



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Πρωτότυπη κατασκευή μουσικού κουτιού
με τη χρήση Arduino μικροελεγχτή**

Χαράλαμπος Βράκας
A.M. 35671

Εισηγητές: Παναγιώτης Δροσινόπουλος, Καθηγητής
Ιωάννης Έλληνας, Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2018

Πρωτότυπη κατασκευή μουσικού κουτιού με τη χρήση Arduino μικροελεγχτή

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Πρωτότυπη κατασκευή μουσικού κουτιού
με τη χρήση Arduino μικροελεγχτή**

**Χαράλαμπος Βράκας
Α.Μ. 35671**

Εισηγητές:

**Παναγιώτης Δροσινόπουλος, Καθηγητής
Ιωάννης Έλληνας, Καθηγητή**

**Εξεταστική Επιτροπή: Βελώνη Αναστασία
Δροσινόπουλος Παναγιώτης
Έλληνας Ιωάννης**

Ημερομηνία εξέτασης : Πέμπτη 15 Νοεμβρίου 2018

Πρωτότυπη κατασκευή μουσικού κουτιού με τη χρήση Arduino μικροελεγχτή

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Βράκας Χαράλαμπος, του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου Α.Μ. 35671 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ Συστημάτων Τ.Ε. του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Πρωτότυπη κατασκευή μουσικού κουτιού με τη χρήση Arduino μικροελεγχτή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Παρότι την εργασία την ανέλαβα μόνος μου και ήταν εξ αρχής δική μου σκέψη, σύλληψη και εκτέλεση, η εργασία μου πήρε αρκετά χρόνια να ολοκληρωθεί γιατί βρήκα πολλά εμπόδια μπροστά μου στην κατασκευή, στο να εντοπίσω υλικά που θα χρειαστώ αλλά και όλα αυτά να χωρέσουν σε διάστημα όπου δούλευα full-time. Για την ολοκλήρωση της εργασίας θέλω να ευχαριστήσω θερμά του εισηγητές καθηγητές μου. Τον κύριο Δροσινόπουλο που με βοήθησε πολύ στην ανάπτυξη της, στο ένα βήμα παρακάτω που θα λέγαμε αλλά και μου προσέφερε μεγάλη βοήθεια στον πιο γρήγορο εντοπισμό υλικών της κατασκευής, κάτι που είναι μια γνώση που δε την είχα μέχρι το διάστημα που ασχολήθηκα με την κατασκευή, αλλά και σε κάποιο βαθμό στην ψυχολογική του στήριξη σε περίοδο που αντιμετώπισα αμφιβολίες για την κατασκευή. Τον κύριο Έλληνα που με κατεύθυνε σωστά στο μέρος της εργασίας που περιλαμβάνει τον μικροελεγκτή και για όσες διευκρινήσεις μου έδωσε στο αντικείμενο. Τέλος να ευχαριστήσω πολύ τους δικούς μου που με στήριξαν ψυχολογικά αλλά και οικονομικά σε περιόδους που δεν μπορούσα να ανταπεξέλθω και ιδιαίτερα την αδερφή μου Μεταξία Βράκα που με βοήθησε πολύ στην οργάνωση και υλοποίηση της γραπτής καταγραφής της εργασίας.

Πρωτότυπη κατασκευή μουσικού κουτιού με τη χρήση Arduino μικροελεγχτή

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την κατασκευή ενός εξ' ολοκλήρου χειροποίητου μουσικού οργάνου, μια παραλλαγμένη μορφή ενός παραδοσιακού αφρικάνικου κρουστού και τον ακριβή τρόπο με τον οποίο, μέσω ενός μικροελεγκτή Arduino Uno, εκτελεί αυτόματα μουσικά κομμάτια από ηλεκτρονική παρτιτούρα.

Αναλυτικότερα, η εργασία ξεκινάει με μια σύντομη ιστορική αναδρομή του εν λόγω μουσικού οργάνου καθώς και της άμεσης σχέσης της μουσικής με την τεχνολογία.

Στην συνέχεια περιγράφεται βήμα-βήμα η κατασκευή του πρότυπου μουσικού οργάνου από το μηδέν μέχρι το στάδιο της ένωσης του με τον μικροελεγκτή Arduino Uno ενώ μελετάται και τοποθετείται το προγραμματιστικό κομμάτι του παρόντος project.

Κλείνοντας, δίνονται σαφή συμπεράσματα που προέκυψαν μετά τη περάτωση του έργου καθώς και κάποιες από τις αναρίθμητες προοπτικές για μελλοντική χρήση.

ABSTRACT

The present thesis concerns the construction of a fully hand-crafted musical instrument, a variant of a traditional African percussion and the exact way in which, through an Arduino Uno microcontroller, it automatically performs musical pieces of digital score.

More specifically, the thesis begins with a brief historical recurrence of the musical instrument as well as the direct relationship of music with technology.

Then it refers to the step by step construction of the original musical instrument from scratch to the stage of its association with the microcontroller Arduino Uno while the programming part of this project is being studied and placed.

Finally, there are clear conclusions that emerged after the completion of the project as well as some of the innumerable prospects for future use.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Μικροελεγκτές και οργανοποιία

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Μικροελεγκτής Arduino, μουσικό κουτί, music xml, κατασκευή, dc motors

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1	Περιγραφή του αντικειμένου της πτυχιακής εργασίας	11
1.2	Ιστορική αναδρομή	11
1.3	Αφρικανική καλίμπα	12
1.3.1.	Η ιστορική αναδρομή της καλίμπα	12
1.3.2	Η διάδωσή της	13
1.4	Μουσική και τεχνολογία.....	14
2.	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	17
2.1.	Κατασκευή μουσικού κουτιού	17
2.2	Βήματα Υλοποίησης	18
2.2.1.	Υλοποίηση ξύλινου κουτιού	18
2.2.2.	Τοποθέτηση ελασμάτων	20
2.2.3.	Τοποθέτηση dc motors	25
2.3	Κύκλωμα.....	27
3.	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	29
3.1.	Music xml παρτιτούρας	29
3.2.	Μελέτη και ανάπτυξη προγράμματος μικροελεγκτή.....	34
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	39
4.1	Σύνοψη της πτυχιακής εργασίας	39
4.2	Προοπτικές	40
5.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'	43
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β'	43
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ'	44
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	45

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Παραδοσιακή καλίμπα	12
Εικόνα 1.2: Καλίμπα	13
Εικόνα 1.3: Ο Hugh Tracey στην Αφρική	13
Εικόνα 2.1: Πρώτα βήματα κατασκευής κουτιού	18
Εικόνα 2.2: «Καπάκι» μουσικού κουτιού	19
Εικόνα 2.3: Οπή ηχείου	19
Εικόνα 2.4: Τύποι ελασμάτων Α	21
Εικόνα 2.5: Τύποι ελασμάτων Β	21
Εικόνα 2.6: Βάση ελάσματος	22
Εικόνα 2.7: Τοποθέτηση βάσης ελασμάτων	22
Εικόνα 2.8: Ορειχάλκινη λάμα στήριξης	24
Εικόνα 2.9: Ελάσματα τοποθετημένα στην ορειχάλκινη βάση	24
Εικόνα 2.10: Dc Motors	25
Εικόνα 2.11: Βάση στήριξης dc motors Α	26
Εικόνα 2.12: Βάση στήριξης dc motors Β	26
Εικόνα 2.13: Βάση στήριξης dc motors Γ	27
Εικόνα 2.14: Σχηματικό κυκλώματος	28
Εικόνα 3.1: Παράδειγμα XML παρτιτούρας	30
Εικόνα 3.2: Παράδειγμα 1	31
Εικόνα 3.3: Παράδειγμα 2	33
Εικόνα 3.4: Παράδειγμα 3	33
Εικόνα 3.5: Παράδειγμα 4	33
Εικόνα 3.6: Pins εξόδου Arduino	34
Εικόνα 3.7: Παράδειγμα	35
Εικόνα 3.8: Αρχική μελωδία “Imperial March”	36
Εικόνα 3.9: Κώδικας “Imperial March”	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά του αντικειμένου της πτυχιακής εργασίας και μια ιστορική αναδρομή του μουσικού οργάνου που κατασκευάστηκε καθώς και τη σχέση της μουσικής με την τεχνολογία την σημερινή εποχή.

1.1 Περιγραφή του αντικειμένου της πτυχιακής εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η κατασκευή πρότυπου μουσικού κουτιού, βασισμένο στην αφρικάνικη καλίμπα όπου θα γίνεται ανάγνωση ηλεκτρονικής παρτιτούρας και αναπαραγωγή μουσικής από έναν μικροελεγχτή Arduino Uno με τη χρήση DC motors.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Η μουσική γεννήθηκε μαζί με τον άνθρωπο, ο οποίος από πολύ νωρίς άρχισε να ξεχωρίζει αρμονικούς φυσικούς ήχους που τον βοηθούσαν στη ζωή του. Σιγά-σιγά άρχισε να τους αναπαράγει και να τους ανασυνθέτει δημιουργικά.

Τα μουσικά του δημιουργήματα ο άνθρωπος τα χρησιμοποιούσε για να επικοινωνεί με τους συνανθρώπους του, να εξορκίζει το φόβο, να εξευμενίσει τους θεούς του και να εκφράσει θαυμασμό, αφοσίωση και αγάπη.

Πέρα από την Ινδία και την Κίνα που έχουν τις παλαιότερες μουσικές παραδόσεις του κόσμου θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθούμε στην Αφρικάνικη μουσική ιστορία που, μολονότι οι πηγές μας ανά τα χρόνια είναι ελάχιστες, μιας και ως επί τω πλείστων η μουσική στην Αφρική διαδίδονταν δια στόματος, έχει θέσει δυνατές βάσεις για τη μουσική του «σήμερα».

Στον όρο αφρικάνικη μουσική ιστορία, συγκαταλέγεται η πολυποίκιλη μουσική, ο χορός και η κατασκευή και χρήση μουσικών οργάνων. Τα πιο ευρέως διαδεδομένα μουσικά όργανα στην Αφρική είναι το τύμπανο, το ξυλόφωνο, το mbira γνωστό και ως καλίμπα κ.α.

1.3 Αφρικανική καλίμπα

1.3.1. Η ιστορική αναδρομή της καλίμπα

Η καλίμπα έχει μια πλούσια και ποικίλη ιστορία στην Αφρική που εκτείνεται μέχρι και 3.000 χρόνια πριν. Αποτελείται από ένα ηχείο και από μία σειρά μεταλλικών ράβδων, τοποθετημένες η μία δίπλα στην άλλη και στο κατάλληλο μήκος, έτσι ώστε να παράγονται οι συγκεκριμένες νότες. Το σχήμα της καλίμπας έχει διάφορες παραλλαγές, με πιο γνωστή αυτή με το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο ηχείο.

