

Α.Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**"ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΖΕΥΓΟΥΣ ΗΧΕΙΩΝ ΔΥΟ ΔΡΟΜΩΝ ΜΕ
ΚΑΜΠΙΝΑ ΑΠΟ ΣΥΝΘΕΤΙΚΟ ΥΑΙΚΟ ΤΥΠΟΥ PLEXIGLASS"**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΡΩΜΑΝΟΣ ΟΔΥΣΣΕΑΣ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΑΞΙΩΤΗΣ ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ - ΡΕΘΥΜΝΟ 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Συνηθίζεται στις πρώτες -καμιά φορά ίσως και στις τελευταίες απ' όσα έχω δει- σελίδες τέτοιων εργασιών, να χώνεται κι ένα κειμενάκι, μικρής σχετικά έκτασης για τα γούστα μου, στο οποίο ο συγγραφέας εκφράζει τις ευχαριστίες του στους ανθρώπους οι οποίοι συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση του έργου του...

Επειδή, όπως λέγεται, είμαι πολυλογάς ίσως χάσω το μέτρο και το κείμενο αυτό ξεπεράσει την προβλεπόμενη έκταση. Τι να γίνει όμως που πρέπει να εκφράσω κι εγώ τις ευχαριστίες μου...

Όχι επειδή συνηθίζεται...όλα όσα ακολουθούν τα εννοώ, ειλικρινά...

Πρώτο απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Οδυσσέα Ρωμανό, αρχικά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναλαμβάνοντας την επίβλεψη της παρούσας πτυχιακής εργασίας, αλλά και για τις συμβουλές και προτάσεις του κατά την εκτέλεση αυτής, καθώς και για την υπομονή του μιας και, ομολογώ, για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα η δουλειά μου καθυστερούσε σημαντικά, κυρίως λόγω της σχεδόν ψυχαναγκαστικής δυσκολίας μου στην λήψη αποφάσεων, ακόμη και για στοιχειώδη ζητήματα. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω και για την συμβολή του στην σελιδοποίηση των κειμένων. Ελπίζω πραγματικά να τον ικανοποιήσει, έστω και λίγο, το τελικό αποτέλεσμα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Σπύρο Μπρέζα. Χωρίς την βοήθεια και τις συμβουλές του ίσως να μην γράφονταν ποτέ οι επόμενες σελίδες. Δεν ήταν λίγες οι περιπτώσεις όπου σκέφτηκα πως έφτασε στα όριά του, ειδικά κατά την διαδικασία μέτρησης του ηχείου: Αντιμετωπίσαμε όλων των ειδών τις αντιξοότητες, από απρόσμενες βροχές μέχρι την "εισβολή" αυτοκινήτων στον χώρο όπου είχε εγκατασταθεί ο εξοπλισμός, μέχρι την προσωρινή ευτυχώς αποτυχία του -αθάνατου κατά τ' άλλα- "υπερυπολογιστή" του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Ακουστικής...φυσικά ο κύριος Μπρέζας αντιμετώπισε όλες τις παραπάνω καταστάσεις με το γνωστό, ιδιαίτερο χιούμορ του...

Οφείλω να ευχαριστήσω και τον καθηγητή μου, κ. Στέλιο Πιοτογιαννάκη για την παροχή εξοπλισμού από το εργαστήριο Ηλεκτρονικών του ΤΕΙ, καθώς και για την βοήθειά του κατά την κατασκευή των εξασθενητών L-PAD οι οποίοι χρησιμοποιούνται στα ηχεία.

Βέβαια, θα ήταν άδικο αν οι ευχαριστίες μου περιορίζονταν στους παραπάνω VIP. Ευχαριστώ λοιπόν θερμά τους "αφανείς ήρωες" Κώστα Σκούρτη, Θεωρή Πανάγο, Νίκο Μυτιληναίο και Μιχάλη Τερζάκη για την σημαντική βοήθειά τους κατά την διαδικασία μετρήσεων.

Αν και ντρέπομαι λίγο, δεν θέλω βλέπετε να χαρακτηριστώ (περισσότερο) γραφικός, ευχαριστώ τους γονείς μου για την εμπιστοσύνη και την στήριξη των επιλογών μου όλα αυτά τα χρόνια, καθώς και για την οικονομική συμβολή τους στην παρούσα εργασία.

Τέλος, ευχαριστώ την Μαρίνα Κουρέλη και τον Σπύρο Στρατηγάκο, όχι μόνο για την ανεκτίμητη βοήθειά τους σε πρακτικά ζητήματα, αλλά και για την αμέριστη και ανιδιοτελή στήριξη τους όλους αυτούς τους ζορικούς μήνες. Παρότι πολυλογάς, ειδικά για εσάς τους δύο παιδιά, δυσκολεύομαι να βρω λόγια ικανά να εκφράσουν αυτά που αισθάνομαι...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενα της παρούσας εργασίας αποτελούν η μελέτη της σχετικής με την λειτουργία και τον σχεδιασμό ηχείων θεωρίας, η κατασκευή βάσει αυτής ενός stereo συστήματος δύο δρόμων με καμπίνα bass - reflex από συνθετικό υλικό τύπου plexiglass και τέλος, η μέτρηση και αξιολόγηση του τελικού προϊόντος.

Η αρχική μελέτη εκπονήθηκε με βασικό στόχο την βαθύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός ολοκληρωμένου συστήματος ηχείου, καθώς και της επιρροής των διάφορων εμπλεκομένων με αυτή φυσικών φαινομένων, στην απόδοση του συστήματος.

Αφορά δε κατά κύριο λόγο την εξέταση διάφορων μεθόδων οι οποίες, βάσει συγκεκριμένων μαθηματικών σχέσεων ή ειδικού λογισμικού εξομοίωσης, δύνανται να οδηγήσουν με σχετική ακρίβεια στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός συστήματος πριν αυτό κατασκευαστεί, επιτρέποντας κατ' αυτό τον τρόπο την κατάλληλη -εάν κριθεί απαραίτητο- προσαρμογή του σχεδιασμού, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη δυνατή απόδοση.

Κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή των ηχείων, λαμβάνοντας υπόψιν τα στοιχεία που προέκυψαν από την μελέτη που προηγήθηκε, εφαρμόστηκε η σχετική θεωρία έτσι ώστε η απόδοση του ηχείου να είναι όσο το δυνατόν ομαλότερη. Παραδείγματος χάρη, η καμπίνα σχεδιάστηκε με συγκεκριμένες διαστάσεις έτσι ώστε να περιοριστούν τα στάσιμα κύματα στο εσωτερικό αυτής, ενώ κατασκευάστηκαν και κυκλώματα εξασθενητών προκειμένου να εξισορροπηθεί η αποδοτικότητα των οδηγών οι οποίοι χρησιμοποιούνται στα ηχεία.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό (MLSSA, ARTA) και τεχνικές, τόσο για την συλλογή δεδομένων όσο και για την επεξεργασία αυτών, προκειμένου να προσδιοριστούν και αξιολογηθούν η συχνοτική και πολική απόκριση, καθώς και η εμπέδηση του τελικού προϊόντος.

ABSTRACT

The main objectives of this thesis are the study of the theory covering the concepts of loudspeaker operation and design, the construction -according to the respective theory- of a stereo 2-way loudspeaker system, based on a bass - reflex cabinet made out of synthetic material (plexiglass) and, finally, the measurement and evaluation of the final product.

This initial study aimed at a deeper understanding of the way a loudspeaker system works and, additionally, the performance impact of the various physical phenomena involved in its operation.

It mainly concerns the examination of various methods which, by being based on certain mathematical formulae and specialized simulation software, can lead to quite accurate predictions of the final product's behavior prior to its construction, thus allowing the design to be adjusted if necessary, in order to achieve optimal performance.

During the designing and construction procedures, and while taking into account any data derived from the study conducted earlier, known theoretical concepts were applied so that the final product's performance would be the best possible. For example, the enclosure was based on specific dimensions so interior standing wave patterns could be reduced, and driver attenuator circuits were designed and installed in order to equalize the output of the drivers used in the system.

The measurements had been carried out by using specialized software (MLSSA, ARTA) and techniques for data collection and processing, so that the frequency response, directivity and system impedance of the final product could be determined and evaluated.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο - ΜΕΓΑΦΩΝΑ	8
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.2 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ	10
1.2.1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ	11
1.2.2 Ο ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ.....	12
1.2.3 ΤΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ	13
1.3 ΟΔΗΓΟΙ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ (COMPRESSION DRIVERS)	17
1.4 ΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ THIELE / SMALL	19
1.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΝΑΛΟΓΟ	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο - Η ΚΑΜΠΙΝΑ	21
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	22
2.2 ΤΟ ΙΔΑΝΙΚΟ ΗΧΕΙΟ – INFINITE BAFFLE	22
2.3 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΑΜΠΙΝΑΣ	23
2.4 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΚΑΜΠΙΝΑΣ	23
2.4.1 ΣΧΗΜΑ ΚΑΜΠΙΝΑΣ ΚΑΙ ΣΤΑΣΙΜΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	24
2.4.2 ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	25
2.4.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΚΑΜΠΙΝΑΣ.....	26
2.5 ΤΥΠΟΙ ΚΑΜΠΙΝΑΣ	28
2.5.1 ΗΧΕΙΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ	29
2.5.2 ΗΧΕΙΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΤΥΠΟΥ - “OPEN BAFFLE”	31
2.5.3 ΚΑΜΠΙΝΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	32
2.6 ΜΕΓΑΦΩΝΑ ΤΥΠΟΥ ΧΟΑΝΗΣ	40
2.6.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ.....	40
2.6.2 ΧΟΑΝΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	41
2.6.3 ΤΥΠΟΙ ΜΕΓΑΦΩΝΩΝ ΧΟΑΝΗΣ.....	42
2.6.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΝΑΛΟΓΟ	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο - ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	47
3.1 ΦΙΛΤΡΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	48
3.1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΑΡΙΘΜΟΥ “ΔΡΟΜΩΝ”	48
3.1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΡΟΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	49
3.1.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΑΞΗΣ.....	52
3.2 ΕΞΑΣΘΕΝΗΤΕΣ	53
3.2.1 ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΑΦΩΝΟ.....	53
3.2.2 ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ L-PAD	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο - ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΔΗΓΩΝ / CROSSOVERS	55
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	56
4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΔΗΓΩΝ WOOFER	56
4.2.1 Ο ΟΔΗΓΟΣ EMINENCE DELTA LITE II.....	56
4.2.2 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	58
4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΔΗΓΩΝ TWEETER	58
4.3.1 Ο ΟΔΗΓΟΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ EMINENCE PSD2002.....	59
4.3.2 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	61
4.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΙΛΤΡΩΝ CROSSOVER	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΜΠΙΝΑΣ	64
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	65
5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΚΑΜΠΙΝΑΣ	65
5.2.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΚΑΜΠΙΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΟΓΚΩΝ	66
5.3 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ.....	70
5.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΓΚΟΥ ΚΑΜΠΙΝΑΣ	71
5.4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΟΥ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	71
5.5 ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΑΛΟΓΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	73
5.5.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΜΠΙΝΑΣ.....	75
5.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ Fb.....	77
5.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΟΠΗΣ ΚΑΙ ΣΩΛΗΝΑ.....	77
5.7.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΣΕΙ ΤΥΠΩΝ.....	77
5.7.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ WinISD.....	78
5.7.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΛΛΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	79
5.7.4 ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	80
5.7.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ BASS REFLEX	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	83
6.1 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΩΝ	84
6.2 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ	87
6.2.1 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ CROSSOVER.....	88
6.2.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΞΑΣΘΕΝΗΤΩΝ	90
6.2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7° - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	93
7.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	94
7.1.1 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ	95
7.1.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΟΔΗΓΩΝ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΤΩΝ.....	98
7.2 ΤΕΛΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	99
7.2.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	101
7.2.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΜΠΕΔΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	104
7.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	106
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	116
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	117
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	120
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ	125
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV.....	128
ΠΗΓΕΣ	130

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ένα σύνθετο ηχείο πολλαπλών δρόμων αποτελεί ένα περίπλοκο, δυναμικό σύστημα, του οποίου η ορθή λειτουργία και απόδοση εξαρτάται από την αλληλεπίδραση πλήθους διαφορετικών στοιχείων και φαινομένων.

Στόχο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η κατασκευή ενός ηχείου δύο δρόμων με καμπίνα bass - reflex από υλικό τύπου plexiglass, καθώς και η εκτίμηση της επιρροής του εν λόγω υλικού στην απόδοση του συστήματος.

Προκειμένου ο αναγνώστης -και υποψήφιος κατασκευαστής- να εξοικειωθεί με τον τρόπο λειτουργίας ενός σύγχρονου ηχείου, στα πρώτα κεφάλαια της εργασίας περιγράφονται τα κύρια και ίσως σημαντικότερα μέρη αυτού, οι οδηγοί και η καμπίνα. Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται η δομή και η τεχνολογία των σύγχρονων ηλεκτροδυναμικών οδηγών, ενώ στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται εκτενής περιγραφή των δημοφιλέστερων τύπων καμπίνας και της επιρροής αυτών στην απόδοση των οδηγών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις καμπίνες τύπου bass - reflex, αφενός λόγω του θέματος της εργασίας αυτής και αφετέρου λόγω της πολυπλοκότητας που διέπει την λειτουργία τους. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται τα βασικά ηλεκτρονικά υποσυστήματα ενός ηχείου, τα φίλτρα διαχωρισμού συχνοτήτων και οι εξασθενητές.

Τα υπόλοιπα κεφάλαια αφορούν κατά κύριο λόγο την εφαρμογή της σχετικής θεωρίας προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή λειτουργία του ηχείου. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία επιλογής των οδηγών και των φίλτρων crossover που τελικά χρησιμοποιήθηκαν, στο πέμπτο η μέθοδος σχεδιασμού της καμπίνας, παραθέτοντας παράλληλα τα αποτελέσματα των διάφορων υπολογισμών και προσομοιώσεων που οδήγησαν στον καθορισμό των τελικών διαστάσεων αυτής, και στο έκτο η τελική διαδικασία κατασκευής. Το έβδομο κεφάλαιο αφορά τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να αξιολογηθεί το ηχείο: Συγκεκριμένα, περιγράφεται η μέθοδος και η διαδικασία μετρήσεων, παρατίθενται τα αποτελέσματα αυτών και τέλος, βάσει των εν λόγω αποτελεσμάτων, η διαδικασία αξιολόγησης ολοκληρώνεται με την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Συμπληρωματικές πληροφορίες οι οποίες δεν κρίθηκε σκόπιμο να συμπεριληφθούν σε κάποιο από τα προηγούμενα κεφάλαια παρατίθενται στα παραρτήματα I έως III.

Ας σημειωθεί πως κατά την συγγραφή των κειμένων, τέθηκε ως στόχος η απλή και κατανοητή, παράλληλα όμως αναλυτική προσέγγιση του θέματος, θεωρώντας πως η παρούσα εργασία θα μπορούσε να αποτελέσει έναν βασικό οδηγό για τον αρχάριο κατασκευαστή ηχείων. Στην περίπτωση που ο αναγνώστης επιθυμεί να εμβαθύνει περαιτέρω παραπέμπεται στην σχετική βιβλιογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΜΕΓΑΦΩΝΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μεγάφωνο ονομάζεται η συσκευή εκείνη που χρησιμοποιείται για την αναπαραγωγή και την ενίσχυση διάφορων ήχων. Το μεγάφωνο λαμβάνει στην είσοδό του την ηχητική πληροφορία με την μορφή ηλεκτρικών ταλαντώσεων, τις οποίες μετατρέπει σε μηχανικές και στη συνέχεια εκπέμπει στον χώρο. Οι μηχανικές αυτές ταλαντώσεις μεταφέρονται μέσω του αέρα με την μορφή ηχητικών κυμάτων και έτσι γίνονται αντιληπτές από τα αισθητήρια της ακοής.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι μεγαφώνων¹ οι οποίοι διαχωρίζονται βάση της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στον μηχανισμό τους:

- 1) Ηλεκτροδυναμικά μεγάφωνα: Σε αυτό τον τύπο μεγαφώνου η διάταξη μετατροπής του ηλεκτρικού σήματος εισόδου σε μηχανική ταλάντωση βασίζεται σε ένα πηνίο το οποίο περιστρέφεται εντός του μαγνητικού πεδίου ενός ισχυρού μαγνήτη. Καθώς ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το πηνίο, αυτό περιστρέφεται ομαλά. Ως αποτέλεσμα της κίνησης αυτής του πηνίου το κατάλληλα συνδεδεμένο διάφραγμα ταλαντώνεται και εκπέμπει ηχητική ακτινοβολία.
- 2) Ηλεκτρομαγνητικά μεγάφωνα / τύπου ταινίας: Στα μεγάφωνα αυτού του τύπου χρησιμοποιείται ένα έλασμα από μαλακό μέταλλο αντί πηνίου. Το έλασμα αυτό είναι συνδεδεμένο με το διάφραγμα του μεγαφώνου και μπορεί να κινείται ελεύθερα εντός του μαγνητικού πεδίου ισχυρού ηλεκτρομαγνήτη ο οποίος διαρρέεται από το ηλεκτρικό ρεύμα εισόδου. Η κίνηση του ελάσματος προκαλεί την κίνηση του διαφράγματος και συνεπώς την εκπομπή ηχητικής ακτινοβολίας.
- 3) Ηλεκτροστατικά μεγάφωνα: Αρχή λειτουργίας των ηλεκτροστατικών μεγαφώνων είναι η δύναμη Coulomb που ασκείται όταν κάποιο ηλεκτρικό φορτίο βρεθεί εντός ηλεκτρικού πεδίου. Αποτελούνται από ένα πολύ λεπτό διάφραγμα στο οποίο αναπτύσσεται υψηλό στατικό φορτίο. Το διάφραγμα τίθεται σε κίνηση από ηλεκτρικό πεδίο υψηλής τάσης που προκαλείται από δύο αγωγά πλέγματα τοποθετημένα στις πλευρές του. Η κίνηση του διαφράγματος εκπέμπει την ηχητική ακτινοβολία.
- 4) Μεγάφωνα τύπου μεμβράνης: Η ανάγκη για μείωση του όγκου των ηχείων οδήγησε στην ανάπτυξη του εν λόγω τύπου μεγαφώνων. Τα συγκεκριμένα μεγάφωνα αποτελούνται από μια εύκαμπτη μεμβράνη και η λειτουργία τους βασίζεται στην εκμετάλλευση των στάσιμων κυμάτων που αναπτύσσονται σε δονούμενες επιφάνειες. Ο ήχος αναπαράγεται με την πρόκληση modes δονήσεων από έναν ειδικό ηλεκτρικό διεγέρτη στην επιφάνεια της μεμβράνης/ διαφράγματος.

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται μια προσπάθεια προσέγγισης και επεξήγησης βασικών εννοιών που αφορούν την λειτουργία των σύγχρονων ηλεκτροδυναμικών μεγαφώνων, εφόσον τέτοιου τύπου χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα εργασία αλλά και επειδή εκτιμήθηκε πως ο σχεδιασμός ενός συστήματος ήχου υψηλής ποιότητας προϋποθέτει γνώση του τρόπου λειτουργίας κάθε εμπλεκόμενου σε αυτό υποσυστήματος καθώς, και των φυσικών μεγεθών από τα οποία αυτή εξαρτάται. Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τα εν λόγω μεγέθη ο αναγνώστης παραπέμπεται στο παράρτημα II και για πληροφορίες σχετικά με το φυσικό φαινόμενο του ήχου γενικότερα στο παράρτημα I.

1. Σηφάκης Μηνάς, *Σημειώσεις Θεωρίας Εφαρμοσμένης Ακουστικής I*, Α.Τ.Ε.Ι Ρεθύμνου.

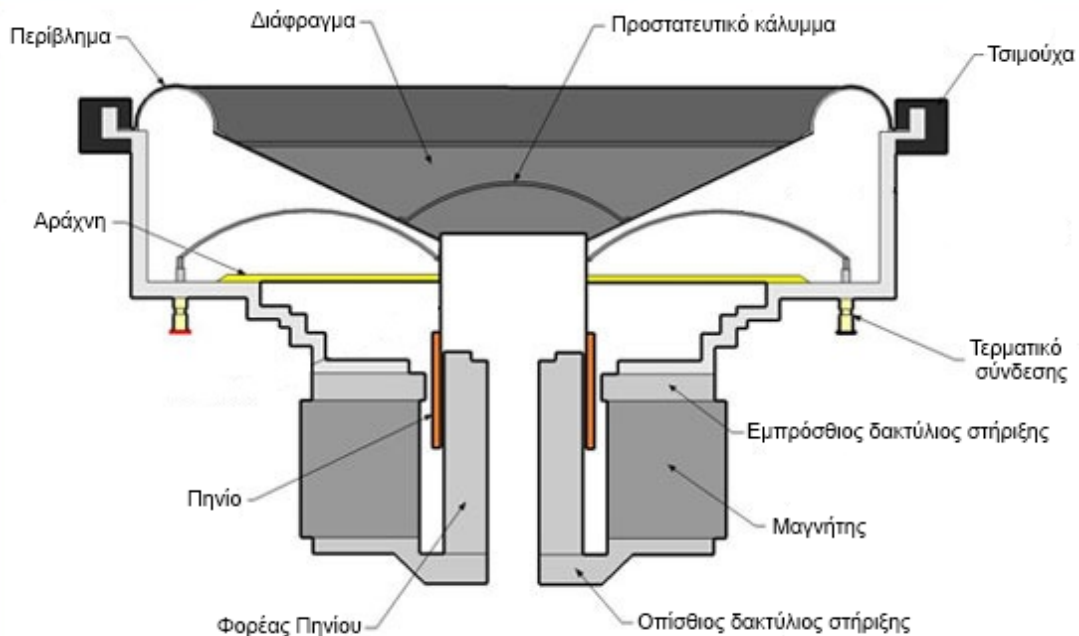
1.2 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΟΔΗΓΩΝ

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, η παραγωγή του ήχου από έναν ηλεκτροδυναμικό οδηγό οφείλεται στην κίνηση του διαφράγματος. Η κίνηση αυτή του διαφράγματος προέρχεται από την κίνηση του πηνίου το οποίο αλληλεπιδρά μαγνητικά με τον σταθερό μαγνήτη του μεγαφώνου. Η κίνηση αυτή του διαφράγματος διαδίδεται στον αέρα με αποτέλεσμα την παραγωγή ήχου.

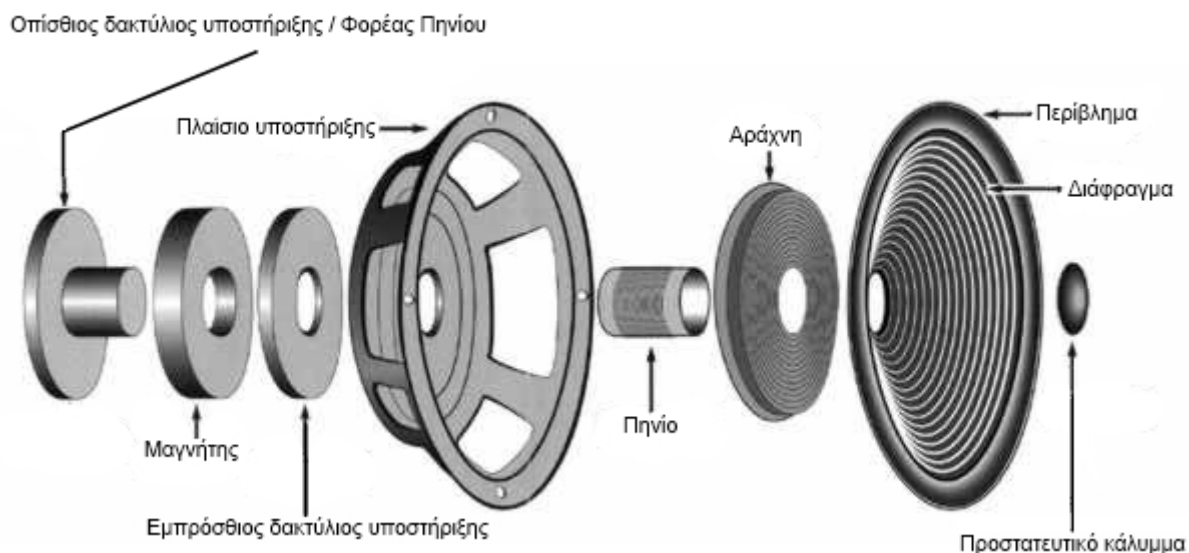
Τρία διαφορετικά αλλά αλληλένδετα βασικά συστήματα λειτουργούν από κοινού σε έναν ηλεκτροδυναμικό οδηγό:

- Το σύστημα ανάρτησης, το οποίο αποτελείται από ένα πλέγμα συνθετικών ινών, την “αράχνη” (λαμβάνει αυτή την ονομασία λόγω οπτικής ομοιότητας με τον ιστό μιας αράχνης) και κάποιο περίβλημα από ελαστικό υλικό, συνήθως καουτσούκ.
- Ο κινητήρας, ο οποίος αποτελείται από τον μαγνήτη και το κινούμενο πηνίο.
- Το διάφραγμα, το οποίο συνήθως είναι κατασκευασμένο από πεπιεσμένο χαρτί ή από συνθετικά υλικά όπως Kevlar ή ανθρακονήματα και έχει σχήμα κώνου ή εναλλακτικά θόλου/ημισφαιρίου.

Η δομή ενός ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου παρουσιάζεται στις εικόνες που ακολουθούν:



Εικόνα 1
Σχηματική αναπαράσταση μεγαφώνου – τομή.



Εικόνα 2

Σχηματική αναπαράσταση μεγαφώνου – τρισδιάστατο μοντέλο.

Στις ενότητες που ακολουθούν περιγράφονται λεπτομερώς τα υποσυστήματα αυτά ενός μεγαφώνου/οδηγού.

1.2.1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ

Το σύστημα ανάρτησης ενός ηλεκτροδυναμικού οδηγού αποτελείται από δυο μέρη, το περίβλημα (surround) και την “αράχνη”. Το περίβλημα είναι συνήθως κατασκευασμένο από κάποιο ελαστικό υλικό όπως καουτσούκ, ειδικά επεξεργασμένο λινό ύφασμα ή κατάλληλο αφρώδες υλικό (π.χ. αφρολέξ). Σκοπός του είναι να διατηρεί το διάφραγμα σταθερό στο κέντρο του μεγαφώνου, ενώ παρέχει και μέρος της δύναμης επαναφοράς που συγκρατεί το πηνίο γύρω από τον φορέα του. Η “αράχνη” είναι ένα πλέγμα κατασκευασμένο συνήθως από νήματα υφάσματος ή συνθετικού υλικού. Παρέχει μέρος της δύναμης επαναφοράς του διαφράγματος, ενώ όπως και το περίβλημα, υποβοηθά την διατήρηση του πηνίου γύρω από τον φορέα του.

1.2.1.1 ΤΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ

Το περίβλημα εξυπηρετεί δύο βασικούς σκοπούς²: Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, την σταθεροποίηση του πηνίου γύρω από τον φορέα του και την απόσβεση των δονήσεων που οδεύουν προς το εξωτερικό άκρο του διαφράγματος³. Η επιλογή υλικού κατάλληλου τύπου και πάχους για την κατασκευή του περιβλήματος μπορεί να επηρεάσει δραματικά την απόδοση ενός μεγαφώνου. Η ικανότητα του περιβλήματος να αποσβένει τις δονήσεις στα άκρα του διαφράγματος, εμποδίζοντας έτσι την μεταφορά ανακλάσεων πίσω σε αυτό, είναι δυνατόν να επηρεάσει τόσο το πλάτος όσο και την φάση των τρόπων δόνησης της επιφάνειας του διαφράγματος, βελτιώνοντας έτσι την συχνотική απόκριση. Ας σημειωθεί επίσης πως επειδή το περίβλημα συνδέεται άμεσα με το διάφραγμα, συμπαρασύρεται αναπόφευκτα από την κίνηση αυτού και ταλαντώνεται με την ίδια συχνότητα. Λειτουργεί κατά συνέπεια ως προέκταση του διαφράγματος, συμβάλλοντας έτσι ένα μικρό ποσοστό της συνολικής ηχητικής ακτινοβολίας του μεγαφώνου.

2. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 10

3. Leo Leroy Beranek, *Acoustics*, σελ 200

Όσον αφορά το υλικό κατασκευής τέτοιων περιβλημάτων, συνήθως προτιμάται το καουτσούκ, ιδιαίτερα αν η ομαλότερη απόδοση των υψηλών συχνοτήτων αποτελεί προτεραιότητα. Το μοναδικό ίσως μειονέκτημα της χρήσης καουτσούκ είναι το υψηλό κόστος του σε σχέση με άλλα υλικά. Μια περισσότερο προσιτή λύση είναι η χρήση αφρώδους υλικού. Περιβλήματα κατασκευασμένα από αφρώδη υλικά χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σε φτηνότερα μεγάφωνα τύπου woofers, τα οποία δεν αναμένεται να χρησιμοποιηθούν για την αναπαραγωγή συχνοτήτων υψηλότερων των 3Khz. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της κακής απόδοσης των υψηλών συχνοτήτων από μεγάφωνα τα οποία ενσωματώνουν περιβλήματα από υλικά τέτοιου τύπου: Συγκεκριμένα, η συχνοτική απόκριση ενός τέτοιου μεγαφώνου είναι λιγότερο ομαλή στο σύνολο των συχνοτήτων του ακουστικού φάσματος, ενώ τα σημαντικότερα προβλήματα παρουσιάζονται γύρω από τα 10Khz όπου διαφαίνεται η αδυναμία του περιβλήματος να περιορίσει επαρκώς τους τρόπους δόνησης της επιφάνειας του διαφράγματος σε τόσο υψηλές συχνότητες. Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα της χρήσης αφρώδους υλικού είναι η ταχύτερη φθορά του με την πάροδο του χρόνου.

1.2.1.2 Η ΑΡΑΧΝΗ

Η “αράχνη” επιτελεί επίσης πάνω από μια λειτουργίες⁴. Οι δευτερεύουσες χρήσεις της είναι η στήριξη του πηνίου και η προστασία του εσωτερικού του μεγαφώνου από την είσοδο σκόνης και άλλων ξένων σωμάτων. Η πρωτεύουσα λειτουργία της “αράχνης” είναι, ωστόσο, η παροχή της κύριας δύναμης επαναφοράς στο διάφραγμα. Η ακαμψία είναι το μέγεθος το οποίο καθορίζει την συχνότητα συντονισμού ενός μεγαφώνου και αποτελεί συνάρτηση της ελαστικότητας του συστήματος ανάρτησης και της μάζας των κινούμενων μερών του οδηγού.



Εικόνα 3

“Αράχνη” ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου.

1.2.2 Ο ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, ο κινητήρας αποτελείται από το πηνίο και τον μαγνήτη. Στις εικόνες 1 και 2 φαίνεται πως ο μαγνήτης έχει σχήμα δακτυλίου και είναι τοποθετημένος μεταξύ δύο ακόμα μεταλλικών δακτυλίων οι οποίοι τον υποστηρίζουν. Τον μαγνήτη και τους δακτυλίους υποστήριξης αυτού διαπερνά ένας κυλινδρικός μεταλλικός πείρος, ο φορέας του πηνίου, γύρω από τον οποίο είναι τυλιγμένο το κινούμενο πηνίο, το οποίο συνδέεται με το διάφραγμα.

4. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 11

Οι δακτύλιοι υποστήριξης του μαγνήτη και ο φορέας του πηνίου κατασκευάζονται από αγωγίμα υλικά, συνήθως μέταλλα, προκειμένου να μην παρεμποδίζουν το μαγνητικό πεδίο. Οι μαγνήτες συνήθως κατασκευάζονται από κεραμικά υλικά όπως φερρίτη, σίδηρο ή, σε περισσότερο σύγχρονους οδηγούς, από νεοδύμιο.

Η λειτουργία του κινητήρα συνοψίζεται ως εξής: Εάν εφαρμοστεί στο πηνίο εναλλασσόμενο ρεύμα δεδομένης συχνότητας, πχ 60 Hz, τότε η ροή του φορτίου προς την μία κατεύθυνση, λόγω της αλληλεπίδρασης με τον μαγνήτη, θα προκαλέσει την κίνηση του πηνίου, και κατά συνέπεια αντίστοιχη κίνηση του διαφράγματος, προς κάποια κατεύθυνση. Όταν πάλι η ροή του φορτίου αναστραφεί, τότε αναστρέφεται και η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου του πηνίου και κατά συνέπεια αυτό κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Με λίγα λόγια, η κίνηση του πηνίου εξαρτάται από την εναλλάξ έλξη και άπωση αυτού από τον μαγνήτη. Προκειμένου να αποδοθεί με πιστότητα ένα σήμα, το πηνίο πρέπει να κινείται εξίσου καλά και προς τις δυο κατευθύνσεις. Στην αντίθετη περίπτωση θα προκύψουν αλλοιώσεις στο αναπαραγόμενο σήμα.

1.2.3 ΤΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ

Όπως είναι γνωστό από προηγούμενη ενότητα, η αναπαραγωγή του ήχου από ένα μεγάφωνο προκύπτει καθώς το πηνίο, τροφοδοτούμενο μέσω του ενισχυτή με ηλεκτρικό σήμα κάποιας δεδομένης συχνότητας, προκαλεί την αντίστοιχης συχνότητας ταλάντωση του διαφράγματος. Η ταλάντωση αυτή μεταδίδεται στην συνέχεια στον αέρα και γίνεται αντιληπτή ως ήχος.

Προκειμένου ωστόσο να γίνει καλύτερα κατανοητή η συμπεριφορά του διαφράγματος, καθώς και τα φυσικά φαινόμενα από τα οποία αυτή εξαρτάται, ακολουθεί ένα θεωρητικό παράδειγμα: Έστω κυλινδρικό έμβολο απείρου ακαμψίας, του οποίου η παλινδρομική κίνηση μετατοπίζει τα μόρια του αέρα, παράγοντας με αυτό τον τρόπο ήχο. Η χαμηλότερη συχνότητα που μπορεί να αναπαραχθεί από το εν λόγω έμβολο περιορίζεται από την συχνότητα συντονισμού του, μιας και λόγω μηχανικών περιορισμών η ικανότητά του να μεταδώσει χαμηλότερες αυτής συχνότητες μειώνεται σημαντικά. Αντίστοιχα, η υψηλότερη συχνότητα που μπορεί να μεταδώσει εξαρτάται από την ακουστική εμπέδηση του αέρα, την αντίσταση δηλαδή αυτού στην κίνηση. Η εμπέδηση του αέρα μειώνεται καθώς αυξάνει η συχνότητα μέχρι ενός σημείου, πέρα από το οποίο παραμένει σταθερή.

Το ανώτατο συχνοτικό όριο πέρα από το οποίο η μετάδοση ενέργειας παρουσιάζει σταθερή μείωση είναι τόσο συνάρτηση της εμπέδησης του αέρα, όσο και της ακτίνας του διαφράγματος: Γενικότερα ισχύει πως οι μικρότερες επιφάνειες μπορούν να αναπαράγουν υψηλότερες συχνότητες ενώ οι μεγαλύτερες, λόγω της ικανότητάς τους να μετακινήσουν μεγαλύτερη ποσότητα αέρα, αποδίδουν καλύτερα τις χαμηλότερες. Για τον λόγο αυτό στα ποιοτικά ηχεία χρησιμοποιούνται εξειδικευμένα μεγάφωνα με διαφόρων μεγεθών διαφράγματα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επαρκής κάλυψη του συνόλου των συχνοτήτων του ακουστικού φάσματος⁵.

Στην πραγματικότητα βέβαια ένα διάφραγμα δεν είναι δυνατόν να τηρεί την προϋπόθεση της απείρου ακαμψίας. Αντίθετα, θα χαρακτηρίζεται από κάποιο βαθμό ελαστικότητας, η οποία εξαρτάται άμεσα από τα φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού κατασκευής. Η ελαστικότητα του διαφράγματος επηρεάζει σημαντικά την ικανότητα απόδοσης των υψηλών συχνοτήτων, την συνολική έξοδο και την πολική απόκριση του μεγαφώνου. Προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητικός βαθμός ακαμψίας χρησιμοποιώντας συμβατικά υλικά, με μοναδική ίσως εξαίρεση τα πορώδη πλαστικά, η απαιτούμενη μάζα διαφράγματος θα έπρεπε να είναι εξαιρετικά μεγάλη. Μια σημαντική ωστόσο αύξηση της μάζας του διαφράγματος θα επηρέαζε αρνητικά την αποδοτικότητα ενός μεγαφώνου ως ηλεκτροακουστικό μετατροπέα: Σε μια τέτοια περίπτωση το μεγάφωνο θα έπρεπε να εφοδιαστεί με έναν εξαιρετικά ισχυρό αλλά και ογκώδη κινητήρα, γεγονός

5. John Borwick, *Loudspeaker and Headphone Handbook 3rd Edition*, σελ 49

που θα μείωνε σημαντικά την ευχρηστία του.

1.2.3.1 ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Μια μέθοδος αύξησης της ακαμψίας του διαφράγματος, χωρίς να απαιτείται η περαιτέρω αύξηση της μάζας του, είναι η κατάλληλη προσαρμογή του σχήματος αυτού: Τα περισσότερα σύγχρονα μεγάφωνα διαθέτουν διάφραγμα κωνικού σχήματος, ή μια παραλλαγή αυτού, σχήματος θόλου (ημισφαιρίου). Τα σχήματα αυτά έχουν επικρατήσει επειδή έχει αποδειχτεί πως ένα διάφραγμα με κλίση μικρότερη των 180° χαρακτηρίζεται από αυξημένη ακαμψία^{6 7}. Στην πράξη αυτό σημαίνει πως χρησιμοποιώντας κατάλληλου σχήματος διάφραγμα καθίσταται δυνατή η βελτίωση της συχνοτικής απόκρισης ενός οδηγού, χωρίς ωστόσο να θυσιάζεται μέρος της αποδοτικότητας. Ένα διάφραγμα σχήματος κώνου ή θόλου μπορεί να είναι συγκλίνον (εσωστρεφές) ή αποκλίνον (εξωστρεφές). Η συχνοτική απόκριση των διαφραγμάτων αυτού του τύπου καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό και από την κλίση τους.



Εικόνα 4

Οδηγοί tweeter με αποκλίνον και συγκλίνον διάφραγμα θόλου.

1.2.3.2 ΚΩΝΟΙ

Οι περισσότεροι σύγχρονοι οδηγοί του εμπορίου διαθέτουν διάφραγμα σχήματος κώνου. Διαφράγματα αυτού του σχήματος συναντώνται σε όλους τους τύπους μεγαφώνων (woofer, midrange, tweeter, fullrange).

Τα συγκλίνοντα κωνικά διαφράγματα παρουσιάζουν μια έντονη κορυφή στην περιοχή των πολύ υψηλών συχνοτήτων στα διαγράμματα συχνοτικής απόκρισής τους. Η ακριβής θέση της κορυφής αυτής καθορίζεται εν μέρη από την κλίση του διαφράγματος⁸. Σε σύγκριση με τα αποκλίνοντα κωνικά διαφράγματα, τα συγκλίνοντα δύνανται να καλύψουν ευρύτερη συχνοτική περιοχή.

Τα αποκλίνοντα κωνικά διαφράγματα παρουσιάζουν ωστόσο ομαλότερη συχνοτική απόκριση επειδή η εμφάνιση στάσιμων κυμάτων επί της επιφάνειάς τους είναι περιορισμένη. Δεν εμφανίζουν επίσης κάποια έντονη κορυφή στις υψηλότερες συχνότητες. Το τίμημα αυτών των βελτιώσεων είναι η περιορισμένη μέγιστη ισχύς στις χαμηλές συχνότητες, αφού ένα αποκλίνον διάφραγμα δεν είναι τόσο άκαμπτο και ισχυρό όσο ένα συγκλίνον αντίστοιχης μάζας.

6. Ian Sinclair, *Audio and Hi-Fi Handbook - 3rd Edition*, σελ 281

7. Don Davis – Eugene Patronis Jr., *Sound System Engineering 3rd Edition*, σελ 255

8. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 8

1.2.3.3 ΘΟΛΟΙ

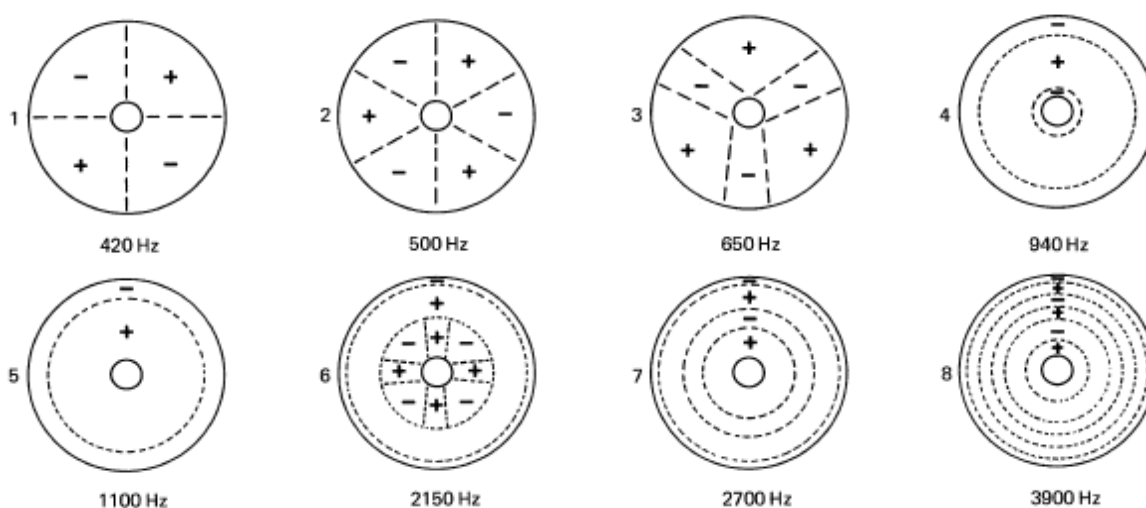
Τα διαφράγματα αυτού του τύπου συναντώνται συνήθως σε οδηγούς τύπου tweeter και midrange. Οι θόλοι, όντας παραλλαγή των κώνων, δεν διαφέρουν ιδιαίτερω, όσον αφορά τον τρόπο κατασκευής και λειτουργίας τους, από αυτούς. Οι δυο αυτοί τύποι διαφραγμάτων παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά αλλά και προβλήματα.

Τα διαφράγματα τύπου θόλου διατίθενται επίσης σε δυο τύπους, τα συγκλίνοντα και τα αποκλίνοντα. Τα μεγάφωνα που βασίζονται σε αποκλίνον διάφραγμα θόλου συνήθως αποδίδουν πολύ καλύτερα τις υψηλές συχνότητες ενώ παρουσιάζουν και αυξημένη κατευθυντικότητα⁹. Η καλύτερη απόδοση των υψηλών συχνοτήτων από αυτά τα μεγάφωνα οφείλεται μερικώς σε αντηχήσεις που προκύπτουν στο κοίλο μέρος τους καθώς και στο γεγονός ότι οι θόλοι είναι συνήθως κατασκευασμένοι από σκληρά υλικά. Οι συγκλίνοντες θόλοι παρουσιάζουν μικρότερη κατευθυντικότητα στις υψηλές συχνότητες και δεν είναι τόσο αποδοτικοί όσο οι αποκλίνοντες στην συγκεκριμένη συχνοτική ζώνη.

1.2.3.4 ΤΡΟΠΟΙ ΔΟΝΗΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Μολονότι τα διάφορα υλικά κατασκευής διαφραγμάτων παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό ακαμψίας και κατά συνέπεια χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης επιφανειακών δονήσεων, τα κυματικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια ενός διαφράγματος οδηγούν πάντοτε στην δημιουργία στάσιμων κυμάτων, τα οποία επηρεάζουν την συχνοτική απόκριση.

Οι τρόποι δόνησης των στάσιμων κυμάτων που προκύπτουν στις επιφάνειες των διαφραγμάτων κατατάσσονται σε δυο τύπους, τους ακτινικούς και τους ομόκεντρους. Οι ακτινικοί τρόποι δόνησης εκτείνονται από το κέντρο προς τα άκρα του διαφράγματος, παρουσιάζονται δε κυρίως στις χαμηλές συχνότητες και θεωρούνται δευτερεύουσας φύσης. Οι ομόκεντροι σχηματίζουν μια ομάδα κυμάτων τα οποία επίσης εκτείνονται από το κέντρο προς τα άκρα του διαφράγματος. Οι ομόκεντροι τρόποι δόνησης θυμίζουν τους κυματισμούς που προκύπτουν στα υγρά κατά την διάδοση μιας διαταραχής από κάποιο σημείο της επιφάνειάς τους.



Εικόνα 5

Τρόποι δόνησης επιφάνειας διαφράγματος ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου¹⁰.

9. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 10

10. John Borwick, *Loudspeaker and Headphone Handbook 3rd Edition*, σελ 51

Ο αριθμός των επιμέρους κυμάτων μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τη συχνότητα και καθώς αυτή μεταβάλλεται, κάποιοι από τους κυματισμούς ανακλώνται πίσω προς το κέντρο προκαλώντας φαινόμενα συμβολής τα οποία προκαλούν περίπλοκη κίνηση του αέρα, επηρεάζοντας την συχνοτική απόκριση: Κάποιοι από τους κυματισμούς είναι συμφασικοί με το σήμα που προέρχεται από το πηνίο ενώ άλλοι παρουσιάζουν διαφορά φάσης. Η περίπλοκη αυτή σχέση ενισχυτικών και ακυρωτικών συμβολών οδηγεί στην άνιση κατανομή ακτινοβολίας από το διάφραγμα και περιγράφεται από το πλήθος κορυφών και βυθίσεων που εμφανίζονται στα διαγράμματα συχνοτικής απόκρισης των μεγαφώνων.

Η αλλοίωση αυτή της συχνοτικής απόκρισης είναι δυνατόν να περιορισθεί μερικώς με την αύξηση της αποσβεστικής ικανότητας του περιβλήματος¹¹ και της ακαμψίας του διαφράγματος ενός μεγαφώνου. Βέβαια, η αύξηση της ακαμψίας του διαφράγματος συνεπάγεται, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, αύξηση της μάζας του και κατά συνέπεια μείωση της ενεργού περιοχής του και μείωση της εκπεμπόμενης ηχητικής ισχύος στις χαμηλές συχνότητες και επί του άξονα του μεγαφώνου.

1.2.3.5 ΕΝΕΡΓΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΟΥΣΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΟΔΗΓΟΥ

Ως ενεργός ακτινοβόλουσα περιοχή ενός οδηγού (περιγράφεται από την Thiele/Small παράμετρο S_d) ορίζεται το μέρος εκείνο της επιφάνειας αυτού, το οποίο κινούμενο με την ταχύτητα του πηνίου προκαλεί αντίστοιχης ταχύτητας κίνηση των μορίων του μέσου διάδοσης, δηλαδή ηχητική ακτινοβολία. Η παράμετρος αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική εφόσον συνδέεται άμεσα με την αποδοτικότητα: Όσο μεγαλύτερη είναι η ενεργός ακτινοβόλουσα περιοχή, τόσο αποδοτικότερος ως ηλεκτροακουστικός μετατροπέας θεωρείται ένας οδηγός.

Η ενεργός ακτινοβόλουσα περιοχή ενός οδηγού δεν πρέπει να συγγέεται με την ονομαστική διάμετρο αυτού. Ισχύει πως η ονομαστική διάμετρος προκύπτει λαμβάνοντας υπόψιν τόσο την διάμετρο του διαφράγματος όσο και αυτή του περιβλήματος (surround)^{12 13 14} και μπορεί να είναι, ανάλογα με την κατασκευή, έως και περίπου 5 cm μεγαλύτερη της ενεργούς ακτινοβόλουσας περιοχής.

Το περίβλημα, παρότι κατά κανόνα δεν ακτινοβολεί όσο το διάφραγμα, συμβάλλει (ιδιαίτερα σε μεγαλύτερης διαμέτρου οδηγούς όπως τα woofer), κάποιο ποσοστό της συνολικής εξόδου. Με βάση τα δεδομένα αυτά, η ενεργός ακτινοβόλουσα περιοχή δύναται να περιγραφεί εμπειρικά ως το σύνολο του εμβαδού του διαφράγματος συν ένα μέρος του εμβαδού του περιβλήματος και μπορεί να προσεγγιστεί από την σχέση που ακολουθεί:

$$S_d = \frac{\pi D^2}{4} \quad (1.1)$$

Πέραν της προσεγγιστικής αυτής μεθόδου υπολογισμού υπάρχουν υψηλής ακριβείας εξειδικευμένες διαδικασίες μέτρησης της ενεργούς ακτινοβόλουσας περιοχής, οι οποίες αξιοποιούν αισθητήρες laser σε συνδυασμό με υψηλής ευαισθησίας μετρητικά μικρόφωνα¹⁵.

Συνήθως οι κατασκευαστές μεγαφώνων περιλαμβάνουν την τιμή της ενεργούς ακτινοβόλουσας περιοχής των οδηγών τους στα τεχνικά δελτία τα οποία τους συνοδεύουν και κατά συνέπεια ο εκ νέου υπολογισμός αυτής δεν είναι απαραίτητος.

11. Leo Leroy Beranek, *Acoustics*, σελ 200

12. Douglas Self (Editor), *Audio Engineering Explained*, σελ 353

13. Don Davis – Eugene Patronis Jr., *Sound System Engineering 3rd Edition*, σελ 256

14. Ian Sinclair, *Audio and Hi-Fi Handbook - 3rd Edition*, σελ 280

15. Wolfgang Klippel - Joachim Schlechter, *Dynamical Measurement of the Effective Radiation Area SD*

1.2.3.6 ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Η κατευθυντικότητα ενός διαφράγματος καθορίζεται από τον λόγο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου ήχου προς την διάμετρο του διαφράγματος του εκπέμποντος μεγαφώνου. Η αύξηση της τιμής του συγκεκριμένου μεγέθους έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της γωνίας εκπομπής του διαφράγματος. Πρακτικά, για συχνότητες των οποίων το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο από το τετραπλάσιο της διαμέτρου του διαφράγματος, η περιοχή εκπομπής μπορεί ουσιαστικά να θεωρηθεί σχεδόν ημισφαιρική όμως, καθώς ο λόγος αυτός μειώνεται, η περιοχή εκπομπής περιορίζεται.

Ουσιαστικά δηλαδή, καθώς η συχνότητα αυξάνεται, η ενεργός ακτινοβολούσα περιοχή του διαφράγματος σταδιακά μειώνεται. Ενώ οι χαμηλές συχνότητες τείνουν να εκπέμπονται σχεδόν σφαιρικά, οι ιδιαίτερα υψηλές εκπέμπονται μόνο από την περιοχή γύρω από το κέντρο του διαφράγματος, με αποτέλεσμα την αύξηση της κατευθυντικότητας του οδηγού σε τέτοιο βαθμό ώστε ο εκπεμπόμενος ήχος να θυμίζει “ακτίνα”¹⁶.

Σε κάποια δεδομένη συχνότητα η γωνία εκπομπής γίνεται τόσο μικρή που προκαλείται μια απότομη πτώση στην έξοδο, το λεγόμενο rolloff υψηλών συχνοτήτων. Προκειμένου να επιτευχθεί μια όσο το δυνατόν υψηλότερη συχνότητα αποκοπής, ο λόγος της μάζας του πηνίου και της μάζας του διαφράγματος πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος. Το rolloff υψηλών συχνοτήτων εξαρτάται επίσης από τον συντελεστή αυτεπαγωγής του πηνίου.

Σε συχνότητες όπου το μήκος κύματος του ήχου (το μήκος κύματος του ήχου ισούται με το πηλίκο της ταχύτητας του ήχου προς την συχνότητα $\lambda=c/f$) είναι μεγάλο σε σχέση με την περιφέρεια του διαφράγματος, δηλαδή περίπου τρεις φορές την διάμετρο του, το μεγάφωνο εκπέμπει σφαιρικά. Αύξηση της συχνότητας μέχρι το σημείο όπου το μήκος κύματος είναι ίσο ή μικρότερο από την περιφέρεια του οδηγού, οδηγεί σε σταδιακή αύξηση της κατευθυντικότητας.

1.3 ΟΔΗΓΟΙ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ (COMPRESSION DRIVERS)

Οι οδηγοί συμπίεσης^{17 18} λειτουργούν όπως όλοι οι ηλεκτροδυναμικοί οδηγοί αλλά με την εξής βασική διαφορά: Το διάφραγμα περιβάλλεται από ένα θάλαμο, τον λεγόμενο “θάλαμο συμπίεσης”, εντός του οποίου και ακτινοβολεί. Η μόνη διέξοδος του συμπιεσμένου εντός του θαλάμου αέρα είναι μέσω ενός μικρού ανοίγματος στην εμπρόσθια πλευρά του οδηγού. Ο όρος “συμπίεση” αναφέρεται στο γεγονός ότι το εμβαδόν του διαφράγματος ενός τέτοιου οδηγού είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το άνοιγμα μέσω του οποίου ακτινοβολείται τελικά ο ήχος. Χάρη σε αυτή τη σχεδιαστική προσέγγιση η σχετικά μικρή ταχύτητα κίνηση του διαφράγματος οδηγεί σε αρκετά μεγαλύτερης σωματιδιακής ταχύτητας κίνηση των μορίων του αέρα. Με τον τρόπο αυτό η αποδοτικότητα του οδηγού αυξάνεται σημαντικά. Οι οδηγοί συμπίεσης συνήθως χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με χοάνες και η τυπική αποδοτικότητά τους είναι περίπου 108 dB. Σε γενικές γραμμές, τα πλεονεκτήματα των οδηγών συμπίεσης έναντι των οδηγών κώνου ή θόλου είναι τα εξής:

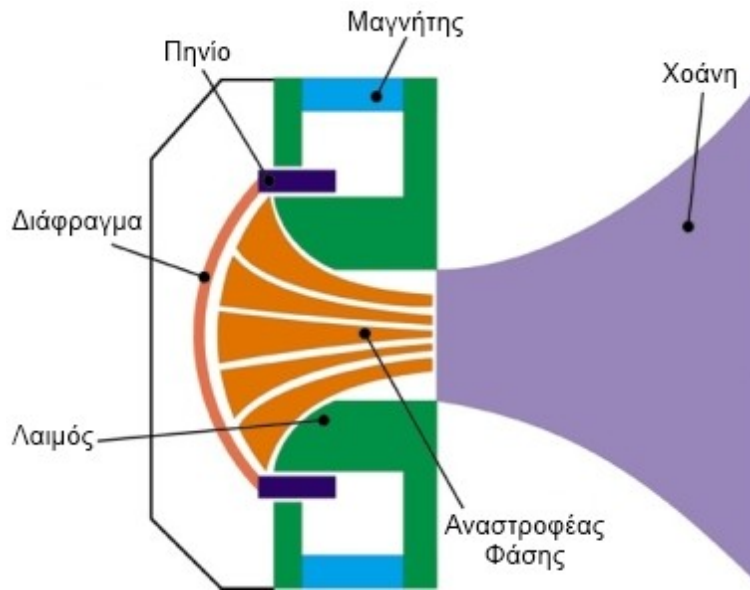
- Σημαντικά μεγαλύτερη αποδοτικότητα, τόσο λόγω της τεχνολογίας του οδηγού, όσο και λόγω του συνδυασμού αυτού με χοάνη.
- Μικρότερη παραμόρφωση, ειδικά όταν συνδυάζονται με κατάλληλη χοάνη, σε μεγαλύτερα επίπεδα ακουστικής πίεσης, εφόσον λόγω της αυξημένης αποδοτικότητας δεν απαιτείται μεγάλη μετατόπιση του διαφράγματος για την παραγωγή ήχου.

16. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 8

17. John Borwick, *Loudspeaker and Headphone Handbook 3rd Edition*, σελ 81

18. Ιστότοπος <http://www.lenardaudio.com> – υποσελίδα “Compression Drivers”

- Μεγαλύτερο δυναμικό εύρος και κατά συνέπεια υψηλότερη πιστότητα αναπαραγωγής σε σχέση με οδηγούς θόλου ή κώνου.



Εικόνα 6

Σχεδιάγραμμα οδηγού συμπίεσης. Διακρίνονται τα μέρη του οδηγού και η προσαρτημένη σε αυτόν χοάνη.

Ένα ακόμα έμμεσο πλεονέκτημα των οδηγών συμπίεσης είναι πως επειδή οι περισσότεροι διατίθενται ως αυτόνομες μονάδες στις οποίες μπορούν να προσαρτηθούν διάφορες χοάνες, ο έλεγχος της κατευθυντικότητας αυτών είναι ευκολότερος. Εφόσον κάθε χοάνη έχει δεδομένη κατευθυντικότητα, η δυνατότητα εναλλαγής της με κάποια άλλη δύναται να αποδώσει και διαφορετικά κατευθυντικά χαρακτηριστικά σε έναν οδηγό.



Εικόνα 7

Οδηγός συμπίεσης (tweeter) DT175 της PVR Audio.

Τα πλεονεκτήματα αυτά των οδηγών συμπίεσης τους καθιστούν ιδανικές λύσεις για εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη αποδοτικότητα ή ακρίβεια στην αναπαραγωγή της ηχητικής πληροφορίας. Η χρήση οδηγών συμπίεσης είναι ιδιαίτερος διαδεδομένη σε ηχεία που προορίζονται για εγκαταστάσεις PA ή studio monitoring.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των οδηγών συμπίεσης είναι το αυξημένο σχετικά κόστος απόκτησης ενώ, πολύ συχνά, χαρακτηρίζεται ως μειονέκτημα και η προϋπόθεση χρήσης χοάνης με αυτούς: Η αυξημένη κατευθυντικότητα που προσδίδει μια χοάνη δεν είναι συνήθως επιθυμητή σε συστήματα που προορίζονται για ακροάσεις μουσικής σε οικιακό περιβάλλον όπου σε αντίθεση π.χ με ένα studio, δεν έχει προβλεφθεί κάποια ιδανική θέση ακρόασης (sweet spot).

1.4 ΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ THIELE / SMALL

Η αναπαραγωγή ενός ηχητικού σήματος από ένα μεγάφωνο οφείλεται σε ένα σύνολο, αλληλένδετων μεταξύ τους ηλεκτρομηχανικών διεργασιών. Η εμπλοκή ωστόσο διάφορων φαινομένων στην διαδικασία αυτή είναι αναπόφευκτη μιας και το μεγάφωνο αποτελεί μέρος του ηχείου, ενός πολύπλοκου συστήματος του οποίου τα επιμέρους υποσυστήματα αλληλεπιδρούν, επηρεάζοντας έτσι την απόδοσή αυτού ως σύνολο. Για παράδειγμα, το μέγεθος αλλά και ο σχεδιασμός της καμπίνας ενός ηχείου θα καθορίσουν την συμπεριφορά του συστήματος συνολικά ενώ ένα δεδομένο μεγάφωνο αποδίδει διαφορετικά σε άλλου τύπου ή μεγέθους καμπίνες.

Βάση των παραπάνω γίνεται σαφές πως η εμπειρική και κατά προσέγγιση σχεδίαση και κατασκευή ηχείων, αναπόφευκτα χαρακτηρίζεται από σημαντικούς περιορισμούς. Η χρησιμότητα ενός πλαισίου μαθηματικών κανόνων που θα επέτρεπαν την δημιουργία ενός θεωρητικού μοντέλου της συμπεριφοράς ενός δεδομένου μεγαφώνου σε ένα ολοκληρωμένο ηχείο είναι εμφανής.

Ο όρος “Thiele/Small parameters” αναφέρεται σε ένα σύνολο ηλεκτρομηχανικών παραμέτρων οι οποίες προσδιορίζουν την συμπεριφορά ενός οδηγού. Ονομάστηκε έτσι προς τιμήν των μηχανικών Thiele και Small των οποίων η εργασία οδήγησε στην ερμηνεία και την προτυποποίηση των σχέσεων μεγαφώνου/καμπίνας.

