ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής

Πτυχιακή εργασία

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ STUDIO ΗΧΕΙΟΥ ΑΠΟ PLEXIGLASS ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΗΧΕΙΟ ΑΠΟ ΞΥΛΟ

Ανδρέας Μιχαήλ ΤΑ2266

Ανδρέας Σκουρή ΤΑ2135

Επιβλέπων: **Στέλιος Πιοτογιαννάκης**
Ειδικό τεχνικό εργαστηριακό προσωπικό

Ρέθυμνο, Ιανουάριος, 2024

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής

Πτυχιακή Εργασία

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ STUDIO ΗΧΕΙΟΥ ΑΠΟ PLEXIGLASS ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΗΧΕΙΟ ΑΠΟ ΞΥΛΟ

Των

Ανδρέα Μιχαήλ

&

Ανδρέα Σκουρή

Επιβλέπων: Στέλιος Πιοτογιαννάκης

Ειδικό τεχνικό εργαστηριακό προσωπικό

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την [Ημερομηνία ***12/3/2024***]

Στέλιος Πιοτογιαννάκης	Νίκος Στεφανάκης	Νίκος Κεφαλογιάννης
ΕΤΕΠ	ΔΕΠ	ΕΤΕΠ

Ρέθυμνο, Ιανουάριος, 2024

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Ανδρέας Μιχαήλ, Ανδρέας Σκουρή 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου δεν υποδηλώνει απαραιτήτως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας αυτήν τη Πτυχιακή Εργασία, εκφράζουμε τις ευχαριστίες μας προς όσους συνέβαλαν στην υλοποίησή της. Αποδίδουμε ιδιαίτερα ευχαριστίες στον αξιότιμο καθηγητή μας, κύριο Στέλιο Πιοτογιαννάκη, για την πολύτιμη ευκαιρία που μας παρείχε να ασχοληθούμε με το επιλεγμένο θέμα, καθώς και για την υποστήριξή του και την υπομονή του στην πορεία της εργασίας μας.

Επίσης, εκφράζουμε τις ευχαριστίες μας προς τους κυρίους Μιχάλη και Μάριο Ιερίδη, οι οποίοι με την ευγενική παροχή εξοπλισμού συνέβαλαν σημαντικά στην επιτυχημένη υλοποίηση των πειραμάτων και της κατασκευής μας, παρέχοντας επίσης πολύτιμες συμβουλές που αποδείχθηκαν καθοριστικές για την εξέλιξη της εργασίας.

Ειδική αναφορά πρέπει να γίνει στην Κλειώ Σκουρή, η οποία μας υποστήριξε με συμβουλές και καθοδήγηση στο γράψιμο και τη σύνταξη της παρούσας εργασίας.

Τις ειλικρινείς μας ευχαριστίες διατυπώνουμε επίσης προς τις οικογένειες μας, που μας υποστηρίζουν σε κάθε μας βήμα και που μας εμπνέουν να ακολουθούμε πάντα τον δρόμο της βελτίωσης.

Τέλος, εκφράζουμε την εκτίμησή μας ο ένας προς τον άλλο για τη συνεργασία και την αμοιβαία αλληλοσυνεννόηση που διαμόρφωσαν την εμπειρία μας και συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Περίληψη

Η πτυχιακή εργασία με τίτλο «Κατασκευή Studio Ηχείου από Plexiglass και Σύγκριση με αντίστοιχο εμπορικό ηχείο από ξύλο» αναλύει τη δυνατότητα κατασκευής ενός αξιόλογου ηχείου studio monitor από Plexiglass. Με βάση την ανάλυση θεωρίας και ιστορίας των ηχείων , προχωρήσαμε στην επιλογή προδιαγραφών και την κατασκευή του δικού μας ηχείου από Plexiglass, την αξιολόγηση του μέσω πειραμάτων και μετρήσεων και τη σύγκριση του με το ηχείο αγοράς Presonus Eris5.

Τα κύρια ευρήματα καταδεικνύουν ότι το ακρυλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής studio monitor, εφόσον γίνει η κατάλληλη επιλογή στοιχείων όπως οι drivers, το design και τα μονωτικά υλικά. Η σπουδαιότητα αυτής της μελέτης είναι ότι μπορεί να ανοίξει ένα νέο κομμάτι αγοράς για την επιλογή studio monitor, παρέχοντας μια εναλλακτική επιλογή με υλικό κατασκευής που διαφέρει από τις συνηθισμένες επιλογές.

Το συμπέρασμα επιβεβαιώνει τη δυνατότητα χρήσης του ακρυλικού για την κατασκευή studio monitor, επισημαίνοντας τη σημασία της κατάλληλης επιλογής χαρακτηριστικών. Συνολικά, η διατριβή ανοίγει νέες προοπτικές στον χώρο των ηχείων, προσφέροντας μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση στην αγορά studio monitors.

Abstract

The thesis titled "Construction of Plexiglass Speaker and Comparison with Wooden Market Speaker" explores the feasibility of constructing a high-quality studio monitor speaker using Plexiglass. Drawing on the analysis of the theory and history of speakers, the research involved selecting specifications, the actual construction process, further evaluation through experiments and measurements and comparison with Presonus Eris5, a speaker available in market.

The primary findings indicate that acrylic can be indeed employed as a construction material for a studio monitor, provided the appropriate selection of elements such as drivers, design, and isolating materials. The significance of this study lies in its potential to open a new market segment for studio monitor choices, offering an alternative with a construction material distinct from conventional options.

The conclusion affirms the viability of using acrylic for studio monitor construction, emphasizing the importance of selecting suitable characteristics. Overall, the thesis introduces new perspectives in the realm of speakers, presenting an intriguing alternative within the studio monitor market.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Table of Contents

Πνευματικά δικαιώματα ii

Ευχαριστίες ii

Περίληψη iii

Abstract iv

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ Εικόνων vi

Συντομογραφιες vii

Απόδοση Όρων viii

1. Εισαγωγή x

Περιορισμοί έρευνας xi

Πρόσφατες και σχετικές μελέτες xii

Οργάνωση μελέτης xiii

2. Θεωρητική Ανασκόπηση 1

2.1 Ιστορία ηχείων και εξέλιξη 1

2.2 Τα ηχεία στη σημερινή αγορά 1

2.2.1 Υλικό κατασκευής: 2

2.2.1. Μόνωση/υποστήριξη: 4

2.2.2 Οδηγοί (Drivers) 5

2.2.3. Σχεδιασμός Ηχείου - Design 8

2.2.4.Ηχοαπορρόφηση 12

2.2.5. Crossover & DSP 13

3. Μεθοδολογία 13

4. Πειραματικό μέρος 17

4.1 Υπολογισμοί – Αρχικές Μετρήσεις 18

Συναρμολόγηση κατασκευής 23

Πειράματα Κατασκευής 32

Συμπεράσματα-Συζήτηση 37

Βιβλιογραφία (τελευταία ημερομηνία πρόσβασης : 31/01/24) 39

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΤΥΠΟΣ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΧΕΛΜΧΟΛΤΖ....10
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΤΥΠΟΣ AREA OF OPENING....10
ΕΙΚΌΝΑ 3: DRIVER: CAV Q5000, 80W, 6 OHMS....17
ΕΙΚΌΝΑ 4: CROSSOVER, NAD 8225....18
ΕΙΚΌΝΑ 5: ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ....18
ΕΙΚΌΝΑ 6: ΧΕΙΡΟΓΡΑΦΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ....23
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ SOLID WORKS 2....24
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ SOLID WORKS 1....24
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ SOLID WORKS 3....25
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΑΚΡΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ....26
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΟΛΛΑΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΔΡΑΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΣΦΙΓΚΤΗΡΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΑΚΡΥΛΙΚΟΥ....26
ΕΙΚΟΝΑ 12 : ΕΝΔΥΝΑΜΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ ΑΚΡΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΠΟΞΙΚΗΣ ΚΟΛΛΑΣ....27
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΥΠΩΝ/ΟΠΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΣΦΙΓΚΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΚΑΛΩΔΙΑ....27
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΥΠΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΒΙΔΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ DRIVER.....28
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ DRIVER ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΟΠΩΝ....28
ΕΙΚΌΝΑ 16: ΣΥΝΑΡΜΟΛΌΓΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΓΑΦΩΝΟΥ....29
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΠΑΣΤΑΣ ΣΤΟ ΜΠΡΟΣΤΙΝΟ ΚΟΜΜΑΤΙ ΑΚΡΥΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΦΡΑΓΙΣΜΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ....30
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΜΕ ΜΟΝΩΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....30
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ PRESONUS ΜΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ....31

Συντομογραφίες

DSP	Digital signal processing
dB	Decibel
SVR	Single Vector Register
ADC	Analog to digital converter
DAC	Digital to analog converter
PA	Public address

Απόδοση Όρων

Music studio:	Χώρος στον οποίο ηχογραφείται / παράγεται μουσική.
Mixing:	Διαδικασία μετά την ηχογράφηση όπου οι ξεχωριστοί ήχοι έρχονται σε ισορροπία μεταξύ τους για μία συνολική και ευχάριστη εμπειρία
Mastering:	Η τελική επεξεργασία του ήχου σε ένα μουσικό κομμάτι με έμφαση στην ένταση ήχου, την εξισορρόπηση συχνοτήτων και τη γενική ποιότητα ήχου
Studio monitor:	Ηχεία που χρησιμοποιούνται σε χώρους στούντιο, τα οποία έχουν κύριο όφελος την απόδοση ήχου με ακρίβεια σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.
Near field studio monitor:	Ηχείο στούντιο κοντινού πεδίου.
Driver:	Κύρια μονάδα του μεγάφωνου (loudspeaker) η οποία μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα σε ηχητικά κύματα.
Decibels:	Μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται για να εκφράσει σχετική ένταση ή επίπεδο ενός ήχου.
Exciters:	Είδος οδηγού.
Tactile Transducers:	Είδος οδηγού.
Subwoofer:	Ηχείο σχεδιασμένο ειδικά για την παραγωγή χαμηλών συχνοτήτων.
Line Array:	Σύστημα ηχείων σε σειρά, χρησιμοποιείται σε εκδηλώσεις/συναυλίες.
High Pass:	Υψηλής διέλευσης φίλτρο.

Low Pass:	Χαμηλής διέλευσης φίλτρο.
Band Pass:	Φίλτρο διέλευσης ζώνης / Ζωνοδιαβατό.
Controller:	Ελεγκτής. Είναι μια συσκευή ή ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για να διαχειρίζεται, ελέγχει ή διευθύνει τη λειτουργία ή τις ρυθμίσεις άλλων συσκευών, συστημάτων ή εφαρμογών
Frequency Analyzer:	Αναλυτής συχνοτήτων
Equalizer:	Ισοσταθμιστής
Wellnut:	Ειδική βίδα με λάστιχο
Speaker:	Ηχείο (Το συνολικό κουτί, μεγάφωνα και κύκλωμα διαχωρισμού συχνοτήτων)
Loudspeaker:	Μεγάφωνο (Διάταξη αναπαραγωγής ήχου χαμηλών, μεσαίων η ψηλών συχνοτήτων)
Crossover:	Ηλεκτρονικό κύκλωμα οδήγησης μεγάφωνων με φίλτρα συχνοτήτων

1. Εισαγωγή

Πρωταρχικός σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι η κατασκευή ενός ηχείου (speaker) τύπου studio monitor φτιαγμένου από ακρυλικό γυαλί (plexiglass) και η σύγκριση του με το ηχείο αγοράς PreSonus Eris 5 ώστε να διερευνηθεί η επιρροή του υλικού αυτού στην απόδοση του συστήματος. Ο κύριος λόγος για τον οποίο επιλέγηκε η συγκεκριμένη θεματική είναι η έλλειψης σχετικής έρευνας για το συγκεκριμένο υλικό κατασκευής, το οποίο θέλαμε να μελετήσουμε περαιτέρω ώστε να διερευνήσουμε την επίδραση του στον παραγόμενο ήχο ενός ηχείου. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, αποφασίστηκε ότι τα ηχεία υπό εξέταση θα έπρεπε να είναι κατάλληλα για μικρούς χώρους, ιδανικά για Music Studio και για το λόγο αυτό τόσο το ηχείο που κατασκευάστηκε όσο και το ηχείο που επιλέγηκε για τη σύγκριση πληρούν τις συγκεκριμένες προδιαγραφές.

Ο λόγος που επιλέγηκε η συγκεκριμένη κατηγορία ηχείων (speakers) είναι το ότι μπορούν να πετυχαίνουν μία σχετικά επίπεδη συχνοτική απόκριση, απαραίτητη προϋπόθεση για τους μουσικούς παραγωγούς και τεχνικούς. Σύμφωνα με τον Eargle (1979), η επίπεδη συχνοτική απόκριση βοηθά τους μηχανικούς ήχου οι οποίοι ασχολούνται με mixing ή και το mastering να πετύχουν μία ισορροπημένη μίξη σε όλο το φάσμα συχνοτήτων. Αποτέλεσμα της ισορροπημένης μίξης είναι ένα τελικό ηχητικό αποτέλεσμα το οποίο μπορεί να ακούγεται «σωστά» δηλαδή ισορροπημένα, χωρίς όσο γίνεται, τυχόν χρωματισμούς ή αλλοιώσεις σε διάφορες πηγές αναπαραγωγής ήχου όπως για παράδειγμα μεγάφωνα (loudspeakers) τηλεφώνου, μεγάφωνα αυτοκινήτου, ακουστικά, ακόμη και μεγάλα συστήματα Public Adress (PA).

Για το λόγο αυτό, μέσω της πτυχιακής εργασίας αυτής, στόχος μας ήταν η δημιουργία ενός ηχείου (speaker) από ακρυλικό γυαλί, το οποίο πέρα από εμφανίσιμο θα έπρεπε να ήταν και ένα ηχείο πρακτικό και φτιαγμένο σωστά για τον συγκεκριμένο σκοπό. Συνήθως τα studio monitors, έχουν σαν υλικό κατασκευής το ξύλο ή το πλαστικό, έτσι ως αναφορά για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας, όλες οι μετρήσεις εκτός από τη δική μας κατασκευή studio monitor από plexiglass, έγιναν και για το ηχείο PreSonus Eris5, το οποίο είναι φτιαγμένο από ξύλο, για σκοπούς σύγκρισης. Όλα τα υλικά έχουν διαφορετικές ιδιότητες, και αυτό είναι κάτι που αναπόφευκτα επηρεάζει και τον παραγόμενο ήχο. Συγκεκριμένα,

κάποια υλικά δημιουργούν περισσότερες ανακλάσεις από άλλα, ενώ κάποια απορροφούν τον ήχο πιο αποτελεσματικά.

Παράλληλα, υπάρχει και ο παράγοντας της ταλάντωσης του υλικού. Γι' αυτό το λόγο, σε κάθε προϊόν που αναπαράγει ήχο γίνεται μία σχετική έρευνα για το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί αλλά και τις προδιαγραφές που το υλικό αυτό θα έχει.

Στην παρούσα έρευνα θα παρουσιαστεί αρχικά μία σύντομη βιβλιογραφική επισκόπηση αναφορικά με το πώς ανακαλύφθηκαν τα ηχεία (speakers), από πού προέρχονται, τις αρχές λειτουργίας καθώς και την εξέλιξη τους στην μορφή που βρίσκονται σήμερα. Επιπρόσθετα, θα γίνει αναφορά και στα διαφορετικών τύπων ηχεία, καθώς και στα υλικά που υπάρχουν και το σκοπό που επιτελεί το κάθε ένα από αυτά. Στη συνέχεια, θα γίνει περιγραφή της μεθοδολογικής πορείας που ακολουθήθηκε για τη συλλογή δεδομένων και θα παρουσιαστούν τα κυριότερα ευρήματα στα οποία θα στηριχτεί η εξαγωγή και η συζήτηση των συμπερασμάτων.

Με το τέλος της πτυχιακής μας εργασίας, ελπίζουμε να πετύχουμε ένα ποιοτικό ηχείο (speaker) studio monitor φτιαγμένο από ακρυλικό γυαλί το οποίο να είναι εξίσου αποτελεσματικό με ένα εμπορικό ηχείο όπως το PreSonus5, χρησιμοποιώντας τις γνώσεις που αποκτήσαμε κατά τη φοίτηση μας τα τελευταία χρόνια όπως, ακουστική, ηλεκτρονικά, ακόμη και προγραμματισμό ώστε να συμβάλουμε στην ανάπτυξη ηχείων αυτού του τύπου, τα οποία μπορεί να έχει ο οποιοσδήποτε στην κατοχή του για recordings, mixing, και mastering.

