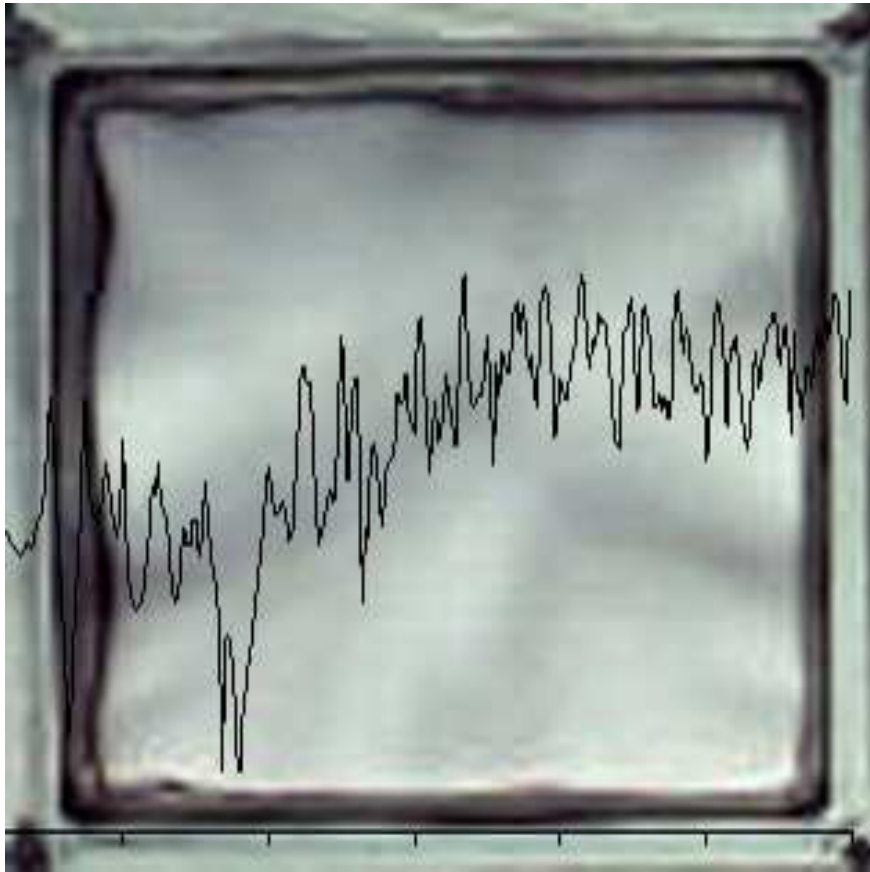


ΑΤ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ



ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΡΓΑΣΙΑΣ:

“Ακουστική μελέτη μικρών δωματίων ακρόασης.”

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ : **ΤΣΟΜΑΚΟΥ ΑΓΓΕΛΙΚΗ**

ΕΠΙΤΗΡΗΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : **ΖΑΧΑΡΙΟΥΔΑΚΗΣ**

*Ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθεια
του, τον καθηγητή κ. Μηνά Σηφάκη*

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

Η ακουστική μελέτη μικρών χώρων για την εγκατάσταση ηχητικού συστήματος, προτεινόμενων θέσεων των ηχείων και μικρών ακουστικών παρεμβάσεων στο χώρο ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν καλύτερη ποιότητα ακρόασης ήχου σε ένα δωμάτιο.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ :

Στους μεγάλους χώρους τα προβλήματα δημιουργούνται κυρίως από τις μεγάλες διαδρομές που διαγράφει το ηχητικό σήμα έως ότου φτάσει στο δέκτη - ακροατή και τις χρονικές καθυστερήσεις των ανακλώμενων ηχητικών κυμάτων. Το βασικό πρόβλημα στους μικρούς και μέσους χώρους είναι τα στάσιμα κύματα

στις χαμηλές συχνότητες. Η απόδοση του συστήματος μεγαφώνου-δωματίου στις συχνότητες αυτές μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά απλώς από την κατάλληλη επιλογή των θέσεων των μεγαφώνων, και των σημείων ακρόασης καθώς και από την κατάλληλη επιλογή και ειδικευμένη τοποθέτηση των επίπλων και του εξοπλισμού.

Αντικείμενο της εργασίας είναι η μελέτη των ακουστικών ιδιοτήτων ενός κλειστού χώρου -στην προκειμένη περίπτωση, δωμάτιο κατοικίας- με τον υπολογισμό και εκτίμηση των παραμέτρων του ακουστικού περιβάλλοντος, που ορίζεται από τη γεωμετρία και τα χαρακτηριστικά απορρόφησης του χώρου. Τελικός στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων που εισάγονται από το χώρο και επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του αναπαραγόμενου ήχου (π.χ. ασάφεια της ακουστικής εικόνας του αρχικού σήματος, μείωση της αντιληπτότητας της ομιλίας κ.λ.π.). Η εκτίμηση και αντιμετώπιση των παραπάνω παραμορφώσεων απαιτεί ακουστικές μετρήσεις σε τυπικούς τέτοιους χώρους, κατηγοριοποίησή τους, μοντελοποίηση και θεωρητικούς υπολογισμούς, ανάλυση θεωρητικών & πειραματικών αποτελεσμάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1 <i>Η Ακουστική ως επιστήμη.....</i>	<i>6</i>
1.2 <i>Βασικές έννοιες της ακουστικής.....</i>	<i>7</i>
2 Ακουστική κλειστών χώρων.....	13
2.1 <i>Συντελεστές ανάκλασης – διάδοσης – απορρόφησης.....</i>	<i>13</i>
2.2 <i>Σταθερά δωματίου.....</i>	<i>15</i>
2.3 <i>Χρόνος αντήχησης.....</i>	<i>16</i>
2.4 <i>Συχνότητα αποκοπής.....</i>	<i>17</i>
2.5 <i>Είδη ηχητικών πεδίων.....</i>	<i>18</i>
2.6 <i>Στάσιμα ηχητικά κύματα.....</i>	<i>20</i>
3 Η χρήση της ακουστικής στην οικιακή ψυχαγωγία..	24
3.1 <i>Ηλεκτροακουστική μελέτη και εγκατάσταση.....</i>	<i>24</i>
3.2 <i>Συσκευές αναπαραγωγής.....</i>	<i>25</i>
3.3 <i>Ο ψηφιακός ήχος.....</i>	<i>26</i>
3.4 <i>Συσκευές επεξεργασίας σήματος.....</i>	<i>27</i>
3.5 <i>Ενισχυτές.....</i>	<i>30</i>
3.6 <i>Καλώδια.....</i>	<i>32</i>
3.7 <i>Ηχεία.....</i>	<i>33</i>

4	Πειραματικό μέρος.....	45
4.1	Περιγραφή του εξοπλισμού και του χώρου.....	45
4.2	Θεωρητικοί υπολογισμοί.....	48
4.3	Μετρήσεις.....	60
5	Συμπεράσματα.....	83
5.1	Τοποθέτηση ηχείων.....	83
5.2	Αγορά και σύνδεση εξοπλισμού.....	85
5.2.1	Πρακτικές συμβουλές για την επιλογή ηχείων – καλωδίων – κεντρικής αναπαραγωγικής μονάδας.....	86
5.2.2	Συνδέσεις- Έλεγχος έντασης και φάσης.....	92
5.3	Ακουστικές παρεμβάσεις.....	93
5.3.1	Ηχομόνωση.....	94
5.3.2	Ισοστάθμιση χώρου.....	97
5.3.3	Διαχυτές και απορροφητές.....	98
6	Παράρτημα.....	103
7	Βιβλιογραφία.....	108

Υποσημείωση

Λεζάντες Εικόνων (Εxxxxxx) , Τύπων – εξισώσεων (Τxxxxxx)

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ακουστική είναι η επιστήμη που ασχολείται με τον τρόπο παραγωγής του ήχου, τη μετάδοση και συμπεριφορά του καθώς και με τον τρόπο με τον οποίο γίνεται αντιληπτός από τον άνθρωπο.

1.1 Η ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΩΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

Η Ακουστική δεν είναι ένας καινούργιος κλάδος της φυσικής επιστήμης. Η πρώτη προσπάθεια επιστημονικής θεμελίωσής της έγινε περίπου στον 6ο π.Χ.αιώνα από τον Πυθαγόρα , ο οποίος διατύπωσε τη θεωρία δημιουργίας του ήχου από ταλαντούμενα σώματα και όρισε την οκτάβα. Λίγο αργότερα ο Αριστοτέλης έδωσε μια ακριβή περιγραφή για την παραγωγή και διάδοση του ήχου.

Από την αρχαιότητα μέχρι τα 1600 μ. Χ. η ακουστική ως επιστήμη δεν έλαβε ιδιαίτερη προσοχή . Πατέρας της Ακουστικής όπως την εννοούμε σήμερα θεωρείται από πολλούς ο Γάλλος *Marin Mersene (1588-1648)* και το έργο του “*Harmonie universelle*” . Βασικούς δομικούς λίθους έβαλαν ενδεικτικά αναφερόμενοι οι *Galileo Galilei (1564-1642)*, *Robert Boyle (1626-1691)*, *Isaac Newton (1642-1726)**Ernst Chladni (1756-1830)*, *Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)* ,*Heman Von Helmholtz (1821-1894)* ,*Lord Rayleigh (1845-1919)*,*Wallace Clement Sabine (1868-1919)*.

Με την ανάπτυξη της Ακουστικής δημιουργήθηκαν διάφοροι νέοι κλάδοι όπως η αρχιτεκτονική ακουστική, η ηλεκτροακουστική , η υποβρύχια ακουστική , η ακουστική των υπερήχων.

1.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

Ήχος : Ορίζεται ως η μηχανική διαταραχή που διαδίδεται με ορισμένη ταχύτητα σε ένα μέσο που μπορεί να αναπτύξει εσωτερικές δυνάμεις (είναι ελαστικό) και έχει τέτοιο χαρακτήρα ώστε να μπορεί να διεγείρει το αισθητήριο ακοής και να προκαλέσει ακουστικό ερέθισμα.

Αυτό δηλαδή που καλούμε ήχο δημιουργείται ουσιαστικά από την περιοδική ταλάντωση των μορίων του υλικού στο οποίο ο ήχος διαδίδεται γύρω από μια θέση ισορροπίας .Η διαταραχή αυτή προκαλεί παρόμοια ταλάντωση σε διπλανά μόρια μέχρι αυτή να φτάσει στο αφτί μας.

Βασικά χαρακτηριστικά του ήχου :

Πλάτος ταλάντωσης: Είναι η μέγιστη απόκλιση από τη θέση ισορροπίας.

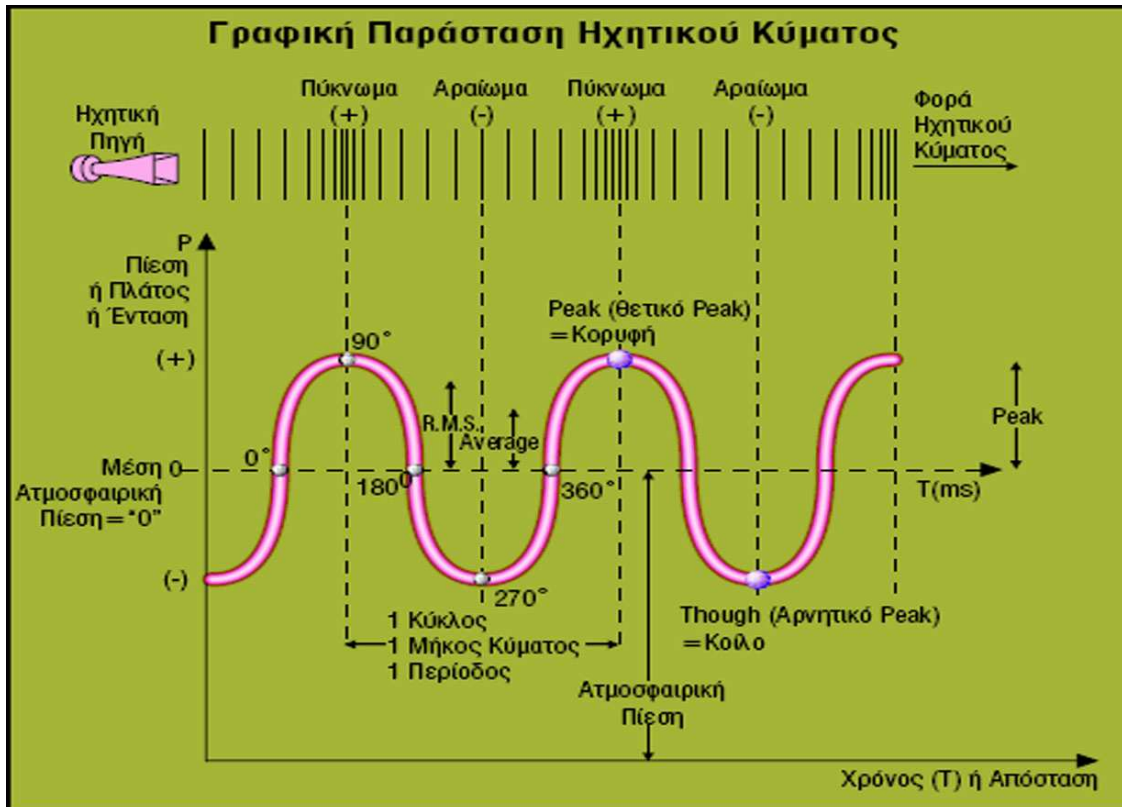
Μήκος κύματος λ (m): Η απόσταση μεταξύ δύο μέγιστων ή ελάχιστων της πίεσης

Συχνότητα f (Hz): Ορίζεται ως ο αριθμός των ταλαντώσεων ανά μονάδα χρόνου

Περίοδος T (sec): Ο χρόνος που διαρκεί μια ταλάντωση.

Ταχύτητα του ήχου c (m/s) : Είναι η ταχύτητα διάδοσης της διαταραχής στο υλικό μέσο.

$$c = \lambda f \quad T_{1.2.1}$$



E_{1.2.1} Γραφική παράσταση ηχητικού κύματος.

(Γ.Χ Τζαμαλούκας- “Ακουστική χώρων” (περιοδικό hi-tech, 2002)

Αυτό που προκαλεί την διάδοση του ηχητικού κύματος είναι οι μεταβολές της πίεσης, συνεπώς για να περιγράψουμε ένα ηχητικό κύμα χρησιμοποιούμε τον όρο **ακουστική πίεση p** (Pa), δηλαδή την υπό-πίεση ή υπέρ-πίεση σε σχέση με τη **στατική πίεση P** του μέσου διάδοσης που στην περίπτωση του αέρα είναι η ατμοσφαιρική πίεση .

Ένα άλλο μέγεθος που χρησιμοποιούμε στην περιγραφή των ηχητικών φαινομένων είναι η **ηχητική ισχύς W** (watt), ο ρυθμός ακτινοβολίας ηχητικής ενέργειας από την πηγή, καθώς και ο ρυθμός μετάδοσης αυτής της ενέργειας από το ηχητικό κύμα στην μονάδα του χρόνου.

Η ηχητική ένταση I (W/m²), είναι το πηλίκο της ηχητικής ισχύος που διαπερνά κάθετα μια επιφάνεια προς το εμβαδόν της επιφάνειας,

$$I = \frac{P^2}{2\rho_0 c}$$

T_{1.2.2}

όπου p το πλάτος ηχητικής πίεσης, ρ_0 η πυκνότητα του αέρα και c η ταχύτητα του ήχου στον αέρα..

Το γινόμενο $\rho_0 c$ (για τον αέρα είναι $\rho_0 c = 415 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$) ονομάζεται **ειδική ακουστική εμπέδηση**

Στην ακουστική τα μεγέθη που χρησιμοποιούμε περισσότερο είναι λογαριθμικά λόγω του μεγάλου εύρους των μεγεθών της ακουστικής και κυρίως για ψυχοφυσικούς λόγους ,που έχουν να κάνουν με τον τρόπο αντίληψης του ήχου από τον άνθρωπο. Τα μεγέθη αυτά καλούνται στάθμες και μετρούνται σε decibels. Έτσι η ηχητική στάθμη πίεσης SPL , L_p (dB_{SPL}), σε κάποιο σημείο υπολογίζεται από τον τύπο :

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2}$$

T_{1.2.3}

όπου p η ενεργός τιμή της ηχητικής πίεσης (Pa) και p_0 η τιμή αναφοράς (για τον αέρα $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$).

Ομοίως για την στάθμη ηχητικής ισχύος L_w (dB) και στάθμη ηχητικής έντασης L_I (dB), είναι :

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

όπου W η μέση ηχητική ισχύς (W) και W_0 η τιμή αναφοράς (10^{-12}W).

T_{1.2.4}

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

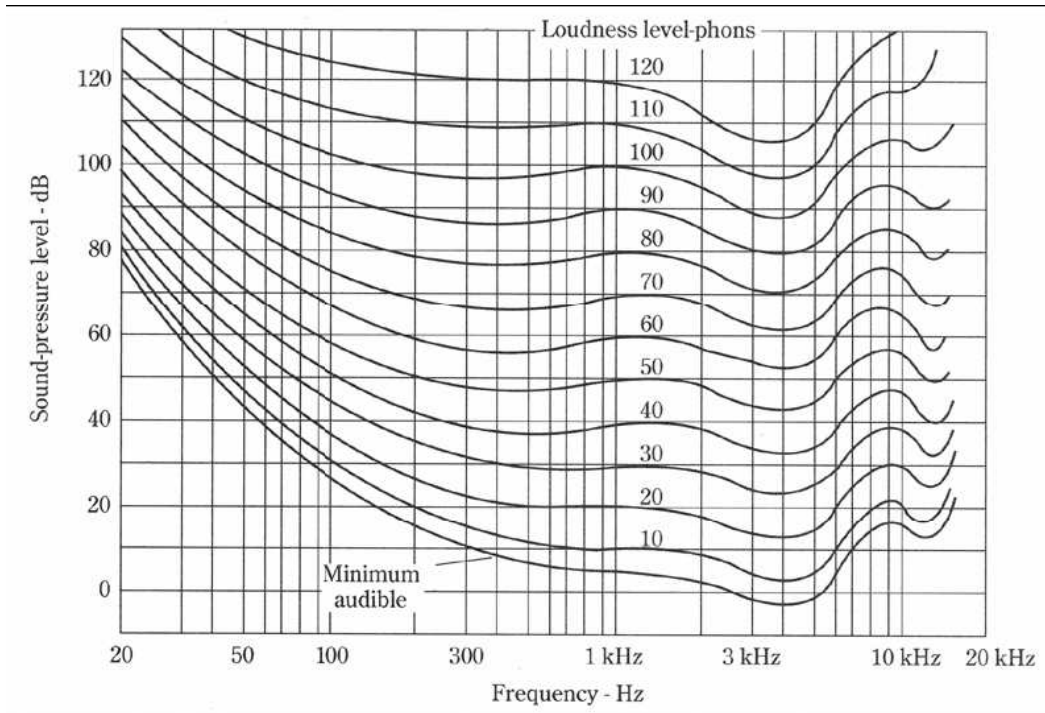
όπου I η ηχητική ένταση (W/m^2) και I_0 η τιμή αναφοράς (10^{-12}W/m^2).

T_{1.2.5}

Η ένταση στην οποία ακούμε έναν ήχο μπορεί να περιγραφθεί με δύο μεγέθη, την ακουστική πίεση (sound pressure level SPL) η οποία είναι ένα αντικειμενικό φυσικό μέγεθος και μετρείται με την χρήση επιστημονικών οργάνων και την ακουστότητα (loudness), η οποία είναι ένα υποκειμενικό μέγεθος και ουσιαστικά εκφράζει την ένταση που αντιλαμβάνεται το αυτί του κάθε ακροατή. Μια διαφοροποίηση υπάρχει και για την συχνότητα. Υπάρχει η συχνότητα (frequency), η οποία είναι ένα φυσικό αντικειμενικό μέγεθος και υπάρχει και το ύψος (pitch), το οποίο είναι υποκειμενικό. Για παράδειγμα, αλλιώς αντιλαμβάνεται το αυτί την ίδια συχνότητα των 100 Hz όταν ακούγεται σε χαμηλή και υψηλή ένταση.

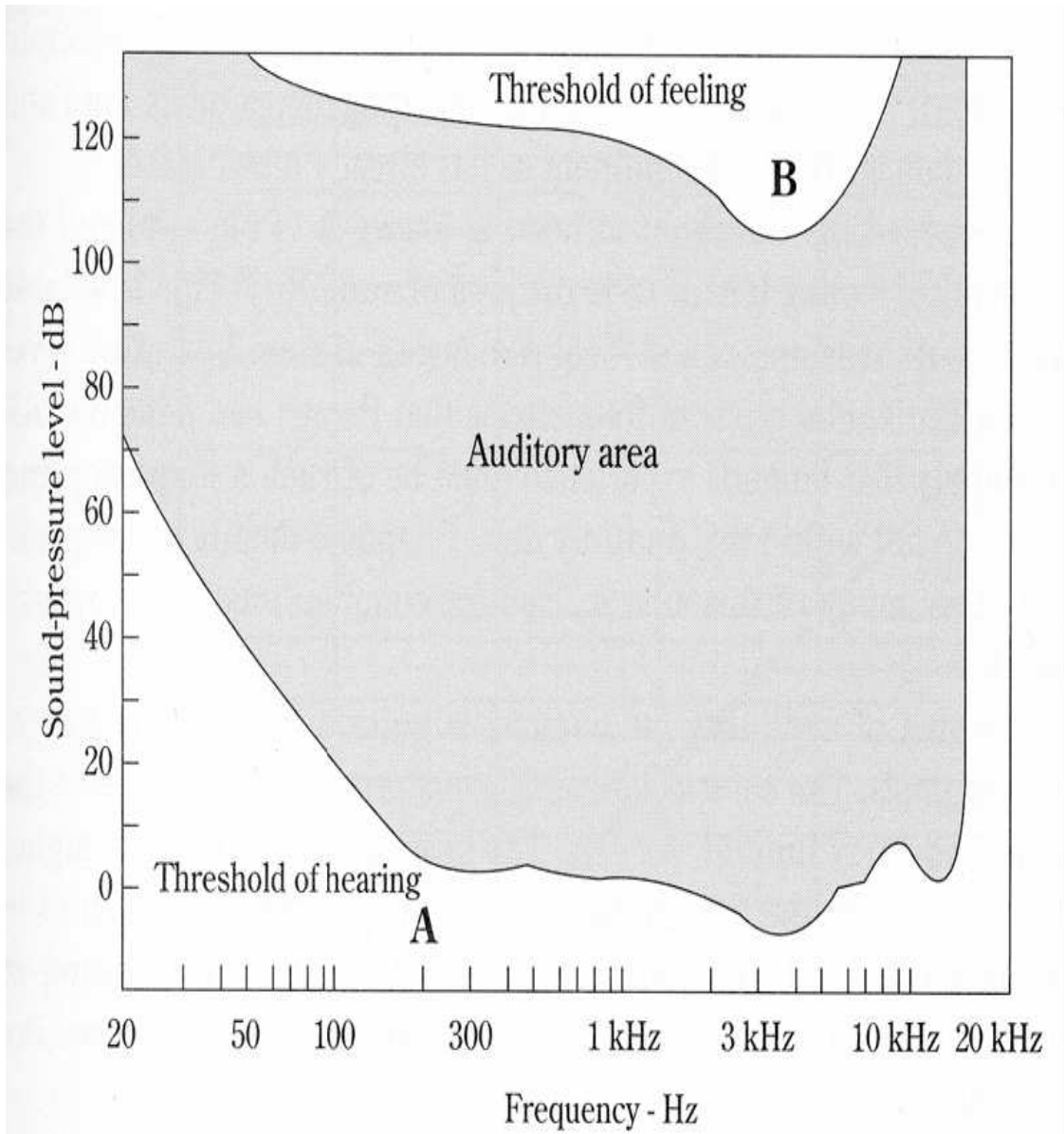
Μπορεί η συχνότητα να παραμένει η ίδια, αλλά το ύψος (pitch) αλλάζει ανάλογα με την ένταση. Σε γενικές γραμμές το ύψος των χαμηλών συχνοτήτων μειώνεται, ενώ το ύψος των υψηλών συχνοτήτων αυξάνεται καθώς αυξάνεται η ένταση στην οποία ακούμε.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι καμπύλες ίσης ακουστότητας, οι οποίες συνδέουν την ακουστική πίεση με την ακουστότητα. Κάθε καμπύλη χαρακτηρίζεται από την τιμή της στο 1kHz όπου ορίζεται η τιμή της σε phons, το μέγεθος μέτρησης της ακουστότητας. Έτσι για παράδειγμα η καμπύλη που περνά από τα 50 db στο 1 kHz ονομάζεται καμπύλη 50 των phon. Από τις καμπύλες αυτές, προκύπτει η σχέση της ακουστικής έντασης με την ακουστότητα. Για παράδειγμα μια ακουστική πίεση 30 db έχει σαν αποτέλεσμα ακουστότητα 30 phon όταν έχει συχνότητα 1 kHz, αλλά για να δώσει την ίδια ακουστότητα όταν έχει συχνότητα 20 Hz χρειάζεται 58 db επιπλέον.



E_{1.2.2} Καμπύλες ίσης ακουστότητας.

Το επόμενο σχήμα αποτελείται από 2 καμπύλες A και B, οι οποίες περιγράφουν τα όρια της ανθρώπινης ακοής. Η καμπύλη A ονομάζεται κατώφλι ακοής και περιγράφει τους ελάχιστους ήχους ανά συχνότητα και ένταση τους οποίους μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο αυτί. Η καμπύλη B ονομάζεται κατώφλι αίσθησης ή όριο πόνου και είναι το όριο πέρα από το οποίο ο ήχος δημιουργεί μια δυσάρεστη αίσθηση και φθάνει στον πόνο. Οι καμπύλες ορίζονται από την ακουστική περιοχή όπου βρίσκονται οι ήχοι που ακούμε.



E_{1.2.3} Κατώφλι ακοής - κατώφλι αίσθησης

2 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΧΩΡΩΝ

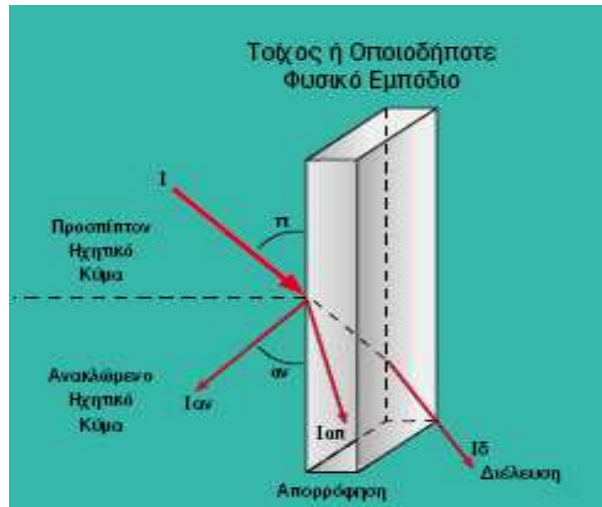
Η μελέτη ενός κλειστού χώρου ως προς την ακουστική συμπεριφορά του είναι άμεσα συνυφασμένη με την κυματική φύση του ήχου. Οι χώροι ανάλογα με τις διαστάσεις τους και τη συχνότητα στην οποία αναφερόμαστε διακρίνονται σε μικρούς, μεγάλους και πολύ μεγάλους. Ένας χώρος θεωρείται μεγάλος όταν η μικρότερη διάστασή του είναι τουλάχιστον δύο μήκη κύματος μεγαλύτερη από το μήκος κύματος της συχνότητας που μας ενδιαφέρει. Ο ίδιος χώρος θεωρείται πολύ μεγάλος όταν οι αποστάσεις που ορίζουν το χώρο είναι τόσο μεγάλες ώστε η απορρόφηση του ήχου από τον αέρα να είναι σημαντική. Παράδειγμα μικρών χώρων είναι το ηχείο ενός μουσικού οργάνου, ένα μικρό δωμάτιο σε χαμηλές συχνότητες. Μεγάλων χώρων μια αίθουσα διδασκαλίας και πολύ μεγάλων χώρων ένα θέατρο.

Στους μεγάλους χώρους η προσέγγιση του προβλήματος γίνεται με τη στατική ακουστική ενώ στους μικρούς χώρους, στην ακουστική χαμηλών συχνοτήτων οι στατικοί υπολογισμοί δίνουν αποτελέσματα με μεγάλες αποκλίσεις διότι τα κυματικά φαινόμενα όπως αυτό της συμβολής είναι πολύ έντονα.

Όταν σε έναν κλειστό χώρο υπάρχει μια ηχητική πηγή, τα φαινόμενα της ακουστικής συμπεριφοράς του που εξετάζουμε είναι: η ανάκλαση του ήχου, η απορρόφηση του ήχου, ο συντονισμός του χώρου, η διάδοση του ήχου και ο χρόνος αντήχησης

2.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ – ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

Όταν ένα ηχητικό κύμα πέσει σε κάποια επιφάνεια διαχωρισμού δύο υλικών μέσων ένα μέρος της ενέργειάς του ανακλάται και ένα άλλο απορροφάται ή διαδίδεται στο άλλο μέσο.



Ε 2.1.1 Απεικόνιση τρόπων δράσης ενός ηχητικού κύματος όταν Αυτό προσπίπτει σε τοίχο ή οποιοδήποτε φυσικό εμπόδιο

Για την μελέτη των παραπάνω φαινομένων ορίζονται οι εξής συντελεστές

$$r = \frac{W_r}{W_i} = \frac{I_r}{I_i}$$

α) Συντελεστής ανάκλασης – ο λόγος της ανακλώμενης από την επιφάνεια ηχητικής ισχύος (W_r) προς την προσπίπτουσα (W_i)

$$\tau = \frac{W_\tau}{W_i} = \frac{I_\tau}{I_i}$$

β) Συντελεστής διάδοσης – Ο λόγος της ισχύος που διαδίδεται από την επιφάνεια διαχωρισμού των δύο μέσων (W_τ) , προς την προσπίπτουσα (W_i)

γενικά ισχύει :

$$r + \tau = 1$$

T2.1.3

$$a = \frac{W_a}{W_i} = \frac{I_a}{I_i}$$

γ) Συντελεστής απορρόφησης a - Ο λόγος της ενέργειας που απορροφάται από μια επιφάνεια προς την προσπίπτουσα.

Συνήθως στην μελέτη της ακουστικής συμπεριφοράς ενός χώρου θεωρούμε ως απορροφούμενη ενέργεια την μη ανακλώμενη άρα ισχύει κατ' εξαίρεση:

$$r + a = 1$$

T_{2.1.5}

Ο ακριβής υπολογισμός της απορρόφησης ενός χώρου είναι δύσκολος εφόσον είναι πιθανόν να τον οριοθετούν ή να εμπεριέχονται σε αυτόν υλικά με διαφορετικό συντελεστή απορρόφησης και αφετέρου κάθε υλικό παρουσιάζει διαφορετική απορρόφηση ανάλογα με την γωνία πρόσπτωσης της ηχητικής ακτίνας . Για τον παραπάνω λόγο χρησιμοποιείται προσεγγιστικός στατιστικός τύπος :

γ_D) Μέσος συντελεστής απορρόφησης

$$\bar{a} = \frac{a_1 s_1 + a_2 s_2 + a_3 s_3 + \dots + a_n s_n}{s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_n}$$

T_{2.1.6}

Όπου s_1, s_2, s_3, \dots το εμβαδόν κάθε επιμέρους επιφάνειας

a_1, a_2, a_3, \dots οι αντίστοιχοι συντελεστές απορρόφησης

Η ποσότητα στον αριθμητή καλείται απορρόφηση δωματίου, Αυτή καθώς και ο μέσος συντελεστής της ορίζονται για την κεντρική συχνότητα της χρησιμοποιούμενης ζώνης

2.2 ΣΤΑΘΕΡΑ ΔΩΜΑΤΙΟΥ

Για τον υπολογισμό της στάθμης πίεσης σε έναν κλειστό χώρο βασικό ρόλο παίζει η απορρόφηση, μέγεθος που περιγράψαμε παραπάνω και εκφράζεται μέσω μιας σταθεράς που καλείται σταθερά δωματίου(room constant) και περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$R_c = \frac{S\bar{a}}{1-\bar{a}}$$

T_{2.2.1} όπου S η ολική επιφάνεια του χώρου (m²).

$$R_c = R_{c,0} + N\Delta A$$

T2.2.2 (Η σταθερά δωματίου με την παρουσία ατόμων τροποποιείται ως εξής

Όπου ΔA η απορρόφηση κατ' άτομο)

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΧΩΡΟ

Η στάθμη πίεσης σε έναν κλειστό χώρο όπου υπάρχει πηγή ισχύος w σε απόσταση r από αυτήν δίνεται από τη σχέση:

$$L_t = \frac{L_w + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R_c}\right)}{L_p}$$

Όπου Q = δείκτης κατευθυντικότητας της πηγής

T2.2.3

2.3 ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

Ορισμός - "Χρόνος αντήχησης T_{60} (reverberation time) ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται ώστε η στάθμη θορύβου (L_p) σε κάποιο σημείο να ελαττωθεί κατά 60 dB , μετά το μηδενισμό του εκπεμπόμενου θορύβου από την πηγή."

Έστω ότι έχουμε έναν κλειστό χώρο με μια πηγή που τον τροφοδοτεί με ηχητική ενέργεια , όταν η πηγή παύει η ηχητική ενέργεια στον χώρο δεν μηδενίζεται ακαριαία αλλά διατηρείται για ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο φθίνει εκθετικά σε σχέση με αυτό.

