



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ  
ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ Α.Τ.Ε.Ι ΡΕΘΥΜΝΟΥ**

## **Πτυχιακή Εργασία**

**Τίτλος: Κατασκευή Active Nearfield  
Studio Monitor Για Χρήση Με  
Ηλεκτρονικό Υπολογιστή**

**Επιμέλεια: Κλειδωνάρης Αλέξανδρος  
Α.Μ 296**

**Επιβλέπων Καθηγητής : Καραδελόγλου Πρόδρομος**

**Ρέθυμνο 2015**

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα προτού περάσουμε στην εργασία να ευχαριστήσω για την συμβολή και συμβουλές τους κάποια πρόσωπα που με βοήθησαν να φέρω εις πέρας την εν λόγω εργασία.

Πρώτα από όλα τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Καραδελόγλου Πρόδρομο που ήταν δίπλα μου όποτε τον χρειάστηκα. Με της πολύτιμες γνώσεις του, μου έδωσε κατευθυντήριες γραμμές και με “απεγκλώβισε” όποτε χρειάστηκε από οποιοδήποτε πρόβλημα ήρθε στην επιφάνεια.

Την οικογένεια μου, που χωρίς την ηθική αλλά και οικονομική υποστήριξη τους δεν θα κατάφερνα να φτάσω εδώ.

Τον κύριο Σταθόπουλο Πάρη που μου έδωσε την αρχική ιδέα να υλοποιήσω το ηλεκτρονικό κομμάτι τυπωμένο σε πλακέτα και με έμαθε στην ουσία πως γίνεται αυτό, καθώς και την συνδρομή του στο να με προμηθεύσει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για αυτή την δουλειά.

Τον κύριο Πολύζο Στέλιο που συνέβαλε και αυτός με την σειρά του στο έργο μου με το να δημιουργήσει τα σχέδια της καμπίνας και εν συνεχεία να με βοηθήσει στην κατασκευή της, παρέχοντας μου την γνώση και εμπειρία του στο αντικείμενο των κατασκευών αλλά και τα εργαλεία που χρειάστηκαν για να μπορέσει αυτό να υλοποιηθεί.

Τέλος να ευχαριστήσω τους κύριους Καλέσιο Θώμα και Καϊμάκη Νικόλαο που με την πείρα τους στην συγγραφή με βοήθησαν να διορθώσω το εν λόγω κείμενο, και να το παρουσιάσω όσο το δυνατόν καλύτερα.

## **Περίληψη**

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η κατασκευή και μελέτη ενός active nearfield studio monitor, το οποίο θα τροφοδοτείται από Usb θύρα υπολογιστή. Για την κατασκευή επιλέξαμε τα κατάλληλα υλικά του εμπορίου με γνώμονα τη χρησιμότητά τους, τη συμβατότητα και το μικρότερο κόστος τους. Μετά το στάδιο της κατασκευής μετρήσαμε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της κάθε επιμέρους μονάδας του ηχείου μας. Τέλος μετρήσαμε τη συχνοτική απόκριση του ηχείου μας.

Με τα στάδια αυτά θελήσαμε να δείξουμε βήμα-βήμα το πως κατασκευάζεται ένα active nearfield studio monitor τροφοδοτούμενο από Usb θύρα, το πώς εκτέμνει και συμπεριφέρεται στο χώρο.

## **Abstract**

The aim of this essay is to construct and study an active nearfield studio monitor, which can be powered by computer via Usb port. For the construction we select the best trade materials according to their usefulness, compatibility and lowest cost. After the construction, we measured the qualitative characteristics of each individual speaker units. Finally, we measured the frequency response of the loudspeaker.

We wanted to demonstrate you step by step how to make an active nearfield studio monitor usb-powered, and how it transmits and behaves when in place.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	σελ. 2
Περίληψη.....	σελ. 3
Abstract.....	σελ. 3
<b>1</b> Εισαγωγή.....	σελ. 6
<b>2</b> Ηχεία Nearfield Studio Monitor.....	σελ. 8
<b>3</b> Ενισχυτές ήχου.....	σελ. 9
<b>3.1</b> Χαρακτηριστικά μεγέθη ενισχυτών.....	σελ. 10
<b>3.1.1</b> Μέγιστη Ισχύς Εξόδου.....	σελ. 10
<b>3.1.2</b> Ολική Αρμονική Παραμόρφωση.....	σελ. 10
<b>3.1.3</b> Απόκριση Συχνοτήτων.....	σελ. 10
<b>3.1.4</b> Ευαισθησία Εισόδου.....	σελ. 10
<b>3.1.5</b> Αντίσταση Εισόδου:.....	σελ. 11
<b>3.1.6</b> Θόρυβος:.....	σελ. 11
<b>3.2</b> Τάξεις Λειτουργίας Ενισχυτών.....	σελ. 11
<b>3.2.1</b> Τάξη "A".....	σελ. 11
<b>3.2.2</b> Τάξη "B".....	σελ. 11
<b>3.2.3</b> Τάξη "AB".....	σελ. 12
<b>3.2.4</b> Τάξη "C".....	σελ. 12
<b>3.3</b> Κατασκευή Ενισχυτή.....	σελ. 13
<b>3.3.1</b> Διαδικασία τυπώματος πλακέτας.....	σελ. 15
<b>3.4</b> Μετρήσεις Ενισχυτή/Αποτελέσματα.....	σελ. 19
<b>3.4.1</b> Μέγιστη Ισχύς Εξόδου.....	σελ. 19

3.4.2	Απόκριση Συχνοτήτων.....σελ.	19
3.4.3	Ευαισθησία Εισόδου.....σελ.	21
4	Crossover.....σελ.	22
4.1	Φίλτρα διέλευσης.....σελ.	23
4.1.1	Βαθυπερατό (Low Pass).....σελ.	23
4.1.2	Υψιπερατό (High Pass).....σελ.	23
4.1.3	Ζωνοπερατό (Band Pass).....σελ.	24
4.2	Κατασκευή Φίλτρων.....σελ.	25
4.3	Κατασκευή Crossover/Μετρήσεις.....σελ.	27
4.4	Αποτελέσματα .....	σελ. 29
5	Μεγάφωνα.....σελ.	30
5.1	Τα μεγάφωνα της κατασκευής μας.....σελ.	34
6	Κουτί \Καμπίνα.....σελ.	36
6.1	Τύποι καμπίνας.....σελ.	36
6.1.1	Καμπίνες κλειστού τύπου.....σελ.	36
6.1.2	Καμπίνες ανοιχτού τύπου bass reflex.....σελ.	37
6.2	Παράμετροι Thiele/Small.....σελ.	38
6.3	Κατασκευή Καμπίνας.....σελ.	40
6.4	Μετρήσεις συχνοτικής απόκρισης μεγαφώνου.....σελ.	48
6.5	Αποτελέσματα .....	σελ. 49
7	Συμπεράσματα.....σελ.	52
	Βιβλιογραφία.....σελ.	55

# **1. Εισαγωγή**

Στόχος της εργασίας μας είναι η κατασκευή και μελέτη ενός active nearfield studio monitor, το οποίο θα τροφοδοτείται από Usb θύρα υπολογιστή. Στο στάδιο της κατασκευής το οποίο ήταν το πιο χρονοβόρο και συνάμα το πιο ενδιαφέρον επιλέξαμε τα κατάλληλα και φθηνότερα υλικά. Εν συνεχεία πραγματοποιήσαμε μια σειρά κατάλληλων ελέγχων για να παρακολουθήσουμε τη συμπεριφορά του ηχείου μας και των επιμέρους μονάδων του.

Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα στα εργαστήρια ηλεκτρονικών και studio ηχοληψίας του ΑΤΕΙ Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής που εδρεύει στο Ρέθυμνο καθώς και στο εργαστήριο ηλεκτρονικής της ΣΕΛΕΤΕ.

Προγράμματα που χρησιμοποιήσαμε για να φέρουμε εις πέρας την μελέτη μας ήταν τα Eminence Designer και BoxPlot, τα οποία μας επιτρέπουν να υπολογίσουμε το μέγεθος της καμπίνας βάσει των χαρακτηριστικών Thielle/Small των μεγαφώνων μας, το Pad2Pad για την κατασκευή και χάραξη της πλακέτας μας, το οποίο μας επιτρέπει να τυπώνουμε και να ελέγχουμε την λειτουργία της πλακέτας. Επίσης χρησιμοποιήσαμε για τον υπολογισμό διαφόρων μεγεθών και διάφορα ακόμα προγράμματα που είναι διαθέσιμα μέσω διαδικτύου, για τα οποία γίνεται λόγος στα επόμενα κεφάλαια.

Αφού φέραμε εις πέρας το τεχνικό κομμάτι της πτυχιακής μας εργασίας περάσαμε στη συγγραφή της. Ξεκινάμε με μια σύντομη ανάλυση- ορισμό των nearfield studio monitor. Τα κεφάλαια που ακολουθούν αντιστοιχούν στα επιμέρους τμήματα του ηχείου μας. Το καθένα από αυτά τα κεφάλαια χωρίζεται σε θεωρητικό μέρος ανάλυσής του, ακολουθείται από ένα τμήμα όπου παρουσιάζεται ο τρόπος κατασκευής του συνοδευόμενο από εικόνες και γραφήματα και κλείνει η παρουσίαση του κάθε τμήματος με τις μετρήσεις που κάναμε.

Κλείνουμε με τα συμπεράσματά μας και τη βιβλιογραφία. Ευελπιστούμε η παρουσίασή μας να είναι κατανοητή και επαρκής και να αποδίδει με τον καλύτερο τρόπο τον κόπο και την ποιότητα της δουλειάς μας.

## **2. Ηχεία Nearfield Studio Monitor.**

Τα ηχεία Monitor είναι ειδικά σχεδιασμένα ώστε να ικανοποιούν επαγγελματικές ανάγκες κατά κύριο λόγο.

Τα nearfield studio monitor είναι ηχεία αναφοράς για ακρόαση σε studio ή home studio, δεν χρωματίζουν τον ήχο για να ηχογραφούμε ή να ακούμε ακριβώς αυτό που έχει εγγραφεί. Μπορούμε να βρούμε ενεργά και παθητικά ηχεία αυτού του τύπου. Τα ενεργά (active nearfield studio monitor) περιλαμβάνουν μονάδα ενισχυτή, ενώ τα παθητικά χρειάζονται εξωτερική ενίσχυση. Τα nearfield όντας συνήθως τοποθετημένα σε μικρή απόσταση από τον ηχολήπτη έχουν αναγκαστικά μικρές φυσικές διαστάσεις, και συνήθως είναι δύο δρόμων με ένα tweeter και ένα woofer από 3,5 – 6,5 ίντσες, φέρουν είσοδο balanced σε μορφή υποδοχής XLR η TRS , καθώς επίσης είθισται να φέρουν ρυθμιστικά στάθμης στην οπίσθια (συνήθως) όψη ξεχωριστά για κάθε κλάδο του crossover, ως επίσης και ρυθμιστικό συνολικής έντασης.

Τα βασικά μέρη ενός active nearfield studio monitor είναι:

1. Ο ενισχυτής ο οποίος είναι η βαθμίδα διαχείρισης και ενίσχυσης του σήματος που λαμβάνουμε από της πηγές ήχου.
2. Το Crossover για τον διαχωρισμό των συχνοτήτων προς το woofer και το tweeter.
3. Το Tweeter το οποίο αναλαμβάνει την αναπαραγωγή των μέσο-υψηλών συχνοτήτων.
4. Το Woofer το οποίο συντονίζεται με την καμπίνα για τη σωστή λειτουργία και απόδοση των χαμηλών συχνοτήτων.
5. Το κουτί /καμπίνα.



### **3. Ενισχυτές ήχου.**

Ο ενισχυτής ήχου είναι ένα κύκλωμα σκοπός του οποίου είναι να ενισχύσει ένα σήμα χαμηλής ισχύος. Παρεμβάλλεται μεταξύ μιας πηγής σήματος (που μπορεί να είναι μία πραγματική πηγή ή μία προηγούμενη ενισχυτική βαθμίδα) και ενός φορτίου. Το σήμα της εισόδου είναι συνήθως της τάξης του 1 Volt και κάποιων mA, ενώ η έξοδος του ποικίλει ανάλογα με την ισχύ που θέλουμε να παράγουμε. Το φορτίο που οδηγεί ένας ενισχυτής είναι το ηχείο το οποίο χαρακτηρίζεται από την ωμική του αντίσταση.

Οι ενισχυτές ήχου χωρίζονται σε κατηγορίες σύμφωνα με τα standard του εμπορίου. 1) Στους ολοκληρωμένους ενισχυτές και 2) στους τελικούς ενισχυτές.

1) Ολοκληρωμένοι ενισχυτές είναι οι ενισχυτές που διαθέτουν όλες τις βαθμίδες που απαιτούνται για την οδήγηση ενός σήματος ήχου από μια πηγή στα ηχεία, δηλαδή:

- α) Βαθμίδα επιλογής εισόδων
- β) Βαθμίδα προενισχυτή
- γ) Τελική βαθμίδα ενίσχυσης.
- δ) Τροφοδοτικό.

2) Τελικός λέγεται ο ενισχυτής που δεν έχει βαθμίδα επιλογής εισόδου και βαθμίδα προενίσχυσης παρά μόνο τη βαθμίδα ισχύος και τροφοδοτικό.

Οι τελικοί ενισχυτές ήχου μπορούν κατά κανόνα να δώσουν ένα μέτριο μόνο κέρδος τάσης αλλά σημαντικό κέρδος ρεύματος. Αυτός είναι ο λόγος που οι τελικοί ενισχυτές ήχου ανήκουν στην κατηγορία των ενισχυτών ισχύος.

### **3.1 Χαρακτηριστικά μεγέθη ενισχυτών.**

Οι ενισχυτές ισχύος χαρακτηρίζονται από ορισμένα μεγέθη, σύμφωνα με τα οποία μπορούμε να αντιληφθούμε την ποιότητα τους. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι τα παρακάτω:

#### **3.1.1 Μέγιστη Ισχύς Εξόδου:**

Όπως καταλαβαίνουμε από το όνομα, πρόκειται για την μέγιστη ισχύ που μπορεί να δώσει στην έξοδό του ένας ενισχυτής. Στην πραγματικότητα μιλάμε για το ρεύμα που είναι σε θέση να δώσει ο ενισχυτής πάνω σε συγκεκριμένο φορτίο και μετράται σε Watt RMS.

#### **3.1.2 Ολική Αρμονική Παραμόρφωση:**

Όταν τροφοδοτούμε ένα σήμα σε έναν ενισχυτή, θέλουμε το σήμα στην έξοδο του ενισχυτή να είναι ακριβές αντίγραφο αυτού της εισόδου έχοντας φυσικά μεγαλύτερο πλάτος. Κάθε αλλαγή στην κυματομορφή θεωρείται παραμόρφωση και είναι προφανώς ανεπιθύμητη. Η ολική αρμονική παραμόρφωση είναι μία ένδειξη του κατά πόσο έχει παραμορφωθεί το σήμα εισόδου στην έξοδο του ενισχυτή λόγω της εισαγωγής ανεπιθύμητων συχνοτήτων. Συνήθως στους ενισχυτές η παραμόρφωση μετριέται για σήμα αναφοράς 1KHz και για ισχύ 1Watt, καθώς επίσης και για την μέγιστη τιμή ισχύος εξόδου! Η ολική αρμονική παραμόρφωση μετριέται σε ποσοστό επί τοις εκατό. Ένας ιδανικός ενισχυτής έχει THD=0%.

#### **3.1.3 Απόκριση Συχνοτήτων:**

Δείχνει το κατά πόσο ο ενισχυτής είναι ικανός να ενισχύσει το ίδιο όλες τις συχνότητες του ακουστικού φάσματος. Συνήθως τη συναντάμε σαν μία καμπύλη συχνότητας /ρεύματος. Στην ιδανική περίπτωση η καμπύλη αυτή πρέπει να είναι επίπεδη για την περιοχή 5Hz έως 25KHz.

#### **3.1.4 Ευαισθησία Εισόδου:**

Είναι η στάθμη του σήματος εισόδου στην οποία ο ενισχυτής αποδίδει το μέγιστο απαραμόρφωτο σήμα στην έξοδό του πάνω σε συγκεκριμένο ωμικό φορτίο. Η στάθμη του σήματος εισόδου μετριέται σε  $V_{rms}$ .

### **3.1.5 Αντίσταση Εισόδου:**

Είναι η τιμή της ωμικής αντίστασης εισόδου για σωστή προσαρμογή της πηγής του σήματος εισόδου με τον ενισχυτή.

### **3.1.6 Θόρυβος:**

Είναι η στάθμη παρασιτικών σημάτων στην έξοδο του ενισχυτή (έχοντας την ένταση στην μέγιστη τιμή της) όταν η είσοδος δεν έχει σήμα. Ο θόρυβος προέρχεται από τα εσωτερικά κυκλώματα του ενισχυτή.