Περιορισμοί έρευνας

Λόγω έλλειψης ερευνητικού υλικού, που να αφορά συγκεκριμένα τα ηχεία (speakers) από ακρυλικό γυαλί, το να δημιουργηθεί ένα ηχείο το οποίο θα έχει επίπεδη συχνοτική απόκριση σε όλους τους χώρους, είναι δύσκολο. Για το λόγο αυτό, παράλληλα με την κατασκευή των ηχείων θα υπάρξει και σχετική έρευνα και εγκατάσταση DSP έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να ρυθμίζει το άκουσμα των ηχείων ανάλογα με τον χώρο που βρίσκονται. Ακόμη ένας περιορισμός της εργασίας αυτής, είναι ότι η έρευνα μας γίνεται για ένα συγκεκριμένο είδος ηχείων και αφορά αποκλειστικά τα studio monitors, και έτσι τα ευρήματα δε μπορούν να θεωρηθούν ότι αφορούν και άλλα είδη ηχείων.

Σημαντικός περιορισμός είναι και η απουσία ανηχωικού θαλάμου, κάτι το οποίο είναι σχεδόν απαραίτητο για την επαγγελματική κατασκευή ηχείων (speakers). Αντιθέτως, η συλλογή των δεδομένων θα πραγματοποιηθεί σε δωμάτιο στο οποίο προηγουμένως θα γίνουν μετρήσεις για την ακουστική συμπεριφορά του.

Επίσης στους περιορισμούς, πρέπει να ληφθεί υπόψη το συνολικό κόστος δαπανών καθώς με στόχο την προσπάθεια μας να περιορίσουμε τα έξοδα μας στην κατασκευή των studio monitors, δεν έγινε αγορά νέων driver και χρησιμοποιήθηκαν αυτά που είχαμε ήδη στην κατοχή μας.

Επιπρόσθετα, σημαντικό να αναφερθεί το ότι η έρευνα μας προσανατολίζεται αποκλειστικά στην κατασκευή ενός studio monitor συγκεκριμένου μεγέθους, με ακρυλικό γυαλί συγκεκριμένου πάχους (0.8 χιλιοστών) και έτσι απαιτείται περαιτέρω έρευνα και μελέτη ως προς τις ιδιότητες του υλικού αυτού.

Τέλος, περιορισμό αποτελεί επίσης και το γεγονός ότι οι μετρήσεις της κατασκευής του ηχείου (speaker) μας απο Plexiglass θα συγκριθούν μόνο με αντίστοιχες μετρήσεις που θα ληφθούν από το ηχείο αγοράς PreSonus Eris5 το οποίο είναι studio monitor με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που ίσως διαφέρουν από άλλα αντίστοιχα studio monitors που κυκλοφορούν στην αγορά.

Πρόσφατες και σχετικές μελέτες

Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν περιορισμένες αντίστοιχες μελέτες που να μελετούν τη χρήση του ακρυλικού γυαλιού Plexiglass ως υλικό για την κατασκευή ηχείων (speakers). Έρευνα όμως που μπορεί να συσχετιστεί, έγινε από τον Harry Steven Allen (1973), η οποία αν και περιέχει αρκετές πληροφορίες είναι αρκετά παλιά και επομένως κάπως πεπερασμένη. Παράλληλα, η έρευνα του Allen αφορά και διαφορετικό τύπο ηχείων. Παρόλα αυτά, ένα από τα βασικότερα ευρήματα της έρευνας του ήταν το ότι, εάν ένα περίβλημα

μεγάφωνου (loudspeaker) είναι καλοφτιαγμένο, ακόμη και αν είναι ιδιοκατασκευή, θα λειτουργήσει εξίσου καλά με ένα κατασκευασμένο περίβλημα που κυκλοφορεί στην αγορά.

Πιο σύγχρονη μελέτη που είναι σχετική με το θέμα πραγματοποιήθηκε από τους Nisula, Holm και Mäkivirta (2013). Η έρευνα τους ωστόσο δεν αφορά την κατασκευή ηχείου (speaker) αλλά κυρίως μεθόδους μετρήσεων και υπολογισμών. Μεγάλη βοήθεια για την πτυχιακή μας παρείχε και το βιβλίο ACOUSTICAL ENGINEERING του HARRY F. OLSON (1957) καθώς και άλλες σχετικές έρευνες που έχουν δημοσιευτεί σε επιστημονικά περιοδικά και αναλύονται πιο κάτω ως μέρος της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που έχει πραγματοποιηθεί.

Οργάνωση μελέτης

Η πτυχιακή μας εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη. Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει την εισαγωγή, το σκοπό και τους περιορισμούς έρευνας, τη θεωρητική ανάλυση του υλικού που θα χρησιμοποιήσουμε, την ανάλυση διαφορετικών ειδών ηχείων (speakers) αλλά και drivers που υπάρχουν στην αγορά. Παράλληλα, στο πρώτο μέρος θα αναπτυχθούν και κάποια βασικά θέματα της ιστορίας και της θεωρίας πίσω από τα ηχεία.

Το δεύτερο μέρος αποτελείται από την μεθοδολογία στην οποία θα αναπτυχθεί ο τρόπος κατασκευής του studio monitor από ακρυλικό γυαλί, ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η διερεύνηση της ανταπόκρισης του υλικού αυτού και το πώς θα προσεγγιστεί γενικότερα η υλοποίηση του τρίτου μέρους.

Το τρίτο μέρος της εργασίας είναι το πρακτικό κομμάτι το οποίο περιέχει την κατασκευή των ηχείων (speakers) βασισμένη σε όσα αναλύθηκαν προηγουμένως θεωρητικά, χρησιμοποιώντας παράλληλα και γνώσεις από τα όσα μάθαμε κατά τη φοίτηση μας στο Τμήμα Μηχανικών Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής. Στο πειραματικό μέρος θα περιλαμβάνονται επίσης όλες οι μετρήσεις που έγιναν λαμβάνοντας υπόψη όλους τους υπό εξέταση παράγοντες τόσο μέσω της δικής μας κατασκευής Studio Monitor από Plexiglass αλλά και μέσω του Studio Monitor Pre Sonus Eris5, ώστε να μπορούμε να προχωρήσουμε στη σύγκριση των δύο. Επιπρόσθετα, το τρίτο μέρος θα περιλαμβάνει τα αποτελέσματα μας αλλά και τα συμπεράσματα μας για την παρούσα εργασία.

2. Θεωρητική Ανασκόπηση

2.1 Ιστορία ηχείων και εξέλιξη

Η ιστορική εξέλιξη των ηχείων (speakers) και των μεγάφωνων (loudspeakers) χρονολογείται από τον 19ο αιώνα και έτσι είναι σημαντικό να μελετηθεί περιληπτικά, η πορεία βελτιστοποίησης τους, ώστε να εκτιμηθεί η ραγδαία ανάπτυξη που είχαν και το πώς έχουν φτάσει στη σημερινή τους μορφή.

Συγκεκριμένα, το 1861 εγκαταστάθηκε από τον Johann Philipp Reis για πρώτη φορά ένα είδος μεγάφωνου στο τηλέφωνο του το οποίο μπορούσε να αναπαράγει τόνους αλλά υστερούσε στην αναπαραγωγή φωνής (Ferguson, 2022) κάτι το οποίο βελτίωσε ο Alexander Graham Bell το 1876 με την πατέντα του πρώτου μέχρι τότε ηλεκτρικού μεγάφωνου (Bellis, 2022). Ακολούθως ο Werner Von Siemens ανέπτυξε την θεωρία του ηλεκτρομαγνητικού πηνίου την οποία εφάρμοσε αποτελεσματικά ο Peter L. Jensen και ο Edwin Pridham με τον σχεδιασμό του πρώτου πρακτικού πηνίου το 1915. Η δημιουργία του σημερινού τύπου ηλεκτροδυναμικών μεγάφωνων έγινε το 1921 από τον C.W. Rice ενώ η πρώτη εμπορική πώληση έγινε το 1926 από την εταιρία RCA (McNamara, 2018). Προηγουμένως γινόταν χρήση κωνικών μεγάφωνων για την ενίσχυση του ήχου με το ηλεκτρομαγνητικό μεγάφωνο να φέρνει ουσιαστικά μια επανάσταση στην αναπαραγωγή και διάδοση του ήχου. Πέρα από τους πιο πάνω τύπους μεγάφωνων, έχουν αναπτυχθεί τα μεγάφωνα επίπεδου «πάνελ» τα οποία χωρίζονται και αυτά σε άλλες υποκατηγορίες, τα μεγάφωνα πλάσματος και τα πιεζοηλεκτρικά μεγάφωνα.

2.2 Τα ηχεία στη σημερινή αγορά

Η ανάπτυξη του ηλεκτροδυναμικού μεγάφωνου (loudspeaker) επέτρεψε την συνύπαρξη διαφόρων κατηγοριών ηχείων (speakers) και μεγάφωνων με αποτέλεσμα στη σημερινή αγορά να υπάρχουν πολλά είδη ηχείων, τα οποία είναι φτιαγμένα και ειδικά μελετημένα για να μπορούν να αποδίδουν ορθά σε συγκεκριμένα πλαίσια και για συγκεκριμένες λειτουργίες. Δηλαδή, κάθε είδος ηχείου χρησιμοποιείται για διαφορετικούς σκοπούς λόγω διαφορών στην ισχύ, τη συχνοτική απόκριση, την κατευθυντικότητα τους.

Μάλιστα, ακόμη και το μέγεθος αλλά και το σχήμα έχει πολλές φορές άμεση σχέση με το σε ποιες περιπτώσεις ενδείκνυται η χρήση του κάθε μεγάφωνου.

Έτσι, όπως είναι λογικό, το εύρος τιμών για αγορά ηχείου (speaker) είναι αρκετά μεγάλο. Η τιμή του ηχείου καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, κάποιοι εκ των οποίων είναι η μάρκα, το υλικό της κατασκευής (πχ πλαστικό, ξύλο κλπ.), το μέγεθος του οδηγού (driver), το είδος της κατασκευής (open / closed design) κλπ.

Επιπρόσθετα, στην τιμή αγοράς ή ακόμη και κατασκευής, συμβάλλει επίσης και το αν υπάρχουν κάποια επιπρόσθετα στοιχεία όπως λαβύρινθοι, η ύπαρξη κάποιου είδους ψηφιακής επεξεργασίας σήματος, αλλά και οι αισθητικές προδιαγραφές τους.

Όλα όσα προαναφέρθηκαν, θα αναλυθούν πιο κάτω ώστε να γίνει πιο κατανοητό το πώς οι διάφοροι παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αγορά ή την κατασκευή ενός ηχείου.

2.2.1 Υλικό κατασκευής:

Η επιλογή του υλικού κατασκευής για ηχεία και μεγάφωνα (loudspeakers) αποτελεί πολύ σημαντικό κριτήριο για τη δημιουργία ηχητικών συστημάτων υψηλής απόδοσης που συνδυάζουν υψηλή ποιότητα ήχου και αντοχή στη χρήση. Αν και τα πιο συνηθισμένα υλικά που αξιοποιούνται για τη δημιουργία ηχείων (speaker) είναι παραδοσιακά το MDF και το Plywood, το ακρυλικό γυαλί αποτελεί μια εναλλακτική επιλογή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό.

Ειδικότερα, το ακρυλικό γυαλί, γνωστό συνήθως με τον όρο εμπορικού σήματος Plexiglass, είναι ένα διαφανές θερμοπλαστικό υλικό, φτιαγμένο σε φέτες ή αλλιώς σελίδες το οποίο χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις ως εναλλακτική λύση για γυαλί. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο υλικών είναι ότι το ακρυλικό δεν σπάει όσο εύκολα όσο το γυαλί. Γι’ αυτό και είναι γνωστό ως «ακρυλικό γυαλί (Plexiglass)». Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τις περισσότερες φορές όπως το γυαλί, λόγω του ότι είναι ένα ανθεκτικό και στιβαρό υλικό. Οι πιο γνωστές του χρήσεις περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων την κατασκευή παράθυρων ενώ χρησιμοποιείται και για πιο απλές εφαρμογές όπως για παράδειγμα οι οθόνες. Η πιο συχνή χρήση του ακρυλικού είναι για τη δημιουργία ηχοπετάσματων για τη μείωση της ηχορύπανσης στους αυτοκινητόδρομους (Sokol,2022).

Γενικότερα, σαν υλικό το ακρυλικό έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως το ότι είναι πιο δυνατό καθώς και πιο ελαφρύ από το κανονικό γυαλί (Glass Doctor, 2019). Επιπλέον, το ακρυλικό είναι λιγότερο ηχηρό λόγω του ότι είναι πιο μαλακό υλικό. Είναι πιο φθηνό, πιο ευκολοδούλευτο, ανθεκτικό αλλά και πιο ασφαλές υλικό. Στα περιορισμένα του μειονεκτήματα, συγκαταλέγεται το ότι είναι πιο εύκολο να γρατσουνιστεί καθώς και το ότι δεν είναι ούτε ανθεκτικό στη θερμότητα.

Όσον αφορά στη χρήση του ως υλικό για κατασκευή μικρών ηχείων (speakers), τις περισσότερες φορές τα ηχεία αυτά όπως τα near field studio monitors, ή ακόμη και ηχεία που χρησιμοποιούνται σε PA συστήματα είναι συνήθως εγκλεισμένα σε ξύλινο κουτί / καμπίνα.

Σύμφωνα με τους Asdrubali & Pispola (2007), ο λόγος για τον οποίο δεν κυκλοφορούν πολλά ηχεία στην αγορά τα οποία είναι φτιαγμένα από ακρυλικό είναι το ότι το συγκεκριμένο υλικό έχει ψηλή αντήχηση, με αποτέλεσμα να παράγει μουντό ήχο. Μέσα από την έρευνα μας θα μελετηθεί το με ποιο τρόπο μπορεί να το αποφευχθεί το συγκεκριμένο μειονέκτημα, έτσι ώστε να μπορεί το ακρυλικό γυαλί να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής ηχείων.

Το ακρυλικό γυαλί, όπως όλα τα υλικά, έχει συγκεκριμένες ιδιότητες. Ειδικότερα, όσον αφορά στον ήχο το ακρυλικό λειτουργεί διαφορετικά από τα υπόλοιπα υλικά που υπάρχουν στην αγορά. Παρακάτω, παρατίθενται συγκρίσεις του Plexiglas® με άλλα υλικά όπως το ξύλο και το ατσάλι. Επίσης, παρατίθενται συγκρίσεις και για τα διαφορετικά μεγέθη πλάτους του ακρυλικού (Zazo, 2019).

TABLE 3
Comparison of Noise Reduction Characteristics of Plexiglas® Sheet With Other Materials

Construction material thickness	Approximate dB(A) noise reduction*
Plexiglas® sheet (0.118")	25
Plexiglas® sheet (0.236")	29
Plexiglas® sheet (0.472")	33
Plexiglas® sheet (0.944")	35
Double glazed Plexiglas sheet	38
Glass (1/8")	25
Glass (1/4")	27
Plywood (1")	26
Steel (1/8")	37
Sheet lead (1/16")	38
Wood stud partition	38

FIGURE 1: COMPARISON OF NOISE REDUCTION CHARACTERISTICS OF PLEXIGLASS SHEET WITH OTHER MATERIALS-ZAZO(2019)

Στην παραπάνω γραφική παράσταση παρατηρείται πως το Plexiglass με πάχος 0.944” πετυχαίνει περισσότερη ηχομείωση κατά 9 decibels από το “plywood” ίδιου σχεδόν πάχους, το οποίο υλικό είναι σελίδες ξύλου κολλημένες μαζί και είναι γνωστό στην αγορά και ως κόντρα πλακέ. Αυτό σημαίνει ότι σε σύγκριση με το Plywood, το οποίο μεταξύ των πιο πάνω υλικών είναι το πιο κοντινό υλικό στο ξύλο και το οποίο αποτελεί την πρώτη επιλογή των κατασκευαστών για την κατασκευή των ηχείων, το Plexiglass ως υλικό αποδίδει καλύτερα στην ηχομείωση.