Ο χρόνος αυτός καλείται χρόνος αντήχησης (reverberation time) αποτελεί την βασικότερη σταθερά του χώρου αυτού και σχετίζεται με την ακουστική συμπεριφορά του. Καθώς καθορίζει την ακουστική ποιότητα του χώρου και διαφέρει για κάθε συχνότητα ορίζεται για τις κεντρικές συχνότητες κάθε οκτάβας ή τριτοκτάβας όπως ακριβώς και για τον συντελεστή απορρόφησης.

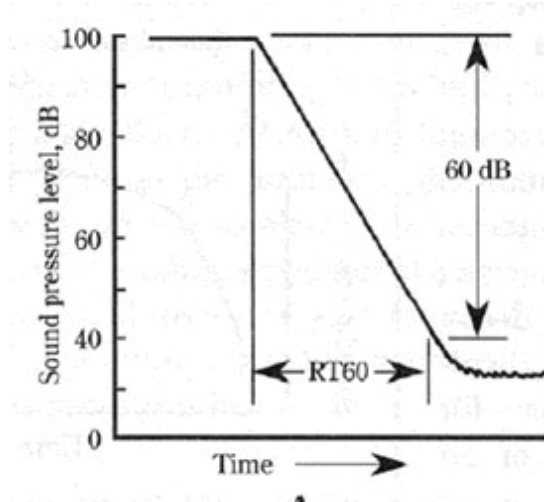
Ο χρόνος αντήχησης μετριέται σε sec

Ο τύπος υπολογισμού (τύπος του Sabine)

είναι :

$$RT_{60} = \frac{0.161V}{S\bar{a}} \quad \mathbf{T_{2.3.1}}$$

όπου V ο όγκος (m³), S η ολική επιφάνεια (m²) του χώρου, \bar{a} ο συντελεστής μέσης ηχοαπορρόφησης των επιφανειών του δωματίου.



Ε 2.3.1 Απεικόνιση Χρόνου αντήχησης T_{60} (reverberation time)

Η σχέση που συνδέει το χρόνο αντήχησης με τη σταθερά δωματίου είναι :

$$R_c = \frac{V}{\frac{RT_{60}}{0.161} - \frac{V}{S}} \quad \mathbf{T_{2.3.2}}$$

Όπου RT_{60} = ο χρόνος αντήχησης σε sec

V = Ο όγκος του δωματίου σε m³

S = το συνολικό εμβαδόν των τοιχωμάτων του χώρου σε m²

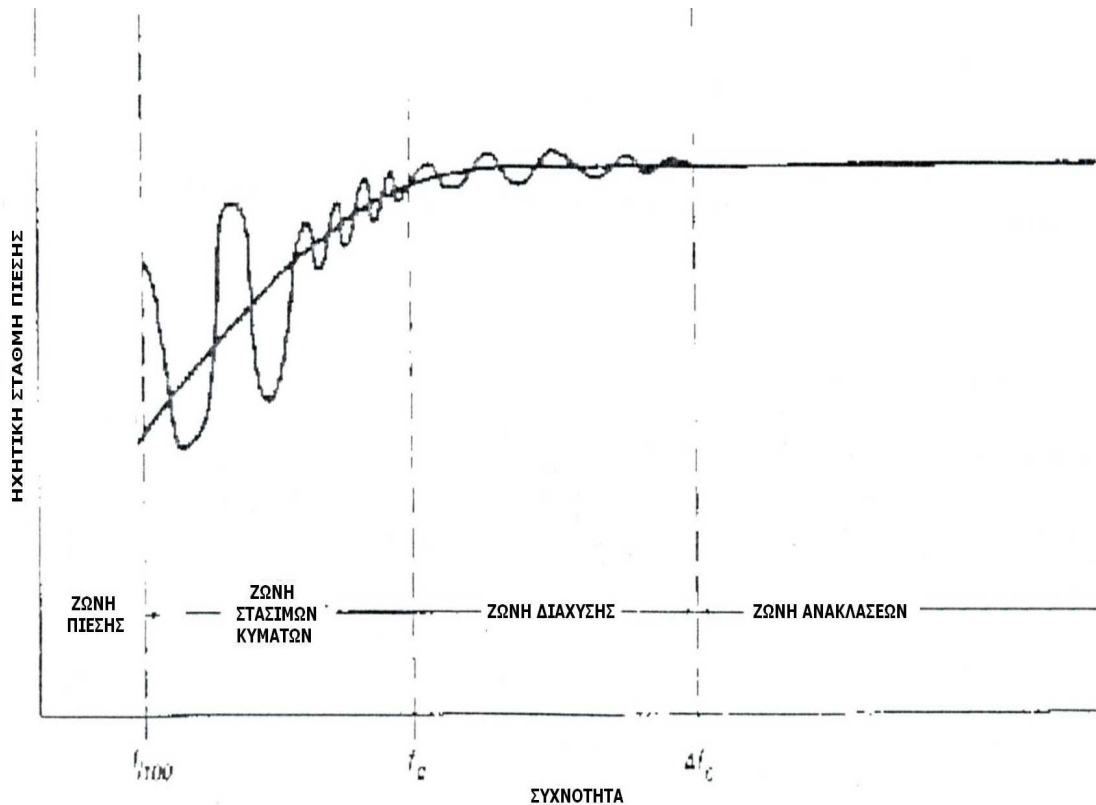
2.4 ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΚΟΠΗΣ (cut-off frequency):

Ορίστηκε από τον Schroeder και είναι η συχνότητα πάνω από την οποία δημιουργείται τόσο μεγάλος αριθμός στάσιμων κυμάτων ώστε το δωμάτιο συμπεριφέρεται πρακτικά ομοιόμορφα σε όλες τις συχνότητες

$$f_c = 2000 \sqrt{\frac{RT_{60}}{V}} \quad \mathbf{T_{2.4.1}}$$

όπου RT_{60} ο χρόνος αντήχησης (sec) και V ο όγκος του δωματίου (m^3).

Έτσι, το ακουστικό φάσμα χωρίζεται σε τέσσερις περιοχές : τη ζώνη πίεσης (δεν υπάρχει κανένας συντονισμός), τη ζώνη των στάσιμων κυμάτων (ισχύει η κυματική ακουστική), τη ζώνη διάχυσης (μετάβαση από την δεύτερη στην τέταρτη περιοχή, έχει εύρος $f_c - 4f_c$) και τη ζώνη των ανακλάσεων (ισχύει η γεωμετρική ακουστική).



Ε 2.4.1 Αναπαράσταση των τεσσάρων περιοχών του ακουστικού φάσματος ή αλλιώς διάγραμμα Bolt, Beranek και Neumann, που αποτελεί ελεγκτή για την περιγραφή της ακουστικής απόκρισης ενός δωματίου

2.5 ΕΙΔΗ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Κατά την μετάδοση του ήχου στον χώρο συμβαίνουν διάφορα φαινόμενα, όπως η ανάκλαση, η απορρόφηση, η διάχυση, η περίθλαση, η διάδοση μέσω του εμποδίου και η

διασπορά μέσα στην κατασκευή. Αυτά τα φαινόμενα δημιουργούν σε κάθε χώρο το **ηχητικό πεδίο (sound field)** το οποίο μπορεί να έχει κάποια από τις εξής μορφές :

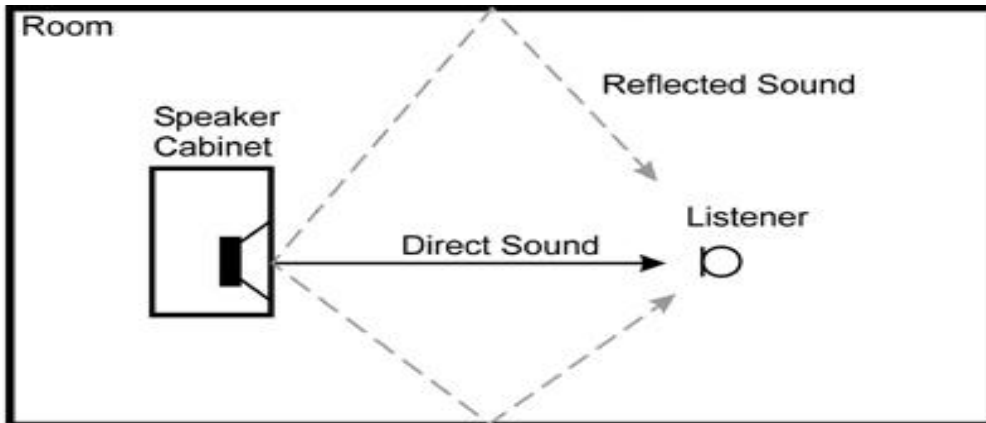
Ελεύθερο Πεδίο (free field) : Όταν σε έναν χώρο επιτρέπεται ελεύθερη διάδοση των ηχητικών κυμάτων , το τετράγωνο της ηχητικής πίεσης είναι ανάλογο της έντασης και η ηχητική ένταση μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης.

Συνεπώς η στάθμη ηχητικής πίεσης σε δύο αποστάσεις r_1, r_2 δίνεται από τη σχέση:

$$L_{P2} = L_{P1} - 20 \log \frac{r_2}{r_1} \quad \mathbf{T_{2.5.1}}$$

τότε συμπεραίνουμε ότι πρόκειται για χώρο ομογενή, χωρίς οριακές επιφάνειες και αδιατάραχτο από άλλες ηχητικές πηγές, στον οποίο η ροή της ενέργειας γίνεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Τέτοιος μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά ένας ανοιχτός εξωτερικός χώρος χωρίς τοίχους και έδαφος ή άλλα ανάλογα εμπόδια.

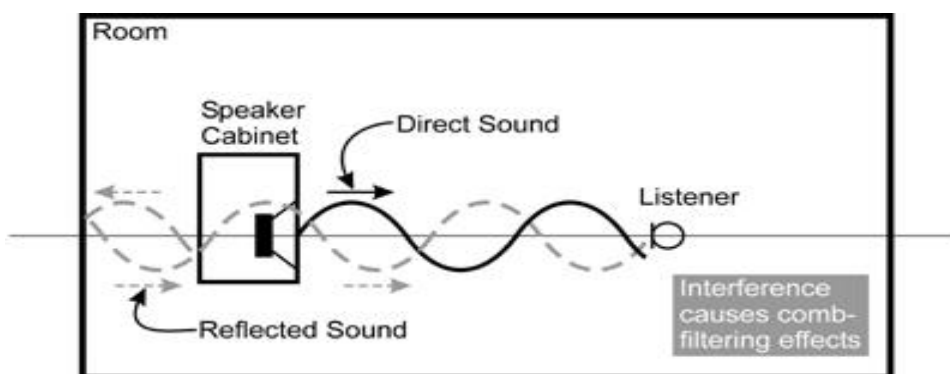
Αντηχητικό Πεδίο (reverberant field) : Όταν η πυκνότητα της ακουστικής ενέργειας είναι σχεδόν σταθερή σε κάθε σημείο του **χώρου** και ο ήχος μοιάζει να έρχεται ομοιόμορφα απ' όλες τις κατευθύνσεις τότε το πεδίο λέγεται **διάχυτο αντηχητικό πεδίο** (diffused reverberant field). Αντηχητικό πεδίο δημιουργείται σε κλειστούς χώρους, με επιφάνειες χαμηλής ηχοαπορρόφησης, όπου ο ήχος ανακλάται πολλές φορές από τους τοίχους και υπάρχει συμβολή των απευθείας και των ανακλώμενων ηχητικών κυμάτων



Ε 2.5.1 Γραφική απεικόνιση της διαδρομής του απευθείας (direct) και του ανακλώμενου (reflected) - από τους παράπλευρους τοίχους – ήχου, από την καμπίνα του ηχείου προς τον ακροατή σε ένα δωμάτιο.

2.6 ΣΤΑΣΙΜΑ ΚΥΜΑΤΑ

Όταν μια πηγή ηχοβολεί σε κλειστό χώρο η ηχητική πίεση κάθε σημείου στο χώρο αυτό θα είναι το άθροισμα της πίεσης από την πηγή και από τις διάφορες ανακλάσεις. Όσο μικρότερες οι διαστάσεις του χώρου τόσο εντονότερα εμφανίζονται φαινόμενα συμβολής. Ανάλογα με τη γεωμετρία του χώρου παράγονται συντονισμοί και στάσιμα κύματα με συγκεκριμένους τρόπους δόνησης (modes).



Ε 2.6.1 Γραφική απεικόνιση της διαδρομής του απευθείας (direct) και του ανακλώμενου (reflected) ήχου, από την καμπίνα του ηχείου και τον τοίχο πίσω από αυτήν, προς τον ακροατή σε ένα δωμάτιο.

Τα στάσιμα κύματα διαχωρίζονται σε τρία είδη : αξονικά, κατά μήκος μίας διάστασης (ή αλλιώς ανάμεσα σε δύο απέναντι επιφάνειες), εφαπτομενικά ανάμεσα σε δύο ζεύγη επιφανειών (ή αλλιώς μεταξύ τεσσάρων επιφανειών) ή πλάγια ανάμεσα σε όλα τα ζεύγη επιφανειών (ανακλάσεις σε όλους τους τοίχους)

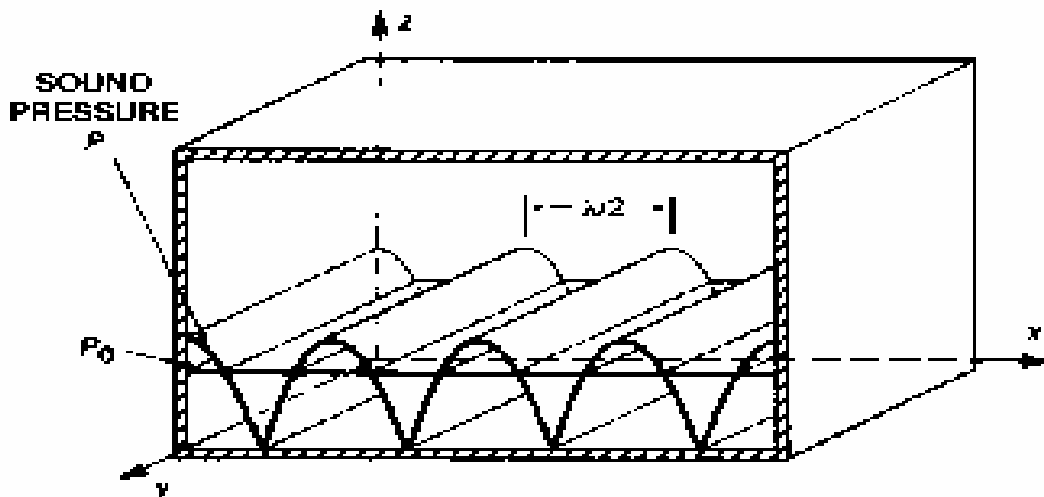
Ο τύπος υπολογισμού των συχνοτήτων των τρόπων δόνησης (ιδιοσυχνότητες) που χρησιμοποιείται για παραλληλεπίπεδα δωμάτια είναι :

$$f = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2} \quad \mathbf{T2.6.1}$$

Όπου c η ταχύτητα του ήχου (στους 20°C είναι $c=343.54\text{m/s}$), L_x, L_y, L_z οι διαστάσεις του χώρου (m) και n_x, n_y, n_z η τάξη του στάσιμου κύματος

Αξονικοί τρόποι δόνησης

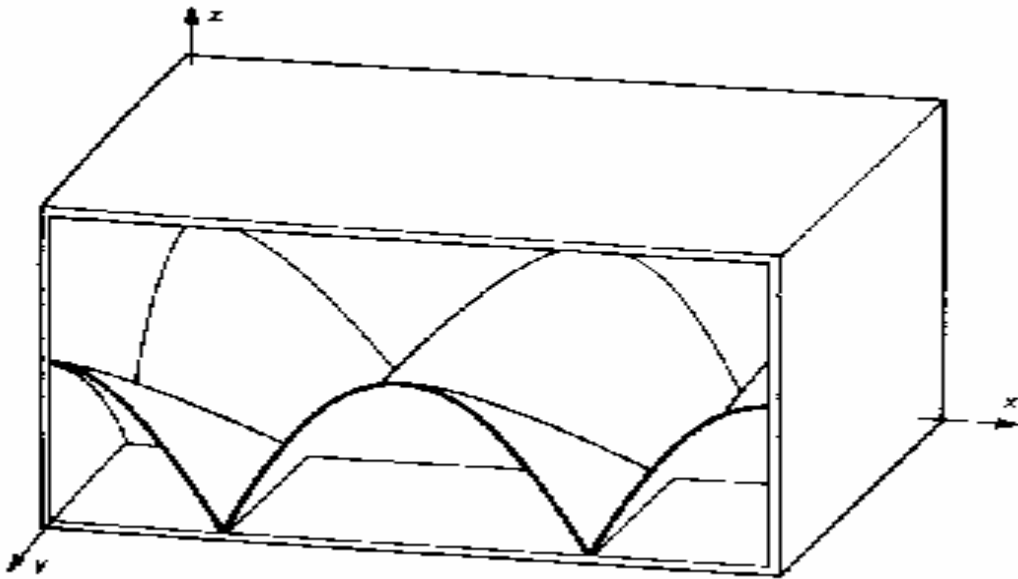
Axial Modes – δύο παράλληλες επιφάνειες – (απέναντι τοίχοι, πάτωμα και οροφή). Αυτοί είναι και οι πιο ισχυροί. Οι αξονικοί τρόποι δόνησης είναι αυτοί που έχουν μόνο ένα n μη μηδενικό π.χ. $f_{100}, f_{200}, f_{003}, f_{020}$ κ.τ.λ.



Ε 2.6.2 Γραφική απεικόνιση του αξονικού τρόπου δόνησης (συγκεκριμένα ο f_{400})

Εφαπτομενικοί τρόποι δόνησης

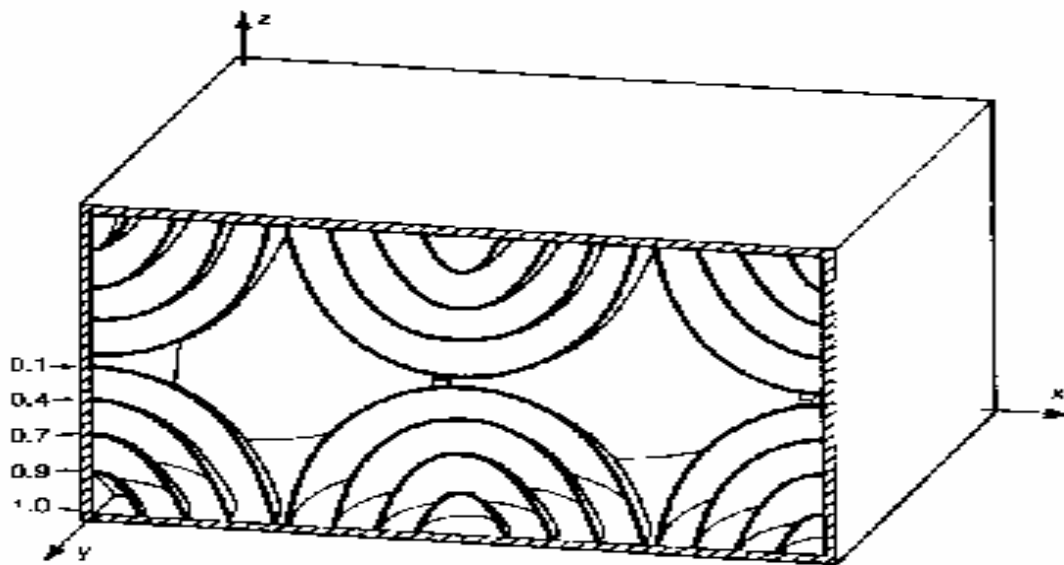
Tangential Modes – δυο ζεύγη παράλληλων επιφανειών – και οι τέσσερις τοίχοι ή δυο τοίχοι και το ταβάνι με το πάτωμα . Έχουν τη μισή ενέργεια από τους αξονικούς (-3 dB) και $2n$ μη μηδενικά π.χ. f_{120} , f_{210} , f_{011} , f_{101} κ.τ.λ.



Ε 2.6.3 Γραφική απεικόνιση του εφαπτομενικού τρόπου δόνησης (συγκεκριμένα ο f_{210})

Πλάγιοι

Oblique Modes – Ανάμεσα και στις έξι επιφάνειες – (τέσσερις τοίχοι το πάτωμα και την οροφή). Έχουν το ένα τέταρτο της ενέργειας των αξονικών, και τη μισή των εφαπτομενικών . (-6 dB). Όλα τα n μη μηδενικά π.χ. f_{123} , f_{211} κ.τ.λ.



Ε 2.6.4 Γραφική απεικόνιση του πλάγιου τρόπου δόνησης (συγκεκριμένα ο f_{211})

3 Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΟΙΚΙΑΚΗ ΨΥΧΑΓΩΓΙΑ

Η Ακουστική παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον διότι ο ήχος συνοδεύει όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες . Η μουσική και ο κινηματογράφος έχουν πλέον πρωταρχική θέση στην καθημερινότητά μας και δεν αποτελούν πολυτελείς δραστηριότητες με τις οποίες ασχολούμαστε περιστασιακά όταν επισκεπτόμαστε έναν ειδικά για αυτές διαμορφωμένο χώρο. Το ίδιο μας το σπίτι γίνεται άλλοτε αίθουσα συναυλιών ή άλλοτε κινηματογραφική αίθουσα. Τα απλά δικάναλα συστήματα έχουν γίνει πολύπλοκα πολυκάναλα χάριν της τεχνολογικής προόδου. Η ψηφιακή έκρηξη μας έδωσε τη μέγιστη ποιότητα στο ελάχιστο κόστος κάνοντάς την ιδιαίτερα προσιτή σε όλους.

Τι συμβαίνει όμως και το τελικό αποτέλεσμα στην ακρόαση του ήχου δεν είναι αυτό που θα περιμέναμε σύμφωνα με το επίπεδο της τεχνολογίας που βρίσκεται το ηχητικό μας σύστημα ; Πέρα από την ποιότητα του ηχητικού μας συστήματος θα έπρεπε να εξετάσουμε τον ήχο πιο σφαιρικά καθότι το περιβάλλον που τοποθετούμε το σύστημά μας είναι ικανό να καθορίσει την τελική ποιότητα όσων ακούμε και αντιλαμβανόμαστε. Οι χώροι ακρόασης είναι πολύ πιο “ζωντανοί” απ’ όσο φανταζόμαστε και η ισοστάθμιση των ηχείων είναι ημίμετρο. Η μόνη λύση είναι να προβούμε στην ακουστική βελτίωση του χώρου μας και ο επιμέρους κλάδος της ακουστικής που ασχολείται με αυτού του είδους τις βελτιώσεις είναι η ακουστική κλειστών χώρων .

3.1 ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Με τον όρο ηλεκτροακουστική (electroacoustics) εννοούμε τον κλάδο της ακουστικής που ασχολείται με την αλληλεπίδραση και την αμφίδρομη μετατροπή ακουστικής και ηλεκτρικής ενέργειας, τους τρόπους με τους οποίους επιτυγχάνεται καθώς και τον ηλεκτρικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται γι’ αυτό το σκοπό.

Ένα ηλεκτροακουστικό σύστημα περιλαμβάνει το ηχητικό σύστημα, αλλά και το ακουστικό πεδίο. Το ηχητικό σύστημα περιλαμβάνει τον μετατροπέα εισόδου (μικρόφωνο), τις συσκευές επεξεργασίας του σήματος (προενισχυτή, κονσόλα, συσκευές effects, τελικούς ενισχυτές) και τον μετατροπέα εξόδου (μεγάφωνο).

Στην περίπτωση που εξετάζουμε, δηλαδή την στερεοφωνική ακρόαση μουσικής για οικιακή χρήση το ηχητικό σύστημα περιορίζεται στις εξής συσκευές: CD player – πικ-απ ,ραδιόφωνο, ηλεκτρονικός υπολογιστής ή κάποια άλλη ψηφιακή ή αναλογική συσκευή αναπαραγωγής, προενισχυτής, ενισχυτής και ένα ζεύγος ηχείων.



Ε3.1.1 Διάγραμμα ηλεκτροακουστικού συστήματος

3.2 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Ιστορία των συσκευών αναπαραγωγής μουσικής

Κάθε τεχνολογική επανάσταση έφερε μαζί της ένα είδος συσκευών αναπαραγωγής. Η ιστορική προέλευση των συσκευών αυτών μαζί με μουσικό υλικό μαζικής παραγωγής τοποθετείται στο 1878 με τον Φωνογράφο και τον Thomas Edison (1847-1931) , ο οποίος χρησιμοποίησε φύλλα κασσίτερου σε κυλίνδρους αλουμινίου και αμέσως μετά με το Γραμμόφωνο του Alexander Graham Bell (1847-1922) που χρησιμοποίησε κέρινους κυλίνδρους και τελειοποίησε ο Emile Berliner (1851-1929) που χρησιμοποιώντας πρώτος επίπεδους δίσκους. Σ' αυτές τις συσκευές σκόπιμα δε δόθηκε κανένας έλεγχος στο χρήστη, υπήρχε ωστόσο ένας ακούσιος έλεγχος στο γραμμόφωνο μέσω της κόρνας του που γυρνώντας την, επηρεαζόταν η κατευθυντικότητα του ήχου. Ο ηλεκτρισμός σύντομα άρχισε να χρησιμοποιείται στις συσκευές αναπαραγωγής ήχου, ραδιόφωνο και δίσκοι στη δεκαετία του '20. Αργότερα με τα Juke-boxes (1927) ο ακροατής μπορούσε να επιλέξει ανάμεσα από έναν κατάλογο δίσκων. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα δόθηκε με τη στερεοφωνική μέθοδο ηχογράφησης το 1931.

Η ψηφιακή τεχνολογία ήρθε να δώσει έναν αριθμό από τεχνικά πλεονεκτήματα τα οποία είναι σχετικά γνωστά σε όλους μας, όπως σταθερή ποιότητα ήχου ,καλύτερη συμπίεση ,

χωρίς απώλειες αντίγραφα κτλ., προκάλεσε μάλιστα επανάσταση στον τρόπο που η μουσική διατίθεται και ακούγεται. Πλέον το ευρύ κοινό έχει πρόσβαση σε τεράστιους καταλόγους ηχητικών δεδομένων από το σπίτι του.

Σήμερα όλοι πέρα από τις αναλογικές συσκευές που ίσως διατηρούμε, σίγουρα έχουμε και κάποια ψηφιακή, όπως Cd – player ή dvd – player που αναπαράγουν ασυμπιεστο σήμα (.wav χρησιμοποιώντας τη μέγιστη δυνατή συχνότητα δειγματοληψίας) ή συνήθως audio και mp3 δηλαδή σήμα συμπιεσμένο με κάποιον αλγόριθμο .



Ε 3.1.2 Αναλογικά συστήματα αναπαραγωγής

3.3 Ο ΨΗΦΙΑΚΟΣ ΗΧΟΣ

Για να καταλάβουμε την λειτουργία των ψηφιακών συσκευών αναπαραγωγής ήχου που έχουμε στο σπίτι μας θα πρέπει να ξέρουμε τον τρόπο μετατροπής της αναλογικής κυματομορφής σε ψηφιακά δεδομένα (μονάδες και μηδενικά).

Πρώτο στάδιο είναι αυτό της δειγματοληψίας και συνδέεται άμεσα με την ποιότητα που θα έχει το ψηφιακό ηχητικό σήμα. Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι τα δείγματα – πληροφορίες που παίρνουμε από το αναλογικό σήμα κάθε δευτερόλεπτο. Δεύτερο στάδιο είναι αυτό του κβαντισμού και εκφράζει την ανάλυση με την οποία αποθηκεύονται οι πληροφορίες που παίρνονται για κάθε χρόνο δειγματοληψίας, χονδρικά πρόκειται για την μετάφραση του «καρέ» του σήματος σε ψηφιακή τιμή – λέξη. Στο τελευταίο στάδιο της διαδικασίας οι προηγούμενοι αριθμοί παίρνουν την τελική δυαδική τους μορφή. Όσο περισσότερα είναι τα δείγματα τόσο πιο αξιόπιστη θα είναι η αναπαράσταση του πραγματικού σήματος. Τα CD του εμπορίου δημιουργούνται βάσει των προδιαγραφών που είναι γνωστές με τον όρο “red book” και είναι 44,1kHz σε βάθος ανάλυσης 16bit .



Ε 3.3.1 Διαδικασία ψηφιοποίησης.

3.4 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

Στον οικιακό εξοπλισμό συνήθως η επεξεργαστές σήματος δεν αποτελούν περιφερειακές συσκευές αλλά είναι ενσωματωμένες στο ηχητικό σύστημα (cd player κτλ). Ανάλογα με την ιδιότητα του ήχου που επηρεάζουν κατατάσσονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: οι δυναμικοί επεξεργαστές που επηρεάζουν το πλάτος, οι ισοσταθμιστές που επηρεάζουν την συχνότητα, και τα delays που επηρεάζουν ιδιότητες του χρόνου όπως η φάση.

Επεξεργασία Δυναμικών (πλάτους κυματομορφής) :

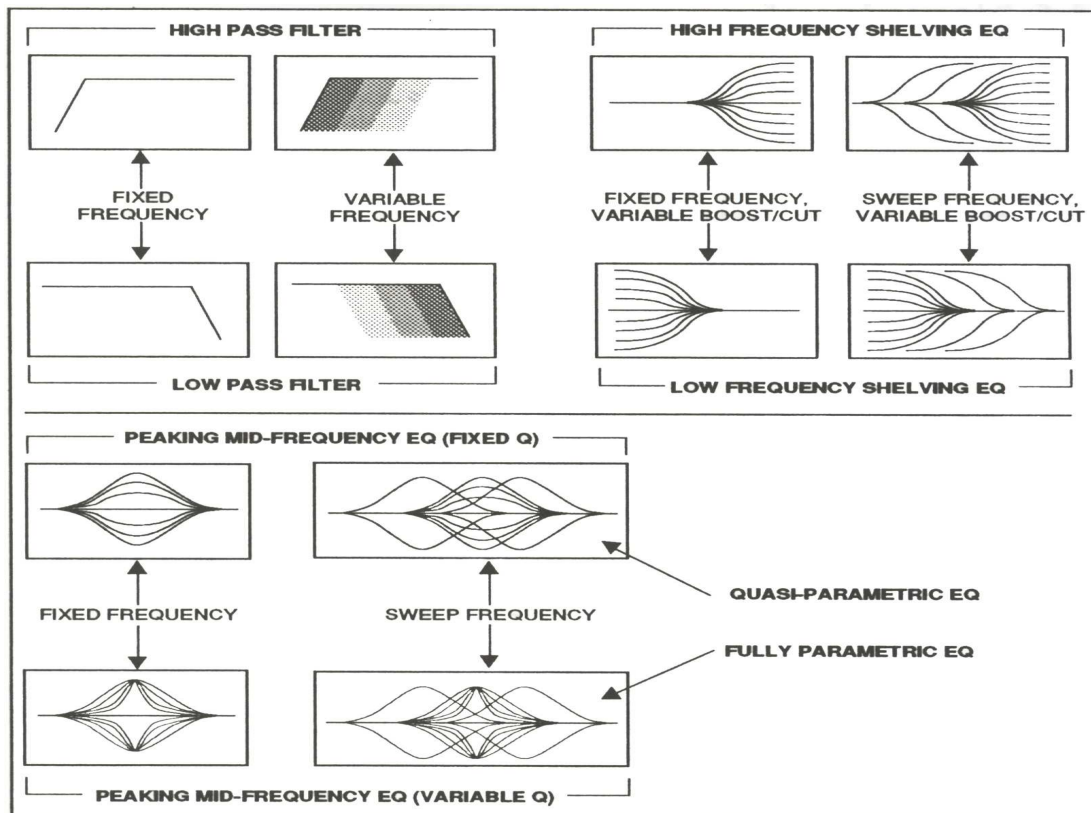
- Συμπίεστής (compressor) : Συμπιέζει το σήμα μειώνοντας το δυναμικό του εύρος, δηλαδή πρακτικά θα λέγαμε ότι αυξάνει και μειώνει την στάθμη έτσι ώστε η ροή της να είναι πιο ομαλή και επίπεδη. Βασικές ρυθμίσεις ενός συμπίεστή είναι ο λόγος συμπίεσης (ratio) και η ένταση πάνω από την οποία το σήμα υφίσταται την συμπίεση (threshold). Όταν δηλαδή η στάθμη του σήματος ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο (threshold), ο compressor μειώνει το σήμα σύμφωνα με την αναλογία (ratio) μέχρι η στάθμη εισόδου να πέσει πάλι κάτω από το threshold.
- Limiter : Παραλλαγή του συμπίεστή είναι ο limiter, ο οποίος λειτουργεί σαν ένα φράγμα στην ένταση του ήχου, αφού δεν επιτρέπει στο σήμα να ξεπεράσει κάποιο προκαθορισμένο επίπεδο. Ουσιαστικά είναι ένας συμπίεστής με μεγάλο λόγο συμπίεσης.

Στον ενισχυμένο ήχο ο limiter βοηθάει στον περιορισμό των απότομων κορυφών του σήματος (attacks) .

- Expander : Πρόκειται για την ακριβώς αντίθετη διαδικασία από αυτή του συμπιεστή, δηλαδή αυξάνει την ένταση του σήματος όταν αυτό υπερβεί την τιμή του threshold ή την μειώνει όταν πέφτει κάτω από αυτή την τιμή (downward expander). Η χρήση του expander δεν βρίσκει πολλές εφαρμογές σε ένα σύστημα ενίσχυσης ήχου. Συνήθως χρησιμοποιείται ο downward expander σε συνδυασμό με έναν συμπιεστή σε κυκλώματα μείωσης θορύβου από το σήμα.
- Noise Gate : Είναι ένας downward expander με πολύ μεγάλο λόγο συμπίεσης ($\infty:1$), τέτοιο ώστε να μην επιτρέπει να φτάσει το σήμα στην έξοδο όταν είναι χαμηλότερο από την ένταση που έχουμε καθορίσει. Αυτό βοηθάει και στην μείωση του θορύβου ενός σήματος.

