

Μάθημα: Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων

Εργαστηριακές Ασκήσεις

Διδάσκων: Φλώρος Ανδρέας Δρ. Ηλ/γος Μηχ/κος & Τεχνολογίας Υπολογιστών



Κέρκυρα, Φεβρουάριος 2011

2 Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων

# Πίνακας Περιεχομένων

1.Εισαγωγή	7
2.Εργαστηριακή Ασκηση #1 "Μέτρηση απόκρισης συχνότητας και κατευθυντικότητας μικροφώνων"	9
2.1.Εισαγωγή	9
2.2.Ευαισθησία και απόκριση συχνότητας	9
2.2.1.Ευαισθησία	9
2.2.2.Απόκριση συχνότητας	10
2.3.Κατευθυντικότητα, διάγραμμα κατευθυντικότητας και λοβός μικροφώνου	11
2.3.1.Κατευθυντικότητα	11
2.3.2.Διάγραμμα κατευθυντικότητας και λοβός μικροφώνου	11
2.4.Μεθοδολογία μετρήσεων	13
2.4.1.Μέτρηση απόκρισης συχνότητας μικροφώνου στον κεντρικό άξονα	15
2.4.2.Μέτρηση κατευθυντικότητας/προσδιορισμός λοβού του μικροφώνου	15
2.4.3.Μέτρηση της εξόδου (τάσης) του μικροφώνου	16
2.5.Επεξεργασία μετρήσεων	16
2.5.1.Διαγράμματα απόκρισης συχνότητας	16
2.5.2.Διαγράμματα κατευθυντικότητας	16
3.Εργαστηριακή Ασκηση #2 "Μέτρηση Λόγου Σήματος Προς Θόρυβο Συστήματος Ηχητικής Μείξης"	; 19
3.1.Εισαγωγή	19
3.2.Μείκτης ήχου	19
3.3.Λόγος σήματος προς θόρυβο	20
3.4.Μεθοδολογία μετρήσεων	21
3.4.1.Μέτρηση τάσης εξόδου	22
3.4.2.Μέτρηση θορύβου	22
3.4.3.Επεξεργασία μετρήσεων	22

4.Εργαστηριακή Ασκηση #3 "Μέτρηση απόκρισης ηχείου"	23
4.1.Εισαγωγή	23
4.2.Κρουστική απόκριση και απόκριση συχνότητας ηχείου	23
4.2.1.Κρουστική απόκριση ηχείου	23
4.2.2.Απόκριση συχνότητας ηχείου	24
4.3.Μεθοδολογία μετρήσεων	24
4.4.Πραγματοποίηση μετρήσεων	25
5.Εργαστηριακή Ασκηση #4 "Μοντελοποίηση Ακουστικής Συμπεριφοράς Χώρου Χρήση Λογισμικού Ακουστικής Εξομοίωσης"	με 27
5.1.Εισαγωγή	27
5.2.Το λογισμικό ακουστικής εξομοίωσης EASE	27
5.2.1.Δομή εργασίας του λογισμικού EASE	27
5.2.2.Δημιουργία νέου project	28
5.2.3.Κλείσιμο του project και αποθήκευση της εργασίας	31
5.2.4.Εισαγωγή δεδομένων	32
5.2.5.Εξαγωγή αποτελεσμάτων	33
5.3.Μοντελοποίηση χώρου με την χρήση του λογισμικού EASE	35
5.3.1.Μοντελοποίηση του χώρου και υπολογισμός διαστάσεων	35
5.3.2.Εισαγωγή των δεδομένων και η λειτουργία της εισαγωγής συμμετρικών σημείων	35
5.3.3.Εισαγωγή ακμών, επιφανειών και επιλογή υλικών	39
5.3.4.Ελεγχος του χώρου	42
5.4.Υλοποίηση της άσκησης	42
5.4.1.Διαδικασία υλοποίησης	42
5.4.2.Επεξήγηση βημάτων	44
6.Εργαστηριακή Ασκηση #5 "Υπολογισμός Χρόνου Αντήχησης & Λόγου Ενέργεια	ις

Απευθείας προς Αντηχητικού Πεδίου με Χρήση Λογισμικού Ακουστικής Εξομοίωσης"

Εργαστηριακες Ασκησεις	γαστηριακές Ασκήσεις 🚦	5
------------------------	------------------------	---

6.1.Εισαγωγή	45
6.2.Χρόνος αντήχησης στο απευθείας και στο αντηχητικό πεδίο	45
6.2.1.Χρόνος αντήχησης	45
6.2.2.Απευθείας και αντηχητικό πεδίο	46
6.3.Υπολογισμός ακουστικών μεγεθών	47
6.3.1.Εισαγωγή συστημάτων ηχείων	48
6.3.2.Εισαγωγή δεκτών/θέσεων ακροατών	50
6.4.Υπολογισμός χρόνου αντήχησης και λόγου ενέργειας απευθείας αντηχητικό πεδίο	προς 50
6.4.1.Υπολογισμός χρόνου αντήχησης	50
6.4.2.Υπολογισμός λόγου απευθείας προς αντηχητικό πεδίο	52
6.5.Υλοποίηση της άσκησης	59
6.5.1.Διαδικασία υλοποίησης	59
7.Παρουσίαση Των Μετρητικών Οργάνων Και Των Χρησιμοποιούμενων Συζευκτήρων	61
7.1.Μετρητικά Οργανα	61
7.1.1.Το Ηχόμετρο Lutron SL4010	61
7.1.2.Το Ψηφιακό Πολύμετρο - Μετρητής Τάσης	62
7.2.Συζευκτήρες	63
7.2.1.Ο Συζευκτήρας Τύπου XLR	63
7.2.2.Ο Συζευτκήρας Τύπου TRS	64
8.Παράδοση Των Εργασιών	65
9.Σημαντικές Παρατηρήσεις	67
10.Ευρετήριο εξισώσεων	69
11.Ευρετήριο εικόνων	71
12.Ευρετήριο πινάκων	75

6 Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων

#### 1. Εισαγωγή

Στο παρόν σύγγραμμα περιλαμβάνονται οι περιγραφές των εργαστηριακών ασκήσεων του μαθήματος "Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων", που εντάσσεται στο Η' εξάμηνο του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Τεχνών Ηχου & Εικόνας του Ιονίου Πανεπιστημίου.

Σε κάθε περιγραφή εργαστηριακής άσκησης παρέχεται όλη η απαραίτητη εισαγωγική και θεωρητική πληροφορία, η οποία κρίνεται και θεωρείται απαραίτητο αντικείμενο μελέτης πριν τη διεξαγωγή της. Παράλληλα, δίνονται αναλυτικές περιγραφές σχετικά με την υλοποίησή της.

Στο παρόν σύγγραμμα έχουν περιληφθεί οι ακόλουθες εργαστηριακές ασκήσεις:

- Εργαστηριακή Ασκηση #1: Μέτρηση Απόκρισης Συχνότητας και Κατευθυντικότητας Μικροφώνου
- Εργαστηριακή Ασκηση #2: Μέτρηση Λόγου Σήματος Προς Θόρυβο Συστήματος Ηχητικής Μείξης
- Εργαστηριακή Ασκηση #3: Μέτρηση Απόκρισης Ηχείου
- Εργαστηριακή Ασκηση #4: Μοντελοποίηση Ακουστικής Συμπεριφοράς Χώρου με Χρήση Λογισμικού Ακουστικής Εξομοίωσης
- Εργαστηριακή Ασκηση #5: Υπολογισμός Χρόνου Αντήχησης & Λόγου Ενέργειας Απευθείας προς Αντηχητικού Πεδίου με Χρήση Λογισμικού Ακουστικής Εξομοίωσης

Επίσης, για τη διευκόλυνση της μελέτης των περιγραφών των εργαστηριακών ασκήσεων, το σύγγραμμα αυτό περιέχει και τις ακόλουθες Ενότητες:

- Ενότητα Παρουσίαση Μετρητικών Οργάνων Και Χρησιμοποιούμενων Συζευκτήρων, στην οποία παρουσιάζεται ο τρόπος ορθής χρήσης των μετρητικών οργάνων και των χρησιμοποιούμενων συζευκτήρων.
- Ενότητα Παράδοση Των Εργασιών, η οποία περιλαμβάνει αναλυτικές οδηγίες σχετικά με τον τρόπο εκτέλεσης και παράδοσης των γραπτών αναφορών.
- Ενότητα Σημαντικές Παρατηρήσεις, στην οποία δίνονται συγκεκριμένες οδηγίες που πρέπει (ή προτείνεται) να τηρούνται κατά τη διαδικασία εκτέλεσης των ασκήσεων στον χώρο του εργαστηρίου.
- Ευρετήριο εξισώσεων
- Ευρετήριο εικόνων
- Ευρετήριο πινάκων

8 Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων

# Εργαστηριακή Ασκηση #1 "Μέτρηση απόκρισης συχνότητας και κατευθυντικότητας μικροφώνων"

### 2.1. Εισαγωγή

Οι ηλεκτροακουστικοί μετατροπείς αποτελούν ευρέως χρησιμοποιούμενα υποσυστήματα μετατροπής της ενέργειας (ακουστικής σε ηλεκτρική ή ηλεκτρικής σε ακουστική) και μπορούν να απαντηθούν υπό μορφή αυτόνομων ή περιφερειακών εξαρτημάτων σε μία μεγάλη ποικιλία σύγχρονων συσκευών, όπως π.χ. φορητοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, τηλεοράσεις, ραδιόφωνα κ.λπ., τα οποία χρησιμοποιεί ο άνθρωπος στην καθημερινότητά του σε διαδικασίες όπου απαιτείται καταγραφή ή αναπαραγωγή ήχου. Ετσι, κάθε μία από τις προαναφερθείσες καθημερινής χρήσης συσκευές, και όχι μόνο, διαθέτει ενσωματωμένο τουλάχιστον έναν εκ των δύο τύπων ηλεκτροακουστικών μετατροπέων, δηλαδή μικρόφωνο (το οποίο μετατρέπει την ακουστική ενέργεια σε ηλεκτρική) ή/και μεγάφωνο / ηχείο (μετατροπέας ηλεκτρικής ενέργειας σε ακουστική).

Είναι επίσης γνωστό ότι λόγω των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών τους, όπως π.χ. η απόσταση των διαφραγμάτων σε ένα μικρόφωνο διαφορικής πίεσης (pressure gradient), αλλά και φυσικών περιορισμών, συνεπαγόμενων ή μη από τα τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως η κρίσιμη συχνότητα του διαφράγματος ή/και η περίθλαση του ήχου λόγω του σχήματος της καμπίνας ενός ηχείου, οι ηλεκτροακουστικοί μετατροπείς δεν παρουσιάζουν την ίδια ευαισθησία στην μετάδοση/λήψη του ήχου, τόσο ανά συχνότητα, όσο και ανά γωνία μετάδοσης/λήψης. Η παρούσα εργαστηριακή άσκηση εστιάζει αποκλειστικά στα συστήματα μικροφώνων και στοχεύει στην μέτρηση και καταγραφή της μεταβολής της εξόδου ενός μικροφώνου κατά την μετατροπή ήχων ίδιας στάθμης ηχητικής πίεσης αλλά α) διαφορετικής συχνότητας και β) προερχόμενων από διαφορετική γωνία ως προς τον άξονα του μικροφώνου.

Για την υλοποίηση της άσκησης θα χρησιμοποιηθούν ένα ηχόμετρο, ένα πολύμετρο, ένα δυναμικό μικρόφωνο διαφορικής πίεσης, μία βάση στήριξης μικροφώνου και ένα σύστημα αναπαραγωγής ήχου.

## 2.2. Ευαισθησία και απόκριση συχνότητας

#### 2.2.1.Ευαισθησία

Οπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι ηλεκτροακουστικοί μετατροπείς μετατρέπουν είτε την ακουστική ενέργεια σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας, συνήθως ηλεκτρική, ή μετατρέπουν μία άλλη μορφή ενέργειας, συνήθως ηλεκτρική, σε ακουστική. Ενα μέτρο της απόδοσης αυτής της μετατροπής είναι η ευαισθησία (sensitivity, S) του μετατροπέα, η οποία ορίζεται ως ο λόγος της εξόδου που αυτός θα παράγει προς την τιμή της εισόδου που εφαρμόζεται για την παραγωγή της συγκεκριμένης εξόδου. Για παράδειγμα, η ευαισθησία ενός μικροφώνου είναι ο λόγος της μέσης τιμής της τάσης που αυτό παράγει προς την μέση τιμή της πίεσης που δέχεται / προσπίπτει στο διάφραγμά του. Κατά συνέπεια, η εξίσωση της ευαισθησίας του μικροφώνου είναι:

$$S = \frac{\tilde{v}}{\tilde{p}}$$
(2.1)

όπου:

S είναι η ευαισθησία του μικροφώνου (Volt/Pascal),

 $ilde{V}$ είναι η μέση/ενεργός τιμή της τάσης στην έξοδο του μικροφώνου (Volt), και

 $ilde{p}$ είναι η μέση/ενεργός τιμή της πίεσης που προσπίπτει στο διάφραγμά του (Pascal)

Επίσης, στοχεύοντας στη διευκόλυνση της χρήσης του μεγέθους, ορίζεται λογαριθμικά η στάθμη της ευαισθησίας (Sensitivity Level – SL) ως:

$$SL = 20 \log_{10} \frac{S}{S_0} \, \mathrm{dB}$$
 (2.2)

όπου:

 $S_0$  είναι η ευαισθησία αναφοράς, ίση (συνήθως) με 1 VPa<sup>-1</sup>, και όλα τα άλλα μεγέθη όπως έχουν οριστεί προηγουμένως.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως περί κατασκευαστικών χαρακτηριστικών και φυσικών περιορισμών, τόσο η ευαισθησία (S), όσο και η στάθμη ευαισθησίας (SL) εξαρτάται αφενός από την συχνότητα και, αφετέρου, από την γωνία λήψης/πρόσπτωσης του ήχου. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να αναφέρεται τόσο η συχνότητα όσο και ο τρόπος, αναφορικά με την γωνία πρόσπτωσης του ήχου, μέτρησης της ευαισθησίας. Στο σημείο αυτό αξίζει επίσης να σημειωθεί πως, ειδικά για το μικρόφωνο, και αναλόγως με τις συνθήκες μέτρησης, ορίζονται τρεις διαφορετικοί τύποι ευαισθησίας:

- 1.<u>Πίεσης ανοιχτού κυκλώματος</u>, όπου είναι ο λόγος της ενεργούς τάσης στην έξοδο του μικροφώνου και της ενεργούς τιμής της πίεσης του κάθετου ως προς το διάφραγμα του μικροφώνου κύματος
- 2.<u>(Ελεύθερου) Πεδίου ανοικτού κυκλώματος</u>, όπου, κάτω από ειδικές συνθήκες μέτρησης, μετριέται η αύξηση στην πίεση λόγω των διαστάσεων του μικροφώνου, και
- 3. <u>Διάχυτου πεδίου</u>, όπου μετριέται η ευαισθησία του μικροφώνου στο διάχυτο ηχητικό πεδίο (ηχητικό κύμα από όλες τις κατευθύνσεις).

#### 2.2.2.Απόκριση συχνότητας

Η στάθμη ευαισθησίας μπορεί να αναπαρασταθεί γραφικά σε συνάρτηση με την συχνότητα του ήχου. Το παραγόμενο διάγραμμα ονομάζεται απόκριση συχνότητας. Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα απόκρισης συχνότητας για το μικρόφωνο TLM 49 της εταιρείας Neumann<sup>1</sup>.



Εικόνα 2.1. Διάγραμμα απόκρισης συχνότητας του μικροφώνου TLM 49 της εταιρείας Neumann.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> <u>http://www.neumann.com/?id=start&lang=en</u>

#### 2.3. Κατευθυντικότητα, διάγραμμα κατευθυντικότητας και λοβός μικροφώνου

#### 2.3.1.Κατευθυντικότητα

Οπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες, η ευαισθησία (άρα και η παραγόμενη ακουστική ή ηλεκτρική ενέργεια) των ηλεκτροακουστικών μετατροπέων εξαρτάται όχι μόνο από την συχνότητα του ηχητικού κύματος, αλλά και από την γωνία μετάδοσης/λήψης του ήχου.

Η επίδραση της γωνίας στην ευαισθησία και κατά συνέπεια στην παραγόμενη ακουστική ενέργεια του ηλεκτροακουστικού μετατροπέα ονομάζεται κατευθυντικότητα (directivity) και συμβολίζεται ως *H(θ, φ)*. Το μέγεθος αυτό είναι ο λόγος της παραγόμενης ακουστικής ενέργειας υπό γωνία προς την παραγόμενη ακουστική ενέργεια στον άξονα αναφοράς. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως ως άξονας αναφοράς ορίζεται ο κάθετος ως προς τον μηχανισμό μετατροπής άξονας του ηλεκτροακουστικού μετατροπέα (δηλαδή το διάφραγμα στην περίπτωση του μικροφώνου). Συνεπώς, για τον ορισμό της κατευθυντικότητας, θα πρέπει να σημειώνεται τόσο η συχνότητα, εφόσον η ευαισθησία είναι εξαρτώμενη από την συχνότητα, όσο και η γωνία λήψης του ακουστικού κύματος ως προς τον άξονα του μικροφώνου.

Με βάση τα παραπάνω, για ένα συγκεκριμένο μικρόφωνο η κατευθυντικότητα ορίζεται ως ο λόγος της ευαισθησίας του μικροφώνου για ένα υπό γωνία (ϑ, φ) προσπίπτον κύμα προς την ευαισθησία του μικροφώνου για ένα κύμα που λαμβάνεται στον άξονα αναφοράς, δηλαδή:

$$H_{(\theta,\varphi)} = \frac{S_{(\vartheta,\varphi)}}{S}$$
(2.3)

όπου:

 $H_{(\vartheta, \varphi)}$  είναι η κατευθυντικότητα αναφορικά με τις γωνίες ( $\vartheta, \varphi$ ) από το κέντρο του διαφράγματος

του μικροφώνου,

 $S_{(\theta, \phi)}$  είναι η ευαισθησία του μικροφώνου αναφορικά με τις γωνίες ( $\vartheta, \phi$ ), σε VPa<sup>-1</sup>, και

S είναι η ευαισθησία του μικροφωνου όταν  $\vartheta = \varphi = 0$ , σε VPa<sup>-1</sup>.

Το εικοσαπλάσιο του λογάριθμου - με βάση δέκα - της κατευθυντικότητας ονομάζεται κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας (angular directivity gain) και δίνεται από την Εξίσωση 2.4:

$$D_{(\vartheta,\varphi)} = 20\log_{10}H_{(\vartheta,\varphi)}$$
(2.4)

όπου:

 $D_{(artheta, arphi)}$  είναι το κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας σε dB, και όλα τα άλλα μεγέθη όπως έχουν

οριστεί προηγουμένως. Επίσης, ορίζεται εδώ και η γωνία κάλυψης του μικροφώνου η οποία είναι ίση με το γωνιακό εύρος κατά το οποίο το κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας δεν μειώνεται περισσότερο από 3 dB (ή 6 dB ή 9dB) σε σχέση με το κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας στον κεντρικό άξονα.

#### 2.3.2.Διάγραμμα κατευθυντικότητας και λοβός μικροφώνου

Η γραφική αναπαράσταση του κέρδους γωνιακής κατευθυντικότητας ανά συχνότητα υπό μορφή πολικού διαγράμματος ονομάζεται διάγραμμα κατευθυντικότητας. Η γραφική αναπαράσταση του κέρδους κατευθυντικότητας ενός μικροφώνου για την συχνότητα των χιλίων κύκλων ανά

δευτερόλεπτο (1kHz) ονομάζεται λοβός του μικροφώνου. Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατευθυντικότητας του μικροφώνου SM 58, της εταιρείας Shure<sup>2</sup>.



Εικόνα 2.2. Διάγραμμα κατευθυντικότητας του μικροφώνου SM 58, της εταιρείας Shure.

Οι κυριότερες μορφές κατευθυντικότητας (λοβοί) των μικροφώνων είναι οι εξής πέντε:

- 1.Παντοκατευθυντική (omni-directional), όπου το μικρόφωνο παρουσιάζει το ίδιο κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας σε όλες τις κατευθύνσεις
- 2. Καρδιοειδής (cardioid), όπου το μικρόφωνο παρουσιάζει:
  - ελαττωμένο κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας 45° αριστερά και δεξιά από τον κεντρικό άξονα, έμπροσθεν του διαφράγματος,
  - ελαττωμένο, έως μηδενικό, κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας όπισθεν του διαφράγματος και υπό γωνία και
  - μηδενικό κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας ακριβώς όπισθεν του διαφράγματος
- 3.Υπερκαρδιοειδής (hyper-cardioid), όπου το μικρόφωνο παρουσιάζει ελαττωμένο, σε σχέση με τον καρδιοειδή λοβό, κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας 90° αριστερά και δεξιά του κεντρικού άξονα και αυξημένο, πάλι σε σχέση με τον καρδιοειδή λοβό, κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας όπισθεν του διαφράγματος
- 4.Σούπερ Καρδιοειδής (super-cardioid), συχνά συγχέεται με τον υπερ-καρδιοειδή λόγω της μετάφρασης των λέξεων «hyper» και «super», όπου το μικρόφωνο παρουσιάζει ελαττωμένο κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας όπισθεν του διαφράγματος σε σχέση με τον υπερ-καρδιοειδή.
- 5.Δικατευθυντικός ή τύπου/σχηματισμού «οχτώ» (bi-directional ή figure of 8) όπου το μικρόφωνο παρουσιάζει μηδενικό κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας 90° αριστερά και δεξιά του κεντρικού άξονα

Στην Εικόνα 2.3 (α, β, γ, δ και ε) απεικονίζονται αντίστοιχα οι προαναφερθείσες βασικές μορφές κατευθυντικότητας μικροφώνων.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> <u>http://www.shure.com/index.htm</u>



**Εικόνα 2.3.** Οι βασικοί λοβοί των μικροφώνων: α) Παντοκατευθυντικός, β) Καρδιοειδής, γ) Υπερκαρδιοειδής, δ) Σούπερ-καρδιοειδής, ε) Δικατευθυντικός

Στο σημείο αυτό πρέπει επίσης να σημειωθεί πως πλέον των βασικών λοβών υπάρχουν και παραλλαγές αυτών, όπως παραλλαγές του καρδιοειδούς (sub-cardioid), ή/και λοβοί δημιουργημένοι με τεχνικές ακύρωσης των υπό γωνία ηχητικών σημάτων, όπως ο κατευθυντικός - shotgun. Η κύρια διαφορά των λοβών αυτών με τους βασικούς είναι το κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας 90<sup>0</sup> εκατέρωθεν του βασικού άξονα όπως και όπισθεν του διαφράγματος.

#### 2.4. Μεθοδολογία μετρήσεων

Με βάση τον ορισμό που δόθηκε στην Ενότητα 2.2.1., η εκτίμηση της τιμής της ευαισθησίας ενός μικροφώνου συνίσταται στην μέτρηση της ηλεκτρικής εξόδου του (τάσης – σε Volt) υπό δεδομένη (γνωστή) στάθμη ηχητικής πίεσης. Στην Εικόνα 2.4 περιγράφεται η παραπάνω διαδικασία μέτρησης.