2.2.1. Μόνωση/υποστήριξη:

Η μόνωση και η υποστήριξη ενός ηχείου (speaker), αποτελούν ουσιαστικά και άκρως σημαντικά στοιχεία στην σχεδίαση ηχοσυστημάτων, καθώς επηρεάζουν την ποιότητα του ήχου που αναπαράγεται και επομένως την εμπειρία του ακροατή. Σύμφωνα με τον Allen (1973), για να πετύχει ένα ηχείο, χρειάζεται ο κατασκευαστής να αποφύγει τυχόν διαρροές αέρος, αλλά και να επιτευχθεί ακαμψία στην κατασκευή, έτσι ώστε να αποφευχθούν τυχόν σφυρίγματα και άλλα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά στον ήχο τα οποία μπορούν να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα του παραγόμενου ήχου. Έτσι, οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν δοκούς κατά μήκος κάθε ένωσης τους οποίους βιδώνουν κάθε 5-10 εκατοστά. Οι δοκοί εκτός από απλή υποστήριξη της κατασκευής, λειτουργούν και ως ενίσχυση στο εσωτερικό του κουτιού, λόγω αδυναμίας του υλικού το οποίο γίνεται ιδιαιτέρως εύθραυστο μετά το κόψιμο των τρυπών για τα μεγάφωνα (loudspeakers). Καθώς η υποστήριξη και η ενίσχυση είναι σημαντικοί παράγοντες για το τελικό αποτέλεσμα της ποιότητας του κουτιού και επομένως του παραγόμενου ήχου, σημαντικό ρόλο θα διαδραματίσει και η μόνωση που γίνεται. Για την μόνωση συνήθως χρησιμοποιούνται υλικά τύπου σιλικόνης ή και κάποιοι τύποι πλαστελίνης (Webster,2001).

Καθώς οι ενώσεις και οι ενισχύσεις είναι σημαντικές, το πιο σημαντικό κομμάτι είναι η ένωση μεταξύ των γωνιών του κουτιού, δηλαδή ο τρόπος κόλλησης. Το ακρυλικό γυαλί δεν μπορεί να κολληθεί με κανονικές κόλες έτσι χρησιμοποιούνται άλλες συγκολλητικές ουσίες. Από την επίσημη ιστοσελίδα της Rohm (n.d.), οι οποίοι είναι επίσημοι κατασκευαστές του Plexiglass, μαθαίνουμε για τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να κολλήσουμε τις γωνιές μας σωστά και με ασφάλεια έτσι ώστε να έχουμε ένα σωστό αποτέλεσμα.

Ειδικότερα, όπως αναφέρεται, για την κόλληση δύο επιφανειών ακρυλικού ο χρήστης χρειάζεται ισοπροπανόλη, χαρτοπετσέτα, σφιγκτήρες, βάση, χοντρό χαρτί ή διαχωριστική πλάκα, βάρη, κόλλες ACRIFIX, χαρτί η βαμβακερό ύφασμα, προστατευτικό μαξιλαράκι και μια πηγή φωτός.

Για την πορεία κόλλησης επισημαίνεται ότι πρώτα θα χρειαστεί να υπάρχει μία καθαρή επιφάνεια εργασίας. Στη συνέχεια, πρέπει να αφαιρεθεί το προστατευτικό από την μεριά στην οποία θα κολληθεί το ακρυλικό και οι μεριές οι οποίες θα κολληθούν να καθαριστούν με ισοπροπανόλη. Αναφορικά με την προετοιμασία του κενού συγκόλλησης συνιστάται από τους κατασκευαστές να υπάρξει ένα κενό 02-05mm μεταξύ των επιφανειών που θα κολληθούν εκτός εάν το πάχος του ακρυλικού ξεπερνά τα 8mm. Ακολούθως, γίνεται η εφαρμογή της κόλλας ACRIFIX δίπλα στο κενό συγκόλλησης και αφού αφήσουμε χρόνο στην κόλλα για να σκληρύνει σε φυσικό φως ή UV τουλάχιστον για 3 ώρες ή ανάλογα με το πόσο χρειάζεται το οποίο εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας φωτός, μπορούμε να προχωρήσουμε στην αφαίρεση των υπόλοιπων προστατευτικών που απομένουν στις επιφάνειες του ακρυλικού.

2.2.2 Οδηγοί (Drivers)

Ο όρος Οδηγός (driver) αφορά το μεγάφωνο (loudspeaker) δηλαδή το κύριο υποσύστημα που παράγει τον ήχο χωρίς την κατασκευή του ηχείου (speaker).

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω υπάρχουν πολλές κατηγορίες μεγάφωνων και είναι σημαντικό να μελετηθούν πριν ο κάθε χρήστης αποφασίσει ποια είναι η καλύτερη επιλογή για τις ανάγκες του. Σύμφωνα με τον Fox (n.d.), υπάρχουν δύο κύρια είδη οδηγών, οι ηλεκτροδυναμικοί οδηγοί και οι οδηγοί συμπίεσης, οι οποίοι θα αναλυθούν πιο κάτω.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά τους ηλεκτροδυναμικούς οδηγούς, αποτελούνται από διάφορα συστήματα τα οποία αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Ο στόχος τους είναι η κίνηση του διαφράγματος το οποίο θα δημιουργήσει ακουστικά κύματα τα οποία θα φτάσουν στο αυτί του ακροατή ως ήχος.

Στην ουσία ο οδηγός δουλεύει με τον εξής τρόπο: Ο μαγνήτης με το κινούμενο πηνίο αναπαράγουν το σήμα, δίνοντας κίνηση στο διάφραγμα, καθώς το «σύστημα ανάρτησης» που αποτελείται από την αράχνη και το περίβλημα, φροντίζουν το διάφραγμα να επιστρέφει στην θέση του μετά από κάθε δόνηση/κίνηση.

Πιο κάτω, αναλύεται συνοπτικά ο τρόπος εργασίας των διάφορων συστημάτων που προαναφέρθηκαν, σύμφωνα με το Audio Affair Blog (2015).

Διάφραγμα: Μηχανισμός ο οποίος μετατρέπει τη μηχανική κίνηση σε κύματα ήχου. Το διάφραγμα δονείται καθώς το πηνίο προκαλεί ταλάντωση αντίστοιχης συχνότητας. Η ελαστικότητα του καθορίζει την απόδοση των ψηλών συχνοτήτων αλλά και την ποιότητα του ήχου. Τα σύγχρονα μεγάφωνα (loudspeaker) συνήθως έχουν διαφράγματα σε σχήμα κώνου ή θόλου.

Πηνίο (Voice coil): Ηλεκτρομαγνήτης ο οποίος μεταφέρει την κίνηση στο διάφραγμα μέσω του ρεύματος που το διαπερνά. Είναι κατασκευασμένο από χάλκινο σύρμα τυλιγμένο γύρω από κάποιου είδους υλικό όπως για παράδειγμα το αλουμίνιο.

Καπάκι σκόνης: Το καπάκι βρίσκεται στη μέση του κώνου και η δουλειά του είναι να κρατάει κλειστό και επομένως προφυλαγμένο το εσωτερικό του οδηγού από εξωτερικούς παράγοντες όπως η σκόνη.

Αράχνη (Spider): Η αράχνη είναι φτιαγμένη από χαρτί και κόλλα και η κύρια της λειτουργία είναι να κρατάει το πηνίο ευθυγραμμισμένο. Επίσης φροντίζει ο οδηγός να επανέρχεται στην κανονική του θέση μεταξύ των δονήσεων, ενώ παράλληλα παρέχει και προστασία από την σκόνη στο εσωτερικό του ηχείου (speaker).

Περίβλημα (Surround): Το περίβλημα είναι το κομμάτι που κρατάει το διάφραγμα και τον καλάθι μαζί. Δουλεύει σε συνεργασία με την αράχνη φροντίζοντας έτσι το διάφραγμα να επανέρχεται στην αρχική του θέση. Το υλικό και πάχος του περιβλήματος επηρεάζει την απόδοση του μεγάφωνου. Έχει την ικανότητα απόσβεσης δονήσεων στα άκρα του διαφράγματος έτσι ώστε να μην μεταφερθούν ανακλάσεις πίσω σ ’αυτό. Το περίβλημα είναι επίσης επέκταση του διαφράγματος.

Καλάθι (Basket): Το καλάθι είναι η δομή που κρατάει όλο το σύστημα του οδηγού μαζί. Προστατεύει τα εσωτερικά μέρη και αποτρέπει τυχόν παραμορφώσεις.

The gasket (τσιμούχα): Φτιαγμένο συνήθως από αφρώδες υλικό ή λάστιχο, έχει κύρια λειτουργία το να μειώνει τις δονήσεις μεταξύ οδηγού και κουτιού.

Μαγνήτης (Magnet): Όπως λέει και το όνομα, ο μαγνήτης έχει την ιδιότητα μαγνητισμού. Λειτουργεί ως μετατροπέας για το πηνίο το οποίο σε σειρά δίνει κίνηση στο διάφραγμα.

Στην πιο απλή μορφή του ηλεκτροδυναμικού μεγάφωνου υπάρχει το woofer το οποίο αναλόγως του μεγέθους του σε διάμετρο κύκλου έχει τη δυνατότητα να αναπαράγει καλύτερα χαμηλές συχνότητες με μεγάλη διάμετρο, ψηλές συχνότητες με μικρή διάμετρο και μεσαίες με μια ενδιάμεση διάμετρο. Εναλλακτικά για την αναπαραγωγή υψίσυχνων ακουστικών κυμάτων χρησιμοποιούνται τα λεγόμενα «dome tweeters» τα οποία ακολουθούν τις βασικές αρχές του ηλεκτρομαγνητικού μεγαφώνου ενώ διαφοροποιούνται από τα woofer λόγω του μεγέθους τους και του θόλου που έχουν σαν σχήμα. Μια άλλη κατηγορία η οποία χρησιμοποιείται είναι τα «ribbon tweeters» που όπως συνιστά το όνομα τους χρησιμοποιούν ένα είδος «κορδέλας».

Λίγο πιο σπάνια για τον χώρο του στούντιο, γίνεται χρήση των compression drivers, exciters & tactile transducers, και φυσικά του αρχικού πρωταγωνιστή στο χώρο της αναπαραγωγής ήχου, δηλαδή της κόρνας (horn) (Redaktion, 2015).

Από την άλλη, αναφορικά με τους οδηγούς συμπίεσης, είναι είδος μεγάφωνου τύπου χοάνης στο οποίο η κίνηση αέρος που δημιουργείται από το διάφραγμα, συμπιέζεται σε μικρότερα κανάλια. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η επιφάνεια του διαφράγματος είναι πολύ μεγαλύτερη από τον λαιμό ή το κανάλι από το οποίο θα περάσει. Σε αντίθεση δηλαδή με το ηλεκτρομαγνητικό οδηγό όπου ο αέρας ταξιδεύει ελεύθερα, στον οδηγό συμπίεσης υπάρχει περισσότερη αντίσταση στη διαφυγή του, με αποτέλεσμα ο αέρας να ταξιδεύει με περισσότερη δύναμη, κάνοντας το ιδανικό για ψηλές συχνότητες. Οι οδηγοί συμπίεσης έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους ηλεκτρομαγνητικούς οδηγούς όπως μεγαλύτερη ευαισθησία, κάτι που τους παρέχει τη δυνατότητα να παράγουν δυναμικό, ακριβή ήχο καθώς και να έχουν μεγαλύτερη απόδοση χωρίς ιδιαίτερα μεγαλύτερη ισχύ.

Η βέλτιστη τοποθέτηση οδηγών πάνω στο κουτί του ηχείου (speaker) είναι ένα σημαντικό ζήτημα που επηρεάζει την απόδοση και την ποιότητα του ήχου. Οι οδηγοί αναλαμβάνουν τον ρόλο της μετατροπής του ηλεκτρικού σήματος σε ήχο και επηρεάζουν τη διασπορά και την αναπαραγωγή των συχνοτήτων.

Η τοποθέτησή τους πάνω στο κουτί του ηχείου πρέπει να γίνει με προσοχή, λαμβάνοντας υπόψη τον σχεδιασμό του ηχείου και τις ακουστικές αρχές. Επιπλέον, για την επίτευξη βέλτιστης τοποθέτησης, χρησιμοποιούνται ειδικά υλικά όπως wellnut, που βοηθούν στην αποφυγή δονήσεων και παραμορφώσεων, καθώς επίσης και μονωτικά υλικά για την ελαχιστοποίηση ανεπιθύμητων αντηχήσεων και απωλειών ενέργειας. Αυτοί οι παράγοντες συμβάλλουν στην επίτευξη ομοιόμορφης κάλυψης του χώρου και ενισχύουν την ποιότητα του ήχου που αναπαράγεται από το ηχείο.

Φυσικά, τίποτα από τα πιο πάνω δεν μπορεί να καθορίσει τον ιδανικό συνδυασμό οδηγών (driver) και υλικού κατασκευής για την κατασκευή του ιδανικού μεγάφωνου, χωρίς επαρκή πειραματισμό.

2.2.3. Σχεδιασμός Ηχείου - Design

Εξαιρετικά σημαντικό παράγοντα στο τελικό ακουστικό αποτέλεσμα σίγουρα διαδραματίζουν το σχέδιο αλλά και η κατασκευή του ηχείου (speaker). Ανάλογα με τις προδιαγραφές του / των μεγάφωνου / ων (loudspeaker) πού θα επιλέξουμε πρέπει να υπολογιστούν οι πιο κάτω παράμετροι, ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν πιο κοντινό ηχητικό αποτέλεσμα σε αυτό που επιθυμούμε. Σύμφωνα με τον Olson (1957) ιδανική τοποθέτηση ενός μεγάφωνου θεωρείται η εφαρμογή του σε μία επιφάνεια χωρίς τέλος και χωρίς περιορισμό χώρου στο πίσω μέρος της χωρίς η επιφάνεια να ταλαντεύεται. Θεωρητικά αυτό αποκλείει την όποια πιθανή αλληλεπίδραση κυμάτων, τα οποία θα μπορούσαν να παραχθούν σε αντίθετη φάση από το πίσω μέρος του οδηγού. Επίσης, αποφεύγονται οι ταλαντώσεις της επιφάνειας, οι οποίες θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην αλλοίωση του ήχου που παράγεται από το μπροστινό μέρος του οδηγού.

Η ύπαρξη μίας τέτοιας επιφάνειας φυσικά είναι αδύνατη οπόταν, χρειάζεται να μελετηθούν εναλλακτικοί σχεδιασμοί για τους σκοπούς της συγκεκριμένης εργασίας.

Το μέγεθος της κατασκευής αλλά και το υλικό, το πάχος της κλπ. όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο. Επιπρόσθετα, μπορεί να γίνει χρήση λαβύρινθων, ported or closed design (με οπή ή κλειστού κουτιού), ή η χρήση πολλαπλών δρόμων ώστε να επιλεχθεί το κατάλληλο μεγάφωνο για διαφορετικό φάσμα συχνοτήτων.

Περεταίρω, κατά την κατασκευή ενός ηχείου (speaker), έμφαση πρέπει να δοθεί και στο φαινόμενο στάσιμων κυμάτων.

Συγκεκριμένα, τα στάσιμα κύματα είναι ένα γεγονός το οποίο παρατηρείται σε κλειστούς χώρους, όπου τα κύματα δεν ταξιδεύουν αλλά παραμένουν στάσιμα στον χώρο. Αυτό συμβαίνει όταν η απόσταση μεταξύ δύο τοίχων είναι πολλαπλάσια του μήκους του ηχητικού κύματος. Το γεγονός είναι πιο έντονο στις χαμηλές συχνότητες, όπου τα ηχητικά κύματα είναι πιο μεγάλα σε μήκος. Στάσιμα κύματα μπορούν να δημιουργηθούν μεταξύ δύο επιφανειών όπως για παράδειγμα μεταξύ δύο τοίχων που βρίσκονται απέναντι, ανάμεσα σε 4 επιφάνειες, ή ακόμα και μεταξύ 6 επιφανειών που βρίσκονται στον ίδιο χώρο.

Τα κύματα αυτά, μπορούν να επηρεαστούν από τα περιεχόμενα του χώρου, όπως για παράδειγμα σε ένα δωμάτιο από το γραφείο, τα ντουλάπια κλπ. Ενώ τα στάσιμα κύματα δεν μπορούν να εξαλειφθούν εντελώς, μπορούν να μειωθούν με δύο τρόπους:

Αρχικά, με το σχεδιασμό του χώρου χρησιμοποιώντας αναλογίες διαστάσεων οι οποίες αποδεδειγμένα μπορούν να ελαχιστοποιούν ακουστικές ανωμαλίες (golden ratio) ή ακόμη και με τη χρήση χοντρού απορροφητικού υλικού.

Όσον αφορά στις αναλογίες, όπως προαναφέρθηκε, σημαντικό είναι να επιτευχθούν οι ιδανικές. Ο όρος «χρυσή αναλογία» η αλλιώς “golden ratio” είναι μια θεωρητική αναλογία διαστάσεων που προσδιορίστηκε από τους αρχαίους Έλληνες με σκοπό την τέλεια ακουστική σε ένα κλειστό χώρο (Carvin Audio, 2020).