Επεξεργασία Συχνότητας :

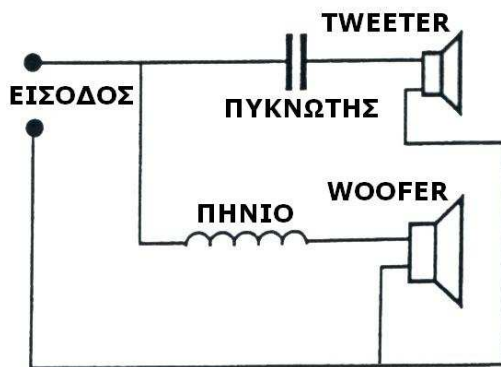
- Φίλτρα (filters) : Τα φίλτρα χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν ή να ελαττώσουν τη στάθμη μιας ορισμένης συχνότητας ή ομάδας συχνοτήτων. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες : διέλευσης υψηλών, διέλευσης χαμηλών, διέλευσης περιοχής και αποκοπής περιοχής συχνοτήτων. Άλλος σημαντικός διαχωρισμός είναι αυτός ανάμεσα στα παθητικά και τα ενεργά φίλτρα. Τα παθητικά έχουν δυνατότητα να μειώνουν μόνο την ένταση, αλλά δεν χρειάζονται ρεύμα για την λειτουργία τους και έτσι δεν παράγουν θόρυβο, αντίθετα τα ενεργά φίλτρα προσφέρουν καλύτερο έλεγχο, καθώς και τη δυνατότητα για ενίσχυση.



Ε 3.4.1 Είδη φίλτρων (διέλευσης υψηλών , διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων) και ισοσταθμιστών (ημιπαραμετρικά και πλήρως παραμετρικά)

- Ισοσταθμιστής (equalizer) : Αποτελείται από συνδυασμό πολλών φίλτρων έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα ελέγχου της απόκρισης συχνοτήτων του σήματος σε ολόκληρο το ακουστικό φάσμα. Το πλέον απαραίτητο εργαλείο για ένα σύστημα ενίσχυσης ήχου είναι ο γραφικός ισοσταθμιστής. Αποτελείται από σειρά φίλτρων (από 5 μέχρι και 31) διέλευσης και αποκοπής ζώνης συχνοτήτων με συγκεκριμένη συχνότητα το καθένα. Άλλος τύπος είναι ο παραμετρικός ισοσταθμιστής ο οποίος επιτρέπει στον χειριστή καλύτερο έλεγχο σε όλες τις παραμέτρους, όπως ο έλεγχος της κεντρικής συχνότητας και του εύρους της περιοχής συχνοτήτων που θα επηρεαστούν.
- Δικτώματα διαχωρισμού συχνοτήτων (crossover) : Κάθε μεγάφωνο έχει περιορισμένο εύρος απόκρισης συχνοτήτων. Οι υψηλές συχνότητες απαιτούν

διαφράγματα χαμηλής μάζας καθώς επιβάλλουν γρήγορη και με ακρίβεια κίνηση σε αυτά με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας στα στοιχεία του μεγάφωνου. Από την άλλη οι χαμηλές συχνότητες απαιτούν μεγάλης μάζας και διαστάσεων διαφράγματα ικανά να αναπαράγουν μεγάλα μήκη κύματος. Μεγάλη μάζα συνεπάγεται όμως και αυξημένη αδράνεια, άρα χαμηλότερη ευαισθησία και μεγαλύτερη ισχύ. Έτσι ο κατασκευαστής μεγάλων έρχεται αντιμέτωπος με αντικρουόμενα στοιχεία προς την ποιότητα του ήχου.



Ε.3.4.2 Δικτύωμα διαχωρισμού συχνοτήτων

Συνήθως για αναπαραγωγή ολόκληρου του ακουστικού φάσματος χρησιμοποιούνται τρία μεγάφωνα (woofer, mid-range, tweeter) για χαμηλές, μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Ακριβώς σε αυτό χρησιμεύει και το crossover, στον διαχωρισμό δηλαδή του σήματος σε συχνοτικές ζώνες, που τροφοδοτούν τα αντίστοιχα κυκλώματα του μεγαφώνου. Πρόκειται για έναν συνδυασμό φίλτρων που το καθένα επιτρέπει τη διέλευση της αντίστοιχης ζώνης συχνοτήτων.

3.5 ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

Ο ενισχυτής ως μέρος ενός συστήματος ήχου οδηγεί τα ηχεία στις απαιτούμενες στάθμες λειτουργίας. Ο ιδανικός ενισχυτής είναι αυτός που ενισχύει τον ήχο χωρίς να επεμβαίνει καθόλου σ' αυτόν.

Χαρακτηριστικά ενισχυτών

Τα χαρακτηριστικά των ενισχυτών είναι :

- **Η ευαισθησία**, Δείχνει την απαιτούμενη τάση εισόδου για την παραγωγή της μέγιστης ονομαστικής τάσης εξόδου του ενισχυτή. Η ευαισθησία είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος, γιατί δείχνει τη μέγιστη τάση που μπορούν να έχουν οι συσκευές που συνδέονται στον ενισχυτή.
- **Η ισχύς εξόδου**, Είναι η ισχύς που μπορεί να δώσει η συσκευή σε συγκεκριμένο φορτίο και εύρος συχνοτήτων, για συγκεκριμένο επίπεδο παραμόρφωσης.
- **Το εύρος ισχύος**, Η ικανότητα του ενισχυτή να παράγει μεγάλης ισχύος σήμα εξόδου σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Δείχνει δηλαδή, το εύρος συχνοτήτων στο οποίο ο ενισχυτής παράγει τουλάχιστον το ήμισυ της ονομαστικής του ισχύος χωρίς παραμόρφωση.
- **Ο ρυθμός απόκρισης**, : Είναι η ικανότητα ενός ενισχυτή να ανταποκρίνεται σε απότομες αλλαγές της τάσης του σήματος. Μετράται σε volts/ microsecond. Κάθε αναλογικό κύκλωμα χρειάζεται κάποιο χρόνο για να ανταποκριθεί σε κάθε μεταβολή.
- **Απόκριση Συχνοτήτων**: Δείχνει τα όρια μέσα στα οποία ο ενισχυτής ανταποκρίνεται εξίσου σε όλες τις συχνότητες όταν λειτουργεί σε χαμηλή ισχύ (συνήθως η μέτρηση γίνεται με ισχύ 1 watt σε φορτίο 8ohm).

Ψηφιακοί ενισχυτές

Καθώς οι ηχητικές πηγές οικιακής χρήσης βασίζονται όλο και περισσότερο στην ψηφιακή τεχνολογία ακολούθως ήρθαν και οι ψηφιακοί ενισχυτές. Υπάρχουν δύο τύποι ψηφιακών ενισχυτών, οι πραγματικοί ψηφιακοί και αυτοί που ενσωματώνουν ψηφιακή τεχνολογία. Οι δεύτεροι δέχονται ψηφιακό σήμα στην είσοδο τους και στη συνέχεια μετατρέπεται σε αναλογικό και ενισχύεται με τον κλασικό αναλογικό τρόπο. Ο ψηφιακός ενισχυτής μετατρέπει την ψηφιακή παλμοσειρά **pcm** (pulse code modulation)

του σήματος εισόδου σε παλμοσειρά **pwm** (pulse width modulation) η οποία επιτρέπει την ενίσχυση του σήματος ψηφιακά. Σημειώνεται ότι τα ψηφιακά ενισχυτικά κυκλώματα δεν επηρεάζονται από μη γραμικότητες και θορύβους των τρανζίστορ. Η μετατροπή της ψηφιακής παλμοσειράς σε αναλογικό ηχητικό σήμα γίνεται ελέγχοντας συμβατικά τρανζίστορ που αναβοσβήνουν σύμφωνα με το μήκος του ψηφιακού παλμού.

3.6 ΚΑΛΩΔΙΑ

Τα καλώδια είναι αγωγοί ρεύματος, μεταφέρουν σε ηλεκτρική μορφή το αρχικό ηχητικό σήμα και αποτελούν τον τρόπο σύνδεσης μεταξύ όλων των συσκευών που υπάρχουν σε ένα σύστημα ενίσχυσης ήχου. Κατασκευάζονται από διάφορα υλικά, όπως χαλκός, μπρούντζος, αλουμίνιο, σίδηρος, και μονώνονται με πλαστικό υλικό. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι καλωδίων ανάλογα με τον αριθμό των αγωγών που έχουν, την ένταση του σήματος που μπορούν να μεταδώσουν, την αντίσταση, τη χωρητικότητα και την επαγωγικότητά τους, την ελαστικότητα, τη θωράκιση, τη ανθεκτικότητα και το υλικό κατασκευής τους, ακόμη και ανάλογα με τον αριθμό των ινών από τις οποίες αποτελείται κάθε αγωγός. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, παρουσιάζουν διαφορά στην ονομαστική εμπέδηση. Για την ονομαστική εμπέδηση, πρέπει να ληφθεί υπόψη η χωρητική και η επαγωγική αντίσταση του καλωδίου, σύμφωνα με τον τύπο :

$$Z_0 = \sqrt{L/C} \quad \mathbf{T.3.6.1}$$

όπου L = επαγωγικότητα (Henry) ανά μέτρο

C= η χωρητικότητα (Farad) ανά μέτρο.

Οι βασικότεροι τύποι καλωδίων που χρησιμοποιούμε για τα ηχοσυστήματα στο σπίτι είναι:

- Καλώδια line level : είναι ένα στριμμένο ζευγάρι συρμάτων, που μεταδίδουν το balanced σήμα και την γείωση, μεταδίδουν σήματα μεγαλύτερης έντασης και μπορούν να μεταφέρουν το σήμα σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

- Καλώδια για μεγάφωνα υψηλής εμπέδησης : αφορούν συστήματα με τάση 100Volt. Σημαντικό ρόλο έχει το πάχος του καλωδίου το οποίο καθορίζει την απώλεια ισχύος του σήματος λόγω παραγωγής θερμότητας.
- Καλώδια για μεγάφωνα χαμηλής εμπέδησης : εδώ κατατάσσονται τα καλώδια που μεταφέρουν φορτίο μεταξύ 2 και 32Ω (τα περισσότερα συστήματα είναι των 4 ή 8Ω).



3.7 ΗΧΕΙΑ

Τα ηχεία έχουν την πιο δύσκολη αποστολή από όλα τα εξαρτήματα οικιακής ψυχαγωγίας. Ένα αντικείμενο μεγέθους περίπου 30-50 cm καλείται να αναπαράγει όλους τους ήχους, από την ανθρώπινη φωνή και μια συμφωνική ορχήστρα, μέχρι τον ήχο που προκαλεί η απογείωση ενός αεροπλάνου και το αποτέλεσμα να είναι ρεαλιστικό.

Πρώτο και καθοριστικό στοιχείο που επηρεάζει την απόδοση ενός ηχείου είναι η ποιότητα και ο τύπος της καμπίνας του στην πρόσοψη της οποίας τοποθετούνται τα μεγάφωνα που επίσης αποτελούν σημαντικότατο στοιχείο.

Τύποι καμπινών

Οι καμπίνες των ηχείων παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία τους . υπάρχουν βέβαια και ηχεία ειδικών κατασκευών (μαγνητοστατικά, ηλεκτροστατικά) χωρίς καμπίνα. Ο πιο συνηθής τύπος ηχείων που χρησιμοποιείται είναι τα ηλεκτροδυναμικά και χρειάζονται απαραίτητα καμπίνα τουλάχιστον για την αναπαραγωγή των χαμηλών συχνοτήτων. Οι βασικοί τύποι καμπινών είναι οι εξής :

Καμπίνα ακουστικής ανάρτησης

Οι καμπίνα ακουστικής ανάρτησης είναι αεροστεγής γιατί ο αέρας μέσα σε αυτήν χρησιμοποιείται ως ανάρτηση για τον έλεγχο του γούφερ. Όταν ο κώνος του μεγαφώνου κινείται προς τα έξω, δημιουργείται υπο-πίεση που επαναφέρει το μεγαφώνο στη θέση ηρεμίας και αντίστροφα στην περίπτωση που κινείται προς τα μέσα. Η ακουστική ενέργεια που παράγεται στο πίσω μέρος του κώνου χάνεται.

Καμπίνα παθητικής ακτινοβολίας

Οι καμπίνες παθητικής ακτινοβολίας (passive radiator) είναι σχεδιασμένες ώστε να αξιοποιούν την ακουστική ενέργεια που χάνεται στις καμπίνες ακουστικής ανάρτησης . Η συχνότητα συντονισμού του woofer δεν του επιτρέπει να κινηθεί όταν αναπαράγονται οι υψηλές συχνότητες της χαμηλής συχνοτικής ζώνης οπότε το ηχείο συμπεριφέρεται ως ηχείο ακουστικής ανάρτησης.

Καμπίνα κόρνας

Τα ηχεία με καμπίνα κόρνας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα. Αναπαράγουν στάθμες μεγαλύτερες σε watt από κάθε άλλο ηχείο. Η καμπίνα αυτή λειτουργεί σαν ακουστικός ενισχυτής όπως γίνεται στα πνευστά όργανα αυξάνοντας την κατευθυντικότητα. Είναι πολύ δημοφιλή για συναυλιακή χρήση και μεγάλους γενικά χώρους . Η σχεδίαση αυτών των ηχείων είναι πολύ δύσκολη γι αυτό και συχνά έχουν μέτρια απόδοση.

Τα μεγάφωνα λαμβάνουν σήμα από το κύκλωμα διαχωρισμού (crossover) που κατανέμει τα διαφορετικά φάσματα στο κατάλληλο κατά περίπτωση μεγάφωνο για ηχητική αναπαραγωγή.

Κάποια από τα επιθυμητά χαρακτηριστικά απόδοσης ενός ηχείου είναι:

- Επίπεδη και ευρεία απόκριση συχνότητας
- Κατάλληλη διασπορά
- Χαμηλή παραμόρφωση
- Υψηλή ευαισθησία

Η απόκριση συχνότητας ενός ηχείου μεταβάλλεται ανάλογα με τη γωνία από την οποία τη μετράμε (εκεί που βάζουμε δηλαδή το μικρόφωνο). Έτσι συχνά οι κατασκευαστές δίνουν την απόκριση συχνότητας και σε γωνία 30° ή 45°, μαζί με την απόκριση κατευθείαν στον άξονα του ηχείου.

Ακόμη συχνά συναντάμε τα λεγόμενα πολικά διαγράμματα, που μας δείχνουν πως μεταβάλλεται η ηχητική στάθμη γύρω γύρω καθώς το ηχείο εκπέμπει μια σταθερής ισχύος συχνότητα. Συχνά όταν ένα ηχείο έχει ομοιόμορφη πολική απόκριση, δηλαδή δεν παρουσιάζονται μεγάλες διακυμάνσεις μεταβάλλοντας τη γωνία, λέμε ότι το ηχείο έχει καλή διασπορά.

Σχετικό με την ισχύ είναι το μέγεθος του βαθμού απόδοσης. Μετριέται άλλοτε σαν ποσοστό επί τοις εκατό, δείχνοντας πόσο μέρος της ηλεκτρικής ισχύος γίνεται ακουστική και άλλοτε σε dB SPL για ηλεκτρική είσοδο 1W. Αντίστοιχα αν ο βαθμός απόδοσης (που συχνά αναφέρεται σαν ευαισθησία) είναι 85dB SPL/W/m, σημαίνει ότι αν βάλουμε στην είσοδό του 1W ηλεκτρικής ισχύος θα πάρουμε μια στάθμη 85dB SPL σε απόσταση ενός μέτρου απ' αυτό.

Αν και η αξία των μετρήσεων και τα τεχνικά στοιχεία αξιολόγησης ενός ηχείου είναι σημαντικά δεν είναι πάντα δυνατός ο συσχετισμός τους με την απόδοση και την ποιότητα του ηχείου.

Ενεργά ηχεία

Τα ηχεία είναι συνήθως παθητικές μονάδες. Γίνεται όμως όλο και πιο διαδεδομένη η χρήση ενεργών ηχείων, ηχείων δηλαδή που ενσωματώνουν ενισχυτή. Αυτό συντελεί στο απόλυτο ταίριασμα μεγαφώνου – ενισχυτή με συνέπεια καλύτερη απόδοση του ηχείου.

Υπογούφερ

Η αναπαραγωγή χαμηλών συχνοτήτων είναι ίσως το δυσκολότερο πράγμα που έχουν να αντιμετωπίσουν οι κατασκευαστές ηχείων. Οι πολύ υψηλές απαιτήσεις έχουν οδηγήσει στην κατασκευή μιας αυτόνομης μονάδας που διαχειρίζεται τη ζώνη 20-120 Hz. Έτσι αποδεσμεύονται τα υπόλοιπα ηχεία από αυτή τη ζώνη και συμπεριφέρονται πιο γραμμικά. Τα υπογούφερ διαχωρίζονται σε ενεργά και παθητικά, οι ενισχυτές των ενεργών είναι ειδικά κατασκευασμένοι για την αναπαραγωγή μπάσων.

Δίπολα και αμφίπολα ηχεία

Τα περισσότερα ηχεία της αγοράς είναι άμεσης εκπομπής (direct radiating), δηλαδή όλα τα μεγάφωνα είναι στην ίδια πλευρά της καμπίνας και εκπέμπουν προς την ίδια κατεύθυνση.

Τα δίπολα ηχεία έχουν μεγάφωνα που εκπέμπουν με αντίθετη διεύθυνση και εκτός φάσης. Έτσι δημιουργείται ένα πλούσιο περιφερειακό πεδίο. Στο αμφίπολο ηχείο η διάταξη είναι ίδια με το δίπολο ηχείο αλλά εκπέμπει ήχο εντός φάσης.

Μεγάφωνα

Πρόκειται για έναν ηλεκτρακουστικό μετατροπέα του ηλεκτρικού σήματος αρχικά σε μηχανικές ταλαντώσεις και στη συνέχεια σε ακουστικό κύμα. Είναι θα λέγαμε, η ακριβώς αντίστροφη διαδικασία από αυτή που γίνεται στο μικρόφωνο. Ανάλογα, επίσης, με τη μέθοδο στην οποία στηρίζεται η κατασκευή τους υπάρχουν τρεις κατηγορίες: ηλεκτροδυναμικά, ηλεκτροστατικά και μαγνητοστατικά μεγάφωνα. Στον ενισχυμένο ήχο χρησιμοποιούνται κυρίως τα ηλεκτροδυναμικά γι αυτό και τα χαρακτηριστικά που αποτελούν μερικά από τα αντικειμενικά κριτήρια επιλογής αφορούν κυρίως αυτού του τύπου τα μεγάφωνα:

Θεμελιώδης Συχνότητα Συντονισμού (fundamental resonance frequency, f_0) :

Είναι μια κορυφή που παρουσιάζεται σε κάθε ηλεκτροδυναμικό μεγάφωνο στις χαμηλές συχνότητες και καθορίζεται από τη μάζα του διαφράγματος, την αδράνεια που παρουσιάζει και την ελαστικότητα της ανάρτησής του. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιείται ο τύπος :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

T.3.7.1

όπου k η σταθερά ελατηρίου του διαγράμματος (N/m) και m η μάζα του διαφράγματος (kg). Η συχνότητα αυτή αποτελεί το χαμηλότερο όριο του εύρους μετάδοσης του μεγαφώνου.

Απόκριση Συχνότητας (frequency response) : Κάθε μεγάφωνο μπορεί να αναπαράγει με πιστότητα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Αυτό το εύρος περιγράφεται στο διάγραμμα απόκρισης συχνοτήτων. Σχηματίζεται από τις μεταβολές της στάθμης ηχητικής πίεσης ως προς τη συχνότητα, για σταθερή τάση εισόδου. Με αυτό εξάγουμε συμπεράσματα για το πώς ακούγεται το μεγάφωνο, αφού απότομες αυξήσεις και μειώσεις χρωματίζουν τον ήχο

Ονομαστική Σύνθετη Αντίσταση (nominal impedance) : Είναι η ολική αντίσταση που παρουσιάζει το ηλεκτρικό κύκλωμα του μεγάφωνου στην ροή του εναλλασσόμενου ρεύματος. Αυτό καθορίζεται από την ωμική αντίσταση του κινούμενου πηνίου. Η σύνθετη αντίσταση εισόδου σε αυτό το σημείο ονομάζεται ονομαστική σύνθετη αντίσταση και συνήθως είναι 4, 8 ή 16Ω. Εξαρτάται από την συχνότητα και σχετίζεται με τη μέγιστη απορρόφηση ισχύος του μεγάφωνου, δηλαδή με την ποσότητα της ισχύος που δίνει ο ενισχυτής στο μεγάφωνο.

Ονομαστική Απόδοση Φορτίου (nominal load capacity) : Η επιτρεπόμενη ηλεκτρική ισχύς που καθορίζεται από τον κατασκευαστή σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά σχεδίασης του μεγάφωνου. Υπολογίζεται από ένα τεστ αντοχής που χρησιμοποιεί ένα ειδικό σήμα θορύβου.

Ευαισθησία (sensitivity, T_s) : Είναι ο λόγος της ηχητικής πίεσης εξόδου P προς την τάση εισόδου V του κυκλώματος του μεγάφωνου (Pa/V). Πιο συγκεκριμένα είναι η ηχητική στάθμη σε dB που παράγεται από το μεγάφωνο σε απόσταση 1m από το ακουστικό του κέντρο και πάνω στον άξονα αναφοράς, για σήμα ισχύος 1W και συχνότητας 1kHz.

$$T_s = \frac{P}{V} \quad \mathbf{T_{3.7.2}}$$

Η μέτρηση της ευαισθησίας αφορά ελεύθερο πεδίο και γι' αυτό το μέγεθος ονομάζεται και ευαισθησία ελεύθερου πεδίου (free-field sensitivity, T_d). Αντίστοιχα, ορίζεται και η ευαισθησία διάχυτου πεδίου (diffuse-field sensitivity, T_r), που είναι η ίδια μέτρηση πραγματοποιημένη σε διάχυτο πεδίο. Η διαφορά τους βρίσκεται στον συντελεστή διόρθωσης που χρησιμοποιείται στην περίπτωση του διάχυτου πεδίου, για να εξαλειφθούν οι ιδιότητες του δωματίου.

Ο εικοσαπλάσιος λογάριθμος του λόγου της ευαισθησίας προς την τιμή αναφοράς ($T_0=1\text{Pa/V}$) ονομάζεται στάθμη ευαισθησίας (sensitivity level, G_s) και υπολογίζεται σε dB από τον τύπο :

$$G_s = 20 \log \frac{T_s}{T_0} \quad \mathbf{T_{3.7.3}}$$

Απόδοση (efficiency, n) : Περιγράφει την ικανότητα του μεγάφωνου να μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ακουστική. Είναι ο λόγος της εκπεμπόμενης ακουστικής ισχύος προς την παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύ :

$$n = \frac{P_{ak}}{P_{el}} \quad \mathbf{T_{3.7.4}}$$

Όπου P_{ak} : ακουστική ισχύς , P_{el} : ηλεκτρική ισχύς
 Πρακτικά παίρνει τιμές μεταξύ 0.1 και 10%, ενώ το υπόλοιπο της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα. Υπερθέρμανση του μεγαφώνου οδηγεί στο φαινόμενο της

συμπίεσης ισχύος, δηλαδή αύξηση της εμπέδησης άρα και μείωση της απόδοσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι η απόδοση εξαρτάται από τη μάζα του πηνίου, τη μάζα του διαφράγματος, τη μάζα του αέρα που λειτουργεί σαν φορτίο, αλλά και από τη συχνότητα. Όσο μεγαλώνει η διάμετρος του διαφράγματος, τόσο μεγαλώνει η ισχύς του ήχου που εκπέμπεται, άρα αυξάνεται η απόδοση του μεγαφώνου, αλλά μειώνεται και το ωφέλιμο εύρος συχνοτήτων, λόγω εσωτερικού συντονισμού του κώνου.

Λόγος Γωνιακής Κατευθυντικότητας (angular directivity ratio, Γ_L) : Για μία συχνότητα ή συχνοτικό εύρος, είναι ο λόγος της ηχητικής πίεσης που εκπέμπεται σε μια γωνία ϑ από τον άξονα αναφοράς προς την ηχητική πίεση που παράγεται σε σημείο επί του άξονα αναφοράς και σε ίση απόσταση από το ακουστικό κέντρο του ηχείου, δηλαδή από τη θέση του κινούμενου πηνίου:

$$\Gamma_L(\vartheta) = \frac{\tilde{p}(\vartheta)}{\tilde{p}_0} \quad \mathbf{T\ 3.7.5}$$

Η εικοσαπλάσια λογαριθμική ποσότητα του λόγου γωνιακής κατευθυντικότητας ονομάζεται **κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας** (angular directivity gain, D) και είναι (dB) :

$$D_L(\vartheta) = 20 \log \Gamma_L(\vartheta) \quad \mathbf{T\ 3.7.6}$$

Από αυτή την σχέση προκύπτει το πολικό διάγραμμα του μεγάφωνου, όπως και στα μικρόφωνα, το οποίο είναι η γραφική παράσταση σε πολικές συντεταγμένες όλων των τιμών. Λόγω της εξάρτησης της κατευθυντικότητας από την συχνότητα, από το διάγραμμα μπορεί εύκολα να προκύψουν συμπεράσματα για την συχνοτική απόκριση του μεγάφωνου off-axis.

Γωνία Εκπομπής (angle of radiation) : Αναφέρεται στη στερεά γωνία μέσα στην οποία το κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας δεν μειώνεται περισσότερο από 3dB σε

σχέση με την τιμή αναφοράς. Όσο μεγαλύτερη είναι η κατευθυντικότητα, τόσο μικρότερη είναι η γωνία εκπομπής.

Παράγοντας Front-To-Random (front-to-random factor, γ) : Δείχνει τη σχέση ανάμεσα στην ακουστική ισχύ που θα εκπέμπονταν στο δωμάτιο από μια ομοκατευθυντική πηγή και αυτής που εκπέμπει το μεγάφωνο, για πηγές με την ίδια ευαισθησία ελεύθερου πεδίου και την ίδια ακουστική ισχύ οδήγησης. Μια μέθοδος πειραματικής μέτρησης του παράγοντα front-to-random είναι βάσει του τύπου :

$$\gamma_L = \left(\frac{\tilde{p}_d r}{\tilde{p}_r d_c} \right)^2 \quad \text{T 3.7.7}$$

όπου \tilde{p}_d η ηχητική πίεση (Pa) μετρημένη σε ελεύθερο πεδίο και σε απόσταση r (m) από τον άξονα αναφοράς του μεγάφωνου και \tilde{p}_r η ηχητική πίεση (Pa) μετρημένη σε διάχυτο πεδίο με κρίσιμη απόσταση d_c .

Ο δείκτης front-to-random (front-to-random index, C) είναι η δεκαπλάσια λογαριθμική ποσότητα του παράγοντα front-to-random :

$$C_L = 10 \log(\gamma_L) \quad \text{T 3.7.8}$$

και αντιστοιχεί στην διαφορά στάθμης ευαισθησίας σε dB μεταξύ ελεύθερου και διάχυτου πεδίου. Στα συστήματα ενίσχυσης ήχου έχει αποδειχτεί πρακτικά ότι μικρή αύξηση της τάξης των 3dB/οκτάβα στον δείκτη front-to-random είναι κατάλληλη τιμή, γιατί προσομοιάζει αρκετά τις φυσικές πηγές ήχου.

Λόγος Απόκλισης Κατευθυντικότητας (directivity deviation ratio, Γ^*) : Συσχετίζει την εκπεμπόμενη ακουστική πίεση σε γωνία ϑ με την πίεση που θα ακτινοβολούνταν από ομοιοκατευθυντική πηγή ίδιας ευαισθησίας :

$$\Gamma_L^*(\vartheta) = \sqrt{\gamma_L} \cdot \Gamma_L(\vartheta) \quad \text{T 3.7.9}$$

Η τιμή αυτή δείχνει το κλάσμα του πεδίου αντήχησης του δωματίου που οφείλεται στο μεγάφωνο. Το τετράγωνο της ποσότητας αυτής δίνει τον παράγοντα κατευθυντικότητας (directivity factor, Q) :

$$Q_L(\vartheta) = \gamma_L \Gamma_L^2(\vartheta) \quad \mathbf{T} \ 3.7.10$$

και ο δεκαπλάσιος λογάριθμος της παραπάνω σχέσης αντιστοιχεί στην τιμή σε dB του δείκτη κατευθυντικότητας (directivity index, DI) :

$$DI = 10 \log Q_L(\vartheta) \quad \mathbf{T} \ 3.7.11$$

Ακουστική Ισχύς Εξόδου (power handling) : Είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δεχθεί ένα μεγάφωνο χωρίς να παραμορφώσει το σήμα περισσότερο από ένα ποσοστό που καθορίζεται από τον κατασκευαστή.

ΗΛΕΚΤΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ

Τα περισσότερα ηχεία της αγοράς έχουν ηλεκτροδυναμικά μεγάφωνα και τα συναντάμε σε κάθε μορφή, μέγεθος και κόστος. Η λειτουργία τους βασίζεται στις αρχές της ηλεκτροδυναμικής επαγωγής, σύμφωνα με τις οποίες όταν ένας αγωγός που τον διαρρέει ρεύμα κινηθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο προκαλεί ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του και διαφορά δυναμικού στα άκρα του.

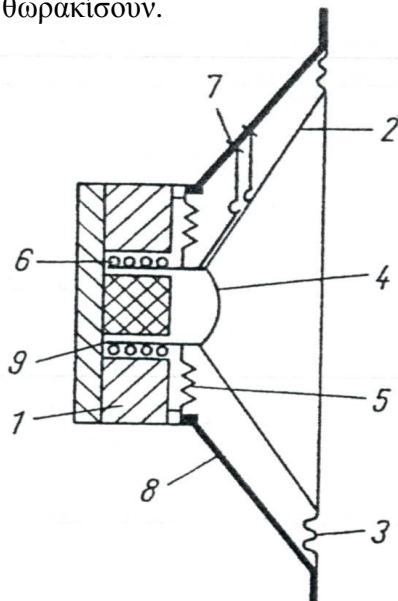
Αποτελείται από τρία βασικά μέρη, το διάφραγμα ακτινοβολίας ήχου, το κινούμενο πηνίο τυλιγμένο γύρω από έναν πυρήνα και το μόνιμο μαγνήτη. Ο τρόπος λειτουργίας έχει ως εξής : Όταν το πηνίο δεχθεί ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο του οποίου η πολικότητα εξαρτάται από την κατεύθυνση του ρεύματος. Αυτό αλληλεπιδρά με το πεδίο του μόνιμου μαγνήτη. Ο μαγνήτης βρίσκεται σε σταθερή θέση, οπότε η δύναμη που δημιουργείται από την αλληλεπίδραση προκαλεί κίνηση στο πηνίο αντίστοιχη με την ένταση του ρεύματος. Πάνω στο πηνίο είναι στερεωμένο το διάφραγμα που κινείται στην ίδια συχνότητα. Το διάφραγμα στην απλούστερη μορφή του

είναι ένας κώνος από πεπιεσμένο χαρτί ή άλλο υλικό, του οποίου η κίνηση προκαλεί κίνηση των μορίων του αέρα γύρω του και ήχο.

Για τις χαμηλές και τις μεσαίες συχνότητες χρησιμοποιούμε κώνους διαφόρων διαμέτρων, ενώ για τις υψηλές συνηθίζεται η εφαρμογή ημισφαιρικών διαφραγμάτων (θόλων) που έχουν διάμετρο ίση με αυτή του πηνίου. Τα μεγάφωνα υψηλών συχνοτήτων ονομάζονται tweeter . Πολλά έχουν μια μικρή ποσότητα υγρού (ferrofluid) στο διάκενο μεταξύ του μαγνήτη και του πηνίου φωνής. Τοποθετείται εκεί για να αυξήσει την αντοχή του πηνίου φωνής στις υψηλές στάθμες ισχύος ενώ δρα και σαν μηχανισμός απόσβεσης.

Η διάμετρος του κώνου είναι ανάλογη σε μέγεθος με το πηνίο φωνής και τον μαγνήτη, έτσι οδηγούμαστε σε μεγάφωνα μεγάλης μάζας και αδράνειας που απαιτούν μεγάλη ισχύ. Παράλληλα οι κώνοι μεγάλης διαμέτρου τείνουν να παραμορφώνονται στα άκρα τους γιατί η δύναμη του πηνίου ασκείται σε μια πολύ μικρή επιφάνεια. Έτσι απαιτούνται υλικά ελαφριά αλλά με μεγάλη ακαμψία. Τέτοια είναι το πολυπροπυλένιο , το Kevlar, το εμποτισμένο με ειδικές ρητίνες χαρτί, το τιτάνιο και κάθε λογής κράματα και υφάσματα.

Λόγω των προβλημάτων που μπορούν να προκαλέσουν τα ισχυρά μαγνητικά πεδία των μεγαφώνων αυτών(π.χ. σε καθοδικές λυχνίες τηλεοράσεων και σε μαγνητικούς δίσκους) οι κατασκευαστές περικλείουν τον μαγνήτη σε ατσάλινο περίβλημα είτε τοποθετούν έναν δεύτερο με αντίστροφη πολικότητα πίσω από το ηχείο ώστε να το θωρακίσουν.