Οι πρώτες καλίμπες έγιναν στη Δυτική Αφρική γύρω από το σημερινό Καμερούν και δημιουργήθηκαν από φυτικά υλικά όπως το μπαμπού. Κάθε διαφορετική πολιτιστική ομάδα στην Αφρική το αγκάλιασε και έκανε τη δική της εκδοχή για αυτό το ιδιαίτερο μουσικό όργανο, γεγονός που το καθιστά βαθιά ενσωματωμένο στην αφρικανική μουσική κληρονομιά.



Εικόνα 1.1: Παραδοσιακή καλίμπα

Πρωτότυπη κατασκευή μουσικού κουτιού με τη χρήση Arduino μικροελεγχτή

Ο πρώτος Ευρωπαίος που κατέγραψε τη καλίμπα ήταν ένας πορτογάλος εξερευνητής και ιεραπόστολος ο Πατέρας Dos Santos που βρισκόταν στη Μοζαμβίκη το 1586.



Εικόνα 1.2: Καλίμπα

1.3.2 Η διάδωσή της

Το 1920, ο άγγλος εθνομουσικολόγος Hugh Tracey μετακόμισε στην Αφρική και βαθιά ερωτευμένος με τη αφρικανική μουσική, κατά τη διάρκεια των 5 δεκαετιών που έμεινε εκεί μελέτησε στενά όλα τα πιάνο αντίχειρα και άρχισε να τα κατασκευάζει ο ίδιος με σκοπό να τα διαδώσει σε όλο τον κόσμο.



Εικόνα 1.3: Ο Hugh Tracey στην Αφρική

Το όνομα "kalimba", το οποίο μεταφράζεται ως "μικρή μουσική", ήταν ένα από τα ονόματα των παραδοσιακών οργάνων που σκέφτηκε ότι οι δυτικοί θα μπορούσαν να πουν και να θυμούνται. Ο Hugh δημιούργησε το Kalimba έτσι ώστε οι μελωδίες και οι αρμονίες του να είναι καταλληλότερες για τη δυτική παράδοση της μουσικής. Στα τέλη της δεκαετίας του 1950 ξεκίνησε μια εταιρεία που ονομάζεται AMI (African Musical Instruments). Η AMI ξεκίνησε τη διεθνή ναυτιλία της καλίμπας συντονισμένη στη δυτική κλίμακα "do-re-mi ...". Αν δώσετε προσοχή σε μερικά από τα τραγούδια από δημοφιλείς καλλιτέχνες όπως Genesis, Earth Wind and Fire και John Mayer, θα αναγνωρίσετε ότι το όργανο Kalimba δεν ανήκει πλέον μόνο στις εκδηλώσεις στην Αφρική αλλά ενσωματώνεται στη μουσική βιομηχανία εκείνης της εποχής και επιβιώνει μέχρι και σήμερα.

1.4 Μουσική και τεχνολογία

Στη σημερινή εποχή της πληροφορίας (εποχή ψηφιακών και ασύρματων μέσων), η έννοια του μουσικού έργου αλλά και γενικότερα της μουσικής δημιουργίας, χρειάζεται αναθεώρηση και επαναπροσδιορισμό. Η ανάπτυξη των σύγχρονων τεχνολογιών παραγωγής, διαχείρισης και διάθεσης πληροφοριών επηρέασε σημαντικά την καθημερινότητα των δυτικών κοινωνιών, κομμάτι της οποίας είναι και η μουσική δημιουργία.

Για αιώνες η μουσική παράδοση στον Δυτικό πολιτισμό βασίζονταν στο δίπολο συνθέτης- εκτελεστής. Ο συνθέτης κατέγραφε τη μουσική του σκέψη σε ένα χαρτί, και την ερμήνευε ο μουσικός-εκτελεστής. Το μουσικό έργο δεν μπορεί πια να νοηθεί ως μια παρτιτούρα που δημιουργείται από ένα συγκεκριμένο άτομο, αποθηκεύεται σε κάποιο μέσο εγγραφής (δίσκο βινυλίου, συμπαγή δίσκο-CD, σκληρό δίσκο κ.ά.) και διατίθεται αυτούσιο στο κοινό. Το έργο σήμερα, είναι η χρήση των πληροφοριών που το συνθέτουν, δημιουργία καινούργιων ηχοχρωμάτων, επεξεργασία ηχητικού υλικού κ.α.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της ψηφιακής πληροφορίας στα συστήματα ήχου είναι πολλά και σημαντικά, όπως: ευκολία και ταχύτητα στην επεξεργασία, αποθηκευτικοί χώροι με ολοένα και μεγαλύτερες χωρητικότητες, ταχύτερη μεταφορά αλλά και μεγάλες ταχύτητες στην ανεύρεση πληροφορίας, μεγάλη ανθεκτικότητα σε σφάλματα και στη φυσική φθορά, μικρότερες και μακροβιότερες συσκευές αναπαραγωγής. Αν παράλληλα αναλογιστεί κανείς και το χαμηλό

κόστος στην απόκτηση συσκευών και λογισμικού διαχείρισης, επεξεργασίας, αναπαραγωγής και αποθήκευσής του, τότε με βεβαιότητα πια μπορούμε να χαρακτηρίσουμε τον ψηφιακό ήχο ως κυρίαρχο μέσο αποτύπωσης της μουσικής και εν γένει της ηχητικής πληροφορίας, τόσο κατά τις καθημερινές χρήσεις όσο και σε ένα πλήθος εξειδικευμένων τομέων, υπηρεσιών και διαδικασιών.

Πρωτότυπη κατασκευή μουσικού κουτιού με τη χρήση Arduino μικροελεγχτή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Αφορμή για το θέμα της εργασίας στάθηκαν οι κακοί midi ήχοι σε προγράμματα γραφής παρτιτούρας που προσπαθούσαν να εξομοιώσουν διάφορα μουσικά όργανα.

Έτσι γεννήθηκε η σκέψη μου για αυτό το project. Ένα μουσικό κουτί που θα παράγει αναλογικό ήχο. Αυτό θα μπορούσε να υλοποιηθεί με πολύ διαφορετικές πηγές ήχου. Κρουστά όργανα ή πνευστά όπου θα παράγουν αέρα και με κατάλληλη κατασκευή θα έβγαζαν συγκεκριμένες νότες.

2.1 Κατασκευή μουσικού κουτιού

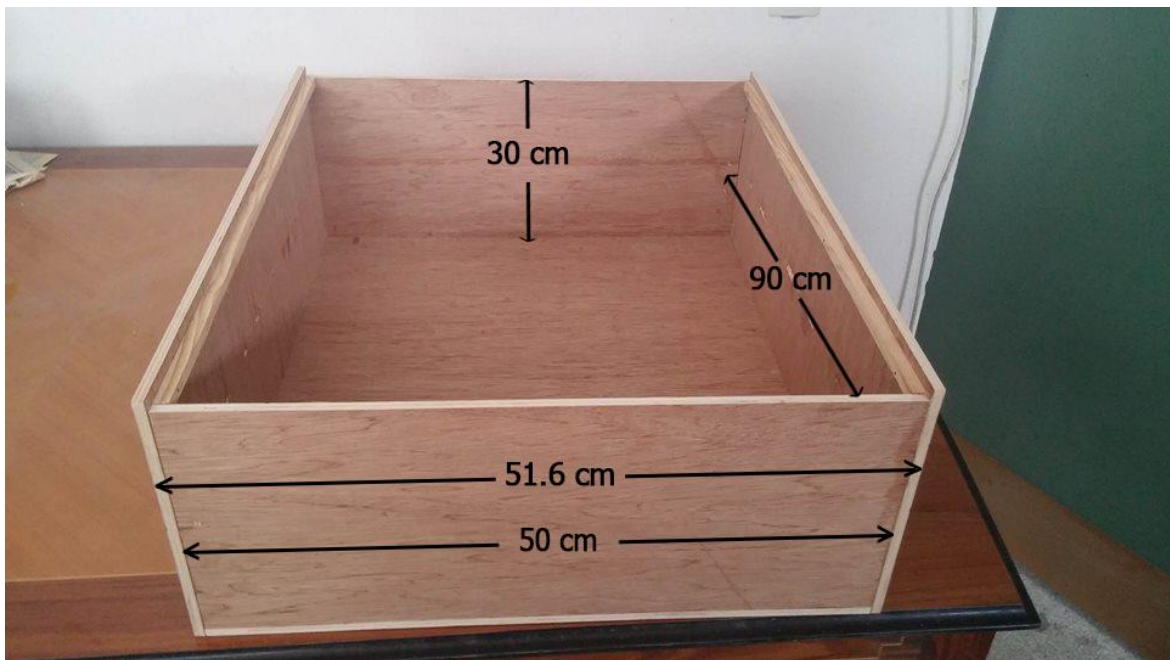
Για την κατασκευή του μουσικού κουτιού αρχικά ξεκίνησα με βάση τον οδηγό όπως αναγράφεται στο βιβλίο Musical Instrument Design του Bart Hopkin. Η συμβολή του ήταν σημαντική για την κατασκευή gumba box, όπου είναι η Τζαμαϊκανή εκδοχή της αφρικανικής Καλίμπα, με μοναδική διαφορά ότι παράγει πιο μπάσες συχνότητες. Άλλη ονομασία είναι και Marimbula στη Κούβα κλπ.

Η βάση της κατασκευής είναι ένα μεγάλο κουτί από ξύλο. Στη μεγάλη του επιφάνεια υπάρχει ένας καβαλάρης που στηρίζει 25 μεταλλικά ελάσματα διαφορετικού μήκους ώστε όταν πάλλονται με τα δάχτυλα και να παράγουν συχνότητες από 2 χρωματικές οκτάβες. Λόγω του ότι δεν ήθελα ένα πλήρες gumba box καθώς και για πρακτικούς λόγους κατασκευής και εφαρμογής των dc motors στην κατασκευή αποφάσισα να ακολουθήσω ένα μέρος των οδηγιών για την κατασκευή του κουτιού μαζί με αρκετό πειραματισμό μιας και ουσιαστικά ήταν η πρώτη μου απόπειρα δημιουργίας ενός μουσικού οργάνου.

