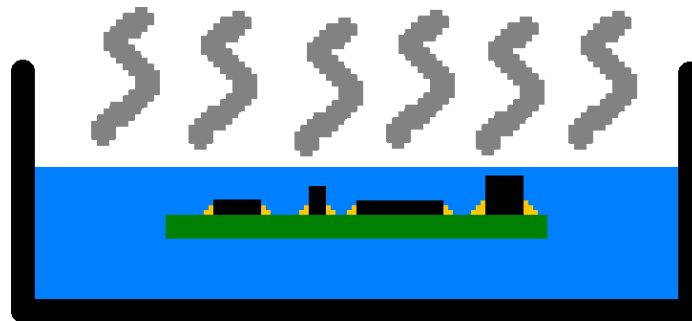
Σχήμα 6: Κόλληση εξαρτημάτων με την χρήση laser



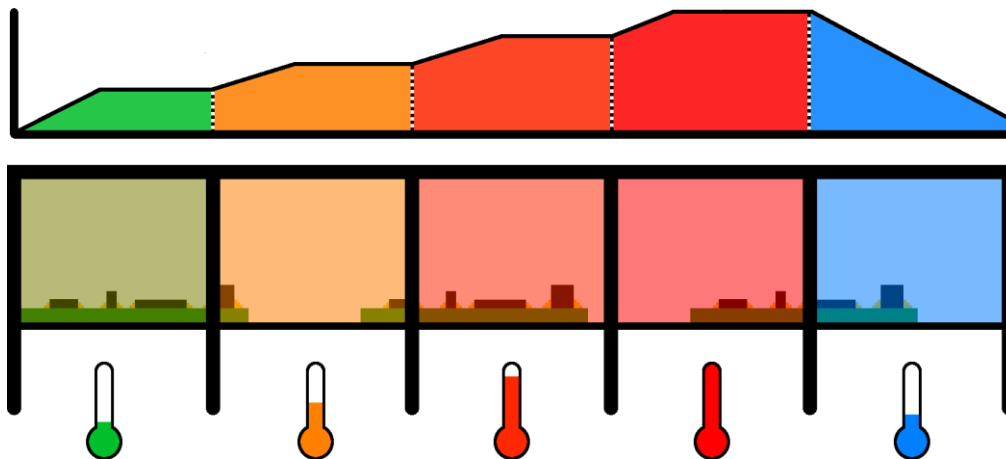
Σχήμα 7: Κόλληση εξαρτημάτων με την χρήση wave soldering

- **Reflow Soldering:** Αυτή είναι η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πτυχιακή εργασία και μπορεί να εφαρμοστεί για κάθε πακέτο και υλικό το οποίο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να αντέχει θερμοκρασίες συγκόλλησης στο περίβλημά του. Ευπαθή εξαρτήματα, όπως πλαστικοί συνδετήρες, συναρμολογούνται στην συνέχεια με άλλη τεχνική. Στο Reflow τοποθετούμε πάστα κόλλησης ανάμεσα στα Pad και στα pin και θερμαίνουμε τον χώρο στον οποίο βρίσκεται η πλακέτα με αποτέλεσμα να γίνει η συγκόλληση. Υπάρχουν δύο είδη φούρνων που επιτυγχάνουν αυτόν τον σκοπό και χρησιμοποιούνται από μονάδες συναρμολόγησης.

1. **Vapour Phase:** Σε αυτό το είδους φούρνου υπάρχει ένα δοχείο με υγρό. Η πλακέτα τοποθετείται μέσα στο δοχείο και το υγρό θερμαίνεται μέχρι το σημείο τήξης το οποίο είναι ίσο με την θερμοκρασία συγκόλλησης.
Το θετικό αυτής της μεθόδου είναι πως η κόλληση δεν οξειδώνεται επειδή δεν υπάρχει οξυγόνο και δεν υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης της πλακέτας διότι σε υψηλότερες θερμοκρασίες το υγρό μετατρέπεται σε αέριο.
2. **Infrared – Convection:** Σε αυτό το είδος φούρνου υπάρχουν πολλές ζώνες θερμοκρασιών με σταθερή αλλά διαφορετική θερμοκρασία η καθεμία. Η πλακέτα ταξιδεύει πάνω σε μια ταινία μεταφοράς και εφαρμόζεται πάνω της η θερμοκρασία του εκάστοτε τμήματος. Ανάλογα με το σημείο στο οποίο βρίσκεται η πλακέτα, έχει και την αντίστοιχη θερμοκρασία. Οι θερμοκρασίες και η ταχύτητα της ταινίας εξαρτώνται από τις οδηγίες των κατασκευαστών εξαρτημάτων αλλά και από την πάστα κόλλησης η οποία έχει χρησιμοποιηθεί.



Σχήμα 9: Φούρνος reflow Vapour phase



Σχήμα 8: Φούρνος Reflow Infrared - Convection

Κεφάλαιο 2: Σχεδιαστικές προδιαγραφές

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στους στόχους οι οποίοι έχουν τεθεί καθώς επίσης στα βήματα και τις τεχνικές που έχουν ακολουθηθεί κατά τον σχεδιασμό προκειμένου να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι.

2.1 Προδιαγραφές και στόχοι που έχουν τεθεί

Βασικοί στόχοι:

- Συγκόλληση των εξαρτημάτων πάνω σε FR4 πλακέτα σύμφωνα με τις προδιαγραφές IPC.

Δευτερεύοντες στόχοι:

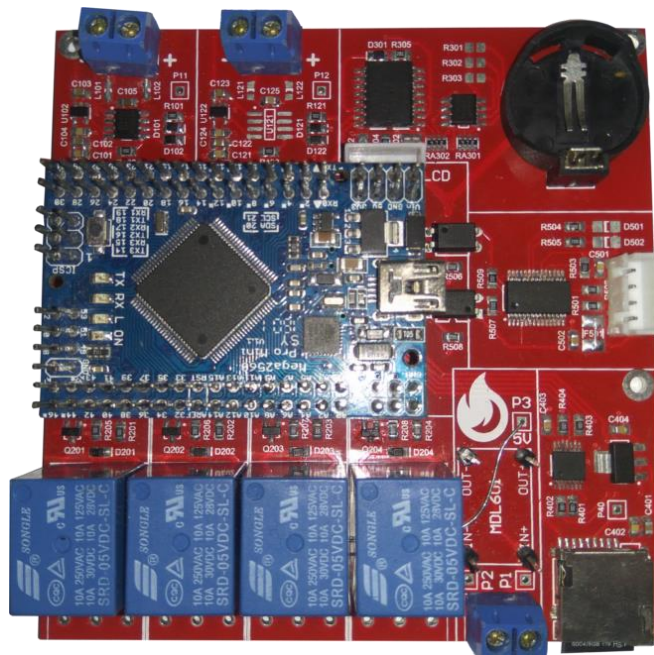
- Ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με παρόμοιας ποιότητας εξοπλισμό ίδιας χρήσης.
- Ευκολία κατασκευής χωρίς την χρήση εξειδικευμένων εργαλειομηχανών.
- Πλήρης παραμετροποίηση του συστήματος από τον χρήστη.
- Λειτουργία χωρίς την ύπαρξη ηλεκτρονικού υπολογιστή.
- Ευπαρουσίαστη εξωτερική εικόνα.



Σχήμα 10: Φούρνος Reflow της Manncorp

2.2 Βήματα ανάπτυξης του συστήματος

1. Μετά από μια σύντομη έρευνα επιλέχθηκε ο τρόπος ανάπτυξης προφίλ και η διασύνδεση με τον χρήστη. Τα βασικά χαρακτηριστικά του software ελέγχθηκαν με την βοήθεια προσομοίωσης.
2. Στην συνέχεια έγινε ο σχεδιασμός της 1^{ης} έκδοσης της πλακέτας η οποία διαθέτει χαρακτηριστικά ταχείας ανάπτυξης για την διευκόλυνση μου στις τροποποιήσεις.
3. Ακολούθησε η 1^η παραγγελία εξαρτημάτων από eBay καθώς και η πλακέτα από την PCBWay. Παράλληλα έγιναν 3 αποτυχημένες δοκιμές σε τροποποιημένους για το σκοπό αυτό φούρνους. Το συμπέρασμα που προέκυψε ήταν ότι έπρεπε να χρησιμοποιήσω πολύ «γρήγορα» θερμαντικά στοιχεία για την επίτευξη των στόχων.
4. Το αρνητικό αποτέλεσμα των δοκιμών σε συνδυασμό με την άφιξη των εξαρτημάτων οδήγησε στην αποκλειστική ανάπτυξη του software καθώς είχε ήδη αρχίσει να δείχνει τον όγκο εργασίας που χρειαζόταν.
5. Μετά από μερικούς μήνες ανάπτυξης, με εμφανή σχεδιαστικά προβλήματα στην πλακέτα έγινε επανασχεδιασμός και κατόπιν 2^η παραγγελία pcb και εξαρτημάτων.
6. Έχοντας αποκτήσει πλέον την τελική δομή τους τα προγράμματα και με έναν ελεγκτή που λειτουργεί κατά 80% έγινε η αγορά των εξαρτημάτων και οι κατάλληλες μετατροπές στον φούρνο.
7. Τέλος η ανάπτυξη των προγραμμάτων συνεχίστηκε για να διορθωθούν σφάλματα, να γίνουν μικρές βελτιώσεις, να σχεδιαστεί ένα προφίλ σύμφωνα με τις προδιαγραφές και να γίνει η τελική δοκιμή συγκόλλησης εξαρτημάτων.



Σχήμα 11: 1η έκδοση πλακέτα ελεγκτή

Κεφάλαιο 3: Περιγραφή υλικού

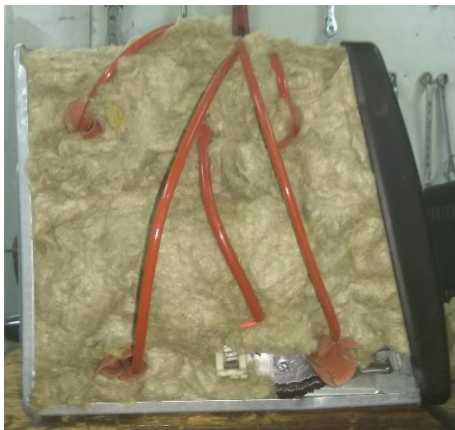
Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε αναλυτικά το υλικό του συστήματος.

3.1: Κλίβανος

Για τον κλίβανο έχει επιλεγθεί ένας απλός φούρνος υπέρυθρων του εμπορίου. Συνήθως είναι ακατάλληλος για χρήση ως κλίβανος Reflow λόγω της χαμηλής ταχύτητας ανάπτυξης θερμοκρασίας και της έλλειψης θερμομόνωσης. Ένας παράγοντας που επηρεάζει όχι μόνο την ταχύτητα ανάπτυξης θερμοκρασίας αλλά και το κόστος κατασκευής είναι το μέγεθος. Σε μεγαλύτερες συσκευές συναντάμε θερμαντικά στοιχεία μεγαλύτερης ισχύος αλλά η καμπύλη θερμοκρασίας παραμένει ίδια λόγω του μεγάλου θαλάμου. Οι παραπάνω παρατηρήσεις οδήγησαν στην επιλογή ενός μικρού σε μέγεθος φούρνου και προστέθηκαν 4 επιπλέον αντιστάσεις χαλαζία των 400W φτάνοντας συνολικά τα 2400w και θερμομόνωση με πετροβάμβακα..

3.2: Καλωδίωση

Η καλωδίωση των αντιστάσεων καθώς και των ηλεκτρονικών γύρω απ' τον κλίβανο και πάνω απ' τον πετροβάμβακα έχει γίνει με καλώδιο σιλικόνης και έχει ενισχυθεί με εξωτερικό μανδύα σιλικόνης και fiber-glass. Επίσης όλες οι συνδέσεις είναι μηχανικές και έχουν χρησιμοποιηθεί οι κατάλληλοι πρεσαριστοί ακροδέκτες.



Σχήμα 12: Μόνωση με πετροβάμβακα

3.3: Ηλεκτρονικά ισχύος στο εσωτερικό του κλιβάνου

Ο έλεγχος ισχύος των θερμαντικών στοιχείων καθώς και ο μετασχηματισμός τάσεων πραγματοποιείται σε θερμομονωμένο εσωτερικό διαμέρισμα του φούρνου. Για την οδήγηση των θερμαντικών στοιχείων έχουν επιλεγθεί δύο **Solid State Relay** τοποθετημένα σε χειροποίητη ψήκτρα. Προσφέρουν γαλβανική απομόνωση απ' το δίκτυο και έχουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σχέση με απλά μηχανικά ρελέ καθώς δεν έχουν μηχανικές επαφές. Επίσης το μοντέλο που επιλέχθηκε προσφέρει και αλλαγή κατάστασης μόνο κατά το **crossover** κάτι το οποίο μας απαλλάσσει από την εκπομπή παράσιτων πίσω στο δίκτυο λόγω αρμονικών. Για την τροφοδοσία του ελεγκτή έχει επιλεγθεί ένα **παλμοτροφοδοτικό** του εμπορίου με μέγιστη ισχύ εξόδου **36W στα 12V**.

3.4 Πλακέτα μικροελεγκτή

Η πλακέτα του μικροελεγκτή έχει σχεδιαστεί με το Altium Designer 17, κατασκευάστηκε στην PCBWay και συναρμολογήθηκε από τον φοιτητή. Ο συγκεκριμένος κατασκευαστής προσφέρει έως 100x100mm με πολύ χαμηλό κόστος. Τα τετραγωνικά που δεν χρειάστηκαν για το ηλεκτρονικό κύκλωμα χρησιμοποιήθηκαν ως τοιχώματα για να δώσουν την μορφή κουτιού στην κατασκευή. Τα χαρακτηριστικά της πλακέτας αναγράφονται παρακάτω σύμφωνα με τους όρους που χρησιμοποιούν οι κατασκευαστές.