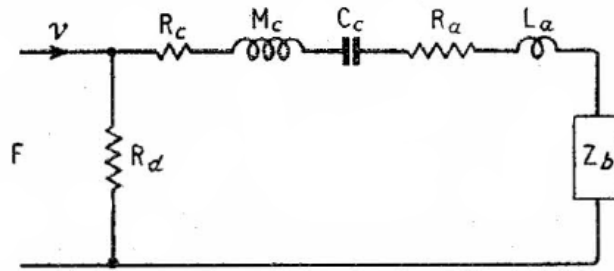
Χάρη στις παραμέτρους αυτές είναι δυνατόν να εξομοιωθούν τα χαρακτηριστικά ενός ηχείου. Μεγέθη που μπορούν π.χ να εξομοιωθούν είναι η ταχύτητα με την οποία κινείται το διάφραγμα ενός μεγαφώνου καθώς και η συχνοτική απόκριση ενός ηχείου με συγκεκριμένου τύπου μεγάφωνα και καμπίνα.

Οι Thiele/Small παράμετροι είναι λοιπόν ένα σημαντικό εργαλείο μιας και επιτρέπουν στους σχεδιαστές να προσεγγίσουν με σχετική ακρίβεια το μοντέλο απόδοσης ενός ηχείου το οποίο βασίζεται σε συγκεκριμένα μοντέλα μεγαφώνων και καμπίνα, δίνοντας τους την δυνατότητα να προχωρήσουν στις κατάλληλες σχεδιαστικές επιλογές που θα επιτρέψουν την μέγιστη απόδοση του συστήματος.

Πλέον οι περισσότεροι κατασκευαστές μεγαφώνων δημοσιεύουν τις σημαντικότερες Thiele/Small παραμέτρους μαζί με τις υπόλοιπα χαρακτηριστικά των μεγαφώνων τους. Για έναν πλήρη κατάλογο των παραμέτρων Thiele / Small ο αναγνώστης παραπέμπεται στο παράρτημα II.

1.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΝΑΛΟΓΟ

Κάθε μεγάφωνο μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένα ηλεκτρικό κύκλωμα (το λεγόμενο ηλεκτρικό ανάλογό του). Η χρησιμότητα τέτοιων αναπαραστάσεων είναι μεγάλη όσον αφορά την κατανόηση της λειτουργίας ενός μεγαφώνου καθώς και της πρόβλεψης της συμπεριφοράς τους. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το ηλεκτρικό ανάλογο ενός ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου όπως αυτό θα λειτουργούσε όντας τοποθετημένο σε απείρως εκτεινόμενη ανακλαστική επιφάνεια (infinite baffle):



Εικόνα 8

Ηλεκτρικό ανάλογο μεγαφώνου (E. J. Jordan – Wireless World January 1969).

Όπου F είναι η δύναμη που εφαρμόζεται στο διάφραγμα, V είναι η ταχύτητα του διαφράγματος, R_c η αντίσταση στο διάφραγμα λόγω τριβής, R_d η αντίσταση στο διάφραγμα από την ανάρτησης του οδηγού, M_c η μάζα του διαφράγματος, C_c η ελαστικότητα της ανάρτησης του διαφράγματος του οδηγού και Z_b η εμπέδηση λόγω της στερέωσης του οδηγού στην καμπίνα. Η παράμετρος R_a ισούται με $R_a = R_r (\pi r^2)^2$, όπου R_r είναι η αντίσταση ακτινοβολίας. Η παράμετρος L_a ισούται με $L_a = L_r (\pi r^2)^2$, όπου L_r είναι η μάζα της ακουστικής ακτινοβολίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - Η ΚΑΜΠΙΝΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως καμπίνα ενός ηχείου ορίζεται η κατασκευή εκείνη που χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση των επιμέρους υποσυστημάτων από τα οποία αποτελείται αυτό, όπως τα μεγάφωνα, τα ηλεκτρονικά συστήματα (φίλτρα διαχωρισμού συχνοτήτων, βαθμίδες ενίσχυσης κ.α), τα ηχοαπορροφητικά υλικά κ.λ.π.

Η καμπίνα ωστόσο δεν είναι απλώς μια βάση για την τοποθέτηση των εξαρτημάτων ενός ηχείου. Ο πρωταρχικός ρόλος της είναι η αποτροπή των ηχητικών κυμάτων που προέρχονται από την οπίσθια επιφάνεια του διαφράγματος ενός μεγαφώνου, ώστε να μην αλληλεπιδρούν με τα ηχητικά κύματα που προέρχονται από την εμπρόσθια επιφάνειά του. Επειδή τα κύματα αυτά είναι συνήθως εκτός φάσης, οποιαδήποτε αλληλεπίδραση μεταξύ τους θα μπορούσε να οδηγήσει σε φαινόμενα καταστροφικής συμβολής και ακύρωσης φάσης, πρακτικά δηλαδή θα οδηγούσε σε αλλοίωση του αρχικού σήματος.

Ένα ακόμα πιθανό πρόβλημα που αποτρέπεται με τον περιορισμό των κυμάτων αυτών είναι η δημιουργία φαινομένων ηχούς και αντήχησης: Τα κύματα από την εμπρόσθια επιφάνεια του διαφράγματος ακολουθούν διαφορετική διαδρομή σε σχέση με τα κύματα από την οπίσθια. Σε κάποιες περιπτώσεις, ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά του χώρου και του μεγαφώνου, οι δύο αυτές ομάδες κυμάτων θα έφταναν στον ακροατή με κάποια χρονική διαφορά. Η μικρή αυτή χρονική καθυστέρηση της δεύτερης ομάδας κυμάτων θα γινόταν αντιληπτή ως αντήχηση ή ηχώ.

Δεν πρέπει ωστόσο να παραβλεφθεί η λειτουργία της καμπίνας και ως μηχανισμού υποστήριξης των μεγαφώνων: Με κατάλληλη τοποθέτηση των μεγαφώνων στην καμπίνα, είναι δυνατόν να αποφευχθούν τριγμοί λόγω των δονήσεων του σκελετού τους.

2.2 ΤΟ ΙΔΑΝΙΚΟ ΗΧΕΙΟ – INFINITE Baffle

Κατά μια άποψη, η ιδανική ίσως μέθοδος τοποθέτησης ενός οδηγού (κυρίως χαμηλών (woofer) και μεσαίων (mid-range) συχνοτήτων θα ήταν επάνω σε μια άκαμπτη, απείρως εκτεινόμενη, ανακλαστική επιφάνεια και έχοντας επίσης άπειρο χώρο στο πίσω μέρος του. Κάτι τέτοιο θα απέτρεπε πλήρως την αλληλεπίδραση των προερχόμενων από το πίσω μέρος του διαφράγματος ηχητικών κυμάτων με αυτά που προέρχονται από το μπροστά¹⁹.

Τα ηχητικά κύματα που προέρχονται από την εμπρόσθια και την οπίσθια επιφάνεια του διαφράγματος ενός μεγαφώνου είναι εκτός φάσης διότι παράγονται μέσω αντίθετης κίνησης του διαφράγματος καθώς και διότι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές πριν την σύγκρισή τους στην θέση ακρόασης. Η τοποθέτηση ενός μεγαφώνου σε πεπερασμένου μήκους επιφάνεια θα είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων συμβολής, κάτι το οποίο θα γινόταν αντιληπτό ως εξασθένιση του ήχου σε συγκεκριμένες συχνότητες. Το φαινόμενο αυτό είναι εμφανές κυρίως σε χαμηλές συχνότητες όπου τα μήκη κύματος είναι αρκετά μεγάλα και πιθανή συμβολή μπορεί να επηρεάσει το σύνολο του χώρου ακρόασης.

Εφόσον δεν είναι δυνατόν να υπάρξουν απείρου μήκους επιφάνειες και οι επιφάνειες πεπερασμένου μήκους παρουσιάζουν προβλήματα συχνοτικής απόκρισης στις χαμηλές συχνότητες όπου τα μήκη κύματος είναι μεγάλα, οι περισσότερες καμπίνες διαθέτουν κάποιο περίβλημα, όπως ένα “κουτί”, προκειμένου να αποτραπεί η έξοδος της εκτός φάσης ηχητικής ακτινοβολίας. Τα συνηθέστερα υλικά κατασκευής τέτοιων καμπίνων είναι το ξύλο ή το συνθετικό ξύλο, υπάρχουν ωστόσο και παραλλαγές από διάφορων ειδών πλαστικά (όπως το plexiglass) ή ακόμα και εξωτικά υλικά όπως το τσιμέντο και ο γρανίτης²⁰.

19. John Borwick, *Loudspeaker and Headphone Handbook 3rd Edition*, σελ 301

20. Ιστότοπος <http://diyaudioprojects.com>

2.3 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΑΜΠΙΝΑΣ

Σε γενικές γραμμές, η επιλογή του σχήματος, των διαστάσεων και του τύπου της καμπίνας πρέπει να γίνεται με βάση την εφαρμογή για την οποία προορίζεται το ηχείο και λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος, τον αριθμό και τα φυσικά χαρακτηριστικά των οδηγών που θα χρησιμοποιηθούν.

Οι διαστάσεις της καμπίνας επηρεάζουν, σε συνδυασμό με τους οδηγούς, την συχνοτική απόκριση ενός δεδομένου ηχείου. Εάν το ζητούμενο είναι η ευρεία συχνοτική απόκριση, κάτι που σημαίνει πως θα πρέπει να αναπαράγονται με πιστότητα ακόμα και οι εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες, τότε θα πρέπει να προτιμηθεί μια μεγαλύτερου μεγέθους καμπίνα. Η απόδοση των χαμηλών συχνοτήτων εξαρτάται άμεσα από τον όγκο του αέρα εντός της καμπίνας. Όταν ένα μεγάφωνο τίθεται σε λειτουργία, ο αέρας που βρίσκεται στο εσωτερικό της καμπίνας συμπιέζεται από την αμφίδρομη κίνηση του διαφράγματος. Μη έχοντας κάποια έξοδο εκτόνωσης και προσπαθώντας να ανακτήσει το αρχικό του μέγεθος, ο αέρας ασκεί δυνάμεις στο διάφραγμα υποβοηθώντας με αυτό τον τρόπο την κίνησή του, καθώς και παρέχοντας μέρος της δύναμης επαναφοράς που αποτρέπει την μη ομαλή ταλάντωση αυτού. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η αναπαραγωγή χαμηλών συχνοτήτων προϋποθέτει την μετατόπιση μεγαλύτερου όγκου αέρα καθώς και ότι οι οδηγοί χαμηλών συχνοτήτων διαθέτουν μεγαλύτερα και βαρύτερα διαφράγματα, η εκμετάλλευση του φαινομένου αυτού δύναται να βελτιώσει σημαντικά την συχνοτική απόκριση ενός ηχείου. Τα φαινόμενα αυτά και η σημασία τους συζητούνται εκτενέστερα στις ενότητες που ακολουθούν.

2.4 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΚΑΜΠΙΝΑΣ

Οι καμπίνες, εάν δεν έχουν βελτιωθεί ακουστικά, δύνανται να επηρεάσουν αρνητικά την απόδοση ενός ηχείου. Οι συντονισμοί των επιφανειών μια καμπίνας, η διάθλαση των ηχητικών κυμάτων στις γωνίες, καθώς και τα στάσιμα κύματα που δημιουργούνται στο εσωτερικό αυτής λόγω ανάκλασης/ενίσχυσης ακτινοβολίας συγκεκριμένων συχνοτήτων, είναι μερικά από τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν.



Εικόνα 9

Εσωτερικό αυτοσχέδιας καμπίνας ηχείου. Διακρίνονται οι δοκοί υποστήριξης των τοιχωμάτων καθώς και το αφρώδες ηχοαπορροφητικό υλικό (τύπου “αυγοθήκης”) που καλύπτει αυτές.

Οι ανεπιθύμητοι συντονισμοί είναι δυνατόν να μειωθούν σημαντικά με την αύξηση της μάζας ή της ακαμψίας της καμπίνας: Τοποθετώντας κατάλληλες δοκούς υποστήριξης στο εσωτερικό και γενικότερα χρησιμοποιώντας μεγαλύτερου πάχους και πυκνότητας υλικό για την κατασκευή των τοιχωμάτων επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη αύξηση τόσο της ακαμψίας, όσο και της μάζας μιας δεδομένης καμπίνας.

Οι ανεπιθύμητες ανακλάσεις και τα στάσιμα κύματα είναι δυνατόν να περιοριστούν καλύπτοντας μέρος ή το σύνολο των εσωτερικών τοιχωμάτων της καμπίνας (ή ακόμα και γεμίζοντας το εσωτερικό της) με ειδικό ηχοαπορροφητικό υλικό.

2.4.1 ΣΧΗΜΑ ΚΑΜΠΙΝΑΣ ΚΑΙ ΣΤΑΣΙΜΑ ΚΥΜΑΤΑ

Τα στάσιμα κύματα τα οποία προκύπτουν από ανακλάσεις στο εσωτερικό μιας ορθογώνιας καμπίνας μπορούν να προκαλέσουν διακυμάνσεις πλάτους της απόκρισης του οδηγού. Ο κύριος τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου αυτού είναι η τοποθέτηση ηχοαπορροφητικού υλικού στο εσωτερικό της καμπίνας: Η σωστή εφαρμογή ηχοαπορροφητικού υλικού μπορεί να οδηγήσει στην σχεδόν εξολοκλήρου εξάλειψη των στασίμων κυμάτων που μπορούν να προκύψουν στο εσωτερικό αυτής.

Η μέθοδος αυτή βέβαια είναι εφαρμόσιμη κυρίως σε κλειστού τύπου ηχεία τα οποία είναι δυνατόν να γεμιστούν με ηχοαπορροφητικό υλικό στο σύνολο του όγκου τους. Στην περίπτωση των bass reflex ηχείων δυστυχώς το φαινόμενο των στασίμων κυμάτων είναι συνήθως εντονότερο, εν μέρη λόγω της αδυναμίας τοποθέτησης μεγάλης ποσότητας ηχοαπορροφητικού υλικού στο εσωτερικό τους²¹: Η εισαγωγή σημαντικής ποσότητας ηχοαπορροφητικού υλικού σε ένα bass-reflex ηχείο θα είχε αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση αυτού. Όχι μόνον θα παρεμπόδιζε την έξοδο μεγάλου ποσοστού της χρήσιμης ηχητικής ακτινοβολίας η οποία προέρχεται από την πίσω πλευρά του διαφράγματος των οδηγών, αλλά αλλάζοντας ουσιαστικά τον ωφέλιμο όγκο της καμπίνας θα προκαλούσε την μεταβολή της συχνότητας συντονισμού F_b αυτής. Μια συμβιβαστική λύση είναι η κάλυψη με ηχοαπορροφητικό υλικό μόνο των εσωτερικών επιφανειών μιας καμπίνας bass-reflex.

Τα στάσιμα κύματα στις ορθογώνιες καμπίνες μπορούν θεωρητικά να περιοριστούν εάν επιλεγούν οι κατάλληλες αναλογίες διαστάσεων της καμπίνας. Αυτές συνήθως συμπίπτουν με εκείνες που προτείνονται για τον έλεγχο στάσιμων κυμάτων σε δωμάτια. Η αναλογία διαστάσεων που παρατίθεται συχνότερα²² προτείνεται από τον Thiele και βασίζεται στον λεγόμενο “χρυσό κανόνα της αρχιτεκτονικής” (βάση του οποίου λέγεται πως κατασκευάστηκαν οι πυραμίδες της Αιγύπτου). Η αναλογία ύψους, πλάτους, βάθους (μήκους) δίνεται ως 2,6 / 1,6 / 1. Άλλες αναλογίες έχουν προταθεί όπως π.χ. η 2 / 1,44 / 1 και 1,59 / 1,26 / 1. Πρέπει να σημειωθεί πάντως πως η αντιμετώπιση των στασίμων κυμάτων πρέπει να γίνει πρωτίστως μέσω της χρήσης κατάλληλου ηχοαπορροφητικού υλικού, η όποια βελτίωση προκύπτει από την τήρηση των προτεινόμενων αναλογιών θεωρείται δευτερευούσης σημασίας.

Οι αναλογίες αυτές ωστόσο παραμένουν χρήσιμες κατευθυντήριες γραμμές και η τήρησή τους αποκλείει την κατασκευή εξαιρετικά μακρών και στενών καμπινών οι οποίες είναι επιρρεπείς σε συντονισμούς σωλήνα (οι οποίοι βέβαια μπορούν επίσης, εάν κριθεί αναγκαίο, να διαλυθούν με την χρήση εσωτερικών ανακλαστικών τοιχωμάτων). Άλλα σχήματα καμπίνας με μη παράλληλα τοιχώματα^{23 24}, όπως π.χ. σφαιρικές καμπίνες ή καμπίνες με κεκλιμένες εσωτερικές επιφάνειες, θα παρουσιάζουν διαφορετικά και πιθανόν λιγότερο έντονα modes στάσιμων κυμάτων. Κυλινδρικές ή ημικυλινδρικές καμπίνες αναμένεται να προκαλέσουν λιγότερα στάσιμα κύματα κατά πλάτος τους αλλά και μειωμένη απόκριση μέχρι περίπου τα 800Hz.

21. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 113

22. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 113

23. John Borwick, *Loudspeaker and Headphone Handbook 3rd Edition*, σελ 315

24. Harry F. Olson, *Direct Radiator Loudspeaker Enclosures*.



Εικόνα 10

Subwoofer αυτοκινήτου TS-WX304T της Pioneer. Σύμφωνα με την εταιρεία το σχήμα της καμπίνας περιορίζει σημαντικά την εμφάνιση στάσιμων κυμάτων.

Η θέση του οδηγού χαμηλών συχνοτήτων στην πρόσοψη του ηχείου επίσης επηρεάζει την δριμύτητα των στάσιμων κυμάτων σε μια καμπίνα χωρίς ακουστικές βελτιώσεις: Τοποθετώντας το woofer ακριβώς στο κέντρο της πρόσοψης ή λίγο χαμηλότερα απ' αυτό, τα στάσιμα κύματα κατά μήκος και κατά πλάτος της καμπίνας μπορούν να μειωθούν σημαντικά²⁵.

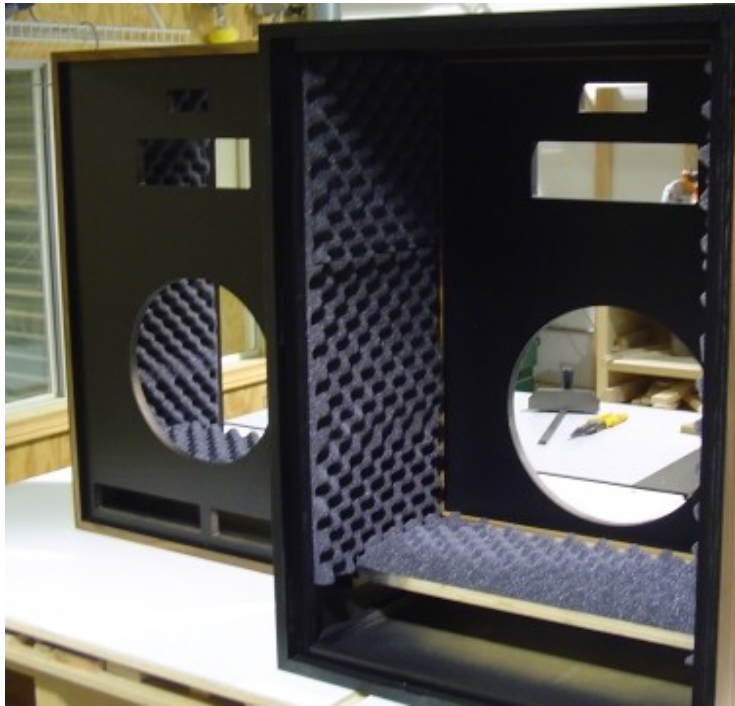
2.4.2 ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Για το “γέμισμα” μιας καμπίνας χρησιμοποιούνται συνήθως ινώδη συνθετικά υλικά όπως ο πετροβάμβακας, ο υαλοβάμβακας και γενικότερα, αντίστοιχης δομής πολυεστερικά παράγωγα.

Για την κάλυψη των επιφανειών αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί πλήθος διαφορετικών υλικών: Τα πορώδη ηχοαπορροφητικά υλικά τύπου “αυγοθήκης” είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα μιας και παρέχουν ικανοποιητική ηχοαπορρόφηση λόγω της πορώδους φύσης τους, ενώ ταυτόχρονα, το ιδιαίτερο σχήμα τους συμβάλλει στον περιορισμό των στάσιμων κυμάτων δεδομένων συχνοτήτων, διαθλώντας την προσπίπτουσα σε αυτά ακτινοβολία. Περισσότερο εξειδικευμένες λύσεις αποτελούν διάφορα συνθετικά μονωτικά υλικά όπως το dynamat. Σε περιπτώσεις που το κόστος αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν με σχετική επιτυχία υλικά όπως η τσόχα, το αφρολέξ ή το φελιζόλ. Τέλος, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και κατασκευές τύπου “σάντουιτς” οι οποίες αποτελούνται από στρώσεις διαφορετικών υλικών.

Η συχνοτική συμπεριφορά ενός ηχείου στο οποίο έχει εφαρμοστεί κάποια από τις παραπάνω μεθόδους ακουστικής βελτίωσης δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί με ακρίβεια. Σε γενικές γραμμές προτείνεται η πραγματοποίηση δοκιμών, μεταβάλλοντας σταδιακά την ποσότητα και την θέση των ηχοαπορροφητικών υλικών, έως ότου επιτευχθεί η επιθυμητή συχνοτική απόκριση. Ειδικά όσον αφορά καμπίνες τύπου bass-reflex, προτείνεται η συντηρητική χρήση ηχοαπορροφητικών υλικών εφόσον αυτά δύνανται να επηρεάσουν τον καθαρό όγκο και κατά συνέπεια την συχνότητα συντονισμού F_b . Προσοχή επίσης πρέπει να δίνεται κατά την εφαρμογή ηχοαπορροφητικών υλικών, ώστε να μην καλύπτεται η περιοχή πλησίον του bass-reflex σωλήνα: Η φραγή της διαδρομής του αέρα εντός και εκτός του σωλήνα ισοδυναμεί πρακτικά με την κατάργηση αυτού.

25. S. Sakai, *Acoustic Field in an Enclosure and Its Effect on Sound-Pressure Responses of a Loudspeaker*



Εικόνα 11

Το εσωτερικό ενός ηχείου bass-reflex. Διακρίνεται η επένδυση των εσωτερικών επιφανειών με αφρώδες υλικό (τύπου “αυγοθήκης”).

2.4.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΝΗΣΕΩΝ ΚΑΜΠΙΝΑΣ

Διάφορα υλικά και τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να ελεγχθούν πιθανές ανεπιθύμητες δονήσεις των τοιχωμάτων μιας καμπίνας. Ιδανικά, η καμπίνα θα πρέπει να κατασκευαστεί από ισχυρά υλικά τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακαμψία, φροντίζοντας τα τοιχώματα αυτής να διαθέτουν το μέγιστο δυνατό πάχος. Η χρήση υλικών με μεγάλη ελαστικότητα θα οδηγήσει, σχεδόν αναπόφευκτα, στην εμφάνιση στάσιμων κυμάτων και άλλων δονήσεων (τριγμών) στις επιφάνειες της καμπίνας.

Η σημασία των τρόπων υποστήριξης των πλευρών της καμπίνας και της προσαρμογής των οδηγών επάνω σε αυτή είναι εξίσου μεγάλη, ιδιαίτερα εάν για την κατασκευή χρησιμοποιήθηκε κάποιο υλικό με μικρή σχετικά ακαμψία.

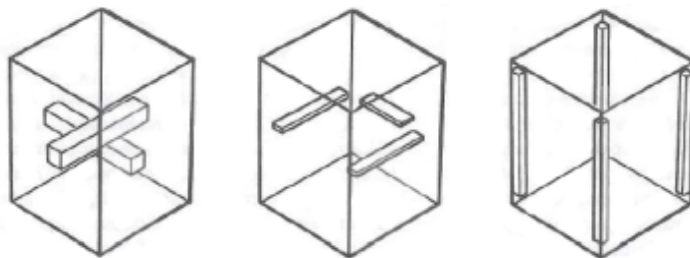
Τέλος, μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί και στα σημεία της καμπίνας που έρχονται σε επαφή με το έδαφος ή με διάφορους μηχανισμούς στήριξης αυτής: Το υλικό της βάσης της καμπίνας (ή τυχόν υποστηριγμάτων αυτής), καθώς και ο τύπος του εδάφους στο οποίο αυτή τοποθετείται είναι δυνατόν να συμβάλουν επίσης στην παραγωγή ανεπιθύμητων συντονισμών.

2.4.3.1 ΔΟΚΟΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Με την τοποθέτηση δοκών υποστήριξης σε κατάλληλη θέση εντός της καμπίνας, το κάθε τοίχωμα χωρίζεται σε ημιανεξάρτητα μέρη, το καθένα εκ των οποίων συντονίζεται σε διαφορετική συχνότητα²⁶. Η μέθοδος αυτή όχι μόνο συμβάλλει στην αύξηση της ακαμψίας των επιφανειών της καμπίνας, αλλά επιτρέπει και την “διάσπαση” των στάσιμων κυμάτων στο εσωτερικό της.

26. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 114

Οι τρεις σημαντικότερες μέθοδοι υποστήριξης των τοιχωμάτων μιας καμπίνας χρησιμοποιώντας δοκούς διακρίνονται στην εικόνα 12:



Εικόνα 12

Τρόποι ενίσχυσης των τοιχωμάτων με χρήση δοκών.

Ονομάζονται, βάση της σειράς που εμφανίζονται, σταυρωτός, οριζόντιος και γωνιακός τρόπος. Ο οριζόντιος τρόπος υποστήριξης μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να διαλυθούν οι συντονισμοί στην περιφέρεια της καμπίνας. Ο γωνιακός τρόπος υποστήριξης βελτιώνει την σύζευξη ανάμεσα σε δυο παρακείμενες πλευρές και βοηθά έτσι στην απαγωγή ενέργειας. Ο “σταυρωτός” τρόπος χρησιμοποιείται για την σύνδεση ανάμεσα σε απέναντι τοιχώματα: Δοκοί που τοποθετούνται σταυρωτά στο κέντρο ενός τοιχώματος διαιρούν έναν συντονισμό δια δύο. Ωστόσο, τοποθετώντας τις δοκούς έτσι ώστε τα εφαιπόμενα τοιχώματα να συντονίζονται σε διαφορετικές συχνότητες, αποτρέπεται η άθροιση αυτών και κατά συνέπεια, ο “θόρυβος” εξαιτίας των συντονισμών δεν γίνεται αντιληπτός λόγω χαμηλής στάθμης.

Οι δοκοί υποστήριξης κατασκευάζονται συνήθως από ξύλο πάχους 2-5 cm αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά και μέταλλο (π.χ. σιδηρόβεργες ή φύλλα μετάλλου κατάλληλου πάχους).

2.4.3.2 ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΔΗΓΩΝ

Οι κραδασμοί από το πλαίσιο των μεγαφώνων μπορούν να μεταφερθούν στα τοιχώματα της καμπίνας με αποτέλεσμα να προκληθούν συντονισμοί, τριγμοί και ανεπιθύμητος θόρυβος γενικότερα. Σε γενικές γραμμές, για την μείωση κραδασμών τέτοιου τύπου απαιτείται η χρήση κάποιου μονωτικού υλικού, κατά προτίμηση ελαστικού, το οποίο θα παρεμβάλλεται ανάμεσα στα μεγάφωνα και τα τοιχώματα της καμπίνας, όπου αυτά εφάπτονται.

Η χρήση ειδικών συνδέσμων οι οποίοι ενσωματώνουν κάποιο κάλυμμα από ελαστικό υλικό (παξιμάδια ασφαλείας, σύνδεσμοι τύπου well nut κλπ) είναι μια ιδιαίτερα διαδεδομένη και αποτελεσματική μέθοδος περιορισμού της μετάδοσης τέτοιων κραδασμών. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικές ροδέλες από ελαστικό υλικό οι οποίες τοποθετούνται ανάμεσα στην βίδα που συγκρατεί το μεγάφωνο και την καμπίνα. Για τον μέγιστο δυνατό έλεγχο των κραδασμών προτείνεται επίσης η τοποθέτηση τσιμούχας στα σημεία επαφής οδηγού-καμπίνας.

Μια ακόμα προσιτή, εύκολη στην εφαρμογή και εξαιρετικά αποτελεσματική μέθοδος είναι η χρήση σιλικονούχας κόλλας για την τοποθέτηση των οδηγών²⁷. Η σιλικόνη, εφαρμοσμένη κατάλληλα στην εξωτερική περίμετρο ενός οδηγού, είναι ικανή να συγκρατήσει το βάρος του ενώ χάρη στην ελαστική φύση της παρέχει ικανοποιητική απόσβεση πιθανών κραδασμών.

27. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 115

2.4.3.3 ΣΥΖΕΥΞΗ ΚΑΜΠΙΝΑΣ – ΕΔΑΦΟΥΣ

Μια λεπτομέρεια που συχνά παραβλέπεται, είναι το φαινόμενο μετάδοσης κραδασμών από την καμπίνα στο έδαφος και από αυτό στον αέρα. Η τάση που επικρατούσε μέχρι πρόσφατα, ήταν να χρησιμοποιούνται μεταλλικές τάπες - “πόδια” τα οποία υποστήριζαν το ηχείο παρέχοντας την απαραίτητη απόσταση από το έδαφος ώστε να ελαχιστοποιηθεί η μεταφορά κραδασμών. Η τεχνική αυτή παρέχει ως ένα βαθμό ικανοποιητική μόνωση αποτρέποντας την επαφή καμπίνας - εδάφους, ενώ η αποτελεσματικότητά της μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω με την εφαρμογή μεγαλύτερης μάζας στην βάση του ηχείου.

Μια άλλη τεχνική αποτροπής της μετάδοσης κραδασμών στο έδαφος είναι η ενσωμάτωση στην βάση της καμπίνας κάποιας επιφάνειας από αποσβεστικό ή εξαιρετικά άκαμπτο υλικό. Το σύνολο των κραδασμών θα εξουδετερώνεται από την επιφάνεια αυτή πριν προλάβει να μεταδοθεί στο έδαφος.

2.5 ΤΥΠΟΙ ΚΑΜΠΙΝΑΣ

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι καμπίνων ενώ συναντώνται και αρκετές παραλλαγές τους με διαφορετικές ιδιότητες^{28 29 30}. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι κύριοι αυτοί τύποι ενώ στις επόμενες ενότητες πραγματοποιείται εκτενέστερη περιγραφή τους:

1. Καμπίνες κλειστού τύπου: Πρόκειται για σφραγισμένες κατασκευές στο σύνολο του εσωτερικού όγκου των οποίων τοποθετείται συνήθως πετροβάμβακας ή παρόμοιο ηχοαπορροφητικό υλικό. Οι εσωτερικές επιφάνειες μιας τέτοιας καμπίνας καλύπτονται επίσης από κάποιο πορώδες ηχοαπορροφητικό υλικό.
2. Καμπίνες ενίσχυσης χαμηλών συχνοτήτων (bass reflex): Αν και δεν διαφέρουν ριζικά από τις καμπίνες κλειστού τύπου όσον αφορά την μέθοδο και τα υλικά κατασκευής, χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη μιας οπής ή σωλήνα, η οποία επιτρέπει την έξοδο του αέρα, καθώς αυτός δέχεται τις μεταβολές πίεσης λόγω της κίνησης του διαφράγματος των μεγαφώνων και της αντίδρασης των τοιχωμάτων της καμπίνας. Οι καμπίνες αυτού του τύπου λειτουργούν ουσιαστικά ως ταλαντωτές Helmholtz και κύριο προτέρημα τους είναι η βελτιωμένη απόδοση των χαμηλών συχνοτήτων.
3. Καμπίνες για μεγάφωνα τύπου χοάνης / καμπίνες τύπου μετάδοσης: Ουσιαστικά η “καμπίνα” ενός μεγαφώνου χοάνης αποτελείται από δύο τμήματα: Την ίδια τη χοάνη, η οποία προσαρμόζεται στο διάφραγμα του οδηγού, και το εξωτερικό περίβλημα του οδηγού. Το σύστημα αυτό λειτουργεί αφενός ως προσαρμογέας εμπέδησης ανάμεσα στο διάφραγμα του μεγαφώνου και τον αέρα και αφετέρου, ως μέσο περιορισμού της ακτινοβολίας από το πίσω μέρος του διαφράγματος.
4. Καμπίνες ανοικτού τύπου: Αποτελούν μια κατά προσέγγιση υλοποίηση ενός ηχείου τύπου “infinite baffle”. Ανάλογα με τον σχεδιασμό, μια τέτοια καμπίνα διαθέτει ένα στοιχειώδες μόνο περίβλημα (ή και καθόλου) αποτρέποντας έτσι την συσσώρευση συμπιεσμένου αέρα ο οποίος θα μπορούσε να επηρεάσει την λειτουργία των οδηγών.

28. Σηφάκης Μηνάς, *Σημειώσεις Θεωρίας Εφαρμοσμένης Ακουστικής I*, Α.Τ.Ε.Ι Πεθύμνου.

29. Leo Leroy Beranek, *Acoustics*, σελ 208

30. Ιστότοπος <http://www.wikipedia.org/> - Loudspeaker Enclosure

2.5.1 ΗΧΕΙΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ

Ο τύπος αυτός ηχείων είναι ιδιαίτερα διαδεδομένος. Ο απλός σχεδιασμός, η ευκολία κατασκευής, η καλή σχετικά απόδοση και η ικανοποιητική συχνοτική απόκριση, ακόμα και όταν χρησιμοποιείται καμπίνα μικρού όγκου, είναι οι κύριοι λόγοι που οδήγησαν στην ευρεία διάδοση των ηχείων κλειστού τύπου. Σε αντίθεση μάλιστα με περισσότερο απαιτητικούς σχεδιασμούς, ο κατασκευαστής ηχείων κλειστού τύπου έχει μεγαλύτερο περιθώριο σχεδιαστικού ή κατασκευαστικού σφάλματος. Για παράδειγμα, μια απόκλιση του πραγματικού όγκου της καμπίνας από αυτόν υπολογίστηκε θεωρητικά δεν αναμένεται να επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό την απόδοση ενός ηχείου κλειστού τύπου. Ακόμα όμως και στην περίπτωση που γινόταν αντιληπτή κάποια σημαντική απόκλιση, ο κατασκευαστής θα μπορούσε εύκολα να προβεί σε διορθωτικές επεμβάσεις, προσθέτοντας π.χ. επιπλέον ηχοαπορροφητικό υλικό στο εσωτερικό της καμπίνας.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των ηχείων κλειστού τύπου είναι η αδυναμία ικανοποιητικής απόκρισης στο χαμηλό άκρο του ακουστικού φάσματος και η γενικότερα μειωμένη αποδοτικότητά τους σε σχέση με άλλους σχεδιασμούς, ενώ οδηγούνται στα ίδια επίπεδα ισχύος, διαθέτουν καμπίνα παρόμοιων διαστάσεων και χρησιμοποιείται αντίστοιχος οδηγός.

Ένας ακόμα παράγοντας που δύναται να επηρεάσει την απόκριση ενός κλειστού τύπου ηχείου είναι η ακουστική εμπέδηση του μεγαφώνου. Η εμπέδηση εξαρτάται από την μηχανική ελαστικότητα του εγκλωβισμένου εντός της καμπίνας αέρα, καθώς και από την ελαστικότητα του συστήματος ανάρτησης του οδηγού.

Η ακαμψία sc της καμπίνας στις χαμηλότερες συχνότητες περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$Sc = \frac{(\pi a^2)^2 \rho_0 c^2}{V} \quad (2.1)$$

όπου a είναι η ακτίνα του μεγαφώνου και V ο όγκος της καμπίνας.

Το φαινόμενο αυτό επηρεάζει κυρίως τις κλειστού τύπου καμπίνες λόγω της μεγάλης πίεσης που αναπτύσσει ο αέρας στο εσωτερικό τους και μπορεί να περιγραφεί θεωρώντας τον αέρα εντός της καμπίνας ως ένα ελατήριο συνδεδεμένο παράλληλα προς το σύστημα ανάρτησης, τα οποία τείνουν από κοινού να επαναφέρουν το διάφραγμα στην αρχική του θέση: Η κίνηση του διαφράγματος συμπιέζει τον εντός της καμπίνας αέρα, ο οποίος μη έχοντας κάποια διέξοδο, ασκεί αντίστοιχες δυνάμεις επαναφοράς σε αυτό καθώς τείνει να επεκταθεί στον αρχικό του όγκο. Στην πράξη αυτό ισοδυναμεί με αύξηση της ακαμψίας της ανάρτησης του οδηγού.

Η αύξηση αυτή της ακαμψίας της ανάρτησης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συχνότητας συντονισμού του διαφράγματος και κατά συνέπεια τον περιορισμό της συχνοτικής απόκρισης σε σχέση με την περίπτωση όπου το ίδιο μέγαφωνο θα είχε τοποθετηθεί σε καμπίνα άλλου τύπου. Η έξοδος του ηχείου μειώνεται σημαντικά για συχνότητες χαμηλότερες της συχνότητας F_s , στην οποία η ακουστική εμπέδηση λαμβάνει μέγιστη τιμή.

Για τους λόγους αυτούς ενδείκνυται, ειδικά αν στόχο αποτελεί η ορθή απόδοση του χαμηλότερου άκρου του ακουστικού φάσματος και γενικότερα η ευρεία συχνοτική απόκριση, σε τέτοιες καμπίνες να χρησιμοποιούνται μέγαφωνα των οποίων η ανάρτηση παρουσιάζει υψηλή ελαστικότητα και συνεπώς χαρακτηρίζονται από χαμηλή σχετικά συχνότητα συντονισμού F_s .

Ένας ακόμα τρόπος βελτίωσης της απόδοσης των χαμηλών συχνοτήτων από ένα ηχείο κλειστού τύπου είναι η αύξηση του ωφέλιμου όγκου της καμπίνας. Εάν η ανακατασκευή της καμπίνας δεν είναι εφικτή ή απαιτούνται ηχεία μικρού μεγέθους, ο ωφέλιμος όγκος της καμπίνας είναι δυνατόν να αυξηθεί με την τοποθέτηση ηχοαπορροφητικού υλικού στο εσωτερικό της. Η μέθοδος αυτή προφανώς δεν αυξάνει τις φυσικές διαστάσεις της κατασκευής: Αυτό που πρακτικά

επιτυγχάνεται, είναι η μείωση της ταχύτητας του ήχου στο εσωτερικό του ηχείου λόγω της πορώδους φύσης του ηχοαπορροφητικού υλικού, κάτι που έχει αντίστοιχα αποτελέσματα με την αύξηση του πραγματικού όγκου της καμπίνας. Η φαινομενική αυτή αύξηση μπορεί να είναι, ανάλογα με το υλικό και την μέθοδο τοποθέτησης, μέχρι και 40% επί του πραγματικού όγκου της καμπίνας.

Στην περίπτωση που η αποτελεσματικότητα των παραπάνω μεθόδων εξαντληθεί ενώ απαιτείται περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης των χαμηλότερων συχνοτήτων του ακουστικού φάσματος (π.χ για ηχεία τύπου subwoofer κλειστού τύπου), εναλλακτική λύση αποτελεί η αύξηση της ελαστικότητας της ανάρτησης σε συνδυασμό με την αύξηση της μάζας του διαφράγματος των οδηγών. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο πως η αύξηση της μάζας θα μειώσει σημαντικά την ικανότητα απόδοσης υψηλότερων συχνοτήτων από το σύστημα. Για τον λόγο αυτό τέτοιες τροποποιήσεις γίνονται κυρίως σε ηχεία τύπου woofer και subwoofer όπου η βέλτιστη απόδοση των χαμηλών συχνοτήτων είναι προτεραιότητα ενώ δεν υπάρχει ανάγκη απόδοσης των υψηλών.

2.5.1.1 ΗΧΕΙΑ ΤΥΠΟΥ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ

Τα ηχεία τύπου ακουστικής ανάρτησης (acoustic suspension) αποτελούν παραλλαγή του συμβατικού σχεδιασμού κλειστού τύπου. Διαδόθηκαν ευρέως στα τέλη της δεκαετίας του '50, σήμερα όμως δεν παράγονται μαζικά. Βασίζονται στον συνδυασμό καμπίνας μικρού σχετικά μεγέθους^{31 32}, κάτι που επιτρέπει την ανάπτυξη υψηλής πίεσης του αέρα στο εσωτερικό τους, και οδηγών με ανάρτηση υψηλής ελαστικότητας, κάτι που καθιστά δυνατή την μεγάλη μετατόπιση του διαφράγματος.



Εικόνα 13

Ηχείο ακουστικής ανάρτησης τύπου subwoofer Klipsch XW500d.

Ο αέρινος όγκος στο εσωτερικό της καμπίνας λειτουργεί ως αποσβεστήρας, υποβοηθώντας την ανάρτηση του μεγαφώνου επιτρέπεται η ομαλότερη και γραμμικότερη κίνηση του διαφράγματος. Παράλληλα, η δυνατότητα του διαφράγματος για μεγάλη μετατόπιση επιτρέπει την αναπαραγωγή συχνοτήτων ακόμα και στο χαμηλό άκρο του ακουστικού φάσματος. Το βασικό πλεονέκτημα των ηχείων αυτού του τύπου είναι η μεγάλη γραμμικότητα που χαρακτηρίζει την συχνοτική τους απόκριση.

31. John Borwick, *Loudspeaker and Headphone Handbook 3rd Edition*, σελ 305

32. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 29

Αν και τα ηχεία ακουστικής ανάρτησης μπορούν να αποδώσουν ακόμα και εξαιρετικά χαμηλές συχνότητες (της τάξης των 30 - 40 Hz) παρά το μικρό τους μέγεθος, κάτι που τα καθιστά εξαιρετικές λύσεις όταν ο διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης είναι περιορισμένος, υστερούν σε αποδοτικότητα σε σχέση με άλλους σχεδιασμούς όπως τα ηχεία τύπου bass reflex. Σε γενικές γραμμές χρειάζονται περισσότερη ισχύ από ένα bass reflex σύστημα ώστε να αποδώσουν στα ίδια επίπεδα με αυτό.

Επίσης, οι οδηγοί που προορίζονται για τέτοια ηχεία πρέπει να διαθέτουν ορισμένα χαρακτηριστικά όπως εξαιρετικά ελαστική ανάρτηση, μικρή διάμετρο και διαφράγματα ικανά για μεγάλη μετατόπιση προκειμένου να εκμεταλλευτούν τις ιδιότητες του αέρα εντός της καμπίνας. Η έλλειψη αυτών των χαρακτηριστικών από πολλούς σύγχρονους οδηγούς τους καθιστά ακατάλληλους για τοποθέτηση σε καμπίνες ακουστικής ανάρτησης, ενώ η ανάπτυξη αποδοτικότερων σχεδιασμών για την κατασκευή woofer και subwoofer ηχείων έχουν καταστήσει την συγκεκριμένη τεχνολογία παρωχημένη.

Ας σημειωθεί πως τα κλειστού τύπου ηχεία, άσχετα με το μέγεθος της καμπίνας τους, συνηθίζεται να αποκαλούνται ηχεία τύπου “infinite baffle”. Ο χαρακτηρισμός αυτός είναι εσφαλμένος και πηγάζει από την ικανότητα όλων των κλειστού τύπου ηχείων να εμποδίζουν την αλληλεπίδραση της ηχητικής ακτινοβολίας από το μπροστά και το πίσω μέρος του διαφράγματος.

2.5.2 ΗΧΕΙΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΤΥΠΟΥ - “OPEN Baffle”

Ένα ηχείο ανοικτού τύπου αποτελεί προσεγγιστικό μοντέλο του σχεδιασμού “infinite baffle”. Σε μια τέτοια κατασκευή, ο οδηγός τοποθετείται σε κάποια επιφάνεια, της οποίας οι διαστάσεις είναι άμεσα συγκρίσιμες με το μήκος κύματος της χαμηλότερης συχνότητας που πρόκειται να αναπαραχθεί, ενώ δεν υπάρχει κάποιο περίβλημα γύρω από αυτήν³³.



Εικόνα 14

Ζεύγος ηχείων ανοικτού τύπου Linkwitz Orion. Διακρίνεται η ανοικτή πίσω πλευρά του ηχείου.

33. Leo Leroy Beranek, *Acoustics*, σελ 210

Το μεγαλύτερο πρόβλημα των ηχείων ανοικτού τύπου είναι η αναπόφευκτη συμβολή μεταξύ προερχόμενης από το πίσω μέρος του διαφράγματος ακτινοβολίας και αυτής από το μπροστά, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ανωμαλιών στην συχνοτική απόκριση³⁴.

Μια παραλλαγή του σχεδιασμού ανοικτού τύπου η οποία αποσκοπεί στην επίλυση του παραπάνω προβλήματος, αποτελεί η τοποθέτηση των οδηγών σε μια εξαιρετικά μεγάλων διαστάσεων κλειστή καμπίνα. Σε κάποιες εξωτικές εφαρμογές του συγκεκριμένου σχεδιασμού μάλιστα, μεγάφωνα προσαρμόστηκαν επάνω σε τοίχους οικημάτων ενώ κάποιο παρακείμενο δωμάτιο, στο οποίο βρίσκεται το πίσω μέρος του μεγαφώνου, αποτελεί την “καμπίνα”. Η κύρια λογική πίσω από τον εν λόγω σχεδιασμό είναι πως, λόγω της μεγάλης μεγέθους καμπίνας, οι μεταβολές της πίεσης του αέρα εντός της θα είναι περιορισμένες με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας μεταβολής της συχνότητας συντονισμού F_s του οδηγού. Μέσω αυτής της μεθόδου δηλαδή προσομοιώνονται οι συνθήκες που θα επικρατούσαν εάν δεν υπήρχε κάποιο περίβλημα γύρω από τον οδηγό, όπως δηλαδή στην περίπτωση του θεωρητικού μοντέλου “infinite baffle”.

2.5.3 ΚΑΜΠΙΝΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Το χαρακτηριστικότερο ίσως γνώρισμα των vented box ή bass reflex ηχείων είναι η παρουσία μιας οπής, φυσική συνέχεια της οποίας είναι ένας σωλήνας ο οποίος εκτείνεται προς το εσωτερικό του ηχείου και επιτρέπει την διέλευση του αέρα εντός και εκτός της καμπίνας. Χάρη στην ύπαρξη του συστήματος αυτού, ακτινοβολία συγκεκριμένης συχνότητας, προέλευση της οποίας συνήθως είναι το πίσω μέρος του διαφράγματος, μπορεί να διαφύγει και να συνδυαστεί με τον ήχο που ακτινοβολείται από το μπροστά μέρος του μεγαφώνου. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η βελτίωση της αναπαραγωγής χαμηλών συχνοτήτων από το σύστημα και η αύξηση της αποδοτικότητας το σε σχέση με άλλους σχεδιασμούς.

2.5.3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

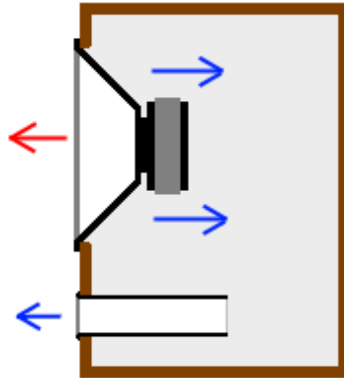
Σε ένα ηχείο τύπου bass reflex η οπή ενίσχυσης χαμηλών συχνοτήτων λειτουργεί ως ένας συντονιστής Helmholtz³⁵: Συνοπτικά, ένας συντονιστής ή αντηχείο Helmholtz είναι ένα δοχείο μέσα στο οποίο εσωκλείεται κάποιο αέριο και διαθέτει, σε κάποιο σημείο του σώματός του, έναν στενό λαιμό με μία οπή στην κορυφή του. Η παραγωγή του ήχου προκύπτει από τις δονήσεις του αέριου όγκου, ο οποίος είναι συγκεντρωμένος κοντά στην οπή του αντηχείου, ενώ αντίστοιχα οι δονήσεις αυτές οφείλονται στην ελαστικότητα του περικλειόμενου από το δοχείο αερίου.

Ενώ το μεγάφωνο παραμένει ανενεργό, η αέρια στήλη εντός του σωλήνα παραμένει ακίνητη μιας και δέχεται παρόμοιες δυνάμεις από τις αέριες μάζες που βρίσκονται εντός και εκτός της καμπίνας. Εάν όμως το μεγάφωνο τεθεί σε λειτουργία, η κίνηση του διαφράγματος θα προκαλέσει μετατόπιση του αέρα αλλά και αύξηση της πίεσης στο εσωτερικό της καμπίνας μιας και αυτός θα περιοριστεί σε μικρότερο χώρο. Ως συνέπεια αυτού, η αέρια στήλη εντός του σωλήνα θα τεθεί σε κίνηση οδηγούμενη από τον συμπιεσμένο πλέον αέρα που τείνει να επεκταθεί στο αρχικό του μέγεθος. Πρόκειται ουσιαστικά για μια παραλλαγή του φαινομένου που λαμβάνει χώρα εάν κάποιος φυσήξει προς το εσωτερικό ενός συντονιστή Helmholtz. Κατά την έξοδο του συμπιεσμένου αέρα δημιουργείται κενό στο εσωτερικό της καμπίνας και η πίεση που επικρατεί εντός της μειώνεται. Εξ' αιτίας του κενού αυτού αλλά και της διαφοράς πίεσης που προκύπτει, μέρος του εξερχόμενου αέρα αναρροφάται πίσω στο δοχείο. Η διαδικασία αυτή θα επαναλαμβάνεται συνεχώς μέχρι να πάψει να παρέχεται ενέργεια στο σύστημα. Η αμφίδρομη αυτή

34. Leo Leroy Beranek, *Acoustics*, σελ 210

35. Σηφάκης Μηνάς, *Σημειώσεις Θεωρίας Εφαρμοσμένης Ακουστικής Ι*, Α.Τ.Ε.Ι Ρεθύμνου.

κίνηση της αέριας στήλης στον σωλήνα προκαλεί ταλαντώσεις στον περιβάλλοντα αέρα, δηλαδή ήχο. Η συχνότητα συντονισμού της καμπίνας F_b εξαρτάται από το μήκος και την διάμετρο του σωλήνα, τον όγκο της καμπίνας και την ταχύτητα του ήχου στον αέρα.



Εικόνα 15

Σχεδιάγραμμα ενός ηχείου bass-reflex. Το κόκκινο βέλος αναπαριστά την απευθείας ακτινοβολία. Τα κυανά βέλη αναπαριστούν την ακτινοβολία από το πίσω μέρος του διαφράγματος και την έξοδο της από την οπή ενίσχυσης χαμηλών συχνοτήτων.

Στην πράξη, σε ένα σύστημα bass-reflex η οπή λειτουργεί ως ένα επιπλέον διάφραγμα, ρυθμισμένο έτσι ώστε να ακτινοβολεί ηχητική ενέργεια παράλληλα με τα πραγματικά μεγάφωνα που έχουν εγκατασταθεί στο ηχείο, ενισχύοντας κατ' αυτό τον τρόπο την συνολική έξοδο για κάποιες δεδομένες συχνότητες. Κατά κανόνα, η εν λόγω ενίσχυση προκύπτει για την συχνοτική ζώνη μεταξύ των συχνοτήτων F_s και F_b όπου η ηχητική ακτινοβολία από την οπή είναι σε φάση με αυτή των μεγαφώνων (ας σημειωθεί ωστόσο πως η ακτινοβολία από την οπή ενίσχυσης χαμηλών θα καθυστερεί κατά μια κυματική περίοδο). Για συχνότητες χαμηλότερες της συχνότητας F_b η ακτινοβολία από την οπή είναι σε αντίθετη φάση από αυτή των μεγαφώνων και συμβάλλει αρνητικά στην συνολική εκπεμπόμενη ακουστική ισχύ (λόγω φαινομένων καταστρεπτικής συμβολής).

Βάση των παραπάνω στοιχείων, γίνεται αντιληπτό πως μεταβάλλοντας το μήκος και την διατομή του σωλήνα ενίσχυσης χαμηλών συχνοτήτων είναι δυνατόν να ρυθμιστεί κατά προτίμηση η συχνότητα συντονισμού μιας bass reflex καμπίνας και κατά συνέπεια να καθοριστεί με σχετική ακρίβεια η ζώνη συχνοτήτων που πρόκειται να ενισχυθεί. Έτσι, είναι δυνατόν να προσεγγιστεί η ιδανική συχνοτική απόκριση ενός ηχείου ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής (ηχεία με έντονα μπάσα, ηχεία με flat συχνοτική απόκριση κλπ).

Εάν η συχνότητα συντονισμού της καμπίνας F_b τεθεί χαμηλότερα της συχνότητας συντονισμού F_s του οδηγού woofer, επιτυγχάνεται η διεύρυνση της συχνοτικής απόκρισης του ηχείου εφόσον προκύπτει η ενίσχυση της εξόδου σε συχνότητες που θα μπορούσαν μόλις οριακά να αναπαραχθούν από τον ίδιο οδηγό εάν αυτός είχε εγκατασταθεί σε μια συμβατική κλειστού τύπου καμπίνα. Επιτυγχάνεται επίσης μια περισσότερο επίπεδη συνολική συχνοτική απόκριση αφού δεν ενισχύονται από την οπή συχνότητες οι οποίες δύνανται ούτως ή άλλως να αναπαραχθούν από τον οδηγό σε υψηλότερη στάθμη.

Προφανώς, εάν η συχνότητα συντονισμού F_b τεθεί υψηλότερα από την συχνότητα συντονισμού του μεγαφώνου F_s , αναμένεται αύξηση της εξόδου του ηχείου στην συχνοτική περιοχή μεταξύ τους και κυρίως γύρω από την συχνότητα F_b καθώς και υψηλότερη αποκοπή (cutoff). Παρότι η πρακτική αυτή δεν συνίσταται, εφόσον άμεσα αποτελέσματά της είναι ο περιορισμός του εύρους της συχνοτικής απόκρισης του ηχείου καθώς και η λιγότερο ομαλή συχνοτική απόκριση αυτού, μπορεί να ασκηθεί σε περιπτώσεις όπου είναι επιθυμητή η ενίσχυση

της απόδοσης κάποιας συγκεκριμένης συχνοτικής ζώνης (π.χ σε φτηνότερα ηχεία οικιακής χρήσης χωρίς εξειδικευμένους οδηγούς woofer, όπου απαιτείται η έντονη παρουσία μπάσων χωρίς να είναι απαραίτητη η σαφήνεια των μουσικών φθόγγων).



Εικόνα 16

Αυτοενισχυόμενο ηχείο Adam Professional Audio A7X με οδηγό woofer 7" και δύο bass-reflex σωλήνες.

Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί πως η ύπαρξη οπής ενίσχυσης χαμηλών σε μια καμπίνα οδηγεί, πέραν των βελτιώσεων στην απόδοση ενός ηχείου που αναφέρθηκαν παραπάνω, στην αύξηση του ακουστικού φορτίου (acoustic load) στο πίσω μέρος του διαφράγματος των οδηγών³⁶, δυσχεραίνοντας έτσι την κίνησή του και κατά συνέπεια μειώνοντας την συνολική έξοδο του συστήματος.

Στην πράξη λοιπόν, η οπή ενίσχυσης χαμηλών συχνοτήτων, παρά την συμβολή της στην απόδοση κάποιων δεδομένων συχνοτήτων από το ηχείο, δύναται να περιορίσει παράλληλα, σε κάποιο βαθμό, την συνολική έξοδο αυτού, καθώς και να συμβάλλει στην παραγωγή κάποιων ανεπιθύμητων ηχητικών φαινομένων τα οποία θα εξεταστούν στις ενότητες που ακολουθούν.

Σε σύγκριση με τα κλειστού τύπου ηχεία, τα bass reflex διαθέτουν κάποια μοναδικά χαρακτηριστικά³⁷:

- Περιορισμένη μετατόπιση του διαφράγματος κοντά στην συχνότητα συντονισμού της καμπίνας με αποτέλεσμα υψηλότερη αποδοτικότητα και χαμηλότερη παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης (modulation distortion). Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά τον bass reflex σχεδιασμό ιδανικό για ηχεία δυο δρόμων, στα οποία συνήθως δεν χρησιμοποιείται mid-range οδηγός αποκλειστικά για την αναπαραγωγή των μεσαίων συχνοτήτων και απαιτείται μεγαλύτερη κίνηση του διαφράγματος του woofer.
- Χαμηλότερη αποκοπή (cutoff) όταν χρησιμοποιείται ο ίδιος οδηγός.

36. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 61

37. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 61

- Θεωρητική βελτίωση της απόδοσης κατά 3dB σε σχέση με μια κλειστού τύπου καμπίνα ίδιων διαστάσεων. Μολονότι αυτό δεν έχει ιδιαίτερη σημασία στην πράξη, η μείωση της απαιτούμενης μάζας διαφράγματος και μετατόπισης του πηνίου συμβάλει σημαντικά στην αποδοτικότητα του κινητήρα.
- Στον αντίποδα, οι καμπίνες τύπου bass-reflex είναι περισσότερο ευαίσθητες σε σχεδιαστικές αστοχίες. Ο παράγοντας αυτός καθιστά την κατασκευή τέτοιων ηχείων δυσκολότερη από λιγότερο έμπειρους κατασκευαστές.

Τέλος, αξ σημειωθεί πως σε συχνότητες εξαιρετικά χαμηλότερες της συχνότητας συντονισμού F_b , υπάρχει η πιθανότητα υψηλής μετατόπισης του διαφράγματος με αποτέλεσμα τα bass-reflex ηχεία να είναι εξαιρετικά ευαίσθητα σε υποηχητικό θόρυβο (όπως π.χ. αυτός που μπορεί να προκύψει κατά την αναπαραγωγή παραμορφωμένων δίσκων βινυλίου). Το παραπάνω πρόβλημα βέβαια είναι εύκολο να αντιμετωπιστεί αν χρησιμοποιηθεί κάποιο φίλτρο αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων (είτε ενσωματωμένο στο crossover του ηχείου είτε ως εξωτερική μονάδα).

2.5.3.2 ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΟΔΗΓΩΝ WOOFER ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ BASS-REFLEX ΚΑΜΠΙΝΕΣ

Οι παράμετροι Thiele/Small ενός οδηγού υποδηλώνουν και την καταλληλότητα αυτού για χρήση σε διάφορων τύπων καμπίνες. Εκείνοι οι οποίοι προορίζονται για bass-reflex συστήματα, συνήθως διαθέτουν διάφραγμα μικρότερης μάζας και χαρακτηρίζονται από τιμές της παραμέτρου Q_{ts} ³⁸ της τάξης του 0,2 – 0,5. Η χρήση woofer διαφορετικού Q_{ts} είναι δυνατή αλλά δεν ενδείκνυται μιας και μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα συχνοτικής απόκρισης.

Μια ακόμα Thiele/Small παράμετρος, εξαιρετικά χρήσιμη προκειμένου να επιλεγεί κατάλληλος οδηγός, είναι η EBP³⁹. Τιμές της παραμέτρου μεγαλύτερες ή ίσες του 100 υποδεικνύουν καταλληλότητα ενός δεδομένου οδηγού για χρήση σε bass-reflex συστήματα.

2.5.3.3 ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΟΓΚΟΣ ΚΑΜΠΙΝΑΣ

Οι περισσότεροι κατασκευαστές μεγαφώνων προτείνουν συνήθως τιμές μέγιστου και ελάχιστου όγκου καμπίνας για την βέλτιστη λειτουργία των οδηγών τους. Η τήρηση των προδιαγραφών του κατασκευαστή αποτελεί τον απλούστερο τρόπο επιλογής διαστάσεων καμπίνας προκειμένου να διασφαλιστεί η ομαλότητα της συχνοτικής απόκρισης ενός οδηγού.

Ο βέλτιστος καθαρός όγκος μιας bass-reflex καμπίνας για χρήση με δεδομένους οδηγούς μπορεί να προκύψει υπολογιστικά, εάν οι Thiele/Small παράμετροι αυτών είναι γνωστές, χρησιμοποιώντας τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

- Κατά τους G. Margolis και R. H. Small ο βέλτιστος καθαρός όγκος καμπίνας δίνεται από την σχέση:

$$V_b = 20 \times Q_{ts}^{3.3} \times V_{as} \quad (2.2)$$

38. Ο παράγοντας ποιότητας Q του συστήματος στη συχνότητα F_s

39. Efficiency Bandwidth Product – αποτελεί έναν προσεγγιστικό δείκτη καταλληλότητας του οδηγού για χρήση σε διάφορων τύπων καμπίνες

- Κατά τον D.B. Keele Jr., ο βέλτιστος καθαρός όγκος καμπίνας υπολογίζεται ως εξής:

$$V_b = 15 \times V_{as} \times (Q_{ts}^{2.87}) \quad (2.3)$$

Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί πως οι εν λόγω τύποι υπολογίζουν τον βέλτιστο καθαρό όγκο της καμπίνας. Ο όγκος των τοιχωμάτων αυτής καθώς και οι όγκοι των διάφορων υποσυστημάτων του ηχείου δεν λαμβάνονται υπόψιν και πρέπει να υπολογιστούν ξεχωριστά. Ο συνολικός όγκος της καμπίνας είναι δηλαδή το άθροισμα του βέλτιστου καθαρού όγκου που προκύπτει από τους παραπάνω τύπους, του όγκου των τοιχωμάτων αυτής και του όγκου των διάφορων εξαρτημάτων εντός της. Είναι σαφές πως οι τελικές διαστάσεις της καμπίνας πρέπει να υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις παραπάνω παραμέτρους.