2.2 Βήματα Υλοποίησης

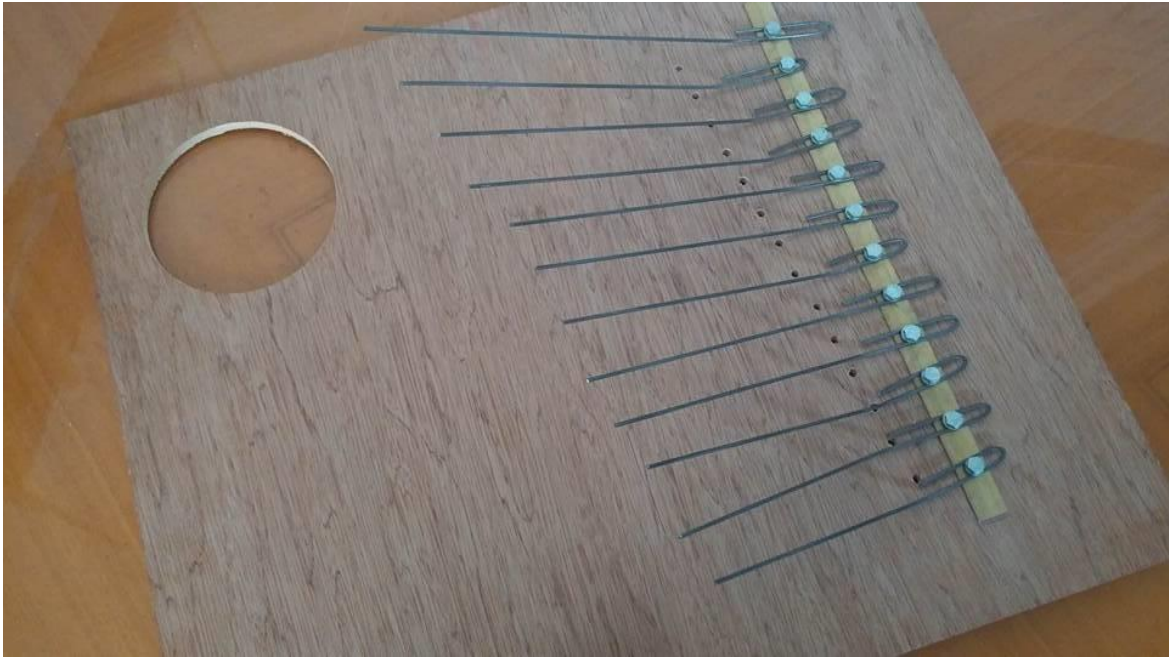
2.2.1. Υλοποίηση ξύλινου κουτιού

Το πρώτο βήμα του project ήταν η υλοποίηση του μουσικού κουτιού. Επέλεξα ξύλο κόντρα πλακέ 8mm αρχικά για την κατασκευή 5 πλευρών του κουτιού (Εικόνα 2.1) και ένα λεπτότερο κομμάτι ξύλου 3mm, για το «καπάκι» όπου θα στηρίζεται ο μεταλλικός καβαλάρης και τα ελάσματα που θα παράγουν τον ήχο.



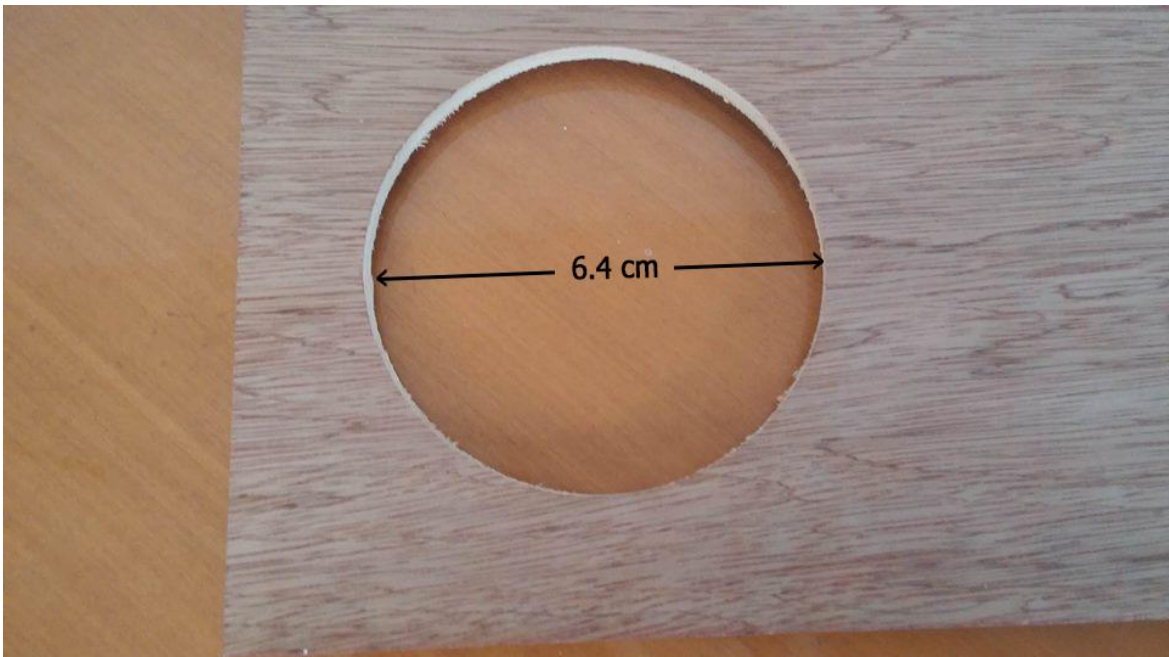
Εικόνα 2.1: Πρώτα βήματα κατασκευής κουτιού

Στην πράξη όμως και αφ' ότου έγινε η πρώτη προσπάθεια κατασκευής, η επάνω επιφάνεια του κουτιού λυγίζει από το βάρος των μετάλλων και δεν είχα το επιθυμητό αποτέλεσμα. Έτσι, κατέφυγα στην επόμενη λύση του να έχω ένα κομμάτι ίδιου πάχους με το υπόλοιπο κουτί στα 8mm.



Εικόνα 2.2: «Καπάκι» μουσικού κουτιού

Οι διαστάσεις του κουτιού είναι 90cm μήκος, 51,6cm πλάτος (50cm το κουτί και από 8mm οι πλευρές του κουτιού που το κλείνουν) και 30cm ύψος. Στο κάτω αριστερό άκρο της πάνω πλευράς του κουτιού υπάρχει μια οπή όπου είναι το ηχείο του οργάνου με ακτίνα 6,4cm.



Εικόνα 2.3: Οπή ηχείου

Η πάνω επιφάνεια του κουτιού για να είναι σταθερή και από τις 4 πλευρές της έχουν προστεθεί στις 2 κάθετες πλευρές 2 μικρά κομμάτια ξύλο ώστε να μπορεί να πατάει και από τις 4 πλευρές του (οι άλλες 2 είναι το πάχος του ξύλου των άλλων 2 κάθετων κομματιών ξύλου που σχηματίζουν τις άλλες 2 πλευρές του κουτιού).

Αρχικά, έκανα μια δοκιμή ακριβώς στη μέση του ύψους του κουτιού να μπει άλλο ένα κομμάτι ξύλο όπου να εφάπτεται σε όλες τις πλευρές εσωτερικά επιλέγοντας πάλι ξύλο πάχους 8mm με διαστάσεις 88,4cm μήκος και 50cm πλάτος και μια μικρότερη οπή (3cm ακτίνα) ακριβώς στο κέντρο της επιφάνειας ώστε να φτιαχτεί ένα 2^ο εσωτερικό ηχείο γιατί ενισχύει τις χαμηλές συχνότητες.

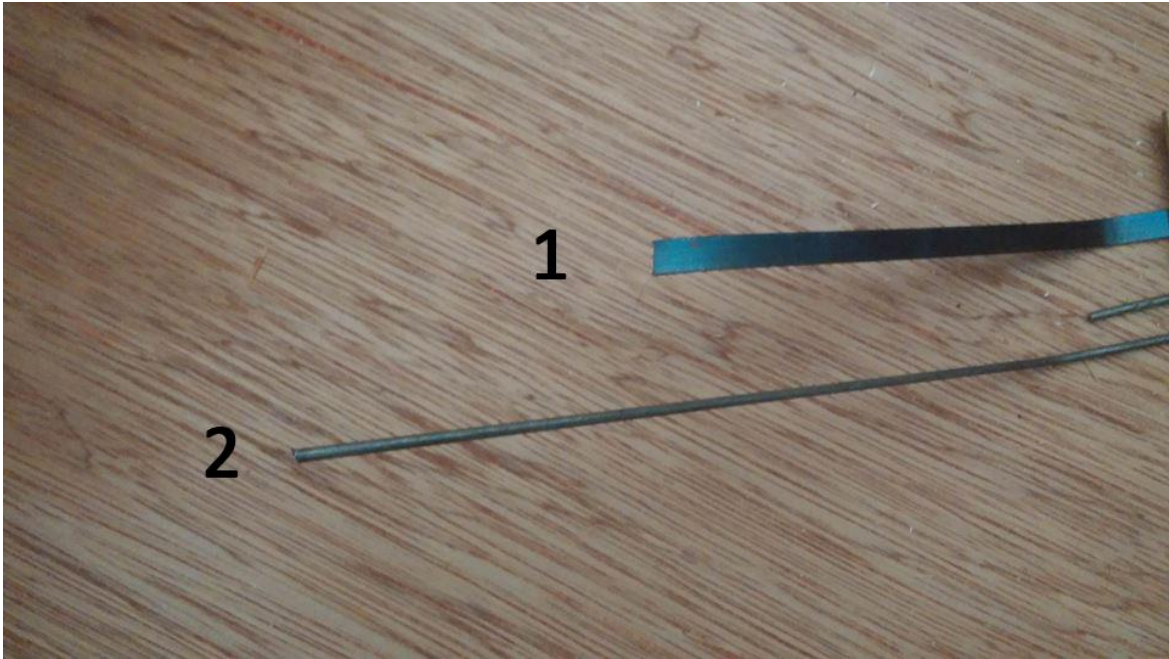
Στην πράξη όμως και κατόπιν αρκετών δοκιμών που έκανα με τα ελάσματα κατέληξα ότι δεν είχα το επιθυμητό αποτέλεσμα και το αφαίρεσα από το κουτί έχοντας τη κατάλληλη βάση για την τοποθέτηση των ελασμάτων.