Layers: 2

Material: Normal FR4

FR4-TG: TG 130-140

Thickness: 1.6mm

Min Track/Spacing: 6/6mil

Min Hole Size: 0.3mm

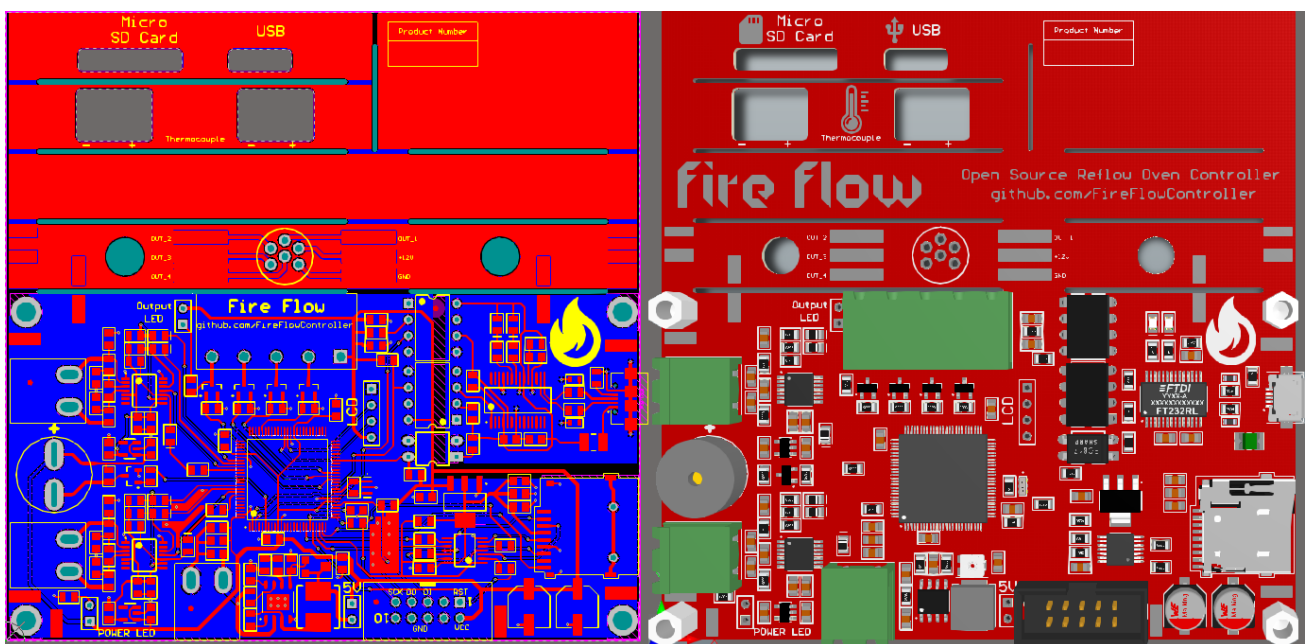
Solder Mask: Red

Silkscreen: White

Surface Finish: HASL with lead

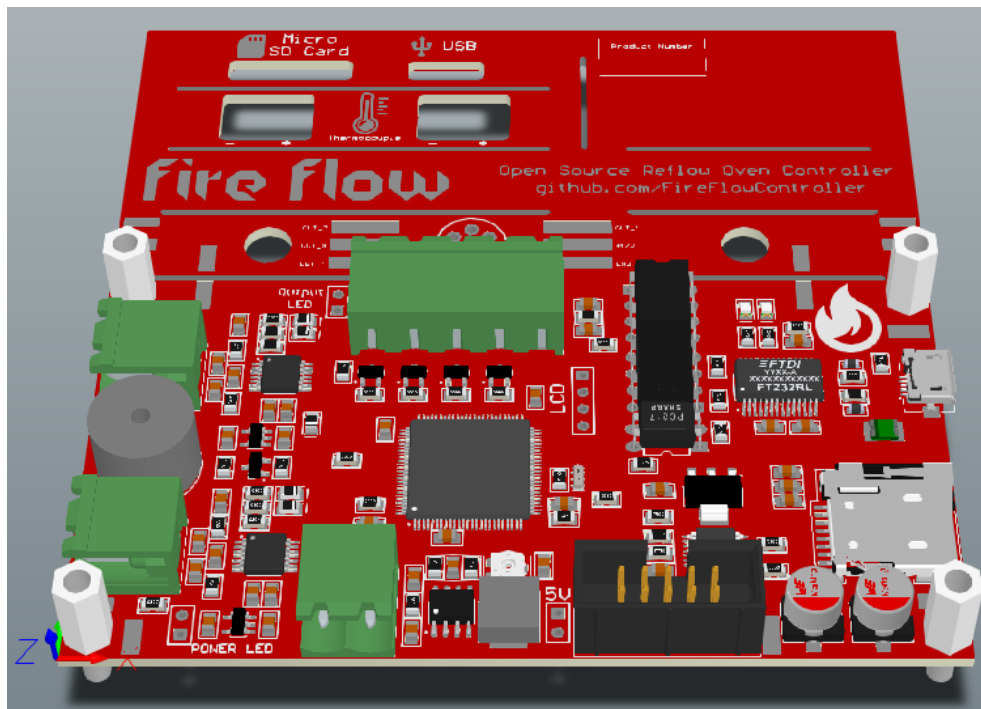
Via Process: Tenting vias

Finished Copper: 1 oz

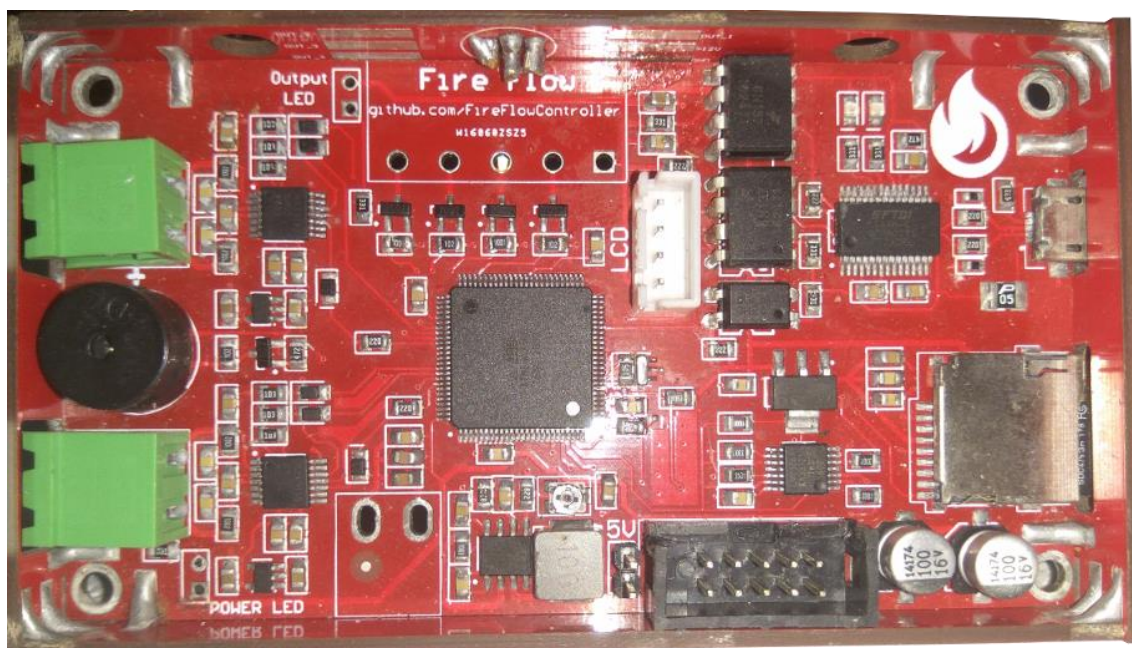


Σχήμα 13: Αριστερά Φωτογραφία κατά την σχεδίαση στο Altium, Δεξιά 3D αναπαράσταση

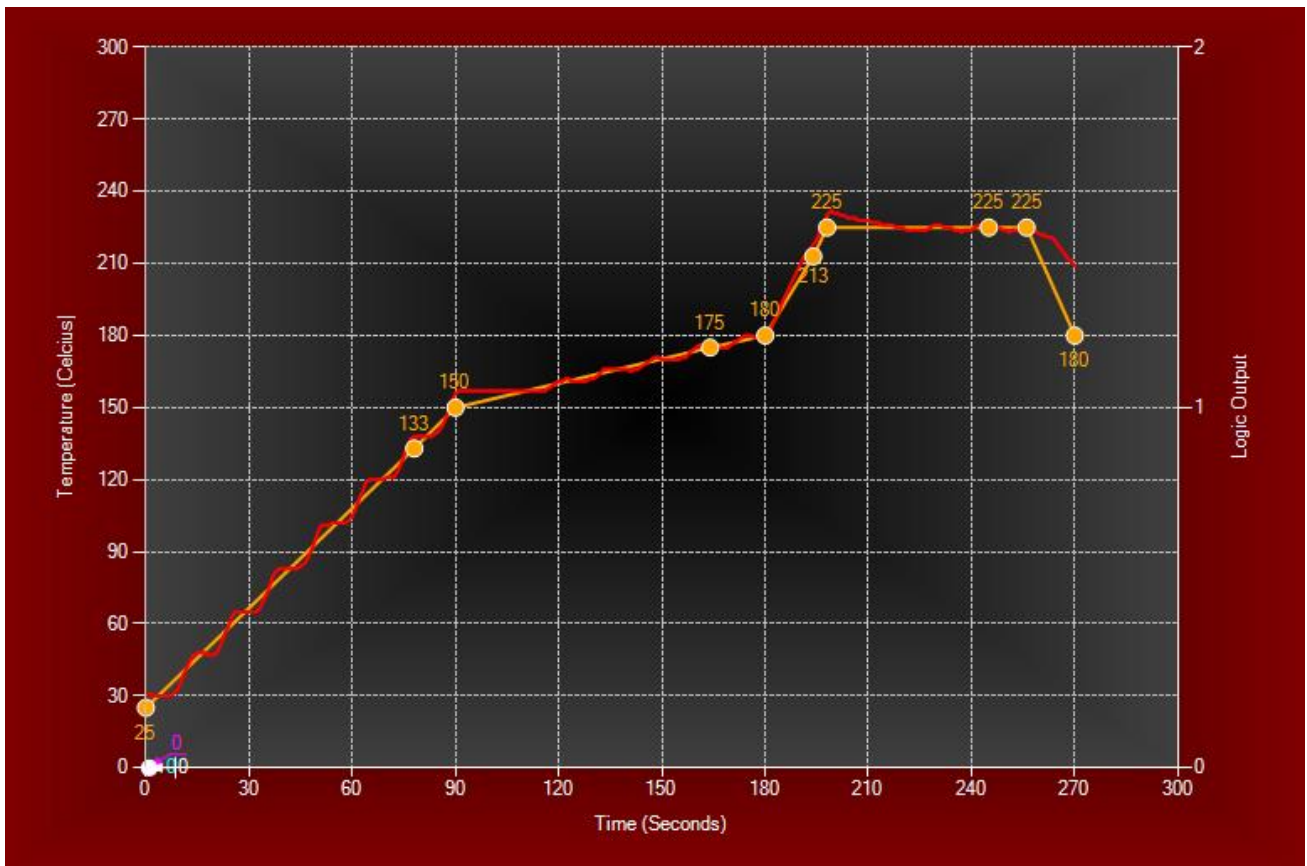
Η πλακέτα αποτελείται από τον κύριο μικροελεγκτή (ATMega2560), έναν buck converter για την υποβάθμιση των 12V σε 5V και επιμέρους γραμμικούς σταθεροποιητές για 3.3V, μια υποδοχή για κάρτα micro SD, γαλβανικά απομονωμένη UART σε USB επικοινωνία, 2 δειγματολήπτες υψηλής ακριβείας για θερμοζεύγος (Max31856), ένα buzzer για ηχητική ειδοποίηση, δύο board to wire κονέκτορες, έναν για προγραμματισμό και έναν για την οθόνη αφής, 4 mosfet για την οδήγηση των ρελέ σταθερής κατάστασης καθώς επίσης και κλέμες βιομηχανικού τύπου για την σύνδεση με τον φούρνο και τα θερμοζεύγη.



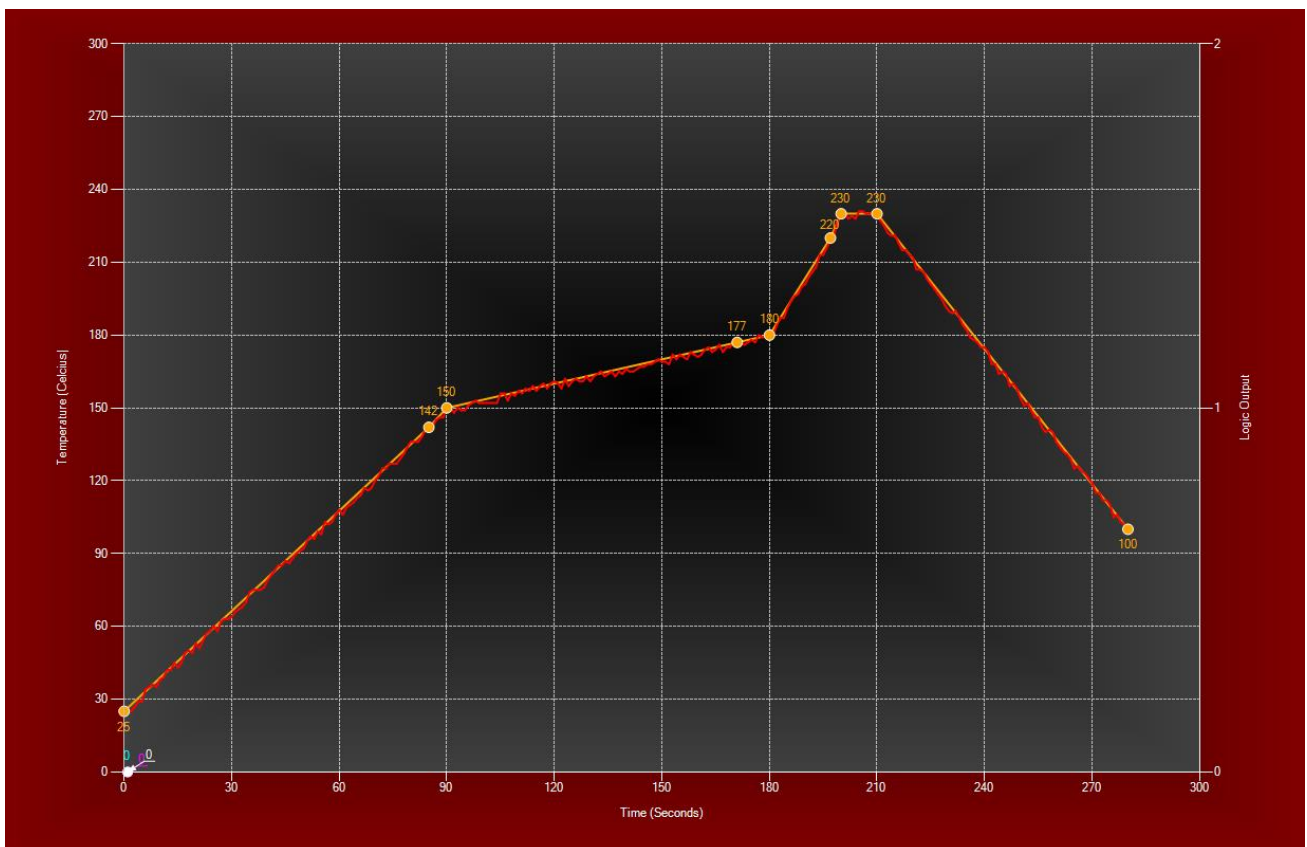
Σχήμα 14: 3D Αναπαράσταση της πλακέτας



Σχήμα 15: 2η έκδοση συναρμολογημένη



Σχήμα 16: Δοκιμή Reflow χωρίς αλλαγή κερδών



Σχήμα 17: Δοκιμή Reflow με αλλαγή κερδών

Κεφάλαιο 4: Περιγραφή λογισμικού

Το λογισμικό αποτελείται από 4 διαφορετικά προγράμματα: του μικροελεγκτή, τις οθόνες, του σχεδιασμού και ελέγχου reflow μέσω υπολογιστή καθώς και ένα απλό πρόγραμμα ελέγχου θερμοκρασίας ξεπερνώντας συνολικά τις 4000 γραμμές κώδικα σε πυκνή γραφή (μη συμπεριλαμβανομένων των έτοιμων βιβλιοθηκών).

4.1 Πλατφόρμα GitHub

Η πλατφόρμα GitHub είναι μια ιστοσελίδα η οποία φιλοξενεί ένα περιβάλλον ανάπτυξης GIT. Το GIT είναι ένα περιβάλλον το οποίο δίνει την δυνατότητα να εργάζονται πολλοί σχεδιαστές σε ένα project κάνοντας χρήση εργαλείων καταγραφής ιστορικού, έξυπνων μεθόδων συγχώνευσης, παρακολούθησης λαθών, δημιουργίας διαφορετικών εκδόσεων καθώς και πολλά ακόμη. Οι ευκολίες που προσφέρει το περιβάλλον GIT είναι ιδανικό για προϊόντα ανοιχτού κώδικα. Το GitHub έχει καθιερωθεί πλέον ως η κύρια online πλατφόρμα φιλοξενίας GIT. Όλα τα προγράμματα, τα σχέδια, οι προσωπικές βιβλιοθήκες, καθώς και οι βιβλιοθήκες από τρίτους μπορούν να βρεθούν στον σύνδεσμο: <https://github.com/FireFlowController>

4.2 Πρόγραμμα μικροελεγκτή

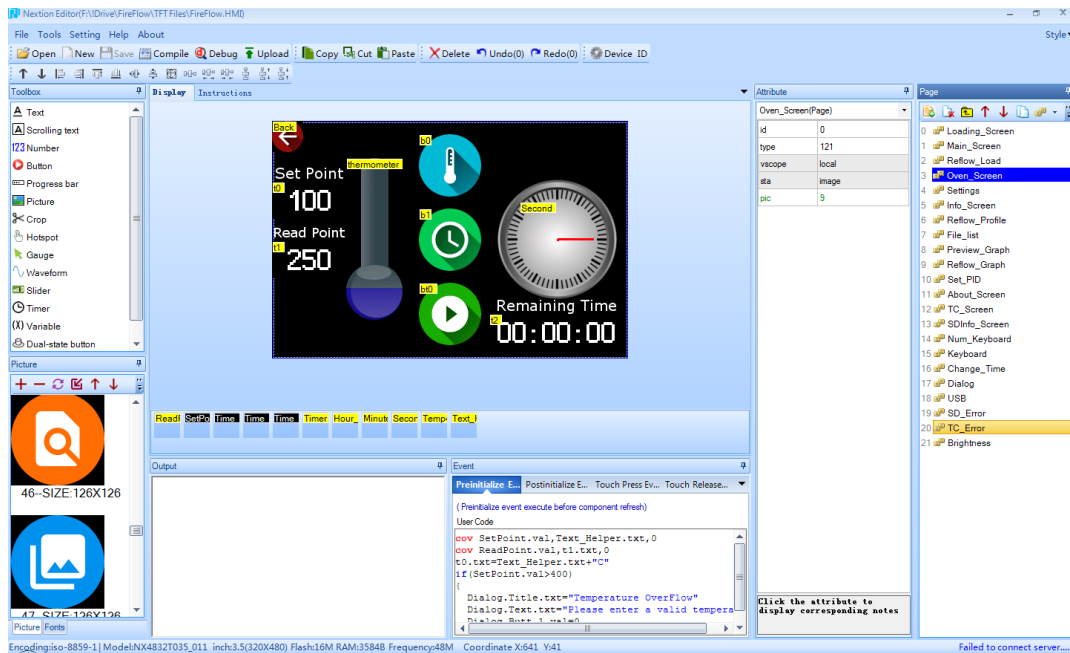
Το πρόγραμμα του μικροελεγκτή έχει γραφεί στην πλατφόρμα Arduino διότι είναι από τις πιο διαδεδομένες στην κοινότητα ανοιχτού κώδικα. Παρ' όλα αυτά, τα σημεία τα οποία υπεραπλουστεύει η Wiring εις βάρος της απόδοσης έχουν αντικατασταθεί από καθαρή C όπως για παράδειγμα η δυναμική δέσμευση μνήμης Ram δίνοντας ένα πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα.

```
34 void getSeperatedValue(char* data, char *Buff, char separator, int index) {
35     char Full_Length = strlen(data);
36     char Temp[Full_Length];
37     char pos = 0;
38     char Count = 0;
39     while (index < Full_Length && Count < index ) {
40         if (data[pos] == separator)
41             Count++;
42         pos++;
43     }
44     strcpy(Buff, data + pos);
45     strtok(Buff, ",");
46 }
```

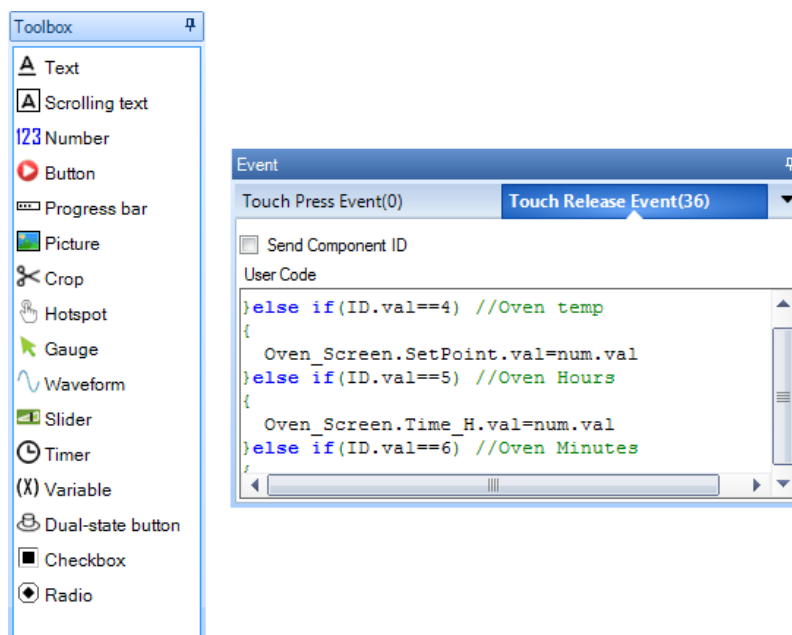
Σχήμα 18: Παράδειγμα χρήσης char array αντί για string