Η αναλογία αυτή είναι η εξής: 1 x 1.60 x 2.56

Πέρα από την χρυσή αναλογία υπάρχουν και άλλες αναλογίες οι οποίες δουλεύουν εξίσου καλά. Τέτοιες αναλογίες είναι και οι πιο κάτω:

1 x 1.14 x 1.39

1 x 1.26 x 1.59

1 x 1.28 x 1.54

1 x 1.30 x 1.90

1 x 1.40 x 1.90

1 x 1.50 x 2.50

1 x 1.60 x 2.33

Closed Design

Στην περίπτωση εγκλεισμένου ηχείου (speaker) αποφεύγεται η διαφυγή ήχου από το πίσω μέρος του οδηγού (driver) καθώς και τυχόν ανεπιθύμητες συμβολές με αποτέλεσμα την ακύρωση συχνοτήτων. Παρόλα αυτά, λόγω του συγκεκριμένου σχεδιασμού, υπάρχει αυξημένη αντίσταση του αέρα, την οποία ο οδηγός (driver) προσπαθεί να μετακινήσει αλλάζοντας την ακουστική επίδοση του μεγάφωνου (loudspeaker) αλλά και την ιδιοσυχνότητα του. Για το λόγο αυτό, πολλοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν μαλακά απορροφητικά υλικά τα οποία βοηθούν στο να μειώσουν κάπως αυτή την αντίσταση. Σαν γενικός κανόνας θεωρείται ότι υπάρχει μείωση 12 dB ανά οκτάβα κάτω από την συχνότητα συντονισμού του μεγάφωνου οπότε είναι πολύ σημαντικό να δοθεί σημασία στις διαστάσεις και το σχέδιο του ηχείου. Περαιτέρω, σημασία πρέπει να αποδοθεί και στη συμβολή ή και την απορρόφηση ενέργειας από τα εσωτερικά τοιχώματα της κατασκευής αφού τυχόν ταλαντώσεις από τα τοιχώματα θα έχουν ως αποτέλεσμα την αφαίρεση ενέργειας από το σύστημα.

Bass Reflex/ Σχέδιο Ανοικτής Οπής

Εμπνευσμένος από τον γνωστό σε όλους Harmon von Helmholtz, ο Albert Thuras ανέπτυξε το open port / bass reflex design το οποίο ίσως να είναι και πιο διαδεδομένο είδος σχεδιασμού ηχείων (speakers) σήμερα.

Στην ουσία διατηρείται το σχέδιο του κλειστού κουτιού με την προσθήκη μίας οπής η οποία δρα σαν ακουστική επαγωγή όπου σε συνδυασμό με την χωρητικότητα αέρα του κουτιού δημιουργεί ένα ακουστικό κύκλωμα επιτρέποντας έτσι στον κατασκευαστή να διαμορφώσει την ακουστική απόδοση του ηχείου στην αρέσκεια του.
Η ιδιοσυχνότητα Χελμχολτζ σε κουτί μπορεί να προσδιοριστεί από την εξίσωση:

$$f_H = \frac{v}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{V_0 L_{eq}}}.$$

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΤΥΠΟΣ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΧΕΛΜΧΟΛΤΖ

$$A = \frac{V_n}{L_{eq}},$$

ΕΙΚΟΝΑ 2: ΤΥΠΟΣ AREA OF OPENING

Όπου L ισούται με το μάκρος του λαιμού με διόρθωση τέλους, το οποίο μπορεί να υπολογιστεί με: Leq = Ln + 0.3D, όπου Ln είναι το πραγματικό μήκος του λαιμού και D είναι η υδραυλική διάμετρος του λαιμού.

Όπου Vn είναι ο όγκος αέρα στον λαιμό.

Ακόμα ένα στοιχείο του συγκεκριμένου σχεδίου ηχείων είναι ότι με τον κατάλληλο σχεδιασμό μπορεί να αξιοποιηθεί το ακουστικό κύμα από το εσωτερικό του ηχείου με τρόπο που εξαναγκάζεται να ταξιδέψει από την οπή αντιστρέφοντας την φάση του κατά 180 μοίρες, με αποτέλεσμα να συγχρονίζεται με το κύμα από το μπροστινό μέρος του ηχείου. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η αποτροπή τυχόν αφαιρετικών συντονισμών και επιτρέπεται η ενίσχυση της ακουστικής ισχύος αλλά και του φάσματος στις χαμηλές συχνότητες.

Στην περίπτωση που η κατασκευή είναι σχεδιασμένη στην ιδιοσυχνότητα της οπής ή χαμηλότερα, παρατηρείται ένα φαινόμενο στο οποίο αντί να υπάρχει μία κορυφή ιδιοσυχνότητας, δημιουργούνται 2 κορυφές στα 46hz και στα 85hz μικρότερης έντασης, με περίπου -1 οκτάβα διαφορά μεταξύ τους κοντά στην αρχική συχνότητα των 77hz (Allen, 1973). Αυτό είναι κάτι το οποίο πιθανόν να επιθυμούμε ούτως ώστε να δημιουργήσουμε ένα πιο ομοιόμορφο φάσμα συχνοτήτων.

Το μέγεθος της οπής έχει άμεση σχέση με τον όγκο της κατασκευής. Όσο μικρότερη είναι η οπή, τόσο αυξάνεται η συχνότητα συντονισμού και ανάλογα.

Ένας άλλος σχεδιασμός παρόμοιος με τον πιο πάνω είναι η χρήση οπής με «λαιμό». Αυτή η τεχνική κατασκευής χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου το μέγεθος του κουτιού είναι πολύ μικρό για να καταφέρουμε να πετύχουμε την επιθυμητή ενίσχυση στις χαμηλές συχνότητες με απλή οπή. Με αυτό τον τρόπο η απόσταση που ταξιδεύει το κύμα από το πίσω μέρος του μεγάφωνου (loudspeaker) μικραίνει, ενισχύοντας τις χαμηλές συχνότητες παθητικά ενώ αποκόπτεται και η αποφυγή ψηλών συχνοτήτων από το κουτί (Schott, 1974).

Μια τεχνική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστεί το εάν δρα σωστά η οπή στην κατασκευή μας είναι με την δημιουργία ενός κυκλώματος στο οποίο μπορεί να συνδεθεί μια αντίσταση μεγαλύτερης “ωμικότητας” από αυτή του μεγαφώνου σε σειρά με μια απλή γεννήτρια συχνοτήτων και ένα βολτόμετρο. Με ένα αργό frequency sweep (σάρωση συχνότητας) θα παρατηρήσουμε ότι με κλειστή την οπή έχουμε μία κορφή

μετρήσεων στο βολτόμετρο όπου είναι και η ιδιοσυχνότητα του μεγάφωνου. Με ανοικτή την οπή θα πρέπει να παρατηρήσουμε δύο άλλες κορυφές χαμηλότερου ύψους όπως είχαμε αναφέρει πιο πάνω (Qin, X. et al. , 2016).

Horn Type/ Loaded Enclosures («κώνου» ή ανοίγματος με οδηγό)

Ο σχεδιασμός ενός ηχείου με τον συγκεκριμένο τρόπο είναι αρκετά πιο περίπλοκος αλλά μπορεί να έχει καλύτερο τελικό αποτέλεσμα (Olson, 1957).

Η χρήση ενός τέτοιου σχεδιασμού αξιοποιεί την χρήση «κώνου» ή ανοίγματος με οδηγό για να βελτιώσει την απόδοση του ηχείου. Στην ουσία ο στόχος είναι τα ηχητικά κύματα να καθοδηγηθούν με τέτοιο τρόπο τον οποίο που δημιουργεί ενίσχυση σε ένα εύρος συχνοτήτων και κατευθύνει το ολικό ακουστικό αποτέλεσμα στον ακροατή.

Ο προαναφερόμενος σχεδιασμός έχει αρκετές διαφορετικές εκδοχές και η κάθε μία έχει τα δικά της χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα της, ενώ οι διαφοροποιήσεις τους ξεχωρίζουν οπτικά. Συγκεκριμένα, υπάρχουν «exponential, hyperbolic και tractrix» (Kolbrek,2008).

Ένα σημαντικό μειονέκτημα του συγκεκριμένου σχεδιασμού είναι το ότι σε υψηλές εντάσεις ένας κακός σχεδιασμός μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση στο ηχείο λόγω μηχανικού στρες.

Πολλοί κατασκευαστές σήμερα χρησιμοποιούν το συγκεκριμένο σχεδιασμό τόσο για «subwoofer» αλλά και για συστήματα «line array», κάτι που συνεπάγεται με το ότι είναι ένας πολύ αποτελεσματικός τρόπος να σχεδιαστεί ένα σύστημα μεγάφωνων παρά την δυσκολία στον υπολογισμό των ιδανικών διαστάσεων.

2.2.4.Ηχοαπορρόφηση

Για την καταπολέμηση κατά των στάσιμων κυμάτων μερικοί κατασκευαστές αποφεύγουν τον σχεδιασμό των τυπικών ορθογώνιων κουτιών ή προσθέτουν στα τοιχώματα της κατασκευής ηχοαπορροφητικά υλικά (Runnemalm, 1999). Τα συνηθέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό, είναι συνθετικά που μοιάζουν με βαμβάκι ή σφουγγάρι όπως ο πετροβάμβακας, ο υαλοβάμβακας και το τυπικό σφουγγάρι σε παρόμοιο

σχήμα «αυγοθήκης». Το μειονέκτημα το οποίο προκύπτει στην προκείμενη περίπτωση είναι ότι δεν μπορεί να προβλεφθεί η ακουστική επιρροή που θα έχει το υλικό αφού η ποσότητα του αλλά και το σημείο τοποθέτησης του επηρεάζουν τον όγκο στο εσωτερικό της κατασκευής.

2.2.5. Crossover & DSP

Σύμφωνα με τον Pomerantz (2015), το Crossover (ηλεκτρονικό κύκλωμα οδήγησης μεγάφωνων με φίλτρα συχνοτήτων) είναι ένας συνδυασμός high pass & low pass filter από τα οποία περνά το σήμα ξεχωριστά και δρομολογείται στο κάθε μεγάφωνο (loudspeaker), ενώ η συχνότητα αποκοπής του θεωρείται αυτή που βρίσκεται στα -3dB από το υπόλοιπο σήμα. Στη περίπτωση που υπάρχει σύστημα 3-way και πάνω απαιτούνται και ενδιάμεσα φίλτρα band pass.

Ο διαχωρισμός του Crossover μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους: είτε παθητικά, είτε ενεργά. Το παθητικό crossover με την χρήση coil, πυκνωτών και αντιστάσεων, εφαρμόζεται μεταξύ του ενισχυτή και του μεγάφωνου ενώ το ενεργό είναι συνήθως ηλεκτρονικό και εφαρμόζεται στο σήμα πριν τον ενισχυτή. Πλέον χρησιμοποιούνται και ψηφιακοί επεξεργαστές σήματος (DSP), οι οποίοι μπορούν να βελτιώσουν ακόμα πιο πολύ το ακουστικό αποτέλεσμα του ηχείου (speaker). Με την τεχνολογία σήμερα μπορούμε ευκολά να προγραμματίσουμε μία συσκευή για να κάνει και τις δύο διαδικασίες όπως ο χρήστης επιθυμεί. Αν και για το σχεδιασμό του ηχείου από Plexiglass, θα μπορούσε κάλλιστα να δημιουργηθεί ένα αναλογικό κύκλωμα για να επιτευχθούν τα πιο πάνω, ωστόσο είναι πιο πρακτικός και ευέλικτος ο προγραμματισμός και η εγκατάσταση ενός ψηφιακού DSP & Crossover, στα οποία ανά πάσα στιγμή μπορούν να γίνουν διορθώσεις χωρίς επιπρόσθετο κόστος για την αγορά περισσότερων εξαρτημάτων. Παράλληλα, η μέτρηση των coil γίνεται με συγκεκριμένο όργανο το οποίο δεν είναι στην διάθεσή μας για να το κατασκευάσουμε για τις συχνότητες που χρειαζόμαστε ακριβώς.

3. Μεθοδολογία

Με βάση τον σκοπό της παρούσας έρευνας, προχωρήσαμε στον καθορισμό των επιμέρους βημάτων που πρέπει να ακολουθηθούν, ώστε ο μεθοδολογικός μας σχεδιασμός να είναι πιο συγκεκριμένος και αποτελεσματικός.

Ειδικότερα, σημαντικό σταθμό στο σχεδιασμό του πειραματικού μέρους της εργασίας μας, διετέλεσε η επιλογή του ηχείου (speaker) αγοράς που θα χρησιμοποιηθεί για σκοπούς σύγκρισης με τη δική μας κατασκευή. Στην απόφαση μας, διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο το σε ποια ηχεία, τα οποία ανήκαν στην κατηγορία «Studio Monitor» είχαμε άμεση πρόσβαση. Έτσι, επιλέγηκε το ηχείο PreSonus Eris 5, ένα ηχείο κατάλληλο τόσο για οικιακά στούντιο ηχογράφησης όσο και για επαγγελματική παραγωγή. Τα βασικά του χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν μεγάφωνο χαμηλής συχνότητας 5,25 ιντσών, 80 watt ισχύος, ρυθμίσεις ακουστικού χώρου και μέγιστο συνεχές SPL 102 dB.

Στη συνέχεια, προχωρήσαμε στον καθορισμό των χαρακτηριστικών του δικού μας ηχείου από ακρυλικό γυαλί (plexiglass), μεταξύ των οποίων και στον υπολογισμό των ιδανικών διαστάσεων της κατασκευής του ηχείου. Ο υπολογισμός αυτός έγινε με την χρήση σχετικής αναλογίας διαστάσεων που χρησιμοποιείται από άλλους κατασκευαστές και που θεωρούνται «ασφαλείς» αναλογίες διαστάσεων για μείωση της παρουσίας στάσιμων κυμάτων.

Ο κύριος λόγος για τον οποίο δίνεται προσοχή στα στάσιμα κύματα στην παρούσα έρευνα είναι ώστε να αποφευχθούν έντονοι συντονισμοί στο εσωτερικό του κουτιού. Στασιμά κύματα στο εσωτερικό του κουτιού, θα επηρεάσουν άμεσα την συχνοτική απόκριση του ηχείου που θα κατασκευαστεί. Έτσι, για το σχεδιασμό της συγκεκριμένης κατασκευής η αναλογία των ηχείων που θα κατασκευαστούν είναι 1/1.09/1.46. Η κατασκευή του κουτιού θα γίνει σε κλειστό σχέδιο με οπή λαιμού έτσι ώστε να επιτύχουμε καλύτερη αναπαραγωγή των χαμηλών συχνοτήτων.

Στην συνέχεια, αφού γίνει η κατασκευή του ηχείου, καθώς και οι πρώτες μετρήσεις, θα αναλυθεί το πού βρίσκονται τυχόν στάσιμα κύματα, τα οποία θα αντιμετωπιστούν αναλόγως, πιθανότατα με τη χρήση απορροφητικού υλικού.

Για την καταπολέμηση κατά των στάσιμων κυμάτων μερικοί κατασκευαστές αποφεύγουν τον σχεδιασμό των τυπικών ορθογώνιων κουτιών η προσθέτουν ενδιάμεσα της κατασκευής «δοκούς» σχεδιασμένους για αυτό τον σκοπό. Αυτές οι τεχνικές δεν είναι εύκολο να γίνουν σωστά οπότε για τους σκοπούς της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, επιλέγηκε η πιο παραδοσιακή και απλή λύση, η οποία είναι, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η χρήση απορροφητικού υλικού στο εσωτερικό της κατασκευής.

Με κύριο παράγοντα τον προϋπολογισμό που έχουμε για την υλοποίηση της εργασίας, επιλέγηκε το να εργαστούμε με σχετικά λεπτές σελίδες ακρυλικού. Οπότε με αναφορά στις πιο πάνω αναλογίες, ήταν προτιμότερο να δουλέψουμε με ένα πάχος το οποίο να μπορεί να προσφέρει την ίδια ή και περισσότερη ηχομείωση όσο και το κόντρα πλακέ πάχους 1”. Από τις διαθέσιμες επιλογές του προμηθευτή, οι οποίες κυμαίνονταν από πάχος μεταξύ 0.2”(0.5cm) και 0.5”(1.27cm), επιλέγηκε το μέγεθος των 0.315” (0.8cm).

Σημαντικό να αναφερθεί όμως είναι και το γεγονός ότι η ηχομείωση στις καμπίνες εξαρτάται και από άλλους παράγοντες εκτός από το υλικό κατασκευής. Τέτοιοι, παράγοντες είναι το μέγεθος της κατασκευής αλλά και οι μονώσεις μεταξύ των πλευρών της και για το λόγο αυτό για τη δική μας εργασία ως μονωτικό υλικό επιλέγηκε το τυπικό σφουγγάρι σε παρόμοιο σχήμα «αυγοθήκης».