2.2.2. Τοποθέτηση ελασμάτων

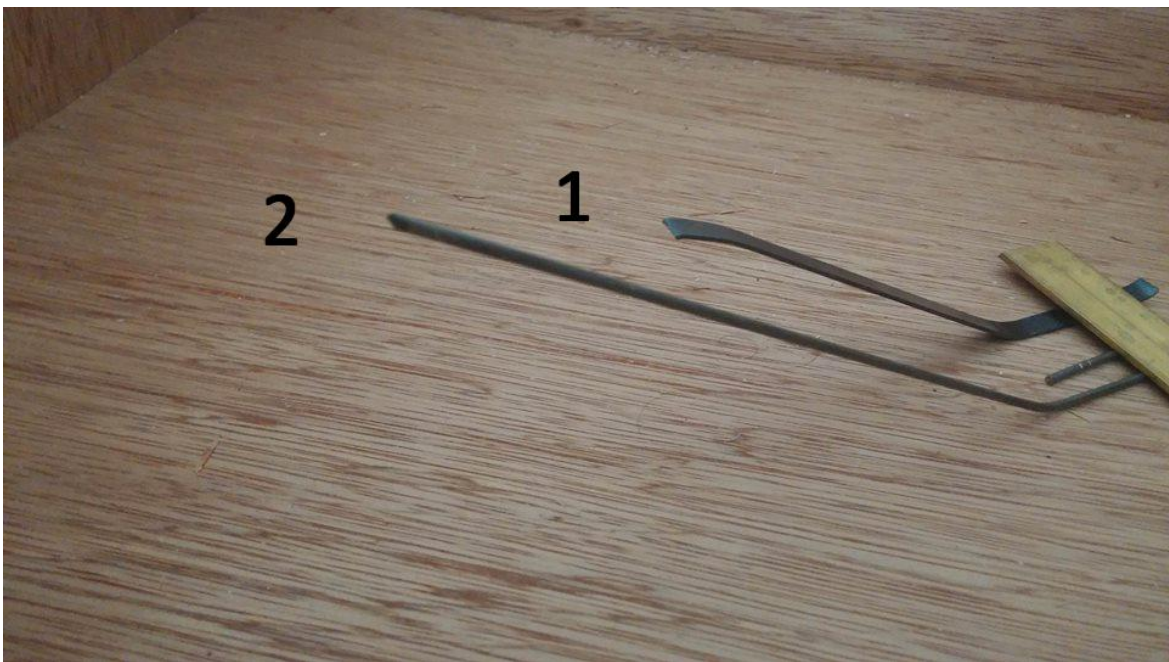
Αφού κατέληξα στο κουτί που θα ήταν το ιδανικό για την περάτωση της εργασίας, συνέχισα με την τοποθέτηση των ελασμάτων.

Τα ελάσματα που επιλέχθηκαν για την κατασκευή είναι από ατσάλι, γιατί το ατσάλι είναι ελαστικό και επιστρέφει στην αρχική του θέση μετά από την παραμόρφωση. Έτσι και οι ταλαντώσεις που θα δημιουργηθούν από τα «σφυράκια» που έχουν τα μοτεράκια θα βοηθήσουν για το επιθυμητό αποτέλεσμα. Σε αυτό το σημείο, χρειάστηκαν πολλές δοκιμές με διάφορους τύπους από ατσάλινες ράβδους διαφόρων διατομών όπως και λάμες ατσαλιού.

Αρχικές δοκιμές έκανα με λάμες ατσαλιού 6 και 10mm. (Εικόνα 2.4 - βλ. 1) Ουσιαστικά λύγισα τη λάμα ώστε να σχηματίζεται μια αμβλεία γωνία και κρατώντας σταθερό το μικρότερο κομμάτι χτυπούσα το κομμάτι που ήταν στον αέρα με κάποια μεταλλική άκρη και έλεγχα τον ήχο και τη συχνότητα που παράγει. Ύστερα έκοβα το μήκος ώστε να μικρύνει και να παράγει υψηλότερες συχνότητες. Μετά από αρκετές δοκιμές και με διαφορετικές σε πάχος και πλάτος λάμες κατέληξα ότι δεν έχω το επιθυμητό αποτέλεσμα οπότε στράφηκα στο να δοκιμάσω ράβδους από ατσάλι όπου και εκεί κατέληξα (Εικόνα 2.4 - βλ. 2).



Εικόνα 2.4: Τύποι ελασμάτων Α



Εικόνα 2.5: Τύποι ελασμάτων Β

Προμηθεύτηκα ατσάλινες ράβδους διατομής 1, 2 και 4 χιλιοστών. Μετά από τις πρώτες δοκιμές κατέληξα στις ράβδους με 2mm διατομή. Ως βάση του ελάσματος λύγισα τη ράβδο να κάνει φουρκέτα καμπύλη και τα 2 σκέλη της βάσης είναι 6 cm.



Εικόνα 2.6: Βάση ελάσματος

Η βάση σε σχήμα φουρκέτας εξυπηρετεί στο να γίνει η στήριξη του ελάσματος. Μία βίδα με μια ροδέλα θα το κρατάει σταθερό στη βάση του ώστε να μπορεί να πάλλεται χωρίς να μετακινείται.



Εικόνα 2.7: Τοποθέτηση βάσης ελασμάτων

Μετά από τη βάση του το υπόλοιπο μήκος της ράβδου είναι λυγισμένο με κλίση ώστε να είναι προσβάσιμο για το "σφυράκι" να μπορεί να το χτυπάει και να πάλλεται. Εκεί διαφέρουν ξεκάθαρα σε μήκος μεταξύ τους ούτως ώστε να αλλάζει η συχνότητα που παράγουν καθώς πάλλονται. Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι ακολούθησα μια συγκεκριμένη τακτική στα μήκη της βάσης και το που λυγίζω τη ράβδο αλλά έχουν όλα διαφορές γιατί έγιναν με το χέρι μου και ελέγχθηκαν στην πράξη το πως λειτουργούν και το πως ακούγονται.

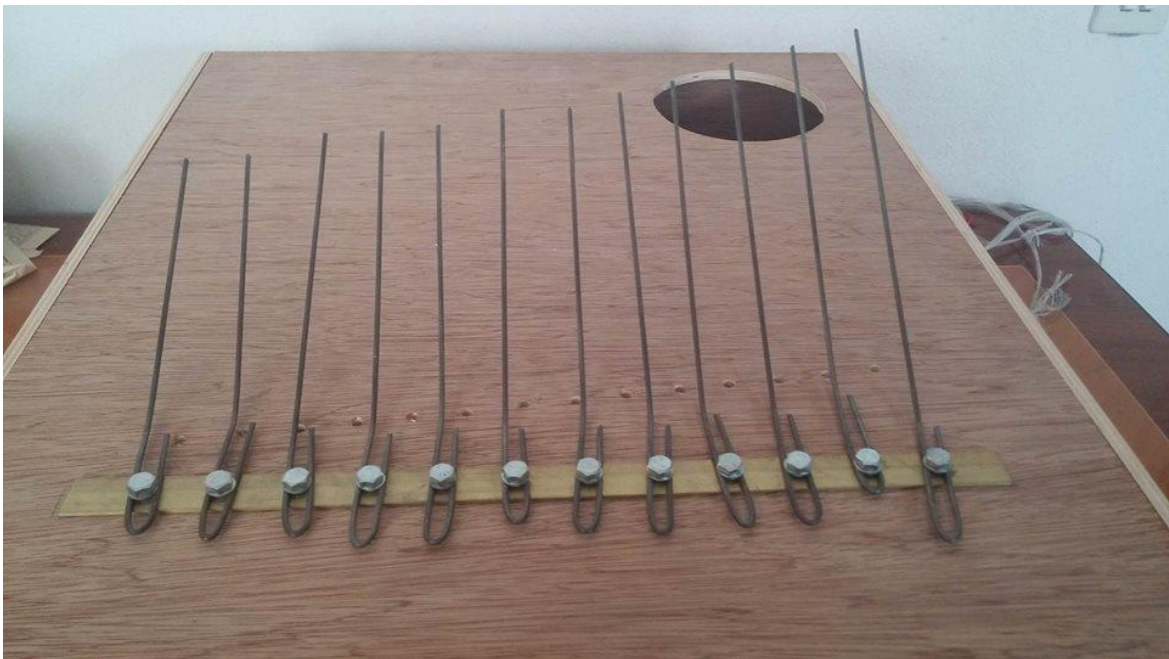
Το κούρδισμα των ελασμάτων ξεκίνησε με βάση ένα πίνακα που βρήκα από το βιβλίο Musical instrument design του Bart Hopkin (παράρτημα Α') και με οδηγίες κατασκευής gumba box όπου έχει αντιστοίχιση τονικού ύψους (pitch) με το πάχος και το μήκος του κυρίως μέρους του ελάσματος από τη βάση στήριξης μέχρι το άκρο του που πάλλεται. Έφτιαξα ένα αρκετά μακρύ έλασμα και το χτύπησα για να ακούσω τι τονικό ύψος παράγει. Έπειτα στο ίδιο έκοβα την άκρη του ελάσματος ανά 1cm περίπου, με αποτέλεσμα το τονικό ύψος του ήχου που παράγει να ανεβαίνει κατά διάστημα ενός τόνου. Οι μικρές αποκλίσεις στο κούρδισμα λύνονται με μικρή μετακίνηση της βάσης στήριξης για να φτάσει ακριβώς στο τονικό ύψος που θέλουμε.

Όπως προανέφερα, τα ελάσματα τα τοποθέτησα στην πλευρά του κουτιού που είναι και η οπή του ηχείου, σε παράταξη, έτσι ώστε το ένα έλασμα δίπλα στο άλλο να παράγει διαφορετικές νότες με διάστημα κατά ένα ημιτόνιο με αποτέλεσμα να έχω 12 διαφορετικά ελάσματα, ένα για κάθε νότα και αλλοίωση μίας οκτάβας. Η στήριξη όμως κατευθείαν στο ξύλο δημιουργούσε πρόβλημα στον ήχο γιατί εκτός από αυτό που δημιουργούσε η ταλάντωση, το έλασμα χτυπούσε πάνω στο ξύλο με αποτέλεσμα να μειώνεται το sustain (η διατήρηση του ήχου που παράγεται) αλλά ακόμα χειρότερα δημιουργούσε ένα θόρυβο. Έτσι κατέληξα στο να τοποθετήσω μία λάμα από ορείχαλκο πάχους 2mm και μήκους 40cm με 12 οπές για κάθε βίδα στήριξης κάθε ελάσματος.



Εικόνα 2.8: Ορειχάλκινη λάμα στήριξης

Με αυτό κατάφερα να αποφύγω την επαφή των ελασμάτων με το ξύλο κατά την ταλάντωση τους αλλά και να δημιουργήσω μια κοινή βάση στήριξης όλων των ελασμάτων, κάτι αντίστοιχο με τη λειτουργία του καβαλάρη σε ένα έγχορδο μουσικό όργανο.



Εικόνα 2.9: Ελάσματα τοποθετημένα στην ορειχάλκινη βάση

Τελευταίο μα εξίσου σημαντικό για την τελική τοποθέτηση των ελασμάτων ήταν ο υπολογισμός της απόστασης μεταξύ τους προκειμένου να τοποθετηθούν σωστά τα dc motors.

2.2.3. Τοποθέτηση dc motors

Στην τελική τοποθέτησή των ελασμάτων υπολόγισα στην πράξη και την τοποθέτηση στα dc motors όπου θα πρέπει να είναι τοποθετημένα ανάμεσα και να έχουν τη δυνατότητα με την περιστροφή τους να χτυπάει το κάθε μοτεράκι το αντίστοιχο έλασμα του.