## **3.2 Τάξεις Λειτουργίας Ενισχυτών.**

Σημαντική είναι η ταξινόμηση ενισχυτών σε σχέση με την τάξη λειτουργίας τους. Όπως θα δούμε παρακάτω, η τάξη λειτουργίας στην οποία δουλεύει ένας ενισχυτής μας δίνει αμέσως πολλές πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά του. Γι' αυτό άλλωστε είναι το πρώτο χαρακτηριστικό που διαβάζουμε στην περιγραφή ενός ενισχυτή. Τα κυκλώματα ενισχυτών ισχύος (βαθμίδες εξόδου) ταξινομούνται ως : A, B, AB και C για τους αναλογικούς ενισχυτές.

### **3.2.1 Τάξη "A"**

Οι ενισχυτικές διατάξεις τάξης "A" λειτουργούν καθ'ολη την διάρκεια εισόδου έτσι ώστε το σήμα εισόδου να είναι ακριβές αντίγραφο του σήματος εξόδου αλλά ενισχυμένο και χωρίς παραμόρφωση. Οι ενισχυτές αυτοί είναι συνήθως μικρής ισχύος και με μικρό βαθμό απόδοσης, λόγω της διάταξης τους άγουν συνεχώς ακόμα και όταν δεν υπάρχει σήμα εισόδου με αποτέλεσμα να καταναλώνουν συνεχώς ηλεκτρική ισχύ. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος χαμηλού βαθμού απόδοσης του ενισχυτή.

### **3.2.2 Τάξη "B"**

Οι διατάξεις τάξης "B" ενισχύουν μόνο τον μισό κύκλο του σήματος και αποκόπτουν το άλλο μισό με αποτέλεσμα να παράγουν υψηλή παραμόρφωση αλλά με πιο βελτιωμένο βαθμό απόδοσης σε σχέση με την τάξη "A". Για την παραγωγή ενός ολοκλήρου σήματος (κυματομορφή) χρειάζονται δυο στοιχεία όπου το ένα θα ενισχύει την

θετική ημιπερίοδο και το άλλο την αρνητική. Αυτή η διάταξη δίνει πολύ καλό βαθμό απόδοσης.

### **3.2.3 Τάξη "AB".**

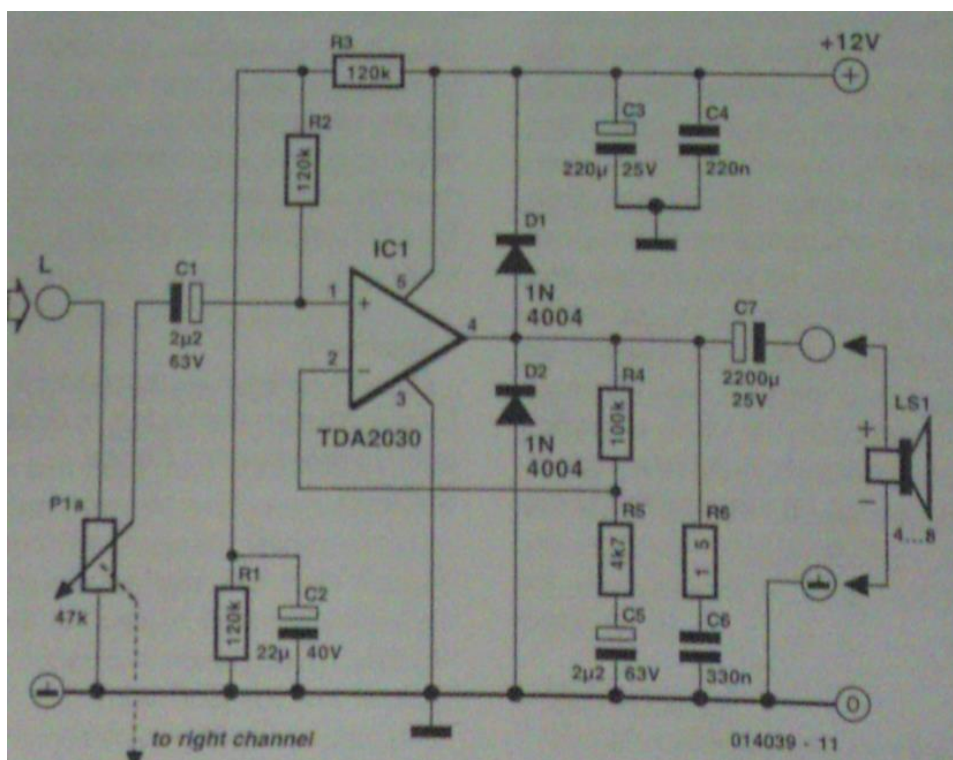
Σε αυτή την τάξη κάθε στοιχείο λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως στην τάξη "B" (μισή κυματομορφή), αλλά ταυτόχρονα ένα άλλο βρίσκεται σε αγωγή (άγει) με αποτέλεσμα να μειώνεται το νεκρό κομμάτι ανάμεσα στις δυο μισές κυματομορφές. Αυτή η διάταξη λειτουργίας είναι η πιο πολυχρησιμοποιημένη για τον λόγο ότι έχει αρκετά καλό βαθμό απόδοσης 60-70% σε σχέση με την τάξη "A", αλλά με μικρότερη γραμμικότητα σε σχέση με αυτήν. Είναι μια "συμβιβαστική" τάξη καθώς έχει αρκετά καλή πιστότητα αναπαραγωγής στις χαμηλές εντάσεις αλλά και στις υψηλές. Η παραμόρφωση που παράγει αυτή η τάξη ενισχυτών δεν γίνεται εύκολα αντιληπτή γιατί η στάθμη της εξόδου του είναι κατά πολύ υψηλότερη!

### **3.2.4 Τάξη "C"**

Η ενισχυτική τάξη "C" άγει λιγότερο από 50% κατά την λειτουργία της. Η παραμόρφωση στην έξοδο είναι σημαντικά αυξημένη αλλά μπορούμε να πετύχουμε απόδοση ισχύος μέχρι και 90% υψηλότερη από τις προηγούμενες κλάσεις ενισχυτών. Οι ενισχυτές αυτοί δεν χρησιμοποιούνται για ενίσχυση ήχου λόγω της πολύ υψηλής παραμόρφωσης τους καθώς το μόνο που βγάζουν στην έξοδο τους είναι ένα σήμα παλμού.

### 3.3 Κατασκευή Ενισχυτή

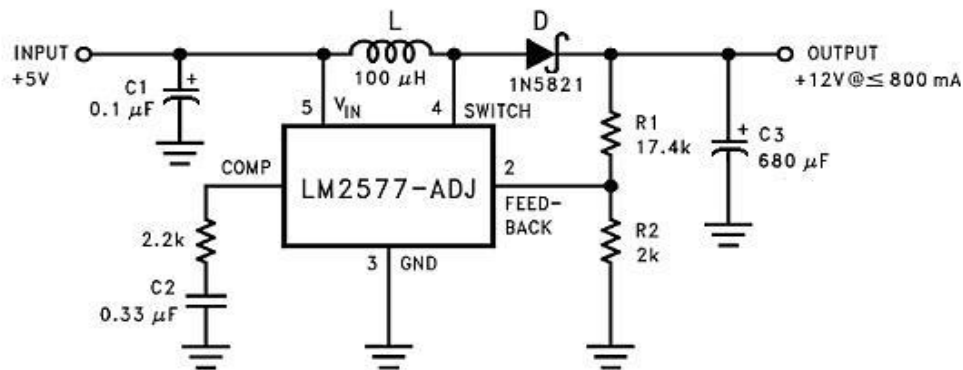
Για την κατασκευή του ενισχυτή που θα χρησιμοποιήσουμε για να δρομολογήσουμε το monitor μας χρησιμοποιήσαμε ένα ολοκληρωμένο ενισχυτή ισχύος, τον TDA 2030V<sup>1</sup> όπως ακριβώς φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Χρησιμοποιώντας το κύκλωμα της τυποποιημένης εφαρμογής μπορούμε να δημιουργήσουμε έναν τελικό ενισχυτή που να δρομολογήσει οποιοδήποτε μεγάφωνο σύνθετης αντίστασης 4<sup>ov</sup> ή 8 Ohm.



Για να μπορέσουμε να θέσουμε όμως σε λειτουργία τον παραπάνω ενισχυτή πρέπει να τον τροφοδοτήσουμε με τάση 12 volt σύμφωνα πάντα με το φυλλάδιο προδιαγραφών του κατασκευαστή. Όπως αναφέρεται όμως προηγουμένως στην κατασκευή μας θέλουμε να τροφοδοτήσουμε το Monitor μας από μια θύρα USB. Γνωρίζοντας ότι μια USB θύρα παράγει μόλις 5 Volt τάσης και μέχρι 800 mA έντασης αντιλαμβανόμαστε ότι έχουμε να αντιμετωπίσουμε ένα βασικό πρόβλημα το οποίο θα το διορθώσουμε κατασκευάζοντας ένα κύκλωμα που να μετατρέπει ρεύμα από 5 σε 12 Volt.

<sup>1</sup> Τα χαρακτηριστικά του οποίου μπορείτε να δείτε στο <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/25044/STMICROELECTRONICS/TDA2030A.html>

Αυτό θα το πετύχουμε κατασκευάζοντας μια διάταξη που ονομάζεται DC-to-DC Converter. Χρησιμοποιώντας ένα ακόμα ολοκληρωμένο το LM 2577<sup>2</sup> δημιουργούμε την παρακάτω διάταξη.



Αυτό είναι ένα κύκλωμα που παίρνει σαν είσοδο τάση 5 volt και μας δίνει έξοδο τάση 12 volt. Ο περιορισμός που έχει το συγκεκριμένο κύκλωμα είναι ότι η μέγιστη δυνατή ένταση πρέπει να είναι λιγότερη από 800 mA κάτι το οποίο δεν μας επηρεάζει διότι αυτή είναι και η μέγιστη ένταση που μπορεί να μας δώσει η USB θύρα ενός υπολογιστή

Γνωρίζοντας τα παραπάνω θα κατασκευάσουμε τις εν λόγω διατάξεις σε μια Breadboard (Δοκιμαστική πλακέτα) και αφού διαπιστώσουμε την ορθή λειτουργία του ενισχυτή και του DC-to-DC Converter θα περάσουμε στην κατασκευή του ενισχυτή.



<sup>2</sup> Τα χαρακτηριστικά του οποίου μπορείτε να δείτε στο <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/25044/STMICROELECTRONICS/TDA2030A.html>

Για την κατασκευή του ενισχυτή αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε την τεχνολογία Printed Circuit Board (PCB). Αυτή είναι η μέθοδος τυπώματος ενός κυκλώματος πάνω σε μια πλακέτα χαλκού μονής όψης.

### 3.3.1 Διαδικασία τυπώματος πλακέτας

Για να τυπώσουμε μια πλακέτα θα χρειαστούμε :

- Μια πλακέτα χαλκού με φωτοευαίσθητη επιφάνεια, είναι μια τυπική πλακέτα χαλκού που πάνω από το στρώμα του χαλκού έχει ένα στρώμα φωτοευαίσθητου υλικού όμοιου με αυτού των φωτογραφικών film (ευαίσθητο στην περιοχή των UV)



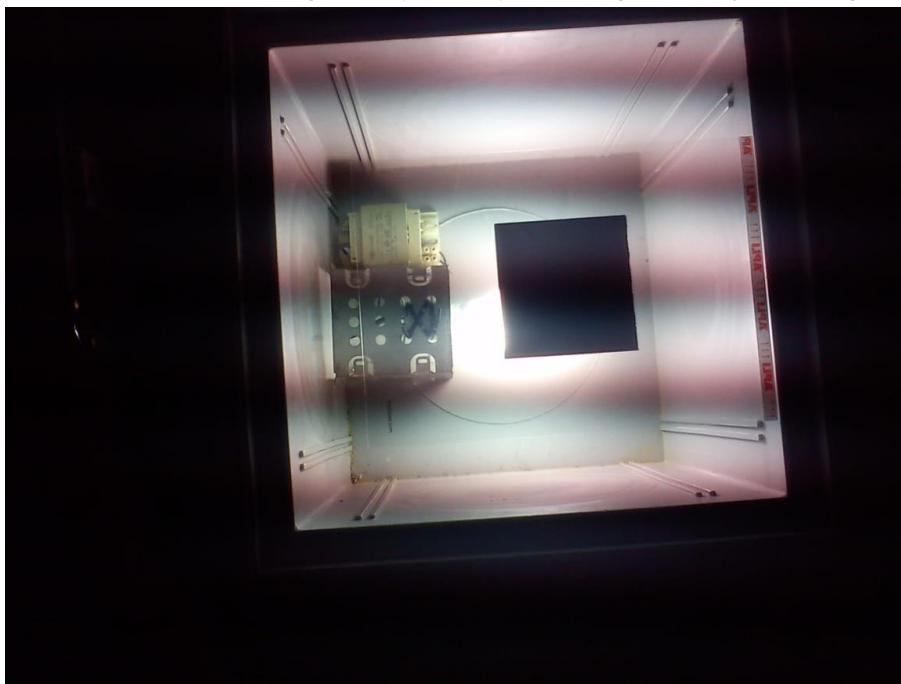
- Διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου , το οποίο είναι τοποθετημένο σε νερό με αναλογία 3 προς 1



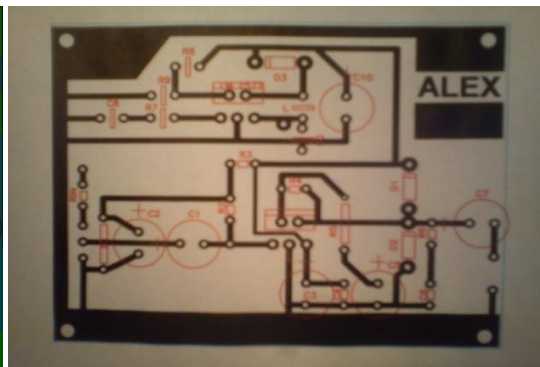
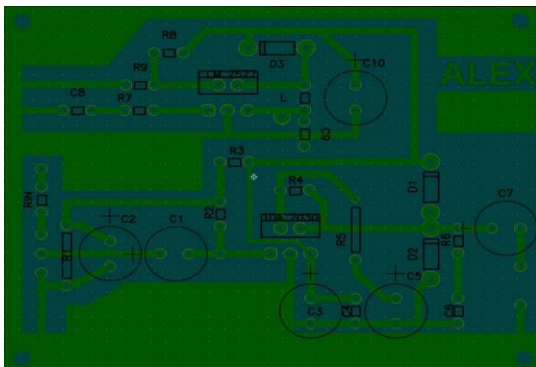
- Καυστική σόδα τοποθετημένη σε νερό με αντίστοιχη αναλογία



- Έναν εκτυπωτή, και μια λάμπα υπεριώδους ακτινοβολίας



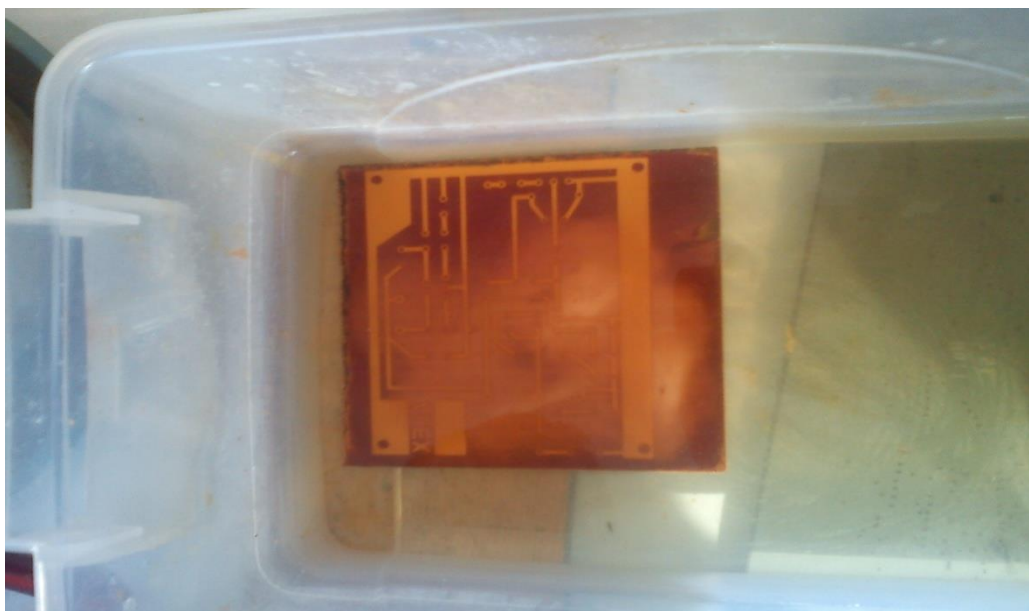
Με την βοήθεια του προγράμματος Pad2Pad φτιάχνουμε το κύκλωμα μας μέσω του οποίου έχουμε την δυνατότητα να το εκτυπώσουμε σε διάφανο χαρτί.





