Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής

Πτυχιακή Εργασία

Κατασκευή ψηφιακού κουρδιστηρίου με μικροελεγκτή Arduino

ΦΟΥΣΚΑΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΤΑ1950
Επιβλέπων Καθηγητής : Ορφανός Ιωάννης
Ημερομηνία Παρουσίασης : ---

Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε από τον φοιτητή Φούσκα Ευάγγελο Γεώργιο του τμήματος μηχανικών μουσικής τεχνολογίας και ακουστικής στο Ελληνικό μεσογειακό πανεπιστήμιο κατά το ακαδημαϊκό έτος 2019-2020.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Ορφανό Ιωάννη, που μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα και για την υποστήριξη, την καθοδήγηση και τι πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη την διάρκεια διεκπεραίωσης της πτυχιακής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους του καθηγητές του τμήματος μουσικής τεχνολογίας και ακουστικής για τις πολύτιμες γνώσεις που μου έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου, τους συναδέλφους μου και τους φίλους μου που με στήριξαν με κάθε τρόπο σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Σύνοψη

Σκοπός της πτυχιακής αυτής είναι η δημιουργία ενός ψηφιακού κουρδιστηρίου το οποίο θα μπορεί να εκτελεί τις βασικές λειτουργίες δηλαδή να καθοδηγεί τον χρήστη στον συντονισμό τις κάθε χορδής στην προκαθορισμένη συχνότητα. Η επικοινωνία με τον χρήστη γίνεται με ενδείξεις από led φωτοδιόδους και LCD οθόνης.

Η κατασκευή μου αποτελείται από το κουτί, τον μικροελεγκτή Arduino Uno R3, την πλακέτα σειριακής διεπαφής I2C, μια LCD οθόνη 16x2 και τέλος ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για την κατάλληλη ενίσχυση του σήματος όπου θα τεθεί υπό ανάλυση.

Ο προγραμματισμός του Arduino έχει γίνει χρησιμοποιώντας το open-source λογισμικό Arduino IDE της εταιρίας και γράφοντας σε γλώσσα C/C++ .

Λέξεις κλειδιά: Arduino, Κουρδιστήρι, Κούρδισμα.

Abstract

The purpose of this thesis is to create a digital tuner which can perform the basic functions of guiding the user to coordinate each chord at the predetermined frequency. Communication with the user is done with LED’S and LCD display.

My construction consists of the box, the Arduino Uno R3 microcontroller, the serial interface board I2C, a 16x2 LCD screen, and an electronic circuit for the proper amplification of the signal to be analyzed.

Arduino programming has been done using the company's open-source Arduino IDE software and writing in C / C ++.

Keywords: Arduino, tuner, tuning.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες 1
Σύνοψη 3
Abstract 4
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή 7
1.1 Το Κίνητρο για την Διεξαγωγή της Εργασίας 7
1.2 Ο Σκοπός και οι Στόχοι της Εργασίας 7
1.3 Η Δομή της Εργασίας 7
Κεφάλαιο 2 Ιστορικά και Μουσικά Στοιχεία 9
2.1 Ιστορική αναδρομή για την μουσική 9
2.2 Αναφορά στο κούρδισμα των μουσικών οργάνων 9
2.3 Μουσικές Κλίμακες και Κουρδίσματα 12
2.3.1 Η Πυθαγόρεια κλίμακα 12
2.3.2 Μεσοτονική κλίμακα 13
2.3.3 Ακριβής κλίμακα 14
2.3.4 Συγκερασμένη κλίμακα 14
Κεφάλαιο 3 Εισαγωγή στους Μικροελεγκτές 17
3.1 Ενσωματωμένο Υπολογιστικό Σύστημα 17
3.2 Τι είναι ένας Μικροελεγκτής 17
3.3 Κατηγορίες Μικροελεγκτών 18
3.3.1 Μικροελεγκτές 8, 16 και 32-bit 18
3.3.2 Η Αρχιτεκτονική Harvard 19
3.4 Οι Μικροελεγκτές AVR 20
3.4.1 Ο Πυρήνας του Μικροελεγκτή AVR 21
Κεφάλαιο 4 Η Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino 24
4.1 Ιστορική Αναδρομή 24
4.2 Τι είναι το Arduino 24
4.3 Γιατί το Προτιμούμε 25
4.4 Το Arduino IDE 26
4.5 Arduino Uno Rev 3 Hardware 26
4.5.1 Τροφοδοσία του Arduino 27
4.5.2 Είσοδοι και Έξοδοι 28
Κεφάλαιο 5 Πειραματικό Μέρος 30
5.1 Ανάλυση του εξοπλισμού 30
5.1.1 Το κουτί της κατασκευής 30
5.1.2 Η υπολογιστική πλατφόρμα Arduino 31

5.1.3 Το ολοκληρωμένο TL082 32
5.1.4 Η οθόνη και το I²C module..... 34
5.2 Ανάλυση συνδεσμολογίας..... 35
5.2.1 Αναλογικό κύκλωμα..... 35
5.2.2 Συνδεσμολογία οθόνης και LED φωτοδιόδων και τροφοδοσίας..... 38
5.3 Ανάλυση προγραμματισμού..... 40
5.3.1 Ανίχνευση συχνότητας με χρήση κώδικα..... 40
5.4 Παρουσίαση κατασκευής 41
5.5 Συμπεράσματα 46
Βιβλιογραφία 47
Βιβλία 47
Υπερσύνδεσμοι 47
Παράρτημα 1 - Κώδικας εφαρμογής..... 48

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με την υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Uno R3 και θα μελετήσουμε την εφαρμογή της σε σύστημα ανάλυσης ηχητικού σήματος. Θα αναφέρουμε σε κάποια βασικά ιστορικά στοιχεία που αφορούν το κούρδισμα διαφόρων μουσικών οργάνων. Επίσης θα εξηγήσουμε αναλυτικά τι είναι το Arduino, γιατί το χρησιμοποιούμε και πως, αναλυτική περιγραφή του Hardware αλλά και του Software που χρησιμοποιούμε για να το προγραμματίσουμε. Ακόμα, θα γίνει αναφορά σε όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό, πέραν του Arduino, που χρησιμοποιήθηκε στο ψηφιακό κουρδιστήρι.

1.1 Το Κίνητρο για την Διεξαγωγή της Εργασίας

Κίνητρο αποτέλεσε το μάθημα Συστήματα Μικροεπεξεργαστών, κατά το ακαδημαϊκό έτος 2017-2018, με διδάσκων τον Κ. Ορφανό Ιωάννη στο οποίο μου δόθηκε η ευκαιρία να ασχοληθώ για πρώτη φορά με την υπολογιστική πλατφόρμα Arduino και να μελετήσω τις δυνατότητες της. Είναι πολύ ενδιαφέρον το πλήθος των εφαρμογών που μπορούμε να δημιουργήσουμε προγραμματίζοντας ένα Arduino, κάποια ωραία παραδείγματα είναι το σύστημα ελέγχου κλιματισμού κατοικίας, το διάβασμα τιμής ποτενσιόμετρου, η λειτουργία RGB Led, τα τηλεκατευθυνόμενα οχήματα, το ρολόι από Led κ.α.

1.2 Ο Σκοπός και οι Στόχοι της Εργασίας

Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι η εξοικείωση με το Arduino και την γλώσσα C/C++ στην οποία το προγραμματίζουμε, καθώς και η απόκτηση εμπειρίας στην κατασκευή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Ο σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία ενός ψηφιακού κουρδιστηρίου το οποίο θα μπορεί να εκτελεί τις βασικές λειτουργίες, όλα αυτά θα τα δούμε στα κεφάλαια που ακολουθούν. Θα ήθελα η εργασία αυτή να αποτελέσει ένα καλό οδηγό για κάποιον που θα ήθελε να δημιουργήσει από την αρχή μια εξίσου χρήσιμη κατασκευή.

1.3 Η Δομή της Εργασίας

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η περίληψη της παρούσας εργασίας καθώς και μια εισαγωγή. Ακόμα σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται το κίνητρο για την διεξαγωγή αυτής της εργασίας ο σκοπός και οι στόχοι της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή για τον τονισμό και επίσης αναλύονται κάποιες από τις δημοφιλείς μουσικές κλίμακες. Ένα σημαντικό κεφάλαιο διότι βλέπουμε πως μπορεί να συνδεθεί η φύση του ήχου με την επιστήμη των μαθηματικών και της φυσικής.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή στους μικροελεγκτές και η ανάλυση των λειτουργιών τους. Το κεφάλαιο αυτό είναι αρκετά ενδιαφέρον διότι μας βοηθά να κατανοήσουμε βασικά στοιχεία για τους μικροεπεξεργαστές, από την αρχιτεκτονική τους μέχρι και τον τρόπο λειτουργίας τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο ασχολούμαστε με την υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Uno R3. Το Arduino αποτελεί ένα από τα πιο βασικά στοιχεία της εφαρμογής μας. Ξεκινούμε με μία μικρή ιστορική αναδρομή και στην συνέχεια μιλούμε λεπτομερώς για τις προδιαγραφές της κατασκευής αυτής και τον τρόπο λειτουργίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή όλου του εξοπλισμού που χρησιμοποιούμε στο ψηφιακό κουρδιστήρι, την σωστή συνδεσμολογία του, τα χαρακτηριστικά του καθενός, την χρησιμότητα του κ.α. Στο τέλος παρουσιάζεται ένα σχηματικό διάγραμμα με όλη την συνδεσμολογία του ψηφιακού κουρδιστηρίου. Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται όλη η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την σύνταξη της παρούσας εργασίας.

Κεφάλαιο 2 Ιστορικά και Μουσικά Στοιχεία

2.1 Ιστορική αναδρομή για την μουσική

Η μουσική είναι μία από τις παλαιότερες μορφές τέχνης. Από τα αρχαία χρόνια οι άνθρωποι ασχολούνται με τη μουσική ως μέσο ψυχαγωγίας και κοινωνικής έκφρασης. Ξεκίνησε με την ανθρώπινη φωνή, η οποία τραγουδούσε ή μιμούταν ήχους της φύσης. Πολύ σύντομα εμφανίστηκαν τα πρώτα μουσικά όργανα, τα οποία αρχικά ήταν πολύ απλά, καθώς ως μουσικό όργανο μπορεί να θεωρηθεί ακόμα και το χτύπημα δύο πετρών μεταξύ τους. Η μουσική είναι μια τέχνη με την οποία ο άνθρωπος-μουσικός παράγει ήχους. Η μελέτη της μουσικής όσον αφορά την ιστορία, τη δομή της, τις τεχνικές σύνθεσης γίνεται από τους μουσικολόγους. Επίσης η μουσική μελετάται χρησιμοποιώντας και άλλες επιστήμες όπως η Φυσική και η Ψυχολογία. Η μουσική είναι ένα είδος κυματομορφής οπότε μπορεί να αναλυθεί και να μελετηθεί από τους Φυσικούς.

Με τον καιρό όμως τα μουσικά όργανα γινόταν όλο και πιο σύνθετα και το κάθε ένα είχε την δυνατότητα να παράγει ένα πλήθος διαφορετικών ήχων. Η διαφοροποίηση αυτή προσεγγίζεται στην διαφορά του “τονισμού” του ήχου, δηλαδή της συχνότητας εκπομπής του παραγόμενου ηχητικού κύματος. Ο μουσικός λοιπόν μπορούσε να παίξει μια σειρά διαφορετικών ηχητικών τόνων ώστε να παραχθεί μια «μελωδία».

Όταν άρχισαν δύο ή παραπάνω μουσικά όργανα να παίζουν μαζί, δημιουργήθηκε η ανάγκη να υπάρχει μια «συμφωνία» στους ήχους που παράγονταν από το κάθε ένα όργανο, καθώς δεν ακούγονται όλοι οι μουσικοί τόνοι ευχάριστα μεταξύ τους. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη τονίσματος των μουσικών οργάνων, ώστε να ξέρει ο μουσικός ότι σε συγκεκριμένα «πατήματα» πάνω στο όργανό του, έχει συγκεκριμένους ηχητικούς τόνους, ή όπως ονομάζονται πιο κοινά νότες. Εκτός όμως από το ότι βοηθάει στην ηχητική συμφωνία δύο μουσικών οργάνων, ο τονισμός της μουσικής είναι και ένας τρόπος κωδικοποίησης και καταγραφής, ο οποίος επιτρέπει, για παράδειγμα, να αναπαράγουμε και να ακούσουμε σήμερα μουσικά κομμάτια από παλαιότερες εποχές, κατά τις οποίες δεν υπήρχε η δυνατότητα ηχογράφησης.

Τα πρώτα στοιχεία έγγραφου συμβολισμού της μουσικής τα συναντούμε γύρω στο 2000 π.Χ. στην περιοχή του σημερινού Ιράκ. Σον 6ο π.Χ. αιώνα έχουμε τα πρώτα ευρήματα συμβολισμού των μουσικών τονισμών στην αρχαία Ελλάδα. Ακολουθεί η Βυζαντινή γραφή η οποία χρησιμοποιείται και διδάσκεται μέχρι και σήμερα. Γύρω στον 7ο μ.Χ. αιώνα αναπτύσσεται στην Ευρώπη μια γραφή πολύ κοντά σε αυτήν που χρησιμοποιούμε σήμερα, γνωστή ως «πρώιμη μουσική γραφή», ώσπου το 17ο μ.Χ. αιώνα να πάρει την τελική της μορφή, όπου χρησιμοποιείται έως και σήμερα, από τα περισσότερα σύγχρονα μουσικά ρεύματα.

Παράλληλα, αναπτύχθηκαν πολλές ακόμα μουσικές γραφές ανά τον κόσμο, όπου σε κάθε μία από αυτές βασική πληροφορία που δίνεται για το κομμάτι, είναι ο τόνος στον οποίο πρέπει κάθε φορά να ακουστεί ο ήχος.

2.2 Αναφορά στο κούρδισμα των μουσικών οργάνων

Στην αρχή το κούρδισμα των μουσικών οργάνων γινόταν καθαρά εμπειρικά. Μία βασική ικανότητα που έπρεπε να έχει ο μουσικός ήταν να μπορεί να αναγνωρίσει

ακουστικά τουλάχιστον έναν βασικό μουσικό τόνο, και σύμφωνα με αυτόν να κουρδίσει το μουσικό όργανο.

Πολλές φορές, όταν δύο ή παραπάνω μουσικά όργανα έπρεπε να παίξουν μαζί, απλά οι μουσικοί κούρδιζαν έτσι ώστε σε συγκεκριμένα πατήματα να βγαίνουν οι ίδιοι τόνοι, χωρίς να τους ενδιαφέρει ποιοι ακριβώς ήταν αυτοί, ή αν έπαιζαν ακριβώς πάνω σε τόνο ή ενδιάμεσα δύο τόνων.

Ο τρόπος κουρδίσματος των μουσικών οργάνων πάνω στις πραγματικές νότες που χρησιμοποιούταν μέχρι και τα μέσα του 20ου αιώνα, αλλά χρησιμοποιείται από πολλούς ακόμα και σήμερα (κυρίως για το κούρδισμα οργάνων ορχήστρας), γίνεται με ένα μουσικό όργανο που παράγει έναν τυποποιημένο τόνο χωρίς να ξεκουρδίζεται. Ένα τέτοιο όργανο είναι το γνωστό σε όλους διαπασών (Εικόνα 3). Το διαπασών αποτελείται από δύο παράλληλους μεταλλικούς βραχίονες που σχηματίζουν ένα «πέταλο», του οποίου οι δονήσεις παράγουν έναν σταθερό τόνο, συνηθέστερα τον τόνο Λα της 4ης οκτάβας, δηλαδή ηχητική συχνότητα 440Hz. Με βάση τον τόνο αυτό αναφοράς, ένας έμπειρος μουσικός μπορούσε να κουρδίσει με μεγάλη ακρίβεια το όργανο.

Στην κιθάρα, για παράδειγμα, ο τόνος Α4 βρίσκεται στο 5ο τάστο της 1ης χορδής. Το πατάμε λοιπόν και κουρδίζουμε μέχρι να ακούγεται ο ίδιος ήχος με το διαπασών. Αφού κουρδίσουμε την πρώτη χορδή, ξέρουμε ότι ελεύθερη βγάζει Ε4 όπου είναι ο τόνος της 2ης χορδής στο 5ο τάστο. Με οδηγό λοιπόν την 1η χορδή κουρδίζουμε και την 2η και ούτω καθεξής. Γίνεται αντιληπτό ότι, ακόμα και αυτός ο τρόπος κουρδίσματος παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες για κάποιον που δεν διαθέτει την απαραίτητη εμπειρία και το κατάλληλα εκπαιδευμένο αυτί.

Από το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα υπάρχουν ηλεκτρονικές συσκευές κουρδίσματος των μουσικών οργάνων οι οποίες στην ουσία ανιχνεύουν την συχνότητα του παραγόμενου ήχου και μας δείχνουν σε ποιον τόνο αντιστοιχεί, ή αν βρίσκεται ενδιάμεσα δύο τόνων, έτσι ώστε το κούρδισμα να γίνεται εύκολα και με ακρίβεια.

Κάποιες από τις συσκευές αυτές διαθέτουν μόνο LEDs τα οποία δείχνουν εάν ο παραγόμενος ήχος βρίσκεται ακριβώς πάνω στον τόνο, πιο πριν ή πιο μετά. Άλλα έχουν αναλογική ένδειξη με βελόνα για να μας δείχνουν σε ποιο σημείο της μουσικής κλίμακας παίζουμε, και άλλα ψηφιακή απεικόνιση σε LCD display. Σήμερα υπάρχουν και ρομποτικά κουρδιστήρια τα οποία όχι μόνο ανιχνεύουν την συχνότητα του ήχου, αλλά μπορούν τα ίδια και να κουρδίσουν το όργανο, χρησιμοποιώντας έναν μικρό κινητήρα για την αυτόματη περιστροφή των κλειδιών της κιθάρας. Υπάρχουν ακόμα και προγράμματα στον υπολογιστή με τα οποία μπορεί κάποιος να κουρδίσει ένα μουσικό όργανο, οδηγώντας το σήμα από την κιθάρα στην είσοδο της κάρτας ήχου του υπολογιστή.

Ορισμένα αντιπροσωπευτικά παραδείγματα εμπορικά διαθέσιμων προϊόντων κουρδίσματος μουσικών οργάνων παρουσιάζονται στις παρακάτω.

Εικόνα 1. Ψηφιακό χρωματικό κουρδιστήρι.

Εικόνα 2. Ψηφιακό χρωματικό κουρδιστήρι σε μορφή pedal.

Εικόνα 3. Διαπασών

Εικόνα 4. Αναλογικό κουρδιστήρι.

2.3 Μουσικές Κλίμακες και Κουρδίσματα

Αυτή η ενότητα περιγράφει τις μουσικές κλίμακες, τα κουρδίσματα και διάφορους συγκερασμούς, συμπεριλαμβάνοντας ορισμένα στοιχεία σχετικά με την μαθηματική τους βάση και την ιστορία τους. Αυτά είναι ενδιαφέροντα θέματα όχι μόνο για όσους ασχολούνται με την θεωρία της μουσικής, την ιστορία και την εκτέλεση, αλλά και για κάθε επαγγελματία που έχει οποιαδήποτε σχέση με την μουσική ή ακόμα και ένα σοβαρό ακροατή μουσικής. Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και οι συνθετητές (synthesizers) μας δίνουν τώρα πια την δυνατότητα να πειραματιστούμε με όσες κλίμακες μπορούμε να φανταστούμε και γι' αυτό υπάρχει έντονο ενδιαφέρον σχετικά με τις μουσικές κλίμακες και κουρδίσματα.