Ακολούθως, με τη χρήση της τεχνικής πού αναφέρθηκε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, με τη χρήση αντίστασης και ενός βολτόμετρου με αναπαραγωγή frequency sweep θα μετρηθεί η ιδιοσυχνότητα του οδηγού του ηχείου σε ανοικτό αέρα. Μετά τη δημιουργία της κατασκευής θα επαναληφθεί το πείραμα. Αναμένεται ότι λόγω της αντίστασης του αέρα να κινηθεί στο κουτί, θα μεταβληθεί η ιδιοσυχνότητα του μεγάφωνου κατά ένα βαθμό. Στη συνέχεια, με τις μετρήσεις που θα λάβουμε θα υπολογίσουμε ξανά το σχεδιασμό της οπής με λαιμό ούτως ώστε να δημιουργηθεί ιδιοσυχνότητα στην συχνότητα με την πιο ψηλή ένδειξη τάσης στις μετρήσεις του μεγάφωνου.

Μετά τη διαμόρφωση και προσαρμογή της κατασκευής μας θα προχωρήσουμε σε μία μέτρηση με frequency analyzer, η οποία θα μας βοηθήσει στο σχεδιασμό και

πειραματισμό με το crossover και equalizer για τυχόν «διορθώσεις» που πιθανόν να χρειάζεται το ηχείο.

Παράλληλα, σημαντικό να αναφερθεί ότι θα γίνει χρήση παθητικού αναλογικού crossover. Εντούτοις χάριν πειραματισμού θα δημιουργήσουμε ακόμα ένα ψηφιακό dsp με την χρήση του Ηλεκτρονικού υπολογιστή ούτως ώστε να διερευνηθεί το κατά πόσο η χρήση της τεχνικής αυτής θα έχει κάποια σημαντική επίδραση στις μετρήσεις μας.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι μετρήσεις δεν θα γίνουν σε ιδανικό περιβάλλον καθώς υπάρχουν πολλοί περιορισμοί στο θέμα χώρου, σχετικοί με τη φύση και το σκοπό της παρούσας έρευνας. Βέβαια, η τέλεια έγκλειστη μέτρηση δεν μπορεί να πετύχει στον πραγματικό κόσμο και το γεγονός αυτό είναι ασφαλώς κάτι που θα λάβουμε υπόψη μας τόσο στις μετρήσεις όσο και στην ανάλυση των αποτελεσμάτων μας, οπότε για την εργασία μας θα βασιστούμε σε μετρήσεις μέσης τιμής, έτσι ώστε να έχουμε μια γενικότερη εικόνα για τη συμπεριφορά του ήχου. Παράλληλα, για να αντιμετωπίσουμε όσο είναι βέβαια δυνατό την επίδραση που θα έχει ο παράγοντας αυτός, θα προχωρήσουμε με την διεξαγωγή των μετρήσεών τόσο σε εσωτερικό όσο και εξωτερικό χώρο ώστε να βεβαιωθούμε ότι το ηχείο ανταπεξέρχεται στις απαιτήσεις μας.

Έπειτα, θα προβούμε σε ανάλυση των μετρήσεων για να κρίνουμε την αποτελεσματικότητα των τεχνικών που χρησιμοποιήσαμε αλλά και την απόδοση του τελικού μας προϊόντος. Παράλληλα, θα γίνει αναφορά σε σημεία βελτίωσης το οποία μπορούν να αξιοποιηθούν ως βάση για περαιτέρω έρευνα. Τέλος, θα διατυπωθούν τα συμπεράσματά μας σχετικά με το κατά πόσο ένα ηχείο από ακρυλικό μπορεί να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά, εξυπηρετώντας τις ίδιες ανάγκες και παρέχοντας την ίδια ποιότητα ήχου που μπορεί να παρέχει ένα τυπικό studio monitor.

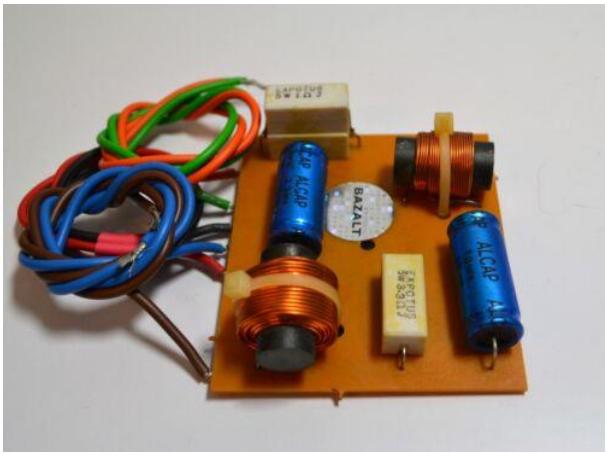
4. Πειραματικό μέρος

Για την κατασκευή του ηχείου (speaker) μας είχαμε στη διάθεση μας drivers 3,5” από Hi-Fi σύστημα CAV Q5000. Λόγω του ότι τα συγκεκριμένα ηχεία είναι τριών δρόμων, δε χρησιμοποιήθηκε το crossover (ηλεκτρονικό κύκλωμα οδήγησης μεγάφωνων με φίλτρα συχνοτήτων) του συστήματος, λόγω του ότι οι διαστάσεις του κουτιού θα ήταν μεγαλύτερες απ’ ότι θα έπρεπε. Οπότε, χρησιμοποιήθηκαν crossover από άλλο Hi-Fi σύστημα και συγκεκριμένα το NAD 8225. Το συγκεκριμένο κύκλωμα crossover, σύμφωνα με πρόχειρες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, κυμαίνεται κοντά στα 4kHz. Η αρχική σκέψη ήταν να χρησιμοποιήσουμε drivers των NAD, έτσι ώστε να είχαμε drivers και crossover ίδιου συστήματος και κατασκευαστή, όμως τα drivers του συγκεκριμένου συστήματος δεν ήταν σε καλή κατάσταση ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν για την παρούσα εργασία και να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα. Έτσι, προχωρήσαμε με την εναλλακτική λύση η οποία ήταν το να επιλέξουμε τα drivers των CAV.

Όσον αφορά στο μέγεθος της κατασκευής στόχος μας ήταν αυτό να είναι το ίδιο με αυτό των Presonus eris 5.



ΕΙΚΌΝΑ 3: DRIVER: CAV Q5000, 80W, 6 OHMS

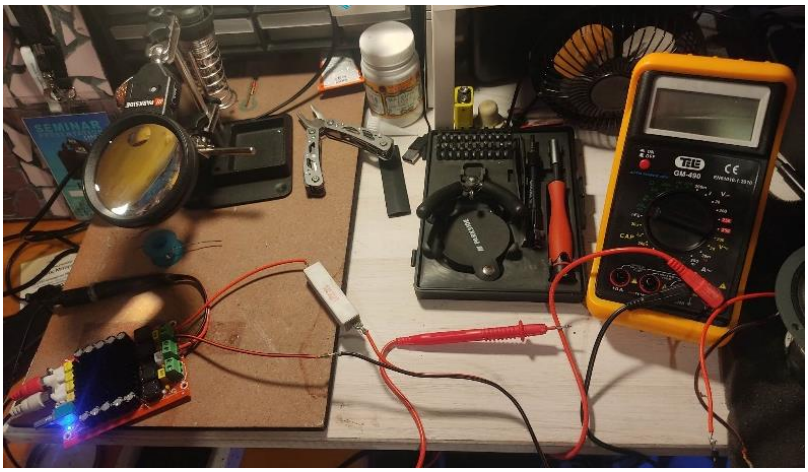


ΕΙΚΌΝΑ 4: CROSSOVER, NAD 8225

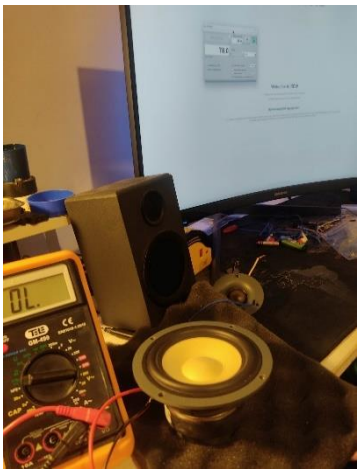
4.1 Υπολογισμοί – Αρχικές Μετρήσεις

Το μέγεθος του μεγάφωνου (loudspeaker) που επιλέγηκε για τις μεσαίες συχνότητες είναι 3.5” ενώ του μεγάφωνου για της ψηλές συχνότητες περίπου 1”. Τα δύο μεγάφωνα έχουν ονομαστική αντίσταση 6 ohm.

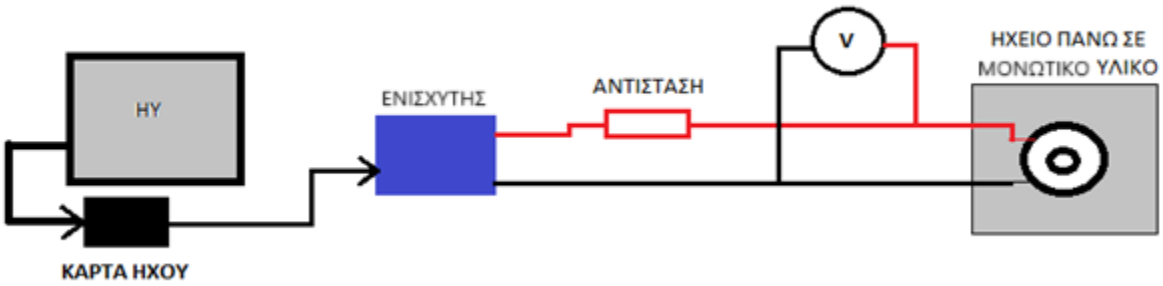
Κατά τον αρχικό πειραματισμό μας με τα μεγάφωνα σε συνθήκες ανοιχτού αέρα, προσέξαμε ότι η ιδιοσυχνότητα του μεγάφωνου που επιλέξαμε για τις μεσαίες συχνότητες κυμαινόταν στα 77Hz. Το πείραμα είχε την πιο κάτω συνδεσμολογία:



ΕΙΚΌΝΑ 5: ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ



ΕΙΚΌΝΑ 6: ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

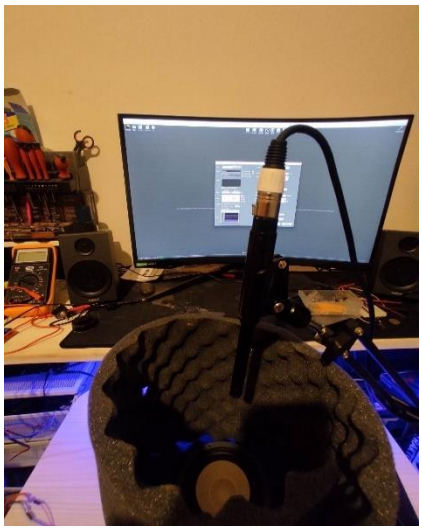


Η χρήση του “golden ratio” αποφεύχθηκε κατά την υλοποίηση της κατασκευής μας, καθώς εάν αξιοποιούσαμε τη συγκεκριμένη φόρμουλα το κουτί θα είχε μεγαλύτερο όγκο και ύψος από αυτό που επιθυμούσαμε. Αντιθέτως, χρησιμοποιήσαμε τις αναλογίες των ηχείων Presonus Eris E5, ηχεία τα οποία είχαμε στη διάθεση μας. Η επιλογή αυτή έγινε έτσι ώστε να έχουμε μία αναφορά σύγκρισης.

Οι εξωτερικές διαστάσεις του συγκεκριμένου ηχείου Presonus είναι 178x195x260mm με αναλογία που τυχαίνει να είναι 1/1.1/1.46 και η οποία δεν αποκλίνει ιδιαίτερα από αυτές που αναφέρθηκαν ως εξίσου ιδανικές με το golden ratio. Ακολούθως υπολογίστηκαν οι εσωτερικές διαστάσεις, ώστε να υπολογιστεί στην συνέχεια και ο όγκος των εξαρτημάτων που θα αφαιρούσαν όγκο αέρα από το εσωτερικό της κατασκευής.

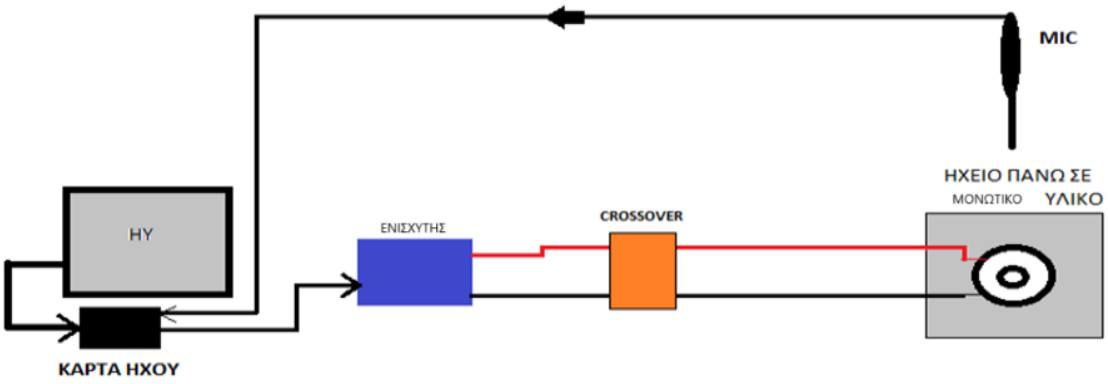
Συγκεκριμένα, το εσωτερικό / καθαρό πλάτος της κατασκευής μας με χρήση ακρυλικού πάχους 0.8 χιλιοστά είναι στα 16.2 cm, ύψος 23.65 cm, και βάθος 17.82 cm. Επομένως, χωρίς εξαρτήματα έχει εσωτερικό όγκο 6827.38 cm^3 / 6.83 L. Συνολικά, τα εξαρτήματα τα οποία θα βρίσκονται στο εσωτερικό της κατασκευής μας θα έχουν κατά προσέγγιση 0.711L όγκο μειώνοντας έτσι τον όγκο του εσωτερικού στα 6.116L.

Για την οπή αποφασίστηκε να γίνει χρήση κυλινδρικού σωλήνα με διάμετρο 40mm. Για ταχύτητα του ήχου στον αέρα 344ms (20 βαθμούς κελσίου), υπολογίστηκε το μήκος του σωλήνα στα 9.36cm. Ο όγκος του θεωρήθηκε αμελητέος μιας και δε μπορεί να μετατοπίσει σημαντικά την ιδιοσυχνότητα της οπής. Επίσης, ο υπολογισμός πολύ πιθανόν να χρειαστεί να επαναληφθεί, αφού όπως αναφέραμε πιο πάνω η ιδιοσυχνότητα του μεγάφωνου αναμένεται να αλλάξει όταν μπει στο κουτί.



