

ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3

ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΦΩΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΗΧΕΙΩΝ / ΜΕΓΑΦΩΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό τα μικρόφωνα είναι Η/Α Μετατροπείς που μετατρέπουν ακουστική σε ηλεκτρική ενέργεια. Χρησιμοποιούνται σε ηχογράφηση, ενίσχυση και μετάδοση, μουσικής και ομιλίας καθώς και σε μετρήσεις. Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να αξιολογήσει ο χρήστης ανάλογα με την εφαρμογή και τη χρήση του μικροφώνου είναι η ευαισθησία, η απόκριση, η κατευθυντικότητα, το μέγεθος, το κόστος, η αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις, κ.α.

Οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών των μικροφώνων επιτρέπουν να εκτιμήσουμε και να καταγράψουμε κάποια από τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Παρ' όλο που η κυριότερη από αυτές τις μετρήσεις είναι η απόκριση συχνότητας (όπως ορίστηκε στην ΑΣΚΗΣΗ 1), στην περίπτωση των μικροφώνων αυτή μετριέται πάρα πολύ δύσκολα αφού απαιτείται η δημιουργία ελεγχόμενου ακουστικού πεδίου, κάτι που πρακτικά υλοποιείται με εξειδικευμένο εξοπλισμό σε ειδικές εργαστηριακές συνθήκες.

Έτσι στην Άσκηση αυτή θα μετρηθεί η στάθμη ευαισθησίας του μικροφώνου που η πιστοποίηση της τιμής της στάθμης ευαισθησίας είναι σημαντική. Η τιμή αυτή βέβαια δίνεται από τον κατασκευαστή, αλλά συχνά δεν είναι διαθέσιμη στον χρήστη ή ακόμη στην πράξη παρουσιάζει αποκλίσεις.

Επιπλέον, σημαντικό χαρακτηριστικό των μικροφώνων που επιτρέπει την πρακτική αξιοποίηση τους σε ηχογραφήσεις είναι και η συνάρτηση κατευθυντικότητας τους, που καθορίζει το σχετικό κέρδος του σήματος που καταγράφεται σε σχέση με τη γωνία του άξονα τους ως προς τις πηγές του ήχου. Έτσι στην Άσκηση αυτή θα μετρηθεί και η κατευθυντικότητα διαφορετικών τύπων μικροφώνων.

Να σημειωθεί ότι γενικά τα μικρόφωνα κατηγοριοποιούνται σε 2 κύριες κατηγορίες:

1. *Τα δυναμικά*, όπου το πηνίο βρίσκεται προσαρτημένο στο διάφραγμα, ώστε να κινείται αξονικά εντός μαγνητικού πεδίου μόνιμου μαγνήτη κατά την ταλάντωση αυτού. Η κίνηση του πηνίου μέσα στο μαγνητικό πεδίο επάγει εναλλασσόμενη τάση στα άκρα του.
2. *Τα πυκνωτικά*, όπου το διάφραγμα αντιστοιχεί στον έναν από τους δύο οπλισμούς πυκνωτή, του οποίου ο δεύτερος οπλισμός συγκρατείται σταθερά με DC τάση πόλωσης συνήθως 48 V (Phantom Power). Η ταλάντωση του διαφράγματος αλλάζει την απόσταση των οπλισμών και δημιουργεί εναλλασσόμενη τάση στα άκρα του πυκνωτή.

Επίσης, θα μετρηθεί η απόκριση, η στάθμη ευαισθησίας και θα γίνει επίδειξη μέτρησης της σύνθετης αντίστασης (εμπέδησης) ηχείων / μεγαφώνων. Οι μετρήσεις αυτές επιτρέπουν να εκτιμήσουμε την απόδοση και την ηχητική πιστότητα των μεγαφώνων/ηχείων. Η κυριότερη από αυτές τις μετρήσεις είναι η απόκριση συχνότητας, η οποία στην περίπτωση των μεγαφώνων/ηχείων μετριέται σχετικά εύκολα και αυτό θα είναι ένα από τα αντικείμενα της άσκησης αυτής.

Σημειώτων ότι ένα ιδανικό μεγάφωνο/ηχείο θα πρέπει να εμφανίζει όσο το δυνατόν σταθερή απόκριση συχνότητας στο εύρος συχνοτήτων που προβλέπεται να λειτουργήσει. Αυτό σημαίνει ότι το μέτρο της μιγαδικής συνάρτησης μεταφοράς (ηλεκτρική διέγερση προς ακουστική απόκριση) θα πρέπει να είναι επίπεδο και η συνάρτηση φάσης γραμμική, πάντα στην περιοχή συχνοτήτων που αναφέραμε.

Η μέτρηση της συνολικής -σύνθετης αντίστασης ενός μεγαφώνου επιτρέπει την εκτίμηση της γενικής συμπεριφοράς του μεγαφώνου και της ευκολίας οδήγησης του από ενισχυτές. Η

αντίσταση ενός μεγαφώνου / ηχείου παρ' όλο που συνήθως εκφράζεται από μια και μοναδική «ονομαστική» τιμή (π.χ. 8Ω), στην ουσία αποτελεί μιγαδική συνάρτηση που διαφοροποιείται με την συχνότητα και είναι επιθυμητό η διακύμανση αυτή να μην οδηγεί την τιμή του μέτρου της αντίστασης σε πολύ χαμηλές ωμικές τιμές ή και σε απότομες μεταβολές της φάσης γιατί τέτοια χαρακτηριστικά θα δημιουργήσουν δυσκολία οδήγησης από τον ενισχυτή, ειδικά σε ψηλές στάθμες.

2. ΘΕΩΡΙΑ

2.1 Στάθμη ευαισθησίας μικροφώνων

Με δεδομένο ότι ένα μικρόφωνο είναι ένας μετασχηματιστής ακουστικής σε ηλεκτρική ενέργεια, τα χαρακτηριστικά μετατροπής καθορίζουν την «ευαισθησία» S του μετατροπέα, που ως γνωστό ορίζεται από τον λόγο της παραγόμενης τάσης προς την προσπίπτουσα πίεση, δηλαδή:

$$S = (V/p)_{I=0} \quad (1)$$

Ο ορισμός της στάθμης ευαισθησίας ενός τέτοιου μετατροπέα, δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$S.L. = 20 \log \left(\frac{S}{S_{ref}} \right) \quad (2)$$

όπου $S_{ref} = 1V/Pa$, $S = V/P$ με V να συμβολίζει την τάση εξόδου του μικροφώνου για ακουστική πίεση p . Από την παραπάνω σχέση προκύπτει πως:

$$S.L. = 20 \log V + 94 - L_p \text{ (dB)} \quad (3)$$

όπου ο δείκτης L_p δίνει τη συγκεκριμένη τιμή ηχητικής στάθμης από την οποία προκύπτει η αντίστοιχη τάση εξόδου (ανοικτού κυκλώματος) V , στο μικρόφωνο.

2.2 Κατευθυντικότητα μικροφώνων

Η ευαισθησία ενός μικροφώνου μπορεί να είναι διαφορετική για ήχους που φθάνουν από διαφορετικές γωνίες. Έτσι, ενώ τα «παντοκατευθυντικά μικρόφωνα ή μικρόφωνα πίεσης» θα έχουν ευαισθησία $S = 1$ για όλες τις γωνίες πρόσπτωσης, τα «κατευθυντικά μικρόφωνα ή μικρόφωνα διαφοράς πίεσης» θα έχουν π.χ. $S = -1$ για $\theta = 180^\circ$ και $S = 0$ για $\theta = 90^\circ$ και 270° . Έτσι, η έννοια της ευαισθησίας του μικροφώνου που εξαρτάται από την γωνία, εκφράζεται από την συνάρτηση κατευθυντικότητας, δηλαδή $S(\theta) \equiv H(\theta)$. Οι διαφορετικές μορφές κατευθυντικότητας των μικροφώνων που πρακτικά προκύπτουν από την έκθεση του διαφράγματος στον ήχο από την μία ή και τις 2 πλευρές, είναι εξαιρετικά χρήσιμες γιατί επιτρέπουν στον χρήστη να καθορίσει τη γωνία (ή τη διεύθυνση) για την οποία ήχοι θα μετατρέπονται επιλεκτικά σε σήμα και αντίστοιχα να μπορεί να απορρίψει ήχους (ή κατευθύνσεις) που δεν είναι επιθυμητοί. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται ο λόγος σήματος / θόρυβου που καταγράφεται αφού οι ανεπιθύμητοι ήχοι ή ο θόρυβος που προέρχεται από τις συγκεκριμένες πηγές, είναι δυνατό να καταγραφεί με πολύ λιγότερο κέρδος από ότι ο επιθυμητός ήχος. Θεωρητικά, η συνάρτηση κατευθυντικότητας ενός δέκτη, ορίζεται σαν τον λόγο της πίεσης που προσπίπτει από συγκεκριμένη γωνία που μετατρέπεται, ως προς την αξονική πίεση (για $\theta = 0^\circ$):

$$H_r(\theta, \varphi) = \left| \frac{\bar{p}(\theta, \varphi)}{p_{ax}} \right| \quad (4)$$