Μια μουσική κλίμακα είναι μια ακολουθία από νότες διατεταγμένες σε ανιούσα ή κατιούσα σειρά. Στη δυτική μουσική η οκτάβα χωρίζεται σε 12 μέρη που ονομάζονται ημιτόνια. Όλα τα ημιτόνια σε μια οκτάβα συνιστούν τη χρωματική κλίμακα ή την 12τονη κλίμακα. Διαφορετικές μουσικές κουλτούρες χρησιμοποιούν διαφορετικές κλίμακες. Η πεντατονική κλίμακα, για παράδειγμα, είναι βασική στη Κινέζικη μουσική και επίσης εμφανίζεται στη Κελτική και στην μουσική των αυτόχθονων Αμερικανών. Οι κλίμακες της μουσικής της Ινδίας λέγεται συχνά ότι είναι αρκετά πολύπλοκες εξαιτίας της πληθώρας μικροτονικών διαστημάτων.

Πριν να προχωρήσουμε στη συζήτηση των κλιμάκων, θα πρέπει να γίνει ένας διαχωρισμός μεταξύ των ακόλουθων όρων: κλίμακα και κούρδισμα. Έχουμε ήδη ορίσει την κλίμακα ως μια διαδοχή από νότες με ανιούσα ή κατιούσα σειρά. Υπάρχουν πολλοί τρόποι να συγκροτηθεί μια μουσική κλίμακα. Η δημιουργία κλιμάκων έχει συναρπάσει μαθηματικούς αλλά και μουσικούς από την εποχή των αρχαίων Ελλήνων. Θα αναφερθούμε σε τέσσερις σημαντικές κλίμακες: την Πυθαγόρεια κλίμακα, την κλίμακα ακριβούς συγκερασμού, την κλίμακα μέσου συγκερασμού και την κλίμακα ίσου συγκερασμού.

Το κούρδισμα ορίζεται ως η ρύθμιση του τονικού ύψους σε κάθε μουσικό όργανο έτσι ώστε να ανταποκρίνεται σε ένα αποδεκτό πρότυπο. Αυτό το πρότυπο είναι συνήθως μια από τις αποδεκτές κλίμακες, αν και οι σύγχρονοι συνθέτες πειραματίζονται και με άλλα κουρδίσματα.

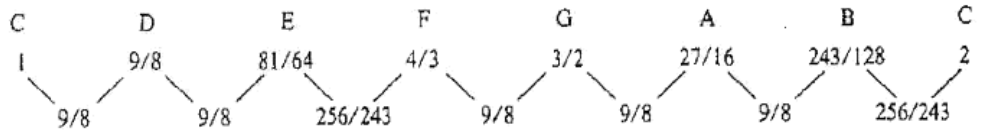
2.3.1 Η Πυθαγόρεια κλίμακα

Ιστορικά αναφέρεται ότι ο Πυθαγόρας γεννήθηκε το 580 π.Χ στην Σάμο, παρόλο που ταξίδεψε και μελέτησε σε όλα τα Ελληνικά κέντρα γύρω από την Μεσόγειο. Ο Πυθαγόρας ίδρυσε ένα σχολείο όπου δίδασκε αριθμητική, γεωμετρία, αστρονομία και μουσική. Λέγεται ότι ο Πυθαγόρας ανακάλυψε, μέσω πειραμάτων διαιρώντας μια χορδή δια δύο, δια τρία και δια τέσσερα, ότι όταν αυτά τα τμήματα δονούνται, εκπέμπουν αρμονικούς τόνους. Τώρα γνωρίζουμε ότι αν μια χορδή διαιρεθεί στα δύο και μία άλλη πανομοιότυπη στα τρία, τότε οι δύο χορδές θα δονούνται με συχνότητες σύμφωνα με το λόγο 2 : 3. Αυτό το διάστημα ονομάζεται πέμπτης καθαρό και είναι το δεύτερο καλύτερο μετά την οκτάβα, όσον αφορά την συμφωνία. Αντίστοιχα, ο λόγος συχνοτήτων μιας χορδής χωρισμένης σε τέσσερα προς μια χορδή χωρισμένη σε τρία είναι 4 : 3 και αυτό το διάστημα ονομάζεται καθαρή τέταρτη, ένα ακόμα σύμφωνο διάστημα.

Η Πυθαγόρεια κλίμακα είναι μια κλίμακα που δημιουργεί τον μεγαλύτερο αριθμό από καθαρές πέμπτες και τέταρτες. Σχεδιάζοντας την Πυθαγόρεια κλίμακα, δύο παρατηρήσεις είναι φανερές:

1. Μια οκτάβα είναι μια τέταρτη συν μια πέμπτη $\left({}^{3}/_{2} \times {}^{4}/_{3} = 2\right)$.
2. Όλες οι νότες μπορούν να απαντηθούν πηγαίνοντας διαδοχικά πάνω ή κάτω με 12 συνεχόμενες πέμπτες ή τέταρτες.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της κλίμακας του Πυθαγόρα είναι η έμφαση που δίνεται στις καθαρές πέμπτες και τέταρτες. Ένα μειονέκτημα, παρόλα αυτά, είναι το κούρδισμα των τρίτων. Οι μεγάλες τρίτες υπερβαίνουν το λόγο 5/4 κατά ένα λόγο 1.0125 και οι μικρές τρίτες είναι μικρότερες από το λόγο 6/5 κατά τον ίδιο λόγο. Αυτός ονομάζεται σύντονον κόμμα. Οι τρίτες της Πυθαγόρειας κλίμακας ηχούν αρκετά ξεκούρδιστες. Παρόλα αυτά, έρευνες έχουν δείξει ότι πολλοί βιολονίστες προτιμούν την Πυθαγόρεια τονική ακρίβεια στις εκτελέσεις τους, κάτι το οποίο τονίζει την μεγάλη σημασία που έχουν οι πέμπτες και οι τέταρτες στην μουσική.



Εικόνα 5. Οι λόγοι συχνοτήτων στην Πυθαγόρεια κλίμακα. Τα νούμερα της κάτω γραμμής δίνουν τους λόγους συχνοτήτων ανάμεσα σε γειτονικές νότες.

2.3.2 Μεσοτονική κλίμακα

Επειδή οι τρίτες της Πυθαγόρειας κλίμακας ηχούν ξεκούρδιστες, έχουν δημιουργηθεί αρκετές παραλλαγές της Πυθαγόρειας κλίμακας. Σχεδόν όλες από αυτές χαμηλώνουν την τρίτη έτσι ώστε η τρίτη μεγάλη και η τρίτη μικρή να είναι κοντά στα αντίστοιχα διαστήματα της ακριβούς κλίμακας, η οποία θα συζητηθεί στην επόμενη ενότητα. Παρόμοιες τροποποιήσεις γίνονται και σε άλλες νότες. Αυτοί οι συμβιβασμοί δημιουργούν τις βάσεις για το σύστημα κουρδίσματος της μεσοτονικής κλίμακας και τις παραλλαγές του.

Στο σύστημα κουρδίσματος της μεσοτονικής κλίμακας οι νότες οξύνονται ή χαμηλώνουν κατά 1/4, 1/2, 3/4, ή 5/4 του συντονικού κόμματος δ, όπου οξύνοντας μια νότα κατά $\delta \times \frac{1}{4}$ σημαίνει ότι η συχνότητα πολλαπλασιάζεται με $(1.0125)^{1/4}$. Παρατηρούμε ότι οι τέταρτες και οι πέμπτες δεν είναι πλέον καθαρά διαστήματα, παρόλο που δεν απέχουν και πολύ απ' αυτά. Τα προβλήματα αρχίζουν όταν τα μουσικά όργανα παίζουν σε κλειδιά με πολλές υφέσεις ή διέσεις. Αν το μουσικό όργανο

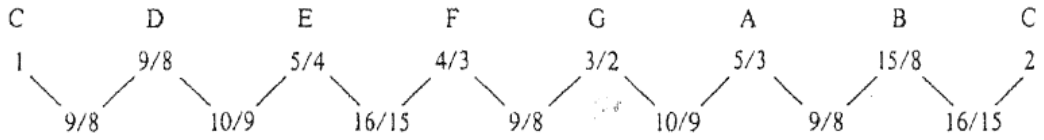
είναι κουρδισμένο με αυτό το σύστημα στην C, όσο αυξάνουν οι διέσεις ή οι υφέσεις στον οπλισμό, τόσο πιο πολύ ξεκούρδιστο ηχεί το μουσικό όργανο.

Pythagorean:	C	D	E	F	G	A	B	C
Meantone:	C	D - 1/2 δ	E – δ	F + 1/4 δ	G – 1/4 δ	A – 3/4 δ	B – 5/4 δ	C

Εικόνα 6. Μεσοτονική κλίμακα του ενός τετάρτου. Το δ είναι το σύντονον κόμμα και παριστάνει το λόγο συχνοτήτων ίσο με 1.0125.

2.3.3 Ακριβής κλίμακα

Η κλίμακα της ακριβούς μουσικής ακρίβειας ή ακριβής διατονική κλίμακα βασίζεται στο μείζον τρίχορδο, ένα σύνολο τριών νοτών που ηχούν ιδιαίτερα αρμονικά. Οι νότες του τρίχορδου αποτελούνται από δύο διαστήματα: μια τρίτη μεγάλη και μια τρίτη μικρή. Όταν αυτά τα διαστήματα γίνουν όσο πιο αρμονικά γίνεται, οι νότες του μείζονος τρίχορδου έχουν συχνότητες με λόγο 4 : 5 : 6. Οι αριθμοί δίνουν τους λόγους συχνοτήτων για τα διαστήματα της ακριβούς κλίμακας. Αυτά τα διαστήματα είναι σύμφωνα επειδή οι διάφωνοι συνδυασμοί μεταξύ των αρμονικών των δύο τόνων είναι ελάχιστοι, ειδικά στην περίπτωση των επονομαζόμενων καθαρών διαστημάτων, τα οποία έχουν τους πιο απλούς λόγους.



Εικόνα 7. Οι λόγοι συχνοτήτων για τις νότες από την ακριβή κλίμακα. Τα νούμερα της κάτω γραμμής δίνουν τους λόγους συχνοτήτων ανάμεσα σε γειτονικές νότες

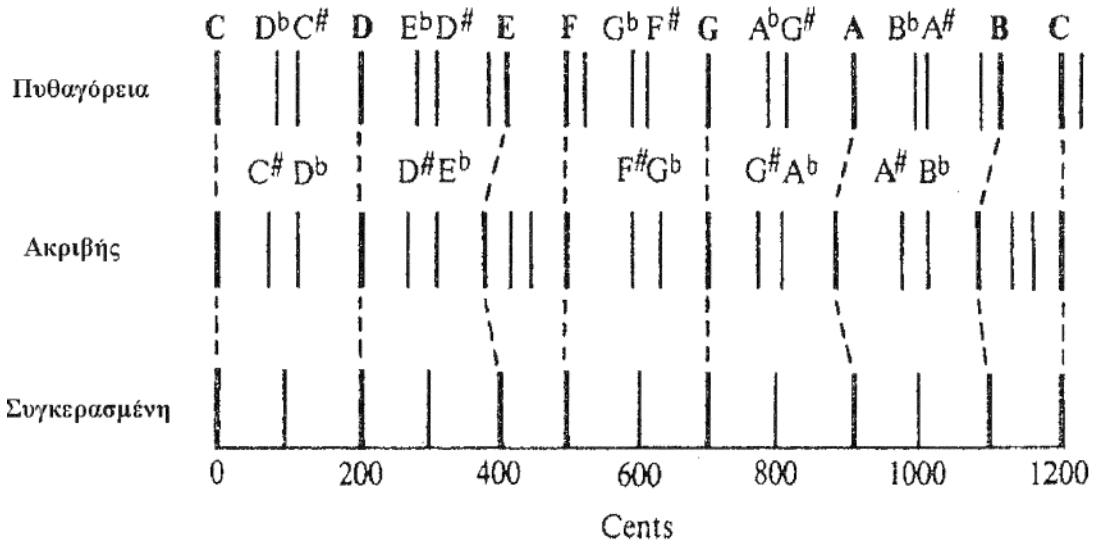
Αν εξετάσουμε τις πέμπτες της ακριβούς κλίμακας, φαίνεται ότι οι πέντε από αυτές είναι καθαρές αλλά μια από αυτές, D : A, είναι ατελής (με την έννοια ότι οι συχνότητες δεν είναι σε λόγο 3:2). Το ίδιο ισχύει και για τις τέταρτες της κλίμακας, πέντε είναι καθαρές, αλλά η A : D δεν είναι. Η ακριβής κλίμακα λοιπόν ποτέ δεν είχε μεγάλη αξία. Λόγω των δυο διαφορετικών διαστημάτων του τόνου, ένα μουσικό όργανο πρέπει να επανακουρδίζεται με κάθε αλλαγή του οπλισμού. Έχουν κατασκευαστεί εκκλησιαστικά όργανα με πολύπλοκα πληκτρολόγια που επιτρέπουν την εκτέλεση έργων της ακριβούς κλίμακας σε διαφορά κλειδιά.

2.3.4 Συγκερασμένη κλίμακα

Ο υπέρτατος συμβιβασμός είναι η συγκερασμένη κλίμακα, στην οποία όλα τα ημιτόνια είναι ίδια. Η κλίμακα του ίσου καταμερισμού, αποτελείται από πέντε ίσους ολοκλήρους τόνους και δυο ημιτόνια. Οι τόνοι έχουν διπλάσιο μέγεθος από τα ημιτόνια. Δώδεκα ίσα ημιτόνια συνθέτουν μια οκτάβα. Ο καθορισμός του λόγου συχνοτήτων του διαστήματος που είναι ακριβώς το 1/12 της οκτάβας είναι περισσότερο ένα μαθηματικό παρά ένα μουσικό πρόβλημα. Η τετραγωνική ρίζα του 2 είναι ένας αριθμός που αν πολλαπλασιαστεί με τον εαυτό του δίνει αποτέλεσμα 2. Αντίστοιχα η δωδέκατη ρίζα

του 2 είναι ένας αριθμός που πολλαπλασιαζόμενος με τον εαυτό του 12 φορές δίνει 2. Αυτό είναι το ημιτόνιο της συγκερασμένης κλίμακας $\left(2^{1/12} = 1.05946\right)$. Ένας ολόκληρος τόνος είναι $(1.05946)^2$, ή 1.12246.

Από το να χρησιμοποιούμε συνέχεια λογούς συχνοτήτων, είναι σύνηθες να συγκρίνουμε τους τόνους χρησιμοποιώντας τα «εκατοστά» (cents). Ένα cent είναι 1/100 του ημιτονίου στη συγκερασμένη κλίμακα. Συνεπώς η οκτάβα είναι 1200 cents. Ένα cent έχει λόγο $\left(2^{1/1200}\right) = 1.000587$.



Εικόνα 8. Σύγκριση της Πυθαγόρειας, την ακριβούς και της συγκερασμένης κλίμακας σε σχέση με τα cents.

Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό είναι η μεγάλη διαφορά των τριών κλιμάκων ανάμεσα στις νότες με υφέσεις και διέσεις. Αρκετά παραδείγματα θα βρείτε παρακάτω στις εικόνες που ακολουθούν καθώς και τον πίνακα με τις συχνότητες από όλες τις νότες στη συγκερασμένη κλίμακα.

C_0	16.352	C_3	130.81	C_6	1046.5
	17.324		138.59		1108.7
D_0	18.354	D_3	146.83	D_6	1174.7
	19.445		155.56		1244.5
E_0	20.602	E_3	164.81	E_6	1318.5
F_0	21.827	F_3	174.61	F_6	1396.9
	23.125		185.00		1480.0
G_0	24.500	G_3	196.00	G_6	1568.0
	25.957		207.65		1661.2
A_0	27.500	A_3	220.00	A_6	1760.0
	29.135		233.08		1864.7
B_0	30.868	B_3	246.94	B_6	1975.5
C_1	32.703	C_4	261.63	C_7	2093.0
	34.648		277.18		2217.5
D_1	36.708	D_4	293.66	D_7	2349.3
	38.891		311.13		2489.0
E_1	41.203	E_4	329.63	E_7	2637.0
F_1	43.654	F_4	349.23	F_7	2793.8
	46.249		369.99		2960.0
G_1	48.999	G_4	392.00	G_7	3136.0
	51.913		415.30		3322.4
A_1	55.000	A_4	440.00	A_7	3520.0
	58.270		466.16		3729.3
B_1	61.735	B_4	493.88	B_7	3951.1
C_2	65.406	C_5	523.25	C_8	4186.0
	69.296		554.37		4434.9

Εικόνα 9. Οι συχνότητες από τις νότες στη συγκερασμένη κλίμακα.

Κεφάλαιο 3 Εισαγωγή στους Μικροελεγκτές

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε την έννοια του ενσωματωμένου συστήματος. Θα εξηγήσουμε την διαφορά μεταξύ ενός μικροεπεξεργαστή μη ενσωματωμένου συστήματος και ενός μικροελεγκτή, και στην συνέχεια θα δούμε βασικές κατηγορίες μικροελεγκτών. Τέλος, θα ασχοληθούμε με το Hardware του μικροελεγκτή AVR, ο οποίος και χρησιμοποιείται σε πλακέτες Arduino.

3.1 Ενσωματωμένο Υπολογιστικό Σύστημα

Ένας απλός ορισμός ενός ενσωματωμένου υπολογιστικού συστήματος, είναι οποιαδήποτε συσκευή περιλαμβάνει ένα προγραμματιζόμενο υπολογιστή, ο οποίος όμως δεν αποτελεί υπολογιστή γενικού σκοπού. Συνεπώς, ο ηλεκτρονικός μας υπολογιστής δεν αποτελεί ενσωματωμένο υπολογιστικό σύστημα. Αντίθετα, το PDA, το MP3 player, τα κινητά τηλέφωνα, οι ψηφιακές κάμερες, οι εκτυπωτές και τα GPS αποτελούν παραδείγματα ενός ενσωματωμένου υπολογιστικού συστήματος.

Η σχεδίαση ενσωματωμένων υπολογιστικών συστημάτων, τα οποία βασίζονται συχνά σε μικροελεγκτές, είναι μία σημαντική δεξιότητα για την ανάπτυξη πολλών τύπων προϊόντων, βασικό και αναπόσπαστο κομμάτι των οποίων είναι η χρήση του μικροεπεξεργαστή. Οι σχεδιαστές λοιπόν πρέπει να έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν που μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι μικροεπεξεργαστές, να σχεδιάζουν την πλατφόρμα του υλικού με τις απαραίτητες συ- σκευές εισόδου και εξόδου, οι οποίες μπορούν να υποστηρίξουν τις απαιτούμενες εργασίες και να υλοποιούν λογισμικό το οποίο εκτελεί την απαιτούμενη επεξεργασία.

Το βασικό χαρακτηριστικό των ενσωματωμένων υπολογιστικών συστημάτων είναι η αφοσίωση τους στην διεκπεραίωση μίας συγκεκριμένης εργασίας. Εφόσον λοιπόν απευθύνονται σε συγκεκριμένες εργασίες, οι σχεδιαστές μπορούν να τα βελτιώσουν ώστε να μειωθεί το κόστος και το μέγεθος του προϊόντος, αυξάνοντας ταυτόχρονα την αξιοπιστία και την απόδοση τους.

3.2 Τι είναι ένας Μικροελεγκτής

Οι μικροελεγκτές συχνά ορίζονται ως ένας μίνι πλήρης υπολογιστής σε ένα ενιαίο τσιπ. Στον πυρήνα τους, οι μικροελεγκτές έχουν έναν μικροεπεξεργαστή, που είναι παρόμοιος με την CPU του υπολογιστή μας, μία σταθερή ποσότητα μνήμης RAM και ROM και άλλα περιφερειακά όλα ενσωματωμένα σε ένα τσιπ. Σήμερα, αρκετοί κατασκευαστές παράγουν μικροελεγκτές με ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων και είναι διαθέσιμα σε διάφορες εκδόσεις. Κάποιοι από τους κατασκευαστές είναι η ATMEL, η Philips, η Motorola κ.