2.5.3.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ ΚΑΜΠΙΝΑΣ F_b

Η συχνότητα συντονισμού F_b μιας καμπίνας bass-reflex γνωστού και συγκεκριμένου καθαρού όγκου, δύναται να καθοριστεί προσαρμόζοντας κατάλληλα το μήκος και την διατομή του σωλήνα. Όσον αφορά την επιλογή της κατάλληλης συχνότητας F_b για κάποια δεδομένη εφαρμογή, παρότι δεν υπάρχει κάποιος απόλυτος κανόνας, προτείνεται εάν το ζητούμενο είναι η επίπεδη συχνοτική απόκριση, να είναι μικρότερη της χαμηλότερης συχνότητας που μπορεί να αναπαραχθεί από τον διαθέσιμο οδηγό woofer⁴⁰. Στην περίπτωση αυτή μάλιστα, η βέλτιστη συχνότητα συντονισμού της καμπίνας F_b και λαμβάνοντας υπόψιν τα χαρακτηριστικά του οδηγού woofer, μπορεί να υπολογιστεί βάση του παρακάτω τύπου των Margolis – Small:

$$F_b = 0.42 \times F_s \times Q_{ts}^{-0.96} \quad (2.4)$$

2.5.3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΚΑΙ ΜΗΚΟΥΣ ΣΩΛΗΝΑ BASS - REFLEX

Εφόσον ο καθαρός όγκος και η συχνότητα συντονισμού F_b μιας bass-reflex καμπίνας έχουν καθοριστεί, το μήκος του σωλήνα μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση 2.5 και η διάμετρος αυτού από την σχέση 2.6:

$$L_v = \frac{1.463 \times 10^7 \times R^2}{F_b^2 \times V_b} - 1.463 \times R \quad (2.5)$$

όπου L_v είναι το μήκος του σωλήνα, F_b είναι η επιθυμητή συχνότητα συντονισμού της καμπίνας, V_b είναι ο όγκος της καμπίνας και R είναι η ακτίνα της οπής.

$$d_v \geq 39.37 \times \left(\frac{411.25 \times V_d}{\sqrt{F_b}} \right)^{0.5} \quad (2.6)$$

όπου d_v είναι μεγαλύτερο ή ίσο της ελάχιστης διαμέτρου της οπής, F_b είναι η συχνότητα συντονισμού της καμπίνας και V_d είναι η μετατόπιση του διαφράγματος.

40. Βλ. Ενότητα 2.5.3.1

Μια περισσότερο συντηρητική⁴¹ προσέγγιση του dv γίνεται από την παρακάτω σχέση του Small:

$$dv \geq 39.37 \times (F_b \times V_d)^{0.5} \quad (2.7)$$

όπου V_d είναι η μετατόπιση του διαφράγματος και F_b η συχνότητα συντονισμού της καμπίνας.

Οι παραπάνω μαθηματικές σχέσεις μπορούν να αποδώσουν τέτοιες διαστάσεις σωλήνα ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή συχνότητα συντονισμού της καμπίνας, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψιν την πιθανότητα παρουσίας ανεπιθύμητου θορύβου λόγω στροβιλισμών του αέρα⁴², καθώς αυτός εξέρχεται με μεγάλη ταχύτητα από την καμπίνα κατά την λειτουργία του ηχείου. Ο θόρυβος αυτού του τύπου έχει χαρακτηριστική χροιά “φυσήματος” και συνήθως προκύπτει όταν χρησιμοποιούνται bass-reflex σωλήνες με διατομή δυσανάλογα μικρότερη από αυτή της ενεργούς ακτινοβολούσας περιοχής του οδηγού.

Ισχύει σε γενικές γραμμές πως οι σωλήνες μεγαλύτερης διατομής είναι λιγότερο επιρρεπείς στο εν λόγω πρόβλημα. Από την άλλη, ένας μεγάλης διατομής σωλήνας θα πρέπει να διαθέτει και αντίστοιχα μεγάλο μήκος, προκειμένου να επιτυγχάνεται η επιθυμητή συχνότητα F_b και κατά συνέπεια η ομαλή συχνοτική απόκριση του ηχείου. Σε μια τέτοια περίπτωση ωστόσο αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης διάφορων συντονισμών και στάσιμων κυμάτων κατά μήκος του σωλήνα, φαινόμενα τα οποία επίσης μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την συχνοτική απόκριση.

Πέρα από την χρήση εξειδικευμένων σχέσεων όπως αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω, ένας εμπειρικός κανόνας που έχει επικρατήσει ανάμεσα στους ερασιτέχνες κατασκευαστές ηχείων προκειμένου να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα εμφάνισης τέτοιων προβλημάτων είναι, η διάμετρος της οπής να αντιστοιχεί τουλάχιστον στο 1/3 της διαμέτρου του οδηγού woofer. Η τιμή αυτή μάλιστα συμπίπτει συνήθως με αυτές που προκύπτουν ως αποτελέσματα της σχέσης 5.

Ας σημειωθεί πάντως ότι προβλήματα θορύβου λόγω στροβιλισμών είναι πιθανότερο να προκύψουν όταν αναπαράγονται σήματα χαμηλών συχνοτήτων σε υψηλές στάθμες, όπου η μεγάλη κίνηση του διαφράγματος του οδηγού μετακινεί μεγαλύτερο όγκο αέρα, αυξάνοντας έτσι την πίεση στο εσωτερικό της καμπίνας και κατά συνέπεια την ταχύτητα διαφυγής αυτού μέσω του σωλήνα.

2.5.3.6 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΛΟΓΩ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

Οι απώλειες ενέργειας που μπορεί να προκύψουν σε μια καμπίνα bass-reflex κατατάσσονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες: Απώλειες λόγω διαρροής (Q_1), απώλειες λόγω απορρόφησης (εάν υπάρχει ηχοαπορροφητικό υλικό στην καμπίνα) (Q_A) και απώλειες από την οπή (Q_P).

Εάν το ηχείο έχει σχεδιαστεί σωστά, οι απώλειες δια μέσω της οπής ή λόγω απορρόφησης μπορούν να προβλεφθούν σε μεγάλο βαθμό και να θεωρηθούν αμελητέες εφόσον δεν δύνανται να ασκήσουν δραστική επιρροή στη συχνοτική απόκριση. Στην περίπτωση αυτή, πιθανές ανωμαλίες της συχνοτικής απόκρισης μπορεί να οφείλονται σε κάποια κατασκευαστική αστοχία η οποία επιτρέπει την διαρροή ηχητικής ακτινοβολίας. Όπως είναι φυσικό, τέτοιες ανωμαλίες είναι αδύνατον να προβλεφθούν κατά την διαδικασία σχεδιασμού και συνεπώς, εάν η συχνοτική απόκριση του συστήματος δεν είναι η επιθυμητή, προτείνεται ο περαιτέρω εργαστηριακός έλεγχος προκειμένου να εντοπιστεί η πηγή του όποιου προβλήματος.

41. Οι μεταγενέστεροι τύποι περιλαμβάνουν περισσότερες διορθωτικές παραμέτρους και κατά κανόνα αποδίδουν μεγαλύτερες τιμές διαμέτρου. Βλ. Ενότητα 5.4.4

42. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 74

Ο έλεγχος αυτός μπορεί να επιτευχθεί μέσω μέτρησης της Thiele/Small παραμέτρου Q_1 . Η παράμετρος αυτή περιγράφει το Q ενός ηχείου στην συχνότητα συντονισμού της καμπίνας F_b συμπεριλαμβανομένων όλων των απωλειών. Η τιμή της παραμέτρου Q_1 υπό ιδανικές συνθήκες, όταν δηλαδή οι απώλειες λόγω διαρροών θεωρούνται αμελητέες, είναι 7. Στην περίπτωση που η τιμή του Q_1 για μια δεδομένη καμπίνα μετρηθεί σημαντικά μεγαλύτερη ή μικρότερη του επιθυμητού “7” τότε η καμπίνα θα πρέπει να ελεγχθεί για διαρροές.

2.5.3.7 ΗΧΕΙΑ ΤΥΠΟΥ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΤΗ

Τα ηχεία “παθητικού ακτινοβολητή” (passive radiator) αποτελούν παραλλαγή του κλασσικού bass reflex σχεδιασμού και χαρακτηρίζονται, όπως όλα τα bass reflex συστήματα, από την καλή απόδοση των χαμηλών συχνοτήτων του ακουστικού φάσματος. Σε ένα ηχείο τέτοιου τύπου χρησιμοποιούνται δύο τύπων οδηγία:

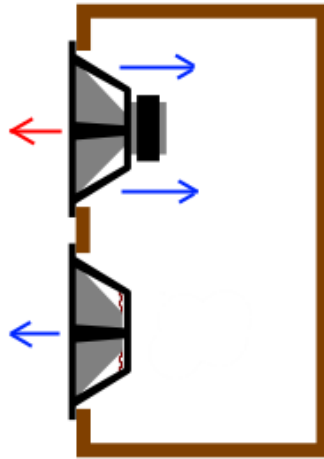
- Οι ενεργοί ή κύριοι οδηγοί οι οποίοι λειτουργούν όπως οι οδηγοί κάθε ηχείου, μετατρέπουν δηλαδή σε ηχητική ακτινοβολία το ηλεκτρικό σήμα που δέχονται από κάποια ενισχυτική διάταξη.
- Οι παθητικοί ή αδρανείς οδηγοί οι οποίοι ουσιαστικά λειτουργούν όπως ένα σύστημα οπής – σωλήνα ενίσχυσης χαμηλών, υποβοηθώντας δηλαδή την αναπαραγωγή κάποιων συχνοτήτων από τους κύριους οδηγούς του συστήματος.

Οι παθητικοί οδηγοί δεν είναι συνδεδεμένοι με την είσοδο του ηχείου (άρα δεν συνδέονται με τον ενισχυτή που παρέχει σήμα στο σύστημα) ενώ δεν διαθέτουν κινητήρα (μαγνήτη και πηνίο). Αποτελούνται ουσιαστικά μόνο από το διάφραγμα και κάποιο πλαίσιο υποστήριξης αυτού. Η κίνηση του διαφράγματος των παθητικών οδηγών προκαλείται από τις μεταβολές της πίεσης του αέρα στο εσωτερικό της καμπίνας εξαιτίας της λειτουργίας του ενεργού οδηγού. Το “κούρδισμα” ενός ηχείου παθητικού ακτινοβολητή επιτυγχάνεται μέσω της αυξομείωσης της μάζας του διαφράγματος των παθητικών οδηγών.

Ο σχεδιασμός αυτός βρίσκει κυρίως εφαρμογή σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η βελτίωση της απόδοσης των μπάσων από ένα σύστημα, αλλά κάτι τέτοιο δεν δύναται να προκύψει μέσω μιας συμβατικής υλοποίησης του bass-reflex σχεδιασμού (όπως για παράδειγμα όταν η επίτευξη της ζητούμενης συχνότητας συντονισμού F_b προϋποθέτει την ύπαρξη ενός εξαιρετικά μεγάλων διαστάσεων bass reflex σωλήνα).

Τα ηχεία αυτού του τύπου έχουν όμως κι άλλα προτερήματα έναντι του απλού bass reflex σχεδιασμού: Χάρη στην απουσία οπής – σωλήνα ενίσχυσης χαμηλών δεν υφίστανται προβλήματα θορύβου λόγω στροβιλισμών του αέρα στον σωλήνα, ενώ λόγω της ύπαρξης διαφράγματος αντί οπής αποφεύγεται και η διαρροή ανεπιθύμητης ηχητικής ακτινοβολίας από το εσωτερικό της καμπίνας.

Παρά όμως την φαινομενική ανωτερότητα, όσον αφορά το ηχητικό αποτέλεσμα, των ηχείων παθητικού ακτινοβολητή, τα συμβατικά bass-reflex συστήματα είναι περισσότερο διαδεδομένα. Σε γενικές γραμμές, η κατασκευή ενός ηχείου παθητικού ακτινοβολητή είναι δυσκολότερη ενώ η ανάγκη ύπαρξης παθητικών οδηγών με συγκεκριμένες προδιαγραφές αυξάνει το συνολικό κόστος κατασκευής και απόκτησης σε σχέση με ένα συμβατικό bass-reflex σύστημα.



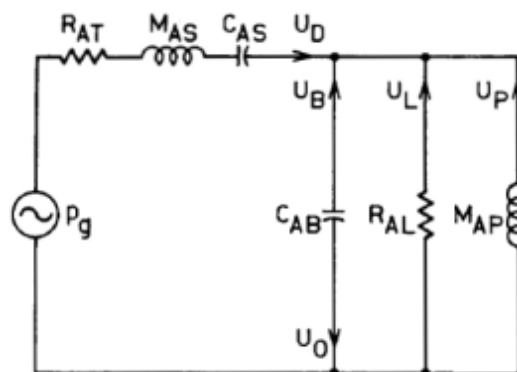
Εικόνα 17

Σχεδιάγραμμα ηχείου παθητικού ακτινοβολητή. Το κόκκινο βέλος αναπαριστά την απευθείας ακτινοβολία. Τα κυανά βέλη αναπαριστούν την ακτινοβολία από το πίσω μέρος του διαφράγματος από τον παθητικό οδηγό.

Τα ηχεία παθητικού ακτινοβολητή παρουσιάζουν μια έντονη πτώση της συχνοτικής τους απόκρισης στην συχνότητα συντονισμού του παθητικού οδηγού⁴³ (F_s). Αν και η πτώση αυτή δεν γίνεται συνήθως αισθητή μιας και παρουσιάζεται εκτός του συχνοτικού εύρους που δύναται να αναπαραχθεί από το ηχείο, οδηγεί σε ελαφρώς πιο απότομη αποκοπή του συστήματος κάτω από την συχνότητα συντονισμού της καμπίνας (F_b). Πιθανό λοιπόν αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η ελαφρώς μειωμένη, σε σχέση με ένα bass-reflex σύστημα, απόδοση των χαμηλότερων συχνοτήτων του ακουστικού φάσματος. Όσο μεγαλύτερη είναι πάντως η διάμετρος του παθητικού οδηγού, τόσο χαμηλότερα παρουσιάζεται η συχνότητα συντονισμού του και κατά συνέπεια απομακρύνεται το σημείο έναρξης της πτώσης της συχνοτικής απόκρισης του συστήματος, κάτι που όμως αναπόφευκτα οδηγεί στην αύξηση του συνολικού κόστους κατασκευής.

2.5.3.8 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΝΑΛΟΓΟ

Ο R. H. Small παρουσίασε το ηλεκτρικό ανάλογο μιας bass-reflex καμπίνας στο πρώτο μέρος μιας σειράς δημοσιεύσεων του σχετικά με τις καμπίνες bass-reflex:



Εικόνα 18

Ηλεκτρικό ανάλογο bass-reflex καμπίνας κατά τον R. H. Small.

43. Ιστότοπος <http://www.humanspeakers.com/> - Passive Radiators

Η παράμετρος R_{AT} αναπαριστά την συνολική ακουστική αντίσταση και δίνεται από την σχέση:

$$R_{AT} = R_{AS} + \frac{B^2 l^2}{(R_g + R_E) S_D^2} \quad (2.8)$$

όπου R_{AS} είναι η ακουστική αντίσταση λόγω των απωλειών από την ανάρτηση του οδηγού, B η ένταση του μαγνητικού πεδίου του μαγνήτη, l το μήκος του πηνίου, R_g η αντίσταση εξόδου του της πηγής ή του ενισχυτή, R_E η DC αντίσταση του πηνίου και S_D η ενεργός περιοχή του διαφράγματος.

Η παράμετρος MAS αναπαριστά την συνολική μάζα των κινούμενων μερών του οδηγού (διάφραγμα, πηνίο, αέρας). Ο πυκνωτής CAS αναπαριστά την ελαστικότητα της ανάρτησης του οδηγού και ο πυκνωτής CAB την ελαστικότητα του αέρα εντός της καμπίνας. Η αντίσταση RAL αναπαριστά την ακουστική αντίσταση λόγω διαρροών από την καμπίνα. Το πηνίο MAP αναπαριστά την ακουστική μάζα της bass-reflex οπής ή σωλήνα, συμπεριλαμβανοντας τον περιεχόμενο εντός τους αέρα.

Οι παράμετροι U περιγράφουν την ταχύτητα με την οποία γίνονται οι διάφορες κινήσεις κατά την λειτουργία ενός μεγαφώνου σε μια bass-reflex καμπίνα. Αναλυτικότερα, η παράμετρος U_D αφορά την ταχύτητα με την οποία το διάφραγμα μετατοπίζει κάποιο όγκο αέρα, η παράμετρος U_P την ταχύτητα με την οποία κάποιος όγκος αέρα κινείται διαμέσου της οπής, η παράμετρος U_L την ταχύτητα με την οποία μέρος του αέρα διαφεύγει από την καμπίνα λόγω διαρροών, η παράμετρος U_B την ταχύτητα με την οποία ο αέρας εισέρχεται στην καμπίνα και τέλος, η παράμετρος U_0 την ταχύτητα με την οποία ο αέρας εξέρχεται από την καμπίνα λόγω όλων των πιθανών παραγόντων.

2.6 ΜΕΓΑΦΩΝΑ ΤΥΠΟΥ ΧΟΑΝΗΣ

Ένα μεγάφωνο τύπου χοάνης αποτελείται από έναν ηλεκτροδυναμικό οδηγό και μια καταλλήλως προσαρμοσμένη σε αυτόν χοάνη. Η χοάνη λειτουργεί ως ακουστικός μετατροπέας και χρησιμοποιείται προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα του οδηγού, προσαρμόζοντας την εμπέδηση του διαφράγματος αυτού στην ακουστική εμπέδηση του αέρα. Η αποδοτικότητα ενός μεγαφώνου χοάνης μπορεί να είναι της τάξης του 50% , ποσοστό ιδιαίτερα υψηλό συγκριτικά με τα ηχεία κλειστού ή bass-reflex τύπου των οποίων η αποδοτικότητα δεν ξεπερνά το 5%⁴⁴.

2.6.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα, η μέγιστη δηλαδή μεταφορά ακουστικής ισχύος στον αέρα, από ένα μεγάφωνο, ο λόγος της πίεσης και της ταχύτητας στο διάφραγμα θα πρέπει να είναι αντίστοιχος του λόγου πίεσης και ταχύτητας του ηχητικού κύματος που ακτινοβολείται από αυτό. Όπως έχει αναφερθεί νωρίτερα, τα μεγάφωνα χαρακτηρίζονται από υψηλή εμπέδηση πηγής: Είναι ικανά να παράγουν μεγάλη ισχύ αλλά με σχετικά μικρή ταχύτητα. Η εμπέδηση πηγής καθορίζεται από τις ηλεκτρομηχανικές ιδιότητες του οδηγού πριν την συχνότητα συντονισμού, για παράδειγμα, εξαρτάται από τη μάζα των κινούμενων μερών (διάφραγμα, πηνίο) του.

Ο αέρας στο ελεύθερο πεδίο από την άλλη ασκεί πολύ μικρή εμπέδηση φορτίου στο κινούμενο διάφραγμα. Προκύπτει συνεπώς μια αναντιστοιχία εμπέδησης με αποτέλεσμα την μείωση της αποδοτικότητας του μεγαφώνου. Η μεταφορά ισχύος από το διάφραγμα στον αέρα είναι

44. John Borwick, *Loudspeaker and Headphone Handbook 3rd Edition*, σελ 30

δυνατόν να βελτιωθεί μέσω μιας συσκευής η οποία προσαρμόζει την εμπέδηση του διαφράγματος σε αυτή του αέρα. Η χοάνη, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, εξυπηρετεί αυτόν ακριβώς το σκοπό.

Εάν ένα διάφραγμα ακτινοβολεί σε έναν θεωρητικό, απείρου μήκους σωλήνα, ίσης διαμέτρου με αυτό, συναντά ένα συνεχές και υψηλής αντίστασης φορτίο ακτινοβολίας. Στην περίπτωση αυτή παράγει μεγαλύτερα επίπεδα ακουστικής πίεσης στις χαμηλές συχνότητες, σε σχέση με το αν ακτινοβολούσε σε ελεύθερο πεδίο. Δυστυχώς, κάθε προσπάθεια να λειτουργήσει το μεγάφωνο σε κάποιον παρόμοιο αλλά πεπερασμένου μήκους σωλήνα θα είχε ως αποτέλεσμα την πρόκληση τόσο έντονα αντηχητικού αλλά και εξαιρετικά αντιδραστικού φορτίου ακτινοβολίας, που θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο να εξέλθει από το άνοιγμα του σωλήνα ο παραγόμενος ήχος.



Εικόνα 19

Ζεύγος ηχείων Cerwin – Vega CLS215. Διακρίνονται οι χοάνες των οδηγών tweeter και mid-range.

Η χοάνη θέτει ουσιαστικά το μεγάφωνο σε ένα αντίστοιχο περιβάλλον λειτουργίας, ωστόσο είναι κατασκευασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε η διατομή της να αυξάνεται καθώς αυξάνει η απόσταση από το διάφραγμα του. Η αυξανόμενη διατομή προσδίδει στην χοάνη το χαρακτηριστικό της σχήμα “καμπάνας”. Εξαιτίας του σχήματος αυτού της χοάνης, καθώς ένα ηχητικό κύμα ακτινοβολείται από τον οδηγό και αναγκάζεται να επεκταθεί καθώς διαδίδεται από τον λαιμό της προς το στόμιο, μέρος της ηχητικής ακτινοβολίας (πάνω από κάποια συχνότητα που ονομάζεται cut-on) ανακλάται πίσω στον οδηγό αναγκάζοντάς τον να συμπεριφερθεί όπως εάν εξέπεμπε σε ένα σωλήνα σταθερής διατομής.

Στην πράξη δηλαδή, η χοάνη παρέχει αντίσταση στην κίνηση του διαφράγματος, δημιουργώντας πίεση στον εμπρόσθιο θάλαμο του οδηγού και αναγκάζει έτσι τον ήχο να εξέλθει μέσω του μικρού σχετικά ανοίγματος στον λαιμό. Αυτό περιορίζει την δυνατότητα μετατόπισης του διαφράγματος. Η εξάπλωση του ηχητικού κύματος από τον λαιμό προς το στόμιο επιτρέπει την μετατροπή από συνθήκες υψηλής πίεσης και χαμηλής μετατόπισης στο λαιμό, σε συνθήκες χαμηλής πίεσης και υψηλής μετατόπισης στο στόμιο. Με τον τρόπο αυτό η εμπέδηση του οδηγού εξισώνεται με αυτή του αέρα. Η ακουστική απόδοση μιας χοάνης μπορεί να μεταβληθεί σημαντικά ακόμα και από μικρές αλλαγές στην κλίση του “ανοίγματός” της.

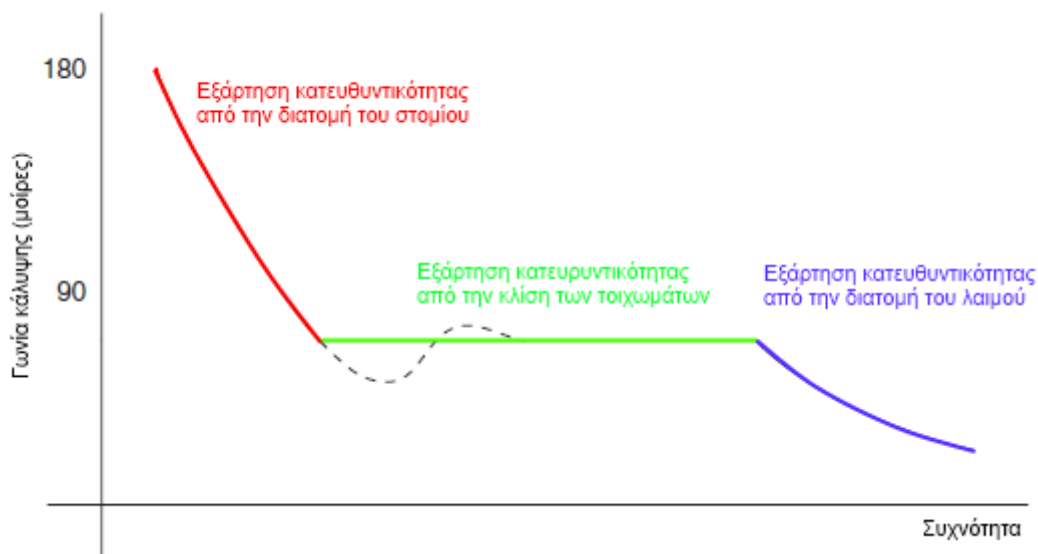
2.6.2 ΧΟΑΝΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ

Πέρα από την χρησιμότητά τους ως προσαρμογείς εμπέδησης, οι χοάνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και προκειμένου να ελεγχθεί η κατευθυντικότητα ενός οδηγού⁴⁵. Η μεγάλη

45. John Borwick, *Loudspeaker and Headphone Handbook 3rd Edition*, σελ 35

κατευθυντικότητα είναι σε ορισμένες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα σε κάποιες εγκαταστάσεις PA, ανεπιθύμητη. Τοποθετώντας μια ειδικά σχεδιασμένη χοάνη στο διάφραγμα του οδηγού ενός τέτοιου συστήματος, είναι δυνατόν να επιτευχθεί, χάρη στις ιδιότητες των χοανών, δεδομένη και σταθερή κατευθυντικότητα για μεγάλο εύρος συχνοτήτων.

Είναι γνωστό πως η κατευθυντικότητα της εκπεμπόμενης από το διάφραγμα ενός μεγαφώνου ακτινοβολίας εξαρτάται από την συχνότητα. Η χρήση χοάνης ωστόσο διασφαλίζει την σταθερότητα της κατευθυντικότητας του οδηγού για ένα δεδομένο συχνοτικό εύρος: Στις πολύ υψηλές συχνότητες, η ηχητική ενέργεια ακτινοβολείται διαμέσου του λαιμού της χοάνης, υπό γωνία μικρότερη της κλίσης τοιχωμάτων αυτής (πρακτικά δηλαδή η επίδραση της χοάνης στην κατευθυντικότητα της ακτινοβολίας είναι μηδενική), και χαρακτηρίζεται από υψηλή κατευθυντικότητα. Καθώς η συχνότητα σταδιακά μειώνεται, η γωνία κάλυψης διευρύνεται μέχρι που, σε κάποια συχνότητα, εξισώνεται με αυτή των τοιχωμάτων της χοάνης και κατά συνέπεια δεν μπορεί να διευρυνθεί περαιτέρω. Για όσο η συχνότητα συνεχίζει να μειώνεται, η γωνία κάλυψης παραμένει ουσιαστικά σταθερή και ίση με αυτή των τοιχωμάτων. Σε κάποιο σημείο όμως το μήκος κύματος θα γίνει μεγαλύτερο από το στόμιο της χοάνης με αποτέλεσμα η γωνία κάλυψης να αρχίσει και πάλι να αυξάνεται. Εντέλει, στις πολύ χαμηλές συχνότητες, ο οδηγός θα γίνει παντοκατευθυντικός. Το φαινόμενο αυτό περιγράφεται σχηματικά στην εικόνα 20:



Εικόνα 20

Σχηματική αναπαράσταση της σχέσης μεταξύ συχνότητας και κατευθυντικότητας σε μεγάφωνο χοάνης. Η διακεκομμένη γραμμή περιγράφει μια συχνά παρατηρούμενη μείωση της γωνίας εκπομπής στο χαμηλό άκρο της συχνοτικής ζώνης της οποίας η κατευθυντικότητα εξαρτάται από την κλίση των τοιχωμάτων.

2.6.3 ΤΥΠΟΙ ΜΕΓΑΦΩΝΩΝ ΧΟΑΝΗΣ

Στις προηγούμενες ενότητες αναφέρθηκαν δυο βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων χοάνης, η αυξημένη αποδοτικότητα και η σταθερή τους, σε σχέση με την συχνότητα, κατευθυντικότητα. Ένα ιδανικό μεγάφωνο χοάνης θα είχε εξαιρετική συχνοτική απόκριση καθώς και σταθερή κατευθυντικότητα σε ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Ωστόσο, πολύ συχνά, ο σχεδιασμός μιας χοάνης με σκοπό την ανάδειξη μιας εξ αυτών των ιδιοτήτων, οδηγεί στην απώλεια ή τον περιορισμό της άλλης. Σήμερα χρησιμοποιούνται διάφορων τύπων χοάνες, ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζονται.

2.6.3.1 ΚΩΝΙΚΕΣ ΧΟΑΝΕΣ

Πρόκειται για τον παλαιότερο και απλούστερο τύπο χοάνης. Η χρήση τέτοιων χοανών είναι διαδεδομένη σε απλές συσκευές ενίσχυσης ήχου όπως οι τηλεβόες, αλλά χρησιμοποιείται και σε συστήματα ηχείων. Οι χοάνες αυτού του τύπου δεν παρουσιάζουν παραμόρφωση πλάτους ή φάσης, ενώ παρουσιάζουν και υψηλή κατευθυντικότητα σε σχέση με άλλους τύπους.



Εικόνα 21

Κωνική χοάνη προσαρτημένη σε γραμμόφωνο.

Το κύριο μειονέκτημα των κωνικών χοανών είναι η μειωμένη, συγκριτικά με χοάνες διαφορετικού σχήματος, αποδοτικότητα καθώς και η περιορισμένη απόδοση των χαμηλότερων συχνοτήτων. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σήμερα κυρίως σε συνδυασμό με οδηγούς υψηλών συχνοτήτων (tweeter).

2.6.3.2 ΕΚΘΕΤΙΚΕΣ ΧΟΑΝΕΣ

Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του τύπου χοάνης είναι η ισότιμη απόδοση, όσον αφορά το πλάτος, όλων των συχνοτήτων που μπορούν να αναπαραχθούν από τον οδηγό. Ωστόσο, οι εκθετικές χοάνες χαρακτηρίζονται από αύξηση της κατευθυντικότητας καθώς μεγαλώνει η συχνότητα. Το χαρακτηριστικό τους αυτό τις καθιστά ιδανικές για χρήση σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή κατευθυντικότητα, π.χ. σε εγκαταστάσεις PA όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, αλλά κάνει και τα συστήματα στα οποία ενσωματώνονται εξαιρετικά ευαίσθητα στην τοποθέτηση. Η γωνία κάλυψης μιας εκθετικής χοάνης στις υψηλές συχνότητες είναι τόσο στενή που θα μπορούσε να ειπωθεί πως ο ήχος εκπέμπεται ως “ακτίνα” επί του άξονα του μεγαφώνου. Σε θέσεις ακρόασης εκτός άξονα οι συχνότητες αυτές πρακτικά δεν γίνονται αντιληπτές, δίνοντας την αίσθηση “ζερού” ήχου στον ακροατή. Λάθη ή συμβιβασμοί λοιπόν στην τοποθέτηση ηχείων με εκθετικές χοάνες

μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένη αντίληψη του υπό αναπαραγωγή ηχητικού υλικού.

2.6.3.3 ΧΟΑΝΕΣ MULTICELL

Αποτελούνται ουσιαστικά από μια συστοιχία μικρότερων, συνήθως συμμετρικών, και με στενότερη γωνία κάλυψης χοανών εκθετικού κυρίως τύπου. Αναπτύχθηκαν ως εξέλιξη των απλών εκθετικών χοανών και με κύριο στόχο τον περιορισμό του φαινομένου της έντονης κατευθυντικότητας των τελευταίων στις υψηλές συχνότητες. Η βασική ιδέα πίσω από την λειτουργία τους είναι πως κάθε επιμέρους χοάνη (κελί) θα παρουσιάσει μεν υψηλή κατευθυντικότητα στις υψηλές συχνότητες, ωστόσο αντί για μία “ακτίνα” ήχου που θα εξέπεμπε μια απλή εκθετική χοάνη, στην περίπτωση αυτή θα εκπέμπονται πολλαπλές τέτοιες “ακτίνες” ταυτόχρονα από το κάθε “κελί”. Κάτι τέτοιο ισοδυναμεί πρακτικά με μεγαλύτερη γωνία κάλυψης αφού κάθε “κελί” καταλαμβάνει ένα μέρος μόνο της επιφάνειας μιας multicell χοάνης και οι επιμέρους “ακτίνες” εκπέμπονται από διαφορετικό σημείο αυτής.



Εικόνα 22

Χοάνη multicell που χρησιμοποιείται σε οδηγό tweeter.

Αν και μια καλά σχεδιασμένη χοάνη multicell μπορεί να αποδώσει εξίσου καλά με μια εκθετική χωρίς να παρουσιάζει έντονη κατευθυντικότητα στις υψηλές συχνότητες, το φαινόμενο αυτό δεν μπορεί να εξαλειφθεί ολοκληρωτικά. Παρά τις βελτιώσεις μάλιστα όσων αφορά την κατευθυντικότητα στις υψηλές συχνότητες, πρέπει να σημειωθεί πως οι multicell χοάνες παρουσιάζουν έντονη κατευθυντικότητα στις μεσαίες⁴⁶. Η ιδιαιτερότητά τους αυτή περιορίζει την χρήση τους κυρίως σε οδηγούς tweeter όπου δεν προορίζονται συνήθως για την αναπαραγωγή μεσαίων συχνοτήτων, ενώ επωφελούνται από την μεγαλύτερη γωνία κάλυψης που παρέχουν οι χοάνες του τύπου αυτού στις υψηλές.

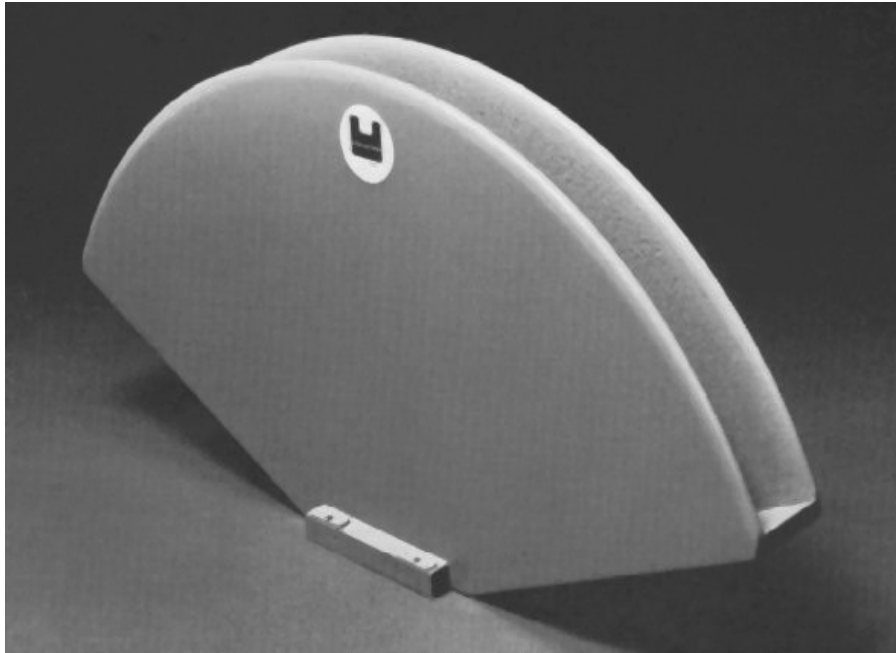
Το μεγαλύτερο μειονέκτημα πάντως των χοανών multicell είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα τους, κάτι που καθιστά τον σχεδιασμό τους δύσκολο και κατά συνέπεια αυξάνει το κόστος

46. John Eargle, *Loudspeaker Handbook - 2nd edition*, σελ 184

κατασκευή τους.

2.6.3.4 ΑΚΤΙΝΙΚΕΣ ΧΟΑΝΕΣ

Οι χοάνες αυτές αποτελούνται από δύο οριζόντιες επιφάνειες με εκθετική κλίση ανοίγματος, οι οποίες ενώνονται μέσω δύο κάθετων τοιχωμάτων. Τα κάθετα αυτά τοιχώματα μιας ακτινικής χοάνης είναι ευθεία ή σχεδόν ευθεία. Χάρη σε αυτή την σχεδιαστική λεπτομέρεια η χοάνη παρέχει σταθερή κατευθυντικότητα στον οριζόντιο άξονα, ενώ η κατευθυντικότητά της στον κάθετο άξονα καθορίζεται από την κυρτότητα των οριζόντιων επιφανειών. Εφόσον όμως και αυτού του τύπου οι χοάνες έχουν εκθετική κλίση, η κατευθυντικότητά τους στον κάθετο άξονα είναι περιορισμένη.



Εικόνα 23
Ακτινική χοάνη JBL – 2397.

Οι ακτινικές χοάνες πέραν του ότι είναι ευκολότερο να κατασκευαστούν σε σχέση με τις multicell, διαθέτουν και το πλεονέκτημα της σχεδόν σταθερής κατευθυντικότητας στον οριζόντιο άξονα ενώ λόγω της συγγενείας τους με τις εκθετικές χοάνες χαρακτηρίζονται από αυξημένη αποδοτικότητα.

2.6.3.5 ΧΟΑΝΕΣ CONSTANT DIRECTIVITY

Η πρώτη χοάνη αυτού του τύπου σχεδιάστηκε από την εταιρεία Electro – Voice το 1975 με σκοπό την αντιμετώπιση του φαινομένου της έντονης κατευθυντικότητας στις υψηλότερες συχνότητες χωρίς όμως να γίνεται κατευθυντική στις μεσαίες όπως οι multicell χοάνες.

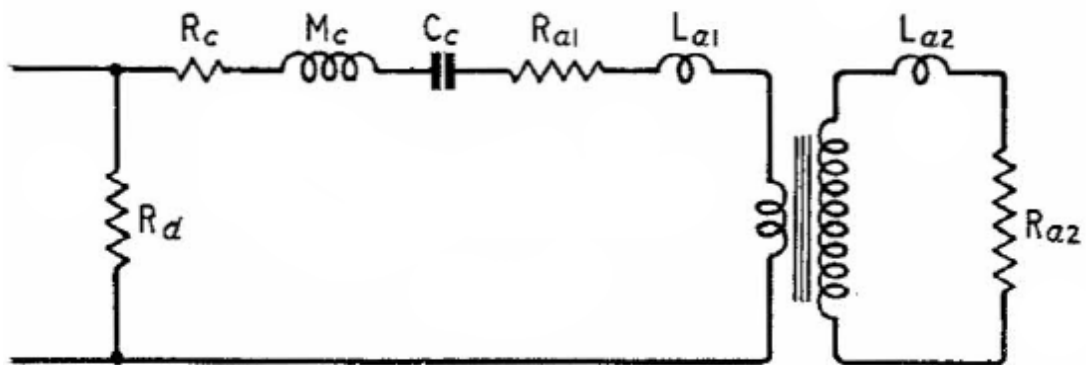
Πρόκειται ουσιαστικά για μια υβριδική χοάνη της οποίας ο σχεδιασμός, προκειμένου να επιτευχθούν οι ανωτέρω στόχοι, συνδυάζει την τεχνολογία των εκθετικών και ακτινικών χοανών με κάποιες πρωτότυπες προσθήκες: Ο λαιμός μιας constant directivity χοάνης είναι ίδιος με αυτόν μιας εκθετικής, ενώ το τμήμα της χοάνης που καταλήγει στο στόμιο είναι ακτινικό. Το στόμιο ενσωματώνει ένα ή περισσότερα λεπτά μεταλλικά φύλλα τα οποία εκτείνονται κατά μήκος του (ή κατά ύψος του, ανάλογα με την κατασκευή) και περιορίζουν την υψηλή κατευθυντικότητα στις

μεσαίες συχνότητες, περιορίζοντας την διάθλαση της ηχητικής ακτινοβολίας που προκαλούν τα άκρα της χοάνης.

Σε γενικές γραμμές, παρότι οι χοάνες αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται από σταθερή κατευθυντικότητα τόσο στον οριζόντιο, όσο και στον κάθετο άξονα, παρουσιάζουν ένα roll-off στην συχνοτική περιοχή ανάμεσα στα 2kHz – 4kHz ενώ προκαλούν την μη γραμμική μεταβολή της αντίστασης του αέρα στο διάφραγμα, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμό της συνολικής απόδοσης του συστήματος αλλά και σε μηχανική καταπόνηση του διαφράγματος.

2.6.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΝΑΛΟΓΟ

Σύμφωνα με τον E. J. Jordan, το ηλεκτρικό ανάλογο ενός μεγαφώνου το οποίο λειτουργεί σε συνδυασμό με χοάνη είναι το εξής:



Εικόνα 24

Ηλεκτρικό ανάλογο ενσωματωμένου σε χοάνη μεγαφώνου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, η χοάνη λειτουργεί ως μετασχηματιστής (E. J. Jordan – Wireless World January 1969).

Όπου F είναι η δύναμη που εφαρμόζεται στο διάφραγμα, V είναι η ταχύτητα του διαφράγματος, R_c η αντίσταση στο διάφραγμα λόγω τριβής, R_d η αντίσταση στο διάφραγμα από την ανάρτησης του οδηγού, M_c η μάζα του διαφράγματος και C_c η ελαστικότητα της ανάρτησης του διαφράγματος του οδηγού. Η παράμετρος R_{a1} ισούται με $R_{a1} = R_r (\pi r^2)^2$, όπου R_r είναι η αντίσταση ακτινοβολίας. Η παράμετρος L_{a1} ισούται με $L_{a1} = L_r (\pi r^2)^2$, όπου L_r είναι η μάζα της ακουστικής ακτινοβολίας. Οι παράμετροι R_{a1} και L_{a1} αναπαριστούν το ακουστικό φορτίο του διαφράγματος στον λαιμό, εκεί δηλαδή που το μέγαφωνο ενώνεται με την χοάνη. Οι παράμετροι R_{a2} και L_{a2} αναπαριστούν το ακουστικό φορτίο στο στόμιο της χοάνης.

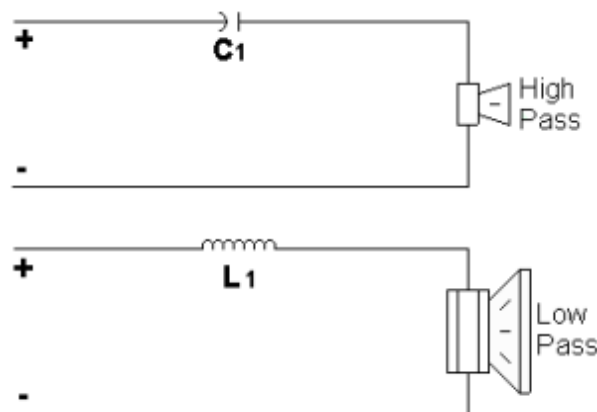
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ

3.1 ΦΙΛΤΡΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, λόγω της περιορισμένης ικανότητας των περισσότερων μεγαφώνων να αποδώσουν σωστά το σύνολο του ακουστικού φάσματος, τα ηχεία υψηλής πιστότητας (hi-fi) απαρτίζονται από περισσότερους του ενός εξειδικευμένους οδηγούς, καθένας εκ των οποίων αναλαμβάνει την αναπαραγωγή συγκεκριμένης ζώνης συχνοτήτων.

Σε ένα ηχείο πολλαπλών δρόμων, η ζώνη συχνοτήτων που θα αναπαραχθεί από τον κάθε οδηγό καθορίζεται από μια ηλεκτρονική διάταξη, το επονομαζόμενο φίλτρο διαχωρισμού συχνοτήτων ή crossover. Το σημείο όπου το crossover διαχωρίζει τις συχνοτήτες οι οποίες θα αναπαραχθούν από κάθε μεγάφωνο ονομάζεται crossover point και χαρακτηρίζεται από την τιμή της συχνότητας στην οποία πραγματοποιείται ο διαχωρισμός αυτός.

Η απλούστερη υλοποίηση ενός φίλτρου crossover είναι η τοποθέτηση κατάλληλου ηλεκτρονικού στοιχείου σε σειρά με το πηνίο του οδηγού. Σε ένα υποθετικό ηχείο δύο δρόμων, αποτελούμενο από έναν οδηγό χαμηλών συχνοτήτων (woofer) και έναν υψηλών (tweeter), ο διαχωρισμός των συχνοτήτων θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω της παρακάτω συνδεσμολογίας:



Εικόνα 25

Απλό φίλτρο διαχωρισμού συχνοτήτων 1ης τάξης.

Η ύπαρξη κατάλληλου πηνίου σε σειρά με τον οδηγό χαμηλών συχνοτήτων προκαλεί την αποκοπή των υψηλών συχνοτήτων από την συγκεκριμένη διαδρομή σήματος, ενώ κατ' αντίστοιχο τρόπο, ο πυκνωτής σε σειρά με τον οδηγό υψηλών συχνοτήτων εξασφαλίζει την αποκοπή των χαμηλών που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ορθή λειτουργία του tweeter ή ακόμα και να προκαλέσουν ζημιά στο διάφραγμα του. Ουσιαστικά η συγκεκριμένη υλοποίηση crossover φίλτρου αποτελεί συνδυασμό δύο απλούστερων τύπων φίλτρων, ενός υψηλοπερατού και ενός χαμηλοπερατού. Στην πράξη βέβαια σπάνια χρησιμοποιούνται τόσο απλά σε δομή φίλτρα.

3.1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΑΡΙΘΜΟΥ “ΔΡΟΜΩΝ”

Τα crossovers ταξινομούνται κυρίως βάση του αριθμού των επιμέρους φίλτρων από τα οποία αποτελούνται, από τον αριθμό δηλαδή μεγαφώνων τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν. Για παράδειγμα, ένα crossover δύο δρόμων αποτελείται από ένα χαμηλοπερατό και ένα υψηλοπερατό φίλτρο και χρησιμοποιείται σε ηχεία με έναν οδηγό χαμηλών συχνοτήτων (woofer) και έναν υψηλών (tweeter). Αντίστοιχα, ένα crossover τριών δρόμων περιλαμβάνει και ένα ζωνοπερατό φίλτρο προκειμένου να υποστηρίξει και έναν οδηγό mid-range.

Κάποια περισσότερο εξεζητημένα crossovers περιλαμβάνουν επιπλέον διατάξεις φίλτρων για την προστασία των οδηγών από βλάβες που μπορεί να προκύψουν λόγω της αναπαραγωγής συχνοτήτων πέρα από τα όρια λειτουργίας τους.

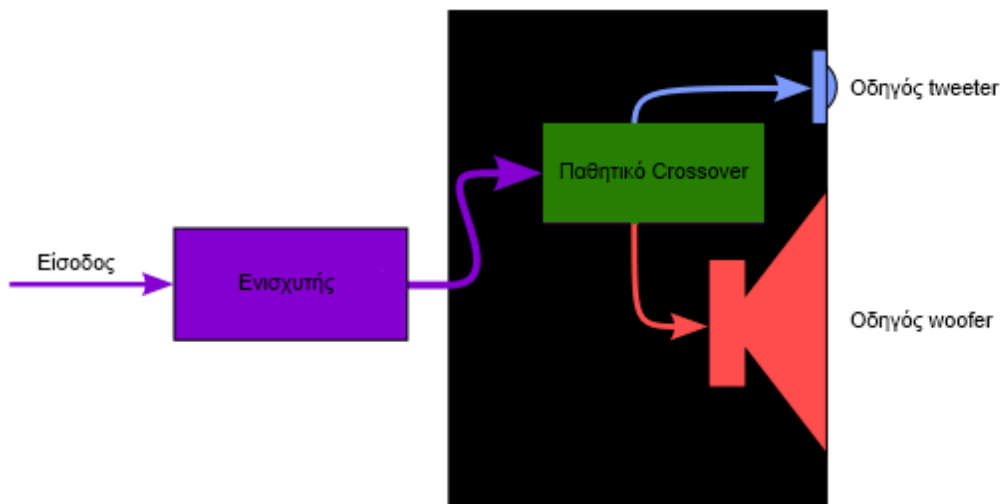
3.1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΡΟΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Τα φίλτρα crossover κατατάσσονται επίσης σε κατηγορίες βάση του τρόπου λειτουργίας⁴⁷ τους:

3.1.2.1 ΠΑΘΗΤΙΚΑ CROSSOVER

Ένα παθητικό crossover φίλτρο αποτελείται εξολοκλήρου από παθητικά ηλεκτρονικά στοιχεία (αντιστάσεις, πυκνωτές, επαγωγικά πηνία κλπ). Κάποια περισσότερο εξελιγμένα crossovers περιλαμβάνουν και συστήματα προστασίας (όπως ασφάλειες, λυχνίες, αισθητήρες θερμοκρασίας PTC) για την προστασία των οδηγών από πιθανές βλάβες, ή ακόμα και πλήρη κυκλώματα ελέγχου του ηχείου (ισοσταθμιστές, διατάξεις εξασθενητών κλπ).

Παθητικά crossovers συναντώνται κυρίως σε ηχεία που προορίζονται για οικιακή χρήση ή για λιγότερο απαιτητικές επαγγελματικές εφαρμογές. Αυτό οφείλεται κυρίως στο χαμηλό κόστος απόκτησης ή κατασκευής, καθώς και στο γεγονός ότι δεν απαιτείται ξεχωριστός ενισχυτής για κάθε ζώνη συχνοτήτων (σε αντίθεση πχ με τα ενεργά crossovers τα οποία απαιτούν ξεχωριστό ενισχυτή για κάθε ζώνη συχνοτήτων, για κάθε δηλαδή οδηγό).



Εικόνα 26

Συνδεσμολογία παθητικού φίλτρου διαχωρισμού συχνοτήτων.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 26, το σήμα από τον ενισχυτή εισάγεται στο crossover και στη συνέχεια διαχωρίζεται απ' αυτό προκειμένου να καταλήξει στους κατάλληλους οδηγούς.

Δυστυχώς, τα παθητικά crossovers αυξάνουν την σύνθετη αντίσταση εξόδου του ενισχυτή (όπως “φαίνεται” από το μεγάφωνο) με τον οποίο είναι συνδεδεμένα, γεγονός το οποίο οδηγεί σε μερική απώλεια ισχύος, μειώνοντας κατ' επέκταση την αποδοτικότητα του συστήματος ηχείου –

47. John Borwick, *Loudspeaker and Headphone Handbook 3rd Edition*, σελ 231

ενισχυτή. Η αύξηση αυτή της αντίστασης εξόδου του ενισχυτή περιορίζει επίσης τον έλεγχο που ασκείται από αυτόν στην κίνηση του πηνίου του μεγαφώνου με αποτέλεσμα την λιγότερο ομαλή συχνοτική απόκριση.

Επίσης, η αδυναμία μεταβολής των crossover points των παθητικών crossover φίλτρων χωρίς σημαντικές επεμβάσεις στο αρχικό κύκλωμα, καθώς και η καθορισμένη σύνθετη αντίσταση εισόδου τους, αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες όσον αφορά την δυνατότητα χρήσης αυτών με ποικίλα μεγάφωνα και ενισχυτές, περιορίζοντας έτσι την χρήση τους σε ηχεία αντίστοιχων χαρακτηριστικών με αυτά για τα οποία αρχικά σχεδιάστηκαν.

Τέλος, η κατασκευή τους από παθητικά ηλεκτρονικά στοιχεία, καθώς και η κατά κανόνα τοποθέτηση τους μετά από τον ενισχυτή, δεν επιτρέπει την δυναμική μεταβολή της απολαβής κάθε οδηγού ενός ηχείου ξεχωριστά. Ο έλεγχος της απολαβής σε ένα ηχείο με παθητικά crossover μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο μέσω του ενισχυτή, ο οποίος όμως επηρεάζει όλους τους συνδεδεμένους οδηγούς συνολικά και στον ίδιο βαθμό. Μερικός έλεγχος της απολαβής μεμονωμένων οδηγών μπορεί να επιτευχθεί παρεμβάλλοντας κάποιον εξασθενητή (αντιστάσεις σε σειρά με τους οδηγούς ή διατάξεις τύπου L-PAD) μεταβλητής απολαβής μεταξύ αυτών και του φίλτρου. Η χρήση τέτοιων εξασθενητών ωστόσο δεν παρέχει την ευελιξία ενός ενεργού crossover ενώ μπορεί να οδηγήσει στην μετατόπιση του crossover point και να επηρεάσει κατά συνέπεια την συχνοτική απόκριση του συστήματος.



Εικόνα 27

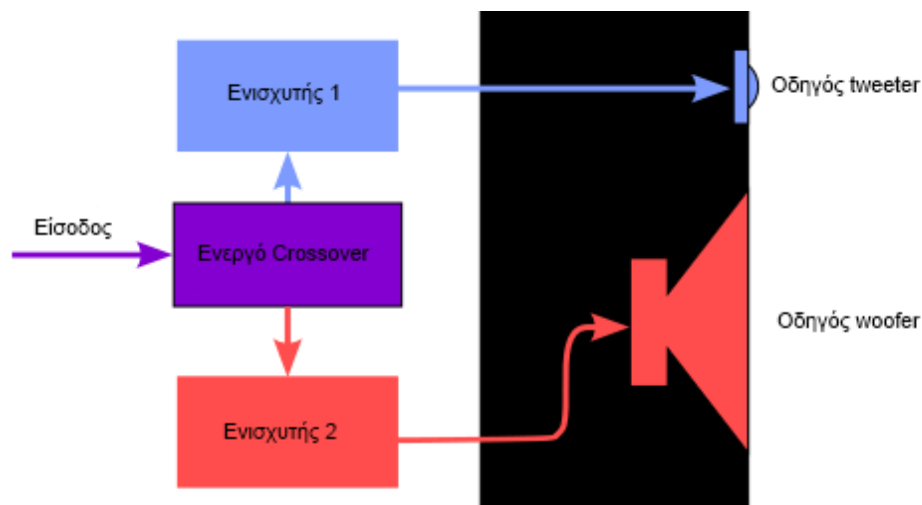
Παθητικό crossover δύο δρόμων Monacor DN-2618.

3.1.2.2 ΕΝΕΡΓΑ CROSSOVER

Τα ενεργά crossovers αποτελούνται από ενεργά (δηλαδή με μεταβλητή απολαβή) κυρίως ηλεκτρονικά στοιχεία και παρουσιάζουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα⁴⁸ σε σχέση με τα παθητικά. Βασική προϋπόθεση για την λειτουργία μιας ενεργής διάταξης crossover είναι, όπως φαίνεται και στο σχήμα της εικόνας 28, η ύπαρξη ξεχωριστού ενισχυτή για κάθε ζώνη συχνοτήτων. Για ένα ενεργό crossover δύο δρόμων δηλαδή απαιτούνται δύο ενισχυτές, ένας για την οδήγηση του woofer και ένας για την οδήγηση του tweeter, αντίστοιχα, για ένα ενεργό crossover τριών δρόμων

48. Ιστότοπος <http://sound.westhost.com/biamp-vs-passive.htm>

απαιτούνται τρεις ενισχυτές κλπ. Επίσης, τα ενεργά crossover τοποθετούνται στην είσοδο των ενισχυτών και όχι μετά από αυτούς όπως τα παθητικά.



Εικόνα 28

Συνδεσμολογία ενεργού φίλτρου διαχωρισμού συχνοτήτων.

Παρακάτω συνοψίζονται τα κύρια πλεονεκτήματα των ενεργών crossover σε σχέση με αντίστοιχα παθητικά:

Η ύπαρξη ξεχωριστού ενισχυτή για κάθε ζώνη συχνοτήτων έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της παραμόρφωσης ενδοδιαμόρφωσης (intermodulation distortion) σε σχέση με ένα σύστημα στο οποίο χρησιμοποιούνται παθητικά crossover. Η παραμόρφωση ενδοδιαμόρφωσης οφείλεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ συχνοτήτων η οποία έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή επιπλέον συχνοτήτων οι οποίες δεν υφίστανται στο αρχικό σήμα. Ο περιορισμός των συχνοτήτων που εισάγονται στον κάθε ενισχυτή καθώς και η αδυναμία αλληλεπίδρασης μεταξύ των σημάτων τα οποία αυτοί διαχειρίζονται, περιορίζει σημαντικά την αλλοίωση του αρχικού σήματος λόγω παραμόρφωσης ενδοδιαμόρφωσης.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα της χρήσης ενεργών crossover και κατά συνέπεια πολλαπλών ενισχυτών, είναι το αυξημένο δυναμικό εύρος του συστήματος: Όταν ένας ενισχυτής καλείται να ενισχύσει ταυτόχρονα ένα σήμα χαμηλής συχνότητας και ένα υψηλής, παρουσιάζεται μια πτώση της στάθμης του σήματος υψηλής συχνότητας. Αυτό οφείλεται στην μείωση της τάσης που παρέχει ο ενισχυτής εξαιτίας της αυξημένης παροχής ρεύματος στο woofer προκειμένου να οδηγηθεί το μεγαλύτερο και μεγαλύτερης μάζας διάφραγμα του. Σε ένα σύστημα με ενεργά crossover το πρόβλημα αυτό περιορίζεται σημαντικά εφόσον χρησιμοποιείται ξεχωριστός ενισχυτής για κάθε ζώνη συχνοτήτων.

Επίσης, η τοποθέτηση ενός ενεργού crossover πριν από τον ενισχυτή επιτρέπει την βέλτιστη σύζευξη ανάμεσα σε αυτόν και τον οδηγό. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, ένα παθητικό κύκλωμα crossover που παρεμβάλλεται μεταξύ οδηγού και ενισχυτή εισάγει επιπλέον αντίσταση στο σύστημα. Το φαινόμενο αυτό όχι μόνο προκαλεί απώλεια ενέργειας, μειώνοντας έτσι την συνολική έξοδο του συστήματος, αλλά περιορίζει και τον έλεγχο του πηνίου από τον ενισχυτή προκαλώντας έτσι την λιγότερο ομαλή απόκριση του ηχείου. Η απευθείας σύνδεση του ενισχυτή με το μεγάφωνο όταν χρησιμοποιείται ενεργό crossover αποτρέπει την εμφάνιση αυτών των προβλημάτων.

Η δυνατότητα ελέγχου της στάθμης του κάθε οδηγού απευθείας από τον ενισχυτή με τον οποίο είναι συνδεδεμένος ή μέσω των ρυθμιστικών του crossover είναι ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων με ενεργά crossover.

Τα πλεονεκτήματα των ενεργών crossover αντισταθμίζονται εν μέρη από το υψηλό κόστος απόκτησης τους, για τον λόγο αυτό ενεργά συναντώνται συνήθως σε επαγγελματικά συστήματα.

3.1.2.3 ΨΗΦΙΑΚΑ CROSSOVER

Ένα ενεργό crossover είναι σήμερα δυνατόν να υλοποιηθεί μέσω λογισμικού που εκτελείται σε κάποιο εξειδικευμένο DSP ολοκληρωμένο κύκλωμα ή σε κάποιον αντίστοιχων δυνατοτήτων μικροεπεξεργαστή. Τα ψηφιακά crossover χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευελιξία και αποτελούν εξαιρετικές εναλλακτικές λύσεις έναντι των άλλων τύπων crossover μιας και παρέχουν δυνατότητες εφάμιλλες των ενεργών αλλά με μικρότερο συνολικό κόστος. Ένα ακόμα πλεονέκτημά τους είναι η μειωμένη αναλογία σήματος προς θόρυβο σε σχέση με λιγότερο εξεζητημένα ενεργά crossover που βασίζονται σε τελεστικούς ενισχυτές.

3.1.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΑΞΗΣ

Τα φίλτρα crossover δεν προκαλούν την μετάβαση μεταξύ της λειτουργίας των διάφορων οδηγών ενός ηχείου στιγμιαία. Στην πράξη, η εξασθένηση ενός οδηγού και αντίστοιχα η παράλληλη ενίσχυση κάποιου άλλου είναι διαδικασίες, οι οποίες πραγματοποιούνται σταδιακά βάσει κάποιου συγκεκριμένου ρυθμού και ολοκληρώνονται στο καθορισμένο crossover point του φίλτρου.