Έτσι, η «ενεργός» πίεση που μετατρέπεται από ένα μικρόφωνο, θα ισούται με:

$$p(r, \theta) = p_{ax}(r) H_r(\theta, r) \quad (5)$$

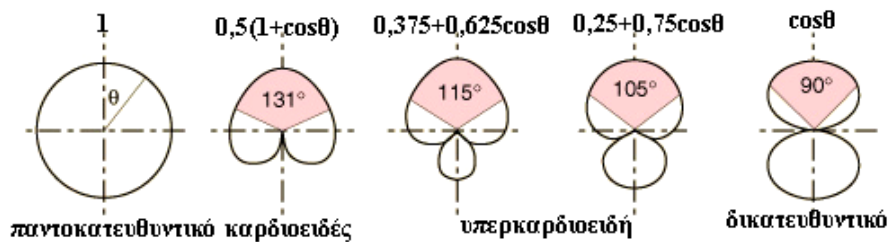
Γενικά ορίζονται διαφορετικές μορφές κατευθυντικότητας που σχετίζονται σχηματικά με

τη μορφή της συνάρτησης $p(\theta)$, δηλαδή την ακουστική πίεση για μια τιμή της απόστασης r σε σχέση με τη γωνία του μικροφώνου ως προς τη διεύθυνση του ακουστικού κύματος (θεωρώντας για απλότητα επίπεδα ακουστικά κύματα).

Επιπλέον, με βάση τις σχέσεις για την εξάρτηση της ευαισθησίας από την γωνία που δόθηκαν παραπάνω, είναι εύκολο να δημιουργηθούν και αναλυτικές εκφράσεις για την συνάρτηση $H_r(\theta, r)$, για κάθε τύπο μικροφώνου, καθώς και για πιο ειδικές μορφές που προκύπτουν από συνδυασμούς τύπων κατευθυντικότητας. Στο **Σχήμα 1** δίνονται αυτά τα χαρακτηριστικά.

Επιπλέον, ο Δείκτης Κατευθυντικότητας (*Directivity Index, DI*), εκφράζεται σε dB και ορίζεται ως:

$$DI = 20 \log |H(\theta)| \quad (6)$$



Σχήμα 1: Συνήθεις τύποι κατευθυντικότητας μικροφώνων

2.3 Απόκριση συχνότητας μεγαφώνων / ηχείων

Για τη μέτρηση τέτοιων αποκρίσεων ισχύουν όλες οι βασικές σχέσεις που δόθηκαν στην ΑΣΚΗΣΗ 1, αλλά πρέπει να ληφθεί υπ' όψη ότι σαν **σήμα εξόδου θα είναι η ακουστική πίεση** που παράγει ο μετατροπέας και όχι η ηλεκτρική έξοδος της συσκευής. Για το λόγο αυτό ισχύουν όσα είναι ήδη γνωστά για τη μέτρηση της απόκρισης γραμμικών συστημάτων αλλά με την επιπλέον ανάγκη διατύπωσης αρχών μέτρησης ακουστικής απόκρισης.

2.3.1 Σήματα διέγερσης για ακουστικές μετρήσεις απόκρισης

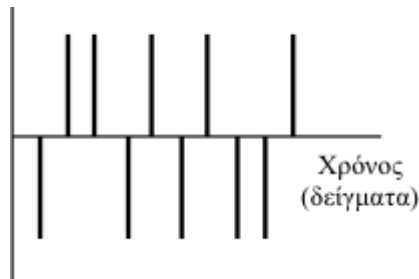
Σε σχέση με τα είδη διέγερσης του συστήματος (δηλ. ενός ηχείου), σε γενικές γραμμές ισχύουν επίσης οι σχέσεις που συζητήθηκαν στην ΑΣΚΗΣΗ 1. Στις μετρήσεις όμως ακουστικής απόκρισης είναι επίσης απαραίτητη και η μέτρηση της συνάρτησης $h(t)$, της κρουστικής δηλαδή απόκρισης του συστήματος αφού μας δείχνει καθαρά και τη μεταβατική συμπεριφορά του μετατροπέα και αφού είναι αναγκαία και η χρήση διέγερσης που επιτρέπει και τη φασική καταγραφή των σημάτων εισόδου/εξόδου, κάτι που συνήθως δεν είναι εύκολα δυνατό με τη χρήση σημάτων ημίτονου ή λευκού θορύβου. Μάλιστα στην πράξη και με τη χρήση των διαδεδομένων μετρητικών συστημάτων, μετριέται συνήθως πρώτα η κρουστική απόκριση και κατόπιν υπολογίζεται η απόκριση συχνότητας με τη χρήση μετασχηματισμού Fourier. Για το λόγο αυτό **η διέγερση πρέπει να είναι είτε ηλεκτρικός παλμός** (που προσεγγίζει την ιδανική συνάρτηση $\delta(t)$ αλλά στην πράξη δεν επιτρέπει ικανοποιητική διέγερση λόγω του ότι όλη η ενέργεια διέγερσης πρέπει να παραχθεί σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και αυτό μειώνει τη δυνατότητα παροχής υψηλής στάθμης). Έτσι, για επίτευξη μέτρησης με ικανοποιητικό Λόγο Σήματος προς Θόρυβο (δες ΑΣΚΗΣΗ 1) χωρίς υπεροδήγηση των ηχείων με απότομα παλμικά σήματα διέγερσης που δημιουργεί μη-γραμμική συμπεριφορά, είναι επιθυμητή η χρήση σημάτων διέγερσης με σταθερό πλάτος (steady state) που όμως να επιτρέπουν τον υπολογισμό της κρουστικής απόκρισης. Τα σήματα που έχουν επικρατήσει σε τέτοιες μετρήσεις ηχείων, είναι:

(α) σήμα "ψευδοτυχαίας ακολουθίας" (pseudorandom sequence),

έχει επίπεδο φάσμα (δηλαδή $|S(f)| = 1$, όπως ο λευκός θόρυβος), αλλά έχει και κάποια περιοδικότητα (που να επιτρέπει τη χρονική του καταγραφή, όπως περιγράφεται παρακάτω). Συνήθως οι

συναρτήσεις αυτές ονομάζονται "Ακολουθίες Διαδοχής Μέγιστου Μήκους" (Maximum Length Sequences, MLS).