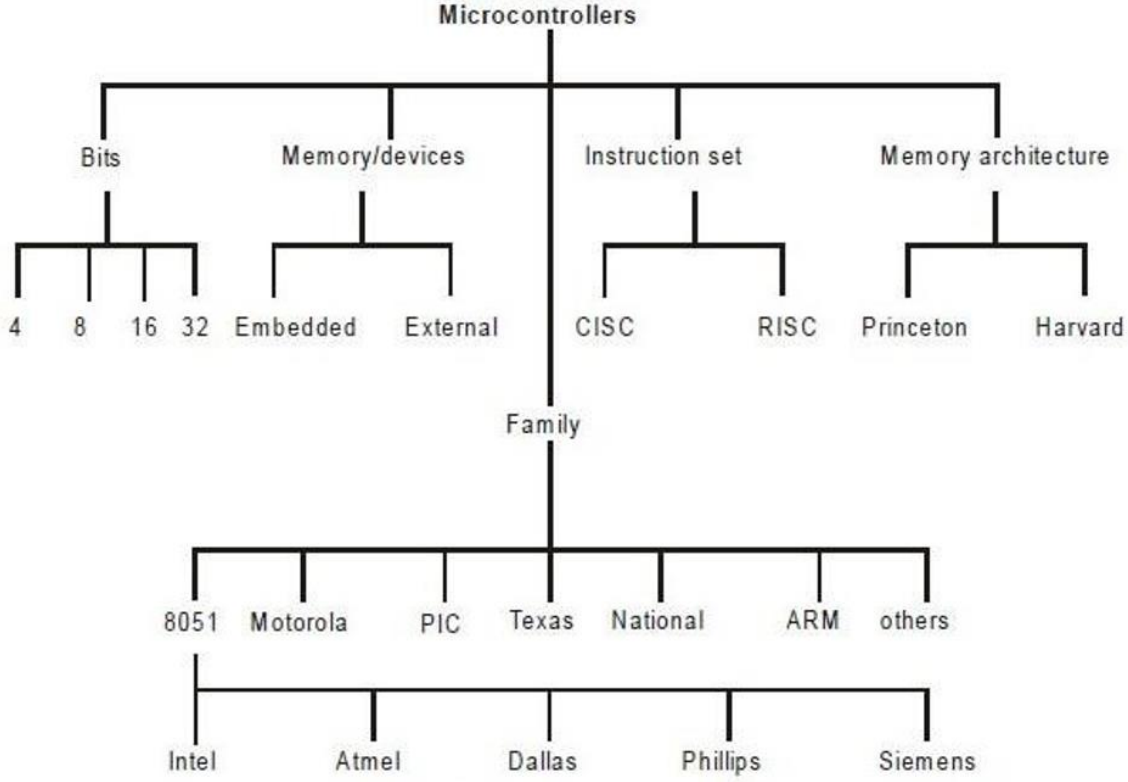
Οι μικροελεγκτές είναι σχεδιασμένοι για να εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες. Λέγοντας συγκεκριμένες, εννοούμε εφαρμογές όπου η σχέση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου είναι προκαθορισμένη. Αναλόγως την είσοδο, ακολουθεί μία συγκεκριμένη επεξεργασία και έτσι παράγεται η έξοδος μας. Εφόσον λοιπόν απευθύνεται σε συγκεκριμένες εφαρμογές, οι απαιτήσεις σε μνήμη RAM, ROM και περιφερειακές εισόδους εξόδους είναι περιορισμένες, πράγμα που καθιστά εύκολη την ενσωμάτωση αυτών σε ένα μόνο τσιπ. Αυτό με την σειρά του μειώνει τόσο το κόστος όσο και το μέγεθος του μικροελεγκτή.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των μικροελεγκτών είναι:

- Αυτονομία, μέσω της ενσωμάτωσης σύνθετων περιφερειακών υποσυστημάτων όπως μνήμες και θύρες επικοινωνίας. Έτσι πολλοί μικροελεγκτές δεν χρειάζονται κανένα άλλο ολοκληρωμένο κύκλωμα για να λειτουργήσουν.
- Η ενσωμάτωση περιφερειακών σημαίνει ευκολότερη υλοποίηση εφαρμογών λόγω των απλούστερων διασυνδέσεων. Επίσης, οδηγεί σε χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος, μεγιστοποιώντας τη φορητότητα και ελαχιστοποιεί το κόστος της συσκευής στην οποία ενσωματώνεται ο μικροελεγκτής.
- Στις μέρες μας είναι διαθέσιμοι σε χαμηλό κόστος.
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία, και πάλι λόγω των λιγότερων διασυνδέσεων.
- Μικρό μέγεθος συνολικού υπολογιστικού συστήματος.

3.3 Κατηγορίες Μικροελεγκτών

Οι μικροελεγκτές ταξινομούνται αναλόγως, το εύρος διαύλου, το σετ εντολών, την αρχιτεκτονική μνήμης ,την γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται κ.α.



Εικόνα 10. Τύποι μικροελεγκτών

3.3.1 Μικροελεγκτές 8, 16 και 32-bit

Όσες περισσότερες γραμμές διευθύνσεων έχει ένας δίαυλος, τόσο περισσότερη μνήμη μπορεί να προσπελάσει άμεσα ο μικροεπεξεργαστής. Αν ο δίαυλος έχει n γραμμές διευθύνσεων, τότε ο μικροεπεξεργαστής μπορεί να τον

χρησιμοποιήσει για να απευθύνεται σε 2n διαφορετικές διευθύνσεις μνήμης. Για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεγάλες μνήμες, οι δίαυλοι χρειάζεται να έχουν πολλές γραμμές διευθύνσεων. Σύμφωνα με το εύρος του διαύλου διακρίνονται σε μικροελεγκτές των 8, 16 και 32-bit αντίστοιχα.

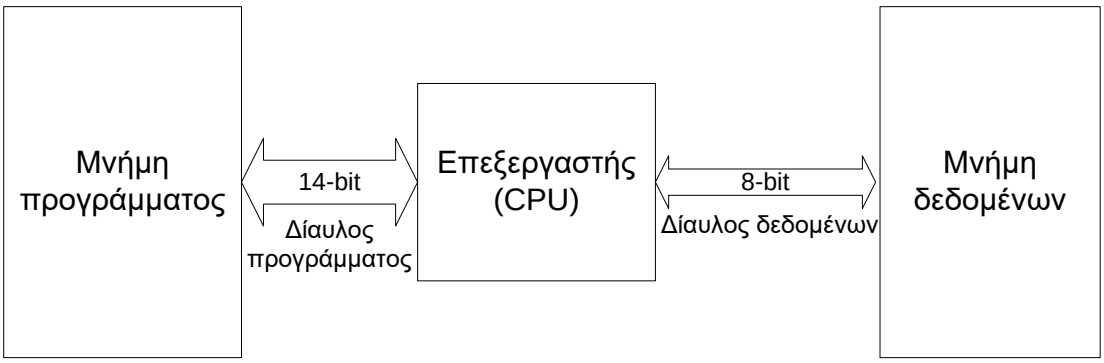
Μικροελεγκτής 8-bit: Όταν το εύρος του εσωτερικού διαύλου σε ένα μικροελεγκτή είναι 8-bit και η μονάδα αριθμητικής λογικής (ALU) εκτελεί τις αριθμητικές και λογικές πράξεις σε ένα Byte (8 bit), ο μικροελεγκτής ονομάζεται μικροελεγκτής 8-bit. Παραδείγματα 8bit μικροελεγκτών είναι το ATmega328, ο Intel 8031/8051 και η σειρά MC68HC11 της Motorolla. .

Μικροελεγκτής 16-bit: Έχει μεγαλύτερη ακρίβεια και καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με τον μικροελεγκτή 8-bit. Όταν το εύρος του διαύλου είναι 16-bit και η μονάδα αριθμητικής λογικής εκτελεί αριθμητικές και λογικές πράξεις μίας λέξης (16-bit) σε μία εντολή, τότε ο μικροελεγκτής ονομάζεται μικροελεγκτής 16-bit. Για παράδειγμα ένας μικροελεγκτής 8-bit μπορεί να προσπελάσει 28 θέσεις μνήμης, καταλήγοντας σε συνολικό εύρος 0×00 – 0xFF (0-255) για κάθε κύκλο. Αντίθετα, ένας μικροελεγκτής με μέγεθος 16-bit έχει εύρος 216, δηλαδή 0×0000 – 0xFFFF (0-65535) ανά κύκλο. Παραδείγματα μικροελεγκτών 16-bit είναι το 8051XA, PIC2X, ο Intel 8096, η σειρά MC68HC12 της Motorolla.

Μικροελεγκτής 32-bit: Χρησιμοποιεί εντολές των 32-bit για να εκτελέσει αριθμητικές και λογικές πράξεις. Παρέχουν πολύ μεγάλη ακρίβεια και απίστευτη απόδοση σε σχέση με τους μικροελεγκτές 16-bit. Χρησιμοποιούνται σε συσκευές αυτόματου ελέγχου, όπως σε εφαρμογές συστημάτων ελέγχου ενός κινητήρα, σε μηχανές γραφείου κ.ά. Επίσης, βρίσκουν εφαρμογή σε ενσωματωμένα συστήματα υπολογιστών, όπως σε κινητά τηλέφωνά, ηχοσυστήματα MP3, αεροδιαστημικά συστήματα κ.α. Κάποια παραδείγματα μικροελεγκτών 32-bit, είναι η σειρά 32-bit AVR UC3 της Atmel, το PIC3x, το Motorola M683xx και η οικογένεια ARM 7, 9 και 11.

3.3.2 Η Αρχιτεκτονική Harvard

Η σημερινή τάση είναι υπέρ της λεγόμενης διαμερισμένης κρυφής μνήμης (split cache), όπου οι εντολές βρίσκονται σε μία κρυφή μνήμη και τα δεδομένα σε άλλη. Ο σχεδιασμός αυτός λέγεται και αρχιτεκτονική Harvard. Αυτή η ονομασία παραπέμπει πίσω στον υπολογιστή Mark III του Harward Aiken, που είχε διαφορετικές μνήμες για τις εντολές και για τα δεδομένα. Στην (Εικόνα 11), παρατηρούμε τον ξεχωριστό δίαυλο για τα δεδομένα και για τις εντολές, πράγμα που επιτρέπει την παράλληλη προσπέλαση. Τέλος, να αναφέρουμε πως το ολοκληρωμένο Atmega328 που χρησιμοποιείται στην πλατφόρμα του Arduino βασίζεται στην αρχιτεκτονική Harvard.



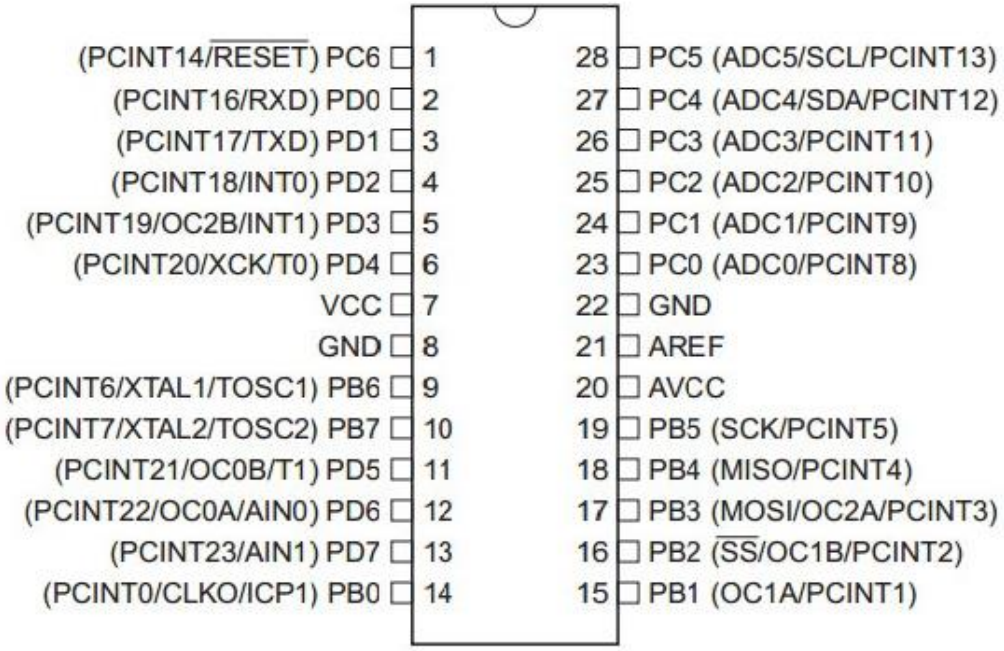
Εικόνα 11. Διάγραμμα της αρχιτεκτονικής Harvard

3.4 Οι Μικροελεγκτές AVR

Η βασική αρχιτεκτονική των AVR επινοήθηκε από δύο μαθητές στο Νορβηγικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας τους Alf-Bogen EGIL και Vegard Wollan. Αργότερα η πατέντα για τους AVR μικροελεγκτές αγοράστηκε από την εταιρία ATMEL και η εσωτερική αρχιτεκτονική τους αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 1996. Χρησιμοποιούν την τροποποιημένη αρχιτεκτονική Harvard 8-bit και κάνουν χρήση της ενσωματωμένης μνήμης FLASH για την αποθήκευση του προγράμματος σε αντίθεση με τις OTP ROM (One Time Programmable Read Only Memory), EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) και EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read- Only Memory) που χρησιμοποιούνται από άλλους μικροελεγκτές. Η θυγατρική της ATMEL στην Νορβηγία ιδρύθηκε από τους δύο φοιτητές. Το όνομα AVR, σύμφωνα με την ATMEL, δεν αποτελεί κάτι ιδιαίτερο όσον αφορά την ερμηνεία του, ωστόσο είναι πιθανό να προέρχεται από το Advanced Virtual RISC ή από τα ονόματα των σχεδιαστών, δηλαδή Alf and Vegard RISC. Το όνομα AVR ορίζει όλη την οικογένεια των μικροελεγκτών τύπου 8-bit και 32-bit RISC.

Υπάρχουν διάφορα είδη AVR μικροελεγκτών με διαφορετικές ιδιότητες ο καθένας. Εκτός από τον AVR32, ο οποίος είναι ένας 32-bit μικροεπεξεργαστής, όλοι οι άλλοι είναι 8-bit, πράγμα που σημαίνει ότι η CPU μπορεί να δουλέψει μόνο 8 bits δεδομένων την φορά. Δεδομένα μεγαλύτερα από 8-bit θα σπάσουν σε κομμάτια των 8-bit για να υποβληθούν σε επεξεργασία από την CPU του μικροελεγκτή. Ένα από τα προβλήματα με τους μικροελεγκτές AVR, από την άποψη του λογισμικού, είναι ότι δεν υπάρχει εκατό τις εκατό συμβατότητα μεταξύ τους. Για να τρέξουμε ένα πρόγραμμα γραμμένο για το ATtiny25 στον Atmega64, θα πρέπει να μεταγλωττίσουμε το πρόγραμμα ξανά και, ενδεχομένως, να αλλάξουμε θέση σε κάποιους registers πριν το φορτώσουμε στο Atmega64. Οι AVRs ταξινομούνται σε τέσσερις μεγάλες ομάδες οι οποίες είναι : tinyAVR, megaAVR, XMEGA, Application Specific AVR, FPSLIC, 32-bit AVRs.

Κάθε pin στον μικροελεγκτή AVR έχει ένα όνομα. Αν για παράδειγμα συνδέσουμε ένα Led στο pin 14, μπορούμε μετά να κάνουμε το pin αυτό HIGH ή LOW, να περάσουμε δηλαδή μία τάση, μιλώντας σε αυτό ως PB0. Τα περισσότερα pin σε ένα AVR έχουν και δευτερεύουσες λειτουργίες, αυτές παρατίθενται ως μνημονικά μέσα σε παρένθεση. Για παράδειγμα, τα RXD και TXD που χρησιμοποιούνται στην σειριακή επικοινωνία, βρίσκονται στα pins PD0 και PD1 αντίστοιχα.



Εικόνα 12. Διάγραμμα των Pins ενός AVR Atmega328P-PU.

3.4.1 Ο Πυρήνας του Μικροελεγκτή AVR

CPU: Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) ενός AVR είναι παρόμοια με εκείνη του ηλεκτρονικού μας υπολογιστή. Είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που έχει ενσωματωμένες προκαθορισμένες μαθηματικές και λογικές λειτουργίες, και ξέρει που να βρει τη λίστα αυτών των λειτουργιών που απαιτούνται από το πρόγραμμα μας, και που να βρει τα δεδομένα που χρειάζεται για να τις εκτελέσει.

ΜΝΉΜΗ :Οι μικροελεγκτές AVR έχουν τρείς διαφορετικούς τύπους μνήμης, κάθε ένας με διαφορετική χρήση.

- Μνήμη Flash : Οι εντολές του προγράμματος μας αποθηκεύονται σε μία μη πτητική μνήμη flash. Τα δεδομένα της μνήμης δεν σβήνονται σε περίπτωση απώλειας ρεύματος. Το μέγεθος της μνήμης του προγράμματος αναφέρεται συνήθως στην ονοματολογία της ίδια της συσκευής (για παράδειγμα ο Atmega328 έχει Flash 32 KB).
- Μνήμη RAM : Χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση μεταβλητών κατά την εκτέλεση του προγράμματος μας.
- Μνήμη EEPROM : Είναι αργή στην εγγραφή. Όπως και η Flash Memory, η EEPROM μπορεί να διατηρήσει το περιεχόμενό της ακόμη και με απουσία τάσης.

CLOCK: Σε πολλά ψηφιακά κυκλώματα η σειρά με την οποία πραγματοποιούνται τα συμβάντα είναι κρίσιμη. Μερικές φορές κάποιο συμβάν πρέπει να προηγείται κάποιου άλλου, ενώ μερικές φορές δύο συμβάντα πρέπει να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Για να μπορούν οι σχεδιαστές να πετύχουν τις

απαιτούμενες χρονικές σχέσεις, πολλά ψηφιακά κυκλώματα χρησιμοποιούν ρολόγια για την επίτευξη του χρονισμού.

Υπάρχουν τέσσερις τύποι ρολογιών που χρησιμοποιούνται στους μικροελεγκτές, κρύσταλλα (crystals), κεραμικά αντηχεία (ceramic resonators), RC (resistor, capacitor) ταλαντωτές και ταλαντωτές πυριτίου (silicon oscillators). Θα χρησιμοποιήσουμε τον RC ταλαντωτή ως βασικό ρολόι. Τρέχει στα 8 Mhz περίπου. Στη συνέχεια το ρολόι της CPU διαιρείται από το βασικό ρολόι, και τρέχει περίπου στο 1Mhz από προεπιλογή, αλλά μερικές φορές όταν χρειαζόμαστε επιπλέον ταχύτητα, το ανεβάζουμε στα 8Mhz .

OUTPUTS: Σχεδόν όλα τα pins σε ένα AVR chip μπορούν χρησιμοποιηθούν ως ψηφιακές έξοδοι, που σημαίνει ότι το pin μπορεί να δεχθεί εντολή, μέσω του προγράμματος, ώστε να εξάγει είτε το επίπεδο της τάσης τροφοδοσία είτε το επίπεδο της τάσης γείωσης.