Το κύκλωμα μας είναι εκτυπωμένο με μαύρο ώστε κατά την φωτοβόληση να καεί όλη η επιφάνεια της πλακέτας εκτός από τους «δρόμους» που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε. Στην συνέχεια τοποθετούμε την πλακέτα πάνω στο διάφανο χαρτί και φωτοβολούμε. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καεί όλη η φωτοευαίσθητη επιφάνεια εκτός από τα σημεία που είναι τυπωμένα. (Η διαδικασία της φωτοβόλησης πρέπει να λάβει χώρα σε σκοτεινό δωμάτιο).

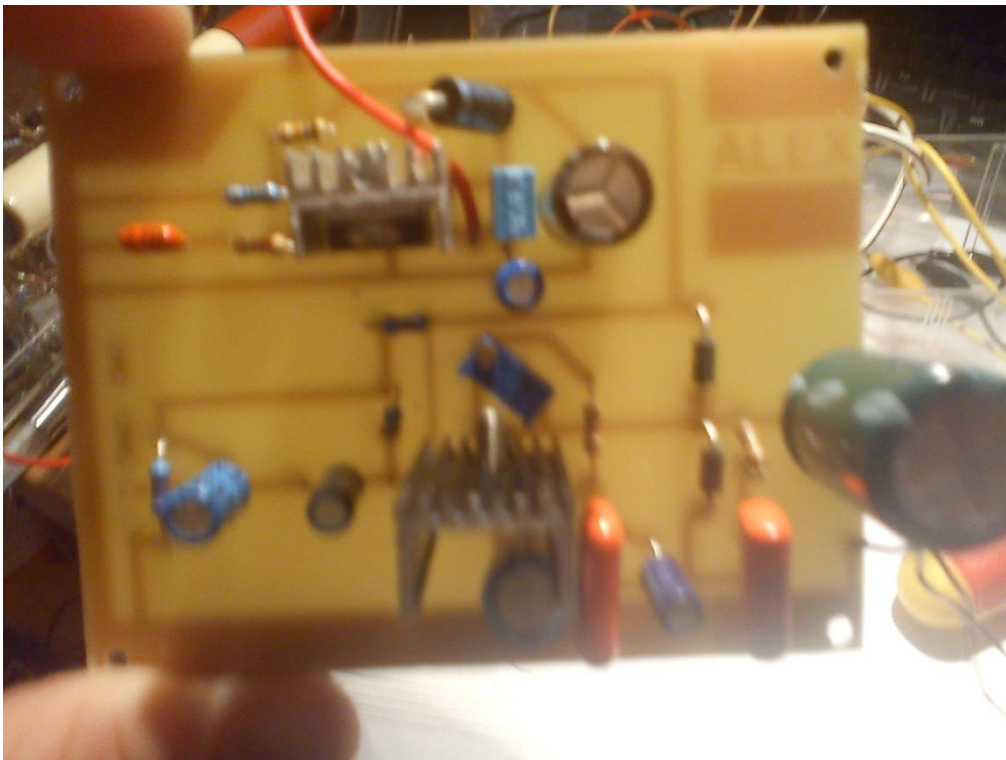
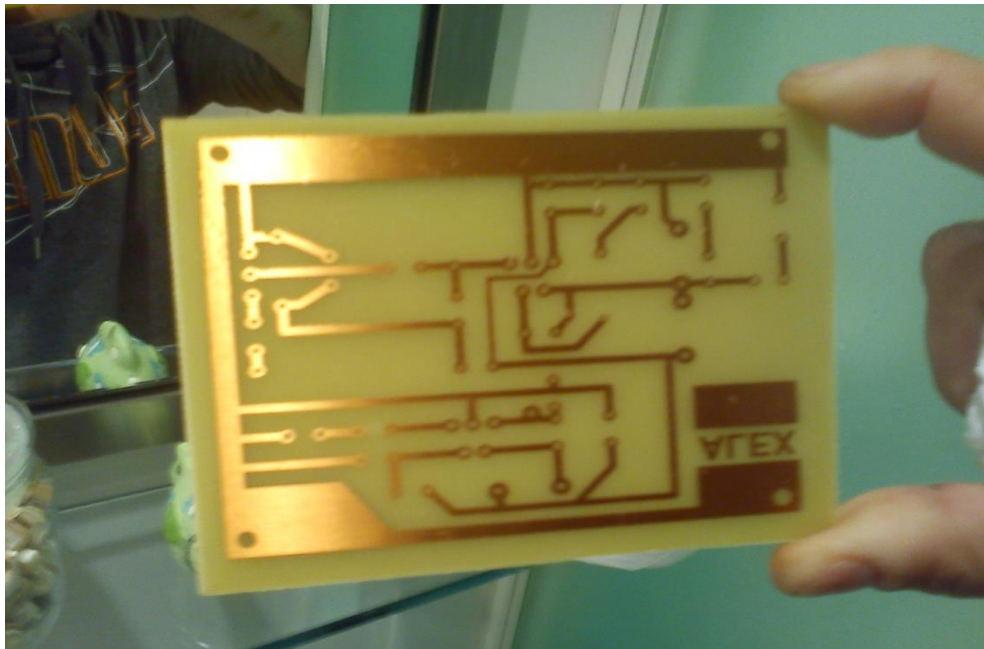
Έπειτα παίρνουμε την πλακέτα και την τοποθετούμε στο διάλυμα με την καυστική σόδα (για περίπου ένα λεπτό).



Παρατηρούμε ότι η φωτοευαίσθητη επιφάνεια έχει αποχωρίσει και εμφανίζεται το κύκλωμα μας (αφού πλύνουμε με νερό την πλακέτα μας) και συνεχίζουμε με το να τοποθετήσουμε την πλακέτα μας μέσα στο διάλυμα του τριχλωριούχου σιδήρου περιμένοντας μέχρι να διαλυθεί ο χαλκός και να μείνουν μόνο οι «δρόμοι» της πλακέτας.



Αφού η πλακέτα μας έχει πάρει την τελική της μορφή την τρυπάμε για να τοποθετήσουμε τα στοιχεία μας, πυκνωτές, αντιστάσεις, διόδους κτλ.



Η επόμενη διαδικασία είναι να πάρουμε μετρήσεις για τον ενισχυτή.

## 3.4 Μετρήσεις Ενισχυτή- Αποτελέσματα

### 3.4.1 Μέγιστη Ισχύς Εξόδου:

Μετρώντας την μέγιστη απαραμόρφωτη τάση και το μέγιστο ρεύμα διέλευσης του ενισχυτή από φορτίο  $8\Omega$  μπορούμε να υπολογίσουμε ποια είναι η μέγιστη ισχύς εξόδου του ενισχυτή. Πειραματικά βρήκαμε πως η μέγιστη τάση εξόδου είναι  $2.8V_{pp}$  και η μέγιστη ένταση είναι  $210mA(Rms)$  άρα για να βρούμε την ισχύ πρέπει πρώτα να βρούμε την  $Rms$  τάση που είναι  $2.8*0.3535 = 0.990V(Rms)$ . Πολλαπλασιάζοντας τώρα την τάση με την ένταση μπορούμε να υπολογίσουμε την μέγιστη ισχύ εξόδου που θα είναι :  $W = 0.990*0.21 W = 207mW$ .

### 3.4.2 Απόκριση Συχνοτήτων:

Για την συχνοτική απόκριση έπρεπε να μετρήσουμε την στάθμη εξόδου του ενισχυτή για σταθερή είσοδο στο ακουστικό φάσμα, που είναι από  $20Hz-20KHz$

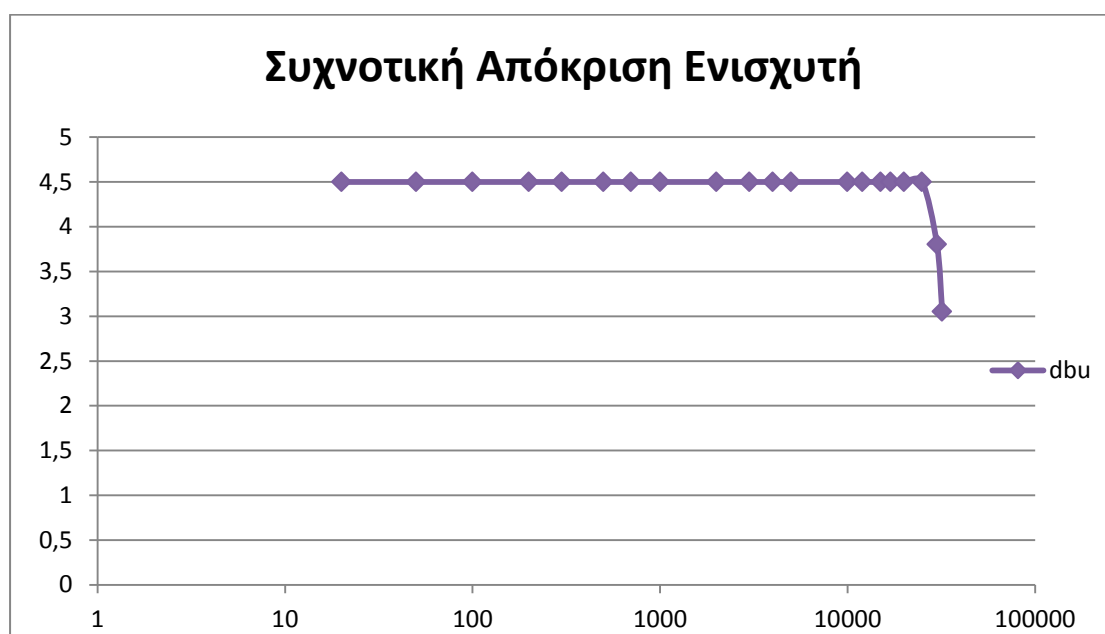
Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

	F(Hz)	Vin	Vout
1	20	40 mV	1,3 V
2	50	40 mV	1,3 V
3	100	40 mV	1,3 V
4	200	40 mV	1,3 V
5	300	40 mV	1,3 V
6	500	40 mV	1,3 V
7	700	40 mV	1,3 V
8	1000	40 mV	1,3 V
9	2000	40 mV	1,3 V
10	3000	40 mV	1,3 V
11	4000	40 mV	1,3 V
12	5000	40 mV	1,3 V
13	10000	40 mV	1,3 V
14	12000	40 mV	1,3 V
15	15000	40 mV	1,3 V
16	17000	40 mV	1,3 V
17	20000	40 mV	1,3 V
18	25000	40 mV	1.3 V
19	30000	40 mV	1,2 V
20	32000	40 mV	1,1 V

Μετατρέψαμε την τάση σε db με την βοήθεια του διαδικτυακού προγράμματος <http://www.sengpielaudio.com/calculator-volt.htm> τα αποτελέσματα του οποίου βλέπετε στον παρακάτω πίνακα

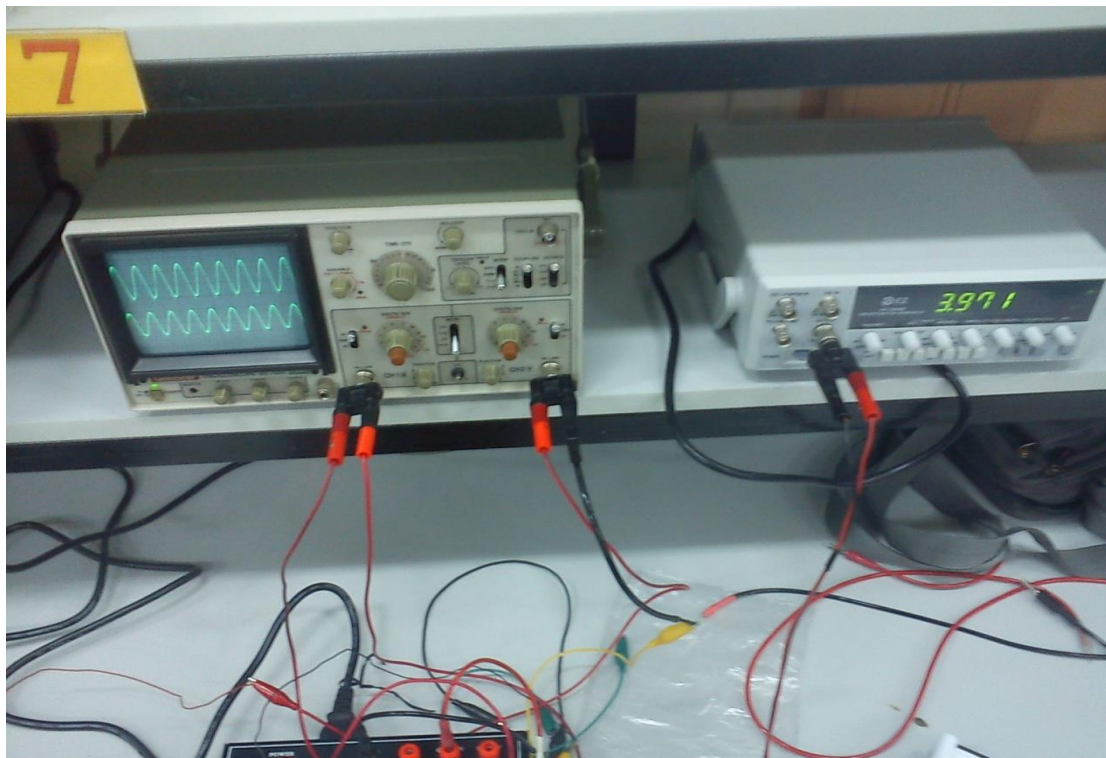
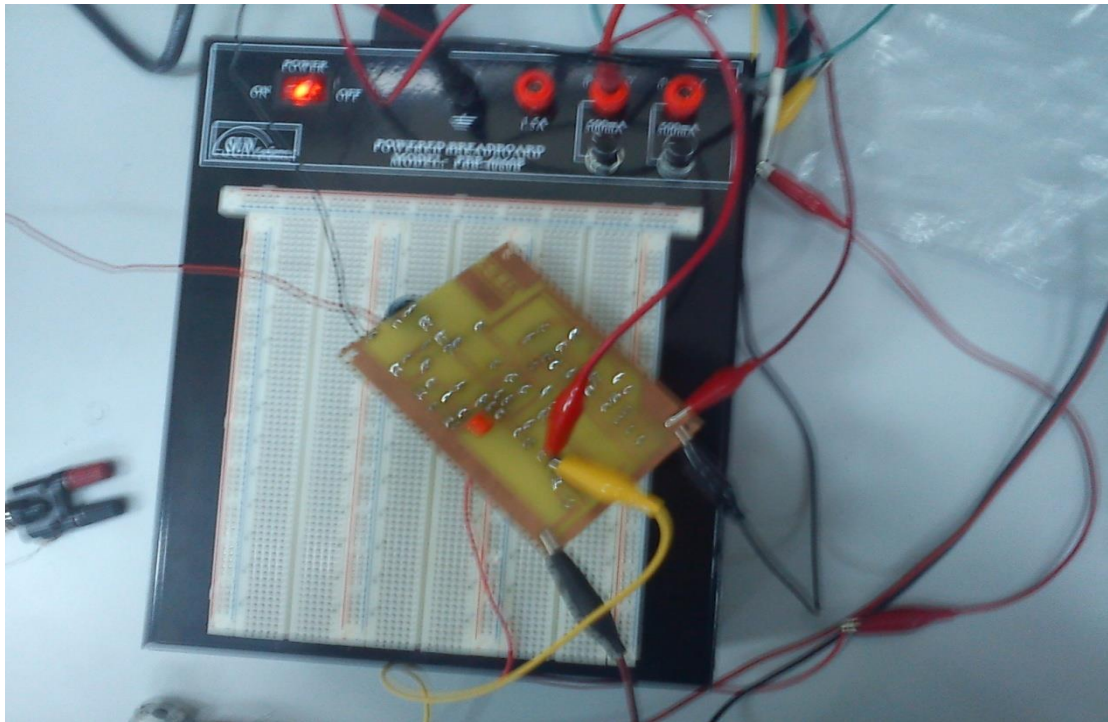
	Hz	dbu
1	20	4.5
2	50	4.5
3	100	4.5
4	200	4.5
5	300	4.5
6	500	4.5
7	700	4.5
8	1000	4.5
9	2000	4.5
10	3000	4.5
11	4000	4.5
12	5000	4.5
13	10000	4.5
14	12000	4.5
15	15000	4.5
16	17000	4.5
17	20000	4.5
18	25000	4.5
19	30000	2.22
20	32000	0.28

Βάση του πίνακα φτιάξαμε το παρακάτω γράφημα που μας δείχνει την συχνοτική απόκριση του μεγαφώνου μας.



### 3.4.3 Ευαισθησία Εισόδου:

Μετρώντας την είσοδο και την έξοδο του ενισχυτή σε συχνότητα 1 KHz βρήκαμε πως ο ενισχυτής μας έχει ευαισθησία εισόδου  $V_{in} = 100$  mV.