Πριν από κάθε μέτρηση, πρέπει να διασφαλιστεί (μέσω της ρύθμισης του σχετικού κέρδους) ότι η επιτυγχανόμενη ηχητική στάθμη από την αναπαραγωγή των ηχητικών σημάτων ελέγχου είναι σταθερή (και ίση με 94dB-SPL για τους σκοπούς της παρούσας άσκησης). Αυτό είναι πολύ σημαντικό δεδομένου ότι τα υποσυστήματα ηχητικής αναπαραγωγής (συμπεριλαμβανομένου και του χώρου αναπαραγωγής) έχουν μεταβλητή απόκριση συχνότητας, γεγονός που δεν συνεπάγεται ίδια τιμή ηχοστάθμης υπό σταθερό κέρδος αναπαραγωγής. Για το λόγο αυτό, στα πλαίσια της άσκησης θα χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα καταγραφής στάθμης ηχητικής πίεσης (ηχόμετρο) για την μέτρηση της επιτυγχανόμενης στάθμης ηχητικής πίεσης. Λόγω της στάθμισης που χρησιμοποιεί το ηχόμετρο, η στάθμη ηχητικής πίεσης που θα πρέπει να αναγράφεται στην οθόνη ένδειξης τιμών θα πρέπει να αντιστοιχεί σε πραγματική στάθμη ηχητικής πίεσης ίσης με 94 dB-SPL, κάνοντας χρήση των τιμών του Πίνακα 2.1. Το ηχόμετρο και η λειτουργία του περιγράφονται αναλυτικά στην Ενότητα 7.1.1.



Εικόνα 2.4. Διαδικασία μέτρησης της ευαισθησίας ενός μικροφώνου

Συχνότητα (Hz)	Τιμές φίλτρου στάθμισης Α (dB)	Συχνότητα (Hz)	Τιμές φίλτρου στάθμισης Α (dB)
20	-50.5	800	-0.8
25	-44.7	1000	0
31.5	-39.4	1250	+0.6
40	-34.6	1600	+1.0
50	-30.2	2000	+1.2
63	-26.2	2500	+1.3
80	-22.5	3150	+1.2
100	-19.1	4000	+1.0
125	-16.1	5000	+0.5
160	-13.4	6300	-0.1
200	-10.9	8000	-1.1
250	-8.6	10000	-2.5
315	-6.6	12500	-4.3
400	-4.8	16000	-6.6
500	-3.2	20000	-9.3
630	-1.9		

Πίνακας 2.1. Πίνακας τιμών φίλτρου στάθμισης Α.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης άσκησης, η μέτρηση της απόκρισης συχνότητας θα πραγματοποιηθεί σε συχνότητες οκτάβας. Ειδικά για την κατευθυντικότητα, οι γωνίες που θα θεωρηθούν είναι από 0 έως 180 μοίρες με βήμα 45 μοιρών (Πίνακας 2.2). Για την δημιουργία των ηχητικών σημάτων θα χρησιμοποιηθεί η MATLAB και το αρχείο singen.m που βρίσκεται στον κατάλογο της εργαστηριακής άσκησης στο eClass. Εφόσον μεταφορτωθεί ο φάκελος στον υπολογιστή, θα πρέπει να αποσυμπιεστεί και να εισαχθεί το αρχείο singen.m στη MATLAB. Πληροφορίες σχετικά με το αρχείο μπορούν να βρεθούν στο κώδικα του αρχείου (ο κώδικας μπορεί να εξετασθεί, είτε με την εντολή open της MATLAB, είτε ανοίγοντας το αρχείο από τον Editor της MATLAB).

#### Πίνακας 2.2. Συχνότητες και γωνίες μέτρησης

		Συχνότ	ητα (Hz)			
125	250	500	1000	D	2000	4000
		Γωνίες μ	ιέτρησης			
0°	45°	9	0°		135°	180°

Πιο συγκεκριμένα, και με βάση το σχήμα της Εικόνας 2.4, για την υλοποίηση της άσκησης θα πρέπει να υλοποιηθούν τα ακόλουθα βήματα:

- 1.Να δημιουργηθούν οι τόνοι σταθερού πλάτους (ιδανικά OdB-FS) και διαφορετικών συχνοτήτων, με βάση τις τιμές συχνοτήτων του Πίνακα 2.2.
- 2. Να συνδεθεί κατάλληλα το σύστημα αναπαραγωγής ήχου στον ηλεκτρονικό υπολογιστή που θα παράγει τα τονικά ηχητικά σήματα (γεννήτρια ημιτόνων).
- 3. Να συνδεθεί το ψηφιακό πολύμετρο στους ακροδέκτες του μικροφώνου, σύμφωνα με τις οδηγίες της Ενότητας 2.4.1.
- 4. Να ληφθούν οι απαραίτητες μετρήσεις τάσης στην έξοδο του μικροφώνου, σύμφωνα με τις Ενότητες 2.4.1. και 2.4.2.
- 5. Να πραγματοποιηθεί επεξεργασία των παραπάνω μετρήσεων με στόχο τη δημιουργία των ζητούμενων αποτελεσμάτων διαγραμμάτων.

#### 2.4.1. Μέτρηση απόκρισης συχνότητας μικροφώνου στον κεντρικό άξονα

Πριν την υλοποίηση των μετρήσεων θα πρέπει να συνδεθεί το πολύμετρο, που παρουσιάζεται στην Ενότητα 7.1.2., με το μικρόφωνο για την μέτρηση της παραγόμενης τάσης. Ο συζευκτήρας του μικροφώνου είναι αρσενικός τύπου XLR3 και περιγράφεται στην Ενότητα 7.2.1.

Για την μέτρηση της παραγόμενης εναλλασσόμενης τάσης από το μικρόφωνο, θα πρέπει να συνδεθούν οι οδοντωτοί προσαρμογείς στους ακροδέκτες 2 και 3. Για την στήριξη του μικροφώνου θα χρησιμοποιηθεί η παρεχόμενη βάση στήριξης του μικροφώνου.

Το μικρόφωνο θα πρέπει να απέχει 1 μέτρο από το κέντρο του διαφράγματος του ηχείου του συστήματος παραγωγής ήχου και ο κεντρικός του άξονας να ταυτίζεται με τον κεντρικό άξονα του ηχείου του συστήματος παραγωγής ήχου. Για κάθε αναπαραγόμενο τονικό σήμα, θα πρέπει να σημειώνονται οι αντίστοιχες παραγόμενες τάσεις από το μικρόφωνο. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω των ανακλάσεων του ήχου μέσα στο περιβάλλον της αίθουσας ενδέχεται να υπάρχουν αυξομειώσεις της παραγόμενης, από το μικρόφωνο τάσης. Εάν συμβεί αυτό, θα πρέπει να καταγραφεί κατά την μέτρηση η πλησιέστερη, προς τον μέσο όρο των τάσεων, τάση.

#### 2.4.2. Μέτρηση κατευθυντικότητας/προσδιορισμός λοβού του μικροφώνου

Για την μέτρηση της κατευθυντικότητας (προσδιορισμό του λοβού) του μικροφώνου, θα πρέπει να μετρηθούν οι παραγόμενες από το μικρόφωνο τάσεις κατά την αναπαραγωγή ήχου πλήρους πλάτους (0dB-FS) χιλίων κύκλων ανά δευτερόλεπτο (1kHz). Οι γωνίες για τις οποίες θα γίνουν μετρήσεις είναι αυτές που αναφέρονται στον Πίνακα 2.2. Η στάθμη ηχητικής πίεσης που θα δέχεται το μικρόφωνο και η απόσταση (σε σχέση με το ηχείο) του μικροφώνου θα πρέπει να είναι ίδια με αυτή της Ενότητας 2.4.1.

Σε αντίθεση με την Ενότητα 2.4.1, θα γίνουν μετρήσεις για διαφορετικές γωνίες. Ετσι, για την γωνία των 45°, θα πρέπει να τοποθετηθεί το μικρόφωνο με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζεται γωνία 45° μεταξύ του κεντρικού άξονα του μικροφώνου και του κεντρικού άξονα του ηχείου. Αντιστοίχως και για τις υπόλοιπες γωνίες. Θα πρέπει να σημειωθεί πως, οι μετρήσεις της κατευθυντικότητας θα γίνουν για τις γωνίες που αναφέρονται στον Πίνακα 2.2 δεξιά και αριστερά του κεντρικού άξονα του μικροφώνου.

είναι στις 0°, για την γωνία των 45° μοιρών θα γίνουν μετρήσεις 45° δεξιά από τον κεντρικό άξονα, δηλαδή στις 45°, και 45° αριστερά από τον κεντρικό άξονα, δηλαδή στις 315° ή -45°.

Οι μετρήσεις θα πρέπει να καταγραφούν για κάθε μία από τις αναφερόμενες γωνίες. Οπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, λόγω των ανακλάσεων του ήχου μέσα στο περιβάλλον της κλειστής αίθουσας, ενδέχεται να υπάρχουν αυξομειώσεις της παραγόμενης από το μικρόφωνο τάσης. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να καταγραφεί η πλησιέστερη, προς τον μέσο όρο των τάσεων, τάση.

#### 2.4.3. Μέτρηση της εξόδου (τάσης) του μικροφώνου

Η μέτρηση της εξόδου – τάσης του μικροφώνου θα γίνει με χρήση ειδικού καταγραφικού οργάνου – μετρητή τάσης. Το ψηφιακό πολύμετρο (digital multimeter) που θα χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση της παρούσας άσκησης (DT 830B) παρουσιάζεται στην Ενότητα 7.1.2. Συνοδεύεται από ειδικά καλώδια και οδοντωτούς προσαρμογείς των καλωδίων («κροκοδειλάκια») σε πιθανούς ακροδέκτες, για την διευκόλυνση της διατήρησης της συνεχούς επαφής των ακροδεκτών των καλωδίων με τους ακροδέκτες/επαφές του προς μέτρηση εξαρτήματος. Η λειτουργία τόσο του ψηφιακού πολύμετρου όσο και των ειδικών καλωδίων περιγράφεται επίσης στην Ενότητα 7.1.2.

Για την διεξαγωγή μέτρησης στο ψηφιακό πολύμετρο θα πρέπει να συνδεθούν τα παρεχόμενα καλώδια, να προσαρμοστούν οι ακροδέκτες ή οι οδοντωτοί προσαρμογείς στις κατάλληλες επαφές (ακροδέκτες) του μικροφώνου και να ρυθμιστεί το κατάλληλο εύρος των τιμών του πολύμετρου.

#### 2.5. Επεξεργασία μετρήσεων

#### 2.5.1. Διαγράμματα απόκρισης συχνότητας

Σύμφωνα με τις καταγεγραμμένες τιμές της τάσης του μικροφώνου και ακολουθώντας τις διαδικασίες που αναφέρονται στην Ενότητα 2.4.1, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα διάγραμμα απόκρισης συχνότητας του μικροφώνου. Χρησιμοποιώντας την Εξίσωση 2.1 θα υπολογισθεί η στάθμη ευαισθησίας ανά συχνότητα. Κατόπιν, χρησιμοποιώντας την Εξίσωση 2.2 θα βρεθεί η στάθμη ευαισθησίας ανά συχνότητα. Τέλος, κάνοντας χρήση κατάλληλου λογισμικού (ενδεικτικά MATLAB ή Excel) θα σχεδιαστούν οι τιμές της στάθμης ευαισθησίας ανά συχνότητα σε σχέση με την συχνότητα σε κατάλληλο διάγραμμα.

#### 2.5.2. Διαγράμματα κατευθυντικότητας

Τα πολικά διαγράμματα κατευθυντικότητας μπορούν να δημιουργηθούν με χρήση του περιβάλλοντος MATLAB, μέσω της εντολής plot. Για την σύνταξη της εντολής αυτής απαιτούνται δύο ορίσματα, οι γωνίες σε ακτίνια (radians) και οι αντίστοιχες τιμές ανά γωνία. Για την μετατροπή μίας γωνίας από μοίρες σε ακτίνια θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί η τιμή της γωνίας, σε μοίρες, με π/180°. Λόγω όμως της υλοποίησης της εντολής plot της MATLAB, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία παραλλαγή της εντολής plot, η dirplot, η οποία δημιουργεί ένα πολικό διάγραμμα όμοιο με αυτά που χρησιμοποιούνται συνήθως για την γραφική αναπαράσταση της κατευθυντικότητας. Η διαφορά της εντολής dirplot είναι ότι το όρισμα των γωνιών είναι σε μοίρες και όχι σε ακτίνια.

Λόγω του ότι η εντολή dirplot δεν υπάρχει ενσωματωμένη μέσα στον πυρήνα εντολών της MATLAB, για να χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να μεταφορτωθεί ένα αρχείο τύπου .zip από τη διεύθυνση:

http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/1251-dirplot? controller=file\_infos&download=true να αποσυμπιεστεί και να εισαχθούν τα περιεχόμενα αρχεία στην MATLAB. Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με την χρήση αλλά και τα στοιχεία των αρχείων αυτών υπάρχουν στην διεύθυνση:

http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/1251-dirplot

Επίσης, πληροφορίες σχετικά με την χρήση της συνάρτησης/εντολής dirplot μπορούν να βρεθούν κάνοντας χρήση της εντολής help της MATLAB.

Ετσι, ένα παράδειγμα χρήσης της εντολής dirplot για την δημιουργία μιας γραφικής αναπαράστασης της κατευθυντικότητας είναι:

>> gwnia = [0 45 90 135 180 -135 -90 -45 0];
>> D = [1 0 -1 -3 -6 -3 -1 0 1];
>> dirplot(gwnia,D)

όπου παράγεται το διάγραμμα της Εικόνας 2.5.



**Εικόνα 2.5.** Παράδειγμα παραγόμενου διαγράμματος κατευθυντικότητας με την εντολή dirplot της MATLAB.

18 Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων

# Εργαστηριακή Ασκηση #2 "Μέτρηση Λόγου Σήματος Προς Θόρυβο Συστήματος Ηχητικής Μείξης"

#### 3.1. Εισαγωγή

Με τον χαρακτηρισμό ως θορύβου οποιουδήποτε σήματος περιέχει ανεπιθύμητη πληροφορία, είναι αναπόφευκτο το ερώτημα του κατά πόσο επηρεάζει ο θόρυβος την λήψη της επιθυμητής πληροφορίας. Μελέτες έχουν γίνει, και εξακολουθούν να γίνονται, προς τον προσδιορισμό της λύσης του παραπάνω "προβλήματος". Στα πλαίσια των μελετών αυτών, μεταξύ άλλων, έχει πραγματοποιηθεί ακόμα και συσχέτιση του θορύβου με την καταληπτότητα της ομιλίας, όταν π.χ. η δεύτερη αναπαράγεται από ένα ηλεκτροακουστικό σύστημα μέσα σε ένα χώρο.

Πιο συγκεκριμένα, πριν την ουσιαστική κατάργηση των κασετών ηχογράφησης από την αγορά, συχνά απαντιόταν το φαινόμενο της «όχι καλής καταγραφής» στην κασέτα, εννοώντας ως τέτοια την καταγραφή που εμπεριείχε περισσότερο του επιθυμητού θορύβου. Παράλληλα, συχνά γίνεται η κατηγοριοποίηση των μετρητικών μικροφώνων σε σχέση με τα επαγγελματικά βάσει του θορύβου που εισάγεται στο σήμα από το ίδιο το μικρόφωνο. Το ίδιο ισχύει προφανώς και για όλα τα υπόλοιπα στάδια και υποσυστήματα της αλυσίδας καταγραφής ή αναπαραγωγής του ήχου. Για τους παραπάνω λόγους, έχει ορισθεί ένα γενικό μέτρο για τον ποσοτικό προσδιορισμό του εισαγόμενου θορύβου στον πραγματικό ήχο σε σχέση με το τελικά παραγόμενο σήμα, το οποίο καλείται λόγος σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Ratio - SNR).

Σκοπός της παρούσας εργαστηριακής άσκησης είναι ο ποσοτικός προσδιορισμός του λόγου σήματος προς θόρυβο για έναν μείκτη ήχου. Για τον σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί ένας μετρητής τάσης, ο μείκτης/κονσόλα υπό μέτρηση, καθώς και ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής.

#### 3.2. Μείκτης ήχου

Μία ευρέως χρησιμοποιούμενη βαθμίδα της ροής/αλυσίδας του ηχητικού σήματος σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα καταγραφής ή αναπαραγωγής είναι το σύστημα της μείξης του σήματος, το οποίο συνήθως περιλαμβάνει τα υποσυστήματα συνδυασμού, τροποποίησης, εξασθένισης (ή/ και ενίσχυσης) και δρομολόγησης του ήχου και είναι γνωστό ως "κονσόλα" μείξης ήχου. Μια απλοποιημένη υλοποίηση αυτής είναι ο μείκτης (πιο σωστά ο μείκτης ήχου, αν και αναφέρεται συνήθως απλά ως «μείκτης»), όπου, συνήθως, διαφέρει από την κονσόλα μείξης ήχου ως προς τις διαθέσιμες εισόδους, εξόδους και επιλογές τροποποίησης του σήματος. Στην Εικόνα 3.1 είναι μία κονσόλα ήχου της εταιρίας Midas και στην Εικόνα 3.2 ένας μείκτης, της εταιρίας Behringer.



Εικόνα 3.1. Κονσόλα ήχου της εταιρείας Midas



Εικόνα 3.2. Μείκτης ήχου της εταιρείας Behringer

Ο μείκτης ή/και η κονσόλα μείξης ήχου, δέχεται στην είσοδό του ένα ή περισσότερα σήματα και παράγει ως έξοδο των συνδυασμό αυτών των σημάτων, σύμφωνα με το διάγραμμα στην Εικόνα 3.3.



Εικόνα 3.3. Σχηματικό διάγραμμα δρομολόγησης του σήματος με την χρήση ενός μείκτη ήχου

#### 3.3. Λόγος σήματος προς θόρυβο

Σύμφωνα με το διάγραμμα στην Εικόνα 3.4, το αρχικό σήμα, *x(t)*, εισέρχεται στον μείκτη όπου προστίθεται και ο θόρυβος *n(t)*, τροποποιείται και εξέρχεται ως τελικό σήμα *y(t)*. Για την απλούστευση του διαγράμματος δεν σημειώνεται η όποια επιθυμητή τροποποίηση/επεξεργασία του σήματος εισόδου.



Εικόνα 3.4. Σχηματικό διάγραμμα πρόσθεσης θορύβου στο αρχικό σήμα.

Με βάση τα παραπάνω, για το σήμα y(t) ισχύει:

$$y(t) = x(t) + n(t)$$

όπου:

x(t)είναι το αρχικό σήμα,

n(t)είναι ο θόρυβος που εισέρχεται στο σήμα από τον μείκτη, και

y(t)είναι το τελικό σήμα που εξέρχεται από τον μείκτη

Δεδομένου ότι ο θόρυβος είναι χαρακτηριστικό του συστήματος (και άρα παρατηρείται και χωρίς την διέγερση του συστήματος από το σήμα x(t) μπορεί να μετρηθεί απουσία της εισόδου x(t). Επίσης, μπορεί να μετρηθεί η έξοδος του συστήματος y(t) με είσοδο σήματος πλάτους ίσου με το μέγιστο επιτρεπόμενο, όπου ως επιτρεπόμενο νοείται το μέγιστο πλάτος κατά το οποίο δεν παρουσιάζεται ψαλιδισμός του σήματος.

Ετσι, μπορεί να οριστεί ο λόγος της μέγιστης rms τιμής του σήματος της εξόδου προς της rms τιμής του θορύβου. Τοο εικοσαπλάσιο του δεκαδικού λογάριθμου του λόγου αυτού, είναι το μέγεθος SNR:

$$SNR = 20\log_{10}\left(\frac{y(t)}{n(t)}\right)$$
(3.2)

όπου όλα τα μεγέθη έχουν οριστεί προηγουμένως.

#### 3.4. Μεθοδολογία μετρήσεων

Με βάση τη διαδικασία που αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.3, για την μέτρηση της rms τιμής του θορύβου θα πρέπει να μετρηθεί ο παραγόμενος θόρυβος από τον μείκτη απουσία σήματος εισόδου. Επίσης, θα πρέπει να μετρηθεί η rms τιμή του σήματος εξόδου του μείκτη με είσοδο σήματος μέγιστου πλάτους χωρίς την παρουσία του φαινόμενου του ψαλιδισμού. Η Εικόνα 3.5 απεικονίζει το σχηματικό διάγραμμα της πειραματικής διάταξης για τις παραπάνω μετρήσεις αντίστοιχα.



Εικόνα 3.5. Σχηματικό διάγραμμα της πειραματικής διάταξης. α) Μέτρηση του θορύβου του συστήματος, β)Μέτρηση της εξόδου του συστήματος με είσοδο σήματος μέγιστου πλάτους χωρίς την παρουσία του φαινόμενου του ψαλιδισμού

Ως γεννήτρια ήχου θα χρησιμοποιηθεί ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Η γεννήτρια υλοποιείται σε επίπεδο λογισμικού (περιβάλλον MATLAB) μέσω του m-αρχείου με όνομα singen το οποίο

μπορεί να βρεθεί στον κατάλογο του υλικού των εργαστηριακών ασκήσεων στο e-Class. Το παραγόμενο σήμα για τους σκοπούς της εργαστηριακής άσκησης θα είναι ημιτονικό, συχνότητας οκτάβας (125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz και 8kHz) και πλάτους 0dB-FS.

Για την μεγιστοποίηση της μετρούμενης τιμής SNR, θα πρέπει να ρυθμιστεί το συνολικό κέρδος, στο κανάλι της κονσόλας ήχου που χρησιμοποιείται, έτσι ώστε οριακά να μην παρουσιάζεται το φαινόμενο ψαλιδισμού παρουσία του σήματος εισόδου. Εν συνέχεια, θα πρέπει να διακοπεί το σήμα εισόδου και, χωρίς να μεταβληθεί το συνολικό κέρδος της κονσόλας μίξης ήχου, θα πρέπει να μετρηθεί η τιμή της τάσης στην έξοδό της, απουσία του σήματος εισόδου. Η παραπάνω διαδικασία μέτρησης πρέπει να επαναληφθεί για κάθε μία από τις παραπάνω συχνότητες ημιτονικές κυματομορφές και αναλύεται περαιτέρω στη συνέχεια.