4.3 Πρόγραμμα οθόνης

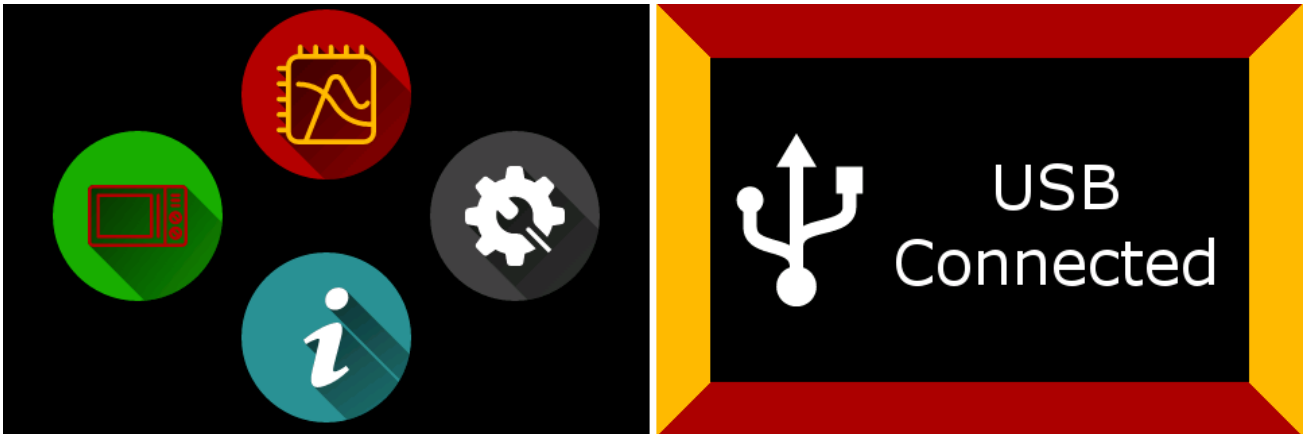
Η οθόνη διαθέτει ένα 32bit ARM μικροελεγκτή ο οποίος είναι υπεύθυνος για την διαχείριση των γραφικών, μια διαδικασία η οποία απαιτεί μικροελεγκτές νέας γενιάς για να μην παρατηρούνται φαινόμενα καθυστέρησης στην ανανέωση της οθόνης. Για τον προγραμματισμό αυτού του ελεγκτή η εταιρία (ITEAD) προσφέρει ένα ειδικό πρόγραμμα γραφικού σχεδιασμού οθόνης με διάφορα widget και ένα υποτυπώδες περιβάλλον γραφής κώδικα σε ψευδογλώσσα το οποίο ονομάζεται Nextion Editor. Ο editor καθώς και όλα τα παράγωγά του είναι κλειστού πηγαίου κώδικα με αποτέλεσμα να υπάρχει περιορισμός στην χρήση άλλης πλατφόρμας ανάπτυξης ή άλλης οθόνης, παρ' όλα αυτά το επεξεργάσιμο αρχείο καθώς και όλα τα γραφικά στοιχεία που έχουν σχεδιαστεί από τον φοιτητή είναι διαθέσιμα στο GitHub κάνοντας δυνατή την ανακατασκευή.



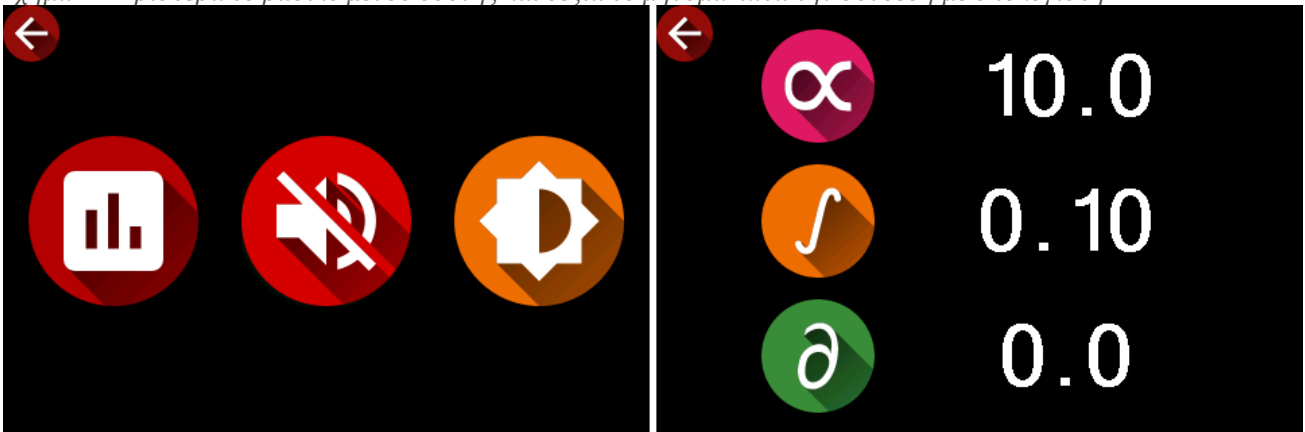
Σχήμα 19: Επιφάνεια εργασίας του Nextion Editor



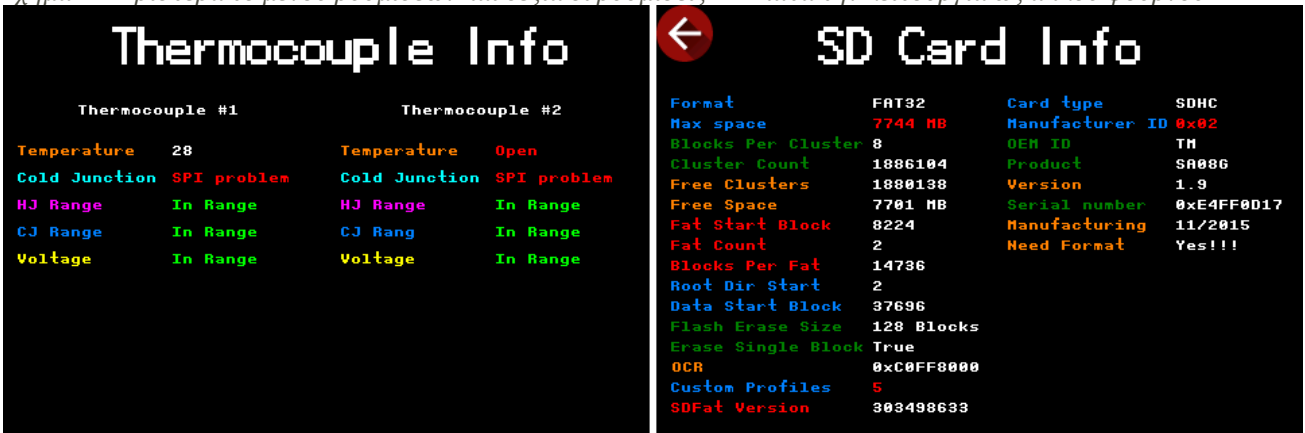
Σχήμα 20: Widget και ψευδογλώσσα του Nextion Editor



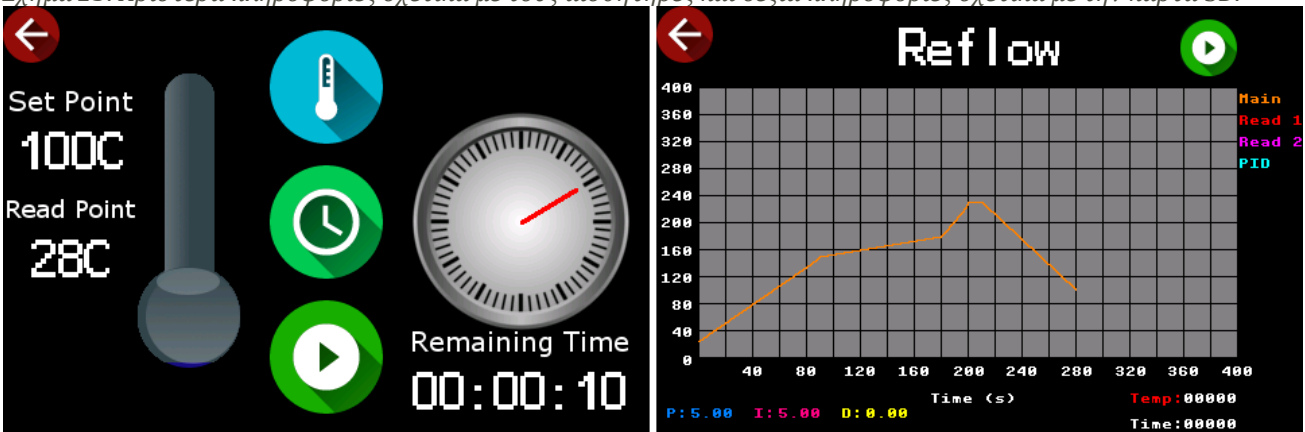
Σχήμα 21: Αριστερά το βασικό μενού οθόνης και δεξιά το μήνυμα κατά την σύνδεση με υπολογιστή.



Σχήμα 22: Αριστερά το μενού ρυθμίσεων και δεξιά οι ρυθμίσεις PID κατά την λειτουργία ως απλού φούρνου.



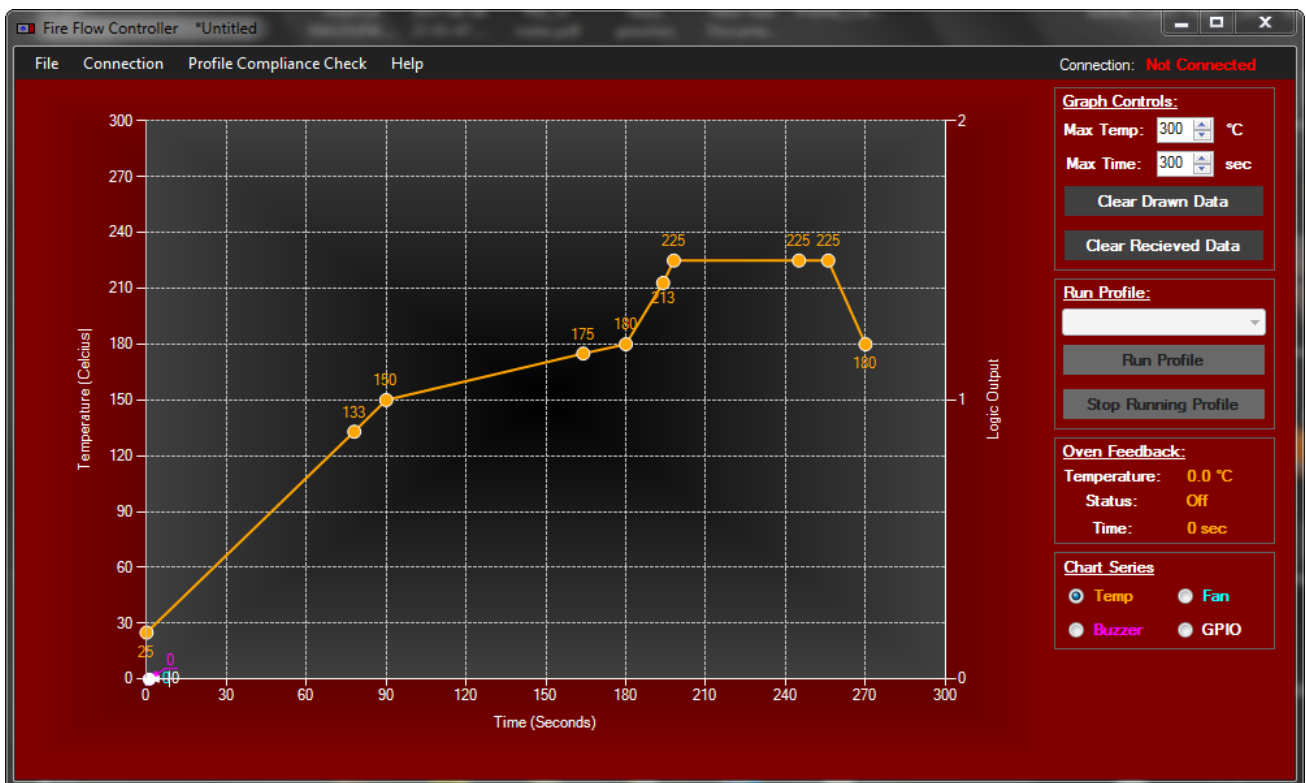
Σχήμα 23: Αριστερά πληροφορίες σχετικά με τους αισθητήρες και δεξιά πληροφορίες σχετικά με την κάρτα SD.



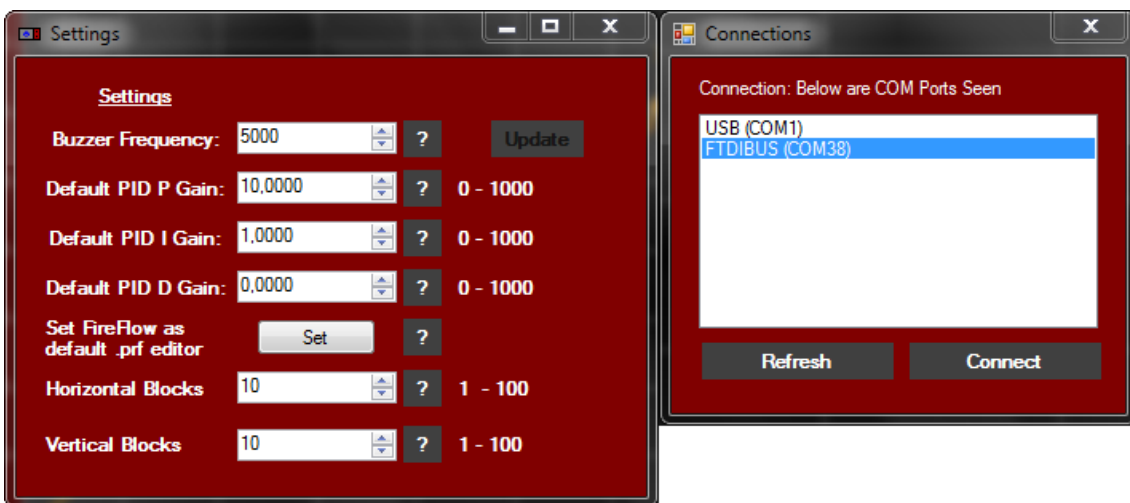
Σχήμα 24: Αριστερά η οθόνη για την λειτουργία ως φούρνο και δεξιά για την λειτουργία Reflow.

4.4 Προγράμματα υπολογιστή

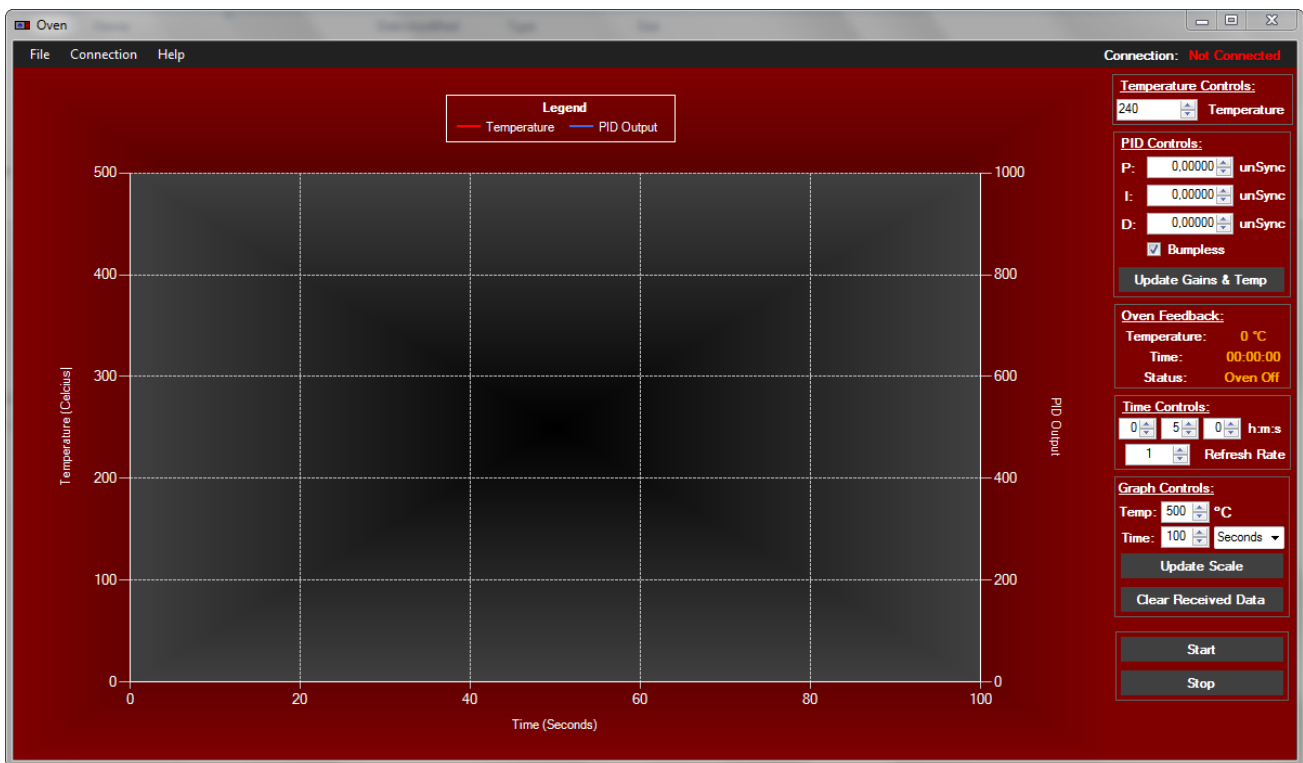
Αναπτύχθηκαν 2 προγράμματα ελέγχου στον υπολογιστή σε C# με το Visual Studio 2017. Το ένα είναι καθαρά για τον σχεδιασμό και έλεγχο της διαδικασίας reflow. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να σχεδιάσει τα προφίλ σε ένα φιλικό γραφικό περιβάλλον, να παρατηρεί ζωντανά την διαδικασία του reflow καθώς και να αποθηκεύει τα αποτελέσματα είτε για περαιτέρω επεξεργασία σε μορφή CSV είτε ως αναφορά με την μορφή εικόνας (PNG, JPEG, BMP κ.α.). Το 2^ο πρόγραμμα ξεκίνησε ως δοκιμαστικό για να απομονωθούν τα σφάλματα καθαρά στον ελεγκτή κατά την ανάπτυξη. Όμως εξελίχθηκε σε ένα βοηθητικό εργαλείο ελέγχου και καταγραφής θερμοκρασιών με χειροκίνητη απευθείας αλλαγή κερδών στον PID που μας βοηθάει στο να μελετήσουμε εύκολα και γρήγορα συγκεκριμένες ζώνες reflow, χωρίς να χρειάζεται η διαδικασία τρεξίματος ολόκληρου προφίλ.