Ε.3.7.1

Τομή ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου

όπου διακρίνονται ο μαγνήτης (1), ο κώνος (2), η περιμετρική ανάρτηση (3), το διάφραγμα (4), η ανάρτηση spider (5), το κινούμενο πηνίο (6), τα ηλεκτρικά καλώδια για το σήμα εισόδου (7), το περίβλημα (8) και ο φορέας του κινούμενου πηνίου (9)

ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ

Τα μεγάφωνα αυτά χρησιμοποιούν αντί του μαγνήτη ένα λεπτό πλαστικό διάφραγμα ,συνήθως από mylar , το οποίο βρίσκεται ανάμεσα σε δύο μεταλλικά πλέγματα, (stators). Εφαρμόζοντας ένα σταθερό φορτίο στο διάφραγμα και μεταβάλλοντας το φορτίο στα πλέγματα προκαλούμε ελεγχόμενες δονήσεις στη μεμβράνη που αναπαράγουν τον ήχο. Αυτός ο τύπος μεγαφώνων ξεκίνησε να χρησιμοποιείται από τη δεκαετία του 1930, και ένα μοντέλο που για χρόνια αποτελούσε κορυφαία επιλογή ήταν τα ηχεία Quad ESL του 1957.

Τα ηλεκτροστατικά μεγάφωνα πλεονεκτούν έναντι των ηλεκτροδυναμικών γιατί το ηλεκτροστατικό πεδίο ανάμεσα στη μεμβράνη και τους στάτορες , που προκαλεί την κίνηση της μεμβράνης κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια του διαφράγματος .Έτσι έχουμε εξαιρετικά ελαφριές μεμβράνες ιδιαίτερα ευαίσθητες στο παραμικρό σήμα με άμεση συνέπεια λεπτομερή ήχο και καλή τρισδιάστατη ηχητική εικόνα.

Το ίδιο το πλεονέκτημα τους αποτελεί και μειονέκτημα καθότι υπάρχει κίνδυνος σπινθηρισμού μεταξύ της μεμβράνης και των στατόρων. Έτσι για την αποφυγή αυτού περιορίζεται η κίνησή της και για αντιστάθμιση αυξάνεται κατά πολύ το μέγεθος του διαφράγματος. Επίσης τα μεγάφωνα αυτά είναι χαμηλής εμπέδησης και είναι δύσκολα φορτία για τους ενισχυτές.

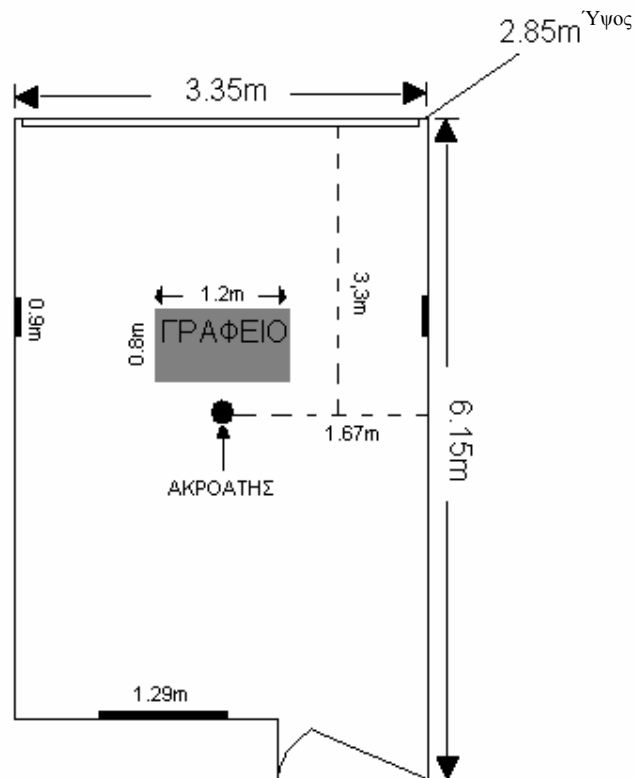
ΜΑΓΝΗΤΟΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ

Τα μαγνητοστατικά μεγάφωνα προσπαθούν να συνδυάσουν τα καλύτερα χαρακτηριστικά των δύο παραπάνω τύπων μεγαφώνων. Βασίζονται στην ίδια τεχνολογική αρχή με τα ηλεκτροδυναμικά αλλά χρησιμοποιούν ένα μεγάλο πλαστικό διάφραγμα στου οποίου την επιφάνεια υπάρχουν μεταλλικοί αγωγοί και βρίσκεται ανάμεσα σε δύο παράλληλες επιφάνειες με μαγνήτες. Έτσι το χαμηλής μάζας διάφραγμα είναι ταυτόχρονα πηνίο φωνής (μεταλλικοί αγωγοί) γεγονός που μειώνει την αδράνεια και αυξάνει την απόδοση του ηχείου.

Μια ειδική κατηγορία μαγνητοστατικών μεγάφωνων είναι τα μεγάφωνα ταινίας (ribbon) στα οποία μία μεταλλική ταινία αναρτάται ανάμεσα στους αντίθετους πόλους δύο μαγνητών. Αν και είναι ανθεκτικά σε μεγάλα επίπεδα ισχύος είναι πολύ ευαίσθητα σε κάθε άγγιγμα ή πτώση. Επίσης είναι δύσκολα ηχεία στην οδήγηση λόγω της χαμηλής τους εμπέδησης. Μεγάλο πλεονέκτημά τους είναι η γρήγορη απόκρισή τους η ακρίβειά τους και η περιορισμένη κάθετη διασπορά τους πράγμα που σημαίνει λιγότερες ανακλάσεις από το ταβάνι και το πάτωμα. Χρησιμοποιούνται κατά κανόνα για αναπαραγωγή υψηλών συχνοτήτων.

4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ



Ε 4.1.1 Κάτοψη του δωματίου που πραγματοποιήθηκαν οι πειραματικές μετρήσεις (αίθουσα mastering)

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος εξοπλισμός:

- Ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής και το πρόγραμμα Sia Smart Acoustics
- Μία κάρτα ήχου της σειράς Delta
- Ένα πυκνωτικό μικρόφωνο earthworks TC30K
- Και ένα ζευγάρι ενεργών ηχείων ADAM P22-A

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήσαμε , το SIA-Smaart® Acoustic Tools™ παρέχει ένα ισχυρό, οικονομικά προσιτό και αποδοτικό σύνολο εργαλείων για μέτρηση και ανάλυση της ακουστικής δωματίων και αξιολόγηση ηχητικής σαφήνειας συστημάτων.

Η συσκευασία αποτελείται από δύο ενότητες προγράμματος το μηχανισμό Intelligibility module (Ενότητα σαφήνειας) και το μηχανισμό Analysis module (Ενότητα ανάλυσης). Η ενότητα σαφήνειας μας επιτρέπει να μετρήσουμε την απόκριση από τη διέγερση μιας συσκευής ή ενός δωματίου. Η ενότητα ανάλυσης διαβάζει τα ακουστικά στοιχεία που αποθηκεύονται πρότυπα αρχεία wave (*.wav) των Windows. Το πρόγραμμα μπορεί να μετασχηματίσει τα στοιχεία των αρχείων wave χρόνος - μετατόπιση στην αντιπροσώπευση περιοχών συχνότητάς τους, με χρησιμοποίηση σειρών Fast Fourier Transform (FFT). Τα χαρακτηριστικά χρόνου και συχνότητας που καταγράφονται στα σήματα μπορούν έπειτα να παρασταθούν, να συγκριθούν και να αναλυθούν διάφορους τρόπους.

Η διέγερση του δωματίου έγινε με MLS σήμα που αναπαράχθηκε από την κάρτα ήχου του υπολογιστή :

Maximum Length Sequence (Ακολουθία μέγιστου μήκους) (MLS)

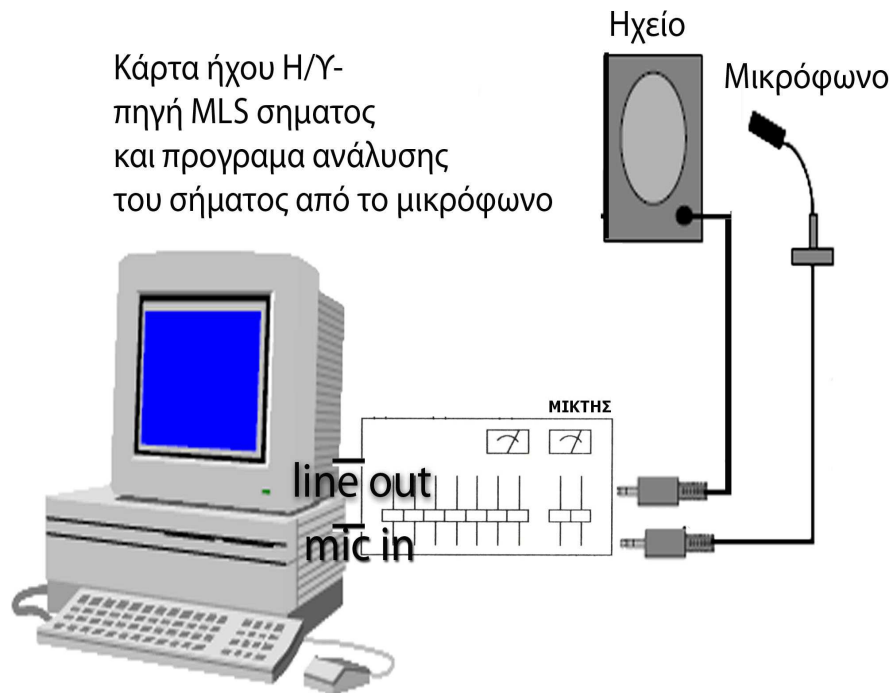
Ακολουθία μέγιστου μήκους (MLS) είναι ένας ψευδοτυχαίος θόρυβος που παράγεται από μια γνωστή ακολουθία αριθμών οι οποίοι καλούνται «σπόροι» και έναν τύπο που καταχωρεί μετατοπίσεις των bit . Ένα ελκυστικό χαρακτηριστικό γνώρισμα μιας γεννήτριας MLS σήματος, είναι ότι μπορούμε να παράγουμε επαναλαμβανόμενο θόρυβο, δηλαδή την ίδια ακριβώς ακολουθία ,όταν χρησιμοποιήσουμε σαν βάση τους ίδιους αριθμούς «σπόρου».

Τα αποτελέσματα που παίρνουμε για ένα υπό μέτρηση σύστημα και η ακολουθία MLS (ή σειρά από ακολουθίες MLS) που χρησιμοποιήσαμε εισάγονται σε έναν ταχύ μετασχηματισμό (Hadamard Transform) , για να υπολογιστεί η απόκριση του συστήματος.

Για τις πειραματικές μετρήσεις και τους θεωρητικούς υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η αίθουσα του mastering του Α.Τ.Ε.Ι. ,στο δάπεδο υπήρχε μοκέτα πάχους 1cm ,στο παράθυρο μεταλλικά στόρια, έξη υφασμάτινες καρέκλες γραφείου, ένας διαχυτής στον τοίχο πίσω από τον ακροατή ,το γραφείο πάνω στο οποίο ήταν τοποθετημένος ο υπολογιστής και ο μείκτης ,δύο ατομικά θρανία καθώς και δύο απορροφητές στους τοίχους παραπλεύρως του ακροατή.

Δεν έγινε καμία μετατροπή στο περιεχόμενο της αίθουσας διότι θεωρήθηκε ότι τα επιμέρους έπιπλα προσομοιώνουν αυτά ενός τυπικού καθιστικού – π.χ. ο διαχυτής μια βιβλιοθήκη, οι καρέκλες γραφείου έναν καναπέ κ.ο.κ. -. Όπως φαίνεται και από το σχέδιο κάτοψης της αίθουσας έχουν παραμείνει και οι απορροφητές της RPG (Σημειώνονται οι διαστάσεις τους στους πλαϊνούς τοίχους από τον ακροατή και πίσω από αυτόν)

Γίνανε μετρήσεις για οκτώ διαφορετικές θέσεις του ενός κάθε φορά ηχείου από το στερεοφωνικό ζεύγος και σε δύο διαφορετικές θέσεις ακρόασης. Τα αποτελέσματα που λήφθηκαν , εκτός αυτού που χρησιμοποιήθηκε «ο κανόνας των περιττών» για την τοποθέτηση των ηχείων, ήταν παρόμοια και παρουσιάζονται ενδεικτικά με τις δύο πρώτες μετρήσεις.



Ε 4.1.2 Διάγραμμα εξοπλισμού και συνδέσεων

4.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Πολλά έχουν γραφτεί στο δημοφιλή και επαγγελματικού ήχου τύπο σχετικά με την ακουστική βελτίωση ενός δωματίου. Ο λόγος είναι να ακούμε περισσότερο το ηχείο παρά το δωμάτιο. Ξεκινώντας προς αυτή την κατεύθυνση θα χωρίσουμε την ακουστική μελέτη του χώρου σε δύο σκέλη. Την ακουστική συμπεριφορά στις χαμηλές συχνότητες και αυτήν στις υψηλές .

Το πώς θα γίνει ο διαχωρισμός στις δυο μπάντες σχετίζεται με τη συχνότητα αποκοπής (cut-off frequency) - πάνω από την οποία δημιουργείται τόσο μεγάλος αριθμός στάσιμων κυμάτων ώστε το δωμάτιο συμπεριφέρεται πρακτικά ομοιόμορφα σε όλες τις συχνότητες- που είδαμε στο δεύτερο κεφάλαιο. Κάτω από αυτή μας ενδιαφέρουν οι τρόποι δόνησης του δωματίου και πάνω από αυτήν ο χρόνος αντήχησης. συχνότητα αποκοπής

$$f_c = 2000 \sqrt{\frac{RT_{60}}{V}}$$

T 4.2.1 όπου RT_{60} ο χρόνος αντήχησης (sec) και V ο όγκος του δωματίου (m^3).

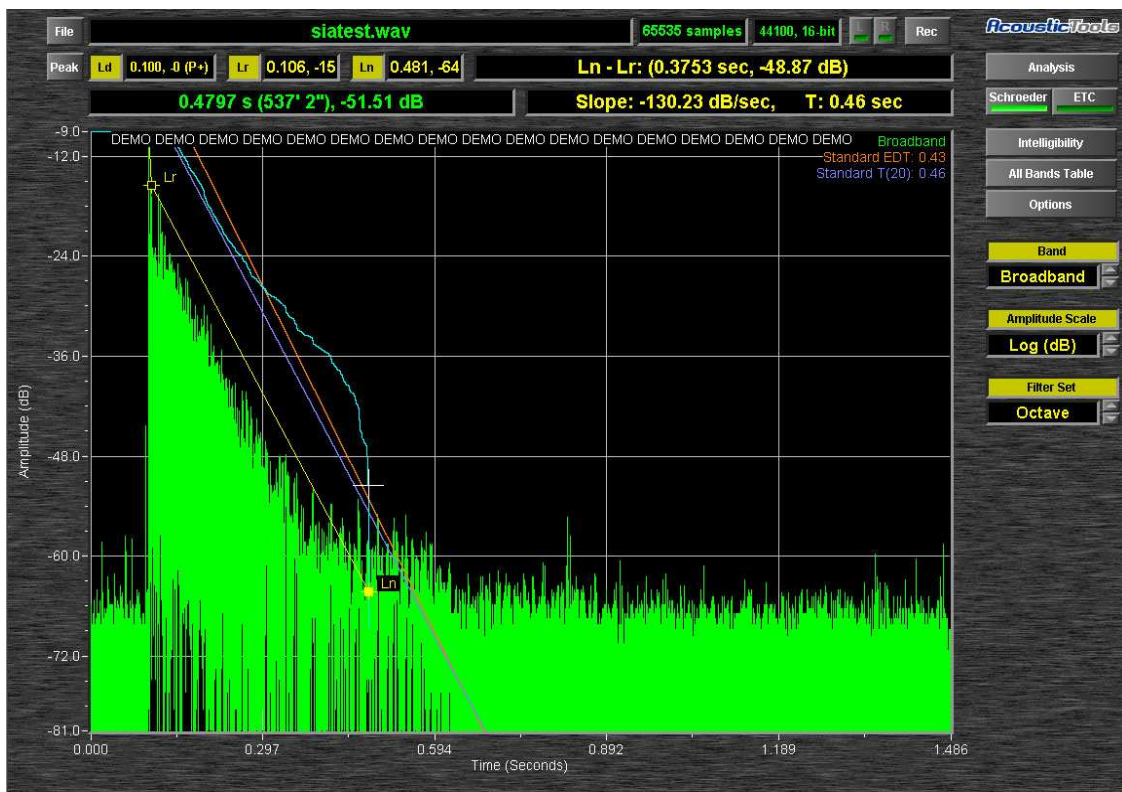
Γνωρίζοντας λοιπόν τις διαστάσεις του δωματίου,

$$V = \text{Length} \times \text{Width} \times \text{Height} = 6.15 \times 3.35 \times 2.85 = 58.7 \text{ m}^3$$

T 4.2.2

$$RT_{60} = 0.46 \text{ sec}$$

T 4.2.3



E 4.2.3 όπως βλέπουμε από το γράφημα που αντιστοιχεί στην 3^η θέση που τοποθετήσαμε τα ηχεία και απεικονίζει την πτώση στάθμης του mls σήματος στο δωμάτιο.

Άρα η συχνότητα αποκοπής είναι

$$f_c = 2000 \sqrt{\frac{0.46}{58.7}} = 177 \text{ Hz}$$

T 4.2.4

Κάτω από τη συχνότητα αυτή θα μελετήσουμε τους τρόπους δόνησης (modes) του δωματίου. Είναι κοινώς γνωστοί με τον όρο συντονισμοί. Χρησιμοποιώντας τον τύπο (T_{2.6.1}) που έχουμε ήδη περιγράψει ,από τον οποίο εξάγονται θα πάρουμε πίνακα με τους συντονισμούς μέχρι τη συχνότητα αποκοπής

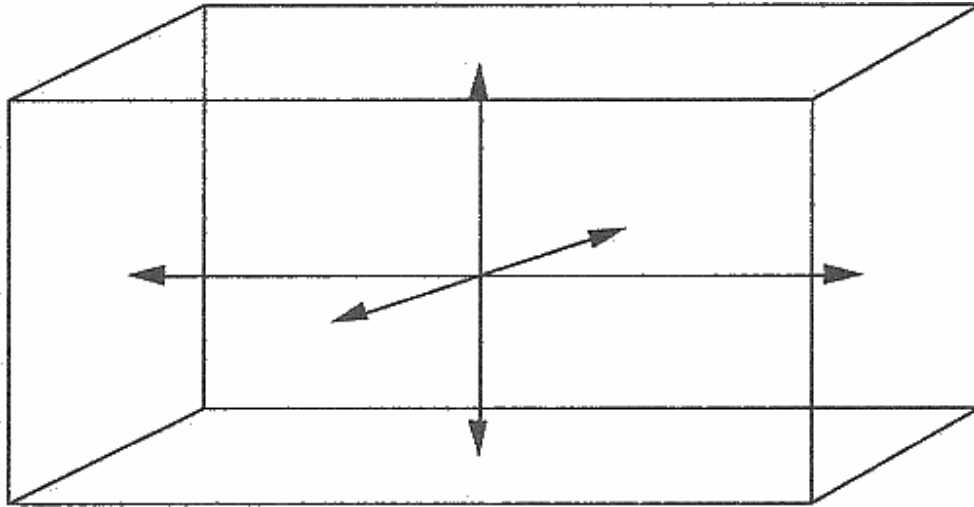
nx	ny	nz	Συχνότητα (Hz)	Τύπος
1	0	0	26,9	Axial
0	1	0	49,4	Axial
2	0	0	53,8	Axial
1	1	0	56,2	Tangential
0	0	1	58,0	Axial
1	0	1	64,0	Tangential
2	1	0	73,0	Tangential
0	1	1	76,2	Tangential
2	0	1	79,1	Tangential
3	0	0	80,7	Axial
1	1	1	80,8	Oblique
2	1	1	93,3	Oblique
3	1	0	94,6	Tangential
0	2	0	98,8	Axial
3	0	1	99,4	Tangential
1	2	0	102,4	Tangential
4	0	0	107,6	Axial
3	1	1	111,0	Oblique
2	2	0	112,5	Tangential
0	2	1	114,6	Tangential
0	0	2	116,1	Axial

1	2	1	117,7	Oblique
4	1	0	118,4	Tangential
1	0	2	119,2	Tangential
4	0	1	122,3	Tangential
0	1	2	126,2	Tangential
2	2	1	126,6	Oblique
3	2	0	127,5	Tangential
2	0	2	128,0	Tangential
1	1	2	129,0	Oblique
4	1	1	131,9	Oblique
5	0	0	134,5	Axial
2	1	2	137,2	Oblique
3	2	1	140,1	Oblique
3	0	2	141,4	Tangential
5	1	0	143,3	Tangential
4	2	0	146,1	Tangential
5	0	1	146,5	Tangential
0	3	0	148,1	Axial
3	1	2	149,8	Oblique
1	3	0	150,6	Tangential
0	2	2	152,4	Tangential
5	1	1	154,6	Oblique
1	2	2	154,8	Oblique
4	2	1	157,2	Oblique
2	3	0	157,6	Tangential
4	0	2	158,3	Tangential
0	3	1	159,1	Tangential
1	3	1	161,4	Oblique
6	0	0	161,4	Axial

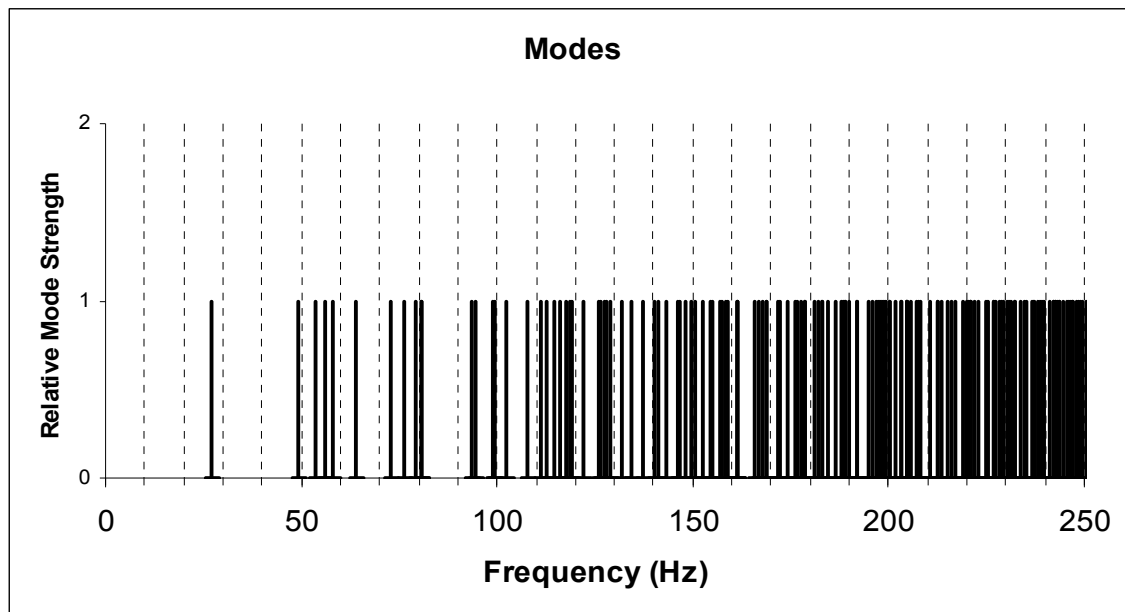
2	2	2	161,6	Oblique
4	1	2	165,8	Oblique
5	2	0	166,9	Tangential
2	3	1	168,0	Oblique
3	3	0	168,7	Tangential
6	1	0	168,8	Tangential
6	0	1	171,5	Tangential
3	2	2	172,5	Oblique
0	0	3	174,1	Axial
1	0	3	176,2	Tangential
5	2	1	176,7	Oblique
5	0	2	177,7	Tangential
3	3	1	178,4	Oblique
6	1	1	178,5	Oblique

Ε 4.2.4 Πίνακας με τους συντονισμούς μέχρι τη συχνότητα αποκοπής

Στον παραπάνω πίνακα σημειώνονται με κόκκινο οι αξονικοί τρόποι δόνησης καθώς είναι αυτοί με την μεγαλύτερη ενέργεια και θεωρούνται οι πιο σημαντικοί για το λόγο αυτό καθώς και γιατί ο άξονας πάνω στον οποίο παρουσιάζουν μέγιστα και ελάχιστα είναι στο επίπεδο των αυτιών του ακροατή, εφόσον τα ηχεία είναι τοποθετημένα στο επίπεδο αυτό. Παρακάτω φαίνεται οι άξονες των συντονισμών αυτών.



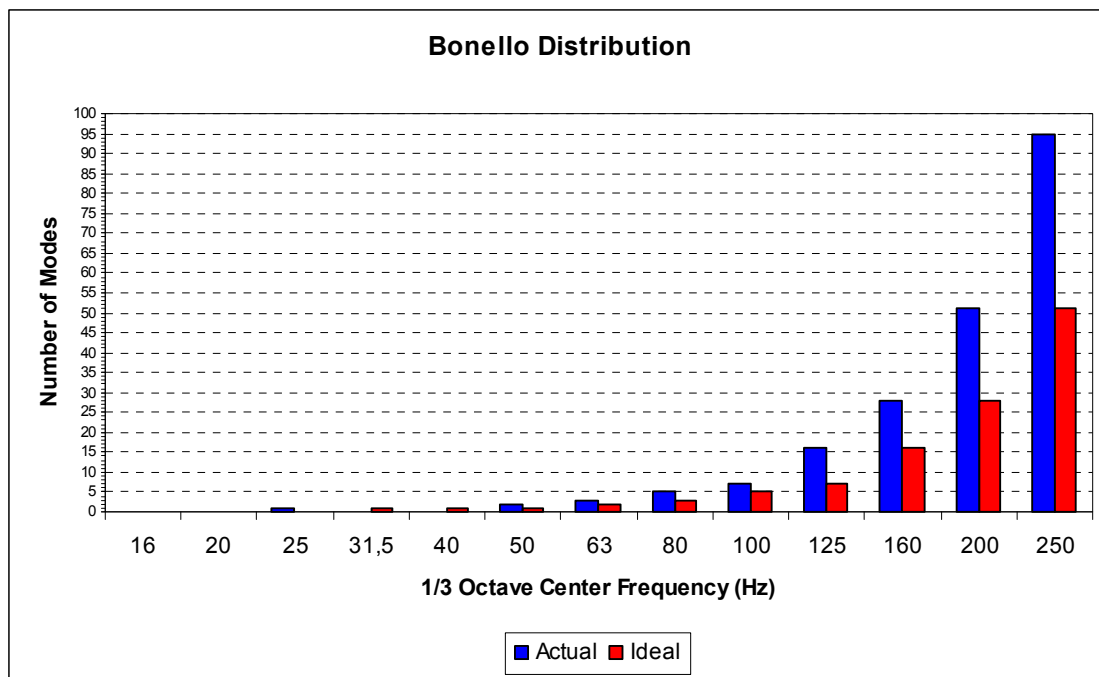
Ε 4.2.5 Αξονες των συντονισμών



Ε 4.2.6 Από τον παραπάνω πίνακα δημιουργούμε ένα γράφημα με την κατανομή της ενέργειας των συντονισμών στη ζώνη συχνοτήτων 20 – 250 Hz .

Το κριτήριο Bonello

Γενικά ο αριθμός αντηχήσεων μέσα σε ένα δεδομένο εύρος ζώνης συχνότητας αυξάνεται με τη συχνότητα. Στην πραγματικότητα μπορεί να αποδειχθεί ότι αυξάνουν ανάλογα προς το τετράγωνο της συχνότητας, και σε μεγάλους καλά συμπεριφερόμενους ακουστικά χώρους, αυτή η αύξηση στην πυκνότητα των τρόπων συντονισμού με τη συχνότητα είναι ομαλή. Αυτή είναι η λογική, πίσω από μια μέθοδο για την ακουστική συμπεριφορά σε ένα δωμάτιο, γνωστή σαν κριτήριο του Bonello. Αυτό το κριτήριο προσπαθεί να εξακριβώσει πόσο σημαντικοί είναι οι συντονισμοί στο δωμάτιο σε αντιληπτικούς όρους. Το κάνει αυτό με τη διαίρεση του ακουστικού φάσματος συχνότητας σε ζώνες τριτοκτάβας, σαν προσέγγιση των κρίσιμων ζωνών, και μετρώντας έπειτα τον αριθμό τρόπων ανά ζώνη. Αν η αύξηση του αριθμού τρόπων ανά τριτοκτάβα γίνεται μονοτονικά υπάρχει μια πιθανότητα ότι θα αντιληφθούμε το δωμάτιο σαν να έχει ομαλή απόκριση συχνότητας παρά τις αντηχήσεις. Εάν ο αριθμός αντηχήσεων ανά τριτοκτάβα μειώνεται καθώς αυξάνεται η συχνότητα θα υπάρξει αξιοπρόσεχτη αιχμή στο διάγραμμα απόκρισης συχνότητας. Οι συμπίπτοντες τρόποι είναι επίσης ένας άλλος τρόπος να δημιουργηθεί μια έντονη αιχμή στην απόκριση συχνότητας και το κριτήριο του Bonello ορίζει περαιτέρω ότι δεν πρέπει να υπάρξει καμία τροπική σύμπτωση μέσα σε μια τριτοκτάβα εκτός αν εκεί υπάρχουν πρόσθετα τουλάχιστον τρεις μη - συμπίπτουσες αντηχήσεις για να ισορροπήσει τις δύο που είναι συμπίπτουσες. Ακολουθεί το διάγραμμα Bonello που απεικονίζει τον δεδομένο και τον επιθυμητό αριθμό συντονισμών ανά τριτοκτάβα



Ε 4.2.7 Διάγραμμα **Bonello**

Εάν ο "ιδανική" στήλη (κόκκινη) σε οποιαδήποτε τριτοκτάβα υπερβαίνει την "Πραγματική" στήλη (μπλε) στην ίδια τριτοκτάβα, το δωμάτιο δεν είναι ιδανικό. Εάν αυτό συμβαίνει, η αλλαγή των διαστάσεων του δωματίου είναι συνήθως το καλύτερο σχέδιο δράσης.

F	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Actual	0	0	1	0	0	2	3	5	7	16	28	51	95
Ideal		0	0	1	1	1	2	3	5	7	16	28	51

Ε 4.2.8

Οι εξειδικευμένες ακουστικές παρεμβάσεις μπορούν να γίνουν αποτελεσματικές για συχνότητες πάνω από 200 Hz (στην περίπτωση που μελετάμε 177 Hz), αλλά το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχτεί πιο καλά αισθητικά με συνηθισμένη επίπλωση, διακόσμηση τοίχων, χαλιά και άλλα αντικείμενα που συνήθως μας περιβάλλουν σ' ένα δωμάτιο. Πόση διαμόρφωση χρειάζεται και πόσος πρέπει να είναι ο χρόνος αντήχησης εξαρτάται από τη διασπορά και την κατευθυντικότητα των ηχείων. Συνήθως ένας χώρος

θεωρείται ακουστικά νεκρός όταν ο χρόνος αντήχησης, RT60, πέφτει κάτω από τα 500 ms.

Η πιο προβληματική ακουστικά περιοχή είναι στη συχνοτική ζώνη κάτω από τη συχνότητα αποκοπής.

Επίπεδη Συχνοτική Απόκριση :

Σε μια ηλεκτροακουστική εγκατάσταση το συχνοτικό περιεχόμενο του σήματος επηρεάζεται από κάθε βαθμίδα της. Η συνολική συχνοτική απόκριση του συστήματος προκύπτει από τον συνδυασμό όλων των παραγόντων που επηρεάζονται από την συχνότητα, όπως η απορρόφηση του χώρου, η κατανομή των ηχείων, το ποσοστό απευθείας και ανακλώμενου ήχου ή ήχου που ακτινοβολείται από άλλα μεγάφωνα σε κάθε θέση του ακροατηρίου, τα χαρακτηριστικά κατευθυντικότητας των μεγαφώνων και η συχνοτική απόκριση κάθε συσκευής του συστήματος. Όσο πιο επίπεδη είναι η συνολική απόκριση της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης, τόσο πιο επιτυχημένη θεωρείται, αφού μπορεί να αποδίδει πιστά το αρχικό σήμα.

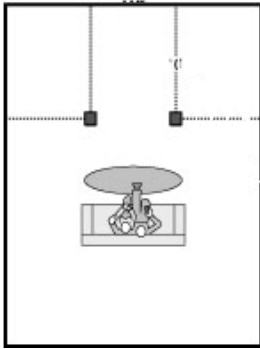
Εμπειρικός «κανόνας των περιττών» .

Ο εμπειρικός «κανόνας των περιττών» που χρησιμοποιήσαμε για να τοποθετήσουμε τα ηχεία στην τρίτη πειραματική μέτρηση που κάναμε στην αίθουσα του mastering και προτείνεται ως κανόνας τοποθέτησης από διάφορες εταιρείες που ασχολούνται με τον επαγγελματικό ήχο – μία από αυτές είναι και η crystal audio – περιγράφεται ως εξής:

Διαιρούμε κατά πλάτος το δωμάτιο με έναν περιττό αριθμό – 5 στην περίπτωση μας – και κατά μήκος με έναν άλλο - 7 - και τοποθετούμε τα ηχεία σε αποστάσεις από τους τοίχους ίσες με το αποτέλεσμα των δύο διαιρέσεων.

Πρακτικά όπως φαίνεται και από τα φάσματα της απόκρισης στη θέση ακρόασης το αποτέλεσμα είναι μια θεαματικά πιο επίπεδη καμπύλη συγκριτικά με τις προηγούμενες δύο θέσεις που τοποθετήσαμε τα ηχεία , άρα ο κανόνας επαληθεύεται .

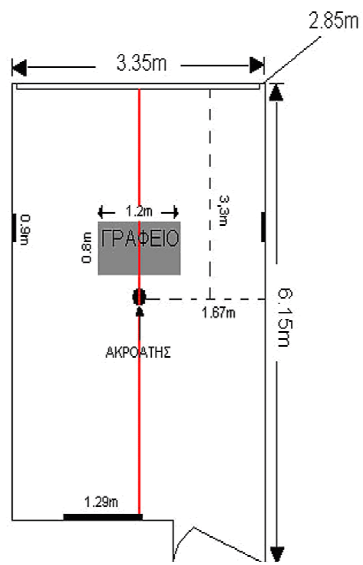
Μια πιθανή θεωρητική απόδειξη του φαινομένου θα προσπαθήσουμε να προσεγγίσουμε παρακάτω.