INPUTS: Ακριβώς όπως όλα τα pin μπορούν να οριστούν ως έξοδοι, μπορούν επίσης να οριστούν και ως ψηφιακοί είσοδοι, όπου ελέγχουν αν η τάση που εφαρμόζεται εξωτερικά στο pin είναι high ή low. Πιο συγκεκριμένα εάν η τάση στο pin είναι πάνω από το μισό της τάσης τροφοδοσίας, το chip θέτει ένα bit μίας εσωτερικής μεταβλητής ίσο με 1. Αν η τάση είναι κάτω από το μισό της τάσης τροφοδοσίας, το ίδιο bit θα γίνει ίσο με 0.

Σειριακή επικοινωνία: Ο AVR διαθέτει τρείς σειριακές επικοινωνίες, την USART, η οποία είναι χρήσιμη στην επικοινωνία με τον ηλεκτρονικό μας υπολογιστή, με radio, modems, GPS. Τα αρχικά του USART σημαίνουν Universal Synchronous and Asynchronous Receiver and Transmitter, και δεν κάνει χρήση του ρολογιού σε αντίθεση με το UART, Universal Asynchronous Receive and Transmit, το οποίο χρησιμοποιεί το ρολόι. Την SPI, Serial Peripheral Interface, η οποία είναι καλή για γρήγορη επικοινωνία σε μικρές αποστάσεις, όπως μνήμες, ADCs και DACs. Τέλος την I2C η οποία είναι σαν ένα μικρό δίκτυο, και μας επιτρέπει να συνδέσουμε πάνω από 127 διαφορετικούς αισθητήρες στο ίδιο ζεύγος καλωδίων. Συσκευές που διαχειρίζονται μικρή ποσότητα δεδομένων συνήθως χρησιμοποιούν την I2C. Επειδή κάθε μία από τις περιφερειακές συσκευές είναι ξεχωριστή μέσα στον AVR, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάθε μία από αυτές ταυτόχρονα.

Analog to digital converter: Ένας αριθμός από αισθητήρια που θα χρησιμοποιήσουμε στα project μας, δεν «μιλούν» την ψηφιακή μητρική γλώσσα του μικροελεγκτή. Αντίθετα θα λέγαμε ότι ο τρόπος επικοινωνίας τους γίνεται με συνεχόμενα αναλογικά σήματα τάσης. Για να διαβάσουμε και να διαχειριστούμε αυτές τις τιμές όπως θα κάναμε με οποιαδήποτε άλλα ψηφιακά δεδομένα, θα χρειαστεί να τις περάσουμε από ένα analog to digital converter, ADC. Υπάρχουν δύο τεχνικές που μπορούν να μας αποφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια και μείωση του θορύβου στον ADC, αυτές είναι η oversampling και exponential smoothing.

Timers/Counters: Οι μικροεπεξεργαστές AVR έχουν ενσωματωμένους hardware μετρητές (counters). Οι μετρητές αυτοί κάνουν το προφανές, μετρούν πόσες φορές ένα pin ή μία εσωτερική πηγή άλλαξε την τάση της. Η πιο απλή εφαρμογή ενός counter, είναι να συνδέσουμε τον εσωτερικό counter με ένα κουμπί. Τώρα μπορούμε να δούμε πόσες φορές πατήθηκε αυτό το κουμπί απλά διαβάζοντας τον καταχωρητή (register) του μετρητή. Οι μετρητές μπορούν επίσης να συνδυαστούν και με ρολόγια, γι' αυτό και συχνά αναφέρονται ως timers/counters. Με ένα ρολόι και ένα timer, μπορείς να μετρήσεις είτε πόσο χρόνο διαρκεί κάποιο γεγονός, ή τη συχνότητα του

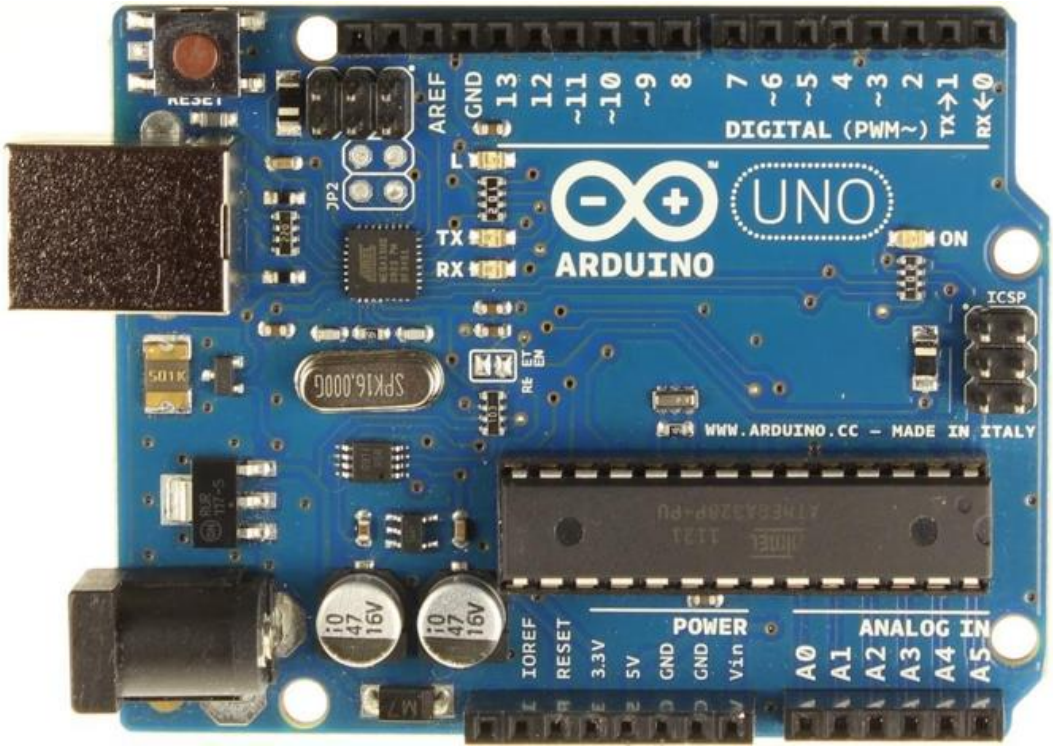
γεγονότος αυτού. Θα έχουμε επίσης τη δυνατότητα να εξάγουμε σε συγκεκριμένα pins του AVR και να εκτελέσουμε περιοδικά συγκεκριμένες υπορουτίνες.

Οι ακροδέκτες τροφοδοσίας είναι οι εξής:

- Vin. Εδώ συνδέεται συνήθως μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας για το μικροελεγκτή μας, είναι ακροδέκτης μη σταθεροποιημένης τάσης. Ωστόσο αν τροφοδοτούμε την πλακέτα μέσω του βύσματος τροφοδοσίας (Power jack), μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το Vin και ως έξοδο.
- 5V. Ακροδέκτης σταθεροποιημένης τάσης. Η πλακέτα μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε μέσω του DC power jack (7- 12V), είτε μέσω του καλωδίου Usb (5V), είτε από το Vin (7-12V). Προσοχή, δεν ενδείκνυται να τροφοδοτήσουμε την πλακέτα από τους ακροδέκτες 5V η 3.3V γιατί παρακάμπτετε ο σταθεροποιητής τάσης και είναι πολύ πιθανό να κάνουμε ζημιά στην πλακέτα.
- 3.3V. παράγεται τάση 3.3V από τον ενσωματωμένο σταθεροποιητή με μέγιστο ρεύμα 50mA.
- GND. Ακροδέκτες γείωσης.

Κεφάλαιο 4 Η Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino

Ένα κεφάλαιο αποκλειστικά αφιερωμένο στο Arduino. Στην Εικόνα 13 βλέπουμε το Arduino Uno R3, ένα από τα δημοφιλή μέλη της οικογένειας Arduino, το οποίο και χρησιμοποιούμε στην παρούσα εργασία. Οι δυνατότητες του παρουσιάζουν τεράστιο ενδιαφέρον και παρακάτω θα αναλύσουμε ότι αφορά την συγκεκριμένη πλατφόρμα, από το Hardware μέχρι τον τρόπο λειτουργίας της και όχι μόνο.



Εικόνα 13. Arduino Uno R3

4.1 Ιστορική Αναδρομή

Το Arduino ξεκίνησε σε ένα μικρό εργοστάσιο στην πόλη της Ιβρέα η οποία είναι κωμόπολη της επαρχίας Τορίνο στην περιοχή Πεδεμόντιο της βορειοδυτικής Ιταλίας, στην ίδια περιοχή στην οποία στεγαζόταν η εταιρία υπολογιστών Olivetti. Στόχος ήταν να φτιαχτεί μία συσκευή για τον έλεγχο προγραμμάτων διαδραστικών σχεδίων από μαθητές, η οποία θα ήταν πιο φθηνή από τα άλλα πρωτότυπα συστήματα που ήταν διαθέσιμα εκείνη την περίοδο. Οι ιδρυτές Massimo Banzi και David Cueartielles ονόμασαν το σχέδιο Arduino από τον Arduin της Ιβρέα, βασιλιά της Ιταλίας. Το πρόγραμμα Arduino έλαβε τιμητική μνεία στην κατηγορία Digital Communities στο Prix Ars Electronica το 2006.

4.2 Τι είναι το Arduino

Το Arduino είναι μία υπολογιστική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα βασισμένη σε μία απλή μητρική πλακέτα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή η οποία μπορεί να

προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring, μια παραλλαγή της C/C++ για μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής AVR όπως το ATmega, και υποστηρίζει όλες τις βασικές δομές της C καθώς και μερικά χαρακτηριστικά της C++. Θα λέγαμε ότι είναι ένα εργαλείο για να κατασκευάσουμε ένα υπολογιστικό σύστημα με την έννοια ότι αυτό θα ελέγχει συσκευές του φυσικού κόσμου, σε αντίθεση με τον κοινό μας Ηλεκτρονικό Υπολογιστή.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάπτυξη διαδραστικών αντικειμένων, μπορεί να πάρει είσοδο από διάφορους διακόπτες ή αισθητήρες και να ελέγξει φώτα, κινητήρες και άλλες φυσικές εξόδους. Τα Project μπορεί να είναι είτε stand-alone (αυτόνομα), είτε να επικοινωνούν με λογισμικό που τρέχει στον υπολογιστή μας όπως Flash, Processing, MaxMSP. Οι πλακέτες μπορούν να συναρμολογηθούν στο χέρι ή να αγοραστούν έτοιμες. Το περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού, το οποίο είναι ανοιχτού κώδικα, μπορεί κάποιος να το κατεβάσει δωρεάν από την επίσημη ιστοσελίδα του Arduino http://arduino.cc/en/Main/Software.

4.3 Γιατί το Προτιμούμε

Υπάρχουν αρκετοί μικροελεγκτές διαθέσιμοι στην αγορά για κάποιον που θέλει να ασχοληθεί. Κάποιοι από αυτούς είναι ο Basic Stamp της Parallax, ο BX-24 της NetMedia, το Handyboard του MIT, και πολύ άλλοι οι οποίοι προσφέρουν παρόμοιες δυνατότητες. Όλα αυτά τα εργαλεία που προαναφέραμε είναι απλά και για τον αρχάριο χρήστη καθώς «κρύβουν» τις δύσκολες λεπτομέρειες της αρχιτεκτονικής και επιτρέπουν τον άμεσο προγραμματισμό του μικροελεγκτή, προσφέροντας τα πάντα σε ένα και μόνο «πακέτο» έτοιμο για χρήση. Το Arduino διαφέρει από τους προηγούμενους γιατί απλοποιεί την διαδικασία να δουλεύει κάποιος με μικροελεγκτές, αλλά κάποια πλεονεκτήματα που προσφέρει σε σχέση με άλλους μικροελεγκτές για χρήση από δασκάλους, μαθητές και άλλους χομπίστες είναι τα παρακάτω:

- Είναι φθηνό. Οι πλακέτες Arduino είναι σχετικά φθηνές σε σχέση με άλλους μικροελεγκτές. Η φθηνότερη εκδοχή του Arduino μπορεί να κατασκευαστεί στο χέρι αν και η έτοιμη πλακέτα δεν θα κοστίσει πάνω από πενήντα ευρώ.
- Τρέχει σε διάφορα Λειτουργικά Συστήματα. Οι μηχανικοί λογισμικού, ανέπτυξαν το περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino για Windows, Macintosh OSX και για λειτουργικά συστήματα Linux. Τα περισσότερα συστήματα ανάπτυξης μικροελεγκτών περιορίζονται στα Windows.
- Απλό, ξεκάθαρο προγραμματιστικό περιβάλλον. Το περιβάλλον προγραμματισμού ενός Arduino ενδείκνυται για αρχάριους, αλλά είναι ταυτόχρονα και ευέλικτο και για πιο προχωρημένους χρήστες.
- Ανοιχτού λογισμικού και λογισμικού που επεκτείνεται και παραμετροποιείται. Το Software του Arduino διανέμεται με την μορφή εργαλείων ανοιχτού λογισμικού και είναι διαθέσιμο προς επέκταση για έμπειρους προγραμματιστές. Η γλώσσα προγραμματισμού του μπορεί να επεκταθεί διαμέσου των βιβλιοθηκών της C++ και οι άνθρωποι που θέλουν να ασχοληθούν περισσότερο με τους μικροελεγκτές μπορούν να μεταβούν από το Arduino στην AVR C που είναι για προγραμματισμό των Atmel Μικροελεγκτών και η γλώσσα στην οποία βασίστηκε το λογισμικό του Arduino. Ομοίως μπορεί κάποιος να προσθέσει κώδικα της AVR C στο πρόγραμμα που έχει γράψει για το Arduino του.

- Ανοιχτού Υλικού το οποίο μπορεί να επεκταθεί. Το Arduino βασίζεται στους μικροελεγκτές της Atmel ATMEGA8, ATMEGA168 και πλέον στο ATMEGA328. Τα σχηματικά για τα αναπτυξιακά είναι κάτω από την άδεια της Creative Commons, επιτρέποντας σε έμπειρους σχεδιαστές να κατασκευάσουν το δικό τους αναπτυξιακό, εξελίσσοντας το ήδη υπάρχον χωρίς να έχουν νομικά προβλήματα. Η ακόμη καλύτερα όχι τόσο έμπειροι χρήστες μπορούν να επιδιώξουν την αντιγραφή και κατασκευή της πλακέτας σε ράστερ για να καταλάβουν την λειτουργία ενός Arduino.

4.4 Το Arduino IDE

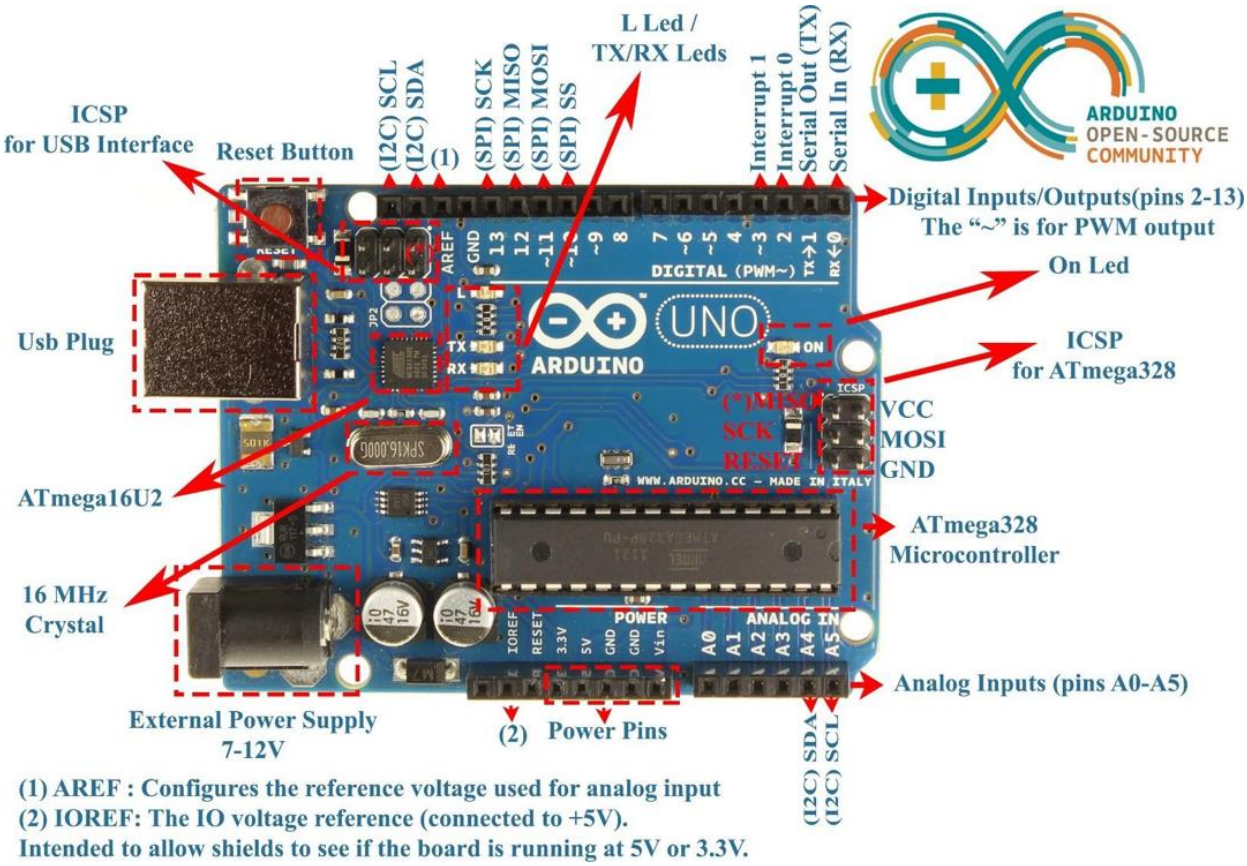
Το περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού (IDE) του Arduino, είναι μία εφαρμογή γραμμένη σε JAVA, που διατίθεται για τις πλατφόρμες Windows, Mac και Linux. Μας βοηθά στη συγγραφή των προγραμμάτων (σκίτσα ή στα αγγλικά sketch, στην ορολογία του Arduino), διαθέτει αρκετά έτοιμα παραδείγματα, μερικές έτοιμες βιβλιοθήκες, για προέκταση της γλώσσας και για τον εύκολο χειρισμό των εξαρτημάτων που είναι συνδεδεμένα με το Arduino μέσα από τον κώδικα, compiler για την μεταγλώττιση των προγραμμάτων μας, ένα Serial monitor, που παρακολουθεί την σειριακή επικοινωνία (Usb), και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για το debugging (επιδιόρθωση σφαλμάτων) των προγραμμάτων μας. Επίσης, είναι σε θέση να φορτώνει (Upload) το πρόγραμμά μας στο Arduino με ένα μόνο κλικ.

Τα σκίτσα αυτά γράφονται στον επεξεργαστή κειμένου που παρέχει το Arduino IDE και αποθηκεύονται με την επέκταση αρχείου «.ino». Επίσης το IDE του Arduino μας παρέχει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της αντιγραφής, επικόλλησης και της αναζήτησης, αντικατάστασης κειμένου. Στην περιοχή μηνύματος εμφανίζονται μηνύματα που αφορούν την διαχείριση του Arduino, όπως μηνύματα επιβεβαίωσης μετά από αποθήκευση ή φόρτωση του προγράμματος. Ακόμα, η κονσόλα απεικονίζει μηνύματα κειμένου από το περιβάλλον του Arduino, συμπεριλαμβανομένου και των μηνυμάτων λάθους που υπάρχουν στο πρόγραμμα μετά την μεταγλώττιση. Στην κάτω δεξιά γωνία του παραθύρου εμφανίζεται το όνομα της πλατφόρμας που έχουμε συνδεδεμένη στον υπολογιστή μας (πχ. Arduino UNO στην δική μας περίπτωση) και η θύρα που είναι συνδεδεμένη (πχ.COM3). Τα κουμπιά που υπάρχουν στη γραμμή εργαλείων του Arduino IDE, μας επιτρέπουν να δημιουργήσουμε, να αποθηκεύσουμε και να ανοίξουμε σκίτσα, να ελέγξουμε και να ανεβάσουμε προγράμματα στο Arduino, καθώς και να ανοίξουμε το παράθυρο της σειριακής οθόνης (Serial monitor).