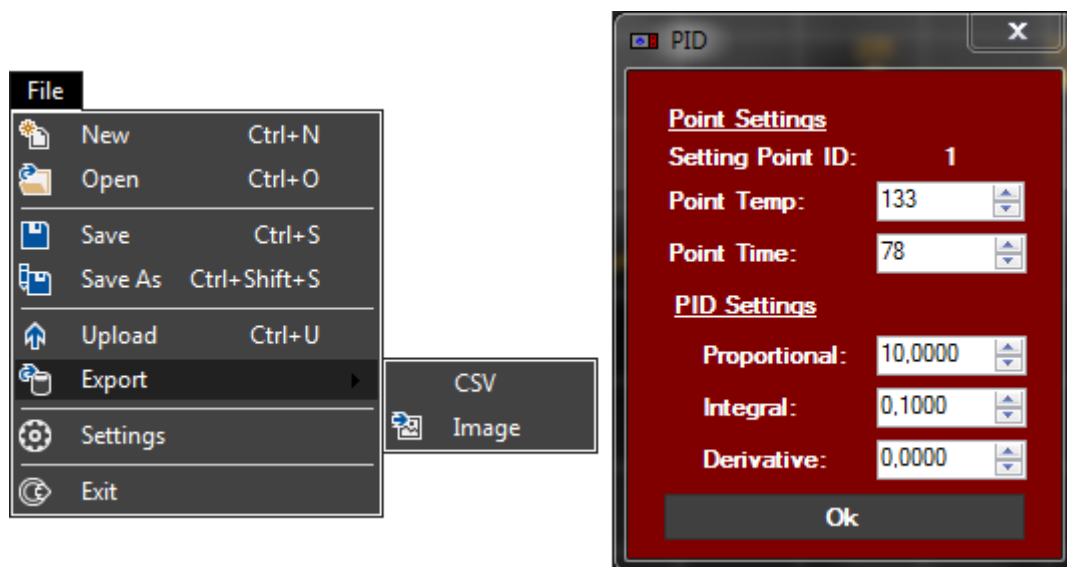
Σχήμα 25: Εφαρμογή σχεδιασμού προφίλ



Σχήμα 26: Αριστερά παράθυρο γενικών ρυθμίσεων, Δεξιά παράθυρο σύνδεσης με συσκευή



Σχήμα 27: Εφαρμογή απλού ελέγχου και καταγραφής θερμοκρασίας



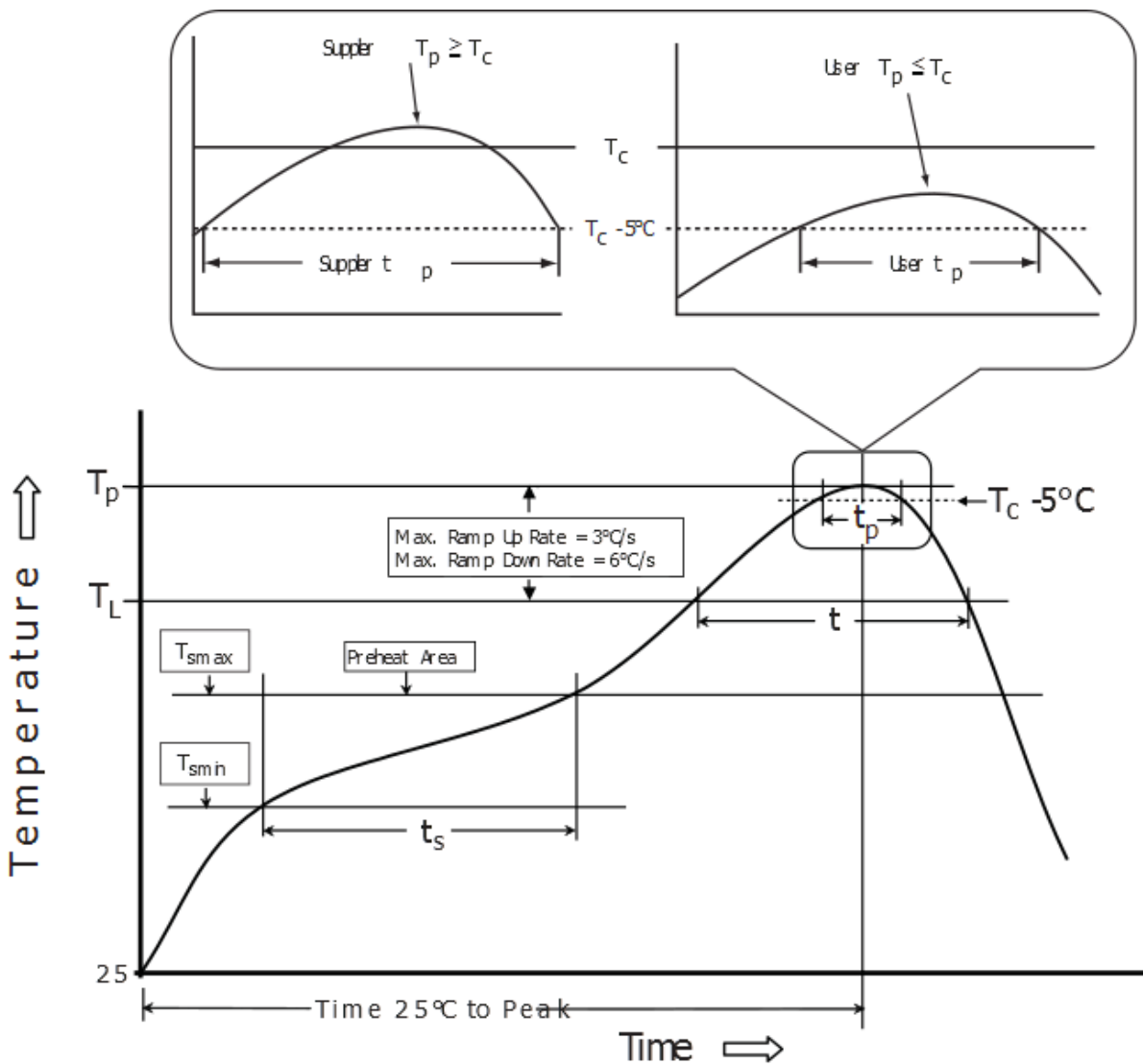
Σχήμα 28: Αριστερά το μενού της εφαρμογής και Δεξιά το μενού PID κάθε σημείου.

Κεφάλαιο 5: Πειράματα ελέγχου λειτουργίας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στον τρόπο σχεδίασης ενός προφίλ καθώς επίσης και τα αποτελέσματα τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά.

5.1 Σχεδίαση σύμφωνα με IPC

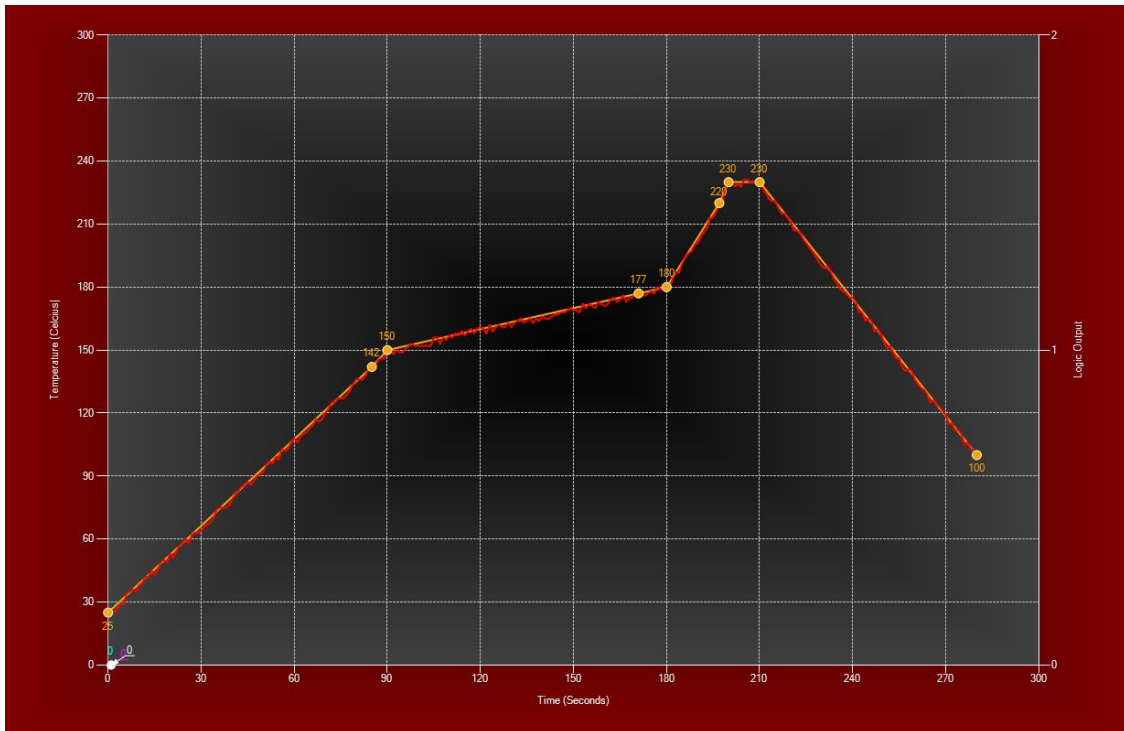
Η καμπύλη θα πρέπει να έχει το παρακάτω σχήμα και οι τιμές να μην ξεφεύγουν απ' τα όρια. Στα φύλα δεδομένων των εξαρτημάτων υπάρχουν αντίστοιχα γραφήματα όπως επίσης και στην πάστα κόλλησης. Για τα πειράματα έχουμε χρησιμοποιήσει τα γραφήματα της πάστας.



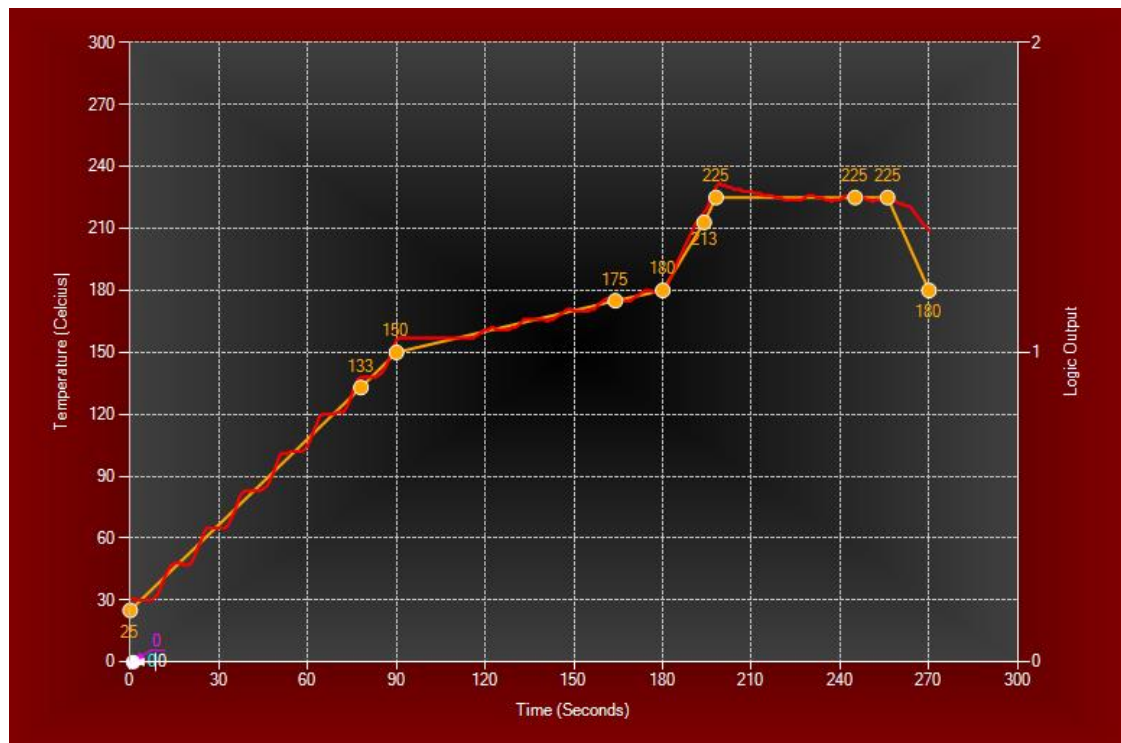
Σχήμα 29: Καμπύλη Reflow Σύμφωνα με IPC standards [4]

5.2 Προεπισκόπηση προφίλ

Παρακάτω είναι οι φωτογραφίες από 2 επιτυχημένες δοκιμές. Παρατηρούμε πως είναι δυνατόν να ακολουθήσουμε πιστά τα προφίλ ακόμα και χωρίς περίπλοκες ρυθμίσεις.



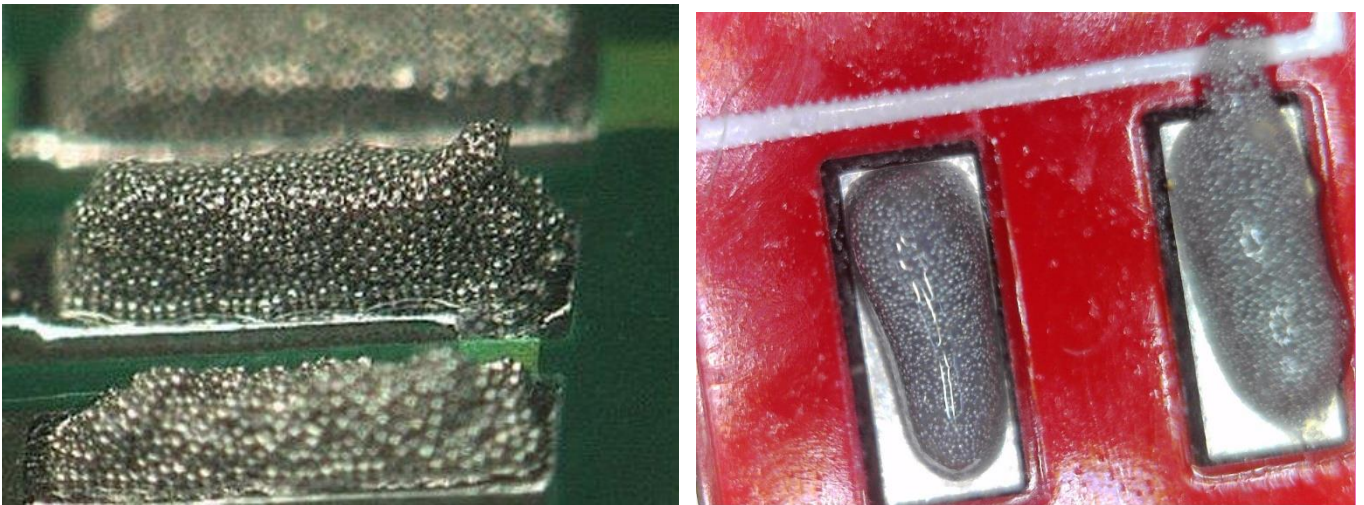
Σχήμα 30: Προφίλ μετά από πολλές δοκιμές με αλλαγή ρυθμίσεων.



Σχήμα 31: Προφίλ μετά από 3 δοκιμές χωρίς αλλαγή κερδών.