Η κλίση (ή rolloff) ενός φίλτρου crossover είναι το μέγεθος εκείνο, το οποίο υποδεικνύει τον ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται η στάθμη εξόδου κάθε συνδεδεμένου στο σύστημα οδηγού ανάλογα με τη συχνότητα. Αυτό θεωρητικά σημαίνει πως σε ένα φίλτρο με κλίση, για παράδειγμα, -12db ανά οκτάβα, κάθε φορά που η συχνότητα διπλασιάζεται ή υποδιπλασιάζεται (αυξάνεται δηλαδή ή μειώνεται κατά μια οκτάβα) προκύπτει αντίστοιχα ενίσχυση ή εξασθένηση της εξόδου του οδηγού κατά 12 dB. Ουσιαστικά, η κλίση ενός δεδομένου φίλτρου καθορίζει το πόσο ομαλή θα είναι η μετάβαση μεταξύ της λειτουργίας των οδηγών και κατά συνέπεια η συνολική συχνοτική απόκριση ενός ηχείου. Οι πλέον διαδεδομένες τάξεις φίλτρων είναι οι εξής:

- Crossover 1ης τάξης με κλίση 6 dB ανά οκτάβα.
- Crossover 2ης τάξης με κλίση 12 dB ανά οκτάβα.
- Crossover 3ης τάξης με κλίση 18 dB ανά οκτάβα.
- Crossover 4ης τάξης με κλίση 24 dB ανά οκτάβα.

Η κατηγοριοποίηση των φίλτρων crossover βάσει τάξης αποτελεί κυρίως μέθοδο αξιολόγησης της ποιότητας αυτών. Παρότι η απόδοση ενός φίλτρου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των ηλεκτρονικών στοιχείων από τα οποία αυτό αποτελείται, σε γενικές γραμμές ανώτερη τάξη (3η και 4η) συνεπάγεται ομαλότερη συχνοτική απόκριση λόγω της περισσότερο απότομης κλίσης. Ωστόσο, τέτοιας μορφής φίλτρα είναι δυσκολότερο να κατασκευαστούν λόγω του απαιτητικότερου σχεδιασμού και του μεγαλύτερου αριθμού απαιτούμενων ηλεκτρονικών στοιχείων. Το γεγονός αυτό μάλιστα αυξάνει και το συνολικό κόστος μιας τέτοιας υλοποίησης. Σχεδιασμοί ανώτερης τάξης συναντώνται κυρίως σε ενεργά crossover.

Οι σχεδιασμοί κατώτερης τάξης (1ης και 2ης) υλοποιούνται συνήθως με την μορφή παθητικών crossover και είναι περισσότερο διαδεδομένοι λόγω χαμηλού κόστους και ευκολίας κατασκευής.

3.2 ΕΞΑΣΘΕΝΗΤΕΣ

Εάν σε ένα ηχείο ενσωματώνονται οδηγοί με διαφορετική αποδοτικότητα, ενδέχεται, ανάλογα με την διαφορά αυτή, να προκύψει μη ομοιόμορφη συχνотική απόκριση του ηχείου. Το πρόβλημα αυτό είναι ιδιαίτερα συχνό σε ηχεία πολλαπλών δρόμων επειδή οι οδηγοί tweeter και midrange είναι κατά κανόνα αποδοτικότεροι από τους οδηγούς woofer⁴⁹. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το πρόβλημα αυτό δεν υφίσταται στην περίπτωση ηχείων με ενεργά crossover εφόσον η ύπαρξη ξεχωριστού ενισχυτή επιτρέπει την εύκολη και άμεση μεταβολή της απολαβής κάθε οδηγού. Ακόμα όμως και σε ηχεία με παθητικά crossover το πρόβλημα μπορεί εν μέρει να περιοριστεί εύκολα μέσω κάποιου ισοσταθμιστή.



Εικόνα 29

Μεταβλητός εξασθενητής L-PAD, ρυθμιζόμενος από ποτενσιόμετρο.

Σε περισσότερο απαιτητικές ωστόσο εφαρμογές και όταν η χρήση ισοσταθμιστή δεν αποτελεί βολική λύση (π.χ. Εάν οι ενσωματωμένοι ισοσταθμιστές του ενισχυτή δεν επιτρέπουν λεπτομερείς ρυθμίσεις και λόγω κόστους ή όταν απαιτείται αυξημένη φορητότητα δεν είναι δυνατή η χρήση ξεχωριστής μονάδας), το πρόβλημα της διαφοράς αποδοτικότητας ανάμεσα στους οδηγούς μπορεί να επιλυθεί με την χρήση ηλεκτρονικών διατάξεων που ονομάζονται εξασθενητές. Σκοπός μιας τέτοιας διάταξης είναι η μείωση της απολαβής του αποδοτικότερου οδηγού προκειμένου να ταιριάζει με τον λιγότερο αποδοτικό.

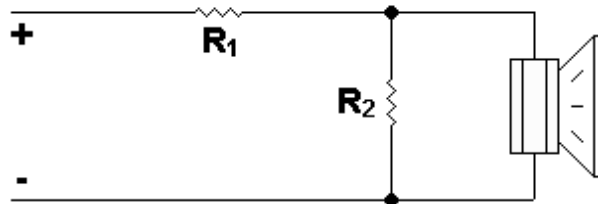
3.2.1 ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΑΦΩΝΟ

Η απλούστερη υλοποίηση ενός εξασθενητή είναι η τοποθέτηση μιας αντίστασης κατάλληλης ωμικής τιμής (η τιμή εξαρτάται από με την επιθυμητή μείωση της απολαβής σε dB) σε σειρά με τον αποδοτικότερο οδηγό. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από δύο βασικά προβλήματα όσον αφορά ηχεία πολλαπλών δρόμων στα οποία χρησιμοποιούνται παθητικά φίλτρα crossover: Εάν η αντίσταση τοποθετηθεί μετά το crossover και πριν τον οδηγό, θα προκαλέσει εκτός της επιθυμητής μείωσης της αποδοτικότητας και αλλαγή της σύνθετης αντίστασης εξόδου του φίλτρου, μεταβάλλοντας κατά συνέπεια το crossover point αυτού. Αν πάλι τοποθετηθεί μετά τον ενισχυτή (μετά δηλαδή από την κύρια είσοδο του ηχείου) και πριν το crossover, η εξασθένιση που θα προκαλέσει θα εφαρμοστεί στο σύνολο των μεγαφώνων.

49. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 175

3.2.2 ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ L-PAD

Ένας εξασθενητής L-PAD^{50 51} αποτελείται από δύο αντιστάσεις, η μια εξ αυτών είναι τοποθετημένη σε σειρά με τον οδηγό ενώ η άλλη παράλληλα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η επιθυμητή εξασθένιση χωρίς να μεταβάλλεται η σύνθετη αντίσταση εξόδου του φίλτρου crossover (και κατά συνέπεια το crossover point).



Εικόνα 30
Διάταξη εξασθενητή L-PAD.

Η ωμική τιμή των αντιστάσεων που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα τέτοιο κύκλωμα εξαρτάται από την σύνθετη αντίσταση εξόδου του φίλτρου crossover (ή του ενισχυτή εάν δεν χρησιμοποιείται φίλτρο crossover), καθώς και από την επιθυμητή τιμή εξασθένισης σε dB. Οι ωμικές τιμές των αντιστάσεων για το επιθυμητό επίπεδο εξασθένισης μιας εφαρμογής δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$R_1 = \left(\frac{10^{\frac{A}{20}} - 1}{10^{\frac{A}{20}}} \right) \times Z \quad (3.1)$$

$$R_2 = \left(\frac{1}{10^{\frac{A}{20}} - 1} \right) \times Z \quad (3.2)$$

όπου Z είναι η σύνθετη αντίσταση εξόδου του μεγαφώνου (όπως συναντάται από τον ενισχυτή ή το φίλτρο διαχωρισμού συχνοτήτων) και A είναι η επιθυμητή τιμή εξασθένισης σε dB.

Στο εμπόριο διατίθενται και μεταβλητά κυκλώματα L-PAD. Τα κυκλώματα αυτά συνήθως αποτελούνται από ένα ποτενσιόμετρο το οποίο είναι συνδεδεμένο με μεταβλητές αντιστάσεις. Είναι εξαιρετικά χρήσιμα όταν απαιτείται η δυνατότητα μεταβολής της αποδοτικότητας ενός οδηγού καθώς και σε περιπτώσεις όπου πραγματοποιούνται δοκιμές προκειμένου να επιτευχθεί ή όσο το δυνατόν ομαλότερη συχνοτική απόκριση ενός ηχείου πολλαπλών δρόμων.

50. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, σελ 176

51. Ιστότοπος <http://www.bcae1.com/lpad.htm>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΔΗΓΩΝ / CROSSOVERS

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βασικό σχεδιαστικό στόχο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η κατασκευή ενός ηχείου με όσο το δυνατόν ευρύτερη αλλά και ομαλή συχνοτική απόκριση. Προκειμένου να αξιοποιηθούν στο έπακρο οι ιδιότητες μιας bass-reflex καμπίνας και λαμβάνοντας υπόψιν την δυσκολία επίτευξης ομαλής συχνοτικής απόκρισης στο χαμηλότερο άκρο του ακουστικού φάσματος, τέθηκε ως προτεραιότητα η απόκτηση ποιοτικών woofer, ακόμα και αν αυτό σήμαινε, λόγω οικονομικών περιορισμών, πως τα υπόλοιπα υποσυστήματα θα ήταν χαμηλότερης, σχετικά, ποιότητας. Επίσης, εφόσον το ηχείο θα ήταν δύο δρόμων, εκτιμήθηκε πως ο οδηγός woofer πρέπει να είναι ικανός για την ορθή αναπαραγωγή και μέρους της ζώνης των μεσαίων συχνοτήτων, ώστε να τεθεί σχετικά υψηλό crossover point και να αποφευχθεί η καταπόνηση του tweeter που ίσως προέκυπτε αν αυτό υποχρεωνόταν σε συνεχή αναπαραγωγή χαμηλότερων συχνοτήτων. Ακόμα και εάν δεν συνέτρεχε κίνδυνος καταπόνησης αυτού, ήταν αμφίβολο το κατά πόσο ένα tweeter αποδεκτού κόστους με διάφραγμα μικρότερης διαμέτρου θα απέδιδε ικανοποιητικά κάποιες από τις μεσαίες συχνότητες.

4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΔΗΓΩΝ WOOFER

Βάσει των όσων αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, το ενδεχόμενο να χρησιμοποιηθεί ένα φθηνότερο woofer ή ένα woofer μικρότερης διαμέτρου απορρίφθηκε. Τα περισσότερα woofer διαμέτρου 8 ιντσών για παράδειγμα, χαρακτηρίζονται από υψηλή σχετικά αποκοπή και αποδίδουν ικανοποιητικά από τα 80-90 Hz και πάνω. Παρότι υπάρχουν υλοποιήσεις τέτοιας διαμέτρου όπου μπορούν να αποδώσουν και χαμηλότερες συχνότητες, το κόστος αυτών είναι ιδιαίτερα υψηλό. Τα woofer διαμέτρου 12 ιντσών από την άλλη, μπορούν να αποδώσουν ευρύτερη περιοχή της ζώνης χαμηλών συχνοτήτων ικανοποιητικά, ωστόσο οι μεγαλύτερες διαστάσεις, η υψηλότερη τιμή μιας ποιοτικής υλοποίησης οδηγού και τέλος, η προϋπόθεση ύπαρξης μεγάλου όγκου καμπίνας για την πλήρη αξιοποίηση ενός τέτοιου οδηγού, αποτέλεσαν αποτρεπτικούς παράγοντες.

Ως ιδανική λύση θεωρήθηκε η χρήση ενός ποιοτικού οδηγού 10 ιντσών. Σε γενικές γραμμές οι οδηγοί αυτής της κατηγορίας χαρακτηρίζονται από ευρύτερη, σε σχέση με μικρότερης διαμέτρου οδηγούς, συχνοτική απόκριση ενώ είναι περισσότερο προσитоί από οδηγούς 12 ιντσών λόγω της χαμηλότερης, για παρόμοιας ποιότητας υλοποίησης, τιμής αλλά και της θεωρητικά καλύτερης απόδοσής τους σε μικρότερου όγκου καμπίνα. Παρατηρήθηκε πάντως κατά την έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, πως πολλά φθηνότερα woofer 10 ιντσών αδυνατούν να αποδώσουν ικανοποιητικά την συχνοτική περιοχή ανάμεσα στα 50Hz και τα 100Hz. Εάν είναι επιθυμητή η δυνατότητα αναπαραγωγής της συγκεκριμένης συχνοτικής περιοχής, προτείνεται η μελέτη του διαγράμματος συχνοτικής απόκρισης του οδηγού και η σύγκριση αυτού, τόσο με οδηγούς ίδιας διαμέτρου, όσο και μικρότερης. Δεν είναι απίθανο ένας μικρότερης διαμέτρου οδηγός να αποδίδει καλύτερα από κάποιον, λιγότερο ποιοτικό, μεγαλύτερης (αυτό μάλιστα ισχύει ως γενικός κανόνας, όχι μόνο για τους οδηγούς 10 ιντσών).

4.2.1 Ο ΟΔΗΓΟΣ EMINENCE DELTA LITE II

Κατόπιν μελέτης των χαρακτηριστικών και των διαγραμμάτων συχνοτικής απόκρισης διάφορων οδηγών woofer διαμέτρου 10 ιντσών και λαμβάνοντας υπόψιν τις προτάσεις μελών σε διάφορες διαδικτυακές κοινότητες ερασιτεχνών κατασκευαστών ηχείων, επιλέχθηκε ένας οδηγός 10 ιντσών της Eminence, ο Delta Lite II 2510. Παρακάτω φαίνεται η πρόσοψη και το πίσω μέρος του οδηγού ενώ ακολουθούν το διάγραμμα συχνοτικής απόκρισης και σύνθετης αντίστασης αυτού, καθώς και πίνακας με τις Thiele/Small παραμέτρους του, όπως δίνονται από την Eminence:



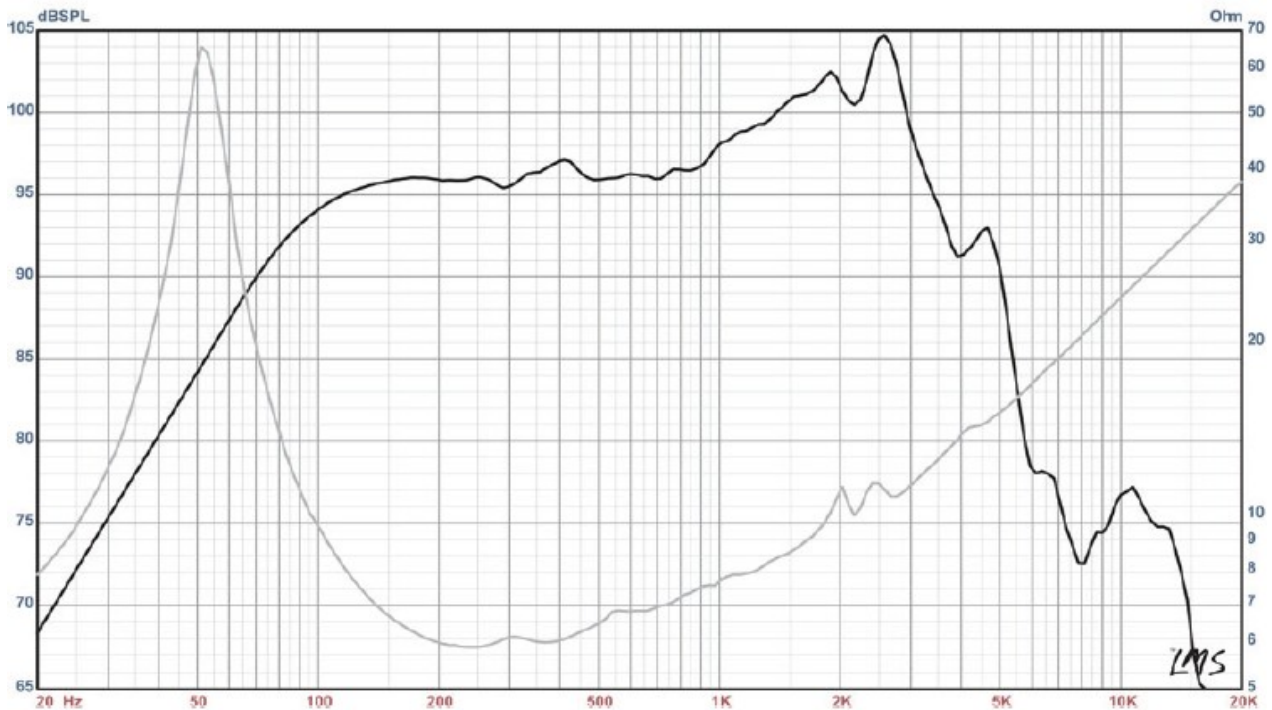
Εικόνα 31
 Πρόσωση και πίσω μέρος του οδηγού Eminence Delta Lite II 2510.

THILE/SMALL ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Fs (Hz)	Re (Ohm)	Le (mH)	Qms	Qes	Qts	Vas (liter)	Vd (cm ³)	Cms (mm/n)	BL	Mms (gr)	EBP	Xmax (mm)	Sd (cm ²)
53	5,06	0,4	5,76	0,45	0,42	52,5	147	0,3	10,6	31	117	4,2	350,1

Πίνακας 1

ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ



Εικόνα 32
 Καμπύλη συχνοτικής απόκρισης οδηγού Eminence Delta Lite II 2510.

Ο οδηγός Delta Lite II διαθέτει τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Ονομαστική διάμετρος 10 ίντσες (25,4cm).
- Ονομαστική αντίσταση εισόδου 8 Ohm.
- Ονομαστική ισχύς 250 Watt RMS.
- Ευαισθησία 97,3 dB.
- Βάρος μαγνήτη 7 oz.
- Διάμετρος ηχητικού πηνίου 2,5 ίντσες (6,35cm).
- Συχνοτικό εύρος λειτουργίας 60 – 4000 Hz.

4.2.2 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Μελετώντας την καμπύλη συχνοτικής απόκρισης του οδηγού παρατηρείται πως η αποδοτικότητα του στην συχνοτική περιοχή ανάμεσα στα 900 και τα 2600 Hz είναι αυξημένη ενώ είναι αρκετά ομαλή στην ζώνη των χαμηλών συχνοτήτων. Από τα 2600Hz μέχρι και τα 4000Hz παρουσιάζεται μια κατακόρυφη πτώση της αποδοτικότητας, κάτι που είναι ωστόσο αναμενόμενο για έναν οδηγό 10 ιντσών (κατά την Eminence μάλιστα τα 4000 Hz είναι η υψηλότερη συχνότητα που μπορεί να αναπαραχθεί από τον συγκεκριμένο οδηγό). Σε γενικές γραμμές η συχνοτική απόκριση του οδηγού κρίθηκε ικανοποιητική για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.

Όπως αναφέρεται στην ενότητα 2.5.3.2, η καταλληλότητα ενός woofer για χρήση σε bass-reflex καμπίνα υποδεικνύεται από τις τιμές των παραμέτρων Q_{ts} και EBP που τον χαρακτηρίζουν. Η τιμή της παραμέτρου Q_{ts} ενός κατάλληλου οδηγού κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,2 – 0,5 ενώ η τιμή της παραμέτρου EBP πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση του 100. Ο οδηγός Delta Lite II, όπως φαίνεται και στον πίνακα 1, πληροί και τις δύο αυτές προϋποθέσεις.

4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΟΔΗΓΩΝ TWEETER

Το μεγαλύτερο ίσως πρόβλημα σε ένα ηχείο δύο δρόμων είναι η απουσία κάποιου εξειδικευμένου οδηγού ο οποίος χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την αναπαραγωγή της μεσαίας ζώνης συχνοτήτων. Κατά συνέπεια, σε ένα τέτοιο ηχείο η κάλυψη της εν λόγω ζώνης ανατίθεται στους υπάρχοντες οδηγούς. Στην πράξη αυτό σημαίνει πως είτε θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποιο woofer ικανό για αποδεκτή αναπαραγωγή μέρους ή του συνόλου της ζώνης των μεσαίων συχνοτήτων, είτε κατ' αντίστοιχο τρόπο, κάποιο tweeter το οποίο μπορεί να αποδώσει την εν λόγω συχνοτική περιοχή.

Το πρόβλημα είναι εντονότερο στην περίπτωση που επιθυμείται η χρήση ενός μεγαλύτερης διαμέτρου woofer στο ηχείο: Τα περισσότερα, αποδεκτού κόστους, woofer 12 ιντσών αδυνατούν να αποδώσουν συχνότητες υψηλότερες των 3500 Hz. Αντίστοιχα, η υψηλότερη συχνότητα η οποία μπορεί να αναπαραχθεί από ένα woofer 10 ιντσών σπάνια ξεπερνά τα 4000 Hz.

Παρόμοιας φύσης περιορισμοί υφίστανται και όσον αφορά τα tweeter. Τα περισσότερα tweeter διαμέτρου 0,75 ιντσών δεν είναι δυνατόν να αποδώσουν συχνότητες χαμηλότερες των 2500 Hz – 3500 Hz. Για τον λόγο αυτό άλλωστε, τέτοια tweeters χρησιμοποιούνται κυρίως είτε σε ηχεία τριών δρόμων, είτε σε ηχεία δύο δρόμων τα οποία ενσωματώνουν κάποιο μικρότερης διαμέτρου woofer, ικανό να αποδώσει συχνότητες υψηλότερες των 4000 Hz.

Μια αποδεκτή λύση για ένα ηχείο δύο δρόμων στο οποίο ενσωματώνεται οδηγός woofer 10 ιντσών, είναι η χρήση tweeter διαμέτρου 1 ίντσας. Συνήθως, τα tweeter αυτά μπορούν να αποδώσουν απροβλημάτιστα και χαμηλότερες συχνότητες μέχρι και τα 1500 Hz.

Προτείνεται ωστόσο γενικότερα οι οδηγοί, είτε πρόκειται για woofer, είτε για tweeter, να μην χρησιμοποιούνται κοντά στα συχνοτικά όρια που έχουν θεσπιστεί από τον κατασκευαστή. Ο άτυπος αυτός κανόνας έχει μεγαλύτερη σημασία στην περίπτωση των tweeters επειδή το μικρό διάφραγμα ενός τέτοιου οδηγού καταπονείται περισσότερο όταν αναπαράγονται συχνότητες κοντά στο κατώτατο συχνοτικό όριο λειτουργίας του, εισάγοντας έτσι παραμόρφωση στο σήμα αλλά και διατρέχοντας κίνδυνο ζημιάς. Περισσότερες λεπτομέρειες για το θέμα αυτό αναφέρονται στην ενότητα 4.4.

4.3.1 Ο ΟΔΗΓΟΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ EMINENCE PSD2002

Βάσει των όσων αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα και εφόσον στόχο της εργασίας αποτελούσε η κατασκευή ηχείου δύο δρόμων, θα έπρεπε να επιλεγεί κάποιο tweeter ικανό να αποδώσει μεγάλο μέρος της μεσαίας συχνοτικής περιοχής. Παρατηρώντας μάλιστα την καμπύλη συχνοτικής απόκρισης του οδηγού Delta Lite II 2510, εκτιμήθηκε πως ιδανικά το tweeter θα έπρεπε να χαρακτηρίζεται από ικανότητα απόδοσης χαμηλότερων από τα 2600 Hz συχνοτήτων εφόσον η συχνοτική απόκριση του οδηγού Delta Lite II παρουσιάζει αισθητή πτώση σε συχνότητες υψηλότερες αυτής. Παράλληλα, το tweeter που επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί θα έπρεπε να χαρακτηρίζεται και από σχετικά επίπεδη συχνοτική απόκριση.

Αντί να χρησιμοποιηθεί κάποιο tweeter θόλου ή κώνου, προτιμήθηκε κάποιο το οποίο βασίζεται σε τεχνολογία οδηγού συμπίεσης (compression driver). Γνωρίζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του συγκεκριμένου τύπου οδηγών, εκτιμήθηκε πως αποτελούν ιδανική λύση για ένα ηχείο δύο δρόμων: Ένα tweeter συμπίεσης θα συνδυαζόταν άρτια με το woofer της Eminence, καλύπτοντας μέρος της μεσαίας ζώνης συχνοτήτων χωρίς να υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης παραμόρφωσης. Φυσικά, η αυξημένη πιστότητα αναπαραγωγής που χαρακτηρίζει τους οδηγούς αυτούς αποτέλεσε έναν ακόμα σημαντικό για την τελική επιλογή παράγοντα.

Τέλος, παρότι η προϋπόθεση ύπαρξης χοάνης για την πλήρη αξιοποίηση ενός οδηγού συμπίεσης αρχικά ξένισε, θεωρήθηκε πως η δυνατότητα μελλοντικής αλλαγής αυτής σε περίπτωση που ήταν επιθυμητή η μεταβολή της κατευθυντικότητας του οδηγού, είναι εξαιρετικά ωφέλιμη εφόσον παρέχει επιπλέον ευελιξία: Ο ίδιος οδηγός θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε κάποια άλλη καμπίνα ή ακόμα και να μεταφέρεται, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής, ανάμεσα σε διαφορετικές καμπίνες χωρίς να απαιτείται, εφόσον δύναται να αποσπαστεί από την χοάνη, η μεταβολή αυτών.

Αξιολογώντας πλήθος οδηγών παρόμοιου κόστους αποφασίστηκε η αγορά ενός tweeter τεχνολογίας συμπίεσης το οποίο επίσης κατασκευάζεται από την Eminence, του PSD2002.



Εικόνα 33

Πρόσωση και πίσω μέρος του οδηγού Eminence PSD2002 - 8.

Κατά την Eminence η χαμηλότερη συχνότητα που μπορεί να αναπαραχθεί από τον εν λόγω οδηγό είναι τα 1,2 KHz, γεγονός το οποίο επέτρεψε την θέση σχετικά υψηλού crossover point και κατά συνέπεια την αποτροπή αναπαραγωγής υψηλότερων συχνοτήτων από το woofer.

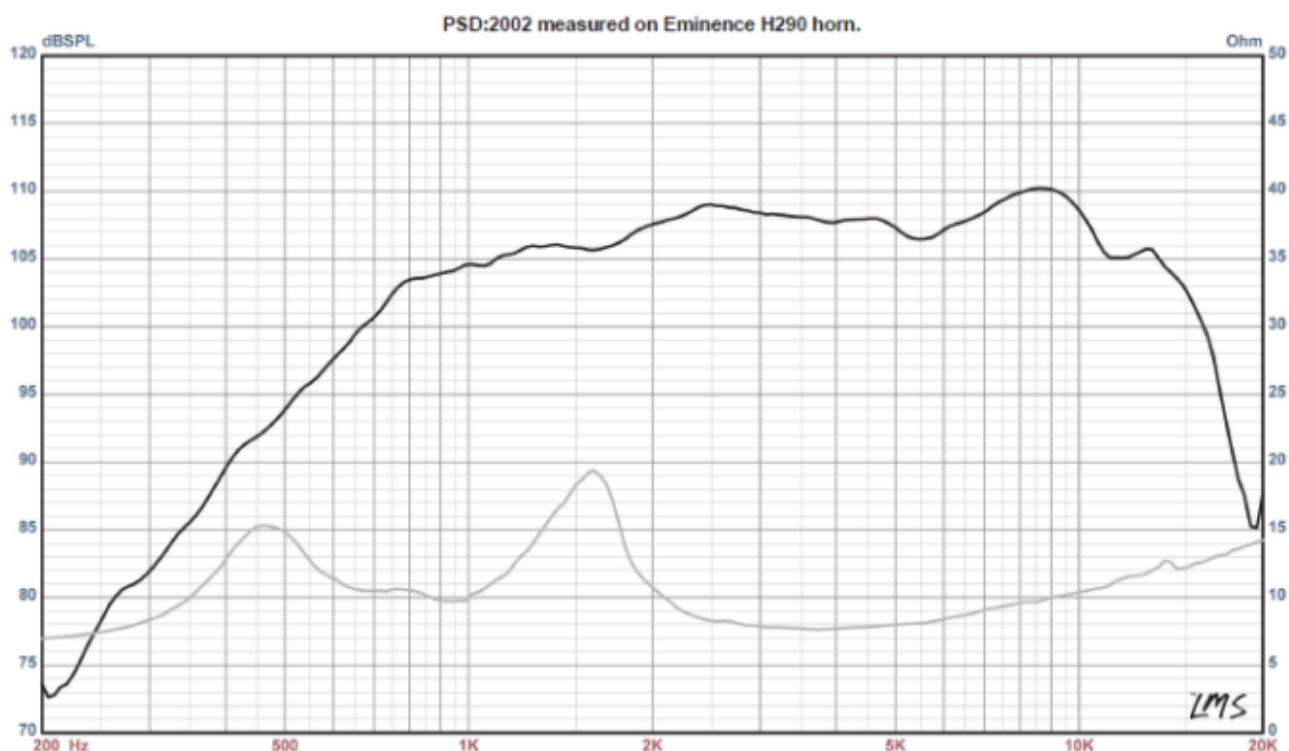
Παρακάτω παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του οδηγού PSD2002 όπως δίνονται από την EMINENCE:

THIELE / SMALL ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Fs (Hz)	Re (Ohm)	Le (mH)
540	6,1	1,6

Πίνακας 2

ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ



Εικόνα 34

Καμπύλη συχνοτικής απόκρισης οδηγού συμπίεσης PSD 2002 σε συνδυασμό με χοάνη EMINENCE H290.

Ο οδηγός PSD2002 διαθέτει επίσης τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Ονομαστική διάμετρος 1 ίντσα (2,54cm).
- Ονομαστική αντίσταση εισόδου 8 ή 16 Ohm (ανάλογα με το μοντέλο).
- Ονομαστική ισχύς 80 Watt RMS στην συχνότητα των 1,2 KHz.
- Ευαισθησία 106,1 dB.
- Βάρος μαγνήτη 34 oz.
- Διάμετρος ηχητικού πηνίου 2 ίντσες (5,10cm).
- Συχνοτικό εύρος λειτουργίας 1200 – 20000 Hz.

4.3.2 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Η συχνοτική απόκριση του εν λόγω οδηγού δεν είναι τόσο ομαλή όσο άλλων με διάφραγμα ίδιας διαμέτρου ωστόσο, δεδομένου του σχετικά μικρού κόστους αγοράς, θεωρήθηκε ικανοποιητική. Παρότι πάντως η Eminence αναφέρει τα 1200 Hz ως την χαμηλότερη συχνότητα που μπορεί να αναπαραχθεί από τον οδηγό, παρατηρείται πως η αποδοτικότητα αυτού αυξάνει από τα 2000 Hz και πάνω. Παρατηρείται επίσης ότι, παρά τον ισχυρισμό της Eminence πως η υψηλότερη συχνότητα που μπορεί ο οδηγός είναι τα 20000 Hz, η συχνοτική απόκριση παρουσιάζει σημαντική πτώση μετά τα 10000 Hz, η οποία είναι εντονότερη μετά τα 15000 Hz.

Το tweeter PSD2002 διατίθεται σε δύο εκδόσεις, μια με σύνθετη αντίσταση εισόδου 8 Ohm και μια με 16 Ohm. Προτιμήθηκε η αγορά της έκδοσης των 8 Ohm προκειμένου να υπάρχει ταύτιση αυτής με την σύνθετη αντίσταση των υπόλοιπων υποσυστημάτων του ηχείου.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί πως η ευαισθησία του tweeter Eminence PSD2002 είναι 106,1 dB ενώ αυτή του woofer 97,3 dB. Η διαφορά αυτή στην πράξη σημαίνει πως το tweeter είναι περισσότερο αποδοτικό, κάτι το οποίο βέβαια ήταν αναμενόμενο λόγω της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται σε αυτό (οδηγός συμπίεσης/χρoάνη). Προκειμένου να εξισορροπηθεί η αποδοτικότητα των δύο οδηγών αποφασίστηκε, εάν κρινόταν απαραίτητο, να τοποθετηθεί στο tweeter εξασθενητής τύπου L-PAD.

4.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΙΛΤΡΩΝ CROSSOVER

Για να διασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή ομαλότητα της συχνοτικής απόκρισης του ηχείου, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί κάποιο προκατασκευασμένο, διαθέσιμο στο εμπόριο, φίλτρο διαχωρισμού συχνοτήτων αντί να κατασκευαστεί κάποιο εξαρχής. Εκτιμήθηκε πως έτσι θα μπορούσε να επιτευχθεί η μέγιστη ακρίβεια της θέσης του crossover point καθώς και η μέγιστη δυνατή συμβατότητα ανάμεσα στις σύνθετες αντιστάσεις εισόδου των μεγαφώνων και της σύνθετης αντίστασης εξόδου πλήθους ενισχυτών.

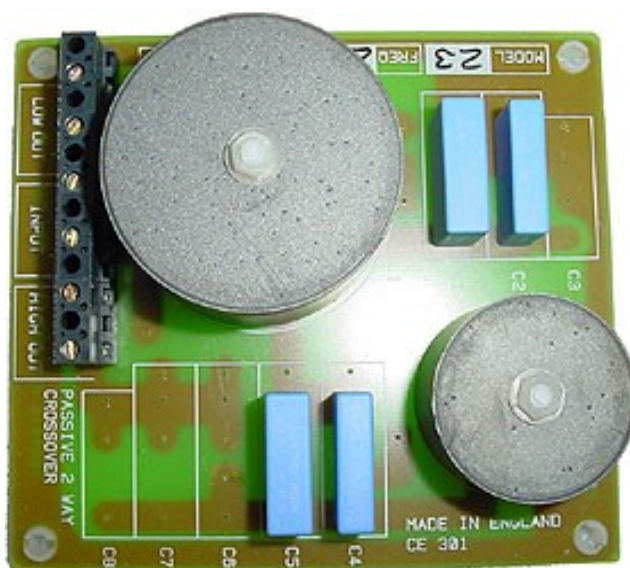
Πριν επιλεγεί κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο crossover φίλτρου κρίθηκε απαραίτητη η επιλογή του βέλτιστου crossover point για τον ιδανικό συνδυασμό των διαθέσιμων οδηγών. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, σύμφωνα με την Eminence ο οδηγός tweeter PSD2002 είναι ικανός για την αναπαραγωγή της ζώνης συχνοτήτων μεταξύ των 1200 Hz και των 20000 Hz. Μάλιστα, στο τεχνικό δελτίο προδιαγραφών του εν λόγω οδηγού προτείνεται, εάν χρησιμοποιείται κάποιο φίλτρο crossover με κλίση 18 dB ανά οκτάβα (ή φίλτρο 3ης τάξης), το crossover point να τίθεται στα 1200 Hz. Εάν πάλι χρησιμοποιείται crossover με κλίση 12 dB ανά οκτάβα (δεύτερης τάξης), προτείνεται το crossover point να τίθεται στα 1800 Hz.

Οι προτάσεις της Eminence, παρότι λήφθηκαν υπόψιν, τελικά δεν υιοθετήθηκαν. Η αδυναμία εύρεσης crossover φίλτρου με τα απαραίτητα χαρακτηριστικά σε λογικό κόστος οδήγησε στην ανάγκη εξέτασης άλλων εναλλακτικών λύσεων. Πέραν όμως του κόστους, εκτιμήθηκε πως το crossover point είναι προτιμότερο να τεθεί σε κάποια υψηλότερη συχνότητα ώστε να περιοριστούν οι όποιες πιθανότητες εμφάνισης παραμόρφωσης: Εφόσον ο οδηγός Delta Lite II 2510 είναι, σύμφωνα με την καμπύλη συχνοτικής απόκρισης αυτού, ικανός για την αναπαραγωγή συχνοτήτων μέχρι και τα 4000 Hz, θα ήταν προτιμότερο η λειτουργία του tweeter να ξεκινά από κάποια υψηλότερη συχνότητα έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η καταπόνηση του διαφράγματος και κατά συνέπεια η πιθανή παραμόρφωση του ηχητικού σήματος όταν αναπαράγονται συχνότητες κοντά στο συχνοτικό όριο λειτουργίας του.

Εξετάζοντας τις καμπύλες συχνοτικής απόκρισης των διαθέσιμων οδηγών, παρατηρούνται τα εξής:

- Η συχνοτική απόκριση του woofer Delta Lite II 2510 παρουσιάζει μια σταδιακά αυξανόμενη αλλά έντονη κορύφωση μεταξύ των 1000 Hz και 2500 Hz. Πέρα από τα 2500 Hz η αποδοτικότητα του οδηγού μειώνεται σημαντικά.
- Η καμπύλη συχνοτικής απόκρισης του tweeter PSD2002 μαρτυρά πως, ενώ από τα 1200 Hz έως και τα 2000 Hz η αποδοτικότητά του είναι περιορισμένη, παρουσιάζει σημαντική αύξηση από τα 2000 Hz και για υψηλότερες συχνότητες.

Βάσει των παρατηρήσεων αυτών και λόγω της διαθεσιμότητας στο εμπόριο φίλτρων με συγκεκριμένες crossover συχνότητες αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί κάποιο φίλτρο με συχνότητα crossover τα 2500 Hz. Συγκεκριμένα, στα ηχεία ενσωματώθηκαν τα 2ης τάξης crossover φίλτρα δύο δρόμων LDX23 της εταιρείας Link Dynamics:



Εικόνα 35

Φίλτρο διαχωρισμού συχνοτήτων Link Dynamics LDX23.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τύπος φίλτρου:	Παθητικό
Τάξη φίλτρου:	Δεύτερη
Συχνότητα crossover:	2500 Hz
Αριθμός δρόμων:	2 (woofer, tweeter)
Σύνθετη αντίσταση εισόδου:	8 Ohm
Σύνθετη αντίσταση εξόδου:	8 Ohm
Μέγιστη ισχύς (RMS):	250 Watt
Μέγιστη ισχύς (peak):	500 Watt

Πίνακας 3

Θέτοντας το crossover point στα 2500 Hz, εκτιμήθηκε πως θα αξιοποιηθεί επαρκώς το συχνοτικό εύρος λειτουργίας των οδηγών, αποτρέποντας ωστόσο τον καθένα από την αναπαραγωγή συχνοτικών περιοχών στις οποίες η απόδοση του είναι περιορισμένη.

Ας σημειωθεί επίσης πως με την χρήση του εν λόγω φίλτρου επιτεύχθηκε πλήρης συμβατότητα μεταξύ των υποσυστημάτων του ηχείου: Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να διαχειριστεί το φίλτρο της Link Dynamics συνάδει με τα επίπεδα ισχύος τα οποία μπορούν να διαχειριστούν οι οδηγοί, ενώ οι σύνθετες αντιστάσεις εισόδου και εξόδου αυτού ταυτίζονται με τις σύνθετες αντιστάσεις εισόδου των οδηγών και την σύνθετη αντίσταση εξόδου του ενισχυτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΜΠΙΝΑΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεγαλύτερη ίσως πρόκληση που θα συναντήσει ο κατασκευαστής ενός ηχείου bass-reflex είναι η διαδικασία υπολογισμού, βάσει της σχετικής θεωρίας, όλων εκείνων των παραμέτρων που θα καθορίσουν την ορθή και αποδοτική λειτουργία του.

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί ίσως το σημαντικότερο μέρος της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, εφόσον στις επόμενες ενότητες περιγράφονται αναλυτικά όλα τα βήματα που ακολουθήθηκαν, προκειμένου να υλοποιηθεί μια καμπίνα ικανή να αναδείξει, όσο το δυνατόν περισσότερο, τις δυνατότητες των διαθέσιμων οδηγών.

Μεγάλη προσοχή δόθηκε ώστε από τις διαστάσεις της καμπίνας να προκύπτει κατάλληλος για την ομαλή απόδοση των χαμηλών συχνοτήτων όγκος, αλλά και αυτές να είναι τέτοιες που να συμβάλουν στον περιορισμό της πιθανότητας εμφάνισης στάσιμων κυμάτων. Η συχνότητα συντονισμού της καμπίνας υπολογίστηκε με γνώμονα την ομαλή και όσο το δυνατόν περισσότερο επίπεδη συχνοτική απόκριση και οι διαστάσεις του bass-reflex σωλήνα επιλέχθηκαν προκειμένου αυτή να επιτυγχάνεται.

Σημαντική βοήθεια στην παρούσα προσπάθεια αποτέλεσε το ειδικό λογισμικό σχεδιασμού ηχείων WinISD. Πέραν των διάφορων υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν βάσει γνωστών από τις προηγούμενες ενότητες μαθηματικών τύπων, η δυνατότητα του λογισμικού να προσομοιώνει την επίδραση διάφορων τύπων καμπίνων στην απόδοση του οδηγού συνέβαλε σημαντικά στην καλύτερη κατανόηση των φυσικών φαινομένων που εμπλέκονται κατά την λειτουργία ενός bass-reflex ηχείου.

Το υψηλό κόστος του plexiglass δυστυχώς αποτέλεσε το κύριο πρόβλημα που συναντήθηκε κατά την παρούσα προσπάθεια και οδήγησε αναπόφευκτα σε κάποιους συμβιβασμούς, οι οποίοι ωστόσο εκτιμάται πως δεν δημιούργησαν κάποιο πρόβλημα όσον αφορά την ορθή λειτουργία του ηχείου.

5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΚΑΜΠΙΝΑΣ

Προκειμένου να διασφαλιστεί η ικανοποιητική απόδοση του οδηγού Delta Lite II 2510, κρίθηκε σκόπιμη η εκτίμηση και μελέτη της συμπεριφοράς του σε καμπίνες με όγκο αντίστοιχο αυτού που προτείνει η EMINENCE, καθώς και αυτών που προκύπτουν επιλύοντας τους τύπους των Margolis – Small και Keele Jr⁵². Για τον λόγο αυτό, αφού ολοκληρώθηκαν οι απαραίτητοι υπολογισμοί βάσει των εν λόγω τύπων, πραγματοποιήθηκε σειρά προσομοιώσεων της απόδοσης της καμπίνας με ειδικό λογισμικό σχεδιασμού ηχείων. Το λογισμικό WinISD που χρησιμοποιήθηκε για τις εν λόγω προσομοιώσεις, λαμβάνει υπόψιν τις Thiele/Small παραμέτρους για ένα δεδομένο οδηγό και δύναται να υπολογίσει την συχνοτική απόκριση αυτού όταν τοποθετείται σε καμπίνες διαφορετικού όγκου και τύπου. Η προβλεπόμενη από την εφαρμογή συχνοτική απόκριση δίνεται σε μορφή γραφήματος συχνοτικής απόκρισης.

Πραγματοποιήθηκαν επίσης προσομοιώσεις για κάποιες εναλλακτικές περιπτώσεις: Εφόσον ο καθарός όγκος της καμπίνας είναι δύσκολο να επιτευχθεί με απόλυτη ακρίβεια, θεωρήθηκε καλό να προσομοιωθεί η συμπεριφορά του οδηγού σε καμπίνες ποικίλων όγκων προκειμένου να καλυφθεί κάθε πιθανή εκδοχή και να εκτιμηθεί καλύτερα η επιρροή πιθανών σφαλμάτων ή συνειδητών σχεδιαστικών συμβιβασμών στην απόδοση του ηχείου. Πιθανά σφάλματα κατά τον υπολογισμό του όγκου των υποεξαρτημάτων του ηχείου για παράδειγμα, θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αποκλίσεις ανάμεσα στον πραγματικό καθарό όγκο της καμπίνας και αυτόν που υπολογίστηκε θεωρητικά.

52. Βλ. Ενότητα 2.5.3.3

Ας σημειωθεί ωστόσο πως η ιδανική ίσως μέθοδος υπολογισμού των διαστάσεων μιας καμπίνας είναι μέσω του εμπειρικού και εργαστηριακού ελέγχου της απόδοσης του ολοκληρωμένου ηχείου. Στην περίπτωση που η συμπεριφορά του παρουσιάζει προβλήματα, τότε αυτό μπορεί να επανασχεδιαστεί και να κατασκευαστεί εξαρχής. Ωστόσο, λόγω του εξαιρετικά υψηλού κόστους, αλλά και της δυσκολίας κοπής του plexiglass, κάτι τέτοιο στην περίπτωση της παρούσας εργασίας δεν ήταν δυνατό. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές όγκου καμπίνας που προέκυψαν επιλύοντας τους τύπους των Margolis – Small και Keele Jr. Οι τιμές των παραμέτρων V_{as} και Q_{ts} παρέχονται από την EMINENCE:

- Βέλτιστος καθαρός όγκος καμπίνας για χρήση με οδηγό woofer EMINENCE DeltaLite II 2510 κατά G. Margolis και R. H. Small:

$$V_b = 20 \times Q_{ts}^{3.3} \times V_{as} \quad (2.2)$$

$$V_b = 20 \times 0,42^{3.3} \times 52,5 = 59,97 \text{ λίτρα.}$$

- Βέλτιστος καθαρός όγκος καμπίνας για χρήση με οδηγό woofer EMINENCE DeltaLite II 2510 κατά D.B. Keele Jr.:

$$V_b = 15 \times V_{as} \times (Q_{ts}^{2.87}) \quad (2.3)$$

$$V_b = 15 \times 52,5 \times (0,42^{2.87}) = 65,31 \text{ λίτρα.}$$

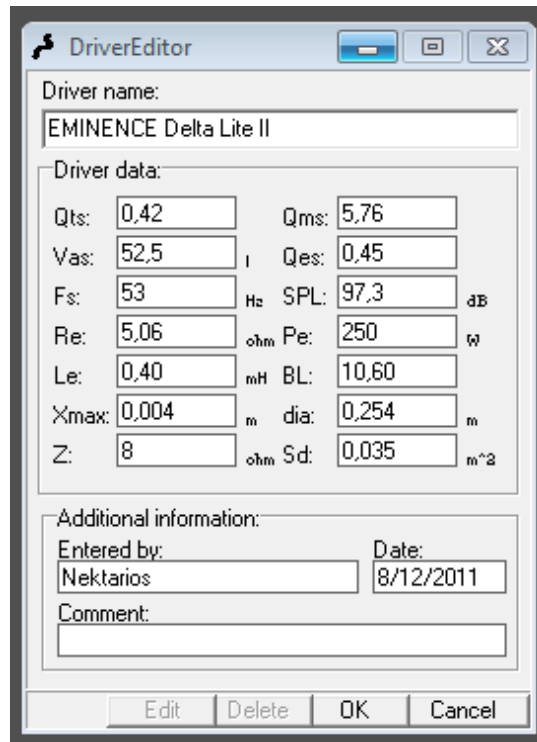
- Η EMINENCE προτείνει να χρησιμοποιηθεί, εάν ο οδηγός τοποθετηθεί σε bass-reflex ηχείο, καμπίνα με όγκο 17 – 39,6 λίτρων.

Οι τιμές όγκου που αποδίδονται από τους τύπους είναι παραπλήσιες, διαφέρουν όμως σημαντικά από τις προτεινόμενες τιμές όγκου της EMINENCE.

5.2.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΚΑΜΠΙΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΟΓΚΩΝ

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 5.2, χρησιμοποιώντας το λογισμικό σχεδιασμού ηχείων WinISD, πραγματοποιήθηκε μια σειρά προσομοιώσεων της απόδοσης του οδηγού DeltaLite II 2510 σε καμπίνες διαφορετικών όγκων, όπως αυτοί προέκυψαν επιλύοντας τις σχέσεις 2.2 και 2.3, καθώς και βάση του προτεινόμενου από την EMINENCE όγκου καμπίνας για τον εν λόγω οδηγό.

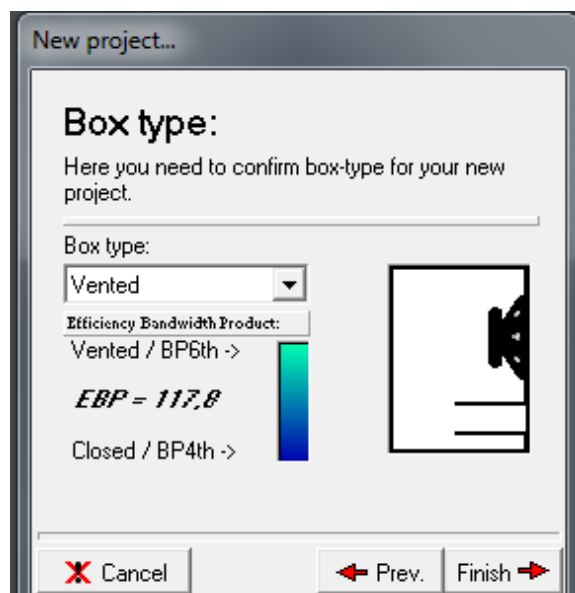
Το WinISD διαθέτει βάση δεδομένων στην οποία περιλαμβάνονται οι Thiele/Small παράμετροι πολλών δημοφιλών οδηγών του εμπορίου. Επειδή ωστόσο ο οδηγός DeltaLite II 2510 δεν περιλαμβάνεται στην βάση δεδομένων της εφαρμογής, οι Thiele /Small παράμετροί αυτού εισήχθησαν χειροκίνητα. Επίσης, επειδή το WinISD αναγνωρίζει συγκεκριμένες μονάδες μέτρησης και έτσι πραγματοποιήθηκε μετατροπή των τιμών των παραμέτρων σε συμβατό με την εφαρμογή μετρητικό σύστημα.



Εικόνα 36

Οθόνη εισαγωγής Thiele/Small παραμέτρων της εφαρμογής WinISD. Οι τιμές οι οποίες εμφανίζονται αφορούν τον οδηγό Eminence Delta Lite II 2510.

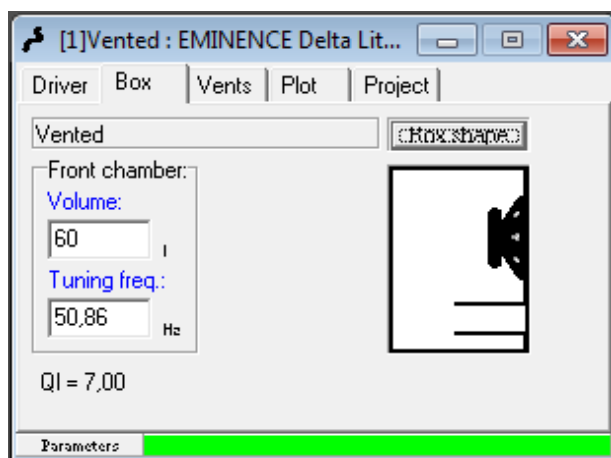
Αφού ο οδηγός καταχωρήθηκε στην βάση δεδομένων, η εφαρμογή ρυθμίστηκε κατάλληλα ώστε να πραγματοποιήσει υπολογισμούς για bass-reflex καμπίνα.



Εικόνα 37

Οθόνη επιλογής τύπου καμπίνας της εφαρμογής WinISD.

Μετά το πέρας των απαραίτητων αρχικών ρυθμίσεων, το WinISD δύναται να υπολογίσει τον βέλτιστο καθαρό όγκο και την συχνότητα συντονισμού F_b της καμπίνας, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται επίπεδη συχνотική απόκριση. Στο σημείο αυτό ορίζεται και η τιμή της παραμέτρου Q_1 , της οποίας προεπιλεγμένη τιμή είναι η ιδανική “7”⁵³.

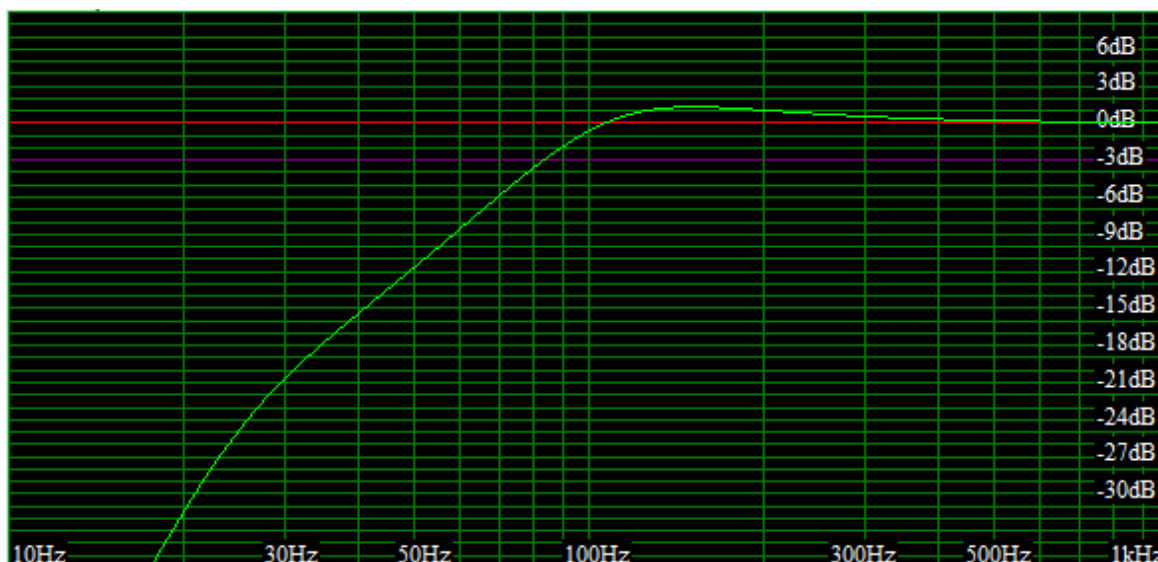


Εικόνα 38

Προτεινόμενες τιμές καθαρού όγκου και συχνότητας συντονισμού καμπίνας για τον οδηγό Eminence Delta Lite II 2510.

Ακολουθούν τα γραφήματα συχνотικής απόκρισης που προέκυψαν για προσομοιώσεις όγκου καμπίνας 17, 39,6 και 50 λίτρων:

- Προσομοίωση καμπίνας όγκου 17 λίτρων (ελάχιστος προτεινόμενος όγκος από την EMINENCE για χρήση του Delta Lite II σε καμπίνα τύπου bass-reflex):

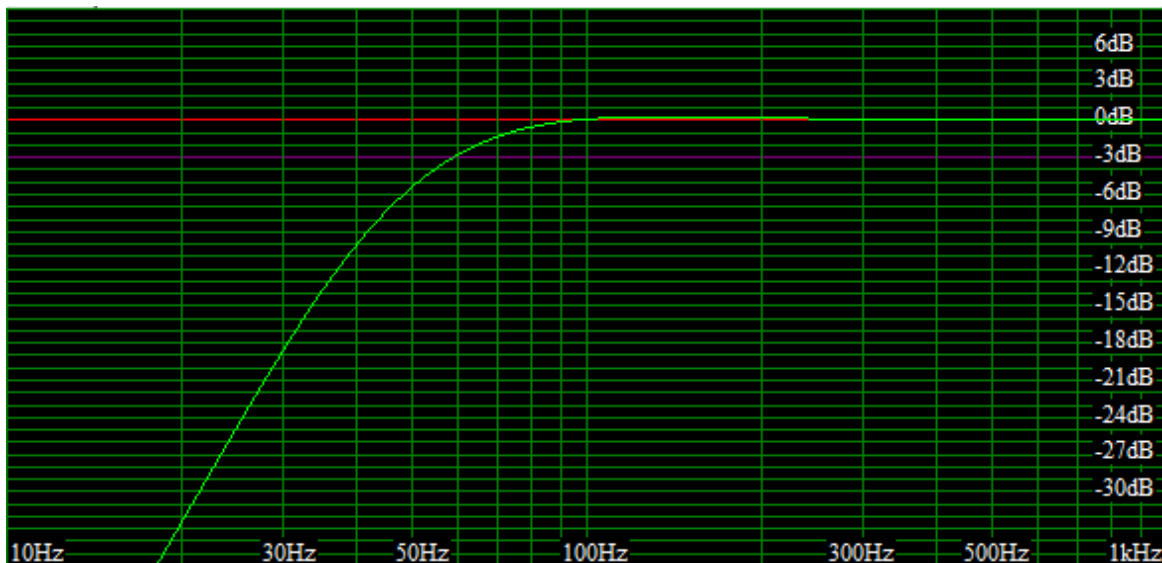


Εικόνα 39

Εκτιμώμενη συχνотική απόκριση οδηγού Delta Lite II 2510 σε καμπίνα όγκου 17 λίτρων.

53. Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.5.3.6, η παράμετρος Q_1 χρησιμοποιείται ως μέσο σύγκρισης του θεωρητικού μοντέλου υπό σχεδιασμό καμπίνας και της τελικής κατασκευής.

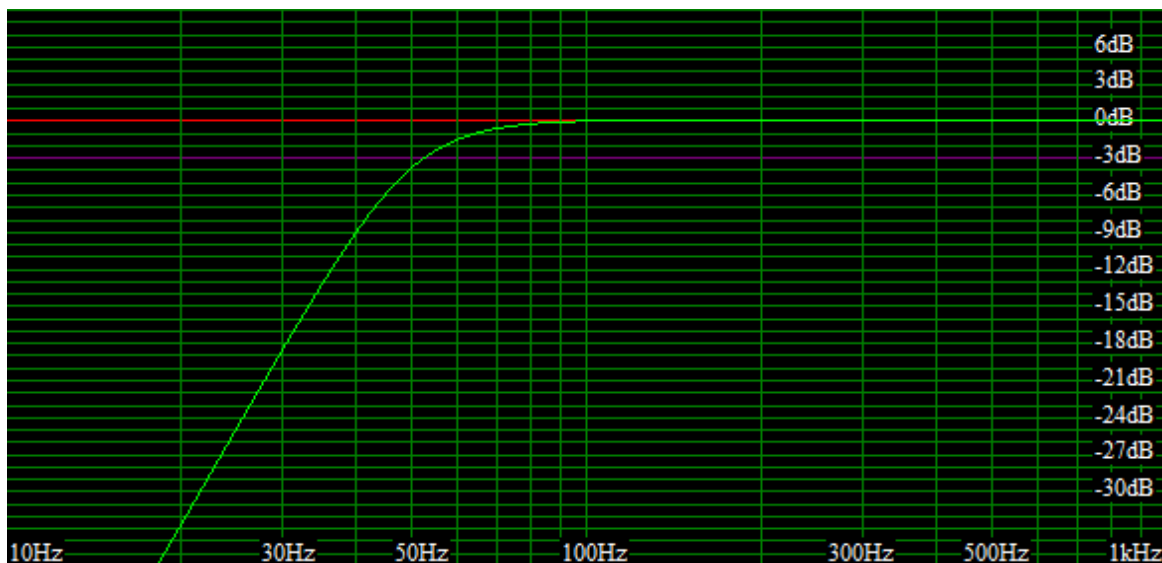
- Προσομοίωση καμπίνας όγκου 39,6 λίτρων (μέγιστος προτεινόμενος όγκος από την EMINENCE για χρήση του Delta Lite II σε καμπίνα τύπου bass-reflex):



Εικόνα 40

Εκτιμώμενη συχνοτική απόκριση οδηγού Delta Lite II 2510 σε καμπίνα όγκου 39,6 λίτρων.

- Προσομοίωση καμπίνας όγκου 50 λίτρων:



Εικόνα 41

Εκτιμώμενη συχνοτική απόκριση οδηγού Delta Lite II 2510 σε καμπίνα όγκου 50 λίτρων.

Καθώς ο όγκος της καμπίνας αυξάνεται, η εκτιμώμενη συχνοτική απόκριση του ηχείου διευρύνεται (παρατηρείται και αντίστοιχη μετατόπιση της συχνότητας αποκοπής $-3\text{dB } f_3$ χαμηλότερα στο συχνοτικό φάσμα), ενώ δεν εμφανίζεται κάποια απρόοπτη ανωμαλία. Για τα αποτελέσματα περισσότερων προσομοιώσεων ο αναγνώστης παραπέμπεται στο παράρτημα III.

Το πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει παρατηρώντας τα παραπάνω γραφήματα είναι πως μια καμπίνα όγκου 17 λίτρων περιορίζει σημαντικά την έξοδο στις χαμηλότερες συχνότητες. Η τιμή αυτή πιθανόν επιλέχθηκε περισσότερο για λόγους marketing και συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψιν την σχετική θεωρία καθώς και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, η χρήση του οδηγού Delta Lite II 2510 σε μια τόσο μικρή καμπίνα δεν ενδείκνυται. Εάν στόχος είναι η κατασκευή ενός μικρού μεγέθους ηχείου με περιορισμένο εσωτερικό όγκο, προτείνεται η χρήση ενός αξιόλογου woofer μικρότερης διαμέτρου. Ένα ποιοτικό woofer 8 ιντσών όπως το Beta 8A της Eminence μπορεί θεωρητικά να αποδώσει την συχνοτική περιοχή ανάμεσα στα 50 Hz και τα 100 Hz εξίσου καλά με το Delta Lite II 2510 όταν και τα δύο χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχα μικρού μεγέθους καμπίνες, ενώ η τιμή του είναι σημαντικά χαμηλότερη.