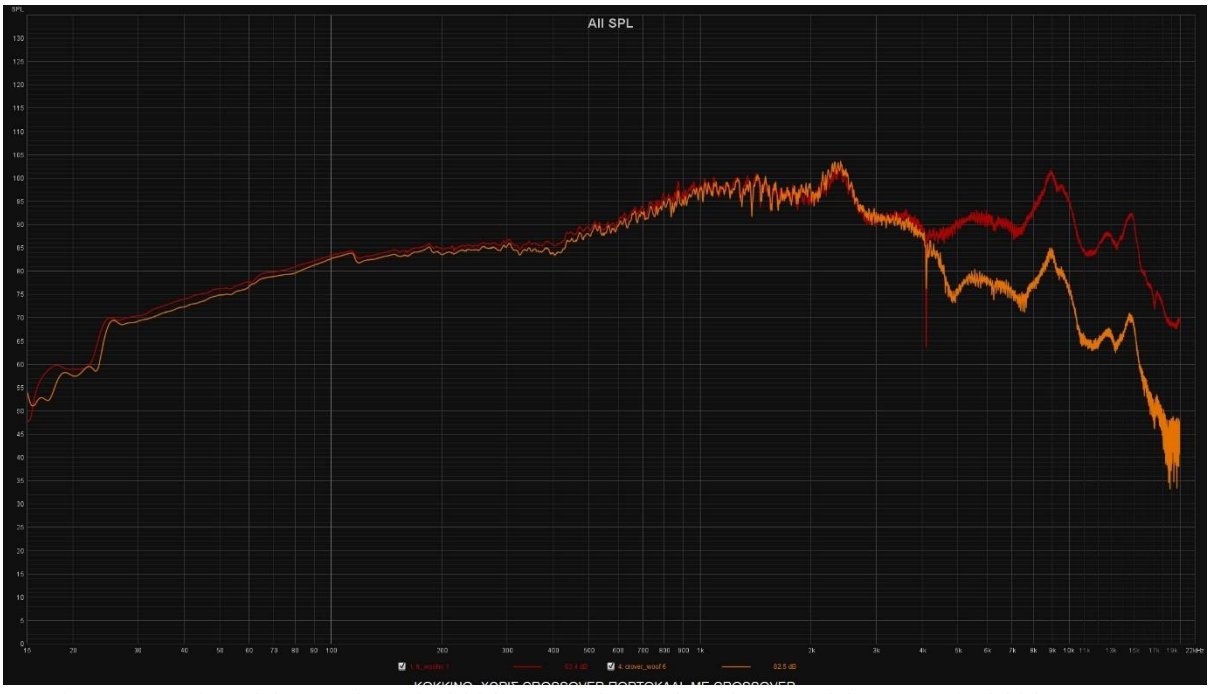
ΕΙΚΌΝΑ 7: ΜΕΤΡΗΣΗ ΟΔΗΓΟΥ

Ακολούθως, μετρήσαμε την συχνοτική απόκριση των μεγάφωνων μας με την χρήση του προγράμματος REW Wizard και ενός μικροφώνου για μετρήσεις (Sabine SQ1001) για να έχουμε ένα μέτρο σύγκρισης. Τα αποτελέσματα φαίνονται πιο κάτω ενώ η πειραματική διάταξη ήταν όπως ακολούθως:

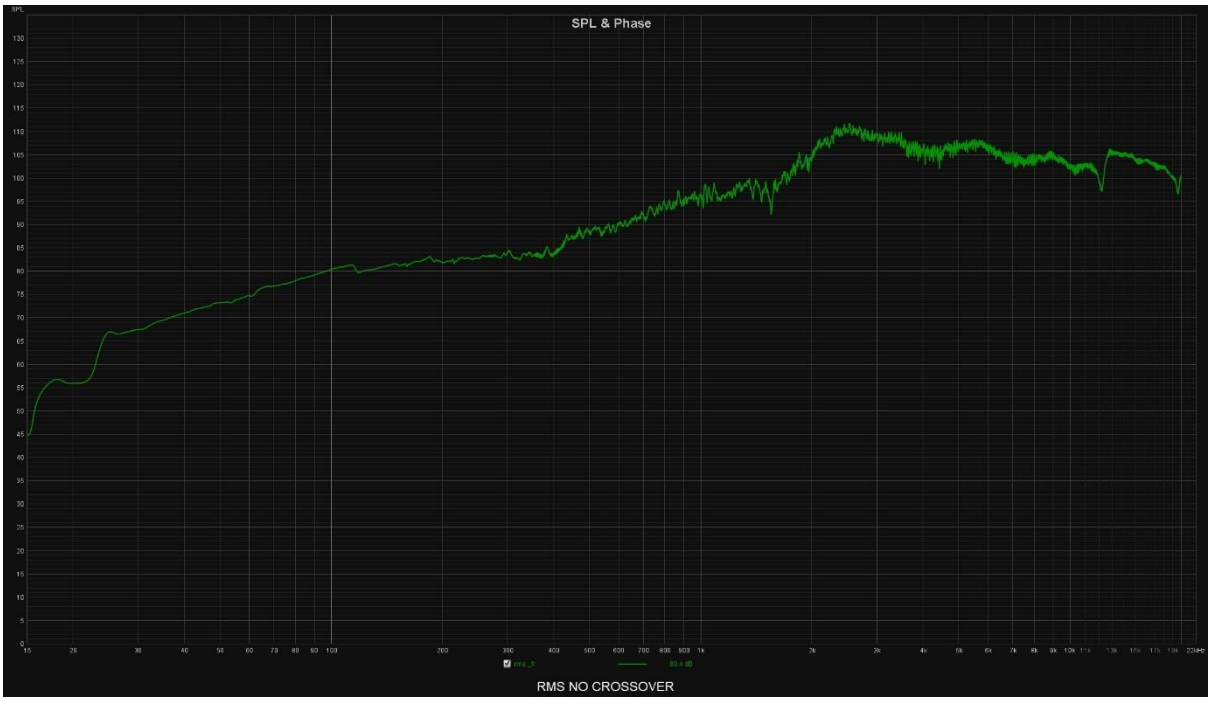




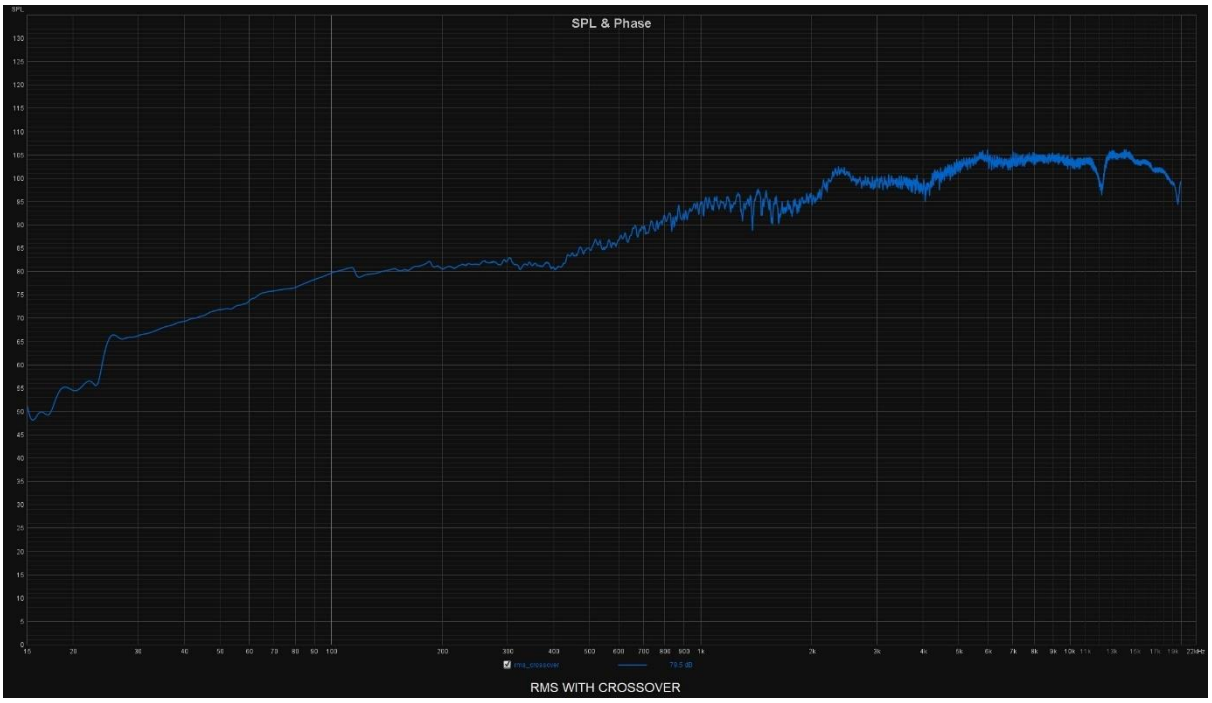
MEASUREMENT 1: ΚΟΡΝΑ ΧΩΡΙΣ CROSSOVER = ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΏΜΑ, ΜΕ CROSSOVER = ΜΠΛΕ ΧΡΩΜΑ



MEASUREMENT 2: WOOFER ΧΩΡΙΣ CROSSOVER = ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ, WOOFER ΜΕ CROSSOVER = ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ ΧΡΩΜΑ



MEASUREMENT 3 ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΧΩΡΙΣ CROSSOVER



MEASUREMENT 4: ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ CROSSOVER

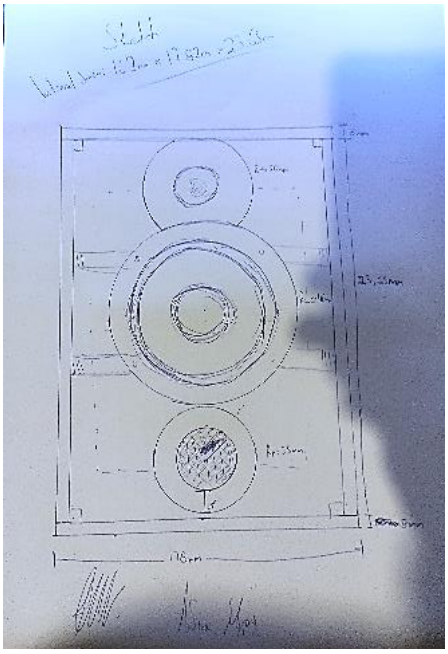
Από τις πιο μετρήσεις φαίνεται η επίδραση που έχει το crossover τόσο στο woofer όσο και στο tweeter καθώς και η μέση απόκριση των μετρήσεων που έγιναν στα μεγάφωνα, τόσο με crossover όσο και χωρίς crossover. Όπως παρατηρείται, οι ψηλές συχνότητες υπερτερούν σε σύγκριση με τις χαμηλές στην πλειοψηφία των μετρήσεων, κάτι το οποίο θα

πρέπει να διαχειριστούμε, καθώς αναμένεται ότι θα προκύψει στη συνέχεια και για τις υπόλοιπες μας μετρήσεις. Πιθανή λύση στο πρόβλημα αυτό, θεωρήσαμε ότι μπορεί να δώσει η χρήση ψηφιακού crossover καθώς και η χρήση μονωτικού υλικού και για το λόγο αυτό στις επόμενες μετρήσεις που έγιναν για την κατασκευή από Plexiglass που δημιουργήθηκε για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, έγινε σύγκριση του πώς αντιδρούν τα δύο διαφορετικά είδη crossover (ψηφιακό, αναλογικό) με ή χωρίς τη χρήση μονωτικού υλικού.

Στη συνέχεια, αναλύεται η όλη πορεία κατασκευής που ακολουθήθηκε καθώς και οι μετρήσεις που έγιναν τόσο με τη δική μας κατασκευή από Plexiglass, όσο και με το ηχείο PreSonus Eris e5.

Συναρμολόγηση κατασκευής

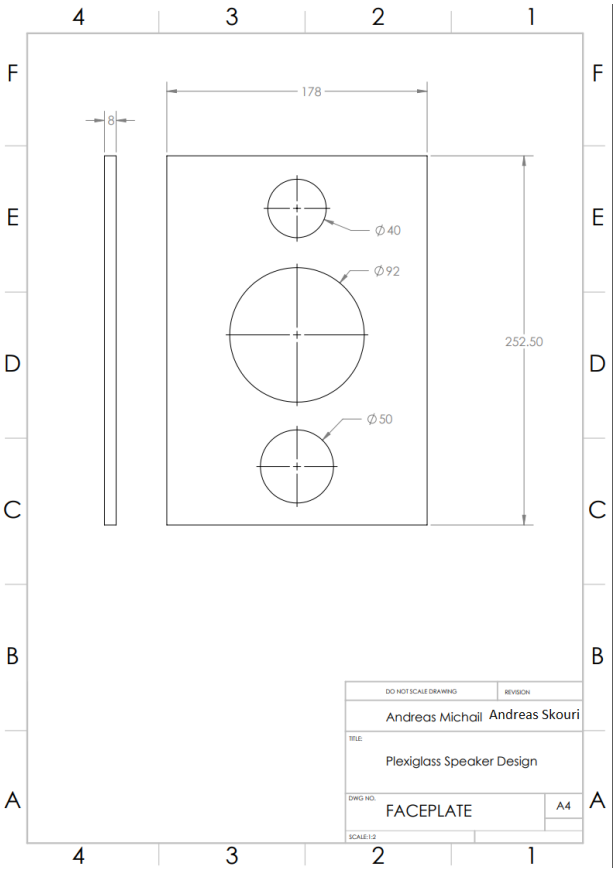
Προτού προχωρήσουμε με τη συναρμολόγηση της κατασκευής, έγιναν οι υπολογισμοί για το μέγεθος της κατασκευής, ακολουθώντας τις αναλογίες των ηχείων (speakers) Presonus Eris E5, ηχείο που όπως προαναφέρθηκε είχαμε ήδη στη διάθεσή μας και με το οποίο έγινε η σύγκριση των μετρήσεων. Επιπρόσθετα, προχωρήσαμε στον σχεδιασμό της κατασκευής μας και ακολούθως έγινε μια συνοπτική σχεδίαση της στην εφαρμογή τρισδιάστατου σχεδιασμού “Solid Works”, όπως φαίνεται στα σχεδιαγράμματα πιο κάτω.



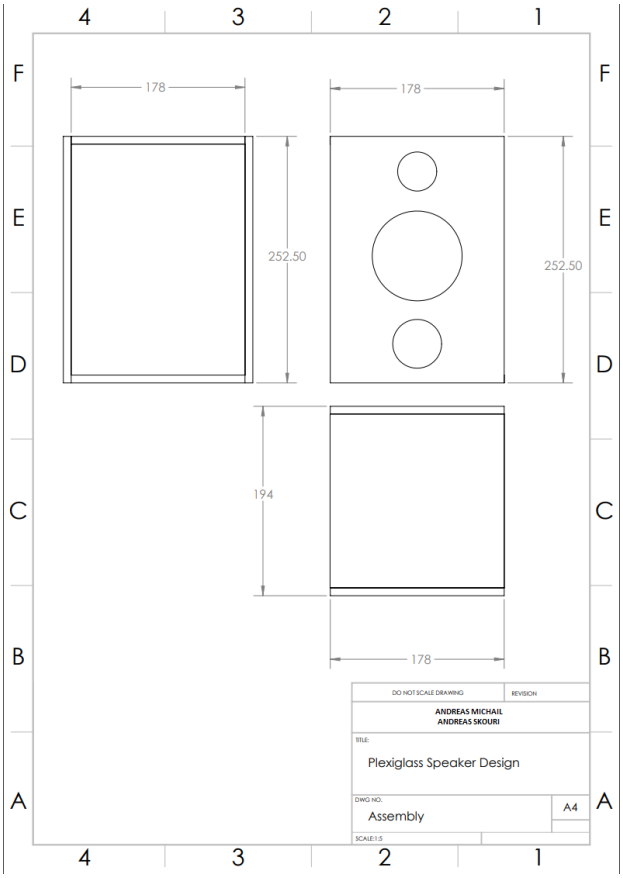
ΕΙΚΌΝΑ 6: ΧΕΙΡΟΓΡΑΦΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Στη συνέχεια, το σχέδιο στάλθηκε σε ειδικό για την κοπή του ακρυλικού με μηχανή λέιζερ, ώστε να διασφαλιστεί το καλύτερο δυνατόν αποτέλεσμα.

Ακολούθως αφού επιβεβαιώσαμε ότι όλα τα εξαρτήματα της κατασκευής (π.χ drivers, βίδες κλπ.) εφαρμόζονται σωστά, προχωρήσαμε στην συναρμολόγηση της με την χρήση super glue για την αρχική στήριξη του ακρυλικού και στην ενδυνάμωση των συνδέσμων με την χρήση εποξικής κόλλας και κομματιών ακρυλικού. Έγινε επίσης χρήση ειδικής ηχομονωτικής πάστας για το μπροστινό κομμάτι ακρυλικού έτσι ώστε να αποφευχθεί η διαφυγή του αέρα από τις μπροστινές ενώσεις της κατασκευής.