Οι ακολουθίες MLS παράγουν ένα σήμα και αποτελείται από μία ακολουθία παλμών, και συγκεκριμένα κάθε δείγμα της έχει τιμή +1 ή -1 (**Σχήμα 2**) που υλοποιείται σε διακριτό χρόνο (σε υπολογιστικά ψηφιακά συστήματα) και έστω ότι $m(nT)$ είναι μία τέτοια ακολουθία με δείγματα για $n = 1, \dots, M$. Η ακολουθία αυτή θα είναι περιοδική με περίοδο $J = 2^N - 1$, όπου N είναι η τάξη της ακολουθίας που επιλέγεται και J ο αριθμός σημείων που αντιστοιχούν σε μία περίοδο της ακολουθίας (είναι πάντα μια δύναμη του 2), T είναι η περίοδος δειγματοληψίας (σε sec) που είναι: $T = 1/f_s$ όπου f_s είναι η συχνότητα δειγματοληψίας, σε Hz. Έτσι, για παράδειγμα, για $N = 3$ η ακολουθία αυτή μπορεί να είναι: -1, +1, +1, -1, +1, -1, -1



Σχήμα 2: Σήμα ακολουθίας MLS

Μια σημαντική ιδιότητα των σημάτων MLS είναι ότι η πράξη της αυτοσυσχέτισης, παράγει την ιδανική κρουστική απόκριση $\delta(t)$ ή σε διακριτό χρόνο $\delta(nT)$. Η έξοδος του ηχείου (ή ενός συστήματος γενικότερα) με μια MLS για είσοδο δίνει τη μέτρηση $r(nT)$. Έτσι, σε ένα τέτοιο ψηφιακό σύστημα μέτρησης, η κρουστική απόκριση διακριτού χρόνου, $h(nT)$, θα υπολογιστεί από την κυκλική ετεροσυσχέτιση του $m(nT)$ με τη μέτρηση $r(nT)$ της εξόδου της συσκευής. Η διαδικασία που ακολουθείται περιγράφεται από τις εξισώσεις (6) - (8).

$$r[nT] = h[nT] * m[nT] \quad (6)$$

Υπολογίζεται η ετεροσυσχέτιση των $r[nT]$, $m[nT]$ με το $m[nT]$:

$$\varphi_{mr} = h[nT] * \varphi_{mm} \quad (7)$$

Αφού ισχύει ότι $\varphi_{mm} = \delta[nT]$:

$$h[nT] = \varphi_{mr} \quad (8)$$

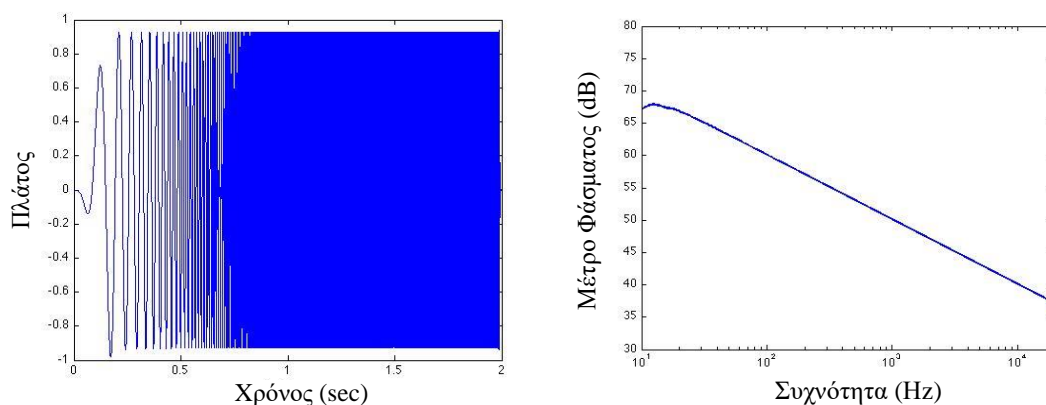
Από τη μέτρηση της κρουστικής απόκρισης προκύπτει εύκολα η απόκριση συχνότητας με τη χρήση των σχέσεων που δόθηκαν στην ΑΣΚΗΣΗ 1.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης αυτού του σήματος για μέτρηση της κρουστικής απόκρισης είναι:

- Το φάσμα του, το οποίο αντιστοιχεί σε πλήρη διέγερση του ακουστού φάσματος συχνοτήτων,
- Η ευκολία στον υπολογισμό της κρουστικής απόκρισης του ηχείου αφού λόγω της ιδιότητας της αυτοσυσχέτισης που αναφέρθηκε παραπάνω η κρουστική απόκριση του ηχείου με τη διαδικασία της αποσυνέλιξης είναι πιο εύκολα υπολογίσιμη. Επίσης επειδή το σήμα αυτό αποτελείται από μοναδιαίους (κατά απόλυτη τιμή) παλμούς, η πράξη συνέλιξης με άλλα σήματα ή αποκρίσεις που κανονικά απαιτεί άθροισμα γινομένων, μετατρέπεται σε απλά αθροίσματα.
- Οι μετρήσεις με το σήμα MLS έχει αποδειχτεί ότι δίνουν αποτελέσματα (αποκρίσεις) με πολύ καλύτερο Λόγο Σήματος προς Θόρυβο (SNR), από ότι οι μετρήσεις με κρουστικούς παλμούς, που αναφέρθηκαν παραπάνω, ειδικά όταν υπάρχει θόρυβος βάθους υψηλής στάθμης. Αυτός είναι και ένας λόγος που οι μετρήσεις με MLS έγιναν κοινώς αποδεκτές και αποτέλεσαν δημοφιλή μέθοδο μέτρησης.

(β) σήμα «Ημιτονοειδούς Σάρωσης» (Sinewave Sweep ή Swept Sine),

εμφανίζει επίπεδο φάσμα και από την απόκριση που αυτό προκαλεί στο ηχείο, είναι δυνατό να εξαχθεί η κρουστική του απόκριση μετά από αποσυνέλιξη (όπως περιγράφεται παρακάτω). Το δεδομένο σήμα μάλιστα, μπορεί να αντιμετωπίσει καλύτερα από ότι το MLS τις παραμορφώσεις που εισάγονται στην περίπτωση που το συνολικό σύστημα δεν είναι πλήρως γραμμικό (όπως στην πράξη συμβαίνει σε κάποιο βαθμό με όλα τα Ηλεκτροακουστικά συστήματα). Το σήμα σάρωσης ημιτόνου ορίζεται από ένα ημίτονο σταθερού πλάτους, διάρκειας μερικών δευτερολέπτων και αυξανόμενης συχνότητας με την πάροδο του χρόνου. Είναι σχετικά εύκολο να εξαχθεί η κρουστική απόκριση του ηχείου από την απόκριση που παράγει ένα τέτοιο σήμα, με την αντίστροφη διαδικασία της συνέλιξης που ονομάζεται αποσυνέλιξη (deconvolution). Δηλαδή το σήμα που καταγράφεται μετά τη διέγερση του ηχείου υφίσταται συνέλιξη με το αντίστροφο σήμα διέγερσης (που έχει προϋπολογιστεί) ώστε να προκύψει η κρουστική απόκριση του ηχείου. Το αντίστροφο σήμα διέγερσης είναι αυτό που σε συνέλιξη με το κανονικό παράγει μία ιδανική κρουστική απόκριση $\delta(t)$ ή σε διακριτό χρόνο $\delta(nT)$. Οι υπολογισμοί αυτοί παράγονται αυτόματα από κατάλληλα αρχεία που υπάρχουν στο λογισμικό μέτρησης. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο για μετρήσεις σήμα τέτοιου είδους είναι το σήμα **λογαριθμικής σάρωσης ημιτόνου** (ή **log sweep**), το οποίο παράγεται από μία τεχνική που σχετίζει λογαριθμικά την αύξηση της συχνότητας με το χρόνο. Επίσης, το σήμα λογαριθμικής σάρωσης ημιτόνου έχει μέτρο φάσματος που, υπερτονίζει τις χαμηλές συχνότητες και προχωράει προς τις ψηλές με μία κλίση μείωσης 3 dB ανά οκτάβα. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την αύξηση του SNR της μέτρησης ιδιαίτερα στις χαμηλές συχνότητες που ο θόρυβος βάθους έχει συγκεντρωμένη περισσότερη ενέργεια Στο **Σχήμα 3** φαίνεται η κυματομορφή (πεδίο του χρόνου) και το φάσμα ενός τέτοιου σήματος λογαριθμικής σάρωσης ημιτόνου.



Σχήμα 3: (α) Σήμα σάρωσης ημιτόνου στο πεδίο του χρόνου διάρκειας 2 δευτερολέπτων (β) Μέτρο φάσματος του ίδιου σήματος

Πλέον, τέτοιες μετρήσεις υλοποιούνται με χρήση ειδικού λογισμικού (π.χ. REW, DIRAC, winmls, sample champion, Fuzz measure, κλπ.) που αξιοποιεί υπολογιστές και την διασύνδεση τους με κατάλληλες κάρτες ήχου.