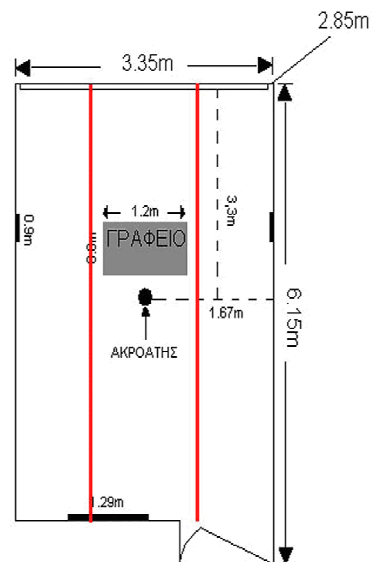
Συνήθως τα έπιπλα σε ένα τυπικό καθιστικό τοποθετούνται κατά συμμετρικό τρόπο για λόγους αισθητικούς και εξοικονόμησης χώρου, γεγονός που τοποθετεί τον ακροατή στο κέντρο ή σχεδόν στο κέντρο του δωματίου. Στο σημείο αυτό πρέπει να εστιάσουμε την ακουστική συμπεριφορά του χώρου. Τα αξονικά στάσιμα στις χαμηλές συχνότητες που

E 4.2.8

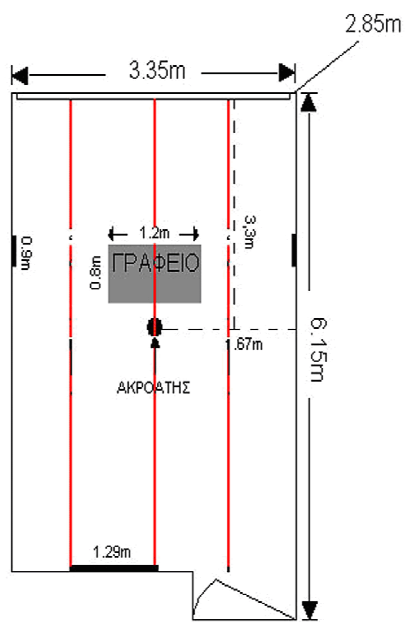
έχουν και τη μεγαλύτερη ενέργεια και αποτελούν το μείζον ακουστικό πρόβλημα σε ένα μικρό χώρο δεν μπορούν να απαλειφθούν, άρα αυτό που πρέπει να γίνει είναι να αποφεύγεται στο σημείο ακρόασης η ύπαρξη δεσμών πίεσης. Όπως βλέπουμε από τα παρακάτω σχέδια για περιττό μοίρασμα στο κέντρο του δωματίου είναι πάντα κοιλία πίεσης όπως πρέπει ενώ δεν συμβαίνει για άρτιο μοίρασμα (δεσμός στο κέντρο).



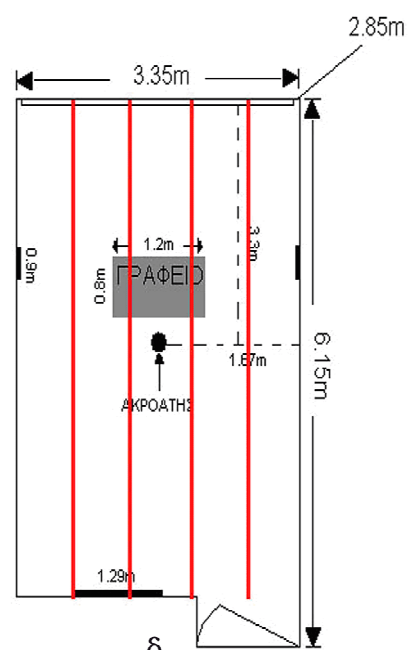
α



β



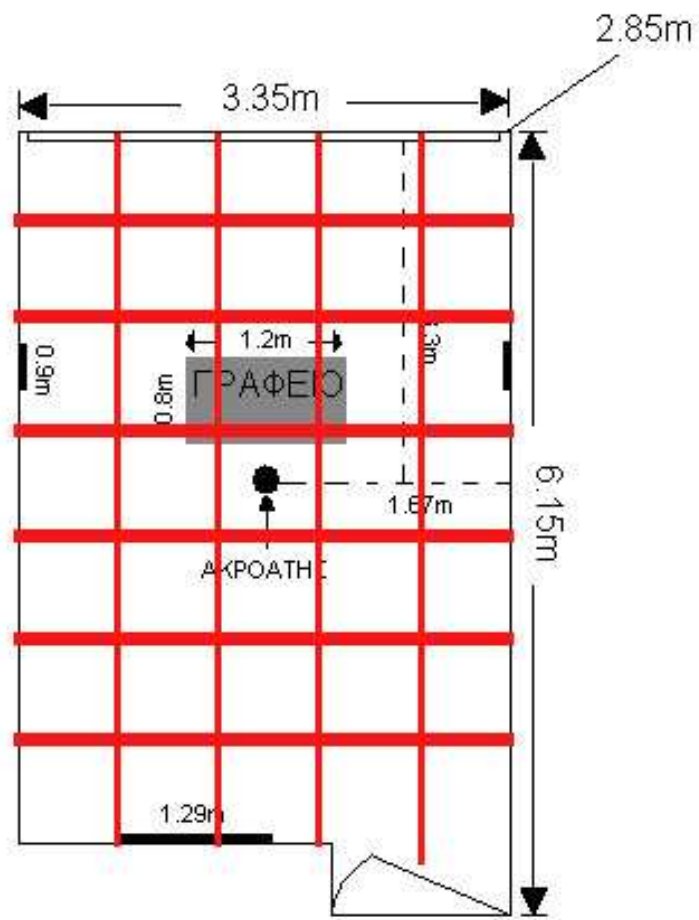
γ



δ

Ε 4.2.9 Γραφική απεικόνιση των δεσμών πίεσης σε κάτοψη του δωματίου (σημειώνονται με κόκκινο)

1. Στα α, γ (άρτιο μοίρασμα) υπάρχει δεσμός πίεσης στο σημείο ακρόασης
2. Στα β, δ (περιττό μοίρασμα) υπάρχει κοιλία πίεσης, με καλή ακουστική στο σημείο ακρόασης.



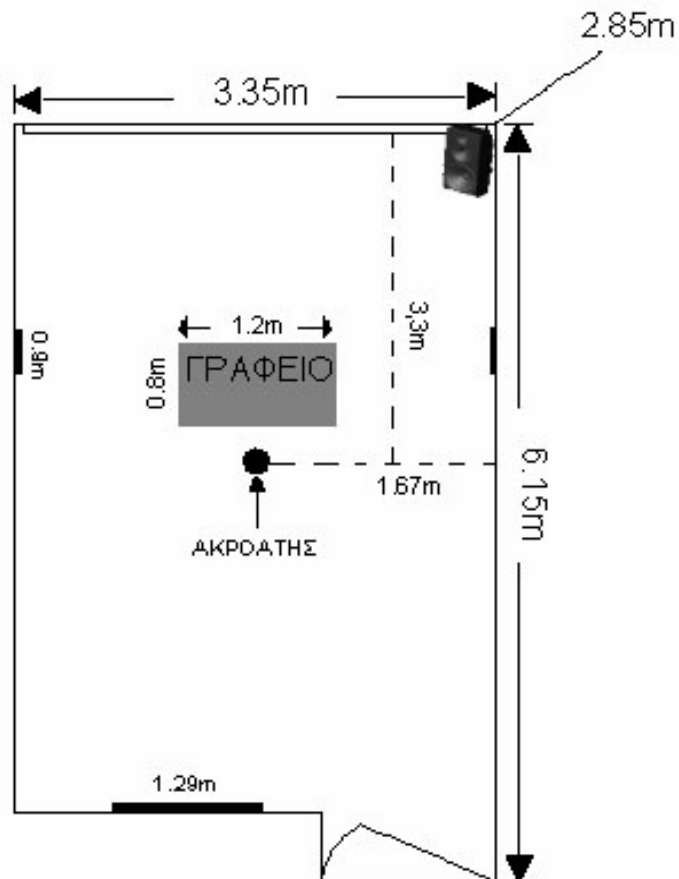
Ε 4.2.10. Απεικόνιση του μοιράσματος που κάναμε στο δωμάτιο .(Με κόκκινο σημειώνονται οι δεσμοί πίεσης)

4.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

1^η μέτρηση

Το ηχείο τοποθετημένο στη γωνία και με κλίση 30 μοίρες ως προς τον άξονα του ακροατή όπως φαίνεται από το ακόλουθο σχήμα. Το παντο-κατευθυντικό μικρόφωνο κρατείται στο ύψος και στο κέντρο της κεφαλής,, στο ίδιο ύψος βρίσκεται το tweeter του ηχείου.

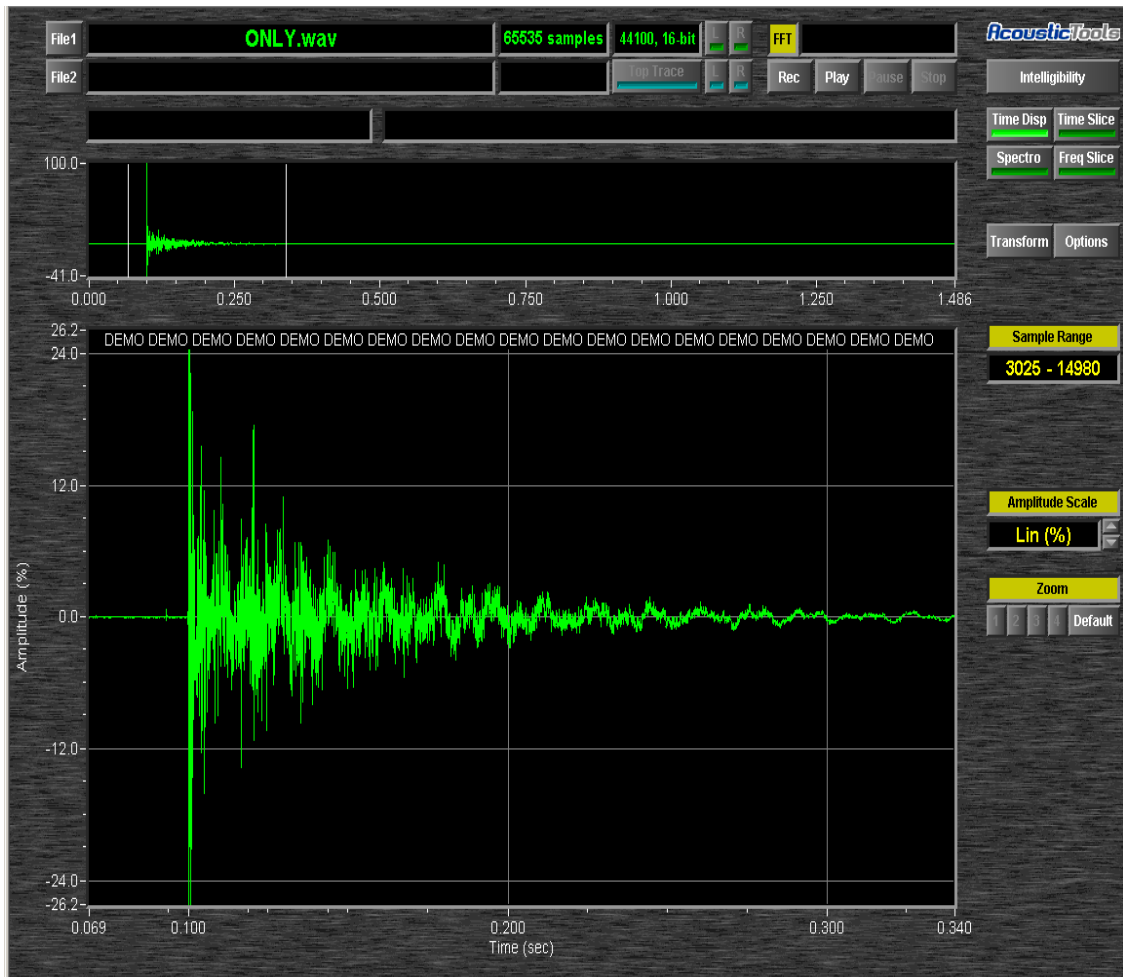
Το σύστημα ηχείο – δωμάτιο διεγείρεται με MLS σήμα τη φύση του οποίου περιγράψαμε παραπάνω. Τα αποτελέσματα που αναλύθηκαν από τον υπολογιστή είναι τα ακόλουθα:



Ε 4.3.1^η Θέση ηχείου – μικροφώνου στον χώρο μελέτης

Ε 4.3.2 Σήμα διέγερσης mls – χρονική αναπαράσταση (Time Display)

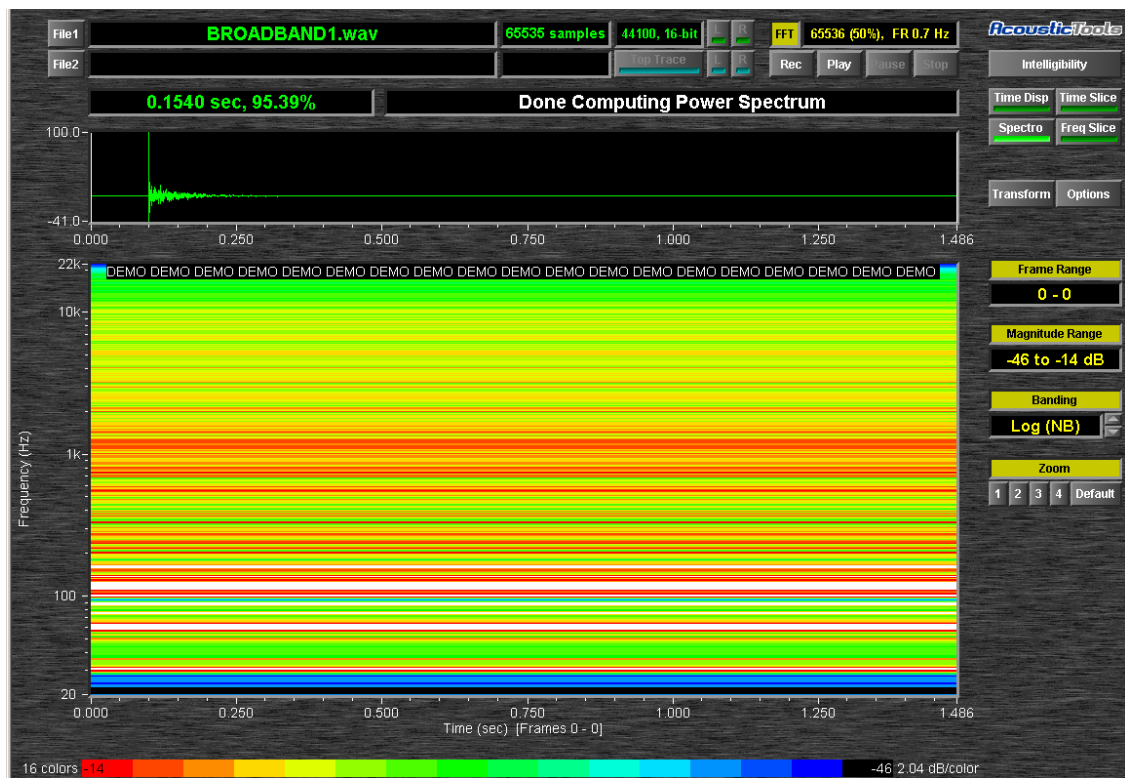
είναι η λεπτομερής προβολή του αρχείου wave στο χρόνο σε σχέση με την έντασή του.



Ε 4.3.3 Φασματογράφημα (Spectrograph)

Είναι μια "τοπογραφική" αναπαράσταση 3-διαστάσεων, με το χρόνο στον άξονα των x, τη συχνότητα στον άξονα των y, και την ένταση να αντιπροσωπεύεται από το χρώμα. Υψηλότερη αξία μεγέθους θεωρούνται τα 0 dB.

Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι κορυφές έντασης σε συγκεκριμένες συχνότητες που όπως φαίνεται είναι αρκετές και ενδεικτικές της ανομοιομορφίας που παρουσιάζει στην απόκρισή του το σύστημα.



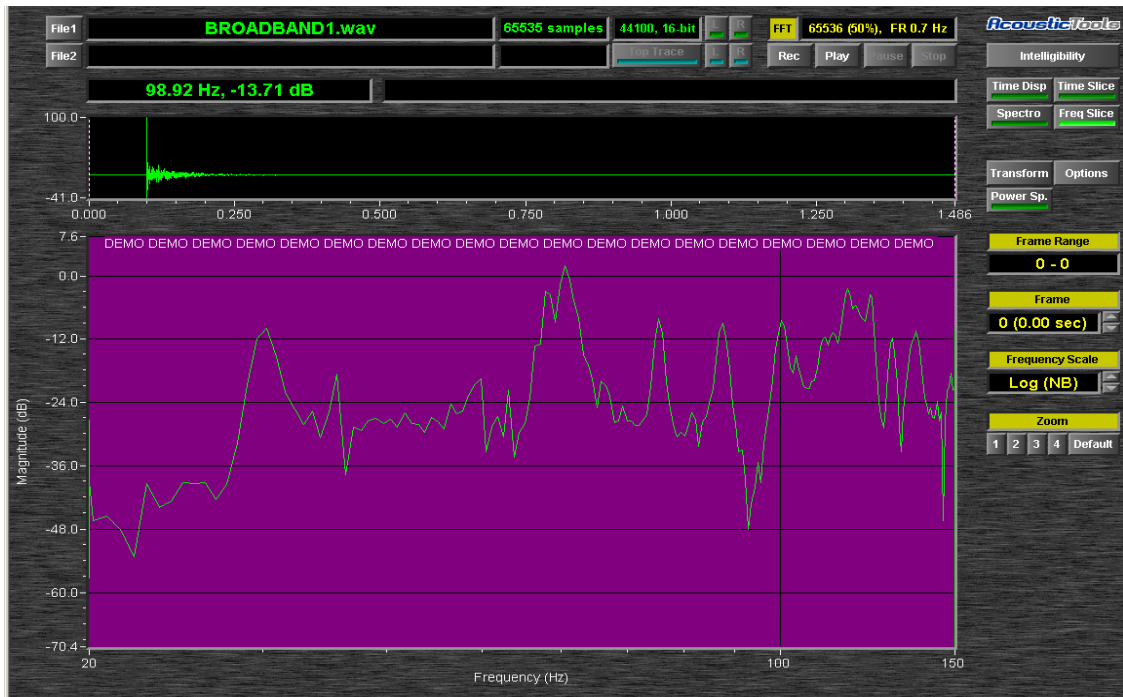
Ε 4.3.4 Απόκριση συχνότητας στο ακουστικό φάσμα (Frequency Slice)



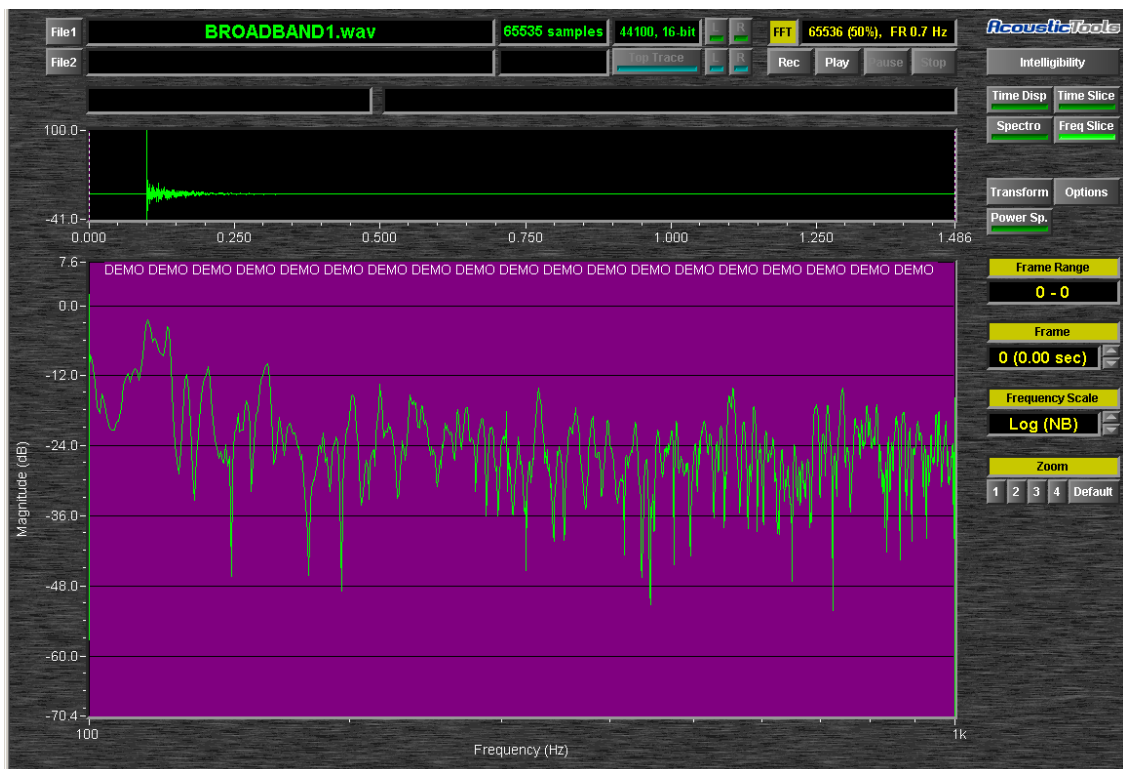
Παρουσιάζει την ένταση(y) σε σχέση με τη συχνότητα (x) για ένα δεδομένο εύρος της. Ο γρήγορος μετασχηματισμός Φουριέ (FFT) είναι μια ειδική περίπτωση του μετασχηματισμού Φουριέ, μια μαθηματική τεχνική που χρησιμοποιείται για να μετασχηματίσει τα στοιχεία χρόνιων-περιοχών στα στοιχεία πεδίου συχνότητας) Τα δεδομένα παρουσιάζονται με λογαριθμική ανάλυση. Η υψηλότερη ένταση θεωρούνται τα 0 dB. Οι υπόλοιπες τιμές έντασης δίνονται ως σχετικές με αυτή τη στάθμη.

Φαίνονται καθαρά οι συντονισμοί στις χαμηλές συχνότητες, και γενικά μια ευρεία ενίσχυση σε όλο το εύρος των μπάσων.

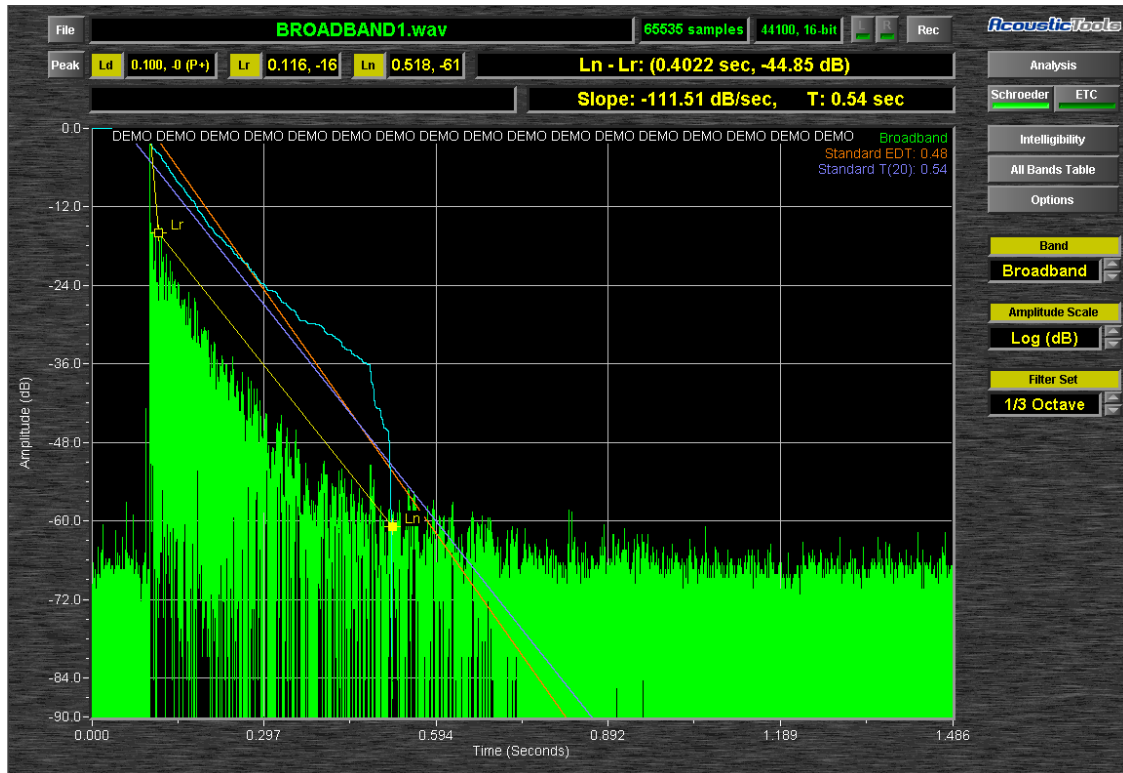
Ε 4.3.5 Μεγέθυνση στη ζώνη 0 – 150 Hz



Ε 4.3.6 Μεγέθυνση στη ζώνη 100 – 1k Hz

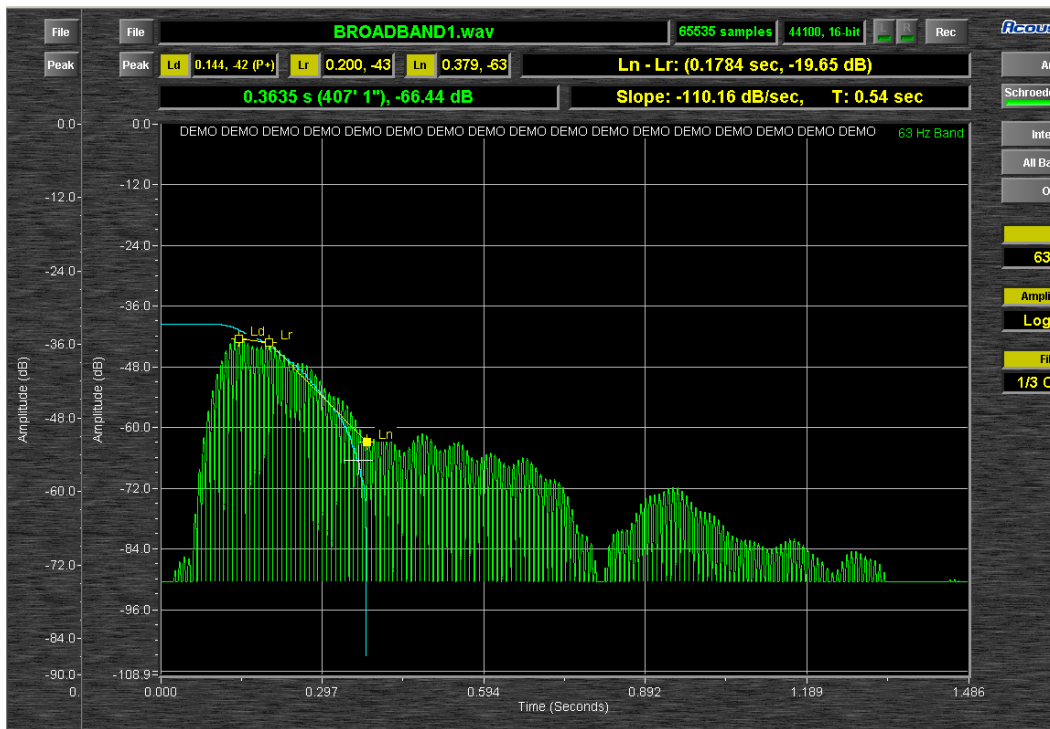


Ε 4.3.7 RT60 για όλο το φάσμα ακουστικών συχνοτήτων



Σε μεγέθη δωματίων για τα οποία μιλάμε, οι χρόνοι αντήχησης είναι σπάνια πάρα πολύ μεγάλοι για να έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα ήχου. Εντούτοις, η τονική ομαλότητα της αντήχησης μπορεί να έχει επιπτώσεις στην ηχητική απόδοση. Το ιδανικό είναι να υπάρχει μια απολύτως ομαλή απόσβεση του ήχου, στην οποία κανένα ιδιαίτερο ηχητικό γεγονός ή ιδιαιτερότητα δεν ξεχωρίζει. Επίσης, τα δωμάτια με πολύ μικρή αντήχηση, λόγω της υπερβολικής απορρόφησης, μπορούν να έχουν δικά τους προβλήματα. Στο παρακάτω γράφημα, ο άξονας των x απεικονίζει το χρόνο και των y την ένταση, η FFT έγινε στη συχνότητα με ανάλυση 1/3 –οκτάβας . Μπορούμε να παρατηρήσουμε έντονες «οπές» και κορυφές στην ένταση καθώς «σβήνει» το σήμα. Το πρόβλημα εντοπίζεται πάλι στις χαμηλές συχνότητες , κάτι το οποίο φαίνεται καλύτερα αν εξετάσουμε συγκεκριμένα τους ρυθμούς πτώσης σε συγκεκριμένες κεντρικές συχνότητες τριτοκτάβων.

Ε 4.3.8 RT60 για τη συχνοτική ζώνη με κέντρο τα 63 Hz

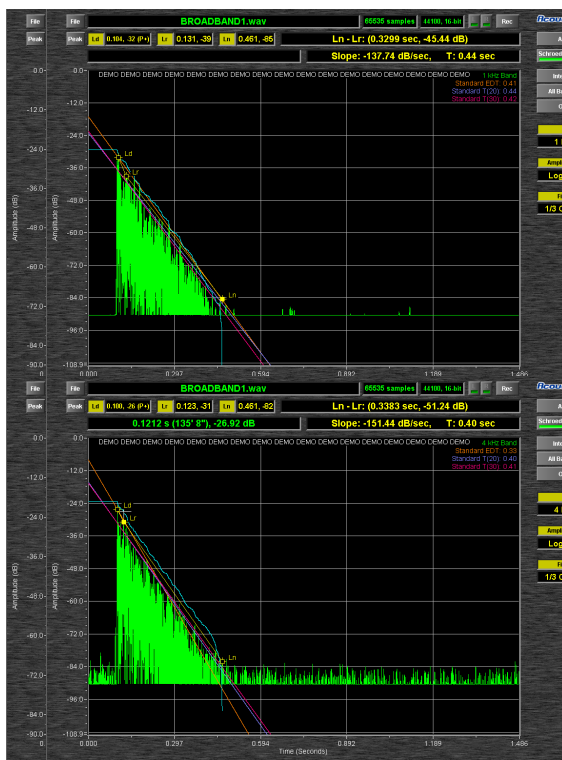


Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω σε αυτή τη συχνότητα φαίνεται έντονα η οπή στην απόσβεση, γεγονός που θα μειώσει σημαντικά την ευκρίνεια του σήματος.

Ε 4.3.9 RT60 για τη συχνοτική ζώνη με κέντρο τα 250 Hz



Ο ρυθμός πτώσης τείνει να γίνεται πιο ομαλός καθώς αυξάνεται η συχνότητα που εξετάζουμε.



Ε 4.3.10 RT60 για τη συχνοτική ζώνη με κέντρο τα 1k Hz

Ε 4.3.11 RT60 για τη συχνοτική ζώνη με κέντρο τα 4k Hz

E 4.3.12

Early Decay Time – Ένα μέτρο της αντήχησης, ο EDT είναι ο χρόνος που παίρνει στην αντηχητική ενέργεια σε ένα δωμάτιο για να μειωθεί κατά 10 dB από την εμφάνιση των πρώτων ανακλάσεων. Το μέγεθος αυτό εξαρτάται από τη σχέση μεταξύ των LD και LR δεικτών (στάθμη απευθείας και ανακλώμενου σήματος αντίστοιχα).

FREQUENCY	RT60(SEC)	EDT(SEC)
Broadband	0.54	0.06
Κεντρική συχνότητα 1/3οκτάβας		
63 Hz	0.54	5.01
80 Hz	1.03	0.31
100 Hz	0.59	0.39
125 Hz	0.45	0.67
160 Hz	1.08	0.37
200 Hz	0.61	0.43
250 Hz	0.51	0.62

Με κόκκινο σημειώνονται κάποιοι χρόνοι που φανερώνουν συντονισμό σ' εκείνες ή σε κοντινές συχνότητες

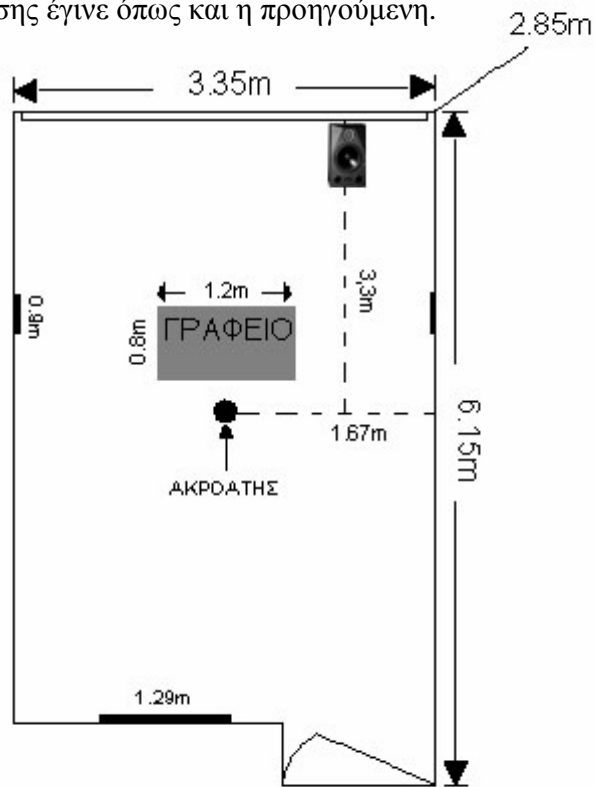
Πρώρες ανακλάσεις που φθάνουν στον ακροατή σε χρόνο 3,0ms και κάτω.