5.3 Κόλληση εξαρτημάτων

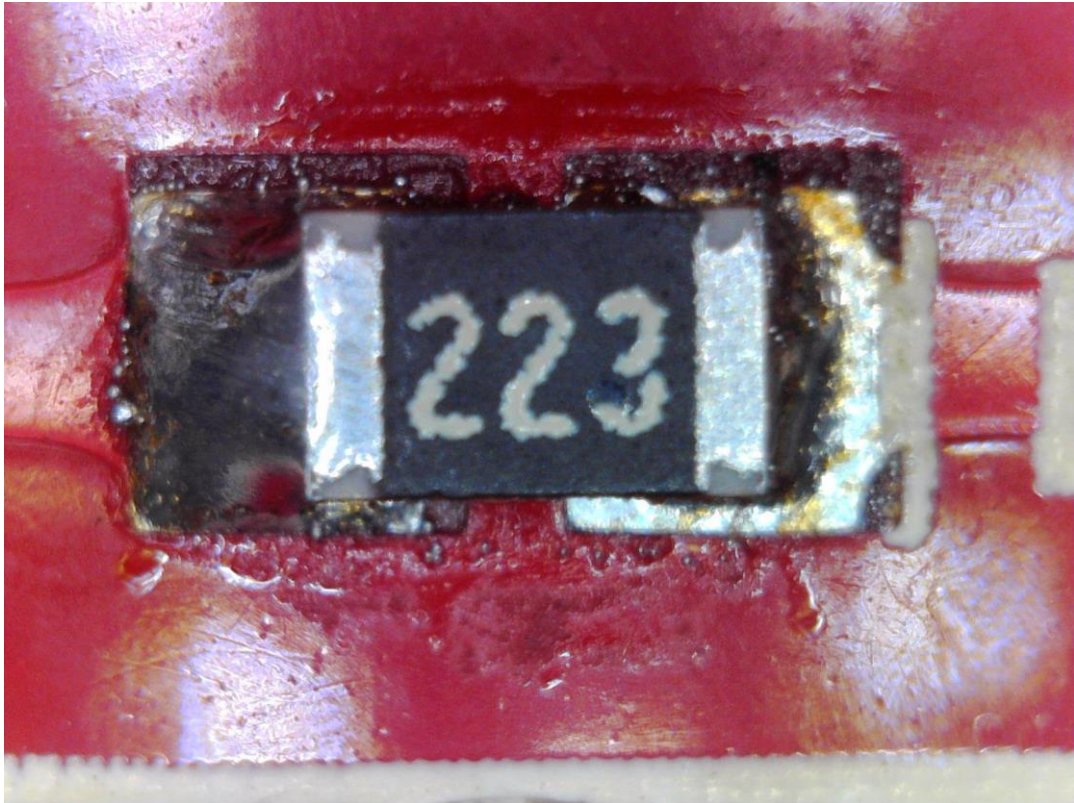
Παρακάτω παρατηρούμε κολλήσεις εξαρτημάτων με την βοήθεια μικροσκοπίου. Οι δοκιμές έγιναν σε κενές πλακέτες της πρώτης έκδοσης καθώς η παραγγελία περιείχε 10 κομμάτια. Σε καμία δοκιμή δεν είχαμε το βέλτιστο αποτέλεσμα λόγω έλλειψης εργαλείων τοποθέτησης πάστας και η χειροκίνητη τοποθέτηση οδήγησε στην δημιουργία μικρών σφαιριδίων κόλλησης μακριά απ' το pad. Τα προφίλ κατά τις δοκιμές ακολούθησαν τις προδιαγραφές και με την τρίτη προσπάθεια εμφανίστηκαν αποδεκτά αποτελέσματα με το προφίλ που φαίνεται στο σχήμα 30. Δυστυχώς η τοποθέτηση της πάστας περιόρισε την περαιτέρω βελτίωση γιατί τα αποτελέσματα διέφεραν από δοκιμή σε δοκιμή χωρίς να γίνει κάποια αλλαγή των παραμέτρων. Σε κάθε δοκιμή χρησιμοποιούνταν 3 αντιστάσεις, η κόλληση περισσότερων εξαρτημάτων ήταν αδύνατη γιατί η πάστα ξεραινόταν πριν την ολοκλήρωση. Παρ' όλα αυτά το αποτέλεσμα της δοκιμής ήταν εμφανές ακόμη και με 3 εξαρτήματα.



Σχήμα 32: Αριστερά: άφογη τοποθέτηση πάστας, Δεξιά: χειροκίνητη τοποθέτηση πάστας πριν την κόλληση



Σχήμα 33: Βέλτιστη κόλληση ως αναφορά (Καθαρίστηκαν τα σφαιρίδια μετά την κόλληση)



Σχήμα 34: Μη αποδεκτή κόλληση, παρατηρούμε πολλά μικρά σφαιρίδια



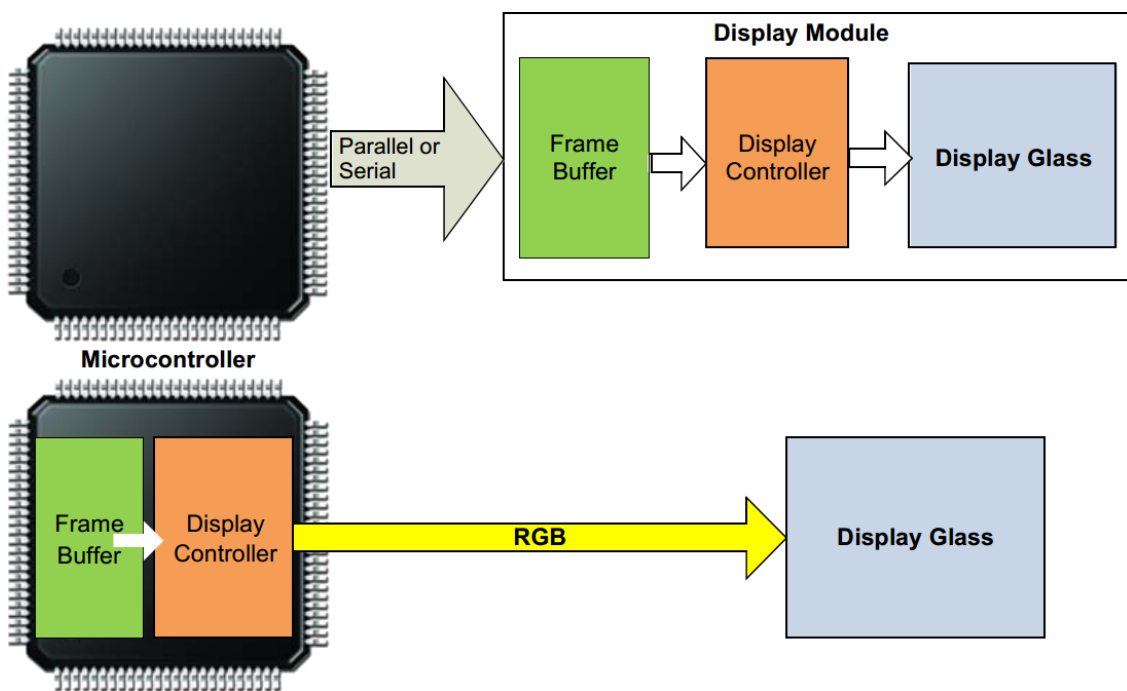
Σχήμα 35: Οριακά αποδεκτή κόλληση, παρατηρούμε λίγα σφαιρίδια.

Κεφάλαιο 6: Ματιά στο μέλλον: προτάσεις βελτίωσης.

Υπάρχουν αρκετά περιθώρια βελτίωσης τόσο στην μέθοδο ελέγχου όσο και στην κατασκευή. Παρακάτω αναλύουμε κάθε τρόπο βελτίωσης σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις στο κόστος και στην ποιότητα

6.1 Βελτίωση ποιότητας κατασκευής

Για την βελτίωση της κατασκευής είναι απαραίτητο το να αντικατασταθεί η Nextion οθόνη με μια απλή οθόνη χωρίς ελεγκτή γραφικών. Ο μικροελεγκτής θα αντικατασταθεί με έναν 32bit με ενσωματωμένο ελεγκτή γραφικών (πχ σειρά MZ DA με 2GB εσωτερική SRAM της Microchip) και να γίνουν οι απαραίτητες προσθήκες και μετατροπές στην πλακέτα. Το κόστος του ελεγκτή θα αυξηθεί κατά 20-30€ στα υλικά διατηρώντας τις ίδιες διαστάσεις και πλήθος στρώσεων στην πλακέτα.



Σχήμα 36: Βελτίωση οθόνης γραφικών

6.1 Βελτίωση κόστους κατασκευής

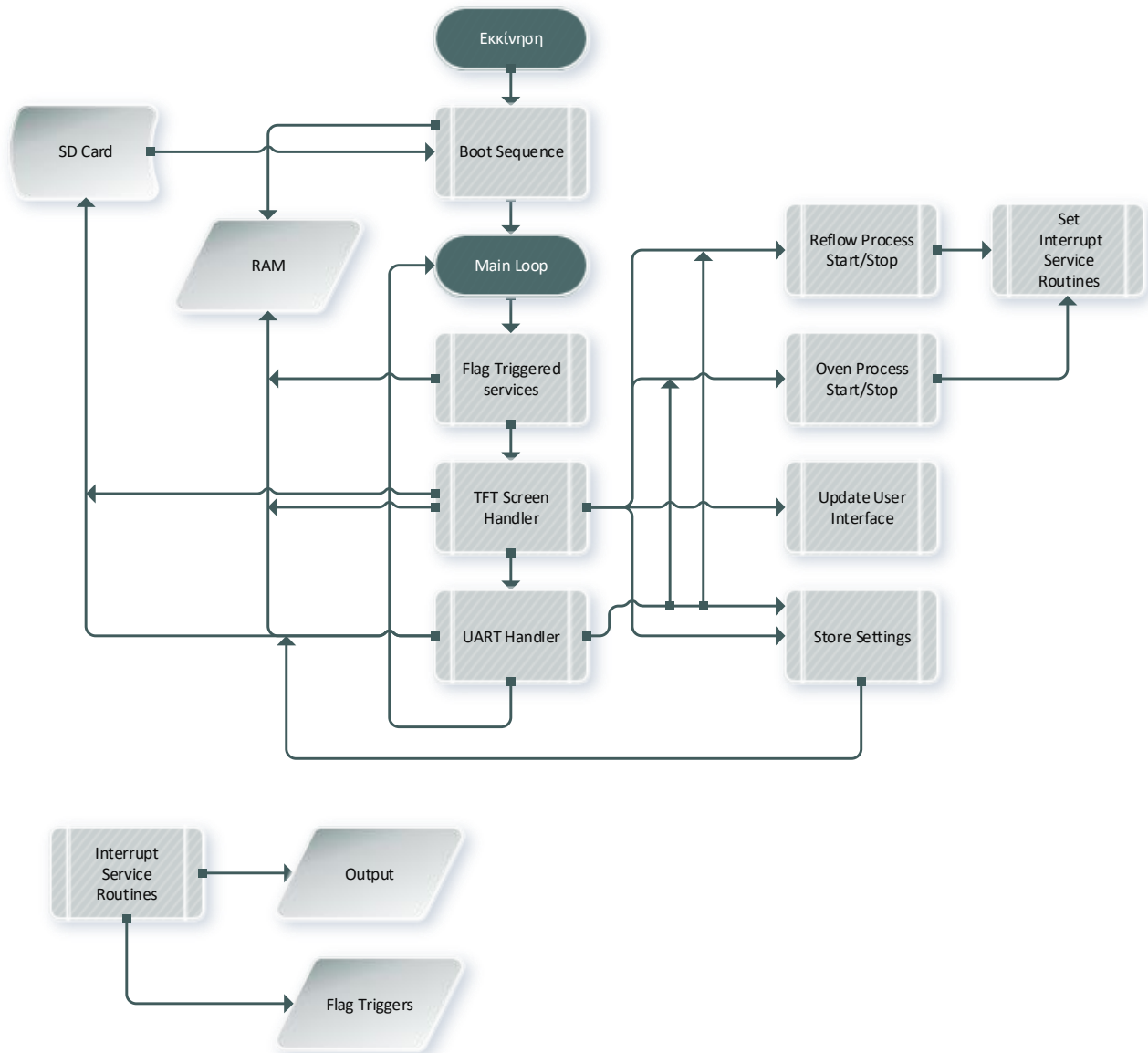
Για την βελτίωση του κόστους κατασκευής μπορεί να αφαιρεθεί τελείως η οθόνη, το buzzer, η SD, να χρησιμοποιηθεί ένα φθηνότερο thermocouple IC, καθώς επίσης και να αφαιρεθεί τελείως το UART χρησιμοποιώντας MCU με ενσωματωμένο USB. Το κόστος μπορεί να πέσει στα 10-15€ θυσιάζοντας βέβαια την αυτονομία.

6.3 Βελτίωση ελέγχου

Για την βελτίωση της μεθόδου ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί Model Predictive Control [11] μια σχετικά νέα μέθοδος ελέγχου αρκετά απαιτητική σε υπολογιστική ισχύ καθώς προβλέπει την βέλτιστη έξοδο για ένα πλήθος μελλοντικών τιμών.

Κεφάλαιο 7: Παραρτήματα

Διάγραμμα ροής λειτουργίας μικροελεγκτή και σχηματικό διάγραμμα



Σχήμα 37: Διάγραμμα ροής μικροελεγκτή

FireFlow

Variant:[No Variations]

16/8/2017
V2.1

RELEASED 07-MAR-2017

Page	Index	Page	Index	Page	Index	Page	Index
1	Fire Flow	11	.....	21	.....	31	.....
2	Max31856	12	.....	22	.....	32	.....
3	Output Buffers	13	.....	23	.....	33	.....
4	SD Card	14	.....	24	.....	34	.....
5	Isolated UART-USB	15	.....	25	.....	35	.....
6	Buck Converter	16	.....	26	.....	36	.....
7	Reflow Test	17	.....	27	.....	37	.....
8	Block Diagram	18	.....	28	.....	38	.....
9	.....	19	.....	29	.....	39	.....
10	.....	20	.....	30	.....	40	.....

DESIGN CONSIDERATIONS

DESIGN NOTE:
Example text for informational
design notes.

DESIGN NOTE:
Example text for critical
design notes.

DESIGN NOTE:
Example text for debug notes.

DESIGN NOTE:
Example text for cautionary
design notes.

LAYOUT NOTE:
Example text for critical
layout guidelines.

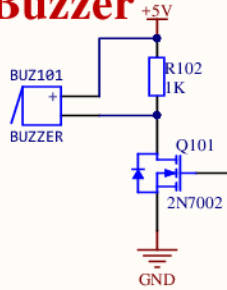
This is my Bachelor thesis
on Alexander Educational Institute of Thessaloniki
Automation Engineer Department

Title FireFlow - Cover Page			Automation Engineer ATEI Thessaloniki Greece
Drawn By: Tselepis Stefanos	Checked By: M. Kiziroglou		
Size: A4	Number: [00]	Revision: 2	
Date: 16/8/2017	Time: 1:00:13 pm	Sheet 1 of 9	
Source: github.com/FireFlowController			
Email: Developer.Fire@gmail.com			
File: F:\Drive\FireFlow\Hardware\00] - Cover.SchDoc			

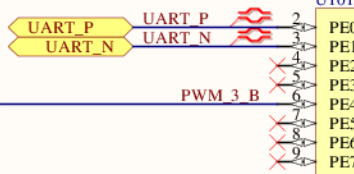


MCU

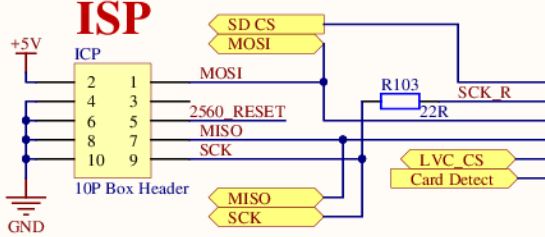
Buzzer



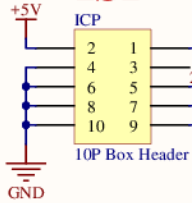
UART



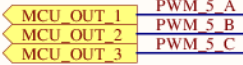
SD SPI Bus



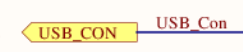
ISP



SSR Out



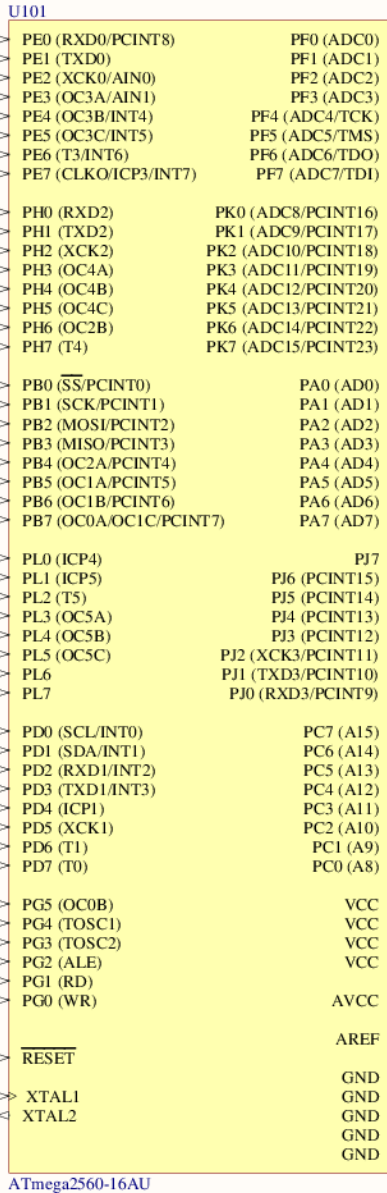
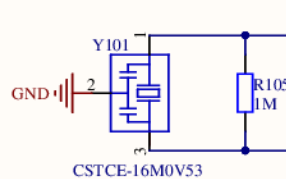
USB Interrupt



Reset

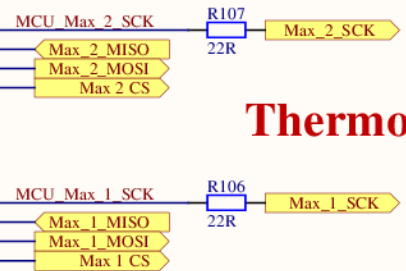


Oscillator

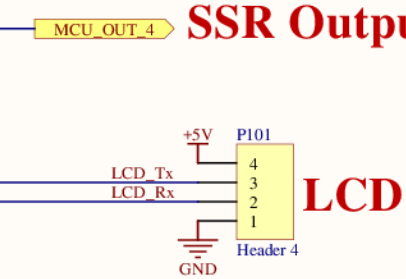


ATmega2560-16AU

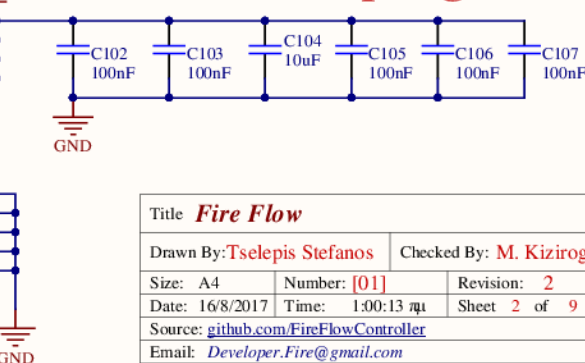
Thermocouple 1-2 SPI



SSR Output



MCU Decoupling



DESIGN NOTE:
ISP Connector is not standard!
SCK and MISO are in different position!!!