2.3.2 Ειδικά προβλήματα σε ακουστικές μετρήσεις απόκρισης

Εάν η ακουστική μέτρηση πραγματοποιείται στο **ελεύθερο ακουστικό πεδίο**, δηλαδή σε ακουστικά ουδέτερο χώρο όπου τα ηχητικά κύματα διαδίδονται σύμφωνα με τις ιδανικές σχέσεις που δόθηκαν στο Κεφάλαιο 2 της Ηλεκτροακουστικής I, **τότε οι ακουστικές μετρήσεις απόκρισης ακολουθούν τις ίδιες αρχές με τις γνωστές ηλεκτρικές μετρήσεις απόκρισης**. Στην πράξη, ελεύθερο ακουστικό πεδίο δεν είναι δυνατό να αναπαραχθεί, παρά μόνο προσεγγιστικά σε κατάλληλους μεγάλους ανηχωϊκούς θαλάμους (που δεν υπάρχουν στον ελληνικό χώρο) και κατά συνέπεια ανακλάσεις του εκπεμπόμενου ήχου από το μεγάφωνο θα

φθάνουν στον δέκτη και θα εκλαμβάνονται σαν τμήμα της μέτρησης. Ακόμη και αν η ακουστική μέτρηση πραγματοποιηθεί σε ανοικτό χώρο, θα εμφανίζεται ανάκλαση από την πλησιέστερη επιφάνεια στην οποία στηρίζονται το ηχείο, το μικρόφωνο και ο ερευνητής (π.χ. έδαφος, δάπεδο, κλπ). Για να αναλύσουμε το φαινόμενο, είναι λοιπόν δυνατό να παραστήσουμε την προσθήκη ανακλάσεων σε ακουστικές μετρήσεις απόκρισης με τη δράση ενός επιπλέον γραμμικού ακουστικού συστήματος $h_a(t)$ που τοποθετείται εν σειρά στην έξοδο του ηλεκτροακουστικού μετατροπέα (**Σχήμα 4**).

Το πρόβλημα τώρα της μέτρησης της απόκρισης του μεγαφώνου/ηχείου ανάγεται στον διαχωρισμό της απόκρισης του ηλεκτροακουστικού μετατροπέα $h(t)$, από τη συνολική ακουστική μέτρηση, $h_{tot}(t)$ που έχουμε στην διάθεση μας. Από το **Σχήμα 1**, είναι:

$$h_{tot}(t) = h(t) * h_a(t) \quad (9)$$

Δεδομένου τώρα ότι η απόκριση του ακουστικού συστήματος αποτελείται από το κατευθείαν εκπεμπόμενο σήμα (που εδώ για απλότητα θα το περιγράψουμε σαν να εμφανίζει απλή καθυστέρηση t_0 , και να έχει πλάτος 1), καθώς και διακριτές ανακλάσεις του ήχου που φθάνουν στον δέκτη με διαφορετικές χρονικές καθυστερήσεις tn και τιμές πλάτους a_n (ανάλογα με τη διαφορετική απόσταση και που διανύουν και την απόσβεση των αντίστοιχων ανακλαστικών επιφανειών), τότε μπορούμε να γράψουμε:

$$h_a(t) = \delta(t - t_0) + \sum a_n \delta(t - tn) = \delta(t - t_0) + a_1\delta(t - t_1) + a_2\delta(t - t_2) + \dots \quad (10)$$

Από τις σχέσεις (9) και (10) προκύπτει:

$$h_{tot}(t) = h(t - t_0) + a_1h(t - t_1) + a_2h(t - t_2) + \dots \quad (12)$$

Από την (3) είναι προφανές ότι ο πρώτος όρος της δεξιάς πλευράς της εξίσωσης περιγράφει την απαιτούμενη απόκριση (εκτός από μία χρονική καθυστέρηση t_0 λόγω της απόστασης μεγαφώνου / μικροφώνου που στην πράξη δεν προσθέτει παραμόρφωση), όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 2**. Δεδομένου τώρα ότι όλοι οι υπόλοιποι όροι προστίθενται με κάποια καθυστέρηση σε αυτό το χρήσιμο σήμα, είναι επίσης προφανές ότι θα ήταν δυνατό να επεξεργαστούμε κατάλληλα την $h_{tot}(t)$ ώστε να μας δώσει την ζητούμενη απόκριση $h(t - t_0)$. Για παράδειγμα, έστω ότι θα χρησιμοποιούμε ένα χρονικό παράθυρο δεδομένων $w(t)$ (**Σχήμα 2**) που αποκόπτει μόνο το αρχικό χρήσιμο τμήμα της απόκρισης και υπολογίζουμε το:

$$h_w(t) = h_{tot}(t)w(t) \quad (13)$$

όπου $w(t) = 1, 0 < t < tr$ και $w(t) = 0$ για όλα τα άλλα t .

τότε, και αν η απόκριση του μετατροπέα έχει ολοκληρωθεί σε $t = tr$, δηλαδή είναι:

$$h(t) = 0, \text{ για } t > tr \quad h_w(t) \approx h(t) \quad (14)$$

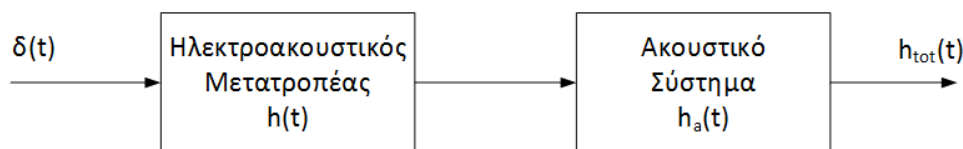
Υπάρχουν τώρα τα εξής πρακτικά προβλήματα στην υλοποίηση της παραπάνω σχέσης.

- (α) παρόλο που η χρήση μιας τέτοιας θύρας δεδομένων (δηλαδή ενός τετραγωνικού παραθύρου) ιδανικά μας επιτρέπει το χρονικό διαχωρισμό των 2 αποκρίσεων, κάτι τέτοιο δεν θα συμβεί και στο πεδίο συχνότητας, αφού από την (13) προκύπτει ότι:

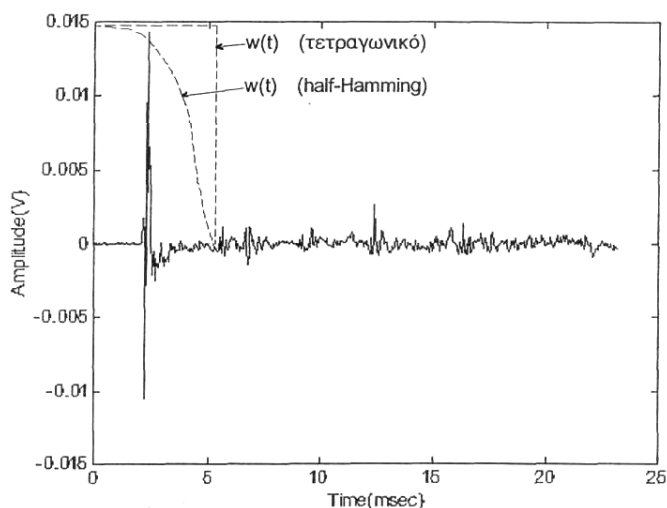
$$H(f) = H_{tot}(f) * W(f) \quad (15)$$

και (από τους πίνακες μετασχηματισμών) ένα τετραγωνικό παράθυρο έχει φάσμα $W(f)$ που δεν είναι επίπεδο και άρα επηρεάζει και παραμορφώνει τη μέτρηση του φάσματος του ηχείου. Για το λόγο αυτόν δεν είναι σκόπιμη η χρήση "τετραγωνικού" παραθύρου, αλλά είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται άλλου είδους παράθυρο, (τέτοια είναι γνωστά από τα

μαθήματα ΨΕΣ), τύπου Hamming, Hanning, κλπ. Βέβαια με τον τρόπο αυτό περιορίζεται η ευκρίνεια στην χρονική μέτρηση και συχνά δεν αποκόπτονται πλήρως οι ανακλάσεις.