Αυτή η επίδραση θα προκαλέσει χρωματισμό των μεσαίων συχνοτήτων ή αλλαγή χροιάς. Επιπλέον, οι καθυστερημένες πρώτες πλευρικές ανακλάσεις μπορούν να προκαλέσουν σε κάποιο βαθμό μετατόπιση ή ασάφεια της εικόνας και την αλλαγή της αντιληπτής χωροτοποθέτησης. Αυτές οι αντανakλάσεις μπορούν να προκληθούν είτε από το μεγάφωνο είτε από την εγγύτητα αυτού ή των ακροατών σε έντονα ανακλαστικές επιφάνειες. Η μεγάλη διάρκεια στην απόσβεσή τους υποδηλώνει την ανάγκη αλλαγής στη θέση ακρόασης ή στη θέση του ηχείου.

2^η μέτρηση

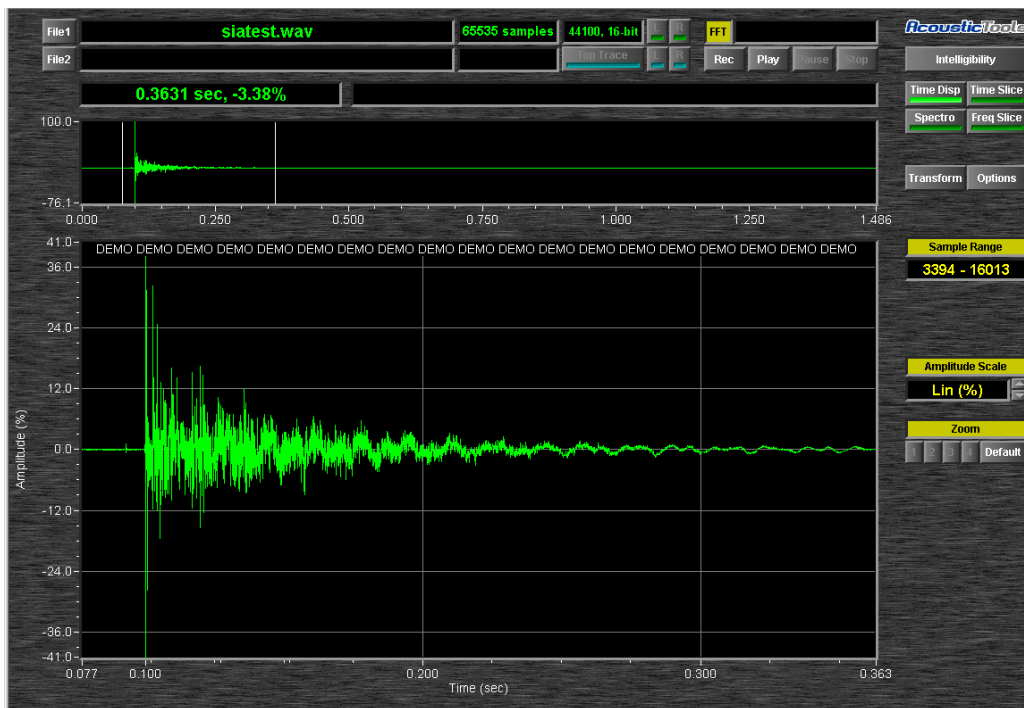
Εφαρμογή του κανόνα των περιττών κατά πλάτος,

Δηλαδή το ηχείο τοποθετήθηκε σε απόσταση ίση με τη διάσταση του απέναντι τοίχου διηρημένη με τον αριθμό 5, $3,35 / 5 = 0,67m$ από τον πλαϊνό τοίχο. Ο τρόπος διεξαγωγής της μέτρησης έγινε όπως και η προηγούμενη.

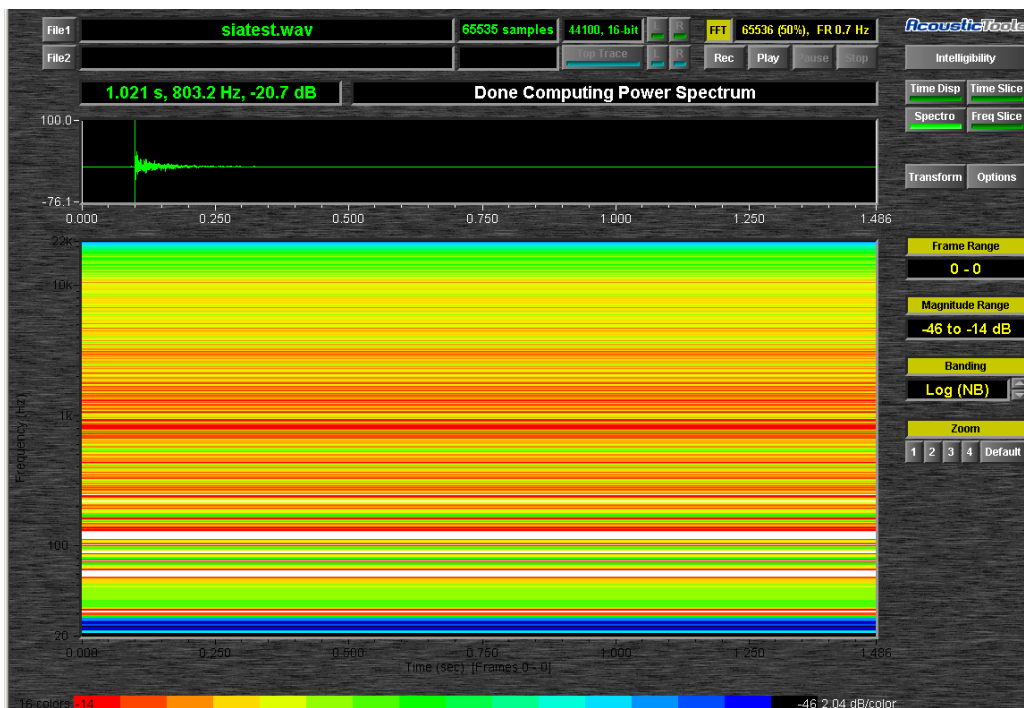


Ε 4.3.13 2^η Θέση ηχείου – μικροφώνου στον χώρο μελέτης

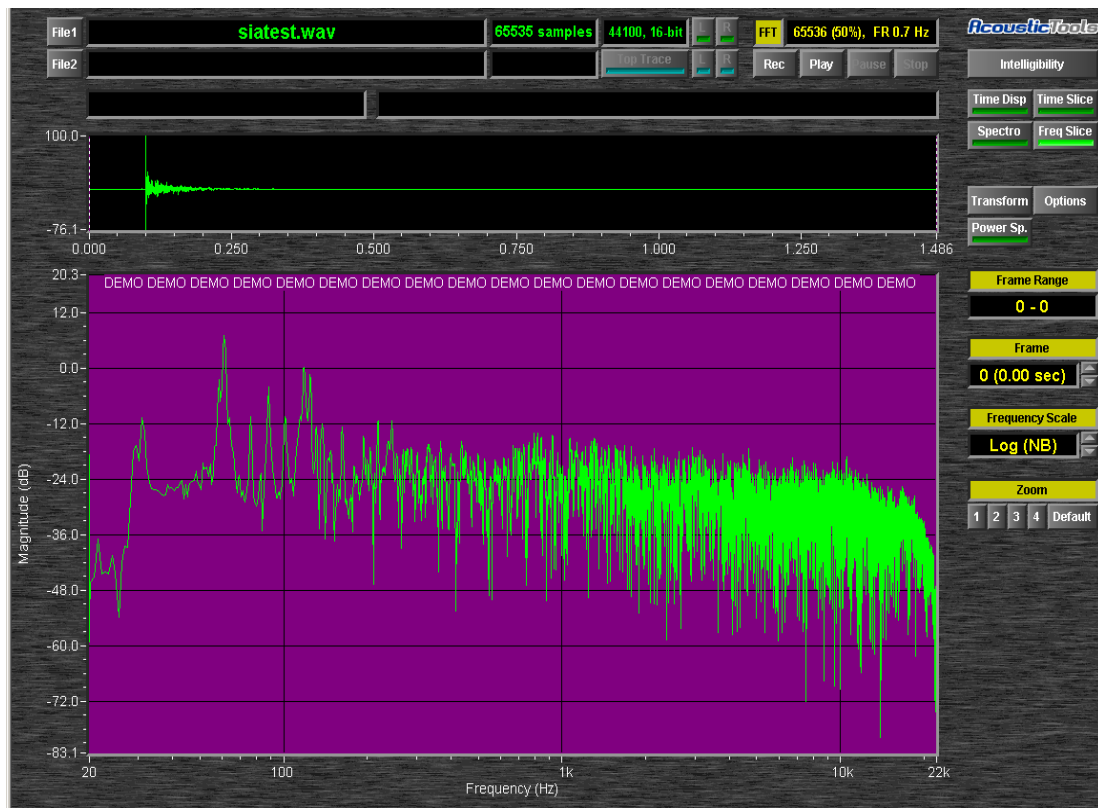
Ε 4.3.14 Σήμα διέγερσης mls – χρονική αναπαράσταση



Ε 4.3.15 Φασματογράφημα(Spectrograph) Και εδώ σημειώνονται οι κορυφές έντασης σε συγκεκριμένες συχνότητες ,ενδεικτικές της ανομοιομορφίας που παρουσιάζει στην απόκρισή του το σύστημα.



Ε 4.3.16 Απόκριση συχνότητας στο ακουστικό φάσμα .



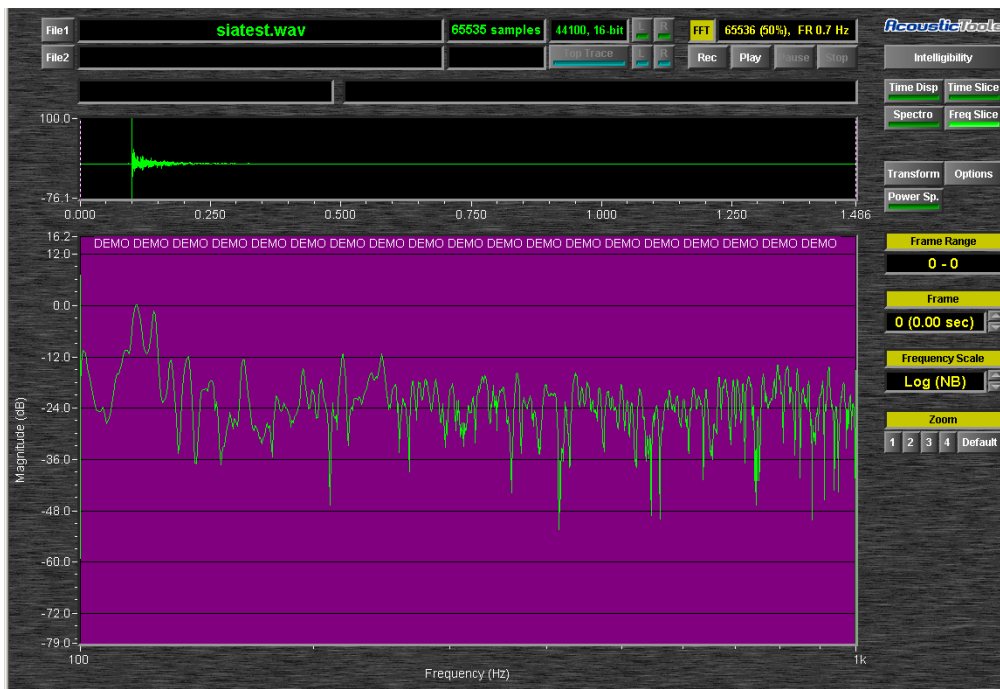
Φαίνονται καθαρά οι συντονισμοί στις χαμηλές συχνότητες, και γενικά μια ευρεία ενίσχυση σε όλο το εύρος των μπάσων. Μη επίπεδη απόκριση του συστήματος και εδώ , όπως θα ήταν επιθυμητό.

Ε 4.3.17 Μεγέθυνση στη ζώνη 0 – 150 Hz



Λιγότερο έντονο το φαινόμενο από αυτό που παρουσιάστηκε στην πρώτη μέτρηση αλλά
υπαρκτό

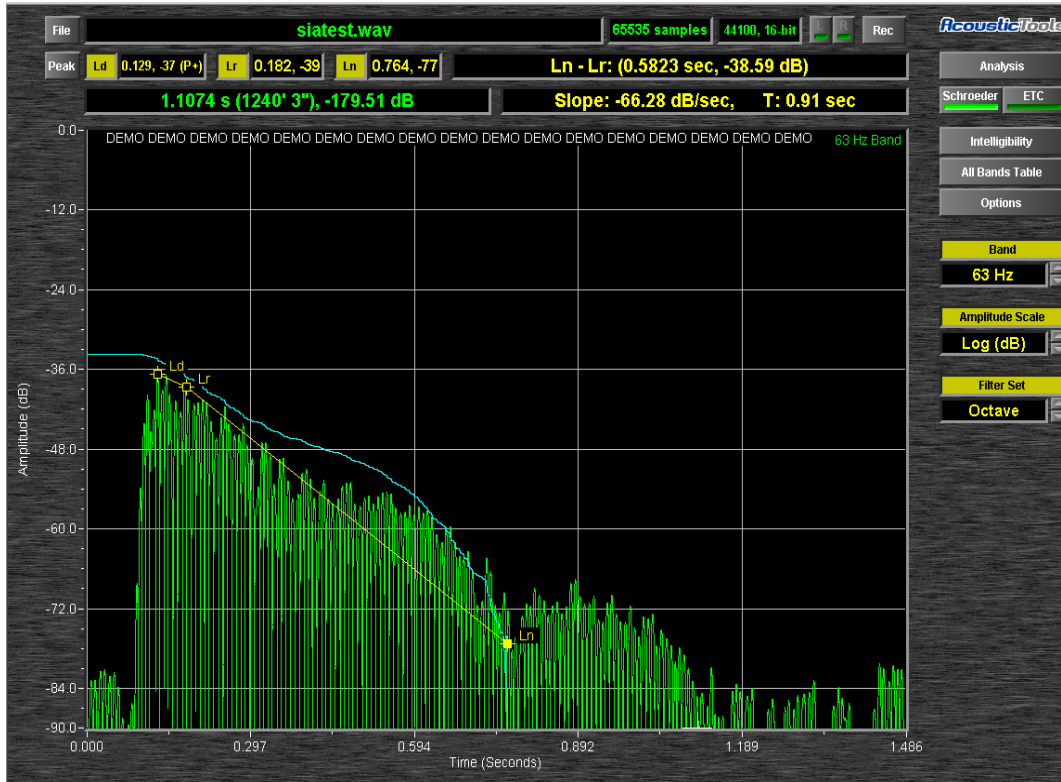
Ε 4.3.18 Συχοτική μεγέθυνση στη ζώνη 100 – 1k Hz



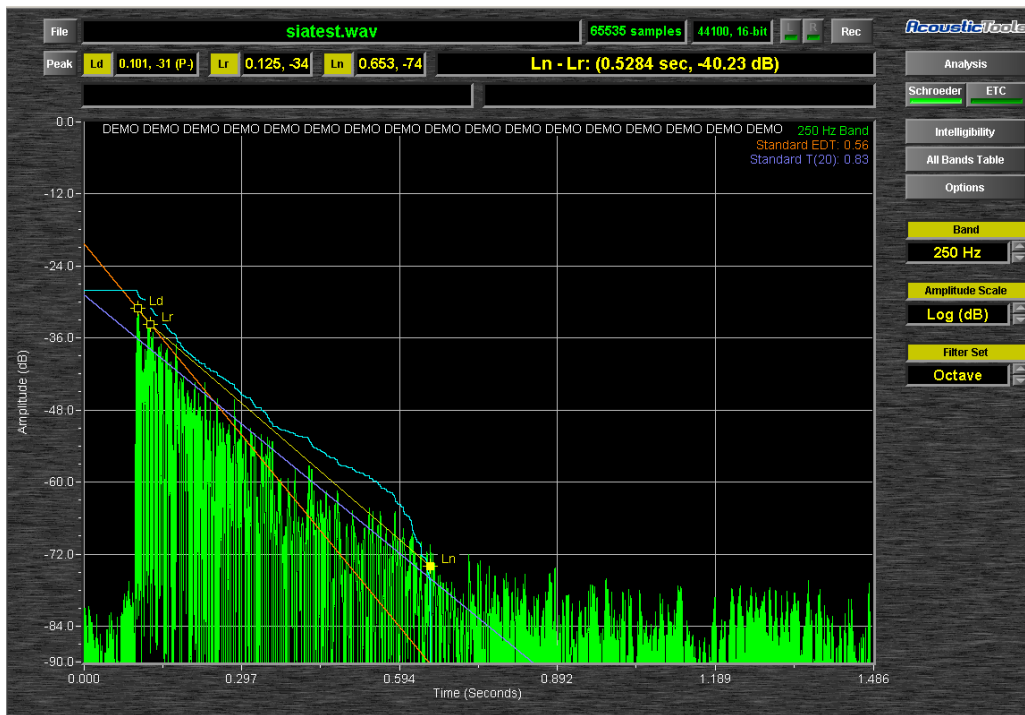
Ε 4.3.19 RT60 για όλο το φάσμα συχνοτήτων



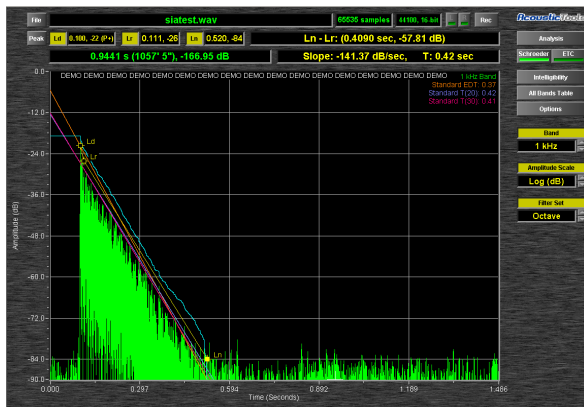
Ε 4.3.20 RT60 για τη συχνοτική ζώνη με κέντρο τα 63 Hz



Ε 4.3.21 RT60 για τη συχνотική ζώνη με κέντρο τα 250 Hz



Ε 4.3.22 RT60 για τη συχνотική ζώνη με κέντρο τα 1k Hz



Ε 4.3.23 RT60 για τη συχνотική ζώνη με κέντρο τα 4k Hz



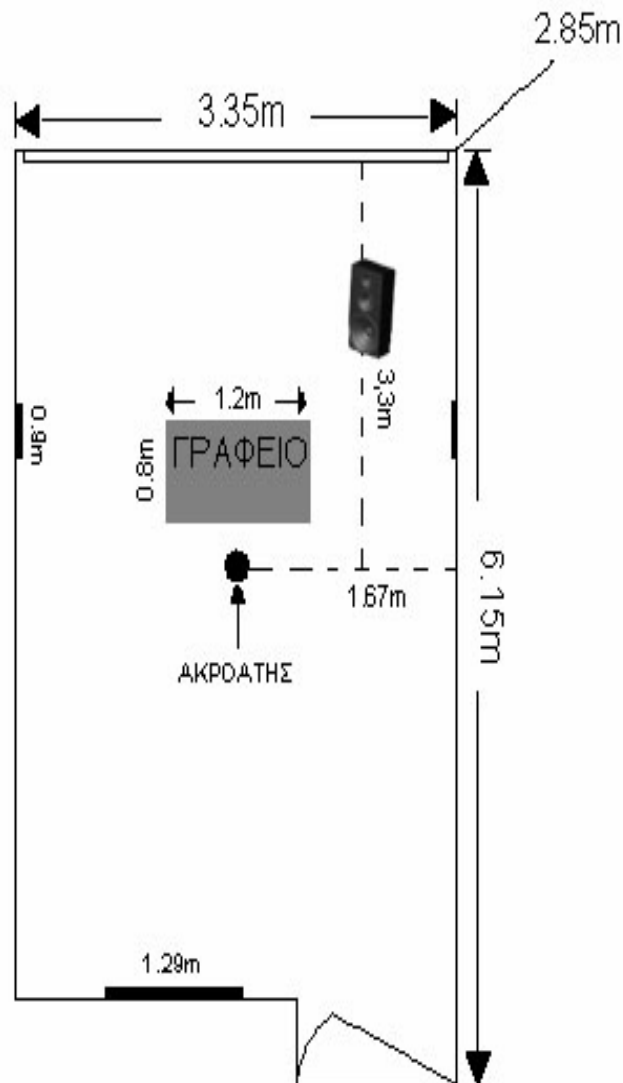
FREQUENCY	RT60(SEC)	EDT(SEC)
Broadband	0.63	0.02
Κεντρική συχνότητα 1/3οκτάβας		
63 Hz	1.03	2.21
80 Hz	1.36	-
100 Hz	1.04	0.09
125 Hz	0.67	-
160 Hz	0.81	0.26
200 Hz	0.66	-
250 Hz	0.74	0.05

E 4.3.24

3^η μέτρηση

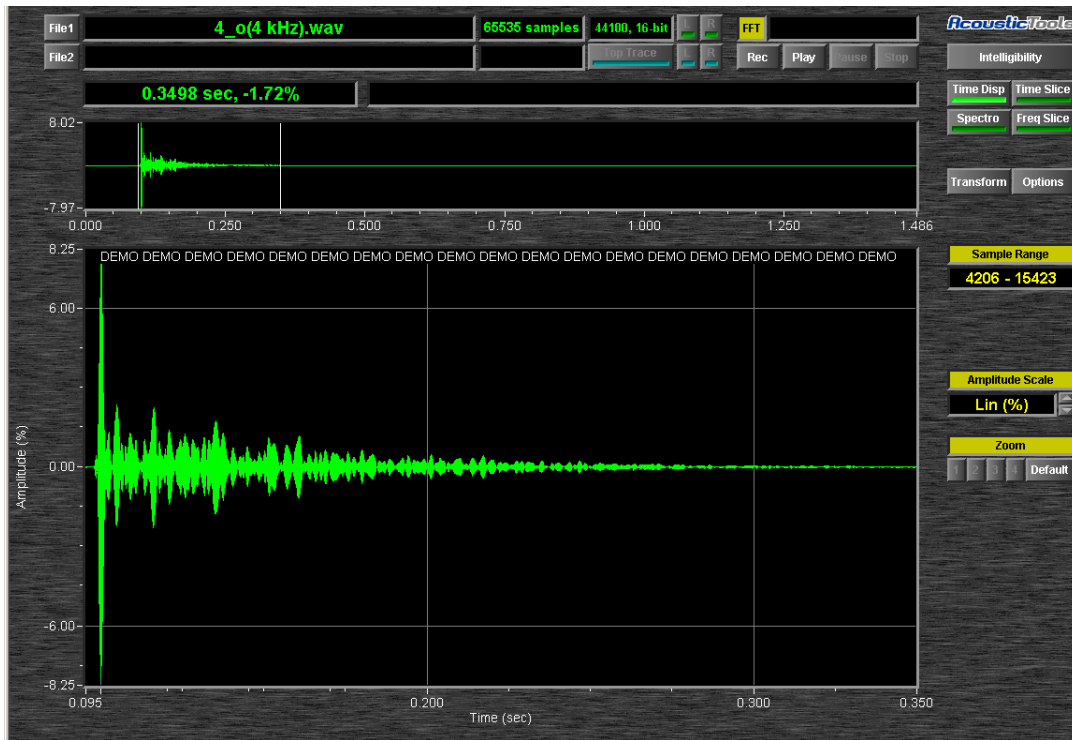
Εφαρμογή του κανόνα των περιπτών κατά πλάτος και κατά μήκος

Διαιρούμε κατά πλάτος το δωμάτιο με τον αριθμό 5 και κατά μήκος με τον 7 και τοποθετούμε τα ηχεία σε αποστάσεις από τους τοίχους ίσες με το αποτέλεσμα των δύο διαιρέσεων. $3,35 / 5 = 0,67\text{m}$ & $6,15 / 7 = 0,88\text{m}$

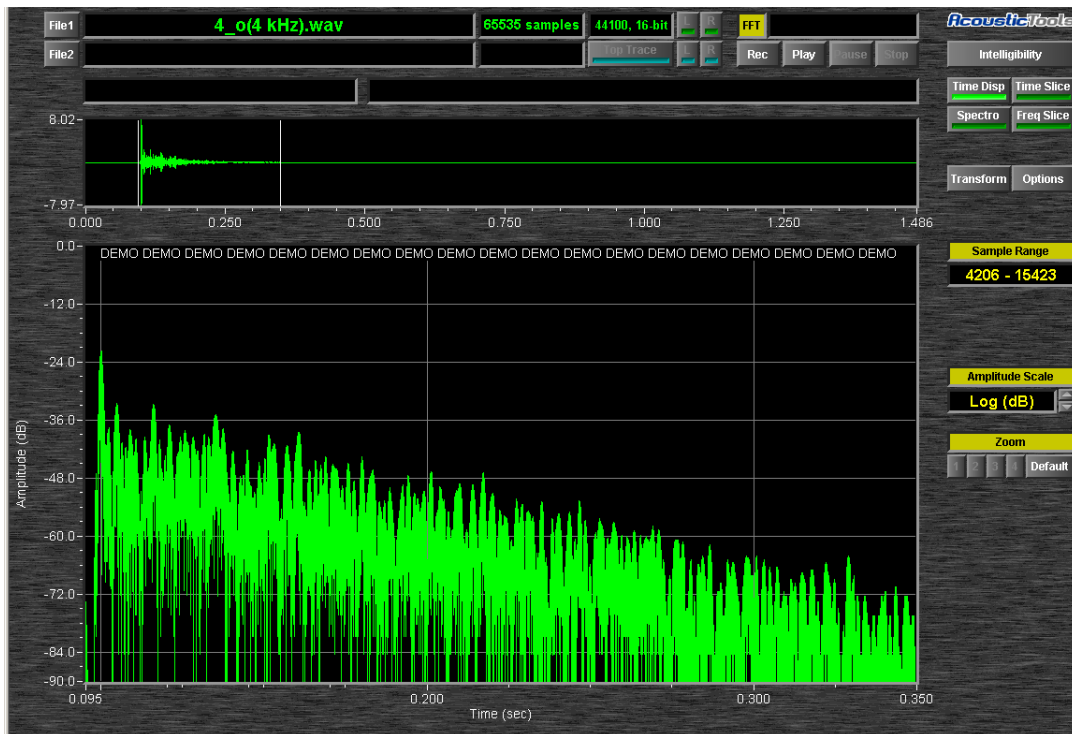


Ε 4.3.25 3^η Θέση ηχείου – μικροφώνου στον χώρο μελέτης

Ε 4.3.26α Σήμα διέγερσης mls – χρονική αναπαράσταση

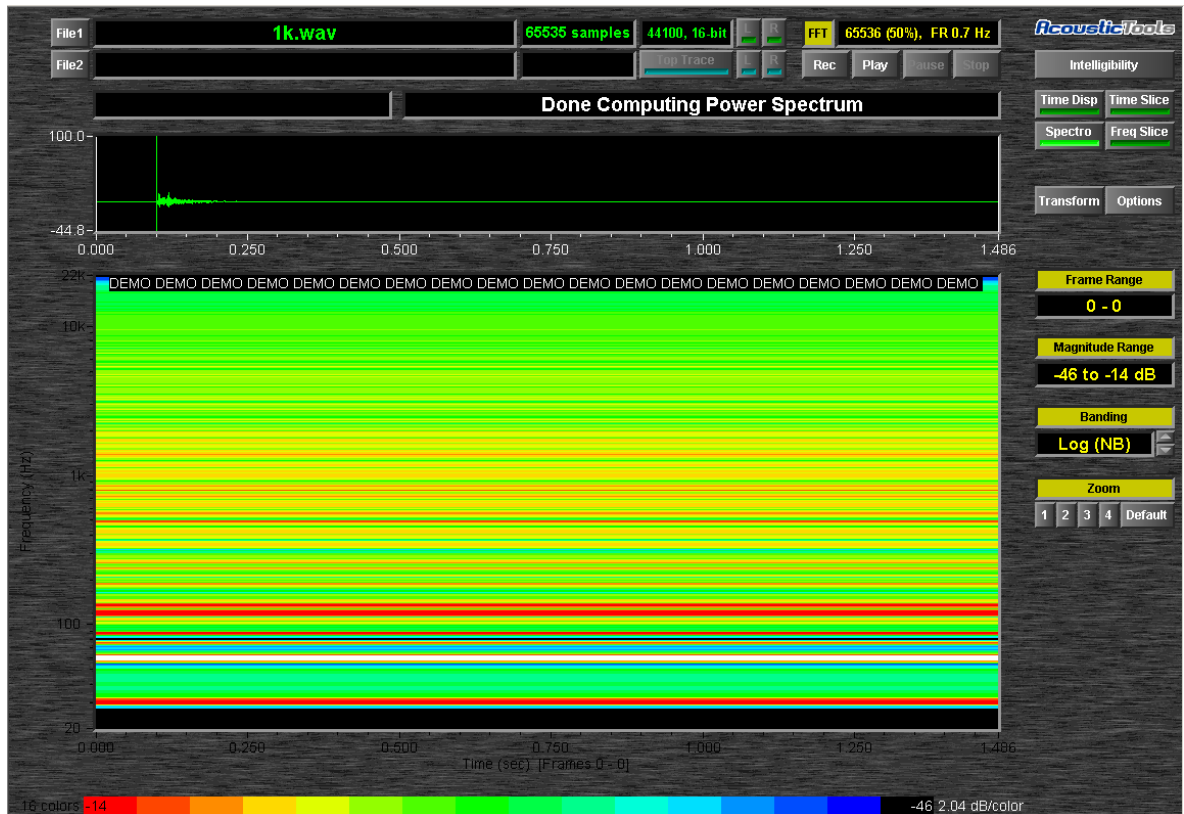


Ε 4.3.26β



Ε 4.3.27 Φασματογράφημα

Είναι προφανές ότι υπάρχει πολύ μεγαλύτερη ομοιογένεια από της προηγούμενες δύο μετρήσεις.

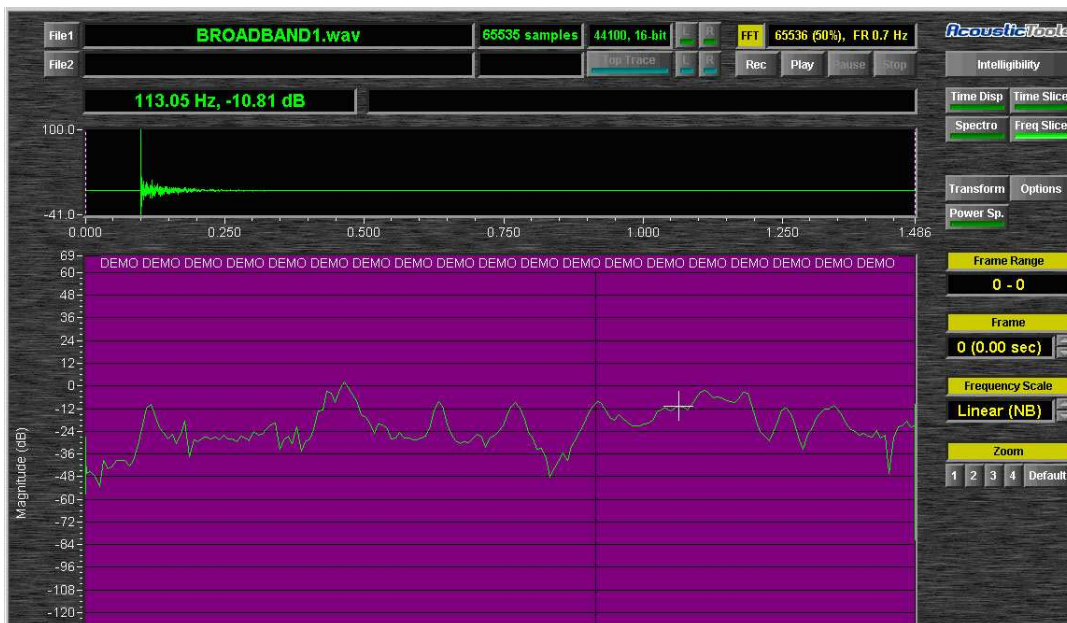


Ε 4.3.28 Απόκριση συχνότητας στο ακουστικό φάσμα

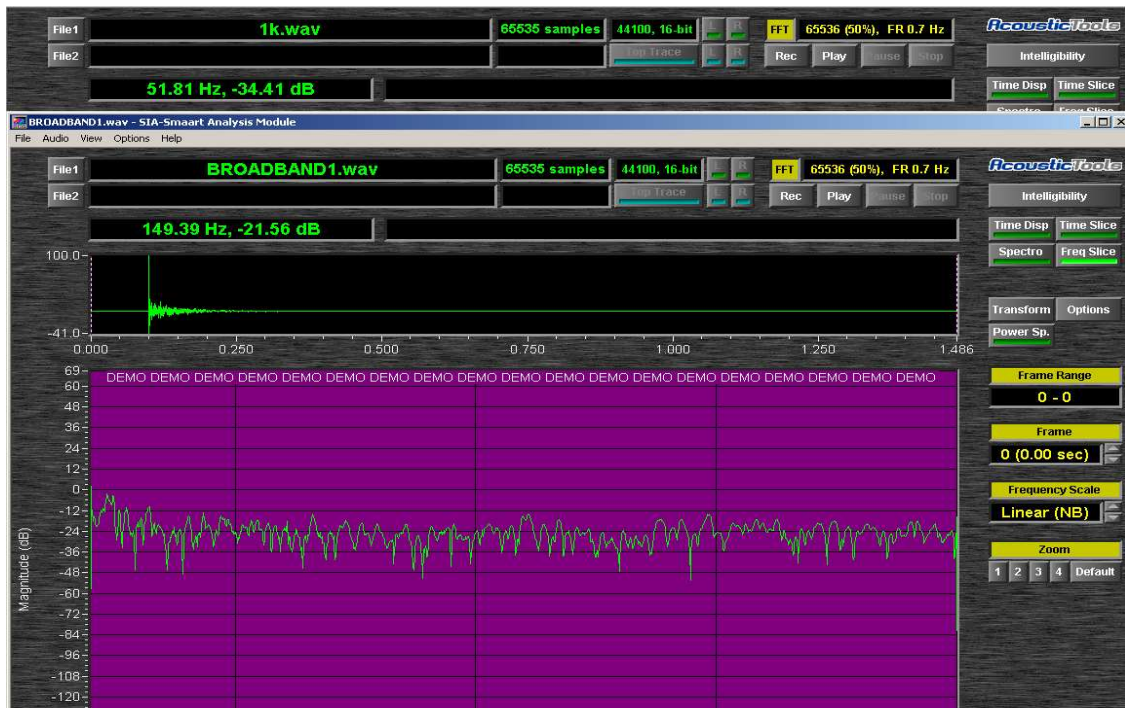
Παρότι παρουσιάζεται μια μικρή γενική ενίσχυση στα μπάσα, η απόκριση του συστήματος ηχείο – δωμάτιο είναι θεαματικά πιο επίπεδη.