Ο όγκος καμπίνας 39,6 λίτρων που επίσης προτείνει η Eminence αποτελεί μια σαφώς ρεαλιστικότερη πρόταση. Σε γενικές γραμμές θα μπορούσε να ειπωθεί πως ο ελάχιστος απαιτούμενος όγκος καμπίνας ώστε να αξιοποιηθεί πλήρως ο οδηγός Delta Lite II 2510 (και γενικότερα οι οδηγοί woofer διαμέτρου 10 ιντσών) είναι περίπου 40 λίτρα.

Εκτιμάται μάλιστα βάσει των προσομοιώσεων πως, για τον συγκεκριμένο οδηγό, η χρήση καμπίνας με καθαρό όγκο 50 λίτρων αποτελεί μια ικανοποιητική λύση, ιδιαίτερα αν το κόστος ή ο περιορισμένος χώρος εγκατάστασης αποτελούν ζήτημα. Ιδανικά θα έπρεπε ίσως, ο οδηγός Delta Lite II 2510 να ενσωματωθεί σε καμπίνα όγκου μεταξύ 60 και 65 λίτρων. Οι συγκεκριμένες τιμές όγκου προκύπτουν από την επίλυση των τύπων υπολογισμού των Margolis – Small και Keele Jr.

5.3 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Κατόπιν μελέτης των στοιχείων που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις με το WinISD, τέθηκε ως στόχος ο σχεδιασμός καμπίνας με καθαρό όγκο τουλάχιστον 40 λίτρων, του ελάχιστου δηλαδή αποδεκτού όγκου προκειμένου να αξιοποιηθεί η συχνοτική απόκριση του οδηγού Delta Lite II. Ως δευτερεύων στόχος τέθηκε η επιλογή διαστάσεων με κατάλληλες αναλογίες, έτσι ώστε να περιορίζεται η εμφάνιση στάσιμων κυμάτων στο εσωτερικό της καμπίνας.

Κατά την διαδικασία σχεδιασμού της καμπίνας εξετάστηκαν τα ενδεχόμενα χρήσης φύλλων plexiglass πάχους 10mm, 15mm ή και συνδυασμού αυτών. Αποφασίστηκε πως, ιδανικά, ολόκληρη η καμπίνα θα έπρεπε να αποτελείται από φύλλα plexiglass πάχους 15mm: Το μεγάλο πάχος και η πυκνότητα τέτοιων φύλλων θα διασφάλιζε την απροβλημάτιστη στήριξη των οδηγών, ενώ παράλληλα θα βελτιώνει την συνολική ηχητική απόδοση μειώνοντας τις διαρροές ηχητικής ακτινοβολίας από το εσωτερικό της καμπίνας. Παράλληλα, η μεγάλη ακαμψία τους θα συνέβαλε σημαντικά στον περιορισμό των συντονισμών στην επιφάνεια των τοιχωμάτων της καμπίνας, βελτιώνοντας περαιτέρω το ηχητικό αποτέλεσμα. Εκτιμήθηκε πως εάν χρησιμοποιούταν υλικό μικρότερου πάχους θα έπρεπε να τοποθετηθούν δοκοί υποστήριξης εντός της καμπίνας, σύμφωνα με τις μεθόδους που παρουσιάζονται στην ενότητα 2.4.4. Ο κίνδυνος όμως ζημιάς του υλικού κατά την διαδικασία ανοίγματος οπών για επιπλέον βίδες, η κατασκευαστική πολυπλοκότητα, το επιπλέον κόστος καθώς και αισθητικοί λόγοι οδήγησαν στην απόρριψη αυτής της ιδέας.

Προκειμένου να ικανοποιούνται κατά προσέγγιση όλες αυτές οι, αλληλένδετες μεταξύ τους, συνθήκες που καθορίζουν την ομαλότερη δυνατή απόδοση των οδηγών και κατά συνέπεια την συνολική απόκριση του ηχείου, τέθηκαν οι παρακάτω βασικοί στόχοι:

- Καθαρός όγκος καμπίνας περίπου 40 – 60 λίτρων ώστε να διασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοση του οδηγού.
- Ύπαρξη τοιχωμάτων επαρκούς πάχους, ικανά αφενός να παρέχουν την απαραίτητη υποστήριξη στους οδηγούς και αφετέρου, να χαρακτηρίζονται από μεγάλη ακαμψία ώστε να περιοριστούν φαινόμενα επιφανειακού συντονισμού.

- Πρόσοψη με κατάλληλο ύψος και επιφάνεια ώστε να τοποθετηθούν οι δύο οδηγοί και ο bass-reflex σωλήνας.
- Κατάλληλες διαστάσεις καμπίνας ώστε να προσεγγίζονται οι κατάλληλες αναλογίες για τον περιορισμό των στάσιμων κυμάτων.
- Σχήμα καμπίνας το οποίο να επιτρέπει την τοποθέτηση του ηχείου σε πλήθος διαφορετικών χώρων καθώς και να διευκολύνει την μεταφορά αυτού.

5.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΘΑΡΟΥ ΟΓΚΟΥ ΚΑΜΠΙΝΑΣ

Τα τοιχώματα και τα εσωτερικά υποσυστήματα ενός ηχείου καταλαμβάνουν, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του παρόντος κεφαλαίου, σημαντικό ποσοστό του συνολικού όγκου της καμπίνας. Ως εκ τούτου ο σχεδιαστής, πριν καταλήξει στις οριστικές διαστάσεις της κατασκευής, πρέπει να γνωρίζει εκ των προτέρων, έστω και προσεγγιστικά, τόσο τις τιμές των μεγεθών αυτών όσο και τον ελάχιστο καθαρό όγκο καμπίνας που προϋποτίθεται για την ικανοποιητική λειτουργία των μεγαφώνων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Προτείνεται μάλιστα, ιδιαίτερα αν η υπό σχεδιασμό καμπίνα είναι μικρότερου μεγέθους και ο όγκος της θεωρείται οριακά αποδεκτός για την ικανοποιητική απόδοση των οδηγών, οι τελικές διαστάσεις της να είναι λίγο μεγαλύτερες από αυτές του θεωρητικού μοντέλου. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η όσο το δυνατόν αποδοτικότερη λειτουργία του οδηγού ακόμα και αν ο πραγματικός καθαρός όγκος της κατασκευής αποκλίνει του θεωρητικού λόγω υπολογιστικών σφαλμάτων.

Ο καθαρός όγκος μιας καμπίνας προκύπτει αφαιρώντας τον όγκο κάθε εσωτερικού υποσυστήματος του ηχείου από τον εσωτερικό όγκο. Ο εσωτερικός όγκος μπορεί να υπολογιστεί αφαιρώντας την τιμή που αναλογεί στο κάθε τοίχωμα από τις αντίστοιχες τιμές των διαστάσεων του ηχείου. Στην πράξη αυτό σημαίνει πως, αφού επιλεγεί το πάχος των τοιχωμάτων, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν κάποιες δοκιμές και υπολογισμοί με εναλλακτικές τιμές διαστάσεων, έως ότου να ικανοποιηθούν οι συνθήκες οι οποίες ανταποκρίνονται στους σχεδιαστικούς στόχους που έχουν τεθεί.

5.4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΟΥ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια κατά τους υπολογισμούς του όγκου κάθε υποσυστήματος, θεωρήθηκε πως κάθε ένα εξ αυτών αποτελείται από μέρη τα οποία ομοιάζουν με γνωστά γεωμετρικά σχήματα:

- Η χοάνη ομοιάζει με πυραμίδα. Ο όγκος της πυραμίδας δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V = 1/3 \times B \times h$$

Το μέρος της χοάνης που προεκτείνεται εντός της καμπίνας έχει μήκος 7,5cm, πλάτος 24cm και ύψος 8cm. Εφόσον η βάση ισούται με 7,5 x 24, αντικαθιστώντας τις τιμές στην εξίσωση ισχύει:

$$V = 1/3 \times 180 \times 8 = 480\text{cm}^3$$

- Ο οδηγός tweeter αποτελείται από δύο κυλίνδρους. Ο όγκος του κυλίνδρου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V = \pi r^2 h$$

Ο πρώτος κύλινδρος έχει ακτίνα 3cm και ύψος 1,5cm. Αντίστοιχα, ο δεύτερος κύλινδρος έχει ακτίνα 6,5cm και ύψος 2cm. Ο όγκος του οδηγού είναι το άθροισμα των όγκων των δύο αυτών μικρότερων κυλίνδρων. Συγκεκριμένα:

$$V = 3,14 \times (3)^2 \times 1,5 = 42,4\text{cm}^3$$

και

$$V = 3,14 \times (6,5)^2 \times 2 = 265,3\text{cm}^3$$

Ο συνολικός όγκος του tweeter είναι ίσος με:

$$42,39\text{cm}^3 + 265,33\text{cm}^3 = 307,7\text{cm}^3$$

- Ο οδηγός woofer αποτελείται από ένα κώλουρο κώνο και ένα κύλινδρο. Ο όγκος του κώλουρου κώνου δίνεται από την σχέση:

$$V = 1/3 (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2) \pi h$$

Η ακτίνα του κύκλου βάσης του κώλουρου κώνου είναι 11cm και η ακτίνα του κύκλου κορυφής αυτού είναι 6cm. Το ύψος του είναι περίπου 2cm. Άρα:

$$V = 1/3 \times (11^2 + 11 \times 6 + 6^2) \times 3,14 \times 2 = 233,5\text{cm}^3$$

Η ακτίνα του κυλίνδρου είναι περίπου 6cm και το ύψος του 4,5cm. Συνεπώς, ο όγκος του είναι:

$$V = 3,14 \times (6)^2 \times 4,5 = 508,7\text{cm}^3$$

Ο συνολικός όγκος του tweeter είναι ίσος με:

$$233,5\text{cm}^3 + 508,68\text{cm}^3 = 742,2\text{cm}^3$$

- Για να υπολογιστεί ο συνολικός όγκος του crossover έπρεπε να υπολογιστεί ο όγκος των δύο πηνίων, των υπολοίπων ηλεκτρονικών στοιχείων από τα οποία αποτελείται και του τερματικού σύνδεσης.

Τα πηνία είναι ουσιαστικά κύλινδροι. Ο ένας έχει ακτίνα 2,5cm και ύψος 3cm ενώ ο άλλος έχει ακτίνα 1,5cm και ύψος 2,5cm. Οι όγκοι τους προκύπτουν ως εξής:

$$V = 3,14 \times (2,5)^2 \times 3 = 58,9\text{cm}^3$$

$$V = 3,14 \times (1,5)^2 \times 2,5 = 17,7\text{cm}^3$$

Τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά στοιχεία βρίσκονται εντός τεσσάρων παραλληλεπίπεδων συσκευασιών με παρόμοιες διαστάσεις. Το ύψος της κάθε συσκευασίας είναι 1,5cm, το μήκος της 0,5cm και το πλάτος της 2cm. Το τερματικό σύνδεσης έχει επίσης παρόμοιες διαστάσεις με τις εν λόγω συσκευασίες. Ο όγκος της κάθε επιμέρους συσκευασίας προκύπτει ως:

$$V = 1,5 \times 0,2 \times 2 = 1,5\text{cm}^3$$

Εφόσον υπάρχουν τέσσερις τέτοιες συσκευασίες και το τερματικό έχει παρόμοιες διαστάσεις με αυτές, ο συνολικός όγκος που καταλαμβάνει το crossover μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$V = 58,9 + 17,7 + (1,5 \times 5) = 84,1\text{cm}^3$$

Είναι προφανές πως ο όγκος που καταλαμβάνουν συνολικά τα υποσυστήματα του ηχείου είναι το άθροισμα των όγκων αυτών. Υπολογίστηκε στα 1614cm^3 , δηλαδή στα 1,6 περίπου λίτρα.

Πρέπει εδώ να σημειωθεί πως ο όγκος που καταλαμβάνουν τα καλώδια θεωρήθηκε αμελητέος και δεν υπολογίστηκε. Δεν πραγματοποιήθηκε επίσης υπολογισμός του όγκου του bass-reflex σωλήνα εφόσον οι διαστάσεις αυτού δεν είχαν ακόμα καθοριστεί. Εκτιμήθηκε ωστόσο πως ακόμα και ένας εξαιρετικά ογκώδης σωλήνας (π.χ. 20cm x 20cm) δεν θα περιόριζε σημαντικά τον διαθέσιμο καθαρό όγκο.

5.5 ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΑΛΟΓΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

Λαμβάνοντας υπόψιν πως το πάχος των τοιχωμάτων θα είναι 15mm, εκτιμήθηκε πως η καμπίνα θα έπρεπε να έχει μήκος τουλάχιστον 20cm, έτσι ώστε να υπάρχει περιθώριο ανάμεσα στους οδηγούς και στο πίσω μέρος αυτής, καθώς και πλάτος τουλάχιστον 30cm ώστε οι οδηγοί να μην εφάπτονται στις πλαϊνές της πλευρές. Επίσης, θεωρήθηκε απαραίτητη και η ύπαρξη αρκετού χώρου στην πρόσοψη της καμπίνας ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν οι δύο οδηγοί και ο σωλήνας bass-reflex.

Με βάση αυτές τις παραμέτρους υπολογίστηκαν οι διαστάσεις καμπίνας που προέκυψαν ακολουθώντας τις διάφορες αναλογίες που προτείνονται από την σχετική βιβλιογραφία⁵⁴, ώστε να οριστικοποιηθούν οι τελικές διαστάσεις της κατασκευής.

• Εξέταση αναλογιών διαστάσεων 1,59 / 1,26 / 1:

Ο σχεδιασμός της καμπίνας βάσει των αναλογιών 1,59 / 1,26 / 1 απορρίφθηκε. Η τήρηση των συγκεκριμένων αναλογιών θα οδηγούσε στον σχεδιασμό μιας σχεδόν κυβικής καμπίνας η οποία, παρότι κατάλληλη για εξειδικευμένα ηχεία με έναν μόνο οδηγό (π.χ αυτόνομες μονάδες woofer και subwoofer), δεν θα διέθετε αρκετό ελεύθερο χώρο για την τοποθέτηση επιπλέον οδηγών στην πρόσοψη. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε βέβαια να αντιμετωπιστεί εάν κατασκευαζόταν μια μεγαλύτερη καμπίνα με κάποιον υποθάλαμο για την τοποθέτηση του woofer. Ωστόσο, μια τέτοια κατασκευή θα έπρεπε να είναι εξαιρετικά ογκώδης προκειμένου να ικανοποιούνται οι συνθήκες για την ικανοποιητική απόδοση οδηγών 10" ή μεγαλύτερων.

54. Βλ. Ενότητα 2.4.1 - "Σχήμα καμπίνας και στάσιμα κύματα"

- **Εξέταση αναλογιών διαστάσεων 2 / 1,44 / 1:**

Ο σχεδιασμός βάσει των αναλογιών 2 / 1,44 / 1 είναι περισσότερο λογικός για ένα ηχείο δύο ή περισσότερων δρόμων, επειδή βάσει αυτών αναμένεται να προκύψει μια καμπίνα μεγαλύτερου ύψους, στις οποίες την πρόσοψη υπάρχει επαρκής χώρος για την ορθή τοποθέτηση των οδηγών και των bass-reflex σωλήνων.

Παρακάτω (πίνακας 4) παρουσιάζονται μερικές ενδεικτικές τιμές διαστάσεων για οι οποίες βασίζονται στην αναλογία 2 / 1,44 / 1, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως πρότυπα για τους υπολογισμούς και την επιλογή των τελικών διαστάσεων του ηχείου:

Περίπτωση	Μήκος (cm)	Πλάτος (cm)	Ύψος (cm)	Όγκος (lt)
1η	23	33,1	46	35
2η	24	34,6	48	40
3η	25	36	50	45
4η	27	38,9	54	56,7

Πίνακας 4

Καμπίνες διάφορων μεγεθών βασισμένες σε αναλογίες 2 / 1,44 / 1.

- **Εξέταση αναλογιών διαστάσεων 2,6 / 1,6 / 1:**

Οι ιδανικές αναλογίες διαστάσεων για ένα ηχείο bass-reflex πολλαπλών δρόμων είναι οι 2,6 / 1,6 / 1 που προτείνονται από τον Thiele: Ένα ηχείο σχεδιασμένο βάσει αυτών των αναλογιών θα διαθέτει το απαιτούμενο ύψος για την τοποθέτηση όλων των οδηγών και των bass-reflex σωλήνων στην πρόσοψη, ενώ το παραλληλεπίπεδο σχήμα του το καθιστά καταλληλότερο για τοποθέτηση σε στενότερους χώρους. Σε αυτό συμβάλει κυρίως το γεγονός ότι η αύξηση του όγκου μιας καμπίνας με τις εν λόγω αναλογίες συνεπάγεται ανάλογη αύξηση του ύψους της, ασκώντας περιορισμένη μόνο επιρροή στις άλλες δύο διαστάσεις. Εκτιμήθηκε γενικότερα πως το μεγάλο ύψος σπάνια αποτελεί πρόβλημα για την τοποθέτηση ενός ηχείου, αντίθετα το μεγάλο πλάτος ή μήκος καθιστούν δύσκολη την τοποθέτηση του σε οικιακά περιβάλλοντα, έπιπλα κλπ.

Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται κάποιες ενδεικτικές τιμές διαστάσεων οι οποίες βασίζονται στην αναλογία 2,6 / 1,6 / 1, οι οποίες επίσης χρησιμοποιήθηκαν ως πρότυπα για τους υπολογισμούς και την επιλογή των τελικών διαστάσεων του ηχείου:

Περίπτωση	Μήκος (cm)	Πλάτος (cm)	Ύψος (cm)	Όγκος (lt)
1η	22	35,2	57,2	44,3
2η	23	36,8	59,8	50,6
3η	24	38,4	62,4	57,5
4η	25	40	65	65

Πίνακας 5

Καμπίνες διάφορων μεγεθών βασισμένες σε αναλογίες 2,6 / 1,6 / 1.

5.5.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΜΠΙΝΑΣ

Παραδοχή αποτελεί πως ο σχεδιασμός και η κατασκευή μιας μεγάλου μεγέθους καμπίνας θα επέτρεπαν την άνετη τοποθέτηση των οδηγών και την τήρηση οποιονδήποτε από τις αναλογίες που αναφέρονται στην ενότητα 2.4.1, ενώ ο μεγάλος καθαρός όγκος αυτής θα διασφάλιζε την βέλτιστη απόδοση του οδηγού. Ωστόσο, το υψηλό κόστος και η περιορισμένη φορητότητα μιας τέτοιας κατασκευής αποτέλεσαν ανασταλτικούς παράγοντες με αποτέλεσμα να υπάρξουν κάποιοι συμβιβασμοί.

Γνωρίζοντας πως όλες οι πλευρές της σχεδιαζόμενης καμπίνας θα είχαν πάχος 15mm μπορεί με ασφάλεια να υπολογιστεί ο καθαρός όγκος αυτής αφαιρώντας από την κάθε διάσταση που αναφέρεται στον πίνακα 5 το άθροισμα του πάχους των δύο πλευρών, δηλαδή 30mm.

Εξετάζοντας το σύνολο των περιπτώσεων που παρουσιάζονται στους πίνακες 4 και 5, απορρίφθηκαν αρχικά εκείνες οι οποίες είτε θα απέδιδαν μια καμπίνα ανεπαρκούς όγκου για την ορθή λειτουργία του οδηγού, είτε θα οδηγούσαν στην κατασκευή μιας εξαιρετικά ογκώδους κατασκευής, της οποίας μάλιστα το κόστος δεν ήταν αποδεκτό.

Περίπτωση	Μήκος (cm)	Πλάτος (cm)	Ύψος (cm)	Όγκος (lt)
Εξωτερικές Διαστάσεις	27	38,9	54	56,7
Εσωτερικές Διαστάσεις	24	35,9	51	42,3 (καθαρός όγκος)

Πίνακας 6

Διαστάσεις που προκύπτουν συνυπολογίζοντας το πάχος του υλικού (Βλέπε 4η περίπτωση – πίνακας 4).

Περίπτωση	Μήκος (cm)	Πλάτος (cm)	Ύψος (cm)	Όγκος (lt)
Εξωτερικές Διαστάσεις	24	38,4	62,4	57,5
Εσωτερικές Διαστάσεις	21	35,4	59,4	42,6 (καθαρός όγκος)

Πίνακας 7

Διαστάσεις που προκύπτουν συνυπολογίζοντας το πάχος του υλικού (Βλέπε 3η περίπτωση – πίνακας 5).

Περίπτωση	Μήκος (cm)	Πλάτος (cm)	Ύψος (cm)	Όγκος (lt)
Εξωτερικές Διαστάσεις	23	36,8	59,8	50,6
Εσωτερικές Διαστάσεις	20	33,8	56,8	36,8 (καθαρός όγκος)

Πίνακας 8

Διαστάσεις που προκύπτουν συνυπολογίζοντας το πάχος του υλικού (Βλέπε 2η περίπτωση – πίνακας 5).

Οι διαστάσεις του πίνακα 6 βασίζονται στην 4η περίπτωση του πίνακα 4. Αν και ο καθαρός όγκος που προκύπτει βάσει αυτών είναι ικανοποιητικός, το μεγάλο σχετικά πλάτος μιας καμπίνας αυτών των διαστάσεων συγκριτικά με τις διαστάσεις των οδηγών δεν είναι ευχάριστο αισθητικά, ενώ περιορίζει τις δυνατότητες τοποθέτησης του ηχείου σε οριακά στενότερους χώρους. Για τους λόγους αυτούς κρίθηκε απαραίτητη η εξέταση μερικών ακόμα περιπτώσεων.

Οι διαστάσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 7 προκύπτουν από την 3η περίπτωση του πίνακα 5 και θεωρούνται οριακά καλύτερες. Ο καθαρός όγκος της καμπίνας κρίνεται ικανοποιητικός και το ύψος αυτής επιτρέπει την άνετη τοποθέτηση των οδηγών και του bass-reflex σωλήνα. Το μοναδικό ζήτημα και σε αυτή την περίπτωση είναι το πλάτος της καμπίνας, κάποιο έστω και οριακά μικρότερο πλάτος θα ήταν προτιμητέο.

Μια καμπίνα βασισμένη στις διαστάσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 8 θα διέθετε αρκετό χώρο στην πρόσοψη για την τοποθέτηση των υποσυστημάτων ενώ το παραλληλεπίπεδο σχήμα της θα καθιστούσε εύκολη την μεταφορά και τοποθέτηση της σε πλήθος διαφορετικών χώρων. Το πρόβλημα με τις εν λόγω διαστάσεις είναι ο μικρός προκύπτων όγκος, ο οποίος είναι μικρότερος από 40 λίτρα.

Γνωρίζοντας ωστόσο από την ενότητα 2.4.1 πως οι αναλογίες διαστάσεων μιας καμπίνας είναι δευτερεύων τρόπος περιορισμού των στάσιμων κυμάτων εντός της, αποφασίστηκε εν τέλει οι προτεινόμενες αναλογίες να μην τηρηθούν με απόλυτη ακρίβεια, χωρίς ωστόσο οι τελικές διαστάσεις να αποκλίνουν σημαντικά απ' αυτές. Ο συμβιβασμός αυτός θα καθιστούσε εφικτή την κατασκευή μιας καμπίνας που θα οδηγούσε στην επίτευξη όλων των αρχικών σχεδιαστικών στόχων χωρίς να προκύψουν σημαντικά προβλήματα ή περιορισμοί. Τα στάσιμα κύματα που πιθανόν να παρουσιάζονταν θα μπορούσαν να ελεγχθούν με την χρήση κατάλληλου ηχοαπορροφητικού υλικού.

Κατόπιν εξέτασης όλων των παραπάνω δεδομένων, καθορίστηκαν οι τελικές διαστάσεις της καμπίνας:

Περίπτωση	Μήκος (cm)	Πλάτος (cm)	Ύψος (cm)	Όγκος (lt)
Εξωτερικές Διαστάσεις	27	36	60	58,3
Εσωτερικές Διαστάσεις	24	33	57	43,5 (καθαρός όγκος)

Πίνακας 9
Τελικές διαστάσεις ηχείου.

Η ομοιότητα των τελικών διαστάσεων της καμπίνας με αυτές στον πίνακα 8 είναι εμφανής. Πρακτικά, οι αναλογίες των διαστάσεων αυτών δεν απέχουν ιδιαίτερος από αυτές που προτείνει ο Thiele. Ανακεφαλαιώνοντας, με την επιλογή των εν λόγω διαστάσεων:

- Επιτεύχθηκε ικανοποιητικός όγκος καμπίνας χωρίς να αυξηθεί το ύψος ή το πλάτος της κατασκευής.
- Λόγω του μικρού πλάτους και γενικότερα του περισσότερο συμπαγούς σχήματος, η κατασκευή θα μπορούσε να τοποθετηθεί σε στενότερους χώρους.
- Λόγω του μικρότερου σε σχέση με άλλες εναλλακτικές εκδοχές ύψους της καμπίνας, οι οδηγοί και η bass-reflex οπή δεν απέχουν σημαντικά μεταξύ τους ώστε να επηρεάζεται η αντίληψη του ακροατή ανάλογα με την θέση του σε σχέση με το κέντρο του ηχείου.

5.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ F_b

Παρότι η συχνότητα συντονισμού F_b μπορεί να επιλεγεί κατά προτίμηση ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζεται ένα ηχείο, εάν επιθυμείται η σχετικά επίπεδη συχνοτική απόκριση αυτού, προτείνεται να είναι μικρότερη της συχνότητας συντονισμού του οδηγού F_s . Σε αυτή την περίπτωση η βέλτιστη συχνότητα F_b μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση από τον εξής τύπο των Margolis – Small:

$$F_b = 0.42 \times F_s \times Q_{ts}^{-0.96} \quad (2.4)$$

Βάσει του τύπου αυτού, η βέλτιστη συχνότητα συντονισμού F_b μιας καμπίνας στην οποία χρησιμοποιείται ο οδηγός Delta Lite II είναι:

$$F_b = 0.42 \times 53 \times 0.42^{-0.96} = 51,2\text{Hz}$$

Η συχνότητα η οποία προκύπτει επιλύοντας τον τύπο είναι παρεμφερής αυτής που προτείνεται από το WinISD (50,86 Hz) για τον ίδιο οδηγό. Λαμβάνοντας υπόψιν την εγγύτητα των τιμών αυτών καθώς και την δυσκολία επίτευξης της επιθυμητής συχνότητας συντονισμού με απόλυτη ακρίβεια στην πράξη, η συχνότητα συντονισμού που επιλέχθηκε τελικά είναι τα 51 Hz.

5.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΟΠΗΣ ΚΑΙ ΣΩΛΗΝΑ

5.7.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΣΕΙ ΤΥΠΩΝ

Όπως είναι γνωστό από την σχετική θεωρία, η συχνότητα συντονισμού F_b μιας δεδομένου όγκου καμπίνας καθορίζεται από το μήκος και την διάμετρο του bass-reflex σωλήνα.

Γνωρίζοντας τον καθαρό όγκο της καμπίνας είναι εφικτός ο υπολογισμός της διαμέτρου και του μήκους του bass-reflex σωλήνα βάσει των τύπων που παρουσιάζονται στην ενότητα 2.5.3.5. Ο πρώτος τύπος υπολογισμού της διαμέτρου του σωλήνα είναι:

$$d_v \geq 39.37 \times \left(\frac{411.25 \times V_d}{\sqrt{F_b}} \right)^{0.5} \quad (2.6)$$

Ας σημειωθεί εδώ πως η τιμή της διαμέτρου στον παραπάνω τύπο, σύμφωνα με τον V. Dickason, δίνεται σε ίντσες ενώ η τιμή της παραμέτρου V_d πρέπει να εισαχθεί σε κυβικά μέτρα. Για να είναι λοιπόν ακριβή τα αποτελέσματα που θα προκύψουν αλλά και να ερμηνευτούν σωστά πρέπει να προηγηθούν οι κατάλληλες μετατροπές στο S.I.

Η τιμή της παραμέτρου V_d για τον οδηγό Delta Lite II 2510 δίνεται από την EMINENCE και είναι 147cm^3 . Προκειμένου η τιμή να είναι συμβατή με τον τύπο θα πρέπει να προηγηθεί μετατροπή αυτής σε κυβικά μέτρα. Τα 147cm^3 είναι ίσα με $0,000147\text{m}^3$.

Ο υπολογισμός που πραγματοποιήθηκε απέδωσε ως αποτέλεσμα 3,6223 ίντσες. Η τιμή αυτή ισοδυναμεί με περίπου 9,2cm. Με λίγα λόγια, σύμφωνα με την εν λόγω σχέση, η ελάχιστη προτεινόμενη διάμετρος bass-reflex σωλήνα για ένα ηχείο στο οποίο χρησιμοποιείται ο οδηγός Delta Lite II 2510 ενώ η συχνότητα συντονισμού της καμπίνας αυτού είναι 51Hz, είναι τα 9,2cm.

Για λόγους αξιοπιστίας πραγματοποιήθηκε υπολογισμός της ελάχιστης διαμέτρου οπής και με τον τύπο του Small, ο οποίος επίσης αναφέρεται στην ενότητα 2.5.3.5:

$$dv \geq 39.37 \times (F_b \times V_d)^{0.5} \quad (2.7)$$

Και σε αυτή την περίπτωση η τιμή της παραμέτρου V_d πρέπει να εισαχθεί σε κυβικά μέτρα ενώ η τιμή της ελάχιστης διαμέτρου της bass-reflex οπής δίνεται επίσης σε ίντσες. Ως αποτέλεσμα προέκυψε τιμή 3,4089 ίντσών, δηλαδή περίπου 8,7cm.

Αφού η ελάχιστη τιμή της διαμέτρου του bass-reflex σωλήνα υπολογίστηκε, ήταν εφικτός και ο υπολογισμός του μήκους του. Εφόσον χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί τύποι για τον υπολογισμό της διαμέτρου θεωρήθηκε σωστό, για να προκύψουν ακριβέστερα συμπεράσματα, πως το μήκος του σωλήνα έπρεπε να υπολογιστεί ξεχωριστά βάσει κάθε μιας από τις τιμές αυτές. Ο τύπος υπολογισμού του μήκους του σωλήνα παρουσιάστηκε επίσης στην ενότητα 2.5.3.5:

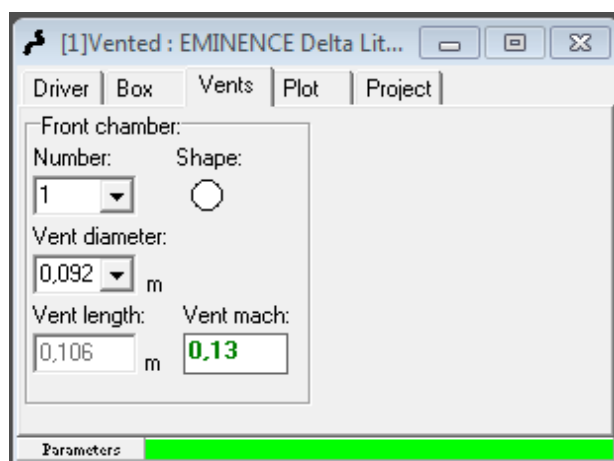
$$L_v = \frac{1.463 \times 10^7 \times R^2}{F_b^2 \times V_b} - 1.463 \times R \quad (2.5)$$

Βάσει της παραπάνω σχέσης, το απαιτούμενο μήκος σωλήνα ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή συχνότητα συντονισμού σε καμπίνα όγκου 43,5 λίτρων η οποία διαθέτει bass-reflex οπή διαμέτρου 9,2 cm, είναι 12,5 cm. Εάν η διάμετρος της οπής είναι 8,7 cm τότε το απαιτούμενο μήκος σωλήνα υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο ως 10,7 cm.

Ας σημειωθεί πως και σε αυτή την περίπτωση πραγματοποιήθηκαν μετατροπές από και προς το SI για λόγους συμβατότητας. Συγκεκριμένα, η ακτίνα R πρέπει να εισαχθεί στον τύπο ως ίντσες και ο όγκος της καμπίνας V_b σε κυβικές ίντσες. Το αποτέλεσμα που προκύπτει δίνεται αντιστοίχως σε ίντσες.

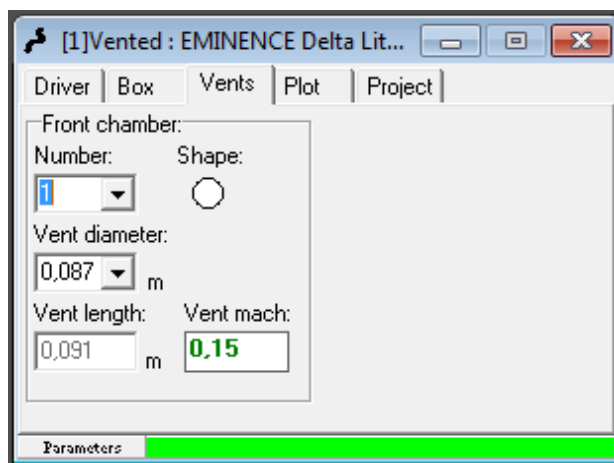
5.7.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ WinISD

Το WinISD μπορεί να πραγματοποιήσει αντίστοιχους των παραπάνω υπολογισμούς, ενώ παράλληλα εμφανίζει πληροφορίες σχετικά με την εκτιμώμενη ταχύτητα του αέρα καθώς αυτός εξέρχεται και εισέρχεται στην καμπίνα δια μέσου του bass-reflex σωλήνα.



Εικόνα 42

Αποτέλεσμα υπολογισμού διαστάσεων bass-reflex σωλήνα από την εφαρμογή WinISD προκειμένου να επιτυγχάνεται συχνότητα συντονισμού καμπίνας 51 Hz σε καμπίνα όγκου 43,5 λίτρων.



Εικόνα 43

Αποτέλεσμα υπολογισμού μήκους bass-reflex σωλήνα διαμέτρου 8,7 cm προκειμένου να επιτυγχάνεται συχνότητα συντονισμού καμπίνας 51 Hz σε καμπίνα όγκου 43,5 λίτρων.

Όπως φαίνεται και από την εικόνα 42, για καμπίνα όγκου 43,5 λίτρων και συχνότητα συντονισμού αυτής τα 51Hz, το WinISD προτείνει μήκος σωλήνα 10,6cm εάν η διάμετρος αυτού είναι 9,2cm. Η τιμή αυτή αποκλίνει αυτή που προέκυψε υπολογιστικά. Το πεδίο “Vent mach” αναφέρει την εκτιμώμενη ταχύτητα του αέρα σε σωλήνα τέτοιων διαστάσεων. Εφόσον η ένδειξη εμφανίζεται με πράσινου χρώματος χαρακτήρες, εκτιμάται πως δεν θα παρουσιαστεί θόρυβος εξαιτίας αυξημένης ταχύτητας του αέρα στον σωλήνα.

Εάν η διάμετρος του σωλήνα είναι 8,7cm, όπως δηλαδή υπολογίστηκε από τον τύπο του Small, τότε, σύμφωνα με το WinISD (εικόνα 43), το μήκος του έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή συχνότητα F_b πρέπει να είναι 9,1cm. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται επίσης κάποια απόκλιση από την τιμή που προέκυψε υπολογιστικά. Η ταχύτητα του αέρα εντός του σωλήνα εκτιμάται πως θα είναι μεγαλύτερη αλλά εντός των προτεινόμενων πλαισίων.

5.7.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕ ΑΛΛΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Οι τρόποι υπολογισμού των διαστάσεων του bass-reflex σωλήνα που παρουσιάστηκαν ως τώρα είναι οι δημοφιλέστεροι. Υπάρχουν ωστόσο κι άλλες εναλλακτικές μέθοδοι. Ενδεικτικά αναφέρεται πως στην ιστοσελίδα <http://www.ajdesigner.com/> μπορεί να βρεθεί μια διαδικτυακή εφαρμογή σχεδιασμού ηχείων αντίστοιχη του WinISD, το “AJ Subwoofer Vent Equations and Formulas Calculator”. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται από την εν λόγω εφαρμογή χρησιμοποιεί παραλλαγές των τύπων του Dickason και του Small, ενσωματώνοντας σε αυτούς κάποιους διορθωτικούς παράγοντες. Σύμφωνα με αυτή, για καμπίνα όγκου 43,5 λίτρων με συχνότητα συντονισμού F_b 51Hz, στην οποία χρησιμοποιείται οδηγός διαμέτρου 10 ιντσών με παράμετρο X_{max} ίση με 4,2mm, η ελάχιστη διάμετρος του bass-reflex σωλήνα θα πρέπει να είναι ίση με περίπου 11.1cm ενώ το μήκος αυτού θα πρέπει να είναι ίσο με περίπου 18,8 cm.

Εάν η διάμετρος του σωλήνα είναι 9,2 cm τότε το μήκος του, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή συχνότητα συντονισμού f_b , θα πρέπει να είναι σχεδόν 12 cm. Αντίστοιχα, εάν η διάμετρος του σωλήνα είναι 8,7 cm το μήκος του πρέπει να είναι περίπου 10,4 cm.

Ανακεφαλαιώνοντας, στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν:

Ελάχιστη προτεινόμενη διάμετρος οπής. (cm)	Κατά Dickason	Κατά Small	AjDesign
		9,2	8,7

Πίνακας 10

Οι ελάχιστες προτεινόμενες διαμέτροι σωλήνα όπως προκύπτουν από τους τύπους των Dickason και Small, καθώς και από το λογισμικό AJ Design Subwoofer Vent Equations and Formulas Calculator.

Διάμετρος (cm)	Μήκος κατά Dickason (cm)	Μήκος κατά WinISD (cm)	Μήκος κατά AjDesign (cm)
9,2	12,5	10,6	12
8,7	10,7	9,1	10,4
11,1	17,6	19,8	18,8

Πίνακας 11

Κατάλληλα μήκη σωλήνα για δεδομένες διαμέτρους προκειμένου να επιτυγχάνεται η επιθυμητή συχνότητα συντονισμού της καμπίνας. Τα μήκη αυτά έχουν υπολογιστεί με τρεις διαφορετικές μεθόδους.

5.7.4 ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Το κύριο συμπέρασμα το οποίο προκύπτει από την μελέτη των πινάκων 10 και 11, είναι πως κάθε μέθοδος υπολογισμού των ιδανικών διαστάσεων του bass-reflex σωλήνα παράγει διαφορετικά αποτελέσματα. Αυτό οφείλεται στις διαφορετικές παραμέτρους και διορθωτικούς παράγοντες που λαμβάνονται υπόψιν από τους αλγορίθμους υπολογισμού των εν λόγω λογισμικών.

Η επιρροή της διαμέτρου του σωλήνα στην ταχύτητα του εντός αυτού κινούμενου αέρα είναι αδιαμφισβήτητη. Ωστόσο, αυτό που δεν δύναται εύκολα να εξακριβωθεί είναι το κατά πόσο η χρήση σωλήνων σχετικά μεγάλης διαμέτρου, αντίστοιχης με αυτή που προτείνεται από λογισμικό της Aj Design, είναι απαραίτητη ή αν μια απλούστερη προσέγγιση, όπως αυτή του Small, μπορεί να αποδώσει εξίσου καλά αποτελέσματα.

Σε γενικές γραμμές ισχύει πως η εμφάνιση θορύβου από τον bass-reflex σωλήνα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την στάθμη αναπαραγωγής του ηχητικού σήματος. Όταν το σήμα αναπαράγεται σε χαμηλότερη στάθμη, το διάφραγμα κινείται ομαλότερα και κατά συνέπεια ο αέρας ωθείται εκτός της καμπίνας με μικρότερη ταχύτητα. Προβλήματα θορύβου ίσως παρουσιαστούν σε μεγαλύτερες στάθμες, όπου ο αέρας αναγκάζεται να κινηθεί με μεγαλύτερη ταχύτητα λόγω της αυξημένης ταχύτητας μετατόπισης του διαφράγματος.

Η εμφάνιση τέτοιου θορύβου εξαρτάται εν μέρη και από την συχνότητα. Όπως είναι γνωστό από τη σχετική θεωρία, όσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα του υπό αναπαραγωγή σήματος, τόσο περισσότερος αέρας μετακινείται από τον οδηγό, η μετατόπιση δηλαδή του διαφράγματος είναι μεγαλύτερη. Κατά συνέπεια, περισσότερος αέρας από το εσωτερικό της καμπίνας ωθείται εκτός αυτής δια μέσου του bass-reflex σωλήνα. Εάν η οπή είναι μικρή σε σχέση με το διάφραγμα, η αυξημένη πίεση του περικλειόμενου από την καμπίνα αέρα θα οδηγήσει στην αύξηση της

ταχύτητας του, καθώς αυτός εξέρχεται. Για τους προαναφερθέντες λόγους τέτοια φαινόμενα παρατηρούνται συχνότερα όταν χαμηλότερων προδιαγραφών woofer και subwoofer ηχεία καλούνται να αναπαράξουν χαμηλής συχνότητας σήματα υψηλών στάθμεων.

Συμπερασματικά, παρότι η χρήση ενός μεγαλύτερης διαμέτρου bass-reflex σωλήνα θα οδηγήσει στον περιορισμό της ταχύτητας με την οποία κινείται ο αέρας κατά μήκος αυτού, αυτό δεν είναι πάντα απαραίτητο. Γενικότερα, εάν δεν απαιτείται η αναπαραγωγή σημάτων εξαιρετικά χαμηλών συχνοτήτων σε υψηλές στάθμες, η διάμετρος της bass-reflex οπής προτείνεται να είναι τουλάχιστον ανάλογη αυτής που υπολογίζεται βάσει του τύπου του Small ή να αντιστοιχεί περίπου στο $1/3$ της διαμέτρου του οδηγού αναπαραγωγής χαμηλών συχνοτήτων. Γενικότερα, εάν δεν παρουσιαστούν προβλήματα θορύβου χρησιμοποιώντας έναν δεδομένης διαμέτρου σωλήνα, τότε δεν υπάρχει ανάγκη χρήσης κάποιου μεγαλύτερης.

Εάν υφίστανται προβλήματα θορύβου και η χρήση σωλήνα μεγάλης διαμέτρου δεν είναι εφικτή, ο κατασκευαστής μπορεί να ενσωματώσει στο ηχείο επιπλέον bass-reflex σωλήνες. Η ύπαρξη δύο ή περισσότερων σωλήνων μικρότερης διαμέτρου ισοδυναμεί με την ύπαρξη ενός μεγαλύτερης. Ο εμφανιζόμενος θόρυβος είναι επίσης δυνατόν να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας συγκεκριμένου σχήματος σωλήνες: Θεωρείται πως το σχήμα των άκρων του σωλήνα επηρεάζει λόγω αεροδυναμικής την ταχύτητα με την οποία ο αέρας εξέρχεται από την καμπίνα. Ένας σωλήνας του οποίου το ένα ή και τα δύο άκρα καταλήγουν σε κάποιον κεκλιμένο δακτύλιο (“φλάτζα”), εκτιμάται πως θα είναι λιγότερο επιρρεπής σε προβλήματα θορύβου.

Τέλος, προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε να τηρείται η αναλογία μήκους και διαμέτρου του bass-reflex σωλήνα για να επιτυγχάνεται σε κάθε περίπτωση η επιθυμητή συχνότητα συντονισμού της καμπίνας fb. Μια σημαντική απόκλιση της πραγματικής συχνότητας fb λόγω δυσαναλογίας του μήκους και της διαμέτρου του σωλήνα από αυτή που υπολογίστηκε θεωρητικά, δύναται να επηρεάσει δραστικά την συχνοτική απόκριση του ηχείου. Στην περίπτωση που παρατηρηθεί σημαντική απόκλιση της πραγματικής συχνοτικής απόκρισης από την επιθυμητή, αυξομειώνοντας κατάλληλα το μήκος του bass-reflex σωλήνα κατόπιν δοκιμών, ο κατασκευαστής δύναται να διορθώσει τις όποιες αστοχίες και να επιτύχει την αρχικά επιθυμητή συχνότητα συντονισμού fb.

Πάντως, εάν η απόκλιση ανάμεσα στην πραγματική και την επιθυμητή συχνότητα συντονισμού fb δεν είναι σημαντική και άρα δεν επηρεάζει δραστικά την συχνοτική απόκριση του ηχείου, μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

5.7.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ BASS REFLEX

Λαμβάνοντας υπόψιν την σχετική θεωρία, τους διάφορους εμπειρικούς κανόνες, τα αποτελέσματα των υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν αλλά και πιθανά πρακτικά ζητήματα, αποφασίστηκε να ενσωματωθεί στο ηχείο bass-reflex σωλήνας διαμέτρου 7,6cm και μήκους 6,3cm.

Παρότι φαινομενικά η διάμετρος του σωλήνα αυτού δεν συνάδει με τα αποτελέσματα των υπολογισμών που παρουσιάζονται στην προηγούμενη ενότητα, εκτιμήθηκε πως λόγω της φύσης του ηχείου και των οδηγών καθώς και των εκτιμώμενων συνθηκών χρήσης αυτού, δεν θα παρουσιάζονταν προβλήματα θορύβου. Εάν ωστόσο προέκυπτε αισθητός θόρυβος κατά την εμπειρική αξιολόγηση και τον εργαστηριακό έλεγχο του ηχείου, το πρόβλημα θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί εύκολα ενσωματώνοντας σε αυτό έναν δεύτερο bass-reflex σωλήνα ίδιας διαμέτρου και προσαρμόζοντας κατάλληλα τα μήκη των σωλήνων ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή συχνότητα συντονισμού της καμπίνας fb. Θεωρήθηκε επίσης πως η χρήση μικρότερης διαμέτρου bass-reflex σωλήνα ήταν προτιμότερη αισθητικά.

Η αρχική ιδέα ήταν να κατασκευαστεί σωλήνας διαμέτρου 9cm από plexiglass, ο οποίος θα στηριζόταν μόνιμα στην πρόσοψη με χρήση κόλλας. Ωστόσο το κόστος μιας τέτοιας υλοποίησης, παρά την αισθητική ανωτερότητα του τελικού αποτελέσματος, κρίθηκε απαγορευτικό. Προτιμήθηκε τελικά η αγορά ενός τυποποιημένου bass-reflex σωλήνα από πλαστικό. Το πρόβλημα

με τέτοιες τυποποιημένες λύσεις είναι πως διατίθενται με προκαθορισμένες διαστάσεις. Αν και το μήκος τους είναι δυνατόν να προσαρμοστεί ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής (κόβοντας μέρος του σωλήνα ή κολλώντας σε αυτόν μέρος σωλήνα ίδιας διαμέτρου), η διάμετρος αυτών δεν μπορεί να μεταβληθεί εύκολα. Στο εμπόριο κυκλοφορούν τυποποιημένοι bass-reflex σωλήνες με συνήθεις διαμέτρους 3,5cm, 4,8cm, 6,8cm, 7,3cm, 7,6cm, 9,5cm, 10,3cm, 11cm και διάφορα μήκη.

Η χρήση σωλήνα με διάμετρο 7,6cm θεωρήθηκε ως η καλύτερη, παρότι συμβιβαστική, λύση. Η συγκεκριμένη διάμετρος δεν απέχει ιδιαίτερα από αυτή που υπολογίστηκε βάσει του τύπου του Small. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, στην περίπτωση που παρουσιαζόταν αισθητός θόρυβος από την οπή ή κάποια σημαντική ανωμαλία στην απόκριση του ηχείου στην ζώνη των χαμηλών συχνοτήτων, το πρόβλημα θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί σχετικά εύκολα ενσωματώνοντας στο ηχείο ένα δεύτερο bass-reflex σωλήνα ίδιας με τον υπάρχοντα διαμέτρου και κατάλληλου μήκους.

Οι σωλήνες που αγοράστηκαν είχαν μήκος 11cm. Προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή συχνότητα συντονισμού της καμπίνας fb ωστόσο, το μήκος αυτών έπρεπε να προσαρμοστεί κατάλληλα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα μήκη που προέκυψαν για διάμετρο 7,6cm βάσει διάφορων μεθόδων υπολογισμού:

Διάμετρος (cm)	Μήκος κατά Dickason (cm)	Μήκος κατά WinISD (cm)	Μήκος κατά AjDesign (cm)
7,6	6,3	6,2	6,5

Πίνακας 12

Κατάλληλα μήκη σωλήνα διαμέτρου 7,6 cm προκειμένου να επιτυγχάνεται η επιθυμητή συχνότητα συντονισμού της καμπίνας. Τα μήκη αυτά έχουν υπολογιστεί με τρεις διαφορετικές μεθόδους.

Η απόκλιση ανάμεσα στις τιμές μήκους που προκύπτουν από τις τρεις αυτές μεθόδους δεν είναι σημαντική. Ωστόσο, αποφασίστηκε πως εφόσον ο τύπος του Dickason συναντάται συχνά στη σχετική βιβλιογραφία ενώ είναι και εξαιρετικά δημοφιλής σε διάφορες διαδικτυακές κοινότητες ερασιτεχνών κατασκευαστών ηχείων, το μήκος του σωλήνα θα έπρεπε να υπολογιστεί βάσει αυτού.

Καλό θα ήταν εδώ να σημειωθεί πως το WinISD, παρότι υπολόγισε το κατάλληλο μήκος του σωλήνα για την δεδομένη διάμετρο απροβλημάτιστα, προειδοποίησε πως η ταχύτητα του αέρα στον σωλήνα ενδέχεται να είναι μεγαλύτερη της ασφαλούς ώστε να αποφευχθούν προβλήματα αεροδυναμικού θορύβου. Όπως όμως αναφέρεται παραπάνω, αυτό ήταν εξ αρχής γνωστό και εν μέρει αναμενόμενο. Γνωρίζοντας την λογική πίσω από τις διάφορες μεθόδους υπολογισμού και λόγω της πειραματικής φύσης της παρούσας εργασίας, η προειδοποίηση του WinISD δεν λήφθηκε υπόψιν. Η δυνατότητα ωστόσο του λογισμικού να προβεί σε τέτοιες προειδοποιήσεις είναι σίγουρα χρήσιμη και μπορεί να αποτρέψει τον λιγότερο έμπειρο κατασκευαστή από σημαντικότερα λάθη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

6.1 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΩΝ

Αρχικά έπρεπε να υλοποιηθεί σχέδιο – πατρόν των πλευρών της κατασκευής ώστε ο τεχνίτης να δημιουργήσει κατάλληλων διαστάσεων οπές για τους οδηγούς, τις βίδες, τον bass-reflex σωλήνα και το τερματικό σύνδεσης με τον ενισχυτή σε συγκεκριμένα σημεία του κάθε φύλλου plexiglass. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε έτσι ώστε η χοάνη του tweeter να είναι ομόκεντρη με το woofer αλλά και ώστε οι οδηγοί να βρίσκονται στο κέντρο, κατά πλάτος, της καμπίνας. Προκειμένου να επιτευχθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια στο σχέδιο, οι οδηγοί και ο bass-reflex σωλήνας τοποθετήθηκαν επάνω στο χαρτί όπου αυτό επρόκειτο να υλοποιηθεί ώστε να καθορισθεί και να σχεδιαστεί με μεγάλη ακρίβεια η θέση αλλά και η απόσταση μεταξύ αυτών. Κατ' αντίστοιχο τρόπο αυτό καθορίστηκε και η θέση της κάθε βίδας που συγκρατεί τους οδηγούς στην καμπίνα.



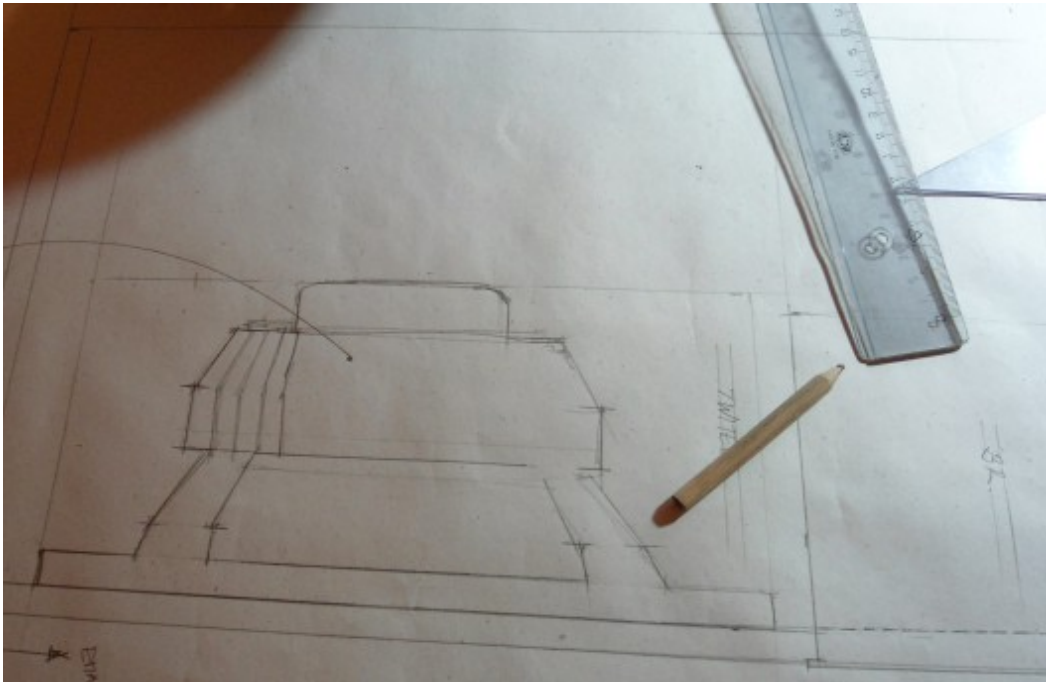
Εικόνα 44

Διαδικασία σχεδιασμού καμπίνας. Οι οδηγοί έχουν τοποθετηθεί επάνω στο χαρτί προκειμένου να καθοριστούν με ακρίβεια οι θέσεις και η απόσταση μεταξύ αυτών.

Στη συνέχεια, βάσει των διαστάσεων των διάφορων υποσυστημάτων, σχεδιάστηκαν κατ' αντίστοιχο τρόπο και οι πλαϊνές πλευρές του ηχείου, αφενός για να επαληθευτεί το κατά πόσο οι αποστάσεις μεταξύ των οδηγών στο εσωτερικό της καμπίνας ήταν επαρκείς και αφετέρου για να δοθεί μια σαφέστερη εικόνα της κατασκευής στον τεχνίτη.

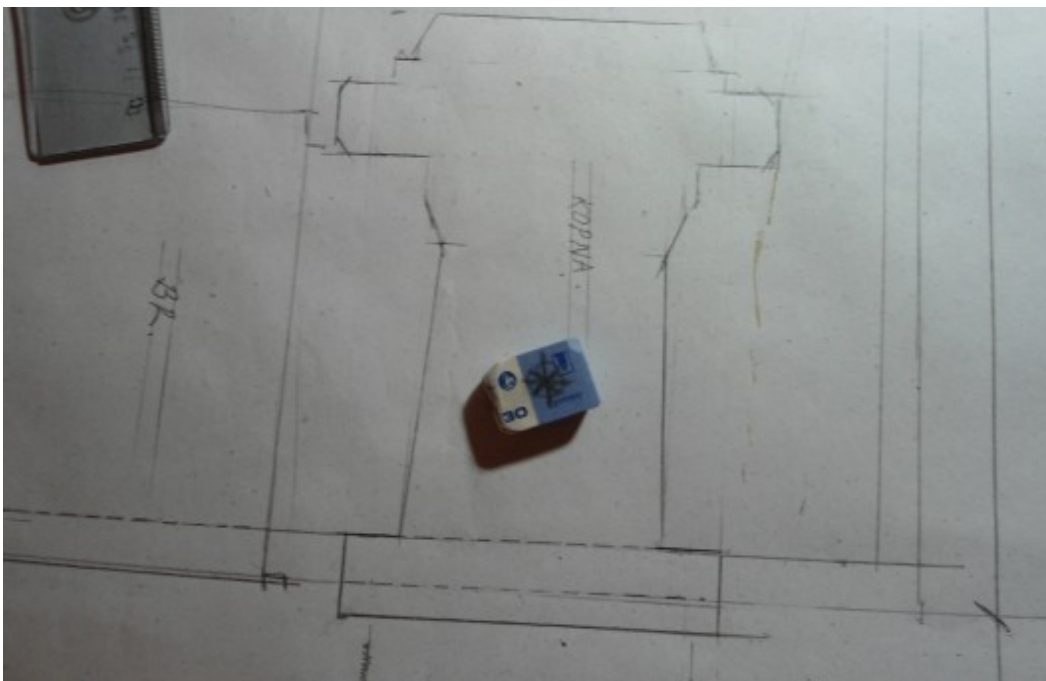
Στο σημείο αυτό επίσης καθορίστηκε η θέση του φίλτρου crossover και σημειώθηκαν στο σχέδιο οι ακριβείς θέσεις των βιδών που το συγκρατούν. Το crossover αποφασίστηκε να τοποθετηθεί σε μια εκ των πλαϊνών πλευρών της καμπίνας τόσο για αισθητικούς, όσο και για λόγους εργονομίας. Η συγκεκριμένη θέση θεωρήθηκε ιδανική προκειμένου να διευκολύνεται η πρόσβαση στο crossover καθώς και να διασφαλίζεται η σχεδόν ίση απόσταση αυτού από τους οδηγούς και από το τερματικό σύνδεσης με τον ενισχυτή στην πίσω πλευρά του ηχείου. Γενικότερα, η τοποθέτηση του crossover σε αυτό το σημείο συμβάλει στην καλύτερη οργάνωση του εσωτερικού της καμπίνας επιτρέποντας την χρήση καλωδίων μικρότερου μήκους τα οποία μπορούν να αφηθούν ελεύθερα στο κέντρο της καμπίνας, διευκολύνοντας έτσι την πρόσβαση και την εργασία στο εσωτερικό αυτής.

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται το σχέδιο των πλαϊνών πλευρών του ηχείου συμπεριλαμβάνοντας τους οδηγούς, όπως αυτοί είναι ορατοί πλευρικά:



Εικόνα 45

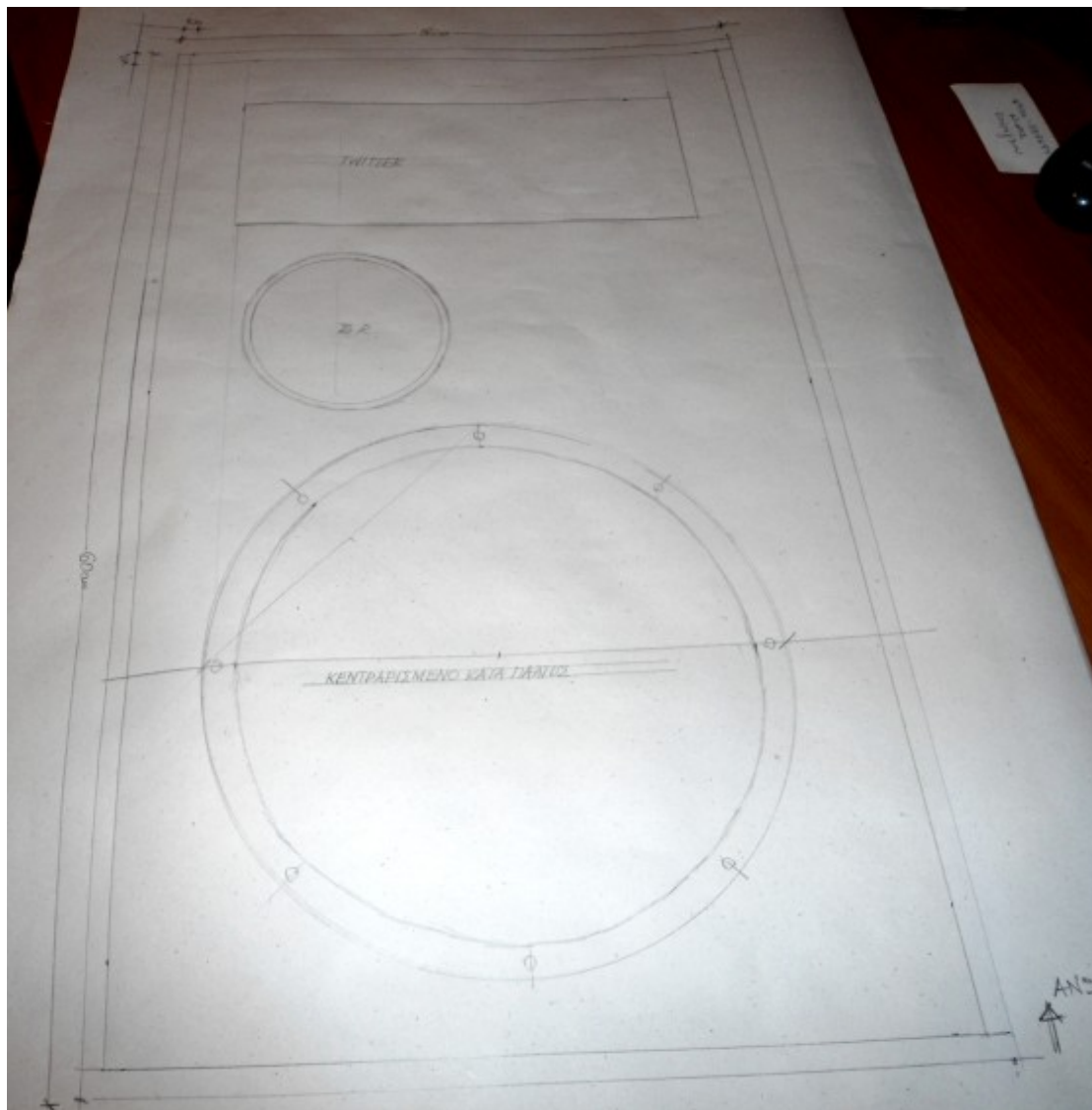
Σχεδιασμός πλαϊνών πλευρών καμπίνας. Διακρίνεται το σχέδιο του woofer και του bass-reflex σωλήνα.