Σχήμα 4: Γενική μορφή ακουστικής μέτρησης απόκρισης ηχείου



Σχήμα 5: Τυπική μορφή της μέτρησης της κρουστικής απόκρισης ηχείου και χρήση παραθύρου αποκοπής ανάκλασης

- (β) συχνά δεν είναι πρακτικά εφικτό να τοποθετήσουμε το ηχείο τόσο μακριά από την κοντινότερη ανακλαστική επιφάνεια (συνήθως το δάπεδο) ώστε να έχουμε $t_o > t_r$. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί οι χαμηλές συχνότητες που συνιστούν τη χρονική απόκριση του μεγαφώνου, λόγω του μεγάλου μήκους κύματος που εμφανίζουν αργούν περισσότερο να αποσβεστούν και επικαλύπτονται από τις μετέπειτα ανακλάσεις. Αποδεικνύεται σχετικά εύκολα ότι αν η απόσταση πηγής και δέκτη είναι $d(m)$, και αν η πλησιέστερη (προς την πηγή) ανακλαστική επιφάνεια βρίσκεται σε απόσταση $d_r(m)$, τότε η χαμηλότερη συχνότητα $f_l(Hz)$ που μπορεί να μετρηθεί από το παραπάνω σύστημα θύρας χωρίς παρεμβολή (δηλ. πριν την άφιξη της πρώτης ανάκλασης), δίνεται από τη σχέση:

$$f_l = c / (d_r - d) \quad (16), \text{ όπου } c \text{ (m/s) είναι η ταχύτητα του ήχου}$$

Με δεδομένο ότι τα περισσότερα ηχεία χρησιμοποιούν μεγάφωνα που καλύπτουν ξεχωριστές περιοχές συχνοτήτων και κατ' επέκταση εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά διασποράς του ήχου ως προς τη γωνία μέτρησης, η παραπάνω μέθοδος μπορεί να επεκταθεί και να διαχωριστεί σε ξεχωριστές διαδικασίες μέτρησης της απόκρισης, αρχικά του μεγαφώνου χαμηλών συχνοτήτων (όπου λόγω της παντοκατευθυντικής απόκρισης το μικρόφωνο τοποθετείται κοντά στο μεγάφωνο αυτό) και έπειτα του μεγαφώνου μεσαίων/ψηλών συχνοτήτων όπου το μικρόφωνο τοποθετείται στη συνήθη απόσταση (1 m). Με χρήση καταλλήλου λογισμικού οι 2 ξεχωριστές μετρήσεις που έχουν ληφθεί σε μη-ανηχώικό περιβάλλον, μπορεί να συγκολληθούν ώστε να προκύψει μια πλήρης απόκριση του ηχείου για όλο το εύρος των συχνοτήτων αλλά και με σωστή καταγραφή του φάσματος και στις χαμηλές συχνότητες. Τέτοια μέτρηση ονομάζεται «ψευδοανηχώϊκή» μέτρηση του ηχείου, αλλά δεν αποτελεί αντικείμενο της Άσκησης αυτής.

2.4 Στάθμη ευαισθησίας μεγαφώνων/ηχείων

Ως στάθμη ευαισθησίας SW ($dB/W/m$), ορίζεται η μετρούμενη ηχοστάθμη που παράγεται σε απόσταση 1m από το μεγάφωνο / ηχείο όταν αυτό τροφοδοτείται με ηλεκτρική ισχύ 1 watt. Για ηχεία, η μέτρηση αυτή πρέπει να γίνει για την συχνότητα του 1 KHz. Αν η μέτρηση απόκρισης συχνότητας (όπως αναλύθηκε προηγουμένως) πραγματοποιηθεί με σήμα διέγερσης ισχύος 1 watt, τότε εξ ορισμού η μετρούμενη τιμή της απόκρισης συχνότητας (στάθμη ήχου) στο 1 KHz, θα αντιστοιχεί στην τιμή στάθμης ευαισθησίας SW ($dB/W/m$).

2.5 Σύνθετη αντίσταση μεγαφώνου

Όπως είναι γνωστό από τη θεωρία η συνολική ηλεκτρο-μηχανικο-ακουστική αντίσταση (εμπέδιση) του μεγαφώνου, Z_{EI} , δίνεται από τη σχέση:

$$Z_{EI} = R_0 + j\omega L_0 + \frac{(Bl)^2}{(R_m + R_{ME}) + j(\omega m + \frac{k_{TOT}}{\omega})} \quad (7)$$

Η παραπάνω συνάρτηση είναι μιγαδική και όπως καθαρά φαίνεται, εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος (εδώ αναφέρεται σαν ω).

Η μέγιστη τιμή της Z_{EI} προκύπτει για $\omega = \omega_0$ και είναι:

$$Z_{EI}(\omega = \omega_0) \approx R_0 + \frac{(Bl)^2}{R_m} \quad (8)$$

από όπου φαίνεται η σημασία της τιμής του Bl για την αντίσταση, ειδικά κοντά στη συχνότητα συντονισμού.

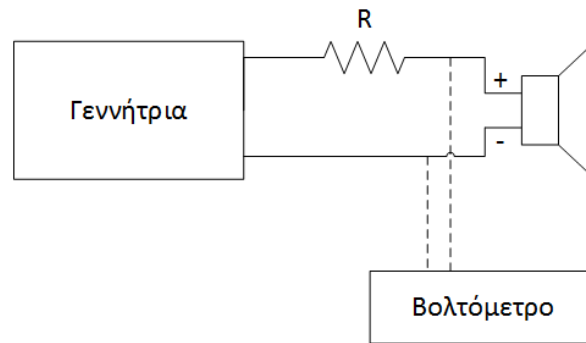
Η ευρύτερα διαδεδομένη μέθοδος μέτρησης της Z_{EI} , του μεγαφώνου εφαρμόζει σταθερό ρεύμα στους ακροδέκτες του μεγαφώνου και χρησιμοποιείται γεννήτρια που καλύπτει το επιθυμητό εύρος συχνοτήτων. Η έξοδος της γεννήτριας θα πρέπει να είναι όσο δυνατόν χαμηλότερη, αφού η χαμηλή στάθμη ελαχιστοποιεί την παραμόρφωση και βελτιώνει την ακρίβεια, ενώ οι μετρήσεις αφορούν τις "παραμέτρους μικρού σήματος" (small signal parameters) όπως απαιτεί και η θεωρητική ανάλυση της συμπεριφοράς του μεγαφώνου. Η μέθοδος μέτρησης σταθερού ρεύματος δίνει άμεση ένδειξη της τιμής της εμπέδισης.

Τα όργανα τα οποία θα απαιτηθούν στη μέτρηση είναι:

- (i) βολτόμετρο,
- (ii) γεννήτρια ημιτονοειδών κυματομορφών (στην πράξη θα χρησιμοποιηθεί και πάλι ο υπολογιστής με το κατάλληλο λογισμικό, όπως θα περιγραφεί παρακάτω),
- (iii) αντίσταση R , με τιμή 8-10 φορές μεγαλύτερη από το μέτρο της μιγαδικής αντίστασης που αναμένεται να μετρηθεί από το μεγάφωνο. Μια καλή επιλογή είναι $R = 1000 \text{ Ohm}$, $1W$, 5% . Η αντίσταση αυτή μετατρέπει τη γεννήτρια σε μια πηγή σταθερού ρεύματος κάνοντας τις ενδείξεις του Βολτομέτρου ανάλογες της μιγαδικής αντίστασης (ανά συχνότητα).

Η διαδικασία μέτρησης βασίζεται στη συνδεσμολογία του **Σχήματος 6**. Για να μετρηθεί η μιγαδική αντίσταση του μεγαφώνου, συνδέεται στους ακροδέκτες + και -, ρυθμίζεται η γεννήτρια ώστε να παράγει την επιθυμητή συχνότητα στην οποία πρέπει να μετρηθεί η εμπέδιση και καταγράφεται η τάση στο V (volt) βολτόμετρο. Η εμπέδιση (μέτρο) σε αυτή τη συχνότητα δίνεται από την σχέση:

$$|Z_{EI}| = \left(\frac{V}{V_0}\right) R \quad (9)$$



Σχήμα 6: Μέτρηση σύνθετης αντίστασης μεγαφώνου με τη μέθοδο σταθερού ρεύματος

Η Άσκηση θα βασιστεί στις παραπάνω αρχές, αλλά η μέτρηση θα πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας αντί γεννήτρια και βολτόμετρο, το ειδικό λογισμικό από υπολογιστή μέσω της κάρτας ήχου, όπως θα περιγραφεί παρακάτω.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.1 Μετρήσεις στάθμης ευαισθησίας μικροφώνου

Από τον ορισμό της σχέσης (3), φαίνεται πως ο υπολογισμός της στάθμης ευαισθησίας $S.L$ απαιτεί μέτρηση των rms τιμών της τάσης εξόδου του μικροφώνου για δεδομένη στάθμη ακουστικής πίεσης. Δύο σημαντικές παρατηρήσεις είναι:

- (α) προφανώς θα πρέπει να μετρηθεί η στάθμη ακουστικής πίεσης στην θέση που βρίσκεται το μικρόφωνο.
- (β) αν η στάθμη αυτή ισούται με $L_p = 94$ dB, τότε προφανώς η σχέση (3) μας δίνει $S.L. = 20 \log V$.