## 4. Crossover

Το crossover είναι μία ηλεκτρονική διάταξη για τον διαχωρισμό των συχνοτήτων για τα αντίστοιχα μεγάφωνα. Είναι στην ουσία φίλτρα διέλευσης, δηλαδή ηλεκτρονικές διατάξεις ενεργές ή παθητικές που επιτρέπουν την διέλευση ορισμένων συχνοτήτων η ενός εύρους συχνοτήτων (ζώνη) στην έξοδο τους . Η ζώνη κάθε φίλτρου όσον αφορά στην συχνότητα είναι η πιο συνήθης μέθοδος κατηγοριοποίησης. Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες φίλτρων, τα βαθυπερατά (Low Pass), τα υψιπερατά (Hi Pass) και τα ζωνοπερατά (Band Pass).

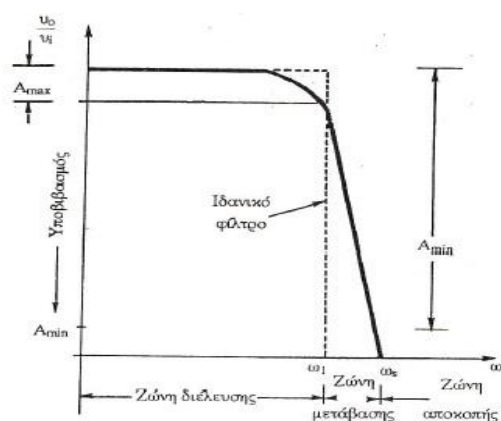
Όπως προαναφέραμε υπάρχουν ενεργά φίλτρα που χρησιμοποιούν ενεργές διατάξεις (ενισχυτές) για τον διαχωρισμό των συχνοτήτων και παθητικά φίλτρα που χρησιμοποιούν παθητικά στοιχεία όπως αντιστάσεις, πηνία και πυκνωτές. Τόσο τα ενεργά όσο και τα παθητικά φίλτρα αναλόγως με τον τρόπο κατασκευής τους και την αποδοτικότητα τους χωρίζονται σε 1<sup>ου</sup> 2<sup>ου</sup> 3<sup>ου</sup> κτλ βαθμού που δείχνουν στην ουσία το πόσο απότομα γίνεται ο παραπάνω διαχωρισμός. Εμείς θα ασχοληθούμε με τα παθητικά φίλτρα(σαν και αυτό που κατασκευάσαμε για το ηχείο μας).

Ας τα εξετάσουμε λοιπόν ένα-ένα τα φίλτρα μας

## 4.1 Φίλτρα διέλευσης

### 4.1.1 Βαθυπερατό (Low Pass):

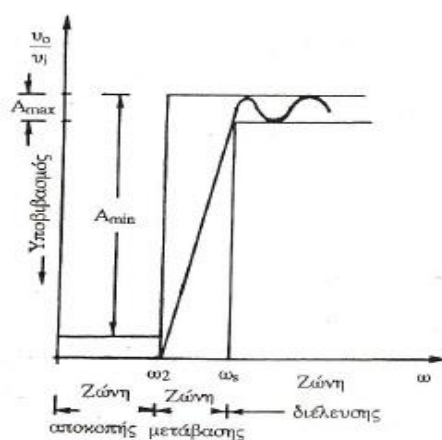
Βαθυπερατό ονομάζεται ένα φίλτρο που επιτρέπει την διέλευση μιας συγκεκριμένης ζώνης συχνοτήτων η οποία ονομάζεται ζώνη διέλευσης και είναι από την συχνότητα τον 0Hz έως μια συχνότητα που την ονομάζουμε συχνότητα αποκοπής ( $\omega_1$ ). Η συχνότητα αποκοπής είναι η συχνότητα στην οποία η στάθμη του κύματός μας έχει υποστεί έναν μέγιστο υποβιβασμό  $A_{max}$  μέσα στην ζώνη διέλευσης.



(Σχήμα 1-2 σελ 19 Φίλτρα Σ.Α Πακτιτη)

### 4.1.2 Υψιπερατό (High Pass)

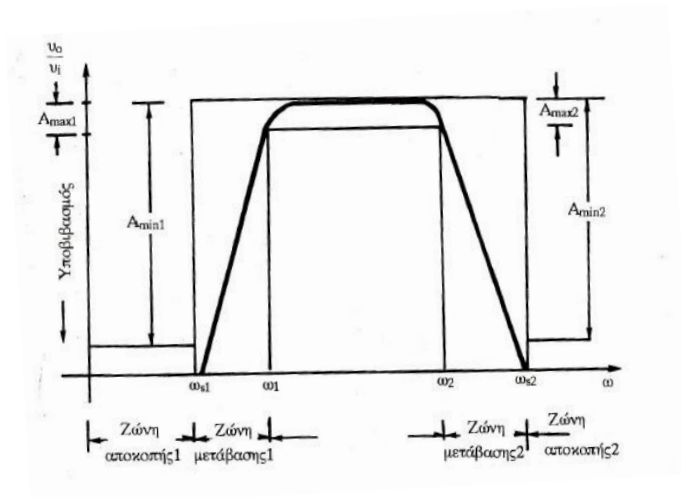
Υψιπερατό ονομάζεται ένα φίλτρο που επιτρέπει να διέρχονται συχνότητες πάνω από την συχνότητα αποκοπής ( $\omega_2$ ) και απορρίπτει τις συχνότητες κάτω από αυτήν.



(Σχήμα 1-3 σελ 19 Φίλτρα Σ.Α Πακτιτη)

### 4.1.3 Ζωνοπερατό (Band Pass)

Ζωνοπερατό ονομάζεται ένα φίλτρο που επιτρέπει να διέρχεται μια ορισμένη περιοχή συχνοτήτων και απορρίπτει τις συχνότητες που είναι πάνω από μια συχνότητα αποκοπής  $\omega_2$  και κάτω από μια δεύτερη συχνότητα αποκοπής  $\omega_1$ .



(Σχήμα 1-4 σελ 20 Φίλτρα Σ.Α Πακτιτη)

Αναλόγως με το πόση είναι η  $A_{max}$  που προαναφέραμε μπορούμε να καταλάβουμε και την τάξη του φίλτρου.

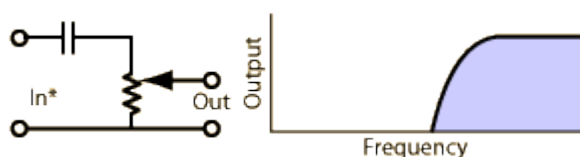


## 4.2 Κατασκευή Φίλτρων<sup>3</sup>

Τα στοιχεία που χρειάζονται για τον διαχωρισμό των συχνοτήτων είναι:

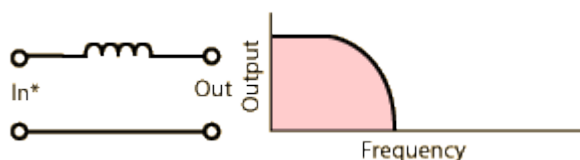
### A) Ο Πυκνωτής

Γνωρίζουμε ότι ο πυκνωτής παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση στις χαμηλές συχνότητες, που σημαίνει ότι επιτρέπει τη διέλευση των υψηλών συχνοτήτων. Χωρίς αυτόν το μεγάφωνο αναπαραγωγής υψηλών συχνοτήτων (Tweeter) ενδέχεται να καταστραφεί διότι δεν είναι κατασκευασμένο για την αναπαραγωγή χαμηλών συχνοτήτων.

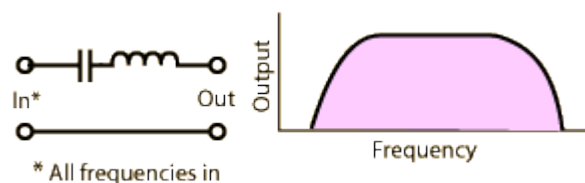


### B) Το πηνίο

Το πηνίο επιτρέπει την διέλευση των χαμηλών συχνοτήτων για την τροφοδότηση του μεγαφώνου χαμηλών συχνοτήτων (Woofler).



Όταν συνδυάσουμε και τα παραπάνω δυο στοιχεία έχουμε ως αποτέλεσμα την αποκοπή και των χαμηλών συχνοτήτων και των υψηλών, δημιουργούμε δηλαδή ένα φίλτρο διέλευσης ζώνης (Band Pass).

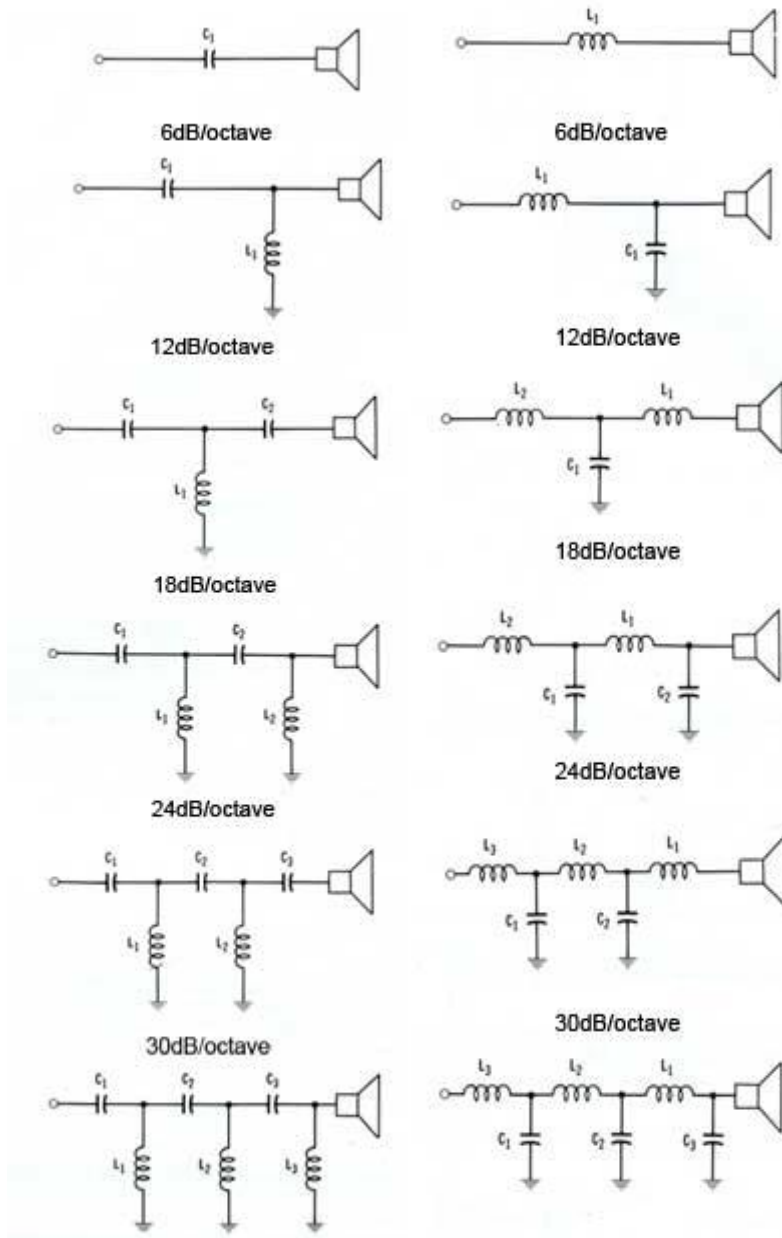


Τοποθετώντας ένα πυκνωτή ή ένα πηνίο η συχνότητα αποκοπής γίνεται με μείωση 6dB ανά οκτάβα (1<sup>ου</sup> βαθμού). Αναλόγως το τι βαθμού φίλτρο που θέλουμε να φτιάξουμε χρησιμοποιούμε τα αντίστοιχα πηνία

<sup>3</sup>Για το υποκεφάλαιο αυτό οι πληροφορίες μας και οι εικόνες αντλήθηκαν κυρίως από την κάτωθι ιστοσελίδα:

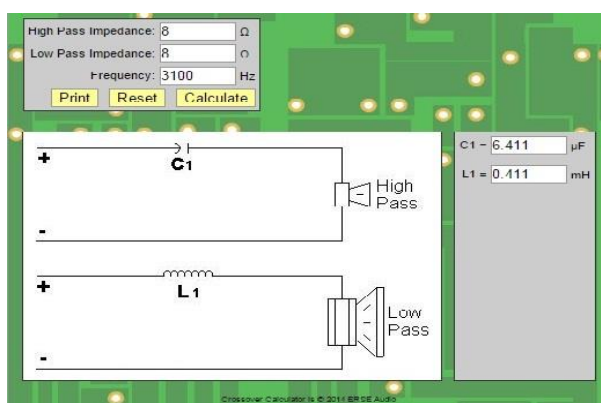
<http://www.djshop.gr/dt/kataskeui-leitourgia-ixeion-14358.htm?lang=el&path=1332816865>

και πυκνωτές. Παρακάτω μπορούμε να δούμε πώς πρέπει να είναι η συνδεσμολογία μας για να πάρουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στα σχέδια απεικονίζονται οι διατάξεις των φίλτρων και η αποκοπή σε db ανά οκτάβα.

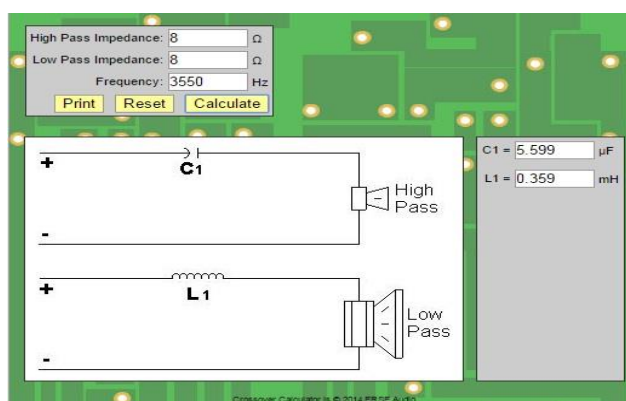


## 4.3 Κατασκευή – Μετρήσεις Crossover

Επιλέξαμε να φτιάξουμε ένα παθητικό φίλτρο 1<sup>ης</sup> τάξης, για την κατασκευή του οποίου έπρεπε να υπολογίσουμε πρώτα την συχνότητα αποκοπής των φίλτρων. Γνωρίζοντας ότι η συχνοτική απόκριση των ηχείων μας είναι 40- 4000 Hz για το Woofer και 2.200 - 20.000 Hz, για το tweeter υπολογίσαμε την συχνότητα αποκοπής στην μέση τιμή της κοινής λειτουργίας των ηχείων  $((4000-2200)/2)+2200$  η οποία προέκυψε 3100H. Υπολογίσαμε βάσει του προγράμματος <http://www.erseaudio.com/First-Order-2-Way> τις τιμές του πηνίου και του πυκνωτή και βρήκαμε ως αποτέλεσμα ότι πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τις τιμές του παρακάτω πίνακα :



Επειδή στην ευρύτερη αγορά τα πηνία και οι πυκνωτές δεν βγαίνουν σε όλα τα μεγέθη αλλάξαμε συχνότητα αποκοπής ώστε να έχουμε τιμές πηνίων και πυκνωτών που μπορούν να βρεθούν στην αγορά και πάντα στα πλαίσια η συχνότητα αυτή να είναι μέσα στην κοινή λειτουργία των μεγαφώνων. Γνωρίζοντας ότι υπάρχει πυκνωτής 5.6 μF υπολογίσαμε ξανά την συχνότητα αποκοπής όπου μας βγήκε 3550Hz, και αυτή η τιμή είναι μέσα στην κοινή λειτουργία. Βάσει αυτής βρήκαμε το μέγεθος του πηνίου. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :



Στην συνέχεια, αφού προμηθευτήκαμε τα αντίστοιχα υλικά κατασκευάσαμε το crossover μας και πήραμε μετρήσεις για την λειτουργία του. Οι μετρήσεις αυτές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα .

	Hi Pass Filter		Low Pass Filter	
	Είσοδος	Έξοδος	Είσοδος	Έξοδος
Hz	Vp-p	Vp-p	Vp-p	Vp-p
20	1,3	0,017	1,3	0,8
40	1,3	0,019	1,3	0,8
60	1,3	0,02	1,3	0,8
80	1,3	0,026	1,3	0,8
100	1,3	0,034	1,3	0,8
200	1,3	0,07	1,3	0,8
500	1,3	0,15	1,3	0,8
1000	1,3	0,28	1,3	0,8
1200	1,3	0,35	1,3	0,8
1500	1,3	0,42	1,3	0,8
1800	1,3	0,56	1,3	0,7
2000	1,3	0,72	1,3	0,6
3000	1,3	0,8	1,3	0,55
4000	1,3	0,8	1,3	0,5
8000	1,3	0,8	1,3	0,4
10000	1,3	0,8	1,3	0,24
15000	1,3	0,8	1,3	0,2
20000	1,3	0,8	1,3	0,12

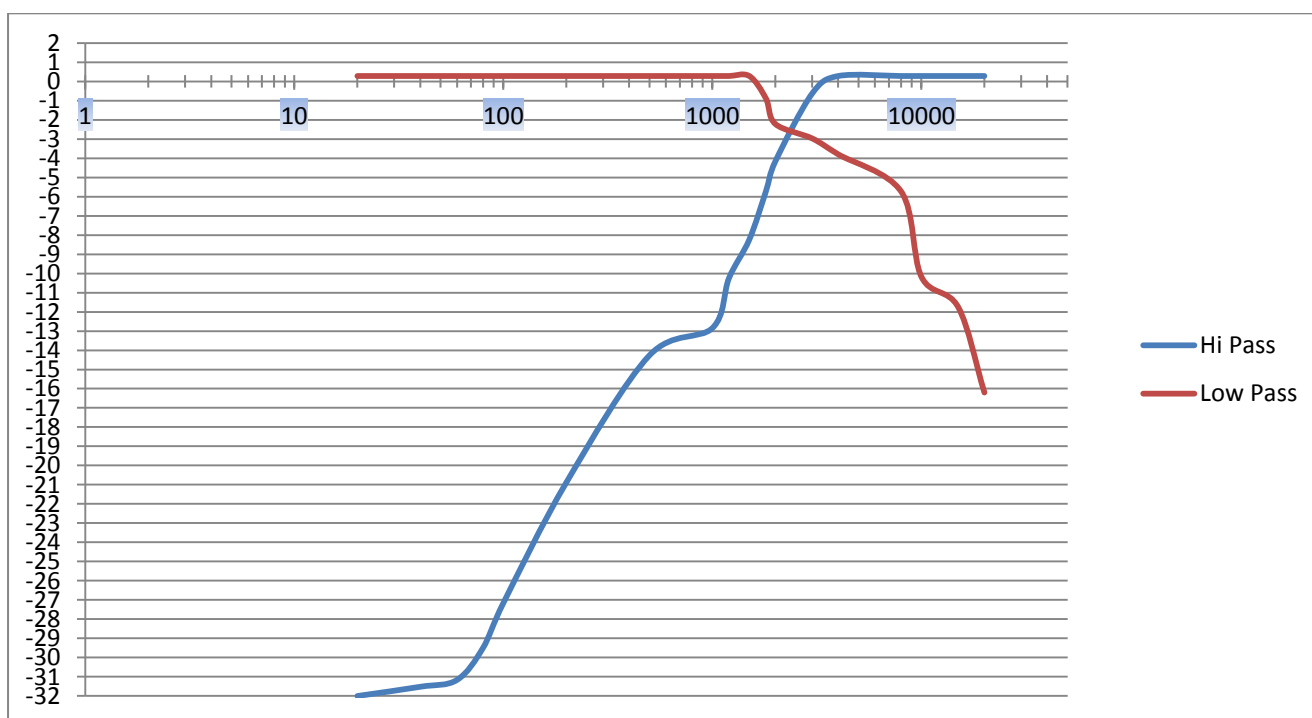


## 4.4 Αποτελέσματα

Μετατρέψαμε την τάση σε db με την βοήθεια του διαδικτυακού προγράμματος <http://www.sengpielaudio.com/calculator-volt.htm> και τα αποτελέσματα τα βλέπετε στον παρακάτω πίνακα

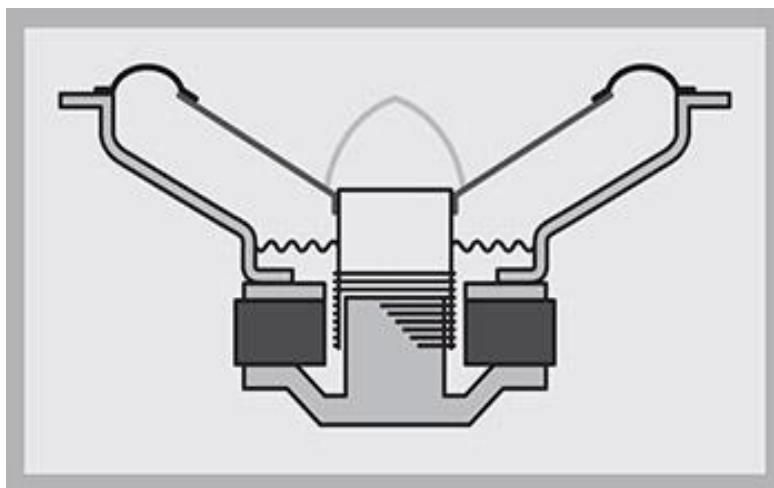
	Hi Pass	Low Pass
Hz	dbu	dbu
20	-32	0.28
40	-31,52	0.28
60	-31,16	0.28
80	-29,48	0.28
100	-27,15	0.28
200	-20,88	0.28
500	-14,26	0.28
1000	-12,84	0.28
1200	-10,24	0.28
1500	-8,24	0.28
1800	-5,74	-0.88
2000	-4,16	-2.22
3000	-0,63	-2.97
4000	0,28	-3.8
8000	0,28	-5.74
10000	0,28	-10.18
15000	0,28	-11.76
20000	0,28	-16.2

Από το σύνολο των αποτελεσμάτων αυτών προκύπτει η γραφική παράσταση που μας δείχνει τον τρόπο λειτουργίας του Crossover μας



## 5. Μεγάφωνα

Το μεγάφωνο είναι μια ηλεκτροακουστική διάταξη που μετατρέπει ηλεκτρικά σήματα σε ήχο. Ο κώνος του μεγαφώνου πάλλεται σύμφωνα με τις μεταβολές του ηλεκτρικού σήματος που εφαρμόζεται στους ακροδέκτες του μεταδίδοντας αυτή τη διαταραχή μέσω του αέρα στα αυτιά μας, όπου τα κύματα γίνονται αντιληπτά ως ήχος. Παρακάτω θα δώσουμε μια σύντομη περιγραφή του τρόπου με τον οποίο τα ηλεκτροδυναμικά μεγάφωνα δουλεύουν ώστε να αναπαράγουν ήχους όσο πιο πιστά προς τους φυσικούς ήχους και τους ήχους των μουσικών οργάνων γίνεται.<sup>4</sup>



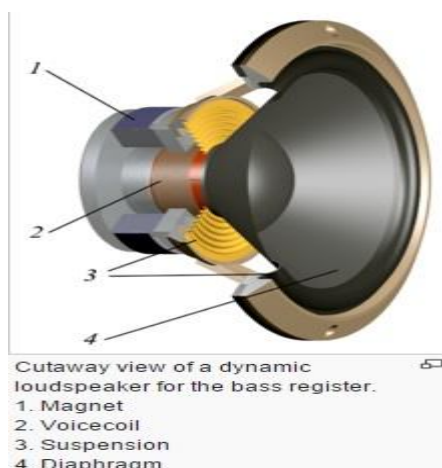
Τα περισσότερα ηχεία της αγοράς είναι ηλεκτροδυναμικά και βγαίνουν σε κάθε μορφή, μέγεθος και κόστος. Εδώ συναντάμε τους γνωστούς μας κώνους και θόλους, που αποτελούν τη «βιτρίνα» των ηχείων αυτών, αφού είναι το τμήμα των μεγαφώνων που φαίνεται εξωτερικά. Τα ηλεκτροδυναμικά ηχεία βασίζονται στις αρχές της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, σύμφωνα με τις οποίες όταν ένας αγωγός βρίσκεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο και εφαρμοστεί στα άκρα του μια διαφορά δυναμικού, τότε θα δημιουργηθεί μια δύναμη πάνω στον αγωγό, ανάλογη της εφαρμοζόμενης διαφοράς δυναμικού.<sup>5</sup>

Στο διάκενο και γύρω από τον πόλο, προσαρμόζεται το πηνίο φωνής (voice coil) - αγωγός τυλιγμένος σε σπείρες - το οποίο κινείται ελεύθερα

<sup>4</sup> Για το κεφάλαιο αυτό οι περισσότερες πληροφορίες αντλήθηκαν κυρίως από την κάτωθι ιστοσελίδα <http://www.crystalaudio.gr/Working/Downloads/Notes/50af66f4dbf8489fa15c5ad7ff4ed7f3.htm>

<sup>5</sup> Οπ. παρ.

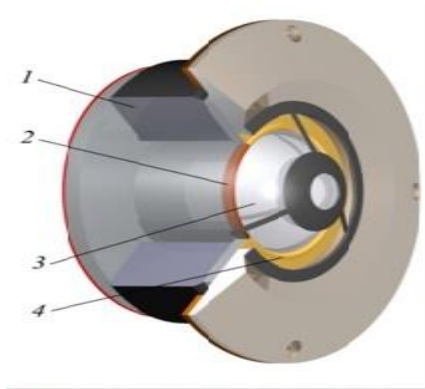
μέσα στο μαγνητικό πεδίο του διάκενου και υποβοηθείται από μία ειδική ελαστική ανάρτηση που φροντίζει ώστε το πηνίο να μην ακουμπά στον πόλο και να λειτουργεί σα να αιωρείται. Όταν τον αγωγό του πηνίου διαρρέει εναλλασσόμενο ρεύμα που μεταφέρει το ηχητικό σήμα, τότε στο διάκενο θα αναπτυχθούν δυνάμεις που ωθούν το πηνίο σε παλινδρομική κίνηση μπρος - πίσω. Στο εξωτερικό μέρος του πηνίου προσαρμόζεται το διάφραγμα, το μέγεθος της επιφάνειας του οποίου καθορίζεται από τη χαμηλότερη συχνότητα που επιθυμούμε να αναπαράγουμε. Το διάφραγμα κινείται και έτσι παράγεται ήχος.<sup>6</sup>



Όσο πιο μεγάλη είναι η διάμετρος του κώνου, τόσο μεγαλύτερο πρέπει να είναι και το πηνίο φωνής και ο μαγνήτης, κάτι που οδηγεί σε μεγάφωνα μεγάλης μάζας και αδράνειας, δηλαδή σε συστήματα που απαιτούν μεγάλη ισχύ και αντιστέκονται τόσο στην έναρξη της κίνησής τους όσο και στη μεταβολή ή την παύση της. Παράλληλα οι κώνοι μεγάλης διαμέτρου τείνουν να παραμορφώνονται στα άκρα τους, γιατί η δύναμη του πηνίου ασκείται σε μία πολύ μικρή επιφάνεια του κέντρου τους. Έτσι απαιτούνται ελαφρά υλικά με μεγάλη ακαμψία (στοιχεία αλληλοαναιρούμενα), κάτι που μας οδηγεί στη χρήση σύνθετων ή εξωτικών υλικών, όπως το πολυπροπυλένιο, το kevlar, το εμποτισμένο με ειδικές ρητίνες χαρτί, το τιτάνιο και κάθε λογής κράματα και υφάσματα.<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Οπ. παρ.

<sup>7</sup> Οπ. παρ.



Cutaway view of a dynamic tweeter with acoustic lens and a dome-shaped membrane.  
1. Magnet  
2. Voice coil  
3. Membrane  
4. Suspension

Όταν ο κώνος ενός μεγαφώνου κινείται προς τα εμπρός ασκώντας πίεση στα στρώματα του αέρα, τότε στο πίσω μέρος του δημιουργείται μια ίση αλλά αντίθετης φοράς πίεση (αραίωση, υποπίεση). Οι χαμηλές συχνότητες έχουν μικρή κατευθυντικότητα, περιθλώνται γύρω από το μεγάφωνο και τείνουν να επεκταθούν σε όλο το χώρο μπροστά και πίσω από αυτόν. Έτσι στο πίσω μέρος του θα έχουμε τη συμβολή δύο ίδιων αλλά αντίθετης φάσης ηχητικών κυμάτων, κάτι που συνεπάγεται την ακύρωσή τους.<sup>8</sup>

Η ιδανική λύση για να αποφύγουμε την ακύρωση είναι να προσαρμόσουμε το μεγάφωνο στο κέντρο μιας επίπεδης επιφάνειας με μεγάλο εμβαδόν ή διάμετρο (άπειρο διάφραγμα - infinite baffle). Αυτό φυσικά είναι πρακτικά αδύνατον και έτσι καταφεύγουμε στη λύση της καμπίνας.<sup>9</sup>

Η καμπίνα ενός ηχείου βέβαια δεν είναι ένα απλό κουτί τυχαίων διαστάσεων, που αποσκοπεί στη στήριξη του μεγαφώνου και στην εξάλειψη των ακυρώσεων. Αντίθετα είναι μια προσεκτικά σχεδιασμένη διάταξη που επιχειρεί είτε να μιμηθεί το ελεύθερο μεγάφωνο (σχεδίαση άπειρου διαφράγματος), είτε να εκμεταλλευτεί τον όγκο του αέρα που βρίσκεται στο εσωτερικό, έτσι ώστε να συνεισφέρει θετικά στην απόδοση του μεγαφώνου. Περισσότερα όμως για της καμπίνες θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο.<sup>10</sup>

<sup>8</sup> Οπ. παρ.

<sup>9</sup> Οπ. παρ.

<sup>10</sup> Οπ. παρ.



Υπάρχουν και άλλα είδη μεγαφώνων, εκτός από το καθιερωμένο ηλεκτροδυναμικό μεγάφωνο, μερικά από τα οποία είναι :

- Κόρνες
- Πιεζοηλεκτρικά
- Μαγνητοστατικά
- Ηλεκτροστατικά
- Ταινίας και επίπεδου μαγνήτη
- Bending Wave
- Flat Panel
- Heil Air Motion Transducers
- Plasma Arc
- Digital κ.α.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> <http://www.edisontechcenter.org/speakers.html>

## 5.1 Τα μεγάφωνα της κατασκευής μας

Τα μεγάφωνα που χρησιμοποιήσαμε για την κατασκευή του ηχείου μας ανήκουν στην κατηγορία των ηλεκτροδυναμικών μεγαφώνων και είναι τα παρακάτω:



### 20155 JAMO Woofer Μαλακού Κώνου 5"

#### Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Power handling: 50 watts RMS/100 watts max
- VCdia: 1"
- Le: 0.87 mH
- Impedance: 8 ohms
- Re: 6.26 ohms
- Frequency response: 40-4,000 Hz
- Fs: 50 Hz
- SPL: 85 dB 1W/1m
- Vas: 0.87 cu. ft.
- Qms: 4.00
- Qes: 0.60
- Qts: 0.52
- Xmax: 3 mm
- Dimensions: 152x140x88mm

**Jamo**<sup>®</sup>  
"THE SOUND OF EXCELLENCE"



### **20145 JAMO Dome Tweeter 60 Watt 8 Ohm με Θωράκιση**

#### **Τεχνικά Χαρακτηριστικά:**

- Nom. Impedance: 8 ohm
- Nom. Power: 60 watt
- Frequency response: 2.200 - 20.000 Hz
- SPL: 91 dB

#### **Διαστάσεις:**

- Εξωτερική διάμετρος: 106mm
- Διαγώνιος (τρύπα-τρύπα): 94mm
- Διάμετρος μαγνήτη: 67mm
- Ύψος: 36mm

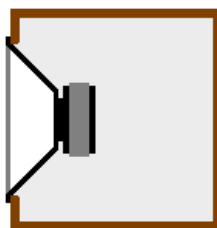
## **6. Κουτί \Καμπίνα**

Καμπίνα ενός ηχείου είναι μια κατασκευή που φέρει όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία (Μεγάφωνα, Ενισχυτή(για τα ενεργά ηχεία), Crossover) που χαρακτηρίζουν ένα ηχείο, ωστόσο ο πρωταρχικός της ρόλος είναι να αποτρέπει στα ηχητικά κύματα που προέρχονται από την οπίσθια επιφάνεια του μεγάφωνου να αλληλεπιδρούν η να εξουδετερώνουν τα κύματα της εμπρόσθιας επιφάνειας. Το ιδανικό ηχείο θα ήταν ένα μεγάφωνο τοποθετημένο με μια πλήρως άκαμπτη επιφάνεια με άπειρο μήκος και με άπειρο χώρο στο πίσω μέρος του. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα τα παραγόμενα κύματα της οπίσθιας επιφάνειας του μεγάφωνου να μην αλληλεπιδρούν καθόλου με τα κύματα που παράγονται από την εμπρόσθια επιφάνεια αυτού, κάτι που όπως καταλαβαίνετε βέβαια είναι πρακτικά αδύνατο. Ο λόγος λοιπόν κατασκευής της καμπίνας είναι να αποτρέπει την αλληλεπίδραση της έκτος φάσης ηχητικής ακτινοβολίας.