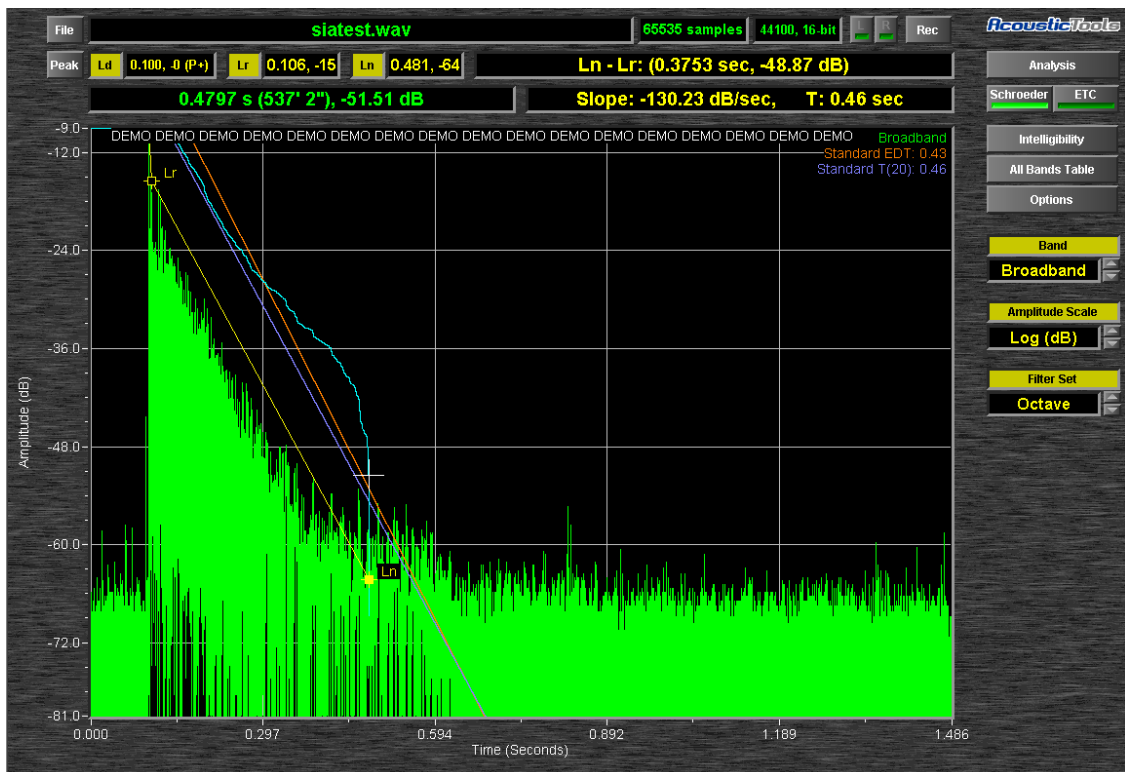
Ε 4.3.29 Μεγέθυνση στη ζώνη 0 – 150 Hz - Οι κορυφές των συντονισμών είναι λιγότερο έντονες



Ε 4.3.30 Μεγέθυνση στη ζώνη 100 – 1k Hz



Ε 4.3.31 RT60 για όλο το φάσμα συχνοτήτων

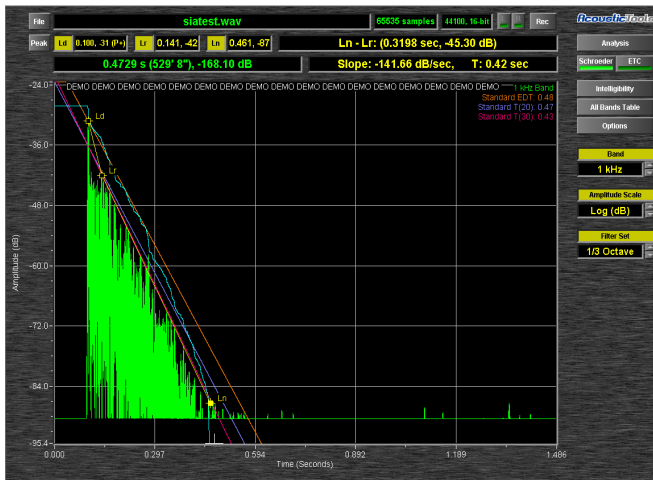


E 4.3.32 RT60 για τη συχνοτική ζώνη με κέντρο τα 63 Hz



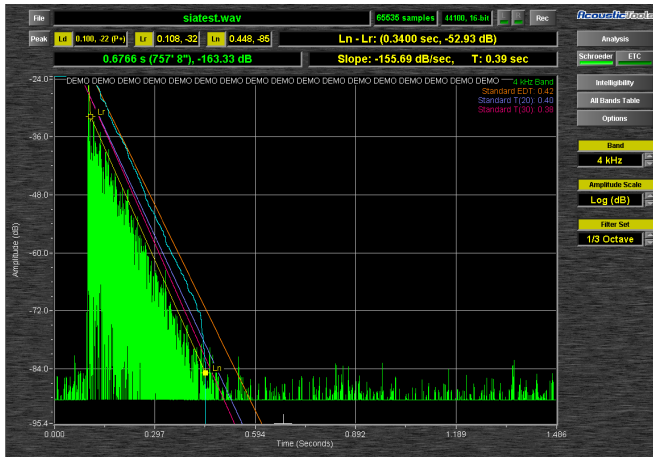
E 4.3.33 RT60 για τη συχνοτική ζώνη με κέντρο τα 250 Hz





E 4.3.34

RT60 για τη συχνοτική ζώνη με κέντρο τα 1k Hz



E 4.3.35

RT60 για τη συχνοτική ζώνη με κέντρο τα 4k Hz

FREQUENCY	RT60(SEC)	EDT(SEC)
Broadband	0.61	0.02
Κεντρική συχνότητα 1/3οκτάβας		
63 Hz	0.51	1.35
80 Hz	0.50	1.10
100 Hz	0.99	0.76
125 Hz	0.54	0.59
160 Hz	0.62	0.76
200 Hz	2.21	0.65
250 Hz	0.68	0.37

E 4.3.36

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

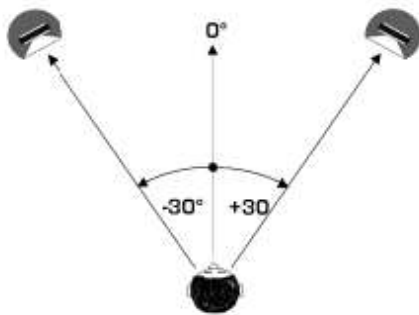
5.1 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΗΧΕΙΩΝ

Απόσταση από τους τοίχους

Όπως προαναφέραμε, όσο πιο επίπεδη είναι η συνολική απόκριση της ηλεκτροακουστικής εγκατάστασης, τόσο πιο επιτυχημένη θεωρείται, αφού μπορεί να αποδίδει πιστά το αρχικό σήμα. Έτσι και από το πείραμα αφού επαληθεύσαμε τον «κανόνα των περιττών αριθμών», τον προτείνουμε για τον υπολογισμό της απόστασης των ηχείων από τους τοίχους. Έτσι επαναλαμβάνοντάς τον:

“Διαιρούμε κατά πλάτος το δωμάτιο με έναν περιττό αριθμό και κατά μήκος με έναν άλλο και τοποθετούμε τα ηχεία σε αποστάσεις από τους τοίχους ίσες με το αποτέλεσμα των δύο διαιρέσεων.”

Επιλογή γωνίας που σχηματίζουν τα ηχεία ως προς τον άξονα του ακροατή και απόστασης από αυτόν.



Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός στερεοφωνικού συστήματος ηχητικής καταγραφής καθορίζονται ως λειτουργία της σχετικής θέσης των μεγάφωνων σε σχέση με τον ακροατή κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής. Γίνεται σχεδόν κοινώς αποδεκτό ως τυποποιημένος τρόπος ακρόασης, πως ο ακροατής πρέπει να τοποθετηθεί στην κορυφή **E**

E_{5.1}

της θέσης που προσδιορίζει το ισόπλευρο ιδεατό τρίγωνο με τα μεγάφωνα σε κάθε ακρότατο της βάσης του τριγώνου που «βλέπουν» προς τον ακροατή. Για την αίσθηση της στερεοφωνία στο δωμάτιο ακρόασης είναι ουσιαστικές οι αντανάκλασεις από την οροφή, το πάτωμα και τους τοίχους. Αν τα ηχεία είναι πολύ μακριά το ένα από το άλλο ,

η ηχητική εικόνα δεν είναι συμπαγής. Αν είναι πολύ κοντά η ηχητική εικόνα θα είναι «στενή». Καλό είναι να σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 45 – 60 μοίρες.

Ύψος τοποθέτησης

Δεν θα πάρουμε ποτέ τη σωστή ηχητική εικόνα εάν οι καμπίνες των ηχείων δεν είναι όχι μόνο στο ίδιο ύψος, αλλά εάν δεν είναι και στο *κατάλληλο* ύψος. Συνήθως οι κατασκευαστές προτείνουν ως ύψος τοποθέτησης το ύψος των αυτιών του ακροατή όταν αυτός βρίσκεται καθιστός. Αλλά αυτό περιλαμβάνει ένα ευρύ περιθώριο επιλογών (επειδή δεν είναι γνωστό το ύψος του καθίσματος ή της καρέκλας ακρόασης σας), έτσι πρέπει να βρείτε το καλύτερο ύψος οι ίδιοι, υπολογίζοντας να συμπίπτει το ύψος της κεφαλής με το ύψος του τουίτερ.

Απόσταση του ακροατή από τα ηχεία

Μερικά μεγάφωνα είναι προορισμένα για κοντινή ακρόαση και θα πρέπει να αξιολογούνται σ' αυτή την απόσταση, ενώ άλλα για ελεύθερο πεδίο και πρέπει ο ακροατής να είναι σε μια απόσταση 2 m ή περισσότερο. Τα ηχεία που χρησιμοποιούμε στο σπίτι ανήκουν στην πρώτη κατηγορία. Οι πιο απόμακρες θέσεις ακρόασης πρέπει να είναι τουλάχιστον 1 m από τον οπίσθιο τοίχο. Επίσης ο ακροατής θα πρέπει να διατηρεί ίσες αποστάσεις και από τα δύο ηχεία ώστε να μην υπάρχουν αλλοιώσεις στη χροιά και στην ηχητική εικόνα.

Αφού έχει διευθετηθεί το θέμα της απόστασης που θα πρέπει να έχουν τα ηχεία από τους παράπλευρους τοίχους θα πρέπει να βρεθεί η ακριβής απόσταση του ακροατή από αυτά, ένας χώρος που καλείται γλυκό σημείο (sweet spot). Είναι εγγυημένο ότι αυτή η απόσταση δε θα είναι ίδια με την απόσταση που έχουν τα ηχεία από τους τοίχους (συμπίπτει με δεσμούς πίεσης των αξονικών τρόπων). Υπάρχουν δύο σημεία που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για να προσδιοριστεί η απόσταση από τα ηχεία. Το πρώτο

είναι αν χρησιμοποιούμε ακουστική επεξεργασία στους παράπλευρους τοίχους με σκοπό να απορροφήσουμε την πρώτη ανάκλαση (η ακουστική παρέμβαση στους παράπλευρους τοίχους πρέπει να επηρεάζει την πρώτη αντανάκλαση, ακόμα κι όταν κινείται ελαφρά ο ακροατής). Το δεύτερο σχετίζεται με την γωνία που σχηματίζουν τα ηχεία σε σχέση με τον άξονά του ακροατή. Γενικά, όσο πιο κοντά είναι μεταξύ τους τα ηχεία τόσο μικρότερη είναι η γωνία που σχηματίζουν προς τον άξονα.

Συμπερασματικά στην κορυφή του νοητού τριγώνου (που συμπίπτει με τη θέση του ακροατή), πρέπει να «βλέπουν» και τα είδωλα των απορροφητών. Επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η σχέση μεταξύ της απόστασης του ακροατή από τα ηχεία και της στάθμης ακουστικής πίεσης. Η στάθμη αυτή σε μια δεδομένη απόσταση από το ηχείο μειώνεται κατά 6 db όταν η απόσταση αυτή διπλασιαστεί και αυξάνεται κατά το ίδιο όταν μειωθεί η απόσταση στο μισό (νόμος του αντιστρόφου τετραγώνου). Ο νόμος αυτός ισχύει για ελεύθερο ηχητικά πεδίο αλλά σε πολύ κοντινές αποστάσεις από την πηγή πρακτικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι γενικεύεται.

5.2 ΑΓΟΡΑ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΤΥΧΗΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ

Στο πρώτο στάδιο μιας ηλεκτροακουστικής μελέτης γίνονται μετρήσεις και υπολογισμοί για να καθοριστεί η «ακουστική ταυτότητα» του χώρου. Έπειτα, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του χώρου και τις απαιτήσεις χρήσεώς του επιλέγονται οι συσκευές και οι καταλληλότερες ρυθμίσεις αυτών έτσι ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη απόδοσή τους. Κάποια από τα κριτήρια που πρέπει να πληρούνται ώστε να θεωρείται επιτυχημένη η ηλεκτροακουστική εγκατάσταση:

Παραγωγή Επαρκούς και ομοιόμορφης Ηχητικής Στάθμης – Ο ήχος θα πρέπει να “καλύπτει” ομοιόμορφα και χωρίς διακυμάνσεις έντασης, όλο το χώρο (αποδεκτή απόκλιση μέχρι $\pm 3\text{dB}$), καθώς, λόγω των αντικειμένων που βρίσκονται

σ' αυτόν, απορροφάται και κατά την μετάδοση του στον αέρα η ηχητική στάθμη μειώνεται. Επίσης θα πρέπει η στάθμη της πηγής ήχου να είναι μεγαλύτερη από τη στάθμη του θορύβου περιβάλλοντος. Η ομοιομορφία εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως την κατανομή των μεγαφώνων στο χώρο, τα χαρακτηριστικά κατευθυντικότητάς τους και την διάχυση του ήχου.

Επαρκές Δυναμικό Εύρος : Κάθε σήμα χρειάζεται συγκεκριμένο εύρος σταθμών ηχητικής πίεσης για την πιστή αναμετάδοσή του. Το εύρος αυτό ονομάζεται δυναμικό εύρος και κυμαίνεται μεταξύ της στάθμης θορύβου και της μέγιστης στάθμης που μπορεί να επιτευχθεί από το σύστημα. Το *Πραγματικό δυναμικό εύρος* (original dynamic range) της πηγής ήχου είναι η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης ηχητικής στάθμης(κυμαίνεται μεταξύ 30 και 100dB).Το *Δυναμικό εύρος του προς μετάδοση σήματος* (programme range) είναι η διαφορά μεταξύ του ανώτερου ορίου (*headroom* – άθροισμα του λόγου σήματος προς θόρυβο και του περιθωρίου σταθερότητας) και του κατώτερου ορίου (*footroom* – όριο θορύβου) μέσα στο κανάλι μετάδοσης. Τέλος το *Δυναμικό εύρος αναπαραγωγής* (reproduction range) υπολογίζεται για τη θέση του ακροατή και εξαρτάται από τις συνθήκες αναπαραγωγής.

5.2.1 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΧΕΙΩΝ – ΚΑΛΩΔΙΩΝ -ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Το πιο σημαντικό στοιχείο για την αξιολόγηση ηχείων είναι η χρήση ενός μουσικού κομματιού που γνωρίζουμε καλά. Ενδεικτικά παρατίθενται κάποιοι δίσκοι αναφοράς.

ΔΙΣΚΟΙ ΑΝΑΦΟΡΑΣ:

Οπτικοί δίσκοι - CD

1. Wayne Shorter – Alegria – Verve
2. Wagner: Scenes from Lohegrin and Siegfried – Naxoss

3. Harry James -The king Jame version- Sheffield
4. Prokofiev: Sinfonia Concertante – Sonata for cello and piano/Hana Chang- Emi Classics
5. Chris Robinson - New Earth Mud- Wagram music- Red line Entertainment
6. Turin brakes – Esther song – Source
7. Rolling stones – Bridges to Babylon - Virgin

Κάθε πωλητής, σε ένα σοβαρό κατάστημα, θα σας επιτρέψει να παίξετε τους δικούς σας δίσκους για την επιλογή των ηχείων. Ο πωλητής θα σας συστήσει κάποια καλά ηχεία που θα κρίνει από την περιγραφή του χώρου σας, τα μουσικά σας γούστα και από το χρηματικό ποσό που σκοπεύετε να διαθέσετε. Ακούστε τα προσεκτικά. Όταν σιγουρευτείτε ότι σας ικανοποιούν, αφιερώστε περισσότερο χρόνο για την ακρόασή τους.

Είναι αρκετά ενδιαφέρον για την αξιολόγηση ηχείων κάποιο γνωστό μας φωνητικό έργο ή κάποια εγγραφή με ανθρώπινες φωνές. Οι περισσότεροι από εμάς έχουμε την ικανότητα να ξεχωρίζουμε μια φυσική φωνή, ακόμη και αν δεν την έχουμε ακούσει ποτέ ζωντανά. Αν παίζουμε κάποιο μουσικό όργανο, ίσως αυτό αποτελέσει μέτρο αξιολόγησης ενός ηχείου. Σχεδόν όλοι μας έχουμε ακούσει ζωντανά πιάνο. Το πιάνο είναι ένα από τα πιο αποκαλυπτικά όργανα. Μπλουζ, τζαζ, φολκ ή άλλη παρόμοια μουσική με λίγα και απλά όργανα καθώς και η γυναικεία φωνή είναι επίσης αποκαλυπτικά προγράμματα. Καλογραμμένοι δίσκοι με φωνητικά, ιδιαίτερα γυναικεία, είναι ένα καλό τεστ απόκρισης για ένα σύστημα.

Παίζοντας απλά και μαλακά μουσικά κομμάτια, θα αφήσουν το θόρυβο του συστήματος να ακουστεί. Ενώ αντίθετα πολύπλοκα προγράμματα με πολλά όργανα να παίζουν ταυτόχρονα, δεν θα πρέπει να μπερδεύουν το ηχείο μας.

Ένα κολοσσιαίο λάθος που κάνουμε όταν θέλουμε να αγοράσουμε ένα ηχείο είναι η εντύπωση που έχουμε ότι **«Όσο πιο μεγάλη είναι η ισχύς ενός ηχείου τόσο πιο δυνατά παίζει»**. Το ηχείο είναι ένας μετατροπέας ισχύος, δηλαδή μετατρέπει την ηλεκτρική ισχύ που του δίνει ο ενισχυτής σε ακουστική ισχύ (κίνηση των μεγάφωνων). Αυτή την ακουστική ισχύ ακούμε. Έτσι λοιπόν ένα ηχείο θα ακούγεται δυνατότερα από ένα άλλο αν παράγει μεγαλύτερη ακουστική ισχύ και μόνο. Μεγαλύτερη ακουστική

ισχύς όμως με κανένα τρόπο δε σημαίνει και μεγαλύτερη ηλεκτρική ισχύ. Γιατί αν υποθέσουμε ότι δίνουμε την ίδια ηλεκτρική ισχύ σε δύο διαφορετικά ηχεία από τα οποία το ένα μετατρέπει το 1% σε ακουστική και το άλλο το 2%, τότε το δεύτερο ακούγεται πολύ δυνατώτερα από το πρώτο παρόλο που δέχονται την ίδια ισχύ. Ακόμα χειρότερα, μπορεί να έχουμε ένα ηχείο 10watt που να ακούγεται πολύ δυνατώτερα από ηχείο 200watt. Αν για παράδειγμα δώσουμε 10watt ισχύος σε ένα ηχείο κόρνας θα κάνει τα τζάμια να τρίζουν ενώ με τα ίδια watt ένα μαγνητοστατικό ηχείο 200watt μόλις θα ψιθυρίζει! Ακόμη δε και αν δώσουμε στο τελευταίο ηχείο 200watt, είναι αμφίβολο αν θα φτάσουμε τη στάθμη ήχου του πρώτου.

Ποτέ λοιπόν δεν πρέπει να αγοράζουμε ένα ηχείο μεγαλύτερης ισχύος για να ακούμε πιο δυνατά. Η ισχύς θέτει απλά το όριο στον ενισχυτή. Ένα ηχείο, είναι απαραίτητο πάντα να οδηγείται από έναν ενισχυτή ίσης ή μικρότερης ισχύος και ποτέ μεγαλύτερης, γιατί θα καταστραφεί. Ο μηχανισμός καταστροφής των μεγαφώνων των ηχείων είναι θερμικός. Δηλαδή αν φθάσει στο πηνίο φωνής ενός μεγάφωνου υπερβολικό ηλεκτρικό ρεύμα, ανεβαίνει η θερμοκρασία του υπερβολικά μέχρι που λιώνει το λεπτό σύρμα του σε κάποιο σημείο και κόβεται, με αποτέλεσμα να μην παίζει πια το μεγάφωνο.

Αν υποθέσουμε τώρα ότι σε ένα μεγάφωνο η θερμοκρασία καταστροφής του πηνίου φωνής είναι 200° C. Μελετώντας τώρα τη λειτουργία του θα δούμε ότι μπορούμε να φθάσουμε τη θερμοκρασία αυτή επιβάλλοντας διάφορες τιμές ισχύος για διάφορα χρονικά διαστήματα.

Για παράδειγμα μπορούμε να φθάσουμε τους 200° C δίνοντας 30W για πάνω από 10 δευτερόλεπτα, ή 50W για 10 δευτερόλεπτα, ή 80W για 7 δευτερόλεπτα, ή 100W για 3 δευτερόλεπτα, ή 150W για 1 δευτερόλεπτο!

Η ένδειξη συνεχής ισχύς (ή RMS) σημαίνει ότι η τιμή ισχύος που δίνεται είναι για άπειρο χρόνο. Στη μουσική όμως ποτέ η στάθμη δεν είναι σταθερή. Υπάρχει μια μέση τιμή ισχύος που παίζεται και υπάρχουν και οι στιγμιαίες κορυφές (peaks).

Οι κορυφές αυτές είναι, ανάλογα με το είδος της μουσικής, από 30% μέχρι και 100% μεγαλύτερες από τη μέση ισχύ του προγράμματος, διαρκούν δε από μερικά εκατοστά του δευτερόλεπτου μέχρι 1-2 δευτερόλεπτα.

Έτσι το «τριαντάρι» ηχείο μας μπορεί να αντέξει κορυφές συμφωνικού προγράμματος μέχρι και 150W, ενώ σε μουσική ροκ με έντονη μέση στάθμη σήματος αντέχει άνετα 100W (χωρίς παραμόρφωση και χωρίς ρυθμιστικά πρίμων και μπάσων τα οποία αυξάνουν τη συνολική ισχύ που φθάνει στα ηχεία). Αν τώρα έχουμε έναν ενισχυτή 100W για τα ηχεία αυτά, θα έχουμε ένα θαυμάσιο ακουστικό αποτέλεσμα με τα ηχεία αυτά με καθαρές και αβίαστες κορυφές, αντίθετα με ότι θα συνέβαινε με έναν ενισχυτή 30W που δε θα μπορούσε να δώσει τις κορυφές και θα απέκοπτε (κλιπάριζε), εκτός από τον κίνδυνο καταστροφής των τουίτερ

*Άλλο ένα πράγμα που πρέπει να προσέξουμε αγοράζοντας ηχεία είναι η **αντίσταση του ενισχυτή μας**.* Οι διεθνείς προδιαγραφές αναφέρουν ότι αν ένας κατασκευαστής δίνει μια ονομαστική τιμή αντίστασης για ένα ηχείο, η αντίσταση δε θα πρέπει να πέφτει περισσότερο από 20% κάτω απ' αυτή την τιμή, σε όλες τις συχνότητες από 20 ως 20.000Hz. Για παράδειγμα ένα ηχείο 8Ω δε θα πρέπει να παρουσιάζει αντίσταση χαμηλότερη αντίστασης από 6.4Ω σε όλες τις συχνότητες 20 ως 20.000Hz. Συνδέοντας ένα ηχείο σε έναν ενισχυτή θα πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι ταιριάζουν από πλευρά αντίστασης. Συνήθως όλοι οι ενισχυτές δέχονται ηχεία από 4 ως 16Ω ενώ τα περισσότερα ηχεία στην αγορά είναι 8Ω. Προσοχή χρειάζεται στη σύνδεση δύο ζευγών ηχείων όπου η αντίσταση πέφτει κατά πολύ, συγκεκριμένα συνδέοντας δύο ζεύγη ηχείων 8Ω, η ολική αντίσταση πέφτει στα 4Ω ενώ συνδέοντας δύο ζεύγη ηχείων 4Ω η ολική αντίσταση είναι 2Ω, πράγμα που πιθανότατα δημιουργεί προβλήματα.

Επιλογή καμπίνας

Ποιο είναι το καλύτερο υλικό για την καμπίνα των ηχείων;

Η ιδανική καμπίνα ενός ηχείου θα πρέπει να είναι άκαμπτη, ώστε να μην κινείται με τις εσωτερικές μεταβολές της πίεσης του αέρα. Θα πρέπει επίσης να έχει εξαιρετική απόσβεση ώστε να μην αποθηκεύει ενέργεια, και η συχνότητα συντονισμού να είναι αρκετά υψηλή, για την αποφυγή χρωματισμών. Ένα υλικό για να θεωρηθεί χρήσιμο θα πρέπει να είναι εύκολο στην κοπή, κόλληση και στο φινίρισμα, καθώς και να είναι

φθηνό. Με όλες αυτές τις ιδιότητες, προδιαγράφεται ότι κανένα υλικό δεν είναι τέλειο για τέτοια χρήση.

Υπάρχουν πολλά είδη υλικών που έχουν πολύ καλά χαρακτηριστικά για την κατασκευή καμπίνων ηχείων. Αλλά καθένα έχει υπέρ και κατά.

Ξύλο μέσης πυκνότητας (Medium Density Fiberboard ή MDF): Είναι το πιο πρακτικό υλικό για ηχεία ποιότητας. Κόβεται «καλά» και έχει λεία επιφάνεια. Μπορείτε να το βρείτε και επενδεδυμένο. Λουστράρεται πολύ καλά. Είναι βαρύ και δυσκολότερο για τα εργαλεία μας από το νοβοπάν. Είναι το υλικό που χρησιμοποιούν τα περισσότερα πολύ καλά ηχεία της αγοράς.

Πολυκαρμπονείτ (Polycarbonate ή Lexan): Διαφανής ή όχι μια πολυκαρμπονείτ καμπίνα μπορεί να γίνει πολύ εντυπωσιακή. Όμως, δεν είναι καθόλου οικονομικό υλικό. Για να το βρείτε θα πρέπει να ψάξετε στα πλαστικά. Κυκλοφορεί επίσης και πλεξιγκλάς που είναι φθηνότερο από το πολυκαρμπονείτ, αλλά παρουσιάζει φτωχότερο συντελεστή απόσβεσης.

Συνθετικά (Corian, Fountainhead, Avonite, Surell, Gibraltar): Ανεξάρτητα από την εταιρία κατασκευής, αυτά τα συνθετικά υλικά έρχονται σε πολλά χρώματα και ποιότητες. Είναι δύσκολο να αγοραστούν και να δουλευτούν. Χρειάζονται ειδικά εργαλεία ενώ είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν και βίδες. Το Corian είναι ακρυλική μίξη με σκόνη αλουμινίου. Τα Avonite, Gibraltar και Surell είναι μίξεις με ρητίνες πολυεστέρα και σκόνης αλουμινίου. Έχουν εξαιρετικά ηχητικά χαρακτηριστικά.

Μάρμαρο (Marble): Το δύσκολο με τις καμπίνες ηχείων από μάρμαρο είναι η κοπή των οπών για να τοποθετηθούν τα μεγάφωνα. Το μάρμαρο είναι επίσης δύσκολο να κολληθεί. Αν τα καταφέρουμε θα έχουμε ένα πολύ καλό ζευγάρι καμπίνων.

Κόντρα-πλακέ με γέμισμα άμμου ή μολύβδου (Plywood): Αν έχετε χρόνο και θέλετε ένα πολύ καλό κουτί ηχείων δοκιμάστε αυτό. Φτιάξτε ένα απλό κουτί με κόντρα-πλακέ.

Μετά τοποθετήστε τάκους στο εξωτερικό μέρος του κουτιού. Κολλήστε φύλλα σκληρού ξύλου κατά προτίμηση λουστραρισμένο και γεμίστε το κενό μεταξύ των τάκων με άμμο ή μολύβι (π.χ. σκάγια). Οι καμπίνες δεν θα είναι ελαφρές αλλά με το γέμισμα θα αποκτήσουν υψηλή απόσβεση. Επίσης, αν χρησιμοποιείτε σωστή σχεδίαση το κουτί θα γίνει και άκαμπτο. Προσοχή: στεγνώστε την άμμο και αποστειρώστε την σε φούρνο πριν την τοποθετήσετε στο κουτί.

Φύλλα κυψελωτού αλουμινίου (Aerolam): Το υλικό αυτό χρησιμοποιείται στα αεροπλάνα για δάπεδο. Πρόκειται για ένα πολύ ελαφρύ υλικό με εξαιρετική συμπεριφορά στις ακουστικές συχνότητες. Κύριο προσόν του είναι η ελάχιστη απορρόφηση ενέργειας. Η Celestion έχει κατασκευάσει μερικά πολύ καλά ηχεία με αυτό.

ΑΓΟΡΑ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Για την αγορά της κύριας αναπαραγωγικής μονάδας θα μπορούσε να συσταθεί ένα ολόκληρο κεφάλαιο λόγω της τεράστιας γκάμας που υπάρχει στην αγορά. Πρώτα θα πρέπει να αποφασιστεί αν θα καταλήξουμε σε αναλογική ή ψηφιακή συσκευή. Θεωρητικά καμία ψηφιακή πηγή ήχου δεν μπορεί να αναπαράγει με απόλυτη πιστότητα τον ήχο αλλά στην πράξη, μια μέτριας ποιότητας αναλογική συσκευή θα μπορούσε να εύκολα να χάσει στην σύγκριση, με τις δυνατότητες που παρέχει μια μέτρια ψηφιακή.

Οι λόγοι για τους οποίους επιλέγεται συνήθως μια ψηφιακή κεντρική μονάδα είναι γνωστοί σε όλους . Η βιομηχανία των μουσικών CDs έχει παραμερίσει τις κασέτες και το βινύλιο. Το internet παρέχει ένα τεράστιο όγκο ψηφιακών αρχείων μουσικής χωρίς κανένα απολύτως οικονομικό κόστος στο οποίο κάθε χρήστης έχει πρόσβαση.

Μένει να επιλεγεί λοιπόν αν θα καταλήξουμε σε κάποιο Cd-Dvd-player ή H/Y. Εξαρτάται λοιπόν από το ποσόν που είμαστε διατεθειμένοι να ξοδέψουμε .Μπορούμε με χαμηλό κόστος να αποκτήσουμε ένα Cd-Dvd-player με αξιοπρεπή απόδοση ή να επενδύσουμε κάτι παραπάνω ώστε, να προσαρμόσουμε τον προσωπικό μας υπολογιστή στις ηχητικές μας απαιτήσεις, κάποιες από τις οποίες είναι πχ χαμηλό επίπεδο θορύβου ,

κάρτα ήχου με μεγάλη ανάλυση σε bit και καλό μετατροπέα από ψηφιακό σε αναλογικό σήμα (converter – analogue to digital).

ΑΓΟΡΑ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Αν συνδέσουμε το καλύτερο ηχείο με τον καλύτερο ενισχυτή, χωρίς να χρησιμοποιήσουμε το καλύτερο καλώδιο, το αποτέλεσμα δεν θα είναι το καλύτερο ηχητικά. Έτσι προτείνεται να αγοράζουμε το καλύτερο που αντέχει η τσέπη μας.

Όσο για το μήκος τους, παρότι υποστηρίζεται ότι οι διαφορές στο μήκος και στο υλικό δεν παίζουν μεγάλο ρόλο - αφού η ταχύτητα του ηλεκτρικού ρεύματος είναι τόσο μεγάλη που δεν αντιλαμβανόμαστε διαφορά στην έλευση του σήματος στα ηχεία - αυτό δεν ισχύει. Η διαφορά στο μήκος και στο υλικό σημαίνει διαφορά στην εμπέδηση και στην επαγωγή τους και επιδρά στην απόσβεση (damping) με αποτέλεσμα την διαφορετική συμπεριφορά στις υψηλές συχνότητες. Συμπερασματικά πρέπει να χρησιμοποιούμε καλώδια ιδίου μήκους και είδους.