3.1.1 Συνδεσμολογία και μετρήσεις

Η συνδεσμολογία και η διαδικασία μέτρησης, έχει ως εξής:

- (α) δημιουργείται στον υπολογιστή αρχείο με **ημίτονο 1kHz** και μέσω της κάρτας ήχου συνδέεται η έξοδος του υπολογιστή σε ενισχυτή και ηχείο.
- (β) **ρυθμίζεται το κέρδος του ενισχυτή** έτσι ώστε να αναπαράγεται ήχος με στάθμη $L_p = 94$ dB σε απόσταση 1m από το ηχείο. Η στάθμη αυτή ελέγχεται με μετρητή στάθμης ήχου (όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1**), που τοποθετείται στην συγκεκριμένη απόσταση.
- (γ) το προς μέτρηση μικρόφωνο τοποθετείται στην συγκεκριμένη απόσταση (στην οποία μετρήθηκε η στάθμη ήχου) και με διεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα διάδοσης του ηχητικού κύματος.
- (δ) με ευαίσθητο βολτόμετρο ή παλμογράφο, μετρείται η rms τιμή του σήματος εξόδου του μικροφώνου και υπολογίζεται η τιμή $S.L$ σύμφωνα με τη σχέση (3).
- (ε) η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για μετρήσεις στάθμης για τα διαφορετικά μικρόφωνα.

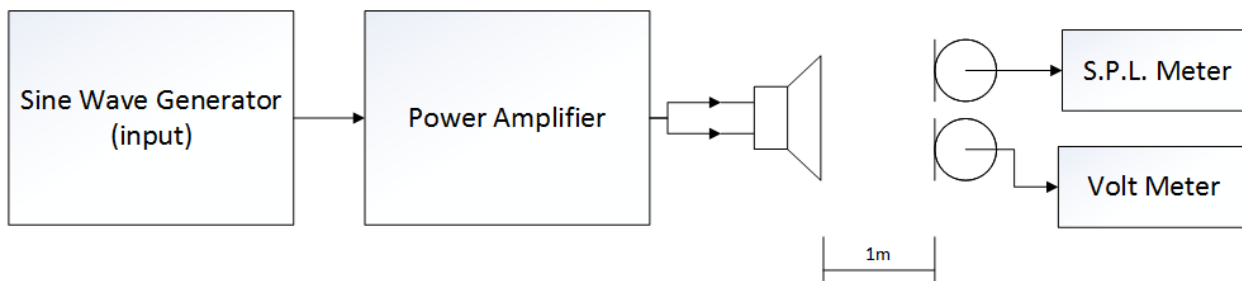
3.1.2 Παρατηρήσεις στη συνδεσμολογία (Σχήμα 8)

Τα πυκνωτικά μικρόφωνα χρειάζονται Phantom Power την οποία παρέχει η κάρτα ήχου μετά από ρύθμιση στο software της κάρτας (48 V). Το δυναμικό μετρείται και στον «αέρα» γιατί δεν χρειάζεται τάση πόλωσης.

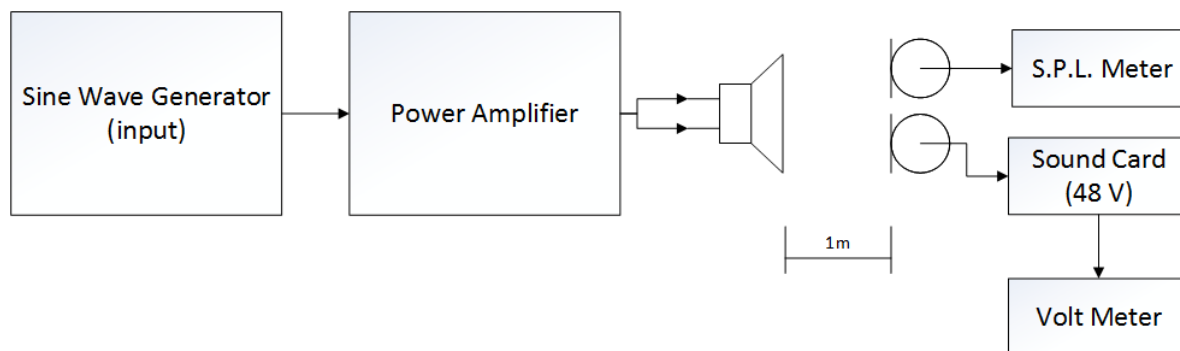
Από τις μετρήσεις τάσης ανοικτού κυκλώματος αφαιρούμε και για τα μικρόφωνα τυχόν κέρδος προ-ενίσχυσης της κάρτας το οποίο βλέπουμε από το gain της αντίστοιχης εισόδου. Από το πυκνωτικό θα έπρεπε να αφαιρέσουμε επιπλέον και το κέρδος ενίσχυσης που σχετίζεται με την τροφοδοσία του. Στην προκειμένη περίπτωση αυτό το μέγεθος είναι άγνωστο καθώς δεν γνωρίζουμε το αντίστοιχο κέρδος της κάρτας. Αυτό θα ήταν εφικτό αν είχαμε ξεχωριστή τροφοδοσία για το πυκνωτικό μικρόφωνο με γνωστά τα χαρακτηριστικά του προ-ενισχυτή του.

3.1.3 Επεξεργασία μετρήσεων

- (α) να δοθεί πίνακας με τις τιμές $S.L.$ που υπολογίστηκαν.
 (β) ποιο από τα μικρόφωνα που μετρήθηκαν είναι το πιο ευαίσθητο;
 (γ) Στο eclass, στον κατάλογο ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ/Συμπληρωματικό Υλικό Εργαστηρίου είναι αναρτημένα έντυπα τεχνικών προδιαγραφών των μικροφώνων που μετρήθηκαν. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα των μετρήσεών σας με τις τιμές ευαισθησίας που δίνουν οι κατασκευαστές και σχολιάστε τυχόν αποκλίσεις.



Σχήμα 7: Μέτρηση στάθμης ευαισθησίας μικροφώνου



Σχήμα 8: Διάταξη συνδεσμολογίας μέτρησης ευαισθησίας με υπολογιστή

3.2 Μετρήσεις Δείκτη Κατευθυντικότητας μικροφώνου

3.2.1 Παρατηρήσεις

Από τον ορισμό της σχέσης (4) καθώς και τις σχέσεις (6) φαίνεται ότι υπολογισμός του Δείκτη Κατευθυντικότητας DI προκύπτει από την μέτρηση της ευαισθησίας (ηλεκτρικής εξόδου) του μικροφώνου, για διαφορετικές γωνίες θ , περιστροφής του ακουστικού του άξονα (οριζόντιο επίπεδο), σε σχέση με κάποια ακουστική πηγή. Ιδανικά, η πηγή αυτή θα πρέπει να είναι παντοκατευθυντική σε όλες τις συχνότητες (ένα ηχείο δεν είναι) και η μέτρηση θα πρέπει να γίνει απουσία ανακλάσεων από τον χώρο.

Επιπλέον, είναι γνωστό, ότι οι συναρτήσεις κατευθυντικότητας τόσο των πηγών, όσο και των δεκτών (μικροφώνων), γενικά διαφοροποιούνται με τη συχνότητα. Για αυτό τον λόγο, η μέτρηση αυτού του σκέλους της άσκησης, θα πραγματοποιηθεί για ημιτονοειδές σήμα σε 3 διακριτές συχνότητες που παράγονται από σχετικά αρχεία μέσω του υπολογιστή, δηλαδή για τις συχνότητες $f_1 = 200\text{Hz}$, $f_2 = 2\text{KHz}$ και $f_3 = 8\text{KHz}$.