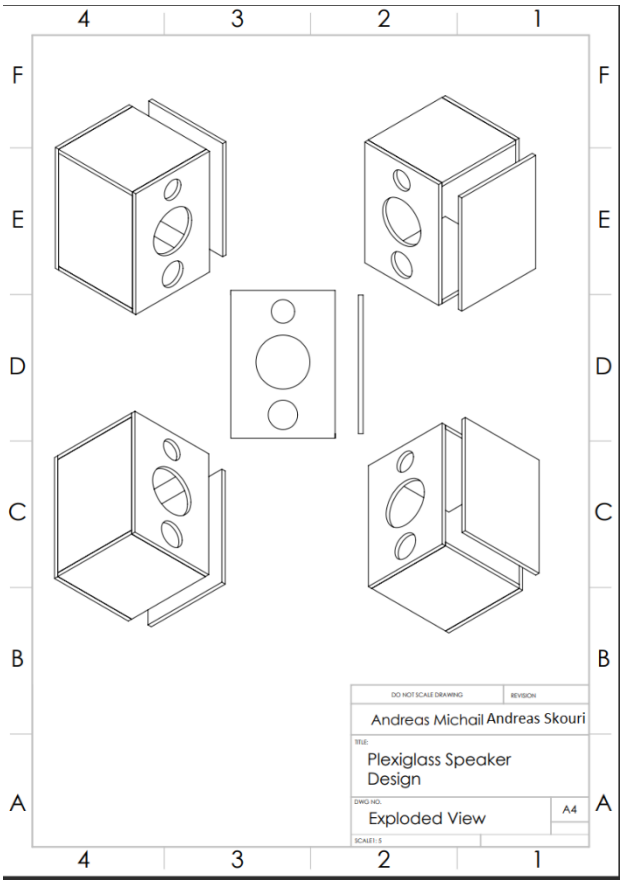


ΕΙΚΟΝΑ 7: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ SOLID WORKS 2



ΕΙΚΟΝΑ 8: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ SOLID WORKS 1

ΕΙΚΟΝΑ 9: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ SOLID WORKS 3



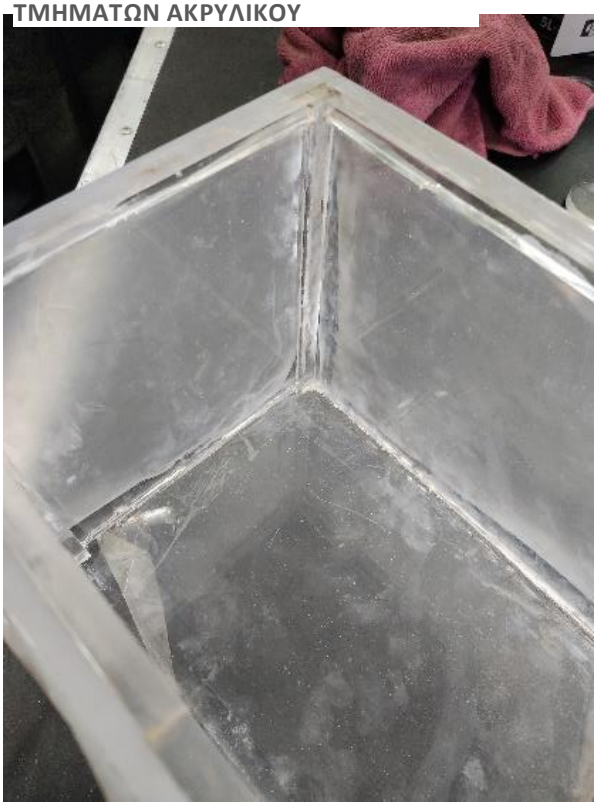
Πιο κάτω, αναλύονται συνοπτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη συναρμολόγηση της κατασκευής:



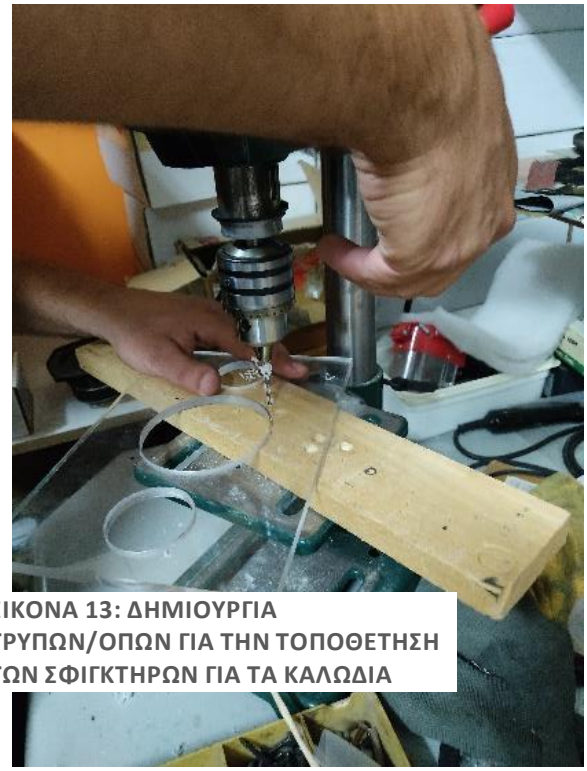
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΑΚΡΥΛΙΚΟΥ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ



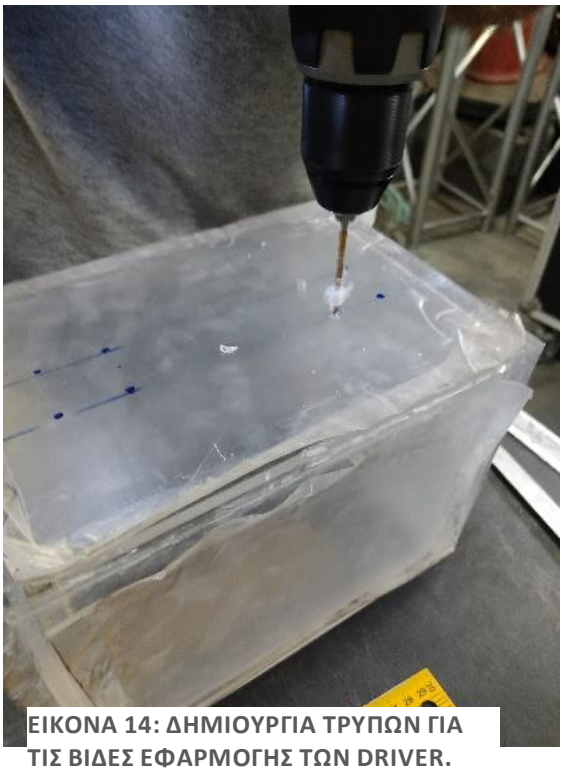
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΟΛΛΑΣ ΤΑΧΕΙΑΣ ΔΡΑΣΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΣΦΙΓΚΤΗΡΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ ΤΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΑΚΡΥΛΙΚΟΥ



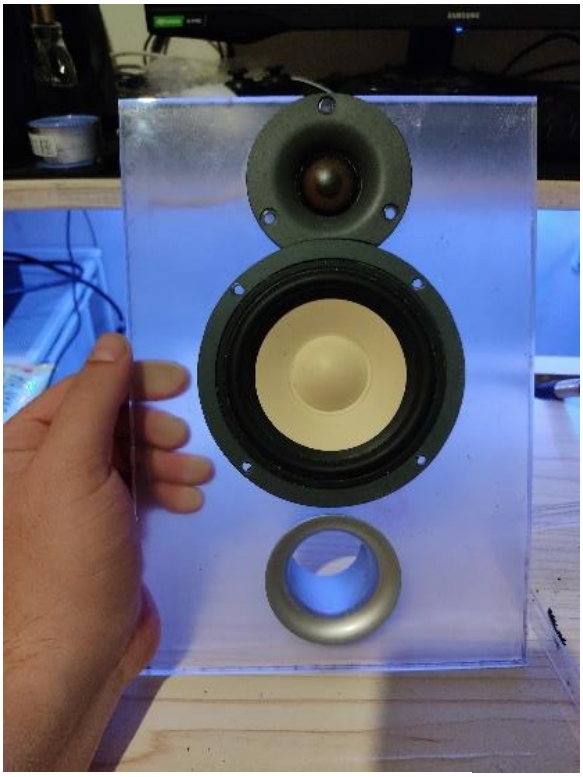
ΕΙΚΟΝΑ 12 : ΕΝΔΥΝΑΜΩΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΟΞΙΚΗΣ ΚΟΛΛΑΣ



ΕΙΚΟΝΑ 13: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΥΠΩΝ/ΟΠΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΣΦΙΓΚΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΚΑΛΩΔΙΑ



ΕΙΚΟΝΑ 14: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΥΠΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΒΙΔΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ DRIVER.



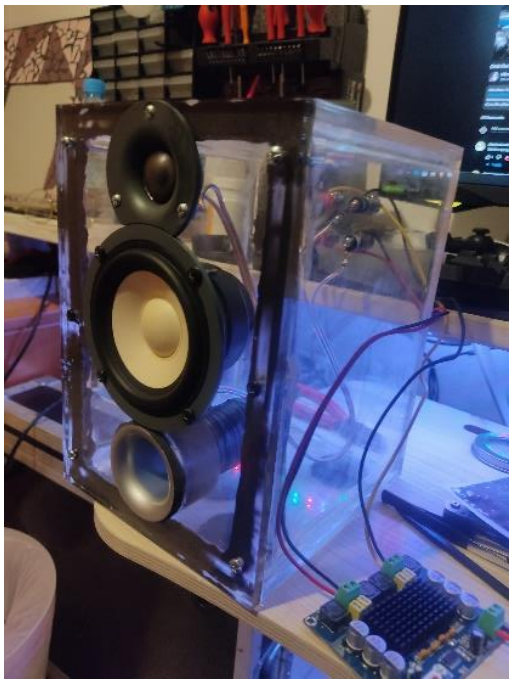
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ DRIVER ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΟΠΩΝ



ΕΙΚΌΝΑ 16: ΣΥΝΑΡΜΟΛΌΓΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΓΑΦΏΝΟΥ



ΕΙΚΌΝΑ 17: ΔΡΟΜΟΛΌΓΗΣΗ ΚΑΛΩΔΊΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 18: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΩΤΙΚΗΣ ΠΑΣΤΑΣ ΣΤΟ ΜΠΡΟΣΤΙΝΟ ΚΟΜΜΑΤΙ ΑΚΡΥΛΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΦΡΑΓΙΣΜΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



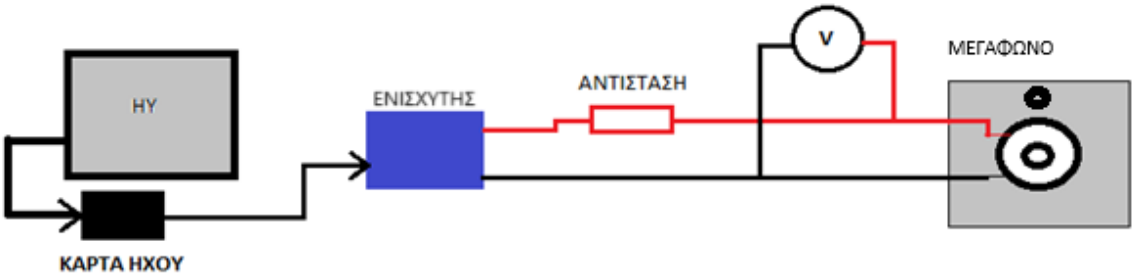
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΜΕ ΜΟΝΩΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.



ΕΙΚΟΝΑ 19: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ PRESONUS ΜΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Πειράματα Κατασκευής

Αφού έγινε η συναρμολόγηση της κατασκευής μας, σφραγίσαμε το άνοιγμα της οπής και με την ίδια συνδεσμολογία που χρησιμοποιήθηκε και κατά τις αρχικές μετρήσεις, προχωρήσαμε στην υλοποίηση των επαναληπτικών μετρήσεων του woofer, έτσι ώστε να μελετήσουμε το κατά πόσο η ιδιοσυχνότητα του μεγάφωνου (loudspeaker) μεταβλήθηκε λόγω της μεταφοράς του από τον ανοιχτό αέρα.



Όπως αναμέναμε, η ιδιοσυχνότητα μεταφέρθηκε στα 75hz από τα 77h, λόγω της μεταφοράς από ανοιχτό αέρα σε κλειστή κατασκευή. Η διαφορά αυτή είναι αρκετά μικρή και έτσι η επίδραση της δε θεωρήθηκε ότι θα μας επηρεάσει ιδιαίτερα.

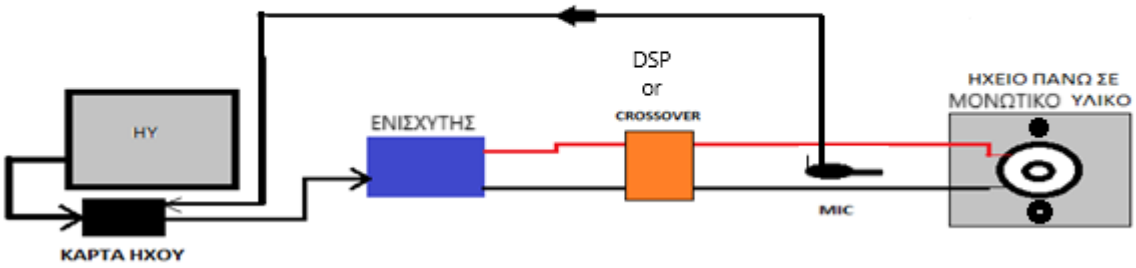
Ακολούθως, έχοντας εξασφαλίσει τις μετρήσεις με σφραγισμένη οπή, υλοποιήσαμε και άλλες μετρήσεις με την οπή ανοιχτή. Με ανοικτή την οπή, παρατηρήθηκε ότι δημιουργήθηκαν δυο άλλες κορφές στις μετρήσεις μας στα 46hz και στα 85hz με μια διαφορά της τάξης του 1V. Αυτό σημαίνει ότι το κούρδισμα της οπής είναι κοντά στην ιδιοσυχνότητα που επιθυμούσαμε, αλλά όχι ακριβώς το τελικό αποτέλεσμα που θέλαμε να έχουμε. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πιθανό σφάλμα υπολογισμού του καθαρού όγκου της κατασκευής.

Έπειτα, έγιναν μετρήσεις (measurement 5) ώστε να αποφασίσουμε το κατά πόσο χρειαζόταν κάποια μετατροπή στο μήκος του σωλήνα, η οποία θα μπορούσε να βελτιώσει την ιδιοσυχνότητα του μεγάφωνου (loudspeaker).

Στη συνέχεια, αφού κάναμε τις απαιτούμενες μετατροπές στη συνδεσμολογία του συστήματος, προχωρήσαμε στη διεξαγωγή μετρήσεων του ηχείου χωρίς μονωτικό υλικό. Αρχικά οι μετρήσεις έγιναν με το αναλογικό crossover (ηλεκτρονικό κύκλωμα οδήγησης

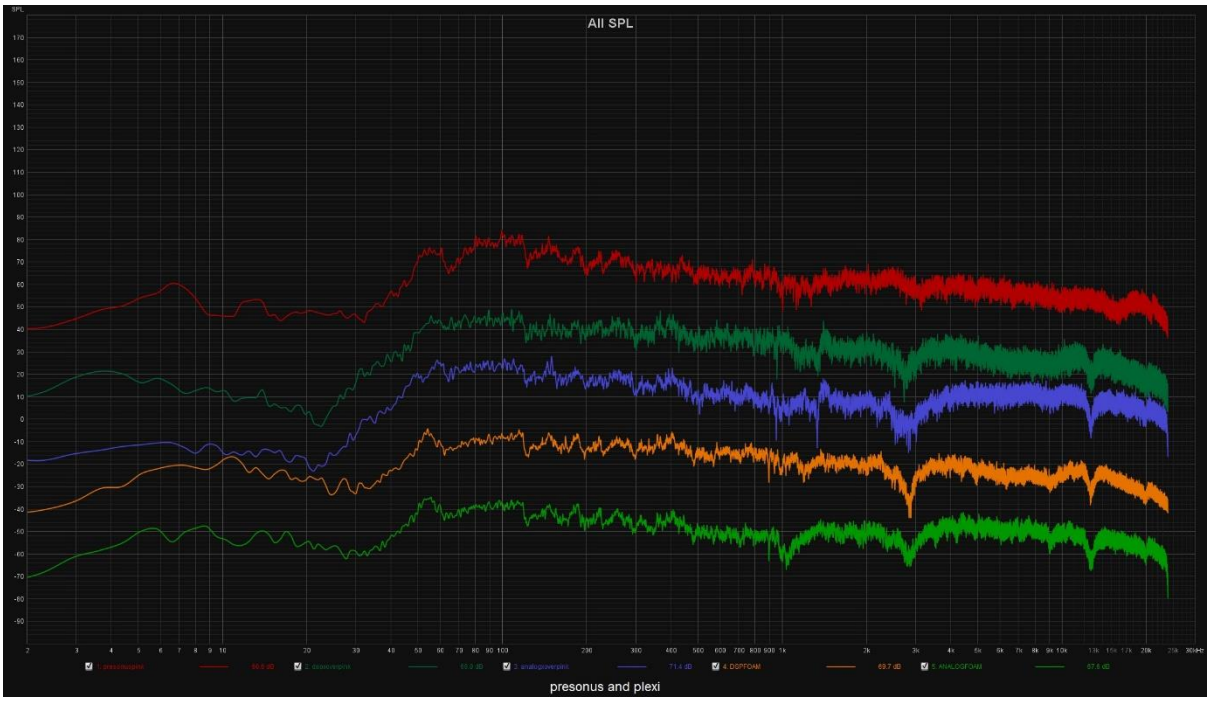
μεγάφωνων με φίλτρα συχνοτήτων) και έπειτα με ψηφιακό crossover (DSP με την χρήση κάρτας ήχου και του ΗΥ).

Στη συνέχεια, διατηρώντας την ίδια συνδεσμολογία, επαναλήφθηκαν οι ίδιες μετρήσεις με τη διαφορά ότι αυτή τη φορά έγινε εφαρμογή μονωτικού υλικού στο εσωτερικό



της κατασκευής μας. Οι μετρήσεις έγιναν με την χρήση Pink Noise αντι για Frequency Sweep ώστε να πετύχουμε καλύτερο και πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα στη μέτρηση μας.