### **6.1 Τύποι καμπίνας**

#### **6.1.1 Καμπίνες κλειστού τύπου**

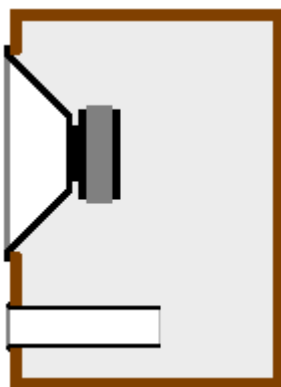
Τα ηχεία κλειστού τύπου (ακουστικής ανάρτησης) χρησιμοποιούν αεροστεγή καμπίνα σχετικά μικρού μεγέθους, με ηχοαπορροφητικό υλικό, στα οποία ο εσώκλειστος αέρας χρησιμοποιείται ως ανάρτηση (ελατήριο) για τον έλεγχο του Woofer. Όταν ο κώνος του Woofer κινείται προς τα έξω, δημιουργείται υποπίεση η οποία ρουφάει το μεγάφωνο πίσω στη θέση ηρεμίας. Όταν ο κώνος κινείται προς τα μέσα, αυξάνεται η πίεση του αέρα και σπρώχνει το κώνο προς τη θέση ηρεμίας. Τα ηχεία με καμπίνα ακουστικής ανάρτησης, διακρίνονται για το σφιχτό και βαθύ μπάσο, το οποίο έχει προοδευτική μείωση κάτω από το όριο αποκοπής. Από την άλλη όμως τείνουν να είναι χαμηλότερης ευαισθησίας γιατί η ακουστική ενέργεια που παράγεται από το πίσω μέρος του κώνου απορροφάται. Η σχεδίαση αναπτύχθηκε από τον Edgar Villchur το 1954.<sup>12</sup>



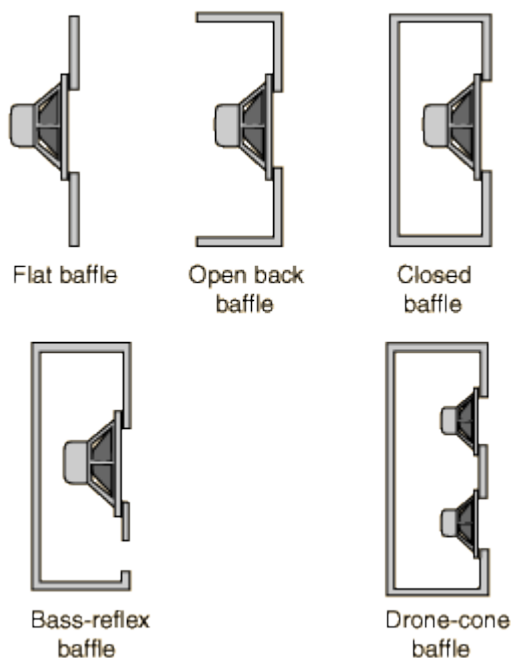
<sup>12</sup>[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%B1\\_%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%8D\\_%CF%84%CF%8D%CF%80%CE%BF%CF%85](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%B1_%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%8D_%CF%84%CF%8D%CF%80%CE%BF%CF%85)

## 6.1.2 Καμπίνες ανοιχτού τύπου bass reflex

Τα ηχεία ανοιχτού τύπου bass reflex είναι τα πιο συνηθισμένα και καλύτερα σε απόδοση ηχεία καθώς συνδυάζουν και προσθέτουν τα πίσω ηχητικά κύματα με τα μπροστά για την καλύτερη απόδοση. Σ' αυτόν τον τύπο καμπίνας έχει σε ένα τοίχωμα της ανοιχτεί ένα κυκλικό άνοιγμα ώστε ο ήχος από το εσωτερικό της καμπίνας να μπορεί να διαφύγει και να συνδυαστεί με την ακτινοβολία από το μεγάφωνο. Αυτός ο τρόπος κατασκευής βασίζεται στο συνηχητή Helmholtz.<sup>13</sup>



Υπάρχουν και άλλων τύπων καμπίνες που μπορείτε να δείτε στο παρακάτω σχήμα:



<sup>13</sup> Π. Αποστολάκος, Σχεδιασμός και κατασκευή ηχείου δύο δρόμων, Ρέθυμνο, σελ. 38-39

## 6.2 Παράμετροι Thiele/Small

Ο όρος «Thiele/Small», συνήθως αναφέρεται σε ένα σύνολο ηλεκτρομηχανικών παραμέτρων που καθορίζουν την επίδοση σε χαμηλές συχνότητες ενός μεγαφώνου. Αυτές οι παράμετροι δημοσιεύονται στα φύλλα προδιαγραφών των κατασκευαστών μεγαφώνων ώστε ο σχεδιαστής να έχει την απαραίτητη πληροφορία για την επιλογή των εκάστοτε μεγαφώνων.

Πολλές από αυτές τις παραμέτρους ορίζονται αυστηρά για τη συχνότητα μηχανικού συντονισμού του μεγαφώνου, η προσέγγιση όμως είναι εφαρμόσιμη σε ένα συχνοτικό φάσμα όπου η κίνηση του διαφράγματος είναι καθαρά «πιστονική», όταν δηλαδή ο κώνος ταλαντώνει ομοιογενώς χωρίς να εισάγονται παραμορφώσεις (cone break up). Με χρήση αυτών των παραμέτρων βρισκόμαστε στη θέση του σχεδιαστή ηχείων μπορούμε να προσομοιώσουμε ευέλικτα και άμεσα τη μετατόπιση, την ταχύτητα και την επιτάχυνση του κώνου, την εμπέδηση εισόδου και την ακουστική έξοδο ενός συστήματος που απαρτίζεται από μεγάφωνο και κουτί εγκλεισμού.

Οι παράμετροι Thiele/Small πήραν το όνομά τους από τους A. Neville Thiele και Richard H. Small οι οποίοι ανακάλυψαν αυτού του είδους την ανάλυση για μεγάφωνα. Για την εξαγωγή και υπολογισμό των Thiele/Small χρειάζονται οι τιμές των θεμελιωδών ηλεκτρομηχανικών παραμέτρων του μεγαφώνου :

**Sd**: ενεργός επιφάνεια του διαφράγματος ( $m^2$ )

**Mms**: μάζα του συστήματος διάφραγμα-πηνίο συμπεριλαμβανομένου του ακουστικού φορτίου (μάζα αέρα που παγιδεύει και «σπρώχνει» ο κώνος) ( $kg$ )

**Cms**: ενδοτικότητα της ανάρτησης του κώνου (αντίστροφο της σκληρότητας) ( $m/N$ )

**Rms:** μηχανική αντίσταση της ανάρτησης, εκφράζει τις απώλειες από τριβή (N·s/m)

**Le:** αυτεπαγωγή πηνίου (mH)

**Re:** DC ωμική αντίσταση του πηνίου (ohm)

**Bl:** γινόμενο μαγνητικής επαγωγής x μήκος πηνίου, ενδεικτικό του μεγέθους του μαγνήτη (T·m)

Αυτές οι παράμετροι κάποιες φορές είναι δύσκολο να μετρηθούν ενώ οι Thiele/Small προκύπτουν απλά από τη μέτρηση της συνολικής εμπέδησης. Έτσι λόγω πρακτικότητας αλλά και επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις ο οδηγός του μεγαφώνου είναι έτοιμος κι εμείς ασχολούμαστε με τον περαιτέρω σχεδιασμό, είναι πιο βολικό να καταφύγουμε σε Thiele/Small.<sup>14</sup>

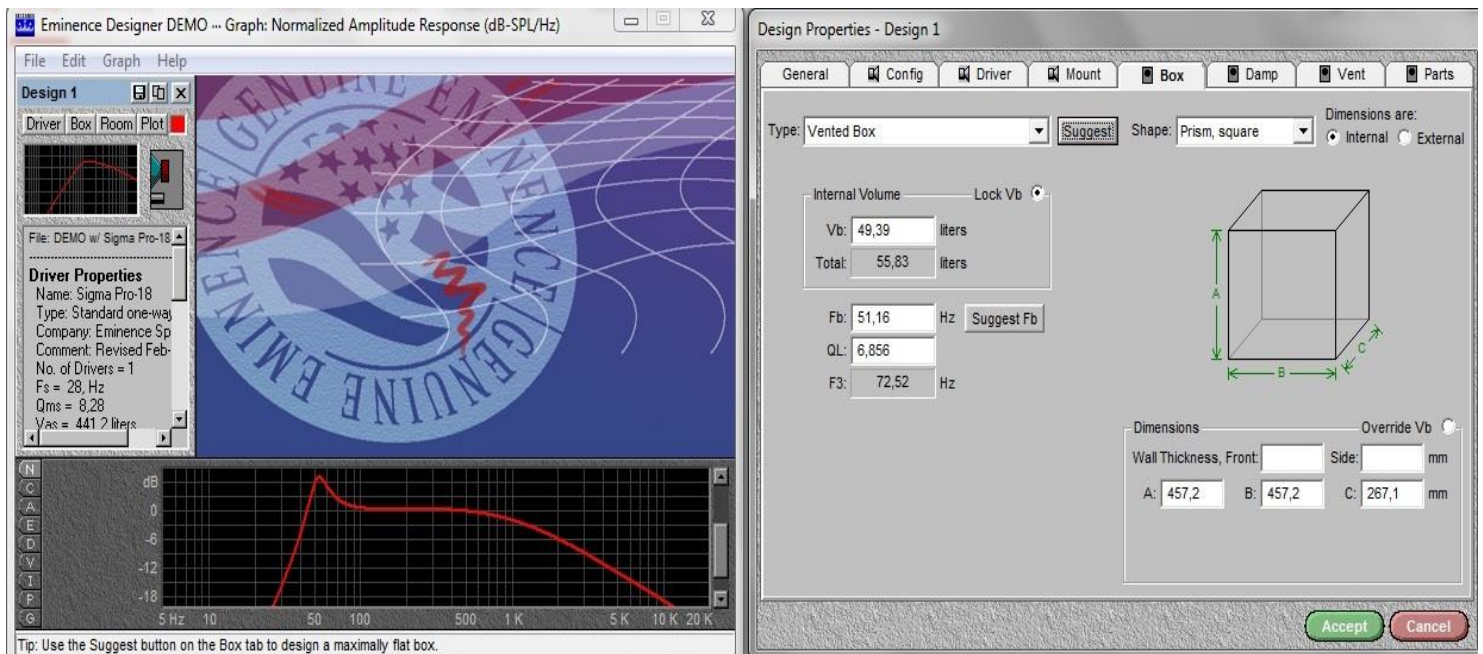
---

<sup>14</sup> Ι. Σταματάκης, Σχεδιασμός και κατασκευή Ηλεκτροακουστικού Συστήματος Απόδοσης Χαμηλών Συχνοτήτων, Πάτρα, σελ. 24-25

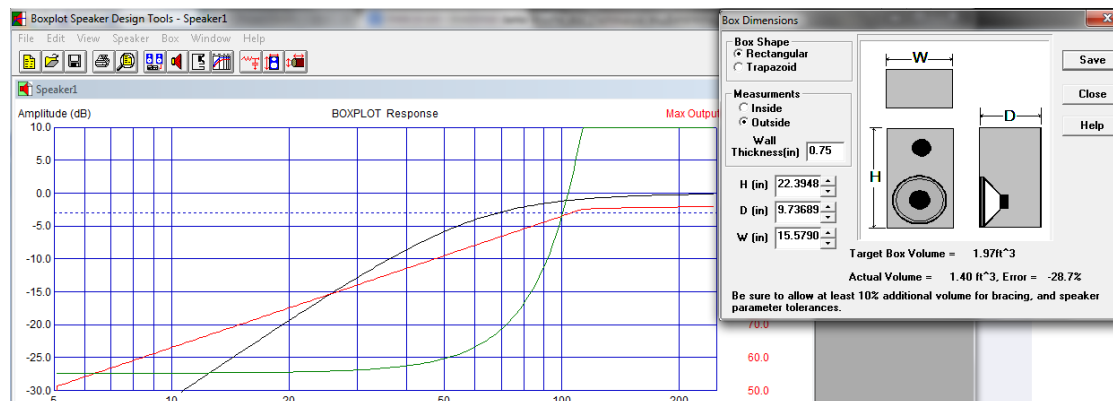
## 6.3 Κατασκευή Καμπίνας

Για να κατασκευάσουμε μια καμπίνα πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε το μέγεθος της. Αποφασίσαμε λοιπόν να βρούμε το μέγεθος της καμπίνας μας με την βοήθεια του προγράμματος Eminence Designer χρησιμοποιώντας της παραμέτρους Thiele/Small που μας δίνει ο κατασκευαστής του ηχείου μας (βλέπε παραπάνω στο κεφάλαιο για τα μεγάφωνα).

Το πρόγραμμα μας έδωσε ως αποτέλεσμα μια καμπίνα 49 λίτρων κάτι που μας φάνηκε εξαιρετικά μεγάλο ως μέγεθος για να φιλοξενήσει ένα 5” woofer και 1” tweeter.



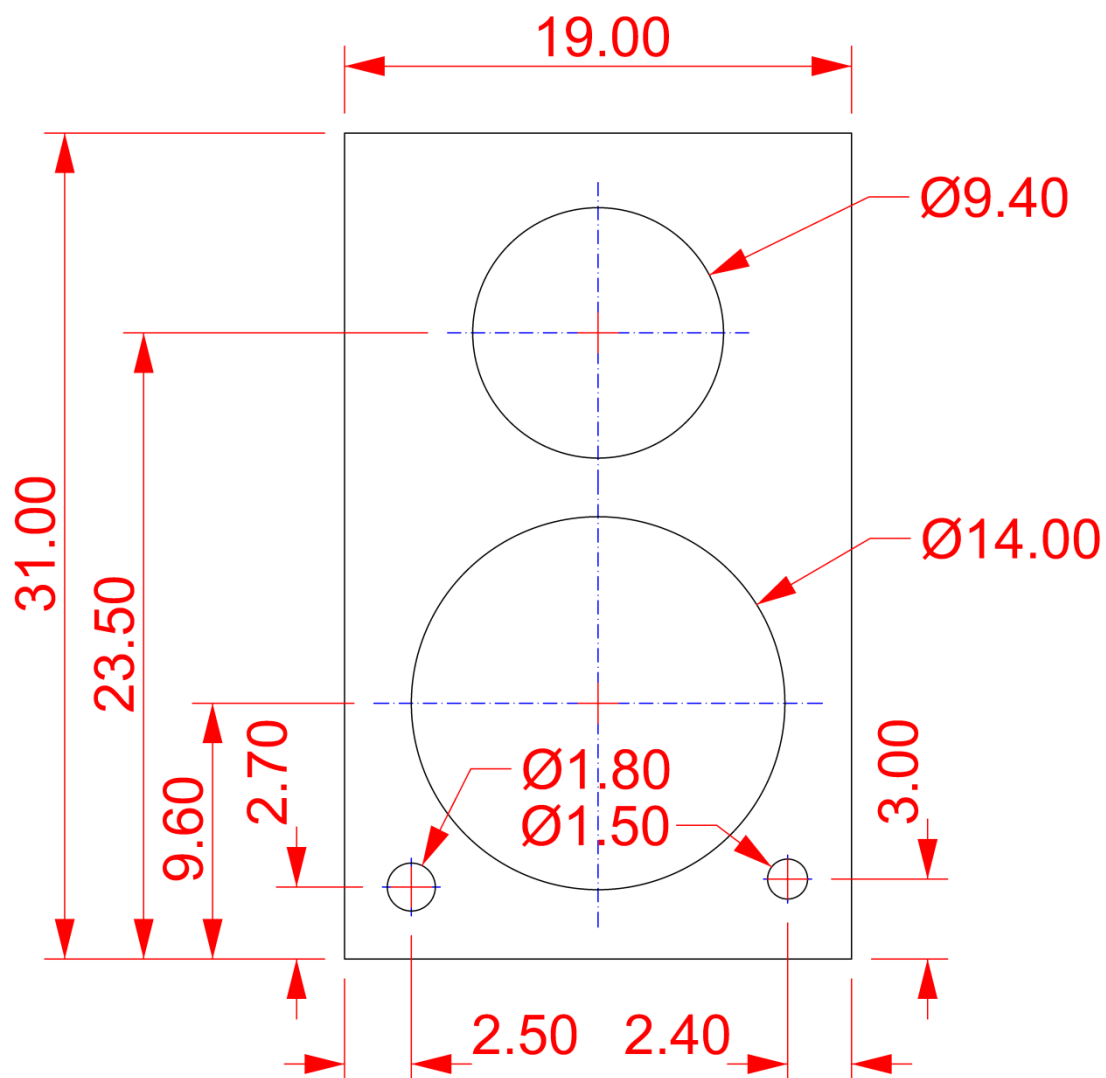
Αποφασίσαμε λοιπόν να χρησιμοποιήσουμε ένα δεύτερο πρόγραμμα για την επαλήθευση του μεγέθους της καμπίνας. Χρησιμοποιήσαμε λοιπόν το BoxPlot του οποίου τα αποτελέσματα βλέπετε παρακάτω.





Και αυτό το πρόγραμμα μας έδωσε αποτελέσματα μεγέθους καμπίνας παρόμοιο με το προηγούμενο. Επειδή όμως ο σκοπός της εργασίας μας είναι να κατασκευάσουμε ένα nearfield studio monitor που να τροφοδοτείται με usb θύρα πράγμα που σημαίνει ότι θέλουμε το ηχείο μας πέραν από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του να είναι και φορητό, αποφάσισα η κατασκευή της καμπίνας να έχει το μικρότερο δυνατό όγκο που μπορεί να «φιλοξενήσει» τα παραπάνω μεγάφωνα και έτσι πέρασα κατευθείαν στην κατασκευή

Η κατασκευή του ηχείου έγινε βάσει του παρακάτω σχεδιαγράμματος.