Για την άσκηση, θα χρησιμοποιηθεί ένα καρδιοειδές μικρόφωνο, σε διάταξη αντίστοιχη αυτής του προηγούμενου σκέλους (Σχήμα 8). Όμως, η έξοδος του μικροφώνου θα υπολογισθεί για γωνίες περιστροφής του άξονα του μικροφώνου (ως προς το ηχείο), $\theta_1 = 0^\circ$, $\theta_2 = 45^\circ$, $\theta_3 = 90^\circ$, $\theta_4 = 135^\circ$ και $\theta_5 = 180^\circ$.

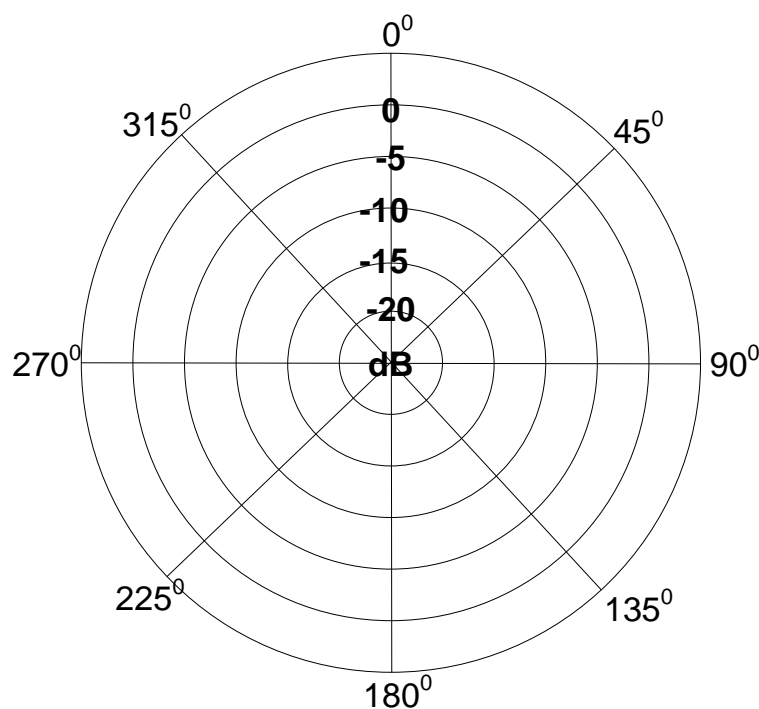
3.2.2 Συνδεσμολογία και μετρήσεις

Η συνδεσμολογία και διαδικασία μέτρησης, έχει ως εξής:

- (α) δημιουργείται στον υπολογιστή αρχεία με τις παραπάνω συχνότητες και μέσω της κάρτα ήχου συνδέεται η έξοδος του υπολογιστή σε ενισχυτή και ηχείο.
- (β) για $f_1 = 200\text{Hz}$ **ρυθμίζεται το κέρδος του ενισχυτή** έτσι ώστε να αναπαράγεται ήχος με στάθμη L_p σε συγκεκριμένη απόσταση από το ηχείο. Η στάθμη αυτή ελέγχεται με μετρητή στάθμης ήχου (όπως φαίνεται στο **Σχήμα 7**), που τοποθετείται στην συγκεκριμένη απόσταση. Για ευκολία να προτιμηθεί η τιμή στάθμης αναπαραγωγής να είναι 94 dB και η απόσταση 1 m . (Αυτό γίνεται για να απλοποιείται η παραπάνω σχέση και η ευαισθησία του εκάστοτε μικροφώνου να προκύπτει απ' ευθείας από τη μέτρηση της τάσης ανοικτού κυκλώματος).
- (γ) το προς μέτρηση μικρόφωνο τοποθετείται στην συγκεκριμένη απόσταση (στην οποία μετρήθηκε η στάθμη ήχου) και με διεύθυνση αρχικά παράλληλη ($\theta_1 = 0^\circ$,) προς τον άξονα διάδοσης του ηχητικού κύματος.
- (δ) με ευαίσθητο βολτόμετρο μετρείται η rms τιμή του σήματος εξόδου του μικροφώνου και υπολογίζεται η τιμή S.L. σύμφωνα με τη σχέση (3).
- (ε) η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για μετρήσεις σε γωνίες $\theta_2 = 45^\circ$, $\theta_3 = 90^\circ$, $\theta_4 = 135^\circ$ και $\theta_5 = 180^\circ$.
- (στ) η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για, $f_2 = 2\text{KHz}$ και $f_3 = 8\text{ KHz}$.

3.2.3 Επεξεργασία μετρήσεων και Παραδοτέα

- (α) για $\theta_1 = 0^\circ$ υπολογίζεται η τιμή S.L. και ο δείκτης κατευθυντικότητας ορίζεται (κανονικοποιείται) για αυτή τη γωνία $DI = 0\text{dB}$.
- (β) με δεδομένο ότι $S(\theta) \equiv H(\theta)$ υπολογίζεται η τιμή του DI στις υπόλοιπες γωνίες, αντίστοιχα με βάση την κανονικοποίηση που χρησιμοποιήθηκε για το (α). Έτσι, ο DI για $\theta \neq \theta_1$ τώρα θα δίνει αρνητικές τιμές, π.χ. $DI = -6\text{ dB}$.
- (γ) η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις συχνότητες και γωνίες.
- (δ) οι τιμές, καταγράφονται σε πολικό διάγραμμα (δίνεται πρότυπο αρχείο, **Σχήμα 9**).
- (ε) συγκρίνετε τις τιμές ευαισθησίας των μικροφώνων που μετρήσατε με αυτές που δίνουν οι κατασκευαστές (υπάρχουν στο eclass αρχεία με τις προδιαγραφές). Σχολιάστε τα αποτελέσματα της σύγκρισης. Ποιο μικρόφωνο έχει τη μεγαλύτερη ευαισθησία;



Σχήμα 9: Πολικό διάγραμμα για σχεδιασμό Δείκτη Κατευθυντικότητας μικροφώνου

3.3 Μέτρηση στάθμης ευαισθησίας ηχείου / μεγαφώνου

3.3.1 Συνδεσμολογία και παρατηρήσεις

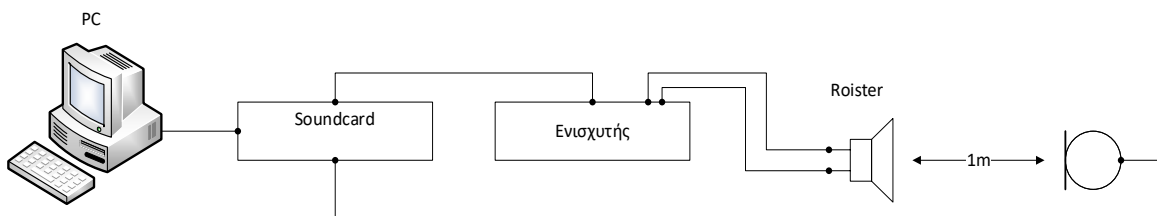
Στα πλαίσια της εύρεσης της ευαισθησίας του ηχείου, αρχικά ρυθμίζεται κατάλληλα το κέρδος ώστε ο ενισχυτής να τροφοδοτεί το ηχείο με 1W στη συχνότητα 1 KHz. Για να γίνει αυτό αρκεί να σκεφτούμε ότι $P = V^2/R$, οπότε διαβάζοντας την ονομαστική τιμή της εμπέδησης στο πίσω μέρος του ηχείου (εν προκειμένω 8 Ω) βρίσκουμε ότι ο ενισχυτής θα πρέπει να δίνει στην έξοδό του 2.82 V rms, τιμή την οποία μετράμε με το πολύμετρο στους ακροδέκτες εισόδου του ηχείου.