Στο διάγραμμα πιο κάτω, παρουσιάζονται οι μετρήσεις που έγιναν με Pink Noise τόσο στο studio monitor PreSonus Eris5 όσο και στη δική μας κατασκευή studio monitor από Plexiglass, όπως φαίνεται πιο κάτω:



MEASUREMENT 5: PRESONUS VS PLEXIGLASS

Κόκκινο: Presonus eris 5.

Σκούρο πράσινο: Ψηφιακό crossover (2.5kHz) χωρίς μονωτικό υλικό στο studio monitor από Plexiglass.

Μπλέ: Αναλογικό crossover (~4kHz) χωρίς μονωτικό υλικό στο studio monitor από Plexiglass.

Πορτοκαλί: Ψηφιακό crossover (2.5kHz) με μονωτικό υλικό στο studio monitor από Plexiglass.

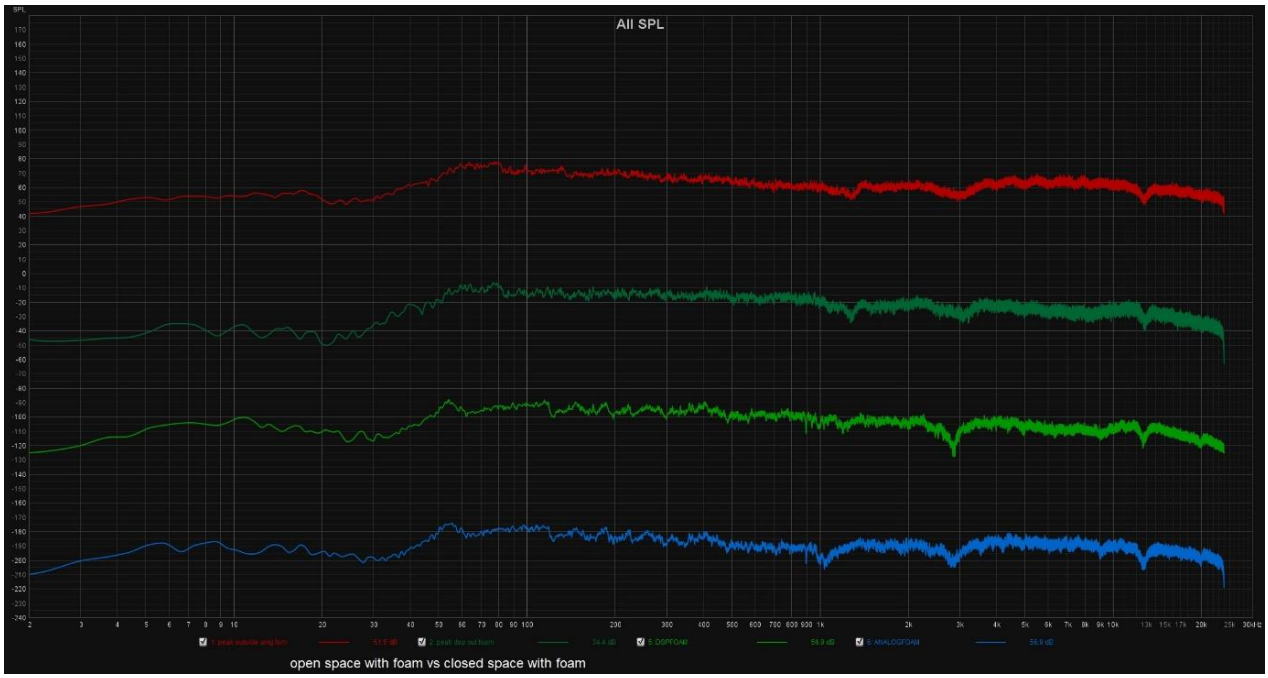
Ανοιχτό πράσινο: Αναλογικό crossover (~4kHz) με μονωτικό υλικό στο studio monitor από Plexiglass.

Μέσω της πιο πάνω μέτρησης είναι εμφανές πως το PreSonus Eris 5 πετυχαίνει μία πιο επίπεδη συχνοτική απόκριση από τη δική μας κατασκευή. Παράλληλα παρατηρείται πώς και τα δύο studio monitors παρουσιάζουν αδυναμία κάτω από τα 50Hz κάτι το οποίο είναι απόλυτα λογικό εάν αναλογιστούμε ότι τα drivers που χρησιμοποιούν δεν είναι κατασκευασμένα για αυτό το σκοπό. Σημαντικό είναι να σχολιαστεί ότι το μονωτικό υλικό βοηθά στην ευκρίνεια αναπαραγωγής των συχνοτήτων αλλά δεν καταφέρνει να επηρεάσει

κατά μεγάλο βαθμό το τελικό αποτέλεσμα. Το dsp σε σύγκριση με το αναλογικό crossover λειτουργεί πολύ πιο καλά για το ηχείο που κατασκευάσαμε αφού μπορούμε να επέμβουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια στο ακουστικό αποτέλεσμα.

Παράλληλα, στο πιο κάτω σχεδιάγραμμα παρουσιάζεται η σύγκριση της συχνοτικής απόκρισης του ηχείου της κατασκευής από Plexiglass σε συνδυασμό με το μονωτικό υλικό σε ανοικτό αλλά και σε κλειστό χώρο. Στις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν αναλογικά και ψηφιακά crossover ώστε να μελετήσουμε την επίδραση και αυτού του παράγοντα.

Όπως παρατηρείται αμέσως, αν και οι διακυμάνσεις κατά μήκος του συχνοτικού φάσματος έχουν μειωθεί κατά ένα βαθμό, δεν έχουν εξαλειφθεί τελείως, κάτι το οποίο επιβεβαιώνει την πιο πάνω θεωρία μας ότι πιθανόν να υπάρχουν αδυναμίες στο tweeter το οποίο επιλέγηκε. Η πτώση ακουστικής πίεσης στην συχνότητα των 2850Hz, που παρατηρήθηκε στη προηγούμενη μέτρηση, έχει μειωθεί σημαντικά αλλά εξακολουθεί να υπάρχει. Ταυτόχρονα, η συχνότητα στα 12750Hz παραμένει ως έχει ενώ παρατηρείται και μια γενική εξομάλυνση στην παραγωγή των χαμηλών συχνοτήτων, τόσο σε ανοιχτό χώρο όσο και σε κλειστό χώρο. Όσο για το είδος του crossover, φαίνεται ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν έχει σημαντική επίδραση στο φάσμα των συχνοτήτων.



MEASUREMENT 6

Κόκκινο: Χωρίς μονωτικό υλικό αναλογικό crossover

Σκούρο πράσινο: Χωρίς μονωτικό υλικό dsp

Ανοιχτό πράσινο: Μονωτικό υλικό dsp

Μπλε: Μονωτικό υλικό αναλογικό crossover

Συμπεράσματα-Συζήτηση

Έχοντας υλοποιήσει μια πληθώρα διαφορετικών μετρήσεων αναφορικά με την απόδοση του κατασκευασμένου από εμάς ηχείου (speaker) Plexiglass σε σύγκριση με την απόδοση του ξύλινου ηχείου αγοράς Presonus Eris5, η πρώτη εικόνα που έχουμε αποκτήσει είναι το ότι το Plexiglass ως υλικό κατασκευής ηχείων μπορεί να πετύχει ένα αρκετά καλό αποτέλεσμα συχνοτικής απόκρισης, παρά το ότι θεωρείται ένα υλικό το οποίο δεν ενδείκνυται για την κατασκευή επαγγελματικού ηχείου. Αν και οι μετρήσεις που έγιναν στα πλαίσια της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας παρουσιάζουν κάποιες αδυναμίες, όπως θα αναλυθεί και στη συνέχεια, ωστόσο είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι οι μετρήσεις δεν έγιναν στις ιδανικές συνθήκες λόγω των περιορισμών που είχαμε.

Συγκεκριμένα, από τις μετρήσεις που διεξάχθηκαν παρατηρήθηκε ότι το ηχείο που κατασκευάσαμε έχει μια σημαντική αδυναμία στην παραγωγή των συχνοτήτων 2850 Hz και 12750 Hz. Αυτό θεωρούμε ότι δεν οφείλεται στην παρουσία στάσιμων κυμάτων, αφού όταν χρησιμοποιήθηκε μονωτικό υλικό για να μελετηθεί η επίδρασή του, η αδυναμία αυτή συνέχισε να υπάρχει και έτσι το πρόβλημα αυτό δεν λύθηκε. Μάλιστα ακόμη και η χρήση ψηφιακού DSP μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή δεν είχε κάποιο αποτέλεσμα στη βελτίωση της παραγωγής των πιο πάνω συχνοτήτων. Συμπερασματικά, καταλήξαμε στο ότι το μειονέκτημα αυτό παρουσιάστηκε λόγω των συχνοτικών αδυναμιών των driver που χρησιμοποιήσαμε.

Προχωρώντας στην σύγκριση των μετρήσεων, είναι σημαντικό να σχολιαστεί ότι το tweeter που επιλέγηκε παράγει πιο ψηλή ηχητική πίεση από ότι θα θέλαμε ιδανικά ώστε να πετύχουμε επίπεδη συχνοτική απόκριση με το αναλογικό crossover (ηλεκτρονικό κύκλωμα οδήγησης μεγάφωνων με φίλτρα συχνοτήτων). Ενώ με τη χρήση αναλογικού crossover επιτεύχθηκε ένα ακουστικά ευχάριστο αποτέλεσμα χρειάστηκε η παρεμβολή μας με το DSP για να εξισορροπηθούν οι υψηλές συχνότητες σε σχέση με τις χαμηλές, όπως άλλωστε φαίνεται στη σύγκριση των μετρήσεων 2 και 4 με τις αντίστοιχες μετρήσεις 3 και 5.

Όσον αφορά στο μονωτικό υλικό παρατηρούμε ότι αν και στις μετρήσεις μας φαίνεται με τη χρήση του να υπάρχει μεγαλύτερη ευκρίνεια, αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι μπορεί να συμβάλει στο να υπάρξει ένα καλύτερο ακουστικό αποτέλεσμα. Αντιθέτως η

χρήση του μονωτικού υλικού είχε ως αποτέλεσμα να γίνουν πιο έντονες οι ‘’προβληματικές’’ συχνότητες του ηχείου και παράλληλα να ενισχυθεί η συχνότητα των 55Hz με αποτέλεσμα να μην είναι πλέον επίπεδη η ανταπόκριση του ηχείου (speaker) ούτε στις χαμηλές συχνότητες.

Προχωρώντας στη σύγκριση της δικής μας κατασκευής ηχείου από Plexiglass με το ξύλινο ηχείο Presonus Eris5 φάνηκε ότι το ηχείο αγοράς κατάφερε να αποδώσει πιο επίπεδο αποτέλεσμα στις μετρήσεις συχνοτικής απόκρισης που διεξάγαμε. Παρόλα αυτά, η προσωπική μας άποψη είναι ότι ακουστικά το αποτέλεσμα που παράγεται από το ηχείο που κατασκευάσαμε είναι πιο ευχάριστο στα αυτιά για τον κοινό ακροατή, κάτι που το κατατάσσει στην κατηγορία του home audio ή hifi audio. Παράλληλα, η κατασκευή από Plexiglass δίνει την αίσθηση ότι αναπαράγει πιο εύκολα τις χαμηλές και τις μεσαίες συχνότητες ενώ διατηρεί έντονη παρουσία και στις ψηλές.

Συγκεντρώνοντας τα πιο πάνω στοιχεία καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το ακρυλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν υλικό κατασκευής ηχείων με απαραίτητη προϋπόθεση όμως να χρησιμοποιηθούν αρκετά καλής ποιότητας drivers αλλά και η σωστή ποσότητας και πυκνότητα μονωτικού υλικού.

Εν κατακλείδι, η δημιουργία ηχείων (speaker) από Plexiglass, αποτελεί μια εναλλακτική επιλογή υλικού κατασκευής που διαφέρει από τις συνηθισμένες επιλογές και χρειάζεται να διερευνηθεί περαιτέρω, ώστε να επιτευχθεί η δημιουργία άρτιων ηχείων που να μπορούν να ανταγωνιστούν επαρκώς αντίστοιχα εμπορικά ηχεία.

Βιβλιογραφία (τελευταία ημερομηνία πρόσβασης : 31/01/24)

Allen, H. S. (1973). A STUDY OF THE OPERATION AND CONSTRUCTION OF SPEAKER SYSTEMS/ENCLOSURES (Doctoral dissertation, Texas State University).

Asdrubali, F., & Pispola, G. (2007). Properties of transparent sound-absorbing panels for use in noise barriers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *121*(1), 214-221.

Audio Affair Blog. (2015, February 7). How To: Understand Drivers! Audio Affair Blog. Retrieved April 7, 2023, from https://www.audioaffair.co.uk/blog/how-to-understand-drivers/

Bellis, M. (2018, February 27). *History of the Loudspeaker*. ThoughtCo. Retrieved June 13, 2023, from https://www.thoughtco.com/history-of-loudspeaker-4076782#:~:text=First%20Loudspeakers%20Installed%20in%20Telephones&text=Alexander%20Graham%20Bell%20patented%20his,loudspeaker%20driven%20by%20compressed%20air

Bellis, M. (2022, May 26). *Biography of Alexander Graham Bell, Inventor of the Telephone*. ThoughtCo. Retrieved June 13, 2023, from https://www.thoughtco.com/biography-alexander-graham-bell-4066244

Carvin Audio (2020, December 10). *THE "GOLDEN RATIO" IN SOUND*. CARVIN AUDIO BLOG. Retrieved April 7, 2023, from https://carvinaudio.com/blogs/audio-education/the-golden-ratio-in-sound

Eargle, J. (1979). Requirements for Studio Monitoring. *db Magazine*.

Ferguson, A. (2022, January 5). *Let There Be Sound: The Interesting History of Speakers*. Deckersons. Retrieved June 12, 2023, from https://www.deckersons.com/blog/speaker-history

Fox, A. (n.d.). *What Are Speaker Drivers? (How All Driver Types Work)*. MY NEW MICROPHONE. Retrieved July 03, 2023 from https://mynewmicrophone.com/what-are-speaker-drivers-how-all-driver-types-work/

Glass Doctor (2019, March 5). *What Is Plexiglass?* Glass Doctor. Retrieved May 5, 2023, from https://glassdoctor.com/blog/what-is-plexiglass

Kolbrek, B. (2008). Horn theory: An introduction, part 1. *Audio Xpress*, *1*(269), 1-8.

McNamara, R. (2018, May 2). *Edison's Invention of the Phonograph*. ThoughtCo. Retrieved June 13, 2023, from https://www.thoughtco.com/invention-of-the-phonograph-4156528

Nisula, J., Holm, J., & Mäkivirta, A. (2013, August). Calculating Sound Radiation from Loudspeaker Enclosures Using the Finite Element Analysis. In Audio Engineering Society Conference: 51st International Conference: Loudspeakers and Headphones. Audio Engineering Society.

Olson, H. F. (1957). *Acoustical engineering*. van Nostrand.

Rohm. (n.d.). Bonding PLEXIGLAS®. Retrieved from https://www.plexiglas.de/en/service/processing/bonding-plexiglas

Pomerantz, B. (2015). How to choose a crossover Send the right signal to your speakers and tweeters. Crutchfield. https://www.crutchfield.com/S-q7mpYkna85e/learn/car-what-is-a-crossover.html#:~:text=Active%20or%20passive%3F,tuning%20control%20over%20your%20music. α

Redaktion, T. (2015) 3 most common speaker drivers: Horn, cone and dome, Teufel blog. Available at: https://blog.teufelaudio.com/3-most-common-speaker-drivers-horn-cone-and-dome/

Runnemalm, A. (1999). Standing waves in a rectangular sound box recorded by TV holography. *Journal of Sound and Vibration*, *224*(4), 689-707.

Schott, W. M. (1974). U.S. Patent No. 3952159A. Zenith Electronics LLC

Schott, W. M. (1974, May). Vented Enclosure Design Using Computer Simulation. In Audio Engineering Society Convention 48. Audio Engineering Society.

Sokol, E. (2022, May 22). *Plexiglass vs Glass: Which is Better for Soundproofing?* Better Soundproofing. Retrieved October 9, 2023, from https://bettersoundproofing.com/plexiglass-vs-glass-for-soundproofing/

Webster, R. (2001) "Noise and Vibration", Plant Engineer's Handbook, pp. 707-719. doi: 10.1016/b978-075067328-0/50044-6.

Zazo, A. (2019, July 7). SOUND TRANSMISSION FOR PLEXIGLASS SHEETS. Retrieved May 25, 2023, from https://www.eplastics.com/blog/sound-transmission-plexiglass-

sheets#:~:text=Plexiglass%20Noise%20Reduction%20Sound%20Barrier,safety%20at%20the%20same%20time