4.5 Arduino Uno Rev 3 Hardware

Το Arduino Uno R3 είναι μια υπολογιστική πλατφόρμα βασισμένη στο ATmega328 (Εικόνα 14). Έχει 14 ψηφιακούς ακροδέκτες εισόδου και εξόδου (από τους οποίους οι 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι PWM), έξι αναλογικές εισόδους (μπορούν να λειτουργήσουν και ως General purpose input/output (GPIO) pins (όπως τα pins από 0 - 13) που χρησιμοποιούνται για να διαβάσουν αναλογικές τιμές πχ από μια μπαταριά η ένα ποτενσιόμετρο κτλ., επιστρέφοντας ακέραιες τιμές από 0-1023, ένα κεραμικό κρύσταλλο (Ceramic resonator) στα 16 MHz, μία σύνδεση

Usb, βύσμα τροφοδοσίας, ICSP header και ένα κουμπί reset. Επίσης το Uno χρησιμοποιεί το ATmega16U2 προγραμματισμένο να δουλεύει ως μετατροπέας Usb σε Serial σε αντίθεση με προηγούμενες πλακέτες που χρησιμοποιούσαν το FTDI Usb σε Serial driver chip .



Εικόνα 14. Το Hardware της πλακέτας του Arduino.

4.5.1 Τροφοδοσία του Arduino

Το Arduino Uno μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε μέσω καλωδίου Usb είτε με κάποια εξωτερική πηγή ενέργειας. Η επιλογή της πηγής γίνεται αυτόματα από το Arduino. Η εξωτερική τροφοδοσία μπορεί να προέρχεται είτε από έναν AC σε Dc μετασχηματιστή είτε από μπαταρία. Για να συνδέσουμε το μετασχηματιστή τοποθετούμε το βύσμα στην υποδοχή που υπάρχει με τον θετικό πόλο στο κέντρο. Από την άλλη η μπαταρία μπορεί να συνδεθεί στις υποδοχές Vin και Gnd όπου τοποθετούνται ο θετικός πόλος και ο αρνητικός (γείωση) αντίστοιχα.

Εικόνα 15. Παράδειγμα τροφοδοσίας από 9V μπαταρία.

Η πλακέτα μπορεί να λειτουργήσει σε εξωτερική τροφοδοσία από 6 έως 20 Volts (αυτά είναι τα όρια, θα πρέπει να τα αποφεύγουμε). Αν τροφοδοτηθεί με λιγότερα από 7V, τα pin εξόδου 5V δεν θα καταφέρουν να εξάγουν τάση 5V και η πλακέτα ίσως παρουσίαση προβλήματα αστάθειας. Από την άλλη αν δώσουμε πάνω από 12V, υπάρχει η πιθανότητα να υπερθερμανθεί ο σταθεροποιητής τάσης και να καταστραφεί η πλακέτα. Επομένως η ιδανική τάση είναι από 7 έως 12 Volts.

4.5.2 Είσοδοι και Έξοδοι

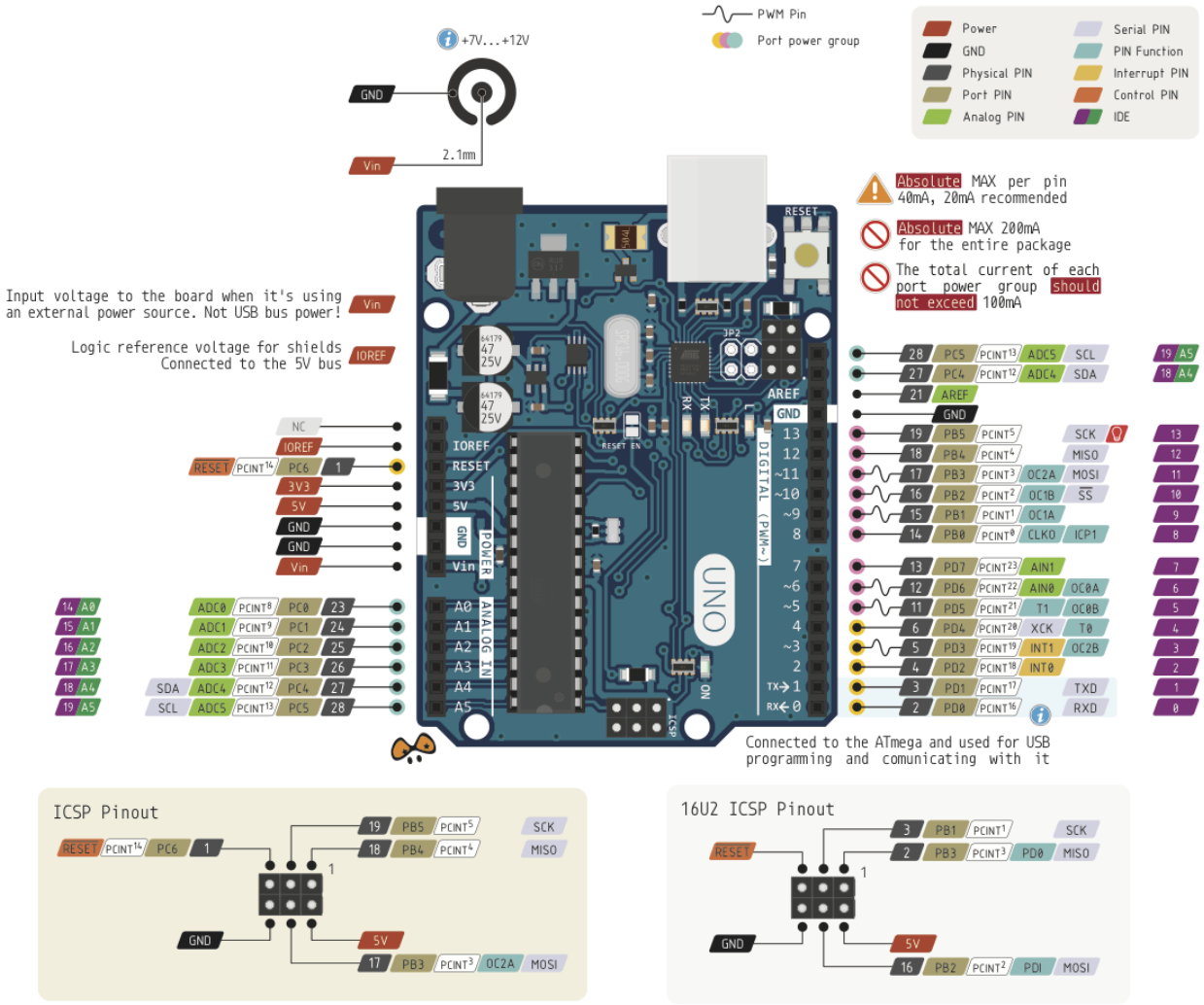
Κάθε ένα απ' τα 14 ψηφιακά pins του Uno μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι η έξοδοι κάνοντας χρήση των συναρτήσεων pinMode(), digitalWrite(), και digitalRead(). Λειτουργούν στα 5V και έχουν τη δυνατότητα να πάρουν ή να δώσουν ένταση της τάξεως 40 mA το πολύ το καθένα. Σε κάθε Pin υπάρχει εσωτερικά ένας Pull-up αντιστάτης στα 20-50KΩ. Κάποια από αυτά έχουν ειδικές λειτουργίες :

- Serial: 0 (RX) και 1 (TX). Τα pins αυτά χρησιμοποιούνται για την αποστολή (TX) και την λήψη (RX) δεδομένων μέσω της TTL σειριακής θύρας. Αυτά τα pins είναι συνδεδεμένα και με το ATmega16U2 Usb to TTL Serial chip.
- External Interrupts: 2 και 3. Τα pins αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την χρήση εξωτερικών διακοπών κάνοντας χρήση της συνάρτησης attachInterrupt().
- PWM: pin 3, 5, 6, 9, 10 και 11. Τα pins αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι παλμών (8-bit PWM) με την χρήση της συνάρτησης analogWrite().
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Τα pins αυτά επιτυγχάνουν την επικοινωνία μέσω SPI κάνοντας χρήση της SPI βιβλιοθήκης.
- LED: pin 13. Υπάρχει ένα ενσωματωμένο LED στο pin 13. Όταν υπάρχει λογικό 1, δηλαδή HIGH, το LED ανάβει, ενώ αν υπάρχει λογικό 0, δηλαδή LOW, το LED είναι σβηστό.

Το Uno έχει επίσης και 6 αναλογικές εισόδους οι οποίες διακρίνονται ως A0 έως A5, κάθε μία από αυτές μπορούν να πάρουν μέχρι 1024 διαφορετικές τιμές (10bits). Από προεπιλογή μπορούν να δώσουν τιμές από 0 (ground) έως 5V, τα όρια αυτά μπορούν να αλλάξουν με την χρήση του AREF pin και της συνάρτησης analogReference().

Υπάρχουν και κάποιοι άλλοι ακροδέκτες:

- AREF (Reference voltage for the analog inputs). Χρησιμοποιείται με την συνάρτηση analogReference() και μπορεί να πάρει ως είσοδο τάση αποκλειστικά από 0 έως 5V.
- Reset. Αν τεθεί σε κατάσταση LOW τότε επανεκκινεί τον Μικροελεγκτή. Σε αυτή τη γραμμή τοποθετείται ένας διακόπτης.



Εικόνα 16. Arduino R3 Pin Mapping

Κεφάλαιο 5 Πειραματικό Μέρος

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάσαμε το Arduino, την υπολογιστική πλατφόρμα που χρησιμοποιούμε για την κατασκευή και τον έλεγχο της κατασκευής μας. Τώρα σε αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τον υπόλοιπο εξοπλισμό που χρειαζόμαστε, θα κάνουμε σημαντικές αναφορές σε θεωρητικό επίπεδο, για τον τρόπο λειτουργίας τους και την τεχνολογία που χρησιμοποιούν. Ο εξοπλισμός μας αποτελείτε από τα παρακάτω:

Το κουτί όπου φιλοξενεί όλη την κατασκευή και την κάνει εύχρηστη και εύκολη στην μεταφορά της (Enclosure junction box, X 108mm, Y 151mm, Z 66mm, grey).

- Την πλακέτα Arduino Uno R3 η οποία είναι η υπεύθυνη για την επεξεργασία του εισερχόμενου σήματος.
- Το ολοκληρωμένο TL082 που σε συνδυασμό με το ηλεκτρονικό κύκλωμα διαμορφώνει το σήμα ώστε να μπορεί να τεθεί υπό επεξεργασία (Dual JFET Input Op Amp).
- 2 μπαταρίες 9V ώστε να γίνεται η συμμετρική τροφοδοσία του κυκλώματος
- Μια είσοδο audio jack 3.5mm για την σύνδεση της κατασκευής με το μουσικό όργανο.(1/4" Mono Audio Jack Input)
- Ένα διακόπτη toggle switch για να ανοίξουμε και να κλείσουμε αντίστοιχα το ρεύμα τροφοδοσίας.
- Μια οθόνη 16*2 για την προβολή των πληροφοριών στον χρήστη (lcd display 16*2).
- Το σειριακό module I2C για την επικοινωνία της οθόνης με το Arduino (I2C serial interface board for Arduino).
- 13 led φωτοδιόδους στα καθορισμένα χρώματα για τις αντίστοιχες ενδείξεις. (1 πράσινο, 6 κίτρινα, 6 κόκκινα)
- Παθητικά ηλεκτρονικά στοιχεία όπως αντιστάσεις και πυκνωτές. (13 αντιστάσεις 220 Ohm, 3 αντιστάσεις 100 kOhm, 1 αντίσταση 22 kOhm, 1 πυκνωτή 100 nF, 1 πυκνωτή 10 uF)
- 1 πλακέτα Breadboard για την κατασκευή του κυκλώματος.

5.1 Ανάλυση του εξοπλισμού

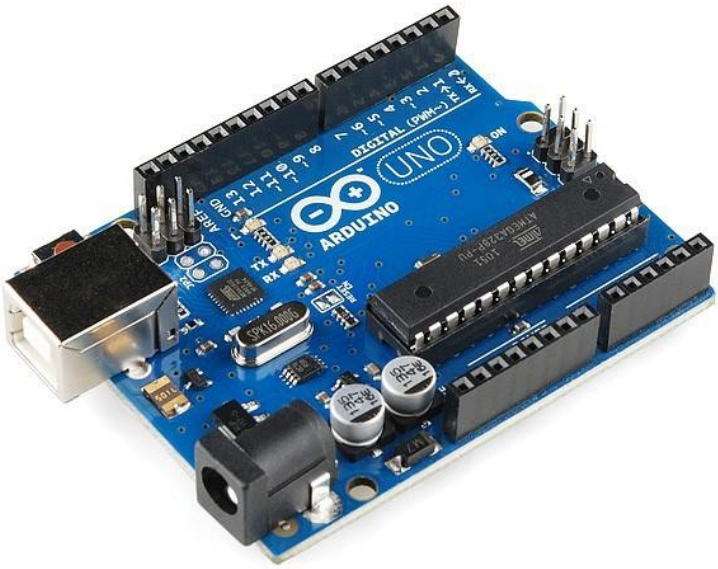
5.1.1 Το κουτί της κατασκευής

Χρησιμοποιήθηκε ένα κουτί ηλεκτρολογικών διακλαδώσεων της εταιρίας ABB όπως φαίνεται παρακάτω, (Εικόνα 17) με σκοπό να φιλοξενήσει τον μικροεπεξεργαστή αλλά και τα περιφερειακά εξαρτήματα όπου είναι αναγκαία για την λειτουργεία του κουρδιστηρίου.

Εικόνα 17. Κουτί διακλαδώσεων ABB.

5.1.2 Η υπολογιστική πλατφόρμα Arduino

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας του εισερχόμενου ηχητικού σήματος όπως έχουμε αναλύσει και στο προηγούμενο κεφάλαιο (Εικόνα 18).



Εικόνα 18. Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino

5.1.3 Το ολοκληρωμένο TL082

Το TL082, το οποίο κατασκευάζεται από την εταιρία Texas Instruments είναι ένα ολοκληρωμένο μονολιθικό κύκλωμα (Integrated Circuits) που λειτουργεί ως τελεστικός ενισχυτής (Εικόνα 19). Στην συνέχεια θα πρέπει να πούμε δυο λόγια για την λειτουργεία των τελεστικών ενισχυτών και την εφαρμογή τους στην συγκεκριμένη εφαρμογή.

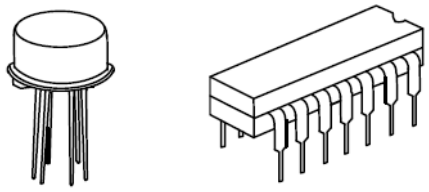
Η έννοια του τελεστικού ενισχυτή πρωτοεμφανίστηκε κατά τη διάρκεια του 2ου Παγκοσμίου πολέμου, όταν έτοιμα κυκλώματα ηλεκτρονικών λυχνιών με μικρές σχετικά διαστάσεις χρησιμοποιήθηκαν ως δομικές μονάδες για την κατασκευή, τον έλεγχο και λειτουργία συνθέτων συστημάτων και διατάξεων. Η ονομασία των κυκλωμάτων αυτών περιέγραφε μια λειτουργία αντίστοιχη προς αυτήν ενός μαθηματικού τελεστή, καθώς η ίδια δομική μονάδα - κύκλωμα μπορούσε να πραγματοποιεί διαφορετικές μαθηματικές πράξεις με την απλή προσθήκη εξωτερικών στοιχείων (αντιστάσεων, πυκνωτών, κ.λπ.), γεγονός που πολύ σύντομα οδήγησε στην ανάπτυξη των πρώτων αναλογικών υπολογιστών της εποχής. Τα τελευταία χρόνια, οι τελεστικοί ενισχυτές αποτελούν τα πιο διαδεδομένα ηλεκτρονικά εξαρτήματα για τη σχεδίαση και κατασκευή αναλογικών, αλλά και ψηφιακών κυκλωμάτων. Πράγματι, η δυνατότητα χρήσης τους σε πολλές και τελείως διαφορετικές μεταξύ τους εφαρμογές και οι επιδόσεις, που επιτυγχάνονται, σε συνδυασμό με την απλότητα, το μικρό μέγεθος και το χαμηλό κόστος, αποτελούν σημαντικότατα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα αντίστοιχα κυκλώματα διακριτών στοιχείων.

Ο τελεστικός ενισχυτής είναι ένα πλήρες ηλεκτρονικό κύκλωμα, το οποίο, στην τυπική του μορφή, αποτελείται από μερικές δεκάδες έως εκατοντάδες στοιχεία, όπως τρανζίστορ, δίοδοι, αντιστάσεις και, λιγότερο, πυκνωτές, και έχει τη λειτουργία ενός ενισχυτή διαφοράς σημάτων τάσης με πολύ μεγάλο συντελεστή ενίσχυσης. Με κατάλληλη τεχνική, τα στοιχεία αυτά αναπτύσσονται ως ενιαίο κύκλωμα σ ένα λεπτό

φύλλο κρυστάλλου πυριτίου με διαστάσεις $< 1mm^2$ (μονολιθική κατασκευή) το οποίο, στη συνέχεια, τοποθετείται − μόνο του ή και με άλλα ίδια − σ΄ ένα μικρό πλαστικό κυλινδρικό ή παραλληλεπίπεδο περίβλημα. Από το περίβλημα αυτό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 19, προεξέχουν μεταλλικοί ακροδέκτες, κάθε ένας από τους οποίους συνδέεται εσωτερικά με ένα συγκεκριμένο σημείο του κυκλώματος, όπως, π.χ., τα άκρα εισόδου και εξόδου, τα σημεία εφαρμογής των τάσεων τροφοδοσίας, καθώς και σημεία σύνδεσης πρόσθετων εξωτερικών στοιχείων κ.λπ..

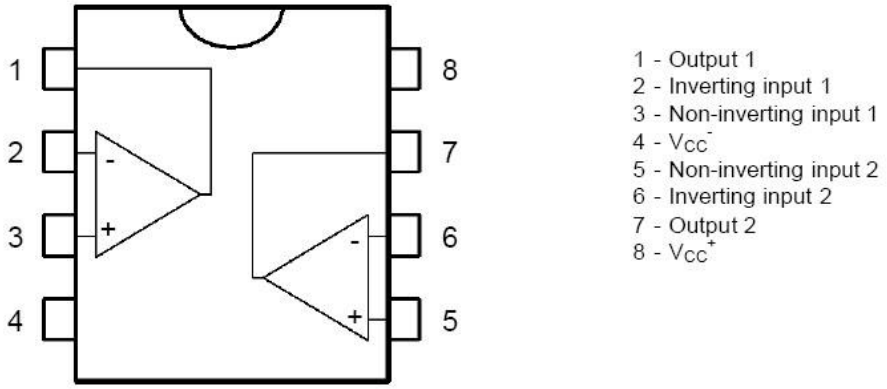
Στην πράξη, ο τελεστικός ενισχυτής είναι ένα αυτόνομο ηλεκτρονικό εξάρτημα, το οποίο χρησιμοποιείται ως δομική μονάδα διαφόρων τύπων απλών ή σύνθετων κυκλωμάτων και διατάξεων και, συνεπώς, για λόγους απλότητας θεωρείται σαν ένα σύνθετο ενεργό ηλεκτρονικό στοιχείο με ιδιαίτερο σύμβολο και λειτουργία, η οποία εξετάζεται στο πλαίσιο των κανόνων και τεχνικών.