Στη συνέχεια, ακολουθώντας τη συνδεσμολογία του **Σχήματος 10** διεγείρουμε το ηχείο με το Sine Sweep και καταγράφουμε (με το μετρητικό πυκνωτικό μικρόφωνο) την κρουστική απόκριση του ηχείου και την απόκριση συχνότητάς του. Θεωρητικά, εφόσον το μικρόφωνο βρίσκεται σε απόσταση 1 m από το ηχείο και η τροφοδοσία του ενισχυτή είναι 1 W στη συχνότητα 1 kHz, η στάθμη στην απόκριση συχνότητας του ηχείου θα ισοδυναμεί εξ' ορισμού με την ευαισθησία του (την οποία μπορούμε σε κάθε περίπτωση να επιβεβαιώσουμε ή να διαψεύσουμε από την αντίστοιχη αναγραφόμενη τιμή στο πίσω μέρος του ηχείου). Στην πράξη, κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει καθώς από το REW εισάγουμε ένα μη ελέγξιμο κέρδος για το Sine Sweep, το οποίο διαφοροποιεί τη ρύθμιση που κάνουμε στην αρχή. Επίσης, το πρόγραμμα δεν είναι βαθμονομημένο και άρα σε κάθε περίπτωση είναι αδύνατο να διαβάσουμε ορθή τιμή στη γραφική παράσταση. Για το λόγο αυτό, και για να βρούμε τελικά την ευαισθησία του ηχείου με πειραματικό τρόπο, μετρούμε με το ηχώμετρο τη στάθμη ηχητικής πίεσης σε απόσταση 1 m από αυτό, αναπαράγοντας ένα ημίτονο 1 kHz και φυσικά για τροφοδοσία του ενισχυτή 1 W. Η μετρούμενη τιμή είναι εξ' ορισμού η στάθμη ευαισθησίας του ηχείου.

3.3.2. Παραδοτέα

Παραδοτέο του σκέλους αυτού της άσκησης είναι η υπολογισμένη τιμή της στάθμης ευαισθησίας του ηχείου

3.4 Μέτρηση απόκρισης συχνότητας ηχείου



Σχήμα 10: Συνδεσμολογία για μέτρηση απόκρισης συχνότητας και στάθμης ευαισθησίας ηχείου

Η μέτρηση πραγματοποιείται με το λογισμικό REW και διέγερση με σήμα σάρωσης ημιτόνου. Η επιλογή **Measure** οδηγεί σε παράθυρο **Make a measurement** από το οποίο επιλέγεται μέτρηση για όλο το εύρος συχνοτήτων π.χ. από 0 -20 kHz, διάρκειας 10,9 sec. Μετά τον έλεγχο της στάθμης του σήματος διέγερσης και του σήματος εγγραφής (π.χ. **Σχήμα 9**), ώστε η μέτρηση να εμφανίζει ικανοποιητικό ΛΣΘ (SNR), πραγματοποιείται η μέτρηση και αυτομάτως παράγεται η κρουστική απόκριση του συστήματος.

Όπως αναφέρθηκε και στη θεωρία, επειδή η μέτρηση αφορά στην κρουστική απόκριση που θα μετρηθεί θα περιέχει όχι μόνο αυτή του ηχείου αλλά και του δωματίου (**Σχήμα 10**), χρησιμοποιούμε παράθυρο δεδομένων ώστε να αφαιρέσουμε τις ανακλάσεις (μέχρι την πρώτη ανάκλαση). Το παράθυρο είναι συνήθως Hamming, ή Hanning. Το είδος του παραθύρου και ειδικότερα η κλίση του

(π.χ. το Rectangular είναι το πιο απότομο) επιδρά στις υψηλές συχνότητες της απόκρισης, ενώ το μήκος αυτού επηρεάζει τη χαμηλόσυχη πληροφορία του φάσματος που μετρείται. Το τελευταίο συμβαίνει επειδή όσο «κόβουμε» την κρουστική απόκριση τόσο λιγότερα η συνεισφορά από μεγάλα κύματα λαμβάνονται υπ' όψιν στην ανάλυση (και άρα τόσο μικρότερη είναι ακρίβεια στις χαμηλές συχνότητες).

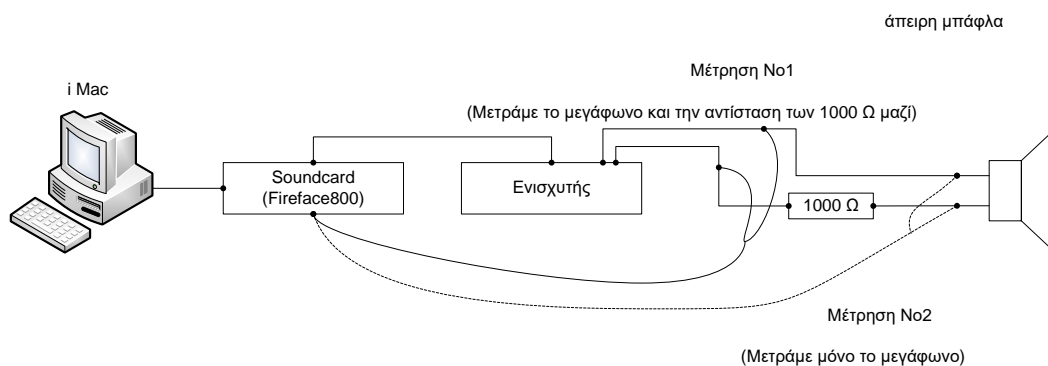
Η χαμηλότερη συχνότητα που μπορεί να μετρηθεί ορθά από τη χρήση ενός παραθύρου χωρίς παρεμβολή (fl) βρίσκεται μετρώντας την απόσταση του ηχείου από την κοντινότερη ανακλαστική επιφάνεια (εν προκειμένω το πάτωμα, dr) και εφαρμόζοντας τη σχέση $fl = c/(dr - d)$. Επί των γραφικών, θα πρέπει να δειχθούν οι συχνότητες ± 3 dB και η (περιοχή) απόκριση συχνότητας του ηχείου που περιέχεται σε αυτές τις ακραίες συχνότητες.

3.4.1. Ανάλυση μετρήσεων και παραδοτέα

- α) Απεικονίστε το σήμα της κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) στο πεδίο του χρόνου, σε χρονικό εύρος (διάρκεια) κατάλληλη ώστε να είναι οπτικά διακριτά τα βασικά χαρακτηριστικά της. Γίνεται η καταγραφή, παραθυροποίηση και ανάλυση-επεξεργασία των μετρήσεων στο λογισμικό για την κατάλληλη επιλογή απεικόνισης του (μέτρου) της «ψευδο-ανηχωϊκής» απόκρισης συχνότητας του ηχείου,
- β) Απεικονίστε την «ψευδο-ανηχωϊκή» απόκριση φάσματος του ηχείου σαν:
- μέτρο (πλάτος) φάσματος σε λογαριθμικό άξονα συχνότητας
 - χρονοσυχνοτική απεικόνιση με εμφάνιση του πλάτους τύπου waterfall και σε χρωματική διαβάθμιση πλάτους τύπου φασματογραφήματος (spectrogram)
- Από την απεικόνιση του μέτρου του φάσματος α) υπολογίζονται και καταγράφονται οι οριακές συχνότητες όπου το πλάτος εμφανίζει απόκλιση ± 3 dB από το πλάτος στην κύρια περιοχή απόκρισης (π.χ. στο 1 KHz) καθώς και η περιοχή απόκριση συχνότητας του ηχείου που εμπεριέχεται σε αυτές τις ακραίες συχνότητες. β) Με δεδομένη τη χρήση παραθύρου αποκοπής ανακλάσεων, καθορίζεται η περιοχή συχνοτήτων που δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια
- γ) Καταγράφεται η στάθμη ευαισθησίας του μεγάφωνου.

3.5 Μέτρηση εμπέδησης μεγαφώνου

Θα γίνει και εδώ χρήση του λογισμικού REW (για περισσότερες πληροφορίες ανατρέξτε στο help menu Impedance Measurement του REW) για τη μέτρηση σύνθετης εμπέδησης μεγαφώνου με σήμα διέγερσης Sine Sweep. Στο **Σχήμα 11** φαίνεται ενδεικτική συνδεσμολογία



Σχήμα 11: Συνδεσμολογία για μέτρηση εμπέδησης μεγαφώνου