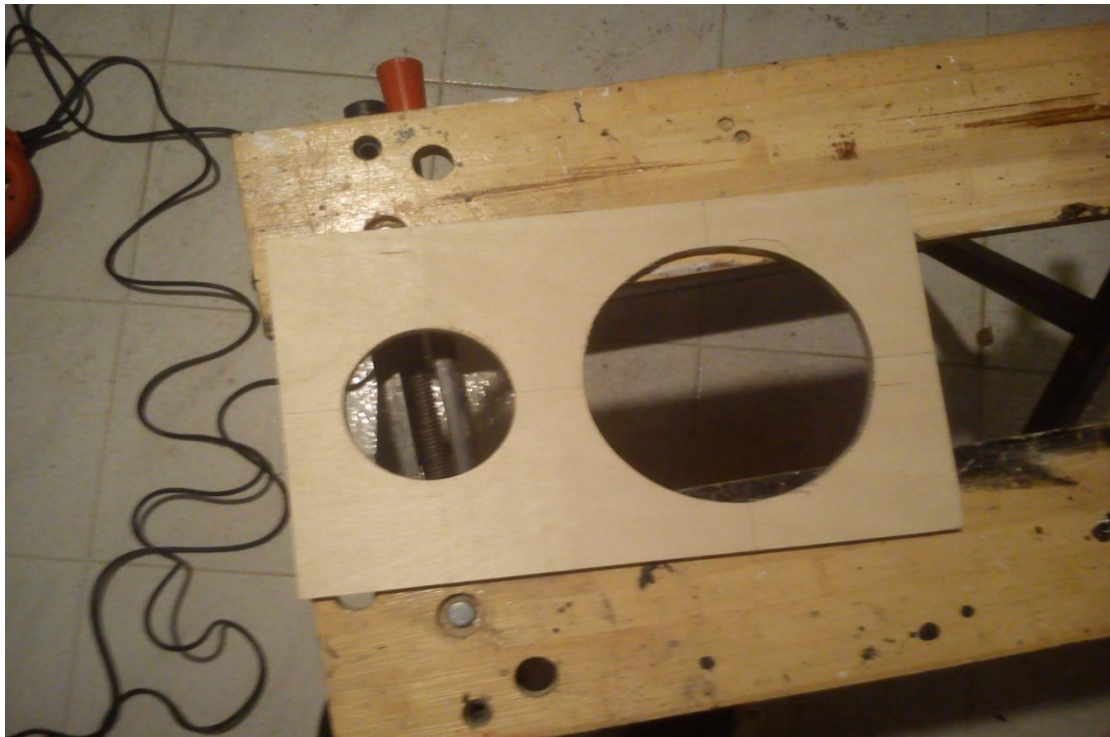




Τα ξύλα που χρησιμοποιήσαμε είναι κόντρα πλακέ 9mm.



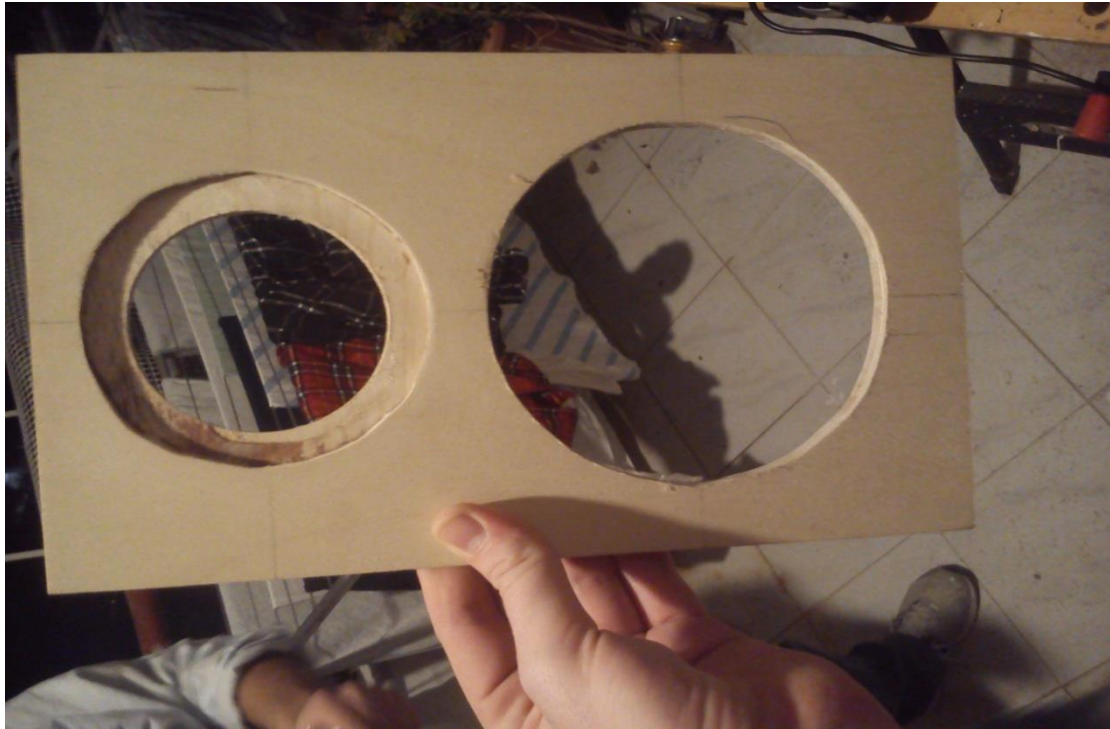
Κάναμε τις τρύπες όπου θα τοποθετηθούν τα μεγάφωνα μας.



Αφού είχαμε πλέον της τρύπες έτοιμες αντιληφθήκαμε ένα ακόμη πρόβλημα. Λόγο της μορφής του tweeter τα ηχεία μας ήταν σε διαφορετικό ύψος.



Χρησιμοποιώντας ένα Router δημιουργήσαμε ένα σκαλοπάτι 1mm ώστε τα μεγάφωνα μας όταν τοποθετηθούν να είναι στο ίδιο επίπεδο.



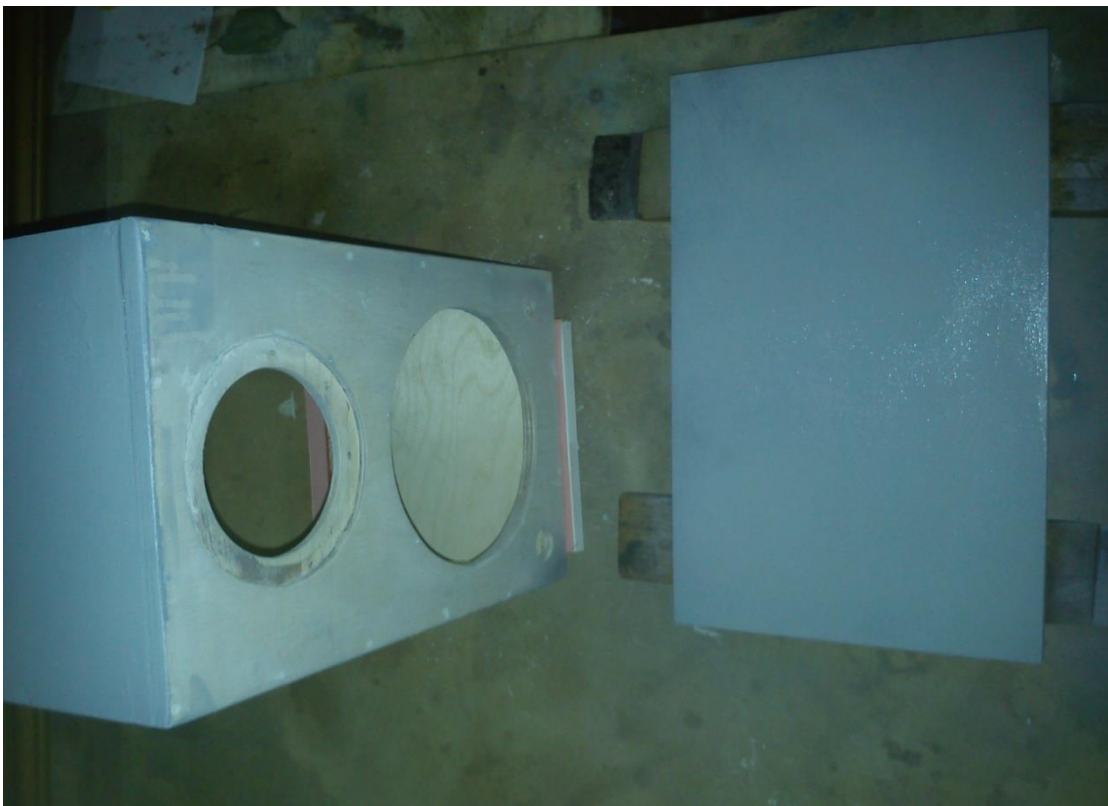
Επειδή δεν υπάρχουν στην αγορά ημιαγγελματικά εργαλεία που να δημιουργούν τρύπες και σκαλοπάτια οποιουδήποτε μεγέθους η τρύπες μας και το σκαλοπάτι μας δεν είναι απόλυτοι κύκλοι. Αυτό διορθώθηκε με την χρήση στόκου.



Στην συνέχεια κολλήσαμε και καρφώσαμε όλα τα κομμάτια μεταξύ τους.



Και το κουτί μας πείρε την παραπάνω μορφή. Αφού πρώτα το τρίψαμε και το στοκάραμε ήρθε η ώρα να το περάσουμε ένα χέρι αστάρι.



Αυτή είναι η μορφή του ηχείου μας μετά και το δεύτερο χέρι αστάρι.



Στην συνέχεια βάψαμε το ηχείο μας.



Πλέον μένει να τοποθετήσουμε τα μεγάφωνα, τον ενισχυτή και το crossover.



Αυτή είναι η τελική μορφή του ηχείου μας.

## 6.4 Μετρήσεις Συχνοτικής απόκρισης μεγαφώνου

Για να μετρήσουμε την συχνοτική απόκριση του μεγαφώνου μας επιλέξαμε να ηχογραφήσουμε το ηχείο μας σε έναν «ιδανικό» χώρο και να κάνουμε FFT ανάλυση του ηχογραφημένου υλικού μας.

Για την διεκπεραίωση των μετρήσεων μας χρησιμοποιήσαμε το studio του ΤΕΙ και συγκεκριμένα το χώρο ηχογράφησης και το χώρο των ProTools.



Τοποθετήσαμε και τροφοδοτήσαμε το ηχείο μας με α) λευκό θόρυβο, β) ροζ θόρυβο, γ) γραμμικό Sweep tone και δ) λογαριθμικό Sweep tone και ηχογραφήσαμε το αναπαραγόμενο σήμα μας στην on axis θέση με ένα πυκνωτικό μικρόφωνο μικρού διαφράγματος (Earthworks) σε απόσταση 1m. Επαναλάβαμε τις μετρήσεις μας σε απόσταση 0.5m

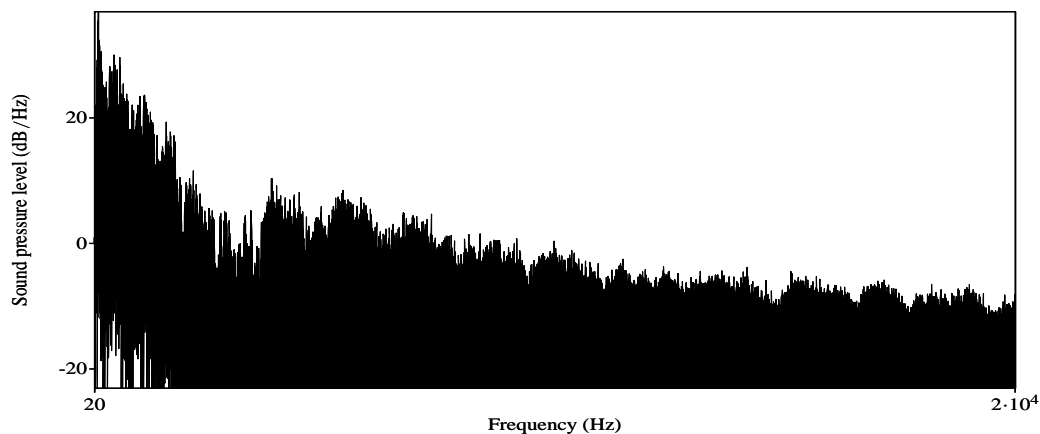




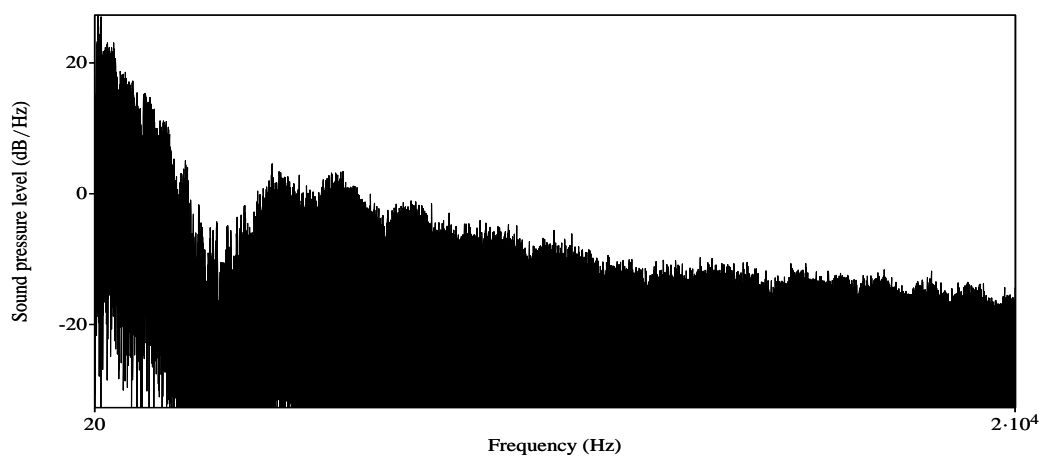
## 6.5 Αποτελέσματα

Στην συνέχεια κάναμε FFT ανάλυση στα ηχογραφημένα κομμάτια. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας έγιναν με το πρόγραμμα Praat και μπορείτε να δείτε παρακάτω τα αποτελέσματα αυτά

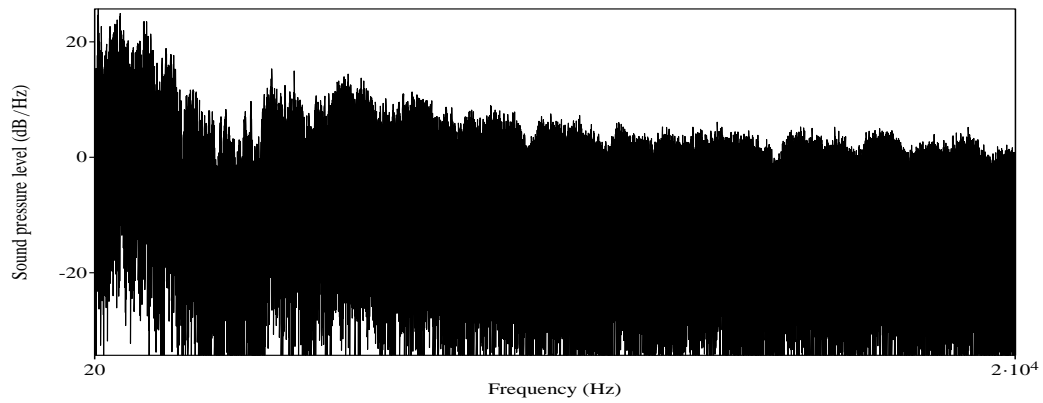
Βάσει των αποτελεσμάτων μας μπορούμε να πούμε ότι το ηχείο μας έχει πολύ καλή απόκριση συχνοτήτων. Έχει μια μικρή πτώση στην περιοχή των 2000 Hz και μια σχετικά αυξημένη απόκριση στις χαμηλότερες συχνότητες. Αυτό θα μπορούσε να διορθωθεί με την χρήση ηχοαπορροφητικών υλικών στην καμπίνα μας. Ο λόγος για τον οποίο δεν έγινε αυτό είναι καθαρά οικονομικός.