Εικόνα 46

Σχεδιασμός πλαϊνών πλευρών καμπίνας. Διακρίνεται το σχέδιο του tweeter και του bass-reflex σωλήνα.

Τέλος, στο σχέδιο αναπαρίσταται και το πάχος των τοιχωμάτων έτσι ώστε οι αποστάσεις ανάμεσα στους οδηγούς και αυτά να είναι περιγράφονται με σαφήνεια. Το τελικό σχέδιο παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 47

Σχέδιο πρόσοψης της καμπίνας. Στην παρούσα φάση το σχέδιο έχει σχεδόν ολοκληρωθεί.

Αφού το σχέδιο παρουσιάστηκε στον τεχνίτη, συζητήθηκαν οι τελικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Αποφασίστηκε η μόνιμη συγκόλληση των πλευρών της καμπίνας με χρήση ειδικής κόλλας ώστε να προκύψει μια περισσότερο συμπαγής κατασκευή και να διασφαλιστεί πως δεν θα προκύψουν διαρροές ηχητικής ακτινοβολίας από τα διάφορα σημεία ένωσης. Η πίσω πλευρά της καμπίνας ωστόσο προτιμήθηκε να είναι αποσπώμενη προκειμένου να είναι δυνατή η πρόσβαση στο εσωτερικό του ηχείου, διευκολύνοντας τόσο την συναρμολόγηση όσο και πιθανές μελλοντικές επεμβάσεις (π.χ για επισκευή ή αντικατάσταση υποσυστημάτων). Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεκαέξι συνολικά βίδες τύπου allen, οι οποίες τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτεται το σύνολο της περιμέτρου της πίσω πλευράς της καμπίνας. Εκτιμήθηκε πως χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό από βίδες και με μικρή μεταξύ τους απόσταση, θα επιτυγχανόταν η απαιτούμενη στιβαρότητα κατασκευής και θα περιοριζόταν η διαρροή ηχητικής ακτινοβολίας από

τα κενά ανάμεσα στα προσπίπτοντα φύλλα plexiglass.

Για την στήριξη του woofer και της χοάνης στην πρόσοψη της καμπίνας χρησιμοποιήθηκαν επίσης βίδες τύπου allen. Ο οδηγός και η χοάνη ασφαλίστηκαν τοποθετώντας παξιμάδια ασφαλείας στο πίσω μέρος των βιδών υποστήριξης. Στο εσωτερικό ενός τέτοιου παξιμαδιού υπάρχει ένα δακτύλιος από ελαστικό υλικό ο οποίος καθιστά δυσκολότερη την απόσπαση του από την βίδα στην οποία είναι τοποθετημένο. Εκτιμήθηκε επίσης πως ο δακτύλιος αυτός, λόγω της ελαστικότητάς του, παρέχει κάποιο ποσοστό απόσβεσης συμβάλλοντας στον έλεγχο των κραδασμών που δύνανται να προκύψουν κατά την λειτουργία των οδηγών. Τέτοιοι κραδασμοί θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην πρόωρη φθορά των βιδών που συγκρατούν τα μεγάφωνα στην πρόσοψη της καμπίνας αλλά και να προκαλέσουν ακουστό θόρυβο⁵⁵, ιδιαίτερα στις χαμηλές συχνότητες όπου η μετατόπιση του διαφράγματος του woofer είναι μεγάλη.

Τα φίλτρα crossover αποφασίστηκε να στηριχτούν με απλές βίδες και να ασφαλιστούν στην θέση τους με παξιμάδια. Οι βίδες διαθέτουν τέτοιο μήκος ώστε να μην υφίσταται κενό ανάμεσα στην κεφαλή αυτών και το παξιμάδι και έτσι να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή στήριξη της πλακέτας του crossover.

6.2 ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ

Μετά το πέρας της κατασκευή των καμπίνων, τοποθετήθηκαν σε αυτές οι χοάνες και οι οδηγοί. Παρατηρήθηκε πως λόγω κατασκευαστικής αστοχίας η επιφάνεια των άκρων των χοανών δεν είναι ομαλή με αποτέλεσμα να προκύπτουν κενά μερικών χιλιοστών του μέτρου στα σημεία επαφής αυτών με τους οδηγούς tweeter. Αν και η ύπαρξη των κενών αυτών πιθανότατα δεν θα επέτρεπε την διαρροή ηχητικής ακτινοβολίας, προτιμήθηκε η κάλυψη τους τοποθετώντας στρώσεις κολλητικής ταινίας.



Εικόνα 48

Η καμπίνα του ηχείου με εγκατεστημένους τους οδηγούς woofer και tweeter.

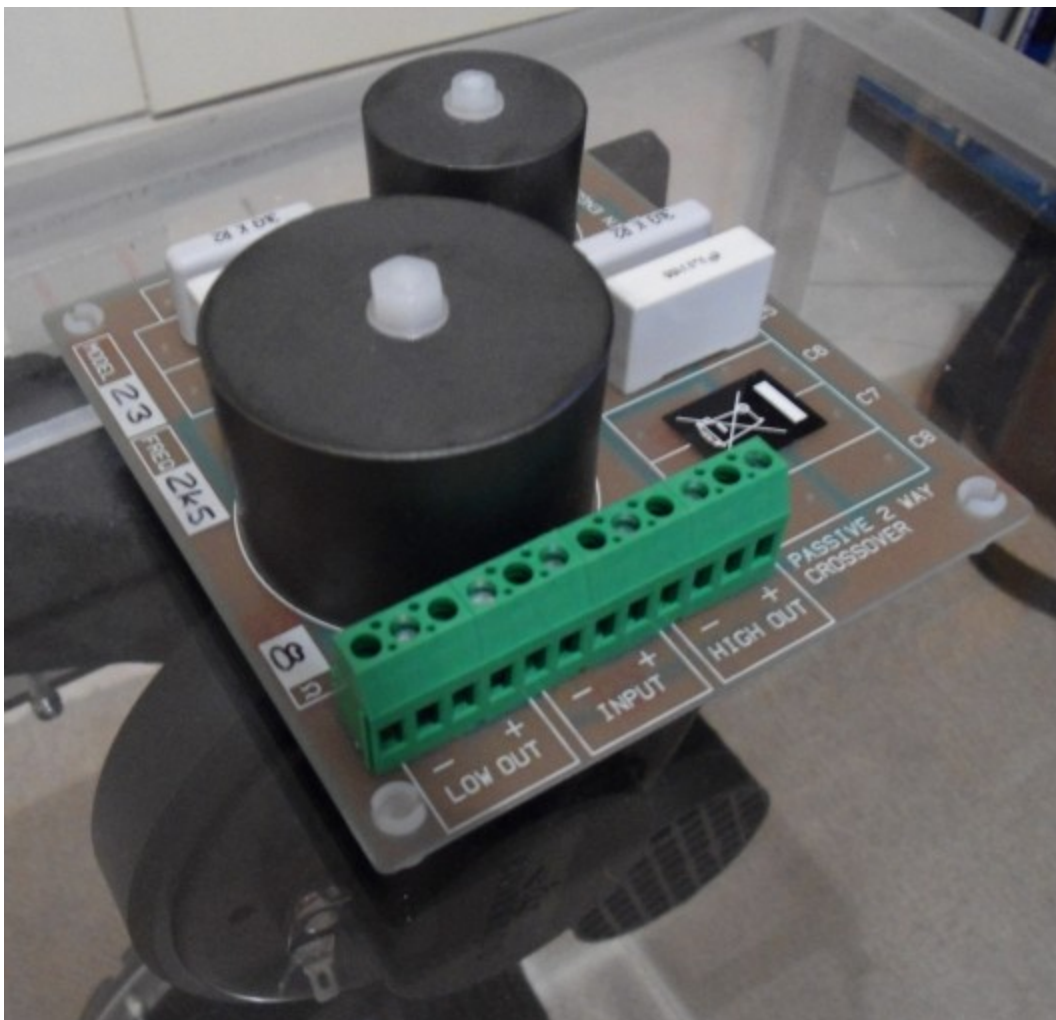
55. Βλ. Ενότητα 4.3.2.2

6.2.1 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΦΙΛΤΡΩΝ CROSSOVER

Αφού εγκαταστάθηκαν οι οδηγοί, τοποθετήθηκαν στην καμπίνα τα φίλτρα crossover και πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες συνδέσεις μεταξύ αυτών, των οδηγών και το τερματικό σύνδεσης με τον ενισχυτή:

Τα φίλτρα crossover διαθέτουν δύο ζεύγη εξόδων και ένα ζεύγος εισόδων. Κάθε ζεύγος εξόδων διαθέτει μια θετική και μια αρνητική έξοδο και αντίστοιχα, το ζεύγος εισόδων διαθέτει μια θετική και μια αρνητική είσοδο. Η σήμανση αυτή αφορά τον τρόπο σύνδεσης του crossover με τα υπόλοιπα υποσυστήματα: Οι θύρες που σημαίνονται ως θετικές καταλήγουν σε θετικό τερματικό (συνήθως κόκκινου χρώματος) των οδηγών ή του τερματικού εισόδου του ηχείου. Αντίστοιχα, οι θύρες που σημαίνονται ως αρνητικές καταλήγουν σε αρνητικό (συνήθως μαύρου χρώματος) τερματικό.

Αναλυτικότερα, οι έξοδοι “low out” των crossover προορίζονται για την σύνδεση σε αυτά των οδηγών χαμηλών συχνοτήτων (woofer), οι έξοδοι “high out” για την σύνδεση των οδηγών υψηλών συχνοτήτων (tweeter) και οι εισοδοί “input” για την σύνδεση στα τερματικά εισόδου των ηχείων τα οποία συνδέονται με τον ενισχυτή.



Εικόνα 49

Το φίλτρο διαχωρισμού συχνοτήτων Link Dynamics LDX23. Διακρίνεται το τερματικό σύνδεσης με τα υπόλοιπα υποσυστήματα του ηχείου καθώς και η σήμανση των διάφορων θυρών αυτού.

Μετά την τοποθέτηση των φίλτρων crossover και της ολοκλήρωσης των απαραίτητων συνδέσεων το ηχείο είχε σχεδόν ολοκληρωθεί:



Εικόνα 50
Το συναρμολογημένο πλέον ηχείο.

6.2.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΞΑΣΘΕΝΗΤΩΝ

Ας σημειωθεί πως η κατασκευή των εξασθενητών πραγματοποιήθηκε κατόπιν της εμπειρικής αξιολόγησης και των προκαταρκτικών μετρήσεων της απόδοσης του ηχείου. Η μέθοδος η οποία ακολουθήθηκε περιγράφεται αναλυτικά στην ενότητα 7.1.2. Η παρούσα ενότητα τοποθετήθηκε στο σημείο αυτό της εργασίας καθαρά για λόγους συνοχής του περιεχομένου. Πριν την μελέτη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις μετρήσεις αυτές, ήταν πρακτικά αδύνατο να καθοριστεί το επιθυμητό επίπεδο εξασθένησης του οδηγού tweeter. Τα μόνα διαθέσιμα, στην παρούσα φάση, στοιχεία τα οποία αναδείκνυαν την διαφορά αποδοτικότητας μεταξύ των οδηγών προέρχονταν από τα τεχνικά δελτία και τα εγχειρίδια χρήσης που τους συνόδευαν. Ωστόσο, εκτιμήθηκε πως η αξία των συγκεκριμένων στοιχείων είναι περιορισμένη εφόσον οι μετρήσεις της EMINENCE πραγματοποιήθηκαν υπό ελεγχόμενες, εργαστηριακές συνθήκες και δεν ταυτίζονται απαραίτητα με την υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργία των οδηγών.

Όπως είναι γνωστό από την ενότητα 3.2, ένας εξασθενητής L-PAD αποτελείται από δύο αντιστάσεις. Η ωμική τιμή των αντιστάσεων αυτών καθορίζει την συνολική εξασθένηση που παρέχεται από το κύκλωμα, καθώς και την σύνθετη αντίσταση εισόδου του οδηγού στον οποίο έχει ενσωματωθεί ο εξασθενητής. Η ωμική τιμή των αντιστάσεων δίνεται από τις σχέσεις 10 και 11 που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 3.2.2:

$$R_1 = \left(\frac{10^{\frac{A}{20}} - 1}{10^{\frac{A}{20}}} \right) \times Z \quad (3.1)$$

$$R_2 = \left(\frac{1}{10^{\frac{A}{20}} - 1} \right) \times Z \quad (3.2)$$

Σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις, εφόσον η σύνθετη αντίσταση Z του οδηγού είναι 8 Ohm και η επιθυμητή εξασθένηση είναι 6 dB, η αντίσταση R_1 πρέπει να είναι 3,99 Ohm και αντίστοιχα η αντίσταση R_2 πρέπει να είναι 8,04 Ohm.

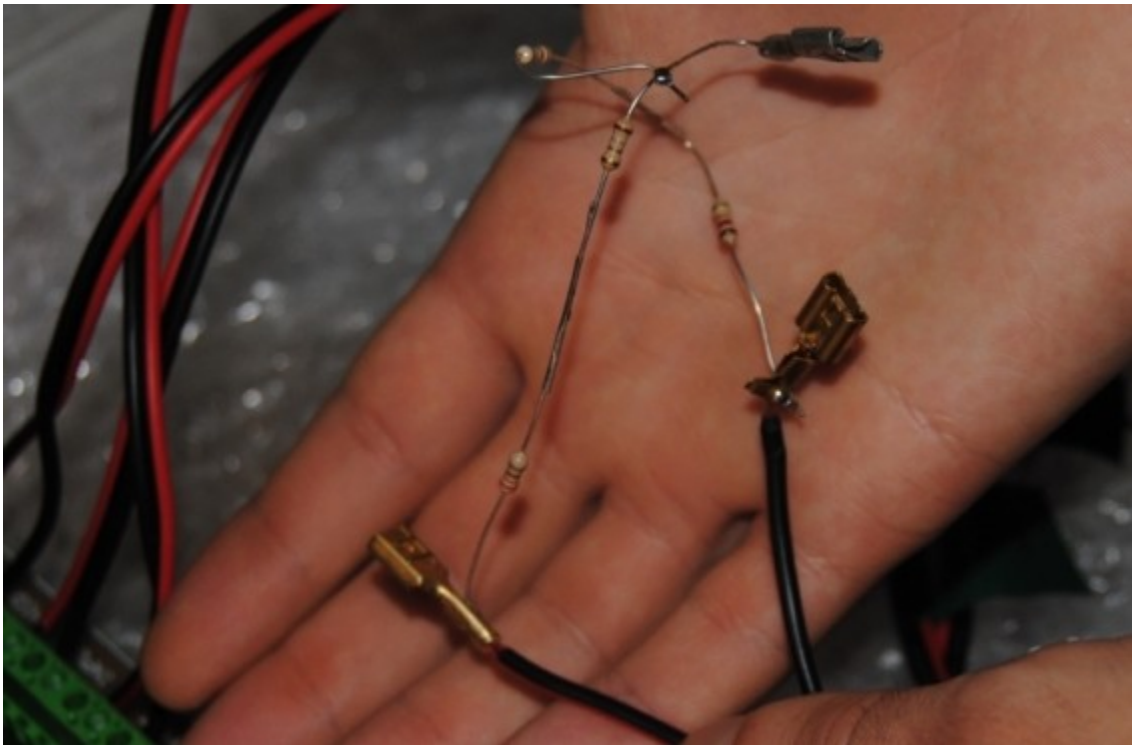
Ελλείψει αντιστάσεων με ακριβώς τις επιθυμητές ωμικές τιμές, αυτές προσεγγίστηκαν συνδυάζοντας διαθέσιμες αντιστάσεις μικρότερης ωμικής τιμής. Συγκεκριμένα:

Αντίσταση	Επιθυμητή τιμή (Ohm)	Πραγματική τιμή (Ohm)	Συνδυασμός αντιστάσεων (Ohm)
R1	3.99	4	2,2 + 1,8
R2	8.04	8	6,8 + 1,2

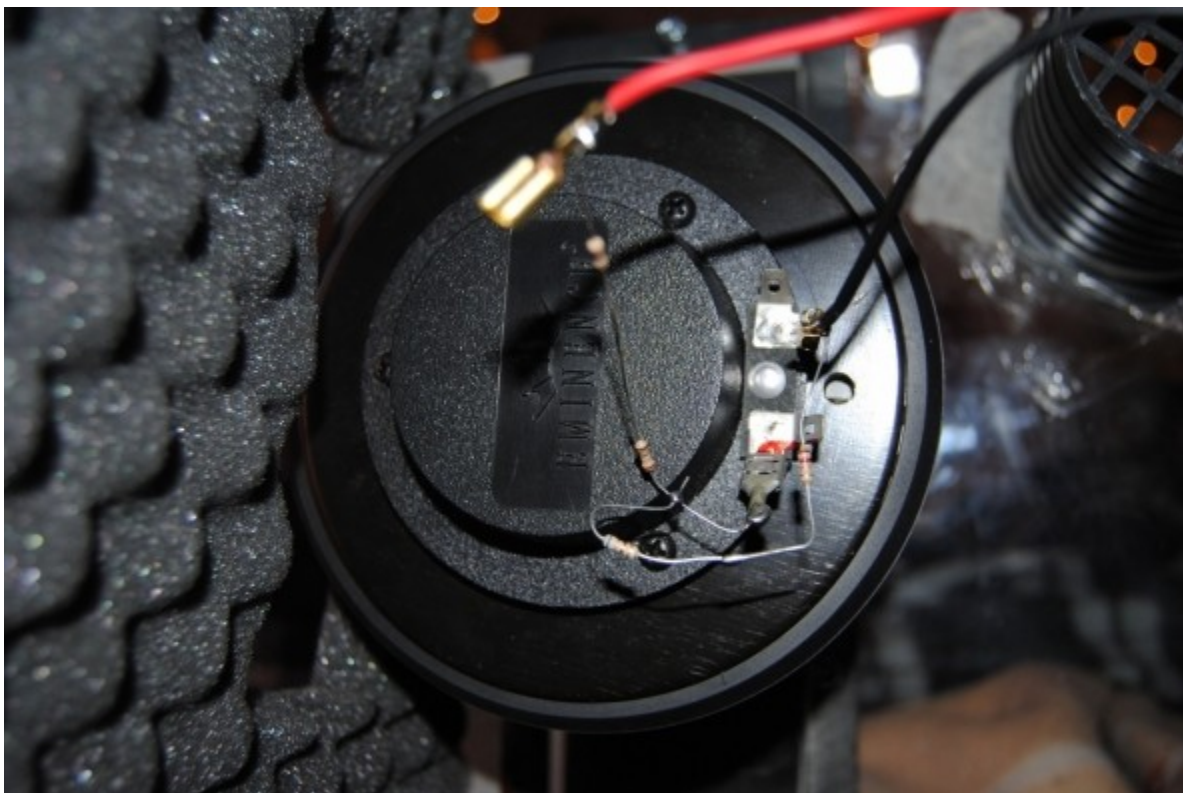
Πίνακας 13

Ωμικές τιμές των αντιστάσεων που χρησιμοποιήθηκαν στους εξασθενητές L-PAD.

Εφόσον οι πραγματικές τιμές των αντιστάσεων που χρησιμοποιήθηκαν δεν διαφέρουν σημαντικά από αυτές που προέκυψαν υπολογιστικά, εκτιμήθηκε πως η εξασθένηση που θα προκύψει ενσωματώνοντας τον εν λόγω εξασθενητή στο tweeter δεν θα αποκλίνει σημαντικά από την επιθυμητή, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα πως δεν θα υπάρξει μετατόπιση του crossover point σε άλλη συχνότητα.



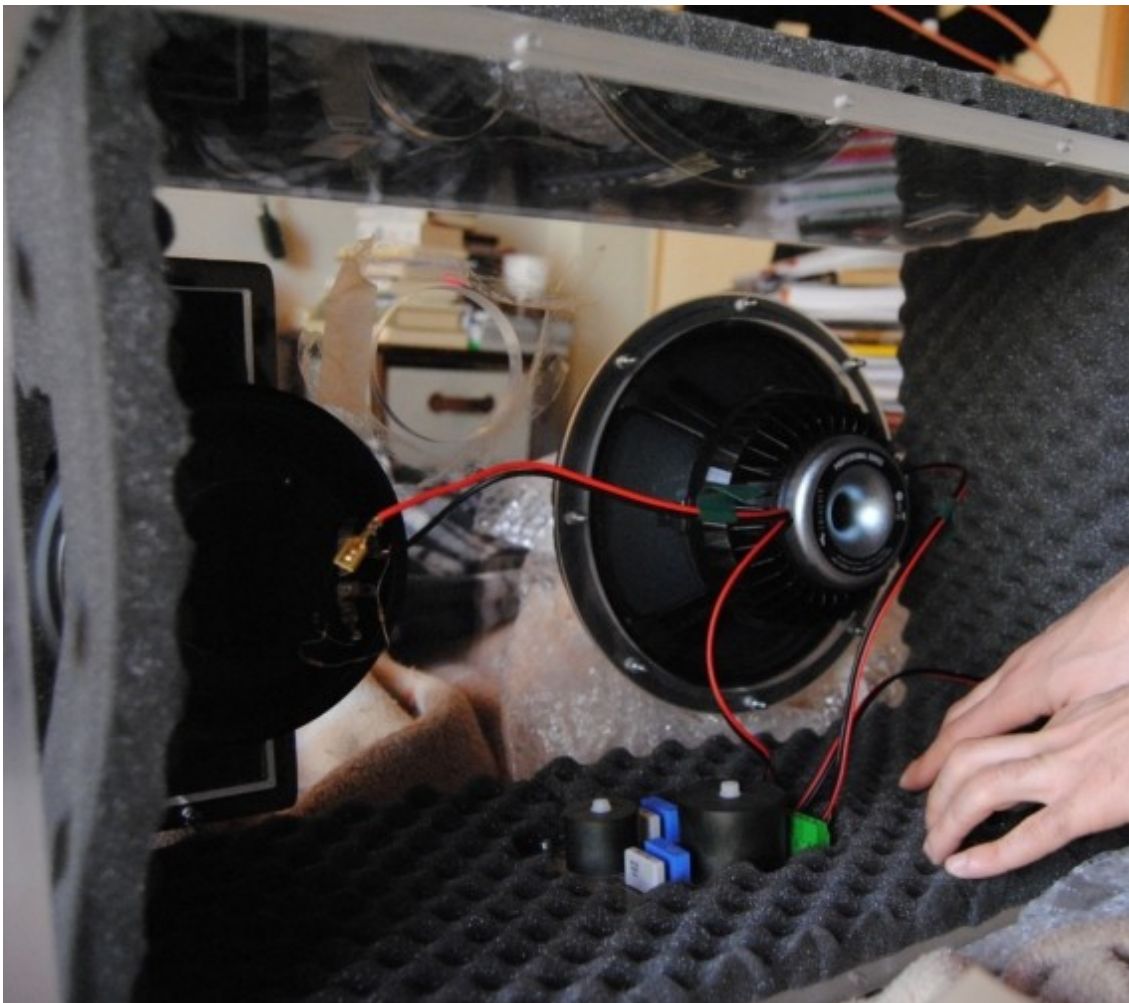
Εικόνα 51
Απλή διάταξη εξασθενητή με αντιστάσεις σε συνδεσμολογία L-PAD.



Εικόνα 52
Ο αυτοσχέδιος εξασθενητής συνδεδεμένος στον οδηγό tweeter.

6.2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Όλες οι εσωτερικές επιφάνειες της καμπίνας πλην της πρόσοψης καλύφθηκαν με αφρώδες ηχοαπορροφητικό υλικό τύπου “αυγοθήκης” Rikofon. Το συγκεκριμένο υλικό διατίθεται σε συσκευασίες των τριών φύλλων και αποτελεί αποδεκτή μέθοδο απόσβεσης για τον περιορισμό των στάσιμων κυμάτων και διάφορων συντονισμών στο εσωτερικό της καμπίνας. Το υλικό αυτό προτιμήθηκε γιατί αφενός διαθέτει απορροφητικές ιδιότητες λόγω της αφρώδους φύσης του και αφετέρου, επειδή το ιδιόμορφο σχήμα του θεωρείται πως είναι ικανό να προκαλέσει, σε κάποιο βαθμό, διάθλαση της προσπίπτουσας σε αυτό ηχητικής ακτινοβολίας και αποτρέποντας έτσι τον σχηματισμό στάσιμων κυμάτων. Ας σημειωθεί πως πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της συχνοτικής απόκρισης του ηχείου τόσο με ηχοαπορροφητικό υλικό όσο και χωρίς. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών παρουσιάζονται σε επόμενη ενότητα.



Εικόνα 53

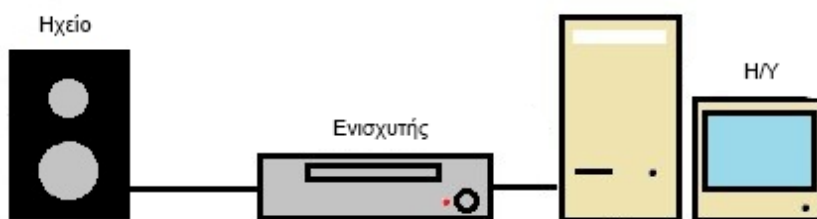
Τοποθέτηση ηχοαπορροφητικού υλικού επί των εσωτερικών τοιχωμάτων της καμπίνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

7.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, πραγματοποιήθηκε μια πρώτη δοκιμή των ηχείων προκειμένου να επιβεβαιωθεί η ομαλή λειτουργία όλων των υποσυστημάτων καθώς και η ορθότητα των μεταξύ τους συνδέσεων. Το κάθε ηχείο εξετάστηκε σε πρώτη φάση ξεχωριστά και στην συνέχεια, αφού διαπιστώθηκε η ομαλή λειτουργία και των δύο, αξιολογήθηκαν ως ζεύγος σε stereo λειτουργία.

Ο ενισχυτής που χρησιμοποιήθηκε κατά την πρώτη αυτή δοκιμή είναι ο PM660 της εταιρείας Harman / Kardon. Διαθέτει ισχύ 80 Watt RMS και η ονομαστική σύνθετη αντίσταση εξόδου αυτού είναι 8 Ohm. Ως πηγή σήματος χρησιμοποιήθηκε H/Y κατάλληλα συνδεδεμένος στον ενισχυτή. Όλοι οι εξασθενητές του ενισχυτή και του λογισμικού αναπαραγωγής που χρησιμοποιήθηκε απενεργοποιήθηκαν προκειμένου να μην επηρεάσουν την συχνοτική απόκριση του ηχείου ή, εάν αυτό δεν ήταν δυνατό, τέθηκαν σε ουδέτερη θέση (flat). Η απλή συνδεσμολογία μεταξύ των συστημάτων παρουσιάζεται στην εικόνα 54:



Εικόνα 54

Βασική συνδεσμολογία για την λειτουργία του ηχείου.

Η πρώτη διαπίστωση μετά από ακροάσεις διάφορων μουσικών κομματιών ήταν πως, παρότι το ηχείο λειτουργούσε κανονικά, η παρουσία των υψηλών και υψηλομεσαίων συχνοτήτων στο αναπαραγόμενο ηχητικό υλικό ήταν ιδιαίτερα έντονη, σε βαθμό μάλιστα που να χαρακτηρίζεται ενοχλητική για τον ακροατή. Το φαινόμενο αυτό, το οποίο παρατηρήθηκε εξίσου και στα δύο ηχεία, ήταν ωστόσο αναμενόμενο και οφείλεται στην μεγαλύτερη, συγκριτικά με τα woofers, αποδοτικότητα των tweeter.

Ας σημειωθεί ωστόσο πως κατά τις ακροάσεις που ακολούθησαν, έχοντας αυτή τη φορά θέσει και τα δύο ηχεία σε λειτουργία ως stereo ζεύγος, παρατηρήθηκε μεν πάλι εντονότερη παρουσία των υψηλών και υψηλομεσαίων συχνοτήτων, η οποία όμως, σε αντίθεση με τις προηγούμενες δοκιμές όπου εξετάστηκε κάθε ηχείο μεμονωμένα, δεν ήταν ενοχλητική. Εκτιμάται πως η διαφορά αυτή στην αντίληψη όσον αφορά το συχνοτικό περιεχόμενο του υπό αναπαραγωγή μουσικού υλικού, οφείλεται αφενός στην τήρηση των κανόνων στερεοφωνικής ακρόασης (απόσταση μεταξύ ηχείων, απόσταση ηχείων από τοίχους, απόσταση μεταξύ ηχείων και ακροατή, γωνία εκπομπής, θέση ακροατή ακριβώς στο νοητό κέντρο της στερεοφωνικής εικόνας), και αφετέρου στην πληρότητα αυτού εφόσον αποτελεί προϊόν στερεοφωνικής μίξης: η χρήση ενός μόνο ηχείου για την αναπαραγωγή μιας stereo μίξης έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια της ηχητικής πληροφορίας που προορίζεται για το δεύτερο κανάλι – ηχείο).

Επίσης, ο χώρος στον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες αυτές ακροάσεις είναι ο πλέον ακατάλληλος για την ακρόαση μουσικής. Οι μικρές του διαστάσεις, καθώς και το γεγονός πως δεν υπάρχουν εντός του επιφάνειες με ικανοποιητικές ηχοαπορροφητικές ιδιότητες πιθανότατα οδήγησαν στην δημιουργία αντηχήσεων, οι οποίες συνέβαλαν στην έντονη αντίληψη των υψηλών συχνοτήτων.

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 3.2 πάντως, το πρόβλημα της άνισης αποδοτικότητας ανάμεσα στους δύο οδηγούς θα μπορούσε εύκολα να λυθεί με την ενσωμάτωση στο tweeter

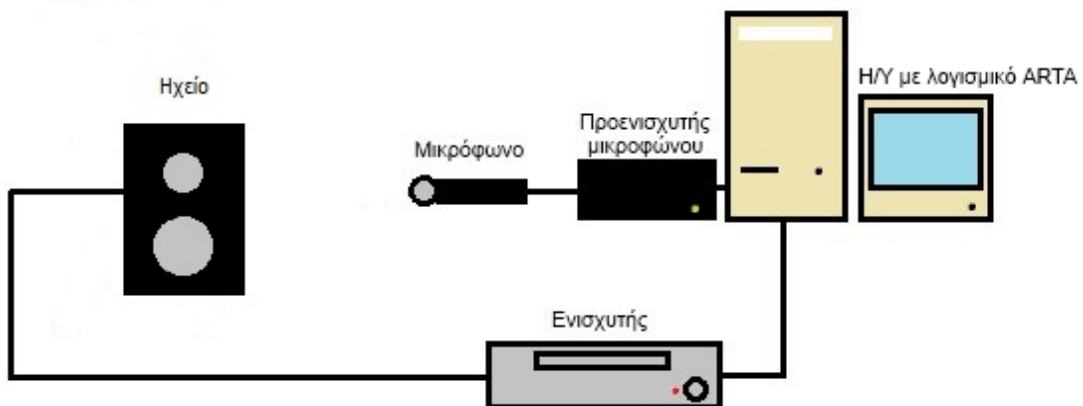
κάποιου εξασθενητή L-PAD ή, ακόμα κι αν αυτό δεν ήταν εφικτό, με κατάλληλη χρήση κάποιου ισοσταθμιστή.

7.1.1 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Πριν πραγματοποιηθούν ακριβέστερες μετρήσεις κρίθηκε απαραίτητη η εκτέλεση σειράς προκαταρκτικών μετρήσεων με στόχο την καλύτερη αντίληψη της διαφοράς αποδοτικότητας μεταξύ των οδηγών και την εξαγωγή συμπερασμάτων τα οποία θα επέτρεπαν την αντιμετώπισή του προβλήματος.

Η ακρίβεια των μετρήσεων αυτών ήταν σημαντικά περιορισμένη λόγω του διαθέσιμου, μη εξειδικευμένου, εξοπλισμού καθώς και του χώρου στον οποίο πραγματοποιήθηκαν. Ακολουθεί λίστα του εξοπλισμού ενώ στην εικόνα 55 παρουσιάζεται και η συνδεσμολογία των διάφορων συσκευών:

- Η/Υ με ολοκληρωμένο κύκλωμα ήχου Realtek ALC883.
- Λογισμικό ARTA, έκδοση 1.7.1.
- Κονσόλα Phonic AM240 ως προενισχυτής μικροφώνου.
- Μικρόφωνο AKG C414 EB P48. Το μικρόφωνο αυτό δεν είναι ιδανικό για μετρήσεις. Αφενός η συχνотική του απόκριση δεν είναι απόλυτα επίπεδη και αφετέρου, λόγω του ότι πρόκειται για μεγάλο διαφράγματος μικρόφωνο, η ευαισθησία του στις υψηλότερες συχνότητες είναι μειωμένη. Κρίθηκε ωστόσο επαρκές εφόσον οι μετρήσεις σε αυτό το στάδιο θα ήταν πρόχειρες και επειδή δεν υπήρχε διαθέσιμο κάποιο εξειδικευμένο μετρητικό μικρόφωνο.
- Ενισχυτής Harman/Kardon PM660.



Εικόνα 55
Συνδεσμολογία διάταξης μέτρησης.

Πριν περιγραφεί με ακρίβεια η μετρητική διαδικασία, θα ήταν καλό να σημειωθεί πως δεν στάθηκε δυνατόν να πραγματοποιηθεί πλήρης βαθμονόμηση (calibration) του συστήματος μέτρησης. Το λογισμικό ARTA υποστηρίζει την εισαγωγή αρχείων βαθμονόμησης μικροφώνου (microphone calibration files). Τα αρχεία αυτού του τύπου είναι στην πράξη απλές βάσεις

δεδομένων, στις οποίες περιέχονται πληροφορίες σχετικές με την συχνοτική απόκριση του μικροφώνου που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Η εφαρμογή μπορεί να αναγνώσει τις πληροφορίες αυτές και να διορθώσει τα αποτελέσματα της εκάστοτε μέτρησης, έτσι ώστε το αποτέλεσμα να προκύπτει ανεπηρέαστο από τα χαρακτηριστικά του μικροφώνου, περιορίζοντας έτσι το ποσοστό σφάλματος. Παρότι τα περισσότερα μετρητικά μικρόφωνα συνοδεύονται από το απαραίτητο αρχείο βαθμονόμησης, κάτι τέτοιο συνήθως δεν ισχύει για μικρόφωνα τα οποία προορίζονται για ηχογράφηση. Δυστυχώς, η εύρεση τέτοιου αρχείου βαθμονόμησης για το μικρόφωνο AKG C414 EB P48 δεν ήταν δυνατή.

Πριν πραγματοποιηθεί κάποια μέτρηση διασφαλίστηκε πως οι συνθήκες ήταν κατάλληλες προκειμένου να προκύψουν σχετικά ακριβή αποτελέσματα:

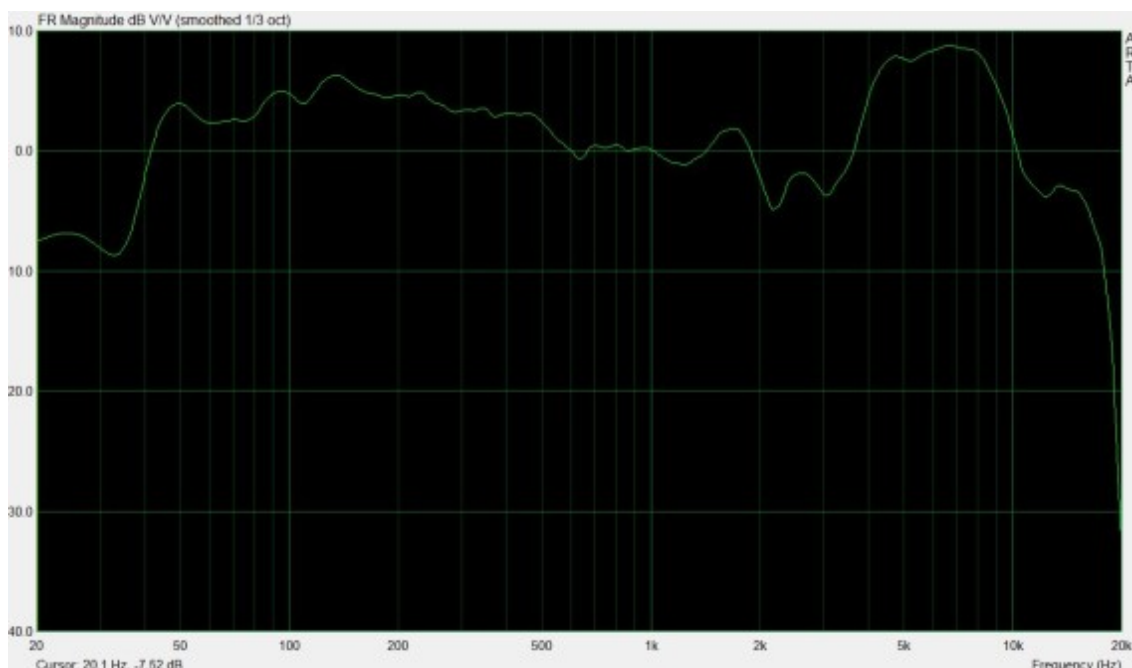
- Οι ισοσταθμιστές του ενισχυτή Harman / Kardon PM660 και της κονσόλας Phonic AM240 απενεργοποιήθηκαν ή, όπου αυτό δεν ήταν εφικτό, τέθηκαν σε ουδέτερη θέση (flat).
- Τα φίλτρα αποκοπής συχνοτήτων του μικροφώνου AKG C414 EB P48 απενεργοποιήθηκαν.
- Ο θόρυβος βάθους περιορίστηκε απομονώνοντας ή καλύπτοντας κάθε πηγή ήχου, όπως ο Η/Υ, εντός του χώρου μετρήσεων.
- Το μικρόφωνο ρυθμίστηκε έτσι ώστε να λειτουργεί ως καρδιοειδές. Με τον τρόπο αυτό εκτιμήθηκε πως θα περιοριζόταν η λήψη ανακλάσεων από τον τοίχο που βρισκόταν απέναντι από το ηχείο.
- Το ηχείο τοποθετήθηκε σε κατάλληλου ύψους στήριγμα προκειμένου να απέχει σημαντικά από το έδαφος ή οποιαδήποτε άλλη ανακλαστική επιφάνεια, έτσι ώστε να είναι ευκολότερος ο εντοπισμός της πρώτης ανάκλαση στο γράφημα κρουστικής απόκρισης που θα παρήγαγε το ARTA μετά το πέρας κάποιας μέτρησης. Με τον τρόπο αυτό η καμπύλη συχνοτικής απόκρισης που θα προέκυπτε κατόπιν μετασχηματισμού FFT της κρουστικής απόκρισης, θα ήταν ακριβέστερη.
- Το μικρόφωνο τοποθετήθηκε σε απόσταση 75cm από το ηχείο και έτσι ώστε η νοητή γραμμή που προεκτείνεται από την εμπρόσθια πλευρά του διαφράγματος αυτού, να καταλήγει μεταξύ των οδηγών tweeter και woofer, καθώς και να απέχει ίση απόσταση από τον καθένα⁵⁶.
- Τα στρώματα ηχοαπορροφητικού υλικού που είχαν τοποθετηθεί εντός της καμπίνας έτσι ώστε να καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των εσωτερικών επιφανειών αυτής, αφαιρέθηκαν. Εκτιμήθηκε πως οι προκαταρκτικές μετρήσεις ήταν προτιμότερο να γίνουν χωρίς ηχοαπορροφητικό υλικό προκειμένου να διαπιστωθεί η ύπαρξη σημαντικών ανωμαλιών στην συχνοτική απόκριση του ηχείου πριν γίνει η οποιαδήποτε προσπάθεια ακουστικής βελτίωσης της καμπίνας.

Αφού ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση του εξοπλισμού, πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες ρυθμίσεις στο ARTA προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή η ακρίβεια των μετρήσεων.

Αναλυτικότερα, για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε σήμα MLS (ακολουθία μεγίστου μήκους) και το λογισμικό ρυθμίστηκε κατάλληλα έτσι ώστε να εκτελεστεί ο μέγιστος επιτρεπτός αριθμός επαναλήψεων της κάθε μέτρησης (Number of averages). Περισσότερες επαναλήψεις συνεπάγονται καλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο. Εφόσον ο θόρυβος βάθους στον χώρο στον

56. Charlie Laub, *Easy gated impulse frequency measurements using ARTA*

οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις δεν ήταν δυνατόν να ελεγχθεί πλήρως, εκτιμήθηκε πως με τον τρόπο αυτό θα περιοριζόταν το πειραματικό σφάλμα. Η καμπύλη συχνοτικής απόκρισης σε ανάλυση 1/3 οκτάβας, έτσι όπως προέκυψε από το ARTA μετά το πέρας των μετρήσεων παρουσιάζεται στην εικόνα 56:



Εικόνα 56

Καμπύλη συχνοτικής απόκρισης ηχείου όπως προέκυψε από τις προκαταρκτικές μετρήσεις.

Η μελέτη της συγκεκριμένης καμπύλη συχνοτικής απόκρισης, παρά την περιορισμένη ακρίβεια των μετρήσεων από τις οποίες προέκυψε, οδηγεί σε κάποια αρχικά συμπεράσματα:

- Η παρουσία κορυφής στην συχνότητα των 50 Hz συνηγορεί στο ότι επιτεύχθηκε η επιθυμητή συντονισμού Fb. Η σχετική ομοιομορφία μάλιστα της καμπύλης στην συχνοτική ζώνη των 50 Hz – 100 Hz μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως, τόσο ο τύπος των Margolis – Small, όσο και το WinISD, αποδίδουν ακριβή αποτελέσματα όσον αφορά τον υπολογισμό της συχνότητας συντονισμού Fb.
- Η αποδοτικότητα του woofer εμφανίζει σημαντική πτώση στην συχνοτική περιοχή μεταξύ των 500 Hz και των 1800 Hz. Το φαινόμενο αυτό δεν οφείλεται σε κάποια ιδιαιτερότητα του οδηγού κρίνοντας από την καμπύλη συχνοτικής απόκρισής του (βλ. εικόνα 32) και δεν ήταν δυνατό να εξηγηθεί πλήρως στην παρούσα φάση της μελέτης. Εκτιμήθηκε ωστόσο πως είτε οφείλεται στην εμφάνιση modes στάσιμων κυμάτων στο εσωτερικό της καμπίνας, είτε, κατ' αντίστοιχο τρόπο, στην ύπαρξη στάσιμων κυμάτων στον χώρο. Σε κάθε περίπτωση τα στάσιμα κύματα θα ήταν δυνατόν να αλληλεπιδράσουν με την ηχητική ακτινοβολία που παρήγαγε το ηχείο κατά την διάρκεια της μέτρησης, οδηγώντας σε ανωμαλίες της συχνοτικής απόκρισης λόγω φαινομένων ενισχυτικής ή ακυρωτικής συμβολής σε δεδομένες συχνότητες.
- Η κοιλία που εμφανίζεται περίπου στα 2500 Hz οφείλεται στην θέση του crossover point στην εν λόγω συχνότητα.

- Παρατηρείται μια σημαντική αύξηση (της τάξης των 5-6 dB ή και μεγαλύτερη ανάλογα με την ζώνη συχνοτήτων που εξετάζεται) της αποδοτικότητας του ηχείου ανάμεσα στα 3000 Hz και τα 9000 Hz. Η συγκεκριμένη συχνοτική περιοχή αναπαράγεται από το tweeter και εφόσον αυτό είναι αποδοτικότερο από το woofer, είναι αναμενόμενη.
- Η μείωση της αποδοτικότητας του ηχείου από τα 9000 Hz και για υψηλότερες συχνότητες, όπως προκύπτει στην καμπύλη, είναι πλασματική. Οφείλεται στην μειωμένη ευαισθησία του μικροφώνου στις υψηλότερες συχνότητες.

7.1.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΟΔΗΓΩΝ - ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΤΩΝ

Παρά την περιορισμένη της ακρίβεια, η καμπύλη συχνοτικής απόκρισης που προέκυψε από τις προκαταρκτικές μετρήσεις του ηχείου, απέδωσε σημαντικά στοιχεία. Διαπιστώνοντας την διαφορά αποδοτικότητας ανάμεσα στους οδηγούς woofer και tweeter ήταν πλέον δυνατός ο σχεδιασμός και η υλοποίηση κατάλληλου κυκλώματος εξασθενητή L-PAD, έτσι ώστε να επιτευχθεί η εξισορρόπηση της εξόδου αυτών.

Συγκεκριμένα, παρατηρώντας την καμπύλη συχνοτικής απόκρισης (εικόνα 56) που προέκυψε από τις προκαταρκτικές μετρήσεις και λαμβάνοντας υπόψιν την ευαισθησία και τις καμπύλες συχνοτικής απόκρισης των οδηγών όπως δίδονται από την Eminence (εικόνες 32 και 34), εκτιμήθηκε πως μια εξασθένηση της τάξης των 5-7 dB του tweeter θα ήταν αρκετή προκειμένου να εξομαλυνθεί η συχνοτική απόκριση του ηχείου. Ας σημειωθεί στο σημείο αυτό πως στην συχνοτική περιοχή μεταξύ των 500 Hz και των 1800 Hz της καμπύλης συχνοτικής απόκρισης η οποία προέκυψε από τις προκαταρκτικές μετρήσεις, η διαφορά της μέγιστης και ελάχιστης στάθμης ξεπερνά τα 10 dB. Όπως όμως αναφέρθηκε νωρίτερα, τα αίτια της ανωμαλίας αυτής δεν είχαν εξακριβωθεί πλήρως στην συγκεκριμένη φάση της εργασίας. Προτιμήθηκε, λόγω αδυναμίας σύνδεσης του συγκεκριμένου φαινομένου με γνωστά χαρακτηριστικά των οδηγών και της μεγάλης πιθανότητας πρόκλησης του εξαιτίας modes στάσιμων κυμάτων (τα οποία θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με διάφορους τρόπους, είτε προέκυπταν εντός της καμπίνας είτε στον χώρο ακρόασης), ο σχεδιασμός του εξασθενητή L-PAD να προσεγγιστεί περισσότερο συντηρητικά και η εξασθένηση που θα προκαλέσει να μην ξεπερνά τα 7 dB.

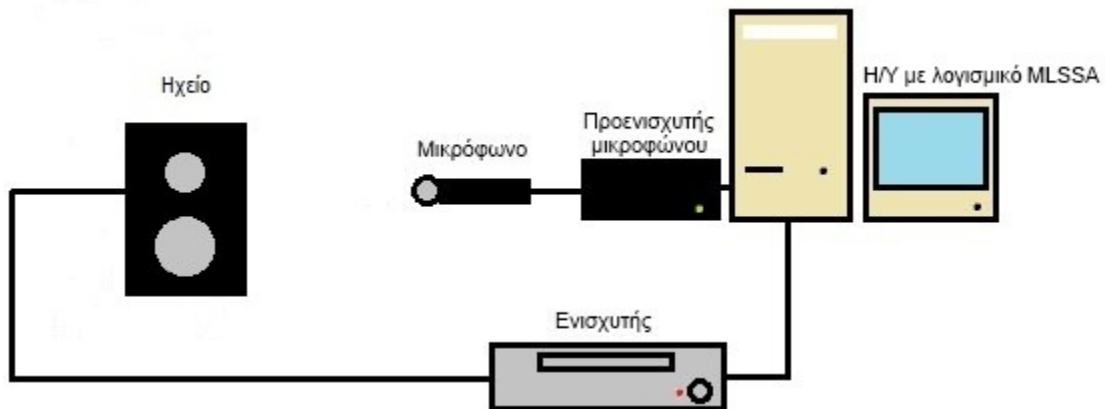
Για να επιβεβαιωθούν οι εκτιμήσεις αυτές στην πράξη, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της επίδρασης του εξασθενητή L-PAD στην συχνοτική απόκριση χρησιμοποιώντας software ισοσταθμιστή και αξιολογώντας εμπειρικά την απόδοση του ηχείου για διάφορα επίπεδα εξασθένησης. Συγκεκριμένα, η έξοδος των ηχείων για συχνότητες υψηλότερες των 3000 Hz (για τις συχνότητες δηλαδή οι οποίες αναπαράγονται από το tweeter) μειώθηκε σταδιακά έως ότου θεωρήθηκε πως επιτεύχθηκε η επιθυμητή συχνοτική ισορροπία.

Κατά την εμπειρική αξιολόγηση του ηχείου το ακουστικό αποτέλεσμα θεωρήθηκε καλύτερο όταν η έξοδος του tweeter μειώθηκε κατά 6 dB. Η παρατήρηση αυτή συνάδει με τις προηγούμενες εκτιμήσεις σύμφωνα με τις οποίες το tweeter, ανάλογα με την συχνότητα, αποδίδει περίπου 5-7 dB υψηλότερα από το woofer. Συνεπώς, αποφασίστηκε ο σχεδιασμός του εξασθενητή L-PAD έτσι ώστε να προκαλεί εξασθένηση της τάξης των 6 dB. Σε κάθε περίπτωση, εάν οι μετέπειτα μετρήσεις του ηχείου δεν απέδιδαν ικανοποιητικά αποτελέσματα, ο εξασθενητής θα μπορούσε να επανασχεδιαστεί ώστε να παρέχει μεγαλύτερη ή μικρότερη εξασθένηση.

7.2 ΤΕΛΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Παρακάτω παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της μετρητικής διαδικασίας καθώς και η συνδεσμολογία αυτού:

- Η/Υ με σύστημα MLSSA 2000.
- Ακουστικός βαθμονομητής Cirrus 511E
- Προενισχυτής μικροφώνου Earthworks LAB1.
- Μικρόφωνο Earthworks M30. Το εν λόγω μικρόφωνο προορίζεται κυρίως για ακουστικές μετρήσεις και χαρακτηρίζεται από σχεδόν επίπεδη συχνотική απόκριση.
- Ενισχυτής Behringer Reference Amplifier A500.
- Μονάδα MLSSA RCAI (Remote Controlled Analog Interface) για την μέτρηση της σύνθετης αντίστασης εισόδου του ηχείου.



Εικόνα 57
Συνδεσμολογία διάταξης μέτρησης.

Πριν πραγματοποιηθεί κάποια μέτρηση πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του εξοπλισμού. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του μικροφώνου και του προενισχυτή που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν στις διάφορες μετρήσεις. Η βαθμονόμηση αυτών επιτεύχθηκε με την βοήθεια του ακουστικού βαθμονομητή Cirrus 511E και βάσει της παρακάτω διαδικασίας:

- Το λογισμικό MLSSA 2000 εκκινήθηκε και από την αρχική οθόνη επιλογών του interface αυτού φορτώθηκε η βάση δεδομένων που περιέχει στοιχεία βαθμονόμησης για διάφορους τύπους μικροφώνων εκτελώντας διαδοχικά τις εντολές “Library” και “Microphones”.
- Το μικρόφωνο Earthworks M30 συνδέθηκε στον προενισχυτή Earthworks LAB1 και αυτός τέθηκε σε λειτουργία. Το gain του προενισχυτή ρυθμίστηκε στα 34 dB.
- Η στάθμη του σήματος βαθμονόμησης του ακουστικού βαθμονομητή Cirrus 511E ρυθμίστηκε μέσω του κατάλληλου διακόπτη στα 94 dB. Στην συνέχεια η τιμή αυτή εισήχθη στο λογισμικό MLSSA 2000.

- Ο ακουστικός βαθμονομητής τέθηκε σε λειτουργία και εκκινήθηκε η διαδικασία βαθμονόμησης από το λογισμικό. Μετά το πέρας της διαδικασίας αυτής ενημερώθηκε η βάση δεδομένων του λογισμικού για τον συγκεκριμένο συνδυασμό μικροφώνου και προενισχυτή.

Ας σημειωθεί πως σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του συστήματος, η ακρίβεια της βαθμονόμησης εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα του βαθμονομητή. Επίσης, επειδή η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε για δεδομένο gain του προενισχυτή, η όποια αλλαγή στο gain αυτού είναι πιθανόν να επηρεάσει σημαντικά την ακρίβεια των μετέπειτα μετρήσεων. Προτείνεται γενικότερα να μην μεταβάλλεται το gain του προενισχυτή ύστερα από την βαθμονόμηση ή, εάν αυτό είναι απαραίτητο, η βαθμονόμηση να επαναλαμβάνεται.



Εικόνα 58

Ο εξοπλισμός συνδεδεμένος και εγκατεστημένος στον χώρο όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

7.2.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το σύστημα MLSSA 2000 επιτρέπει την πραγματοποίηση μετρήσεων της συχνοτικής απόκρισης ενός μεγαφώνου ή ηχείου, καθώς και της κατευθυντικότητας και ακουστικής ισχύος αυτού.

Η συχνοτική απόκριση της συσκευής επί του άξονα αυτής (στις 0°) δύναται να μετρηθεί μέσω του συστήματος MLSSA 2000 χρησιμοποιώντας σήμα ακολουθίας μεγίστου μήκους (σήμα MLS) προκειμένου να περιοριστεί η επιρροή εξωγενών παραγόντων (θόρυβος βάθους, ανακλάσεις) στα αποτελέσματα των μετρήσεων. Μια τέτοια μέτρηση περιλαμβάνει δύο στάδια: Αρχικά λαμβάνεται η κρουστική απόκριση της συσκευής και του χώρου στον οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση χρησιμοποιώντας ως ερέθισμα σήμα MLS. Στην συνέχεια, αφού προσδιοριστεί η πρώτη ανάκλαση στο διάγραμμα της κρουστικής απόκρισης συσκευής – χώρου, απομονώνεται το ανηχοϊκό τμήμα αυτής (ουσιαστικά η κρουστική απόκριση της συσκευής) και μέσω μετασχηματισμού FFT αυτού, υπολογίζεται από το λογισμικό η συχνοτική απόκριση της συσκευής για την δεδομένη θέση.

Πραγματοποιώντας τέτοιες μετρήσεις συχνοτικής απόκρισης μιας συσκευής υπό διαφορετικές γωνίες λήψης είναι δυνατόν να υπολογιστεί και η πολική απόκριση αυτής. Το σύστημα MLSSA παρέχει μάλιστα εξειδικευμένη υπορουτίνα για την πραγματοποίηση μετρήσεων πολικής απόκρισης. Η εν λόγω υπορουτίνα μπορεί να κληθεί εκκινώντας το MLSSA με την παράμετρο POLAR.SET.

Εναλλακτικά, η πολική απόκριση της υπό μέτρησης συσκευής δύναται να μετρηθεί βάση της υπορουτίνας SNDPWR.MAC η οποία όμως μετρά και ακουστική ισχύ. Η διαδικασία της εν λόγω μέτρησης είναι παρόμοια με την διαδικασία μέτρησης και υπολογισμού της πολικής απόκρισης μέσω της υπορουτίνας POLAR.SET, προϋποθέτει ωστόσο λιγότερες συνολικά μετρήσεις.

Αναλυτικότερα, προκειμένου να προκύψει η πολική απόκριση μιας συσκευής μέσω της υπορουτίνας SNDPWR.MAC, προϋποτίθεται η πραγματοποίηση 48 συνολικά μετρήσεων: Αρχικά καθορίζεται η πολική απόκριση για κάθετη ως προς το έδαφος τοποθέτηση της υπό μέτρησης συσκευής. Η πολική απόκριση προκύπτει από 24 συνολικά μετρήσεις συχνοτικής απόκρισης, κάθε μια εκ των οποίων πραγματοποιείται τοποθετώντας την μετρούμενη συσκευή σε διαφορετική γωνία ως προς τον άξονα του μικροφώνου (η πρώτη μέτρηση γίνεται επί του άξονα αυτού και για κάθε νέα μέτρηση η μετρούμενη συσκευή περιστρέφεται κατά 15° από την προηγούμενη θέση της). Οι μετρήσεις αυτές στην συνέχεια επαναλαμβάνονται και για οριζόντια ως προς το έδαφος τοποθέτηση της συσκευής.

Προκειμένου να περιοριστεί η επιρροή εξωγενών παραγόντων (ανακλάσεις, στάσιμα κύματα) στα αποτελέσματα των μετρήσεων, καθώς και επειδή σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του συστήματος MLSSA 2000 τέτοιες μετρήσεις πρέπει να πραγματοποιούνται σε ελεύθερο πεδίο, αποφασίστηκε το σύνολο των ακουστικών μετρήσεων του ηχείου να πραγματοποιηθεί στον προαύλιο χώρο έξω από το αμφιθέατρο του ΤΕΙ Ρεθύμνου.

Για λόγους εξοικονόμησης χρόνου και εφόσον το σύστημα MLSSA 2000 παρέχει αυτή την δυνατότητα, προτιμήθηκε οι μετρήσεις να πραγματοποιηθούν βάσει της μεθόδου μέτρησης ακουστικής ισχύος η οποία περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα. Μέσω της μεθόδου αυτής θα προέκυπταν όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την ποιοτική αξιολόγηση του ηχείου χωρίς να είναι απαραίτητη η επανάληψη κάποιων μετρήσεων. Συγκεκριμένα, θα προέκυπταν τα εξής στοιχεία:

- Η συχνοτική απόκριση του ηχείου on axis η οποία θα μπορούσε να εξαχθεί από την πρώτη μέτρηση που θα πραγματοποιούνταν, την μέτρηση δηλαδή στις 0° .
- Το πολικό διάγραμμα του μεγαφώνου θα μπορούσε να εξαχθεί από τις επόμενες, για διαφορετική δηλαδή γωνία από τον άξονα, μετρήσεις.