Ως αυτόνομο ηλεκτρονικό κύκλωμα εκτός από τους ακροδέκτες για τις δύο εισόδους και την έξοδο των αντίστοιχων σημάτων τάσης, πρέπει να έχει και δύο πρόσθετους ακροδέκτες και για την ή τις τάσεις τροφοδοσίας του. Στην περίπτωση κατά την οποία υπάρχει μια μόνο πηγή τάσης τροφοδοσίας, λέγεται μονοπολική τροφοδοσία, ενώ αν υπάρχουν δύο πηγές συνδεδεμένες, η τροφοδοσία λέγεται διπολική η οποία είναι η συνηθέστερη και εφαρμόζεται και στο δικό μας κύκλωμα.



Εικόνα 19. Εξωτερική μορφή Τ.Ε.

Εικόνα 20. Τ.Ε. TL082CP

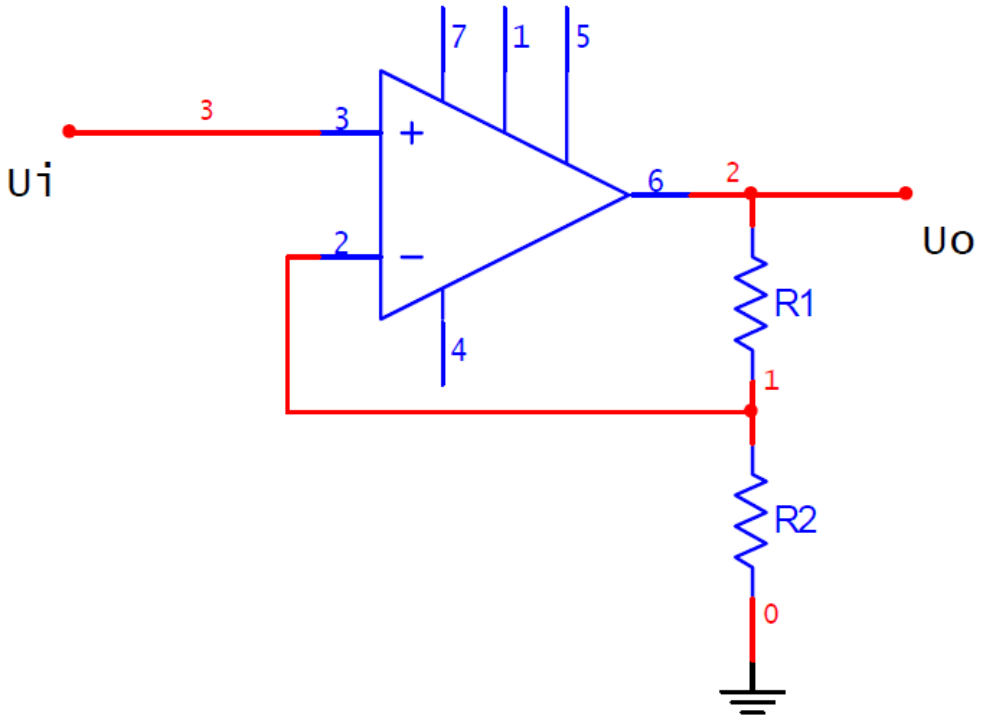


Εικόνα 21. Σχηματικό διάγραμμα TL082

Μια από τις πολλές τεχνικές είναι και ο ενισχυτής τάσης χωρίς αναστροφή φάσης τον οποίο και διαθέτει το κύκλωμα μας. Στη συνδεσμολογία ενισχυτή τάσης χωρίς αναστροφή φάσης (Εικόνα 22) το σήμα εισόδου οδηγείται στην είσοδο μη αναστροφής. Ένα μέρος της εξόδου οδηγείται ως αρνητική ανάδραση (feedback) μέσω

του διαιρέτη τάσης R2 – R1 στην είσοδο αναστροφής. Η ενίσχυση τάσης (A) του ενισχυτή μπορεί να υπολογιστεί ως εξής με τον παρακάτω τρόπο. Ο ενισχυτής έχει άπειρη αντίσταση εισόδου και έτσι η τάση στην είσοδο αντιστροφής θα είναι:

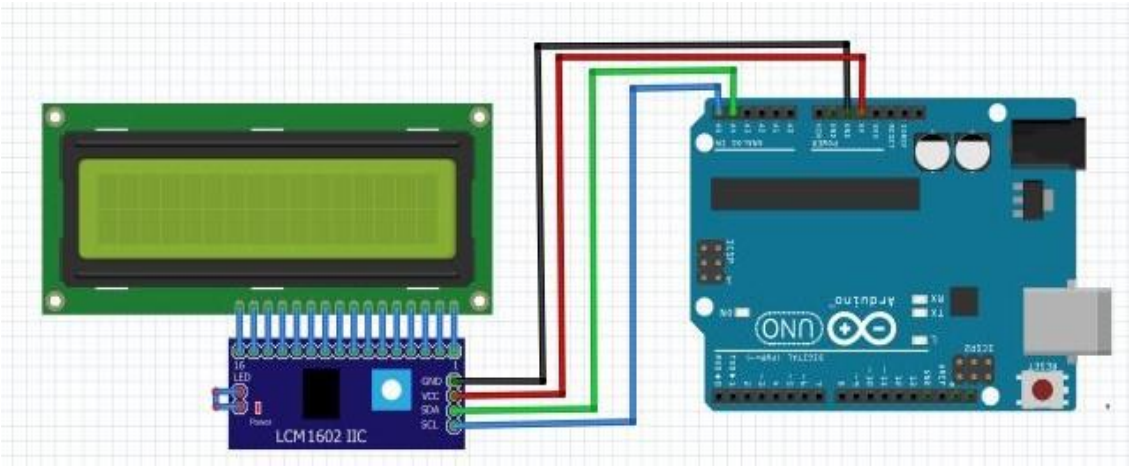
$$1 + \frac{R2}{R1} = A$$



Εικόνα 22. Θεωρητικό κύκλωμα ενισχυτή τάσης χωρίς αναστροφή φάσης.

5.1.4 Η οθόνη και το I²C module

Στην κατασκευή μας έχουμε προσαρμόσει μια οθόνη LCD δεκαέξι χαρακτήρων και δύο γραμμών με μπλε φόντο και μαύρους χαρακτήρες. Για την λειτουργία της οθόνης είναι απαραίτητη η προσθήκη της βιβλιοθήκης LiquidCrystal κατά τον προγραμματισμό στο Arduino IDE. Στην κατασκευή μας λόγο των περιορισμένων σε αριθμό ακροδεκτών, έχουμε χρησιμοποιήσει μια περιφερειακή μονάδα (module) I²C, χρησιμοποιώντας έτσι μόνο δυο ακροδέκτες για την μεταφορά των πληροφοριών.



Εικόνα 23. Συνδεσμολογία LCD οθόνης.

Ο δίαυλος I²C είναι ένας σειριακός δίαυλος που δημιουργήθηκε από τη Philips (τώρα NXP) και χρησιμοποιείται για την σύνδεση περιφερειακών μικρής ταχύτητας σε μητρικές πλακέτες (motherboards), κινητά τηλέφωνα ή άλλες ηλεκτρονικές συσκευές. Ο δίαυλος I²C δεν χρησιμοποιείται μόνο για την επικοινωνία συσκευών που βρίσκονται πάνω σε ένα τυπωμένο κύκλωμα, αλλά και για την επικοινωνία συσκευών που συνδέονται με καλώδια. Για τη μεταφορά των δεδομένων (0 ή 1) χρησιμοποιεί μόνο δύο καλώδια: Τα SCL και SDA. Η γραμμή SCL είναι η γραμμή ρολογιού, ενώ η SDA είναι η γραμμή δεδομένων. Οι γραμμές αυτές συνδέονται σε όλες τις συσκευές, που υπάρχουν πάνω στο δίαυλο I²C. Προφανώς εκτός από τα παραπάνω καλώδια που μεταφέρουν δεδομένα, απαιτείται και ένα τρίτο καλώδιο το οποίο είναι η γείωση (GND) ή 0 V. Τέλος μπορεί να υπάρχει (προαιρετικά) και ένα τέταρτο καλώδιο το οποίο είναι η γραμμή τροφοδοσίας (VCC ή VDD), με την οποία τροφοδοτούνται με ισχύ οι διάφορες συσκευές που συνδέονται στο δίαυλο. Στην (**Error! Reference source not found.**) βλέπουμε την συνδεσμολογία της οθόνης με την πλατφόρμα Arduino.

5.2 Ανάλυση συνδεσμολογίας

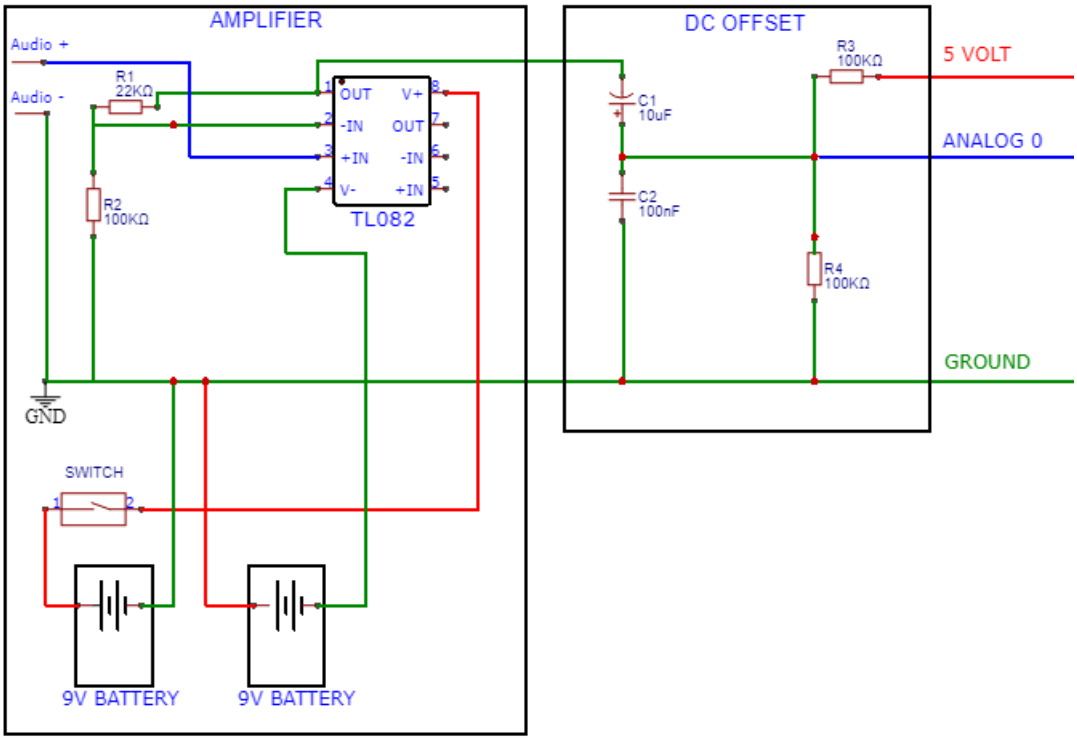
Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκε σε κατηγορίες ο εξοπλισμός και έπειτα έγινε μια θεωρητική αναφορά. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε την συνδεσμολογία του αναλογικού κυκλώματος διαμόρφωσης του ηχητικού σήματος και θα αναφερθούμε στην χρησιμότητα του, καθώς θα αναφερθούμε και στα υπόλοιπα κυκλώματα όπως την συνδεσμολογία της οθόνης και των Led φωτοδιόδων.

5.2.1 Αναλογικό κύκλωμα

Όπως προαναφέραμε στην ενότητα 4.5.2 το Arduino μας δίνει την δυνατότητα να δεχθεί αναλογικό σήμα αναλαμβάνοντας το ίδιο την μετατροπή του σε ψηφιακό (Analog to Digital Converter) ώστε να μπορεί έπειτα το σήμα να τεθεί υπό επεξεργασία.

Πριν όμως φτάσει το σήμα στην αναλογική είσοδο του Arduino θα πρέπει να πληροί κάποιες προϋποθέσεις ώστε να είναι εφικτή η μετέπειτα επεξεργασία του και αυτές αναλαμβάνει να υλοποιήσει το παρακάτω κύκλωμα. Η πρώτη σε σειρά από αυτές είναι η ενίσχυση του σήματος και η συμπίεση του ώστε να μην υπερβαίνει τα 5 volt όπου οριοθετεί η πλακέτα μας. Την ενίσχυση και την συμπίεση του σήματος αναλαμβάνει το αριστερό μέρος της παρακάτω εικόνας (Εικόνα 24) (AMPLIFIER) χρησιμοποιώντας τον τελεστικό ενισχυτή TL082 τον οποίο έχουμε ήδη αναλύσει σε

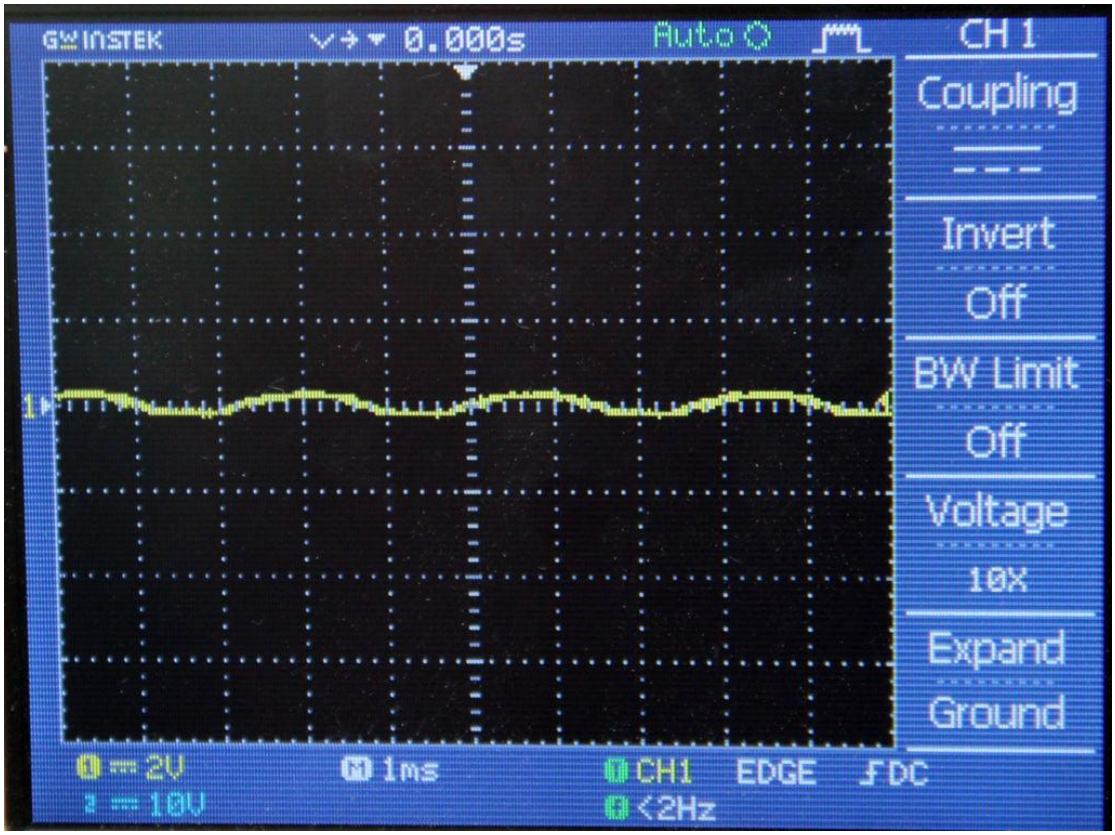
συνδυασμό με την τεχνική ενίσχυσης χωρίς αναστροφή φάσης και της συμμετρικής ή αλλιώς διπολικής τροφοδοσίας.



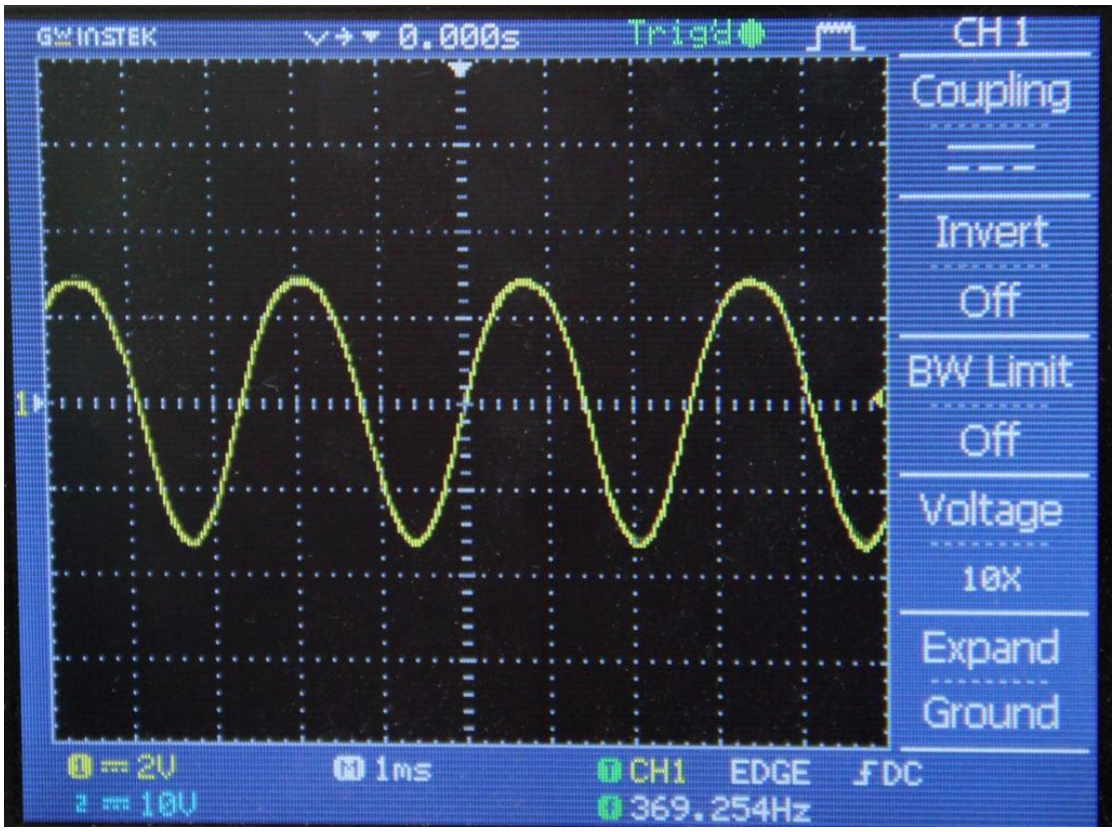
Εικόνα 24. Διάγραμμα αναλογικού κυκλώματος.

Το δεύτερο μέρος της επεξεργασίας του σήματος αναλαμβάνει το δεξί μέρος της παραπάνω εικόνας (DC OFFSET). Στο μέρος αυτό το σήμα μετατοπίζεται κατά 2,5 Volt προς τα επάνω μετατοπίζοντας έτσι τον οριζόντιο άξονα αναφοράς των 0 Volt στα 2,5 Volt. Η διαδικασία αυτή χρειάζεται ώστε η πλακέτα μας να μπορέσει να επεξεργαστεί και τις τιμές αρνητικές τιμές όπου έχει το σήμα μας και βρίσκονταν στον αρνητικό άξονα και οι οποίες πλέον βρίσκονται από 2,5 έως 0 Volt του θετικού άξονα.