#### 3.4.1.Μέτρηση τάσης εξόδου

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, αρχικά θα πρέπει να μετρηθεί η τάση που παράγεται στην έξοδο της κονσόλας μίξης ήχου όταν στην είσοδό της εφαρμόζεται το επιθυμητό ημιτονικό ηχητικό σήμα που παράγεται από την γεννήτρια ήχου. Για να επιτευχθεί η προηγούμενη διαδικασία, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν τα εξής, για κάθε μία από τις συχνότητες εισόδου που αναφέρονται στην Ενότητα 3.4:

- Δημιουργία ημιτονικού σήματος, πλήρης κλίμακας, με την χρήση της γεννήτριας ήχου
- Οδήγηση του σήματος στην είσοδο της κονσόλας μίξης ήχου
- Σύνδεση της εξόδου της κονσόλας μίξης ήχου σε σύστημα αναπαραγωγής ήχου
- Ρύθμιση του συνολικού κέρδους της κονσόλας μίξης ήχου ώστε οριακά να μην παρουσιάζεται το φαινόμενο του ψαλιδισμού. Ο έλεγχος για το φαινόμενο του ψαλιδισμού θα γίνεται με την προσεκτική ακρόαση της εξόδου της κονσόλας μίξης ήχου από το σύστημα αναπαραγωγής ήχου
- Αποσύνδεση του συστήματος αναπαραγωγής
- Μέτρηση της rms τιμής της τάσης στην έξοδο της κονσόλας μίξης ήχου

Για την μέτρηση της τάσης εξόδου θα χρησιμοποιηθεί ο μετρητής τάσης (πολύμετρο) και ο συζευκτήρας τύπου TRS που παρουσιάζονται στην Ενότητα 7.1.2 και αντιστοίχως 7.2.2.

#### 3.4.2.Μέτρηση θορύβου

Για την μέτρηση της rms τιμής του θορύβου θα πρέπει να μετρηθεί η τάση που θα παραχθεί στην έξοδο της κονσόλας μίξης ήχου, χωρίς να μεταβληθεί το συνολικό της κέρδος, απουσία του σήματος εισόδου.

Προ την κατεύθυνση αυτή, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν τα εξής βήματα, χωρίς να μεταβληθεί το συνολικό κέρδος της κονσόλας μίξης ήχου:

- Παύση της λειτουργίας της γεννήτριας ήχου
- Αποσύνδεση της γεννήτριας ήχου από την είσοδο της κονσόλας μίξης ήχου
- Μέτρηση της τάσης που παράγεται στην έξοδο της κονσόλας μίξης ήχου

#### 3.4.3.Επεξεργασία μετρήσεων

Εχοντας καταγράψει τις rms τιμές του θορύβου και του σήματος εξόδου του συστήματος με είσοδο σήματος πλάτους 0dB-FS, η τελική τιμή/μέτρηση του SNR του προς μέτρηση συστήματος προκύπτει μέσω της Εξίσωσης 3.2 με αντικατάσταση των αντίστοιχων τιμών ανά συχνότητα εισόδου.

# 4. Εργαστηριακή Ασκηση #3 "Μέτρηση απόκρισης ηχείου"

#### 4.1. Εισαγωγή

Κάθε υποσύστημα ή συνολική διαδοχή υποσυστημάτων μπορεί να δεχθεί μία είσοδο και να παράγει μία έξοδο και μπορεί να θεωρηθεί ως ένα «μαύρο κουτί» το οποίο παράγει μία έξοδο μετασχηματίζοντας κατάλληλα την είσοδο. Πολύ συχνά, υπάρχει η ανάγκη προσδιορισμού της επίδρασης του συστήματος στην είσοδό του. Με άλλα λόγια, δεδομένης μίας εισόδου ποια θα είναι η έξοδος ή και αντίστροφα, ποια ήταν η είσοδος στο σύστημα δεδομένης της εξόδου του; Ετσι, δεδομένου ότι η επίδραση του συστήματος στην είσοδο είναι χαρακτηριστικό του, ορίζεται η συμπεριφορά του συστήματος, η οποία ονομάζεται απόκρισή του.

Το ερώτημα που δημιουργείται είναι πώς μπορεί να διεγερθεί ένα συγκεκριμένο σύστημα έτσι ώστε το αποτέλεσμα (έξοδος) να περιγράφει εξ ολοκλήρου από την συμπεριφορά του (να παράγεται δηλαδή μία έξοδος που να αντιστοιχεί στην συμπεριφορά/απόκριση του συστήματος). Παράλληλα, ειδικά για τους ηλεκτροακουστικούς μετατροπείς τύπου μεγαφώνου / ηχείου, ένα σημαντικό ζήτημα είναι η απαίτηση για όσο το δυνατό πιο πιστή μετατροπή του σήματος εισόδου στην έξοδο του μετατροπέα.

Σκοπός της παρούσας εργαστηριακής άσκησης είναι η μέτρηση της απόκρισης ενός ηλεκτροακουστικού μετατροπέα – ηχείου, τόσο στο πεδίο του χρόνου (κρουστική απόκριση), όσο και στο πεδίο της συχνότητας (απόκρισης συχνότητας). Για τον σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί ειδικό λογισμικό ηλεκτροακουστικών μετρήσεων (πακέτο λογισμικού Sample Champion), ακολουθώντας συγκεκριμένη μεθοδολογία, η οποία παρουσιάζεται στη συνέχεια.

#### 4.2. Κρουστική απόκριση και απόκριση συχνότητας ηχείου

Δεδομένου ενός συστήματος, με είσοδο και έξοδο, υπάρχει η ανάγκη της γνώσης της «συμπεριφοράς» του τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας. Με τον τρόπο αυτό γίνεται κατανοητό το πώς μπορεί να επηρεάσει το σύστημα ένα δεδομένο σήμα εισόδου.

Ετσι, θεωρώντας το ηχείο ως ένα σύστημα, το οποίο έχει είσοδο (ηλεκτρικό ρεύμα) και έξοδο (ηχητική πίεση), η αναλυτική γνώση του τρόπου μετασχηματισμού του σήματος εισόδου μπορεί να χαρακτηρίσει τόσο την ποιότητα του ηχείου, όσο και να επιτρέψει τον προσδιορισμό της καταλληλότερης χρήσης του εν λόγω ηχείου με κριτήριο τις απαιτήσεις της εφαρμογής στα πλαίσια της οποίας θα χρησιμοποιηθεί.

#### 4.2.1.Κρουστική απόκριση ηχείου

Η κρουστική απόκριση ορίζεται από το ινστιτούτο ηλεκτρονικών και ηλεκτρολόγων μηχανικών (IEEE), ως η μεταβαλλόμενη με το χρόνο έξοδος ενός συστήματος, όταν η διέγερση είναι ο μοναδιαίος παλμός. Στην Εικόνα 4.1 δίνεται η σχηματική αναπαράσταση του παραπάνω ορισμού, θεωρώντας ότι x(t)=δ(t) (όπου δ(t) ο μοναδιαίος παλμός). Στην περίπτωση αυτή, y(t)=h(t), δηλαδή η έξοδος του συστήματος ισούται με την κρουστική του απόκριση.



Εικόνα 4.1. Σχηματική αναπαράσταση του ορισμού της κρουστικής απόκρισης

#### 24 Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων

Εάν το προς μελέτη σύστημα h(t) είναι ένα ηχείο, τότε προφανώς η κρουστική απόκριση είναι η κρουστική απόκριση του εν λόγω ηχείου. Γενικά, σύμφωνα με την Εικόνα 4.1, για ένα ηχείο ισχύει:

$$x_{(t)} * h_{(t)} = y_{(t)}$$
(4.1)

όπου:

 $x_{(t)}$  είναι η είσοδος που τροφοδοτεί το ηχείο,

h<sub>(t)</sub> είναι η κρουστική του απόκριση,

 $y_{(t)}$  είναι η έξοδος, και

ορίζει την πράξη της συνέλιξης.

#### 4.2.2.Απόκριση συχνότητας ηχείου

Ο μετασχηματισμός της κρουστικής απόκρισης στο πεδίο της συχνότητας αντιστοιχεί στην απόκριση συχνότητας H(f) του συστήματος που είχε την δεδομένη κρουστική απόκριση. Ετσι, μετασχηματίζοντας την Εξίσωση 4.1 στο πεδίο της συχνότητας, έχουμε:

$$X_{(f)} \times H_{(f)} = Y_{(f)}$$
 (4.2)

όπου:

 $X_{(f)}$  είναι ο μετασχηματισμός Fourier της εισόδου,

 $H_{(f)}$  είναι η απόκριση συχνότητας του συστήματος, και

 $Y_{(f)}$  είναι ο μετασχηματισμός Fourier της εξόδου.

### 4.3. Μεθοδολογία μετρήσεων

Οπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για την μέτρηση της κρουστικής απόκρισης ενός ηχείου θα πρέπει να εφαρμοσθεί στην είσοδό του ένας ηλεκτρικός παλμός (ο οποίος προσεγγίζει την ιδανική συνάρτηση δ(t)). Στην πράξη όμως, κάτι τέτοιο δεν είναι εύκολο να εφαρμοσθεί, καθώς, λόγω του ότι η ενέργεια της διέγερσης θα πρέπει να αποδοθεί σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, δεν υπάρχει δυνατότητα επίτευξης των απαιτούμενων υψηλών σταθμών ηχητικής πίεσης. Για το λόγο αυτό, στις μετρήσεις απόκρισης συχνότητας ηλεκτροακουστικών μετατροπέων έχει επικρατήσει η εφαρμογή σημάτων ψευδοτυχαίας ακολουθίας οι οποίες έχουν σαν βασικό χαρακτηριστικό το επίπεδο φάσμα (όπως π.χ. ο λευκός θόρυβος), παράγονται δε από γεννήτριες ψευδοτυχαίων αριθμών με τη μέγιστη δυνατή περίοδο. Για το λόγο αυτό τα σήματα αυτά ονομάζονται και Ακολουθίες Διαδοχής Μεγίστου Μήκους (Maximum Length Sequence, MLS).

Για την πραγματοποίηση της μέτρησης απόκρισης ενός ηχείου με χρήση MLS ακολουθίας, καταγράφεται η έξοδος του υπό μέτρηση ηχείου με χρήση ενός μικροφώνου και η έξοδος του μικροφώνου χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον υπολογισμό της συνάρτησης ετεροσυσχέτισης μεταξύ αυτής και της ακολουθίας MLS. Αποδεικνύεται μαθηματικά ότι η παραπάνω διαδικασία παράγει την κρουστική απόκριση h(t) του μετατροπέα.

Ενα δεύτερο σημείο που χρήζει προσοχής είναι το γεγονός ότι οι ηλεκτροακουστικές μετρήσεις συνήθως πραγματοποιούνται στο πεδίο διάχυσης (δηλαδή σε κλειστούς χώρους). Κατά συνέπεια είναι δεδομένο ότι η είσοδος του μικροφώνου καταγράφει και ηχητικό σήμα που φθάνει στο

διάφραγμά του μέσω ηχητικών ανακλάσεων στον χώρο. Για το λόγο αυτό είναι εξαιρετικά κρίσιμο να εντοπισθεί η πρώτη ανάκλαση στην μετρηθείσα κυματομορφή της κρουστικής απόκρισης και να εφαρμοσθεί παραθυροποίηση τύπου Hamming ή Hanning για την αποκοπή της από την κρουστική απόκριση. Προφανώς, η παραπάνω αποκοπή, συνεπάγεται μείωση του χρονικού εύρους της μέτρησης της κρουστικής απόκρισης και κατ' επέκταση περιορισμό προς τα πάνω του κάτω ορίου συχνοτήτων στην φάση του υπολογισμού της συχνοτικής απόκρισης. Η αντιμετώπιση του παραπάνω φαινομένου συνήθως καθίσταται δυνατή μέσω της πραγματοποίησης των ηλεκτροακουστικών μετρήσεων σε χώρους μεγάλου όγκου και με υψηλή απορρόφηση, έτσι ώστε η πρώτη ανάκλαση να καταφθάνει σε χρονική στιγμή μεταγενέστερη.

#### 4.4. Πραγματοποίηση μετρήσεων

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην εισαγωγική ενότητα, για την μέτρηση της κρουστικής απόκρισης και της απόκρισης συχνότητας του υπό μελέτη ηχείου θα χρησιμοποιηθεί το εξειδικευμένο λογισμικό ηλεκτροακουστικών μετρήσεων Sample Champion, το οποίο υλοποιεί όλους τους αλγορίθμους μέτρησης που αναφέρθηκαν προηγουμένως, τόσο στο πεδίο του χρόνου, όσο και της συχνότητας. Αφού συνδεθεί το ηχείο στην αντίστοιχη έξοδο και το μικρόφωνο στην αντίστοιχη είσοδο της κάρτας ήχου του υπολογιστή, από τις επιλογές του λογισμικού επιλέγουμε File -> New Impulse Response Window.

Επειτα, τοποθετώντας το μικρόφωνο σε αρκετά κοντινή απόσταση από το ηχείο, επιλέγουμε από τις επιλογές του λογισμικού Measure -> Start/Stop SYNC Rec/Play και πραγματοποιούμε την μέτρηση της κρουστικής απόκρισης του ηχείου. Το παράθυρο της κρουστικής απόκρισης, εφόσον ρυθμιστεί το εύρος του άξονα x, θα πρέπει να είναι περίπου όπως στην Εικόνα 4.2.



**Εικόνα 4.2.** Το παράθυρο της κρουστικής απόκρισης του λογισμικού Sample Champion.

Από τις επιλογές του παραθύρου της κρουστικής απόκρισης, επιλέγουμε Make/Change Selection Α και επιλέγουμε το προς επεξεργασία τμήμα της μετρηθείσας κρουστικής απόκρισης. Το παράθυρο της κρουστικής απόκρισης, έπειτα από την επιλογή του αντίστοιχου τμήματός της, θα πρέπει να είναι περίπου όπως στην Εικόνα 4.3.



**Εικόνα 4.3.** Τα παράθυρο της κρουστικής απόκρισης του λογισμικού Sample Champion με την επιλογή του προς επεξεργασία τμήμα της κρουστικής απόκρισης.

Επειτα, από τις επιλογές του λογισμικού, επιλέγουμε File -> New Measurement Window και από τις επιλογές που παρουσιάζονται επιλέγουμε Selection A in Impulse Response Window και στη συνέχεια ΟΚ. Η απόκριση συχνότητας του ηχείου θα πρέπει να παρουσιαστεί σε ένα παράθυρο όπως αυτό στην Εικόνα 4.4.



Εικόνα 4.4. Το παραγόμενο διάγραμμα της απόκρισης συχνότητας με την χρήση του λογισμικού Sample Champion.

# 5. Εργαστηριακή Ασκηση #4 "Μοντελοποίηση Ακουστικής Συμπεριφοράς Χώρου με Χρήση Λογισμικού Ακουστικής Εξομοίωσης"

#### 5.1. Εισαγωγή

Στους χώρους που σχεδιάζονται και κατασκευάζονται με σκοπό να υποστηρίξουν εκδηλώσεις, είτε καλλιτεχνικές (όπως θεατρικές παραστάσεις, μουσικές παραστάσεις κ.α.) είτε επαγγελματικές (όπως συνέδρια κ.λπ.), είτε, εν γένει, ανθρώπινες δραστηριότητες (όπως π.χ. οι κατοικίες και τα γραφεία), σημαντικό ρόλο στην καταλληλότητα της χρήσης τους έχει και η ακουστική συμπεριφορά τους. Π.χ., σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση 3046/304/89, που δημοσιεύτηκε στο Φ.Ε.Κ. 59/Δ/3-02-89, ορίζεται το επίπεδο ακουστικής άνεσης για τις κατοικίες σύμφωνα με την ηχομονωτική τους ικανότητα. Επίσης, έχει βρεθεί από έρευνες πως οι εργαζόμενοι σε γραφείο αποδίδουν καλύτερα όταν δεν επικρατεί γύρω τους απόλυτη ησυχία, γιατί έτσι μπορούν να νιώθουν πως δεν «ακούγονται» στους διπλανούς τους (δεν μειώνεται το αίσθημα της ιδιωτικότητάς τους). Παράλληλα, στην διεθνή βιβλιογραφία ορίζονται σαφώς τα όρια για τον χρόνο αντήχησης, κατά Sabine, σύμφωνα με την προοριζόμενη χρήση του εκάστοτε χώρου. Το ίδιο ισχύει και για άλλα θεσπισμένα κριτήρια, όπως π.χ. για την καταληπτότητα της ομιλίας.

Για τον κατάλληλο σχεδιασμό του χώρου, σύμφωνα με την επιθυμητή χρήση του και σε συνάρτηση με την ακουστική του συμπεριφορά, έχουν αναπτυχθεί διάφορα εργαλεία – εφαρμογές λογισμικού, τα οποία προσφέρουν δυνατότητα εξομοίωσης της ακουστικής συμπεριφοράς του χώρου και παρέχουν την δυνατότητα μελέτης της ακουστικής του συμπεριφοράς, εξάγοντας αποτελέσματα για κρίσιμα μεγέθη, όπως ο χρόνος αντήχησης, η ευκρίνεια, η καταληπτότητα, η στάθμη του απευθείας ηχητικού κύματος, η αναλογία απευθείας και πεδίου αντήχησης κ.ά. Τρία από τα πιο γνωστά λογισμικά που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό είναι το CATT Acoustics, της εταιρείας CATT με έδρα την Σουηδία, το EASE (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers), της εταιρείας Renkus – Heinz με έδρα την Καλιφόρνια (Η.Π.Α.), και το Odeon Room Acoustic Software, της εταιρείας Odeon με έδρα την Δανία.

Σκοπός της παρούσας εργαστηριακής άσκησης είναι η εξοικείωση με την χρήση ενός εκ των τριών αυτών λογισμικών, και συγκεκριμένα με το EASE, καθώς και η μοντελοποίηση και εισαγωγή του μοντέλου στο λογισμικό, ενός υποτιθέμενου χώρου. Για τον σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί το ειδικό λογισμικό, ακολουθώντας την συγκεκριμένη μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην συνέχεια.

#### 5.2. Το λογισμικό ακουστικής εξομοίωσης EASE

Το λογισμικό EASE, όπως υποδεικνύει και το όνομά του (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers), είναι ένα λογισμικό εξομοίωσης ακουστικής συμπεριφοράς. Μπορεί να υπολογίσει μία πληθώρα μεγεθών, όπως αυτά που ήδη αναφέρθηκαν στην εισαγωγή, κάνοντας χρήση της τεχνικής ανίχνευσης ακτίνων (ray tracing). Ο τρόπος-δομή της λειτουργίας του λογισμικού καθώς και η μεθοδολογία της δημιουργίας νέων προς μελέτη χώρων (projects) και εισαγωγής δεδομένων στο λογισμικό παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

#### 5.2.1.Δομή εργασίας του λογισμικού EASE

Ξεκινώντας για πρώτη φορά το λογισμικό EASE, η εικόνα που παρουσιάζεται στην οθόνη του υπολογιστή φαίνεται στην Εικόνα 5.1. Σε αυτή την εικόνα μπορεί κανείς να δει την έκδοση του λογισμικού, το εικονίδιο για την επιλογή είτε κάποιου πρότερου μοντέλου, είτε για την δημιουργία ενός νέου.

EASE 4.1										_ 8 ×
File Edit View Calculations Window Help										
S S S S S S S S S S S S S S S S S S S	ê 🖬 📓 🖨 🖉	5   🁬 💽 🏷	3							
EASE 4.1										
CASE 41     Orking     Probe     Australiation     Tools     Main Database	Start Working	Probe	Auralisation	Tools	Main Database	Register	About	Heb		

**Εικόνα 5.1**. Η αρχική εικόνα του λογισμικού EASE

Αξίζει να σημειωθεί πως το EASE δεν είναι ένα λογισμικό αλλά μία συλλογή – συνδυασμός από πολλά υποσυστήματα/βιβλιοθήκες λογισμικού τα οποία εκτελούν μία συγκεκριμένη λειτουργία και καλούνται από το κεντρικό λογισμικό, που είναι το EASE. Ετσι, εκτός από το EASE, που είναι το κεντρικό λογισμικό, είναι διαθέσιμα (ενδεικτικά) τα:

- EASEIMX, το οποίο εκτελεί την εξαγωγή/εισαγωγή έτοιμων μοντέλων χώρων,
- EASERoom, το οποίο επιτρέπει την εισαγωγή δεδομένων χώρου και την μοντελοποίηση του χώρου,
- EASESpkr, το οποίο διατηρεί την βάση δεδομένων με τα ηχεία και τις τιμές των τεχνικών χαρακτηριστικών τους (όπως π.χ. αυτές δίνονται από τους κατασκευαστές τους),
- EASEWall, το οποίο διατηρεί την βάση δεδομένων με τα δομικά υλικά των τοίχων,
- EASEMaps, το οποίο είναι υπεύθυνο για την δύο διαστάσεων γραφική απεικόνιση των λαμβανόμενων αποτελεσμάτων,

και άλλα. Στο σύνολό τους, μαζί με το κυρίως λογισμικό, πρόκειται για 19 υποσυστήματα λογισμικού τα οποία συνεργάζονται για την επίτευξη της συνολικής λειτουργικότητας του EASE.

Με βάση την παραπάνω προσέγγιση υλοποίησης, δεν υπάρχει η ανάγκη για την χειροκίνητη έναρξη των υποσυστημάτων αυτών, εφόσον το κεντρικό λογισμικό τα καλεί αυτόματα όταν απαιτείται. Ετσι, όταν γίνεται μία επιλογή από τον χρήστη που απαιτεί την έναρξη ενός άλλου υποσυστήματος λογισμικού, αυτό εκτελείται αυτόματα, με προϋπόθεση όμως να το κλείσει ο χρήστης όταν δεν το χρειάζεται πλέον. Αυτό σημαίνει, ότι θα πρέπει να πατηθεί το γνωστό, σε όλους, εικονίδιο του κλεισίματος ενός παραθύρου που υπάρχει σε όλα τα ανοιχτά παράθυρα, πάνω δεξιά, και σημειώνεται με το γράμμα «Χ».

#### 5.2.2.Δημιουργία νέου project

Για την δημιουργία ενός νέου μοντέλου («project» όπως θα αναφέρεται από εδώ και πέρα), υπάρχουν δύο επιλογές. Η πρώτη είναι η πάγια επιλογή για την δημιουργία νέων αρχείων σχεδόν σε όλα τα υποσυστήματα λογισμικού, όπου θα πρέπει να επιλεχθεί η επιλογή «New Project» από τον κατάλογο File. Ετσι, θα πρέπει να πάμε στο File -> New Project (ή πατώντας Ctrl + N για συντομία). Ο δεύτερος τρόπος είναι από την κύρια οθόνη του λογισμικού και από την επιλογή «Start Working». Κάνοντας διπλό κλικ στην επιλογή αυτή, εμφανίζονται τρεις επιλογές εκ των οποίων η μία είναι για την δημιουργία νέου project («Create Project»). Η πρώτη μέθοδος φαίνεται στην Εικόνα 5.2 ενώ η δεύτερη στην Εικόνα 5.3.

🚻 Create a New Project by Wasting Old Data				
File Edit View Calculations Window Help		ita		
New Project	Ctrl+N Ctrl+O			
Close Project	Carro			
Restore Projects				
EASE Viewer				
Project Options Import / Export				
Save Project	Christ	Auralisation	Tools	Main Databa
Save Project As	Ctrl+A			
Pack Project				
Main Databases	•			
Send Picture To	•			
Options	F9			
Modify Toolbar				
Exit		J		

**Εικόνα 5.2.** Η επιλογή "New Project" στον κατάλογο File

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως στην αρχική επιφάνεια του λογισμικού, δηλαδή στην επιφάνεια εργασίας του κεντρικού λογισμικού EASE, εάν έχετε πλοηγηθεί μέσα σε κάποιο κατάλογο, αυτός φαίνεται ακριβώς πάνω από εκεί που είναι η επιλογή «Create Project» στην Εικόνα 5.3. Ετσι, στην ίδια εικόνα μπορείτε να δείτε τον κατάλογο «Start Working» να εικονίζεται δεξιά και πάνω.



Εικόνα 5.3. Η επιλογή "Create Project" στον κατάλογο Start Working

Οποιον και από τους δύο τρόπους και εάν επιλέξετε, η επόμενη εικόνα που θα εμφανιστεί φαίνεται στην Εικόνα 5.4, και αφορά σε πληροφορίες σχετικές με την τοποθεσία αποθήκευσης

του αρχείου του νέου project. Ετσι, από την επιλογή «Browse» στο πεδίο «Project Path» μπορεί να επιλεχθεί η επιθυμητή τοποθεσία στο επιθυμητό μέσο αποθήκευσης για την αποθήκευση του project.

lp 11			16. A						
]] 🖬		1 🏛 🔛	10 Ø						
		Double-0 Project	Click to use: Create Em	ipty					
_									
				20	(A) AS			<b>A</b>	
	^\ '		EASE 4.0 Projec	t Options				Stor .	
	Create Empty Project	Amphith	Hall :	Project1				Gothic Dome	Multipu
			Project Path :	C:\EASE40Data\F	roiects40\Proiect1\		Browse	$\wedge$	
		$\Box$	Designet Cile Massara						
	Redoubt	She	Froject File Name :	[Project1				~ Tricube	
			Default Data Folde	ers					
			Type of File : Mapping File - (*.e	i (am:	Description				
			OpenGL File - (*.e Trace File - (*.trc)	g))´					
			Impact File - (*.mp Response File - (*	ic) .rspì					
			Binaural Impulse F Viewer Location F	Response - (*.bi	Perinner	1 0.4	unand 1		
			Packed Project -   GL Texture Map -	(*.ppj)	beginner		anced		
			User Defined RT User Defined Filte	- (*.exr) r - (*.exf) [	) efault to folder :				
			User Defined Nois	se - (*.exn) 🔽 🛛			▼ Add		
			L						
						Create	Cancel		

Εικόνα 5.4. Η εικόνα με τις επιλογές αποθήκευσης

Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως εάν επιλεχθεί η επιλογή «Create Project» από τον κατάλογο «Start Working» τότε υπάρχουν οι επιλογές για έτοιμα μοντέλα χώρων όπως αυτές που εικονίζονται στην Εικόνα 5.5.



Εικόνα 5.5. Οι επιλογές έτοιμων μοντέλων χώρων

#### 5.2.3.Κλείσιμο του project και αποθήκευση της εργασίας

Οπως μπορείτε να παρατηρήσετε, κατά την δημιουργία νέου project, στο αριστερό πεδίο της οθόνης εμφανίζεται ο αντίστοιχος κατάλογος του project με το αντίστοιχο όνομα. Για να κλείσετε το project σας θα πρέπει να επιλέξετε από τον κατάλογο File την επιλογή «Close project».



Εικόνα 5.6. Η επιλογή αποθήκευσης των αλλαγών από την επιφάνεια εργασίας του ανοιχτού project

Κατά τον ίδιο τρόπο, για την αποθήκευση των αλλαγών σας στο project σας θα πρέπει να επιλέξετε από τον κατάλογο File την επιλογή «Save project». Επίσης, υπάρχουν δύο εναλλακτικοί τρόποι για την αποθήκευση των αλλαγών. Ο πρώτος τρόπος είναι με διπλό κλικ στο εικονίδιο της δισκέτας στην επιφάνεια εργασίας του project σας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.6, και ο δεύτερος είναι με την επιλογή του εικονιδίου της δισκέτας πάνω από το πεδίο όπου εικονίζεται ο κατάλογος μέσα στον οποίο έχετε πλοηγηθεί, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.7.



Εικόνα 5.7. Η επιλογή αποθήκευσης των αλλαγών από την μπάρα εργασίας

Συνιστάται η συχνή αποθήκευση των αλλαγών!

#### 5.2.4.Εισαγωγή δεδομένων

Η εικόνα που συναντάει ο χρήστης όταν δημιουργήσει ένα νέο project φαίνεται στην Εικόνα 5.8. Σε αυτή μπορείτε να παρατηρήσετε, εκτός από το εικονίδιο της αποθήκευσης που αναφέρθηκε παραπάνω, ένα εικονίδιο ονομαζόμενο «Room Edit».

🚻 Project1 - EASE 4.1							_ 8 ×
File Edit View Calculations Window Help							
	- u 🔛 🖻 🖓	<b>N N N</b>					
Project1							
ASE 41  Astrop  Create Project  Recon Edit  Recon Acculate  Recon Acculate	Project Desktop	Room Edit Aiming and Diiertat	ion Standard View Architectural View	Mapping	Aura S Contracting and Minor Images of Database	Peck Project	Save Project
Project Path : d:\Documents\Project1	,						

Εικόνα 5.8. Η επιφάνεια εργασίας του νέου project

Κάνοντας διπλό κλικ στο προαναφερθέν εικονίδιο εμφανίζονται οι επιλογές που φαίνονται στην Εικόνα 5.9 και με την επιλογή του εικονιδίου «Modify Data» εκκινείται το ανάλογο λογισμικό για την εισαγωγή δεδομένων χώρου.



Εικόνα 5.9. Οι επιλογές για τα δεδομένα χώρου

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως η ανάποδη πλοήγηση, δηλαδή η επιστροφή στον προηγούμενο κατάλογο, γίνεται με την χρήση των αναπτυσσόμενων καταλόγων στο αριστερό μέρος της οθόνης του λογισμικού.

Επιλέγοντας το εικονίδιο «Modify Data» οδηγούμαστε στο περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων χώρου, όπου εικονίζεται στην Εικόνα 5.10. Η εισαγωγή των δεδομένων χώρου γίνεται με την χρήση πληκτρολογίου και ποντικιού. Ετσι, με το ποντίκι μπορεί ο χρήστης να προσδιορίσει το πού επιθυμεί να εισαχθεί ένα σημείο και έπειτα με την χρήση πληκτρολογίου να εισαγάγει ακριβώς τις συντεταγμένες του σημείου.



Εικόνα 5.10. Το περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων χώρου

#### 5.2.5.Εξαγωγή αποτελεσμάτων

Εάν έχουν εισαχθεί όλα τα κατάλληλα δεδομένα στο EASE, είναι πλέον δυνατή η εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικών με την ακουστική συμπεριφορά του μοντελοποιημένου χώρου. Θα πρέπει να σημειωθεί πως το EASE δεν εξάγει απλώς αριθμητικές τιμές, αλλά έγχρωμα διαγράμματα.

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, θα πρέπει να επιλεχθεί από το περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων το ανάλογο εικονίδιο, που φαίνεται στην Εικόνα 5.11.



Εικόνα 5.11. Λεπτομέρεια από την Εικόνα 5.10. Το εικονίδιο για την εξαγωγή αποτελεσμάτων

Θα πρέπει να σημειωθεί πως η επιλογή για την εξαγωγή αποτελεσμάτων υπάρχει και στην αρχική εικόνα, μετά την επιλογή ενός ήδη υπάρχοντος project. Το περιβάλλον επιλογής και υπολογισμού των μεγεθών και εξαγωγής των αποτελεσμάτων φαίνεται στην Εικόνα 5.12.



Εικόνα 5.12. Το περιβάλλον επιλογής και υπολογισμού μεγεθών και εξαγωγής των αποτελεσμάτων

Στην άνω σειρά της μπάρας εργασίας εικονίζονται τα διαθέσιμα προς υπολογισμό μεγέθη. Ετσι, στην Εικόνα 5.12 μπορούμε να δούμε την επιλογή για την συνολική στάθμη ηχητικής πίεσης (απευθείας και διάχυτο πεδίο), όπου συμβολίζεται με το γράμμα Σ, την ευκρίνεια και την διαύγεια, C<sub>50</sub> και C<sub>80</sub>, τα alcons, τον δείκτη μετάδοσης ομιλίας (Speech Transmission Index – STI) και άλλα.

Mapping	Settings	Calculation
Type of Map to calculate :	Total SPL	< 1000 Hz
Loudspeakers in Use		Resolution
Lspk	Lspk Group	Patch Size : 1.00
Side_2_FC, Side_2_FR, Si	de_2_RR, Side_2_FL,	L/81 Pixe
Side_2_RL,		🔲 Use Area Settings
		Isoline Step [dB] : 1 00
Single Lab	pel:	Scale [m]: 010
C All Mappings	lculation #1	<u>jo.10</u>

Εικόνα 5.13. Οι επιλογές για τον υπολογισμό μεγεθών και την εξαγωγή αποτελεσμάτων

Οι δύο κάθετοι πίνακες που φαίνονται στην Εικόνα 5.12 είναι η περιοχή του ακροατηρίου στην οποία θα γίνουν οι μετρήσεις. Το πώς αυτό ορίζεται και πώς χρησιμοποιείται παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

Επιλέγοντας ένα μέγεθος, εμφανίζονται οι επιλογές που φαίνονται στην Εικόνα 5.13. Μεταξύ αυτών, μπορεί να παρατηρηθεί πως υπάρχει και η επιλογή για τον υπολογισμό άλλου μεγέθους από αυτό που επιλέχθηκε αρχικά (στο πεδίο «Type of map to calculate»). Ενα άλλο σημαντικό στοιχείο είναι ότι υπάρχουν τρεις καρτέλες επιλογών. Η καρτέλα «Mapping», η «Settings» και η «Calculation». Στο πού ακριβώς χρησιμοποιείται η κάθε μία, αυτό θα αναλυθεί στην επόμενη εργαστηριακή άσκηση.

#### 5.3. Μοντελοποίηση χώρου με την χρήση του λογισμικού EASE

Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθεί το πώς πραγματοποιείται η μοντελοποίηση του χώρου με την χρήση του λογισμικού EASE. Ετσι, θα θεωρηθεί ένας υποθετικός χώρος και θα «αναπαρασταθεί» η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων στο περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων χώρου, συμπεριλαμβανομένης και της διαδικασίας εισαγωγής επιφανειών και ελέγχου του χώρου.

#### 5.3.1. Μοντελοποίηση του χώρου και υπολογισμός διαστάσεων

Πριν την εισαγωγή των δεδομένων του χώρου, θα πρέπει να έχουν υπολογιστεί σωστά οι διαστάσεις του χώρου από τα παρεχόμενα σχέδια, είτε αρχιτεκτονικά, είτε από επιτόπιες (on site) μετρήσεις. Με τον όρο "σωστά" εννοείται να έχουν τηρηθεί οι μονάδες και η προσέγγιση να είναι στο επίπεδο των εκατοστών. Το EASE δεν μπορεί να δεχθεί μονάδα μήκους μικρότερη από εκατοστό. Επίσης, ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό του EASE είναι ότι μπορεί ο χρήστης να επιταχύνει την διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων του χώρου εάν τα εισάγει συμμετρικά, θα αναφερθεί η ανάλογη λειτουργία σε επόμενη ενότητα.

Ετσι, εάν κάποιος επιθυμεί να μοντελοποιήσει ένα μικρό χώρο, π.χ. την καμπίνα ενός αυτοκινήτου, θα πρέπει να εισαγάγει στο EASE σε μέτρα τις διαστάσεις του χώρου. Το ίδιο ισχύει εάν θα ήθελε να μοντελοποιήσει έναν απλό γεωμετρικά, παραλληλεπίπεδο χώρο (τύπου shoebox) ή ένα συνεδριακό κέντρο.

#### 5.3.2.Εισαγωγή των δεδομένων και η λειτουργία της εισαγωγής συμμετρικών σημείων

Εχοντας πλέον τις διαστάσεις του χώρου σε μέτρα, και εκκινώντας ένα νέο project, θα πρέπει να επιλεγεί η εισαγωγή των δεδομένων του χώρου. Συνεπώς, θα ανοίξει το περιβάλλον εισαγωγής

των δεδομένων χώρου, που φαίνεται στην Εικόνα 5.10. Εάν υποτεθεί ότι ο προς μοντελοποίηση χώρος είναι διαστάσεων 4 x 5 x 3 μ. (π x μ x υ) θα πρέπει να εισαχθούν οχτώ (8) σημεία, που θα αντιπροσωπεύουν τις 8 γωνίες του χώρου. Μία εύλογη σκέψη θα ήταν να αρχίζει ο χώρος από το σημείο 0,0,0 στο επίπεδο. Ετσι, τα επόμενα σημεία θα είχαν συντεταγμένες 0,4,0,0,0,3,0,4,3, 5,0,0, 5,4,0, 5,0,3, 5,4,3 και το αποτέλεσμα στο περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων χώρου φαίνεται στην Εικόνα 5.14, όπου με πράσινο εικονίζεται ο άξονας του πλάτους, με κόκκινο ο άξονας του μήκους, με μπλε ο άξονας του ύψους και με κόκκινα σημεία τα σημεία που εισήχθησαν.



Εικόνα 5.14. Εισαχθέντα σημεία με αρχή το σημείο 0,0,0

Αυτός ο τρόπος εισαγωγής προϋποθέτει να προσδιοριστούν κατά την εισαγωγή όλα τα σημεία γωνίες του χώρου. Το EASE όμως προσφέρει την λειτουργία της συμμετρικής εισαγωγής σημείων. Ετσι, αντί να θεωρηθεί ότι το πρώτο σημείο έχει συντεταγμένες 0,0,0 και το δεύτερο 0,4,0, και με την χρήση της συμμετρικής εισαγωγής, θα μπορούσε κανείς να εισαγάγει το πρώτο σημείο στις συντεταγμένες 0,2,0 και το EASE να δημιουργήσει το συμμετρικό του σημείο στις συντεταγμένες 0,-2,0. Ετσι πλέον ο χώρος έχει τα εξής σημεία:

- 0,-2,0
- 0,2,0
- 0,-2,3
- 0,2,3
- 5,-2,0
- 5,2,0
- 5,-2,3
- 5,2,3

Αν και τα σημεία είναι ίσα ποσοτικά, εντούτοις ο χρήστης θα εισαγάγει μόνο 4 σημεία, ήτοι:

- -2,0,0
- -2,0,3
- -2,5,0
#### • -2,5,3

Το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 5.15.



Εικόνα 5.15. Εισαχθέντα σημεία με την λειτουργία της συμμετρικής εισαγωγής

Αν και είναι αρκετά βοηθητική η λειτουργία της συμμετρικής εισαγωγής, πολλές φορές οι ίδιοι οι χώροι δεν προσφέρονται για τέτοιου είδους μοντελοποίηση. Για να είναι δυνατός ό έλεγχος της αυτόματης συμμετρικής εισαγωγής, θα πρέπει ο χώρος να «δηλωθεί» στο EASE ως μη συμμετρικός χώρος. Η επιλογή αυτή βρίσκεται στον κατάλογο «Edit» στην επιλογή «Room Data» («room symmetric»). Εφόσον «δηλωθεί» ο χώρος ως μη συμμετρικός, η λειτουργία της αυτόματης συμμετρικής εισαγωγής μπορεί να παραμετροποιηθεί πλήρως από τον κατάλογο «Tools» στην επιλογή «Mirror Insertion», στο περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων χώρου. Εκεί μπορεί να παρατηρηθεί πως ο άξονας συμμετρίας μπορεί να αλλάξει αναλόγως με τις ανάγκες της μοντελοποίησης του χώρου (επιλογή «Mirror» at στην καρτέλα «Mirror») όπως επίσης και τις επιλογές της συμμετρικής εισαγωγής, σχετικά με τα στοιχεία που είναι επιθυμητό να εισάγονται συμμετρικά. Κάτι που δεν ισχύει για το συμμετρικό χώρο, όπου ο άξονας συμμετρίας είναι ο άξονας x, και για αυτό τα σημεία που εισάχθηκαν στο χώρο του παραδείγματος άλλαξαν συντεταγμένες κατά τον δεύτερο τρόπο εισαγωγής.

Η εισαγωγή σημείων γίνεται με την εξής διαδικασία:

- επιλογή της λειτουργίας «Insert Vertex», είτε από τον κατάλογο «Insert» είτε από την κάθετη μπάρα εργασίας, επιλέγοντας το εικονίδιο που φαίνεται στην Εικόνα 5.16 (παρατηρήστε ότι ο δείκτης του ποντικιού έχει αλλάξει σχήμα, καταδεικνύοντας πως έχει επιλεχθεί η εισαγωγή σημείου),
- επιλογή ενός σημείου στο χώρο που να είναι κοντά, περίπου, εκεί που είναι η επιθυμητή θέση για το νέο σημείο, και
- ακριβής εισαγωγή των συντεταγμένων στις επιλογές που εμφανίζονται εφόσον επιλεχθεί ένα σημείο στο χώρο για την εισαγωγή του νέου σημείου – vertex. Οι επιλογές για την εισαγωγή των συντεταγμένων είναι στην Εικόνα 5.17.



Εικόνα 5.16. Το εικονίδιο εισαγωγής σημείου - vertex στην κάθετη μπάρα εργασίας



Εικόνα 5.17. Οι επιλογές εισαγωγής των συντεταγμένων για την εισαγωγή σημείου - vertex

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί πως το EASE λόγω της ιδιαιτερότητάς του να θεωρεί ως άξονα στόχευσης των ηχείων τις αρνητικές τιμές του γγ', θα πρέπει οι τιμές στον άξονα γγ' να εισάγονται με αρνητικό πρόσημο. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως το σημείο 0,0,0 θεωρείται στο κέντρο της πίσω πλευράς του μοντέλου του χώρου. Ετσι τα παραπάνω σημεία θα πρέπει να έχουν τις τιμές:

- -2,0,0
- -2,0,3
- -2,-5,0
- -2,-5,3

#### 5.3.3.Εισαγωγή ακμών, επιφανειών και επιλογή υλικών

Το επόμενο βήμα από την εισαγωγή των δεδομένων του χώρου είναι η εισαγωγή των ακμών που ενώνουν τα σημεία και ο ορισμός των επιφανειών του χώρου. Ετσι, χρησιμοποιώντας το παραπάνω μοντέλο χώρου, θα πρέπει να ορισθούν οι τέσσερις «τοίχοι» του χώρου.

Ο ορισμός των ακμών μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, επίσης μπορεί να γίνει και συμμετρικά εάν έχει ακολουθηθεί η συμμετρική διαδικασία εισαγωγής των στοιχείων. Ο πρώτος είναι επιλέγοντας «Edge» από τον κατάλογο «Insert» και δεύτερος είναι με την επιλογή του εικονιδίου ακριβώς κάτω από το εικονίδιο εισαγωγής σημείου – vertex που φαίνεται στην Εικόνα 5.16.

Ετσι, εάν ενεργοποιηθεί η λειτουργία εισαγωγής ακμών, και αντίστοιχα με την λειτουργία εισαγωγής σημείου – vertex, αλλάζει σχήμα ο δείκτης του ποντικιού και μπορούν να επιλεχθούν τα δύο σημεία που θα ενωθούν με την μία ακμή. Το αποτέλεσμα στον παραπάνω χώρο, με συμμετρική εισαγωγή ακμών και κατόπιν της εισαγωγής της πρώτης ακμής, φαίνεται στην Εικόνα 5.18.



Εικόνα 5.18. Συμμετρική εισαγωγή ακμών

Οι επιλογές που εμφανίζονται αφού επιλεχθούν τα δύο προς ένωση σημεία, αφορούν στην επιβεβαίωση της επιλογής των σημείων.

Ετσι, εφόσον ενωθούν όλα τα σημεία, ανά δύο και σύμφωνα με τις επιφάνειες του χώρου, έχουν οριστεί τα όρια των επιφανειών και το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 5.19.



Εικόνα 5.19. Ο χώρος με ορισμένα τα όρια όλων των επιφανειών

Κατά την εισαγωγή ακμών για τις οποίες δεν μπορεί να οριστεί μία συμμετρική ακμή που να ενώνει σημεία που έχουν εισαχθεί στο μοντέλο του χώρου, το EASE εισαγάγει μόνο μία ακμή, αυτή που θα ενώσει τα σημεία που επιλέχθηκαν.

Το επόμενο βήμα είναι να οριστούν οι επιφάνειες του χώρου ή, όπως λέγονται και στο λογισμικό, τα «Faces». Οπως και για τα προηγούμενα στοιχεία, οι επιλογές είναι δύο, είτε από τον κατάλογο «Insert» είτε από την κάθετη μπάρα εργασίας. Η διαφορά με τα προηγούμενα στοιχεία είναι πως οι επιφάνειες έχουν φορά. Δηλαδή, «κοιτάνε» προς μία διεύθυνση και αυτή η διεύθυνση θα πρέπει να είναι προς το εσωτερικό του χώρου του παραδείγματος. Η φορά της επιφάνειας προσδιορίζεται με τη φορά επιλογής των σημείων. Ετσι, εάν τα σημεία επιλεγούν με τη φορά του ρολογιού, η επιφάνεια που ορίζεται «κοιτάει» προς το εσωτερικό του χώρου όπως βλέπει ο χρήστης και το χρώμα των ακμών της είναι κίτρινο. Σε αντίθετη περίπτωση, το χρώμα γίνεται άσπρο. Θα πρέπει να σημειωθεί πως οι ακμές δεν ωφελούν στους υπολογισμούς αλλά μόνο στην αισθητική διάσταση του μοντέλου. Το αποτέλεσμα για μία επιφάνεια που κοιτάει προς το εσωτερικό του χώρου διασταση του μοντέλου.



Εικόνα 5.20. Επιφάνεια με προσανατολισμό στο εσωτερικό του μοντέλου του χώρου

Ενώ στην Εικόνα 5.21 φαίνεται η απέναντι επιφάνεια από την επιφάνεια στην Εικόνα 5.20, η οποία έχει αντίθετο προσανατολισμό.



Εικόνα 5.21. Επιφάνεια με προσανατολισμό αντίθετο από την επιφάνεια στην Εικόνα 5.20

Το επόμενο βήμα είναι να προσδιοριστεί το υλικό που θα έχουν οι επιφάνειες. Υπάρχουν δύο τρόποι για να γίνει αυτό και ο ένας είναι κατά τον προσδιορισμό της επιφάνειας. Ο δεύτερος γίνεται με την επιλογή της επιφάνειας και από τις επιλογές που παρέχονται με δεξί κλικ. Είτε από τον ένα είτε από τον άλλο τρόπο, ο χρήστης οδηγείται στις ίδιες επιλογές. Ετσι, και θεωρώντας πως είτε πραγματοποιείται η επιλογή του υλικού κατά τον προσδιορισμό της επιφάνειας είτε από την επιλογή «Properties», πατώντας δεξί κλικ ενώ είναι επιλεγμένη η επιφάνεια, τα διαδοχικά παράθυρα που εμφανίζονται είναι στην Εικόνα 5.22. Για να μεταβεί κανείς στο τελικό παράθυρο

#### 42 Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων

επιλογής του υλικού από την βάση δεδομένων των υλικών (που διαχειρίζεται το υποσύστημα EASEWall) θα πρέπει να επιλέξει το εικονίδιο με τις τρεις τελείες («…») στην περιοχή του παραθύρου που γράφει «Materials», στο πεδίο «Face». Επειτα, και εφόσον το υλικό που απαιτείται να επιλεγεί για την επιφάνεια δεν είναι στην λίστα γρήγορης πρόσβασης, θα πρέπει να επιλεγεί το εικονίδιο «Browse» και εμφανίζεται η βάση δεδομένων των υλικών. Επιλέγεται το επιθυμητό υλικό και πλέον η επιφάνεια έχει υλικό.



Εικόνα 5.22. Τα διαδοχικά παράθυρα που εμφανίζονται κατά την διαδικασία επιλογής υλικού για επιφάνεια

#### 5.3.4.Ελεγχος του χώρου

Εφόσον έχουν εισαχθεί όλες οι επιφάνειες, επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος του χώρου και το «κλείσιμό» του. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να από-επιλεχθεί η επιλογή «Room Open» στην καρτέλα «Data» στην επιλογή «Room Data» στον κατάλογο «Edit».

Επειτα, θα πρέπει να ελεγχθεί ο χώρος για πιθανά «ανοίγματα». Με τον όρο «άνοιγμα» νοείται κάποια πιθανή μη υλοποιημένη σύνδεση μεταξύ σημείων και επιφανειών. Ετσι, είτε επιλέγοντας «Check Data» από τον κατάλογο «Edit» είτε πατώντας το πλήκτρο F5, πραγματοποιείται ο έλεγχος. Εάν υπάρχουν πιθανά λάθη, θα εμφανιστεί το αντίστοιχο μήνυμα από το EASE. Για τον έλεγχο των λαθών – «τρυπών» θα πρέπει να επιλεχθεί η επιλογή «Check Holes» από τον κατάλογο «Tools». Επίσης, σημαντικό βοήθημα είναι και οι πίνακες με τα εισαχθέντα στοιχεία, που επιλέγονται αναλόγως στην επιλογή «Tables» στον κατάλογο «View».

## 5.4. Υλοποίηση της άσκησης

Για την υλοποίηση της άσκησης θα πρέπει να κατασκευαστεί το μοντέλο του χώρου, που εικονίζεται στα παρακάτω σχήματα, στο EASE, σύμφωνα με τα όσα γράφονται παραπάνω.

#### 5.4.1.Διαδικασία υλοποίησης

Η διαδικασία που θα πρέπει να ακολουθηθεί είναι η εξής:

- Εύρεση και κατάλληλος υπολογισμός των συντεταγμένων του χώρου για την εισαγωγή τους στο EASE (π.χ., θα πρέπει οι διαστάσεις του γγ' να έχουν αρνητικές τιμές)
- Εισαγωγή των σημείων στο μοντέλο του χώρου
- Εισαγωγή των ακμών (προαιρετικά)

- Εισαγωγή των επιφανειών
- Επιλογή του υλικού «carptcomm», από την αμερικάνικη βάση δεδομένων υλικών, για το δάπεδο
- Επιλογή του υλικού «pntbrick», από την ίδια βάση δεδομένων, για τους πλαϊνούς τοίχους και την οροφή.

Στην Εικόνα 5.23 είναι η τομή του χώρου ενώ στην Εικόνα 5.24 είναι η κάτοψη. Η «σκηνή», εάν υποθέσουμε ότι ο χώρος είναι μία αίθουσα πολλαπλών εκδηλώσεων, είναι στο σημείο «Σ», που φαίνεται στην κάτοψη.



Εικόνα 5.23. Η τομή του χώρου της εργαστηριακής άσκησης



Εικόνα 5.24. Η κάτοψη του χώρου της εργαστηριακής άσκησης

#### 5.4.2.Επεξήγηση βημάτων

Η εύρεση των κατάλληλων συντεταγμένων για τα σημεία του χώρου θα γίνει σύμφωνα με τα όσα λέχθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα θα πρέπει:

- Να υπολογιστούν οι διαστάσεις του χώρου έτσι ώστε να γίνει εφικτή η εισαγωγή του χώρου με την συμμετρική εισαγωγή σημείων,
- Να υπολογιστούν κατάλληλα οι συντεταγμένες έτσι ώστε το σημείο του τοίχου που είναι η σκηνή, σημείο «Σ» στην κάτοψη, να είναι το σημείο 0,0,0, και
- Τα σημεία στον απέναντι τοίχο της σκηνής να έχουν αρνητική τιμή για τον άξονα γγ.

Τα σημεία θα εισαχθούν στο μοντέλο με την χρήση της συμμετρικής εισαγωγής. Ετσι, θα πρέπει να εισαχθούν τα αντι-συμμετρικά σημεία και το EASE να εισάγει αυτόματα τα συμμετρικά τους.

Εάν εισαχθούν ακμές, αυτές θα πρέπει να ακολουθούν την γεωμετρία του χώρου.

Οι επιφάνειες θα πρέπει αφενός να ακολουθούν την γεωμετρία του χώρου και, αφετέρου, να έχουν τα προσδιορισθέντα υλικά.

## 6. Εργαστηριακή Ασκηση #5

## "Υπολογισμός Χρόνου Αντήχησης & Λόγου Ενέργειας Απευθείας προς Αντηχητικού Πεδίου με Χρήση Λογισμικού Ακουστικής Εξομοίωσης"

## 6.1. Εισαγωγή

Ενα από τα κύρια μεγέθη που λαμβάνονται υπόψη κατά τον ακουστικό σχεδιασμό ενός χώρου, πριν την κατασκευή, ή κατά την μελέτη της ακουστικής συμπεριφοράς ενός χώρου, αφότου αυτός έχει κατασκευαστεί, είναι ο χρόνος αντήχησης (Reverberation Time, RT). Ο χρόνος αντήχησης, είναι ένα ζήτημα που έχει απασχολήσει, και συνεχίζει να απασχολεί δεκάδες ερευνητές και επιστήμονες. Κυρίως συσχετιζόμενος με την καταληπτότητα και την «διάκριση» του αρχικού σήματος, είτε ομιλίας, είτε μουσικής, αποτελεί το βασικό μέγεθος το οποίο μετριέται ή/και υπολογίζεται κατά την μελέτη της ακουστικής συμπεριφοράς ενός χώρου.

Ομως, αν και με τον χρόνο αντήχησης μπορεί να εξαχθούν συμπεράσματα όσον αφορά στην ακουστική συμπεριφορά του χώρου και μόνο, είθισται οι χώροι που προορίζονται για την στέγαση δραστηριοτήτων, για τις οποίες απαιτείται έλεγχος της ακουστικής συμπεριφοράς του χώρου, να περιέχουν και ενισχυμένο ήχο. Ο σκοπός του ενισχυμένου ήχου, όπως προδίδει και ο όρος, είναι να ενισχύει τον πρωτογενή ήχο, τον ήχο που παράγεται από την ηχητική πηγή, για την μετάδοσή του σε περιοχές του χώρου όπου δεν θα ήταν εφικτή η μετάδοσή του χωρίς το σύστημα ενισχυμένου ήχου. Ετσι, η ρύθμιση του κέρδους συστήματος του ενισχυμένου ήχου μπορεί είτε να αποφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα, την μετάδοση του ήχου σε περιοχές που δεν θα ήταν εφικτό αλλιώς, είτε την κυρίαρχη παρουσία μόνο του ενισχυμένου ήχου ήχου στον χώρο, καταστρέφοντας έτσι την μετάδοση του πρωτογενούς ήχου της πηγής.

Σκοπός της παρούσας εργαστηριακής άσκησης είναι η εξοικείωση με τις διαδικασίες υπολογισμού του χρόνου αντήχησης και του λόγου της ενέργειας του απευθείας προς το αντηχητικό πεδίο με την χρήση του λογισμικού ακουστικής εξομοίωσης EASE. Για τον σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί το ειδικό λογισμικό, ακολουθώντας την συγκεκριμένη μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην συνέχεια.

## 6.2. Χρόνος αντήχησης στο απευθείας και στο αντηχητικό πεδίο

## 6.2.1.Χρόνος αντήχησης

Οπως έχει αναφερθεί και στην θεωρία του μαθήματος, ο χρόνος αντήχησης είναι ο χρόνος που απαιτείται για την μείωση της στάθμης ηχητικής πίεσης που υπάρχει σε ένα ομοιογενές ηχητικό πεδίο, κατά την παύση εισαγωγής ακουστικής ενέργειας στο πεδίο αυτό από την ηχητική πηγή (ή πηγές) που τον διεγείρει, κατά μία προκαθορισμένη τιμή.

Εάν η προκαθορισμένη αυτή πηγή ορισθεί ίση προς 60dB-SPL, ο χρόνος αντήχησης συμβολίζεται ως RT<sub>60</sub>, εκ των λέξεων «Reverberation» (αντήχηση) και «Time» (χρόνος) και τον δείκτη 60 που αντιπροσωπεύει την μείωση κατά 60 dB-SPL. Για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης RT<sub>60</sub> έχουν καθιερωθεί δύο εξισώσεις, του Eyring και του Sabine, με την δεύτερη να τείνει να χρησιμοποιείται συχνότερα από τους ακουστικούς μελετητές ανά τον κόσμο. Η Εξίσωση 6.1 και 6.2 είναι οι προαναφερθείσες, αντιστοίχως.

$$RT_{60} = \frac{0.161V}{-S\ln(1 - \overline{a}_E)}$$
(6.1)

όπου:

 $RT_{60}$  είναι ο χρόνος αντήχησης (sec),

- V είναι ο όγκος του χώρου (m³),
- Sείναι η επιφάνεια του χώρου (m²), και

 $\overline{a}_{E}$ είναι ο συντελεστής απορρόφησης κατά μέσο όρο επιφάνειας.

$$RT_{60} = \frac{0.161V}{S\overline{a}} \tag{6.2}$$

όπου:

 $\overline{a}$ είναι ο μέσος συντελεστής απορρόφησης, και

όλα τα άλλα μεγέθη όπως έχουν οριστεί.

Ο μέσος συντελεστής απορρόφησης, της Εξίσωσης 6.2, υπολογίζεται με βάση την Εξίσωση 6.3.

$$\overline{a} = \frac{A}{S} \tag{6.3}$$

όπου:

A είναι η συνολική απορρόφηση των επιφανειών (m²), και

όλα τα άλλα μεγέθη όπως έχουν οριστεί.

Είναι προφανές ότι οι Εξισώσεις 6.1 και 6.2 δεν εμπεριέχουν κανένα παράγοντα που να αντιστοιχεί στην γεωμετρία του χώρου. Ετσι, δύο χώροι με εντελώς διαφορετική γεωμετρία, π.χ. ένας χώρος σε σχήμα παραλληλογράμμου και ένα χώρος σε σχήμα πυραμίδας (ή ένας οποιοσδήποτε τυχαίος χώρος), θα έχουν ακριβώς τον ίδιο χρόνο αντήχησης, θεωρητικά, εάν τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι τα ίδια, έχουν χρησιμοποιηθεί για την ίδια επιφάνεια και οι όγκοι τους είναι ίσοι. Αυτή η ισότητα μπορεί να ισχύει θεωρητικά, αλλά ενδέχεται, σε συγκεκριμένα σημεία του χώρου, η ακουστική συμπεριφορά, του πρώτου και του δεύτερου χώρου, να διαφέρει δραματικά με αποτέλεσμα και διαφορετικό χρόνο αντήχησης, ανά συχνότητα, λόγω τοπικών κυματικών φαινομένων.

## 6.2.2.Απευθείας και αντηχητικό πεδίο

Ως απευθείας πεδίο, ορίζεται το ηχητικό πεδίο που δημιουργείται από το ηχητικό κύμα που προέρχεται από την πηγή ενώ, σε αντίθεση, ως αντηχητικό πεδίο ορίζεται το ηχητικό κύμα που προέρχεται από τις ανακλάσεις του χώρου.

Για το απευθείας πεδίο ισχύει:

$$P_{rms_D}^2 = \frac{W\rho_0 c_0}{4\pi r^2} Q_{\vartheta}$$
(6.4)

όπου:

 $P_{rms_{D}}$  είναι η ακουστική πίεση του απευθείας πεδίου (Pascal),

W είναι η ακουστική ενέργεια της πηγής (Watts),

 $ho_0$  είναι η πυκνότητα του αέρα (Kgr m<sup>-3</sup>)

 $c_0$  είναι η ταχύτητα του ήχου (m s<sup>-1</sup>)

r είναι η απόσταση από την πηγή (m), και

 $Q_n$ είναι ο συντελεστής κατευθυντικότητας της πηγής.

Για το αντηχητικό πεδίο ισχύει:

$$P_{rms_r}^2 = \frac{W4\rho_0 c_0}{S\overline{a}} (1-\overline{a})$$
(6.5)

όπου:

 $P_{rms}$  η ακουστική πίεση του αντηχητικού πεδίου (Pascal), και

όλα τα άλλα μεγέθη όπως έχουν οριστεί.

Από τις εξισώσεις 6.4 και 6.5 μπορεί να φανεί ότι η ακουστική πίεση του απευθείας πεδίου εξαρτάται από την απόσταση από την πηγή, για μία παντοκατευθυντική πηγή, ενώ η ακουστική πίεση του αντηχητικού πεδίου εξαρτάται από την επιφάνεια και την απορροφητικότητα των υλικών του χώρου.

Συνεπώς, θα υπάρχει μία απόσταση r από την πηγή για την οποία θα ισχύει:

$$P_{rms_D}^2 = P_{rms_r}^2 \tag{6.6}$$

όπου όλα τα μεγέθη έχουν οριστεί προηγουμένως.

Κατ' επέκταση, η ακουστική πίεση του απευθείας πεδίου θα είναι ίση με την ακουστική πίεση του πεδίου αντήχησης. Η απόσταση αυτή ονομάζεται ακτίνα αντήχησης (reverberation radius) για παντοκατευθυντικές πηγές, ενώ για μη-παντοκατευθυντικές πηγές ονομάζεται κρίσιμη απόσταση (critical distance).

## 6.3. Υπολογισμός ακουστικών μεγεθών

Το λογισμικό ακουστικής εξομοίωσης EASE, προσφέρει την δυνατότητα υπολογισμού πληθώρας ακουστικών μεγεθών. Μεταξύ άλλων, μπορούν να υπολογιστεί ο χρόνος αντήχησης, ο λόγος απευθείας προς αντηχητικό πεδίο, η στάθμη ηχητικής πίεσης για το απευθείας πεδίο, η καταληπτότητα, η ευκρίνεια κ.α.

Για τα περισσότερα μεγέθη, απαραίτητη προϋπόθεση για τον υπολογισμό τους είναι η ύπαρξη μίας, τουλάχιστον, ηχητικής πηγής (πομπός/πηγή) αλλά και μίας, τουλάχιστον, θέσης ακροατή (δέκτης). Ομως, λόγω της φύσης του χρόνου αντήχησης, όπου εξηγείται σε επόμενη ενότητα, δεν χρειάζεται να εισαχθούν ηχεία στο χώρο αλλά ούτε και θέσεις ακροατών/ακροατή.

#### 6.3.1.Εισαγωγή συστημάτων ηχείων

Για να εισαχθούν ηχεία ως ηχητικές πηγές στο μοντέλου του χώρου θα πρέπει να έχει ενεργοποιηθεί η λειτουργία εισαγωγής δεδομένων του χώρου (Modify Data) και να επιλεχθεί η κατάλληλη λειτουργία από τις επιλογές εισαγωγής δεδομένων.

Ετσι, και αντίστοιχα με την διαδικασία εισαγωγής σημείων στο μοντέλο του χώρου, για την εισαγωγή ηχείων θα πρέπει να επιλεχθεί από την κάθετη μπάρα εργασίας το κατάλληλο εικονίδιο, όπου φαίνεται στην Εικόνα 6.1. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως η λειτουργία εισαγωγής ηχείων μπορεί να ενεργοποιηθεί και από την επιλογή «Loudspeaker» που βρίσκεται υπό την επιλογή «Insert».



Εικόνα 6.1. Η επιλογή για την εισαγωγή ηχείων από την κάθετη μπάρα εργασίας

Ομοια με την εισαγωγή σημείων, κατά την εισαγωγή ηχείων αλλάζει σχήμα ο δείκτης του ποντικιού, για την επιλογή του σημείου εισαγωγής του ηχείου. Με την επιλογή του σημείου εισαγωγής του ηχείου, εμφανίζεται το παράθυρο που φαίνεται στην Εικόνα 6.2.

File       Tem       Edit       View       Insert       Tools       Utilities       Mouse       Share       Window       Help         Image       I	ERSE ⊫	dit Project	Project2 - EASE 4.1			
Image S3 Edit Loudspeaker   Project2 - EASE 4.1         S3         S3         Visible         Image visible         Loudspeaker Label:         S3         Image Group:         Image Group:         S000 m         Visible         Image Group:         S00 m         Visible         Image Group:         S000 m         Visible         Image Group:         Good m         S000 m         S000 m         Sood m	File	Item Edit	View Insert Tools Utilities Ma	ouse Share Window He	lp	
Image S3 Edit Loudspeaker   Project2 - EASE 4.1         S3         S3         Visible       Image visible         Loudspeaker Label:       S3         Group Label:       Image Sincup         Image Group:       Image Sincup         Point of Reference: Angles:       S1         S1       Image Sincup         S0       m hor:         S1       Image Sincup         S0       m hor:         S1       Image Sincup         S2       Image Sincup         S3       Image Sincup         S2       Image Sincup         S3       Image Sincup         S2       Image Sincup         S3       Image Sincup         S4       Image Sincup         S5       Image Sincup         S5 </td <td></td> <td>P 🎼 🔲</td> <td>  <b>```</b>  🕀 🖶 💠   🚬 🎞    a</td> <td>&lt; 🔁 📥 🖧 🔛 🗍 🗊</td> <td>စ် ကျားက က 🗍 🚰 🖪</td> <td>l 🗗 🔶 🖷 🗄</td>		P 🎼 🔲	<b>```</b>   🕀 🖶 💠   🚬 🎞    a	< 🔁 📥 🖧 🔛 🗍 🗊	စ် ကျားက က 🗍 🚰 🖪	l 🗗 🔶 🖷 🗄
***       200       m       horizon       100       11000       1100       1100       <		<b>_</b>		22		
Image Control       S3       Visible       Image visible         Image Concept       S3       Visible       Image visible         Image Concept       Group Label:       S3       Freque Ele-Power SPL (1m)       Ele. Power:         Image Concept       Image Concept       SPL       SPL       SPL       Ele. Power:         Point of Reference:       Angles:       S15 Hz       100,00       110,0       All To Max:         Alignment (usec):       0.000       Speaker Model:       S10,00       110,0       All Off         Color:         Alignment (usec):       0.000       110,0       All Off         Speaker Model:        SPL 100,00       110,0       110,0       All Off         Speaker Model:              Speaker Model:              Speaker Model:               Show Image dB Cov. Cone                Show Image dB Cov. Cone <td><math>\sim</math></td> <td>2777</td> <td></td> <td></td> <td>*</td> <td></td>	$\sim$	2777			*	
▲ S3       ✓ Visible       ✓ Image visible         Wirror Image :       Group Label :       S7       ✓ SPL       ✓ SPL (Im)       Ele. Power :       SPL (Im)         Group Label :       Image Group :       100.00       110.0       Sel To Max       All To Max         Point of Reference :       Angles :       200 Hz       100.00       110.0       Sel To Max         All To Quirent       200 Hz       100.00       110.0       Sel To Max         All To Quirent       200 Hz       100.00       110.0         Y :       5.00       m ver :       15         Sol D m ver :       15       500 Hz       100.00       110.0         Y :       5.00       m rot :       0       0000 Hz       100.00       110.0         Brow Hz       100.00       110.0       110.0       All Dff       All Dff         V :       5.00       m rot :       0       0000 Hz       100.00       110.0         Speaker Model :       0.000       100.0       110.0       100.00       110.0       Priority :       Electric         Speaker Model :       Show dB Cov. Cone       Solo Hz       100.00       110.0       Speaker Model :       Splut       Splut       Splut <td>+</td> <td>200</td> <td>SS Edit Edduspeaker ( Proje</td> <td></td> <td></td> <td></td>	+	200	SS Edit Edduspeaker ( Proje			
Image Street Label:       S3         Mirror Image:       Frequ.       Els.Power       SPL (Im)         Group Label:       100 Hz       100.00       110.0         Image Group:       100 Hz       100.00       110.0         Point of Reference:       Angles:       All To Max         All To Max       All To Max         Bool Hz       100.00       110.0         Bool Hz       100.00       110.0         Speaker Model:       500 Hz       100.00       110.0         Speake	$\sim$	<b>`</b> .	< S3	Visible	🔽 Image visible	
Mirror Image :       Image in the image in	 		Loudspeaker Label : S3		Phase Phase	Nyquist
Group Label:       100 Hz       100,00       110,0         Image Group:       100 Hz       100,00       110,0         Point of Reference: Angles:       250 Hz       100,00       110,0         20 Hz       100,00       110,0       100         20 Hz       100,00       110,0       100         20 Hz       100,00       110,0       100         21 Hz       100,00       110,0       100         22 Hz       100,00       110,0       100         20 Hz       100,00       110,0       100,0         22 Hz       100,00       110,0       100,0         23 Hz       100,00       110,0       100,0         24 Hz       100,00       110,0       100,0         25 Hz       100,00       110,0       100,0         24 Hz       100,00       110,0       100,0         25 Hz       100,00       110,0       100,0         26 Hz       100,00       110,0       100,0         25 Hz       100,00       110,0       100,0         26 Hz       100,00       110,0       100,0         27 Hz       100,00       110,0       100,0         28 Hz			Mirror Image :	Frequ. Ele.Pov	ver SPL (1m)	e. Power :
Image Group:       125 Hz       100,00       110,0         Point of Reference : Angles:       200 Hz       100,00       110,0         X: 2.00       m       hor:       191         y: 5.00       m       ver:       115         y: 5.00       m       ver:       100         d00 Hz       100,00       110,0         400 Hz       100,00       110,0         1000 Hz       100,00       110,0         1100 Hz       100,00       110,0         1100 Hz       100,00       110,0         1100 Hz       100,00       110,0         1100 Hz       100,00       110,0         1250 Hz       100,00       110,0         1250 Hz       100,00       110,0         1250 Hz       100,00       110,0         1000 Hz       100,00       110,0         1000 Hz       100,00       110,0         1000 Hz       100,00       110,0      <			Group Label :	- <u>100 Hz</u> 100,	,00 110,0	1 To Mar 1 1 1 10-10
1       Image Group:       100.00       110.0       All To Max         2       Point of Reference: Angles:       250 Hz       100.00       110.0         2       200 m hor:       191       250 Hz       100.00       110.0         2       315 Hz       100.00       110.0       All To Max         2       300 m hor:       191       250 Hz       100.00       110.0         2       3.00 m ver:       15       315 Hz       100.00       110.0         2       3.00 m rot:       0       000 Hz       100.00       110.0         3       Good Hz       100.00       110.0       All Diff         2       0.000       000 Hz       100.00       110.0         3       100.00 Hz       100.00       110.0       All Diff         2       0.000       000 Hz       100.00       110.0         3       0.000       0.000       100.0       110.0       All Diff         2       0.000       0.000       100.0       110.0       All Diff         2       0.000       0.000       110.0       100.0       100.0         2       0.000       100.00       110.0       100.0 <td< td=""><td>. <b>O</b></td><td>North Street</td><td></td><td><u>125 Hz</u> 100,</td><td>,00 110,0</td><td>AL TO MAX</td></td<>	. <b>O</b>	North Street		<u>125 Hz</u> 100,	,00 110,0	AL TO MAX
Point of Reference : Angles :       250 Hz       100,00       110,0         X:       2.00       m       hor:       191         y:       5.00       m       ver:       115         y:       5.00       m       ver:       115         z:       3.00       m       rot:       0         0       000 Hz       100,00       110,0         400 Hz       100,00       110,0       100,00         2:       3.00       m       rot:       0         0       000 Hz       100,00       110,0       100,00         1000 Hz       100,00       110,0       100,00       100,0         1000 Hz       100,00       110,0       100,00       100,0         1000 Hz       100,00       110,0       100,0       100,0         1000 Hz       100,00       110,0       100,0       100,0         1000 Hz       100,00       110,0       100,0       100,0         2000 Hz       100,00       110,0       100,0       100,0         1000 Hz       100,00       110,0       100,0       100,0         2000 Hz       100,00       110,0       100,0       100,0 </td <td>₫≋</td> <td>175 N.</td> <td>Image Group :</td> <td>160 Hz 100,</td> <td>,00 110,0</td> <td>I To Max</td>	₫≋	175 N.	Image Group :	160 Hz 100,	,00 110,0	I To Max
*: 2.00       m       hor: 191         *: 2.00       m       hor: 191         *: 5.00       m       ver: -15         : 5.00       m       ver: -15         : 2: 3.00       m       rot: 0         : 300       : 300       100,00         : 300       : 300       100,00         : 315 Hz       : 100,00       : 100,00         : 3150 Hz       : 100,00       : 100,00         : 3100 Hz       : 100,00       : 100,00         : 3100 Hz       : 100,00       : 100	-	`.	Point of Reference : Anales :	200 Hz 100, 250 Hz 100	00 110,0 All	To Current
**       12.00       iii       rioi       191         **       12.00       iii       rioi       191         **       12.00       iii       rioi       100       1100         **       15.00       m       ver:       15         2:       3.00       m       rot:       0         2:       3.00       m       rot:       0         Bigment (µsec):       0.000       100,00       110,0         1250 Hz       100,00       110,0       110,0         2000 Hz       100,00       110,0       100,0         2000 Hz       100,00       110,0       100,0         2500 Hz       100,00       110,0       100,0         2000 Hz       100,00       110,0       100,0         2500 Hz       100,00       110,0       100,0         2500 Hz       100,00       110,0       100,0         3150 Hz       100,00       110,0       100,0         3000 Hz       100,00 <td></td> <td></td> <td>w lange</td> <td>- 315 Hz 100,</td> <td>.00 110.0</td> <td>Flat May</td>			w lange	- 315 Hz 100,	.00 110.0	Flat May
2       y: 5.00       m       ver: -15         2: 3.00       m       rot: 0         2: 3.00       m       rot: 0         Color:          Alignment (µsec):       0.000         Delay (msec):       0.000         Speaker Model:          SPHERE          Cluster Info       DI Setup         6300 Hz       100,00         10000 Hz       100,00         2000 Hz       100,00         2000 Hz       100,00         2000 Hz       100,00         10000 Hz       100,00         2000 Hz       100,00         2000 Hz       100,00         100,00       110,0         3150 Hz       100,00         3000 Hz       100,00         6300 Hz       100,00         6300 Hz       100,00         10000 Hz       100,00         <		L	*. [2.00 III NOL. [191	400 Hz 100,	,00 110,0	
2: 3.00       m       rot:       0         S00 Hz       100,00       110,0         Color:           Alignment (µsec):       0.000         Delay (msec):       0.000         Speaker Model:          Speaker Model:          Cluster Info       DI Setup         G300 Hz       100,00         1000 Hz       100,00         1000 Hz       100,00         Show dB Cov. Cone       100,00         Show Image dB Cov. Cone       10000 Hz         Apply       0k         Cancel	21		y: -5.00 m ver: -15	500 Hz 100,	,00 110,0	
Color:	ð		z: 3.00 m rot: 0	- 630 Hz 100,	,00 110,0	All Off
Color:	- ER	1.4	1	800 Hz 100,	,00 110,0	S_2><***
Alignment (µsec):       0.000         Delay (msec):       0.000         Speaker Model:       0.000         SPHERE       0.000         Cluster Info       DI Setup         Show dB Cov. Cone       0.000         Show dB Cov. Cone       0.000         Show dB Cov. Cone       0.000         Apply       0k         Cancel       0k	•••••	225	Color :	1250 Hz 100,	00 110.0	
Delay (msec):       0.000         Speaker Model:       2000 Hz         SPHERE       3150 Hz         Cluster Info       DI Setup         Show dB Cov. Cone       3000 Hz         Show Image dB Cov. Cone       100,00         Show Image dB Cov. Cone       100,00         Apply       0k         Cancel       56	-		Alignment (µsec) :	- 1 <u>1230 Hz</u> 100,	00 110.0	
Decay (insec):       00.000         Speaker Model:       2500 Hz       100,00       110,0         SPHERE       3150 Hz       100,00       110,0         SPHERE       100,00       110,0       100,00       110,0         Cluster Info       DII Setup       6300 Hz       100,00       110,0         Show dB Cov. Cone       9000 Hz       100,00       110,0       Power         Show Image dB Cov. Cone       9000 Hz       100,00       110,0       SPL         Apply       0k       Cancel       6       6	<u>_</u>			- 2000 Hz 100,	.00 110.0	
Speaker Model:       3150 Hz       100,00       110,0         SPHE RE       4000 Hz       100,00       110,0         Cluster Info       DI Setup       6300 Hz       100,00       110,0         Show dB Cov. Cone       Show Hz       100,00       110,0       Priority :         Show dB Cov. Cone       Show Image dB Cov. Cone       10000 Hz       100,00       110,0         Show Image dB Cov. Cone       Show Image dB Cov. Cone       0k       Cancel       6	+		[0.000	2500 Hz 100,	,00 110,0	
Image: dB Cov. Cone       Image: dB Cov. Cone         Image: dB Cov. Cone       Image: dB Cov. Cone <td></td> <td></td> <td>Speaker Model :</td> <td>3150 Hz 100,</td> <td>,00 110,0</td> <td></td>			Speaker Model :	3150 Hz 100,	,00 110,0	
Cluster Info         DII Setup         South Hz         100,00         110,0         Electric           #         Show dB Cov. Cone         8000 Hz         100,00         110,0         Power           Show dB Cov. Cone         100000 Hz         100,00         110,0         SPL           Image dB Cov. Cone         100000 Hz         100,00         110,0         SPL	- <b>1</b>		SPHERE	4000 Hz 100,	,00 110,0 Priori	ty:
Image: discussion of the second procession of th	$\equiv$	125.	Cluster Info 1 Dil Setup	5000 Hz 100,	00 110,0	lectric
Show dB Cov. Cone Show Image dB Cov. Cone Cone Apply Ok Cancel	T			8000 Hz 100	00 110,0 F	'ower
Show Image dB Cov. Cone			🔲 Show dB Cov. Cone	10000 Hz 100	.00 110.0 0 8	
			Show Image dB Cov. Cone			
	¶≋_					
	×			🏂 📃 Apply		Cancel 🤤
	+	1.		- · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	8	
		· · · ·		10	and the second	

Εικόνα 6.2. Οι επιλογές εισαγωγής ηχείου

Αρχίζοντας από την αριστερή επάνω γωνία του παραθύρου με τις επιλογές της εισαγωγής ηχείου, και για την αριστερή περιοχή του παραθύρου, μπορούν να διακριθούν οι εξής, βασικές, επιλογές:

- Ετικέτα ηχείου (Loudspeaker label), όπου προσδιορίζεται το όνομα του ηχείου, όπως θα φαίνεται στο project.
- Point of reference x: y: z:, όπου είναι οι συντεταγμένες του κέντρου του ηχείου, σε μέτρα.
- Angles, hor: vert: rot:, όπου είναι, σε μοίρες, οι γωνίες περιστροφής κατά τους άξονες xx', yy' και zz' αντίστοιχα.
- Speaker Model, όπου προσδιορίζεται το μοντέλο ηχείου που θα χρησιμοποιηθεί. Εξ ορισμού, το μοντέλο ηχείου που χρησιμοποιείται είναι μία προσομοίωση μίας σφαιρικής πηγής.
- Show dB Cov. Cone, όπου με την ενεργοποίηση της συγκεκριμένης επιλογής εμφανίζεται ο άξονας κάλυψης του ηχείου.

Οι υπόλοιπες επιλογές της αριστερής περιοχής του παραθύρου των επιλογών για την εισαγωγή ηχείου αφορούν την εισαγωγή συμμετρικού ηχείου (Mirror Image), την ομαδοποίηση και την ονομασία της ομάδας ηχείων (Group label και Image Group) και την διαχείριση χρονικής καθυστέρησης στην αναπαραγωγή του ήχου από το ηχείο (Alignment και Delay).

Στην δεξιά περιοχή των επιλογών εισαγωγής ηχείου, μπορούν να φανούν οι επιλογές για την ισοστάθμιση του ηχείου και την διαχείριση της αναπαραγωγής του αναφορικά με έκαστη μπάντα συχνοτήτων και την στάθμη αναπαραγωγής ανά μπάντα συχνοτήτων.

Ετσι, στις καρτέλες SPL μπορούν να φανούν, σε μορφή πίνακα ή σε μορφή διαγράμματος (πρώτη και δεύτερη καρτέλα με τίτλο SPL, αντίστοιχα) η στάθμιση της στάθμης ηχητικής πίεσης που θα αναπαράγεται από το ηχείο, στις καρτέλες Phase μπορεί να φανεί η στάθμιση της φάσης ανά μπάντα συχνοτήτων, σε μορφή πίνακα και σε μορφή διαγράμματος όμοια με τις καρτέλες SPL, και στην καρτέλα Nyquist μπορεί να φανεί το διάγραμμα Nyquist του εν λόγω ηχείου.

Εδώ αξίζει να σημειωθεί πως σε περίπτωση που ο χώρος έχει οριστεί ως συμμετρικός (Room symmetric) τα ηχεία μπορούν να «στοχεύσουν» μόνο κατά μήκος του χ' άξονα, και με κατεύθυνση προς την αρνητική φορά, και όχι αντίθετα. Σε περίπτωση που η αντίθετη στόχευση είναι επιθυμητή, θα πρέπει να ακυρωθεί ο ορισμός του χώρου ως συμμετρικός.

Η στόχευση του ηχείου μπορεί να γίνει είτε με την διαχείριση της περιστροφής του, είτε με την επιλογή «Loudspeaker Aiming» που εμφανίζεται με δεξί κλικ στο επιλεγμένο ηχείο.

Τα μοντέλα ηχείων, επιλέγονται από την βάση δεδομένων των ηχείων του λογισμικού, με όμοιο τρόπο με την επιλογή υλικών για τους τοίχους. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει το επιθυμητό ηχείο στην βάση δεδομένων, υπάρχει η πιθανότητα ο κατασκευαστής του ηχείου να παρέχει το αρχείο της βάσης δεδομένων του EASE, για την εισαγωγή του συγκεκριμένου μοντέλου στην βάση δεδομένων του προγράμματος.

#### 6.3.2.Εισαγωγή δεκτών/θέσεων ακροατών

Για τον υπολογισμό των μεγεθών που απαιτούν την ύπαρξη μίας, ή περισσότερων, ηχητικών πηγών, θα πρέπει πρωτίστως να έχουν εισαχθεί ηχεία/πηγές στο μοντέλο του χώρου και δευτερευόντως να έχουν ορισθεί ακουστικοί δέκτες. Υπάρχουν δύο τύποι δεκτών διαθέσιμοι στο λογισμικό EASE. Ο πρώτος είναι μία περιοχή ακροατηρίου, «Audience Area», και ο δεύτερος είναι ένα ακροατής μόνο, «Listener Seat». Αμφότεροι, μπορούν να επιλεχθούν και να εισαχθούν με τους προαναφερθέντες, σε αυτήν ή στην προηγούμενη εργαστηριακή άσκηση, τρόπους εισαγωγής στοιχείων στο μοντέλο χώρου. Και οι δύο τύποι δεκτών, μπορούν να εισαχθούν με την συμμετρική εισαγωγή και απαιτούν συντεταγμένες για την εισαγωγή τους, όπως ακριβώς συνέβαινε με την εισαγωγή σημείων στο μοντέλο του χώρου. Επίσης, και οι δύο τύποι δεκτών δεν έχουν καμία ακουστική ιδιότητα και χρησιμοποιούνται αυστηρά και μόνο για την διεξαγωγή των υπολογισμών από το EASE.

Αυτό που πρέπει επίσης να σημειωθεί και για τους δύο τύπους δεκτών είναι η επιλογή της τιμής της συντεταγμένης z. Ακόμα, και οι δύο τύποι δεκτών θα πρέπει να εισαχθούν στο ύψος που θα είναι το κεφάλι των ακροατών. Η εισαγωγή τους, γίνεται με όμοιο τρόπο με την εισαγωγή στοιχείων, όπως στην περίπτωση σημείων ή ηχείων.

## 6.4. Υπολογισμός χρόνου αντήχησης και λόγου ενέργειας απευθείας προς αντηχητικό πεδίο

Με την χρήση του λογισμικού EASE, μπορούν να υπολογισθούν αρκετά μεγέθη που αφορούν στην ακουστική συμπεριφορά ενός χώρου, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως. Για την συγκεκριμένη εργαστηριακή άσκηση, θα υπολογιστούν τα δύο μεγέθη που αναφέρθηκαν στην Ενότητα 6.2.

#### 6.4.1. Υπολογισμός χρόνου αντήχησης

Εφόσον ο χρόνος αντήχησης εξαρτάται από τις ιδιότητες του χώρου, και μόνο, μπορεί να υπολογιστεί χωρίς την εισαγωγή πηγών ή/και δεκτών στο μοντέλο του χώρου. Εάν το μοντέλο του χώρου είναι έτοιμο προς χρήση τότε, για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης θα πρέπει να ακολουθηθεί η αντίστοιχη διαδικασία από το λογισμικό EASE.

Κατ' αρχάς θα πρέπει να επιλεχθεί η επιλογή «Room Data» που βρίσκεται στον κατάλογο «Edit», και έπειτα η καρτέλα «Room RT», η οποία εμφανίζει το παράθυρο που φαίνεται στην Εικόνα 6.3.

Data         Room RT         Noise         Mapping         Setting:           Reverb. Time         Rev. Time         Absorp. Coe         100 Hz         7.29         0.01           Sabine         Interpolate         125 Hz         7.29         0.01         125 Hz         6.63         0.02           Sabine         Interpolate         200 Hz         6.08         0.02         250 Hz         5.61         0.02           Desired [s]:         0.00         400 Hz         3.15 Hz         4.33         0.02           400 Hz         3.52         0.03         630 Hz         2.97         0.03           60 %         1000 Hz         1.88         0.06         1250 Hz         1.36         0.08           1250 Hz         1.36         0.08         1000 Hz         1.19         0.09           200 Hz         1.05         0.11         3150 Hz         0.79         0.11           3150 Hz         0.79         0.12         1.05         0.11         3150 Hz         0.69         0.14           200 'C         200 Hz         0.62         0.15         600 Hz         0.47         0.17	Edit Room Data \ Project2	2 - EASE 4.1		
Reverb. Time         Rev. Time         Absorp. Coe           Formula :         100 Hz         7.29         0.01           Sabine         125 Hz         7.29         0.01           Eyring         125 Hz         7.29         0.01           Eyring         200 Hz         6.63         0.02           Desired [s] :         0.00         250 Hz         5.61         0.02           Desired [s] :         0.00         315 Hz         4.33         0.02           400 Hz         3.52         0.03         500 Hz         2.97         0.03           630 Hz         2.31         0.04         800 Hz         1.59         0.06           1250 Hz         1.36         0.08         1250 Hz         1.36         0.08           1250 Hz         1.36         0.08         1250 Hz         1.05         0.10           200 Hz         0.90         0.11         3150 Hz         0.79         0.12           4000 Hz         0.69         0.14         5000 Hz         0.69         0.14           200 'C         Pressure :         20 'C         6300 Hz         0.47         0.17	Data Boom RT	Noise 🍸	Mapping	Setting:
Formula :       100 Hz       7.29       0.01         Sabine       125 Hz       7.29       0.01         Eyring       6.63       0.02         Eyring       200 Hz       6.08       0.02         Desired [s] :       0.00       315 Hz       4.33       0.02         Mumodal (s) :       0.00       500 Hz       2.97       0.03         630 Hz       2.31       0.04       800 Hz       1.88       0.05         Air Parameters       1600 Hz       1.19       0.09       0.11         Humidity :       60 %       200 Hz       0.90       0.11         20 °C       7C       900 Hz       0.69       0.14         500 Hz       0.54       0.16       8000 Hz       0.47	Reverb. Time	1	Rev. Time	Absorp. Coe
125 Hz       7.29       0.01         Exring       160 Hz       6.63       0.02         200 Hz       5.61       0.02         250 Hz       5.61       0.02         250 Hz       5.61       0.02         250 Hz       5.61       0.02         315 Hz       4.33       0.02         400 Hz       2.52       0.03         500 Hz       2.97       0.03         630 Hz       2.31       0.04         800 Hz       1.59       0.06         1250 Hz       1.36       0.08         1000 Hz       1.59       0.06         1250 Hz       1.36       0.08         1000 Hz       1.19       0.09         200 Hz       0.30       0.11         3150 Hz       0.79       0.12         4000 Hz       0.69       0.11         3150 Hz       0.79       0.12         4000 Hz       0.69       0.14         5000 Hz       0.62       0.15         6300 Hz       0.54       0.16         8000 Hz       0.47       0.17	Formula :	100 Hz	7.29	0.01
160 Hz       6.63       0.02         200 Hz       6.08       0.02         200 Hz       5.651       0.02         250 Hz       5.651       0.02         250 Hz       5.651       0.02         250 Hz       5.651       0.02         200 Hz       3.52       0.03         630 Hz       2.31       0.04         800 Hz       1.88       0.05         1000 Hz       1.35       0.00         2150 Hz       1.36       0.08         1250 Hz       1.36       0.01         2000 Hz       1.05       0.10         2000 Hz       0.90       0.11         3150 Hz       0.79       0.12         4000 Hz       0.69       0.14         5000 Hz       0.54       0.16         8000 Hz       0.47       0.17		125 Hz	7.29	0.01
Lyring         200 Hz         6.08         0.02           Sabine         Interpolate         0.00         315 Hz         4.33         0.02           Desired [s]:         0.00         315 Hz         4.33         0.02           400 Hz         3.52         0.03         500 Hz         2.97         0.03           630 Hz         2.31         0.04         800 Hz         1.88         0.05           1000 Hz         1.59         0.06         1250 Hz         1.36         0.08           1250 Hz         1.36         0.08         1250 Hz         0.01         0.01           200 Hz         0.90         0.11         3150 Hz         0.79         0.12           4000 Hz         0.69         0.14         5000 Hz         0.69         0.14           5000 Hz         0.54         0.16         8000 Hz         0.47         0.17	Sabine	160 Hz	6.63	0.02
Interpolate       250 Hz       5.61       0.02         Interpolate       315 Hz       4.33       0.02         Desired [s] :       0.00       500 Hz       2.97       0.03         500 Hz       2.97       0.03       630 Hz       2.31       0.04         800 Hz       1.88       0.06       1250 Hz       1.36       0.08         Air Parameters       1600 Hz       1.19       0.09         Humidity :       60 %       2000 Hz       0.90       0.11         250 Hz       0.66       0.00       0.01       2500 Hz       0.90         Temperature :       20 °C       150 Hz       0.69       0.14         5000 Hz       0.54       0.16       6300 Hz       0.47       0.17	Eyring	200 Hz	6.08	0.02
Interpolate       315 Hz       4.33       0.02         Desired [s]:       0.00       400 Hz       3.52       0.03         500 Hz       2.97       0.03       630 Hz       2.31       0.04         800 Hz       1.88       0.05       1000 Hz       1.59       0.06         1250 Hz       1.36       0.08       1250 Hz       1.36       0.08         1600 Hz       1.19       0.09       0.011       2500 Hz       0.90       0.11         3150 Hz       0.79       0.12       0.90       0.11       3150 Hz       0.69       0.14         200 °C       70       5000 Hz       0.62       0.15       6300 Hz       0.54       0.16         8000 Hz       0.47       0.17       0.17       0.17       0.17       0.17	Babine	250 Hz	5.61	0.02
Desired [s]:       0.00         400 Hz       3.52       0.03         500 Hz       2.97       0.03         60 Hz       2.31       0.04         800 Hz       1.88       0.05         1000 Hz       1.59       0.06         1250 Hz       1.36       0.08         1600 Hz       1.19       0.09         2000 Hz       1.05       0.10         2500 Hz       0.90       0.11         3150 Hz       0.79       0.12         4000 Hz       0.69       0.14         5000 Hz       0.54       0.16         8000 Hz       0.47       0.17	Interpolate	315 Hz	4.33	0.02
500 Hz       2.97       0.03         630 Hz       2.31       0.04         800 Hz       1.88       0.05         1000 Hz       1.59       0.06         Air Parameters       1.00 Hz       1.59       0.06         Humidity:       60 %       1.05       0.10         2500 Hz       0.90       0.11       3150 Hz       0.79       0.12         Pressure :       20 °C       6300 Hz       0.62       0.15         6300 Hz       0.54       0.16       3000 Hz       0.47       0.17	Desired [s] : 0.00	400 Hz	3.52	0.03
630 Hz         2.31         0.04           800 Hz         1.88         0.05           1000 Hz         1.59         0.06           1250 Hz         1.36         0.08           1600 Hz         1.19         0.09           2000 Hz         0.90         0.11           3150 Hz         0.79         0.12           4000 Hz         0.69         0.14           5000 Hz         0.54         0.16           6000 Hz         0.54         0.16           8000 Hz         0.54         0.17	0.00	500 Hz	2.97	0.03
800 Hz         1.88         0.06           1000 Hz         1.59         0.06           1250 Hz         1.36         0.08           1600 Hz         1.19         0.09           1500 Hz         1.19         0.09           1600 Hz         1.19         0.09           1500 Hz         0.90         0.11           3150 Hz         0.79         0.12           4000 Hz         0.69         0.14           5000 Hz         0.54         0.16           8000 Hz         0.47         0.17		630 Hz	2.31	0.04
Air Parameters         1000 Hz         1.59         0.06           Humidity:         1250 Hz         1.36         0.09           0 %         1600 Hz         1.19         0.09           2000 Hz         0.05         0.11         3150 Hz         0.79         0.11           1000 Hz         0.69         0.11         0.69         0.11         0.50         0.10           2500 Hz         0.90         0.11         3150 Hz         0.79         0.12           1000 Hz         0.62         0.15         6300 Hz         0.62         0.15           6300 Hz         0.54         0.16         8000 Hz         0.47         0.17		800 Hz	1.88	0.05
1250 Hz         1.36         0.08           Air Parameters         1600 Hz         1.19         0.09           Humidity :         60         200 Hz         0.90         0.11           60         3150 Hz         0.79         0.12           Temperature :         20         C         6300 Hz         0.62         0.15           Pressure :         5000 Hz         0.54         0.16           8000 Hz         0.47         0.17		1000 Hz	1.59	0.06
Air Parameters         1600 Hz         1.19         0.09           Humidity :         60 %         2000 Hz         1.05         0.10           Emperature :         20 °C         3150 Hz         0.79         0.12           Pressure :         20 °C         6300 Hz         0.62         0.14           600 Hz         0.54         0.10         0.10           2500 Hz         0.90         0.11         3150 Hz         0.79         0.12           4000 Hz         0.62         0.15         6300 Hz         0.62         0.15           6300 Hz         0.54         0.16         8000 Hz         0.47         0.17		1250 Hz	1.36	0.08
Humidity :         2000 Hz         1.05         0.10           60 %         2500 Hz         0.90         0.11           3150 Hz         0.79         0.12           4000 Hz         0.69         0.14           500 Hz         0.62         0.15           Pressure :         600 Hz         0.54         0.16           8000 Hz         0.47         0.17	Air Parameters	1600 Hz	1.19	0.09
Control of y.         2500 Hz         0.90         0.11           60         %         3150 Hz         0.79         0.12           Temperature :         20         *C         4000 Hz         0.69         0.14           20         *C         5000 Hz         0.62         0.15           Fressure :         4000 Hz         0.54         0.16           8000 Hz         0.47         0.17	Humiditu :	2000 Hz	1.05	0.10
Image: bulk with the		2500 Hz	0.90	0.11
Temperature :         4000 Hz         0.69         0.14           20         *C         5000 Hz         0.62         0.15           6300 Hz         0.54         0.16         0.16           8000 Hz         0.54         0.17         0.17	60 ~	3150 Hz	0.79	0.12
20         °C         5000 Hz         0.62         0.15           Pressure :         6300 Hz         0.54         0.16           8000 Hz         0.47         0.17	Temperature :	4000 Hz	0.69	0.14
Pressure : 6300 Hz 0.54 0.16 8000 Hz 0.47 0.17	20 °C	5000 Hz	0.62	0.15
8000 Hz 0.47 0.17	Pressure :	6300 Hz	0.54	0.16
		8000 Hz	0.47	0.17
1013 H G 10000 Hz 0.42 0.17		10000 Hz	0.42	0.17
Recompute Apply Ok Cance	Recompute		Ok	Cance

Εικόνα 6.3. Οι επιλογές για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης

Οπως φαίνεται στην Εικόνα 6.3, μπορεί να επιλεχθεί για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης είτε η εξίσωση του Sabine, είτε του Eyring. Ακόμα, μπορούν να ορισθούν οι τιμές της υγρασίας του αέρα, καθώς και της θερμοκρασίας αλλά και της (ατμοσφαιρικής) πιέσεως.

Εφόσον επιλεχθούν οι επιθυμητές τιμές για τα πεδία της καρτέλας «Room RT», θα πρέπει να πατηθεί η επιλογή «Recompute», έτσι ώστε να υπολογιστεί ο χρόνος αντήχησης. Επειτα, θα πρέπει να επιλεχθεί η επιλογή «Apply» και στη συνέχεια «OK».

Για την εμφάνιση του χρόνου αντήχησης ως διάγραμμα, θα πρέπει να επιλεχθεί η επιλογή «Room RT» από τον κατάλογο «View». Το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 6.4.



Εικόνα 6.4. Η εμφάνιση του χρόνου αντήχησης ως διάγραμμα

Από την επιλογή «File» στο παράθυρο που φαίνεται στην Εικόνα 6.4, μπορεί να εξαχθεί το παραγόμενο διάγραμμα σε εικόνα, π.χ. όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.5.



Εικόνα 6.5. Το εξαγόμενο διάγραμμα του χρόνου αντήχησης από το EASE

#### 6.4.2. Υπολογισμός λόγου απευθείας προς αντηχητικό πεδίο

Το λογισμικό EASE παρέχει την δυνατότητα του υπολογισμού του λόγου της ακουστικής ενέργειας/ακουστικής πίεσης του απευθείας πεδίου προς την ακουστική ενέργεια/ακουστική πίεση του αντηχητικού πεδίου (D/R). Ετσι, μπορεί να μελετηθεί το κατά πόσο υπερισχύει ακουστικά ο απευθείας ήχος από τις αντηχήσεις σε έναν δεδομένο χώρο.

Για τον υπολογισμό του προαναφερθέντος λόγου, θα πρέπει να έχουν εισαχθεί στο μοντέλο χώρου ηχεία και δέκτες, είτε με την μορφή περιοχής ακροατηρίου είτε με την μορφή ακροατή. Εάν πληρούνται οι προϋποθέσεις αυτές, για τον υπολογισμό του λόγου D/R θα πρέπει να επιλεχθεί η επιλογή της εξαγωγής αποτελεσμάτων είτε επιλέγοντας το κατάλληλο εικονίδιο, που φαίνεται στην Εικόνα 6.6, είτε επιλέγοντας την επιλογή «Mapping» στην επιφάνεια εργασίας του project.



Εικόνα 6.6. Η επιλογή για την εξαγωγή αποτελεσμάτων

Το επόμενο παράθυρο που εμφανίζεται φαίνεται στην Εικόνα 6.7.

Standard Mapping Project2 - EASE 4.1		_ <i>0</i> ×
File Item View Mapping Tools Utilities Mouse Share Window	lelp	
E 🗟 🦓 🖗 🗶 🛓 🗢 🏷 🕀 🗟 🖂 🖾	! ⊕ ∞ Git D/R @ ⊗ α Σ C7 C50 C80 Ct L7 L50 L80 Lt ALC ST	I 🛗 🕈 🕈 🗣 😂 🚺 🕀 🖶 🖶 🖶 🔁 🗞 🗐 🛱 🞇
🛛 🕼 🗶 🚿 🔛 📥		
Project2 Used :		<u>*</u>
the second secon		
*		
a l		
<u> </u>		
Freq.: 1000 Aud. Area: A1 Value: No Area Co	sor : No Area	

Εικόνα 6.7. Το περιβάλλον εξαγωγής αποτελεσμάτων

Από την εικόνα που παρουσιάζεται πριν την εμφάνιση του περιβάλλοντος εξαγωγής αποτελεσμάτων, που φαίνεται στην Εικόνα 6.7, μπορεί κανείς να καταλάβει πως το EASE ενεργοποίησε το αντίστοιχο υποσύστημα λογισμικού για τον υπολογισμό και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Στην Εικόνα 6.7, φαίνονται οι περιοχές ακροατηρίου. Για τον υπολογισμό του λόγου D/R θα πρέπει να επιλεχθεί η αντίστοιχη λειτουργία από την μπάρα εργασίας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.7. Το επόμενο παράθυρο με τις επιλογές για τον υπολογισμό φαίνεται στην Εικόνα 6.8.

Mapping	Settings	Calcu	lation
Type of Map to calculate :	D/R Ratio	▼ < 100	10 Hz >
Loudspeakers in Use		Resolution	
Lspk	Lspk Group	Patch Size :	1.00
-None-		L/8	1 Pixel
		📃 🔲 Use Area Setti	ngs
Mane		Isoline Step [dB] :	1.00
<ul> <li>Single</li> <li>Labe</li> </ul>	el :	Scale [m] :	0.10
C All Mappings	culation #1	Scale [m] .	10.10
Contraction Newbook	1		Canad

Εικόνα 6.8. Οι επιλογές για τον υπολογισμό του λόγου D/R

Μπορεί να παρατηρηθεί πως υπάρχουν τρεις καρτέλες σχετικές με τις επιλογές για τον υπολογισμό του λόγου D/R. Στην καρτέλα «Mapping», υπάρχουν οι επιλογές για:

- Το μέγεθος που θα υπολογιστεί, «Type of Map to calculate», εάν ο χρήστης επιθυμεί να υπολογίσει κάποιο άλλο μέγεθος.
- Τα ηχεία τα οποία θα θεωρηθούν ενεργοποιημένα για τον υπολογισμό του εκάστοτε μεγέθους, «Loudspeakers in Use», όπου δίνεται η επιλογή για την εισαγωγή συγκεκριμένων ηχείων ή μίας ομάδας ηχείων (Lspk Group).
- Τις συχνότητες που θα υπολογιστεί το εκάστοτε μέγεθος, «Maps», όπου μπορεί να γίνει ο υπολογισμός για ένα μόνο μέγεθος, ή για όλα τα μεγέθη (All Mappings).
- Την ανάλυση της εμφάνισης των αποτελεσμάτων (Resolution)

Επιλέγοντας «Next», εμφανίζεται η επόμενη καρτέλα, που φαίνεται στην Εικόνα 6.9.

Mapping	Settings Calculation
Mapping	Style
🔽 On Areas	<ul> <li>Patches</li> <li>Colored</li> </ul>
🥅 On Seats	C Isolines 🔽 Labeled
Audience Areas in Use	Listener Seats in Use
Aud Area	List Seat   Seat Grou
A1, A1*,	-None-
<< Back Next >>	Ok Ca

Εικόνα 6.9. Η καρτέλα «Next», για τον καθορισμό των επιλογών για τον υπολογισμό μεγεθών

Στην καρτέλα που φαίνεται στην Εικόνα 6.9, μπορούν να φανούν οι επιλογές για:

- Τους δέκτες για του οποίους θα εξαχθούν τα αποτελέσματα, «Mapping», και όπου οι επιλογές είναι είτε για τις περιοχές του ακροατηρίου, «On Areas», είτε για μεμονωμένους ακροατές, «On Seats».
- Για την επιλογή των αντίστοιχων δεκτών, «Audience Areas in Use» για τις περιοχές ακροατηρίου, «Listeners Seats in Use» για μεμονωμένους ακροατές.
- Τον τύπο εμφάνισης των αποτελεσμάτων, «Patches» για χρωματιστές περιοχές ανάλογα την τιμή του υπολογισθέντος μεγέθους, «Isolines» για ισοβαρείς καμπύλες. Οι επιλογές «Colored» και «Labeled» αφορούν στην επιλογή ή όχι χρήσης χρωμάτων και ταμπελών για την εμφάνιση και κατάδειξη των τιμών.

Επιλέγοντας ξανά «Next», εμφανίζονται και οι τελευταίες επιλογές, όπου φαίνονται στην Εικόνα 6.10.

Mapping	Settings	Calculation
Split Time	Noise [dB]	Calculation
plit Time [ms] : 10	200 Hz 40.0 • 250 Hz 40.0	Map With Shadow
ALCons Formula	315 Hz 40.0	_ Interference
<ul> <li>Short Form</li> <li>Long Form</li> <li>TEF 20</li> </ul>	500 Hz 40.0 630 Hz 40.0 800 Hz 40.0 1000 Hz 40.0 1250 Hz 40.0	<ul> <li>Interference Sum</li> <li>Pot. Energy</li> <li>Kin. Energy</li> </ul>
Noise Turned On	2000 Hz 40.0 2500 Hz 40.0 2500 Hz 40.0	<ul> <li>Third Octave</li> <li>Sinus Only</li> </ul>

Εικόνα 6.10. Οι επιλογές της καρτέλας «Calculation», για την εξαγωγή αποτελεσμάτων

Οι επιλογές που φαίνονται στην Εικόνα 6.10 αφορούν στα εξής:

- Η επιλογή «Split Time» αφορά στο χρονικό όριο έλευσης των ηχητικών κυμάτων στον δέκτη, για τον καθορισμό των ηχητικών κυμάτων που θεωρούνται μέρος του απευθείας ηχητικού πεδίου, δίνοντας την δυνατότητα να συμπεριληφθούν και οι αρχικές ανακλάσεις ως απευθείας ήχος.
- Οι επιλογές κάτω από τον τίτλο «ALCons Formula» αφορούν στην επιλογή της εξίσωσης υπολογισμού των ALCons, καθώς και στην επιλογή ενεργοποίησης του προφίλ θορύβου που φαίνεται στον πίνακα στην μέση της καρτέλας.
- Η επιλογή «Map with Shadow» αφορά στα εάν θα συμπεριληφθεί η δημιουργούμενη ακουστική σκιά από στοιχεία του χώρου, όπως η ακουστική σκιά που δημιουργείται κάτω από τα θεωρία των θεάτρων.
- Η επιλογή «Interference» αφορά στον τρόπο υπολογισμού της ακουστικής ενέργειας. Εάν δεν είναι επιλεγμένη η επιλογή «Interference Sum» τότε χάνονται οι όποιες πληροφορίες αφορούν στην φάση των ηχητικών κυμάτων και, κατά συνέπεια, δεν συμπεριλαμβάνονται στα αποτελέσματα ακυρώσεις ή ενισχύσεις των κυμάτων. Οι επιλογές για την Δυναμική (Pot. Energy) ή την Κινητική (Kin. Energy) ενέργεια, αφορούν στην επιλογή ενός εκ των δύο ενεργειών για την εύρεση των αποτελεσμάτων, ή και των δύο εάν επιλεχθούν και οι δύο επιλογές.
- Η επιλογή «Third Octave» και «Sinus Only» αφορά στην διεξαγωγή των υπολογισμών μόνο για την συχνότητα που προσδιορίστηκε στην καρτέλα «Mapping» (Sinus Only) ή για όλες τις συχνότητες, ανά τρίτα οκτάβας (Third Octave).

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε μερικές εκδόσεις του EASE, για τον υπολογισμό όλων των συχνοτήτων ανά τρίτα οκτάβας, θα πρέπει να έχει επιλεχθεί και η επιλογή «All Mappings» στην καρτέλα «Mapping».

Επιλέγοντας «ΟΚ» αρχίζει ο υπολογισμός του μεγέθους και εμφανίζεται το παράθυρο που φαίνεται στην Εικόνα 6.11.



Εικόνα 6.11. Το παράθυρο εξαγωγής αποτελεσμάτων

Στο παράθυρο που φαίνεται στην Εικόνα 6.11, παρουσιάζεται το αποτέλεσμα για το μέγεθος που επιλέχθηκε σε μορφή διαγράμματος. Εάν δεν είναι επιθυμητή αυτή η μορφή, υπάρχουν οι επιλογές κάτω από την λέξη «View», οι οποίες είναι:

- Graph, όπου το/τα αποτέλεσμα/αποτελέσματα παρουσιάζεται ως γράφημα
- Table, όπου το/τα αποτέλεσμα/αποτελέσματα παρουσιάζεται ως πίνακας, και
- Combined, όπου συνδυάζονται οι δύο παραπάνω μορφές παρουσίασης.

Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι πως το διάγραμμα αφορά σε μία συγκεκριμένη θέση πάνω στην περιοχή ακροατηρίου που έχει οριστεί, η οποία (θέση) φαίνεται στο πεδίο πάνω δεξιά στο παράθυρο στην Εικόνα 6.11, και εδώ είναι η περιοχή 12 για την περιοχή ακροατηρίου A1\* (όπου με «\*» σημειώνονται τα συμμετρικά στοιχεία), με συντεταγμένες -1, -3, 2. Το διάγραμμα του αποτελέσματος για το σύνολο της περιοχής ακροατηρίου μπορεί να φανεί με την επιλογή ενός εκ των επιλογών κάτω από τον τίτλο «Compute», στο δεξί μέρος του εν λόγω παραθύρου. Οι επιλογές αυτές είναι:

- Average, όπου μπορεί να εμφανιστεί ο μέσος όρος του υπολογισθέντος μεγέθους, για το σύνολο της περιοχής ακροατηρίου
- Maximum, όπου εμφανίζεται η μέγιστη τιμή, για την ίδια περιοχή, και
- Minimum, όπου εμφανίζεται η ελάχιστη τιμή.
- Η επιλογή «Hide» αφορά στην απόκρυψη του διαγράμματος για την συγκεκριμένη θέση της περιοχής ακροατηρίου.

Πάνω από το κύριο μέρος παρουσίασης του διαγράμματος, στην Εικόνα 6.11, μπορούν να παρατηρηθούν 4 οριζόντια πεδία:

- Το πεδίο με την λέξη «Calculation #1», όπου σε αυτό αναγράφεται το όνομα των υπολογισμών, όπου η ονομασία έγινε στο παράθυρο που φαίνεται στην Εικόνα 6.8, στο πεδίο «Label»
- Το πεδίο με την λέξη «D/R Ratio», όπου σε αυτό αναγράφεται το μέγεθος που εμφανίζεται με την μορφή διαγράμματος. Επίσης, επιλέγοντας το βελάκι σε αυτό το πεδίο, μπορούν να

επιλεχθούν και άλλα μεγέθη προς εμφάνιση αρκεί να έχει επιλεχθεί το πεδίο «All Mappings», όπου φαίνεται στην Εικόνα 6.8.

- Το πεδίο στο οποίο αναγράφεται η συχνότητα για την οποία έγινε ο υπολογισμός και το αντίστοιχο αποτέλεσμα φαίνεται με την κόκκινη διακεκομμένη γραμμή στο διάγραμμα, και
- Το πεδίο στο οποίο αναγράφεται η λέξη «Third Octave», στο οποίο αναγράφεται η ζώνη συχνοτήτων για την οποία έγιναν οι υπολογισμοί.

Ακόμα, στην Εικόνα 6.11 μπορούν να φανούν ορισμένες καρτέλες. Αυτές είναι:

- Η καρτέλα «Frequency», όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μορφή διαγράμματος ανά συχνότητα
- Η καρτέλα «Echogram», στην οποία παρουσιάζεται ο τοπικός χρόνος αντήχησης/ εξασθένισης (Decay Time), που μπορεί να βρεθεί εφόσον έχουν πραγματοποιηθεί η υπολογισμοί (και έχει εμφανισθεί το παράθυρο της Εικόνας 6.11) και κλειστεί το παράθυρο αυτό, στον κατάλογο «Mapping», στην επιλογή «Local Decay Time»)
- Η καρτέλα «File Info», όπου παρουσιάζονται σε μορφή κειμένου ASCII τα αποτελέσματα
- Η καρτέλα «Distribution», στην οποία φαίνεται η κατανομή ανά στάθμη του υπολογισθέντος μεγέθους, και
- Η καρτέλα «Options», στην οποία μπορούν να φανούν οι επιλογές για τον δείκτη μετάδοσης ομιλίας (Speech Transmission Index, STI)

Για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων σε μορφή εικόνας, θα πρέπει είτε να επιλεχθεί το εικονίδιο δίπλα από τον «κάδο ανακύκλωσης», όπου ο «χάρτης» του χώρου παρουσιάζει το αποτέλεσμα με μορφή χρώματος για το συγκεκριμένο μέγεθος και στην επιλεγμένη συχνότητα, είτε το δεύτερο εικονίδιο, από αριστερά προς τα δεξιά, από τον «κάδο ανακύκλωσης» με το οποίο θα δημιουργηθούν όλες οι αντίστοιχες εικόνες για όλες τις συχνότητες και τα επιλεγμένα μεγέθη. Επιλέγοντας το δεύτερο εικονίδιο, εμφανίζονται οι επιλογές:

- Render All, και
- Send to EASEPad

To «EASEPad» είναι ένα υποσύστημα λογισμικού του EASE το οποίο μπορεί να διαχειριστεί τις εικόνες που δημιουργούνται από το EASE (μεγέθυνση, σμίκρυνση, περιστροφή κ.α.). Οποια από τις δύο επιλογές και εάν επιλεχθεί, θα εμφανιστεί το παράθυρο που φαίνεται στην Εικόνα 6.12.



Εικόνα 6.12. Το παράθυρο εξαγωγής των «χαρτών» αποτελεσμάτων

Σε αυτό το παράθυρο, μπορούν να επιλεχθούν τα μεγέθη για τα οποία θα παραχθούν οι τελικοί «χάρτες» αποτελεσμάτων, όπου φαίνονται και στο πάνω μέρος στην Εικόνα 6.12, καθώς, και για έκαστο μέγεθος, οι συχνότητες/ζώνη συχνοτήτων για τις οποίες θα παραχθούν οι «χάρτες», όπου εμφανίζονται στο κάτω (γκρίζο) μέρος του παραθύρου που φαίνεται στην Εικόνα 6.12.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως ο χρόνος για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων εξαρτάται, σημαντικά, από την ανάλυση των περιοχών ακροατηρίου (όπου μπορεί να επιλεχθεί από το πεδίο «Patch Size» στην Εικόνα 6.8) και τα επιλεγμένα μεγέθη. Σε περίπτωση που έχει οριστεί μεγάλη ανάλυση και πολλά μεγέθη, ο χρόνος για την εξαγωγή αποτελεσμάτων μπορεί να είναι μεγαλύτερος από δέκα λεπτά. Για αυτό τον λόγο, συνιστάται η τιμή του πεδίου «Patch Size» να είναι πάνω από 3.28, για την εξαγωγή των «πρώτων», προσεγγιστικών - ενδεικτικών αποτελεσμάτων.

## 6.5. Υλοποίηση της άσκησης

Για την υλοποίηση της άσκησης θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο χώρος που δημιουργήθηκε στην προηγούμενη εργαστηριακή άσκηση. Για τον χώρο αυτό, θα πρέπει να υπολογιστεί ο χρόνος αντήχησης και ο λόγος D/R. Τα ηχεία που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι της εταιρείας Meyer, το μοντέλο HM1.

## 6.5.1.Διαδικασία υλοποίησης

Τα βήματα που θα πρέπει να ακολουθηθούν για την υλοποίηση της άσκησης είναι τα εξής:

- 1. Ανοιγμα του project της προηγούμενης εργαστηριακής άσκησης.
- 2. Ανοιγμα του περιβάλλοντος εισαγωγής στοιχείων στο μοντέλο του χώρου
- 3. Επιλογή του κατάλληλου ύψους εισαγωγής των ηχείων. Τα ηχεία θα πρέπει να είναι στην κορυφή του χώρου. Επίσης, θα πρέπει να υπολογιστούν οι διαστάσεις του ηχείου, έτσι ώστε το ηχείο να μην ξεπερνάει την οροφή στο μοντέλο του χώρου. Τα χαρακτηριστικά του ηχείου μπορούν να βρεθούν στον σύνδεσμο <u>http://www.meyersound.com/products/</u> <u>#studio</u>, επιλέγοντας την επιλογή «Datasheet»
- 4. Επιλογή της λειτουργίας εισαγωγής ηχείου.

#### 60 Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων

- 5.Εισαγωγή των ηχείων, στις κατάλληλες συντεταγμένες. Εάν είναι επιλεγμένη η επιλογή του συμμετρικού δωματίου/χώρου (Room symmetric), τότε θα εισαχθούν, αυτόματα, δύο ηχεία. Τα ηχεία θα πρέπει να είναι στην κορυφή του χώρου και μπροστά (δηλαδή, προς τις αρνητικές τιμές του άξονα xx') από τον τοίχο που ορίζεται από τα σημεία -2,0,0, -2,0,3, 2,0,3.
- 6. Επιλογή των κατάλληλων συντεταγμένων εισαγωγής ηχείων, σύμφωνα με το βήμα 3.
- 7. Επιλογή του ηχείου «ΗΜ1», της εταιρείας «Meyer».
- 8. Επιλογή της μέγιστης στάθμης αναπαραγωγής για το ηχείο.
- 9. Εισαγωγή περιοχής ακροατηρίου. Εάν είναι επιλεγμένη η επιλογή του συμμετρικού χώρου, τότε θα εισαχθούν, αυτόματα, δύο περιοχές ακροατηρίου. Εν πάση περιπτώσει, θα πρέπει να εισαχθούν δύο περιοχές ακροατηρίου με συντεταγμένες της πρώτης:
  - -1.5,-0.5,1.5 0,-0.5,1.5 -1.5,-4.5,1.5 0,-4.5,1.5 (x,y,z)

και της δεύτερης:

• 0,-0.5,1.5 1.5,-0.5,1.5 0,-4.5,1.5 1.5,-4.5,1.5 (x,y,z)

10.Υπολογισμός του χρόνου αντήχησης, σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στην Ενότητα 6.3.2

11.Υπολογισμός του λόγου D/R, σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στην Ενότητα 6.3.4

# 7.Παρουσίαση Των Μετρητικών Οργάνων Και Των Χρησιμοποιούμενων Συζευκτήρων

## 7.1. Μετρητικά Οργανα

## 7.1.1.Το Ηχόμετρο Lutron SL4010

Το ηχόμετρο (sound level meter) Lutron SL4010 είναι ακρίβειας Type II, σύμφωνα με το πρότυπο ANSI S1.4-1983, και διαθέτει εύρος μέτρησης από 35 έως 130dB, στάθμιση Α και γρήγορη (fast) λήψη μέτρησης. Αποτελείται από δύο μέρη: Το μικρόφωνο, μαζί με τον προενισχυτή του, και το σώμα του ηχομέτρου (Εικόνα 7.1). Στο σώμα υπάρχουν δύο συρόμενοι διακόπτες: Ο Δ1 που απενεργοποιεί ή θέτει σε λειτουργία το ηχόμετρο και ο Δ2 που ορίζει το εύρος των τιμών της στάθμης ηχητικής πίεσης όπου θα μετρήσει το ηχόμετρο. Η επιλογή του εύρους τιμών είναι απαραίτητη και εφαρμόζεται σε όλα τα μετρητικά συστήματα στάθμης ηχητικής πίεσης, λόγω της μεγάλης δυναμικής περιοχής που πρέπει να υποστηριχθεί, η οποία δεν είναι δυνατό να καλυφθεί από τα ηλεκτρονικά των μετρητικών συστημάτων με μεγάλη ακρίβεια. Επίσης, στο σώμα του ηχόμετρου υπάρχει και η οθόνη του, στην οποία αναγράφονται οι τιμές της στάθμης ηχητικής πίεσης.

Η ένδειξη «Hold», αφορά στην προσωρινή αποθήκευση των τιμών της στάθμης ηχητικής πίεσης, στην οθόνη του οργάνου. Ετσι, σε περίπτωση που είναι επιθυμητό να παραμείνει η τιμή της στάθμης ηχητικής πίεσης ενός γεγονότος στην οθόνη, και να μην αντικατασταθεί από την τιμή του επομένου, θα πρέπει να τοποθετηθεί ο διακόπτης Δ1 στη θέση «Hold» για το διάστημα που απαιτείται από τον χρήστη. Σημειώνεται πως δεν υπάρχει δυνατότητα ανάκλησης της τιμής της στάθμης ηχητικής πίεσης για τα ηχητικά γεγονότα τα οποία θα συμβούν όταν ο Δ1 είναι στη θέση «Hold».



**Εικόνα 7.1.** Το ηχόμετρο Lutron SL4010.

**ΠΡΟΣΟΧΗ**: Η χρήση του οργάνου απαιτεί εξαιρετική **προσοχή**! Οποιοδήποτε χτύπημα μπορεί να καταστρέψει το μικρόφωνο. ΣΕ ΚΑΜΙΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΝΑ **ΜΗΝ ΑΓΓΙΖΕΤΕ ΤΟ ΜΙΚΡΟΦΩΝΟ** ΚΑΙ ΝΑ ΑΠΟΦΕΥΓΕΤΑΙ Η ΕΚΘΕΣΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ ΣΕ ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΥΨΗΛΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (π.χ. **ΜΗΝ δοκιμάσετε πόσο δυνατά μπορείτε να φωνάξετε με το όργανο**). <u>Υπάρχει κίνδυνος</u> καταστροφής του μικροφώνου.

## 7.1.2.Το Ψηφιακό Πολύμετρο - Μετρητής Τάσης

Το ψηφιακό πολύμετρο (digital multimeter, DT 830B) που θα χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση των εργαστηριακών ασκήσεων φαίνεται στην Εικόνα 7.2 και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση τάσης συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος, έντασης συνεχούς ρεύματος, και τιμών ωμικής αντίστασης. Εχει οθόνη ένδειξης τιμών, ένα περιστρεφόμενο διακόπτη επιλογής εύρους των μετρούμενων τιμών και θηλυκούς συζευκτήρες για την σύνδεση ειδικών καλωδίων. Λειτουργεί με μία μπαταρία 9V και για τον τερματισμό της λειτουργίας του θα πρέπει ο περιστρεφόμενος διακόπτης να τοποθετηθεί στην θέση «Off».

Συνοδεύεται από ειδικά καλώδια και οδοντωτούς προσαρμογείς των καλωδίων («κροκοδειλάκια») σε πιθανούς ακροδέκτες, για την διευκόλυνση της διατήρησης της συνεχούς επαφής των ακροδεκτών των καλωδίων με τους ακροδέκτες/επαφές του προς μέτρηση εξαρτήματος. Τα ειδικά καλώδια φαίνονται στην Εικόνα 7.3. Αποτελούνται από τον αρσενικό συζευκτήρα που συνδέεται στον θηλυκό συζευκτήρα του πολύμετρου, τον ακροδέκτη που τοποθετείται στην προς μέτρηση διάταξη/εξάρτημα και το σώμα του δεύτερου ακροδέκτη, που χρησιμεύει για τον ασφαλή χειρισμού του (από εκεί μπορεί κανείς να «πιάσει» το καλώδιο για να το χειριστεί).



**Εικόνα 7.2.** Το ψηφιακό πολύμετρο DT 830B.



Εικόνα 7.3. Τα ειδικά καλώδια του πολύμετρου και οι οδοντωτοί προσαρμογείς τους.

Για την διεξαγωγή μέτρησης στο ψηφιακό πολύμετρο θα πρέπει να συνδεθούν τα παρεχόμενα καλώδια, να προσαρμοστούν οι ακροδέκτες ή οι οδοντωτοί προσαρμογείς στις κατάλληλες επαφές (ακροδέκτες) του συζευκτήρων και να ρυθμιστεί το κατάλληλο εύρος των τιμών του πολύμετρου.

## 7.2.Συζευκτήρες

#### 7.2.1.Ο Συζευκτήρας Τύπου XLR

Ο συζευκτήρας τύπου XLR3 μοιάζει με τους συζευκτήρες τύπου DIN 41524 με τρεις ακροδέκτες, αλλά έχει μεγαλύτερη διάμετρο, και χρησιμοποιείται συνήθως στην μεταφορά ηχητικού σήματος, σύμφωνα με το πρότυπο της Συμμαχίας Βιομηχανιών Ηλεκτρονικών (Electronic Industry Alliance, EIA) RS - 297 - A. Η Εικόνα 7.4 παρουσιάζει έναν αρσενικό συζευκτήρα τύπου XLR3.



Εικόνα 7.4. Αρσενικός συζευκτήρας τύπου XLR3.

όπου:

- 1 είναι η γείωση,
- 2 η φάση, και
- 3 ο ουδέτερος/επιστροφή.

Για τον συζευκτήρα XLR3 χρησιμοποιούνται και οι ονομασίες cannon και QG. Οπου cannon ονομάστηκε λόγο του ονόματος του αρχικού του δημιουργού, James H. Cannon (19/05/1890 -24-02-1945), ιδρυτή της εταιρείας Cannon Electric, και QG εκ του Quick Grounding λόγω του ότι η γείωση παρέχεται σε ξεχωριστό ακροδέκτη. Η ονομασία QG απαντάται σπάνια πλέον ενώ η πιο συχνή είναι η ονομασία cannon.

## 7.2.2.Ο Συζευτκήρας Τύπου TRS

Ο συζευκτήρας τύπου TRS εφευρέθηκε τον 20° αιώνα για την σύνδεσηδιεπαφών στα τηλεφωνικά κέντρα, όπου από αυτή του τη χρήση "πήρε" και ένα από τα, αρχικά, ονόματά του, ήτοι τηλεφωνικό βύσμα (phone plug). Χρησιμοποιείται για την μεταφορά ηχητικών σημάτων και παράγεται σε τρία μεγέθη:

- Διαμέτρου 6.35 χιλιοστών
- Διαμέτρου 3.5 χιλιοστών
- Διαμέτρου 2.5 χιλιοστών

Τα μέρη του συζευκτήρα παρουσιάζονται στην Εικόνα 7.5.



Εικόνα 7.5. Αρσενικοί συζευκτήρες τύπου TRS.

όπου:

- 1 είναι η γείωση,
- 2 είναι η επιστροφή/ουδέτερο για μονοφωνικά σήματα ή το δεξί κανάλι για στερεοφωνικά
- 3 είναι η φάση για μονοφωνικά σήματα ή το αριστερό κανάλι για στερεοφωνικά και
- 4 είναι μονωτικοί κρίκοι απαραίτητοι για την κατασκευή του συζευκτήρα.

Το μέρος με τον αριθμό 1 είναι το "μανίκι" (sleeve), το μέρος 2 είναι το "δακτυλίδι" (ring) και το μέρος 3 είναι η "μύτη" (tip) του συζευκτήρα. Από αυτά τα μέρη πηγάζει και το όνομα του, δηλαδή TRS (Tip Ring Sleeve). Οι συζευκτήρες που δεν έχουν το μέρος 2 ονομάζονται TS, εκ των λέξεων Tip και Sleeve.

## 8.Παράδοση Των Εργασιών

Παραδοτέο της κάθε εργαστηριακής άσκησης αποτελεί γραπτή αναφορά σε ηλεκτρονική μορφή (τύπου .pdf), στην οποία απαραιτήτως θα περιλαμβάνονται οι παρακάτω ενότητες:

- Εξώφυλλο με τα στοιχεία της εργασίας, τα προσωπικά στοιχεία του συγγραφέα (ονοματεπώνυμο, έτος σπουδών και αριθμός μητρώου) και την ομάδα / ημερομηνία εκτέλεσης της άσκησης.
- 2. Ενότητα «Εισαγωγή» στην οποία θα εξηγούνται επιγραμματικά οι στόχοι της άσκησης.
- 3. Ενότητα «**Θεωρία**» στην οποία θα δίνονται οι ορισμοί όλων των (ηχητικών) μεγεθών και εννοιών που χρησιμοποιούνται στην άσκηση, καθώς και των λεπτομερειών/επεξηγήσεων που σχετίζονται με αυτούς και κρίνεται απαραίτητο ότι πρέπει να αναφερθούν.
- 4. Ενότητα «**Υλοποίηση**», στην οποία θα περιγράφεται και θα αναλύεται η μεθοδολογία και η διαδικασία εκτέλεσης της άσκησης που πραγματοποιήθηκε.
- 5. Ενότητα «**Αποτελέσματα**» στην οποία θα δίνονται τα ζητούμενα από την άσκηση αποτελέσματα των μετρήσεων υπό μορφή πινάκων ή / και διαγραμμάτων.
- 6. Ενότητα «**Συμπεράσματα**» στην οποία θα συνοψίζονται σε μία-δύο παραγράφους οι εργασίες που εκτελέστηκαν και θα ερμηνεύονται ποιοτικά ή/και ποσοτικά, καθώς και συνδυαστικά τα αποτελέσματα που παρήχθησαν (ειδικά σε σχέση με τα αναμενόμενα).
- 7. Ενότητα «**Βιβλιογραφία**» στην οποία θα πρέπει να παρατίθενται οι αναφορές στις όποιες εργασίες ή γραπτά κείμενα χρησιμοποιήθηκαν για την σύνταξη της γραπτής αναφοράς.

Η κατάθεση των ηλεκτρονικών αναφορών γίνεται αποκλειστικά και μόνο ηλεκτρονικά μέσω του eclass. Η προθεσμία υποβολής της εκάστοτε εργαστηριακής αναφοράς είναι αυστηρή και ορίζεται να είναι μία εβδομάδα μετά την εκτέλεση της αντίστοιχης εργαστηριακής άσκησης. Υπενθυμίζεται ότι όλες οι εργασίες είναι <u>ατομικές</u>. 66 Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων

# 9.Σημαντικές Παρατηρήσεις

- 1. Δεδομένου ότι τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν για την εκτέλεση εργαστηριακών ασκήσεων είναι καθορισμένα, παρακαλούνται οι συμμετέχοντες να προσέρχονται χωρίς καθυστέρηση την προβλεπόμενη από το ωρολόγιο πρόγραμμα ώρα, καθώς θα είναι αδύνατη η προς τα πίσω εξήγηση, η ερμηνεία επιμέρους λεπτομερειών και η παροχή πρόσθετων διευκρινίσεων.
- 2. Για την εκτέλεση των εργαστηριακών ασκήσεων στις συνθήκες του εργαστηρίου, απαραίτητη κρίνεται η τήρηση σημειώσεων που θα αφορούν στα δεδομένα των ασκήσεων. Για αυτό, παρακαλούνται όλοι οι φοιτητές να έχουν μαζί τους «χαρτί και μολύβι».
- 3.Λόγω της φύσης των εργαστηριακών ασκήσεων, είναι απαραίτητη η τήρηση απόλυτης ησυχίας κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων, τόσο από τα μέλη της ομάδας που διεξάγει τις μετρήσεις, όσο και από τους υπόλοιπους παρευρισκόμενους. Επίσης θα πρέπει να απενεργοποιηθεί κάθε είδους εξοπλισμός (π.χ. υπολογιστές/κινητά τηλέφωνα) ο οποίος δεν χρησιμοποιείται για τους σκοπούς της άσκησης.
- 4.Σε αρκετές από τις ασκήσεις απαιτείται η προσεκτική ακρόαση ηχητικών δεδομένων. Για το λόγο αυτό, συνίσταται η χρήση στερεοφωνικών ακουστικών, τα οποία θα πρέπει να διαθέτουν οι φοιτητές κατά την προσέλευσή τους. Σημειώνεται πως, για λόγους ατομικής υγιεινής, δεν συνίσταται η κοινή χρήση ζεύγους ή ζευγών ακουστικών.

68 Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων

# 10.Ευρετήριο εξισώσεων

Εξισωση 2.1, ευαισθησία μικροφώνου	9
Εξίσωση 2.2, στάθμη ευαισθησίας	10
Εξίσωση 2.3, κατευθυντικότητα	11
Εξίσωση 2.4, κέρδος γωνιακής κατευθυντικότητας	11
Εξίσωση 3.1, συμβολή σημάτων	21
Εξίσωση 3.2, λόγος σήματος προς θόρυβο	21
Εξίσωση 4.1, χρονικά μεταβαλλόμενη έξοδος συστηματος	24
Εξίσωση 4.2, απόκριση συχνότητας	24
Εξίσωση 6.1, χρόνος αντήχησης κατά Eyring	45
Εξίσωση 6.2, χρόνος αντήχησης κατά Sabine	46
Εξίσωση 6.3, μέσος συντελεστής απορρόφησης	46
Εξίσωση 6.4, ακουστική πίεση απευθείας ηχητικού πεδίου	46
Εξίσωση 6.5, ακουστική πίεση αντηχητικού πεδίου	47
Εξίσωση 6.6, συνθήκη ακτίνας αντίχησης/κρίσιμης απόστασης	47

70 Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων

# 11.Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 2.1, διάγραμμα απόκρισης συχνότητας μικροφώνου	10
Εικόνα 2.2, διάγραμμα κατευθυντικότητας μικροφώνου	12
Εικόνα 2.3, βασικοί λοβοί μικροφώνων	13
Εικόνα 2.4, διαδικασία μέτρησης της ευαισθησίας ενός μικροφώνου	14
Εικόνα 2.5, παράδειγμα παραγόμενου διαγράμματος κατευθυντικότητας με την εντολή dirplot της MATLAB	17
Εικόνα 3.1, κονσόλα ήχου	19
Εικόνα 3.2, μείκτης ήχου	20
Εικόνα 3.3, σχηματικό διάγραμμα δρομολόγησης του σήματος με την χρήση ενός μείκτη ήχου	20
Εικόνα 3.4, σχηματικό διάγραμμα πρόσθεσης θορύβου στο αρχικό σήμα.	20
Εικόνα 3.5, Σχηματικό διάγραμμα πειραματικής διάταξης, α) μέτρησης θορύβου του συστήματος, β)μέτρησης εξόδου του συστήματος	21
Εικόνα 4.1, σχηματική αναπαράσταση του ορισμού της κρουστικής απόκρισης	23
Εικόνα 4.2, το παράθυρο της κρουστικής απόκρισης του λογισμικού Sample Champion.	25
Εικόνα 4.3, τα παράθυρο της κρουστικής απόκρισης του λογισμικού Sample Champion με την επιλογή του προς επεξεργασία τμήμα της κρουστικής απόκρισης	26
Εικόνα 4.4, το παραγόμενο διάγραμμα της απόκρισης συχνότητας με την χρήση του λογισμικού Sample Champion	26
Εικόνα 5.1, η αρχική εικόνα του λογισμικού EASE	28
Εικόνα 5.2, η επιλογή "New Project" στον κατάλογο File του λογισμικού EASE	29
Εικόνα 5.3, η επιλογή "Create Project" στον κατάλογο Start Working του λογισμικού EASE	29
Εικόνα 5.4, η εικόνα με τις επιλογές αποθήκευσης του λογισμικού EASE	30
Εικόνα 5.5, οι επιλογές έτοιμων μοντέλων χώρων του λογισμικού EASE	30
Εικόνα 5.6, η επιλογή αποθήκευσης των αλλαγών από την επιφάνεια εργασίας του ανοιχτού project στο λογισμικό EASE	31
Εικόνα 5.7, η επιλογή αποθήκευσης των αλλαγών από την μπάρα εργασίας στο λογισμικό EASE	31
Εικόνα 5.8, η επιφάνεια εργασίας του νέου project στο λογισμικό EASE	32
Εικόνα 5.9, οι επιλογές για τα δεδομένα χώρου στο λογισμικό EASE	32

Εικόνα 5.10, το περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων χώρου στο λογισμικό EASE	33
Εικόνα 5.11, λεπτομέρεια από την Εικόνα 5.10	34
Εικόνα 5.12, το περιβάλλον επιλογής και υπολογισμού μεγεθών και εξαγωγής των αποτελεσμάτων στο λογισμικό EASE	34
Εικόνα 5.13, οι επιλογές για τον υπολογισμό μεγεθών και την εξαγωγή αποτελεσμάτων στο λογισμικό EASE	35
Εικόνα 5.14, εισαχθέντα σημεία με αρχή το σημείο 0,0,0 στο λογισμικό EASE	36
Εικόνα 5.15, εισαχθέντα σημεία με την λειτουργία της συμμετρικής εισαγωγής στο λογισμικό EASE	37
Εικόνα 5.16, το εικονίδιο εισαγωγής σημείου - vertex στην κάθετη μπάρα εργασίας στο λογισμικό EASE	38
Εικόνα 5.17, οι επιλογές εισαγωγής των συντεταγμένων για την εισαγωγή σημείου – vertex στο λογισμικό EASE	38
Εικόνα 5.18, συμμετρική εισαγωγή ακμών στο λογισμικό EASE	39
<u>Εικόνα 5.19, ο χώρος με ορισμένα τα όρια όλων των επιφανειών στο λογισμικό</u> <u>EASE</u>	40
Εικόνα 5.20, επιφάνεια με προσανατολισμό στο εσωτερικό του μοντέλου του χώρου στο λογισμικό EASE	41
Εικόνα 5.21, επιφάνεια με προσανατολισμό αντίθετο από την επιφάνεια στην Εικόνα 5.20 στο λογισμικό EASE	41
Εικόνα 5.22, τα διαδοχικά παράθυρα που εμφανίζονται κατά την διαδικασία επιλογής υλικού για επιφάνεια στο λογισμικό EASE	42
Εικόνα 5.23, η τομή του χώρου της εργαστηριακής άσκησης 4	43
Εικόνα 5.24, η κάτοψη του χώρου της εργαστηριακής άσκησης 4	43
Εικόνα 6.1, η επιλογή για την εισαγωγή ηχείων από την κάθετη μπάρα εργασίας στο λογισμικό EASE	48
Εικόνα 6.2, οι επιλογές εισαγωγής ηχείου στο λογισμικό EASE	49
Εικόνα 6.3, οι επιλογές για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης στο λογισμικό EASE	51
Εικόνα 6.4, η εμφάνιση του χρόνου αντήχησης ως διάγραμμα στο λογισμικό EASE	51
Εικόνα 6.5, το εξαγόμενο διάγραμμα του χρόνου αντήχησης από το λογισμικό EASE	52
Εικόνα 6.6, η επιλογή για την εξαγωγή αποτελεσμάτων του λογισμικού EASE	53
Εικόνα 6.7, το περιβάλλον εξαγωγής αποτελεσμάτων στο λογισμικό EASE	53
Εικόνα 6.8, οι επιλογές για τον υπολογισμό του λόγου D/R στο λογισμικό EASE	54
Εικόνα 6.9, η καρτέλα «Next», για τον καθορισμό των επιλογών για τον υπολογισμό μεγεθών στο λογισμικό EASE	55
---	----
Εικόνα 6.10, οι επιλογές της καρτέλας «Calculation», για την εξαγωγή αποτελεσμάτων στο λογισμικό EASE	56
Εικόνα 6.11, το παράθυρο εξαγωγής αποτελεσμάτων στο λογισμικό EASE	57
Εικόνα 6.12, Το παράθυρο εξαγωγής των «χαρτών» αποτελεσμάτων στο λογισμικό EASE	59
Εικόνα 7.1, το ηχόμετρο Lutron SL4010	62
Εικόνα 7.2, το ψηφιακό πολύμετρο DT 830Β	62
Εικόνα 7.3, τα ειδικά καλώδια του πολύμετρου και οι οδοντωτοί προσαρμογείς τους	63
Εικόνα 7.4, αρσενικός συζευκτήρας τύπου XLR3	63
Εικόνα 7.5, αρσενικοί συζευκτήρες τύπου TRS	64

74 Ηλεκτροακουστική & Ακουστική Χώρων

## 12.Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 2.1, τιμές φίλτρου στάθμισης Α	14
Πίνακας 2.2, συχνότητες και γωνίες μέτρησης κατευθυντικότητας μικροφώνου	15