LOGO

- LF102 Flame Logo
- LF101 Flame Logo
- Logo Text
- Logo_001
- Logo Thermometer
- Logo_002
- Logo SD
- Logo_003
- Logo SD
- Logo_004

FIDUCIALS

- FID1
- FID2
- FID3
- FID4

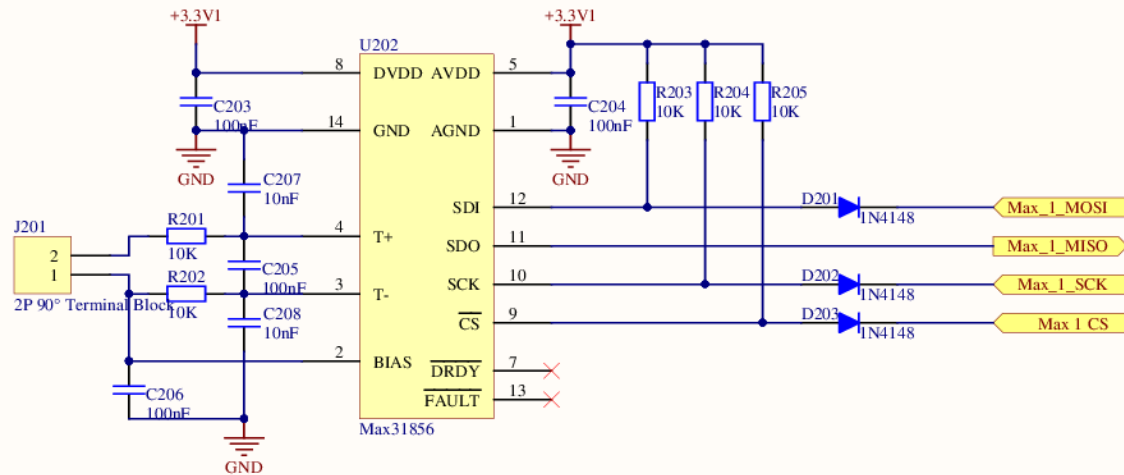
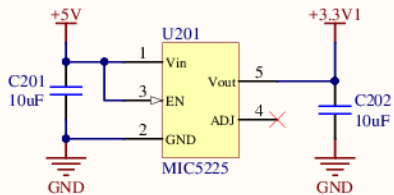
Title Fire Flow		Automation Engineer ATEI Thessaloniki Greece	
Drawn By: Tselepis Stefanos	Checked By: M. Kiziroglou		
Size: A4	Number: [01]	Revision: 2	
Date: 16/8/2017	Time: 1:00:13 pm	Sheet 2 of 9	
Source: github.com/FireFlowController			
Email: Developer.Fire@gmail.com			
File: F:\Drive\FireFlow\Hardware\01] - FireFlow.SchDoc			



THERMOCOUPLE

Thermocouple #1

TC-1 Regulator



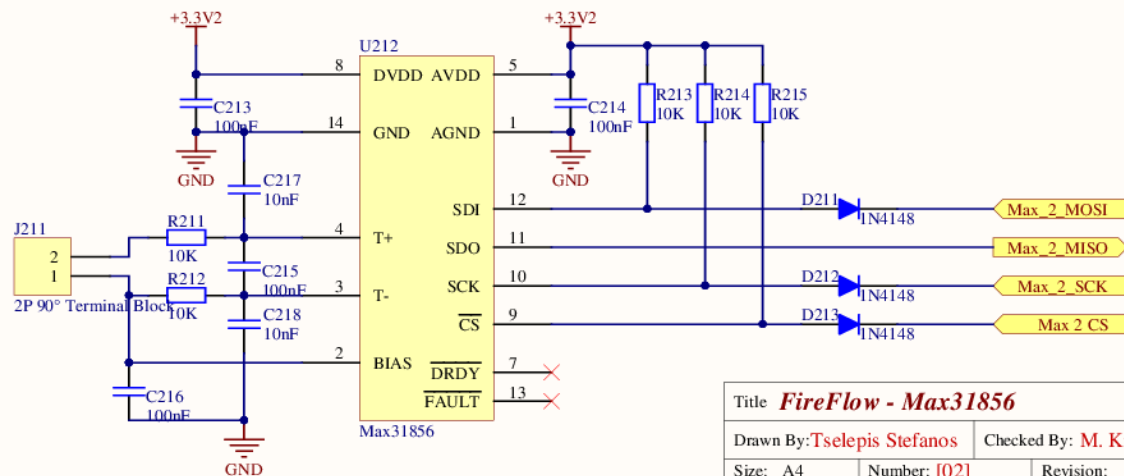
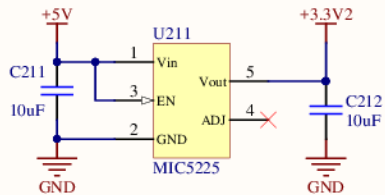
DESIGN NOTE:

DRDY and FAULT are not used.
FAULT is only for interrupt purposes. His register is checked before every sample

DRDY is not used because our application is based on critical stable sample time.

Thermocouple #2

TC-2 Regulator



Title **FireFlow - Max31856**

Drawn By: Tselepis Stefanos Checked By: M. Kiziroglou

Size: A4 Number: [02] Revision: 2

Date: 16/8/2017 Time: 1:00:13 pm Sheet 3 of 9

Source: github.com/FireFlowController

Email: Developer.Fire@gmail.com

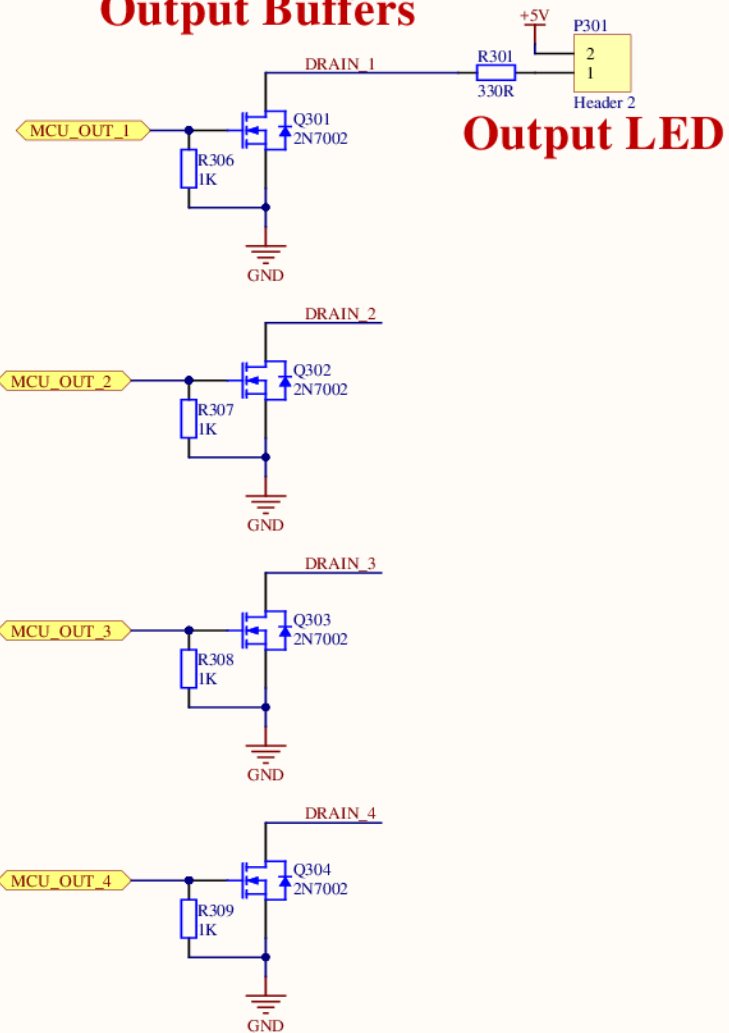
File: F:\UDrive\FireFlow\Hardware\[02] - Max31856.SchDoc

Automation Engineer
ATEI
Thessaloniki
Greece



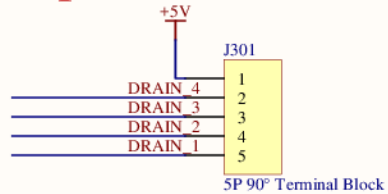
Output Buffers

Output Buffers

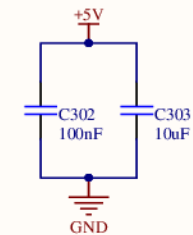


Output LED

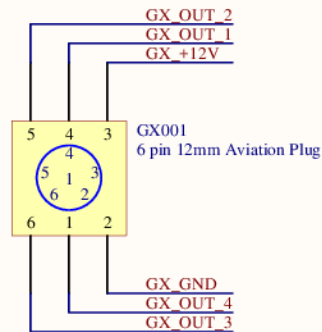
Ouput Connector



Decoupling



Ouput Side Connector



Cannot open file
F:\Drive\Thesis\Hardware\Images\GX16.jpg

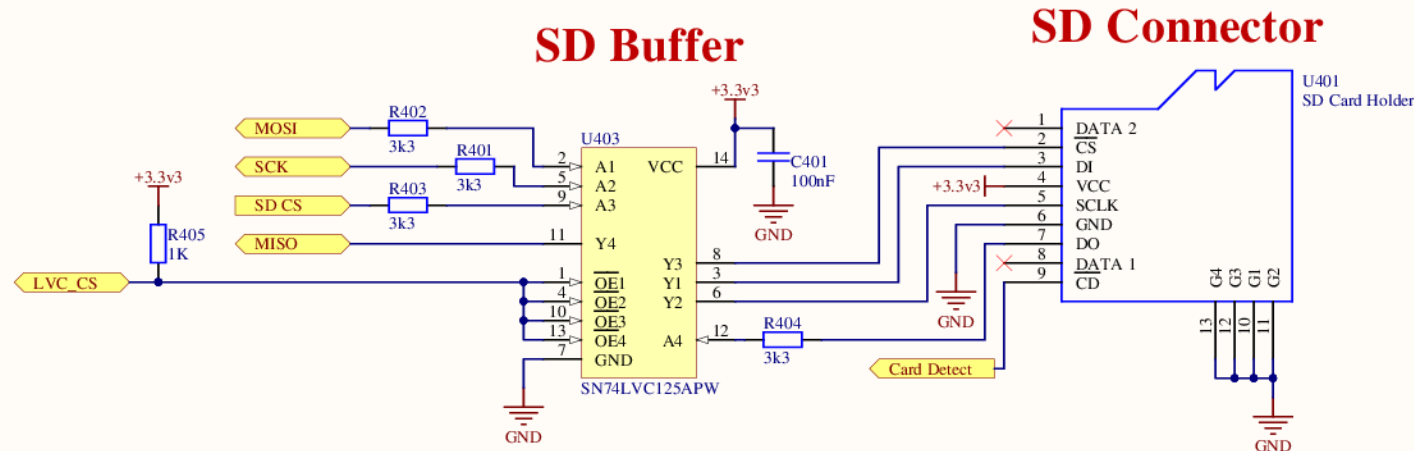
DESIGN NOTE:
Side Connector

Title FireFlow - Output Buffers			Automation Engineer ATEI Thessaloniki Greece
Drawn By: Tselepis Stefanos	Checked By: M. Kiziroglou		
Size: A4	Number: [03]	Revision: 2	
Date: 16/8/2017	Time: 1:00:13 μs	Sheet 4 of 9	
Source: github.com/FireFlowController			
Email: Developer.Fire@gmail.com			
File: F:\Drive\FireFlow\Hardware\[03] - Output Buffers.SchDoc			



SD Card

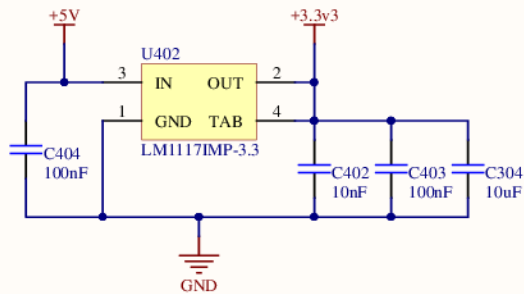
Cannot open file
F:\Drive\Thesis\Hardware\Images\SD Card module.jpg



DESIGN NOTE:
Similar design can be found on this module.

Cannot open file
F:\Drive\Thesis\Hardware\Images\SD Card connector.jpg

SD Regulator

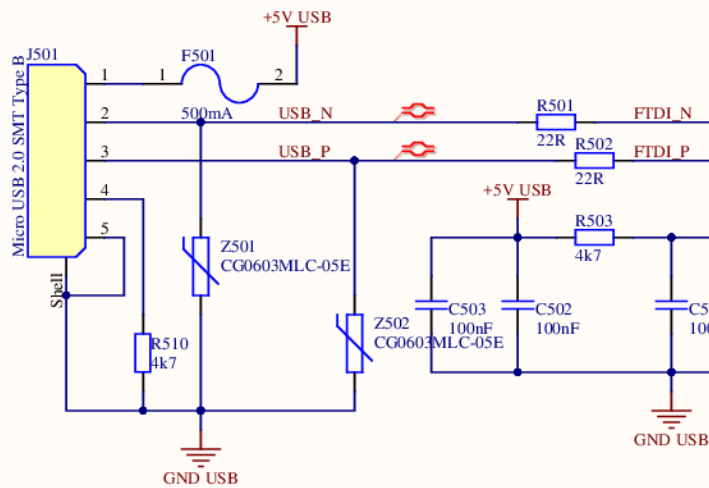


DESIGN NOTE:
SD Card holder image.

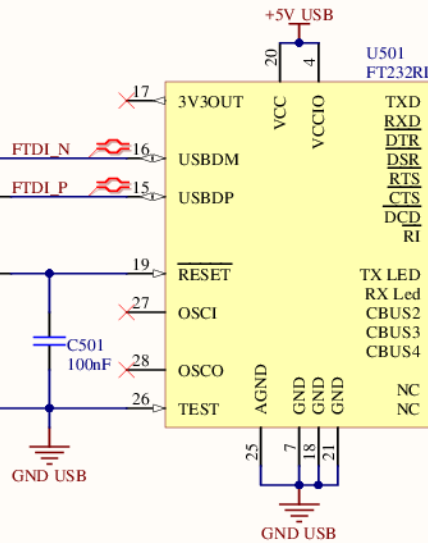
Title FireFlow - SD Card			Automation Engineer ATEI Thessaloniki Greece	
Drawn By: Tselepis Stefanos	Checked By: M. Kiziroglou			
Size: A4	Number: [04]	Revision: 2		
Date: 16/8/2017	Time: 1:00:13 μ	Sheet 5 of 9		
Source: github.com/FireFlowController				
Email: Developer.Fire@gmail.com				
File: F:\Drive\FireFlow\Hardware\[04] - SDcard.SchDoc				

Isolated UART

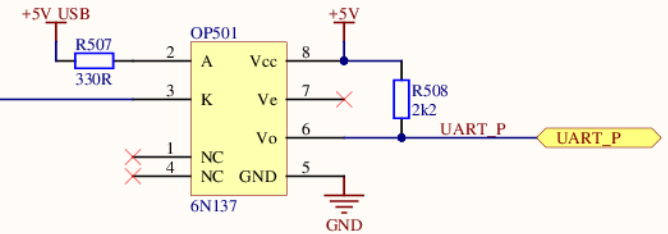
USB Connector



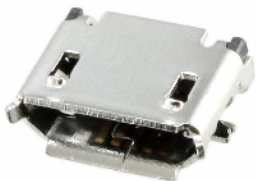
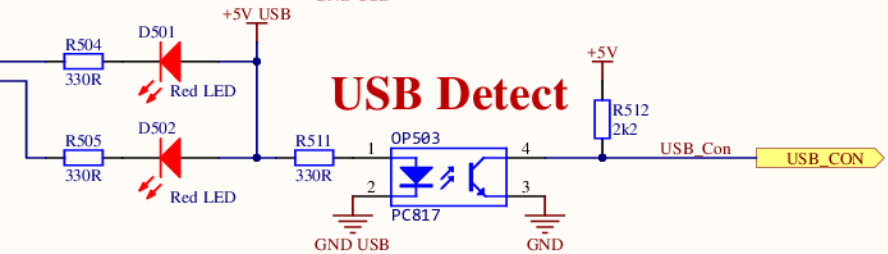
USB-UART Interface



Opto-isolation



USB Detect



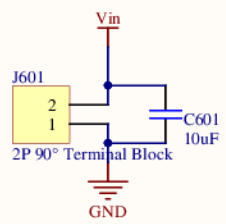
DESIGN NOTE:
USB connector image.