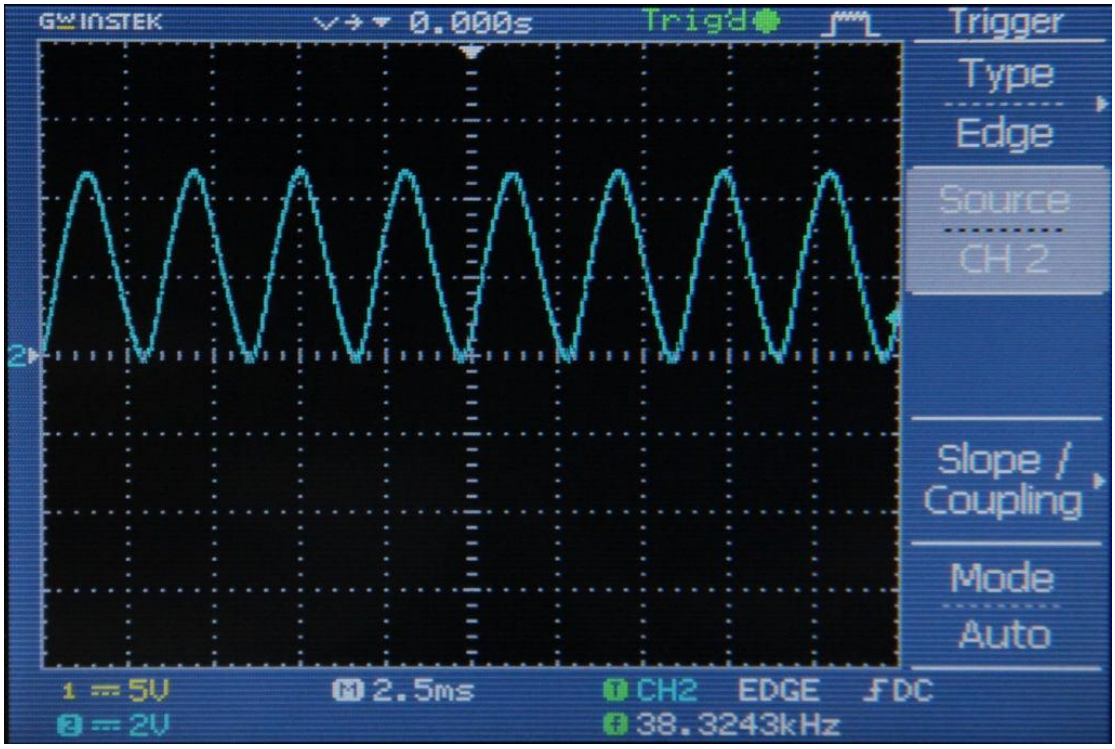
Παρακάτω βλέπουμε με ψηφιακό παλμογράφο στιγμιότυπα από την αρχική κατάσταση του ηχητικού σήματος Εικόνα 25, έπειτα έχοντας το σήμα μόνο ενισχυθεί στα όρια των +/- 2.5 Volt με την χρήση του ενισχυτή από το αναλογικό κύκλωμα Εικόνα 26, και τέλος την τελική κατάσταση του σήματος με την ολική επεξεργασία δηλαδή την ενίσχυση και την μετατόπιση Εικόνα 27.



Εικόνα 25 Αρχική κατάσταση ηχητικού σήματος



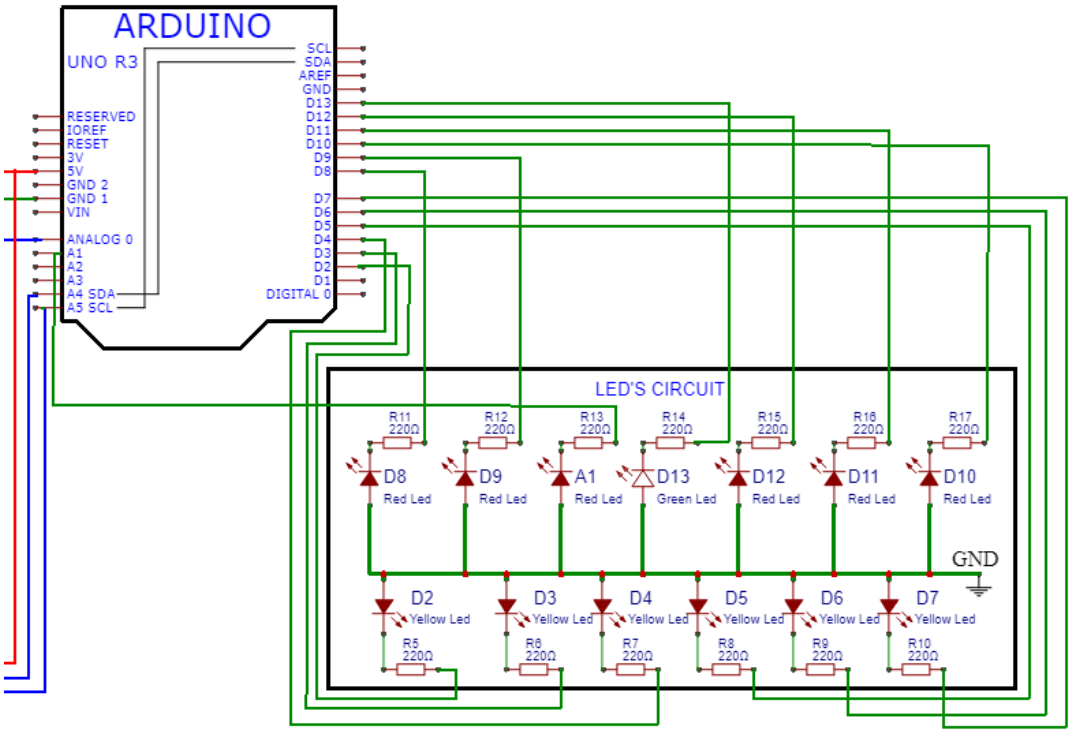
Εικόνα 26 Ενισχυμένο σήμα



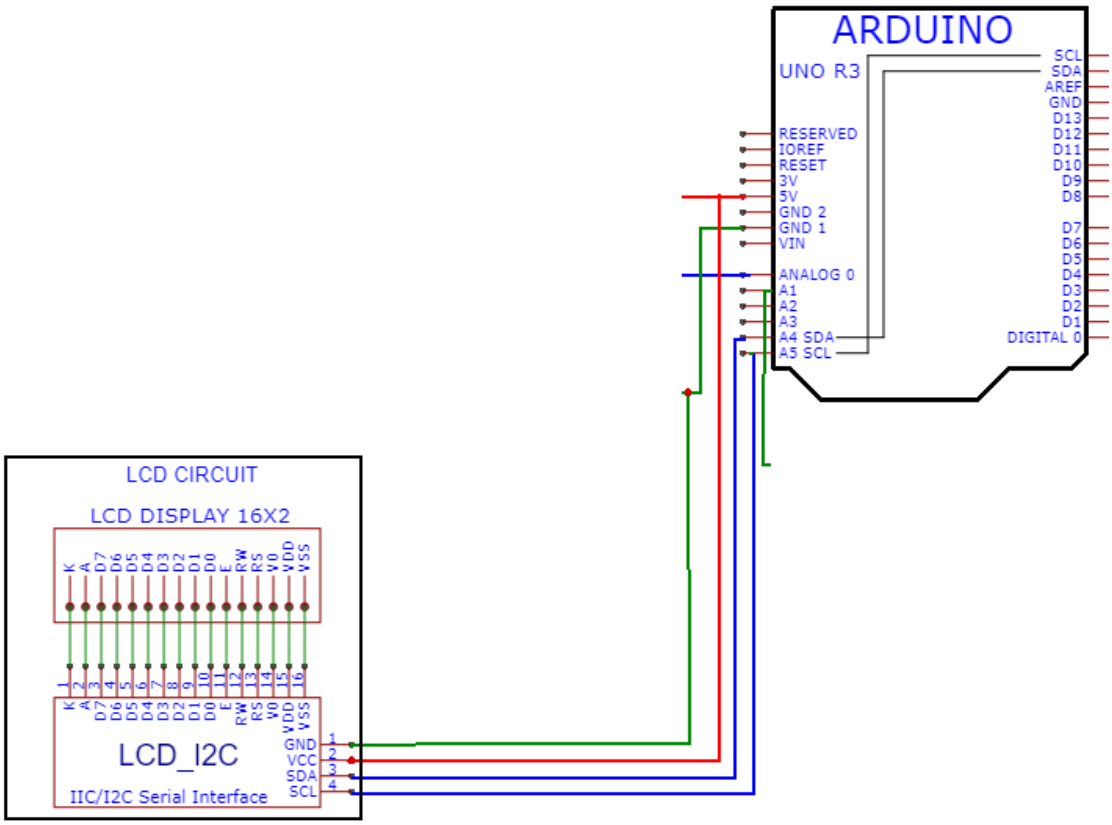
Εικόνα 27 Τελική μορφή σήματος

5.2.2 Συνδεσμολογία οθόνης και LED φωτοδιόδων και τροφοδοσίας

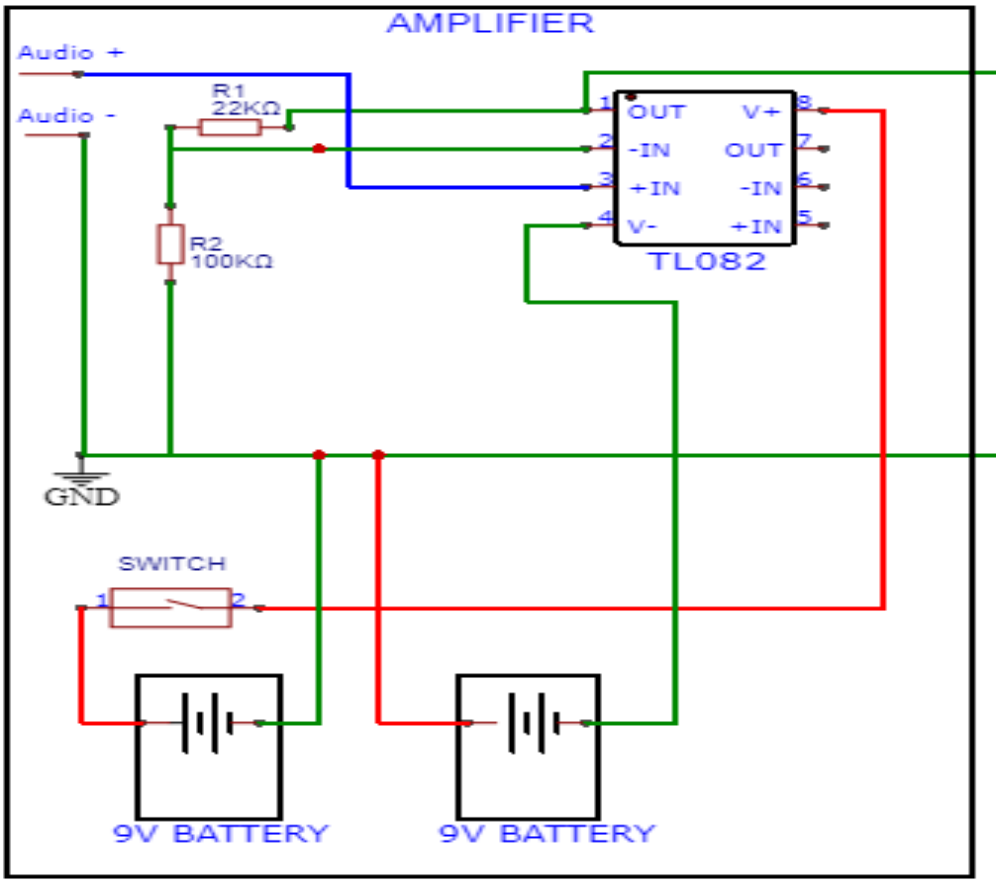
Παρακάτω βλέπουμε την αναλυτική συνδεσμολογία των φωτοδιόδων καθώς επίσης του δίαυλου I²C το οποίο έχουμε αναλύσει στο κεφάλαιο 5.1.4 Η οθόνη και το I²C module. Επίσης βλέπουμε το σχεδιάγραμμα Εικόνα 30 που σχηματίζεται η διπολική τροφοδοσία που χρησιμοποιεί η κατασκευή μας και έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 5.1.3 Το ολοκληρωμένο TL082. Στο σημείο αυτό η συνδεσμολογία των απαραίτητων περιφερειακών εξαρτημάτων και κυκλωμάτων ολοκληρώθηκε.



Εικόνα 28 Διάγραμμα συνδεσμολογίας φωτοδιόδων



Εικόνα 29 Διάγραμμα συνδεσμολογίας οθόνης



Εικόνα 30 Κύκλωμα τροφοδοσίας

5.3 Ανάλυση προγραμματισμού

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τον προγραμματισμό που χρειάζεται η πλατφόρμα Arduino ώστε να μπορεί να ανιχνεύει την συχνότητα δηλαδή την νότα και να κάνει τις κατάλληλες ενέργειες με σκοπό να καθοδηγήσει τον χρήστη στο κούρδισμα την εκάστοτε χορδής.

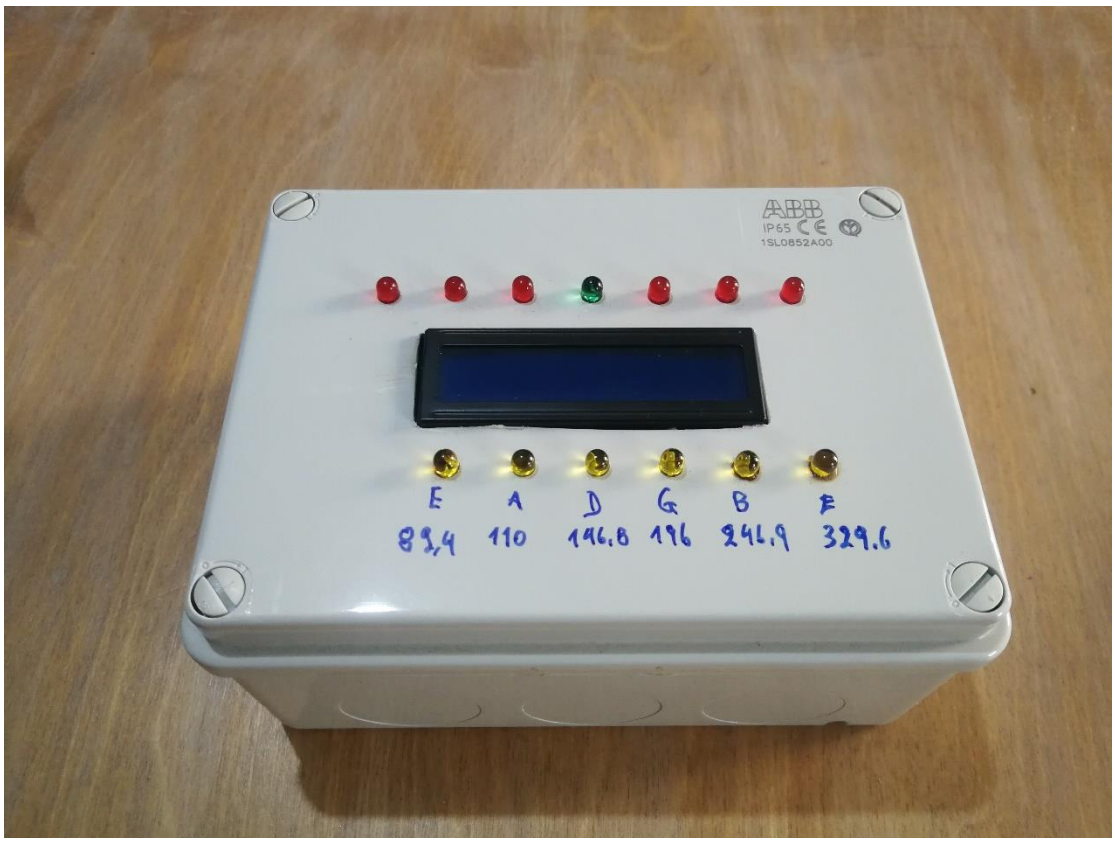
5.3.1 Ανίχνευση συχνότητας με χρήση κώδικα

Αρχικά έχουμε ορίσει μέσο του κώδικα την συχνότητα δειγματοληψίας του Arduino στα 38,5 kHz και μεσώ του μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα (ADC) που διαθέτει ο επεξεργαστής της πλατφόρμας μας το σήμα μετατρέπεται σε ψηφιακό και μεταβαίνει στις υπόλοιπες πράξεις για να βρεθεί η συχνότητα. Στη συνέχεια ο κώδικάς μας αναλαμβάνει να μετράει συνεχώς το πλάτος του σήματος ψάχνοντας για την μέγιστη κορυφή του σήματος (peak detection). Στη συνέχεια ο κώδικας μετράει το χρόνο που μεσολαβεί από τη στιγμή που το σήμα θα διασχίσει το σημείο αναφοράς (2,5 V) με θετικό πρόσημο (>127) μέχρι την επόμενη φορά που το σήμα θα διασχίσει πάλι το σημείο αναφοράς με θετικό πρόσημο ξανά. Όπως αναφέραμε παραπάνω έχουμε ήδη δεδομένο την μεγαλύτερη κορυφή του σήματος. Έχοντας όλα τα παραπάνω στοιχεία δεδομένα, δηλαδή το πόσο χρόνο χρειάστηκε η κυματομορφή να διασχίσει το σημείο αναφοράς με το ίδιο πρόσημο και ποιο είναι το σημείο του σήματος με το μέγιστο πλάτος τότε το σήμα έχει σχηματίσει ένα πλήρη κύκλο και έχουμε φτάσει στο σημείο όπου κάνοντας την πράξη $\frac{1}{T}$ όπου 1 η συχνότητα

δειγματοληψίας και T ο χρόνος που χρειάστηκε για να γίνει ένας πλήρης κύκλος τότε έχουμε το αποτέλεσμα που επιθυμούμε. Να λάβουμε επίσης υπόψιν ότι με διάφορες τεχνικές έχουν προληφθεί οι περιπτώσεις σφάλματος για το αποτέλεσμα που μας δίνει ο κώδικας όπως για παράδειγμα οι πράξεις να ξεκινάνε να γίνονται αφού το σήμα έχει περάσει από ένα συγκεκριμένο κατώφλι που του έχουμε ορίσει διότι πιθανό είναι να υπάρχει θόρυβος μέσα στο σήμα ο οποίος βρίσκεται συνήθως κοντά στον άξονα αναφοράς και αποφεύγοντας ταυτόχρονα την άσκοπη κατανάλωση της υπολογιστικής ισχύος.