Το ηχείο τοποθετήθηκε στο κέντρο του προαυλίου χώρου και ως στήριγμα αυτού χρησιμοποιήθηκε ένα από τα έδρανα του αμφιθεάτρου. Το έδρανο τοποθετήθηκε έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή απόσταση ανάμεσα στο ηχείο και το έδαφος (1,8 m), προκειμένου να είναι ευκολότερος ο εντοπισμός της πρώτης ανάκλασης στο διάγραμμα κρουστικής απόκρισης ηχείου – χώρου και έτσι να καθοριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η κρουστική απόκριση του ηχείου από την οποία θα προέκυπτε και η συχνοτική απόκριση αυτού. Για τον ίδιο λόγο το ηχείο τοποθετήθηκε στο άκρο του εδράνου, με τον τρόπο αυτό τοποθέτησης διασφαλίστηκε πως η πρώτη ανάκλαση που θα λαμβανόταν από το σύστημα δεν θα προερχόταν από το έδρανο. Το μικρόφωνο Earthworks M30 τοποθετήθηκε σε απόσταση δύο μέτρων από την πρόσοψη του ηχείου, στην απόσταση δηλαδή που προτείνεται στο εγχειρίδιο χρήσης του MLSSA 2000 για την πραγματοποίηση τέτοιου τύπου μετρήσεων και σε κατάλληλο ύψος ώστε η νοητή γραμμή που προεκτείνεται από το εμπρόσθιο μέρος αυτού να προσπίπτει στο σημείο ανάμεσα στους οδηγούς woofer και tweeter. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση του υπόλοιπου εξοπλισμού σύμφωνα με την συνδεσμολογία που παρουσιάζεται στην εικόνα 56 και αυτός τέθηκε σε λειτουργία. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την μετρητική διαδικασία παρουσιάζονται, κατά σειρά εκτέλεσης, παρακάτω:

- Εκκίνηση του λογισμικού MLSSA με την παράμετρο POLAR, έτσι ώστε να φορτωθεί η υπορουτίνα μέτρησης πολικής απόκρισης.
- Εκκίνηση της αναπαραγωγής σήματος MLS και ρύθμιση της στάθμης αυτού έτσι ώστε να καλύπτεται ο θόρυβος βάθους. Επειδή κατά την χρονική περίοδο όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις δεν υπήρχε παρουσία σταθερού θορύβου αλλά αναμενόταν η εμφάνιση μικρών σε διάρκεια ηχητικών συμβάντων (ήχοι περιβάλλοντος, ήχοι κινητήρων οχημάτων από τον δρόμο πλησίον του ΤΕΙ), η στάθμη του σήματος MLS καθορίστηκε εμπειρικά έτσι ώστε να διασφαλιστεί η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια της μέτρησης.
- Λήψη δοκιμαστικής μέτρησης σε κάθετη ως προς το έδαφος θέση του ηχείου και on axis (0°) σε σχέση με το μικρόφωνο.
- Επιλογή του ανηχοϊκού τμήματος της κρουστικής απόκρισης που προέκυψε από την προηγούμενη μέτρηση μέσω εντοπισμού και αποκοπής του τμήματος του γραφήματος από όπου εμφανίζεται η πρώτη ανάκλαση του χώρου και μετά.
- Περιστροφή του ηχείου σε θέση 180° of axis και επανάληψη της μέτρησης προκειμένου να ελεγχθεί η ορθότητα της επιλογής του ανηχοϊκού τμήματος στο γράφημα κρουστικής απόκρισης.
- Επανατοποθέτηση του ηχείου σε θέση on axis (0°) σε σχέση με το μικρόφωνο. Ρύθμιση του λογισμικού έτσι ώστε τα δεδομένα των μετρήσεων να αποθηκεύονται σε επιλεγμένη διαδρομή δίσκου και με συγκεκριμένη ονομασία.
- Κλήση της υπορουτίνας SNDPWR.MAC προκειμένου να εκκινηθεί η αυτοματοποιημένη διαδικασία μέτρησης και συλλογής δεδομένων για τον συγκεκριμένο τύπο μετρήσεων.
- Έναρξη της μετρητικής διαδικασίας. Μετά το πέρας της μέτρησης στις 0° το ηχείο περιστράφηκε σε θέση 15° off axis σε σχέση με το μικρόφωνο και πραγματοποιήθηκε η δεύτερη μέτρηση. Για κάθε νέα μέτρηση το ηχείο περιστρεφόταν έτσι ώστε η γωνία να αυξάνεται 15° σε σχέση με την προηγούμενη θέση, όπως προβλέπεται από το εγχειρίδιο χρήσης του MLSSA 2000. Ο καθορισμός της εκάστοτε θέσης του ηχείου γινόταν με χρήση

γωνιομέτρου το οποίο είχε τοποθετηθεί στο έδαφος.

- Μετά το πέρας των παραπάνω μετρήσεων το ηχείο τοποθετήθηκε οριζόντια ως προς το έδαφος και οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν.
- Αφού ολοκληρώθηκαν και οι 48 προβλεπόμενες μετρήσεις, οι εσωτερικές επιφάνειες του ηχείου καλύφθηκαν με ηχοαπορροφητικό υλικό. Η μετρητική διαδικασία επαναλήφθηκε προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά την επιρροή του ηχοαπορροφητικού υλικού στην συχνοτική απόκριση του ηχείου.



Εικόνα 59

Περιστρέφοντας το ηχείο κατά τις μετρήσεις πολικής απόκρισης.

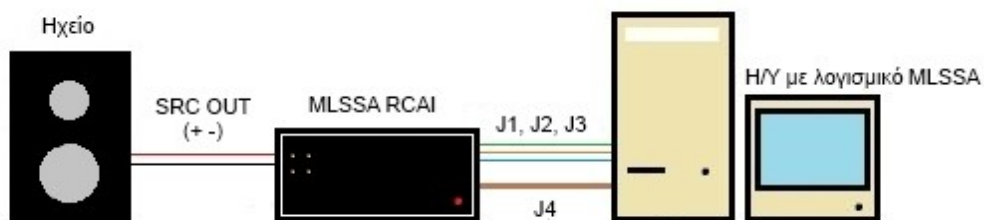
7.2.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΜΠΕΔΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σύστημα MLSSA 2000 παρέχει την δυνατότητα απευθείας μέτρησης της εμπέδησης μεγαφώνων και σύνθετων ηχείων χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη κάποιου ενισχυτή ισχύος ή άλλων εξειδικευμένων οργάνων μέτρησης όπως το ωμόμετρο. Η απευθείας μέτρηση της σύνθετης εμπέδησης προτείνεται και στο εγχειρίδιο χρήσης του MLSSA 2000 και θεωρείται προτιμητέα εφόσον όχι μόνο είναι ευκολότερο να πραγματοποιηθεί αλλά, αφού δεν εμπλέκονται στην συνδεσμολογία επιπλέον ηλεκτρονικά στοιχεία και συσκευές, περιορίζεται η πιθανότητα εμφάνισης θορύβου λόγω βρόγχων γείωσης.

Προκειμένου να μετρηθεί η εμπέδηση του ηχείου, υλοποιήθηκε η εξής συνδεσμολογία (Ας σημειωθεί πως η διαδικασία μέτρησης η οποία περιγράφεται παρακάτω, προϋποθέτει την ύπαρξη συσκευής MLSSA RCAI. Εάν η συσκευή αυτή δεν είναι διαθέσιμη μια τέτοια μέτρηση είναι εφικτή αλλά προβλέπεται διαφορετική διαδικασία και συνδεσμολογία για την πραγματοποίηση αυτής):

- Οι θύρες J1, J2 και J3 του RCAI συνδέθηκαν στις αντίστοιχες θύρες (J1, J2, J3) της ενσωματωμένης στον Η/Υ κάρτας ISA του συστήματος με καλώδια τύπου RCA.
- Η θύρα “TO MLSSA” (J4) του RCAI συνδέθηκε με την αντίστοιχη θύρα (J4) της ενσωματωμένης στον Η/Υ κάρτας ISA του συστήματος. Η σύνδεση επιτεύχθηκε μέσω σειριακού καλωδίου Η/Υ.
- Η θύρα “SRC OUT” του RCAI συνδέθηκε με το ηχείο. Η σύνδεση επιτεύχθηκε μέσω καλωδίου τύπου RCA στα άκρα του οποίου συνδέθηκε το καλώδιο των ηχείων μέσω συνδέσμων τύπου “κροκοδειλάκι”.

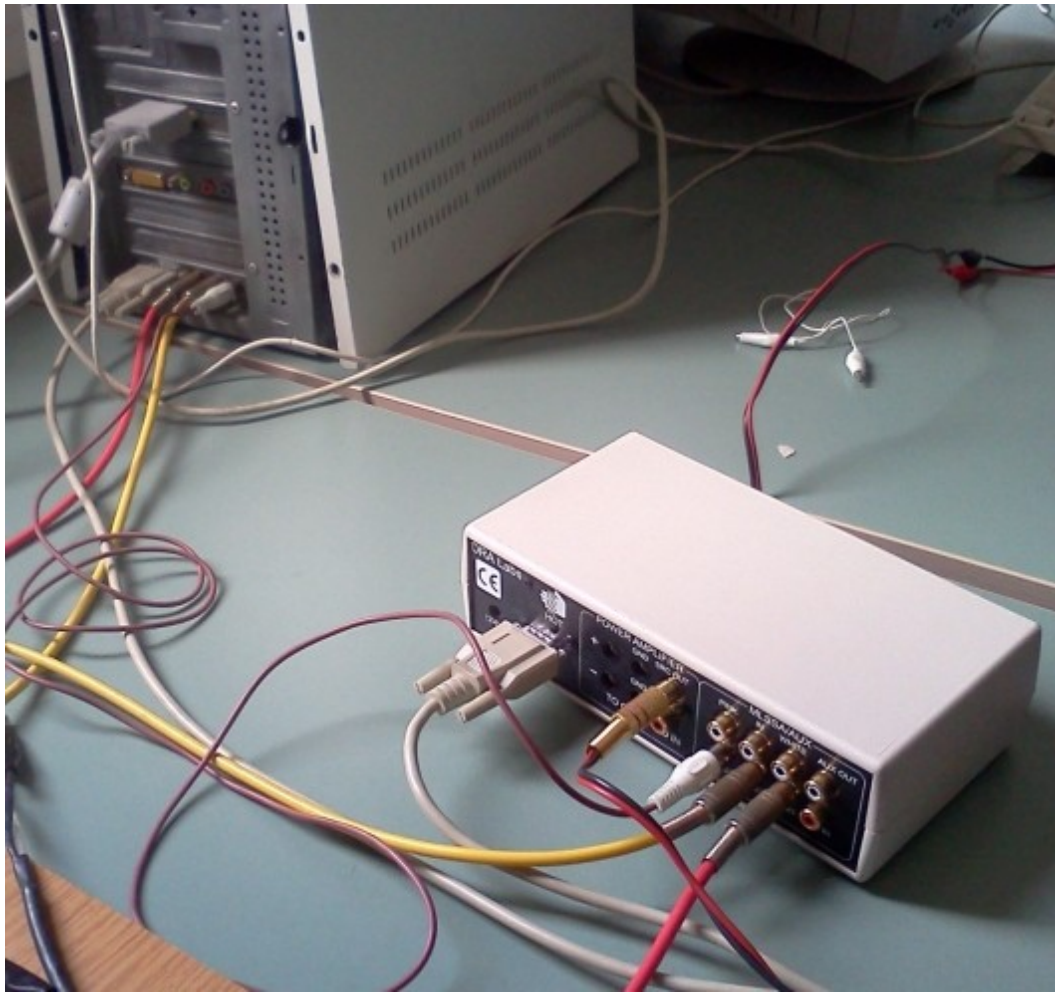
Η συνδεσμολογία περιγράφεται και σχηματικά στην εικόνα 60:



Εικόνα 60

Συνδεσμολογία διάταξης μέτρησης σύνθετης αντίστασης.

Το σύστημα MLSSA 2000 διαθέτει τρεις διαφορετικές υπορουτίνες για την πραγματοποίηση μετρήσεων εμπέδησης. Μέσω του αρχείου “IMP1K.SET” καλείται η υπορουτίνα η οποία προορίζεται για μετρήσεις της σύνθετης αντίστασης ανάμεσα στις συχνότητες 1Hz έως 1000 Hz (κατάλληλη για οδηγούς woofer και midrange). Μέσω του αρχείου “IMP20K.SET” αντίστοιχα καλείται η υπορουτίνα η οποία προορίζεται για μετρήσεις ανάμεσα στα 4Hz και τα 20000Hz με συχνοτική ανάλυση 4Hz (κατάλληλη για την μέτρηση της εμπέδησης οδηγών tweeter, fullrange αλλά και σύνθετων ηχείων πολλαπλών οδηγών). Τέλος, μέσω του αρχείου “IMP20KHR.SET” καλείται υπορουτίνα κατάλληλη για μετρήσεις σε όλο το συχνοτικό εύρος και με συχνοτική ανάλυση 1Hz.



Εικόνα 61

Η μονάδα MLSSA RCAI συνδεδεμένη με τον Η/Υ και το ηχείο.

Βάση των παραπάνω, προκειμένου η μέτρηση να είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερη αλλά και εφόσον το ηχείο περιλαμβάνει οδηγούς woofer και tweeter, αποφασίστηκε η μέτρηση να πραγματοποιηθεί εκτελώντας την υπορουτίνα “IMP20KHR.SET”.

Το σύστημα MLSSA 2000 παρέχει την δυνατότητα μέτρησης της τιμής της αντίστασης του καλωδίου μέσω του οποίου συνδέεται το ηχείο στο RCAI. Η τιμή αυτή μπορεί να αποθηκευτεί και στην συνέχεια να αφαιρεθεί από τα τελικά αποτελέσματα, διασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο την μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Αποφασίστηκε λοιπόν, να πραγματοποιηθεί και η εν λόγω μέτρηση σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφεται στο εγχειρίδιο χρήσης του MLSSA 2000.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν, παρουσιάζονται κατά σειρά εκτέλεσης παρακάτω:

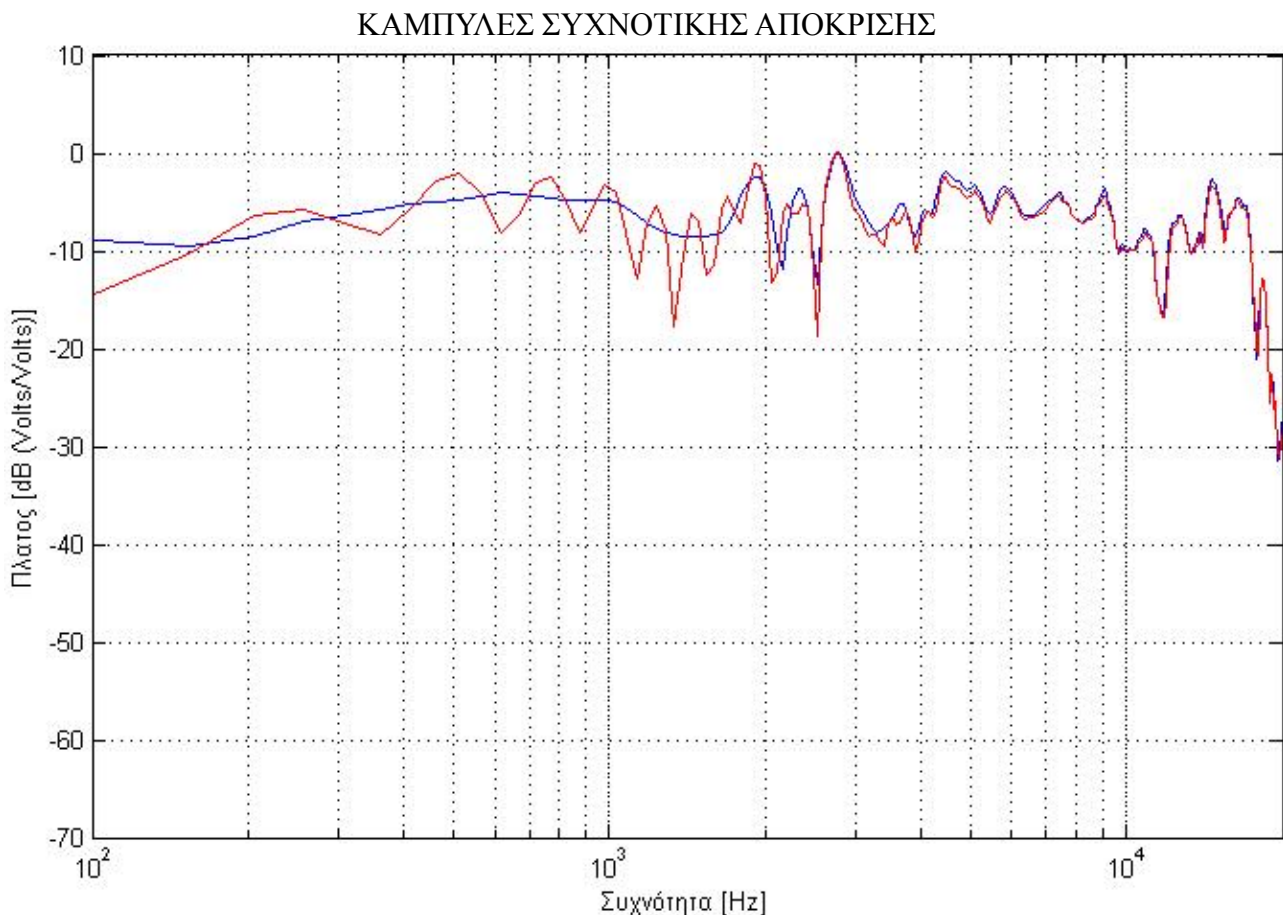
- Σύνδεση του RCAI με την εγκατεστημένη στον Η/Υ κάρτα ISA του συστήματος MLSSA 2000 σύμφωνα με την συνδεσμολογία που παρουσιάζεται στην εικόνα 60.
- Εκκίνηση του λογισμικού MLSSA με την παράμετρο IMP20KHR, έτσι ώστε να φορτωθεί απευθείας το αρχείο IMP20KHR.SET το οποίο επιτρέπει την πραγματοποίηση μετρήσεων εμπέδησης σε όλο το ακουστικό φάσμα και με συχνοτική ανάλυση 1Hz.
- Πραγματοποίηση μέτρησης και αποθήκευση της τιμής της αντίστασης των καλωδίων μέσω των οποίων επρόκειτο να συνδεθεί το ηχείο στο RCAI. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η

μέτρηση αυτή τα άκρα του καλωδίου που καταλήγουν στο τερματικό του ηχείου βραχυκυκλώθηκαν και εκτελέστηκαν οι εντολές “Go”, “Once” από το περιβάλλον του λογισμικού MLSSA. Στην συνέχεια η τιμή της αντίστασης των καλωδίων αποθηκεύτηκε εκτελώντας κατά σειρά τις εντολές “Reference”, “Auxiliary”, “Store”.

- Το ηχείο συνδέθηκε στο RCAI και πραγματοποιήθηκε η μέτρηση της εμπέδησης αυτού. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μέτρηση αυτή εκτελέστηκαν οι εντολές “Go”, “Once” από το περιβάλλον του λογισμικού MLSSA. Στην συνέχεια, για να προβληθεί η καμπύλη εμπέδησης στο πεδίο των συχνοτήτων, εκτελέστηκε μετασχηματισμός Fourier μέσω των εντολών “Execute” και “FFT”.

7.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι καμπύλες συχνοτικής απόκρισης του ηχείου σχεδιάστηκαν με το λογισμικό Matlab, χρησιμοποιώντας το script "readmls.m" το οποίο παρέχει την δυνατότητα ανάγνωσης των αρχείων .FRQ του MLSSA. Τα πολικά διαγράμματα παρήχθησαν μέσω του λογισμικού ARTA το οποίο δύναται να αναγνώσει αρχεία τύπου .TIM του MLSSA.



Εικόνα 62

Καμπύλες συχνοτικής απόκρισης ηχείου. Η κυανή καμπύλη αφορά την μέτρηση με ηχοαπορροφητικό υλικό και η κόκκινη χωρίς.

Συγκρίνοντας τις καμπύλες της εικόνας 62 με αυτή της εικόνας 56, παρατηρείται αρχικά πως η απόκριση του ηχείου στις υψηλότερες του crossover point συχνοτικές ζώνες, σε εκείνες δηλαδή που αναπαράγονται από τον οδηγό tweeter, έχει περιοριστεί σημαντικά και συμπίπτει σχεδόν με την απόκριση στις χαμηλότερες αυτού, οι οποίες αναπαράγονται από τον οδηγό woofer. Το φαινόμενο αυτό είναι αποτέλεσμα της λειτουργίας του εξασθενητή L-PAD. Θα μπορούσε λοιπόν να ειπωθεί πως ο εξασθενητής σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ορθώς, εφόσον επιτεύχθηκε η επιθυμητή εξασθένηση και κατά συνέπεια η εξισορρόπηση της απόδοσης των οδηγών.

Η παρουσία χαρακτηριστικού βυθίσματος στην καμπύλη της εικόνας 62, περίπου στα 2500 Hz, εκτιμάται, όπως αναφέρθηκε και κατά την ανάλυση των προκαταρκτικών μετρήσεων στην ενότητα 7.1.1, πως οφείλεται στο crossover point, το σημείο δηλαδή όπου αποκόπτεται από το φίλτρο crossover το woofer και αρχίζει η λειτουργία του tweeter. Λαμβάνοντας υπόψιν πως χρησιμοποιείται crossover φίλτρο δεύτερης τάξης με κλίση -12dB ανά οκτάβα, η παρουσία του συγκεκριμένου βυθίσματος θεωρείται λογική.

Ας σημειωθεί επίσης πως η αύξηση της εξόδου του ηχείου μεταξύ -περίπου- των 1500 Hz και των 2500 Hz, η οποία παρατηρείται στις καμπύλες συχνοτικής απόκρισης της εικόνας 62, είναι αναμενόμενη και χαρακτηριστική για τον οδηγό Eminence Delta Lite II, σύμφωνα με την καμπύλη συχνοτικής απόκρισης αυτού (εικόνα 32).

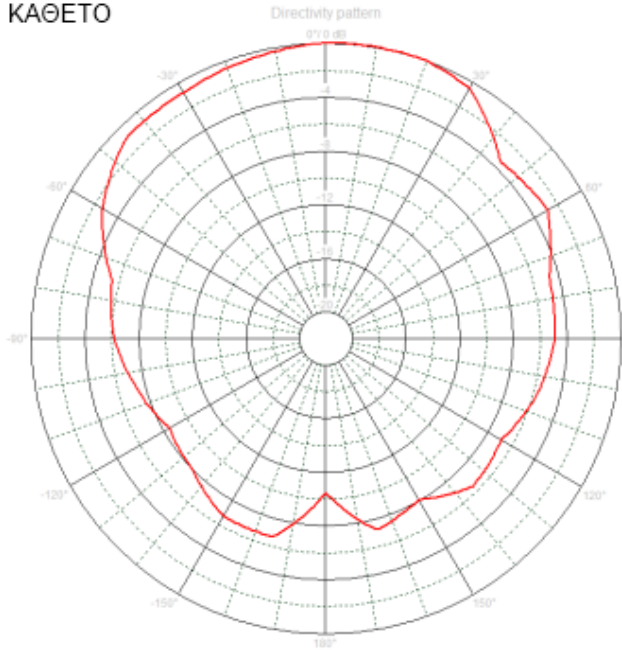
Η συχνοτική απόκριση πάντως του ηχείου από τα 2500 Hz και για υψηλότερες συχνότητες παρουσιάζει χαρακτηριστικές ανωμαλίες οι οποίες δεν συνάδουν με την καμπύλη συχνοτικής απόκρισης του οδηγού tweeter η οποία έχει δημοσιευτεί από την Eminence (εικόνα 32). Ωστόσο, κατόπιν μελέτης εναλλακτικών μετρήσεων της συχνοτικής απόκρισης του εν λόγω οδηγού, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από ανεξάρτητους φορείς, προέκυψε το συμπέρασμα πως είτε οι εκτιμήσεις της Eminence είναι εξαιρετικά αισιόδοξες, είτε ο οδηγός αποδίδει διαφορετικά σε πραγματικές συνθήκες απ' ότι σε ένα ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον. Σε κάθε περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψιν το χαμηλό σχετικά κόστος του οδηγού, η συχνοτική απόκριση αυτού κρίνεται ικανοποιητική. Προς διευκόλυνση του αναγνώστη, οι εναλλακτικές καμπύλες συχνοτικής απόκρισης οι οποίες μελετήθηκαν παρατίθενται στο παράρτημα IV.

Τέλος, το σημαντικότερο ίσως συμπέρασμα που προκύπτει μελετώντας τις καμπύλες συχνοτικής απόκρισης της εικόνας 62, είναι πως η κάλυψη των εσωτερικών επιφανειών της καμπίνας με ηχοαπορροφητικό υλικό συμβάλλει σημαντικά στην εξομάλυνση της συχνοτικής απόκρισης του ηχείου στην μεσαία και χαμηλή ζώνη συχνοτήτων του ακουστικού φάσματος: Η λεία και σκληρή φύση του plexiglass συνδράμει στην ανακλαστικότητα των τοιχωμάτων της καμπίνας και κατά συνέπεια στην δημιουργία στάσιμων κυμάτων εντός αυτής. Αυξάνοντας, μέσω της τοποθέτησης ηχοαπορροφητικού υλικού, την αποσβεστική ικανότητα των τοιχωμάτων, τα φαινόμενα αυτά περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό. Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί πως ένα ακόμα αποτέλεσμα της αύξησης της αποσβεστικής ικανότητας της καμπίνας, όπως παρατηρείται και στις σχετικές καμπύλες συχνοτικής απόκρισης (εικόνα 62), είναι η περιορισμένη μείωση της συνολικής εξόδου του ηχείου στις ίδιες συχνοτικές περιοχές. Σε κάθε περίπτωση, τα πειραματικά δεδομένα συνάδουν με την σχετική θεωρία (βλέπε ενότητες 2.4.1 και 2.4.2).

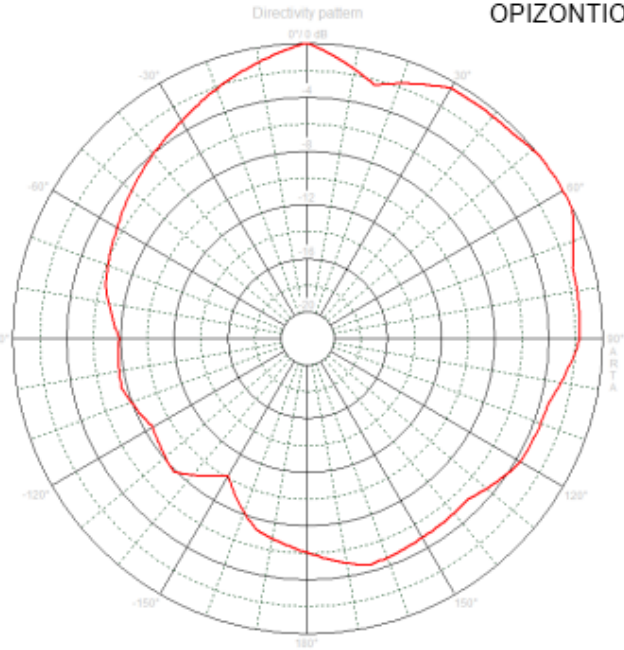
Η ύπαρξη ηχοαπορροφητικού υλικού δεν έχει καμία επίδραση σε υψηλότερες συχνότητες οι οποίες αναπαράγονται από τον οδηγό tweeter. Το φαινόμενο αυτό είναι αναμενόμενο και εξηγείται λαμβάνοντας υπόψιν την τεχνολογία και τη δομή του εν λόγω οδηγού: Εφόσον πρόκειται για οδηγό συμπίεσης, στον οποίο μάλιστα έχει προσαρτηθεί χοάνη, το διάφραγμα αυτού είναι πρακτικά απομονωμένο από την υπόλοιπη καμπίνα. Αφενός λοιπόν δεν είναι εφικτή η διαρροή ηχητικής ακτινοβολίας από το tweeter προς το εσωτερικό της καμπίνας και αφετέρου, τα διάφορα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα εκεί (π.χ. μεταβολές πίεσης) δεν επιδρούν στο διάφραγμα αυτού.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΟΛΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

ΚΑΘΕΤΟ



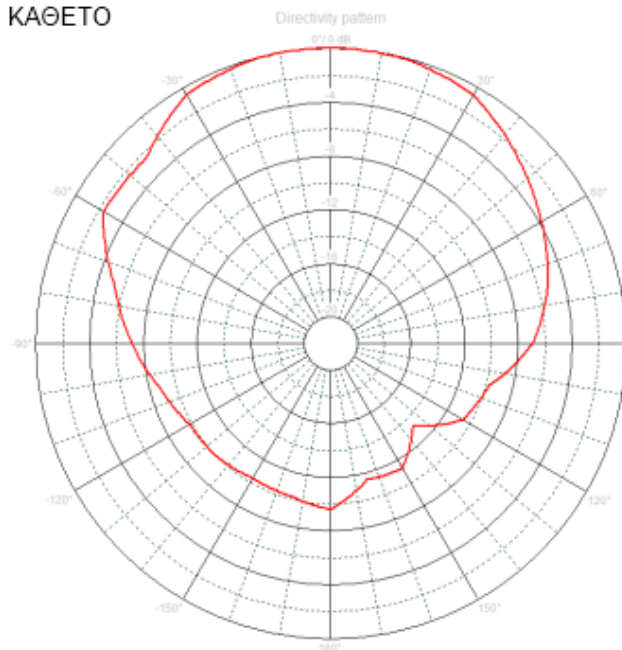
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ



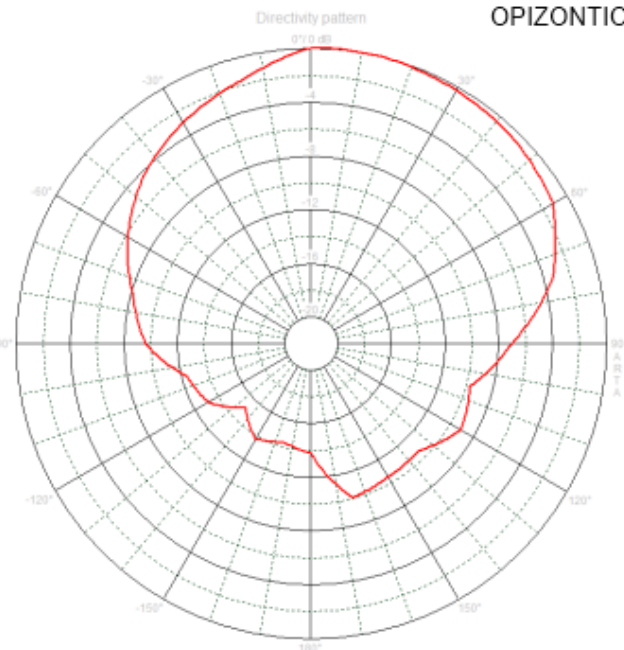
Εικόνα 63

Πολική απόκριση ηχείου - 125 Hz

ΚΑΘΕΤΟ



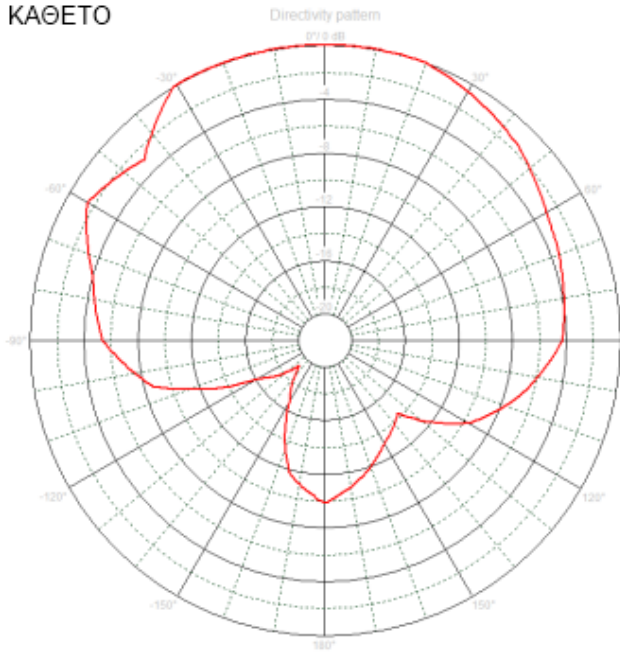
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ



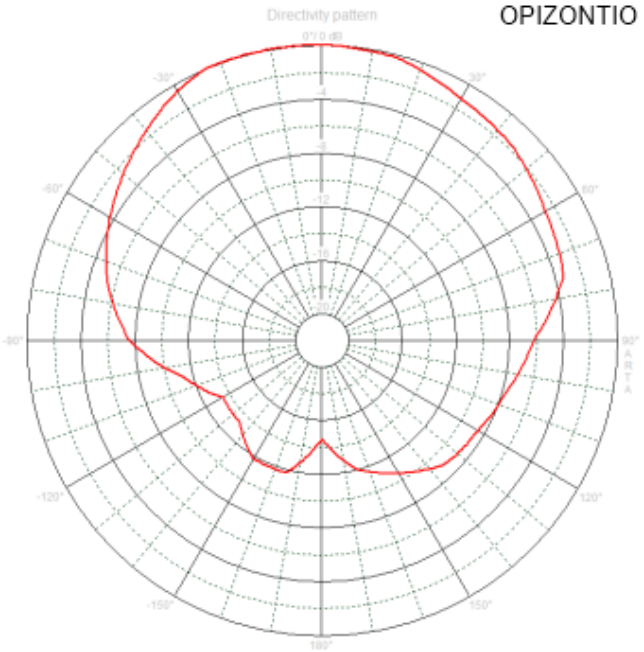
Εικόνα 64

Πολική απόκριση ηχείου - 250 Hz

ΚΑΘΕΤΟ

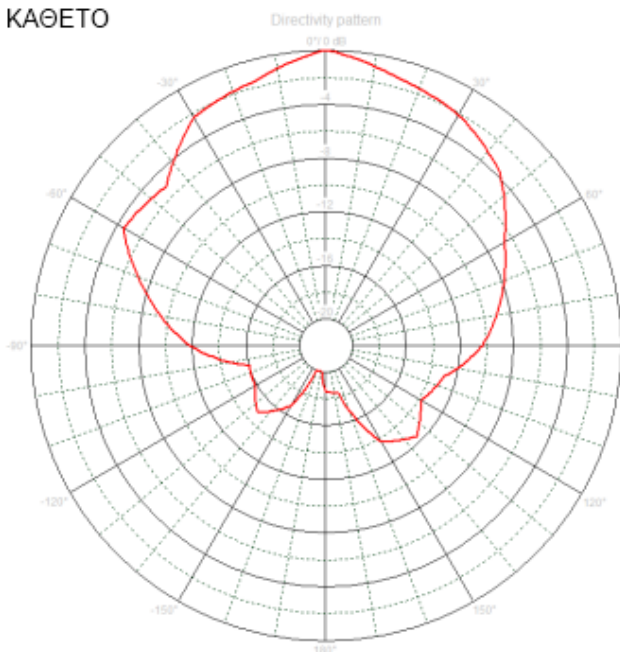


ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ

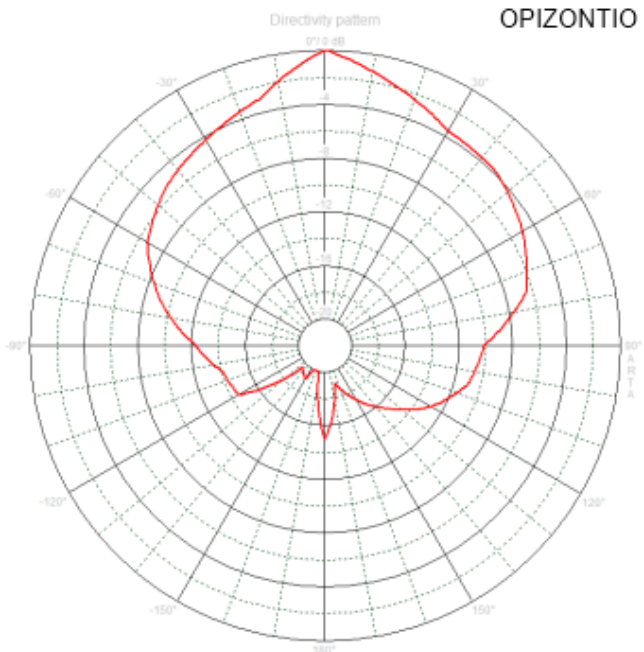


Εικόνα 65
Πολική απόκριση ηχείου - 500 Hz

ΚΑΘΕΤΟ

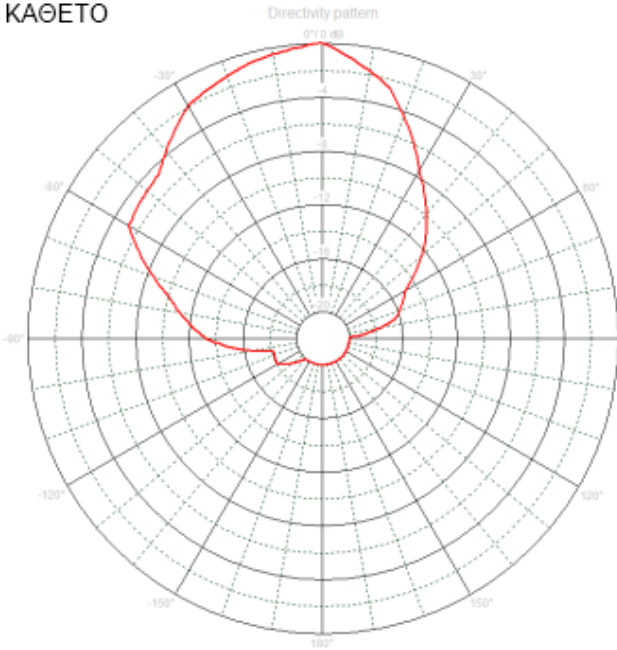


ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ

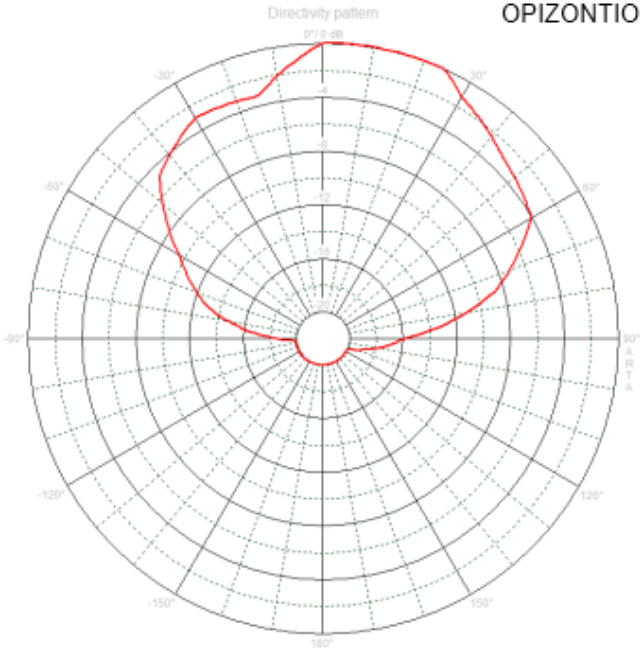


Εικόνα 66
Πολική απόκριση ηχείου - 1000 Hz

ΚΑΘΕΤΟ

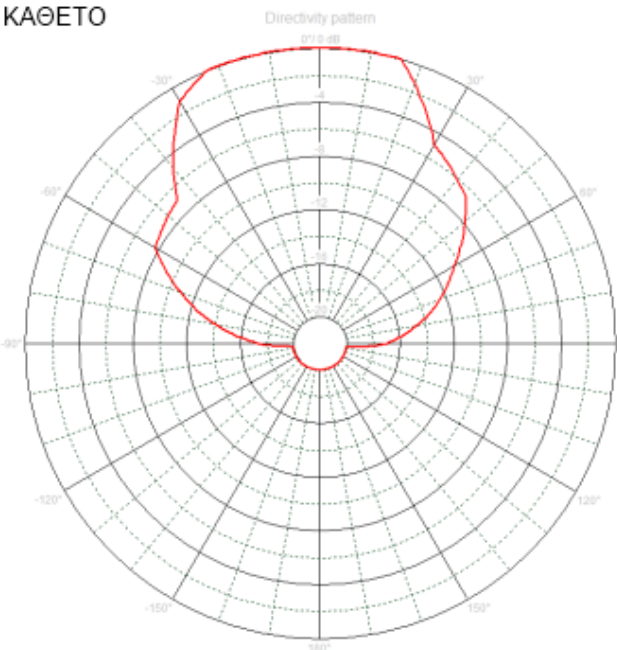


ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ

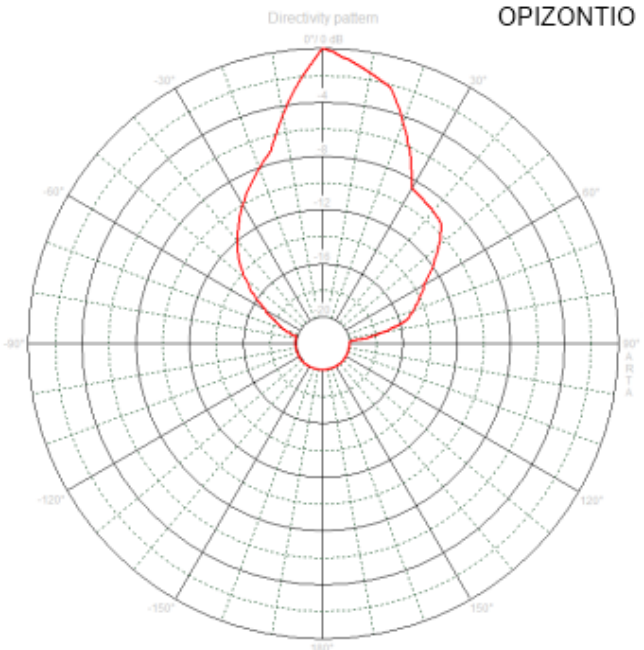


Εικόνα 67
Πολική απόκριση ηχείου - 2000 Hz

ΚΑΘΕΤΟ

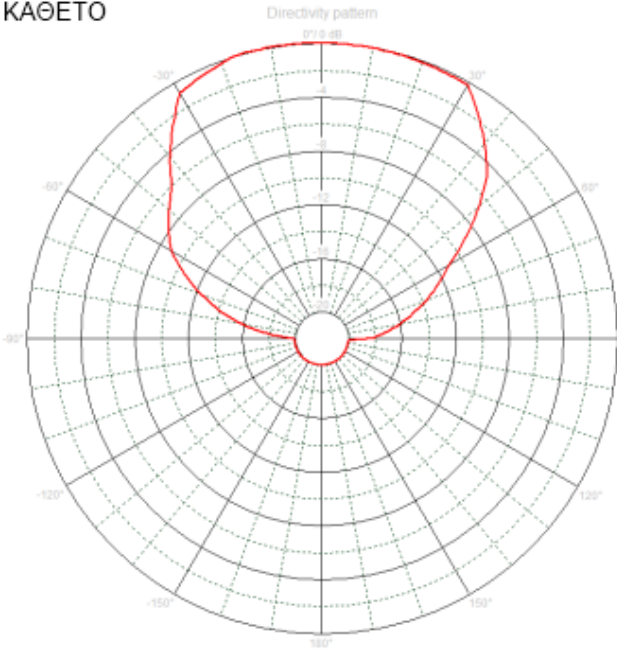


ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ

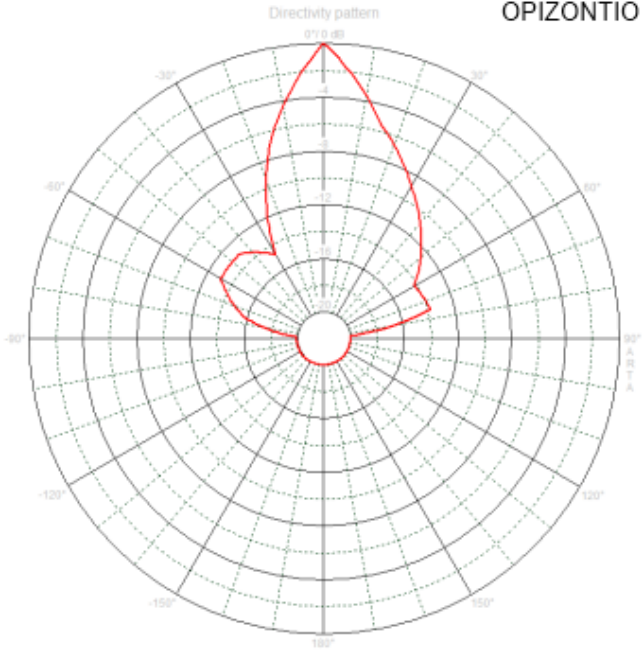


Εικόνα 68
Πολική απόκριση ηχείου - 4000 Hz

ΚΑΘΕΤΟ

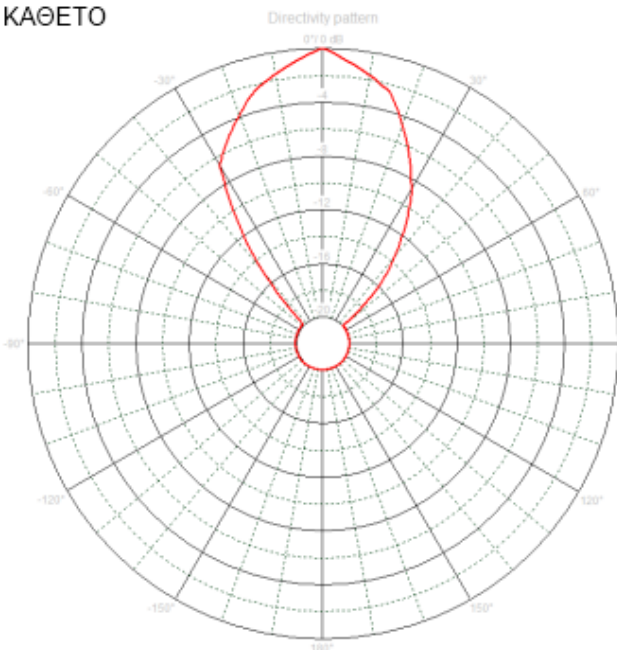


ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ

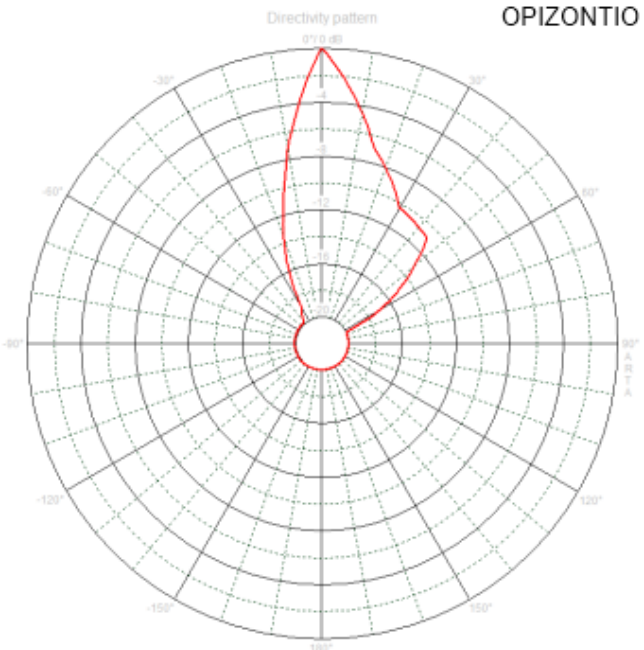


Εικόνα 69
Πολική απόκριση ηχείου - 8000 Hz

ΚΑΘΕΤΟ



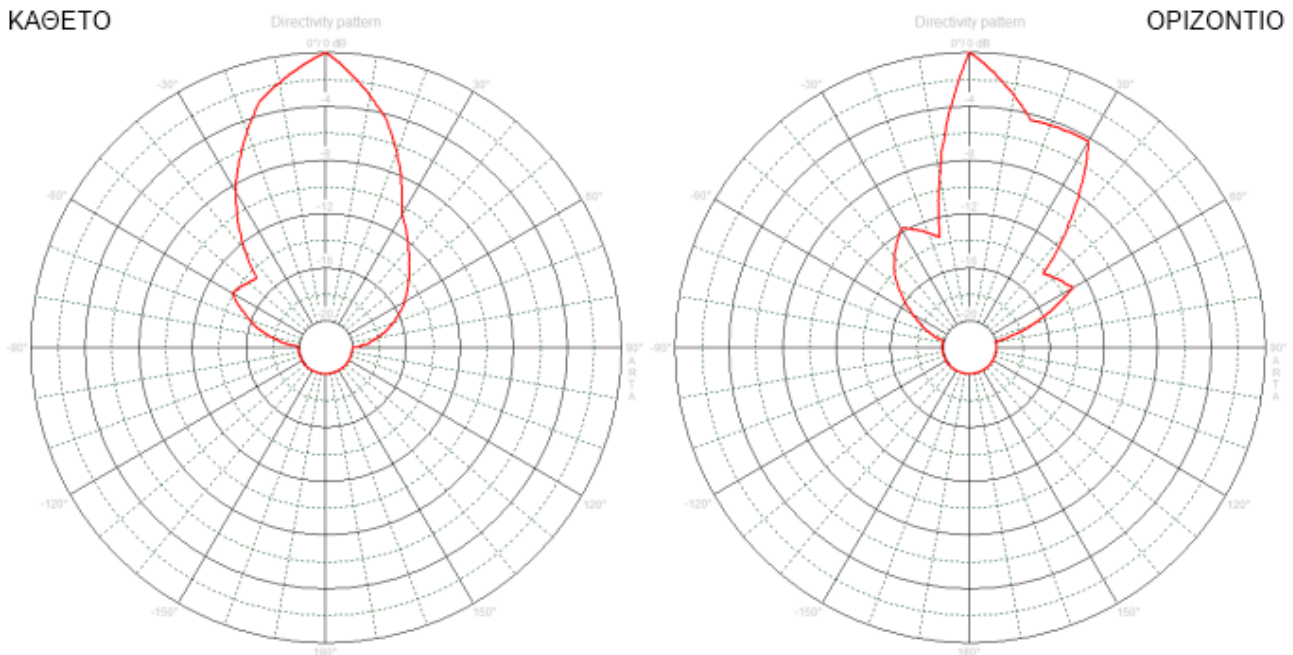
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ



Εικόνα 70
Πολική απόκριση ηχείου - 16000 Hz

Ενδιαφέροντα συμπεράσματα προκύπτουν και από την μελέτη των πολικών διαγραμμάτων του ηχείου. Όπως είναι εμφανές και από τις εικόνες 63 - 70, το ηχείο παρουσιάζει σταδιακά αυξανόμενη κατευθυντικότητα, ανάλογη της αύξησης της συχνότητας: Ενώ το ηχείο είναι σχεδόν παντοκατευθυντικό στη συχνότητα των 125 Hz, η γωνία εκπομπής περιορίζεται σημαντικά στις υψηλότερες συχνότητες του ακουστικού φάσματος. Η συμπεριφορά αυτή είναι αναμενόμενη και συνάδει με την σχετική θεωρία.

Ας σημειωθεί ωστόσο πως η πολική απόκριση του ηχείου χαρακτηρίζεται από μια ανωμαλία, η οποία δεν αποτυπώνεται στα διαγράμματα των εικόνων 63 - 70, τα οποία βασίζονται σε οκταβική ανάλυση. Προκειμένου το φαινόμενο αυτό να αναλυθεί, παρατίθεται ενδεικτικά το πολικό διάγραμμα του ηχείου για την συχνότητα των 3150 Hz (εικόνα 71):



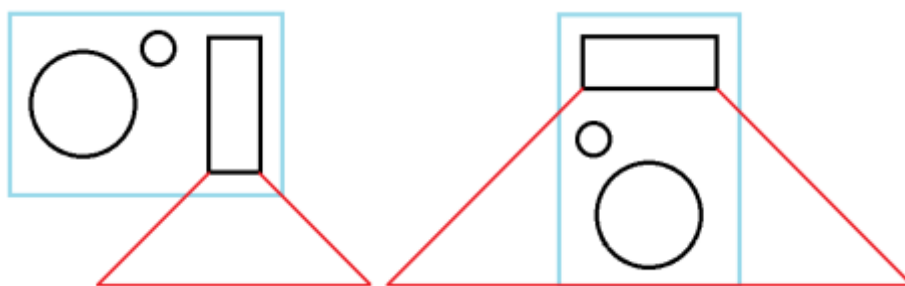
Εικόνα 71
Πολική απόκριση ηχείου - 3150 Hz

Η κατευθυντικότητα στην συχνότητα των 3150 Hz φαίνεται πως είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στις υψηλότερες συχνότητες των 4000 Hz και 8000 Hz. Το φαινόμενο αυτό δύναται να εξηγηθεί λαμβάνοντας υπόψιν το διάγραμμα της εικόνας 20 και γενικότερα τα όσα αναφέρονται στην ενότητα 2.6.2. Έχει παρατηρηθεί πως οι χοάνες παρουσιάζουν μια παροδική αύξηση της κατευθυντικότητας, στο χαμηλό άκρο της συχνοτικής ζώνης της οποίας η γωνία εκπομπής καθορίζεται από την κλίση των τοιχωμάτων αυτών. Η υπόθεση αυτή ενισχύεται περαιτέρω μελετώντας τα πολικά διαγράμματα στις εικόνες 68 και 69: Η γωνία εκπομπής παραμένει πρακτικά αμετάβλητη παρά την αύξηση της συχνότητας από τα 4000 Hz στα 8000 Hz. Μπορεί λοιπόν να εκτιμηθεί με σχετική ασφάλεια πως η κατευθυντικότητα της συγκεκριμένης συχνοτικής ζώνης εξαρτάται από την κλίση των τοιχωμάτων της χοάνης και συνεπώς, αναμένεται να διατηρείται σταθερή παρά την αύξηση της συχνότητας.

Καθώς βέβαια η συχνότητα συνεχίζει να αυξάνει, από ένα σημείο και έπειτα η κατευθυντικότητα εξαρτάται πλέον από την διατομή του λαιμού της χοάνης. Το φαινόμενο αυτό αποτυπώνεται και από το πολικό διάγραμμα της εικόνας 70, όπου η γωνία εκπομπής του ηχείου εμφανίζεται σημαντικά περιορισμένη.

Συγκρίνοντας τα πολικά διαγράμματα που προέκυψαν κατόπιν μέτρησης της απόκρισης του ηχείου, έχοντας αυτό τοποθετημένο τόσο καθέτως όσο και οριζοντίως ως προς το έδαφος, παρατηρείται η σχετική ομοιομορφία αυτών μέχρι και την συχνότητα των 2000 Hz. Οι διαφορές μεταξύ των εν λόγω διαγραμμάτων εκτιμάται πως οφείλονται κατά βάση σε πειραματικό σφάλμα και συγκεκριμένα σε αστοχίες ως προς τον υπολογισμό της γωνίας κατά την περιστροφή του ηχείου μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων.

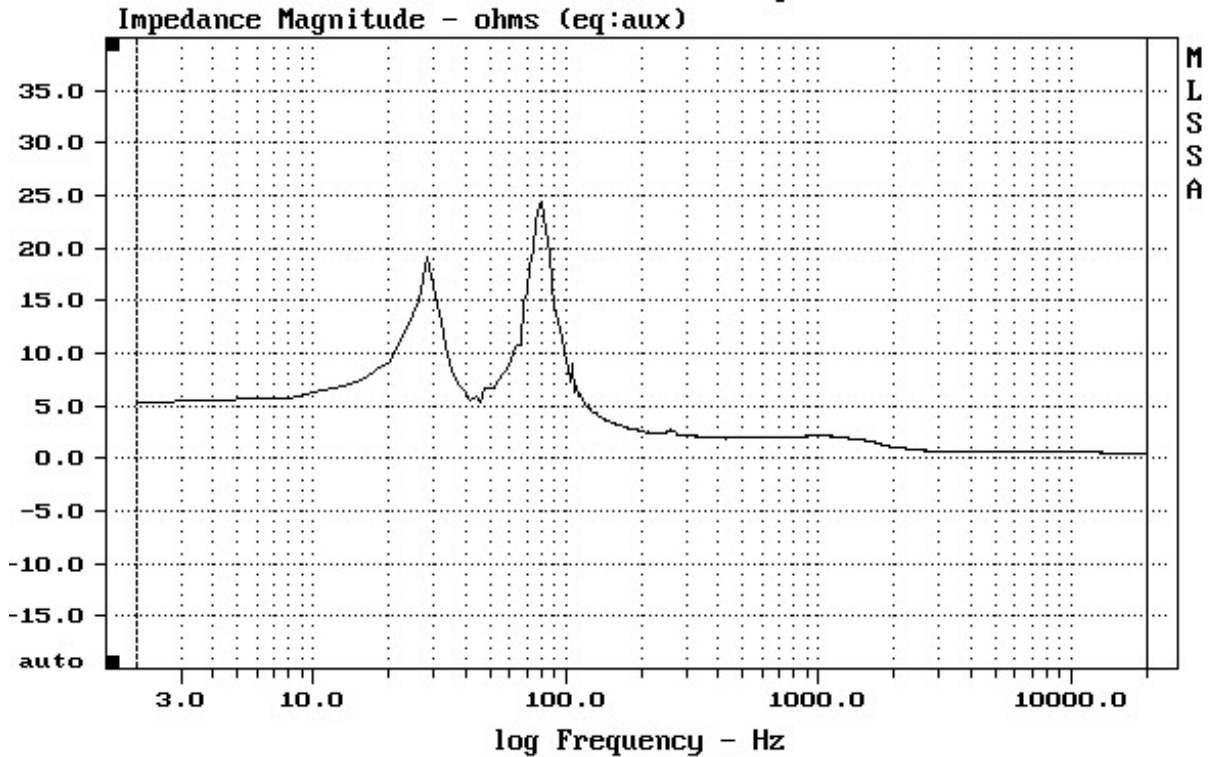
Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ των οριζοντίων και των καθέτων πολικών διαγραμμάτων παρατηρείται στη συχνοτική ζώνη μεταξύ των 4000 Hz και 8000 Hz (εικόνες 68 και 69), όπου η γωνία εκπομπής του οριζοντίως τοποθετημένου ηχείου εμφανίζεται σαφώς περιορισμένη. Κατανοώντας την μέθοδο λήψης των μετρήσεων και εφόσον, όπως αναφέρεται και παραπάνω, η κατευθυντικότητα στην εν λόγω συχνοτική ζώνη εξαρτάται από την κλίση των τοιχωμάτων της χοάνης, το φαινόμενο αυτό είναι δυνατόν να εξηγηθεί: Τα πολικά διαγράμματα στις εικόνες 63 - 71 αποτυπώνουν την φύση της ηχητικής ακτινοβολίας από το ηχείο σε δύο διαστάσεις και συγκεκριμένα στον οριζόντιο νοητό άξονα. Λόγω του παραλληλόγραμμου σχήματος της χοάνης, το μήκος ή το πλάτος αυτής καθορίζουν, ανάλογα με την τοποθέτηση του ηχείου, την γωνία εκπομπής στον εν λόγω άξονα. Το φαινόμενο αυτό περιγράφεται σχηματικά στην εικόνα 72:



Εικόνα 72

Διαφορά στην γωνία εκπομπής της χοάνης ανάλογα με την τοποθέτηση του ηχείου, όπως αυτή αποτυπώνεται σε πολικό διάγραμμα δύο διαστάσεων.

ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΜΠΕΔΗΣΗΣ



Εικόνα 73
Καμπύλη εμπέδησης ηχείου.

Οι καμπύλες εμπέδησης των bass - reflex ηχείων χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη δύο κορυφών, οι οποίες υποδηλώνουν τους κύριους συντονισμούς του συστήματος όπως προκύπτουν κατά την κοινή λειτουργία καμπίνας - οδηγού. Η κοιλιά μεταξύ των εν λόγω κορυφών υποδεικνύει την συχνότητα στην οποία ελαχιστοποιείται η κίνηση του διαφράγματος του οδηγού χαμηλών συχνοτήτων, ενώ αντίστοιχα μεγιστοποιείται η έξοδος από την bass - reflex οπή. Το κατώτατο σημείο της κοιλάδας αυτής ταυτίζεται συνήθως με την συχνότητα συντονισμού της καμπίνας F_b .

Βάσει των παραπάνω, η συχνότητα συντονισμού του ηχείου μπορεί να εκτιμηθεί, εντοπίζοντας το κατώτατο σημείο της κοιλάδας μεταξύ των δύο διαδοχικών κορυφών στην καμπύλη της εικόνας 73, περίπου στα 47 Hz. Παρότι η συχνότητα αυτή αποκλίνει της θεωρητικής (51 Hz), η διαφορά μεταξύ τους θεωρείται αμελητέα και λαμβάνοντας υπόψιν την συχνοτική απόκριση της εικόνας 62, εκτιμάται πως δεν επηρεάζει την απόδοση του ηχείου. Η απόκλιση αυτή πιθανότατα προέκυψε εξαιτίας της μεταβολής του καθαρού όγκου της καμπίνας μετά την προσθήκη ηχοαπορροφητικού υλικού. Όπως είναι εμφανές από τις σχέσεις 2.5, 2.6 και 2.7, οι διαστάσεις του bass - reflex σωλήνα προκειμένου να επιτευχθεί συγκεκριμένη συχνότητα συντονισμού F_b , εξαρτώνται από τον καθαρό όγκο της καμπίνας. Άλλοι παράγοντες οι οποίοι ενδεχομένως οδήγησαν στην συγκεκριμένη απόκλιση είναι πιθανά σφάλματα κατά των υπολογισμών του όγκου των υποσυστημάτων του ηχείου και διακυμάνσεις της ταχύτητας του ήχου στον αέρα c λόγω της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ή της ύπαρξης ηχοαπορροφητικού υλικού στην καμπίνα.

Εν πάση περιπτώσει, λόγω της πειραματικής φύσης της παρούσας εργασίας αλλά και της έλλειψης δυνατότητας πραγματοποίησης ακριβέστερων μετρήσεων με τον διαθέσιμο εξοπλισμό και χώρο, η απόκλιση αυτή θεωρείται αποδεκτή.