Εικόνα 2.10: Dc Motors

Για τα σφυράκια που θα χτυπάνε την αντίστοιχη νότα που θέλω χρησιμοποιήσα 12 dc motors 2,6V. Αρχικά πρόσθεσα σε κάθε ένα από αυτά σφηνωτά στον κάθε άξονά τους μια μικρή ράβδο σιδήρου 3,2 cm έτσι ώστε καθώς περιστρέφεται να υπάρχει ένα σημείο που θα χτυπάει το αντίστοιχο έλασμα και να του δημιουργεί την ταλάντωση. Για τη βάση στήριξης τους, προτίμησα να χρησιμοποιήσω μεμονωμένη βάση στήριξης που να μην ακουμπάει πάνω στο ηχείο απλά να προσαρμόζεται κοντά έτσι ώστε οι δονήσεις και ο ήχος από τα μοτεράκια να μην αλλοιώνουν τον ήχο που θα βγάζει το κουτί.

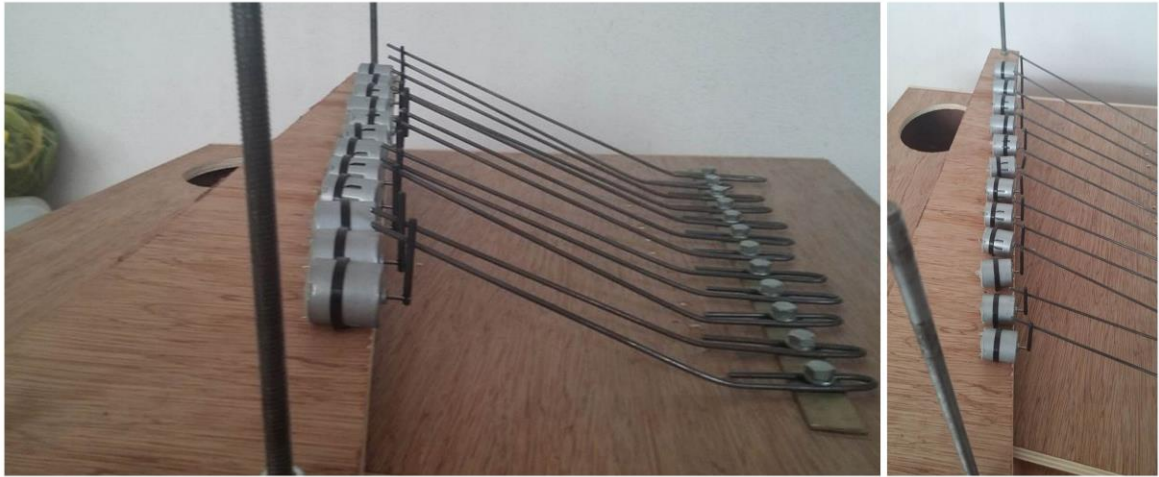
Για τη δημιουργία βάσης στήριξης πήρα ένα κομμάτι ξύλο, υπολόγισα τις αποστάσεις που θα τοποθετηθούν ούτως ώστε το κάθε μοτεράκι να χτυπάει αποκλειστικά και μόνο το αντίστοιχο έλασμα και να μην ακουμπούν οι άξονες μεταξύ τους. Η κατασκευή της βάσης στηρίζεται σε 3 ρυθμιζόμενες ράβδους προκειμένου να τοποθετηθεί στο ύψος και το σημείο που θέλουμε. Τέλος, αφού είχα σημαδέψει το σημείο που θα μπουν τα μοτεράκια έκανα δύο τρύπες για καθένα από αυτά και τα έδεσα σταθερά με tire up.



Εικόνα 2.11: Βάση στήριξης dc motors A



Εικόνα 2.12: Βάση στήριξης dc motors B



Εικόνα 2.13: Βάση στήριξης dc motors Γ

Αφού έγινε η τοποθέτηση των dc motors, σειρά έχει η σύνδεση τους με τον μικροελεγχτή, μέσω κυκλώματος.

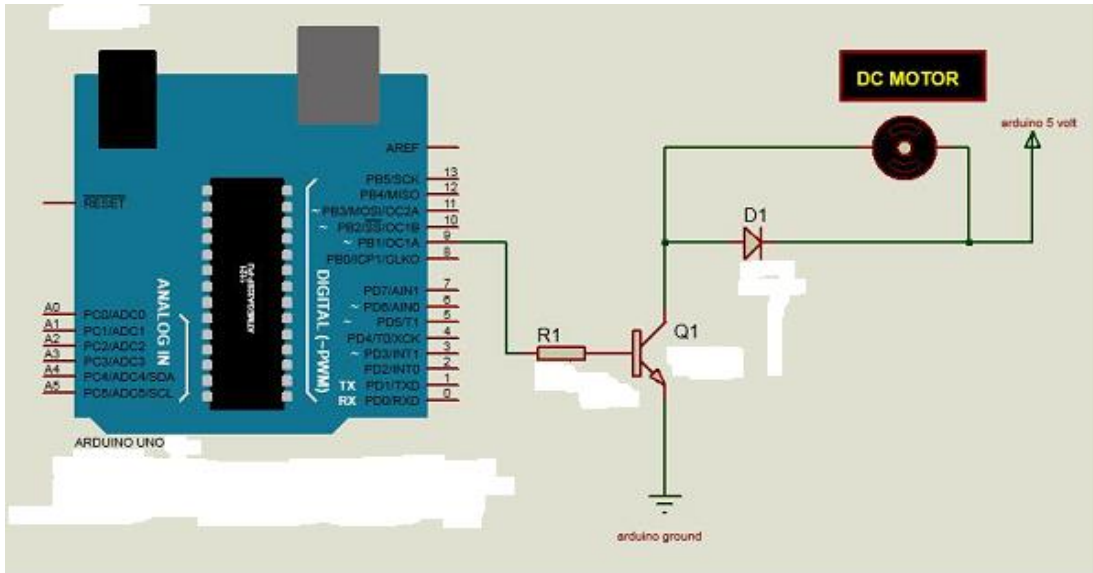
2.3. Κύκλωμα

Για την κίνηση των motors έφτιαξα ένα κύκλωμα. Για το σχεδιασμό του, πως συνδέονται με το μικροελεγχτή arduino υπο και πως θα χειριστώ την περιστροφή τους συμβουλευτήκα το website www.tutorialspoint.com.

Θέλω ουσιαστικά την κίνηση να την ενεργοποιώ από τα pins του arduino. Στην αρχή εξέτασα το ενδεχόμενο να βάλω step motor ώστε να ελέγχω την περιστροφή και την κίνηση αλλά στην πράξη κατάλαβα ότι δεν είναι απαραίτητο, όπως επίσης θα χρειαζόνταν και άλλες έξοδοι από τον μικροελεγχτή το οποίο μας προκαλούσε πρόβλημα και θα χρειαζόνταν επιπλέον επεξεργασία. Με το ίδιο σκεπτικό απέρριψα και το ενδεχόμενο να αλλάζει φορά περιστροφής, αφού θα χρειαζόνταν και άλλες εξόδους του μικροελεγχτή. Κατά συνέπεια κατέληξα στο παρακάτω κύκλωμα που απαιτείται μόνο μια έξοδος του μικροελεγκτή για κάθε ένα dc motor.

Στη συγκεκριμένη σελίδα προτείνει κάποιες τιμές για την αντίσταση, τη δίοδο και το τρανζίστορ που χρησιμοποίησα αλλά στην συγκεκριμένη κατασκευή πρέπει να περιορίσω τα DC motors ούτως ώστε να κινούνται μόνο όσο χρειάζεται για να μην ξεπερνάνε την μία ολόκληρη περιστροφή (360 μοίρες) και να μην έχουμε ξανά χτύπημα στο αντίστοιχο έλασμα, οπότε και περιττό ήχο χωρίς να το θέλουμε.

Έκανα αρκετές δοκιμές με το κύκλωμα που φαίνεται στο σχηματικό της εικόνας (Εικόνα 2.14). Δοκιμάζοντας διαφορετικά dc motors τελικά κατέληξα σε motors 2,6V όπως προανέφερα και στο 2.2.3. κεφάλαιο, σε αντίσταση 10 KΩ, δίοδο 1N 4001 και NPN τρανζίστορ TIP120. Χρειαζόμαστε από 12, ένα για κάθε dc motor.



R1 = 10KΩ

Q1 = TIP120

D1 = 1N 4001

Εικόνα 2.14: Σχηματικό κυκλώματος

Με τη δημιουργία του κυκλώματος, ολοκληρώνεται και το κατασκευαστικό μέρος της εργασίας, που συνδέεται άμεσα με το προγραμματιστικό κομμάτι που παρουσιάζεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

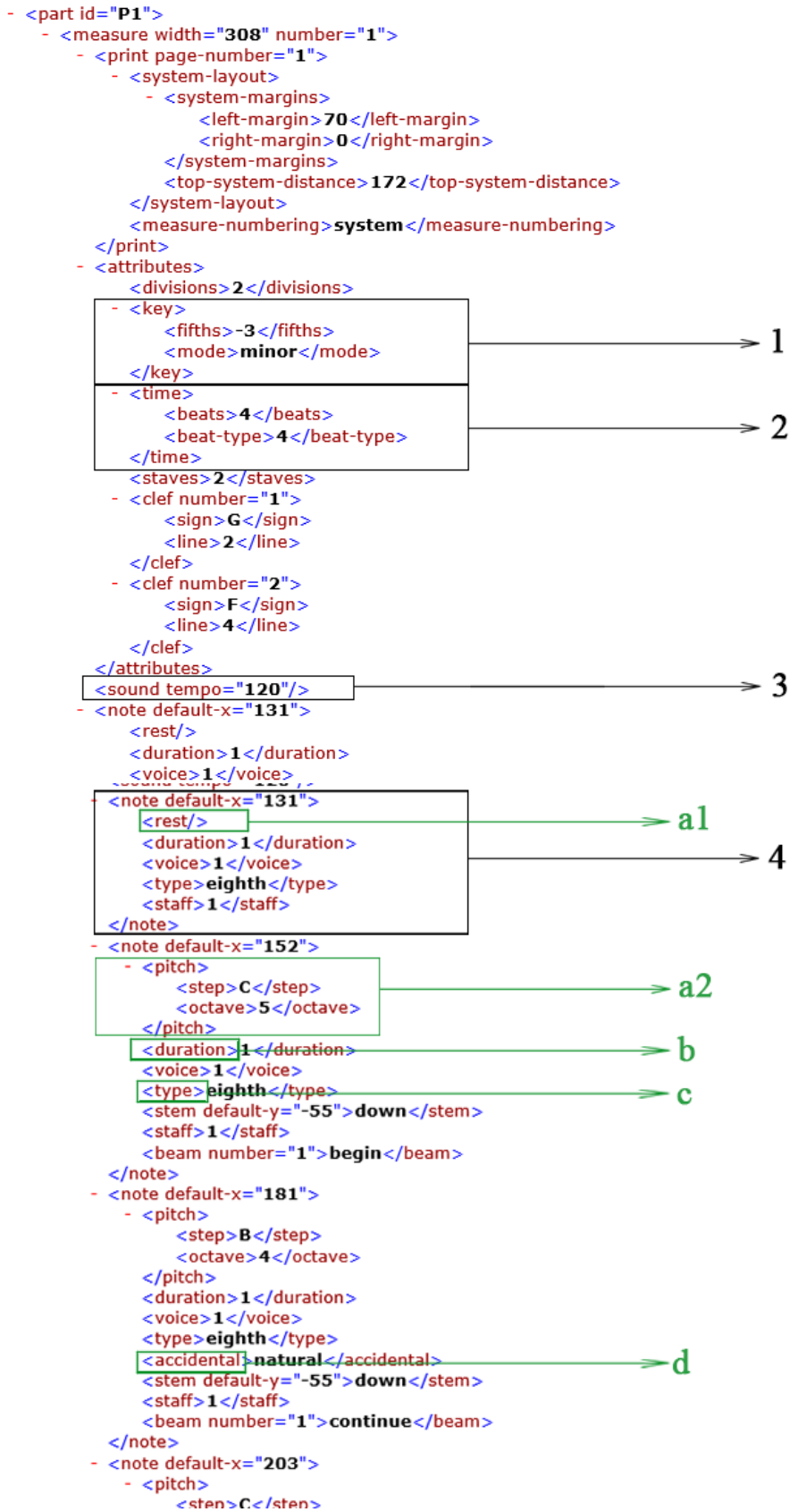
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