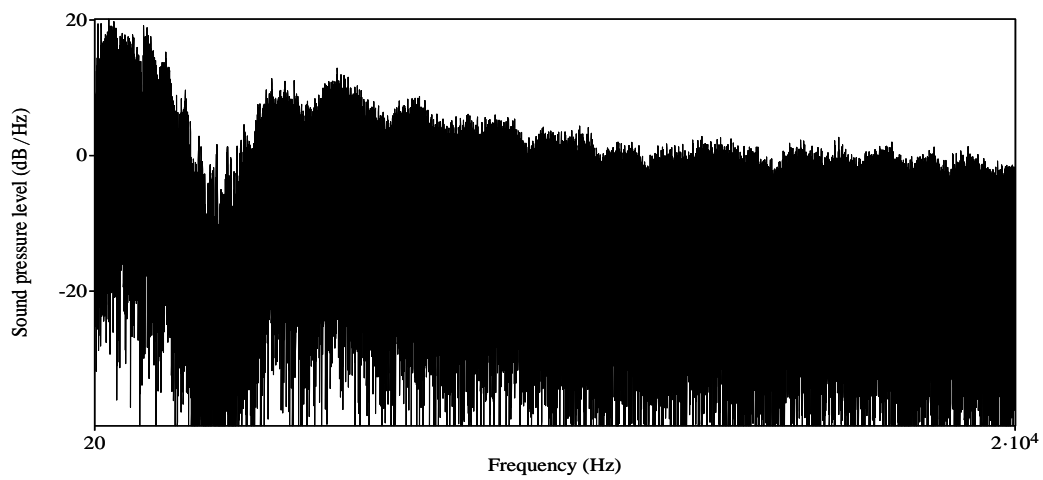
Pink Noise στο 1m



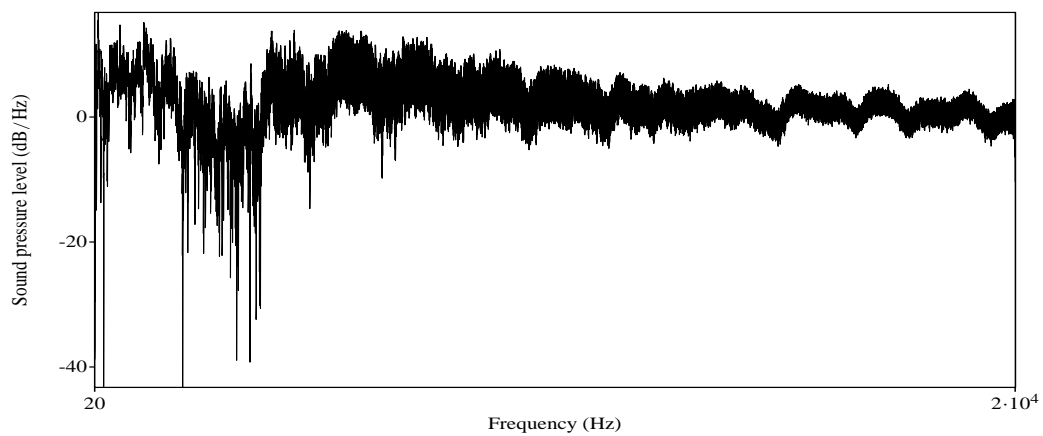
Pink Noise στο 0.5m



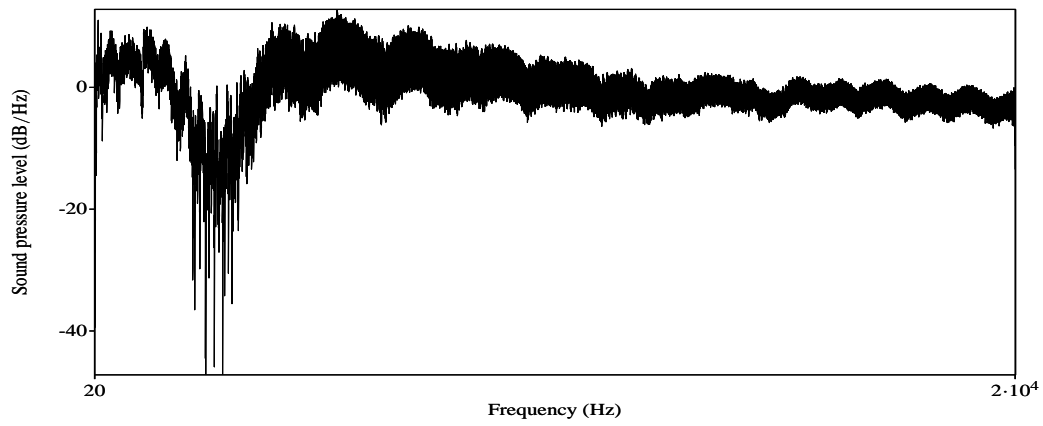
White Noise στο 1m



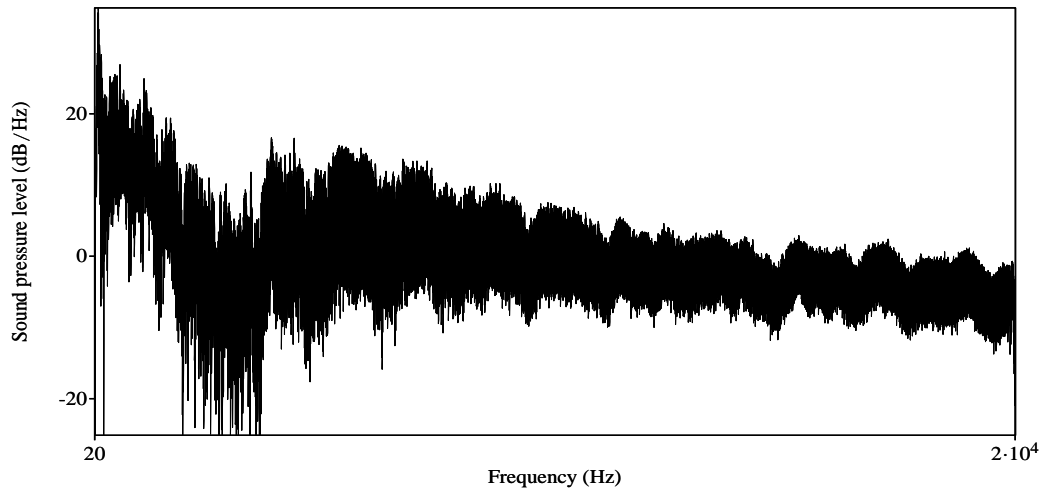
White Noise στο 0.5m



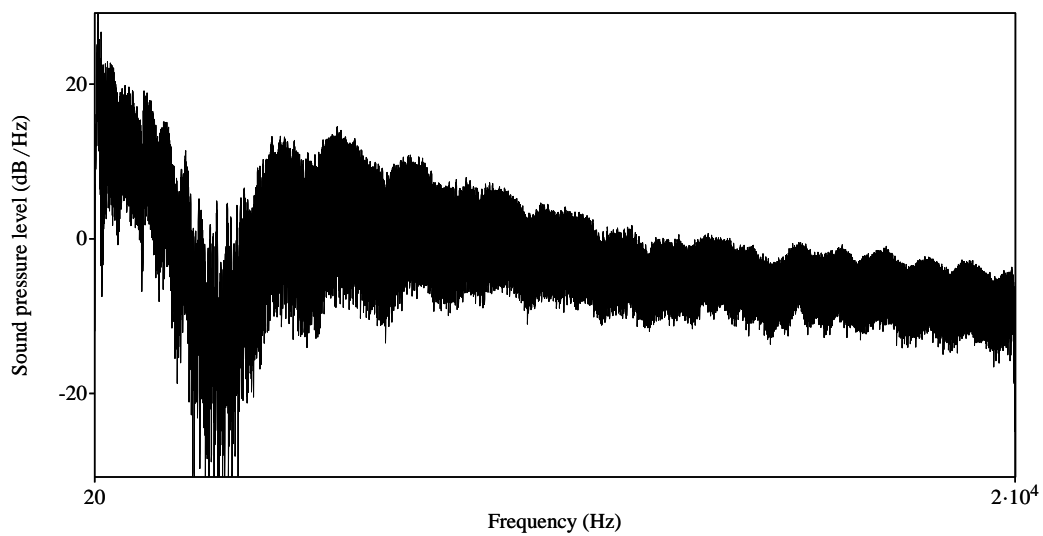
Sweep tone γραμμικό στο 1m



Sweep tone γραμμικό στο 0.5m



Sweep tone λογαριθμικό στο 1m



Sweep tone λογαριθμικό στο 0.5m

## **7. Συμπεράσματα**

Μετά την αναλυτικότερη παραπάνω παρουσίαση μπορούμε να περάσουμε σε μια συνολική αποτίμηση του αποτελέσματος της κατασκευής του ηχείου μας και των επιμέρους χαρακτηριστικών του.

Το προφανές είναι και το σημαντικότερο συμπέρασμα: το ηχείο μας είναι λειτουργικό, γεγονός που μας χαροποιεί ιδιαίτερα!! Παρόλα αυτά εμφανίζει και μια σειρά επιμέρους αδυναμιών που χρήζουν βελτίωσης. Φυσικά όχι στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής αλλά σε μελλοντική τριβή και ενασχόληση με την κατασκευή ηχείου.

Ειδικότερα, ο ενισχυτής μας παρότι τροφοδοτείται με πολύ μικρό ρεύμα και τάση έχει καλή απόδοση και καλή συχνοτική απόκριση. Μας δίνει πολύ καθαρό ήχο και δείχνει να δουλεύει επαρκώς. Οφείλουμε όμως να πούμε και λίγα πράγματα για την κατασκευή του, αν και η διαδικασία που παρουσιάσαμε στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής φαίνεται να είναι φαινομενικά απλή η πραγματικότητα απέχει πολύ από αυτό, για να καταφέρουμε να κατασκευάσουμε την πλακέτα που φιλοξενεί πλέον τον ενισχυτή μας χρειαστήκαμε περισσότερες από μια προσπάθειες και για να είμαστε ακριβείς η πλακέτα μας υλοποιήθηκε ορθά στην τέταρτη απόπειρα κατασκευής της. Το γεγονός ότι υπήρξαν τρεις αποτυχημένες προσπάθειες στην αρχή, μας “στενοχώρησε” αλλά το ξεπεράσαμε άμεσα με την αδιαμφισβήτητη χαρά που νιώσαμε στην 4<sup>η</sup> και τελευταία προσπάθεια κατασκευής της, που ήταν επιτυχημένη.

Ένα ακόμα γεγονός που δεν έχει αναφερθεί μέχρι τώρα είναι το ότι κατά την διάρκεια των πρώτων μετρήσεων (που έλαβαν χώρα στο εργαστήριο ηλεκτρονικών της ΣΕΛΕΤΕ) λόγω έλλειψης εμπειρίας μας “καταστρέψαμε/κάψαμε” το ολοκληρωμένο κύκλωμα TDA 2030A του ενισχυτή μας κάτι που μας πείρε αρκετό καιρό για να εντοπίσουμε και αντικαταστήσουμε. Οφείλουμε όμως να παραδεχτούμε ότι το τελικό αποτέλεσμα και η τριβή με το αντικείμενο της κατασκευής ενός ενισχυτή είναι στην ουσία το επιθυμητό αποτέλεσμα, και το μεγαλύτερο εφόδιο αυτού, είναι αυτό της εκμάθησης μέσω της πρακτικής ενασχόλησης .

Το crossover σύμφωνα με τις μετρήσεις μας έχει καλή συχνοτική απόκριση, η απόκριση αυτή φαίνεται να αποκλίνει ελαφρώς από την υπολογιζόμενη, αυτό είναι αποτέλεσμα του ότι ένα από τα στοιχεία που χρησιμοποιήσαμε και συγκεκριμένα το πηνίο δεν είχε την απολύτως σωστή τιμή, και αυτό γιατί στην αγορά τα εν λόγω στοιχεία (πηνία, πυκνωτές) έχουν πεπερασμένο αριθμό μεγεθών σαν εξαρτήματα. Παρά την χρήση πηνίου με μεγαλύτερο συντελεστή αυτεπαγωγής (αντί για 3,6mH χρησιμοποιήσαμε 3,9mH) έχουμε ένα Crossover οπού η συχνότητα αποκοπής των φίλτρων του είναι μέσα στην ζώνη κοινής λειτουργίας των μεγαφώνων μας και λειτουργεί ορθά. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό του είναι ότι καταναλώνει ένα μέρος από τη ήδη μικρή ισχύ του ενισχυτή μας.

Τα μεγάφωνα μας είναι ποιοτικά σε σχέση και με την εμπορική τους αξία, κάπου εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε και μια πρόταση για βελτίωση του ηχείου μας, αυτή θα ήταν η χρήση μικρότερων μεγαφώνων ώστε ο ενισχυτής μας να μπορέσει να τα δρομολογήσει καλύτερα.

Το κουτί φτιάχτηκε μη λαμβάνοντας υπόψη τη θεωρητική μελέτη προς αποφυγή του να γίνει το ηχείο μας μεγάλο σε όγκο, καθότι εξαρχής στόχος μας ήταν το ηχείο μας να είναι φορητό. Δε λάβαμε λοιπόν τη θεωρητική μας μελέτη υπόψη καθώς υποψιαζόμαστε πως τα specifications του μεγαφώνου μας που ορίζουν το μέγεθος της καμπίνας του ηχείου ήταν λανθασμένα. Ένας από τους λόγους που το πιστεύουμε αυτό, είναι ότι δε βρήκαμε τα specifications μέσω της ίδιας της εταιρίας που το παράγει αλλά τα προμηθευτήκαμε από την ιστοσελίδα της εταιρίας που απλά τα εμπορεύεται.

Παρόλα αυτά βλέποντας την συχνοτική απόκριση του ηχείου μας μπορούμε να πούμε ότι το τελικό μας αποτέλεσμα κρίνεται άκρως ικανοποιητικό.

Ακόμα, πιστεύουμε πως με την χρήση ηχοαπορροφητικών υλικών θα μπορούσε να εξαληφθεί και η ελαφρώς αυξημένη καμπύλη απόκρισης στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων

Σε γενικά πλαίσια και παρά τις όποιες παραπάνω αμφιβολίες και βελτιώσεις που ενδέχεται να χρειάζεται το ηχείο μας, θεωρούμε πως το τελικό αποτέλεσμα ανταποκρίνεται στους αρχικούς μας στόχους και επιδιώξεις. Το ταξίδι του ήχου μπορεί να συνεχιστεί...

## Βιβλιογραφία

- Berriman, Dave, *Μεγάφωνα και ηχεία Hi-Fi, απλή θεωρία και πρακτική*, Αθήνα: Εκδόσεις Γιαλούση, 1982
- King, J. Gordon, *Συστήματα Hi-fi, εγκατάσταση-αρχές λειτουργίας*, Αθήνα: Εκδόσεις Γιαλούση, 1982
- Malvino, Albert-Paul, *Βασική Ηλεκτρονική, εισαγωγή στα τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα*, μτφρ. Μάργαρης Νίκος - Πασχάλη Αγνή, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 1999
- Vance, Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook – 7<sup>th</sup> Edition*, Audio Amateur Press, 2006
- Αξιώτης, Νεκτάριος, *Μελέτη και κατασκευή ηχείου δύο δρόμων με καμπίνα από συνθετικό υλικό τύπου plexiglass*, ΑΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογία και Ακουστικής, Ρέθυμνο, 2012
- Αποστολάκος, Ιωάννης, *Σχεδιασμός και κατασκευή ηχείου δύο δρόμων*, Πτυχιακή Εργασία, ΑΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογία και Ακουστικής, Ρέθυμνο, 2012
- Πακτίτης, Σ.Α., *Φίλτρα, Lc, ενεργά, διακοπτόμενων πυκνωτών*, Αθήνα: Εκδόσεις Ίων, 2002 [3<sup>η</sup> έκδοση]
- Σταματάκης, Ιωάννης, *Σχεδιασμός και Κατασκευή Ηλεκτροακουστικού Συστήματος Απόδοσης Χαμηλών Συχνοτήτων*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πάτρα, 2012
- Σηφάκης, Μηνάς, *Σημειώσεις Θεωρίας Εφαρμοσμένης Ακουστικής I* Α.Τ.Ε.Ι Ρεθύμνου
- Τουσούνης, Νίκος - Κορδάς, Σωτήρης, *Ηλεκτρονικές ηχητικές διατάξεις, Θεωρία και Πράξη*, Αθήνα: Εκδόσεις Ίων, 1998

## Διαδικτυακές πηγές

- [http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%B1\\_%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%8D\\_%CF%84%CF%8D%CF%80%CE%BF%CF%85](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%B1_%CE%BA%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%8D_%CF%84%CF%8D%CF%80%CE%BF%CF%85)
- <http://www.edisontechcenter.org/speakers.html>
- <http://www.crystallaudio.gr/Working/Downloads/Notes/50af66f4dbf8489fa15c5ad7ff4ed7f3.htm>
- <http://www.erseaudio.com/First-Order-2-Way>
- <http://www.sengpielaudio.com/calculator-volt.htm>
- <http://www.ht-audio.com/>
- <http://www.trueaudio.com/>
- [http://www.colomar.com/Shavano/cons\\_structure.html](http://www.colomar.com/Shavano/cons_structure.html)
- <http://www.diyaudio.gr/oldnimiell.htm>
- <http://electronicslab.eu/el/>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Tweeter>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Woofers>
- <http://www.audiocircuit.com/DIY>