Άλλωστε, η καμπύλη εμπέδησης της εικόνας 73 ομοιάζει σε μεγάλο βαθμό με αυτές που παρέχει η Eminence, οι οποίες προέκυψαν κατόπιν μετρήσεων του οδηγού Delta Lite II σε διάφορων όγκων καμπίνες bass - reflex. Σε γενικές γραμμές η ομοιότητα αυτή υποδηλώνει πως ο οδηγός λειτουργεί εντός λογικών πλαισίων. Ενδεικτικά, κάποιες από τις καμπύλες εμπέδησης της Eminence παρατίθενται στο παράρτημα IV.

Οι εξαιρετικά μικρές κορυφές που παρουσιάζονται περίπου στα 110 Hz και τα 270 Hz δεν είναι αναμενόμενες και κατά πάσα πιθανότητα αποτελούν ένδειξη κάποιας μικρής διαρροής ηχητικής ενέργειας από την καμπίνα, ή συντονισμό σε αντίστοιχη συχνότητα κάποιας επιφάνειας.

Τέλος, απουσιάζουν από την καμπύλη εμπέδησης της εικόνας 73 οι αναμενόμενες, σύμφωνα με την εικόνα 34, κορυφές περίπου στα 500 Hz και 1000 Hz, οι οποίες υποδεικνύουν την μέγιστη εμπέδηση του οδηγού tweeter. Ωστόσο το φαινόμενο αυτό είναι φυσιολογικό: Εφόσον η μέτρηση πραγματοποιήθηκε για όλο το ηχείο ως σύνολο και όχι για κάθε οδηγό ξεχωριστά, το φίλτρο crossover δεν απεγκαταστάθηκε από το σύστημα, αποκόπτοντας έτσι την λειτουργία του tweeter για συχνότητες χαμηλότερες των 2500 Hz, της συχνότητας δηλαδή όπου έχει τεθεί το crossover point. Είναι προφανές πως λόγω της απουσίας σήματος προς το tweeter για συχνότητες χαμηλότερες των 2500 Hz, οι κορυφές στα 460 Hz και 1600 Hz ήταν αδύνατο να προκύψουν.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Κατόπιν εξέτασης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του ηχείου θα μπορούσε να ειπωθεί πως ο στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας επιτεύχθηκε. Η συχνοτική και πολική απόκριση αυτού θεωρούνται, δεδομένων των πρακτικών περιορισμών που συναντήθηκαν, ικανοποιητικές.

Κρίνοντας από το τελικό αποτέλεσμα, εκτιμάται πως οι διάφορες μεθοδολογίες σχεδιασμού και κατασκευής ολοκληρωμένων συστημάτων ηχείων οι οποίες μελετήθηκαν και τελικά εφαρμόστηκαν στην εργασία αυτή, δύνανται να αποδώσουν, εάν ακολουθηθούν με σχετική ακρίβεια, υψηλής σχετικά ποιότητας προϊόντα. Μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα πως οι συγκεκριμένες μεθοδολογίες θα αποτελέσουν εξαιρετικά βοηθήματα για τον αρχάριο κατασκευαστή ηχείων, διευκολύνοντας σημαντικά την διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής της καμπίνας και, εάν κάτι τέτοιο επιθυμείται, την περαιτέρω βελτίωση αυτής.

Η κατασκευή ενός ηχείου με ικανοποιητική απόδοση χρησιμοποιώντας plexiglass είναι σίγουρα εφικτή. Η υψηλή αντοχή και ακαμψία μάλιστα του υλικού θα μπορούσαν να το καταστήσουν εξαιρετική λύση έναντι άλλων συμβατικών υλικών όπως το MDF. Παράλληλα, η χαρακτηριστική ευπλασία του plexiglass (όπως και όλων των συνθετικών υλικών) δύναται να επιτρέψει σε μια εταιρεία κατασκευής την ευκολότερη παραγωγή ηχείων ασύμμετρου σχήματος, τόσο για κοσμητικούς λόγους όσο και ως τρόπο περιορισμού των στάσιμων κυμάτων στο εσωτερικό της καμπίνας, εγχείρημα το οποίο θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο χρησιμοποιώντας συμβατικά υλικά. Η αντίφαση που προκύπτει δυστυχώς εδώ είναι πως για τον ερασιτέχνη κατασκευαστή ένα αντίστοιχο εγχείρημα δεν είναι εύκολα εφικτό, εφόσον η δόμηση μιας τέτοιου σχήματος καμπίνας από plexiglass προϋποθέτει την ύπαρξη εξειδικευμένων επαγγελματικών εγκαταστάσεων και εξοπλισμού. Γενικότερα δεν πρέπει να παραβλεφθεί και το υψηλό κόστος του plexiglass σε σχέση με άλλες λύσεις. Για ένα ηχείο υψηλής απόδοσης μάλιστα, στο οποίο κατά κανόνα απαιτείται μεγαλύτερων διαστάσεων καμπίνα και παχύτερα τοιχώματα, το τελικό κόστος εκτιμάται πως θα είναι αναπόφευκτα, εξαιρετικά υψηλό.

Βάσει των παραπάνω, η χρήση plexiglass για την κατασκευή ηχείων τα οποία προορίζονται για επαγγελματική χρήση (π.χ σε studio) δεν ενδείκνυται, εφόσον η υπάρχουσα τεχνολογία μπορεί να αποδώσει ηχεία υψηλής ποιότητας χρησιμοποιώντας υλικά χαμηλότερου κόστους. Το plexiglass ωστόσο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε ποιοτικά ηχεία μικρότερων διαστάσεων τα οποία, λαμβάνοντας υπόψιν την κοσμητική ανωτερότητα του υλικού, προορίζονται για οικιακή χρήση.

Πρέπει να γίνει απόλυτα κατανοητό πως ένα ηχείο πολλαπλών δρόμων, ιδιαίτερα αν βασίζεται σε μια καμπίνα ιδιαίτερου σχεδιασμού (π.χ bass - reflex), αποτελεί ένα περίπλοκο, δυναμικό και κατά συνέπεια, συχνά απρόβλεπτο σύστημα. Προτείνεται ο υποψήφιος κατασκευαστής, ακόμα και αν δεν επιθυμεί την εις βάθος κατανόηση του συνόλου των φαινομένων τα οποία λαμβάνουν χώρα κατά την λειτουργία ενός ηχείου, να μελετήσει τις Thiele / Small παραμέτρους, την μεθοδολογία υπολογισμού του όγκου και των διαστάσεων της καμπίνας, καθώς και την επίδραση της συχνότητας συντονισμού αυτής στην συνολική απόκριση ενός ηχείου με δεδομένους οδηγούς. Η παρούσα εργασία και το βιβλίο του Gene Healey, *The Audiophile Loudspeaker Anyone Can Build*, μπορούν να αποτελέσουν αφετηρία για μια τέτοια μελέτη. Εάν κάποιος επιθυμεί να εμβαθύνει στο αντικείμενο, μπορεί να μελετήσει το βιβλίο του Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*.

Κλείνοντας, ως εκφραστεί η ελπίδα πως η παρούσα πτυχιακή εργασία θα αποτελέσει όντως έναν χρήσιμο και προσιτό οδηγό, ο οποίος θα εισάγει τον υποψήφιο κατασκευαστή σε βασικές έννοιες, κατευθύνοντάς τον παράλληλα σε περισσότερο εξειδικευμένη βιβλιογραφία.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

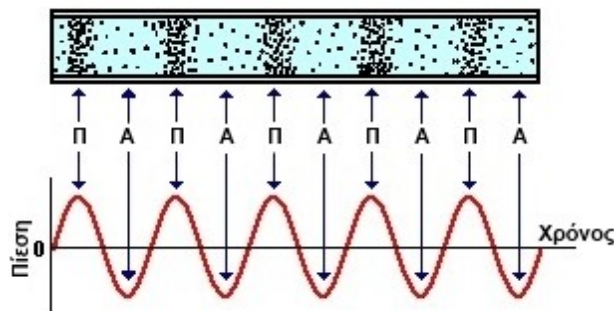
ΗΧΟΣ

Ως ήχος ορίζεται κάθε περιοδική μεταβολή της πυκνότητας ενός ελαστικού μέσου, συνήθως του ατμοσφαιρικού αέρα, που ανάλογα με την συχνότητα της διεγείρει τα αισθητήρια όργανα των έμβιων οργανισμών προκαλώντας τα αντίστοιχα αισθήματα.

Προκειμένου να παραχθεί ήχος πρέπει να υπάρχει κάποια ηχητική πηγή, κάποιο σώμα δηλαδή το οποίο εκτελεί ταλάντωση, καθώς και κάποιος φορέας, δηλαδή ένα ελαστικό σώμα μέσω του οποίου είναι δυνατόν να μεταδοθούν ταλαντώσεις.

Ο ήχος είναι ουσιαστικά ένα μηχανικό κύμα (κύμα ελαστικότητας). Όταν ένα σώμα - πηγή ταλαντώνεται, μέρος της μηχανικής του ενέργειας μεταφέρεται και σε παρακείμενα σε αυτό σώματα - φορείς με την μορφή τέτοιων κυμάτων: Οι ταλαντώσεις της ηχητικής πηγής ασκούν δυνάμεις στα μόρια του σώματος – φορέα τα οποία με τη σειρά τους ασκούν ανάλογες δυνάμεις σε γειτονικά τους μόρια, αναγκάζοντάς τα έτσι να έλθουν εκτός θέσης ισορροπίας.

Επειδή τα πιο μακρινά από την πηγή μόρια του σώματος – φορέα δεν μπορούν, λόγω αδράνειας, να ακολουθήσουν την κίνηση που προκαλείται από τις ταλαντώσεις της πηγής, δημιουργούνται πλησίον της πηγής εναλλασσόμενα πυκνώματα και αραιώματα στο σώμα – φορέα. Δημιουργείται έτσι μια περιοδική μεταβολή της πυκνότητας, άρα και της πίεσης του σώματος – φορέα, που διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις. Το ηχητικό κύμα συνεπώς θα μπορούσε να ορισθεί ως μια περιοδική μεταβολή της πυκνότητας και κατά συνέπεια της πίεσης του σώματος – φορέα, η οποία διαδίδεται προς όλες τις διευθύνσεις με ορισμένη ταχύτητα.



Εικόνα 74

Σχηματική περιγραφή του τρόπου διάδοσης των ηχητικών κυμάτων. Τα πυκνώματα του σώματος – φορέα συμβολίζονται ως “Π” ενώ τα αραιώματα ως “Α”.

- Ας σημειωθεί πως στα ρευστά σώματα (υγρά και αέρια), τα ηχητικά κύματα διαδίδονται πάντα ως διαμήκη, ενώ στα στερεά μπορούν να διαδοθούν και ως εγκάρσια.
- Όλα τα υλικά σώματα μπορούν, ανάλογα με τις φυσικές τους ιδιότητες όπως η πυκνότητα ή η ελαστικότητά τους, να μεταδώσουν ως ένα σημείο ηχητικά κύματα. Ο ήχος ωστόσο δεν μπορεί να μεταδοθεί στο κενό.
- Η συχνότητα των ηχητικών κυμάτων εξαρτάται άμεσα από την συχνότητα ταλάντωσης της ηχητικής πηγής. Με λίγα λόγια, εάν η πηγή δονείται σε υψηλή συχνότητα τότε και ο παραγόμενος ήχος θα χαρακτηρίζεται από υψηλή συχνότητα.

- Η ταχύτητα του ήχου σε κάθε μέσο είναι διαφορετική και εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του όπως η θερμοκρασία του, η πυκνότητά του κ.α. Είναι ωστόσο ανεξάρτητη από την συχνότητα ταλάντωσης της πηγής, το πλάτος και το μήκος κύματος.

Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται από την θερμοκρασία του και την στατική του πίεση. Σε συνήθεις συνθήκες δωματίου, με θερμοκρασία 22°C και στατική πίεση της τάξης των 751 mm Hg (105N/m²), η πυκνότητα του περιβαλλοντικού αέρα είναι 1.18 Kg/m³. Υπό αυτές τις συνθήκες, η ταχύτητα του ήχου είναι 344.8 m/s αλλά για λόγους ευκολίας πολλές φορές χρησιμοποιείται η τιμή των 340 m/s. Το μήκος κύματος (λ) ενός ήχου είναι ίσο με το πηλίκο της ταχύτητας διάδοσης του ήχου στον αέρα και της συχνότητας και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\lambda = \frac{340\text{m/s}}{f} \quad (\text{A.1})$$

- Η στάθμη ηχητικής πίεσης (Sound Pressure Level – SPL) ορίζεται ως είκοσι φορές ο λογάριθμος του δέκα, επί τον ρυθμό της ενεργούς ηχητικής πίεσης (P), προς την ακουστική πίεση αναφοράς (P ref):

$$SPL = 20 \log \frac{P}{P_{ref}} \text{ dB} \quad (\text{A.2})$$

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η αίσθηση του ήχου οφείλεται σε πυκνώματα και αραιώματα του μέσου μετάδοσης. Η ενέργεια που μεταδίδεται ανά μονάδα επιφανείας μεταβάλλεται βάσει του τετραγώνου της απόστασης από την ηχητική πηγή. Ο ρυθμός μετάδοσης της ενέργειας αυτής εκφράζεται ως ένταση του ήχου και σχετίζεται άμεσα με την αίσθηση της ακουστότητας. Η σταδιακή αυτή μεταβολή της πίεσης ορίζεται ως ηχητική πίεση και για πρακτικούς λόγους, έχει οριστεί ως το μέγεθος με το οποίο μετράται και περιγράφεται η ακουστότητα ενός ήχου.

Η ακουστική πίεση αναφοράς (P_{ref}) είναι η κατά προσέγγιση τιμή του κατωφλίου ακουστότητας και ισούται με 0.0002 microbars (2 × 10⁻⁵ N/m²)

- Η ένταση (I) ενός ηχητικού κύματος στην κατεύθυνση διάδοσης ισούται με:

$$I = \frac{P^2}{\rho_0 c} \text{ W/m}^2 \quad (\text{A.3})$$

όπου ρ₀ = 1.18 Kg/m² και c = 340 m/s.

- Η στάθμη έντασης ενός ήχου εκφράζεται σε dB ως:

$$IL = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} dB \quad (A.4)$$

όπου $I_{ref} = 10^{-12} \text{ W/m}^2 = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$

- Η σχέση ανάμεσα στην στάθμη έντασης (IL) και την στάθμη ηχητικής πίεσης (SPL) μπορεί να οριστεί, βάση των παραπάνω, ως:

$$IL = SPL + 10 \log \frac{400}{P_o C} dB \quad (A.5)$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΧΝΑ ΣΥΝΑΝΤΩΜΕΝΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ

Έννοιες όπως η απόσβεση, ο παράγοντας ποιότητας, η αποδοτικότητα και η εμπέδηση, καθώς και οι σχέσεις μεταξύ αυτών, πρέπει να είναι κατανοητές προκειμένου να επιλεγούν τα κατάλληλα μεγάφωνα για την εκάστοτε εφαρμογή ωστόσο, δεν κρίθηκε απαραίτητη η εις βάθος περιγραφή και ανάλυση τους σε κάποια από τις προηγούμενες ενότητες. Για την διευκόλυνση του αναγνώστη πραγματοποιήθηκε στο παρόν παράρτημα σύντομη περιγραφή των σημαντικότερων εννοιών που σχετίζονται με την λειτουργία των ηλεκτροδυναμικών μεγαφώνων

• ΣΥΝΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ

Η σύνθετη αντίσταση εισόδου (ή ηλεκτρική εμπέδηση – electrical impedance) Z ορίζεται ως ο λόγος της τάσης προς την ένταση ηλεκτρικού ρεύματος για μία συγκεκριμένη συχνότητα εναλλασσόμενου ρεύματος.

$$Z = \frac{V}{I} \quad (\text{A.6})$$

Η τιμή της σύνθετης αντίστασης ενός ηλεκτρικού κυκλώματος μεταβάλλεται με την μεταβολή της συχνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει. Η κύρια μονάδα μέτρησης της σύνθετης αντίστασης είναι το Ohm (Ω).

Σε ένα μεγάφωνο, η σύνθετη αντίσταση εισόδου αναφέρεται ουσιαστικά στην αντίσταση που αυτό ασκεί στο ρεύμα που λαμβάνει από την μονάδα ενίσχυσης. Οι συνηθέστερες τιμές σύνθετης αντίστασης για τα μεγάφωνα του εμπορίου είναι 16 Ω , 8 Ω και 4 Ω . Ωστόσο οι τιμές αυτές είναι συνήθως ονομαστικές και δύνανται να μεταβληθούν ανάλογα με την συχνότητα του ηχητικού σήματος που αναπαράγεται από την συσκευή.

Προκειμένου να εξασφαλισθεί η βέλτιστη λειτουργία ενός ολοκληρωμένου σύνθετου ηχείου, είναι απαραίτητο να υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στις σύνθετες αντιστάσεις εισόδου και εξόδου των διάφορων εξαρτημάτων του (φίλτρα crossover, μεγάφωνα) καθώς και του ενισχυτή με τον οποίο θα χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα, εάν ένα ηχείο με δεδομένη σύνθετη αντίσταση εισόδου συνδεθεί σε ενισχυτή με μικρότερη αυτής σύνθετη αντίσταση εξόδου, μεγάλο μέρος της ισχύος που παρέχεται από αυτόν θα μετατραπεί σε θερμότητα. Αυτή η αναντιστοιχία όχι μόνο οδηγεί σε σπατάλη ενέργειας, αλλά είναι δυνατόν να προκαλέσει και την πρόωρη φθορά του ενισχυτή λόγω υπερθέρμανσης.

• ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΜΠΕΔΗΣΗ

Όταν μια δονούμενη επιφάνεια (μια δηλαδή ηχητική πηγή) έρχεται σε επαφή με κάποιο μέσο διάδοσης (π.χ. αέρας), η αντίστασή της στην κίνηση μεταβάλλεται. Η επιπλέον αντίσταση που ασκείται από επιφάνειες οι οποίες εκπέμπουν χρήσιμη ηχητική ενέργεια ορίζεται ως “ακουστική εμπέδηση ή εμπέδηση ακτινοβολίας”. Λαμβάνει συνήθως θετική τιμή και εξαρτάται από το μέγεθος

και την μάζα της δονούμενης επιφάνειας, την συχνότητα ταλάντωσης, καθώς και από τις ακουστικές ιδιότητες του περιβάλλοντος στο οποίο αυτή ταλαντώνεται.

Η ακουστική εμπέδηση ορίζεται μαθηματικά ως ο λόγος της ενεργούς ακουστικής πίεσης προς την σωματιδιακή ταχύτητα επί το εμβαδό της επιφάνειας η οποία ακτινοβολεί ένα απλό, οδεύον ηχητικό κύμα.

$$Z = \frac{p}{u S} \quad (\text{A.7})$$

Η μονάδα μέτρησης της χαρακτηριστικής εμπέδησης είναι το Rayl ανά m^2 .

• ΑΠΟΣΒΕΣΗ

Ως απόσβεση ορίζεται η απώλεια ενέργειας ενός δονούμενου συστήματος και οφείλεται συνήθως σε δυνάμεις τριβής. Όταν εξετάζεται ένα μεγάφωνο γίνεται αναφορά σε δύο τύπων αποσβέσεις, την μηχανική και την ηλεκτρική. Η μηχανική απόσβεση εξαρτάται από την ελαστικότητα του συστήματος ανάρτησης και του αέρα εντός της καμπίνας. Η ηλεκτρική απόσβεση πάλι, εξαρτάται από το μαγνητικό σύστημα που ενσωματώνεται σε κάθε μεγάφωνο.

Η μηχανική αποσβεστική ικανότητα του συστήματος ανάρτησης ενός οδηγού αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την ορθή αναπαραγωγή του ηχητικού σήματος αλλά και την ομοιόμορφη συχνοτική απόκριση του συστήματος. Ένα σύστημα ανάρτησης με περιορισμένη αποσβεστική ικανότητα δεν θα ήταν δυνατό να ελέγξει επαρκώς την κίνηση του διαφράγματος, ιδιαίτερα σε υψηλότερα επίπεδα ισχύος και ακουστικής πίεσης, με αποτέλεσμα την αλλοίωση του ηχητικού σήματος.

Η ηλεκτρική απόσβεση προκύπτει από την ιδιότητα των μαγνητών να ενεργούν ως δύναμη επαναφοράς στο πηνίο του μεγαφώνου. Η αδυναμία λιγότερο ισχυρών και χαμηλότερης ποιότητας μαγνητών να επαναφέρουν αρκετά γρήγορα το δονούμενο μηχανισμό στη θέση ισορροπίας του, έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία πολλαπλών συντονισμών στην επιφάνεια του διαφράγματος, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την απόκριση του μεγαφώνου.

• ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ Q

Ο παράγοντας ποιότητας Q είναι η παράμετρος που περιγράφει την οξύτητα ενός συντονισμού. Ορίζεται ως το πηλίκο της κεντρικής συχνότητας προς το εύρος ζώνης ($Q=f/\Delta f$). Στην κεντρική συχνότητα, η οποία ονομάζεται και συχνότητα συντονισμού, το Q λαμβάνει την μέγιστη τιμή πλάτους του.

Ένα υψηλό Q υποδεικνύει την ύπαρξη κορυφής στην συχνοτική απόκριση ενώ αντίθετα, ένα χαμηλό υποδεικνύει μια περισσότερο ομαλή συχνοτική απόκριση. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως ο ήχος γίνεται πολύ εστιασμένος στην περίπτωση που το Q είναι υψηλό, το διάφραγμα δηλαδή είναι σε θέση να δονείται ελεύθερα στην συχνότητα συντονισμού.

Τυπικές τιμές της παραμέτρου Q είναι 0,7 για ηχεία κλειστού τύπου και 0,2 – 0,4 για ηχεία τύπου bass – reflex. Οι τιμές αυτές είναι εξαιρετικά χαμηλές σε σχέση με αυτές ακουστικών μουσικών οργάνων, όπως παραδείγματος χάρη του βιολιού, του οποίου το Q λαμβάνει τιμές της τάξης του 30-50. Το χαρακτηριστικό ηχόχρωμα τέτοιων οργάνων βέβαια οφείλεται στο πλήθος των συντονισμών που λαμβάνουν χώρα στο σώμα αυτών. Ένα μεγάφωνο αντίθετα προορίζεται για την πιστή αναπαραγωγή της ηχητικής πληροφορίας που λαμβάνει στην είσοδό του και ο χρωματισμός του ήχου είναι ανεπιθύμητος.

• ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η αποδοτικότητα ενός ηλεκτροακουστικού μετατροπέα είναι το μέγεθος εκείνο που προσδιορίζει την ικανότητα αυτού να μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Συνήθως αφορά την έξοδο ενός οδηγού όπως μετράται σε απόσταση ενός μέτρου από αυτόν και ενώ τροφοδοτείται με ισχύ ενός Watt από κάποιο ενισχυτή. Μονάδα μέτρησης της αποδοτικότητας είναι το dB SPL.

Τα μεγάφωνα θεωρούνται, λόγω της περιορισμένης αποδοτικότητάς τους, ως ο αδύναμος κρίκος στα σύγχρονα ηχητικά συστήματα υψηλής ποιότητας. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που εισάγεται σε ένα ηχείο από τον ενισχυτή (90% - 99%) μετατρέπεται σε θερμότητα εξαιτίας των ηλεκτρομηχανικών διεργασιών που απαιτούνται για την κίνηση του διαφράγματος των μεγαφώνων και κατά συνέπεια, μόλις ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας αυτής ακτινοβολείται ως ήχος. Σε γενικές γραμμές η αποδοτικότητα ενός μεγαφώνου, άρα και του ηχείου στο οποίο αυτό ενσωματώνεται, καθορίζεται από παράγοντες όπως η ισχύς του μαγνήτη και το μέγεθος του διαφράγματος που αυτό διαθέτει. Βελτίωση της αποδοτικότητας ενός ηχείου είναι δυνατόν να επιτευχθεί, σε κάποιο βαθμό, με διάφορες μεθόδους όπως η ενσωμάτωση προσαρμογέων εμπέδησης (όπως χοάνες) στους οδηγούς ή μέσω της αξιοποίησης των φυσικών χαρακτηριστικών της καμπίνας (σχεδιασμοί καμπίνας bass – reflex ή ακουστικής ανάρτησης).

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ THIELE / SMALL

- **B:** Πυκνότητα μαγνητικού πεδίου, μετράται σε Tesla-meters (TM).
- **BL:** Παράγοντας ηλεκτρομαγνητικής δύναμης. Περιγράφει την ένταση του μαγνητικού πεδίου των μαγνητών ενός οδηγού. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή αυτής της παραμέτρου, τόσο ισχυρότερος θεωρείται ο οδηγός. Μετράται σε Tesla-meters (TM).
- **c:** Ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα, ισούται με περίπου 342 m/s.
- **D:** Η ονομαστική διάμετρος του οδηγού. Μετράται σε μέτρα (m) αλλά συνηθίζεται να αναφέρεται και η τιμή της σε ίντσες.
- **EBP:** Η παράμετρος αυτή αποτελεί έναν προσεγγιστικό δείκτη καταλληλότητας ενός δεδομένου οδηγού για χρήση σε καμπίνες κλειστού τύπου ή bass-reflex. Τιμές της παραμέτρου μεγαλύτερες ή ίσες του 100 υποδεικνύουν καταλληλότητα για χρήση σε bass-reflex συστήματα, ενώ μικρότερες ή ίσες του 50 καταλληλότητα για χρήση σε κλειστού τύπου καμπίνες. Μια τιμή μεταξύ του 50 και του 100 υποδεικνύει πως ο οδηγός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στον δύο τύπων καμπίνες.
- **Fb:** Η συχνότητα συντονισμού Helmholtz της καμπίνας (αναφέρεται συνήθως σε bass-reflex συστήματα), μετράται σε Hz.
- **Fc:** Η συχνότητα συντονισμού του συστήματος (το αντίστοιχο μέγεθος της Fb αλλά για κλειστού τύπου καμπίνες), μετράται σε Hz.
- **f3:** Η συχνότητα αποκοπής -3dB, μετράται σε Hz.
- **Fs:** Η συχνότητα συντονισμού του οδηγού στο ελεύθερο πεδίο. Ορίζει το σημείο όπου η εμπέδηση του οδηγού λαμβάνει μέγιστη τιμή. Σε γενικές γραμμές χαμηλότερη τιμή της

παραμέτρου αυτής υποδεικνύει πως ένας οδηγός είναι καταλληλότερος για την αναπαραγωγή χαμηλών συχνοτήτων. Μετράται σε Hz.

- **Le:** Η επαγωγή του πηνίου, μετράται σε millihenries (mH).
- **Ms:** Η συνολική κινούμενη μάζα του οδηγού.
- **Mmd:** Η μάζα του διαφράγματος, μετράται σε γραμμάρια (gr).
- **Mms:** Η ενεργός μάζα του οδηγού. Είναι το άθροισμα της μάζας του μεγαφώνου και της μάζας του αέρα που μετακινείται από το διάφραγμα.
- **Re:** Η DC αντίσταση του πηνίου. Η τιμή της, όπως προκύπτει από μετρήσεις με πολύμετρο, είναι συνήθως μικρότερη της ονομαστικής αντίστασης του οδηγού. Μετράται σε Ohm.
- **Xmax:** Μέγιστη γραμμική μετατόπιση του διαφράγματος. Αναφέρεται στην απόσταση που μπορεί να καλυφθεί από το διάφραγμα χωρίς αυτό να εξέλθει από τον χώρο που καταλαμβάνει το σύστημα του μαγνήτη. Κίνηση του διαφράγματος πέραν της ασφαλούς ζώνης Xmax μπορεί να αποδώσει μεγαλύτερη στάθμη ακουστικής πίεσης αλλά και ένα ποσοστό παραμόρφωσης. Εάν η ασφαλής ζώνη ξεπεραστεί κατά πολύ υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του μεγαφώνου.
- **Sd:** Ενεργός ακτινοβολούσα περιοχή οδηγού. Πρόκειται στην πράξη για την επιφάνεια του διαφράγματος συν ένα μέρος του περιβλήματος το οποίο δύναται να ακτινοβολεί ηχητική ενέργεια. Μετράται σε τετραγωνικά εκατοστά (cm^2).
- **Vd:** Το μέγιστο γραμμικό εκτόπισμα ενός οδηγού. Αναφέρεται στον μέγιστο όγκο αέρα που δύναται να μετακινηθεί από το διάφραγμα. Προκύπτει ως ηλίκο του Xmax με το Sd και μετράται σε κυβικά εκατοστά (cm^3).
- **Cms:** Η μηχανική ενδοτικότητα του οδηγού. Περιγράφει την δύναμη που ασκείται από την ανάρτηση ενός μεγαφώνου, είναι ουσιαστικά ένα μέτρο της ακαμψίας της ανάρτησης αυτής. Μετράται σε m/N.
- **Cas:** Το ακουστικό ανάλογο του Cms δηλαδή η ακουστική ενδοτικότητα του οδηγού. Μετράται επίσης σε m/N.
- **Vas:** Ο ισοδύναμος όγκος ενδοτικότητας. Αναφέρεται στον όγκο αέρα που όταν συμπιεστεί σε χώρο ενός κυβικού μέτρου ασκεί δύναμη ίση της μηχανικής ενδοτικότητας (Cms). Μεγαλύτερες τιμές της παραμέτρου αυτής σημαίνουν μικρότερη ακαμψία και αναδεικνύουν συνήθως την ανάγκη χρήσης μεγαλύτερης καμπίνας για τον δεδομένο οδηγό. Μετράται σε κυβικά μέτρα (m^3).
- **Rg:** Αντίσταση πηγής ενισχυτή. Μετράται σε Ohm.
- **Qa:** Το Q του συστήματος στην συχνότητα Fb λόγω απωλειών απορρόφησης.
- **Qms:** Το Q του συστήματος στην συχνότητα Fs λόγω μηχανικών απωλειών.

- **Q_{es}**: Το Q του συστήματος στην συχνότητα F_s λόγω ηλεκτρικών απωλειών.
- **Q_{mc}**: Το Q του συστήματος στην συχνότητα F_c λόγω μηχανικών απωλειών.
- **Q_{ec}**: Το Q του συστήματος στην συχνότητα F_c λόγω ηλεκτρικών απωλειών.
- **Q_{tc}**: Το Q του συστήματος στην συχνότητα F_c λόγω όλων των απωλειών.
- **Q_i**: Το Q του συστήματος στην συχνότητα F_b λόγω απωλειών από διαρροές.
- **Q_a**: Το Q του συστήματος στην συχνότητα F_b λόγω απωλειών απορρόφησης.
- **Q_p**: Το Q του συστήματος στην συχνότητα F_b λόγω απωλειών από την οπή ενίσχυσης χαμηλών (π.χ. εξαιτίας στροβιλισμών).
- **Q_{ts}**: Το Q του συστήματος στην συχνότητα F_s λόγω όλων των απωλειών.
- **R_{ms}**: Το μέγεθος αυτό εκφράζει τις μηχανικές απώλειες του οδηγού. Μετράται σε κιλά ανά δευτερόλεπτο (kg/s).
- **C_{as}**: Το ακουστικό ανάλογο του C_{ms}.
- **M_{as}**: Ακουστικό ανάλογο του M_{ms}.
- **R_{as}**: Ακουστικό ανάλογο του R_{ms}.
- **P_a**: Ακουστική ισχύς του οδηγού.
- **P_e**: Η μέγιστη συνεχή ακουστική ισχύς (RMS) που μπορεί να διαχειριστεί ένας οδηγός.
- **P**: Η πυκνότητα του αέρα. Ισούται με περίπου 1,18 κιλά ανά κυβικό μέτρο ωστόσο εξαρτάται και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος (π.χ. Από την υγρασία, την θερμοκρασία, κλπ).
- **η₀**: Η αποδοτικότητα αναφοράς του συστήματος στο ελεύθερο πεδίο, συνήθως εκφράζεται σε μορφή ποσοστού επί της εκατό.

$$\eta_0 = \frac{K \times (F_s^3 \times V_{as})}{Q_{es}} \quad (\text{A.8})$$

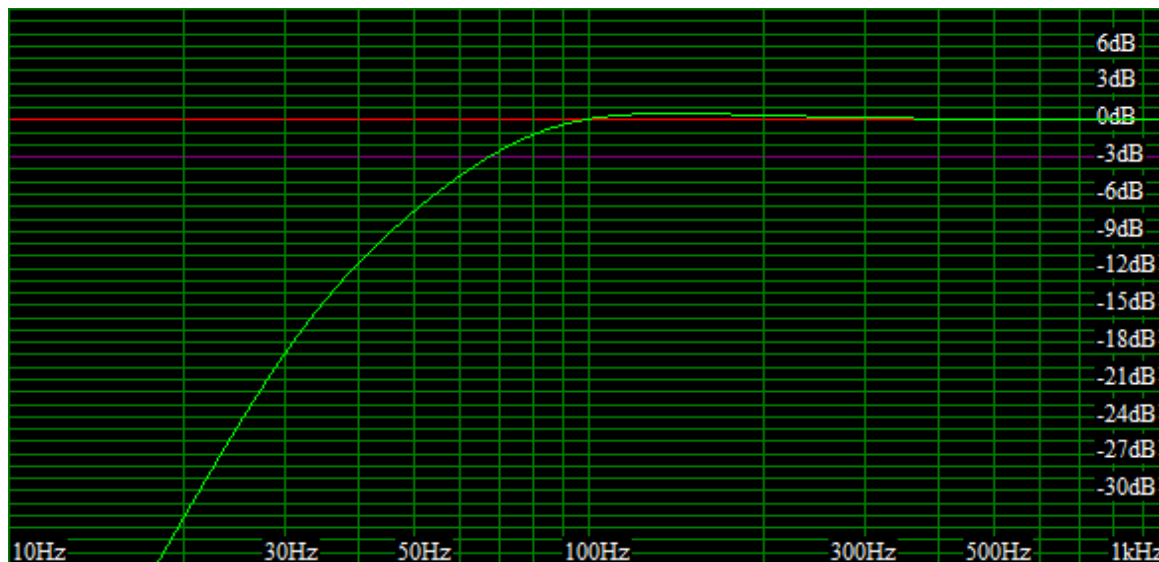
όπου το K είναι σταθερά και ισούται με 9,64 x 10⁻¹⁰ λίτρα (9,64 x 10⁻⁷ κυβικά μέτρα).

- **P_{ar}**: Η περιορισμένη λόγω της μετατόπισης του διαφράγματος ακουστική ισχύς, μετράται σε Watt.
- **P_{er}**: Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς εισόδου. Εξαρτάται από την περιορισμένη ακουστική ισχύ μετατόπισης P_{ar} και την αποδοτικότητας αναφοράς η₀.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ WOOFER

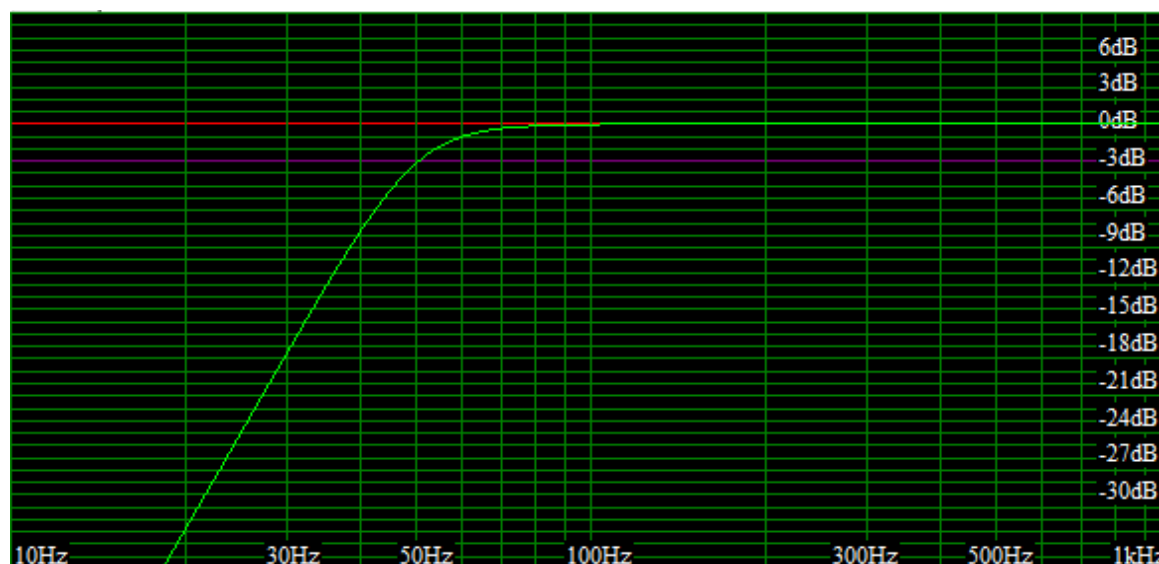
- Προσομοίωση καμπίνας όγκου 30 λίτρων:



Εικόνα 75

Εκτιμώμενη συχνοτική απόκριση οδηγού Delta Lite II 2510 σε καμπίνα όγκου 30 λίτρων.

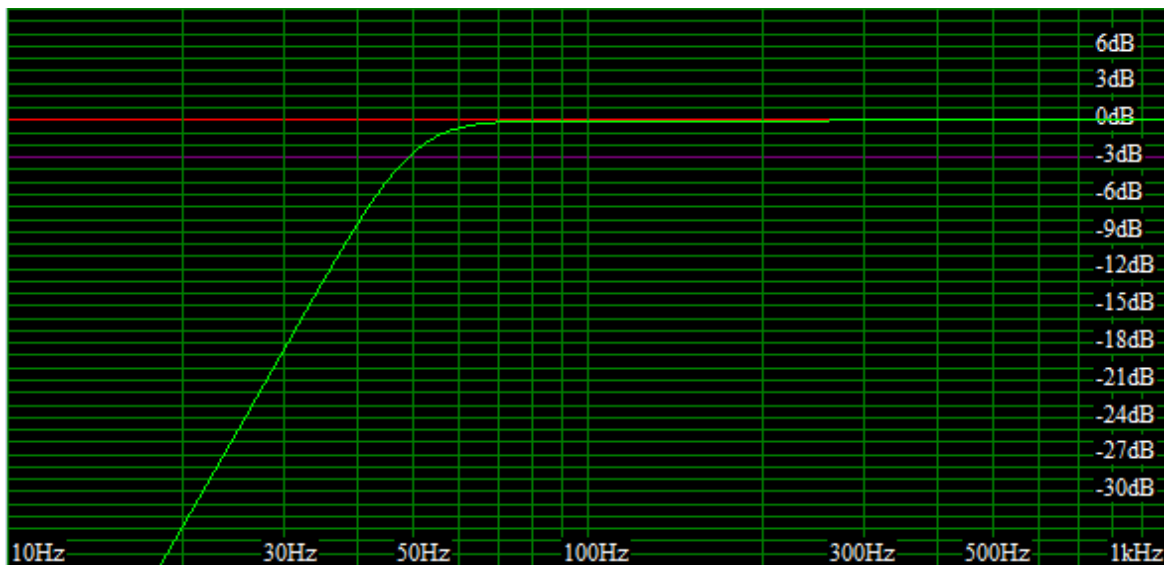
- Προσομοίωση καμπίνας όγκου 55 λίτρων:



Εικόνα 76

Εκτιμώμενη συχνοτική απόκριση οδηγού Delta Lite II 2510 σε καμπίνα όγκου 55 λίτρων.

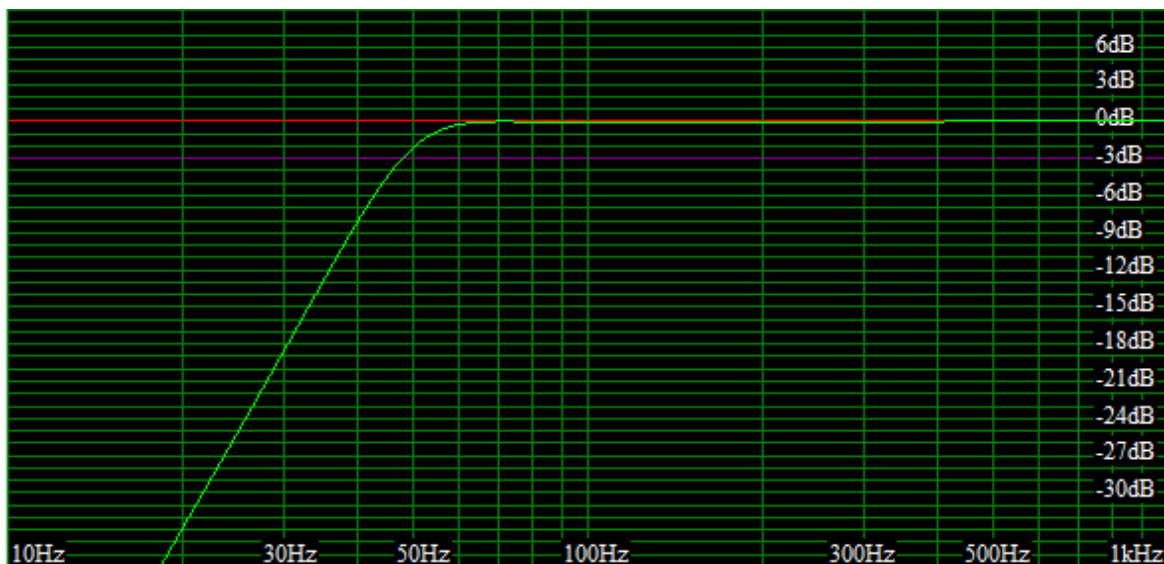
- Προσομοίωση καμπίνας όγκου 60 λίτρων (ιδανικός όγκος σύμφωνα με τύπο Margolis - Small):



Εικόνα 77

Εκτιμώμενη συχνοτική απόκριση οδηγού Delta Lite II 2510 σε καμπίνα όγκου 60 λίτρων.

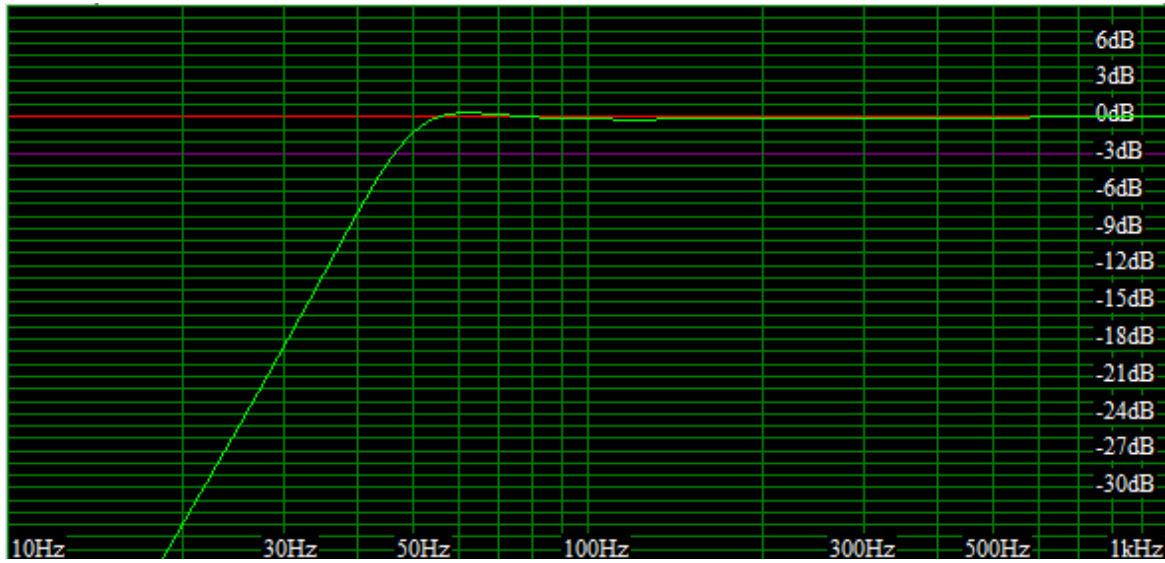
- Προσομοίωση καμπίνας όγκου 65 λίτρων (ιδανικός όγκος σύμφωνα με τύπο Keele Jr):



Εικόνα 78

Εκτιμώμενη συχνοτική απόκριση οδηγού Delta Lite II 2510 σε καμπίνα όγκου 65 λίτρων.

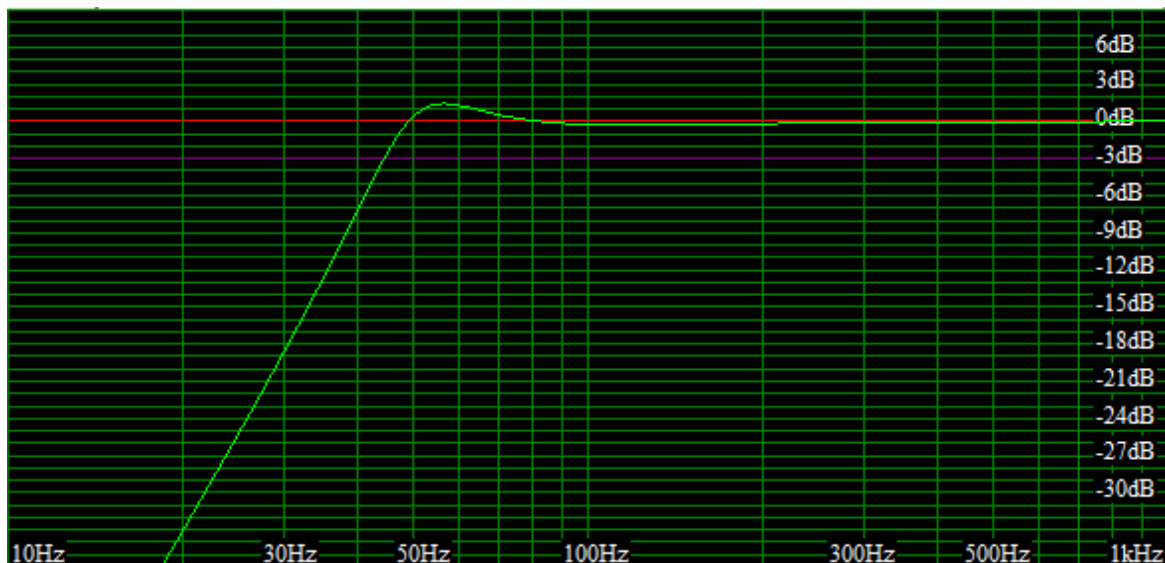
- Προσομοίωση καμπίνας όγκου 75 λίτρων:



Εικόνα 79

Εκτιμώμενη συχνотική απόκριση οδηγού Delta Lite II 2510 σε καμπίνα όγκου 75 λίτρων.

- Προσομοίωση καμπίνας όγκου 100 λίτρων:



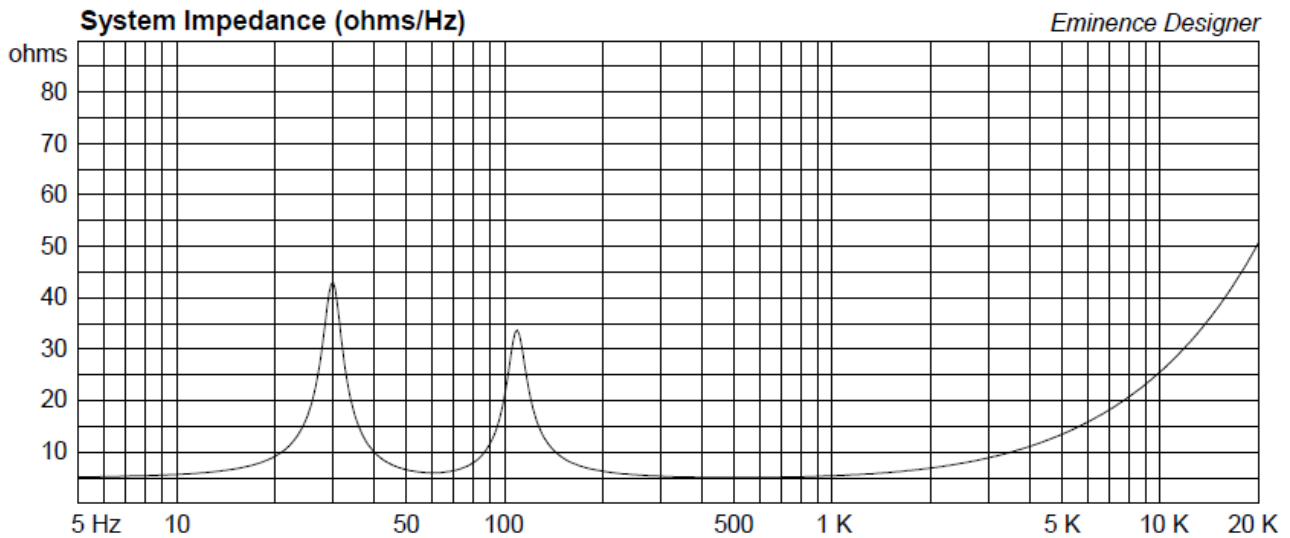
Εικόνα 80

Εκτιμώμενη συχνотική απόκριση οδηγού Delta Lite II 2510 σε καμπίνα όγκου 100 λίτρων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

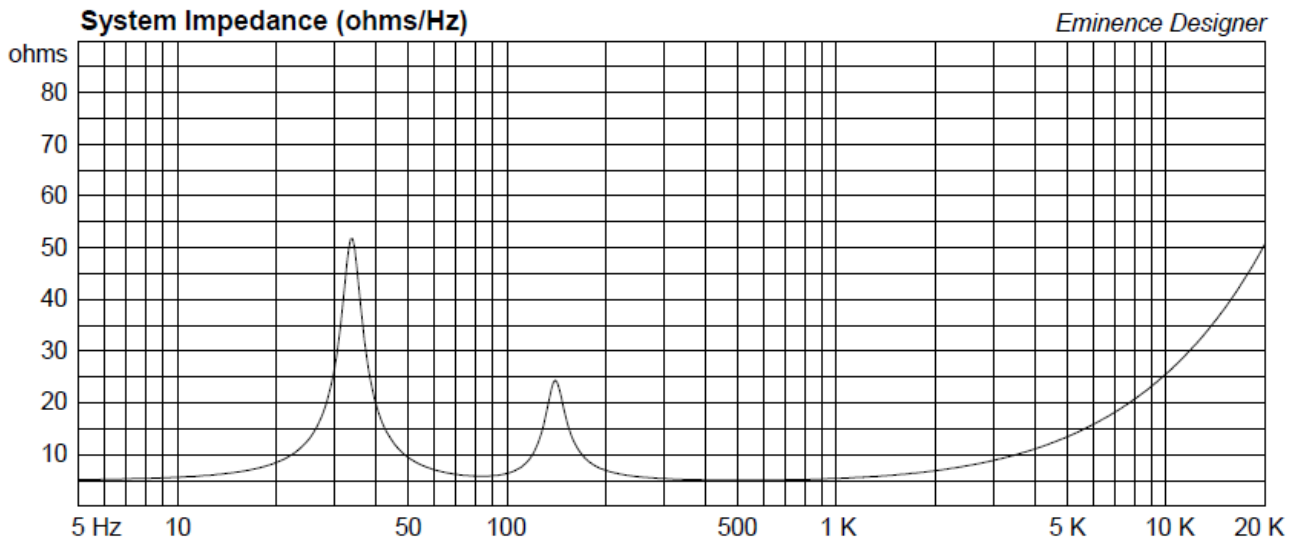
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΜΠΕΔΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

ΕΜΠΕΔΗΣΗ



Εικόνα 81

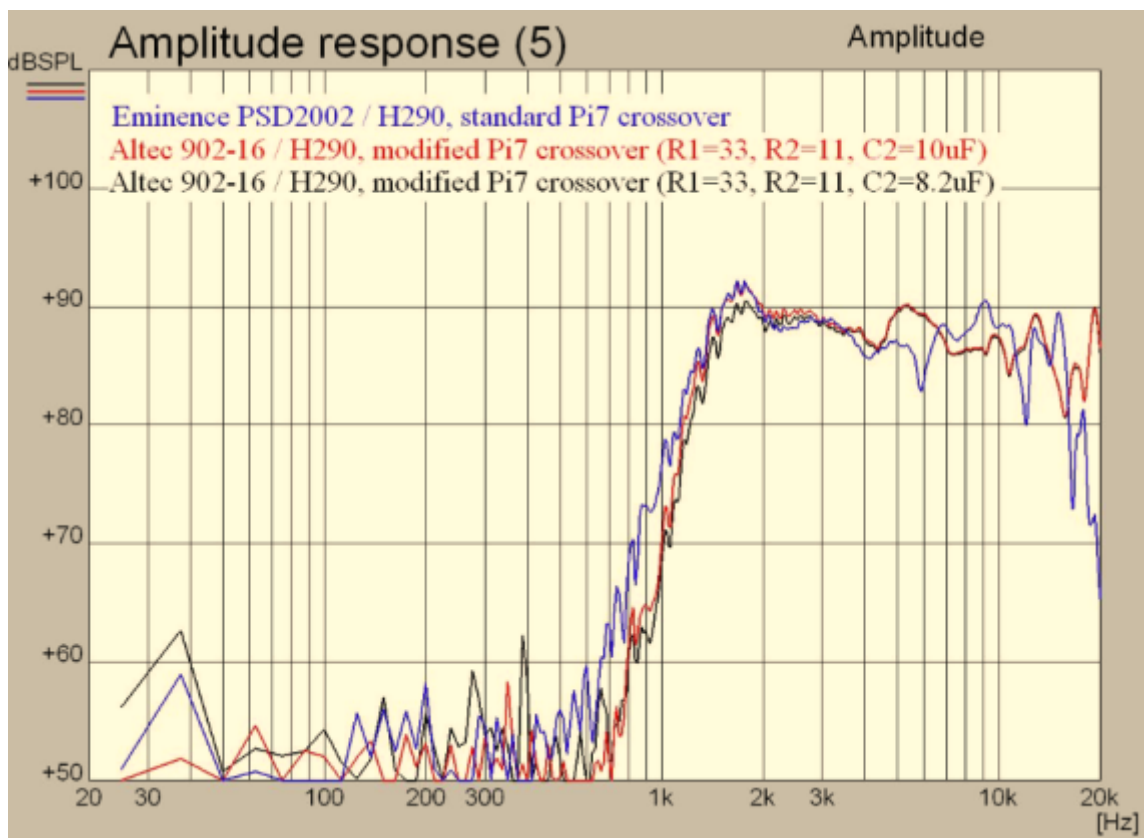
Καμπύλη εμπέδησης όπως προέκυψε από μετρήσεις του οδηγού Delta Lite II 2510 σε καμπίνα όγκου 22,7 λίτρων και συχνότητας F_b 51.38 Hz.



Εικόνα 82

Καμπύλη εμπέδησης όπως προέκυψε από μετρήσεις του οδηγού Delta Lite II 2510 σε καμπίνα όγκου 14,2 λίτρων και συχνότητας F_b 90 Hz.

ΣΥΧΝΟΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ TWEETER



Εικόνα 83

Σύγκριση συχνοτικής απόκρισης οδηγού Eminence PSD2002 με άλλων οδηγών⁵⁷. Οι διακυμάνσεις στην απόκριση του οδηγού συμπίπτουν σε μεγάλο βαθμό με αυτές που παρατηρούνται στην εικόνα 62.

57. <http://argiex.homepage.dk/images/altec/>

ΠΗΓΕΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

1. Vance Dickason, *Loudspeaker Design Cookbook - 7th Edition*, Audio Amateur Press: 2006, ISBN: 1-882580-47-8.
2. Ian Sinclair, *Audio and Hi-Fi Handbook - 3rd Edition*, Newnes: 2000, ISBN: 0750649755.
3. Leo Leroy Beranek, *Acoustics*, American Institute of Physics: 1993. ISBN: 978-0883184943.
4. Gene Healey, *The Audiophile Loudspeaker Anyone Can Build*, Boston Post Publishing Company: 1996. ISBN: 0-9647777-0-3.
5. John Borwick, *Loudspeaker and Headphone Handbook - 3rd Edition*, Reed Educational and Professional Publishing: 2001. ISBN: 0-240-51578-1.
6. Don Davis – Eugene Patronis Jr., *Sound System Engineering 3rd Edition*, Focal Press: 2006. ISBN: 978-0240808307.
7. Douglas Self (Editor), *Audio Engineering Explained*, Focal Press: 2010. ISBN: 978-0240812731.
8. John Eargle, *Loudspeaker Handbook - 2nd edition*, Kluwer Academic Publishers: 2003. ISBN: 978-0412097218.
9. Janne Ahonen, *About the ports and differences between various equations and design software calculations*, Linearteam Technical Paper – 2007.
10. E.J. Jordan, *Loudspeaker Enclosure Design*, Wireless World – January and February 1956 issue.
11. JBL Professional, *Thiele Small Low Frequency Driver Parameters and Definitions*, JBL Professional: 2006.
12. S. Sakai, *Acoustic Field in an Enclosure and Its Effect on Sound-Pressure Responses of a Loudspeaker*, JAES Vol. 32 - Issue 4: 1984.
13. Σηφάκης Μηνάς, *Σημειώσεις Θεωρίας Εφαρμοσμένης Ακουστικής Ι*, Α.Τ.Ε.Ι Ρεθύμνου.
14. Φλώρος Ανδρέας, *Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων - Διάλεξη 5η: «Συστήματα μεγαφώνων»*, Ιόνιο Πανεπιστήμιο: 2009.
15. Harry F. Olson, *Direct Radiator Loudspeaker Enclosures*, Audio Engineering Society: 1950.
16. Douglas D. Rife - DRA Laboratories, *MLSSA Reference Manual v 10WI – Rev. 8*, DRA Laboratories: 2000 – 2004.

17. Douglas D. Rife - DRA Laboratories, *MLSSA RCAI Reference Manual v. 2.0*, DRA Laboratories: 2000 – 2004.
18. Ivo Mateljan, *ARTA User Manual v. 1.7.0*. 2010.
19. Charlie Laub, *Easy gated impulse frequency measurements using ARTA*. 2011.
20. Mark Avis, *Transducer Design*, University of Salford – School of Acoustics and Sound Engineering: 2003.
21. Richard H. Small, *Vented – Box Loudspeaker Systems Part I: Small Signal Analysis*, School of Electrical Engineering - University of Sydney: 2006.
22. Richard H. Small, *Vented – Box Loudspeaker Systems Part III: Synthesis*, School of Electrical Engineering - University of Sydney: 2006.
23. Richard H. Small, *Vented – Box Loudspeaker Systems Part IV: Appendices*, School of Electrical Engineering - University of Sydney: 2006.
24. Wolfgang Klippel - Joachim Schlechter, *Dynamical Measurement of the Effective Radiation Area SD*, Audio Engineering Society – AES Convention 128 (paper number 8075): 2010.

ΔΙΑΔΥΚΤΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Προκειμένου να επαληθευτεί η ορθότητα των πληροφοριών στις παρακάτω ιστοσελίδες πραγματοποιήθηκε επίσκεψη σε αυτές στις 28 / 4 / 2012 και ελέγχθηκε το κατά πόσο οι παρεχόμενες πληροφορίες συνάδουν με αυτές που είχαν αποθηκευτεί από προγενέστερες επισκέψεις.

1. <http://www.bcae1.com/lpad.htm>
2. http://reviews.ebay.co.uk/Tweeter-Attenuator-Resistor-Guide?ugid=10000000004030106&clk_rvr_id=298789337543&afsrc=1
3. <http://www.humanspeakers.com/whatis/PR.htm>
4. <http://www.diysubwoofers.org/prd/>
5. http://www.audiogearreviews.com/tech/theory/enclosure_design/vented_enclosures.asp
6. <http://www.enjoythemusic.com/magazine/manufacture/whyhorns.htm>
7. <http://www.musiccenters.com/vol.html>
8. http://www.troelsgravesen.dk/vent_tuning.htm
9. http://en.wikipedia.org/wiki/Loudspeaker_enclosure

10. http://www.lenarداudio.com/education/07_horns.html
11. http://www.lenarداudio.com/education/07_horns_2.html
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Audio_crossover
13. http://en.wikipedia.org/wiki/Bass_reflex
14. <http://sound.westhost.com/biamp-vs-passive.htm>
15. http://mitglied.multimania.de/promitheus/active_crossovers_in_speakers.htm
16. http://www.loudspeakerdesign.co.uk/acoustic_dampening.php
17. http://www.tnt-audio.com/clinica/cabinet_walls_e.html
18. <http://www.dagogo.com/View-Article.asp?hArticle=233>
19. <http://redspade-audio.blogspot.com/2010/12/what-is-compression-driver.html>
20. <http://diyaudioprojects.com/Speakers/Seas-Granite-Speakers/>