Εκτός από την έξοδο της κατασκευής μας που είναι το ίδιο το μουσικό κουτί και οι ήχοι που θα βγαίνουν από το ηχείο, έχουμε και την είσοδο που είναι η ηλεκτρονική παρτιτούρα. Η ανάγνωση και η ανάλυσή της του music xml αρχείου που μπορούμε να κάνουμε εξαγωγή είναι απαραίτητη για τον προγραμματισμό.

3.1. Music xml παρτιτούρας

Από την τριβή που έχω με τέτοια προγράμματα παρατήρησα ότι στα πιο ευρέως διαδεδομένα προγράμματα γραφής παρτιτούρας μπορούμε να εξάγουμε ότι έχουμε γράψει σε αρχείο music XML, όπως προανέφερα. Οπότε γράφοντας λίγα μέτρα με περιπτώσεις από κάθε πιθανής διάρκειας νότες/παύσεις και κάνοντας export σε music XML έκανα αρχικά ανάλυση της γραφής του αρχείου και έπειτα επιλογή των στοιχείων που χρειαζόμαστε από το κομμάτι ώστε να φτάσουμε στην ορθότερη εκτέλεση του κομματιού από τον μικροελεγκτή.

Παρακάτω παραθέτω τις περιπτώσεις που μπορούμε να συναντήσουμε σε παρτιτούρες και τις περιγράψω αναλυτικά.



Εικόνα 3.1: παράδειγμα XML παρτιτούρας

1. Η μεταβλητή αυτή δείχνει τον σπλισμό του πενταγράμμου της παρτιτούρας μας. Μέσα στα tags key βλέπουμε 2 πράγματα που μας χαρακτηρίζουν το κομμάτι που επεξεργαζόμαστε.

- Αρχικό και σημαντικότερο στην εκτέλεση του κομματιού είναι ο αριθμός που βρίσκεται στα tags **<fifths>**. Ο αριθμός αυτός μας δηλώνει τον αριθμό αλλοιώσεων που έχει το κομμάτι. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, το -3 μας δηλώνει αν ότι έχουμε 3 υφέσεις (B,E,A). Αν από την άλλη το κομμάτι είχε μια δίεση, στο ίδιο tag θα είχε τον αριθμό 1 που αντιστοιχεί σε μια δίεση # στο F.

```
- <key>  
  <fifths>1</fifths>  
  <mode>major</mode>  
</key>
```

Εικόνα 3.2: Παράδειγμα 1

Από τη θεωρία της δυτικής μουσικής γνωρίζουμε ότι η σειρά των υφέσεων στον σπλισμό είναι B,E,A,D,G,C,F ενώ στις δίεςεις η ακριβώς αντίθετη σειρά F,C,G,D,A,E,B. Οπότε βάσει αυτού, υπολογίζουμε σε μελλοντικές φορές που θα συναντήσουμε αυτές τις νότες στο υπόλοιπο κομμάτι ότι πρέπει να παιχτούν με την αντίστοιχη αλλοίωση.

- Επίσης στο tag **<mode>** μας δείχνει κατά την επιλογή του σπλισμού του πενταγράμμου από το συνθέτη αν το κομμάτι που ακολουθεί είναι major η minor αλλά στην εκτέλεση του κομματιού από το μουσικό κουτί δεν επηρεάζει την τελική εκτέλεση οπότε το αγνοούμε.

2. Στο tag **<time>** βλέπουμε τον ρυθμό του κομματιού.

- Στο tag **<beats>** βλέπουμε τον αριθμητή του κλάσματος που υποδηλώνει τον ρυθμό του κομματιού. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι 4.

- Στο tag **<beat-type>** βλέπουμε τον παρανομαστή του κλάσματος που και πάλι σε αυτό το παράδειγμα είναι 4. Άρα βλέπουμε ότι το συγκεκριμένο κομμάτι έχει ρυθμό 4/4. Επίσης είναι κάποια tags χρήσιμα για το κομμάτι αλλά δεν κρατάμε αυτές τις τιμές για επεξεργασία από το πρόγραμμα αργότερα γιατί θα υπολογίσουμε με άλλο τρόπο το χρόνο που θα παίζονται οι νότες.

3. Πολύ σημαντικό **tag** είναι η τιμή του **<sound tempo>**. Είναι το tempo του κομματιού, και αυτό επηρεάζει τη διάρκεια παύσης ανάμεσα στις 2 νότες ώστε να έρχονται στην ώρα τους διότι το sustain και η διάρκεια της κάθε νότας είναι πολύ συγκεκριμένη βάση της ταλάντωσης των ελασμάτων. Με tempo 60 γνωρίζουμε ότι έχουμε 1 χτύπημα τετάρτου ανά δευτερόλεπτο. Το tempo είναι ο αριθμός που ορίζει το **<duration>** πολύ σημαντικό για να οριστεί η διάρκεια που θα απέχουν χρονικά οι νότες μεταξύ τους. Από την εξέταση της παρτιτούρας φαίνεται ότι το duration αντιστοιχεί σε αξία νότας ενός ογδού. Άρα η αξία του ενός τετάρτου ισούται με 2 duration κλπ. Όπως ανέφερα νωρίτερα σε tempo 60 ισχύει ότι ένα τέταρτο διαρκεί σε χρόνο 1 second. Οπότε υπολόγισα ότι το duration ισούται με το λόγο $30/\text{tempo}$ του κομματιού σε δευτερόλεπτα (seconds).

4. Ανάμεσα στα **tags <note>** είναι όλες οι πληροφορίες που ανήκουν σε μία νότα της παρτιτούρας. Από αυτά που γράφονται λαμβάνουμε υπόψη τα παρακάτω:

a1. Το **tag <rest>**. Αυτό υποδηλώνει παύση στο κομμάτι. Οπότε δε θα ακουστεί κάποια νότα αλλά θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τη διάρκεια της παύσης ώστε να έρθει στην ώρα της η επόμενη νότα του κομματιού.

a2. Το **tag <pitch>**. Εδώ δηλώνεται η νότα που πρέπει να ακουστεί.

- Η C, που είναι στο παράδειγμα στο **tag <step>** είναι το ντο στο κομμάτι μας και ουσιαστικά θα αντιστοιχεί σε μια έξοδο του μικροελεγχτή που θα δώσει κίνηση στο αντίστοιχο μοτεράκι και θα χτυπήσει το έλασμα που είναι κουρδισμένο να παράγει τη νότα ντο.

- Το **tag <octave>**, δείχνει το τονικό ύψος της νότας. Στο συγκεκριμένο μουσικό κουτί το αγνοούμε γιατί έχει έκταση μόλις μιας οκτάβας άρα πρέπει να το λάβει υπόψη του ο συνθέτης του κομματιού. Σε μελλοντικές βελτιώσεις θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα όργανο που να έχει μεγαλύτερη έκταση.

b. Το **tag <duration>**. Έγινε εκτενής αναφορά και στο 3 που αναφέρεται στο tempo. Το duration ισούται με $30/\text{tempo}$ και εδώ βλέπουμε με τι αξία θα πολλαπλασιαστεί για να έχουμε την διάρκεια της συγκεκριμένης νότας/παύσης του κομματιού.

c. Το **tag <type>** αντιστοιχεί στο duration, μας δείχνει την αξία της νότας και βοήθησε σημαντικά στο να υπολογίσουμε το duration και για αυτό το αναφέρω. Δε θα χρειαστεί για παραπάνω επεξεργασία.

d. Τελευταίο **tag** που λαμβάνουμε υπόψη μας για τη νότα είναι το **<accidental>**, όπου μας δείχνει αν υπάρχει αλλοίωση στο κομμάτι πέρα του σπλισμού που αναφέραμε νωρίτερα.

Μέσα σε αυτό το tag μπορούμε να δούμε τις εξής 3 μεταβλητές:

- **sharp** είναι η δίσση που σημαίνει ότι η νότα είναι κατά ένα ημιτόνιο υψηλότερη από τη φυσική και στην παρούσα συνθήκη πρέπει να χτυπηθεί ένα έλασμα πιο δεξιά από αυτό που αναγράφεται στο tag step

<accidental>sharp</accidental>

Εικόνα 3.3: Παράδειγμα 2

- **flat** είναι η ύφεση που σημαίνει ότι η νότα είναι κατά ένα ημιτόνιο χαμηλότερη από τη φυσική και στην παρούσα συνθήκη πρέπει να χτυπηθεί ένα έλασμα πιο αριστερά από αυτό που αναγράφεται στο tag step

<accidental>flat</accidental>

Εικόνα 3.4: Παράδειγμα 3

- **natural** είναι η αναίρεση που σημαίνει ότι η αλλοιωμένη νότα από τον σπλισμό του κομματιού σε αυτό το σημείο ακούγεται φυσική. Σε αυτό πρέπει να λάβουμε υπόψη μας το tag fifths που αναφέρεται στο 1. Οπότε αν εκεί το πρόσημο του αριθμού είναι αρνητικό σημαίνει ότι είχαμε ύφεση άρα στο natural πρέπει η νότα να ψηλώσει ένα ημιτόνιο ενώ αν το πρόσημο είναι θετικό τότε πρέπει να χαμηλώσει ένα ημιτόνιο.