5.2.2 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ- ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΦΑΣΗΣ

Το ηλεκτρικό σύστημα (AC) πρέπει να σχεδιαστεί και να εγκατασταθεί με μεγάλη προσοχή. Για υψηλότερα ποιοτικά ακουστικά συστήματα, προτείνονται τα ειδικά ηλεκτρικά απομονωμένα κυκλώματα, με ιδιαίτερη προσοχή στην θωράκιση, στη σταθερότητα και τη γείωση. Εάν είναι δυνατόν, προτιμάται μια εξ ολοκλήρου χωριστή γείωση για το ακουστικό ηλεκτρικό σύστημα. Για να ελαχιστοποιήσουμε το βόμβο και το θόρυβο, καθώς και για να προφυλάξουμε τις συσκευές μας από την πιθανή καταστροφή τους δίνουμε την ιδιαίτερη προσοχή στην τροφοδοσία των 220Volt. Έτσι ένας σταθεροποιητής τάσης που περιλαμβάνει και μια μικρή μπαταρία (ups) σε περιπτώσεις διακοπής θα ήταν μια καλή λύση.

Φωτισμός. Οποιοδήποτε δωμάτιο προορισμένο για ψυχαγωγία, απαιτεί ένα προσεκτικό σχέδιο φωτισμού από έναν καταρτισμένο σχεδιαστή - ηλεκτρολόγο.

Εντούτοις, πολλά από τα ηλεκτρικά στοιχεία φωτισμού που χρησιμοποιούν παράγουν το μεγάλο ποσό ηλεκτρικού θορύβου που υποβιβάζει την απόδοση του ακουστικού συστήματος. Οι αυξομειωτές έντασης φωτισμού (ποτενσιόμετρα –dimmer) που μπορούν να δημιουργήσουν τις διαφορετικές σκηνές φωτισμού είναι συνήθως οι ένοχοι. Θα πρέπει να χρησιμοποιούμε έναν ειδικό τύπο αυξομειωτή έντασης φωτισμού που δημιουργεί το λιγότερο θόρυβο. Ή ίσως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε χαμηλής ισχύος λαμπτήρες με σταθερό φωτισμό για το δωμάτιο ακρόασης. Εκτός από τον ηλεκτρικό θόρυβο, το σύστημα φωτισμού μπορεί να δημιουργήσει τα ακουστικά προβλήματα. Μερικοί λαμπτήρες μπορούν να εκπέμψουν πραγματικά μηχανικό θόρυβο όταν είναι σε χρήση. Μερικά κουφώματα κρυφού φωτισμού ενεργούν ως αντηχεία και ανακλαστήρες, που απαιτούν την προσεκτική επιλογή και τοποθέτηση.

Έλεγχος φάσης. Όταν δύο ηχεία είναι σε φάση τα μεγάφωνα τους κινούνται ταυτόχρονα προς την ίδια κατεύθυνση . Όταν είναι εκτός φάσης , όταν το ένα μεγάφωνο κινείται προς τα μέσα τότε το άλλο κινείται προς τα έξω. Αντίθετες φάσεις, λόγω της λάθος σύνδεσης (πολικότητας) στα ηχεία , έχει ως αποτέλεσμα ακυρώσεις στον ήχο και τη δημιουργία «τρύπας» στη στερεοφωνική εικόνα .

5.3 ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ

Στόχος μιας ακουστικής μελέτης είναι η θετική συνεισφορά ενός χώρου χωρίς υπερβολικούς χρωματισμούς και αλλοιώσεις της μουσικής ακρόασης . Η δημιουργία ιδανικών συνθηκών σε όλη την έκταση του χώρου αποτελεί ουτοπία, για το λόγο αυτό η προσοχή μας εστιάζεται σε μια περιοχή μικρή που καλείται θέση ακρόασης και που καλό θα ήταν να καθορίζεται μετά από εξέταση . Η ακουστική διαμόρφωση ενός χώρου

ξεκινάει από το γεωμετρικό σχεδιασμό αυτού εκτιμώντας αρχικά τον έλεγχο των ανακλάσεων.

5.3.1 ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ

Η ηχομόνωση έχει ως σκοπό να ελέγξει τη μετάδοση κάθε ανεπιθύμητου ήχου, αερόφερτου ή κτυπογενούς, στο εσωτερικό ενός κτιρίου, προσφέροντας ένα ικανοποιητικό ακουστικό περιβάλλον στους χώρους εργασίας, αναπαύσεως και αναψυχής. Κάθε ανεπιθύμητος ήχος, τόσο του εξωτερικού περιβάλλοντος όπως ο θόρυβος των αεροπλάνων, αυτοκινητοδρόμων κτλ., όσο και ο θόρυβος από γειτονικούς εσωτερικών χώρους θα πρέπει, αφού επισημανθούν και μελετηθούν να προσφέρουν μία πλήρη ηχομονωτική προστασία η οποία θα εξασφαλίσει ένα άνετο και ευχάριστο ακουστικό περιβάλλον.

Οι θόρυβοι που επιδρούν σε ένα χώρο προέρχονται είτε από τις οδούς που περιβάλλουν το κτίριο, είτε μεταδίδονται από τους πλαϊνούς προς αυτόν χώρους Στη δεύτερη περίπτωση περνούν μέσα από τα ανοίγματα που συνδέουν τους χώρους αυτού και από την μάζα των δομικών στοιχείων που τους διαχωρίζουν. Το ποσοστό της μείωσης που υφίσταται η ένταση ενός ήχου που φτάνει σ ένα χώρο εξαρτάται από ορισμένες ιδιότητες των δομικών στοιχείων που τον καθορίζουν. Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα ακόλουθα στοιχεία:

- **Βάρος:** Τα βαριά δομικά στοιχεία, όπως είναι οι τοίχοι από τούβλα και οι πλάκες από σκυρόδεμα, παρέχουν καλή ηχομόνωση. Σύμφωνα με τον «νόμο της μάζας», η ηχομονωτική ικανότητα ενός συμπαγούς δομικού στοιχείου είναι ανάλογη με την μάζα του. Αυτό συμβαίνει γιατί τα ηχητικά κύματα που προσκρούουν στα βαριά δομικά στοιχεία δεν είναι εύκολο να τους προκαλέσουν δονήσεις.

- **Στεγανότητα:** Οι αεροστεγείς κατασκευές παρέχουν καλή ηχομόνωση, ενώ ακόμη και πολύ λεπτοί αρμοί, όπως οι αρμοί των κουφωμάτων και οι κλειδαρότρυπες επιτρέπουν την διόδο των ήχων. Οι οπές και τα κανάλια που χρησιμεύουν για την διόδο των αγωγών των δικτύων εξυπηρέτησης του κτιρίου, αποτελούν πολύ συχνά οδούς διέλευσης των θορύβων.

- **Απομόνωση:** Η μικρότερη φυσική επαφή μεταξύ δύο επιφανειών ή χώρων παρέχει τον υψηλότερο βαθμό ηχομόνωσης μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό, τα συμπαγή δομικά στοιχεία μπορούν να αντικατασταθούν από δύο ή περισσότερες επιφάνειες που μεταξύ τους μεσολαβεί κενό ή εύκαμπτα στρώματα από ελαστικά ή ινώδη υλικά.

Βελτιώσεις ως προς την ηχομόνωση

Ένα υπάρχον δωμάτιο θα αντισταθεί σε προσπάθειες ηχομόνωσης, κάνοντας την ένα αγαθό δύσκολο και ακριβό. Εντούτοις, σε μια νέα κατασκευή, έχουμε μια θαυμάσια ευκαιρία να δημιουργήσουμε ένα ήσυχο δωμάτιο για απόλαυση μουσικής ακρόασης και ίσως για την παρακολούθηση κινηματογραφικών ταινιών. Ακόμη και σε ένα δωμάτιο με τοίχους πάχους ενός μέτρου, μια μικρή τρύπα για ένα ηλεκτρικό καλώδιο θα δημιουργήσει μια διαρροή αέρα και ο ήχος θα δραπετεύσει. Μόνο η μεγάλη προσοχή που απαριθμεί στο σχέδιο και την κατασκευή του δωματίου θα οδηγήσει σε ένα υψηλό επίπεδο ηχομόνωσης. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής, ένας πεπειραμένος σύμβουλος πρέπει να επιθεωρήσει το δωμάτιο στα διάφορα στάδια για να προβλέψει πιθανά προβλήματα.

Οι βαριοί τοίχοι από τούβλα και τσιμεντόλιθους παρέχουν καλή ηχομόνωση. Για βελτίωση της ηχομόνωσης με τούβλα μπορούν να τοποθετηθούν με τις οπές κατακόρυφες. Οι αρμοί των τοίχων πρέπει να είναι πληρωμένοι με κονίαμα σε όλο τους το μήκος, χωρίς διακοπές. Επίσης, οι πορώδεις τσιμεντόλιθοι πρέπει να επιχρίονται ή να βάζονται με ειδικά τσιμεντοχρώματα για να αποφραχτούν οι πόροι τους.

Τα ελαφρά δομικά στοιχεία για την κατασκευή θερμομονωτικών τοίχων δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε εξωτερικούς τοίχους ή διαχωριστικούς τοίχους διαμερισμάτων, παρά μόνο σε διάκενο πληρωμένο με ηχομονωτικό στρώμα.

Όταν δεν πρόκειται για νέα κατασκευή και έχουμε σκοπό την ηχομονωτική βελτίωση ενός τυπικού δωματίου μπορούμε να λάβουμε υπόψη μας τα παρακάτω:

- Η ηχομονωτική ικανότητα των συμβατικών τοίχων μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την προσθήκη ενός ελαφρού χωρίσματος από την πλευρά του πιο θορυβώδους χώρου. Το χωρίσμα πρέπει να έχει σκελετό ανεξάρτητο από τον τοίχο και να διατηρείται σε μικρή απόσταση από αυτόν, με την παρεμβολή ηχομονωτικού στρώματος.
- Μια εναλλακτική λύση αποτελεί η επένδυση του τοίχου με ειδικά ηχοαπορροφητικά πανό, κατά προτίμηση ανάγλυφα ή διάτρητα.
Ο πετροβάμβακας είναι διεθνώς το πλέον διαδεδομένο ηχομονωτικό και ηχοαπορροφητικό υλικό. Η δομή των ινών του δεν επιτρέπει την δημιουργία ανακλάσεων του ήχου πετυχαίνοντας έτσι συνδυασμό με πρόσθετες ηχομονωτικές κατασκευές, εξαιρετικούς δείκτες ηχομόνωσης και ηχοαπορρόφησης. Το υλικό επιτρέπει στα κύματα του ήχου να περάσουν μέσα από αυτό προκαλώντας έτσι παλινδρόμηση στις ίνες του οι οποίες μετατρέπουν την ενέργεια του ήχου σε θερμότητα.
- Πρέπει να σφραγίζονται οι οπές διέλευσης εγκαταστάσεων
- Σε λεπτούς τοίχους, τα κουτιά των διακοπών ή διακλαδώσεων των καλωδίων δεν πρέπει να τοποθετούνται «πλάτη με πλάτη», γιατί αδυνατίζει η μόνωση στα σημεία αυτά.
- Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά το δυνατόν μαλακές επικαλύψεις δαπέδων (π.χ. μοκέτα). Επίσης, επιστρώσεις από φελλό ή βινύλιο όταν έχουν ένα ελάχιστο πάχος 6 mm είναι αποτελεσματικές, για περιπτώσεις που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μοκέτες. Η βελτίωση που επιφέρουν τέτοιες επικαλύψεις είναι πολύ μεγάλη στις υψηλές συχνότητες, ενώ είναι μικρή έως μηδαμινή στις χαμηλές. Αντίθετα, επειδή οι χαμηλές συχνότητες δεν βελτιώνονται, θα πρέπει να λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα όταν θέλουμε να μονώσουμε τέτοιους ήχους (γδούπους) για τους οποίους αποτελεσματικά είναι μόνο τα εξειδικευμένα πλωτά ή αντικραδασμικά δάπεδα.
- Στο εμπόριο υπάρχουν όλων των ειδών τα παράθυρα και είναι δυνατόν να εξασφαλισθεί υψηλή ηχομόνωση ακόμη και με συρόμενο παράθυρο. Τα συνήθη διπλά κρύσταλλα με διάκενο μικρότερο από 12 mm δεν έχουν ουσιαστικά υψηλότερη ηχομόνωση από ένα μονό κρύσταλλο, πάχους όσο το συνολικό πάχος των δύο

κρυστάλλων. Πολλές φορές μάλιστα, ένα παχύ απλό κρύσταλλο είναι προτιμότερο από δύο λεπτά με μικρό διάκενο μεταξύ τους

- Το αδύνατο σημείο στην ηχομόνωση των θυρών είναι ο περιμετρικός αρμός του φύλλου με την κάσα. Όσο υψηλή ηχομόνωση και αν παρέχει το φύλλο της θύρας αυτό καθαυτό, εάν ο αρμός δε σφραγίζει, το αποτέλεσμα δεν είναι καθόλου ικανοποιητικό.

Τα περισσότερα εγχειρίδια εργοστασίων αναφέρουν ηχομονώσεις θυρών χωρίς να διευκρινίζουν αν αυτές οι ηχομονώσεις αφορούν στο φύλλο ή όλη την κατασκευή (δηλαδή το φύλλο κρεμασμένο στην κάσα). Τις περισσότερες φορές η ηχομόνωση αφορά το φύλλο μόνο. Για αυτό θα πρέπει να ζητείται πάντα το πιστοποιητικό, να περιγράφει ακριβώς σε τι αφορά η μέτρηση.

- Ο θόρυβος που παράγεται από την φτερωτή του ανεμιστήρα ή της κλιματιστικής μονάδας, μεταδίδεται μέσω των αγωγών, στους χώρους που κλιματίζονται. Σημαντικότερη δυσκολία παρουσιάζεται στην αντιμετώπιση των χαμηλών συχνοτήτων του θορύβου. Κατά τη μελέτη των δικτύων κλιματισμού - αερισμού θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι στα στόμια των αγωγών, δημιουργείται ανάκλαση (προς τα πίσω) ηχητικής ενέργειας με αποτέλεσμα τη μείωση του θορύβου που εισέρχεται στο χώρο. Το μέγεθος της ανάκλασης αυτής είναι αντιστρόφως ανάλογο του εμβαδού του στομίου. Επομένως, είναι προτιμότερο σε έναν χώρο, να χρησιμοποιούμε πολλά μικρά στόμια, παρά λίγα μεγάλα

5.3.2 ΙΣΟΣΤΑΘΜΙΣΗ ΧΩΡΟΥ

Η τελική προσφυγή μας στην προσπάθεια βελτίωσης της ακουστικής σε έναν χώρο είναι η ισοστάθμισή του μέσω μιας συσκευής EQ . Θα πρέπει να είμαστε πάντα πολύ δύσπιστοι για τη χρήση EQ στη λύση των ακουστικών προβλημάτων, δεδομένου ότι τα περισσότερα ακουστικά προβλήματα εντοπίζονται στη χρονική περιοχή, ενώ η

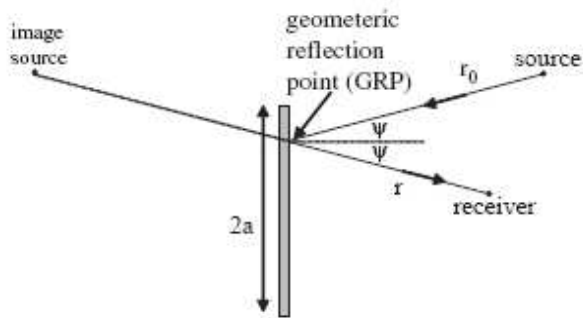
ισοστάθμιση προσπαθεί να εφαρμόσει μια θεραπεία στην συχνοτική περιοχή. Με την εφαρμογή των ελεγχόμενων ρυθμίσεων του παραμετρικού EQ κόβοντας τις προφανείς συχνότητες του προβλήματος (κορυφές από τα στάσιμα π.χ), είναι δυνατό να παραχθεί μια πιο ομαλή απόκριση, αλλά αυτή η ρύθμιση πρέπει να σημειωθεί ότι θα λειτουργεί μόνο για την συγκεκριμένη θέση ακρόασης. Ο ήχος στο δωμάτιο μπορεί πραγματικά να γίνει χειρότερος σε γενικές γραμμές.

Επίσης, αποφύγετε την ώθηση (boost) κάποιων συχνοτήτων EQ, δεδομένου ότι είναι απίθανο να βοηθήσει τα νεκρά σημεία και είναι σχεδόν βέβαιο θα καταστήσει το συνολικό αποτέλεσμα πολύ χειρότερο.

Ένας άλλος λόγος για τον οποίο αποφεύγεται η χρήση ισοσταθμιστή χώρου, είναι ότι κατηγορείται για εισαγωγή "μετατόπισης φάσης. Παρότι είναι δημοφιλή όργανα μέτρησης, οι συσκευές ανάλυσης 1/3-οκτάβας, σε πραγματικό χρόνο, δεν περιγράφουν το πρόβλημα με ακρίβεια, οπότε η χρήση του ισοσταθμιστή στηρίζεται στην κρίση του ακροατή. Η προσπάθεια να γεμιστούν οι βαθιές τρύπες στην απόκριση συχνότητας είναι απολύτως ανώφελη και άχρηστη, επειδή σχετίζεται με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του χώρου και όσες αντλίες ηχητικής ενέργειας κι αν βάλουμε σε ένα δωμάτιο η ακύρωση εμμένει. Η μόνη λύση σε αυτό το είδος το πρόβλημα είναι να αλλάξει θέση το μεγάφωνο ή ο ακροατής.

5.3.3 ΔΙΑΧΥΤΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΕΣ

Παρόλο που οι χώροι που στοχεύει η μελέτη που κάνουμε δεν προορίζονται για επαγγελματική χρήση, παρακάτω παρατίθεται ο τρόπος λειτουργίας των διαχυτών και απορροφητών ώστε να γίνει κατανοητός ο ρόλος της επίπλωσης και των αντικειμένων που τοποθετούμε στους τοίχους σε ένα τυπικό δωμάτιο που χρησιμοποιούμε για ακρόαση μουσικής.



E 5.3.3.1

Οι διαχυτές χρησιμοποιούνται για να μειώσουν ή να εξαλείψουν τις επαναλαμβανόμενες ανακλάσεις που εμφανίζονται στα δωμάτια με παράλληλους τοίχους και επίπεδη οροφή. Αν και υπάρχουν διαφορετικές απόψεις για το πόση φυσική αντήχηση πρέπει να έχουν τα στούντιο και τα δωμάτια ακρόασης, όλοι οι επαγγελματίες σχεδιαστές στούντιο συμφωνούν ότι οι περιοδικές αντανάκλασεις που προκαλούνται από τους παράλληλους τοίχους καλύτερα να αποφεύγονται. Επομένως, η διάχυση χρησιμοποιείται συχνά εκτός από την απορρόφηση για να ομαλύνει αυτές τις αντανάκλασεις. Αυτή η παρέμβαση γίνεται αποδεκτή παγκοσμίως ως καλύτερη από το να καθιστούμε το χώρο απολύτως νεκρό με την κάλυψη όλων των τοίχων με απορροφητικό υλικό. Για πολλούς το ιδανικό δωμάτιο ακρόασης έχει ένα μίγμα των αντανάκλαστικών και απορροφητικών επιφανειών, χωρίς μια μεγάλη περιοχή ζωντανή ή νεκρή. Οι χαρακτηρισμοί "ζωντανή" και "νεκρή" όπως περιγράφονται εδώ, αφορούν μόνο τις μέσες και υψηλές συχνότητες. Η επεξεργασία χαμηλών συχνοτήτων είναι ένα εξ ολοκλήρου άλλο θέμα

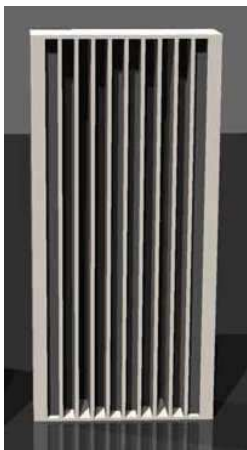
Ο απλούστερος τύπος διαχυτή είναι ένα ή περισσότερα φύλλα από κοντραπλακέ συνδεδεμένα στον τοίχο σε μια μικρή γωνία, για να αποτρέψουν τον ήχο από να αναπηδήσει επανειλημμένα μεταξύ δύο τοίχων. Εναλλακτικά, το κοντραπλακέ μπορεί να καμφθεί σε μια κυρτή μορφή, αν και αυτή είναι δυσκολότερο να εγκατασταθεί. Στην αλήθεια, στην πραγματικότητα αυτός είναι ένας ανακλαστήρας, όχι ένας διαχυτής.

Η παρακάτω φωτογραφία παρουσιάζει έναν κυρτό ανακλαστήρα που τοποθετείται απέναντι από ένα παράθυρο δωματίων ελέγχου και είναι ακριβώς το ίδιο μέγεθος με το παράθυρο για να διατηρήσει τη συμμετρία στο δωμάτιο.



E5.3.3.2 Φωτογραφία από την Avid Recorders

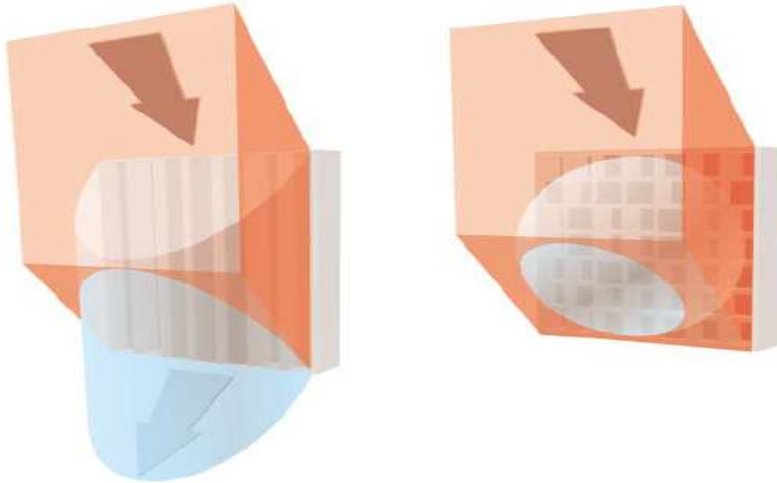
Οι πραγματικοί διαχυτές χρησιμοποιούν μια ανώμαλη επιφάνεια που έχει ένα σύνθετο σχέδιο για να διασκορπίσουν τα ηχητικά κύματα. Ακόμα ένας τύπος, που παρουσιάζεται κατωτέρω, χρησιμοποιεί κουτιά που έχουν διαφορετικό βάθος . Όταν οι τοίχοι είναι παράλληλοι, η προσθήκη της διάχυσης μόνο σε ένα μικρό ποσοστό της επιφάνειας δεν θα μειώσει τις ανεπιθύμητες ανακλάσεις εντελώς



E5.3.3.3 Φωτογραφία από την ACID Acoustics

Ένας σωστός διαχυτής, διαχέει τα ηχητικά κύματα σε διαφορετικές κατευθύνσεις ανάλογα με στη συχνότητά τους, παρά τα αναπροσανατολίζει στην ίδια κατεύθυνση. Αυτό είναι μια σημαντική διάκριση επειδή μια επίπεδη επιφάνεια που βλέπει υπό γωνία ή καμπύλη κάποια άλλη κάνει πιο έντονο τον κιβωτιοειδή ήχο με έντονες κορυφές και

βάθη, ένα φαινόμενο γνωστό ως *comb filtering*. Ένας πραγματικός διαχυτής αποφεύγει τις άμεσες αντανακλάσεις συνολικά, και επιδιώκει σε έναν ανοικτότερο, πιο διαφανή, και φυσικό ήχο από μια απλή επίπεδη ή κυρτή επιφάνεια.



Ε5.3.3.4 Αριστερής πολικότητας απόκριση για ένα μονοδιάστατο διαχυτή
Δεξιάς πολικότητας απόκριση για ένα δυσδιάστατο διαχυτή
(RPG)

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΔΙΑΧΥΤΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΩΝ ΑΝΤΙ ΤΩΝ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ

Τί γίνεται όμως όταν δεν έχουμε να διαθέσουμε χρήματα για εξειδικευμένα προϊόντα. Μπορούμε να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα, διάχυσης και απορρόφησης με χρηστικά αντικείμενα οικιακής χρήσης που έχουμε ήδη στο σπίτι μας.

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία όπως βιβλιοθήκες, ράφια στους τοίχους γεμάτα με βιβλία, ή άλλες τέτοιες ανομοιόμορφες επιφάνειες όπως, βιτρίνες και γλυπτά, για να βοηθήσουν να διαχέεται ο ήχος.

- Τάπητες, κουβέρτες, ή υφάσματα πίνακες ζωγραφικής σε καμβάδες και άλλα απορροφητικά υλικά στις περιοχές που περιβάλλουν τους ακροατές, για να βοηθήσουν στην απορρόφηση των πρώτων ανακλάσεων.
- Καλό θα είναι οι ακροατές να βρίσκονται μακριά από έντονα αντανακλαστικές πηγές (λείες επιφάνειες όπως παράθυρα χωρίς κουρτίνες, τραπεζάκια , γυάλινες βιτρίνες κ.τ.λ.). Αυτό που προσπαθείτε να αποφύγετε είναι ευδιάκριτες ανακλάσεις που αλλοιώνουν σημαντικά τον ήχο.

ΠΟΥ ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΤΟΠΟΘΕΤΟΥΝΤΑΙ;

Σ' ένα δωμάτιο ακρόασης οι επιφάνειες που ορίζουν τον χώρο είναι συνήθως κοντά στον ακροατή. Η πιο αποτελεσματική τοποθέτηση για μια επιφάνεια που παίζει το ρόλο του διαχυτή ή του απορροφητή είναι στη θέση που «βλέπει» η πρώτη ανάκλαση του ήχου. Θα πρέπει να αναλογιστεί κανείς ένα δωμάτιο του οποίου όλες οι επιφάνειες είναι κατοπτρικές . Αυτές οι θέσεις είναι εκείνες στις οποίες ο ακροατής αντιλαμβάνεται την ύπαρξη ηχητικής πηγής.

6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις

Ενεργά ηχεία ADAM P22-A τεχνικά χαρακτηριστικά

Technical Data P22A

2-way active bass reflex speaker	
Woofers	220mm (8") coated paper cone
A.R.T. tweeter	see A.R.T. Technology
Freq.response (± 3 dB)	38Hz - 35kHz
Panel (rear-mounted)	Input/HF gain, Hi/Lo EQ adjustment
Power	100W (sin), 150W (RMS)
Inputs	Balanced XLR
W x H x D	260 x 430 x 340mm (10" x 17" x 13.5")
Weight	13kg (28.5 lbs)
Warranty	2 years



E6.1

KAPTA HXOY

M-Audio Delta 44 Digital Recording System



E_{6.2} 4x4 24-bit/96kHz full-duplex recording interface

The M-Audio Delta 44 Digital Recording System features 24-bit/96kHz converters that are the envy of the audio card community! The breakout box handles 4 balanced or unbalanced, +4dB or -10dB signal level analog inputs and outputs. Also included is the Delta control panel software to configure the card and control digital mixing and routing.

M-Audio Delta 44 Digital Recording System Specifications:

- Measured D/A specs:
- 103dB (A-weighted) dynamic range, 0.0015% THD @ 0dBFS

Measured A/D specs:

- 99dB (A-weighted) dynamic range, 0.0023% THD @ 0dBFS

All data paths support up to 24 bit/96kHz performance, no upgrades necessary

- Powerful digital mixing, routing, and monitoring capabilities
- Drivers Include: Windows 95/98, Windows NT, ASIO, ASIO2, Direct Sound, EASI, Multi-card 95/98 & Multi-card NT (up to 3 in a system), Gigasampler, Mac Sound

Manager, and Mac ASIO

Software:

- Powerful digital mixing, routing and monitoring capabilities with included software
- Includes Windows 95/98, ASIO/ASIO2, Mac, GSIF, DirectX and Windows NT/2000 drivers

Minimum System Requirements for PC:

- Windows 95, 98 or NT
- Pentium II 266MHz - (96kHz operation)
- Pentium 200 MMX - (48kHz or less)
- 128MB of PC100 RAM - (96kHz operation)
- 64MB of SDRAM - (48kHz or less)
- UDMA EIDE or SCSI HDD

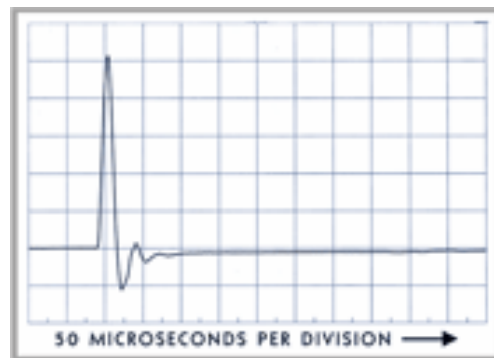
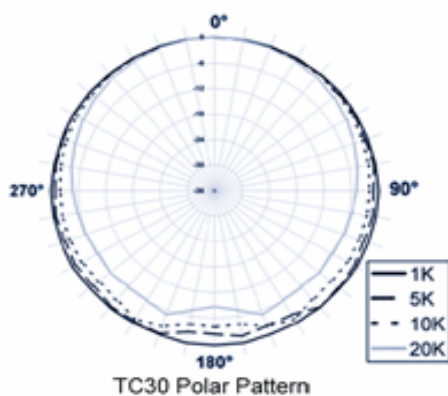
Minimum System Requirements for Mac:

- G4, G3 or G3 accelerator
- System 8.5.1 or above
- 128MB RAM for 96kHz operation
- 96MB RAM for 48kHz operation

ΠΑΝΤΟΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΦΩΝΟ

TC30 (same as TC30K) 30kHz Omni

For louder sources such as drums, percussion, amplified instruments and loud sound effects



TC30 Impulse Chart

E_{6.3}

TC30 SPECIFICATIONS	
• Frequency response	9Hz to 30kHz $\pm 1/-3$ dB
• Polar pattern	Omnidirectional
• Sensitivity	8mV/Pa (-42dBV/Pa)
• Power requirements	48V Phantom, 10mA
• Peak acoustic input	150dB SPL
• Output	XLR (PIN 2+)
• Minimum output load	600 Ω between pins 2&3
• Noise	27dB SPL equivalent (A weighted)
• Product dimensions L x D	229mm x 22mm (9 x .860 inches)
• Product weight	.5lb (225g) each
• Shipping dimensions L x W x H	14 x 8 x 6 inches (35cm x 20cm x 15cm)
• Shipping weight	3lb (1.36kg)
• Matched pair Shipping weight	4lb (1.81kg)

MEIKTHE HXOY

Phonic MU1002 2 Mic / 4 Line Compact Mixer

This product is no longer available to buy.



E 6.4 Features:

- Audiophile-quality & ultra low noise
- Two balanced microphone/line inputs with 3-band EQ and low cut
- Four stereo inputs
- Post-fader EFX send on every input
- Global +48V Phantom Power
- Peak and VU Metering
- CTRL RM and headphones outputs
- Peak indicators on each mono input channel
- 2T RTN with level control
- Convenient mini stereo I/O for MD, MP3 player, input with level control
- Stereo EFX send cue for monitoring individual channel in stereo image
- Mono/Stereo switch on Main mix for checking mono system playback
- Balanced master output with 60mm fader control

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κουτσοδημάκης Χρήστος, «Σημειώσεις Μηχανικής Ήχου Ι» (Ρέθυμνο 2001)
- Ζαχαριουδάκης Δημήτριος “Σημειώσεις φυσικής ακουστικής” (Ρέθυμνο 2006)
- Σκαρλάτος Δημήτριος “Εφαρμοσμένη Ακουστική” (Ιανουάριος 2003)
- Φιτσανάκης Μίνως, «Σημειώσεις Mastering» (Ρέθυμνο 2003)
- Heinrich Kuttruff, “Room Acoustics” (Routledge, 1990)
- Daniel R Raichel “The science and applications of Acoustics” (Springer/ 2006)
- Βασίλης Τσακίρης : “Home cinema”(Crystal audio-video /2003)
- RPG diffusor systems, INC., 651-C COMMERCE DRIVE, UPPER MARLBORO, MD 20774 Room Optimizer - manual
- **SIA-Smaart**® Acoustic Measurement and Analysis Software-User Guide-Version 4 for Windows
- Eric E. Ungar – “Acoustics from A to Z” (Sound and vibration / Ιανουάριος 2002)
- Γ.Χ Τζαμαλούκας- “Ακουστική χώρων” (περιοδικό “Hi-tech” /2002)
- J.S. Bradley “Sound in Rooms”(article NRC-IRC –Institute for Research in Construction,Canada/ Οκτώβριος 1985)
- Floyd E. Toole, Ph.D.(Vice President Engineering, Harman International Industries, Inc.) “Loudspeakers and Rooms - Working Together”
- O. J. Bonello, “A New Criterion for the Distribution of Normal Room Modes”, J. Audio Eng. Soc., vol. 19, pp. 597-606 (Σεπτέμβριος 1981).
- *William G. Gardner*, “3D Audio and Acoustic Environment Modeling”
Ph.D. Wave Arts, Inc. 99 Massachusetts Avenue, Suite 7 Arlington, MA 02474
billg@wavearts.com <http://www.wavearts.com> (Μάρτιος 1999)
- T J Cox, “Acoustic diffuser: The good, the bad and the ugly” Salford University (2004).
- Don Davis, Carolyn Davis “Sound System Engineering” (Focal Press 1997)