Title Title			Automation Engineer ATEI Thessaloniki Greece
Drawn By: Tselepis Stefanos	Checked By: M. Kizioglou		
Size: A4	Number: [05]	Revision: 2	
Date: 16/8/2017	Time: 1:00:13 μm	Sheet 6 of 9	
Source: github.com/FireFlowController			
Email: Developer.Fire@gmail.com			
File: F:\Drive\FireFlow\Hardware\[05] - Isolated UART-USB.SchDoc			

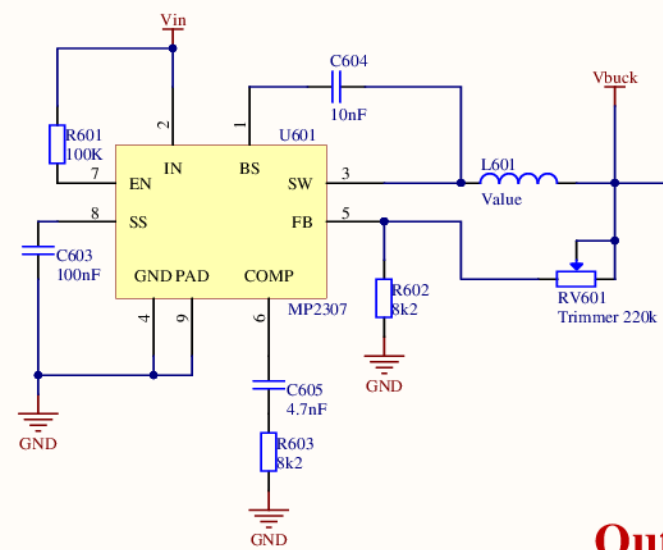


Buck Converter

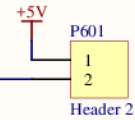
Input Connector



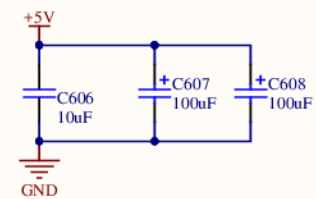
Buck Converter



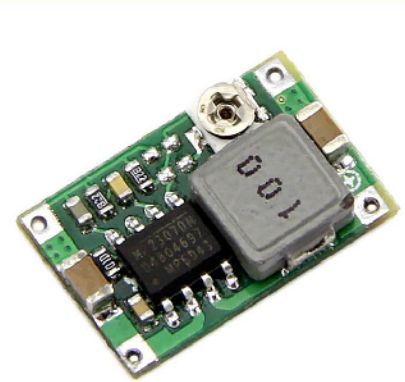
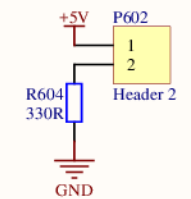
Output Switch



Output Regulation



Power LED

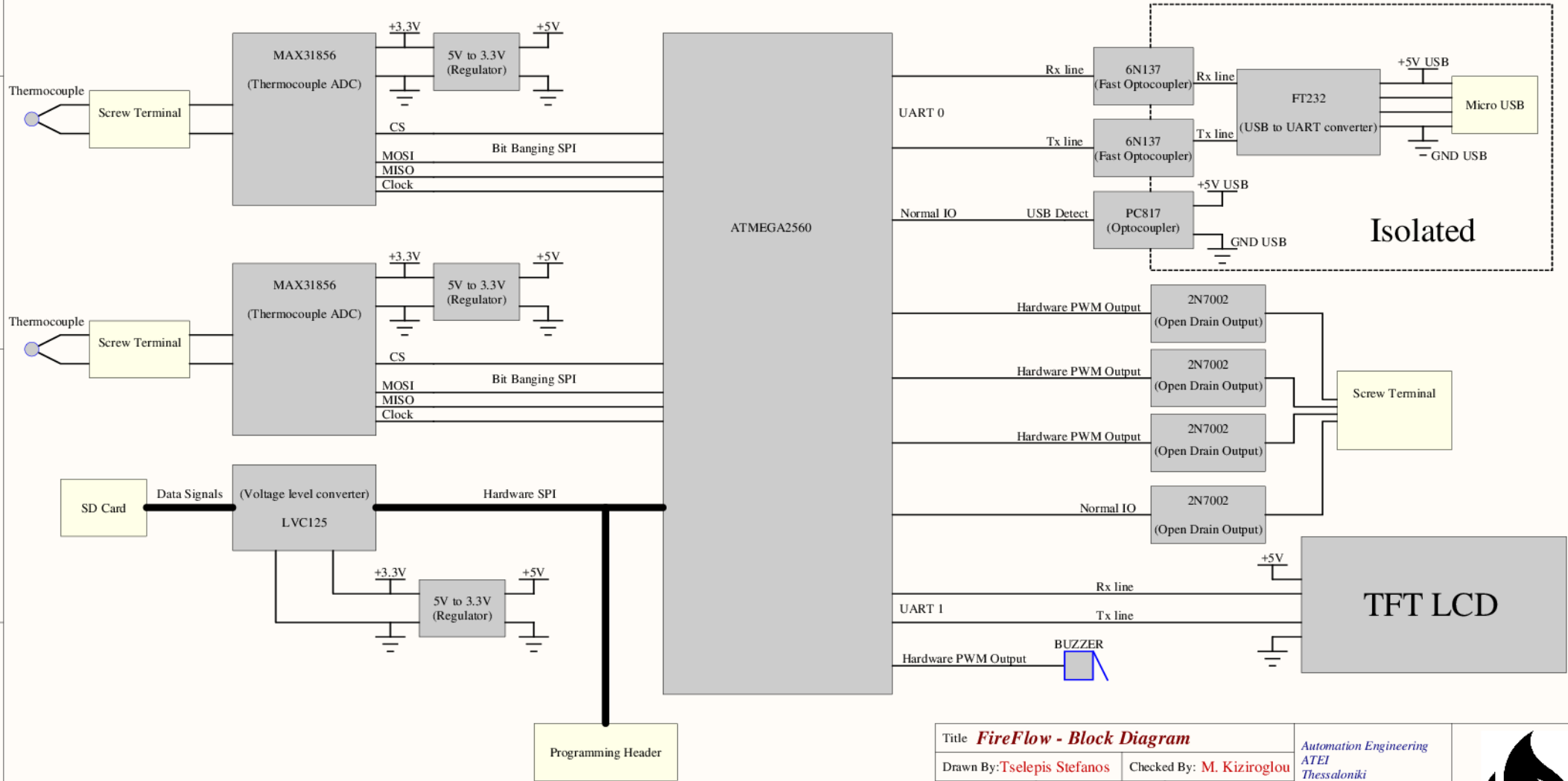



DESIGN NOTE:
Same design can be found on this module.

Title FireFlow - Buck Converter			Automation Engineer ATEI Thessaloniki Greece
Drawn By: Tselepis Stefanos	Checked By: M. Kiziroglou		
Size: A4	Number: [06]	Revision: 2	
Date: 16/8/2017	Time: 1:00:14 µs	Sheet 7 of 9	
Source: github.com/FireFlowController			
Email: Developer.Fire@gmail.com			
File: F:\Drive\FireFlow\Hardware\[06] - Buck Converter.SchDoc			

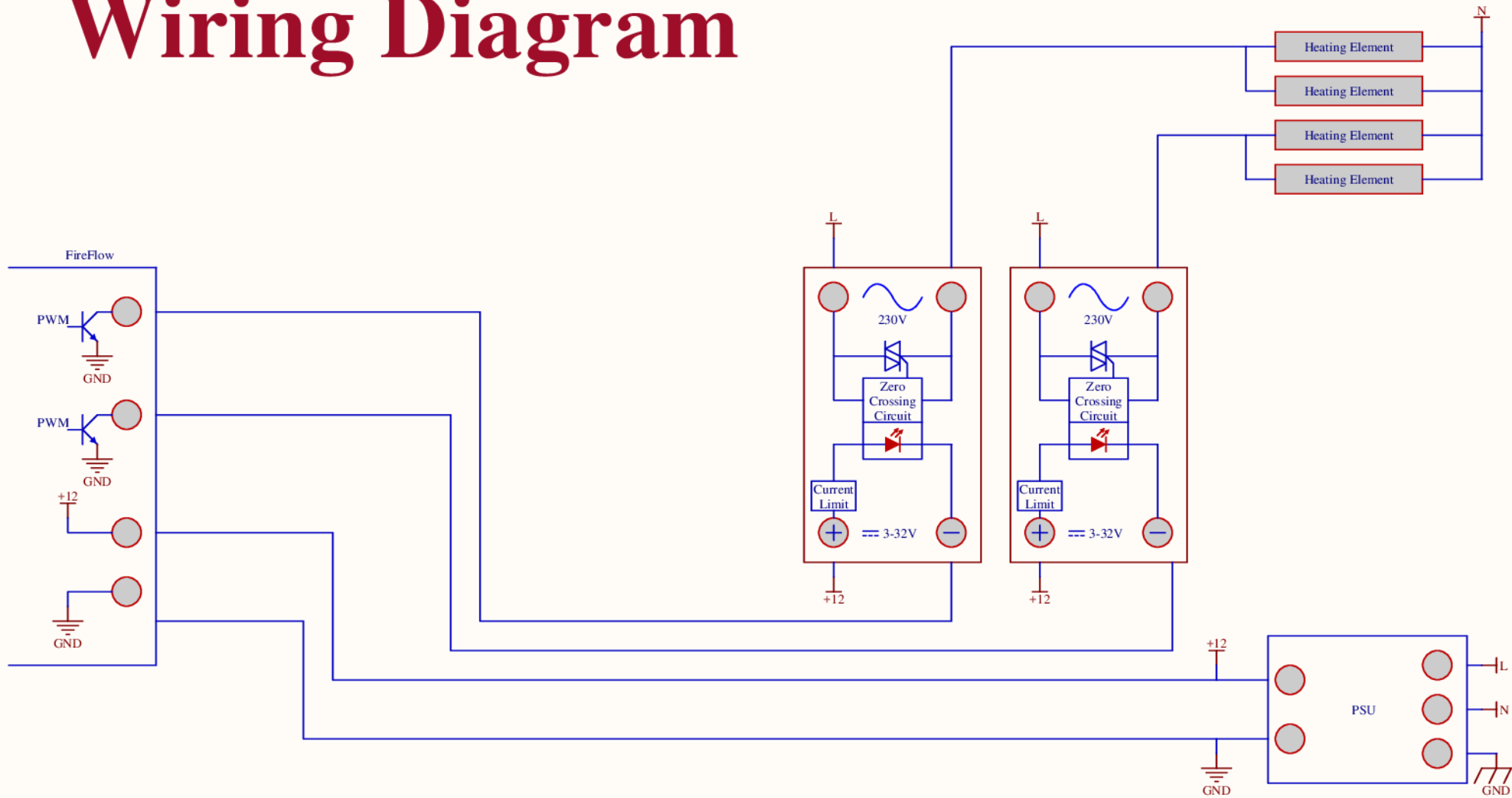


FireFlow Controller Block Diagram



Title FireFlow - Block Diagram			Automation Engineering ATEI Thessaloniki Greece	
Drawn By: Tselepis Stefanos	Checked By: M. Kiziroglou			
Size: A4	Number: [08]	Revision: 2		
Date: 15/9/2017	Time: 12:35:22 μm	Sheet 9 of 9		
Source: github.com/FireFlowController				
Email: Developer.Fire@gmail.com				
File: F:\Drive\FireFlow\Hardware\08] - Block Diagram.SchDoc				

Wiring Diagram



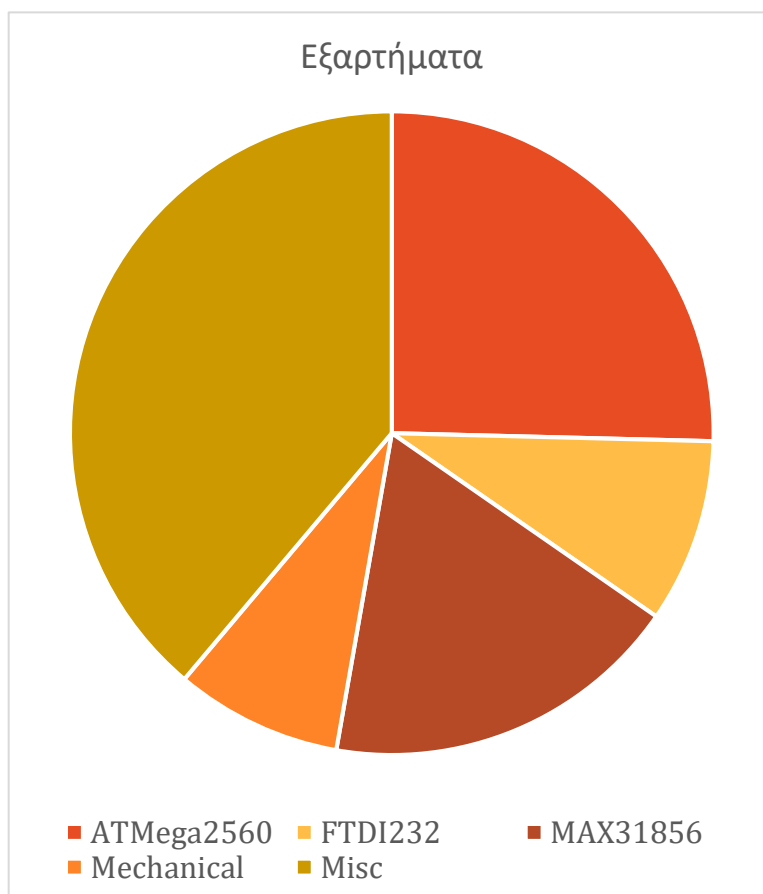
Title: FireFlow			Automation Engineering ATEI Thessaloniki Greece
Page Contents: [09] - Connection Diagram.SchDoc			
Drawn By: Drawn	Checked By: Check		
Size: A4	Number: Doc Num	Revision: V2.1	
Date: 15/9/2017	Time: 12:36:07 μα	Sheet 1 of 1	
License: GPL			
Email: Developer.Fire@gmail.com		Website: github.com/FireFlowController	
File: F:\Drive\FireFlow\Hardware\09] - Connection Diagram.SchDoc			



Κεφάλαιο 8: Λίστα υλικών κατασκευής

Στις επόμενες σελίδες υπάρχουν 2 λίστες υλικών με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την αγορά των εξαρτημάτων. Η πρώτη λίστα περιέχει το καλάθι αγορών για την παραγωγή 1000 τεμαχίων ενώ η δεύτερη για μόνο 1 τεμάχιο. Για την παραγωγή της λίστας έχει χρησιμοποιηθεί η δυνατότητα που μας προσφέρει το Altium Designer με απευθείας διασύνδεση με τιμές μεγάλων αποθηκών ηλεκτρονικών (Mouser, Digikey, TME κλπ). Επίσης έχουν προστεθεί και τα αποθέματα που υπάρχουν. Παρατηρούμε πως μερικά από αυτά δεν υπάρχουν πλέον και μερικά δεν κατάφερα να τα βρω καθώς προέρχονται από κατασκευαστές που απευθύνονται στην αγορά της Κίνας και τα διαθέτουν μέσω τοπικών διανομέων. Παρακάτω είναι η λίστα με το συνολικό ποσό που μου στοίχησε για την ανάπτυξη του πρωτότυπου αγοράζοντας τα εξαρτήματα από το Ebay και ελληνικά καταστήματα. Εξαρτήματα που καταστράφηκαν κατά τις δοκιμές και προηγούμενες εκδόσεις δεν συμπεριλαμβάνονται.

Τεμ.	Υλικά	Κόστος
1	Οθόνη Nextion	22,00 €
10	PCB	25,00 €
1	Φούρνος	25,00 €
-	Εξαρτήματα PCB	30,00 €
	Μόνωση - καλωδίωση	38,00 €
4	Αντιστάσεις χαλαζία	20,00 €
1	Τροφοδοτικό	17,50 €
8	Βάση στήριξης αντιστάσεων	14,50 €
1	Κάρτα SD	8,00 €
	Σύνολο	200,00 €



Component list

Source Data From: **FireFlow.PrjPCB**
 Project: **FireFlow.PrjPCB**
 Variant: **None**

Report Date: 16/6/2017 1:30:55 µµ
 Print Date: 16-Jun-17 1:36:15 PM

Bill of Materials For Project [FireFlow.PrjPCB] (No PCB Document Selected)

Contact:

Generated by:

Tselepis Stefanos

#	Category	Comment	Designator	Manufacturer 1	Manufacturer Part Number 1	Package / Case	Description	Quantity	Supplier 1	Supplier Part Number 1	Supplier Order Qty 1	Supplier Stock 1	Supplier Unit Price 1	Supplier Subtotal 1	Supplier Currency 1
1	Resistors	100K	R601	Yageo	RC0805JR-071KL	0805 (2012 Metric)		1	Digi-Key	311-1.0KARCT-ND	1000	1259355	0,00303	3,03	EUR
2	Resistors	10K	R104, R201, R202, R203, R204, R205, R211, R212, R213, R214, R215	Yageo	RC0805JR-0710KL	0805 (2012 Metric)		11	Digi-Key	311-10KARCT-ND	11000	2999579	0,00264	29,04	EUR
3	Resistors	1K	R102, R306, R307, R308, R309, R405	Yageo	RC0805JR-071KL	0805 (2012 Metric)		6	Digi-Key	311-1.0KARCT-ND	6000	1259355	0,00264	15,84	EUR
4	Resistors	1M	R105	Yageo	RC0805JR-071ML	0805 (2012 Metric)		1	Digi-Key	311-1.0MARCT-ND	1000	269223	0,00303	3,03	EUR
5	Resistors	22R	R103, R106, R107, R501, R502	Yageo	RC0805JR-0722RL	0805 (2012 Metric)		5	Digi-Key	311-22ARCT-ND	5000	847730	0,00264	13,2	EUR
6	Resistors	2k2	R508, R509, R512	Yageo	RC0805JR-072K2L	0805 (2012 Metric)		3	Digi-Key	311-2.2KARCT-ND	3000	586011	0,00264	7,92	EUR
7	Resistors	330R	R301, R504, R505, R506, R507, R511, R604	Yageo	RC0805JR-07330RL	0805 (2012 Metric)		7	Digi-Key	311-330ARCT-ND	7000	532159	0,00264	18,48	EUR
8	Resistors	3k3	R401, R402, R403, R404	Yageo	RC0805JR-073K3L	0805 (2012 Metric)		4	Digi-Key	311-3.3KARCT-ND	4000	290036	0,00264	10,56	EUR
9	Resistors	4k7	R101, R503, R510	Yageo	RC0805JR-074K7L	0805 (2012 Metric)		3	Digi-Key	311-4.7KARCT-ND	3000	949519	0,00264	7,92	EUR
10	Resistors	8k2	R602, R603	Yageo	RC0805JR-078K2L	0805 (2012 Metric)		2	Digi-Key	311-8.2KARCT-ND	2000	2365	0,00303	6,06	EUR
11	Potentiometers, Variable Resistors	Trimmer 220k	RV601	Bourns Inc.	TC33X-J-224E			1	Digi-Key	TC33X-J-224E-ND	1000	0	0	0,00	EUR
12	Optoelectronics	Red LED	D501, D502	Kingbright	APT2012SRCPRV	0805 (2012 Metric)	LED REDCLE	2	Digi-Key	754-1132-1-ND	2000	242640	0,06979	139,58	EUR
13	Isolators	6N137	OP501, OP502	Lite-On Inc.	6N137	8-DIP (0.300", 7.62mm)	Optocoupler	2	Digi-Key	160-1791-ND	2000	49054	0,24025	480,5	EUR
14	Integrated Circuits (ICs)	ATmega2560-16AU	U101	Microchip Technology	ATMEGA2560-16AUR	100-TQFP	8-bit AVR Micr	1	Digi-Key	ATMEGA2560-16AURCT-ND	1000	1092	9,1191	9119,1	EUR
15	Integrated Circuits (ICs)	FT232RL	U501	FTDI, Future Technology Devices International Ltd	FT232RL-REEL	28-SSOP (0.209", 5.30mm Width)	USB UARTAs	1	Digi-Key	768-1007-1-ND	1000	348000	2,53594	2535,94	EUR
16	Integrated Circuits (ICs)	LM1117IMP-3.3	U402	Texas Instruments	LM1117IMP-3.3/NOPB	TO-261-4, TO-261AA	800mA Low-Dr	1	Digi-Key	LM1117IMP-3.3/NOPBCT-ND	1000	10878	0,5311	531,1	EUR
17	Integrated Circuits (ICs)	Max31856	U202, U212	Maxim Integrated	MAX31856MUD+	14-TSSOP (0.173", 4.40mm Width)	Max31856	2	Digi-Key	MAX31856MUD+-ND	2000	1489	3,6644	7328,8	EUR
18	Integrated Circuits (ICs)	MIC5225	U201, U211	Microchip Technology	MIC5225-3.3YM5-TR	SC-74A, SOT-753	MIC5225	2	Digi-Key	576-2980-1-ND	2000	6736	0,2658	531,6	EUR
19	Integrated Circuits (ICs)	MP2307	U601	Monolithic Power Systems Inc.	MP2307DN-LF	8-SOIC (0.154", 3.90mm Width) Exposed Pad	MP2307	1	Digi-Key	MP2307DN-LF-ND					EUR
20	Integrated Circuits (ICs)	SN74LVC125APW	U403	Texas Instruments	SN74LVC125APW	14-TSSOP (0.173", 4.40mm Width)	Quadruple Bus	1	Digi-Key	SN74LVC125APW-ND	1000	425	0,13454	134,54	EUR
21	Inductors, Coils, Chokes	Value	L601	Vishay Dale	IHL2525CZER100M11	Nonstandard	FIXED IND 10	1	Digi-Key	541-2577-1-ND	1000	10852	0,72959	729,59	EUR
22	Discrete Semiconductor Products	1N4148	D201, D202, D203, D211, D212, D213	Micro Commercial Co	1N4148WX-TP	SC-76, SOD-323		6	Digi-Key	1N4148WXTPMSCT-ND	6000	365985	0,02539	152,34	EUR