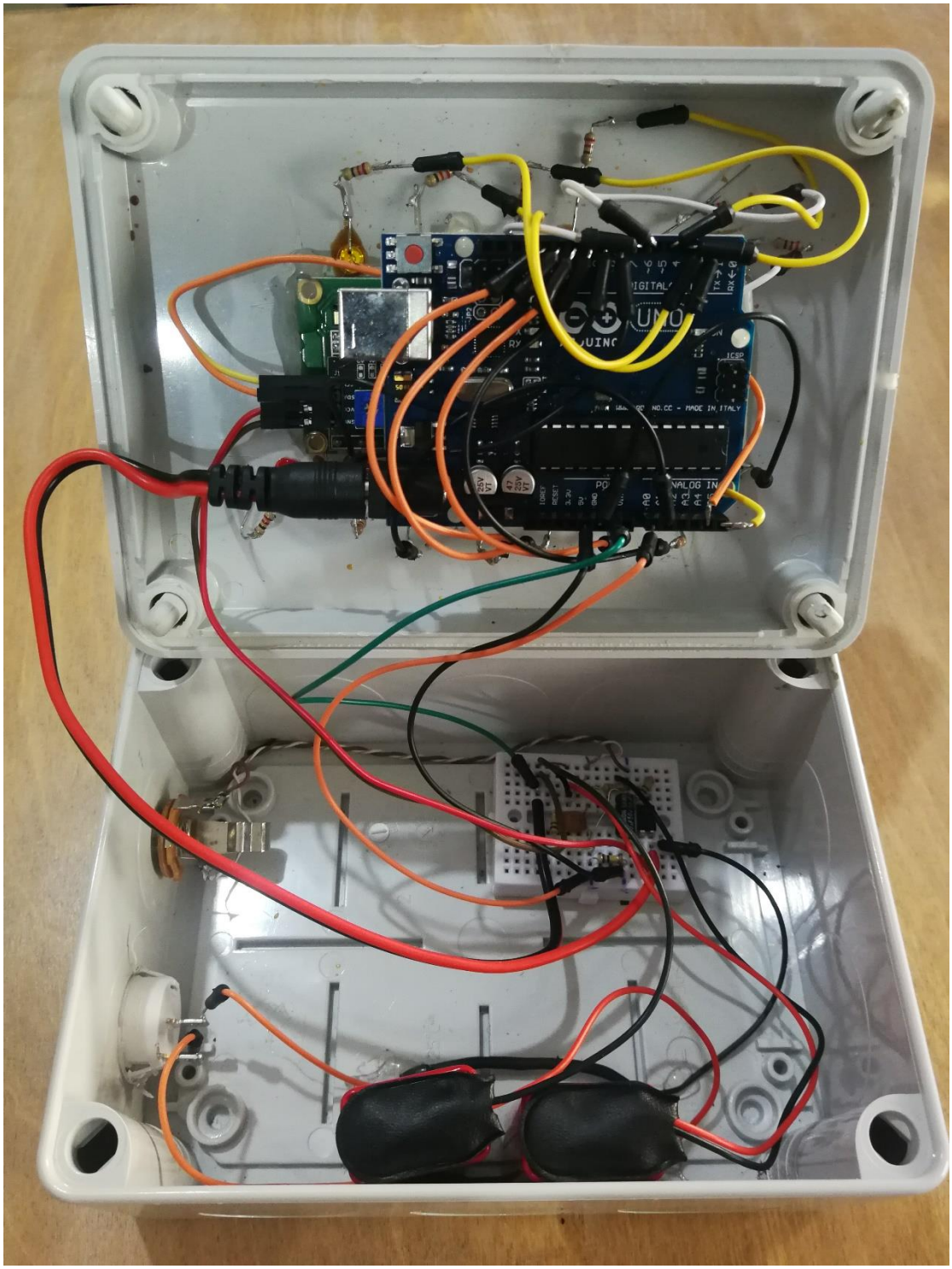
Στην επόμενη φάση έχοντας το αποτέλεσμα της συχνότητας μπαίνουμε στην διαδικασία ελέγχων για την αντιστοίχισή της με την νότα που παράγει. Έπειτα ελέγχεται η απόκλιση που έχει η παραγόμενη νότα από την επιθυμητή ώστε να ανάψουν τα κατάλληλα Led και να καθοδηγηθεί ο χρήστης και να κουρδίσει το όργανο ενώ ταυτόχρονα απεικονίζεται η συχνότητα στην LCD οθόνη της κατασκευής

5.4 Παρουσίαση κατασκευής

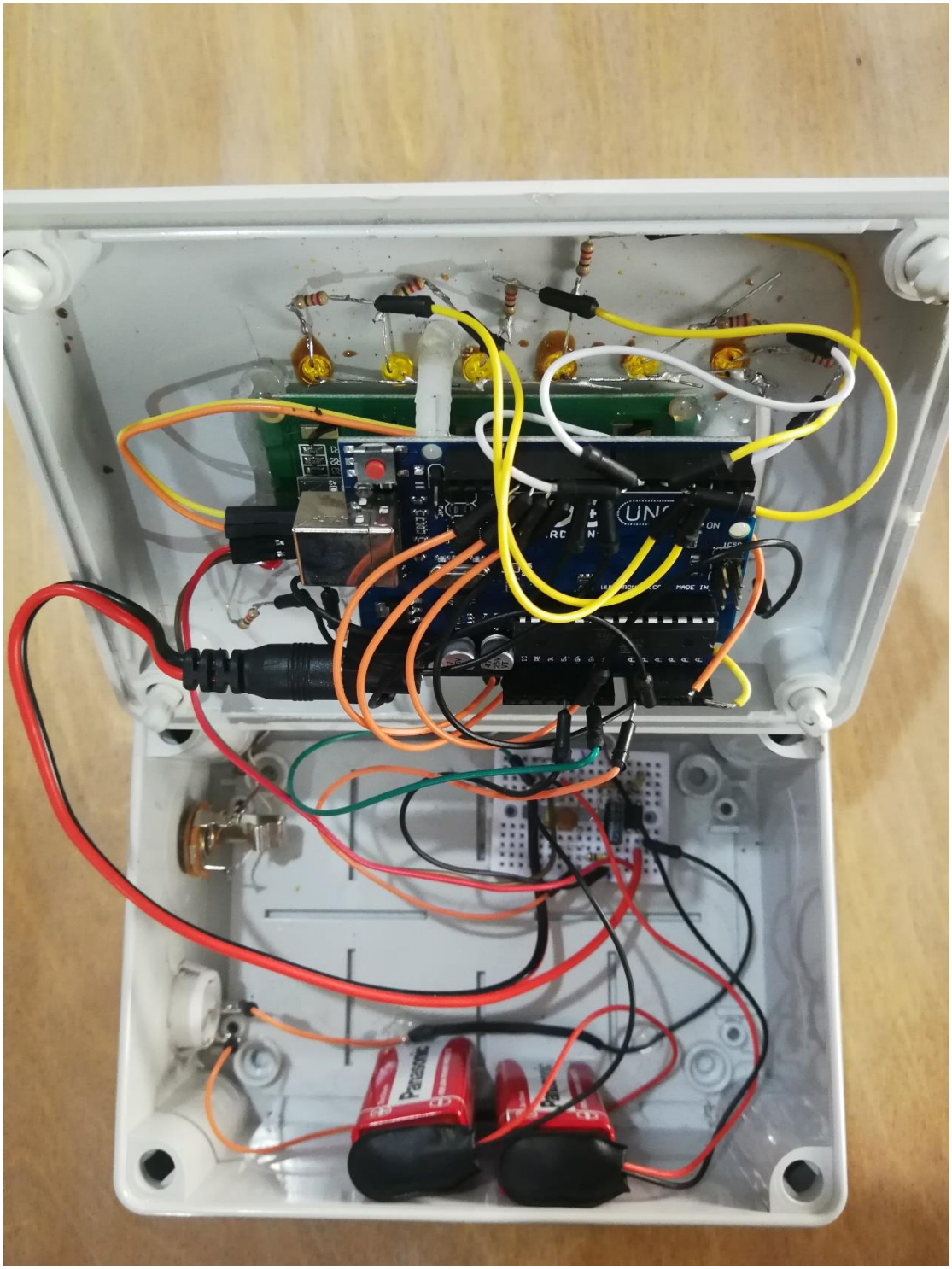


Εικόνα 31 Κύρια όψη κατασκευής

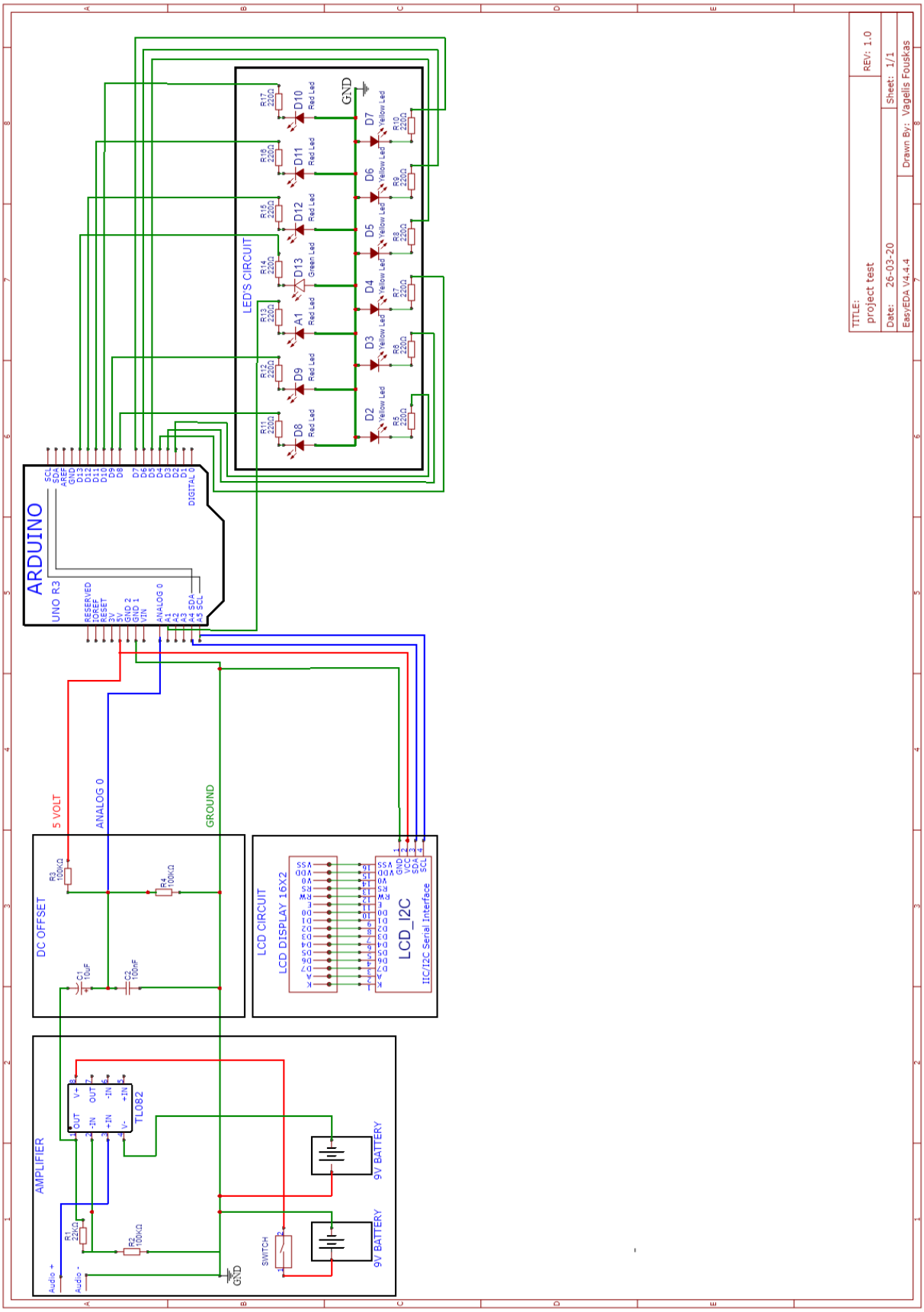
Εικόνα 32 Αριστερή όψη κατασκευής



Εικόνα 33 Εσωτερικό κατασκευής



Εικόνα 34 Εσωτερικό κατασκευής



Εικόνα 35 Ολικό διάγραμμα συνδεσμολογίας

5.5 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που βγάλαμε από την χρήση της κατασκευής είναι μικτά. Ξεκινώντας από τα θετικά η κατασκευή μας στάθηκε αντάξια στις προσδοκίες μας διότι ελάχιστες ήταν οι περιπτώσεις σφάλματος κατά την διάρκεια τον υπολογισμών. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα είναι πως η συσκευή απεδείχθη οικία με τον χρήστη πράγμα που την καθιστά εύχρηστη. Μερικά από τα μειονεκτήματα είναι πως η συσκευή λειτουργεί μόνο με μπαταρίες ενώ θα μπορούσαμε να είχαμε προβλέψει και την δυνατότητα τροφοδοσίας της μεσώ μιας κοινής πρίζας. Θα μπορούσαμε να συμπεριλάβουμε και άλλα μουσικά όργανα όχι μόνο την κιθάρα όσον αφορά τις φωτεινές ενδείξεις, γιατί εφόσον ο παίκτης είναι έμπειρος και γνωρίζει την επιθυμητή συχνότητα που παράγει η νότα μπορεί να κουρδίσει όποιο όργανο θέλει. Τέλος κάνοντας μια σύγκριση με παρόμοιες συσκευές του εμπορίου όπως για παράδειγμα της Εικόνα 1 παρατηρούμε ότι η τεχνολογία έχει φτάσει σε ένα πολύ μικρό μέγεθος και σε μορφή από μανταλάκι πράγμα που το κάνει να είναι ακόμα πιο εύχρηστο από την δική μας συσκευή.

Βιβλιογραφία

Βιβλία

- Βασική ηλεκτρονική, 4η έκδοση, Malvino Albert Paul, 2006
- Ψηφιακή Ανάλυση Σήματος, Proakis J, Manolakis D, 1η εκδοση, 2010
- Προγραμματίζοντας τον μικροελεγκτή AVR, Gadre Dhananjay V, 1η εκδοση, 2001
- Getting Started with Arduino, 3η εκδοση, Banzi Massimo, 2012
- Arduino Projects to Save the World, Emery Premeaux, 1η εκδοση 2011

Υπερσύνδεσμοι

- https://www.arduino.cc/
- https://create.arduino.cc/projecthub/metrowest_aug/arduino-based-automatic-guitar-tuner-2093fe
- https://www.instructables.com/id/How-to-Connect-I2C-Lcd-Display-to-Arduino-Uno/
- http://www.musicheaven.gr/html/modules.php?name=News&file=article&id=882
- https://el.m.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%80%CE%B1%CF%83%CF%8E%CE%BD
- https://el.m.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CF%84%CE%AE%CF%82
- https://el.m.wikipedia.org/wiki/Arduino
- https://en.m.wikipedia.org/wiki/Operational_amplifier
- https://www.instructables.com/id/Arduino-Guitar-Tuner/
- http://gym-falan.lar.sch.gr/activities/paper/paper01/pap01-moysiki.html
- https://www.instructables.com/id/Arduino-Audio-Input/
- https://create.arduino.cc/projecthub/calettso/audio-frequency-detector-617856
- https://www.instructables.com/id/Arduino-Frequency-Detection/
- https://el.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C
- https://en.wikipedia.org/wiki/Voltage_divider
- https://www.cableworks.gr/ilektronika/arduino/kit/arduino-uno-r3-starter-basic-kit-oem/

Παράρτημα 1 - Κώδικας εφαρμογής

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
byte newData = 0;
byte prevData = 0;
unsigned int time = 0;
int timer[10];
int slope[10];
unsigned int totalTimer;
unsigned int period;
byte index = 0;
float frequency;
int maxSlope = 0;
int newSlope;
byte noMatch = 0;
byte slopeTol = 3;
int timerTol = 10;
unsigned int ampTimer = 0;
byte maxAmp = 0;
byte checkMaxAmp;
byte ampThreshold = 10;
int correctFrequency;
void setup(){
lcd.begin (16,2);
lcd.backlight();
Serial.begin(9600);
pinMode(A1,OUTPUT);
pinMode(2,OUTPUT);
pinMode(3,OUTPUT);
pinMode(4,OUTPUT);
pinMode(5,OUTPUT);
pinMode(6,OUTPUT);
pinMode(6,OUTPUT);
pinMode(7,OUTPUT);
pinMode(8,OUTPUT);
```

```
pinMode(9,OUTPUT);
pinMode(10,OUTPUT);
pinMode(11,OUTPUT);
pinMode(12,OUTPUT);
pinMode(13,OUTPUT);
digitalWrite(7,1);
digitalWrite(6,1);
digitalWrite(5,1);
digitalWrite(4,1);
digitalWrite(3,1);
digitalWrite(2,1);
digitalWrite(8,1);
digitalWrite(10,1);
delay(500);
digitalWrite(9,1);
digitalWrite(11,1);
delay(500);
digitalWrite(A1,255);
digitalWrite(12,1);
delay(500);
digitalWrite(13,1);
delay(500);
cli();
ADCSRA = 0;
ADCSRB = 0;
ADMUX |= (1 << REFS0);
ADMUX |= (1 << ADLAR);
ADCSRA |= (1 << ADPS2) | (1 << ADPS0);
ADCSRA |= (1 << ADATE);
ADCSRA |= (1 << ADIE);
ADCSRA |= (1 << ADEN);
ADCSRA |= (1 << ADSC);
sei();
}
ISR(ADC_vect) {
```

```
newData = ADCH;
if (prevData < 127 && newData >=127){
newSlope = newData - prevData;
if (abs(newSlope-maxSlope)<slopeTol){
slope[index] = newSlope;
timer[index] = time;
time = 0;
if (index == 0){
noMatch = 0;
index++;//increment index
}
else if (abs(timer[0]-timer[index])<timerTol && abs(slope[0]-newSlope)<slopeTol){
totalTimer = 0;
for (byte i=0;i<index;i++){
totalTimer+=timer[i];
}
period = totalTimer;
timer[0] = timer[index];
slope[0] = slope[index];
index = 1;//set index to 1
noMatch = 0;
}
else{
index++;
if (index > 9){
reset();
}
}
}
else if (newSlope>maxSlope){
maxSlope = newSlope;
time = 0;
noMatch = 0;
index = 0;
}
```

```
else{
noMatch++;
if (noMatch>9){
reset();
}
}
}
time++;
ampTimer++;
if (abs(127-ADCH)>maxAmp){
maxAmp = abs(127-ADCH);
}
if (ampTimer==1000){
ampTimer = 0;
checkMaxAmp = maxAmp;
maxAmp = 0;
}
}
void reset(){
index = 0;
noMatch = 0;
maxSlope = 0;
}
void otherLEDsOff(int LED1, int LED2,int LED3,int LED4,int LED5){
digitalWrite(LED1,0);
digitalWrite(LED2,0);
digitalWrite(LED3,0);
digitalWrite(LED4,0);
digitalWrite(LED5,0);
}
void stringCheck(){
if(frequency>70&&frequency<90){
otherLEDsOff(2,3,5,6,7);
digitalWrite(2,1);
correctFrequency = 82.4;
```

```
Serial.println();
}
if(frequency>100&&frequency<120){
otherLEDsOff(2,3,4,5,6);
digitalWrite(3,1);
correctFrequency = 110;
}
if(frequency>135&&frequency<155){
otherLEDsOff(2,3,4,6,7);
digitalWrite(4,1);
correctFrequency = 146.8;
}
if(frequency>186&&frequency<205){
otherLEDsOff(2,3,5,6,7);
digitalWrite(5,1);
correctFrequency = 196;
}
if(frequency>235&&frequency<255){
otherLEDsOff(2,4,5,6,7);
digitalWrite(6,1);
correctFrequency = 246.9;
}
if(frequency>320&&frequency<340){
otherLEDsOff(3,4,5,6,7);
digitalWrite(7,1);
correctFrequency = 329.6;
}
}
void frequencyCheck(){
if(frequency>correctFrequency+1){
digitalWrite(12,1);//12 digital
}
if(frequency>correctFrequency+4){
digitalWrite(11,1);
}
```

```
if(frequency>correctFrequency+6){
digitalWrite(10,1);
}
if(frequency<correctFrequency-1){
analogWrite(A1,255);
}
if(frequency<correctFrequency-4){
digitalWrite(9,1);//1,0 digital
}
if(frequency<correctFrequency-6){
digitalWrite(8,1);
}
if(frequency>correctFrequency-1&&frequency<correctFrequency+1){
digitalWrite(13,1);
}
}
void allLEDsOff(){
digitalWrite(2,0);
digitalWrite(3,0);
digitalWrite(4,0);
digitalWrite(5,0);
digitalWrite(6,0);
digitalWrite(7,0);
digitalWrite(8,0);
digitalWrite(9,0);
digitalWrite(10,0);
digitalWrite(11,0);
digitalWrite(12,0);
digitalWrite(13,0);
analogWrite(A1,0);
}
void loop(){
allLEDsOff();
Serial.print("i sixnotita einai : ");
if (checkMaxAmp>ampThreshold){
}
stringCheck();
frequencyCheck();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" frequency is ");
Serial.println(frequency);
delay(100);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print (frequency);
}
```