<accidental>natural</accidental>

Εικόνα 3.5: Παράδειγμα 4

3.2. Μελέτη και ανάπτυξη προγράμματος μικροελεγκτή

Η ανάλυση του αρχείου music XML που έγινε παραπάνω, είναι απαραίτητο βήμα πριν από τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή Arduino Uno. Στην ανάλυση προσπάθησα να προβλέψω τις περιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν σε ένα μονοφωνικό κομμάτι για να δω με ποιον τρόπο θα λάβουμε τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε για το κομμάτι, πως θα αναγράφονται, και πως θα γίνει η σωστή επεξεργασία των δεδομένων ώστε να δώσουμε σωστή πληροφορία και στις εξόδους μας.

Ως εξόδους θα χρησιμοποιήσουμε τις ψηφιακές θύρες του μικροελεγκτή (digital I/O pins) 11 μέχρι 0 που αντιστοιχούν στις νότες A και ανεβαίνει μέχρι και την G#.

Pin Assignments

14 Digital I/O Pins
(pins 0-13)



Εικόνα 3.6: Pins εξόδου Arduino

Οι έξοδοι θα δίνουν ουσιαστικά για λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου τάση και με το κύκλωμα που έχω αναφέρει στο κεφάλαιο 2.3 θα δίνει κίνηση στο αντίστοιχο dc motor για λίγο ώστε να κάνει μία περιστροφή και να χτυπάει μία φορά το σωστά κουρδισμένο έλασμα. Η λογική αυτού του μέρους του προγράμματος είναι απλή.

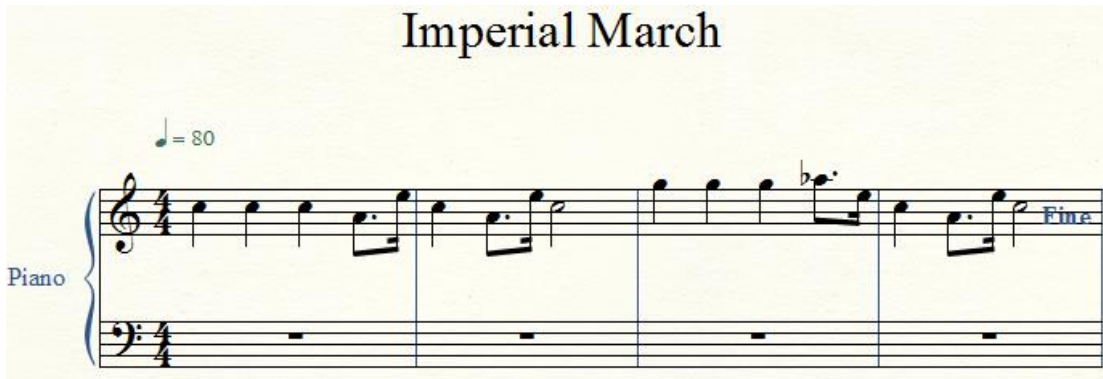
Ουσιαστικά θα είναι σαν να ανάβει ένα λαμπάκι για ελάχιστα ms και να σβήνει. Με τις δοκιμές που έκανα είδα ότι σε σχέση και με το κύκλωμα που δίνει κίνηση στο μοτεράκι η διάρκεια που θέλουμε να δίνει τάση η έξοδος είναι 25ms. Οπότε στην πράξη, αυτό που μας νοιάζει και δείχνει την αξία μιας νότας, είναι η καθυστέρηση που θα έχει μέχρι να δοθεί κίνηση στο επόμενο μοτεράκι. Ο ρυθμός είναι ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα του κομματιού γι' αυτό είναι σημαντικές οι αξίες ανάμεσα στις νότες. Όπως φαίνεται και στο 3.1 στην αναφορά μου στο duration και τις αξίες, δηλαδή στις νότες του κομματιού, υπολογίζουμε ότι το συνολικό delay από νότα σε νότα θα είναι $\text{duration} * 30 / \text{tempo}$ σε second. Άρα, για παράδειγμα έχουμε σε ένα κομμάτι με Tempo 60 ένα A με αξία τετάρτου και μετά ένα C με αξία μισού. Το A έχει duration 2 και το C 4. Άρα το A, το διάστημα μεταξύ αυτών των νοτών θα είναι 1000ms και το από το C στην επόμενη νότα - παύση θα είναι 2000ms. Αυτό σημαίνει ότι θα δώσει τάση για 25ms το digital pin 11, ώστε να κάνει μια περιστροφή το μοτεράκι και θα χτυπήσει το έλασμα που είναι κουρδισμένο σε A. Μετά αφότου σταματήσει να δίνει τάση πρέπει να έχουμε ένα delay 975 ms για να έχουμε ουσιαστικά τη διάρκεια που θέλουμε. Μετά αντίστοιχα το digital pin 8 το arduino θα δώσει τάση στο motor που θα χτυπήσει το κουρδισμένο C έλασμα για 25 ms και και μετά πρέπει να περάσει άλλα 1975 ms για να πάμε στην επόμενη μας νότα ή παύση.

```
void setup() {
  pinMode(11, OUTPUT); //output for A
  pinMode(8, OUTPUT); //output for C

  digitalWrite(11, HIGH); // the DC motor starts
  delay(25); // wait for 25ms
  digitalWrite(11, LOW); // The DC motor stops
  delay(975); // delay for a quarter note
  digitalWrite(8, HIGH); // the DC motor starts
  delay(25); // wait for 25ms
  digitalWrite(8, LOW); // The DC motor stops
  delay(1975); //wait for a half note
}
```

Εικόνα 3.7: Παράδειγμα

Με βάση το παραπάνω, είναι εύκολο κάποια μελωδία να γραφτεί κατευθείαν στο πρόγραμμα ως μια ακολουθία εντολών όπως παραπάνω και να εκτελεστεί. Έχω γράψει σε μία από τις δοκιμές μου την αρχή της μελωδίας από το μουσικό κομμάτι "Imperial March" γνωστό από τη σειρά ταινιών "Πόλεμος των Άστρων". Το κομμάτι είναι σε tempo 80 οπότε το duration θα ναι 375ms.



Εικόνα 3.8: Αρχική μελωδία "Imperial March"

```
void setup() {  
  pinMode(11, OUTPUT); //output for A  
  pinMode(8, OUTPUT); //output for C  
  pinMode(4, OUTPUT); //output for E  
  pinMode(1, OUTPUT); //output for G  
  pinMode(0, OUTPUT); //output for Ab  
  
  digitalWrite(8, HIGH); // the DC motor starts  
  delay(25); // wait for 25ms  
  digitalWrite(8, LOW); // The DC motor stops  
  delay(725); // delay for a quarter note  
  digitalWrite(8, HIGH); // the DC motor starts  
  delay(25); // wait for 25ms  
  digitalWrite(8, LOW); // The DC motor stops  
  delay(725); // delay for a quarter note  
  digitalWrite(8, HIGH); // the DC motor starts  
  delay(25); // wait for 25ms  
  digitalWrite(8, LOW); // The DC motor stops  
  delay(725); // delay for a quarter note
```

```
digitalWrite(11, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(11, LOW); // The DC motor stops
delay(537); //wait for a eighth doted note
digitalWrite(4, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(4, LOW); // The DC motor stops
delay(188); //wait for a eighth doted note
digitalWrite(8, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(8, LOW); // The DC motor stops
delay(725); // delay for a quarter note

digitalWrite(11, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(11, LOW); // The DC motor stops
delay(537); //wait for a eighth doted note
digitalWrite(4, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(4, LOW); // The DC motor stops
delay(188); //wait for a eighth doted note
digitalWrite(8, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(8, LOW); // The DC motor stops
delay(1425); // delay for a half note

digitalWrite(1, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(1, LOW); // The DC motor stops
delay(725); // delay for a quarter note
digitalWrite(1, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(1, LOW); // The DC motor stops
delay(725); // delay for a quarter note
digitalWrite(1, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(1, LOW); // The DC motor stops
delay(725); // delay for a quarter note
```

```
digitalWrite(0, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(0, LOW); // The DC motor stops
delay(537); //wait for a eighth doted note
digitalWrite(4, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(4, LOW); // The DC motor stops
delay(188); //wait for a eighth doted note
digitalWrite(8, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(8, LOW); // The DC motor stops
delay(725); // delay for a quarter note

digitalWrite(11, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(11, LOW); // The DC motor stops
delay(537); //wait for a eighth doted note
digitalWrite(4, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(4, LOW); // The DC motor stops
delay(188); //wait for a eighth doted note
digitalWrite(8, HIGH); // the DC motor starts
delay(25); // wait for 25ms
digitalWrite(8, LOW); // The DC motor stops
delay(1425); // delay for a half note
}
```

Εικόνα 3.9: Κώδικας “Imperial March”

Με αυτό το παράδειγμα, απλής μελωδίας ενός κομματιού ολοκληρώνεται και το τελευταίο μέρος της εργασίας. Οπότε πλέον, αφού διαβάσουμε την ηλεκτρονική παρτιτούρα (music.xml) και την αναλύσουμε μπορούμε να γράψουμε ένα αντίστοιχο κώδικα έτσι ώστε ο μικροελεγκτής να το εκτελέσει στο μουσικό κουτί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

4.1 Σύνοψη της πτυχιακής εργασίας

Η συγκεκριμένη εργασία και η μελέτη για την τελική κατασκευή έχει σαν στόχο να δημιουργηθεί ο τρόπος, δηλαδή ολοκληρη η αλυσίδα λειτουργίας του. Πιο συγκεκριμένα από μία ηλεκτρονική παρτιτούρα αφότου έχει γραφτεί στον κάθε υπολογιστή, να γίνεται η σωστή επεξεργασία από τον μικροελεγκτή και να φτάνει σε ένα μουσικό όργανο που παράγει ήχο αναλογικά. Για αυτό και επέλεξα το τελικό μουσικό όργανο να παράγει μόνο μία οκτάβα. Το μικρότερο φάσμα συχνοτήτων κατά τη γνώμη μου. Υπάρχουν και κάποια μονοφωνικά όργανα που παράγουν μόνο μια 5τονική ακόμα λιγότερα δηλαδή η μικρές καλίμπρες αλλά η συγκεκριμένη ήθελα να μας δίνει μια επιλογή για κάθε νότα και κάθε αλλοίωση.

Η επιλογή μου για την τελική μορφή της κατασκευής έγινε βάσει των πληροφοριών από τα βιβλία που προανέφερα, από συνεχείς προσωπικές δοκιμές πάνω στην κατασκευή αλλά και πληθώρα πληροφοριών από τους εισηγητές - καθηγητές και από τεχνίτες-πωλητές που γνώρισα κατά τη διεξαγωγή της πτυχιακής εργασίας. Πολλές φορές η εύρεση κάποιου υλικού καθώς και του καταστήματος που θα μπορούσα να το προμηθευτώ ήταν δύσκολη και μου καθυστέρουσε κάποιες μέρες τη διαδικασία κατασκευής.

Οι διαστάσεις του κουτιού είναι ανάλογες με αυτές που αναγράφονται στο βιβλίο του Horkin. Επίσης, ήθελα η επιφάνεια του κουτιού να είναι μεγάλη για να τοποθετηθούν άνετα και σωστά τα ελάσματα και να μπορούν να έχουν το χώρο τα μοτεράκια να περιστρέφονται ανενόχλητα. Αρκετές δοκιμές έκανα και με τον τύπο των ελασμάτων και τελικά επέλεξα τις ράβδους από ασάλι γιατί θεώρησα ότι σε αυτό που ήθελα έδιναν το καλύτερο αποτέλεσμα. Στο κύκλωμα που θα χρησιμοποιούσα από τον μικροελεγκτή μέχρι τα dc motors επέλεξα μόνο να δίνει στιγμιαία κίνηση και να μην έχω δυνατότητα αλλαγής φοράς του motor γιατί δεν το χρειαζόμουν.

Τέλος και στην μελέτη του προγράμματος έκανα δοκιμές με διάφορες τιμές μοτεράκια και σε αντιστάσεις στο κύκλωμα ώστε να καταλήξω σε αυτά που έχω προαναφέρει και να δίνω τάση μόνο για 25ms στο Motor έτσι ώστε να κάνει μια

πλήρη περιστροφή και να μην έχω το μοτεράκι να γυρίζει πολλές φορές και να ξαναχτυπάει το έλασμα. Ήδη είναι μια εργασία που χρειάστηκε αρκετό χρόνο και για την υλοποίηση αλλά κυρίως για τις δοκιμές και για τον εντοπισμό καταστημάτων, μηχανουργείων, ξυλουργείου και όσα χρειάστηκαν για να ολοκληρωθεί μέχρι και το σημείο που είναι σήμερα. Μια εκτίμηση για το κόστος της εργασίας, υπολογίζοντας τα υλικά αλλά και τα τις εργασίες που χρειάστηκα (πχ δουλειά μηχανουργείου για τα σφυράκια στα μοτεράκια ή τις τρύπες στους καβαλάρηδες κλπ) είναι πάνω από 200€.

Μελλοντικά θα μπορούσαν βάσει της αρχικής μελέτης αυτής να γίνουν πολλές διαφορετικές εκδοχές κυρίως στο όργανο που θα παράγει τον ήχο και θα εκτελεί το κομμάτι.

4.2 Προοπτικές

Κατά την ολοκλήρωση του project προκύπτουν αμέτρητες προοπτικές και εναλλακτικές περάτωσης του τόσο στο κατασκευαστικό όσο και στο προγραμματιστικό κομμάτι.

Αρχικά, οι διαστάσεις του κουτιού μπορούν να είναι διαφορετικές, κυρίως πιο μεγάλες. Αυτό θα ωφελήσει τον ήχο που θα παράγει αλλά και για να υπάρχει επιφάνεια ώστε να πάλλεται με τα ελάσματα που θα έχει πάνω.

Περισσότερες προοπτικές και βελτιώσεις αυτής της κατασκευής είναι οι διάφοροι τρόποι που θα μπορούν να παραχθούν οι ήχοι μας από το όργανο, π.χ. το πιο κοντινό σε αυτό που έχουμε θα είναι να υπάρχουν περισσότερες νότες, να φτάνει στις 2,5 3 οκτάβες με ελάσματα όπως και τώρα. Ακόμα πιο πολύ ενδιαφέρον θα έχει να αλλάζει το ηχόχρωμα τελείως και ουσιαστικά το μέσο που θα παράγει τον ήχο, π.χ. θα μπορούσαμε εκτός από μεταλλικά ελάσματα να έχουμε και χορδές, μεταλλικές ή πλαστικές. Μια εντελώς διαφορετική κατασκευή χωρίς μοτεράκια θα μπορούσε να έχει κάποια έμβολα που θα ανοίγουν και θα κλείνουν αέρα σε κάποιους σωλήνες ώστε να γίνει ένα πνευστό όργανο. Τέλος, στη τελειότερη του, ίσως, μορφή θα είναι κάτι που θα συνδυάζει τα παραπάνω ηχοχρώματα όπου θα μπορούσε ο συνθέτης να χρησιμοποιήσει ως 3 μελωδικές φωνές, να εναλλάσσονται μελωδίες και να φτιάχνουν συγχορδίες.

Μία επίσης σημαντική βελτίωση θα είναι να αναπτυχθεί επιπλέον κώδικας που θα μπορεί ο μικροελεγχτής να διαβάζει το αρχείο musicXML σαν txt αρχείο η να

φιλτράρουμε μόνο τις μεταβλητές που θέλουμε και να διαβάσει ένα CSV αρχείο. Έπειτα θα κάνει σωστή επεξεργασία των μεταβλητών που χρειάζεται και θα εκτελεί το οποιοδήποτε μουσικό κομμάτι με μια τροποποίηση τους παραπάνω κώδικα που ανέλυσα στο 3.2

Κλείνοντας, παραθέτω ένα απόσπασμα από το βιβλίο του Bart Hopkin (σελ.38) που διάβασα στην εξέλιξη της εργασίας όπου ταυτίστηκα από την αρχή της εργασίας.

"... the visual impression created in performance is not what one might call elegant, but that's the spirit of rumba box. What works, works." [3]

Πρωτότυπη κατασκευή μουσικού κουτιού με τη χρήση Arduino μικροελεγχτή

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

Musical instrument design του Bart Hopkin

	PRONG #	PITCH	THICKNESS	APPROX. LENGTH
gh	1	A ₁	1/8"	8"
e	2	Bb ₁	1/8"	7-3/4"
	3	B ₁	1/8"	7-1/2"
	—	—	—	—
s.	—	—	—	—
	9	F ₂	1/8"	6"
	—	—	—	—
	—	—	—	—
	16	C ₃	1/8"	5-1/4"
	17	Db ₃	3/32"	4-1/2"
	—	—	—	—
	—	—	—	—
	25	A ₃	3/32"	3-1/2"

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄

Συμβολισμοί για νότες.

A	B	C	D	E	F	G
Λα	Σι	Ντο	Ρε	Μι	Φα	Σολ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ΄

Επεξηγήσεις μουσικών όρων.

- **Tempo:** Κάθε μουσικό έργο έχει μια καρδιά που χτυπάει, συνήθως με κανονικό τρόπο όπως τα δευτερόλεπτα ενός ρολογιού. Η ταχύτητα που χτυπάει η καρδιά, ονομάζεται **τέμπο**. Το τέμπο δεν ακούγεται. Βρίσκεται μέσα στον παλμό του κομματιού και κάθε καλός εκτελεστής μαθαίνει να το έχει συνεχώς μέσα του.

Συμβολίζεται συνήθως με ιταλικές λέξεις (Adagio, Allegro) που σημαίνουν αργά, γρήγορα κ.α. Ένας άλλος συμβολισμός είναι οι χτύποι ανά λεπτό. Για παράδειγμα, το τέμπο του δείκτη δευτερολέπτων ενός ρολογιού είναι 60 χτύποι ανά λεπτό (beats per minute ή πιο σύντομα bpm). Ένα πιο γρήγορο τέμπο είναι 100 χτύποι ανά λεπτό.

- **Οκτάβα:** Ο όρος οκτάβα (από το γαλλικό Octave) αποδίδει τον όρο οκτάδα. Είναι δηλαδή η απόσταση ενός φθόγγου από τον αμέσως οξύτερό του ή βαρύτερό του, με το ίδιο όνομα και το ίδιο ασφαλώς άκουσμα, αλλά προς το βαρύτερο ή προς το οξύτερο. Και ονομάζεται ασφαλώς έτσι, γιατί περιέχει οκτώ φθόγγους. Η βάση και η κορυφή της σκάλας που σχηματίζεται στο πλαίσιο των οκτώ αυτών φθόγγων που αποτελούν την οκτάβα έχουν το ίδιο όνομα και το ίδιο άκουσμα, η βάση όμως επί το βαρύτερο σε σχέση με την κορυφή, η οποία ακούγεται επί το οξύτερο.

- **Σημεία αλλοίωσης:** Λέγονται τα σημεία αυτά που γράφονται αριστερά των φθόγγων και μεταβάλλουν (αλλοιώνουν) το ύψος τους .Τα σημεία αυτά είναι απλά και διπλά.

Απλά σημεία αλλοίωσης :

α) Η δίεση (#) που ανεβάζει (οξύνει) τον φθόγγο κατά ένα ημιτόνιο.

β) Η ύφεση (b) που κατεβάζει (βαρύνει) τον φθόγγο κατά ένα ημιτόνιο.

γ) Η αναίρεση (n) που επαναφέρει έναν αλλοιωμένο φθόγγο στο φυσικό του ύψος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Africa guide, “African music”, <<http://www.africaguide.com/culture/music.htm>>
- [2] B. Hopkin, Musical Instrument Design: Practical Information for Instrument Design, *See sharp press*, pp. 29-43, 1996
- [3] B. Hopkin & R. Selman, Making Lamellaphones: Instruments of the Mbira and Kalimba Families, and Contemporary Variants, *Paperback*, pp. 32-39, 2016
- [4] Tutorials point, “Arduino - DC Motor”,
<https://www.tutorialspoint.com/arduino/arduino_dc_motor.htm>
- [5] Contemporary African art, “African musical instruments”,
<<https://www.contemporary-african-art.com/african-musical-instruments.html#sthash.0TnlUgBm.dpbs>>
- [6] Home on earth, “Kalimba instrument – the Piano of Africa”,
<<http://www.homeonearth.com/magazine/kalimba-instrument-piano-of-africa-627/>>
- [7] H. Tracey, “Recording African Music in the Field”, *Journal article*, Vol. 1, No. 2, pp. 6-11, 1955
- [8] Kalimba magic, Get started with kalimba,
<<https://www.kalimbamagic.com/learningzone/history/2-early-kalimba-history/>>
- [9] MRAC / KMMA – Africamuseum – Tervuren,
<<https://africamusica01.wordpress.com/>>
- [10] Η ιστορία της μουσικής,
<<http://gym-falan.lar.sch.gr/activities/paper/paper01/pap01-moysiki.html>>

[11] Θ. Λώτης, Τ. Διαμαντόπουλος, «Μουσική Πληροφορική & Μουσική με Υπολογιστές», Σύγγραμμα, [Εκδόσεις Κάλλιπος](#), Τμήμα μουσικών σπουδών, Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα εικαστικών τεχνών, Ανώτατη σχολή καλών, 2015

[12] Μεγάλη μουσική βιβλιοθήκη της Ελλάδος,
<<http://www.mmb.org.gr/page/default.asp?id=2678>>