23	Discrete Semiconductor Products	2N7002	Q101, Q301, Q302, Q303, Q304	ON Semiconductor	2N7002LT1G	TO-236-3, SC-59, SOT-23-3	N-channel Enh	5	Digi-Key	2N7002LT1GOSD KR-ND	5000	219127	0,03011	150,55	EUR
24	Crystals, Oscillators, Resonators	CSTCE-16M0V53	Y101	Murata Electronics North America	CSTCE16M0V53-R0	3-SMD, Non-Standard	Ceramic Reso	1	Digi-Key	490-1198-1-ND	1000	93470	0,23898	238,98	EUR
25	Connectors, Interconnects	10P Box Header	ICP	Würth Electronics Inc.	61201021621		WR-BHD 2.54	1	Digi-Key	732-2094-ND	1000	2336	0,31825	318,25	EUR
26	Connectors, Interconnects	2P 90° Terminal Block	J201, J211, J601	On Shore Technology Inc.	OSTOQ025451		WR-TBL Termi	3	Digi-Key	ED2828-ND	3000	11211	0,11692	350,76	EUR
27	Connectors, Interconnects	Header 2	P301, P601, P602	JST Sales America Inc.	B2B-XH-A(LF)(SN)		CONN HEADE	3	Digi-Key	455-2247-ND	3000	181314	0,05592	167,76	EUR
28	Connectors, Interconnects	Header 4	P101	JST Sales America Inc.	B4B-XH-A(LF)(SN)		CONN HEADE	1	Digi-Key	455-2249-ND	1000	31949	0,08305	83,05	EUR
29	Connectors, Interconnects	Micro USB 2.0 SMT Type B	J501	Würth Electronics Inc.	629105136821		WR-COM Micr	1	Digi-Key	732-3155-1-ND	1000	2371	0,95778	957,78	EUR
30	Circuit Protection	500mA	F501	Bel Fuse Inc.	0ZCH0050FF2G	1210 (3225 Metric), Concave	PTC RESTTBL	1	Digi-Key	507-1786-1-ND	1000	115174	0,06492	64,92	EUR
31	Circuit Protection	CG0603MLC-05E	Z501, Z502	Bourns Inc.	CG0603MLC-05E	0603 (1608 Metric)	VARISTOR 06	2	Digi-Key	CG0603MLC-05ECT-ND	2000	236810	0,09532	190,64	EUR
32	Capacitors	100nF	C102, C103, C105, C106, C107, C203, C204, C205, C206, C213, C214, C215, C216, C302, C401, C403, C404, C501, C502, C503, C603	Yageo	CC0805KRX7R7BB104	0805 (2012 Metric)		21	Digi-Key	311-1142-1-ND	21000	115271	0,02297	482,37	EUR
33	Capacitors	100uF	C607, C608	Nichicon	UWR1A101MCL1GB	Radial, Can - SMD	CAP ALUM10	2	Digi-Key	493-14561-1-ND	2000	13609	0,06112	122,24	EUR
34	Capacitors	10nF	C207, C208, C217, C218, C402, C604	KEMET	C0805C103K4RACTU	0805 (2012 Metric)		6	Digi-Key	399-7995-1-ND	6000	21248	0,05909	354,54	EUR
35	Capacitors	10uF	C104, C201, C202, C211, C212, C303, C304, C601, C606	Yageo	CC0805ZKY5V7BB106	0805 (2012 Metric)		9	Digi-Key	311-2085-1-ND	9000	1270	0,04307	387,63	EUR
36	Capacitors	4.7nF	C605	Würth Electronics Inc.	885012207037	0805 (2012 Metric)		1	Digi-Key	732-8037-1-ND	1000	2366	0,04093	40,93	EUR
37	Audio Products	BUZZER	BUZ101	PUI Audio, Inc.	AT-1224-TWT-5V-2-R		AUDIO MAGN	1	Digi-Key	668-1470-ND	1000	56092	0,25804	258,04	EUR
38		5P 90° Terminal Block	J301	On Shore Technology Inc.	OSTOQ055450		TERM BLOCK	1	Digi-Key	ED2846-ND	1000	4745	0,27682	276,82	EUR
39		6 pin 12mm Aviation Plug	GX001					1							
40		PC817	OP503				DCOPTOCUP	1							
41		SD Card Holder	U401					1							
								126			122000			26243,4	

Approved

Notes

1000 pcs: **Total**
Price for 1pcs

26243,4 EUR

26,24 EUR

Component list

Source Data From: **FireFlow.PrjPCB**

Project: **FireFlow.PrjPCB**

Variant: **None**

Report Date: 16/6/2017 1:20:12 µµ

Print Date: 16-Jun-17 1:29:02 PM

Bill of Materials For Project [FireFlow.PrjPCB] (No PCB Document Selected)

Contact:

Generated by:

Tselepis Stefanos

#	Category	Comment	Designator	Manufacturer 1	Manufacturer Part Number 1	Package / Case	Description	Quantity	Supplier 1	Supplier Part Number 1	Supplier Order Qty 1	Supplier Stock 1	Supplier Unit Price 1	Supplier Subtotal 1	Supplier Currency 1
1	Resistors	100K	R601	Yageo	RC0805JR-071KL	0805 (2012 Metric)		1	Digi-Key	311-1.0KARCT-ND	1	1259355	0,09	0,09	EUR
2	Resistors	10K	R104, R201, R202, R203, R204, R205, R211, R212, R213, R214, R215	Yageo	RC0805JR-0710KL	0805 (2012 Metric)		11	Digi-Key	311-10KARCT-ND	11	2999579	0,017	0,187	EUR
3	Resistors	1K	R102, R306, R307, R308, R309, R405	Yageo	RC0805JR-071KL	0805 (2012 Metric)		6	Digi-Key	311-1.0KARCT-ND	10	1259355	0,017	0,17	EUR
4	Resistors	1M	R105	Yageo	RC0805JR-071ML	0805 (2012 Metric)		1	Digi-Key	311-1.0MARCT-ND	1	269223	0,09	0,09	EUR
5	Resistors	22R	R103, R106, R107, R501, R502	Yageo	RC0805JR-0722RL	0805 (2012 Metric)		5	Digi-Key	311-22ARCT-ND	10	847730	0,017	0,17	EUR
6	Resistors	2k2	R508, R509, R512	Yageo	RC0805JR-072K2L	0805 (2012 Metric)		3	Digi-Key	311-2.2KARCT-ND	10	586011	0,017	0,17	EUR
7	Resistors	330R	R301, R504, R505, R506, R507, R511, R604	Yageo	RC0805JR-07330RL	0805 (2012 Metric)		7	Digi-Key	311-330ARCT-ND	10	532159	0,017	0,17	EUR
8	Resistors	3k3	R401, R402, R403, R404	Yageo	RC0805JR-073K3L	0805 (2012 Metric)		4	Digi-Key	311-3.3KARCT-ND	10	290036	0,017	0,17	EUR
9	Resistors	4k7	R101, R503, R510	Yageo	RC0805JR-074K7L	0805 (2012 Metric)		3	Digi-Key	311-4.7KARCT-ND	10	949519	0,017	0,17	EUR
10	Resistors	8k2	R602, R603	Yageo	RC0805JR-078K2L	0805 (2012 Metric)		2	Digi-Key	311-8.2KARCT-ND	10	2365	0,017	0,17	EUR
11	Potentiometers, Variable Resistors	Trimmer 220k	RV601	Bourns Inc.	TC33X-J-224E			1	Digi-Key	TC33X-J-224E-ND					
12	Optoelectronics	Red LED	D501, D502	Kingbright	APT2012SRCPRV	0805 (2012 Metric)	LED RED CLE	2	Digi-Key	754-1132-1-ND	2	242640	0,38	0,76	EUR
13	Isolators	6N137	OP501, OP502	Lite-On Inc.	6N137	8-DIP (0.300", 7.62mm)	Optocoupler	2	Digi-Key	160-1791-ND	2	49054	0,72	1,44	EUR
14	Integrated Circuits (ICs)	ATmega2560-16AU	U101	Microchip Technology	ATMEGA2560-16AUR	100-TQFP	8-bit AVR Micr	1	Digi-Key	ATMEGA2560-16AURCT-ND	1	1092	10,99	10,99	EUR
15	Integrated Circuits (ICs)	FT232RL	U501	FTDI, Future Technology Devices International Ltd	FT232RL-REEL	28-SSOP (0.209", 5.30mm Width)	USB UART As	1	Digi-Key	768-1007-1-ND	1	348000	4	4,00	EUR
16	Integrated Circuits (ICs)	LM1117IMP-3.3	U402	Texas Instruments	LM1117IMP-3.3/NOBP	TO-261-4, TO-261AA	800mA Low-Dr	1	Digi-Key	LM1117IMP-3.3/NOBPCT-ND	1	10878	0,93	0,93	EUR
17	Integrated Circuits (ICs)	Max31856	U202, U212	Maxim Integrated	MAX31856MUD+	14-TSSOP (0.173", 4.40mm Width)	Max31856	2	Digi-Key	MAX31856MUD+-ND	2	1489	3,92	7,84	EUR
18	Integrated Circuits (ICs)	MIC5225	U201, U211	Microchip Technology	MIC5225-3.3YM5-TR	SC-74A, SOT-753	MIC5225	2	Digi-Key	576-2980-1-ND	2	6736	0,36	0,72	EUR
19	Integrated Circuits (ICs)	MP2307	U601	Monolithic Power Systems Inc.	MP2307DN-LF	8-SOIC (0.154", 3.90mm Width) Exposed Pad	MP2307	1	Digi-Key	MP2307DN-LF-ND					
20	Integrated Circuits (ICs)	SN74LVC125APW	U403	Texas Instruments	SN74LVC125APW	14-TSSOP (0.173", 4.40mm Width)	Quadruple Bus	1	Digi-Key	SN74LVC125APW-ND	1	425	0,44	0,44	EUR
21	Inductors, Coils, Chokes	Value	L601	Vishay Dale	IHLP2525CZER100M11	Nonstandard	FIXED IND 10	1	Digi-Key	541-2577-1-ND	1	10852	1,53	1,53	EUR
22	Discrete Semiconductor Products	1N4148	D201, D202, D203, D211, D212, D213	Micro Commercial Co	1N4148WX-TP	SC-76, SOD-323		6	Digi-Key	1N4148WXTPMSCT-ND	6	365985	0,12	0,72	EUR
23	Discrete Semiconductor Products	2N7002	Q101, Q301, Q302, Q303, Q304	ON Semiconductor	2N7002LT1G	TO-236-3, SC-59, SOT-23-3	N-channel Enh	5	Digi-Key	2N7002LT1GOSDKR-ND	5	222127	0,14	0,7	EUR

24	Crystals, Oscillators, Resonators	CSTCE-16M0V53	Y101	Murata Electronics North America	CSTCE16M0V53-R0	3-SMD, Non-Standard	Ceramic Reso		1	Digi-Key	490-1198-1-ND		1	93470	0,44	0,44	EUR
25	Connectors, Interconnects	10P Box Header	ICP	Würth Electronics Inc.	61201021621		WR-BHD 2.54		1	Digi-Key	732-2094-ND		1	2336	0,46	0,46	EUR
26	Connectors, Interconnects	2P 90° Terminal Block	J201, J211, J601	On Shore Technology Inc.	OStOQ025451		WR-TBL Term		3	Digi-Key	ED2828-ND		3	11211	0,45	1,35	EUR
27	Connectors, Interconnects	Header 2	P301, P601, P602	JST Sales America Inc.	B2B-XH-A(LF)(SN)		CONN HEADE		3	Digi-Key	455-2247-ND		3	181314	0,13	0,39	EUR
28	Connectors, Interconnects	Header 4	P101	JST Sales America Inc.	B4B-XH-A(LF)(SN)		CONN HEADE		1	Digi-Key	455-2249-ND		1	31949	0,19	0,19	EUR
29	Connectors, Interconnects	Micro USB 2.0 SMT Type B	J501	Würth Electronics Inc.	629105136821		WR-COM Micr		1	Digi-Key	732-3155-1-ND		1	2371	1,24	1,24	EUR
30	Circuit Protection	500mA	F501	Bel Fuse Inc.	0ZCH0050FF2G	1210 (3225 Metric), Concave	PTC RESTTB		1	Digi-Key	507-1786-1-ND		1	115174	0,12	0,12	EUR
31	Circuit Protection	CG0603MLC-05E	Z501, Z502	Bourns Inc.	CG0603MLC-05E	0603 (1608 Metric)	VARISTOR 06		2	Digi-Key	CG0603MLC-05ECT-ND		2	236810	0,45	0,9	EUR
32	Capacitors	100nF	C102, C103, C105, C106, C107, C203, C204, C205, C206, C213, C214, C215, C216, C302, C401, C403, C404, C501, C502, C503, C603	Yageo	CC0805KRX7R7BB104	0805 (2012 Metric)			21	Digi-Key	311-1142-1-ND		21	115271	0,085	1,79	EUR
33	Capacitors	100uF	C607, C608	Nichicon	UWR1A101MCL1GB	Radial, Can - SMD	CAP ALUM 10		2	Digi-Key	493-14561-1-ND		2	13609	0,22	0,44	EUR
34	Capacitors	10nF	C207, C208, C217, C218, C402, C604	KEMET	C0805C103K4RACTU	0805 (2012 Metric)			6	Digi-Key	399-7995-1-ND		6	21248	0,25	1,5	EUR
35	Capacitors	10uF	C104, C201, C202, C211, C212, C303, C304, C601, C606	Yageo	CC0805ZKY5V7BB106	0805 (2012 Metric)			9	Digi-Key	311-2085-1-ND		10	1270	0,141	1,41	EUR
36	Capacitors	4.7nF	C605	Würth Electronics Inc.	885012207037	0805 (2012 Metric)			1	Digi-Key	732-8037-1-ND		1	2366	0,11	0,11	EUR
37	Audio Products	BUZZER	BUZ101	PUI Audio, Inc.	AT-1224-TWT-5V-2-R		AUDIO MAGN		1	Digi-Key	668-1470-ND		1	56092	0,49	0,49	EUR
38		5P 90° Terminal Block	J301	On Shore Technology Inc.	OStOQ055450		TERMBLOCK		1	Digi-Key	ED2846-ND		1	4745	0,82	0,82	EUR
39		6 pin 12mm Aviation Plug	GX001						1								
40		PC817	OP503				DCOPTOCUF		1								
41		SD Card Holder	U401						1								
									126				162	43,272			
Approved									Notes								
									1 pcs: Total Price for 1 pcs 43,272 EUR 43,27 EUR								

Κεφάλαιο 9: Βιβλιογραφία

Πηγές στο διαδίκτυο

1. Wikipedia Reflow Soldering https://en.wikipedia.org/wiki/Reflow_soldering
2. Wikipedia Reflow Oven https://en.wikipedia.org/wiki/Reflow_oven
3. Wikipedia IPC [https://en.wikipedia.org/wiki/IPC_\(electronics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/IPC_(electronics))
4. JEDEC Standards <https://www.jedec.org/system/files/docs/J-STD-020E.pdf>
5. Hlektronika.gr <http://www.hlektronika.gr/forum/forum.php>
6. EEVBlog.com <https://www.eevblog.com/forum/index.php>

Βιβλία

7. Ning-Cheng Lee Reflow Soldering Processes
8. Horowitz, Hill The Art of Electronics 3rd Edition
9. Clyde Coombs, Happy Holden Printed Circuits Handbook 6th Edition
10. John Blyler Right the First Time
11. Liuping Wang Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB