

ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Συνδυασμός υλικού και λογισμικού στην ανάπτυξη προτύπων
διατάξεων μετρήσεων ήχων**

Λιβαδάς Δ. Γεώργιος
Ρεμούνδος Β. Χρήστος

Εισηγητής: Δρ Παναγιώτης Δροσινόπουλος, Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2018

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Συνδυασμός υλικού και λογισμικού στην ανάπτυξη προτύπων
διατάξεων μετρήσεων ήχων**

Γεώργιος Δ. Λιβαδάς

A.M. 21595

Χρήστος Β. Ρεμούνδος

A.M. 22169

Εισηγητής:

Δρ Δροσινόπουλος, Καθηγητής

Εξεταστική Επιτροπή:

, Καθηγητής

, Επίκουρος Καθηγητής

Ημερομηνία εξέτασης

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Λιβαδάς Γεώργιος του Δημητρίου με αριθμό μητρώου 21595 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ Συστημάτων Τ.Ε. του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. και Ρεμούνδος Χρήστος του Βασιλείου με αριθμό μητρώου 22169, πριν αναλάβουμε την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μας, δηλώνουμε ότι ενημερωθήκαμε για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασης της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ολοκληρώθηκε μετά από επίμονες προσπάθειες, σε ένα ενδιαφέρον γνωστικό αντικείμενο, όπως αυτό της επεξεργασίας ήχου με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού. Την προσπάθειά μας αυτή υποστήριξε ο επιβλέπων καθηγητής μας, τον οποίο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε.

Ακόμα, να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας και τις συζύγους μας για την στήριξη που μας παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών αλλά και της υλοποίησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την μέτρηση απόκρισης συχνότητας ηχείου σε κλειστό χώρο προσομοιώνοντας τις συνθήκες ανηχοϊκού θαλάμου και με τη βοήθεια εργαλείων από τον χώρο της μουσικής παραγωγής.

ABSTRACT

The present thesis concerns the development of a method for an accurate speaker frequency response measurement in an ordinary room, by simulation the conditions in an anechoic chamber. This whole process takes place with the usage of music production software and tools.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Αρχιτεκτονική Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ηχείο, μικρόφωνο, απόκριση συχνότητας, ανηχοϊκός θάλαμος, spectrum analyzer.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
2.	ΗΧΟΣ.....	14
2.1	Ένταση ήχου.....	14
2.2	Απόκριση συχνότητας.....	16
3.	ΗΧΕΙΟ.....	19
3.1	Εισαγωγή στα ηχεία.....	19
3.2	Ιστορική αναδρομή.....	19
3.3	Περιγραφή μεγαφώνου.....	20
3.4	Είδη μεγαφώνων.....	22
3.5	Είδη ηχείων.....	24
3.6	Ευαισθησία ηχείων.....	26
4.	ΜΙΚΡΟΦΩΝΟ.....	27
4.1	Εισαγωγή στο μικρόφωνο.....	27
4.1.1	Ιστορική αναδρομή και περιγραφή.....	27
4.1.2	Είδη μικροφώνων.....	28
4.2	Πολικά Διαγράμματα.....	31
4.3	Κατηγοριοποίηση μικροφώνων βάσει πολικών διαγραμμάτων.....	31
4.4	Μετρητικό μικρόφωνο.....	34
5.	ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ.....	35
5.1	Συμπεριφορά του ήχου σε κλειστούς χώρους.....	35
5.2	Ακουστική χώρου.....	35
5.3	Χρόνος αντήχησης.....	37
5.4	Ανηχοϊκός θάλαμος.....	38

6. ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΗΜΑΤΟΣ	41
6.1 Μετατροπέας Αναλογικού σήματος σε Ψηφιακό (ADC).....	41
6.1.1 Αρχή λειτουργίας και χαρακτηριστικά.....	41
6.2 Μετατροπέας Ψηφιακού σήματος σε Αναλογικό (DAC).....	43
6.2.1 Αρχή λειτουργίας.....	43
6.2.2 Χαρακτηριστικά.....	44
6.3 Αναλυτής φάσματος.....	46
7. ΜΕΤΡΗΣΗ.....	49
7.1 Συνοπτική περιγραφή.....	49
7.1.1 Βασική αρχή.....	49
7.1.2 Πρακτική υλοποίηση.....	50
7.2 Ανάλυση τελικού αρχείου.....	81
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	83
8.1 Πειραματική διάταξη και φωτογραφίες.....	83
9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'.....	86
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	56

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1:	15
Σχήμα 2.2:	15
Σχήμα 2.3:	16
Σχήμα 4.3.1.....	32
Σχήμα 4.3.2.....	33
Σχήμα 4.3.3.....	34
Σχήμα 5.3.1.....	38
Σχήμα 6.2.1.....	42
Σχήμα 6.2.2.1.....	46
Σχήμα 6.2.2.2.....	46
Σχήμα 7.1.2.1.....	50
Σχήμα 7.1.2.2.....	51
Σχήμα 7.1.2.3.....	51
Σχήμα 7.1.2.4.....	52
Σχήμα 7.1.2.5.....	52
Σχήμα 7.1.2.6.....	52
Σχήμα 7.1.2.7.....	52
Σχήμα 7.1.2.8.....	53

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ADC : Analog to Digital

DAC : Digital to Analog

Db :Decibel

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ηχεία είναι συσκευές οι οποίες έχουν πολύ μεγάλη εφαρμογή στη σημερινή εποχή, είτε ως αυτόνομες μονάδες αναπαραγωγής ήχου είτε ως εξαρτήματα μιας άλλης συσκευής/διάταξης. Υπάρχουν πάρα πολλές διαφορετικές υλοποιήσεις, οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το κόστος, μέγεθος, προορισμό χρήσης, επιμέρους χαρακτηριστικά κλπ. Μέσα σε ένα τόσο μεγάλο πεδίο εφαρμογών, υπάρχει η ανάγκη να εξετάζονται και να μετρώνται τα ηχεία ως προς κάποια χαρακτηριστικά τους, έτσι ώστε να υπάρχει μια δυνατότητα αντικειμενικής τους αξιολόγησης (δεδομένου ότι όσον αφορά τον ήχο, παίζει πολύ μεγάλο ρόλο και το υποκειμενικό στοιχείο). Εδώ έρχεται το ζήτημα της εργαστηριακής μέτρησης ενός ηχείου. Η εργαστηριακή μέτρηση έχει κάποια βασικά προβλήματα - δυσκολίες, λόγω της κυματικής φύσης του ήχου και λόγω της συμβολής του περιβάλλοντος. Οι δυσκολίες είναι κυρίως δύο: η ύπαρξη εξωτερικού θορύβου ο οποίος αλλοιώνει τη μέτρηση, καθώς και η ύπαρξη ηχητικών ανακλάσεων στο χώρο που πραγματοποιείται η μέτρηση. Οι ανακλάσεις αυτές ταξιδεύουν με την ταχύτητα του ήχου και φτάνουν και αυτές στο όργανο μέτρησης αλλοιώνοντάς την. Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα αυτά έχουν κατασκευαστεί ειδικοί χώροι οι οποίοι λέγονται ανηχοϊκοί θάλαμοι. Αυτοί έχουν το χαρακτηριστικό ότι απορροφούν πλήρως τα ηχητικά κύματα και έχουν ταυτόχρονα πάρα πολύ χαμηλή στάθμη θορύβου. Το πρόβλημα είναι ότι είναι πολύ ακριβοί και δύσκολο να κατασκευαστούν.

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία προτείνουμε μία μέθοδο μέτρησης με την οποία προσομοιώνουμε τη μέτρηση σε ανηχοϊκό θάλαμο, αλλά μέσα σε ένα συμβατικό χώρο. Ασχολούμαστε με τη μέτρηση ενός πολύ βασικού χαρακτηριστικού των ηχείων, την απόκριση συχνότητας. Η μέθοδος όμως μπορεί να εφαρμοστεί και στη μέτρηση άλλων χαρακτηριστικών. Αυτό που επιτυγχάνεται είναι ότι με ελάχιστο αναλογικά κόστος, προσεγγίζουμε κατά πολύ τα αποτελέσματα που θα είχαμε σε έναν ανηχοϊκό θάλαμο, με κάποιους συμβιβασμούς φυσικά. Μεγάλη συμβολή στη συγκεκριμένη μέθοδο έχει η χρήση λογισμικού με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος δημιουργεί κάποια σήματα τα οποία σε άλλη

περίπτωση θα απαιτούσαν ακριβό και εξειδικευμένο hardware για να δημιουργηθούν. Αυτό που απαιτείται από πλευράς hardware (πέρα από το ίδιο το προς μέτρηση ηχείο), είναι η μετρητική διάταξη (μικρόφωνο - καταγραφέας) και ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, ο οποίος λειτουργεί και ως A/D και D/A Converter.



ΕΙΚΟΝΑ 1.1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΕΝΤΑΣΗ ΗΧΟΥ

Ως ένταση ήχου ορίζεται η ισχύς του ηχητικού κύματος ανά μονάδα επιφανείας ή αλλιώς η ενέργεια που μεταφέρει το ηχητικό κύμα ανά μονάδα επιφανείας και ανά μονάδα χρόνου.

Αν είναι γνωστή η μεταβολή της πίεσης του αερίου στο οποίο διαδίδεται ένα ηχητικό κύμα και η εγκάρσια ταχύτητα των μορίων του αερίου η μέση ένταση δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T P(t)u(t)dt$$

Σχήμα 2.1

(όπου P η ακουστική/ηχητική πίεση και u η εγκάρσια ταχύτητα των μορίων του αέρα).

Στην περίπτωση σφαιρικής διάδοσης του ήχου, η ένταση του ήχου σε απόσταση r από την πηγή δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Ir = \frac{w}{A} = \frac{W}{4\pi r^2}$$

Σχήμα 2.2

(όπου W η ισχύς της ηχητικής πηγής και r η απόσταση από την πηγή)

Η ένταση μετράται στο S.I. σε W/m^2 (Βατ ανά τετραγωνικό μέτρο). Η ελάχιστη ένταση που γίνεται αντιληπτή στο ανθρώπινο αυτί αντιστοιχεί σε $10^{-12} W/m^2$. Η ένταση αυτή αντιστοιχεί σε ηχητική πίεση $20\mu Pa$ (η οποία αναφέρεται στην βιβλιογραφία και ως κατώφλι ακουστότητας).

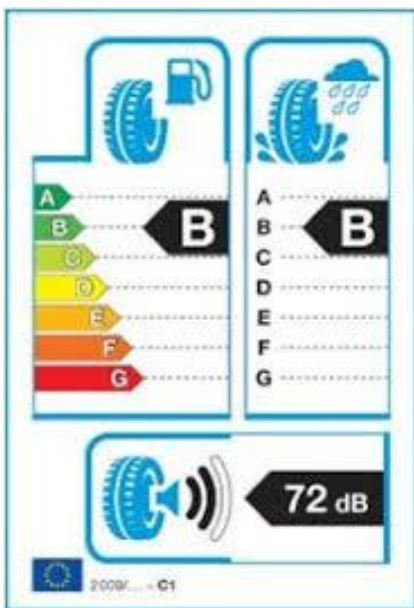
Η στάθμη της έντασης του ήχου μετράται σε Ντεσιμπέλ (decibel). Η μονάδα Ντεσιμπέλ εκφράζει την διαφορά στάθμης ενός ήχου έντασης I προς την ένταση του κατωφλίου ακουστότητας ($10^{-12} W/m^2$). Ως στάθμη έντασης σε dB ορίζεται το

δεκαπλάσιο του δεκαδικού λογάριθμού της έντασης του ήχου προς την ένταση του κατωφλίου ακουστότητας, και περιγράφεται μαθηματικά από την σχέση:

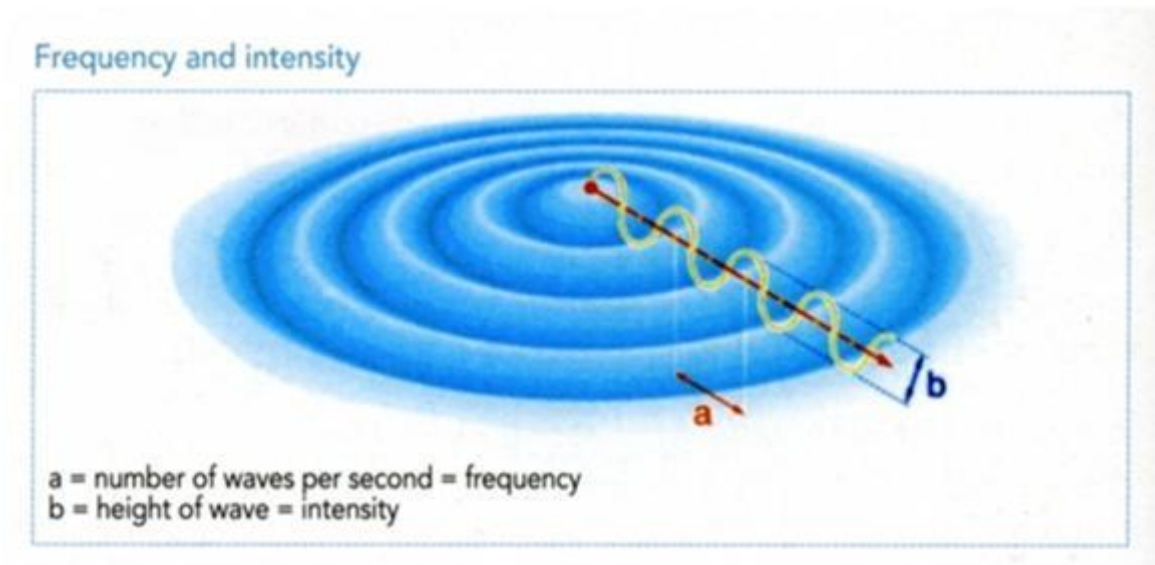
Το Ντεσιμπέλ (decibel, συντομογραφία dB) είναι μονάδα η οποία ακολουθεί λογαριθμική κλίμακα και στην οποία εκφράζεται η διαφορά στάθμης μίας φυσικής ποσότητας. Συνήθως χρησιμοποιείται για να εκφράσει λόγο ισχύων ή εντάσεων. Η κύρια χρήση της μονάδας είναι στην ακουστική και στην ηλεκτρονική. Το όνομά της μονάδας δόθηκε προς τιμήν του Γκράχαμ Μπελ, πρωτοπόρου εφευρέτη της τηλεφωνίας, ενώ το πρόθεμα deci δηλώνει πως είναι δεκαδική υποδιαίρεση της κύριας μονάδας Μπελ. Η μονάδα Μπελ δεν χρησιμοποιείται γιατί είναι δύσχρηστη στους υπολογισμούς και γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται αποκλειστικά το Db. Γενικά η στάθμη της ισχύος ή της έντασης σε ντεσιμπέλ, ισούται με το δεκαπλάσιο του δεκαδικού λογάριθμου του λόγου ισχύος ή του λόγου των εντάσεων.

$$L_1 = \log_{10} \left(\frac{I_1}{I_0} \right) dB$$

Σχήμα 2.3



ΕΙΚΟΝΑ 2.1



ΕΙΚΟΝΑ 2.2

2.2 ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Σε ένα σύστημα στο οποίο έχουμε ως είσοδο διαφορετικές συχνότητες, κάποιες συχνότητες της εισόδου εμφανίζονται στην έξοδο του κυκλώματος, ενώ κάποιες άλλες όχι. Εκτός από τις συχνότητες που εξέρχονται χωρίς να υποστούν εξασθένηση και τις συχνότητες που αποκόπτονται τελείως, υπάρχουν και άλλες, οι οποίες διέρχονται εξασθενημένες μέσα από το κύκλωμα, αλλά με διαφορετικό βαθμό εξασθένησης η κάθε μία. Αυτή η αντίδραση του συστήματος στις διάφορες συχνότητες της εισόδου του, που καθορίζει ποιες συχνότητες θα περάσουν στην έξοδο, με πόση εξασθένηση και ποιες όχι, ονομάζεται απόκριση συχνότητας του. Παράδειγμα ενός απλού τέτοιου συστήματος είναι το μικρόφωνο. Είσοδος του μικροφώνου είναι οι ήχοι του περιβάλλοντος που αντιστοιχούν σε διαφορετικές συχνότητες, ενώ έξοδος του είναι όσες συχνότητες μπορούν να μετατραπούν σε ηλεκτρικό σήμα και με ανάλογη ένταση. Αν το σύστημα είναι γραμμικό, η σχέση έντασης-συχνότητας και φάσης-συχνότητας της εξόδου είναι ίδια με της εισόδου. Η απόκριση συχνότητας είναι μια πολύ σημαντική μέτρηση η οποία μας φανερώνει σε πολύ μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά του συστήματος υπό εξέταση. Εφαρμόζεται στην πράξη στην εργαστηριακή αξιολόγηση ενός μεγάλου αριθμού συσκευών - διατάξεων, όπως ηχεία, μικρόφωνα, ηχητικά μηχανήματα, ασύρματα συστήματα μετάδοσης, καλώδια κλπ.

Το σήμα που θα δοθεί στην είσοδο του συστήματος συνήθως έχει σταθερή ένταση και φάση στο δεδομένο κάθε φορά εύρος συχνοτήτων, το οποίο καθορίζεται ανάλογα με την εφαρμογή. Για παράδειγμα, σε ένα ηχείο αναπαραγωγής μουσικής υψηλής πιστότητας απαιτείται να γνωρίζουμε την απόκριση συχνότητας σε όλο το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων (20-20000 Hz), ενώ στο ακουστικό ενός κινητού τηλεφώνου μας ενδιαφέρει να γνωρίζουμε την απόκριση στη μεσαία περιοχή των ακουστικών συχνοτήτων (400-4000 Hz). Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σήμα καθαρού ημιτόνου το οποίο σαρώνει το φάσμα συχνοτήτων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας παλμός “δ” ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σήμα θορύβου με ισόποσα μοιρασμένη ενέργεια σε όλο το φάσμα (όπως λευκός θόρυβος).

Στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ασχολούμαστε με τη μέτρηση της απόκρισης συχνότητας της έντασης ενός ηχείου. Η αποτύπωση γίνεται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα, στο οποίο ο κάθετος άξονας δείχνει την ηχητική στάθμη του ηχείου στο σημείο της μέτρησης, μετρημένη σε dB, και ο οριζόντιος λογαριθμικός άξονας δείχνει τη συχνότητα, η οποία αυξάνεται εκθετικά.

Η ηχητική στάθμη μετράται σε dB, δηλαδή δίνεται από τον τύπο (1), όπου p_0 είναι η ηχητική πίεση αναφοράς, η οποία είναι η χαμηλότερη στάθμη που μπορεί να ακούσει το ανθρώπινο αυτί και p είναι η ενεργός τιμή της ηχητικής πίεσης του σήματος.

Το γεγονός ότι η ηχητική στάθμη μετράται σε dB και ότι η συχνότητα αυξάνεται εκθετικά έχει να κάνει με τον τρόπο που αντιλαμβάνεται την ένταση του ήχου και τις συχνότητες το ανθρώπινο αυτί. Η αναπαράσταση αυτή είναι αντιπροσωπεύει την ανθρώπινη ακοή. Αν τα μεγέθη ήταν γραμμικά, δε θα υπήρχε καμία σχέση της οπτικής αναπαράστασης με την ανθρώπινη αντίληψη, επομένως το διάγραμμα δε θα ήταν χρήσιμο για την αξιολόγηση της συσκευής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΗΧΕΙΑ

Το ηχείο είναι ουσιαστικά ένας μορφοτροπέας, ο οποίος μετατρέπει ένα ηλεκτρικό ηχητικό σήμα στον ανταποκρινόμενο ήχο, δηλαδή σε κινητική ενέργεια (ο ήχος είναι ένα κύμα). Ο πιο διαδεδομένος τύπος ηχείου σήμερα είναι το ηλεκτροδυναμικό ηχείο. Με τον όρο ηχείο μπορεί να αναφερόμαστε σε ένα αυτόνομο μεγάφωνο ή σε ένα σύστημα παραπάνω μεγαφώνων σε κατάλληλη διάταξη και ενσωματωμένα σε καμπίνα, έτσι ώστε να αναπαράγουν αρτιότερα το ζητούμενο ηχητικό κύμα. Όταν μιλάμε για σύστημα μεγαφώνων, αυτά είναι διαφορετικά μεταξύ τους και εξειδικευμένα. Υπάρχουν τέσσερις βασικές κατηγορίες μεγαφώνων: το subwoofer, το οποίο αναπαράγει πολύ χαμηλές συχνότητες, το woofer, το οποίο αναπαράγει χαμηλές συχνότητες, το mid-range, το οποίο αναπαράγει τη μεσαία περιοχή των ακουστικών συχνοτήτων και το tweeter, το οποίο αναπαράγει τις υψηλές συχνότητες. Σε οποιοδήποτε σύστημα με παραπάνω από ένα μεγάφωνα, υπάρχει ένα ηλεκτρικό φίλτρο, το λεγόμενο crossover, το οποίο αναλαμβάνει να διαχωρίσει το ακουστικό σήμα στις κατάλληλες περιοχές συχνοτήτων για κάθε μεγάφωνο. Έτσι, μιλάμε για ηχεία δύο δρόμων, τριών δρόμων η και τεσσάρων δρόμων, ανάλογα με το πόσα μεγάφωνα έχουν.

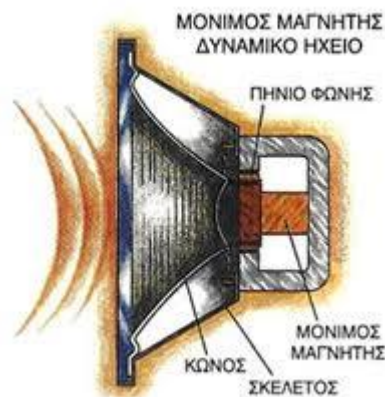
3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η πρώτη μορφή ηχείου εμφανίστηκε στα πρώτα τηλέφωνα το 1861 και η πρώτη πατέντα ηχείου καταχωρήθηκε από τον Graham Bell το 1876. Το πρώτο όμως πειραματικό ηλεκτροδυναμικό μεγάφωνο δημιουργήθηκε το 1898 και τα πρώτα ηλεκτροδυναμικά μεγάφωνα σε επίπεδο παραγωγής δημιουργήθηκαν το 1915 στη Napa της California από τους Peter L. Jensen και Edwin Pridham. Αυτά τα πρώτα μεγάφωνα δε χρησιμοποιούσαν μόνιμους σταθερούς μαγνήτες όπως τα σημερινά, αλλά ηλεκτρομαγνήτες. Τα πρώτα ηλεκτροδυναμικά μεγάφωνα σταθερού μαγνήτη εμφανίστηκαν το 1930 με τη διάδοση των μαγνητών τύπου Alnico.

Αρχή λειτουργίας:

Το ηλεκτροδυναμικό μεγάφωνο αποτελείται από μία παλλόμενη μεμβράνη ή κώνο, η οποία συνδέεται μέσω ενός συστήματος ανάρτησης με ένα σταθερό δαχτυλίδι - σκελετό (frame). Στο σκελετό του μεγαφώνου είναι τοποθετημένος

ένας σταθερός μαγνήτης, ο οποίος έχει ένα κυλινδρικό κενό. Μέσα στο κενό αυτό βρίσκεται ένα πηνίο, το οποίο είναι ενωμένο με τον κώνο του ηχείου. Όταν το πηνίο τροφοδοτείται με ένα ηλεκτρικό σήμα, δημιουργείται ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ανάλογο του σήματος, το οποίο αλληλοεπιδρά με το μαγνητικό πεδίο του σταθερού μαγνήτη και με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ταλάντωση. Η ταλάντωση αυτή αναγκάζει τον κώνο να ταλαντωθεί και αυτός και έτσι δημιουργείται στον αέρα που έρχεται σε επαφή με τον κώνο το ακουστικό κύμα, δηλαδή ο ήχος.



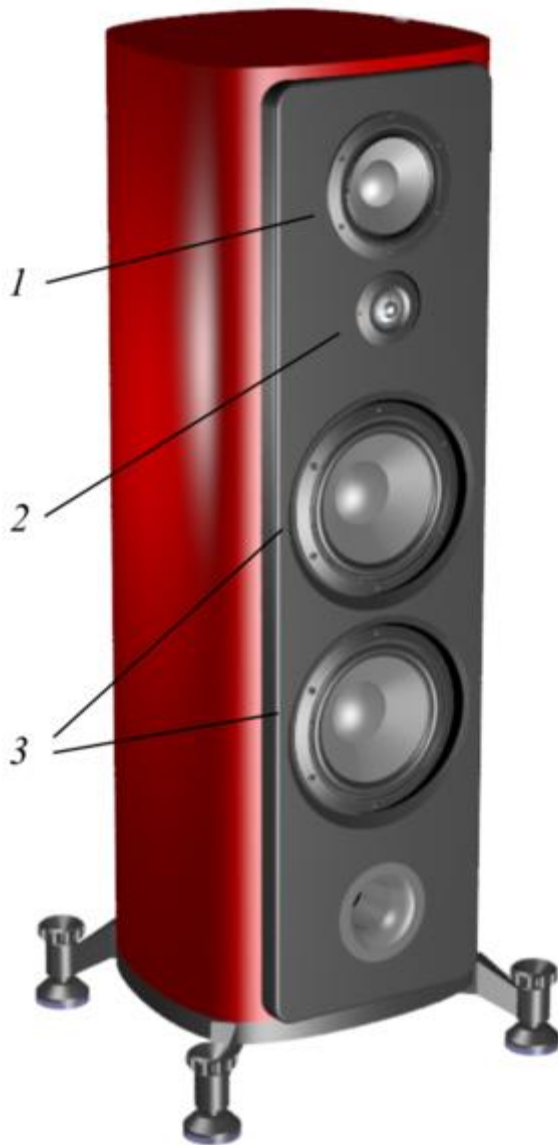
Εικόνα 3.2.1

3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΑΦΩΝΟΥ

Ο κώνος του μεγαφώνου μπορεί να φτιαχτεί από πολλών ειδών υλικά. Τα πιο διαδεδομένα είναι χαρτί, πλαστικό ή μέταλλο. Τα τρία βασικά χαρακτηριστικά του κώνου είναι να είναι στιβαρός, για να μην έχουμε δευτερογενείς κινήσεις και ταλαντώσεις του ίδιου του κώνου, να έχει χαμηλή μάζα, για να ελαχιστοποιηθεί η ενέργεια εκκίνησης και να μη γίνεται αποθήκευση ενέργειας (να έχει το μέγαφωνο γρήγορα μεταβατικά) και τέλος, να παρουσιάζει καλή απόσβεση, έτσι ώστε να σταματάει η ταλάντωση όσο το δυνατόν γρηγορότερα μετά το πέρας του σήματος. Επειδή δε μπορούν να συνυπάρξουν και τα τρία χαρακτηριστικά στον ιδανικό βαθμό, έχουμε πάντα ένα παιχνίδι συμβιβασμών κατά τη σχεδίαση του μεγαφώνου (tradeoffs).

Ο σκελετός του ηχείου είναι συνήθως μεταλλικός, από αλουμίνιο ή χάλυβα, καθώς οφείλει να είναι εντελώς άκαμπτος και σταθερός. Τελευταία εμφανίζονται και σκελετοί από πλαστικό, ειδικά σε χαμηλής μάζας και κόστους μεγάφωνα. Ο μεταλλικός σκελετός έχει και το πλεονέκτημα ότι συνεισφέρει στην απαγωγή της θερμότητας από το πηνίο, του οποίου η θερμοκρασία αν ανέβει υπερβολικά μπορεί

να έχει καταστροφικά αποτελέσματα. Η ανάρτηση του μεγαφώνου αποτελείται από δύο μέρη, την “αράχνη”, η οποία βρίσκεται πίσω από τον κώνο και συγκρατεί το πηνίο στη θέση του, και το περίβλημα του κώνου, το οποίο κεντράρει τον κώνο στην όλη κατασκευή. Η “αράχνη” είναι κατασκευασμένη από ύφασμα εμπλουτισμένο με σκληρυντική ρητίνη και έχει κυματοειδή μορφή. Ασκεί το μεγαλύτερο μέρος της δύναμης επιστροφής στο πηνίο. Το περίβλημα μπορεί να είναι κατασκευασμένο από λάστιχο, πολυεστέρα ύφασμα και άλλα. Παίζει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα του ήχου που θα παραχθεί από το μεγάφωνο. Το τύλιγμα του πηνίου είναι συνήθως κατασκευασμένο από χαλκό, αν και ορισμένες φορές μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλουμίνιο ή και σπανιότερα, ασήμι. Ο σταθερός μαγνήτης μπορεί να κατασκευαστεί από διάφορα υλικά, όπως κεραμικά, φερρίτη, Alnico, νεοδύμιο (neodymium) ή κοβάλτιου σαμαριού (samarium cobalt).



Εικόνα 3.3.1

3.4 ΕΙΔΗ ΜΕΓΑΦΩΝΩΝ

Παρακάτω αναφέρονται τα είδη μεγαφώνων:

- Full Range: αυτά είναι μεγάφωνα κατασκευασμένα έτσι ώστε να αναπαράγουν όλο το ακουστικό φάσμα χωρίς τη βοήθεια άλλων μεγαφώνων. Έχουν διαστάσεις από 7 έως 20 εκατοστά περίπου και δε μπορούν να έχουν την ακρίβεια των εξειδικευμένων μεγαφώνων σε όλες τις συχνότητες. Επίσης, δε μπορούν να λειτουργήσουν σε μεγάλες στάθμες, στις οποίες τα εξειδικευμένα μπορούν. Το πλεονέκτημά τους όμως είναι ότι οδηγούν σε απλούστερες κατασκευές, οι οποίες δεν έχουν να

αντιμετωπίσουν προβλήματα ταιριάσματος φάσης ανάμεσα σε διαφορετικά μεγάφωνα και δεν απαιτούν φίλτρο (crossover).

- **Woofers:** αυτά είναι μεγάφωνα φτιαγμένα για να αναπαράγουν τις χαμηλές συχνότητες του ακουστικού φάσματος και η λειτουργία τους είναι σε άμεση αλληλεπίδραση με την καμπύνα του ολοκληρωμένου ηχείου στο οποίο θα χρησιμοποιηθούν. Λειτουργούν δηλαδή ως σύστημα.
- **Mid-range:** αυτά είναι μεγάφωνα που αναπαράγουν τις μεσαίες συχνότητες του ακουστικού φάσματος, τυπικά από 1KHz έως 6KHz. Η κατασκευή τους μοιάζει με αυτή των woofers, αλλά είναι μικρότερα.
- **Tweeter:** αναλαμβάνουν την αναπαραγωγή των υψηλών συχνοτήτων του φάσματος και από τη φύση των υψηλών συχνοτήτων, έχουν μεγάλη κατευθυντικότητα. Αυτό αποτελεί πρόβλημα όταν θέλουμε να παρουσιάζει το ηχείο μεγάλη διασπορά του ήχου.
- **Ομοαξονικά μεγάφωνα:** αυτά είναι συστήματα δύο μεγαφώνων διαφορετικού τύπου (π.χ. Woofers και tweeters), τα οποία είναι τοποθετημένα από την κατασκευή τους το ένα μέσα στο άλλο, έτσι ώστε να έχουν κοινό άξονα. Συνήθως λειτουργούν ως μεγάφωνα full range, με τα πλεονεκτήματα των ξεχωριστών εξειδικευμένων μεγαφώνων και με το μεγάλο πλεονέκτημα ότι είναι συμφασικά μεταξύ τους.



Εικόνα 3.3.1

3.5 ΕΙΔΗ ΗΧΕΙΩΝ

Ολοκληρωμένο ηχείο: αποτελείται συνήθως από 2 η παραπάνω μεγάφωνα μέσα σε μια καμπίνα με την οποία αλληλεπιδρούν. Ο κύριος ρόλος της καμπίνας είναι να εμποδίσει τις συχνότητες που διαφεύγουν από την πίσω πλευρά των μεγαφώνων να αλληλεπιδράσουν με αυτές που φεύγουν από τη μπροστινή πλευρά, αφού έχουν μεταξύ τους διαφορά φάσης 180 μοιρών και θα υπάρξουν πολλές ακυρώσεις, οι οποίες θα υποβαθμίσουν την ποιότητα του ήχου. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί και με τη στερέωση των μεγαφώνων πάνω σε μία πλάκα. Το πρόβλημα είναι ότι και εδώ οι συχνότητες των οποίων το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο από τις διαστάσεις της πλάκας θα ξεφύγουν. Το ιδανικό θα ήταν η πλάκα να είναι πολύ μεγάλων διαστάσεων, κάτι το οποίο πρακτικά μπορεί να προσομοιωθεί με τη χρήση μιας αεροστεγούς καμπίνας επαρκών διαστάσεων. Η καμπίνα με την κατάλληλη κατασκευή, σχήμα και υλικά απόσβεσης μπορεί να μειώσει επαρκώς τη διαφυγή του ήχου από την πίσω μεριά των μεγαφώνων. Σε πολλές περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται τεχνικές με τις οποίες ένα μέρος των συχνοτήτων που θα αποσβένονταν κανονικά μέσα στην καμπίνα χρησιμοποιείται κατάλληλα και δρομολογείται κατάλληλα σε ένα σημείο αυτής, έτσι ώστε να ενισχύσει τη λειτουργία του woofer και να αυξήσει την έκταση των χαμηλών συχνοτήτων (π.χ. Bass reflex, transmission line κ.ά.).

Βασικό στοιχείο του ολοκληρωμένου ηχείου είναι και το ηλεκτρικό φίλτρο διαχωρισμού των συχνοτήτων (crossover). Αυτό μπορεί να είναι δύο βασικών ειδών, παθητικό ή ενεργό. Το παθητικό ακολουθεί τον τελικό ενισχυτή ο οποίος θα

οδηγήσει το ηχείο και έχουμε μια απλή συνδεσμολογία, έχει όμως κάποια ελαττώματα, όπως η εξασθένηση του σήματος που θα περάσει από μέσα του. Αν μιλάμε για ενεργό φίλτρο, αυτό απαιτεί εξωτερική τροφοδοσία και τοποθετείται πριν τους τελικούς ενισχυτές, που στην περίπτωση αυτή θα είναι ξεχωριστοί για κάθε μεγάφωνο. Εδώ έχουμε μια πιο σύνθετη συνδεσμολογία, με πλεονεκτήματα όμως έναντι της παθητικής και εδώ ουσιαστικά μιλάμε για ενεργό ηχείο.

Άλλα είδη ηχείων:

- Ηχεία χοάνης: χρησιμοποιούν μία χοάνη μπροστά από κάθε μεγάφωνο, η οποία αυξάνει πάρα πολύ την απόδοση του ηχείο το οποίο εύκολα μπορεί να παίξει πολύ δυνατά, έχουν όμως το ελάττωμα του ότι χρωματίζουν - αλλοιώνουν τον ήχο πλην κάποιων πολύ προσεκτικά μελετημένων υλοποιήσεων.



Εικόνα 3.4.1

- Μαγνητοστατικά ηχεία: αυτά αντί για πηνίο έχουν μεταλλικές λωρίδες, οι οποίες είναι στερεωμένες σε μία μεγάλη εύκαμπτη επιφάνεια-πάνελ. Οι λωρίδες αυτές τροφοδοτούνται με το σήμα και το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται αλληλεπιδρά με το μαγνητικό πεδίο μόνιμων μαγνητικών

ράβδων πίσω από το πάνελ. Αυτά τα ηχεία είναι πολύ απαιτητικά ενεργειακά, δύσκολα στην τοποθέτηση στο χώρο αλλά αν γίνει μια σωστή μελέτη έχουν πάρα πολύ υψηλή ποιότητα ήχου.

- Ηλεκτροστατικά ηχεία: έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τα μαγνητοστατικά ως προς την απόδοση και την ποιότητα, αλλά έχουν άλλη αρχή λειτουργίας: ένα υψηλής τάσης ηλεκτρικό πεδίο αλληλεπιδρά με μια στατικά φορτισμένη μεμβράνη. Το πεδίο υψηλής τάσης δημιουργείται με τη βοήθεια ενός step-up μετασχηματιστή στην είσοδό τους. Έχουν ένα μεγάλο ελάττωμα, το ότι είναι ευαίσθητα στη δημιουργία ηλεκτρικών τόξων τα οποία μπορεί να αποβούν μοιραία και να τα καταστρέψουν.

3.6 ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΗΧΕΙΩΝ

Τα ηχεία χωρίζονται από άποψη ευαισθησίας (sensitivity) σε χαμηλής και υψηλής ευαισθησίας. Το όριο μεταξύ των δύο αυτών κατηγοριών δεν είναι αυστηρά καθορισμένο, αλλά γενικά θεωρείται η τιμή των 90 dB/w/m. Η ευαισθησία ορίζεται ως η ακουστική ένταση σε dB που παράγει ένα ηχείο σε απόσταση 1 μέτρου, όταν το τροφοδοτήσουμε με ηλεκτρική ισχύ 1W/rms. Επομένως, κατά κάποιο τρόπο εκφράζει το βαθμό απόδοσης του ηχείου, δηλαδή κατά πόσο αποδοτικά μετατρέπει τη λαμβανόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε ακουστική. Μεταξύ δύο διαφορετικών ηχείων, αυτό με την υψηλότερη ευαισθησία (dB) κανονικά αναπαράγει υψηλότερη ηχητική στάθμη. Πρακτικά όμως, η παρεχόμενη τιμή ευαισθησίας από τους κατασκευαστές ηχείων μπορεί να είναι αρκετά παραπλανητική, καθόσον αυτή συνήθως αναφέρεται μόνο στη συχνότητα του 1 kHz, ενώ δεν παρέχονται τιμές π.χ. στις πολύ χαμηλές συχνότητες στις οποίες υπάρχει και η μεγαλύτερη δυσκολία ορθής αναπαραγωγής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ

4.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Το μικρόφωνο είναι ένας μορφοτροπέας, ο οποίος κάνει ακριβώς την αντίθετη δουλειά από το ηχείο: μετατρέπει τα ηχητικά κύματα σε ηλεκτρικό σήμα. Τα μικρόφωνα έχουν πάρα πολλές χρήσεις, ανάμεσα στις οποίες είναι η μουσική παραγωγή, η κινηματογραφική παραγωγή, η τηλεόραση, οι τηλεπικοινωνίες, εργαστηριακές μετρήσεις κ.ά.

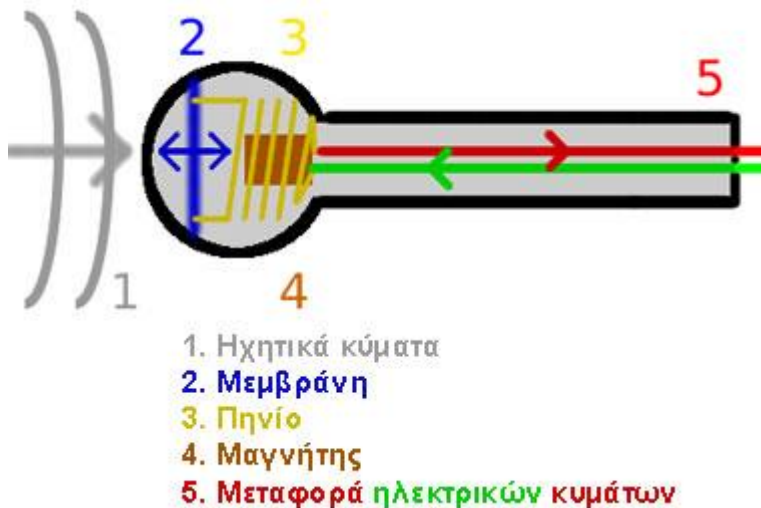
Το μικρόφωνο πρέπει να είναι καλής ποιότητας ώστε να εξασφαλίζει την ακρίβεια των μετρήσεων. Ένα μικρόφωνο πρέπει να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Να έχει γραμμική απόκριση σε όλο το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων.
- Να έχει ικανοποιητική ευαισθησία.
- Να έχει ικανοποιητική κατευθυντικότητα και περιοχή εργασίας.
- Να μην προκαλεί παραμορφώσεις.
- Να μη δίδει σημαντικό σφάλμα.

Υπάρχουν διαφόρων ειδών μικρόφωνα, από τα οποία τα πιο σημαντικά είναι τα δυναμικά, τα πυκνωτικά και τα πιεζοηλεκτρικά. Συνήθως το σήμα τους πρέπει να περάσει μέσα από μια διάταξη προενίσχυσης έτσι ώστε να γίνει ωφέλιμο. Τα δύο βασικά χαρακτηριστικά ενός μικροφώνου πέρα από τον τύπο του είναι η απόκριση συχνότητάς του και το πολικό του διάγραμμα, το οποίο αναλύεται παρακάτω.

Τα πρώτα μικρόφωνα με αξιόλογη ποιότητα ήχου για χρήση στην τηλεφωνία εφευρέθηκαν περίπου το 1877, ταυτόχρονα από τον Edward Hughes στην Αγγλία και από τους Emile Berliner και Thomas Edison στις Η.Π.Α. Τα μικρόφωνα αυτά ήταν μικρόφωνα άνθρακα (Carbon). Το 1916 εφευρέθηκε το πυκνωτικό μικρόφωνο και το 1923 το πρώτο μικρόφωνο κινητού πηνίου ήταν γεγονός. Επίσης, το 1923 εφευρέθηκε και το μικρόφωνο τύπου Ribbon. Σε βάθος χρόνου, αυτά τα είδη μικροφώνων εξελίχθηκαν από διάφορες εταιρίες, με πρωτοστάτη την εταιρία RCA, η οποία έκανε σημαντική έρευνα έτσι ώστε να ελέγξει τα χαρακτηριστικά

κατευθυντικότητας των μικροφώνων. Εν τω μεταξύ, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας της τηλεόρασης και του κινηματογράφου, έγινε απαραίτητη η ύπαρξη απόλυτα κατευθυντικών μικροφώνων και έτσι, το 1963, η εταιρία Electro-Voice παρουσίασε το πρώτο μικρόφωνο τύπου Shotgun.



ΕΙΚΟΝΑ 4.1.1

4.1.2 ΕΙΔΗ ΜΙΚΡΟΦΩΝΩΝ

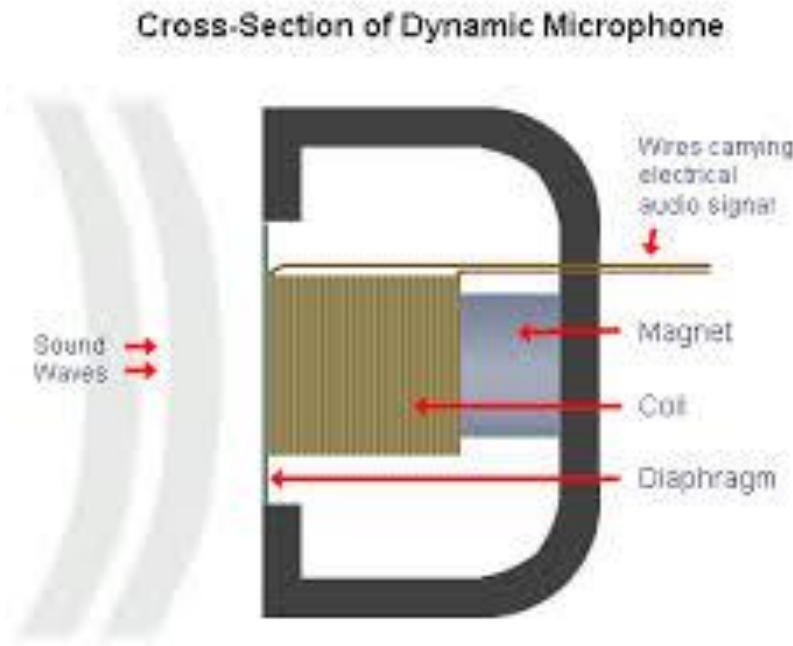
Στα περισσότερα είδη μικροφώνων, υπάρχει μια πολύ ευαίσθητη μεμβράνη (διάφραγμα), η οποία έχει το χαρακτηριστικό ότι δονείται όταν διεγερθεί από ένα ηχητικό κύμα. Η μεμβράνη αυτή είναι ενωμένη με κατάλληλη διάταξη (η οποία διαφέρει ανάλογα με το είδος του μικροφώνου).

Τα βασικά είδη μικροφώνου είναι τα εξής:

- Δυναμικά (κινητού πηνίου):

Τα δυναμικά μικρόφωνα λειτουργούν με την ίδια αρχή με την οποία λειτουργούν και τα ηλεκτροδυναμικά ηχεία. Το διάφραγμα είναι ενωμένο με ένα επαγωγικό πηνίο, το οποίο είναι αναρτημένο μέσα στο μαγνητικό πεδίο ενός μόνιμου μαγνήτη. Όταν το πηνίο κινείται (λόγω της ταλάντωσης του διαφράγματος), παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα στον αγωγό του πηνίου, ανάλογο της ταλάντωσης. Επειδή μια μεμβράνη δε διεγείρεται γραμμικά σε όλο το ηχητικό φάσμα, πολλές φορές χρησιμοποιούνται παραπάνω από μία μεμβράνες, καθεμία έκτων οποίων είναι ευαίσθητη σε διαφορετική συχνοτική περιοχή. Έτσι, το πηνίο κινείται από τη συνολική κίνηση όλων των μεμβρανών, δίνοντας μια ευρύτερη απόκριση συχνότητας στο μικρόφωνο. Άλλες φορές το μικρόφωνο μπορεί να εξειδικεύεται

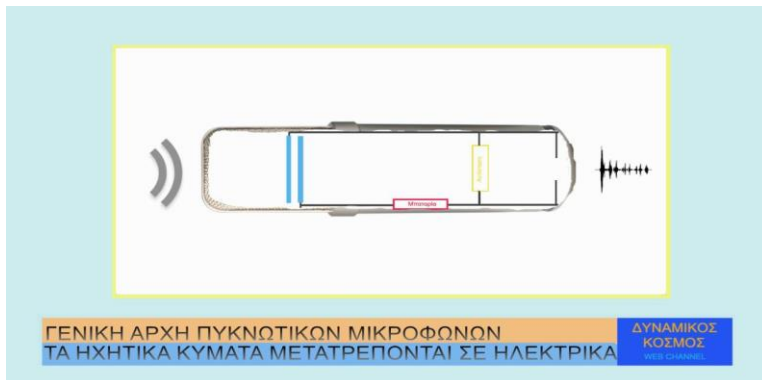
σε μία συχνοτική περιοχή (π.χ. μικρόφωνο για χαμηλές συχνότητες όπως το AKG D-112), επομένως μπορεί να αρκείται στη μία μεμβράνη. Τα δυναμικά μικρόφωνα είναι ιδανικά για χρήση σε ζωντανή μουσική, λόγω του ότι είναι από την κατασκευή τους ανθεκτικά, έχουν καλή συμπεριφορά στην υγρασία και δίνουν ανεπιθύμητη ανάδραση (μικροφωνισμούς) πολύ πιο δύσκολα από άλλους τύπους μικροφώνων.



EIKONA 4.1.2.1

- Πυκνωτικά:

Στα πυκνωτικά ή ηλεκτροστατικά μικρόφωνα, το διάφραγμα λειτουργεί ως η μία πλάκα ενός πυκνωτή. Καθώς αυτό διεγείρεται από τα ηχητικά κύματα, μεταβάλλεται η απόσταση των πλακών του πυκνωτή και επομένως η χωρητικότητά του. Εδώ τώρα έχουμε δύο περιπτώσεις ως προς τη λειτουργία:



EIKONA 4.1.2.2

➤ Μικρόφωνα DC-biased

Εδώ οι πλάκες του πυκνωτή φορτίζονται με ένα σταθερό φορτίο και ουσιαστικά με τη μεταβολή της χωρητικότητας του πυκνωτή μεταβάλλεται και η τάση στα άκρα του βάσει της σχέσης $C=Q/V$, όπου Q =σταθερό (η οποία θα ενισχυθεί και θα μας δώσει το ζητούμενο ηλεκτρικό σήμα).

➤ Μικρόφωνα RF

Εδώ χρησιμοποιείται ένα χαμηλής τάσης RF σήμα, το οποίο παράγεται από έναν ταλαντωτή χαμηλού θορύβου. Το σήμα αυτό μπορεί να διαμορφωθεί είτε ως προς την έντασή του (amplitude modulation) βάσει των μεταβολών της χωρητικότητας του πυκνωτή, είτε μπορεί ο πυκνωτής ο ίδιος να είναι μέρος του κυκλώματος του ταλαντωτή και επομένως η μεταβολή της χωρητικότητας να επηρεάζει τη συχνότητα του RF σήματος (frequency modulation).

Και στις δύο περιπτώσεις, η κατασκευή του πυκνωτή με το διάφραγμα ως η μία πλάκα ονομάζεται κάψουλα (capsule).

➤ Πυκνωτικά Electret:

Λειτουργούν με την ίδια αρχή με τα πυκνωτικά, αλλά αντί για τη χρήση εξωτερικής πηγής για τη δημιουργία του φορτίου, έχουμε μια μόνιμη φόρτιση ενός αγωγίμου υλικού, το οποίο λέγεται electret και έχει πολωθεί. Λόγω της καλής τους απόδοσης και του χαμηλού κόστους παραγωγής τους χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών (κινητά τηλέφωνα, tablets, υπολογιστές κλπ.).

➤ Μικρόφωνα Ribbon:

Τα μικρόφωνα αυτού του τύπου χρησιμοποιούν μια κυματοειδή συνήθως μεταλλική ταινία (ribbon), η οποία αναρτάται μέσα σε μαγνητικό πεδίο. Και εδώ, όπως και στα δυναμικά, η ταλάντωση της ταινίας η οποία διεγείρεται από το ηχητικό κύμα, δημιουργεί ηλεκτρική τάση στα άκρα της. Διαφέρουν σημαντικά από τα δυναμικά ως προς το πολικό τους διάγραμμα, αφού διεγείρονται από τον ήχο μπροστά τους αλλά και πίσω τους (λόγω του ότι η ταινία είναι ανοιχτή και από τις δύο πλευρές του μικροφώνου).

4.2 ΠΟΛΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Το πολικό διάγραμμα ενός μικροφώνου καθορίζει τα χαρακτηριστικά κατευθυντικότητας αυτού. Μας δείχνει πόσο ευαίσθητο είναι ένα μικρόφωνο σε ήχους που έρχονται σε αυτό με απόκλιση από τη γραμμή του κεντρικού του άξονα.



ΕΙΚΟΝΑ 4.2.1

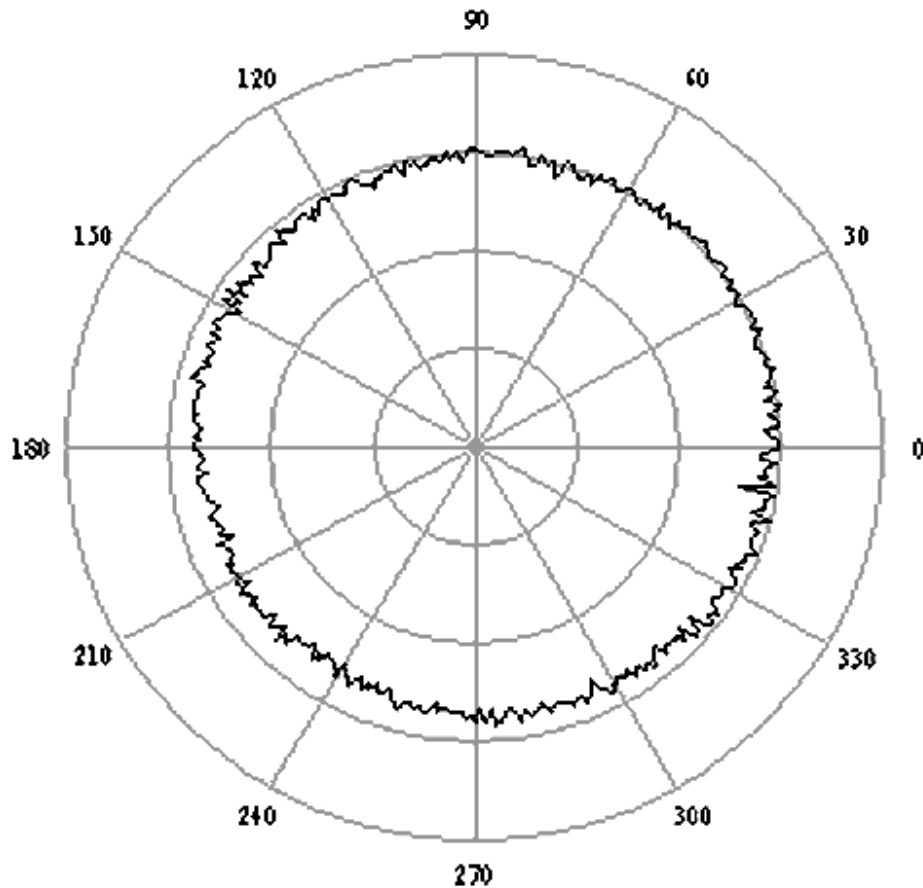
4.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΜΙΚΡΟΦΩΝΩΝ ΒΑΣΕΙ ΠΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Τα μικρόφωνα διαφέρουν μεταξύ τους στο φάσμα των συχνοτήτων που καλύπτουν ικανοποιητικά, στην ακουστική ένταση στην οποία δεν παραμορφώνουν το σήμα, στην αναλογία σήματος / θορύβου και φυσικά στην τιμή τους. Τα μικρόφωνα κρυστάλλων δεν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα στη μουσική.

Αν ταξινομήσουμε τα μικρόφωνα ανάλογα με την κατευθυντικότητά τους θα καταλήξουμε στις πέντε παρακάτω κατηγορίες:

1. Μικρόφωνα Omni:

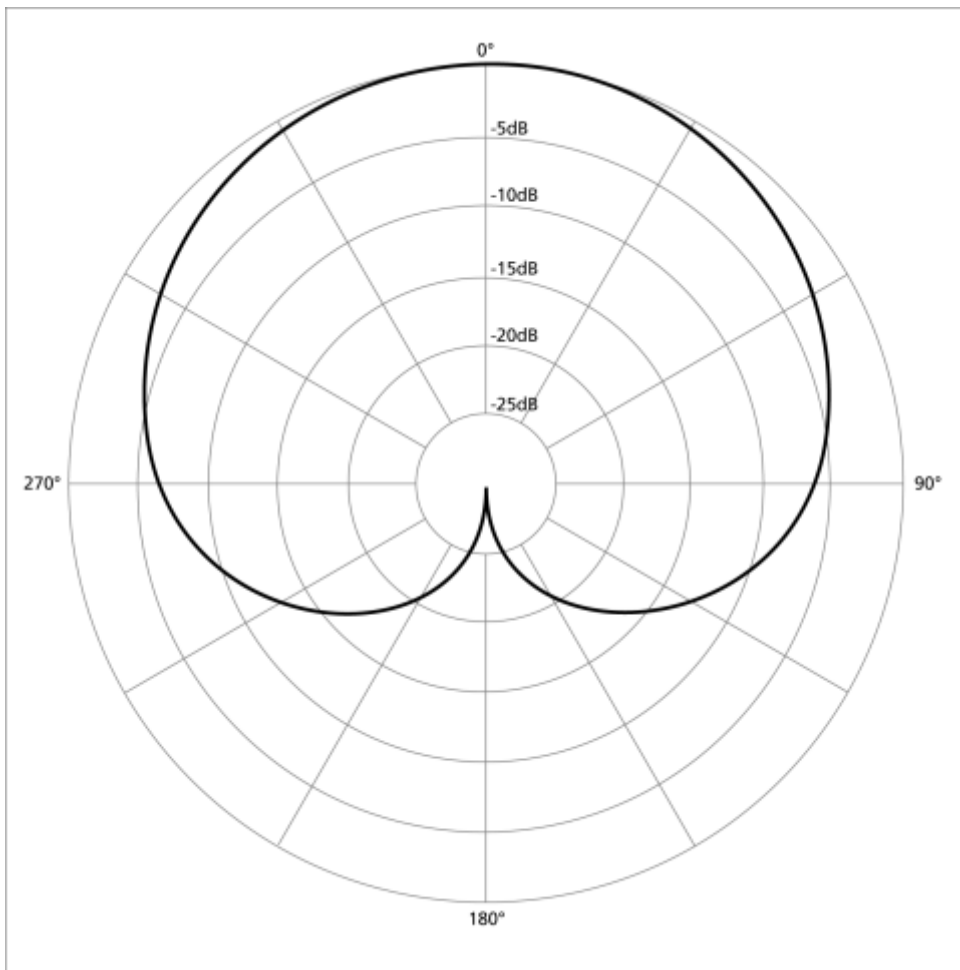
Αυτά θεωρητικά είναι το ίδιο ευαίσθητα από όλες τις κατευθύνσεις και στις 3 διαστάσεις.



ΣΧΗΜΑ 4.3.1

2. Μικρόφωνα Cardioid:

Αυτά παίρνουν το όνομά τους από το σχήμα του πολικού τους διαγράμματος, το οποίο μοιάζει με καρδιά. Έχουν το χαρακτηριστικό ότι είναι κατευθυντικά και αναιρούν τους ήχους που έρχονται από πίσω και από το πλάι. Για αυτό το λόγο και χρησιμοποιούνται πάρα πολύ σε εφαρμογές ζωντανής μουσικής.



ΣΧΗΜΑ 4.3.2

3. Μικρόφωνα Hyper-Cardioids:

Μοιάζουν με τα Cardioids, αλλά έχουν μια ευαισθησία και σε ήχους που έρχονται από πίσω τους.



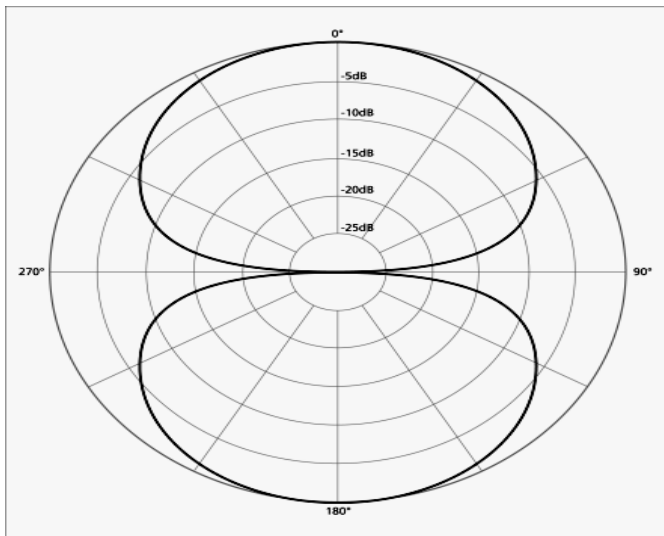
ΕΙΚΟΝΑ 4.3.1

4. Μικρόφωνα Super-Cardioids:

Αυτά μοιάζουν με τα Hyper-Cardioids, με τη διαφορά ότι είναι πιο ευαίσθητα προς τα εμπρός και λιγότερο προς τα πίσω.

5. Μικρόφωνα Bi-Directional:

Αυτά ονομάζονται και “Figure 8” από το σχήμα του πολικού τους διαγράμματος. Δέχονται ήχους από εμπρός και από πίσω και είναι το ίδιο ευαίσθητα και στους δύο. Τέτοιου τύπου είναι τα μικρόφωνα Ribbon, λόγω της κατασκευής τους.



ΣΧΗΜΑ 4.3.3

6. Μικρόφωνα “Shotgun”:

Αυτά έχουν πάρα πολύ μεγάλη κατευθυντικότητα, ειδικά προς τις μεσαίες και υψηλές περιοχές συχνοτήτων.

4.4 ΜΕΤΡΗΤΙΚΟ ΜΙΚΡΟΦΩΝΟ

Τα μετρητικά μικρόφωνα χρησιμοποιούνται σε μετρήσεις ηχητικών διατάξεων και χώρων.

Το μετρητικό μικρόφωνο έχει τρία χαρακτηριστικά:

1. Ο τύπος του είναι πυκνωτικό.
2. Το πολικό του διάγραμμα είναι OMNI.
3. Η απόκριση συχνότητας του είναι γραμμική με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ποιοτικές αλλοιώσεις στις παραμέτρους της μέτρησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

Ο ήχος όταν διαδίδεται σε κλειστούς χώρους συμπεριφέρεται διαφορετικά από ότι όταν διαδίδεται σε ανοικτούς. Στους ανοικτούς χώρους ο ήχος φθάνει απευθείας από την πηγή στον δέκτη, ενώ σε κλειστούς χώρους ο ήχος από την απευθείας διάδοση φτάνει στον δέκτη μετά από διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα του χώρου, με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται η αρχική κυματομορφή του ήχου.

Βασικό ρόλο στην ακουστική συμπεριφορά των κλειστών χώρων παίζει η απορρόφηση του ήχου και οι διαστάσεις του χώρου.

Υπάρχουν τρεις τρόποι μελέτης της ακουστικής συμπεριφοράς των κλειστών χώρων.

A. Η κυματική ακουστική.

Εδώ μελετάται η ακουστική μικρών χώρων όπου τα κυματικά φαινόμενα και αυτά της συμβολής είναι πολύ έντονα.

B. Η στατιστική ακουστική.

Εδώ μελετάται η ακουστική μεγάλων και πολύ μεγάλων χώρων.

C. Η γεωμετρική ακουστική.

Εδώ μελετάται η ακουστική μεγάλων χώρων και οι υπολογισμοί γίνονται με τη βοήθεια τύπων της γεωμετρικής οπτικής.

5.2 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΧΩΡΟΥ

Η ακουστική ενός δεδομένου χώρου καθορίζει το πώς θα συμπεριφερθεί ένας ήχος μέσα στο χώρο αυτό. Για κάθε χώρο έχουμε τέσσερις ζώνες συχνοτήτων, οι οποίες διαχωρίζουν το είδος της συμπεριφοράς ενός ηχητικού κύματος, ανάλογα με τη ζώνη στην οποία ανήκει. Οι ζώνες αυτές είναι οι εξής:

1. Στην πρώτη ζώνη ανήκουν οι συχνότητες κάτω από αυτή της οποίας το μήκος κύματος είναι διπλάσιο από τη μεγαλύτερη διάσταση του χώρου. Σε αυτή τη ζώνη ο ήχος συμπεριφέρεται σαν διαφοροποίηση της στατικής πίεσης του αέρα.

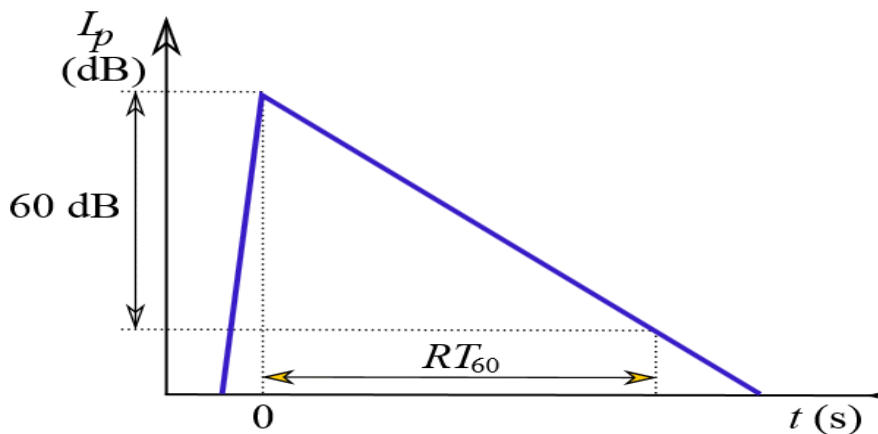
2. Στη δεύτερη ζώνη ανήκουν οι συχνότητες πάνω από την πρώτη ζώνη και μέχρι αυτές που έχουν μήκος κύματος συγκρίσιμο με τις διαστάσεις του χώρου. Σε αυτή την περιοχή δημιουργούνται στάσιμα κύματα και συντονισμοί του χώρου. Η συχνότητα μετάβασης από τη δεύτερη ζώνη προς την τρίτη ονομάζεται συχνότητα Schroeder και είναι η συχνότητα η οποία διαχωρίζει τις χαμηλές συχνότητες ενός χώρου οι οποίες δημιουργούν στάσιμα κύματα από τις μεσαίες και τις υψηλές.
3. Στην τρίτη ζώνη ανήκουν οι συχνότητες οι οποίες είναι μεγαλύτερες από αυτές της δεύτερης και εκτείνονται για δύο οκτάβες (κάθε οκτάβα αντιστοιχεί με διπλασιασμό της συχνότητας). Αυτή η ζώνη αποτελεί μια μετάβαση προς την τέταρτη.
4. Στην τέταρτη ζώνη ο ήχος πια συμπεριφέρεται σαν ακτίνες φωτός οι οποίες ανακλώνται - διαθλώνται ή απορροφώνται ανάμεσα στις επιφάνειες του χώρου.

Είναι λοιπόν φανερό ότι το πρώτο βασικό χαρακτηριστικό που θα καθορίσει την ηχητική συμπεριφορά ενός χώρου είναι οι ίδιες του οι διαστάσεις (οι οποίες θα καθορίσουν τη συμπεριφορά των ήχων που ανήκουν κυρίως στη δεύτερη ζώνη). Το δεύτερο πολύ βασικό χαρακτηριστικό του χώρου είναι ο χρόνος αντήχησης, ο οποίος αναλύεται παρακάτω.

Με τον όρο αντήχηση στην ψυχοακουστική και ακουστική, εννοούμε το φαινόμενο κατά το οποίο ένας ήχος εξακολουθεί να ακούγεται σε ένα χώρο αφού σταματήσει η πηγή η οποία τον προκάλεσε. Η αντήχηση οφείλεται στην ανάκλαση των ηχητικών κυμάτων στις επιφάνειες του χώρου και εξαρτάται από τη συχνότητα. Τα ανακλώμενα κύματα σταδιακά απορροφώνται πάλι από τις διάφορες επιφάνειες του χώρου, μέχρι που τελικά η αντήχηση σταματάει. Με τον όρο αντήχηση αναφερόμαστε στις ανακλάσεις που φτάνουν σε λιγότερο από 50ms(milliseconds) χονδρικά, σε αντίθεση με τον όρο ηχώ (echo), με τον οποίο αναφερόμαστε στις ανακλάσεις οι οποίες φτάνουν χονδρικά μετά από 50-100ms από την αρχική πηγή.

5.3 ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (RT60)

Το βασικό μέγεθος το οποίο θα μας δείξει τα χαρακτηριστικά αντήχησης ενός χώρου είναι ο χρόνος αντήχησης, ή RT60. Με τον όρο αυτό εννοούμε το χρόνο που απαιτείται για να μειωθεί η ηχητική στάθμη της αντήχησης κατά 60dB. Επειδή η αντήχηση έχει άμεση σχέση με τη συχνότητα, ο χρόνος αντήχησης καλό είναι να μετράται σε πολλές διαφορετικές μπάντες συχνοτήτων, παρόλο που χονδροειδώς μπορεί να μετρηθεί και με ένα σήμα ευρέως φάσματος. Ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται ο χώρος, υπάρχει και ο ιδανικός χρόνος αντήχησης (π.χ. θέλουμε διαφορετικό RT60 σε ένα χώρο ηχητικών μετρήσεων, σε ένα μουσικό studio ή σε μία αίθουσα συναυλιών).



ΣΧΗΜΑ 5.3.1

Συντελεστής απορρόφησης υλικού:

Κάθε υλικό έχει ένα συντελεστή απορρόφησης (ανάλογα με τη συχνότητα), ο οποίος είναι ο λόγος του ποσοστού του ήχου που απορροφάται από το υλικό προς το ποσοστό του ήχου που ανακλάται από αυτό. Επομένως, ένα υλικό με συντελεστή απορρόφησης κοντά στο 1 παρουσιάζει τη μέγιστη απορρόφηση, ενώ ένα υλικό με συντελεστή κοντά στο 0 παρουσιάζει τη μέγιστη ανάκλαση (π.χ. τζάμι).

Ο έλεγχος του χρόνου αντήχησης ενός χώρου μπορεί να γίνει διαλέγοντας και τοποθετώντας στρατηγικά υλικά τα οποία παρουσιάζουν διαφορετικούς και κατάλληλους συντελεστές απορρόφησης.

5.4 ΑΝΗΧΟΙΚΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ

Ο ανηχοϊκός θάλαμος είναι ένας κλειστός χώρος ο οποίος συμπεριφέρεται ακουστικά όπως ένα ελεύθερο σημείο στον αέρα, μακριά από οποιοδήποτε εμπόδιο και πολύ πιο ψηλά από το έδαφος. Ένα σημείο δηλαδή στο οποίο δεν υπάρχουν ηχητικές ανακλάσεις. Είναι ιδανικός για πραγματοποίηση ακουστικών μετρήσεων ηχείων και μικροφώνων, αφού ο χώρος δεν επηρεάζει τις μετρήσεις. Επίσης, χρησιμεύει στην προσομοίωση κάποιου ηχητικού περιβάλλοντος και τέλος, λόγω του ότι στον ανηχοϊκό θάλαμο επικρατεί υπερβολική ησυχία, προσφέρεται για δοκιμές πολύ αθόρυβων προϊόντων.

Κατασκευή του θαλάμου:

Βασική προϋπόθεση για έναν ανηχοϊκό θάλαμο είναι να αποκόπτεται απόλυτα ο ήχος του εξωτερικού περιβάλλοντος, καθώς και ο ήχος που μεταδίδεται στο κτίριο από κραδασμούς. Αυτό στην πράξη είναι πολύ δύσκολο και ακριβό για να υλοποιηθεί και απαιτούνται κάποιες εξεζητημένες τεχνικές. Συνήθως πρόκειται για ένα δωμάτιο “μέσα” σε ένα άλλο δωμάτιο (room in a room). Το πρώτο ενώνεται με το δεύτερο με τη βοήθεια ειδικών ελατηρίων και ελαστικών συνδέσμων, τα οποία αποσκοπούν στην απορρόφηση των κραδασμών. Επίσης, τα δύο δωμάτια κατασκευάζονται από πολύ υψηλής μάζας δομικά υλικά τα οποία έχουν το χαρακτηριστικό ότι απορροφούν μεγάλο ποσοστό ακουστικής ενέργειας. Σε αυτό συμβάλλει και ο άδειος χώρος ανάμεσα στα δύο δωμάτια. Μεγάλο ρόλο παίζει και το σύστημα εισόδου στο θάλαμο, το οποίο αποτελείται από διπλή πολύ μεγάλης μάζας πόρτα με κενό ανάμεσα στα δύο φύλλα και ειδική ελαστική μόνωση στους αρμούς.

Η δεύτερη προϋπόθεση του θαλάμου είναι να παρουσιάζει τη μέγιστη δυνατή απορρόφηση ακουστικής ενέργειας στο εσωτερικό του, το οποίο υλοποιείται με τη χρήση πολύ απορροφητικών υλικών σε όλους τους τοίχους, καθώς και στο ταβάνι και το πάτωμα. Για να βαδίζει κανείς μέσα στο θάλαμο, χρησιμοποιείται ειδικό πολύ τεντωμένο ηχοδιαπερατό δίχτυ.



ΕΙΚΟΝΑ 5.4.1

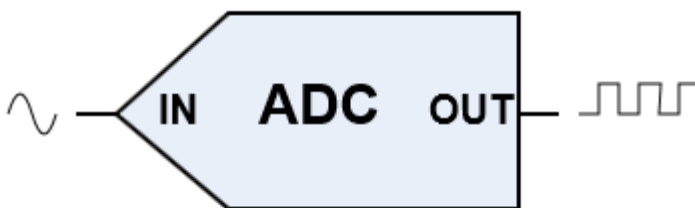
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 Μετατροπέας Αναλογικού σήματος σε Ψηφιακό (Analog to Digital Converter - ADC)

Ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό σήμα είναι μια ηλεκτρονική διάταξη η οποία στην είσοδό της λαμβάνει ένα αναλογικό ηλεκτρικό σήμα και στην έξοδό της μας δίνει ένα ψηφιακό σήμα, συνήθως με τη μορφή μιας σειράς δυαδικών ψηφίων (κατάσταση high ή low), τα οποία έχουν άμεση σχέση με την είσοδο. Το σήμα στη συνέχεια είναι σε θέση να υποστεί επεξεργασία από οποιαδήποτε διάταξη ηλεκτρονικού υπολογιστικού συστήματος.

6.1.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ο μετατροπέας λαμβάνει ένα σήμα συνεχόμενου χρόνου και συνεχόμενης έντασης. Στην έξοδό του το ψηφιακό σήμα που μας δίνει είναι διακοπτόμενο και συγκεκριμένων διακεκριμένων τιμών έντασης. Δε λειτουργεί συνεχόμενα, αλλά εφαρμόζει δειγματοληψία στην είσοδό του ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Σε κάθε στιγμή που γίνεται δειγματοληψία, αντιστοιχείται η ένταση του σήματος στην πλησιέστερη προκαθορισμένη τιμή, το σήμα δηλαδή υπόκειται σε κβαντισμό (quantization). Με λίγα λόγια, για ένα δεδομένο σήμα εισόδου, η έξοδος του μετατροπέα μας δίνει μια σειρά κωδικοποιημένων δυαδικών ψηφίων τα οποία αναπαριστούν συγκεκριμένες και κβαντισμένες τιμές της έντασης του σήματος ανά τακτά και συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα δειγματοληψίας.



ΣΧΗΜΑ 6.2.1

❖ Χαρακτηριστικά:

1. Ανάλυση (Resolution):

Η ανάλυση ενός μετατροπέα μας δείχνει πόσες διακεκριμένες τιμές μπορεί να λάβει η ένταση του σήματος από τη στιγμή που θα υποστεί κβαντισμό.

Προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η ανάλυση τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια θα έχουμε και στο αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης του σήματος.

2. Σφάλμα κβαντισμού (Quantization Error):

Το σφάλμα κβαντισμού είναι ο θόρυβος που εισάγεται στο ψηφιοποιημένο σήμα από τη διαδικασία του κβαντισμού του. Έχει άμεση σχέση με την ανάλυση του μετατροπέα. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή, τόσο μικρότερο το σφάλμα. Προκύπτει από την απόκλιση που έχει η πραγματική τιμή του σήματος σε σχέση με τη διακεκριμένη - κβαντισμένη. Είναι ένας θόρυβος μη γραμμικός, ο οποίος έχει άμεση σχέση με το ίδιο το σήμα.

3. Συχνότητα δειγματοληψίας (Sampling Rate):

Η συχνότητα δειγματοληψίας καθορίζει το χρονικό διάστημα κατά το οποίο θα λαμβάνονται τα δείγματα από το σήμα εισόδου. Εδώ βρίσκει εφαρμογή το θεώρημα του Shannon, το οποίο μας αποδεικνύει ότι η μέγιστη συχνότητα που μπορούμε να ψηφιοποιήσουμε είναι η μισή από τη συχνότητα δειγματοληψίας. Το είδος επομένως του σήματος, καθώς και η εφαρμογή με την οποία ασχολούμαστε θα καθορίσουν τη συχνότητα δειγματοληψίας. Εδώ υπάρχει και ένα τεχνικό θέμα, καθότι ο μετατροπέας δε λειτουργεί ακαριαία, για κάθε δείγμα που λαμβάνεται είναι απαραίτητο η τιμή της έντασης του σήματος να παραμένει σταθερή για τη διάρκεια της αντιστοίχισης στην κβαντισμένη τιμή. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός κυκλώματος "Sample and Hold", το οποίο χρησιμοποιεί ένα πυκνωτή για να αποθηκεύσει την τιμή του σήματος εισόδου και στη συνέχεια έναν ηλεκτρονικό διακόπτη ή πύλη για να αποσυνδέσει τον πυκνωτή από την είσοδο.

4. Dithering:

Με την τεχνική του dithering βελτιώνονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του θορύβου κβαντισμού. Ουσιαστικά προστίθεται μια πολύ μικρή ποσότητα θορύβου στο σήμα εισόδου πριν την ψηφιοποίηση. Αυτός ο θόρυβος "διαχέει" το θόρυβο κβαντισμού σε τιμές θορύβου πολύ λιγότερο παρατηρούσες από την ανθρώπινη φύση, με αποτέλεσμα ουσιαστικά σχεδόν να εξαλείφεται το πρόβλημα που προκύπτει από το σφάλμα. Το σφάλμα δηλαδή δε μειώνεται, αλλάζει όμως

ποιοτικά χαρακτηριστικά και γίνεται πολύ πιο χαοτικό με αποτέλεσμα να μην ενοχλεί. Πρόκειται δηλαδή για ένα έξυπνο τέχνασμα.

5. Jitter:

Με τον όρο Jitter εννοούμε τα σφάλματα που προκύπτουν στη δειγματοληψία από οποιαδήποτε ανακρίβεια μπορεί να έχει το ρολόι το οποίο ελέγχει τη συχνότητα αυτής. Είναι και αυτό ένα ποιοτικό χαρακτηριστικό του μετατροπέα, το οποίο συμβάλλει άμεσα στην ακρίβεια της ψηφιοποίησης του σήματος.

6. Aliasing:

Με τον όρο Aliasing εννοούμε το σφάλμα που θα προκύψει αν ψηφιοποιήσουμε σήμα με συχνότητα μεγαλύτερη από τη μισή της συχνότητας δειγματοληψίας. Αν γίνει κάτι τέτοιο, θα προκύψει ένα είδωλο (aliasing) με συχνότητα πολύ μικρότερη από αυτή του σήματος εισόδου, το οποίο είναι εντελώς εσφαλμένο. Για να αποφευχθούν αυτά τα ανεπιθύμητα φαινόμενα, η είσοδος του μετατροπέα πρέπει να δρομολογείται μέσα από ένα κατάλληλα ρυθμισμένο φίλτρο τύπου low-pass.

6.2 Μετατροπέας Ψηφιακού σήματος σε Αναλογικό Digital to Analog Converter - DAC)

Ο μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε αναλογικό εκτελεί ακριβώς την αντίστροφη ακριβώς εργασία από το μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Λαμβάνει στην είσοδό του ένα κατάλληλα κωδικοποιημένο ψηφιακό σήμα και στην έξοδό του μας δίνει ένα αναλογικό ηλεκτρικό σήμα.

6.2.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Με κατάλληλη χρονική επεξεργασία και με τη βοήθεια κυκλώματος χρονισμού (clock), από τη σειρά δυαδικών ψηφίων στην είσοδο δημιουργούνται συγκεκριμένες και διακριτές τιμές έντασης του σήματος οι οποίες ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, οι οποίες καθορίζονται από τη συχνότητα δειγματοληψίας του αρχικού αναλογικού σήματος το οποίο τώρα αναπαράγουμε. Οι τιμές αυτές θα μετατραπούν σε παλμούς “δ” με το αντίστοιχο πλάτος σε κάθε

χρονική στιγμή (impulses). Στη συνέχεια, με τη βοήθεια ενός άλλου κυκλώματος (reconstruction filter) εφαρμόζεται η τεχνική “interpolation” στην οποία, με κατάλληλο αλγόριθμο, δημιουργούνται παραπάνω παλμοί, οι οποίοι έρχονται να καλύψουν μέρος του κενού ανάμεσα στους αρχικούς. Το προκύπτον σήμα περνάει με τη σειρά του από ένα κύκλωμα τύπου “Zero Order Hold”, το οποίο κρατάει την τάση σε σταθερή τιμή μετά το πέρας του κάθε παλμού. Η κυματομορφή που προκύπτει είναι μια σκαλωτής μορφής μεταβαλλόμενη συνεχής τάση, η οποία χονδροειδώς έχει τη μορφή της αρχικής αναλογικής κυματομορφής. Τέλος, μέσω ενός κατάλληλου φίλτρου εξομάλυνσης η προαναφερθείσα κυματομορφή μετατρέπεται σε συνεχόμενη - καμπυλωτή, η οποία πλησιάζει σε πολύ μεγάλη ακρίβεια την αρχική αναλογική. Το σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι πάντα υπάρχουν απώλειες κατά τη διαδικασία μετατροπής ενός σήματος σε ψηφιακό και μετά ξανά σε αναλογικό.

6.2.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

1. Ανάλυση

Η ανάλυση καθορίζει πόσες διακριτές τιμές μπορεί να λάβει η ένταση του αναπαραγόμενου σήματος, μέγεθος αντίστοιχο με την ανάλυση του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.

2. Μέγιστη συχνότητα δειγματοληψίας.

Και εδώ όπως και στον ADC, ο αριθμός αυτός μας δείχνει τη μέγιστη τιμή της συχνότητας δειγματοληψίας του αρχικού αναλογικού σήματος στην οποία μπορεί ο μετατροπέας να ανταποκριθεί.

3. Μέγιστη αρμονική παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion - THD).

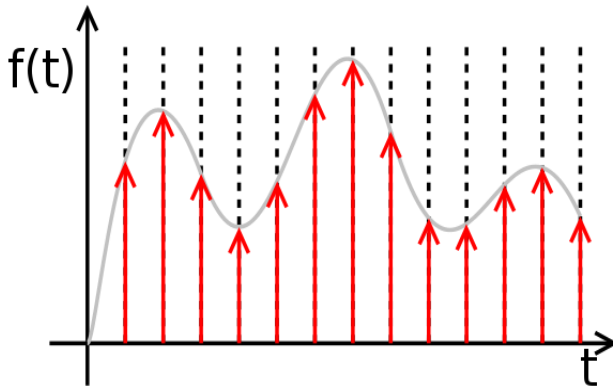
Μας δείχνει την παραμόρφωση και του θορύβου που προστίθενται στο σήμα στο στάδιο της μετατροπής και είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό του μετατροπέα ως προς την ποιότητά του.

4. Δυναμική Περιοχή (Dynamic Range).

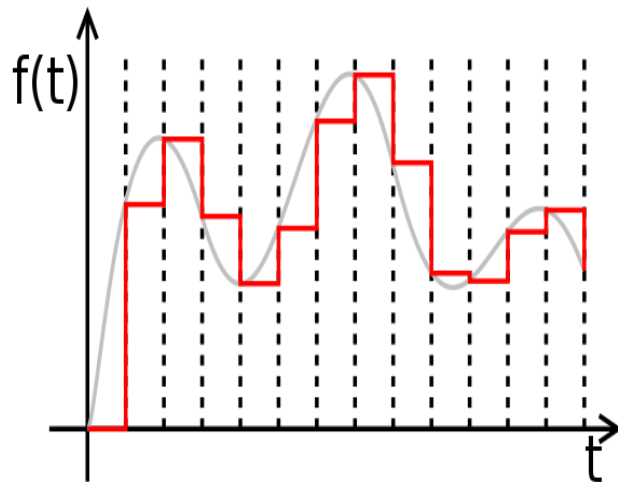
Μας δείχνει τη διαφορά ανάμεσα στα δυνατότερα και τα χαμηλότερα σήματα που μπορεί να αναπαράξει ο μετατροπέας και εκφράζεται σε Decibel (dB).

5. Jitter:

Όπως και στην περίπτωση του ADC, μας δείχνει τα σφάλματα που θα έχει το τελικό σήμα λόγω ανακρίβειών του κυκλώματος χρονισμού του μετατροπέα.



ΣΧΗΜΑ 6.2.2.1



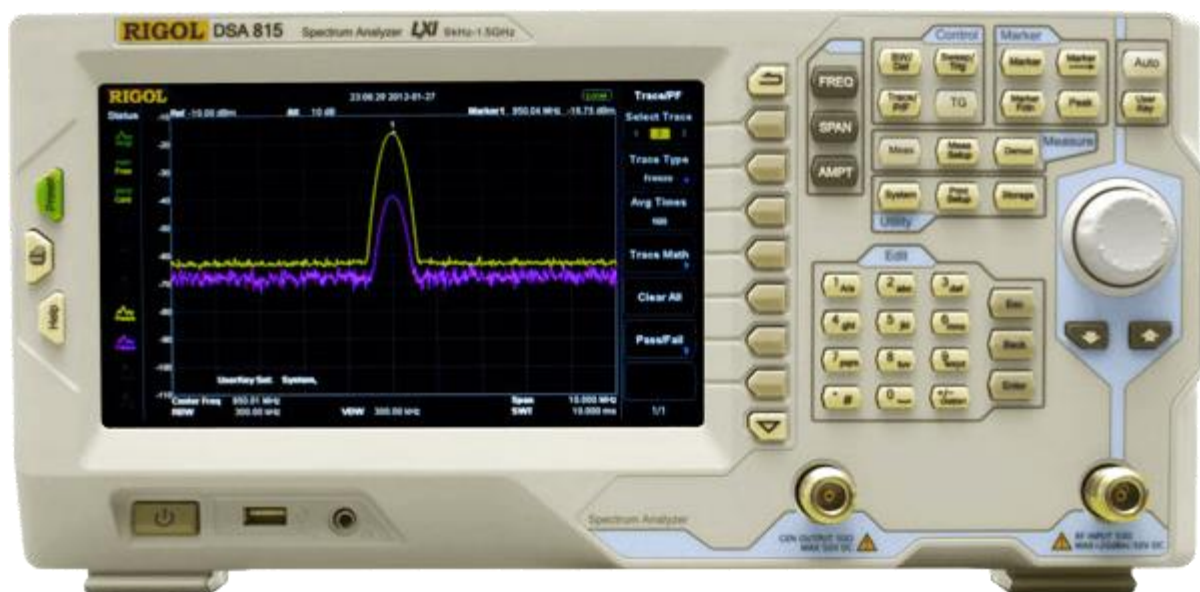
ΣΧΗΜΑ 6.2.2.2

6.3 ΑΝΑΛΥΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Ο αναλυτής φάσματος είναι μια ηλεκτρονική συσκευή η οποία έχει τη δυνατότητα να απεικονίζει την ένταση ενός ηλεκτρικού σήματος συναρτήσει της συχνότητας. Ενώ κατά βάση λειτουργεί με ηλεκτρικά σήματα, στην πράξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί με άλλου τύπου σήματα, όπως ακουστικά και οπτικά, με τη χρήση ενός κατάλληλου μορφοτροπέα (π.χ. μικρόφωνο), έτσι ώστε να μετατραπούν σε ηλεκτρικά.

Υπάρχουν δύο βασικών ειδών αναλυτές φάσματος. Αυτοί που βασίζονται σε φίλτρα συχνοτήτων μεταβλητού φάσματος και αυτοί που βασίζονται στο μετασχηματισμό Fourier (FFT). Ο πρώτος τύπος χρησιμοποιεί ένα ζωνοδιαβατό φίλτρο το οποίο ελέγχεται από ένα VCO (Voltage controlled oscillator). Με αλλαγή τάσης στο VCO, αλλάζει η κεντρική συχνότητα του φίλτρου, το οποίο περνάει από κάποιες καθορισμένες τιμές. Το σήμα εισόδου οδηγείται στο φίλτρο και με αυτό τον τρόπο, εφόσον γνωρίζουμε την τιμή της κεντρικής συχνότητας για κάθε στιγμή, μπορούμε να προσδιορίσουμε την ένταση του σήματος σε κάθε συχνότητα. Το εύρος ζώνης του φίλτρου καθορίζει την ανάλυση του οργάνου στο φάσμα των συχνοτήτων. Υπάρχει όμως ένας συμβιβασμός, ότι αν αυξηθεί πολύ η ανάλυση, το όργανο καθυστερεί να σαρώσει όλο το φάσμα με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος να χαθούν πληροφορίες από κάποια σύντομα στιγμιότυπα του σήματος.

Ο δεύτερος τύπος αναλυτή φάσματος είναι ψηφιακός, το σήμα εισόδου δηλαδή υπόκειται σε δειγματοληψία συχνότητας διπλάσιας από τη μέγιστη συχνότητα την οποία θέλουμε να μετρήσουμε. Η μέτρηση γίνεται σε ένα δεδομένο χρόνο και το εύρος της κάθε μετρούμενης συχνότητας είναι αντιστρόφως ανάλογο του χρόνου αυτού. Όσο δηλαδή μεγαλύτερος είναι ο χρόνος της μέτρησης, τόσο μεγαλύτερη ανάλυση πετυχαίνουμε. Ο περιορισμός αυτού του είδους αναλυτή είναι η μέγιστη συχνότητα μέτρησης, η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα δειγματοληψίας. Επίσης, το σήμα εισόδου πρέπει να περάσει μέσα από μια διάταξη ADC (Analog to Digital Converter).



ΕΙΚΟΝΑ 6.3.1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1 ΜΕΤΡΗΣΗ

Η όλη δυσκολία σε μία μέτρηση σε ανηχοϊκό θάλαμο είναι ο ίδιος ο θάλαμος, ο οποίος είναι πρακτικά πολύ δύσκολο έως αδύνατο να βρεθεί. Εδώ έρχεται η τεχνική του “gating” (χρονικών παραθύρων), η οποία μπορεί να μας επιτρέψει να πραγματοποιήσουμε τη μέτρηση σε έναν οποιοδήποτε φυσιολογικό χώρο με ανακλάσεις. Η τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί στη μέτρηση απόκρισης συχνότητας, αλλά και σε μια πληθώρα άλλων μετρήσεων (π.χ. μέτρηση αρμονικής παραμόρφωσης, μέτρηση απόκρισης φάσης κλπ.) Για να εφαρμοστεί αυτή η τεχνική, απαιτείται ένα σύστημα το οποίο θα παράγει τα απαραίτητα σήματα και θα καταγράφει την απόκριση του εξεταζόμενου ηχείου τις κατάλληλες χρονικές στιγμές.

7.1.1 ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ

Σε ένα φυσιολογικό χώρο με ανακλάσεις, όταν ένα ηχείο αναπαράγει ένα ηλεκτρικό ημιτονικό σήμα, το ακουστικό σήμα που φτάνει σε κάποιο δεδομένο σημείο του χώρου θα είναι σύνθετο: θα είναι το καθαρό πρωτογενές σήμα του ηχείου στο οποίο θα έχουν προστεθεί τα δευτερογενή σήματα από τις ανακλάσεις του χώρου. Άρα θα ήταν μάταιο να προσπαθήσουμε να μετρήσουμε το καθαρό σήμα του ηχείου. Ακριβώς όμως επειδή τα δευτερογενή σήματα προέρχονται από ανακλάσεις, διανύουν και μεγαλύτερη απόσταση από το πρωτογενές σήμα (το οποίο διανύει μια ευθεία.) Επομένως φτάνουν στο σημείο της μέτρησης με μια μικρή χρονική καθυστέρηση. Με τη χρήση του gating θα δώσουμε στο ηχείο μια τόσο σύντομη ριπή σήματος η οποία θα έχει σταματήσει πριν το χρόνο που κάνουν να φτάσουν οι ανακλάσεις. Έτσι, η καταγεγραμμένη απόκριση θα είναι το πρωτογενές σήμα του ηχείου (όπως θα ήταν και σε έναν ανηχοϊκό θάλαμο.)

Εδώ όμως δημιουργείται το πρόβλημα του χρόνου απόκρισης του ίδιου του ηχείου. Κατά το ξεκίνημα της ριπής, το ηχείο, ως μηχανικό σύστημα με αδράνεια, βρίσκεται για κάποιο διάστημα σε μεταβατικό στάδιο (transient state). Στη συνέχεια περνάει σε σταθερή κατάσταση (steady state), κατά τη διάρκεια της οποίας μπορεί να ληφθεί μια αξιόπιστη μέτρηση.

Όλο λοιπόν το στοίχημα είναι να προλάβει να σταθεροποιηθεί το ηχείο πριν τη στιγμή που θα φτάσουν οι πρώτες ανακλάσεις του χώρου (early reflections.)

Εφόσον ισχύει αυτή η προϋπόθεση, είναι σίγουρο ότι ένα τμήμα της απόκρισης ανταποκρίνεται στο πρωτογενές σταθεροποιημένο σήμα του ηχείου. Αυτό το τμήμα της απόκρισης θα έρθουμε και θα απομονώσουμε με τη χρήση ενός χρονικού παραθύρου. Ουσιαστικά δηλαδή θα εφαρμόσουμε εκ νέου gating πάνω στη ριπή απόκρισης του ηχείου.

Όλη η παραπάνω διαδικασία αφορά μία συγκεκριμένη ριπή σήματος, η οποία ανταποκρίνεται σε μία δεδομένη συχνότητα. Όταν όμως μιλάμε για μέτρηση απόκρισης συχνότητας θα πρέπει να έχουμε πολλές ριπές, οι οποίες θα έχουν διαφορετική συχνότητα μεταξύ τους και θα καλύπτουν όλο το ακουστικό φάσμα. Προφανώς, όσο περισσότερες θα έχουμε τόσο πιο αναλυτική και ακριβής θα είναι η μέτρησή μας. Για να το πετύχουμε αυτό θα χρησιμοποιήσουμε ως πηγή ένα σήμα που θα σαρώνει όλο το ακουστικό φάσμα σε δεδομένη χρονική διάρκεια (frequency sweep). Αυτό το σήμα θα υποστεί κατάλληλο gating, έτσι ώστε να διασπαστεί σε ριπές, οι οποίες θα είναι υπολογισμένες να διαρκούν λιγότερο από το χρόνο άφιξης των πρώτων ανακλάσεων. Επίσης, ο χρόνος ανάμεσα στις ριπές θα είναι υπολογισμένος έτσι ώστε να εξασθενούν επαρκώς οι ανακλάσεις του χώρου από κάθε ριπή και να μην αθροίζονται με την απόκριση της επόμενης. Με λίγα λόγια το σήμα σάρωσης του ακουστικού φάσματος θα αθροιστεί με ένα τετραγωνικό παλμό on-off, του οποίου θα μπορούμε να ρυθμίσουμε τη διάρκεια on και τη διάρκεια off. Καταγράφοντας όλες τις ριπές που θα προκύψουν και εφαρμόζοντας το δεύτερο gating σε κάθε ριπή (βλ. προηγούμενη παράγραφο - για να διαγράψουμε το transient state κάθε ριπής), θα έχουμε μια εικόνα της απόκρισης συχνότητας του ηχείου σε πεπερασμένο αριθμό δειγμάτων. Επαναλαμβάνεται εδώ ότι, όπως και σε κάθε εφαρμογή δειγματοληψίας, όσο περισσότερα δείγματα έχουμε, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια θα έχουμε και ως προς το αποτέλεσμα.

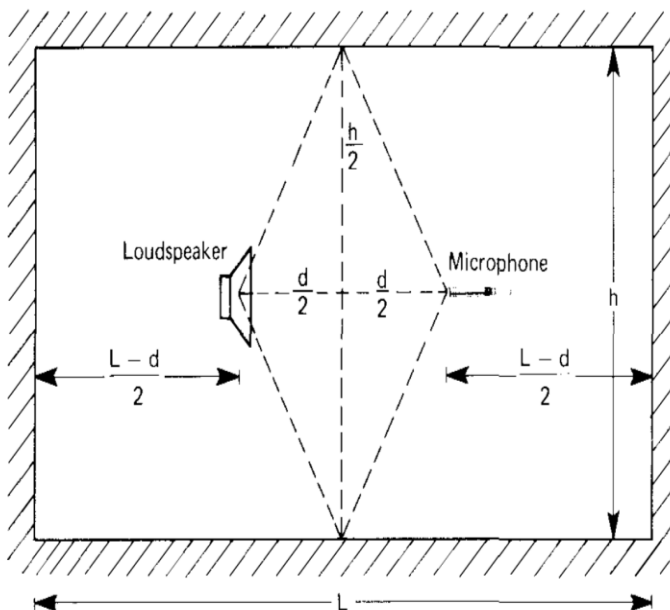
7.1.2 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

Με το δεδομένο ότι έχει βρεθεί ο χώρος στον οποίο θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση, πρέπει να υλοποιηθεί η εξής πειραματική διάταξη: να στηθεί σε συγκεκριμένο σημείο του χώρου το ηχείο, το οποίο θα συνδεθεί μέσω κατάλληλης ενισχυτικής διάταξης με την πηγή η οποία θα μας δώσει το κατάλληλο σήμα (frequency sweep το οποίο έχει υποστεί συγκεκριμένο gating). Επίσης να στηθεί

σε συγκεκριμένο σημείο του χώρου το μετρητικό μικρόφωνο, το οποίο θα συνδεθεί με έναν καταγραφέα του σήματος που λαμβάνει. Εφόσον υλοποιηθεί αυτή η διάταξη, είμαστε σε θέση να λάβουμε το πρώτο σήμα που θα έχει καταγράψει τις πρωτογενείς ριπές που μας δίνει το ηχείο σαρώνοντας το ακουστικό φάσμα. Επειδή όπως αναφέραμε παραπάνω, το σήμα αυτό εμπεριέχει και το transient state του ηχείου, θα το επεξεργαστούμε κατάλληλα για να λάβουμε το δεύτερο τελικό σήμα απόκρισης (περνώντας το από χρονικά παράθυρα - time windowing.) Στη συνέχεια, αποτυπώνοντας αυτό το σήμα με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού, θα λάβουμε μια γραφική παράσταση η οποία θα δείχνει στον κάθετο άξονα τη στάθμη του ηχείου σε db και στον οριζόντιο άξονα το χρόνο. Αρχικά εδώ μπορεί να μπερδεύει το μέγεθος του χρόνου, μιας και μιλάμε για απόκριση συχνότητας, δηλαδή γράφημα στάθμης - συχνότητας. Αν αναλογιστούμε όμως ότι το σήμα σάρωσης του ακουστικού φάσματος σαρώνει όλες τις συχνότητες σε συγκεκριμένο δεδομένο χρόνο, μπορούμε με ένα εύκολο μαθηματικό υπολογισμό (βλέπε **Παράρτημα Α΄**), να αντιστοιχίσουμε κάθε χρονική στιγμή σε μία συγκεκριμένη συχνότητα. Επομένως, ο οριζόντιος άξονας είναι παράλληλα καί άξονας συχνότητας.

Ας δούμε τα επιμέρους στάδια αναλυτικά:

1. Υπολογισμός θέσης ηχείου - μικροφώνου στο χώρο:



ΣΧΗΜΑ 7.1.2.1

Αυτό που μας ενδιαφέρει περισσότερο είναι να βρούμε τις θέσεις ηχείου / μικροφώνου στις οποίες καθυστερούν περισσότερο να φτάσουν οι πρώτες ανακλάσεις. Εάν υποθέσουμε ότι ο χώρος έχει παράλληλες επιφάνειες, θα πρέπει το ηχείο και το μικρόφωνο να είναι όσο πιο μακριά γίνεται από αυτές. Έστω ότι το μήκος του χώρου είναι και η μεγαλύτερη διάσταση. Τότε το ηχείο και το μικρόφωνο θα πρέπει να είναι κεντραρισμένα ως προς τους άξονες ύψους / πλάτους και τοποθετημένα σε απόσταση d μεταξύ τους, συμμετρικά ως προς το κέντρο του άξονα του μήκους, σε απόσταση $d/2$ από αυτό. Έστω ότι h είναι η απόσταση ανάμεσα στις πιο κοντινές επιφάνειες (συνήθως στον άξονα του ύψους). Τότε ο άξονας ηχείου / μικροφώνου θα απέχει από τις κοντινότερες ανακλαστικές επιφάνειες $h/2$. Έστω επίσης ότι l είναι το μήκος της ευθείας ηχείου / μικροφώνου και κοντινότερης επιφάνειας. Η διάρκεια της κάθε ριπής σήματος θα πρέπει να είναι μικρότερη από τη διαφορά χρόνου που κάνει να φτάσει η πρώτη ανάκλαση σε σχέση με τον απευθείας ήχο. Εάν c είναι η ταχύτητα του ήχου στον αέρα και t η χρονική διάρκεια της ριπής, θα πρέπει να ισχύει:

$$t \leq \frac{2l - d}{c} = \frac{\sqrt{h^2 + d^2} - d}{c}$$

ΣΧΗΜΑ 7.1.2.2

Λύνοντας ως προς d , παίρνουμε :

$$d \leq \frac{h^2 - c^2 t^2}{2ct}$$

ΣΧΗΜΑ 7.1.2.3

Εδώ όμως παρουσιάζεται ένας βασικός περιορισμός: η απόσταση d ηχείου - μικροφώνου πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με το μήκος κύματος της μικρότερης συχνότητας προς μέτρηση. Ισχύει δηλαδή :

$$d \geq ct$$

ΣΧΗΜΑ 7.1.2.4

όπου t η περίοδος της κυματομορφής.

Η περίοδος αυτή όμως συμπίπτει με τη χρονική διάρκεια της ριπής όταν έχουμε τη μικρότερη δυνατή συχνότητα προς μέτρηση. Επομένως, συνδυάζοντας τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει:

$$ct = \frac{h^2 - c^2 t^2}{2ct} \Leftrightarrow 3c^2 t^2 = h^2 c \Leftrightarrow t = \frac{h \sqrt{3}}{c}$$

ΣΧΗΜΑ 7.1.2.5

Λύνοντας, προκύπτει:

$$t = \frac{h}{595}$$

ΣΧΗΜΑ 7.1.2.6

και αντιστρέφοντας (αφού $f=1/t$), προκύπτει :

$$f_{min} = \frac{595}{h}$$

ΣΧΗΜΑ 7.1.2.7

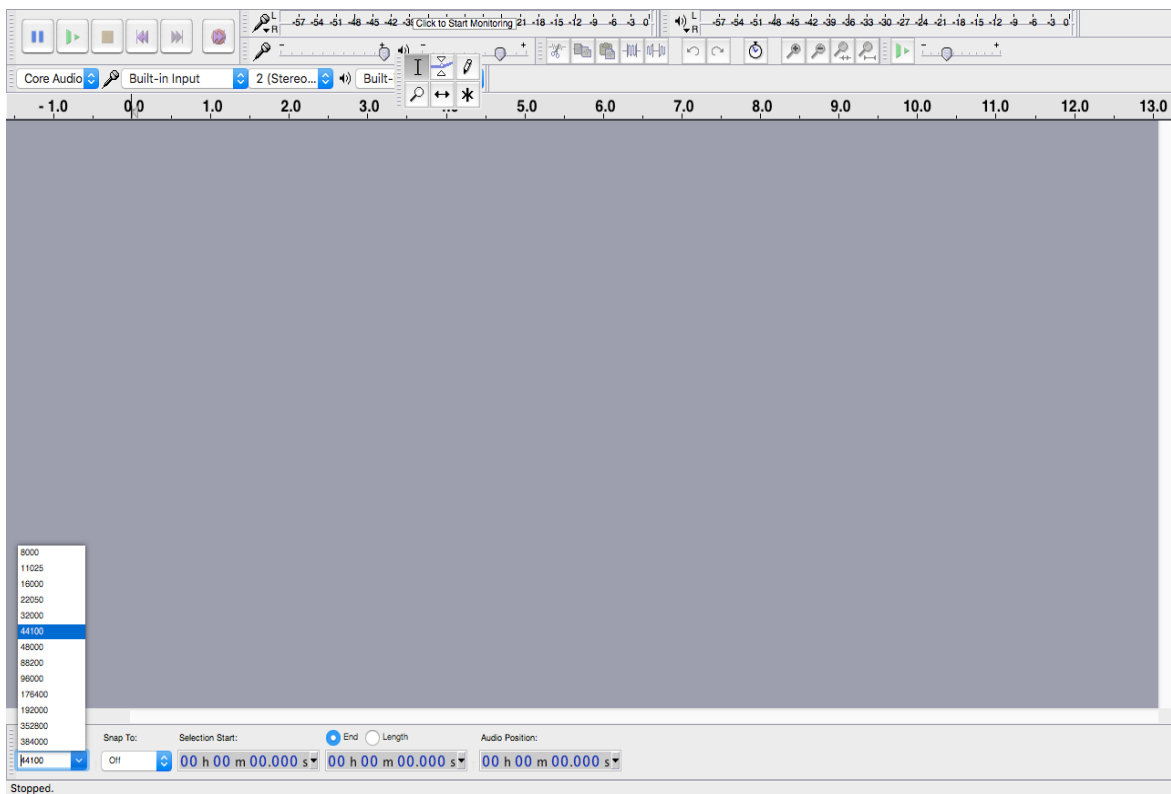
η οποία μας δίνει τη μικρότερη δυνατή συχνότητα που μπορούμε να μετρήσουμε. Τέλος, η παρακάτω εξίσωση μας δίνει την ιδανική απόσταση ηχείου μικροφώνου για τη δεδομένη απόσταση h ανάμεσα στις κοντινότερες επιφάνειες του χώρου.

$$d = ct \Rightarrow d = c - \left(\frac{h \sqrt{3}}{c \cdot 3} \right) \Rightarrow d \\ = 0,577h$$

ΣΧΗΜΑ 7.1.2.8

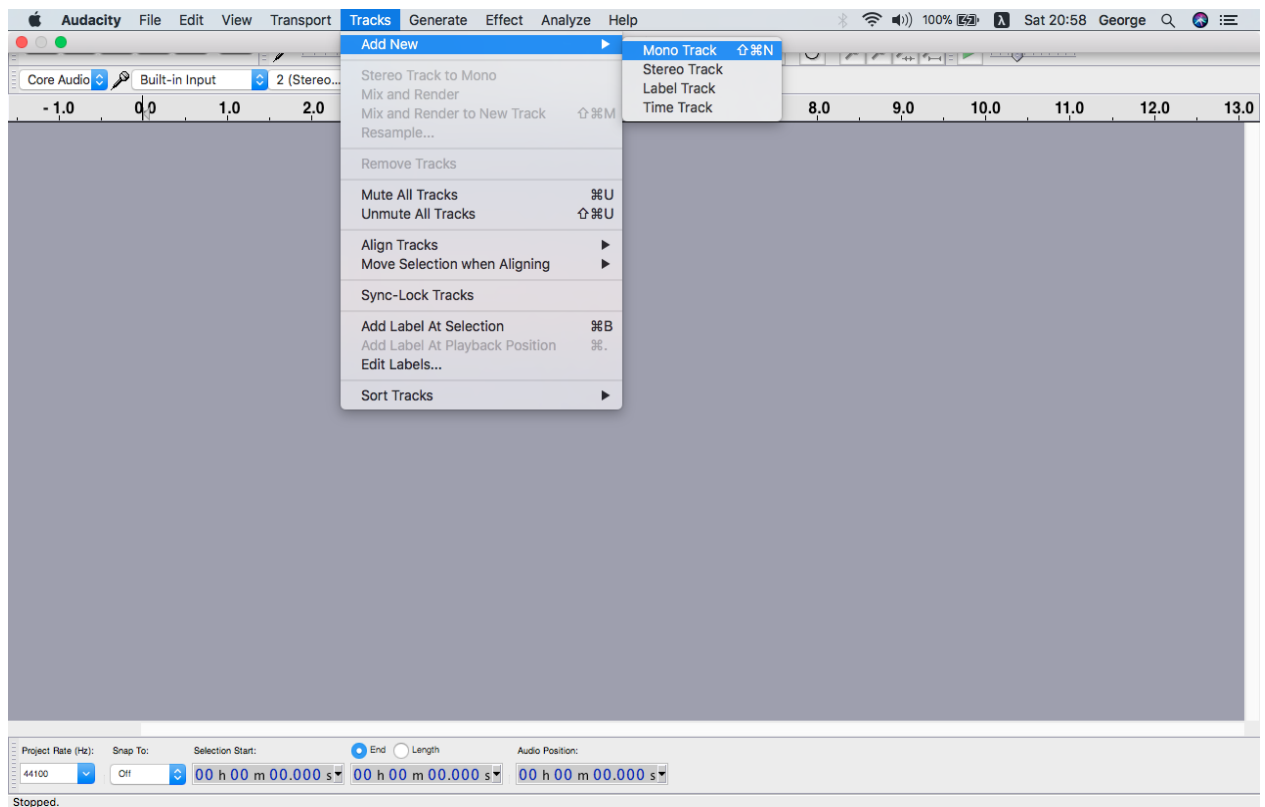
2. Δημιουργία σήματος σάρωσης ακουστικού φάσματος:

Για την παραγωγή του σήματος θα χρησιμοποιήσουμε το λογισμικό audacity, λογισμικό ψηφιακής επεξεργασίας ηχητικών κυματομορφών. Το πρόγραμμα ουσιαστικά θα λειτουργήσει ως γεννήτρια ηχητικού σήματος, η οποία θα μας δώσει το σήμα σε μορφή αρχείου ήχου τύπου .wav. Επειδή μιλάμε για αρχείο ψηφιακού ήχου, θα διαλέξουμε συχνότητα δειγματοληψίας 44.1KHz, ίδια με τις προδιαγραφές του ηχητικού cd, η οποία ικανοποιεί το θεώρημα της δειγματοληψίας (αφού είναι μεγαλύτερη από το διπλάσιο των 20KHz - της μέγιστης συχνότητας του ακουστικού φάσματος.) Αφού έχουμε ανοίξει το παράθυρο του προγράμματος, επιλέγουμε στο παράθυρο κάτω αριστερά **project rate** 44.100 Hz.



ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.1

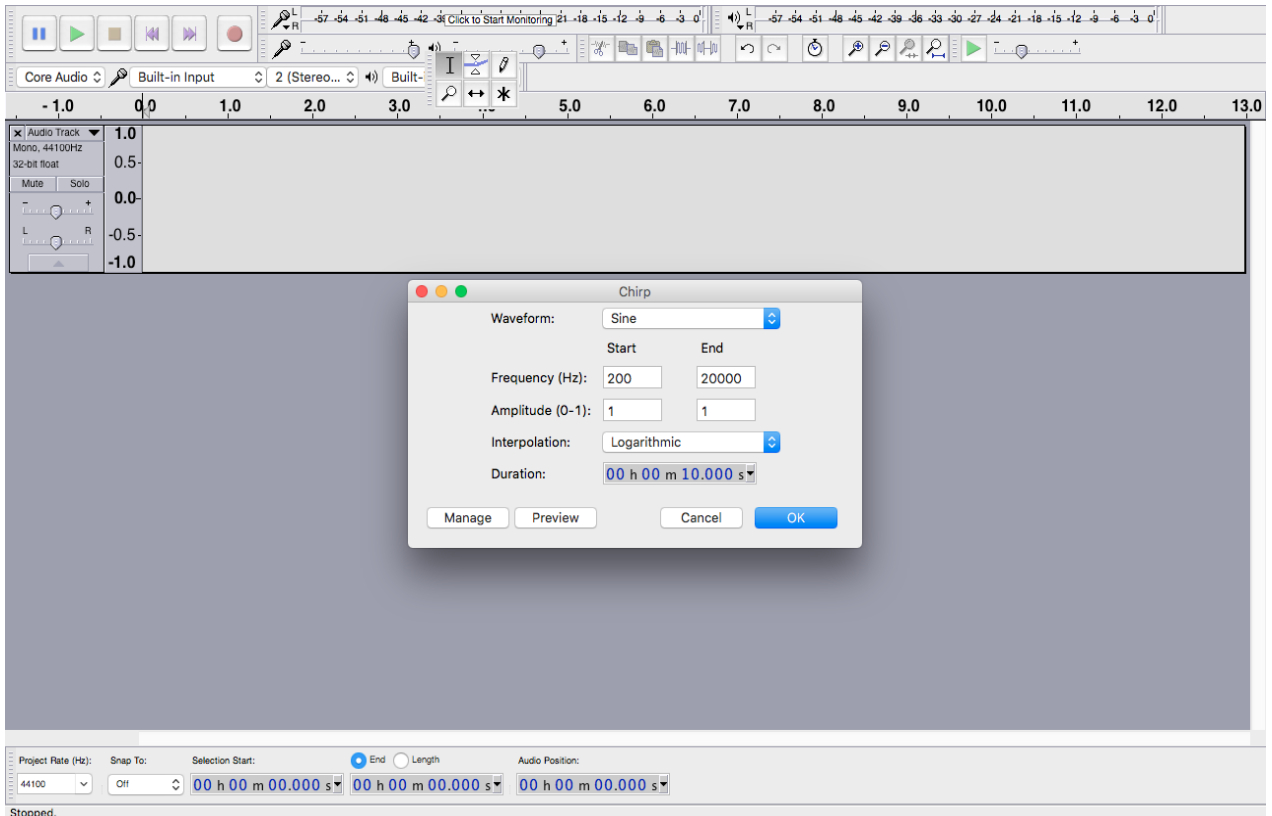
Στη συνέχεια επιλέγουμε από το μενού “tracks” “add new mono track”.



EΙΚΟΝΑ 7.1.2.2

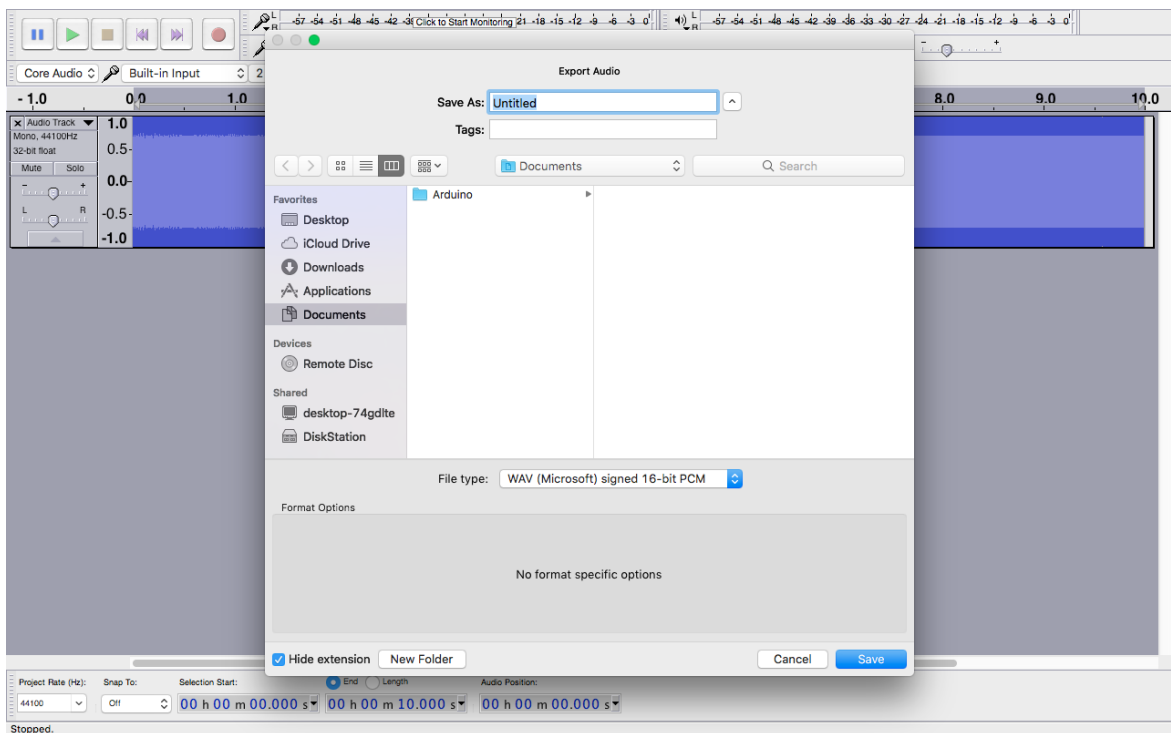
Ουσιαστικά δημιουργούμε ένα κενό κανάλι στο οποίο θα καταγράψουμε το σήμα μας. Μετά από το μενού **“generate”** επιλέγουμε **“chirp”**, το οποίο μας οδηγεί σε ένα νέο παράθυρο επιλογών για το σήμα σάρωσης. Από την επιλογή **waveform** επιλέγουμε το είδος της κυματομορφής, το οποίο στην περίπτωσή μας θέλουμε να είναι ημιτονικό (sine). Στο πεδίο **start frequency** ορίζουμε τη συχνότητα αφετηρίας του σήματος, η οποία πρέπει να πληροί το βασικό περιορισμό που αναφέρουμε πιο πάνω. Στο πεδίο **end frequency** ορίζουμε τη συχνότητα λήξης του σήματος, η οποία στις περισσότερες περιπτώσεις θα είναι 20000Hz, η ανώτατη συχνότητα του ανθρώπινου ακουστικού φάσματος. Στα πεδία **start amplitude** και **end amplitude** ορίζουμε τη στάθμη εκκίνησης και λήξης του σήματος, η οποία για μέτρηση απόκρισης συχνότητας επιβάλλεται να είναι η ίδια. Στις περισσότερες περιπτώσεις θα είναι “1”, η μέγιστη δυνατή πριν τον ψαλιδισμό. Στο πεδίο **interpolation** ορίζουμε αν η συχνότητα θα αυξάνει γραμμικά ή εκθετικά ως προς το χρόνο. Στις περισσότερες περιπτώσεις θα χρησιμοποιήσουμε την επιλογή **“logarithmic”**: ο λογάριθμος της συχνότητας αυξάνει γραμμικά ως προς το χρόνο, άρα η ίδια η συχνότητα εκθετικά (πάντα τα

διαγράμματα απόκρισης συχνότητας καταγράφουν τη συχνότητα σε λογαριθμικό άξονα). Τέλος, στην επιλογή “duration” επιλέγουμε το χρόνο που θα διαρκέσει η σάρωση, ο οποίος πρέπει να είναι κατάλληλος έτσι ώστε να έχουμε επαρκή ανάλυση. Πατώντας “ok”, παράγεται η ζητηθείσα κυματομορφή.



ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.3

Για να δημιουργηθεί το αρχείο που θέλουμε, από το μενού “file” επιλέγουμε “export audio”. Στο παράθυρο που προκύπτει επιλέγουμε το επιθυμητό path και στην επιλογή “file type” επιλέγουμε “WAV Microsoft signed 16-bit PCM”, έτσι ώστε το αρχείο να έχει τις προδιαγραφές του ψηφιακού ήχου του cd.



EIKONA 7.1.2.4

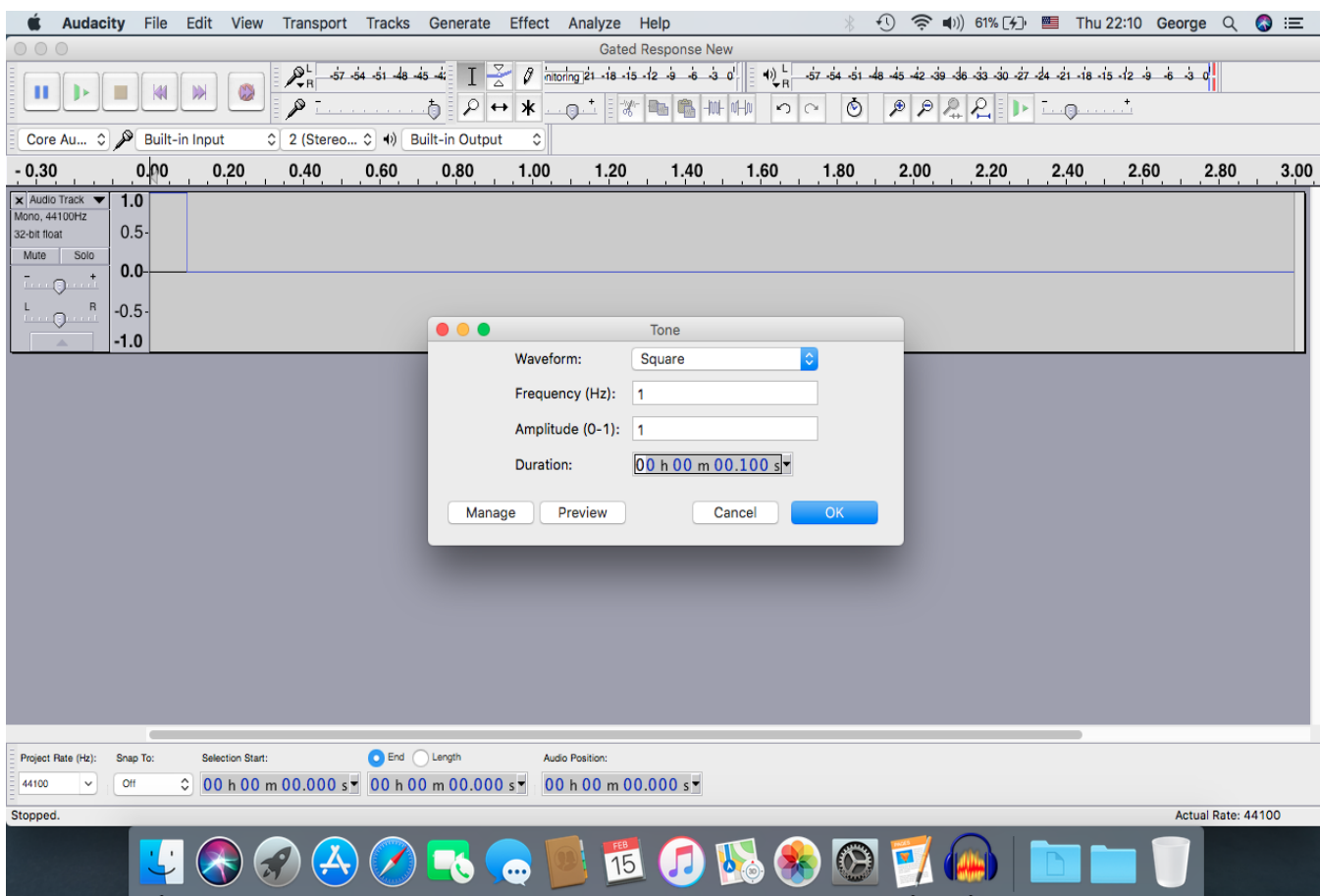
3. Gating του σήματος - υλοποίηση των χρονικών παραθύρων:

Για τη δημιουργία του gated σήματος, αναφέραμε παραπάνω ότι πρέπει να το αθροίσουμε με ένα τετραγωνικό παλμό με ελεγχόμενο duty cycle. Στην πράξη, για να επιτευχθεί αυτό θα χρησιμοποιήσουμε μια διάταξη η οποία ονομάζεται “Noise Gate” (Πύλη Θορύβου), μια διάταξη η οποία χρησιμοποιείται κατά κόρον στην παραγωγή μουσικής (music production). Θα τη συναντήσουμε και σε μορφή hardware, αλλά και σε μορφή software. Η διάταξη αυτή, όπως προδίδει και η ονομασία της, λειτουργεί ως πύλη η οποία είτε αφήνει το ηχητικό σήμα να περάσει είτε όχι. Το κριτήριο είναι η στάθμη του σήματος, η οποία πρέπει να είναι ανώτερη από μία συγκεκριμένη στάθμη την οποία ορίζουμε εμείς και ονομάζεται “threshold”. Στη μουσική παραγωγή χρησιμοποιείται για να “κόψει” από την ηχογράφηση ανεπιθύμητους ήχους χαμηλής στάθμης. Πώς όμως μας εξυπηρετεί στην περίπτωσή μας, αφού το σήμα μας έχει σταθερή στάθμη από την αρχή ως το τέλος; Η απάντηση είναι ότι χρησιμοποιούμε ένα είδος software noise gate το οποίο μπορεί να ελεγχθεί από ένα ξεχωριστό control σήμα. Με λίγα λόγια να καθοριστεί αν θα ανοίξει ή θα κλείσει ανάλογα με τη στάθμη του control σήματος, αλλά να επέμβει στο σήμα σάρωσης του ηχητικού φάσματος. Αν το control σήμα

καθεαυτό είναι ένας τετραγωνικός παλμός με το duty cycle που επιθυμούμε, θα έχουμε από την έξοδο του gate το επιθυμητό τελικό gated σήμα το οποίο θα στείλουμε στο ηχείο. Έχουμε λοιπόν δύο επιμέρους βήματα, τη δημιουργία του control σήματος και τη software υλοποίηση του noise gate που θα ελέγχεται από αυτό.

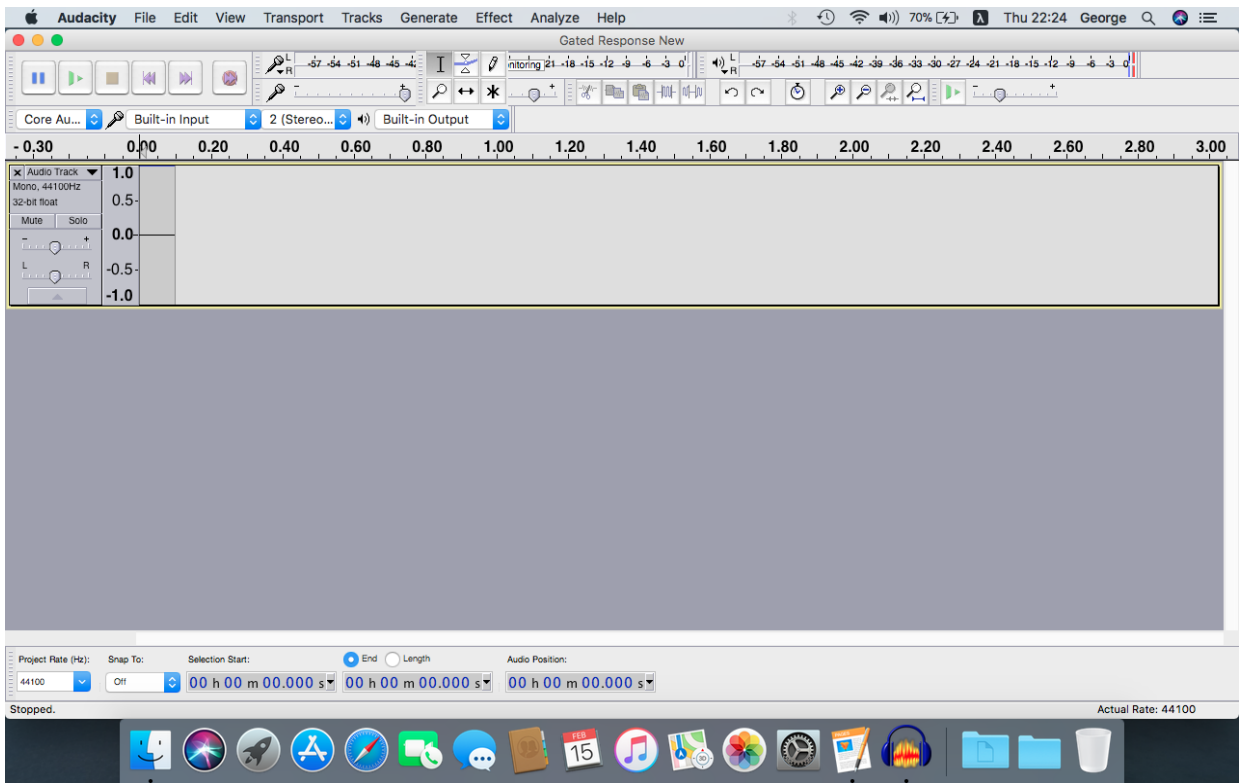
1) Δημιουργία του control σήματος:

Όπως και στην περίπτωση του σήματος σάρωσης του ακουστικού φάσματος, έτσι και εδώ θα χρησιμοποιήσουμε το λογισμικό audacity για την παραγωγή του control σήματος. Το σήμα αυτό θα είναι ένας τετραγωνικός παλμός, του οποίου θα ορίσουμε το duty cycle. Όπως και πριν, ορίζουμε συχνότητα δειγματοληψίας 44.1 KHz και δημιουργούμε ένα κενό κανάλι. Στη συνέχεια από το μενού **“Generate”**, επιλέγουμε αυτή τη φορά **“Tone”**. Στο νέο παράθυρο επιλέγουμε στο πεδίο **“waveform”** την επιλογή **“square”** (για να δημιουργηθεί τετραγωνική κυματομορφή). Σε αυτό το σημείο, για να πετύχουμε ασύμμετρο duty cycle, θα κάνουμε ένα τέχνασμα (η γεννήτρια από μόνη της δημιουργεί παλμό με duty cycle 50-50 μόνο.) Θα ορίσουμε μια πολύ μικρή συχνότητα (μεγάλη περίοδο, μεγαλύτερη δηλαδή από τη διάρκεια που ο παλμός θέλουμε να είναι “on”, βάζοντας στο πεδίο frequency τιμή 1 Hz. Στο πεδίο **“Amplitude”** βάζουμε την τιμή 1, ώστε ο παλμός να έχει τη μεγαλύτερη δυνατή στάθμη. Στο τελευταίο πεδίο του χρόνου (**Duration**), βάζουμε τη διάρκεια που θέλουμε ο παλμός να είναι “on” (μικρότερη όμως έπο το μισό της περιόδου που προκύπτει από τη συχνότητα που ορίσαμε παραπάνω.) Ο χρόνος αυτός θα πρέπει να είναι μικρότερος από το χρόνο άφιξης της πρώτης ανάκλασης βάσει του τύπου (1 από τα χειρόγραφα μαθηματικά).



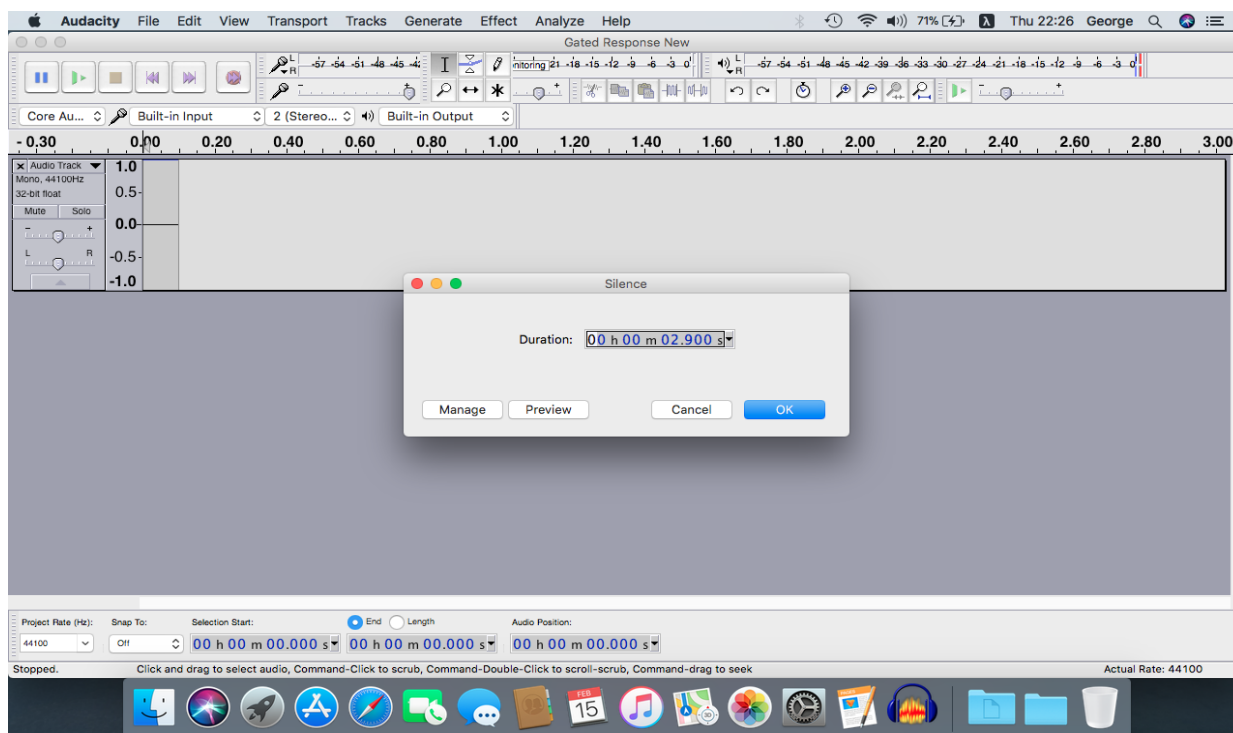
ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.5

Με αυτό τον τρόπο έχει προκύψει ένα λογικό “on” διάρκειας όσο ορίσαμε στο πεδίο “Duration”.



ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.6

Στη συνέχεια, πατάμε το βελάκι με το οποίο ο κέρσορας μεταβαίνει στο τέλος της τρέχουσας κυματομορφής. Τέλος, από το μενού “**Generate**”, επιλέγουμε αυτή τη φορά “**Silence**”, και στο παράθυρο που προκύπτει ορίζουμε ως “**Duration**” τη διάρκεια του λογικού “off” για τον παλμό μας. Η διάρκεια αυτή μπορεί να υπολογιστεί πειραματικά, έτσι ώστε να έχει μειωθεί η ένταση των ανακλάσεων της ριπής σε βαθμό που να θεωρείται αμελητέα.



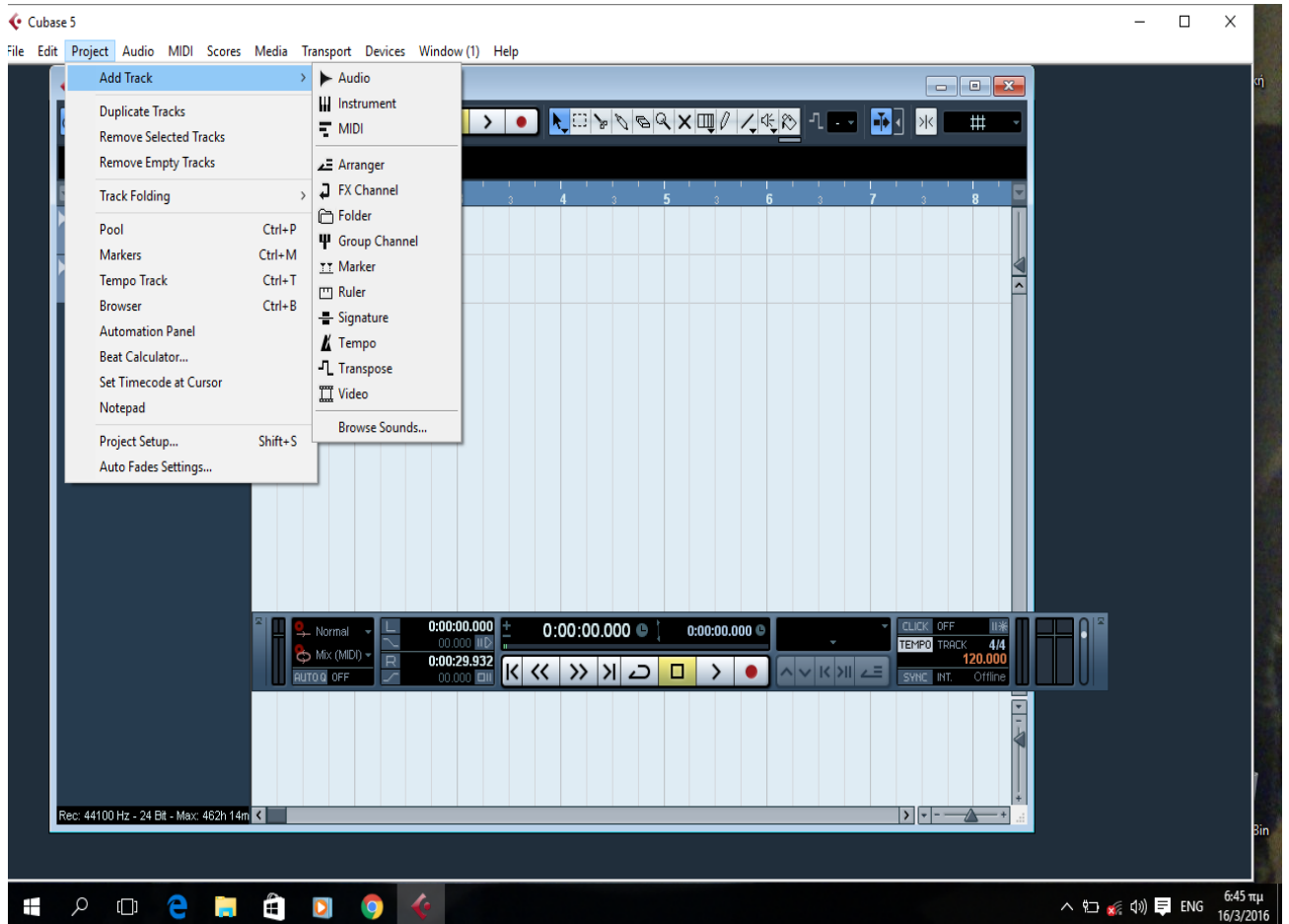
EIKONA 7.1.2.7

Πατώντας **ok**, αυτό που έχει προκύψει είναι ένας μεμονωμένος τετραγωνικός παλμός με το duty cycle που εμείς ορίσαμε. Ο παλμός αυτός θα αποθηκευτεί με την εντολή “**Export**” (όπως και πριν), για να πολλαπλασιαστεί και να λειτουργήσει ως control σήμα στο πρόγραμμα που θα λειτουργήσει ως software gate.

2)Υλοποίηση του software noise gate:

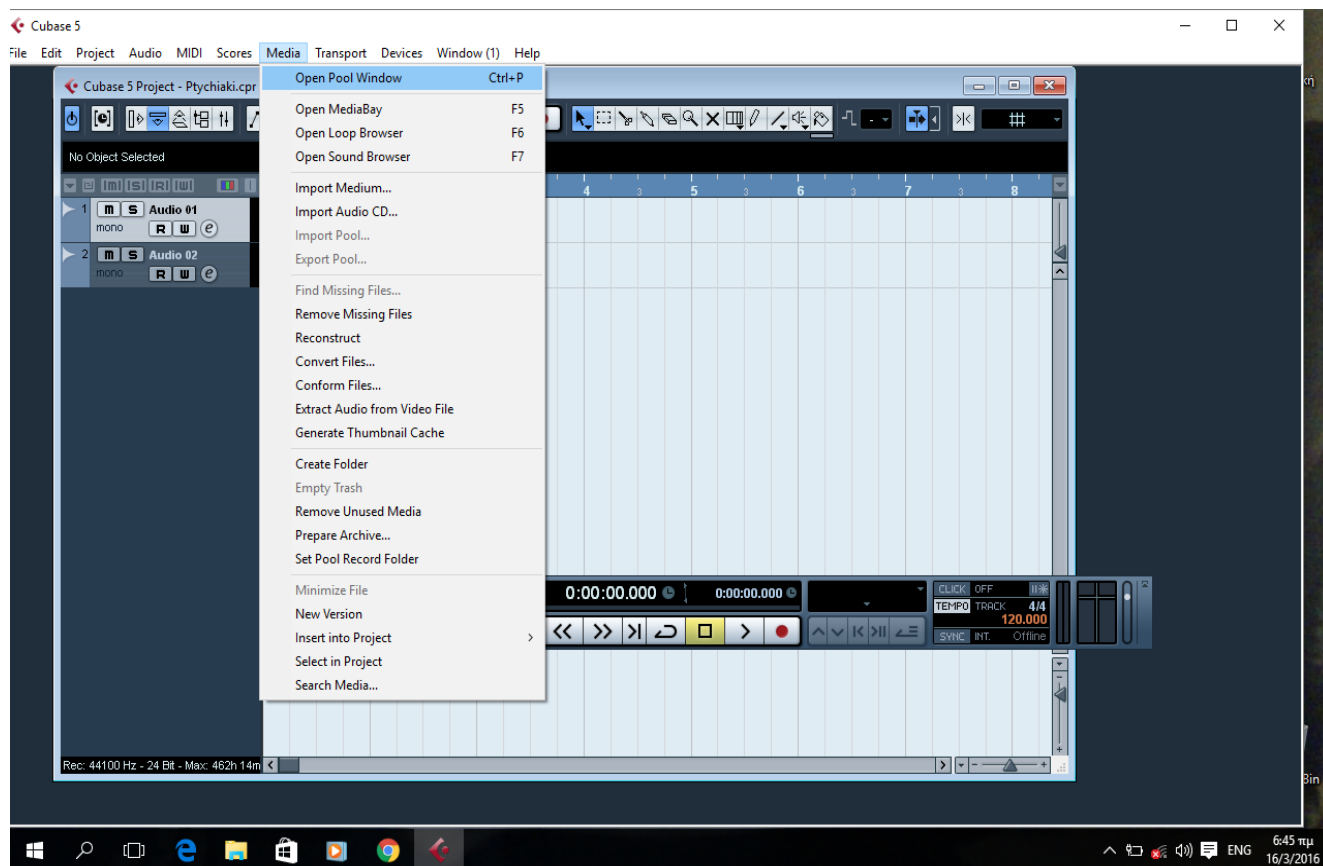
Για την υλοποίηση του noise gate θα χρησιμοποιήσουμε το λογισμικό μουσικής παραγωγής “Cubase 5”. Ουσιαστικά είναι ένα πρόγραμμα πολυκάναλης ηχογράφησης, επεξεργασίας και μίξης (virtual studio). Το χαρακτηριστικό αυτού του είδους των προγραμμάτων είναι ότι μπορούν να τρέξουν μέσα τους κάποια επιπρόσθετα προγράμματα, τα λεγόμενα “plugins”, τα οποία μπορούν να εκτελούν κάποιες συγκεκριμένες εργασίες. Έχουμε δηλαδή ένα modular περιβάλλον, το οποίο μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες μας. Στη δική μας περίπτωση, το noise gate θα είναι ένα “plug-in”, συγκεκριμένα το “C1 gate mono”. Η διαδικασία έχει ως εξής: αρχικά δημιουργούμε ένα νέο project στο πρόγραμμα. Έχουμε φροντίσει να είναι ήδη εγκατεστημένο το plug-in που θα χρησιμοποιήσουμε (ανατρέχοντας στις οδηγίες του ίδιου.) Στη συνέχεια, θα

δημιουργήσουμε δύο νέα κανάλια (tracks), τα οποία θα δεχτούν τα δύο ηχητικά σήματα που μας ενδιαφέρουν, δηλαδή το σήμα σάρωσης ακουστικού φάσματος και το control σήμα για το gate (αυτά που δημιουργήσαμε πριν με το λογισμικό audacity.) Για τη δημιουργία των καναλιών επιλέγουμε από το μενού “**project**” την εντολή “**add track**” και στη συνέχεια “audio” και το επαναλαμβάνουμε 2 φορές .



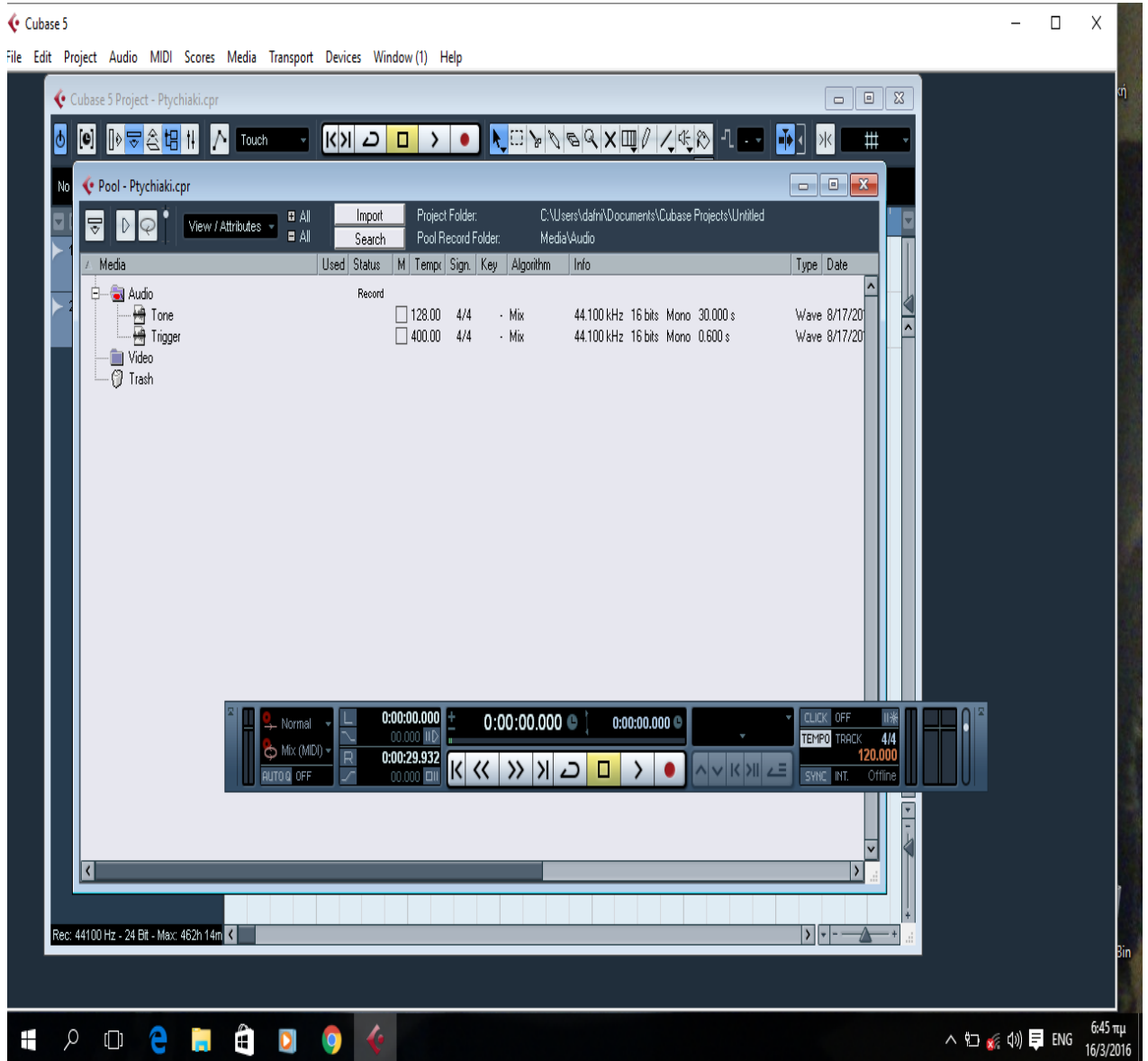
ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.8

Για να εισάγουμε στο πρόγραμμα τα σήματα που δημιουργήσαμε προηγουμένως, επιλέγουμε από το μενού “media” την εντολή “open pool window”.



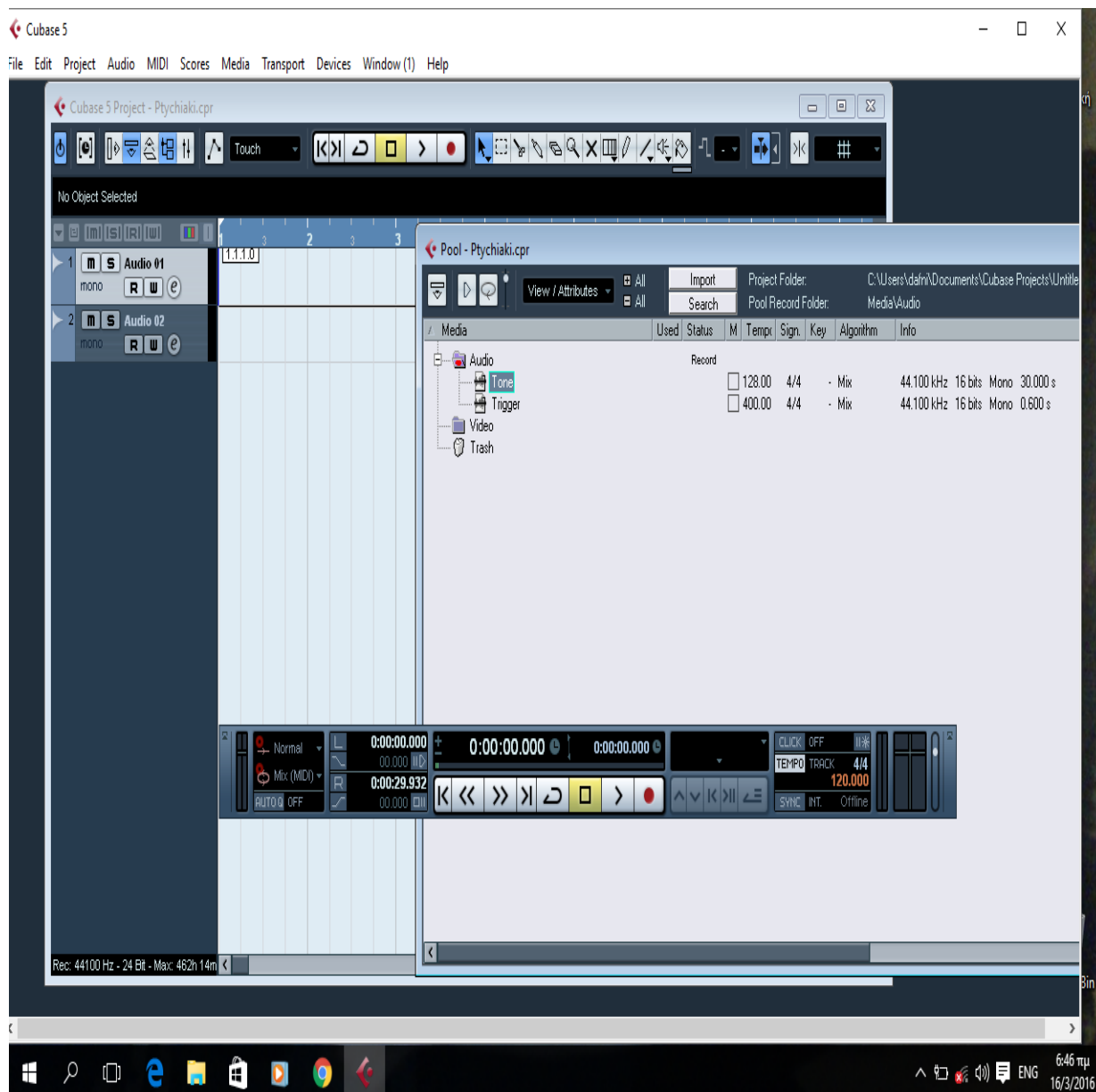
EIKONA 7.1.2.9

Στο παράθυρο που εμφανίζεται, επιλέγουμε “import” και δρομολογούμε το πρόγραμμα στο κατάλληλο path που έχουμε αποθηκεύσει τα σήματά μας από το audacity .

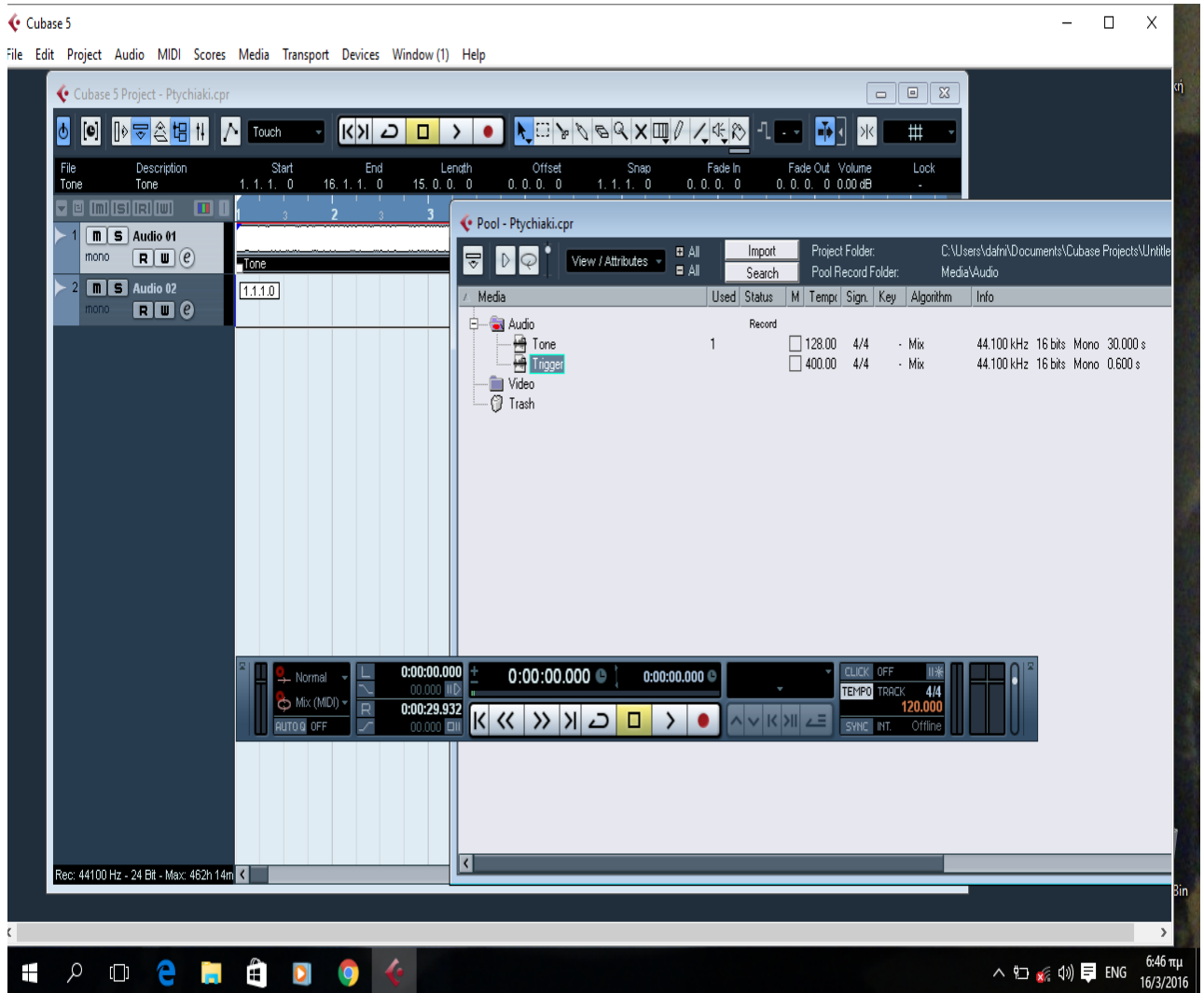


ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.10

Έστω ότι το σήμα σάρωσης το ονομάσαμε “Tone” και το σήμα control “Trigger”. Κάνοντας ένα απλό drag & drop, σύρουμε το σήμα “Tone” στο κανάλι “Audio 01” και το σήμα “Trigger” στο κανάλι “Audio 02”. Προσέχουμε εδώ να συμπίσει η αρχή του εκάστοτε σήματος με την αρχή του εκάστοτε καναλιού .

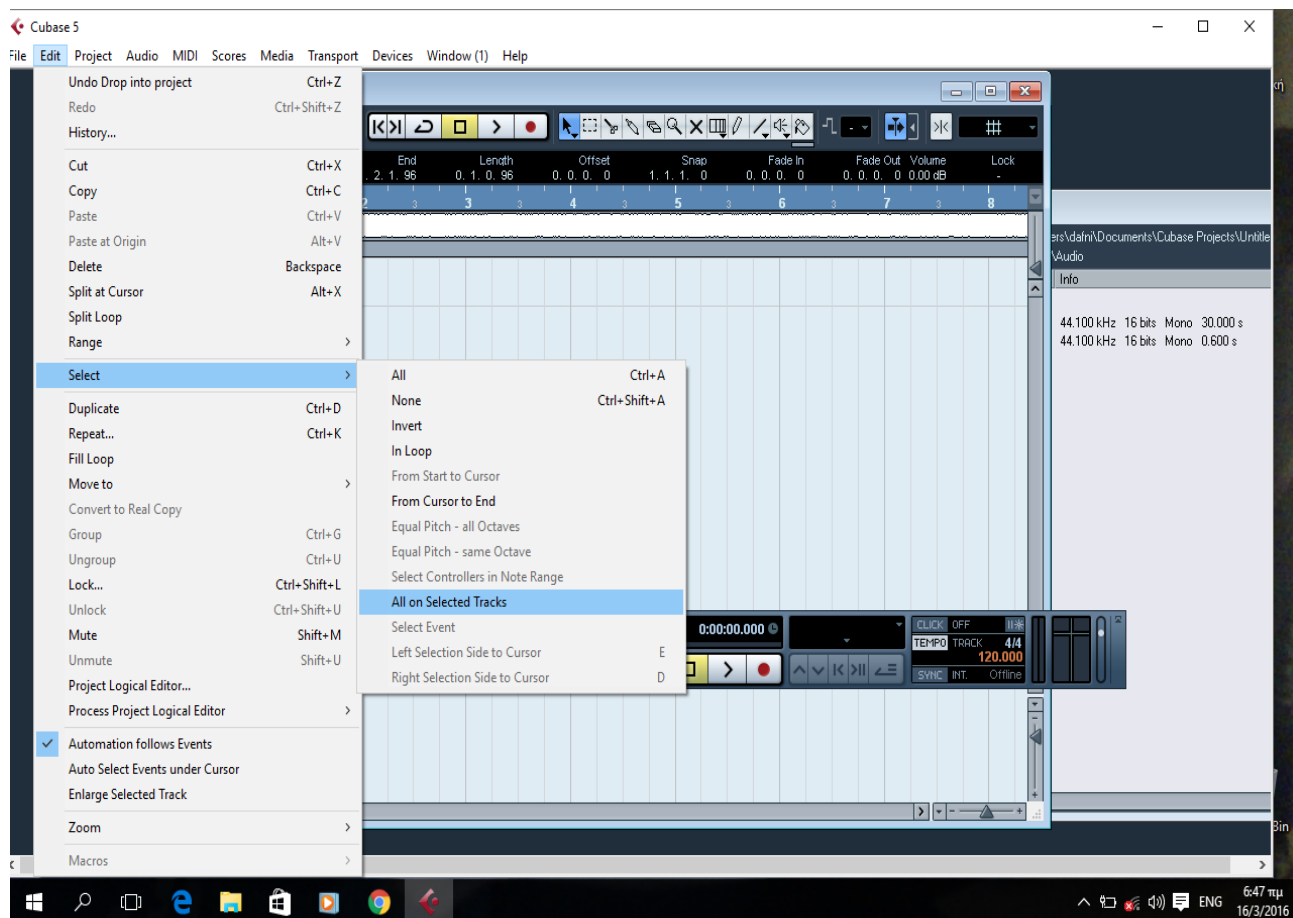


ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.11



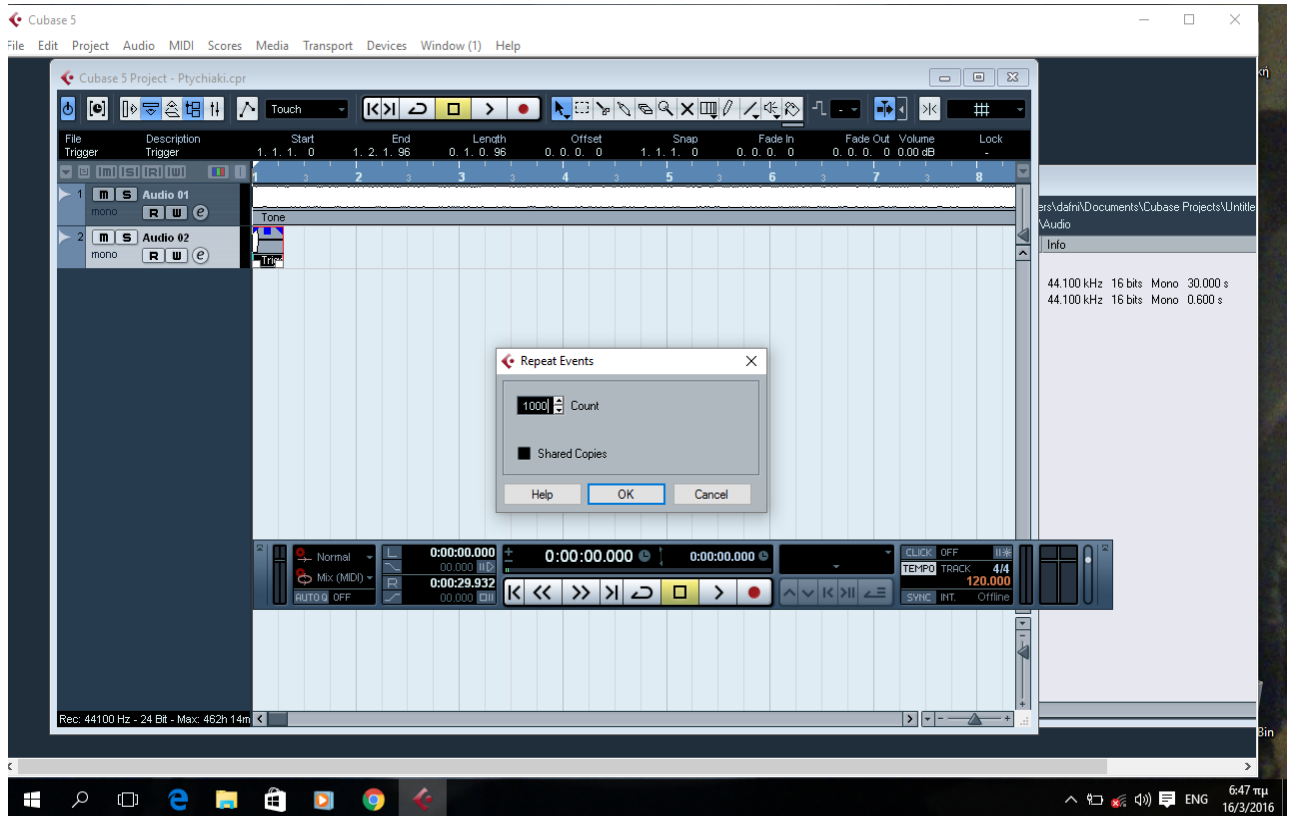
ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.12

Εδώ υπάρχει μια εκκρεμότητα: το σήμα “**Trigger**” αυτή τη στιγμή πρόκειται για ένα μεμονωμένο τετραγωνικό παλμό. Εδώ θα έρθουμε τώρα και θα το πολλαπλασιάσουμε ως εξής: αρχικά επιλέγουμε το κανάλι “**Audio 02**” κάνοντας ένα απλό κλικ πάνω του. Μετά, από το μενού “**Edit**” επιλέγουμε “**Select**” και στη συνέχεια “**All on selected tracks**”.



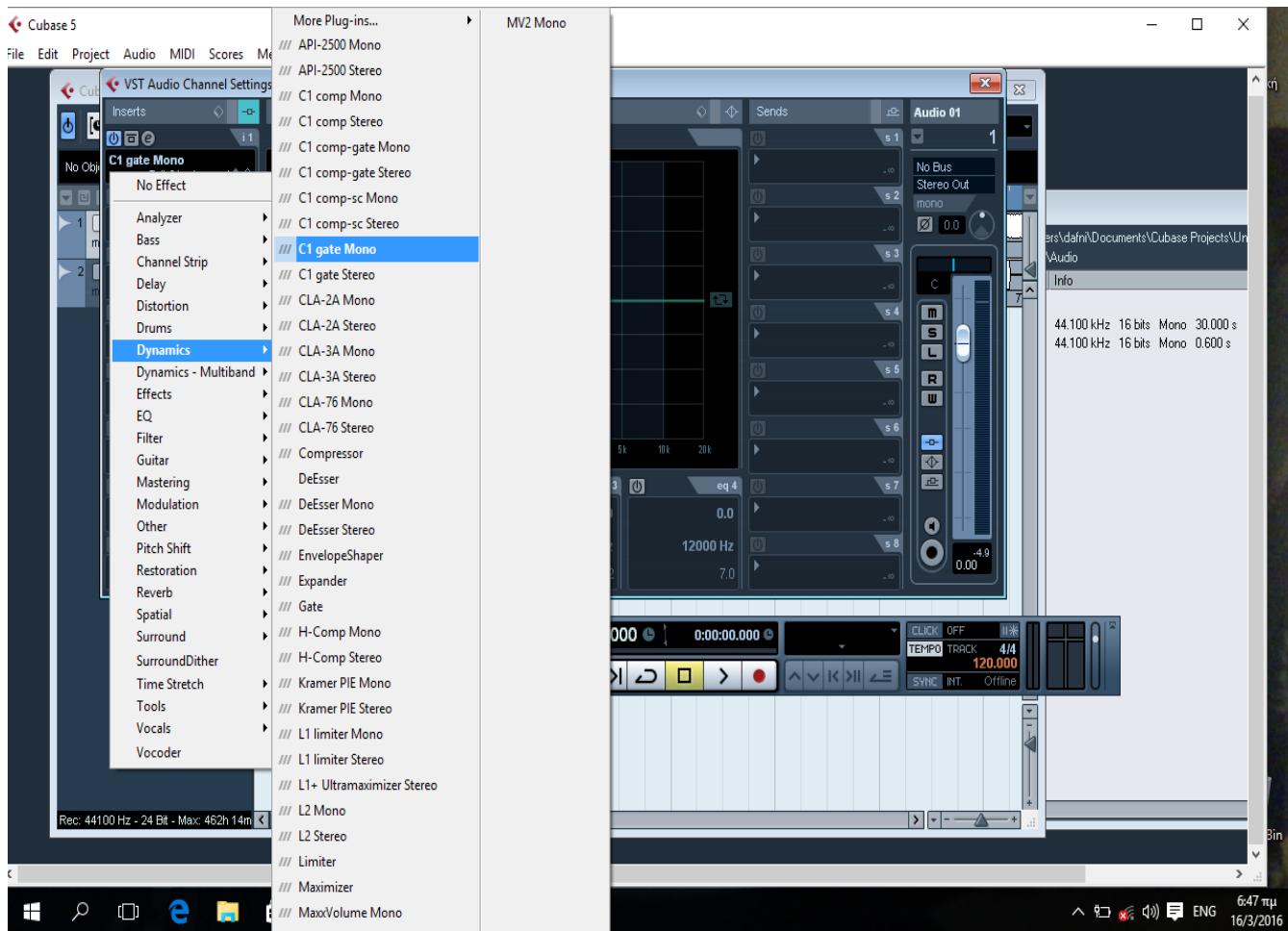
ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.13

Στη συνέχεια από το μενού File επιλέγουμε “Repeat” και στο παράθυρο που προκύπτει επιλέγουμε τον αριθμό των επιθυμητών επαναλήψεων, τώσων έτσι ώστε να καλύψουμε τη χρονική διάρκεια του σήματος σάρωσης ηχητικού φάσματος.



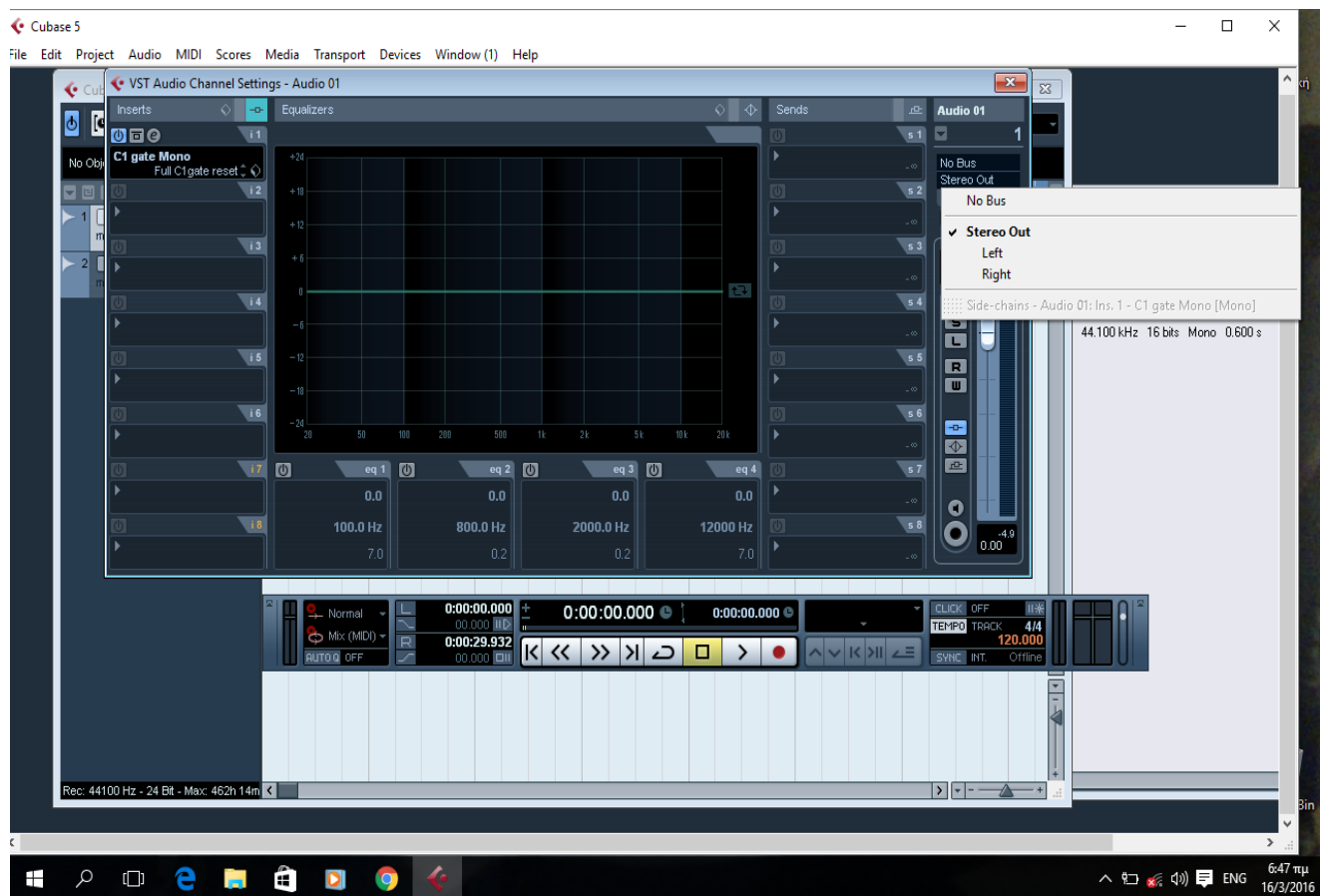
ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.14

Αυτή τη στιγμή έχουμε έτοιμα τα δύο κανάλια με τα κατάλληλα σήματα. Αυτό που απομένει, είναι να ρυθμιστεί το software gate, έτσι ώστε να επέμβει και να μας δώσει το τελικό σήμα, δηλαδή το gated σήμα σάρωσης ακουστικού φάσματος. Να σημειωθεί εδώ ότι το σήμα αυτό θα οδηγήσει το ηχείο μας σε πραγματικό χρόνο, μέσω της κάρτας ήχου του υπολογιστή, η οποία λειτουργεί ως digital to analog converter (DAC). Επιλέγοντας στο κανάλι "Audio 01" την επιλογή "e", ανοίγει ένα παράθυρο με όλες τις ρυθμίσεις του καναλιού. Στη στήλη "Inserts" επιλέγουμε στην πρώτη επιλογή το plug-in "C1 Gate Mono". Στη συνέχεια ενεργοποιούμε το γενικό power όλων των inserts. Ουσιαστικά με αυτό τον τρόπο ενεργοποιήσαμε το plug-in που μας ενδιαφέρει για το συγκεκριμένο κανάλι.



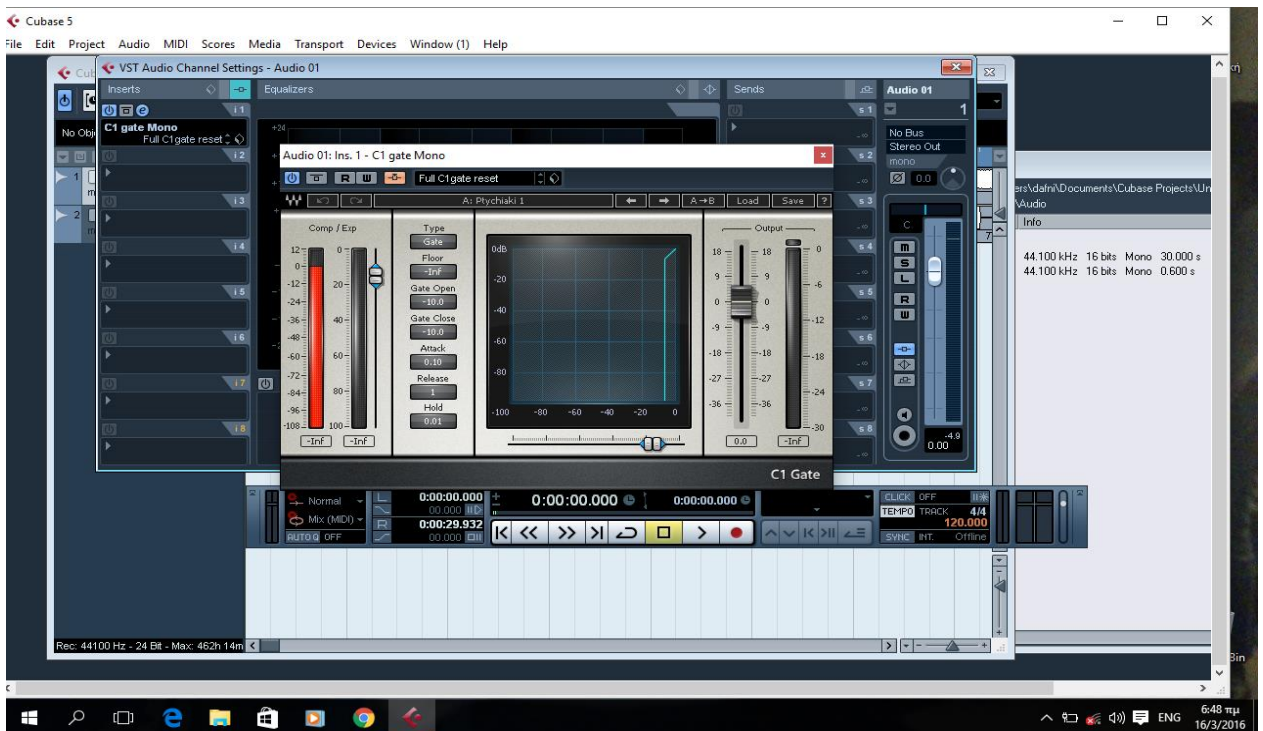
ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.15

Μετά, στη δεξιά στήλη επιλέγουμε ως έξοδο του καναλιού την επιλογή “**Stereo out**”, για να δρομολογηθεί η το κανάλι στην έξοδο ήχου του συστήματός μας.



ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.16

Για τη ρύθμιση του gate, επιλέγουμε την επιλογή “e” στα inserts. Έτσι, ανοίγει ένα νέο παράθυρο, το παράθυρο ρύθμισης του **gate**.



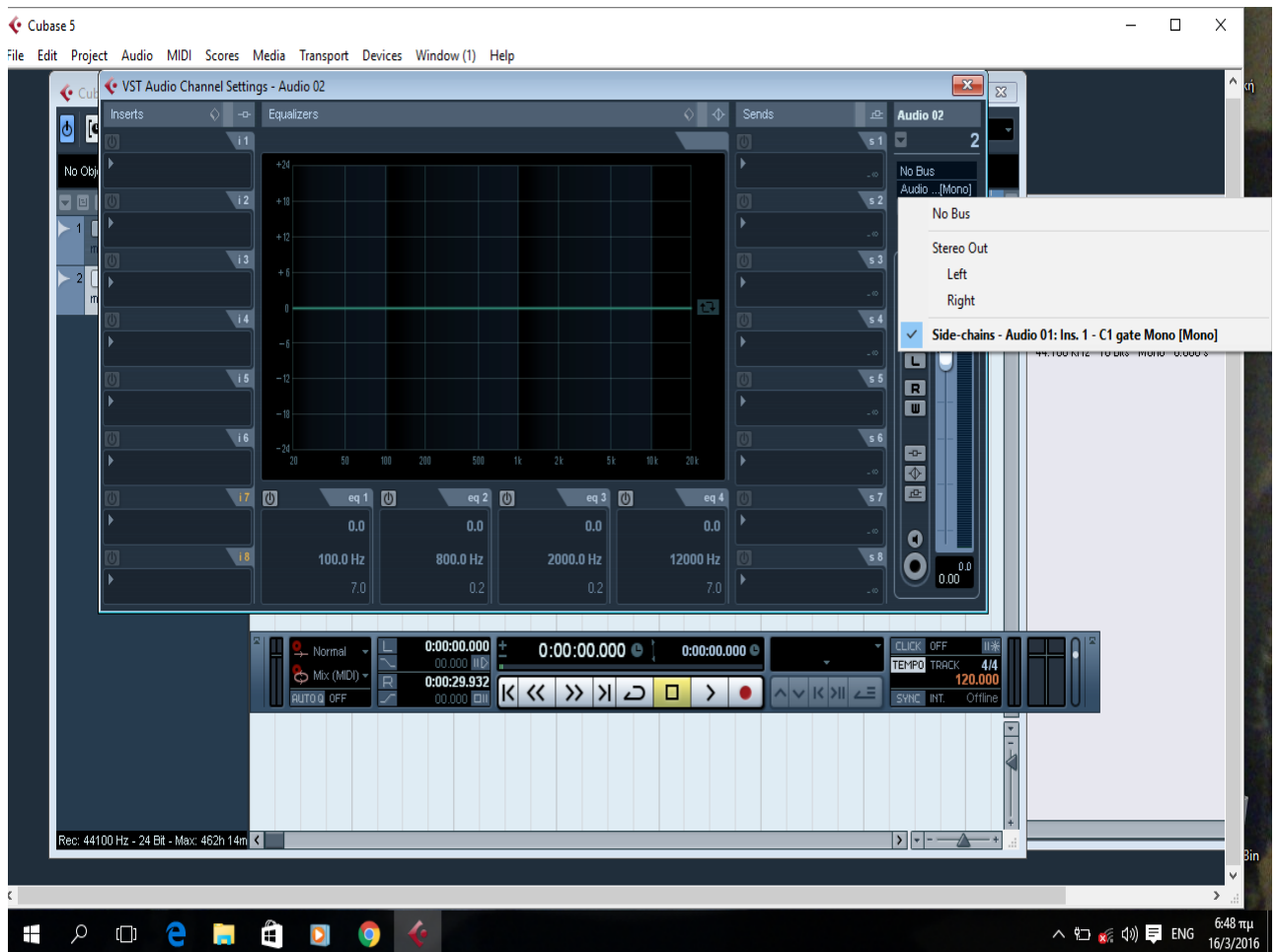
EIKONA 7.1.2.17

Η πρώτη και σημαντικότερη ρύθμιση είναι να ενεργοποιήσουμε την εντολή “**Side Chain**” από το πορτοκαλί κουμπάκι δεξιά από αυτά που γράφουν “**R**” και “**W**”. Με αυτή την εντολή, το “**plug-in**” ελέγχεται όχι από το κανάλι στο οποίο θα επέμβει, αλλά από κάποιο άλλο, του οποίου η έξοδος θα ρυθμιστεί και αυτή ως “**Side Chain**” (στην περίπτωση μας το κανάλι “**Trigger**”). Το κουμπί “**Type**” θα ρυθμιστεί στην επιλογή “**Gate**”. Αυτό επειδή το “**plug-in**” έχει και κάποιες άλλες λειτουργίες, οι οποίες όμως δε μας ενδιαφέρουν στη συγκεκριμένη περίπτωση. Στην επιλογή “**Floor**”, ρυθμίζουμε το πόσο θα επέμβει στη στάθμη του σήματος η πύλη, εφόσον έχει ενεργοποιηθεί. Θέτοντας εδώ την τιμή “**-Inf**” (μείον άπειρο), εξασφαλίζουμε ότι θα μας “κόψει” τελείως το σήμα ανάμεσα στα παράθυρα. Στη συνέχεια, οι ρυθμίσεις “**Gate Open**” και “**Gate Close**”, καθορίζουν σε ποιά ηχητική στάθμη του control σήματος η πύλη ανοίγει και σε ποιά στάθμη κλείνει. Στην περίπτωσή μας, αφού το control σήμα είναι ένας τετραγωνικός παλμός με μορφή λογικού “1” και “0”, η κατάσταση “1” ανταποκρίνεται στη μέγιστη στάθμη πριν την ψηφιακή παραμόρφωση (clipping), δηλαδή τα 0db και η κατάσταση “0” ανταποκρίνεται στο μείον άπειρο. Θέτοντας λοιπόν μια τιμή χονδρικά κοντά στο 0 (π.χ. -10), εξασφαλίζουμε ότι στα 0db του control σήματος η πύλη θα είναι ανοιχτή και στο

μείον άπειρο του control σήματος θα είναι κλειστή. Στη συνέχεια, έχουμε τις ρυθμίσεις “**Attack**”, “**Release**” και “**Hold**”. Οι δύο πρώτες καθορίζουν το πόσο γρήγορα θα επέμβει στο σήμα η πύλη αφού πάρει την εντολή να κλείσει ή να ανοίξει αντίστοιχα. Εδώ προφανώς θέλουμε την ταχύτερη δυνατή επέμβαση, έτσι ώστε να προλάβει και το ηχείο να σταθεροποιηθεί όσο πιο γρήγορα γίνεται. Υπάρχει όμως ένα πρόβλημα που πρέπει να λάβουμε υπόψη.

Αν η επέμβαση γίνει υπερβολικά γρήγορα, το απότομο άνοιγμα του καναλιού θα λειτουργήσει ως παλμός δέλτα και θα στείλει στιγμιαία ένα σήμα το οποίο θεωρητικά θα περιέχει όλο το φάσμα των συχνοτήτων. Αυτό στην πράξη θα ακουστεί ως ένα δυνατό “κλικ” από το ηχείο, το οποίο θα μας αλλοιώσει σημαντικά τα αποτελέσματα. Πρέπει λοιπόν να βρούμε στην πράξη πειραματικά τη μικρότερη δυνατή τιμή σε αυτές τις ρυθμίσεις, χωρίς όμως να δημιουργείται το αποτέλεσμα που περιγράψαμε (π.χ. της τάξης του 0,1 ms). Τέλος, η ρύθμιση “**Hold**” ουσιαστικά “κρατάει την πύλη ενεργοποιημένη για κάποιο ορισμένο χρονικό διάστημα, αφού αυτή ενεργοποιηθεί αρχικά. Στην περίπτωσή μας, θέλουμε και εδώ μια πάρα πού μικρή τιμή, αφού δε μας ενδιαφέρει κάτι τέτοιο. Οι τελευταίες δύο ρυθμίσεις της πύλης είναι τα δύο συρόμενα “**sliders**”, ένα αριστερά και ένα δεξιά, τα οποία δίπλα τους έχουν και ένα μετρητή. Το αριστερό ρυθμίζει τη στάθμη εισόδου της πύλης και το δεξί τη στάθμη εξόδου. Εδώ θέλει λίγη προσοχή πειραματικά η ρύθμιση της στάθμης εισόδου, έτσι ώστε ο μετρητής στάθμης σήματος να μην ξεπεράσει τα 0db και προκύψει ψηφιακή παραμόρφωση. Ακριβώς το ίδιο ισχύει και για τη στάθμη εξόδου.

Τέλος, όπως κάναμε και στο κανάλι 1, επιλέγουμε ως έξοδο του καναλιού 2, την επιλογή “**side-chains**».



ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.18

3) Σύνδεση ηχείου:

Η έξοδος του λογισμικού Cubase 5, με τη χρήση του DAC της κάρτας ήχου του υπολογιστή, μετατρέπεται σε αναλογικό σήμα, το οποίο είναι έτοιμο να οδηγήσει το προς εξέταση ηχείο μέσω κατάλληλης ενισχυτικής διάταξης. Επομένως αυτό που έχουμε να κάνουμε είναι να συνδέσουμε την έξοδο της κάρτας ήχου με την είσοδο του ενισχυτή και κατόπιν την ενισχυμένη έξοδο του ενισχυτή με την είσοδο του ηχείου. Προφανώς, ανάλογα με το ηχείο που θα χρησιμοποιήσουμε, θα χρησιμοποιείται και κατάλληλος ενισχυτής και καλώδιο.

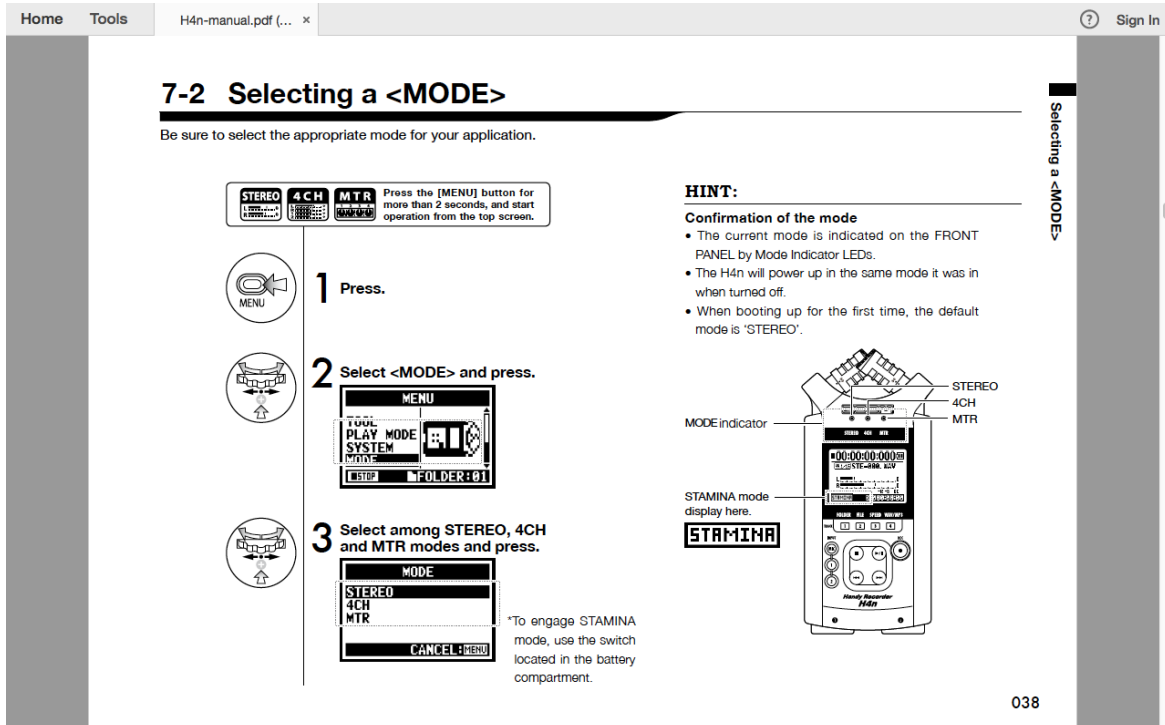
4) Σύνδεση μικροφώνου - καταγραφέα σήματος:

Στην περίπτωση μας χρησιμοποιούμε ως καταγραφέα σήματος το digital sound field recorder Zoom H4n, έναν φορητό ψηφιακό καταγραφέα ήχου με 2 ενσωματωμένα μικρόφωνα και δύο εισόδους ξεχωριστών μικροφώνων. Σε μία

από αυτές τις εισόδους συνδέουμε το μετρητικό μας μικρόφωνο, το οποίο στην περίπτωση μας είναι το **Behringer ECM8000**, ένα Ομπι πυκνωτικό μικρόφωνο με επίπεδη απόκριση συχνότητας. Για τη σύνδεση αυτή απαιτείται ένα καλώδιο από XLR male σε XLR female. Από το μενού ρυθμίσεων του καταγραφέα, πρέπει να ενεργοποιηθεί η ρύθμιση **“Phantom Power 48v”**, έτσι ώστε να τροφοδοτηθεί το μικρόφωνο με την απαραίτητη τάση τροφοδοσίας ώστε να λειτουργήσει (όπως και όλα τα πυκνωτικά μικρόφωνα.)

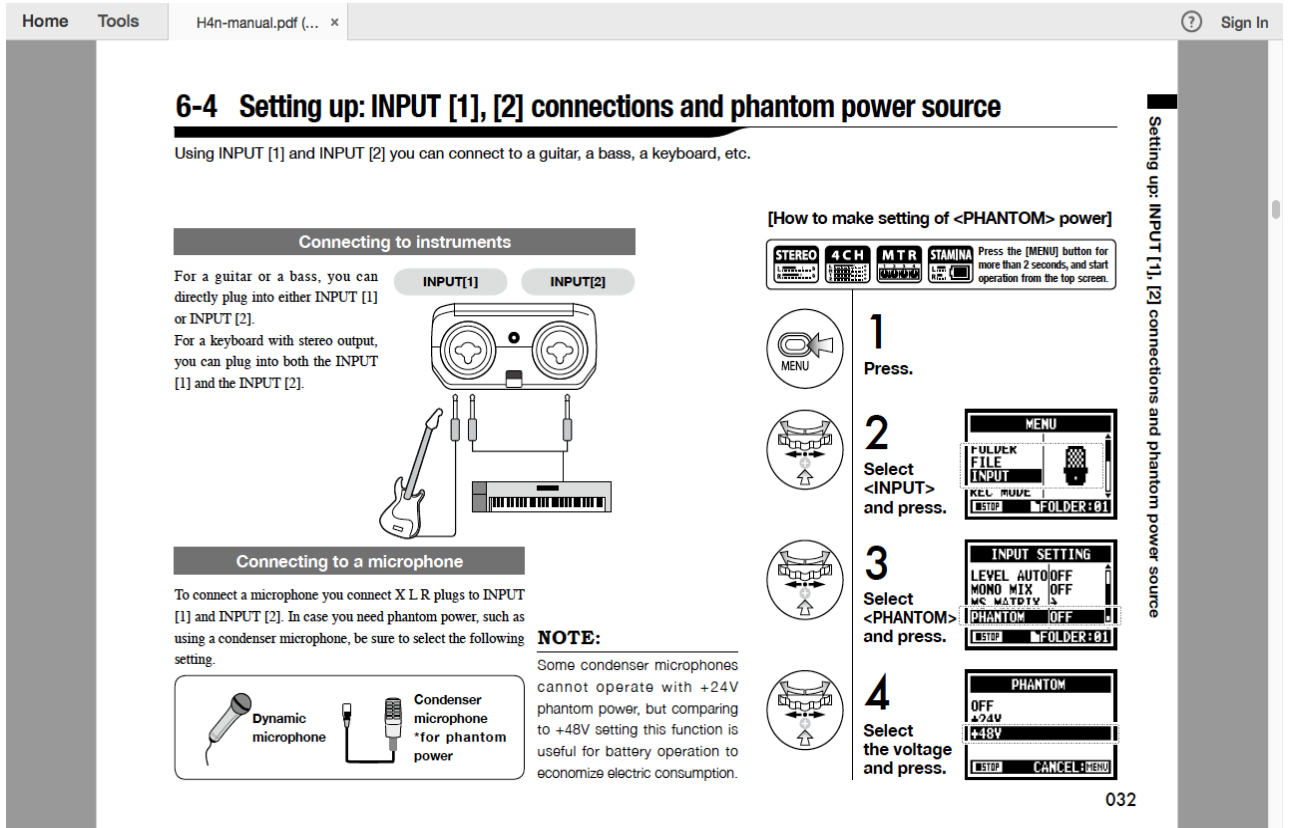
5) Ρύθμιση - ενεργοποίηση καταγραφέα σήματος:

Αρχικά, θα τοποθετήσουμε στη συσκευή μια κενή κάρτα μνήμης τύπου SD με τουλάχιστον 2GB ελεύθερου χώρου. Στη συνέχεια, αφού ενεργοποιήσουμε τον καταγραφέα κρατώντας τον πλαϊνό διακόπτη ενεργοποίησης για λίγα δευτερόλεπτα, θα κάνουμε μια σειρά ρυθμίσεων από το μενού της συσκευής χρησιμοποιώντας τον περιστροφικό διακόπτη πλοήγησης. Από την επιλογή **“Mode”** θα επιλέξουμε **“Stereo”**, έτσι ώστε να τεθεί η συσκευή σε λειτουργία δύο καναλιών (εκ’ των οποίων θα χρησιμοποιήσουμε το ένα).



EΙΚΟΝΑ 7.1.2.19

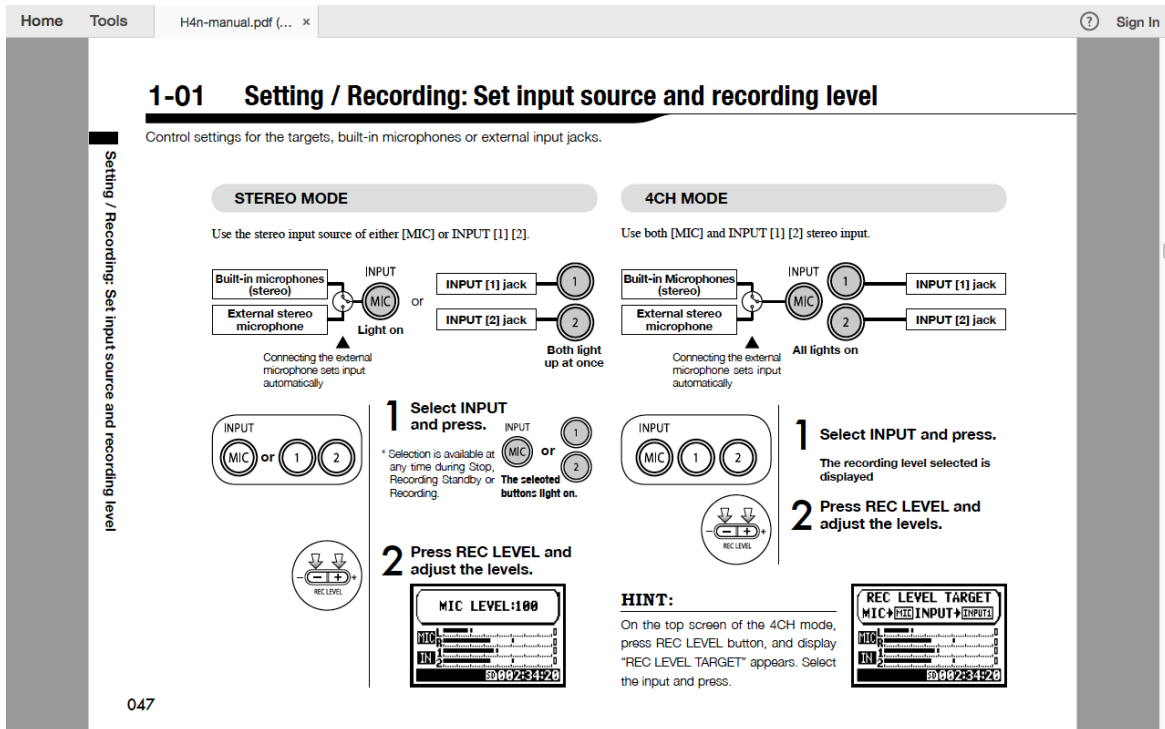
Στη συνέχεια, από την επιλογή “Input” θα επιλέξουμε “Phantom” και στη συνέχεια “+48V”, έτσι ώστε να ενεργοποιηθεί η τάση τροφοδοσίας του μετρητικού μικροφώνου.



ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.20

Μετά, θα φροντίσουμε να είναι απενεργοποιημένες όλες οι υπόλοιπες παράμετροι του μενού “Input”, αφού είτε δεν αφορούν είτε θα μας επηρεάσουν τη μέτρηση. Στο μενού “Rec Setting” θα επιλέξουμε “Rec Format” και στη συνέχεια “WAV 44.1/16”, έτσι ώστε να ρυθμίσουμε τη συχνότητα δειγματοληψίας, το “bit depth” και το είδος του αρχείου στο οποίο θα καταγραφεί η μέτρηση. Πατώντας τα πλήκτρα “1” η “2”, ενεργοποιούμε τις εισόδους εξωτερικών μικροφώνων της συσκευής (τα πλήκτρα φωτίζονται.) Στη συνέχεια, πατώντας το πλήκτρο “Rec” μία φορά, θέτουμε τη συσκευή σε κατάσταση ετοιμότητας εγγραφής. Τώρα είναι η ώρα να ρυθμιστεί η στάθμη εγγραφής, έτσι ώστε να είναι η μέγιστη δυνατή πριν την παραμόρφωση. Για να επιτευχθεί αυτό θα ενεργοποιήσουμε το σήμα του ηχείου μέσα από το πρόγραμμα Cubase 5, όπως αναλύεται στην επόμενη παράγραφο. Παρατηρώντας τους μετρητές στάθμης της συσκευής, ρυθμίζουμε τη

στάθμη εισόδου απο τα πλαϊνά πλήκτρα “Rec Level”, μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή στάθμη.



EIKONA 7.1.2.21

Τέλος, αφού σταματήσουμε το σήμα του ηχείου, ξαναπατάμε το πλήκτρο “Rec”. Η συσκευή ξεκινάει να καταγράφει το σήμα του ηχείου, το οποίο τώρα θα ενεργοποιήσουμε.

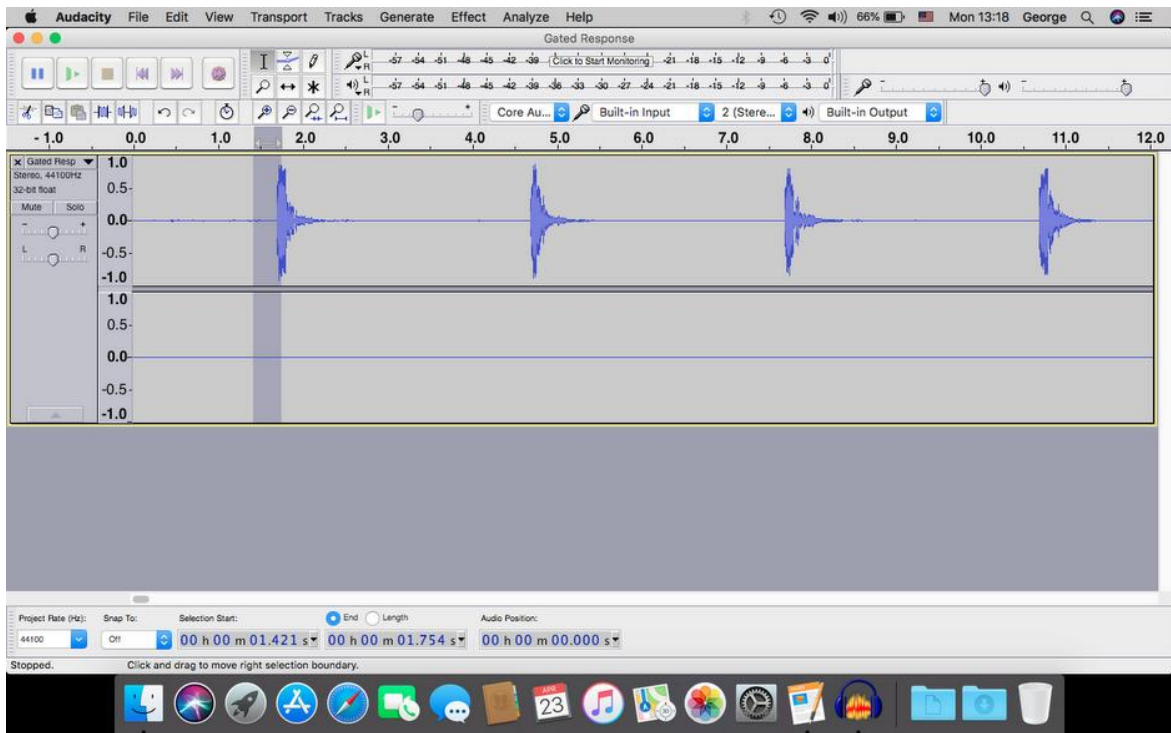
6) Ενεργοποίηση σήματος ηχείου:

Από τη στιγμή που έχουμε εισάγει στο λογισμικό Cubase 5 τα δύο σήματα και έχουμε ρυθμίσει το noise gate, το μόνο που μένει είναι να πατήσουμε το πλήκτρο “Play” έχοντας πρώτα σιγουρευτεί ότι βρισκόμαστε στην αρχή της κυματομορφής πατώντας το αριστερό βέλος.

7) Υλοποίηση του δεύτερου gating:

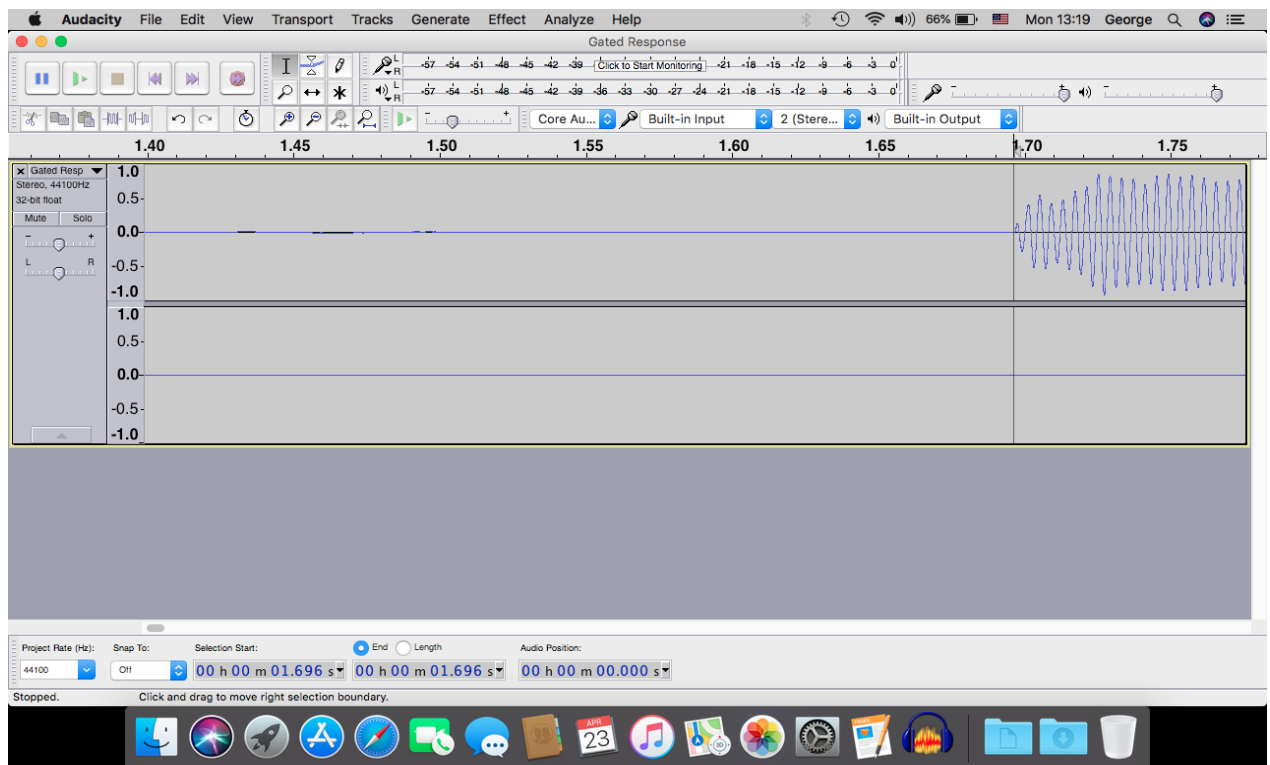
Μόλις περάσει ο απαιτούμενος χρόνος και ολοκληρωθεί το σήμα, πατάμε τα πλήκτρα “Stop” στον καταγραφέα και στο Cubase 5, τερματίζουμε την εφαρμογή και απενεργοποιούμε τον εγγραφέα. Στη συνέχεια, αντιγράφουμε το αρχείο που μόλις δημιουργήθηκε στην κάρτα SD του εγγραφέα και το εισάγουμε στο Audacity

με την εντολή **“Import Audio”**. Το πρώτο στάδιο είναι να απαλλαγούμε από το κενό στην αρχή του αρχείου μέχρι να ξεκινήσει η πρώτη ριπή. Για να γίνει αυτό με ακρίβεια, επιλέγουμε με drag & drop μια πολύ μικρή περιοχή με λίγο κενό πριν και λίγο μετά στην έναρξη της πρώτης ριπής.



ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.22

Με την εντολή **“Zoom in”**, μεγεθύνουμε αρκετά και στη συνέχεια με το ποντίκι τοποθετούμε τον κέρσορα ακριβώς στην αρχή της πρώτης ριπής.



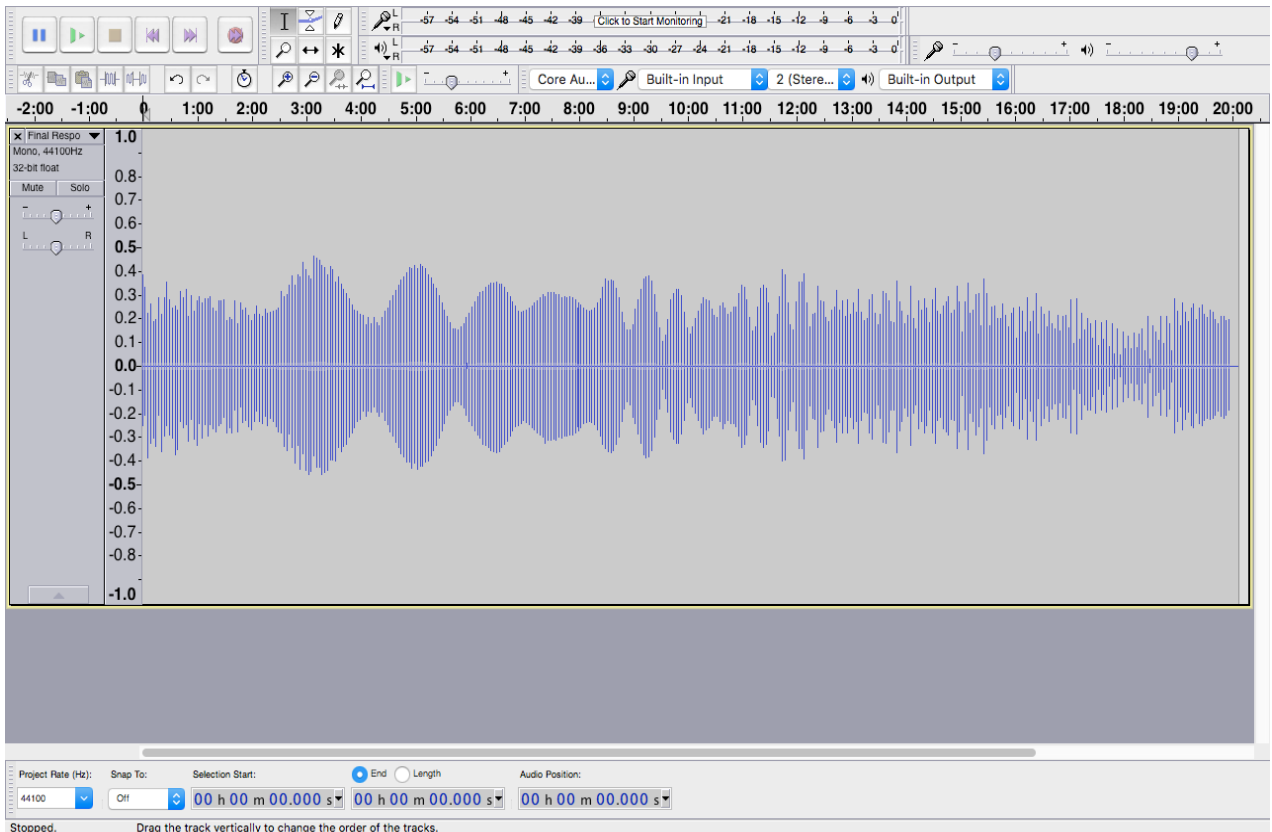
ΕΙΚΟΝΑ 7.1.2.23

Με την εντολή **“Select track start to cursor”** στο μενού **“Edit”**, επιλέγουμε όλο το κενό μέχρι τον κέρσορα. Τέλος, με την εντολή **“Delete”** από το μενού **“Edit”**, σβήνουμε το κενό. Εδώ μπορούμε να αποθηκεύσουμε το αρχείο της απόκρισης με τη βοήθεια της εντολής **“Export”**. Αυτή τη στιγμή γνωρίζουμε ότι η αφετηρία του χρόνου αντιστοιχεί στη συχνότητα της πρώτης ριπής, η οποία έχει επιλεγεί βάσει του περιορισμού των χαμηλών συχνοτήτων ανάλογα με τις διαστάσεις του χώρου στον οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση. Με οπτική παρατήρηση της κυματομορφής σε μεγάλο βαθμό μεγέθυνσης, είναι εύκολο να παρατηρηθεί η διάρκεια του μεταβατικού σταδίου του ηχείου μέχρι να σταθεροποιηθεί. Από την πρώτη ριπή μετράμε το χρόνο αυτό με τη βοήθεια της βαθμονομημένης κλίμακας χρόνου από πάνω. Αυτή τη στιγμή είμαστε έτοιμοι να υλοποιήσουμε το δεύτερο gating, το οποίο θα εξαλείψει το μεταβατικό στάδιο του ηχείου. Αυτό θα γίνει ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που υλοποιήθηκε το πρώτο, με τη διαφορά ότι θα δημιουργήσουμε ένα νέο control σήμα το οποίο θα έχει στην αρχή κατάλληλο **“Silence”** διάρκειας όσο το μεταβατικό στάδιο, και στη συνέχεια λογικό **“on”** διάρκειας όσο απομένει μέχρι την έναρξη το τέλος της ριπής. Τέλος, θα έχει και πάλι **“Silence”**, μέχρι την έναρξη της νέας ριπής. Μιλάμε δηλαδή για ένα παλμό

τύπου “π”. Τέλος, στο λογισμικό “Cubase5” θα εισάγουμε αυτή τη φορά το αρχείο της απόκρισης που αποθηκεύσαμε παραπάνω, καθώς και το νέο παλμό που δημιουργήσαμε. Εδώ δε χρειάζεται να γίνει αναπαραγωγή του νέου σήματος σε πραγματικό χρόνο. Αντί αυτού θα δημιουργήσουμε το σήμα με τη βοήθεια της εντολής “**Export stereo mix down**”. Το αρχείο που δημιουργείται είναι ουσιαστικά η απόκριση συχνότητας του ηχείου, το οποίο πρέπει να διαβαστεί με τον κατάλληλο τρόπο, ο οποίος αναλύεται παρακάτω. Εδώ όμως δημιουργείται ένα νέο ερώτημα: θεωρούμε ότι κάθε ριπή αντιστοιχεί και σε μία συχνότητα. Αυτό όμως είναι μια προσέγγιση, αφού η συχνότητα του σήματος σάρωσης αυξάνεται συνεχόμενα, άρα και σε κάθε ριπή θα έχουμε μια μικρή αύξηση της συχνότητας. Αυτό που θέλουμε είναι αυτή η αύξηση να είναι αμελητέα. Αυτό εξαρτάται από τη χρονική διάρκεια του συνολικού σήματος. Για να γίνει μια πρακτική επαλήθευση, θα υπολογίσουμε τη συχνότητα (βάσει του μαθηματικού τύπου που μας δίνει τη συχνότητα για κάθε δεδομένη χρονική στιγμή) στην αρχή και στη λήξη της τελευταίας ριπής της μέτρησης. Επειδή έχουμε εκθετική αύξηση της συχνότητας, άρα κατά τη διάρκεια της τελευταίας ριπής θα έχουμε και τη μεγαλύτερη απόκλιση συχνότητας από την αρχή της ως το τέλος της. Αν η διαφορά είναι όντως αμελητέα (το τι θεωρούμε αμελητέα έχει να κάνει με το βαθμό ακρίβειας που θέλουμε να έχει η μέτρησή μας), θα είναι ακόμα πιο αμελητέα σε όλες τις υπόλοιπες ριπές χαμηλότερων συχνοτήτων.

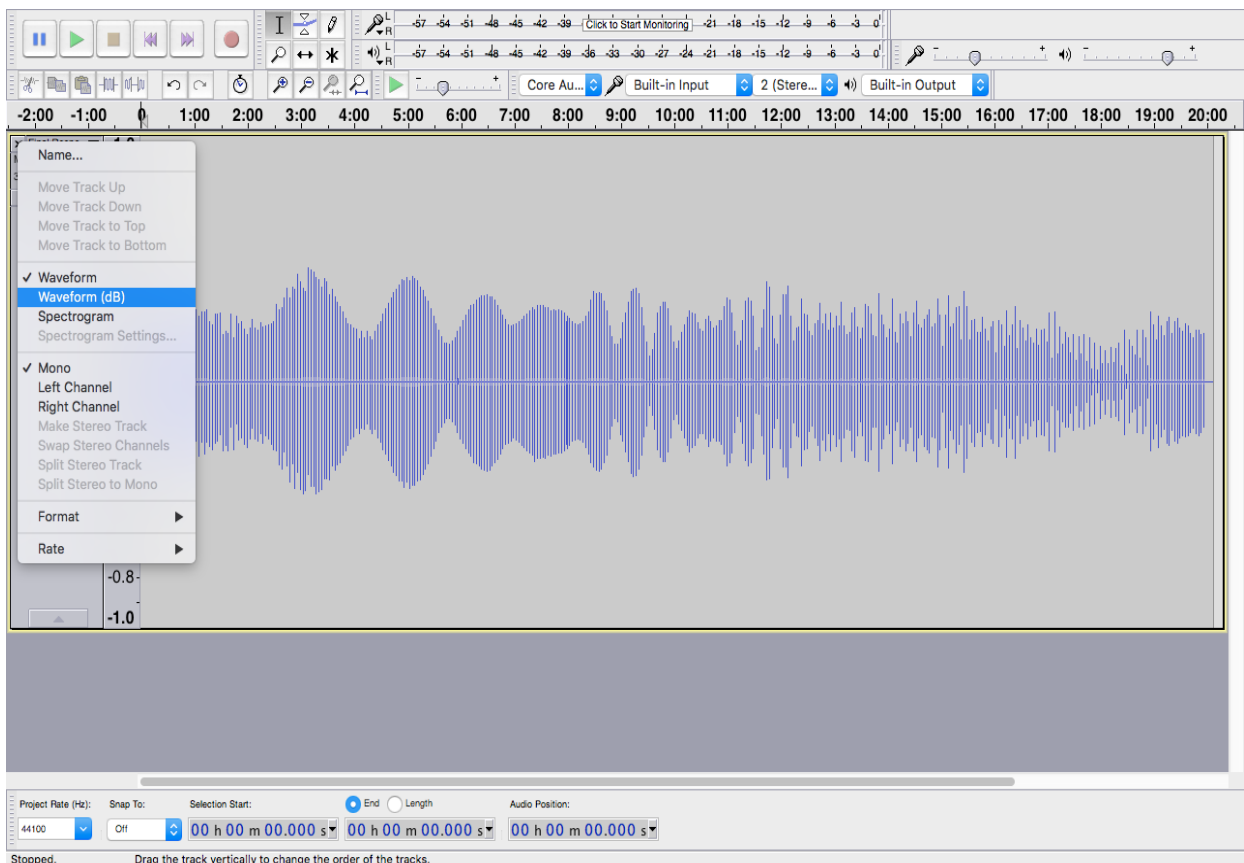
7.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΛΙΚΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ

Το τελικό αρχείο θα φορτωθεί στο πρόγραμμα Audacity με τη χρήση της εντολής “open”. Κάνοντας κλικ πάνω στο όνομα της κυματομορφής που εμφανίζεται στην οθόνη.



ΕΙΚΟΝΑ 7.2.1

Στη συνέχεια επιλέγουμε 0db από το μενού που εμφανίζεται την εντολή “Waveform (db)”.



ΕΙΚΟΝΑ 7.2.2

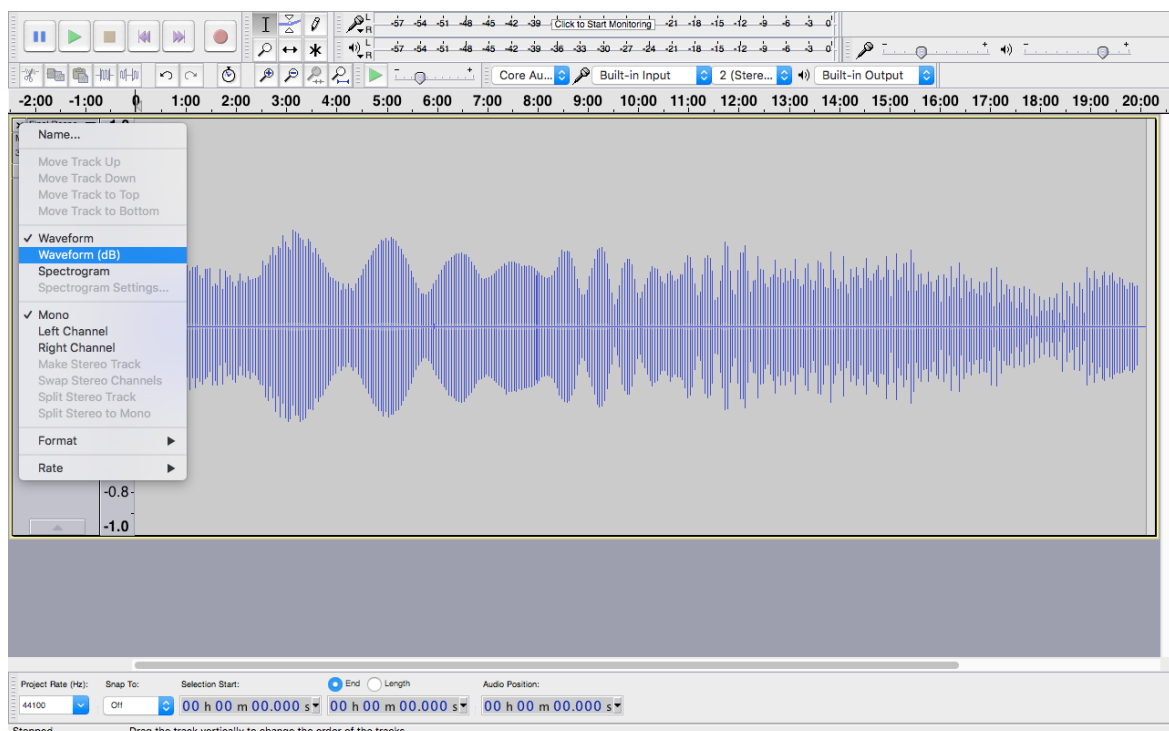
Με αυτό τον τρόπο ορίζουμε να μας απεικονίζει ο κάθετος άξονας τα db του καταγεγραμμένου σήματος (όπου 0 το μέγιστο πριν αρχίσει ο ψαλιδισμός). Στον οριζόντιο άξονα έχουμε χρόνο, ο οποίος όμως όπως είδαμε παραπάνω αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες συχνότητες. Άρα για κάθε χρονική στιγμή γνωρίζουμε ακριβή συχνότητα. Παρατηρούμε ότι στην πράξη έχουμε πάρα πολλές ριπές συχνοτήτων συγκεκριμένης στάθμης, οι οποίες αναπαριστούν την απόκριση συχνότητας του ηχείου με τρόπο ίδιο ακριβώς όπως η ένδειξη ενός αναλυτή φάσματος συχνοτήτων (spectrum analyzer). Επομένως έχουμε μία “χειροπιαστή” αναπαράσταση της απόκρισης συχνότητας του ηχείου, όπως θα ήταν και μια εκτυπωμένη καμπύλη σε ημιλογαριθμικό χαρτί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

Η πειραματική δοκιμή της προτεινόμενης μεθόδου έγινε σε ένα μικρό σχετικά χώρο με αυξημένο επίπεδο ηχητικών ανακλάσεων. Η μικρότερη διάσταση του χώρου ήταν το ύψος το οποίο μετρήθηκε στα 2,39m. Με αντικατάσταση στον τύπο υπολογισμού της ιδανικής απόστασης ηχείου - μικροφώνου που αναφέρεται στο προηγούμενο κεφάλαιο, αυτή υπολογίστηκε στα 1,38m. Επίσης, η μικρότερη δυνατή συχνότητα που μπορούσε να μετρηθεί με ακρίβεια υπολογίστηκε (πάλι με τη βοήθεια του κατάλληλου τύπου που αναφέρεται στο προηγούμενο κεφάλαιο) στα 250Hz.

Το συμπέρασμα είναι ότι ελήφθησαν κάποια αποτελέσματα με ικανοποιητική ακρίβεια, όπως φαίνεται από το παρακάτω διάγραμμα.



ΕΙΚΟΝΑ 8.1.1

Μία σχετική δυσκολία ήταν το ότι η λήξη της μεταβατικής κατάστασης του ηχείου πλησίαζε κατά πολύ την άφιξη της πρώτης ανάκλασης (στα 4ms), πράγμα το οποίο σε κάποιες ριπές οριακά μας έδωσε μια αξιόπιστη τιμή. Πρέπει

επομένως, για να λειτουργήσει αξιοπρεπώς η μέθοδος, να βρεθεί ένας χώρος με αρκετά μεγάλες διαστάσεις, πράγμα το οποίο θα αυξήσει το χρόνο άφιξης της πρώτης ανάκλασης. Επίσης, θα μειώσει τη μικρότερη δυνατή μετρούμενη συχνότητα, πράγμα απολύτως θεμιτό.

Σαν πεδίο προς περαιτέρω έρευνα, θα μπορούσε να γίνει επεξεργασία του αρχείου της καταγεγραμμένης απόκρισης του ηχείου από κατάλληλο λογισμικό (ανάπτυξη κατάλληλου κώδικα), έτσι ώστε να λάβουμε γραφήματα μεγαλύτερης ακρίβειας, τα οποία θα προσφέρουν μεγαλύτερη ευκολία στο διάβασμα και την αποκωδικοποίησή τους. (Δημιουργία περιβάλλουσας μεταξύ των ριπών κλπ.)

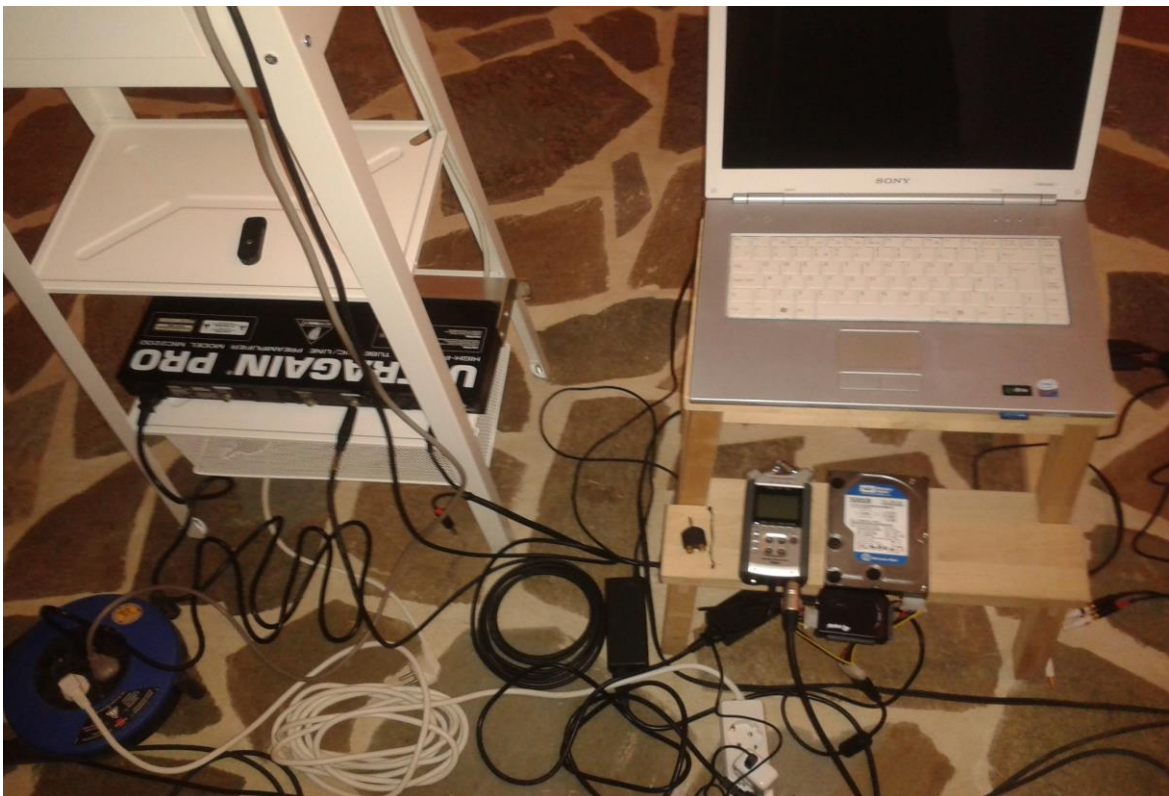
Παρακάτω, επισυνάπτονται φωτογραφίες από τις μετρήσεις που έγιναν σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο προκειμένου να πληρούνται οι προαναφερθείσες προδιαγραφές. Από τις μετρήσεις αυτές, πάρθηκαν τα παραπάνω συμπεράσματα και κυματομορφές.



ΕΙΚΟΝΑ 8.1.2



ΕΙΚΟΝΑ 8.1.3



ΕΙΚΟΝΑ 8.1.4

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'

Στο παράρτημα αυτό παρατίθεται ο υπολογισμός της συχνότητας για κάθε χρονική στιγμή.

ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

$$a = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1}, \quad x_1 \neq x_2$$

$$f(x) = ax + b$$

$$f(x) = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} \cdot x + b$$

Log Sweep: η συχνότητα αυξάνεται εκθετικά επομένως ο **log** της συχνότητας αυξάνεται γραμμικά, άρα υπόκειται στη γραμμική συνάρτηση.

ω_t : η συχνότητα στον χρόνο t

$t_{start} = 0$

t_{end} , ο χρόνος λήξης του sweep

$\omega(t_{start})$, η συχνότητα εκκένωσης

$\omega(t_{end})$, η συχνότητα λήξης

Αντικατάσταση δεδομένων στη γραμμική συνάρτηση:

$$\log \omega(t) = \frac{\log \omega(t_{end}) - \log \omega(t_{start})}{t_{end} - t_{start}} \cdot t + \log \omega(t_{start})$$

⇔

$$= \log \omega_t = \log \omega(t_{end}) \cdot \frac{t}{t_{end}} + \log \omega(t_{start}) \cdot \left(1 - \frac{t}{t_{end}}\right)$$

⇔

$$\omega_t = 10^{\log \omega(t_{end}) \cdot \frac{t}{t_{end}} + \log \omega(t_{start}) \cdot \left(1 - \frac{t}{t_{end}}\right)}$$

⇔

$$\omega_t = 10^{\left[\log \omega(t_{end}) \cdot \frac{t}{t_{end}}\right]} \cdot 10^{\left[\log \omega(t_{start}) \cdot \left(1 - \frac{t}{t_{end}}\right)\right]}$$

⇔

$$\omega(t) = \omega(t_{end})^{\frac{t}{t_{end}}} \cdot \omega(t_{start})^{1 - \frac{t}{t_{end}}}$$

⇔

$$\omega(t) = \omega(t_{start}) \cdot \frac{1}{\omega(t_{start})^{\frac{t}{t_{end}}}} \cdot \omega(t_{end})^{\frac{t}{t_{end}}}$$

⇔

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΧΡΟΝΟΥ

$$\omega(t) = \omega(t_{start}) \cdot \left(\frac{\omega(t_{end})}{\omega(t_{start})} \right)^{\frac{t}{t_{end}}}$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Wikipedia.
- [2] Δ.Σκαρλάτου, "Εφαρμοσμένη Ακουστική", 1993.
- [3] Bruel & Kjaer "Electro acoustic free field measurements in ordinary rooms using gating techniques".